

**Antalya ve Mersin Yöresi Saf Kızılçam Meşcerelerinde
Hasılat Araştırmaları**

Program Kodu: 1001

Proje No: 112O808

Proje Yürütücüsü:
Yrd. Doç. Dr. Aydın KAHRİMAN

Araştırmacılar:

Doç. Dr. Turan SÖNMEZ

Yrd. Doç. Dr. Mehmet YAVUZ

Bursiyerler:

Yrd. Doç. Dr. Abdurrahman ŞAHİN

Orm. Yük. Müh. Sercan YILMAZ

Orm. Yük. Müh. Murat UZUN

Orm. Yük. Müh. Gökberkhan KUMAŞ

Orm. Müh. Yiğit GENÇ

MAYIS 2016
ARTVİN

ÖNSÖZ

Bu araştırma “Antalya ve Mersin Yöresi Saf Kızılçam Meşcerelerinde Hasılat Araştırmaları” başlığı ile TÜBİTAK TOVAG tarafından desteklenmiştir. 2013-2016 yılları arasında gerçekleştirilen bu çalışmada, Antalya ve Mersin Orman Bölge Müdürlüğü sınırları içerisindeki aynı yaşlı saf ve doğal Kızılçam (*Pinus brutia* Ten) meşcerelerinde 486 geçici örnek alanda ve her bir örnek alanda 2 adet olmak üzere toplamda 972 örnek ağaçta gerekli ölçümler yapılmıştır.

Bu çalışma, ülkemizde özellikle kapladığı alan bakımından ilk sırada ve hacim olarak da Karaçam’dan sonra ikinci sırada yer alan Kızılçam meşcerelerinin artım ve büyüme ilişkilerinin belirlenmesi, hem tek ve çift girişli ağaç hacim denklemlerinin hem de bonitete dayalı ağaç hacim denklemlerinin ortaya konulması, cebirsel fark yaklaşımına dayanan polimorfik yöntem yardımıyla örnek alanların yaş ve üst boyuna bağlı olarak enterpolasyona gerek olmadan bonitet endeksi değerlerinin hesaplanması, toprak üstü biyokütle ve depoladıkları karbon miktarının belirlenmesi itibari ile çok sayıda ormancılık disiplini bir arada kullanması ve ortaya koyduğu sonuçlar açısından önemli ve özgün değere sahip olma niteliğini taşımaktadır.

Bu çalışmanın yürütülmesine maddi destek sağlayan ülkemizin araştırma kurumu TÜBİTAK birimine, bir üyesi olarak gururla çalıştığım kurumuma (Artvin Çoruh Üniversitesi), arazi çalışmalarının yürütülmesinde desteklerini esirgemeyen Antalya ve Mersin Orman Bölge Müdürlüklerindeki meslektaşlarıma ve çalışanlarına ve proje ekibimin tamamına en içten teşekkürlerimi sunarım.

Bu çalışma ile saf Kızılçam meşcereleri için geliştirilen artım ve büyüme modellerinin, ağaç hacim denklemlerinin, bonitet endeksi modellerinin, toprak üstü biyokütle ve karbon miktarlarının ülke ormancılık araştırmalarına, uygulamalarına ve eğitimine katkı sağlamasını ümit ederim.

Yrd. Doç. Dr. Aydın KAHRİMAN

Proje Yürütücüsü

Mayıs 2016, Artvin

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ	I
İÇİNDEKİLER	II
TABLolar DİZİNİ	V
ŞEKİLLER DİZİNİ	VII
ÖZET	XIV
ABSTRACT	XV
1 GENEL BİLGİLER.....	1
1.1 Giriş	1
1.2 Kızılçamın Yayılışı ve Ülkemiz İçin Önemi	8
2 YAPILAN ÇALIŞMALAR	10
2.1 Materyal.....	10
2.1.1 Çalışma Alanının Tanıtımı ve Özellikleri	10
2.2 Yöntem	21
2.2.1 Örnekleme Alanların Seçimi ve Dağılımı	21
2.2.2 Örnekleme Alanlarında ve Örnek Ağaçlarda Yapılan Ölçümler	26
2.2.3 Laboratuvar Çalışmaları.....	31
2.2.4 Ağaç Hacim Tablolarının Düzenlenmesi	32
2.2.5 Toprak Üstü Biyokütle ve Karbon Depolama Miktarlarının Belirlenmesi	39
2.2.6 Karbon Depolama ve Oksijen Üretim Kapasitesinin Belirlenmesi	48
2.2.7 Yetiştirme Ortamı Verim Gücünün Belirlenmesi	49
2.2.8 Meşcere Parametrelerinin Hesaplanması	55
2.2.9 Meşcere Sıklığının Hesaplanması	59
2.2.10 Meşcere Verim Gücünün Hesaplanması... Hata! Yer işareti tanımlanmamış.	
2.2.11 Meşcere Biyokütle, Karbon Depolama ve Oksijen Üretim Kapasitesinin Belirlenmesi	60
2.2.12 Büyüme Modellerinin Oluşturulması	62
2.2.13 Odun Çeşidi Oranlarının Saptanması	76

3	BULGULAR	78
3.1	Örnek Alan Verilerine İlişkin Bulgular	78
3.2	Meşcere Boy Eğrilerine İlişkin Bulgular	80
3.3	Dip Çap ile Göğüs Çapı İlişkisi	81
3.4	Kabuklu Çap ile Kabuksuz Çap İlişkisi	82
3.5	Ağaç Hacim Tablolarına İlişkin Bulgular	83
3.5.1	Tek Girişli Ağaç Hacim Tablolarına İlişkin Bulgular	83
3.5.2	Bonitete Dayalı Tek Girişli Ağaç Hacim Tablolarına İlişkin Bulgular	83
3.5.3	Çift Girişli Ağaç Hacim Tablolarına İlişkin Bulgular	86
3.6	Biyokütle Denklemlerine İlişkin Bulgular	88
3.6.1	Tek Girişli Biyokütle Denklemlerine İlişkin Bulgular	89
3.6.2	Çift Girişli Biyokütle Denklemlerine İlişkin Bulgular	92
3.6.3	Tek ve Çift Girişli Biyokütle Denklemlerinin Kontrolüne İlişkin Bulgular	93
3.7	Karbon Depolama Denklemlerine İlişkin Bulgular	94
3.7.1	Karbon Depolama Denklemlerinin Kontrolüne İlişkin Bulgular	97
3.8	Yetiştirme Ortamı Verim Gücünün Belirlenmesine İlişkin Bulgular	98
3.9	Meşcere Büyüme Modellerinin Oluşturulmasına İlişkin Bulgular	105
3.9.1	Sıklığa Bağlı Hasılat Tablosunun Kalan Meşcere Öğelerine İlişkin Bulgular	105
3.9.2	Sıklığa Bağlı Hasılat Tablosunun Ayrılan Meşcere Öğelerine İlişkin Bulgular	106
3.9.3	Kızılcım Meşcereleri İçin Sıklığa Bağlı Hasılat Tablolarına İlişkin Bulgular	107
3.10	Tek Ağaç Büyüme Modellerinin Oluşturulmasına İlişkin Bulgular	120
3.10.1	Tek Ağaç Verilerinin Değerlendirilmesine İlişkin Bulgular	120
3.10.2	Tek Ağaç Boyuna İlişkin Bulgular	120
3.10.3	Tepe Boyutlarına İlişkin Bulgular	120
3.10.4	Tek Ağaç Çap Artım Modeline İlişkin Bulgular	121
3.10.5	Tek Ağaç Çap Artım Modelinin Denetimi ve Kontrolüne İlişkin Bulgular	123
3.11	Meşcere Biyokütlesinin Belirlenmesine İlişkin Bulgular	126
3.12	Karbon Depolama ve Oksijen Üretim Kapasitesinin Belirlenmesine İlişkin Bulgular	127
3.13	Odun Çeşidi Oranlarının Saptanmasına İlişkin Bulgular	129

4	TARTIŞMA.....	132
4.1	Ağaç Hacim Tablolarına İlişkin Tartışma	132
4.1.1	Tek Girişli ve Bonitete Dayalı Ağaç Hacim Tablolarına İlişkin Tartışma.....	132
4.1.2	Çift Girişli Ağaç Hacim Tablolarına İlişkin Tartışma	134
4.2	Yetiştirme Ortamı Verim Gücünün Belirlenmesine İlişkin Tartışma	138
4.3	Biyokütle Denklemlerine İlişkin Tartışma	142
4.3.1	Tek Girişli Biyokütle Denklemlerine İlişkin Tartışma	142
4.3.2	Çift Girişli Biyokütle Denklemlerine İlişkin Tartışma.....	146
4.4	Sıklığa Bağlı Hasılat Tablolarına İlişkin Tartışma	148
4.5	Tek Ağaç Modeline İlişkin Tartışma	156
4.6	Antalya ve Mersin Yöresi Saf Kızılçam Meşcerelerinin Karbon Depolama ve Oksijen Üretim Kapasitesine İlişkin Tartışma	158
4.7	Odun Ürün Çeşidi Oranlarına İlişkin Tartışma	158
5	SONUÇ ve ÖNERİLER	162
	KAYNAKLAR	170
	EKLER	Hata! Yer işareti tanımlanmamış.1

TABLolar DİZİNİ

Tablo 1. Antalya yıllık ortalama sıcaklık ve yağış tablosu (URL-1)	12
Tablo 2. Mersin yıllık ortalama sıcaklık ve yağış tablosu (URL-4)	13
Tablo 3. Örnek alanların ve kesilen ağaçların İşletme Müdürlüklerine göre alansal dağılımı.....	23
Tablo 4. Ölçüm yapılan örnek alanların çeşitli meşcere özellikleri itibariyle dağılımı	25
Tablo 5. Örnek alanlarda ağaçlar üzerinde ölçümü yapılan bazı özelliklere ilişkin istatistiksel değerler.....	27
Tablo 6. Kesilen ağaçlara ilişkin çeşitli istatistiksel değerler	28
Tablo 7. Örnek ağaçların çap ve boy basamaklarına dağılımı	29
Tablo 8. Gövde analizi yapılan örnek ağaçlara ilişkin bazı istatistiksel bilgiler	31
Tablo 9. Ağaç hacminin belirlenmesinde kullanılan örnek ağaçların çap ve boy basamaklarına dağılımı.....	35
Tablo 10. En çok kullanılan ağaç hacim modelleri	37
Tablo 11. Toprak üstü biyokütle, karbon depolama kapasitesinin belirlenmesinde kullanılan örnek ağaçlara ilişkin çeşitli istatistiksel bilgiler.....	43
Tablo 12. Toprak üstü biyokütle, karbon depolama kapasitesinin belirlenmesinde kullanılan örnek ağaçların çap ve boy basamaklarına dağılımı	44
Tablo 13. Çeşitli çalışmalarda kullanılan biyokütle modelleri	46
Tablo 14. Bonitetin belirlenmesinde kullanılan temel büyüme modelleri ve bu modellerden GADA yaklaşımlarına göre elde edilen dinamik bonitet endeks modelleri	51
Tablo 15. Yetiştirme ortamı verim gücünün belirlenmesinde kullanılan örnek ağaçlara ilişkin çeşitli istatistiksel bilgiler	54
Tablo 16. Meşcere verim gücü belirlenmesinde kullanılan örnek ağaçların çap ve boy basamaklarına dağılımı.....	54
Tablo 17. Yuvarlak odunların Türk standartlarına göre sınıflandırılması	76
Tablo 18. Örnek alan verilerine ilişkin bazı istatistiksel bilgiler.....	78
Tablo 19. Toprak üstü biyokütle, karbon depolama kapasitesinin belirlenmesinde kullanılan örnek ağaçların biyokütle bileşenlerine ilişkin çeşitli istatistiksel bilgiler	88

Tablo 20. Tek ağaç bileşenlerine ait tek girişli biyokütle denklemlerine ilişkin parametrelerin tahmin değerleri ile önemlilik düzeyleri	89
Tablo 21. Tek ağaç bileşenlerine ait çift girişli biyokütle denklemlerine ilişkin parametrelerin tahmin değerleri ile önemlilik düzeyleri	93
Tablo 22. Tek girişli toprak üstü biyokütle modelleri için yapılan varyansların eşitliği ve t-testi sonuçları	94
Tablo 23. Tek ağaç bileşenlerine ait tek girişli karbon depolama denklemlerine ilişkin parametrelerin tahmin değerleri ile önemlilik düzeyleri	95
Tablo 24. Tek ağaç bileşenlerine ait karbon depolama modelleri için yapılan varyansların eşitliği ve t-testi sonuçları	98
Tablo 25. GADA yaklaşımına göre elde edilen bonitet endeks denklemlerinin katsayıları ve denklemlerinin istatistiksel sonuçları.....	100
Tablo 26. Kızılçam için bonitet endeks sınıfı değerleri ve sınırları	104
Tablo 27. Kalan meşcere hacminin ve ortalama artımının meşcere yaşı, bonitet sınıfı ve sıklık derecesine göre değişimi.....	116
Tablo 28. Genel meşcere hacminin ve ortalama artımının meşcere yaşı, bonitet sınıfı ve sıklık derecesine göre değişimi.....	118
Tablo 29. Kızılçam için tek ağaçlarda hesaplanan bazı istatistiksel bilgiler	120
Tablo 30. Kızılçam meşcerelerinin ağaç gövde bileşenlerine göre yüzde cinsinden karbon depolama kapasitesi	127
Tablo 31. Örnek alanların ağaç bileşenlerine göre hesaplanmış toprak üstü biyokütlesine karşılık gelen karbon depolama miktarları (ton/ha)	128
Tablo 32. Odun ürün çeşidi modellerine ilişkin istatistiksel sonuçlar.....	129
Tablo 33. Ağaçların hacimlerinin göğüs çapı ve ağaç boyuna göre değişimi.....	133
Tablo 34. Çift girişli ağaç hacim modelleri kıyaslama verileri	136
Tablo 35. Kızılçam için bonitet endeksi değerlerinin karşılaştırılmasına ilişkin Wilcoxon testi sonuçları	141
Tablo 36. Antalya ve Mersin Orman Bölge Müdürlüğü'ndeki saf Kızılçam meşcerelerinin karbon depolama kapasiteleri ve oksijen üretim kapasiteleri (ton)	158

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.	Saf Kızılçam meşcerelerinin Türkiye'deki yayılışı ve çalışma alanı	14
Şekil 2.	Antalya ve Mersin Orman Bölge Müdürlüğündeki Kızılçam meşcerelerinden genel görünümüler	15
Şekil 3.	Antalya ve Mersin Orman Bölge Müdürlüğündeki Kızılçam meşcerelerinden genel görünümüler	16
Şekil 4.	Antalya ve Mersin Orman Bölge Müdürlüğündeki Kızılçam meşcerelerinden genel görünümüler	17
Şekil 5.	Antalya ve Mersin Orman Bölge Müdürlüğündeki Kızılçam meşcerelerinden genel görünümüler	18
Şekil 6.	Örnek alanların Antalya ve Mersin Orman Bölge Müdürlükleri bazında bakı gruplarına dağılımları	19
Şekil 7.	Örnek alanların Antalya ve Mersin Orman Bölge Müdürlükleri bazında yükselti basamaklarına dağılımları	20
Şekil 8.	Örnek alanların Antalya ve Mersin Orman Bölge Müdürlükleri bazında eğim gruplarına dağılımları	20
Şekil 9.	Antalya Orman Bölge Müdürlüğünde alınan örnek alanların İşletme Müdürlüklerine dağılımı	24
Şekil 10.	Mersin Orman Bölge Müdürlüğünde alınan örnek alanların İşletme Müdürlüklerine dağılımı	24
Şekil 11.	Örnek alanların sıklık derecesi (a), bonitet sınıfı (b) ve yaş sınıflarına (c) göre dağılımları	80
Şekil 12.	Dip çap ile göğüs çapı arasındaki ilişki grafiği	81
Şekil 13.	Kabuklu ve kabuksuz göğüs çapı arasındaki ilişki grafiği	83
Şekil 14.	Kızılçam tek girişli ve bonitete dayalı tek girişli ağaç hacim grafiği	85
Şekil 15.	Tek girişli ağaç hacim modellerinde kullanılan verilerin dağılımı	86
Şekil 16.	Ağaçların hacimlerinin göğüs çapı ve ağaç boyuna göre değişimi	87
Şekil 17.	Tek ağaç gövde fırın kurusu ağırlıkları ile göğüs çapı arasındaki ilişki	90
Şekil 18.	Tek ağaç kabuk fırın kurusu ağırlıkları ile göğüs çapı arasındaki ilişki	90
Şekil 19.	Tek ağaç dal fırın kurusu ağırlıkları ile göğüs çapı arasındaki ilişki	91
Şekil 20.	Tek ağaç ibre fırın kurusu ağırlıkları ile göğüs çapı arasındaki ilişki	91
Şekil 21.	Tek ağaç toprak üstü biyokütle fırın kurusu ağırlıkları ile göğüs çapı arasındaki ilişki	92

Şekil 22. Tek ağacın gövdesinde depolanan karbon miktarı ile göğüs çapı arasındaki ilişki.....	.95
Şekil 23. Tek ağacın dalında depolanan karbon miktarı ile göğüs çapı arasındaki ilişki.....	96
Şekil 24. Tek ağacın kabuğunda depolanan karbon miktarı ile göğüs çapı arasındaki ilişki.....	.96
Şekil 25. Tek ağacın ibresinde depolanan karbon miktarı ile göğüs çapı arasındaki ilişki.....	97
Şekil 26. Tek ağacın toprak üstü kısımlarında depolanan karbon miktarı ile göğüs çapı arasındaki ilişki.....	.97
Şekil 27. Örnek ağaçlara ilişkin farklı yaşlardaki boy değerlerini gösterir yaş-boy grafikleri	.99
Şekil 28. Kızılçam bonitet sınıflarına (a) ve 2'şer m aralıklı bonitet basamaklarına (b) ilişkin bonitet endeks eğrileri.....	.10
2	
Şekil 29. Kızılçam bonitet sınıflarına (a) ve 2'şer m aralıklı bonitet basamaklarına (b) ilişkin genel ortalama boy artımı değerleri.....	.10
2	
Şekil 30. Kızılçam bonitet endeksi modeline ilişkin hataların tahmin değerlerinde göre dağılımı.....	.10
3	
Şekil 31. Standart yaş seçiminde bonitet endeksi modelindeki boy değerlerinin 10'ar yıllık yaş sınıfları itibarıyla bağıl hata (a) ve hata kareler ortalamasının karekökü (b) değerleri.....	.10
4	
Şekil 32. Meşcere orta çapının, meşcere yaşı ve bonitet endeksine göre değişimi (sıklık derecesi = 8,0)	.10
8	
Şekil 33. Meşcere orta çapının, meşcere yaşı ve sıklık derecesine göre değişimi (bonitet endeksi = 23 m)	.10
8	
Şekil 34. Kalan meşcere hacminin meşcere yaşı ve bonitet endeksine göre değişimi (sıklık derecesi = 8,0)	.10
9	

- Şekil 35. Kalan meşcere hacminin meşcere yaşı ve sıklık derecesine göre değişimi
(bonitet endeksi = 23
m)10
9
- Şekil 36. Ağaç sayısının meşcere yaşı ve bonitet endeksine göre değişimi (sıklık derecesi =
8,0)11
0
- Şekil 37. Ağaç sayısının meşcere yaşı ve sıklık derecesine göre değişimi (bonitet endeksi =
m)11
0
- Şekil 38. Yıllık cari hacim artımının meşcere yaşı ve bonitet endeksine göre değişimi (sıklık derecesi =
8,0)11
1
- Şekil 39. Yıllık cari hacim artımının meşcere yaşı ve sıklık derecesine göre değişimi (bonitet endeksi =
m)11
2
- Şekil 40. Genel meşcere hacminin meşcere yaşı ve bonitet endeksine göre değişimi (sıklık derecesi =
8,0)11
2
- Şekil 41. Genel meşcere hacminin meşcere yaşı ve sıklık derecesine göre değişimi (bonitet endeksi =
m)11
3
- Şekil 42. Kalan meşcere ortalama hacim artımının meşcere yaşı ve bonitet endeksine göre değişimi (sıklık derecesi =
8,0)11
3
- Şekil 43. Kalan meşcere ortalama hacim artımının meşcere yaşı ve sıklık derecesine göre değişimi (bonitet endeksi =
m)11
4
- Şekil 44. Genel ortalama hacim artımının meşcere yaşı ve bonitet endeksine göre değişimi (sıklık derecesi =
8,0)11
4
- Şekil 45. Genel ortalama hacim artımının meşcere yaşı ve sıklık derecesine göre değişimi (bonitet endeksi =
m)11
5

Şekil 46. Kalan meşcere hacminin bonitet sınıfı ve sıklık derecesine göre değişimi (meşcere yaşı: 60 yıl)..... 7	.11
Şekil 47. Kalan meşcere ortalama hacim artımının bonitet sınıfı ve sıklık derecesine göre değişimi (meşcere yaşı: 60 yıl)..... 7	.11
Şekil 48. Genel meşcere hacminin bonitet sınıfı ve sıklık derecesine göre değişimi (meşcere yaşı: 60 yıl)..... 9	.11
Şekil 49. Genel ortalama hacim artımının bonitet sınıfı ve sıklık derecesine göre değişimi (meşcere yaşı: 60 yıl)..... 9	.11
Şekil 50. Kızılçam çap artımı modeline ilişkin hataların normal dağılım grafığı..... 4	.12
Şekil 51. Kızılçam çap artımı modeline ilişkin çap artımı ile tahmini çap artımı arasındaki ilişki..... 4	.12
Şekil 52. Kızılçam çap artımı modeline ilişkin standardize edilmiş hataların standardize edilmiş tahmin değerlerine göre dağılımı 5	.12
Şekil 53. Tek ağaç tomruk oranı ile göğüs çapı arasındaki ilişki..... 0	.13
Şekil 54. Tek ağaç sanayi odunu oranı ile göğüs çapı arasındaki ilişki..... 0	.13
Şekil 55. Tek ağaç maden direği oranı ile göğüs çapı arasındaki ilişki..... 1	.13
Şekil 56. Tek ağaç kabuk oranı ile göğüs çapı arasındaki ilişki..... 1	.13
Şekil 57. Ağaçların hacimlerinin göğüs çapı ve ağaç boyuna göre değişimi..... 2	.13

Şekil 58.	Çift girişli ağaç hacim modellerinin kıyaslanması	13
5		
Şekil 59.	Kızılçam bonitet endeksi değerlerinin karşılaştırılması (I. Bonitet Sınıfı)	13
8		
Şekil 60.	Kızılçam bonitet endeksi değerlerinin karşılaştırılması (II. Bonitet Sınıfı)	13
9		
Şekil 61.	Kızılçam bonitet endeksi değerlerinin karşılaştırılması (III. Bonitet Sınıfı)	13
9		
Şekil 62.	Tek girişli modellerle elde edilen gövde fırın kurusu ağırlığının çapa bağlı değişiminin kıyaslanması	14
3		
Şekil 63.	Tek girişli modellerle elde edilen dal fırın kurusu ağırlığının çapa bağlı değişiminin kıyaslanması	14
3		
Şekil 64.	Tek girişli modellerle elde edilen ibre fırın kurusu ağırlığının çapa bağlı değişiminin kıyaslanması	14
4		
Şekil 65.	Tek girişli modellerle elde edilen toprak üstü fırın kurusu ağırlığının çapa bağlı değişiminin kıyaslanması	14
5		
Şekil 66.	Çift girişli modellerle elde edilen gövde fırın kurusu ağırlığının çapa bağlı değişiminin kıyaslanması	14
6		
Şekil 67.	Çift girişli modellerle elde edilen toprak üstü toplam biyokütle fırın kurusu ağırlığının çapa bağlı değişiminin kıyaslanması	14
7		
Şekil 68.	I. bonitet sınıfında yıllık cari hacim artımı ile genel ortalama hacim artımı ilişkisi	14
9		
Şekil 69.	II. bonitet sınıfında yıllık cari hacim artımı ile genel ortalama hacim artımı ilişkisi	14
9		

Şekil 70. III. bonitet sınıfında yıllık cari hacim artımı ile genel ortalama hacim artımı ilişkisi	.15
0	
Şekil 71. Kızılçam için meşcere orta çapının karşılaştırılması	.15
1	
Şekil 72. Kızılçam için ağaç sayısının karşılaştırılması	.15
2	
Şekil 73. Kızılçam için göğüs yüzeyinin karşılaştırılması	.15
2	
Şekil 74. Kızılçam için kalan meşcere hacminin karşılaştırılması	.15
3	
Şekil 75. Kızılçam için yıllık cari hacim artımının karşılaştırılması	.15
4	
Şekil 76. Kızılçam için genel meşcere hacminin karşılaştırılması	.15
4	
Şekil 77. Kızılçam için genel ortalama hacim artımının karşılaştırılması	.15
5	
Şekil 78. Tek girişli modelle elde edilen Tomruk oranlarının kıyaslanması	.15
9	
Şekil 79. Tek girişli modelle elde edilen Maden Direği oranlarının kıyaslanması	.15
9	
Şekil 80. Tek girişli modelle elde edilen Sanayi Odunu oranlarının kıyaslanması	.16
0	
Şekil 81. Tek girişli modelle elde edilen Yakacak Odun oranlarının kıyaslanması	.16
0	
Şekil 82. Tek girişli modelle elde edilen Kabuk oranlarının kıyaslanması	.16
1	

ÖZET

Bu projede Antalya ve Mersin yöresi aynı yaşlı ve saf Kızılçam meşcereleri için artım ve büyüme modellerinin geliştirilmesi ve bu meşcerelerin yetiştirme ortamı verim gücü, odun ürünü çeşidi oranları, biyokütle miktarları, karbon depolama ve oksijen üretim kapasitelerinin belirlenmesi amaçlanmıştır. Bunun için yaş, yetiştirme ortamı verim gücü ve sıklık değişkenliğini yansıtacak şekilde tüm alana rasgele dağıtılmış 486 geçici örnek alanda ölçümler yapılmıştır. Ayrıca bu alanları temsilen 486 adedi göğüs yüzeyi orta ağacı ve 486 adedi galip ve ortak galip olmak üzere toplam 972 ağaç verisi kullanılmıştır.

Bonitet endeksi modeli olarak Hossfeld büyüme fonksiyonu ($M2:69$), tahmin gücü ($R^2: 0.948$) ve model hataları bakımından en iyi sonucu verdiği ve seri korelasyon problemin olmadığı ($D.W.=2.0099$) görülmektedir. Nispi hata (%RE) değerlerine göre en ideal standart yaş ve idare süresinin yaklaşık 60 yıl olduğu tespit edilmiştir. Tek girişli ağaç hacim tablosu değeri, I. (%-6.32) ve II. bonitet sınıflarında (%-0.45) bonitete dayalı tek girişli ağaç hacim modelleri değerinden düşük, III. bonitet sınıfında ise daha büyük değerler (%4.28) vermektedir. Çift girişli ağaç hacim denkleminin ilişkin belirtme katsayısı (R^2) 0.992 olup, toplam hata yüzdesi 0.210 ve ortalama mutlak hata yüzdesi ise 5.038'dir. Çift girişli biyokütle modellerinin gövde, dal, kabuk, ibre ve toprak üstü biyokütleyi modellemede tek girişli modellere göre sırasıyla %0.012 ($R^2:0.947$), %0.011 ($R^2:0.847$), %0.004 ($R^2:0.897$), %0.028 ($R^2:0.830$) ve %0.008 ($R^2:0.956$) oranında daha başarılı oldukları tespit edilmiştir. Ağaç bileşenlerine göre karbon depolama yüzdeleri en düşük değerden en yükseğe doğru sırasıyla, gövdede %50.72, ibrede %50.80, ibrede %51.71 ve kabukta %56.34 olarak elde edilmiştir.

Bunun yanısıra, çalışma sonuçları Kızılçamda yapılmış olan diğer çalışmalarla kıyaslanmıştır. Geliştirilen tek ağaç çap artım, ağaç hacim, biyokütle ve karbon depolama modelleri bağımsız bir veri grubu ile kontrol edilmiş ve $\alpha = 0,05$ önem düzeyinde kullanılabilecekleri sonucuna varılmıştır. Elde edilen biyokütle modelleri, diğer Akdeniz yöresindeki Kızılçam meşcerelerindeki ağaçların toprak üstü biyokütlesini belirlemede kullanılabilir.

Anahtar Kelimeler: Büyüme modeli, bonitet, ağaç hacim tablosu, biyokütle, üretim, karbon depolama, odun çeşidi oranı

ABSTRACT

The aim of this project was to develop growth and yield models and estimate site index, volume, raw wood products, above ground biomass, carbon storage and oxygen producing capacity of the pure Calabrian Pine stands (*Pinus brutia* Ten.) within the border of Antalya and Mersin Regional Forest Directorates, Turkey. The data were obtained from 972 stem analysis trees in 486 temporary sample plots based on stand ages, site index, and density.

The best result for the site index model was obtained from the Hossfeld's growth equation (adj- $R^2=0.948$). Using the autoregressive modelling, the Durbin-Watson coefficient (D.W.=2.0099) value was calculated very close to the ideal value of 2.0 indicating no significant serial autocorrelation problem. The optimum base age as well as rotation age was found to be 60 years based on relative error. The first (%6.32) and the second (%0.45) site index values overestimated single-entry tree table values whereas the third site index values (%-4.28) underestimated the single-entry tree table values. The coefficient of determination (adj- $R^2=0.992$), total percent error (PE=0.210), and mean absolute percentage error (MAPE=5.038) of the double-entry volume equation were estimated. The double-entry biomass equations for stems, branches, barks, needles and above-ground biomass were %0.012 ($R^2=0.947$), %0.011 ($R^2=0.847$), %0.004 ($R^2=0.897$), %0.028 ($R^2=0.830$), and %0.008 ($R^2=0.956$) more successful than single-entry biomass equations. The percentage of carbon storage capacity for stems, branches, needles, and barks were %50.72, %50.80, %51.71, and %56.34, respectively.

The results of current study were compared to those of previous studies. The developed diameter growth, tree volume, biomass and carbon storage models were compared with the independent data for model validation. The results showed that the present models can be used at 0.05 significance level. The models obtained in this study can be used for estimating above-ground biomass of tree in the other parts of Mediterranean region of Turkey.

Keywords: Growth model, stand model, site index, tree volume table, above-ground biomass, oxygen production, carbon storage, wood product type rates

1 GENEL BİLGİLER

1.1 Giriş

Orman ürünlerine duyulan ihtiyaç ve bu ihtiyacın, geliştirilen pek çok teknolojik ürünlere karşın artarak devam etmesi, ormanların modern planlarla işletilmesini zorunlu hale getirmiştir. Artım ve büyüme olaylarının çok iyi kavranması ve işletme amacını gerçekleştirecek şekilde denetimi sözü edilen nitelikteki planların düzenlenmesinde temel koşullardan biridir.

Büyüme modelleri ormanların planlanmasında kullanılan en önemli araçlardan birisidir. Çünkü büyüme modellerini geliştirmeden, meşcerelerin gelecekte hangi yapıda olacaklarını, artım miktarlarının ne kadar olacağını, uygulanacak silvikültürel müdahalelerin artım ve büyüme üzerindeki etkilerinin yönü ve derecesinin belirlenmesi, ayrıca planlama seçeneklerinin oluşturulması mümkün değildir. Özellikle karar verme sürecinde alternatifler oluşturulurken, uygulanacak müdahaleler karşısında ormanın zamana göre projeksiyonun yapılması, servet ve artımının zamana göre hesaplanması ve dolayısıyla optimale karar verilmesi ancak meşcere büyümesinin modellenmesiyle mümkündür (Başkent vd., 2002).

Yaklaşık 250 yıllık bir geçmişe sahip büyüme modellerindeki ilk hasılat çalışmaları, eşit yaşlı saf meşcerelerde yapılmıştır. Schwappach'a göre hasılat tablosu oluşturulmasına ilişkin ilk düşünceler Réaumer tarafından 1721 yılında ortaya atılmıştır. 18. yüzyılın sonları ve 19. yüzyılın başlarında Öttelt (1765), Hennert (1791), Paulsen (1795), Hartig (1795) ve Cotta (1821) tarafından oluşturulan ilk hasılat tabloları günümüzdeki hasılat tablolarının daha basit şekilde görünümü şeklinde düzenlenmiştir. Pretzsch (2009), büyüme modellerini sınırlı sayıda verilerle basit bir tablo şeklinde düzenlenmiş hasılat tabloları (18 yy. son çeyreğinden 19 yy. son çeyreğine kadar), yaş ve yetiştirme ortamı verim gücü değişkenlerine göre düzenlenmiş normal hasılat tabloları (19 yy. son çeyreğinden 20 yy. son çeyreğine kadar), büyüme ilişkilerinin bilgisayar destekli matematiksel denklemlerle hesaplandığı hasılat modelleri (20 yy. ilk çeyreğinden 20 yy. son çeyreğine kadar) ve yüksek belleğe sahip bilgisayarlarda dahi zorlukla koşturulabilen çok ayrıntılı meşcere simülasyon modelleri (20 yy. son çeyreğinden günümüze kadar) gibi dört gelişim dönemine ayırmıştır (Kahriman, 2011).

Ülkemizde ise; hasılat araştırmaları ilk defa 1943 yılında Fırat tarafından Fıstık çamı ormanlarında yapılmıştır (Yavuz, 1992). Bu çalışmayı takiben birçok araştırmacı tarafından çeşitli araştırmalar yapılmış, hasılat tabloları düzenlenmiştir. Eraslan 1954 yılında Trakya yöresi meşe meşcerelerinin yapılarının incelenmesi, bonitet ve hacim değerlerinin belirlenerek amenajman esaslarının açıklanması üzerine bir çalışma yapmıştır. Daha sonra eşit yaşlı, saf ve müdahale görmemiş meşcerelerden alınan geçici örnek alan verileri kullanılarak Kızılcım (Alemdağ, 1962), Sedir (Evcimen, 1963), Karaçam (Kalıpsız, 1963), Sarıçam (Alemdağ, 1967),

Doğu Ladini (Akalp, 1978a), Kazdağı Göknarı (Asan, 1984), Boylu ardıç (Eler, 1986), Kızılağaç (Batu ve Kapucu, 1995), Kayın (Carus, 1998) ve Dişbudak (Kapucu vd., 1999) ağaç türleri için normal hasılat tabloları düzenlenmiştir. Ayrıca Sarıkamış yöresi Sarıçam meşcereleri için Erdemir (1974) ve Batı Karadeniz Yöresi Sarıçam meşcereleri için Şenyurt (2011) ve bunlardan başka Doğu Anadolu ve Doğu Karadeniz Bölgesi Titrek Kavak meşcereleri için Yavuz vd. (2006) tarafından yöresel hasılat tabloları düzenlenmiştir. Ayrıca Karaca (2012) tarafından Bucak-Çamlık Orman İşletme Şefliği sınırları içerisinde yer alan müdahale görmüş kızılçam meşcerelerini Alemdağ (1962), Yeşil (1992), Erkan (1996) ve Çatal (2009) tarafından düzenlenen kızılçam (*Pinus brutia* Ten.) normal hasılat tablosu değerlerini karşılaştırmıştır.

Normal hasılat tablolarından farklı olarak yaş ve yetiştirme ortamı verim gücü değişkenlerine ek olarak sıklığı hesaba katan sıklığa bağlı hasılat tabloları da geliştirilmiştir. Ülkemizde Kızılçam (Yeşil, 1992) ve Kestane (Kapucu vd., 2002) ağaç türleri için ülke genelinde sıklığa bağlı hasılat tabloları düzenlenmiştir. K. T. Ü. Araştırma Ormanı (Köse vd., 2001) ile Artvin Merkez Orman İşletme Şefliği (Ercanlı, 2003) sınırları içerisinde yer alan Doğu Ladini, Yalnızçam ve Uğurlu (Erzurum) İşletme Şefliklerinde Sarıçam (Ercanlı vd., 2007a) ve Sinop Merkez ve Bektaşağa İşletme Şefliklerinde Sahilçamı ağaçlandırmaları (Ercanlı vd., 2007b) için yöresel sıklığa bağlı hasılat tabloları düzenlenmiştir. Ülkemizde değişik yaşlı meşcerelerin büyüme ilişkilerini inceleyen araştırmalar, Doğu Kayını (Kalıpsız, 1962; Atıcı, 1998), Doğu Ladini (Akalp, 1983; Yavuz, 1992), Batı Karadeniz Göknarı (Saraçoğlu, 1988) ağaç türleri için yapılmıştır. Ülkemizdeki yapay meşcerelerden Sahil Çamı (Birler ve Yüksel, 1983; Özcan 2002), Kızılçam (Usta, 1991), Melez Kavak (Birler 1983), Okalptüs (Birler vd. 1995), Dişbudak (Kapucu vd., 1999), ve Karaçam (Mısır, 2003) ağaç türleri için büyüme modelleri oluşturulmuştur.

Ayrıca, günümüze kadar ülkemizde karışık meşcerelerin silvikültürel durumlarını ve büyüme ilişkilerini ortaya koyan çalışmalar, Alemdağ (1961), Kapucu (1978), Çalışkan (1989), Demirci (1991), Tosun (1992), Çatal (2002), Durkaya (2004), Yücesan (2006), Ercanlı (2010), Yavuz vd. (2010) ve Kahriman (2011) tarafından yapılmıştır. Alemdağ (1961) Giresun Orman İşletme Müdürlüğü, Kulakkaya Orman İşletme Şefliğinde Ladin – Sarıçam karışık meşceresinin kuruluşunu, ağaç servetini ve artımını, Kapucu, (1978) yılında Ladin-Sarıçam-Göknar-Kayın karışık meşcereleri için meşcere kuruluşları ve amenajman ilişkilerini, Çalışkan (1989) Karabük Büyükdüz Araştırma Ormanı Sarıçam-Göknar-Kayın karışık meşcerelerinde büyüme ilişkilerini ve silvikültürel işlemlerini, Demirci (1991) yılında Ladin-Kayın karışık meşcerelerinin gençleştirilmesini, Tosun (1992) Batı Karadeniz Bölgesindeki Sarıçam, Kayın ve Uludağ Göknarının oluşturduğu karışık meşcerelerde, yaş-boy gelişimini, Çatal (2002) Isparta yöresinde Kızılçamın Karaçam ile geçiş zonunda oluşturdukları karışık meşcerelerde büyüme özelliklerini, Durkaya, (2004) yılında Zonguldak Orman Bölge Müdürlüğü Sarıçam-Göknar-Kayın karışık meşcerelerinde artım ve büyüme ilişkilerini, Yücesan (2006) Çamlıhemşin-Fırtına

vadisi yüksek dağlık alanlardaki saf ve karışık ormanlarında meşcere kuruluşlarını ve yapısal değişikliklerini, Ercanlı (2010) Trabzon ve Giresun yöresi Doğu Ladini-Sarıçam karışık meşcerelerin büyüme ilişkilerini modellemek üzere sıklığa bağlı hasılat tabloları ile uzaklıktan bağımsız ve uzaklığa bağlı tek ağaç modelleri, Yavuz vd. (2010) Karadeniz Bölgesindeki Sarıçamın hakim ağaç türü olduğu ikili karışıklı meşcerelerden oluşan planlama birimleri için mekanistik büyüme modellerini, Kahrıman (2011) Karadeniz Bölgesi Sarıçam-Doğu Kayını karışık meşcerelerin büyüme ilişkilerini modellemek üzere sıklığa bağlı hasılat tabloları ile uzaklıktan bağımsız ve uzaklığa bağlı tek ağaç modellerini incelemiştir.

Meşcere modellerinin oluşturulmasında kullanılan meşcere hacminin doğru bir şekilde hesaplanması gerekmektedir. Bu amaçla meşcerelerdeki ağaçların hacimleri tek veya çift girişli olacak şekilde doğru bir şekilde tahmin edilmelidir. Bilindiği üzere ağaç serveti meşceredeki her bir ağacın hacimleri toplamından oluşmaktadır. Tüm ağaç gövdeleri silindirik, parabolit, koni ve naylonit gibi bilinen geometrik şekillere tam olarak benzemediğinden analitik yöntemlerle ağaç hacmini doğrudan hesaplamak mümkün olmamaktadır. Buna karşın ağaç hacmini belirli bir hata miktarı ile tahmin eden pek çok yöntem geliştirilmiştir. Bunlardan en çok kullanılanı “Ağaç Hacim Tabloları” yöntemidir (Yavuz ve Sakıcı, 2002).

Ağaç hacim tablolarının düzenlenmesinde temel amaç; ağaçların göğüs çapı ve boyu gibi kolay ölçülebilen boyutları ile hacim arasındaki ilişkinin belirlenmesi ve bu ilişkiye bağlı olarak ağaç hacminin tahmin edilmesidir. Bu amaçla örnek ağaçlar, ilgilenilen orman toplumlarındaki tüm çap ve boy ile gövde şekli farklılığını yansıtabilecek özellikte ve yeterli sayıda seçilmesi gerekir. Bu çalışmada örnek ağaç seçiminde her çap basamağından ve aynı çap basamağı içinde farklı boylara sahip ağaçların seçilmesine özen gösterilmiştir. Böylece hem örnek sayısı hem de özellik bakımından örnek ağaçların seçiminde gerekli koşullar sağlanacaktır (Pehlivan, 2010). Tek ağaçların incelenmesinde, değişik yetişme ortamlarından ve farklı sosyal sınıflardan seçilen örnek ağaçlarda yapılan gövde analizlerinden yararlanılmaktadır. Böylece, farklı koşulların artım ve büyümeye etki biçimi, tipik bireyler üzerinde görülebilmekte veya belli koşulları temsil eden bireylerin genel eğilimleri olarak elde edilmektedir (Saraçoğlu, 1988). Ağaç hacim tablolarının düzenlenmesi amacıyla değişik yöntemler kullanılmaktadır. Spurr (1952), bu yöntemleri “Doğrudan Yöntemler” ve “Dolaylı Yöntemler” olarak sınıflandırmıştır. Dolaylı yöntemde ağaç hacim tablosu yapılacak ağaç türünün göğüs boyu şekil katsayısı çeşitli çap ve boy basamakları için hesaplanır. Ardından bu şekil katsayıları kullanılarak ağaç hacimleri bulunmaktadır. Miraboğlu (1955), ülkemizdeki göknar türleri için düzenlediği ağaç hacim tablolarında bu yöntemi kullanmıştır. Ağaç hacim tabloları doğrudan yöntemle düzenlenirken ise şekil katsayısı kullanılmamakta; bunun yerine hacim, göğüs çapı ve ağaç boyu ile doğrudan ilişkiye getirilmektedir (Alemdağ, 1962 ve 1983; Asan, 1984).

Ormanların karbon depolaması, dünyayı tehdit eden en önemli çevresel problemlerden biri olan küresel ısınmaya karşı alınabilecek en önemli önlemlerden biridir. Havadaki CO₂'in organik madde haline dönüşmesi, bitkilerin yaprak miktarına bağlıdır. Ormanlar diğer bitki topluluklarına göre en fazla yaprak miktarına sahip olduklarından meralara ve tarımsal bitki topluluklarına oranla daha fazla CO₂ tüketmektedir. Bu nedenle küresel ısınmanın önlenmesinde en önemli faktör olarak ormanlarımız öne çıkmaktadır.

Biyokütle çalışmaları; ekosistemlerdeki madde dağılımını, dolaşımını ve ekosistem dinamiklerini anlamada, ormanların karbon stoklarını ve yıllık karbon depolama güçlerini saptamada, orman yangınlarının davranışlarının tahmininde ve biyoenerji potansiyelinin saptanmasında temel altlık olarak kullanılmaktadır. Son yıllarda, artan petrol fiyatları, mevcut petrol rezervlerinin 25-50 yıl gibi bir sürede bitme ihtimali (yeni rezervler bulunmazsa) ve artan atmosferik karbondioksit konsantrasyonu gibi nedenlerle fosil yakıtlara alternatif yakıt kaynaklarının bulunması araştırmaları önem kazanmıştır. Bu alternatif kaynaklardan biride biyokütleden elde edilecek enerjidir (Pretzsch (2009).

Orman biyokütlesi, yeryüzündeki toprak üstü karbonun %80'ini ve toprakaltı karbonun da %40'ini içermektedir (Dixon vd., 1994; Goodale vd., 2002). Bu yönleriyle ormanlar atmosferik karbondioksit (CO₂) için önemli bir havuz olarak görülürler ve atmosferik CO₂ için potansiyel bir geçici depo görevi üstlenirler. Bir orman alanının hayat döngüsü boyunca toprak üstü ve toprak altı biyokütlesindeki gelişim ile ilgili bilgiler, bölgesel ve ulusal bazda doğru biyokütle ve karbon havuzu miktarlarının bilinmesini gerektirmektedir (Saraçoğlu, 1990; Vogt, 1991; Kurz vd., 1996; Brown, 2002; Peichl ve Arain, 2007).

Ormanların depoladığı toplam karbon ve yıllık depolama miktarı, gelecekte dünyamızı tehdit edecek en önemli çevresel probleminden biri olan küresel ısınmaya karşı alınacak önlemlerin şekillendirilmesinde baz alınacak önemli verilerden birini oluşturmaktadır. Uluslar Arası İklim Değişimi Paneli (IPCC), dünya sıcaklığının gelecek yüzyılda 1.4-5.8 °C arasında artacağını tahmin etmektedir (Anonim, 2001). Atmosferdeki CO₂ miktarı endüstri devrimi öncesi 250 ppm iken, bu oran son yıllarda 370 ppm'e doğru tırmanmaktadır. Yirmi birinci yüzyılın ortalarına doğru bu rakamın 500-600 ppm'e çıkabileceği tahmin edilmektedir (Goudie, 1993). Bilim adamlarının çoğu CO₂'nin atmosferdeki miktarının giderek artacağını ve bunun sonucu olarak küresel ısınma ve sera etkisinin de artacağına inanmaktadırlar (Yavuz vd., 2010).

Türkiye genelinde düzenli bir biçimde dağıtılan 18 adet meteoroloji istasyonunun 1939-1989 yılları arasında 50 yıllık kayıtları analiz edilip, söz konusu periyot sonunda minimal ortalama sıcaklığın 0,63 °C yükseldiğini belirlenmiştir (Asan, 1995). Dünyamızda 20. yüzyılın en sıcak 10 yılı son 15 yılda oluşmuştur. Bunların içinde en sıcak yıl 1998 yılı olduğu belirtilmektedir (Anonim, 2001). Tüm bu etkenler, küresel ısınmaya karşı alınacak önlemlerin belirlenmesinde ormanların biyokütle üretim kapasitelerinin ve dolayısı ile karbon depolama potansiyellerinin

hesaplanmasının nedenli önemli olduğunu vurgulayan gerekçeleri göz önüne sermektedir (Saraçoğlu, 2008; Yavuz, vd., 2010).

Eşit yaşlı meşcerelerde kök-gövde-dal ve yaprak ağırlığı oranları ile gövdenin odun çeşidi oranları, ağaç türü, meşçere yaşı, meşçere sıklığı ve meşçere verim gücüne bağlı olarak değişmektedir (Kalıpsız, 1984). Ağaçların gövdeleri, diğer ağaç bileşenlerine (dal, yaprak, kök) oranla daha büyük katılım yüzdesine sahiptir. Gövdelerin kalınlaşmasıyla birlikte kullanılacak (yapacak) odun ve özellikle de tomruk hacmi artmaktadır. Kalın çaplı tomruklar daha pahalı oldukları için, eşit yaşlı meşcerede yaşa bağlı olarak sürekli bir değer artışı oluşmaktadır (Saraçoğlu, 2002). Orman ürünleri sahip oldukları önemden dolayı da, orman ürünlerinin fiyatı; türüne, yöresine ve mevsimine göre farklılık göstermektedir. Zira orman ürünleri, nüfus artışıyla orantılı olarak arttırılamayacağı için, fiyatları sürekli olarak yükseliş göstermektedir (Kalıpsız, 1982). Bu sebeple orman ürünlerinin çeşitlerini ve miktarlarını doğru şekilde tespit etmek, gerek orman planlayıcılar ve gerekse araştırmacılar açısından oldukça önemlidir.

Ürün çeşitliliğinin yapılmasındaki amaç; kayıp ve artıkları azaltma, hasılayı artırma, stoklamayı kolaylaştırma ve ucuzlatma, taşıma masraflarını azaltma, maliyeti düşürme, kalite, güvenilirlik, ürünlerin aynı esaslara göre mukayeselerini mümkün kılma, arz ve talep dengesini daha iyi sağlama, alım-satım ve sözleşmelerde yanlış anlamaları ve ihtilafları azaltma olarak bahsedilebilir. Ayrıca ürün çeşitliliği bir ürün üzerinde kalite ve belli ölçülerde anlayış birliğinin oluşmasını sağlamaktadır. Bu anlam çerçevesinde; alıcı, herhangi bir ürünü görmeden standardına göre hangi boyutlarda, hangi kalitede ve hangi görünüş özelliklerinde olduğu hususunda bir yargıya varmakta ve ona göre ürüne talip olabilmektedir. Bu konuda yapılan önemli araştırmaların birinde temel ağaç türlerimizden olan kızılçam, karaçam, sarıçam, sedir, göknar, ladin ve kayın için hem tek ağaç ürün çeşidi hacim oranları ve hem de bu türlere ait tomruk, direk, sanayi odunu ve yakacak odunun tek ağaç ve hektardaki ürün çeşidi hacim oranları saptanmıştır (Sun vd., 1978). Ayrıca, Uzun (2015) Antalya yöresi Kızılçam meşcerelerinin bonitet sınıflarına göre ürün çeşitliliğini ortaya koymuştur.

Orman Genel Müdürlüğü piyasadaki gelişme ve orman sanayinin hammadde beklentilerine bağlı olarak endüstriyel odun üretimi, 2012 yılında 14,4 milyon m³ olmuştur (OGM, 2013a). Sektörün 28 milyon m³ yıllık odun talebinin %70'ini endüstriyel odun oluşturmaktadır. Endüstriyel odun talebinin yaklaşık 13-14 milyon m³'ü devlet ormanlarından, 3-3,5 milyon m³'ü özel sektör kavak üretiminden karşılanmakta, talebin geriye kalan kısmı (1-1.5 milyon m³) ithal edilmektedir (OGM, 2013a). Ülkemizde 2012 yılına ait endüstriyel odun üretiminin (14.424.365 m³) cinslere göre dağılımı; 5.424.794 m³ lif-yonga (%37.6), 5.027.738 m³ tomruk (%34.9), 2.333.651 m³ kağıtlık odun (%16.2), 874.793 m³ sanayi odunu (%6.1), 692.944 m³ maden direği (%4.8), 59.613 m³ tel direği (%0.4) ve 10.832 m³ sırık (%0.1) olarak belirlenmiştir (OGM, 2013b).

Orman işletmelerinin teknik ve ekonomik yönden planlanabilmesi için meşcerelerin özelliklerinin bilinmesi gerekmektedir (Özçelik, 2002). Meşcere özellikleri içinde, meşcerenin herhangi bir yaşta ne kadar üretim yapabileceğinin bilinmesi önem taşımaktadır (Günel, 1982). Yetiştirme ortamı verim gücünün bilinmesi ile orman işletmelerinde hasılat tahmin edilebilecek ve meşcerenin olması gereken yapıdan ne kadar farklı olduğu belirlenebilecek, böylece meşcereye yapılacak müdahalelerin çeşit ve şiddeti ortaya konulabilecektir. Bundan dolayı, ormancılık uygulamalarında her yetiştirme ortamı verim gücünün bilinmesi gerekmektedir. Verim gücü, meşcerelerin büyüüp geliştiği yetiştirme ortamının verimliliğini, hasılat ve üretim gücünü ortaya koyan bir terim olarak tanımlanmaktadır (Eraslan, 1982).

Eşit yaşlı meşcerelerde yetiştirme ortamı verim gücü genellikle meşcere yaşı ve üst boyuna bağlı olarak belirlenmektedir. (Eraslan, 1982; Günel, 1982; Kalıpsız, 1998). Meşcere boy gelişimi üzerinde etkili olan meşcere yaşını sabit tutmak için ise, standart yaş olarak isimlendirilen belirli bir yaştaki üst boy değeri, yetiştirme ortamı verim gücü göstergesi olarak kullanılmaktadır (Kalıpsız, 1998). Bu bakımdan standart yaştaki üst boy değeri, bonitet endeksi olarak adlandırılmaktadır. Yetiştirme ortamı verim gücü göstergesi olarak, yaş-boy ilişkisi genel bir kabul görmüş ve yaygın bir biçimde kullanılmaktadır (Clutter vd., 1983; Carmean ve Lenthall, 1989).

İlk bonitet endeksi eğrileri Anamorfik Yöntem (Kılavuz Eğri Yöntemi) ile Bruce tarafından 1920 yılında oluşturulmuş olup, matematiksel ifadesi olmadan grafik şeklinde oluşturulmuştur (Subedi vd., 2009). Matematiksel yaklaşımla bonitet endeksi eğrileri ilk olarak Gevorkiantz tarafından 1956 ve 1957 yıllarında ve Plonski tarafından 1956 ve 1960 yıllarında çam ve ladin meşcerelerinde oluşturulmuştur. Daha sonraki yıllarda eşit yaşlı meşcereler için devamlı deneme alanlarının tesis edilemediği ve periyodik ölçümlerin yapılamadığı türler için, gövde analizleri ile elde edilen hâkim ağaçların yaş-boy ilişkisine bağlı olarak Polimorfik yöntem ile verim gücü belirlenmiş ve bonitetleme yapılmıştır (Wang vd., 2008).

Bonitet tablosunun düzenlenmesi için aynı yaşlı ormanlarda meşceredeki galip ağaçların boyunu esas alan anamorfik ve polimorfik bonitet belirleme yöntemleri yaygındır (Eler, 1993; Eler ve Carus, 2006). Yaşın fonksiyonu olarak meşcere üst boy değerlerinin yardımıyla, dengelenmiş kılavuz eğriden faydalanılarak anamorfik yöntemi esas alan çalışmalar Meşe (Eraslan, 1954; Eraslan ve Evcimen, 1967), Kızılçam (Alemdağ, 1962), Toros Sediri (Evcimen, 1963), Anadolu Karaçamı (Kalıpsız, 1963), Sarıçam (Alemdağ, 1967; Erdemir, 1974), Boylu Ardıç (Eler, 1986), Kazdağı Göknarı (Asan, 1984), Kızılağaç (Batu ve Kapucu, 1995), Kayın (Carus, 1998), Dişbudak (Kapucu vd., 1999) ve Kestane (Kapucu vd., 2002), Karaçam ağaçlandırma meşcereleri (Mısır, 2003) ağaç türleri için yapılmıştır. Bu yöntemde iki yetiştirme ortamı verim gücü (bonitet) eğrisi arasındaki oranın her yaş için sabit kalacağı kabul edilmiştir (Günel, 1982; Eler ve Carus, 2006). Anamorfik yöntemde görülen sakıncaların ortadan

kaldırılması amacıyla da, gövde analizlerinden yararlanılmıştır (Kalıpsız, 1963; Akalp 1978b; Birler vd., 1983; Asan, 1984; Yeşil, 1992).

Meşceredeki galip ağaçları esas alıp, bunların gövde analizlerinden elde edilen boylanma eğrilerini kullanan polimorfik yöntemin temelleri Spurr (1952) tarafından atılmış ve ülkemizde ilk defa Doğu Ladini meşcereleri için, Akalp (1978a) tarafından uygulanmıştır. Daha sonra Melez Kavağı (Birler, 1983), Kızılçamın ağaçlandırma yoluyla kurulmuş meşcereleri için Usta (1990), Ökalyptus (Birler vd., 1995), Sahilçamı (Özcan, 2002) Titrek Kavak (Bayburtlu, (2007) ve Sedir (Aydın, 2008) ağaç türleri için bonitet endeks tabloları oluşturulmuştur. Bunlardan başka, Yavuz vd. (2010), Karadeniz Bölgesi Saf ve Karışık Sarıçam meşcerelerinde; Ercanlı (2010), Trabzon ve Giresun Orman Bölge Müdürlükleri'ndeki Doğu Ladini-Sarıçam karışık meşcerelerinde ve Kahriman (2011)'de, Karadeniz Bölgesi'ndeki Sarıçam-Doğu Kayını meşcerelerinde cebirsel fark yaklaşımına dayanan polimorfik yöntem yardımıyla bonitet endeksi çalışmaları yapmışlardır. Ayrıca Ercanlı vd. (2014) tarafından Çankırı yöresi Sarıçam meşcereleri için otoregresif modelleme yaklaşımı ile dinamik bonitet endeksi modelleri geliştirmişlerdir.

Anamorfik ve polimorfik bonitet belirleme yöntemleri yanı sıra bonitet göstergesi eğrilerinin oluşturulduğu bakımından anamorfik ve polimorfik yöntemlerden farklı olan ve Curtis vd. (1974) tarafından önerilen, daha sonraki yıllarda da değişik araştırmacılar (Barret, 1978; Dolph, 1983; Cochran, 1985; Asan, 1987; Yeşil, 1992) tarafından kullanılan yöntem de bonitet araştırmalarında kullanılmıştır. Bu yöntemde, gövde analizlerinin onar yıllık yaş basamaklarındaki boyları, standart yaştaki boylar ile ilişkiye getirilerek, her yaş basamağı için ayrı bir doğrusal denklem elde edilmektedir. Daha sonra bu denklemlerin katsayıları dengelenerek bonitet tablosu oluşturulmaktadır (Çatal, 2009).

Geçici örnek alanlardan elde edilen meşcere yaşı ve üst boy değerleri ile sadece anamorfik bonitet endeksleri elde edilebilmektedir. Anamorfik yöntem uygulamadaki kolaylığı nedeniyle önemli oranda kabul görmüş olmasına karşın, elde edilen bonitet eğrilerinin, kılavuz eğri olarak adlandırılan tek bir eğriyle orantılı olarak oluşturulmaları, gerek iyi gerekse kötü bonitetlerde aynı şekilde seyretmesi ve ayrıca standart yaştaki boy farkı oranlarının diğer yaşlarda da aynı olması gibi büyüme kanuniyetlerine aykırı varsayımlara dayanmaktadır (Günel, 1982). Gövde analizi tekniği ile hakim ağaçlardan elde edilen yaş-boy verilerine bağlı olarak verim güçlerine göre her bir sınıf için ayrı ayrı olmak üzere yaş-boy ilişkileri ve denklemleri elde edilebilmektedir. Elde edilen bu eğriler polimorfik olmaktadır (Gadow ve Hui, 1999). Diğer taraftan, bu yöntemle elde edilen bonitet eğrileri ile sadece her bir verim gücü sınıfının orta değerleri elde edilebilmektedir. Bonitet sınıflarının aralarına düşen meşcerelerin bonitet endeks değerleri ise ancak enterpolasyonla hesaplanabilmektedir. Bonitet endeks eğrileri klasik polimorfik yöntemde, ağaçların kesit yüksekliğini aldığı yıl sayısının bir fonksiyonu olarak

geliştirilmektedir. Kesit yüksekliğini aldığı yıl sayısı değişkenine ağacın verim gücüne ilişkin bonitet endeksinin eklenmesi durumunda tümüyle polimorfik eğri elde edilebilmektedir. İkinci değişkenin eklenmesiyle geliştirilen denklemler bonitet endeks modelleri (Site Index Models) olarak adlandırılmaktadır (McDill ve Amaties, 1992). Yaş-boy denklemlerine bonitet endeksinin (Site Index=SI) bir bağımsız değişken olarak eklenmesi, tek bir standart yaş yerine herhangi bir yaşı standart yaş olarak seçilebilmesine ve aynı bonitet endeks eğrisi üzerinde farklı standart yaş değerlerinin kullanılmasını karşın, bu eğri üzerindeki herhangi bir yaş için tahmin edilen boy değerinin değişmeden tahmin edilmesine olanak sağlar (Cieszewski, 2001; Harrison vd., 2002; Cieszewski, 2003). Standart yaş değerinin istenen biçimde değiştirilmesi ile boy tahminlerinin bundan etkilenmemesini sağlayan bu yöntem, Farklı Denklemler Yaklaşımı Yöntemi (The Difference Equation Method) olarak adlandırılmaktadır.

1.2 Kızılçamın Yayılışı ve Ülkemiz İçin Önemi

Oldukça geniş bir bölgede doğal yayılış gösteren kızılçam, kuzey yarım kürede yaklaşık 32° - 45° kuzey enlemleri ile 15° - 45° doğu boylamları arasında kalan alanda bulunmaktadır (Kayacık, 1965). Kızılçamın yayılış gösterdiği alanların en batı noktası İtalya'nın güneyinde bulunan Kalabriya yarımadası, en doğu noktası ise Irak'ın kuzeyinde bulunan Zawita – Atrush olduğu belirtilmektedir (Asmaz, 1993). Kuzey kesimlerde Kırım'a kadar çıkan bu tür, güney kesimlerde ise Lübnan ve Filistin'e kadar inmektedir (Kayacık, 1965). Bu sınırlar içerisinde Yunanistan, Suriye, Irak ve Kıbrıs'ta da yayılış göstermektedir (Nahal, 1986; Quzel 1986). Ayrıca, doğal yayılış yaptığı yerler arasında Gürcistan, Orta Kafkasya yakınları, Rusya'nın Karadeniz sahili, Kırım yarımadası da bulunmaktadır (Pantelas, 1986).

Orman varlığımız 22.342.935 ha olup, ülkemizin genel toplam orman alanının yaklaşık % 28,6'sına karşılık gelmektedir. Ülkemizde kızılçam (*Pinus brutia* Ten.), 5,9 milyon hektar yayılış alanı (3.451.269 ha'ı verimli orman, 2.518.946 ha'ı verimsiz orman olmak üzere toplam 5.610.215 hektar alan) ile tür olarak ilk sırayı almaktadır. Türkiye'de Akdeniz, Ege ve Marmara bölgelerinde geniş alanlar boyunca yayılmakta olup; Karadeniz bölgesinde ise Akdeniz iklimi özellikleri gösteren bölgelerde küçük topluluklar halinde görülebilmektedir (Anşin, 1994). 270 milyon m³ servet ve 7,95 milyon m³ yıllık artım ile Anadolu karaçamından sonra ikinci sırayı alan kızılçam, ayrıca 262 bin hektar gençleştirme alanı ve 3,4 milyon m³ yıllık ortalama etasıyla da ilk sırayı almaktadır (Anonim, 2016). İğne yapraklı ormanlar içerisinde %42'lik payıyla ilk sırayı alan kızılçam, ülke genel orman alanlarının %27'lik kısmını oluşturmaktadır. Yayılış alanı, artım ve büyüme özellikleri, yarattığı ekonomik değerleri göz önünde bulundurduğumuzda ülkemizin en önemli orman ağacı türlerinden birisidir. Bu sebepten dolayı bilim camiasında "Turkish redpine" (Türk Kızılçamı) olarak da adlandırılmaktadır (Boydak vd., 2006).

Kızılçam odunu kereste, inşaat malzemesi, ambalaj sandığı, tel direği, maden direği, çit kazığı, döşeme, travers, tarım aletleri, mobilya yapımında kullanılmaktadır. Ayrıca, kontraplak ve selüloz sanayinde önemli bir ham madde ve kabukları tanen üretiminde değerlendirilmektedir (Erten ve Taşkın, 1985). Ayrıca, odunun sülfat yöntemiyle selülozik madde elde edilmesinde gerek lif morfolojisi, gerekse kimyasal bileşim ve dayanım özellikleri bakımından elverişli bir hammadde olduğu saptanmıştır (Göksel, 1984).

Kızılçam hızlı gelişen bir türümüz olup uygun tekniklerle yetiştirilirse ciddi bir kaynak oluşturabilecek potansiyeli vardır. Sık büyütüldüğünde beklenen potansiyele ulaşamamaktadır. Bu nedenle kızılçam kısa idare süreli ve normal göğüs yüzeyi dikkate alınarak olabildiğince seyrek yetiştirildiğinde verimli sahalarda oldukça hızlı bir gelişim göstermektedir.

Kızılçam ışık ağacı olup, aynı yaşlı ve tek katlı meşcereler oluşturmaktadır (Pamay, 1968). Genel gençleştirme süresi 10 yıldır. Aynı yaşlı meşcerelerde bireyler arasındaki yaş farkı gençleştirme süresini geçmeyeceğinden (Eraslan, 1971; Evcimen, 1972) kızılçam 10 yıldan daha fazla yaş farkı bulunmayan meşcereler kuracağı kabul edilir. Günümüz ormanlarında bu durum dikkate alınarak gençleştirme çalışmaları yapılır. Optimal kuruluşa meşcerelerin yetiştirilmesi için bu konu önemlidir.

Ülkemizde OGM tarafından kızılçam meşcelerinde uygulanan idare sürelerini 1941 yılı yönetmeliğinde 150, 1955 yılı yönetmeliğinde 80-150, 1973 yılından sonraki amenajman planlarında 60, 1977 OGM olurlarına göre 40-50, 1978 tarihli OGM olurlarına göre 50-60 yıl arası olarak belirlenmiştir (Anonim, 1998). İdare süresindeki değişim kısalma yönünde olmuş ve idare süresi 40 yıla kadar indiği dönemler olmuştur (Köse ve Yavuz, 1993). Özellikle ekolojik tabanlı çok amaçlı planlamada ise odun üretimi yanında toprak koruma, su koruma, yaban hayatı koruma, rekreasyon ve karbon depolama gibi ormanların diğer hizmetlerini gerçekleştirecek şekilde idare süreleri belirlenmekte ve genellikle odun üretimi için belirlenen idare süresinde daha uzun bir idare süresi önerilmektedir (Başkent vd., 2001). Diğer taraftan, koruma fonksiyonlu işletme sınıflarında Kızılçam 80-100 yıl idare süreli olarak işletilmektedir (Yeşil, 1992). Münferit planlamalarda ise Kızılçam meşcereleri 50-80 yıl idare sürelerinde işletilmektedir. 2004 yılından sonra Kızılçam meşcereleri için geçerli bir idare süresi yerine, her işletme müdürlüğü kendi şartlarına (işletme amaçları ve öncelikleri, silvikültürel istekler, ormanların diğer hizmetleri, piyasanın istekleri, pazarlama imkanları gibi faktörleri dikkate alacak şekilde) bağlı olarak idare sürelerini belirlemektedir (Anonim, 2008). Kızılçamın idare süresi günümüzde üretim amaçlı meşcerelerde 60-80, koruma fonksiyonu amaçlı meşcerelerde 100 yıl olarak alınmaktadır.

Yapılan bazı araştırmalara göre Kızılçamın idare süreleri aşağıdaki gibi belirlenmiştir. Alemdağ (1962 ve 1993), Kızılçam meşcerelerinin en yüksek hasılatı veren olgunluk müddetlerini (genel

ortalama artımın maksimum olduğu yaşlar), I., II. ve III. bonitet için sırasıyla 55, 58 ve 63 yıl olarak belirlemiştir. Kızılcıamın genel ortalama artımının maksimum olduğu yaşlar (Yeşil, 1992) tarafından I., II., III., IV. ve V. bonitet sınıfları için sırasıyla 65, 70, 75, 80 ve 85 yıl olarak belirlenmiştir. Kızılcıam meşcerelerinde doğal ömür ise (fiziksel veya doğal olgunluk yaşı), Fethiye-İncirköy'deki Kızılcıam meşcerelerindeki 120 cm çapındaki ağaçta 310 yıl olarak belirlenmiştir (Asan, 1998).

2 YAPILAN ÇALIŞMALAR

2.1 Materyal

2.1.1 Çalışma Alanının Tanıtımı ve Özellikleri

Orman Genel Müdürlüğünün 2015 yılı orman envanterine göre ülkemizin toplam ormanlık alanı 22342935 ha olup (ülke yüzölçümünün % 28,6'sı), bu alanın 5610215 ha'lık kısmında (ülke

ormanlık alanının %25.11'i) Kızılçam yayılış göstermektedir (Şekil 1). Kızılçam'ın yayılış gösterdiği alanların 3451269 ha'lık kısmı (% 61.52) normal koru ve geriye kalan 2158946 ha'lık kısmı (% 38.48) ise bozuk orman vasfındadır (Anonim, 2015).

Çalışma alanı Antalya ve Mersin Antalya Orman Bölge Müdürlükleri sınırları içerisindeki saf ve doğal yetişmiş kızılçam meşcereleridir. Araştırmaya konu olan Antalya ve Mersin illeri Türkiye'nin güney ve güneybatısında (Orta ve Batı Akdeniz Bölgesi) yer almakta olup, 33°-35° doğu boylamları ile 36°-37° kuzey enlemleri arasındadır. Antalya ve Mersin illerinin güneyinde Akdeniz, kuzeyinde Burdur, Isparta, Konya, Karaman ve Niğde illeri, doğusunda Adana ve batısında ise Muğla yer almaktadır.

Antalya Orman Bölge Müdürlüğü'nün yüzölçümü olan 2061764 ha alanın yaklaşık % 44.41'i (915702 ha) ormansız alan ve % 55.59'u (1146062 ha) ormanlık alanlardan oluşmaktadır. Antalya, 1146062 ha genel orman alanı ile en çok ormana sahip (% 5.13) il vasfındadır. Antalya ilindeki ormanlık alanın da yaklaşık % 57.14'ü (654870 ha) verimli koru ormanı ve yaklaşık % 42.86'sını (491192 ha) bozuk koru ormanı kaplamaktadır. Antalya ilindeki bu ormanlık alanın 430279,1 ha'lık alanını Kızılçam meşcereleri oluşturmaktadır. Mersin Orman Bölge Müdürlüğü'nün yüzölçümü 1563068 ha olup, bu alanın 840470 ha'lık kısmı (% 53.77) ormanlık alan ve 722598 ha'lık kısmı (% 46.23) ise ormansız alanlardan oluşmaktadır. Mersin yöresindeki ormanlık alanların 380029 ha'lık (% 45.22) kısmında normal koru ormanı ve 460441 ha'lık (% 54.78) kısmında ise bozuk koru ormanı yer almaktadır. Mersin Orman Bölge Müdürlüğündeki bu ormanlık alanın 357352,2 ha'lık alanını Kızılçam meşcereleri oluşturmaktadır (Anonim, 2015). Örnek alanların alındığı meşcerelere ilişkin genel görünümüler Şekil 2-5'de verilmiştir.

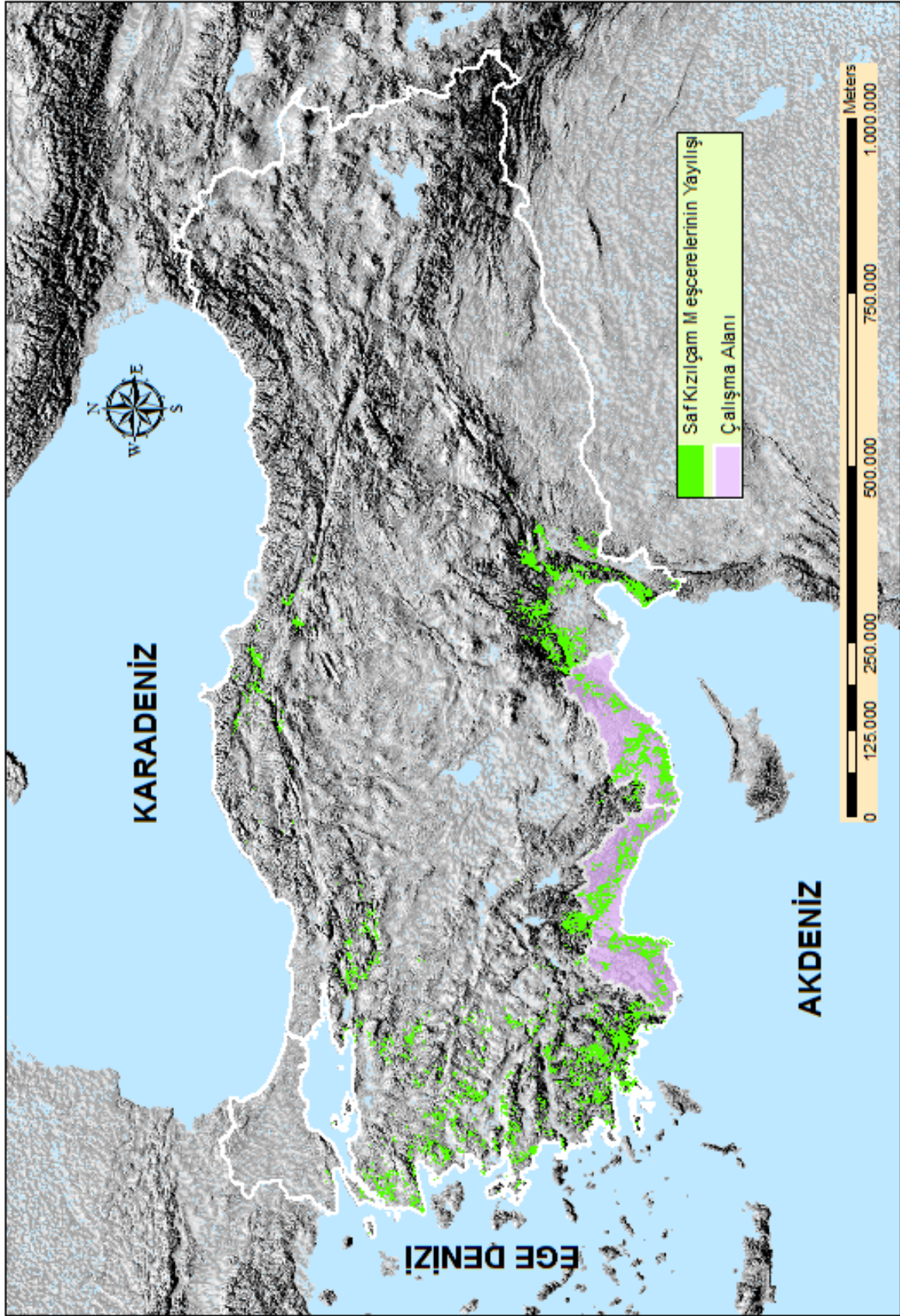
Çalışma alanı olan Antalya ve Mersin illeri Akdeniz ikliminin özelliklerini taşır. Yazları sıcak ve kurak, kışları ılık ve yağışlı geçer. Yıllık ortalama yağış Antalya ili için yağış 1069,8 kg/m² ve Mersin ili için ise 585,4 kg/m² olup, ortalama sıcaklık ve yağış değerleri Antalya ili için Tablo 1 ve Mersin ili için ise Tablo 2'de verilmiştir (URL-1).

Tablo 1. Antalya yıllık ortalama sıcaklık ve yağış tablosu

Antalya	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık
	Uzun Yıllar İçinde Gerçekleşen Ortalama Değerler(1954-2013)											
Ortalama Sıcaklık(°C)	9.8	10.4	2.7	16.1	20.5	25.4	28.4	28.2	24.7	20.0	14.9	11.3
Ortalama En Yüksek Sıcaklık(°C)	15.0	15.5	8.0	21.3	25.6	30.9	34.1	34.2	31.2	26.6	21.1	16.6
Ortalama En Düşük Sıcaklık(°C)	5.9	6.2	8.0	11.1	15.0	19.6	22.6	22.6	19.3	15.2	10.6	7.5
Ortalama Güneşlenme Süresi (saat)	5.3	5.9	6.9	8.1	10.0	11.6	12.0	11.5	10.0	8.0	6.5	5.0
Ortalama Yağışlı Gün Sayısı	12.6	10.8	8.8	7.2	5.5	2.6	0.6	0.5	1.8	5.7	7.6	11.9
Aylık Toplam Yağış Miktarı Ortalaması (kg/m^2)	224.9	156.3	96.2	58.3	31.8	7.9	3.0	2.4	13.7	78.8	137.1	259.4
	Uzun Yıllar İçinde Gerçekleşen En Yüksek ve En Düşük Değerler (1954-2013)											
En Yüksek Sıcaklık(°C)	23.9	25.9	28.6	35.7	38.0	44.8	45.0	44.6	42.1	37.7	33.0	24.5
En Düşük Sıcaklık(°C)	-3.4	-4.0	-1.6	1.4	6.7	11.1	14.8	15.3	10.6	4.9	0.8	-1.9

Tablo 2. Mersin yıllık ortalama sıcaklık ve yağış tablosu

MERSİN	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık
	Uzun Yıllar İçinde Gerçekleşen Ortalama Değerler (1954 - 2013)											
Ortalama Sıcaklık (°C)	10,1	10,9	13,7	17,5	21,4	25,2	27,9	28,3	25,5	21,1	15,8	11,7
Ortalama En Yüksek Sıcaklık (°C)	14,8	15,5	18,2	21,5	24,8	28,1	30,7	31,4	30,0	26,8	21,5	16,5
Ortalama En Düşük Sıcaklık (°C)	6,3	6,8	9,3	13,0	16,8	20,8	24,0	24,2	20,9	16,4	11,4	7,9
Ortalama Güneşlenme Süresi (saat)	4,6	5,4	6,5	7,3	8,5	10,1	10,1	10,0	9,2	7,5	5,5	4,5
Ortalama Yağışlı Gün Sayısı	10,0	9,3	7,6	6,9	5,1	2,3	1,0	0,8	1,7	5,0	6,8	10,5
Aylık Toplam Yağış Miktarı Ortalaması(kg/m²)	113,0	80,6	54,5	34,7	22,1	8,3	8,2	4,7	7,2	38,3	76,9	136,9
	Uzun Yıllar İçinde Gerçekleşen En Yüksek ve En Düşük Değerler (1954 - 2013)*											
En Yüksek Sıcaklık (°C)	25,2	26,5	29,8	34,7	35,8	38,2	37,3	39,8	38,5	36,4	31,0	27,0
En Düşük Sıcaklık (°C)	-6,3	-3,6	-2,2	0,6	7,0	5,3	16,1	15,0	11,0	2,7	-0,8	-3,0



Şekil 1. Saf Kızılgam meşcerelerinin Türkiye'deki yayılışı ve çalışma alanı



 ekil 2. Antalya ve Mersin Orman B lge M d rl   ndeki Kızılc am me cerelerinden genel g r n mler



Şekil 3. Antalya ve Mersin Orman Bölge Müdürlüğündeki Kızılcam meşcerelerinden genel görünümler

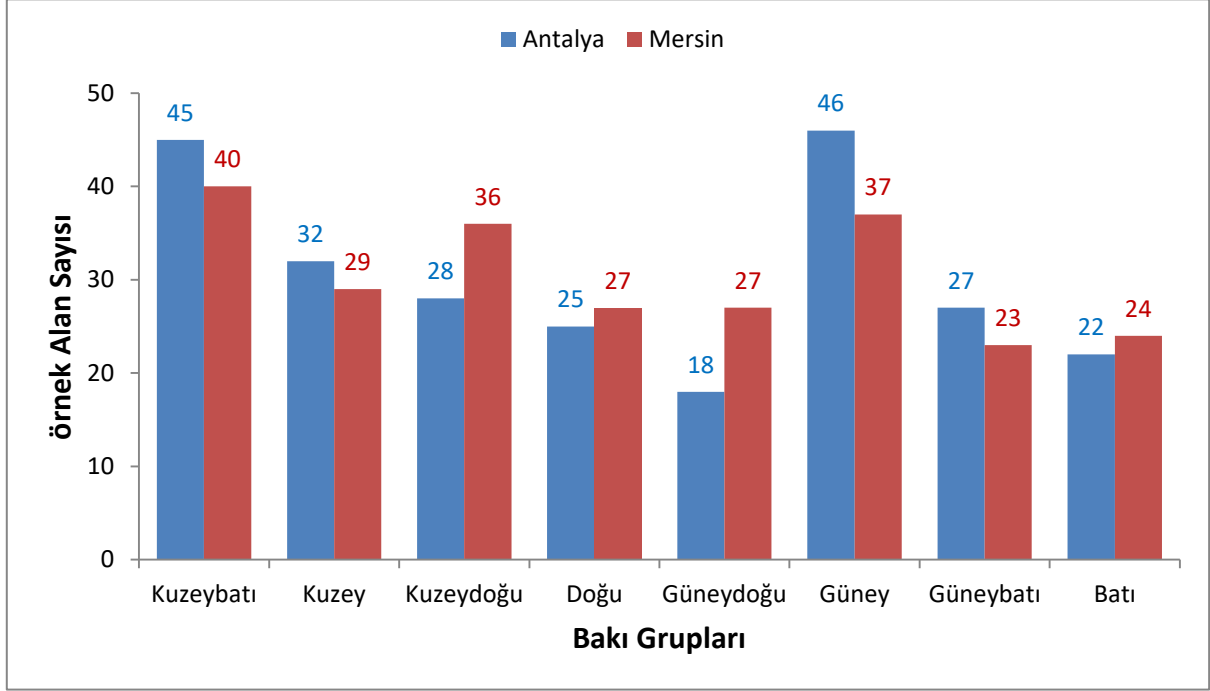


 ekil 4. Antalya ve Mersin Orman B lge M d rl   ndeki Kızılc am me cerelerinden genel g r n mler



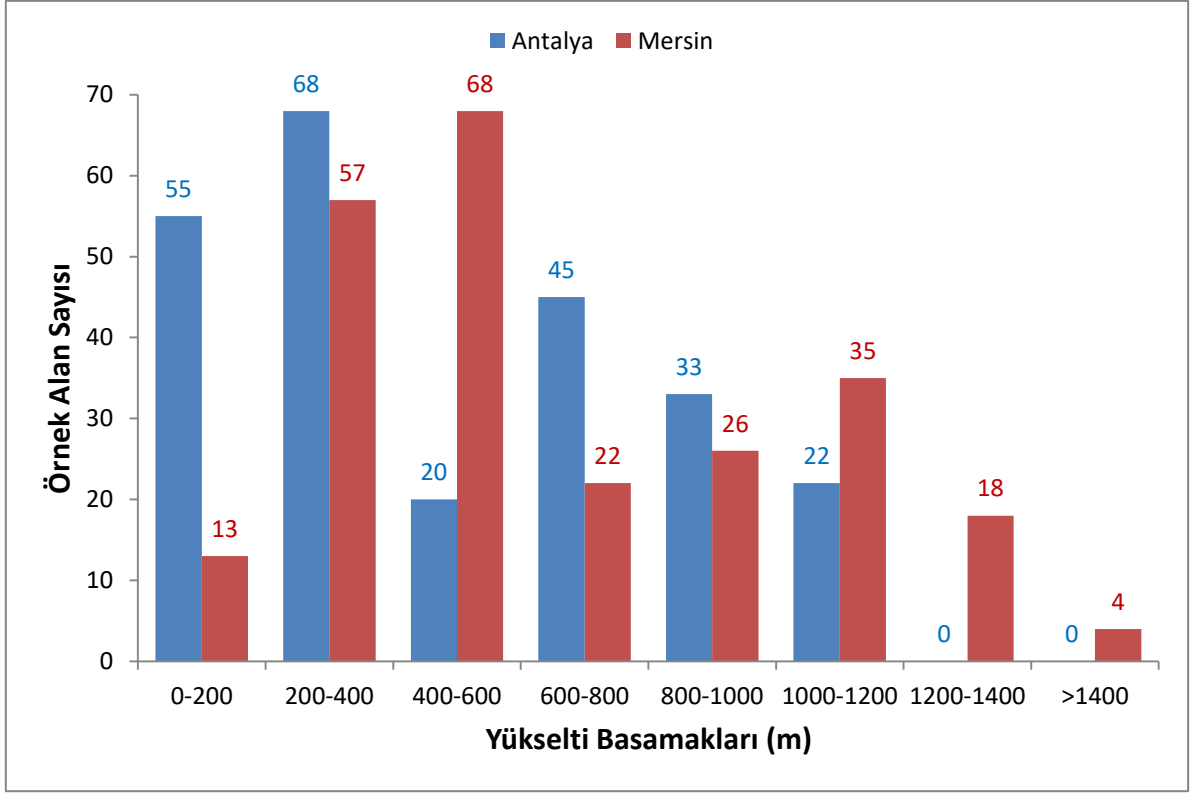
 ekil 5. Antalya ve Mersin Orman B lge M d rl   ndeki Kızılc am me cerelerinden genel g r n mler

Bu projede, örnek alanlarının alındığı meşcerelerde ait fizyografik faktörlerden bakı, yükseklik ve arazi eğimi gibi önemli özel mevki koşullarına yönelik ölçüm ve tespitler de yapılmıştır. Örnek alanların 85'i kuzeybatı, 61'i kuzey, 64'ü kuzeydoğu ve 52'si doğu bakı olmak üzere 272'si gölgeli bakılarda ve 45'i güneydoğu, 83'ü güney, 50'si güneybatı ve 46'sı batı bakı olmak üzere 224'ünün ise güneşli bakılarda yer aldıkları görülmektedir (Şekil 6). Örnek alanların ayrıntılı olarak Bölge Müdürlükleri bazında bakı gruplarına dağılımı Şekil 6'da verilmiştir.

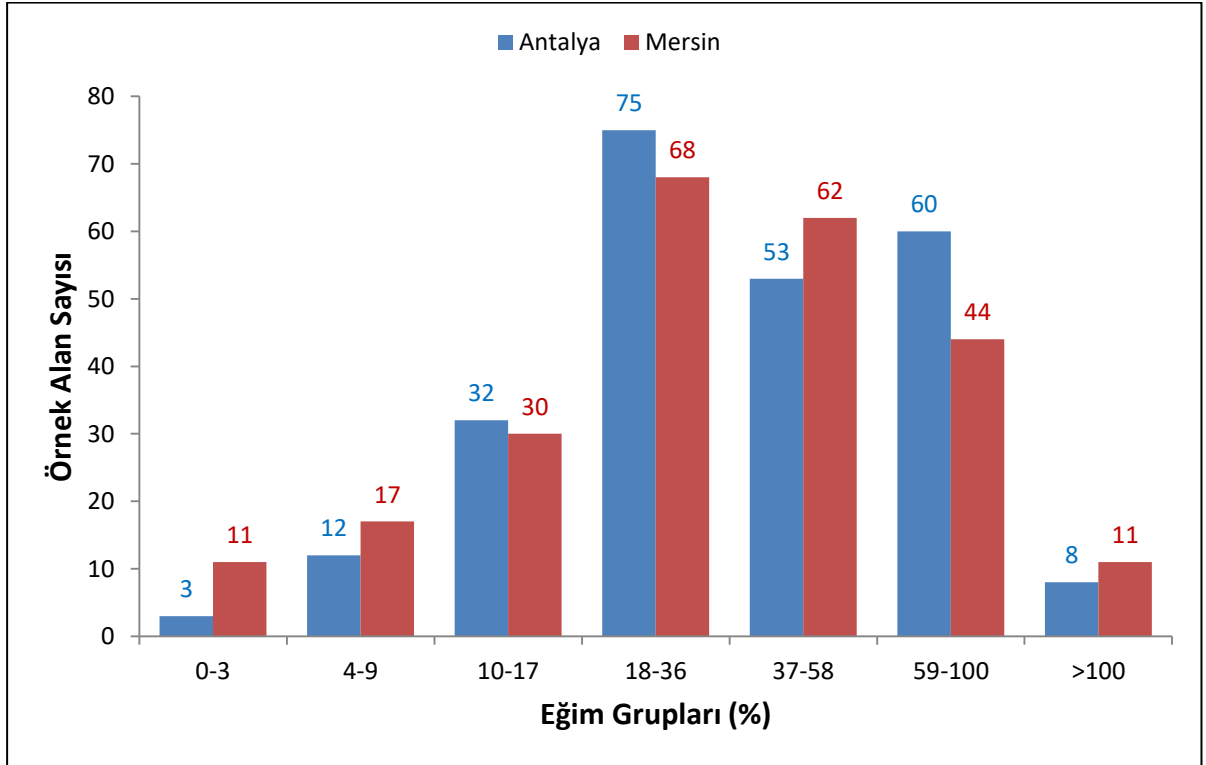


Şekil 6. Örnek alanların Antalya ve Mersin Orman Bölge Müdürlükleri bazında bakı gruplarına dağılımları

Denizden yükseklik, bir yerin iklimi, toprak özellikleri ve vejetasyon yapısı üzerinde etkili olan bir faktördür. Örnek alanların denizden yükseklikleri incelendiğinde (Şekil 7); 486 örnek alandan 68'sinin 0-200 m, 125'inin 200-400 m, 88'inin 400-600 m, 77'sinin 600-800 m, 59'unun 800-1000 m, 57'sinin 1000-1200 m, 18'inin 1200-1400 metreler arasında ve 4'ünün ise 1400 metreden daha fazla bir yükseltiye sahip oldukları görülecektir ($\bar{X}=578.7$ m). Örnek alanların yükseltiye bağlı dağılımları değerlendirildiğinde, Antalya Orman Bölge Müdürlüğünde en yüksek rakımlı örnek alan 1114 m iken Mersin Orman Bölge Müdürlüğünde ise 1473 m'dir.



Şekil 7. Örnek alanların Antalya ve Mersin Orman Bölge Müdürlükleri bazında yükselti basamaklarına dağılımları



Şekil 8. Örnek alanların Antalya ve Mersin Orman Bölge Müdürlükleri bazında eğim gruplarına dağılımları

Arazi eğimi, bir yerin lokal iklimi ve toprak özellikleri ile araziden yararlanma şekilleri üzerinde etkili olan bir faktördür. Genel olarak yetiştirme ortamı verimliliği, çok eğimli yerlerde düşük, az eğimli yerlerde ise yüksektir (Çepel, 1995; Kantarcı, 2000). Örnek alanlara ilişkin eğim değerleri incelendiğinde (Şekil 6); 486 örnek alandan 14'ünün düz (% 0-3), 29'unun az eğimli (% 4-9), 62'sinin orta eğimli (% 10-17), 143'ünün çok eğimli (% 18-36), 115'inin dik (% 37-58), 104'ünün sarp (% 59-100) ve 19'unun ise pek sarp (% >100) arazilerde yer aldıkları görülecektir ($\bar{X}$ =% 40.9). Örnek alanların eğim gruplarına dağılımları değerlendirildiğinde, saf kızılçam meşcerelerin çoğunlukla çok eğimli, dik ve sarp eğim gruplarında yer aldıkları görülecektir (Şekil 8).

2.2 Yöntem

2.2.1 Örneklem Alanların Seçimi ve Dağılımı

Kızılçam, yayılış alanı, artım ve büyüme özellikleri, yarattığı ekonomik değer dolayısıyla ülkemizin en önemli asli orman ağacı türlerinden biridir. Bu önem, ülkemizde yayılış alanı bakımından ilk sırada; hacim olarak da Anadolu Karaçamından sonra ikinci sırada yer alması, odununun çeşitli kullanım yerlerine sahip olmasından ileri gelmektedir. Bu yüzden Kızılçam ağaç türünün çok yönlü ele alınıp tanımlanması gerekmektedir. Türkiye'de, saf ve karışık olmak üzere 5.9 milyon ha yayılış alanına sahip olan Kızılçam, 25 Orman Bölge Müdürlüğü'nden 22'sinde yayılış göstermektedir. Kızılçamın, Türkiye'deki esas yayılış alanları Akdeniz ve Ege Bölgeleri olup; bu bölgeler dışında da; Akdeniz ikliminin görüldüğü bölgelerde küçük adacıklar halinde bulunmaktadır. Ülkemizde Kızılçam, saf olarak 3.2 milyon hektarlık alanda yayılmakta olup, bu alanın yaklaşık 2.1 milyon hektarlık kısmı verimli meşcerelerden oluşturmaktadır. Ülke genelini kapsayacak hasılat çalışmaları hem çok fazla zaman ve iş yükü gerektireceğinden hem de özellikle ağaç hacim tablolarının bölgesel bazda yapılmasına ihtiyaç duyulmasından dolayı, çalışma alanı Kızılçamın yayılışında büyük öneme sahip Antalya ve Mersin yöreleri ile sınırlandırılmıştır.

Büyüme modellerinin oluşturulmasında kullanılan veriler; devamlı, yarı devamlı ve geçici örnek alan verileri olmak üzere sağlandıkları kaynağa göre üç gruba ayrılmaktadır (Vanclay, 1994). Devamlı örnek alan verileri ile oluşturulan büyüme modelleri en güvenilir modellerdir. Devamlı örnek alanların bulunmaması durumunda, bir kaç periyot ölçülmüş örnek alanlardan sağlanan verilerle de büyüme modelleri oluşturulabilmektedir. Bu tür örnek alanlar yarı devamlı örnek alanlar olarak isimlendirilmekte ve oluşturulan büyüme modelleri, devamlı örnek alanları verileri ile oluşturulanlara oranla daha düşük güvenilirlik düzeyine sahip olmaktadır. Geçici örnek alanlarda yapılan tek ölçüm ile de meşcerede artım ve büyüme ilişkileri belirlenebilmektedir. Burada, seçilen model ağaçlarda yapılacak gövde analizleri ya da ağaçlar

kesilmeden elde edilen artım kalemlerinin üzerindeki ölçümlerden yararlanılmaktadır (Akalp, 1978a). Bu çalışma kapsamında alınan geçici örnek alanlarda, yalnız bir kez ölçüm yapılmıştır. Örnek alanların sayısı; sıklık derecesi, yaş sınıfı ve bonitet sınıfı dikkate alınarak belirlenmiştir. Bu kriterler aşağıda detaylı olarak açıklanmıştır.

Yaş Sınıfı: Kızılçamda yaş sınıfları 10 yıllık olarak düzenlenmektedir. Kızılçamın idare süresi günümüzde üretim amaçlı meşcerelerde 60-80, koruma fonksiyonu amaçlı meşcerelerde 100 yıl olarak alınmaktadır. Bu nedenle örnek alanlar alınırken yaş sınıfları; 0-10, 11-20, 21-30, 31-40, 41-50, 51-60, 61-80, 81-100 ve > 100 yıl olacak şekilde (9 yaş sınıfı) seçilmiştir. Burada yaş sınıfları 60 yaşına kadar 10'arlı, 61-100 yaş arasında ise 20 yıl olarak alınmıştır. Bunun nedeni, her ne kadar Kızılçam meşcerelerinde yaşlı meşcere mevcut olsa da genel itibarıyla 60'lı yaşlara kadar yoğunluk olmasıdır. O halde Kızılçam meşcerelerinin yaş bakımından temsil edilebilmesi için 9 yaş sınıfında ölçüm yapılması gerekecektir.

Bonitet: Alemdağ (1962), Kızılçam Hasılat Tablosu düzenlerken 3 bonitet sınıfını esas almıştır. Halen uygulamada kullanılan bonitet sınıfı sayısı da 3'tür. Bu çalışmada da kısa idare süresinde üretimi yapılan Kızılçam için 3 bonitet sınıfı oluşturulacaktır.

Sıklık derecesi: Meşcere tipleri bünyelerinde bulundurdıkları ağaç sayısı, hacim ya da göğüs yüzeyine göre çeşitli sıklık derecesine ayrılmaktadır. Sıklığın en düşük olduğu meşcerelerde derece 0'dan başlamakta, fazla sıkışık meşcerelerde ise 1.2'ye kadar gidebilmektedir. Normal (olması gereken) sıklık 1.0 kabul edilmektedir. Sıklık ölçütünün arazi öncesinde belirlenmesi zor olduğundan ülkemiz ormanlarını planlarken kullandığımız kapalılık sınıfları sıklık ölçütü olarak kullanılmıştır. Orman amenajman planlamada meşcereler kapalılık derecesine göre; seyrek, orta ve tam kapalı olmak üzere 3 çeşittir. Bu çalışmada da sıklık derecesi, kapalılığa uygun olacak şekilde 3 gruba ayrılmıştır. 0.10-0.40 kapalılık oranına sahip meşcereler 1. grup sıklık derecesinde; 0.41-0.70 kapalılık oranına sahip meşcereler 2. Grup sıklık derecesinde ve ≥ 0.71 kapalılık oranına sahip meşcereler ise 3. grup sıklık derecesinde kabul edilmiştir. Örnek alanlar bu gruplar içerisinde seçilecektir.

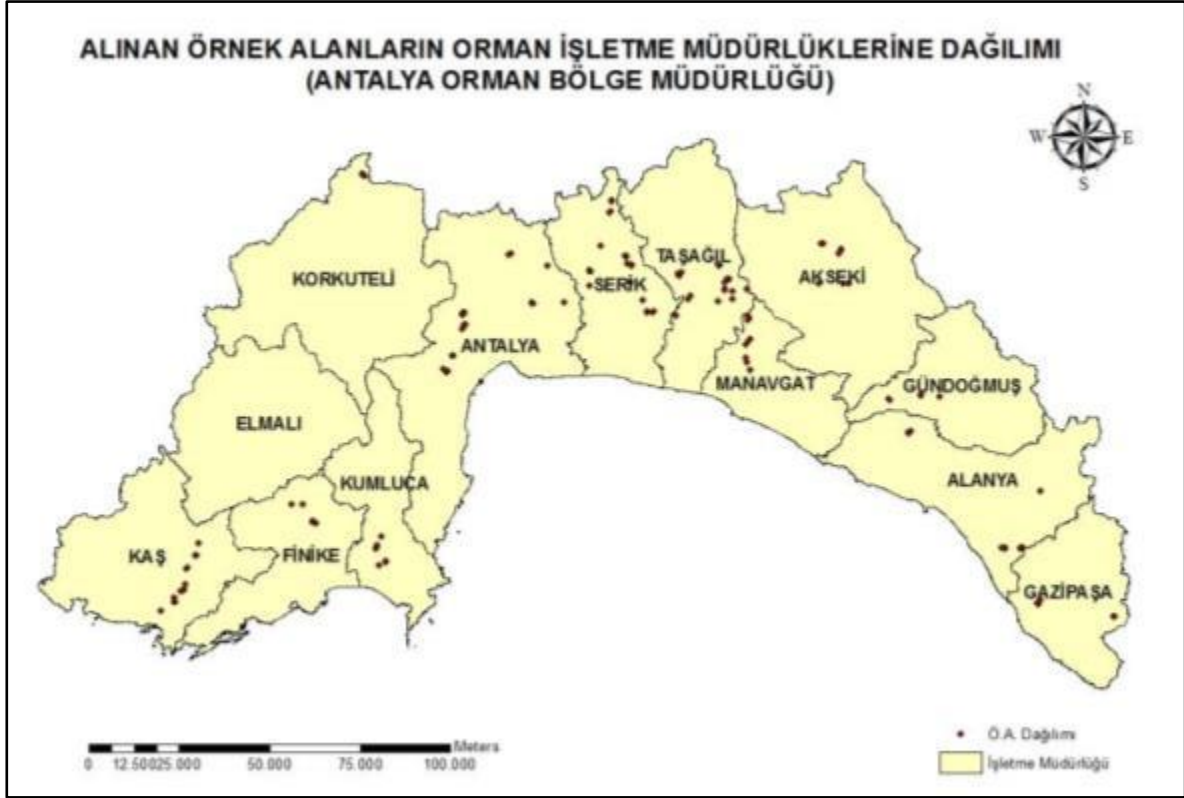
Örnek alanların dağılımı her ne kadar yaş, bonitet ve sıklık dikkate alınarak yapılmış ise de aynı zamanda eğim, bakı ve yükselti gibi topoğrafik yapıda dikkate alınmıştır. Yani hem yaş, yetiştirme ortamı verim gücü ve sıklık dereceleri hem de eğim, bakı ve yükseltideki değişkenliği yansıtacak şekilde örnek alanlar alınmıştır.

Proje çalışması kapsamında büyüme modellerinin oluşturulmasında, bonitete dayalı tek ve çift girişli ağaç hacim denklemleri oluşturulmasında, polimorfik yöntemle ilgili olarak yetiştirme ortamı verim gücünün belirlenmesinde, odun çeşidi oranlarını saptanıp göğüs çapı ve ağaç boyuna bağlı olarak ürün çeşitlerine ait hacim oranları modellenmesinde, toprak üstü biyokütle miktarı ve karbon depolama kapasitesi belirlenmesinde ve hesaplanan karbon depolama kapasiteleri yardımıyla da toplam oksijen üretim kapasitesinin belirlenmesinde kullanılacak

örnek alan sayıları ve kesimi yapılacak ağaç sayıları Orman İşletme Müdürlükleri bazında Tablo 3’de verilmiştir. Bu bağlamda, araştırma materyali olarak Antalya ve Mersin Orman Bölge Müdürlüğü sınırları içerisinde yer alan eşityaşlı Kızılçam meşcerelerinden alınan 486 adet geçici örnek alanlardan elde edilen veriler ile her bir örnek alanda 2 adet (hem bonitet için kesilecek galip ağaç hem de meşcere orta çapını temsilen kesilecek ağaç) olmak üzere toplam 972 adet ağaçta yapılan ölçümler kullanılmıştır (Tablo 3; Şekil 9 ve 10). Örnek alanların sayısı, 9 yaş sınıfı X 3 bonitet sınıfı X 3 kapallık X 3 tekerrür X 2 Orman Bölge Müdürlüğü dikkate alınarak belirlenmiştir.

Tablo 3. Örnek alanların ve kesilen ağaçların İşletme Müdürlüklerine göre alansal dağılımı

Orman Bölge Müdürlüğü	Orman İşletme Müdürlüğü	Alan/Ha	Alınan Örnek Alan Sayısı	Ürün Çeşitliliği İçin Örnek Ağaç Sayısı	Ağaç Hacim ve Bonitet İçin Kesilen Örnek Ağaç Sayısı	Biyokütle ve Karbon Depolama İçin Örnek Ağaç Sayısı
Antalya	Akseki	21224.4	10	20	10	7
	Alanya	46085.8	24	48	24	16
	Antalya	60329.8	34	68	34	22
	Finike	17440.5	16	32	16	11
	Gazipaşa	27265.7	19	38	19	13
	Gündoğmuş	15193.7	14	28	14	9
	Kaş	32823.0	23	46	23	15
	Korkuteli	24282.1	7	14	7	5
	Kumluca	33809.5	22	44	22	15
	Manavgat	28194.0	18	36	18	12
	Serik	40834.5	30	60	30	20
	Taşağıl	56361.2	26	52	26	17
Antalya Toplam		403844.2	243	486	243	162
Mersin	Anamur	28727.7	35	70	35	23
	Bozyazı	30229.7	22	44	22	15
	Erdemli	26555.3	17	34	17	11
	Gülner	79772.2	66	132	66	43
	Mersin	20615.0	25	50	25	17
	Mut	87515.4	7	14	7	5
	Silifke	52920.4	43	86	43	29
	Tarsus	31016.4	28	56	28	19
Mersin Toplam		357352,1	243	486	243	162
Genel Toplam		761196.3	486	972	486	324



Şekil 9. Antalya Orman Bölge Müdürlüğünde alınan örnek alanların İşletme Müdürlüklerine dağılımı



Şekil 10. Mersin Orman Bölge Müdürlüğünde alınan örnek alanların İşletme Müdürlüklerine dağılımı

Proje kapsamında kesilen 972 ağaç verisi, yetiştirme ortamı verim gücünün (boniteti) saptanmasında, tek girişli (bonitete dayalı) ve çift girişli ağaç hacim tablolarının oluşturulmasında, meşcerelerin ürün çeşidi oranlarının saptanmasında, toprak üstü biyokütle miktarının belirlenmesinde, karbon depolama kapasitesinin belirlenmesinde ve meşcerelerin toplam oksijen üretim kapasitesinin belirlenmesinde kullanılmıştır. Bu amaçla her bir örnek alandan biri orta ağacı temsil eden ağaç ve diğeri üst boyu temsil eden ağaç olmak üzere toplamda 2 ağaç kesilmiş ve ağaçlar üzerinde gerekli ölçümler yapılmıştır.

- ✓ 972 ağacın tamamı ürün çeşidi oranlarının saptanmasında,
- ✓ 486 orta ağaç hacim tablolarının oluşturulmasında,
- ✓ 486 üst boydaki ağaç yetiştirme ortamı verim gücünün belirlenmesinde,
- ✓ 486 orta ağacın 324 adedi ise toprak üstü biyokütle miktarının ve karbon depolama kapasitesinin belirlenmesinde (486 orta ağacın 2/3'ü: 2 tekerrür) kullanılmıştır (Tablo 3).

Tablo 4. Ölçüm yapılan örnek alanların çeşitli meşcere özellikleri itibariyle dağılımı

Orman Bölge Müd.	Yaş Sınıfı	Bonitet Sınıfı											Genel Toplam	
		1			Toplam	2			Toplam	3				Toplam
		Kapalılık				Kapalılık				Kapalılık				
		1	2	3		1	2	3		1	2	3		
Antalya	1	3	3	3	9	3	3	3	9	3	3	3	9	27
	2	3	3	3	9	3	3	3	9	3	3	3	9	27
	3	3	3	3	9	3	3	3	9	3	3	3	9	27
	4	3	3	3	9	3	3	3	9	3	3	3	9	27
	5	3	3	3	9	3	3	3	9	3	2	3	9	26
	6	3	3	3	9	3	3	3	9	3	4	3	9	28
	7	3	3	3	9	3	3	3	9	3	3	3	9	27
	8	3	3	3	9	3	3	3	9	3	3	3	9	27
	9	3	3	3	9	3	3	3	9	3	3	3	9	27
Toplam		27	27	27	81	27	27	27	81	27	27	27	81	243
Mersin	1	3	3	3	9	3	3	3	9	3	3	3	9	27
	2	3	3	3	9	3	3	3	9	4	3	3	9	28
	3	3	3	3	9	3	3	3	9	3	3	3	9	27
	4	3	3	3	9	3	3	3	9	3	3	3	9	27
	5	3	3	3	9	3	3	3	9	3	3	3	9	27
	6	3	3	3	9	3	2	3	9	3	3	2	9	26
	7	3	3	3	9	3	3	3	9	3	3	2	9	27
	8	3	3	3	9	3	3	3	9	3	3	3	9	27
	9	3	3	3	9	3	3	3	9	3	3	3	9	27
Toplam		27	27	27	81	27	26	27	81	28	27	27	81	243
Genel Toplam		54	54	54	162	54	53	54	162	55	54	54	162	486

Örnek alanlar alınırken hem Antalya hem de Mersin Orman Bölge Müdürlüğü'nde saf Kızılcım meşcerelerinin Orman İşletme Müdürlüklerine alansal olarak dağılımına özen gösterilmeye çalışılmıştır. Bununla birlikte Bazı Orman İşletme Müdürlüklerinde doğal meşcerelerin az olmasından (Mut Orman İşletme Müdürlüğü) bazılarında da örnek alan alımı ve ağaç kesiminde zorluklar olduğundan dolayı bu İşletme Müdürlüklerinden alınacak örnek alanlar ve kesimi yapılacak ağaçlar diğer İşletme Müdürlüklerine kaydırılmıştır.

Yukarıda açıklanan kriterler göz önüne alınarak ölçüm yapılan örnek alanların meşcere özelliklerine göre dağılımı Tablo 4'de verilmiştir. Tablo 4'de görüleceği üzere, örnek alanların değişik yaş, bonitet ve kapallık sınıflarına dağılımı homojendir. Yani her yaş, bonitet ve kapallık sınıflarından eşit olacak şekilde örnek alanlar alınmıştır (9 yaş sınıfı X 3 bonitet sınıfı X 3 kapallık X 3 tekerrür X 2 Orman Bölge Müdürlüğü).

2.2.2 Örneklem Alanlarında ve Örnek Ağaçlarda Yapılan Ölçümler

Hasılat araştırmalarında örnek alanlar meşcere yapısını yansıtabilecek büyüklükte alınmaktadır. Normaliği kaybetmeyecek kadar küçük, ağaç sayılarının çap basamaklarına dağılımını yeter güvende verecek kadar büyük olması ölçüt olarak alınmaktadır (Kalıpsız, 1984; Akalp, 1978a). Örnek alan büyüklüğü araştırma amacına ve meşcere yapısına bağlı olarak 200 - 10.000 m² arasında değişmekle birlikte genellikle 400 - 800 m² olarak alınmaktadır (Alemdağ, 1962; Kalıpsız, 1984; Batu, 1977; Akalp, 1978a; Kapucu, 1978; Eraslan, 1982; Eler, 1986; Saraçoğlu, 1986; Çalışkan, 1989). Bu çalışmada örnek alanların büyüklükleri, meşcere yapısına göre 400 m² ile 2000 m² arasında değişmektedir. Örnek alanların şekli açısından, kenar uzunluğu/alan oranı en küçük olan daire biçimi tercih edilmiştir.

Örnek alanlar dairesel şekilde araziye aplike edilmiş olup alanlarda yapılan ölçüm ve gözlemler şunlardır:

- ❖ Her bir örnek alanın coğrafi konumu, bakışı, yükseltisi ve eğimi belirlenmiştir,
- ❖ Göğüs çapları 4 cm ve daha büyük tüm ağaçların göğüs çapları, merkeze olan uzaklıkları kuzeyden sapma açıları, boyları, tepe başlangıç yükseklikleri ve tepe çapları ölçülmüştür,
- ❖ Çap basamaklarına dengeli bir şekilde dağıtılan 10-15 ağaçta dip kütük çapı ($d_{0.30}$), çift kabuk kalınlığı, yaş ile son 5 ve 10 yıllık halka uzunlukları ölçülmüştür,
- ❖ Örnek alanlarda hektarda 100 ağaç hesabı ile örnek alana düşen sayıda en boylu ağaçların boy ve yaşları ölçülmüştür,
- ❖ Örnek alanların kenarındaki ağaçlara dışarıdan komşu (2-3 m yakınında olup etkileşim halindeki ağaçlar) ağaçların göğüs çapı, semt açısı ve merkeze uzaklıkları ölçülmüştür,
- ❖ Her bir örnek alandan 2 adet olacak şekilde (biri galip-hakim ağaç ve diğeri meşcere orta çapını temsil eden ağaç) toplam 972 ağaç kesimi yapılmıştır.

Örnek alanındaki ağaçların gerçek yaşları $d_{1.30}$ 'dan alınan artım kalemlerindeki yaş değerine o alandaki (yoksa civardaki) 1.30 m boyundaki fidanların 1.30 m yüksekliğine ulaşma yaşları eklenerek hesaplanmıştır. 1.30 m yüksekliğine ulaşma yaşı fidanların dal boğum yerleri sayılarak belirlenmiştir.

Proje kapsamında alınan 486 örnek alanda ağaçlar üzerinde ölçümü yapılan bazı özelliklere ilişkin istatistiksel değerler Tablo 5'de verilmiştir. Proje kapsamında alınan 486 örnek alanında 2350 kütük ve 13495 dikili ağaç olmak üzere toplam 15845 ağaç ölçümü yapılmıştır. 13495 ağaçta göğüs çapı, 7576 ağaçta kütük çapı (5226 adedi dikili ağaçlardan ve 2350 adedi sadece kütük çapı ölçülenlerden olmak üzere), 4092 ağaçta yaş, 7094 ağaçta artım, 13430 ağaçta boy (ağaçların yaklaşık tamamı), 13413 ağaçta tepe başlangıç yüksekliği ve tepe çapı ve 5062 ağaçta ise çift kabuk kalınlığı ölçümü yapılmıştır (Tablo 5).

Tablo 5. Örnek alanlarda ağaçlar üzerinde ölçümü yapılan bazı özelliklere ilişkin istatistiksel değerler

Orman Bölge MÜD.	Özellik	Örnek Sayısı	Minimum	Maksimum	Aritmetik Ortalama	Standart sapma
Antalya	Kütük çapı (cm)	2625	6.0	69.8	30.4	13.6
	Göğüs çapı (cm)	6516	4.1	80.0	26.3	12.6
	Boy (m)	6451	2.5	33.5	15.1	6.1
	Tepe yüksekliği (m)	6434	0.5	22.5	8.1	4.6
	Tepe çapı (cm)	6434	1.0	16.0	5.7	2.8
	Kabuk kalınlığı (mm)	2259	14.0	141.0	59.0	25.2
	Yaş (yıl)	2056	12.0	159.0	53.0	28.7
	Çap artımı (mm/yıl)	3587	0.8	14.4	3.0	2.1
Mersin	Kütük çapı (cm)	2600	4.3	87.1	28.7	13.5
	Göğüs çapı (cm)	6979	3.7	97.4	23.3	13.4
	Boy (m)	6979	2.5	34.0	13.1	6.5
	Tepe yüksekliği (m)	6979	0.3	25.5	6.5	4.6
	Tepe çapı (cm)	6979	0.8	16.0	5.1	2.4
	Kabuk kalınlığı (mm)	2803	8.0	140.0	53.1	22.5
	Yaş (yıl)	2036	10.0	165.0	54.3	32.3
	Çap artımı (mm/yıl)	3507	0.4	15.6	3.0	2.1

Eşit yaşlı meşcerelerde artım ve büyüme; yetiştirme ortamı verimliliği ve meşcere orta yaşına bağlı olarak incelenmektedir (Eraslan, 1982). Artım ve büyüme ile ilgili ölçümler de, meşçereyi en iyi temsil edecek şekilde özenle seçilmiş olan deneme ağaçlarında yapılmaktadır (Günel, 1982). Meşçereyi en iyi temsil eden deneme ağaçlarında yapılan gövde analizleriyle; tek ağaca ilişkin artım ve büyüme ilişkileri detaylı olarak araştırılabilmektedir.

Çalışma kapsamında örnek alanlar, değişik yaş sınıfı, bonitet sınıfı ve sıklık derecelerine göre dağıtılmıştır. Ölçümü yapılan her bir örnek alanda da 1 adet üst tabakadan ve 1 adet de orta tabakadan olmak üzere toplamda 2 adet ağaç çeşitli ölçümler için örneklenmiştir. Bu amaçla proje kapsamında 486 ağaç üst tabakadan, 486 ağaç ise göğüs yüzeyi orta ağacını temsil eden ağaçlardan olmak üzere toplam 972 ağaç kesilmiştir. Kesilen ağaçların farklı çap ve boy kademesinde, canlı, tepesi sağlam, tek gövdeli ve sağlıklı olmasına özen gösterilmiştir. Toprak seviyesinin 30 cm üstünden kesilen 972 ağaçta yapılan ölçümler şunlardır:

- ❖ Kesilen ağaç öncelikle 1'er m olacak şekilde boylanmış ve ağacın kütük çapı, göğüs çapı, boyu, tepe başlangıç yüksekliği ve tepe çapı belirlenmiştir.
- ❖ Bu ağaçlarda 1'er metre aralıklarla (0.3, 1.3, 2.3 m, ...) gövdedeki çaplar ölçülmüştür.
- ❖ Kesilen ağaçlar üzerindeki tüm canlı dalların dip çapları ve uzunlukları ölçülmüştür.
- ❖ Gövdeden elde edilebilecek odun ürün çeşitleri, Tablo 17'deki standartlara göre, miktarları itibarıyla kayıt altına alınmıştır.
- ❖ Gövde dipten tepeye doğru önce 1, sonra 2'şer m olacak şekilde (0.3, 1.3, 3.3, 5.3 m ...) seksiyonlara ayrılmıştır. Gövde analizi için, her bir kesitin özünden kabuğuna doğru, birbirine dik yönlü cetvel konularak fotoğrafı çekilmiştir.
- ❖ Göğüs yüzeyi orta ağacını temsilen kesilen ağaçların gövdelerinin, dip, orta ve uç kısımlarından birer adet ve toplamda üç adet olacak şekilde 5 cm kalınlığında ve tekerlek şeklinde örnek kesitler alınmıştır. Bu kesitlerin kabuklu ve kabuksuz olarak yaş ağırlıkları ölçülmüştür. Ayrıca ağacın tüm dallarını temsil edecek şekilde seçilen canlı bir dalın (dalların dip çap kalınlığına göre orta kalınlıktaki bir dal) yaş dal ve ibre ağırlığı ayrı olacak şekilde belirlenmiştir. Örnek olarak tartılan daldan yaklaşık 10-15 cm uzunluğunda bir dal örneği alınarak ayrıca yaş olarak tartılmıştır.

Ağacın gövdesinden alınan 3 adet kesit, yaklaşık 10-15 cm uzunluğundaki dal örneği ve yeterli miktarda alınan ibre laboratuvara götürülmek üzere poşetlere konulmuş ve muhafaza altına alınmıştır.

Kesilen ağaçlara ilişkin kütük çapı, göğüs çapı, boy ve yaş değerlerinin çeşitli istatistiksel değerleri Tablo 6'da ve örnek ağaçların çap ve boy basamaklarına dağılımları Tablo 7'de verilmiştir.

Tablo 6. Kesilen ağaçlara ilişkin çeşitli istatistiksel değerler

Orman Bölge Müdürlüğü	Örnek ağaç	Özellik	Örnek Sayısı	Minimum	Maksimum	Aritmetik Ortalama	Standart sapma
Antalya	Orta ağaç	Kütük çapı (cm)	243	1.9	61.0	29.3	12.3
		Göğüs çapı (cm)		0.3	56.7	24.6	11.9
		Yaş (yıl)		5.0	137.0	51.8	33.8
		Boy (m)		1.2	27.8	14.3	6.4
	Hakim ağaç	Kütük çapı (cm)	243	4.9	64.6	34.1	14.1
		Göğüs çapı (cm)		0.6	63.0	29.5	14.0
		Yaş (yıl)		5.0	139.0	51.9	33.7
		Boy (m)		1.6	30.2	16.9	7.3
Mersin	Orta ağaç	Kütük çapı (cm)	243	4.0	65.7	29.2	13.5
		Göğüs çapı (cm)		0.7	62.0	24.6	13.2
		Yaş (yıl)		5.0	154.0	52.5	36.9
		Boy (m)		1.5	28.8	13.6	6.2
	Hakim ağaç	Kütük çapı (cm)	243	4.7	68.1	31.2	13.5
		Göğüs çapı (cm)		1.0	64.1	26.9	13.2
		Yaş (yıl)		6.0	163.0	53.1	37.0
		Boy (m)		1.7	33.8	16.2	7.1

Tablo 7. Örnek ağaçların çap ve boy basamaklarına dağılımı

Çap (cm)	Boy (m)																Σ
	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24	26	28	30	34	
4	60	12	3														75
8		15	10	2													27
12		4	12	20	22	4											62
16			4	27	43	23	8	4									109
20				5	18	24	24	7	4		2	1					85
24					5	25	26	18	15	13	6	2	3	1			114
28					4	9	22	31	23	11	13	7	1		1		122
32						2	8	15	20	20	19	7	5	2			98
36							6	15	21	13	19	13	9	2	2		100
40							1	13	16	17	27	15	3	7	6		105
44								1	1	4	5	6	11	5	4	1	38
52								1		1	3	5	3	1	1		15
56										2	2	2	2	2	1		11
60											3	1		3			7
64										1			3				4
Σ	60	31	29	54	92	87	95	105	100	82	99	59	40	23	15	1	972

Bu proje kapsamında, Antalya ve Mersin Orman Bölge Müdürlüğü saf Kızılcım meşçerelerinde yaş sınıfı, bonitet ve sıklık derecesi gibi meşçere özelliklerine göre dağılımı homojen olacak şekilde 486 geçici örnek alanda ve her bir örnek alanda 2 adet olmak üzere toplamda 972 örnek ağaçta yapılan gerekli ölçümler sonucunda elde edilen verilere bağlı olarak;

- ❖ Artım ve büyüme modelleri geliştirilmiş,
- ❖ Yetiştirme ortamı verim gücünü (boniteti) saptanmış,
- ❖ Tek girişli, bonitete dayalı tek girişli ve çift girişli ağaç hacim tabloları oluşturulmuş,
- ❖ Ürün çeşidi oranları saptanmış ve göğüs çapı ve ağaç boyuna bağlı olarak ürün çeşitleri modellenmiş ve tabulaştırılmış,
- ❖ Toprak üstü biyokütle miktarı belirlenmiş,
- ❖ Karbon depolama kapasitesi belirlenmiş,
- ❖ Hesaplanan karbon depolama kapasiteleri yardımıyla toplam oksijen üretim kapasitesi hesaplanmıştır.

Örnek alandaki ağaçların göğüs çapı ($d_{1.30}$) ve dip kütük ($d_{0.30}$) çapı çap ölçer ile sırasıyla ağacın 1.30 ve 0.30 m yüksekliklerinde birbirine dik olarak ölçülen iki çapın ortalaması alınarak mm duyarlılıkla ölçülmüştür. Ağaçların boyları ve tepe başlangıç yüksekliği ise Haglőf-Vertex III Dijital Boy Ölçer ile cm duyarlılığında ölçülmüştür. Tepe çapları, Kuzey-Güney ve Doğu-Batı yönlerinde Lazerli Mesafe Ölçerle bulunan değerlerinin ortalaması alınarak belirlenmiştir. Ağaçların yaşları, Pressler'in Artım Burgusu ile doğrudan göğüs yüksekliğinden alınan artım kalemleri üzerindeki yıllık halka sayısına ağaçların göğüs yüksekliğine ulaşma yaşı (tür bazında örnek alan veya civarındaki 2-3 adet fidanda göğüs yüksekliğine ulaşma yaşı belirlenerek) eklenerek belirlenmiştir. Ağaçların son 5 ve 10 yıllık kabuksuz halka kalınlıkları, Pressler'in Artım Burgusu ile göğüs yüksekliğinden alınmıştır. Daha sonra artım kalemleri laboratuvarında Yıllık Halka Ölçer (RINTECH, LINTAB TM 6 Yüksek Çözünürlüklü) ile mm duyarlılığında ölçülmüştür. Hava hallerinin yıllık değişiminin düzensiz etkisini gidermek amacıyla, sadece son yıllık artım yerine genellikle kabuktan sonraki n sayıdaki (5-10) yıllık halkanın genişliği ölçülmektedir (Kalıpsız, 1984). Ayrıca artım kaleminin, gövde eksenine dik olarak alınmasına ve özden geçen bir doğrusal hatta olmasına dikkat edilmiştir. Yıllık ortalama kabuksuz çap artımı ise son 5 veya 10 yıllık kabuksuz çap artımlarının 5 veya 10'a bölünmesiyle hesaplanmıştır. Çift kabuk kalınlığı, kabuk ölçer ile ağacın göğüs yüksekliğinden mm duyarlılıkla ve iki yönlü ölçülüp toplamı alınmıştır. Ağaçların merkeze olan uzaklıkları Elektronik Mesafe ve Boy Ölçerin mesafe ölçme özelliği kullanılarak yatay olarak cm duyarlılığında ölçülmüştür. Ağaçların kuzeyden sapma açıları ise pusula ile belirlenmiştir. Ayrıca gövde en kesitlerindeki yıllık halkaların ölçümü Yıllık Halka Ölçer ile mm duyarlılığında ölçülmüştür.

2.2.3 Laboratuvar Çalışmaları

2.2.3.1 Gövde Analizlerinin Yapılması

Çalışma kapsamında kesilmiş olan 972 ağaçtan, 864 adedinde (I. yaş sınıfındaki 108 ağaç hariç) gövde analizi yapılmıştır. Bu aşamada üst boyu temsilen kesilen ağaçlarda (432 adet) yapılan gövde analizinde kesitlerdeki yıllık halkalar sayılmıştır. Bunun dışında, göğüs yüzeyi orta ağacını temsilen kesilen ağaçlarda (432 adet) ise detaylı gövde analizi ölçümleri yapılmıştır. Söz konusu 432 adet örnek ağacın ölçüm verileri 5 yıllık periyotlar halinde düzenlendiğinden, ağaç hacim tablosu oluşturulması maksadıyla, 2739 adet ağaç verisi türetilmiştir. Gövde analizi yapılan örnek ağaçlara ilişkin istatistiksel bilgiler Tablo 8'de verilmiştir.

Tablo 8. Gövde analizi yapılan örnek ağaçlara ilişkin bazı istatistiksel bilgiler

Değişken	Ağaç Sayısı	Minimum	Maksimum	Ortalama	Standart Sapma
Dip Çap (cm)	864	10,9	68,1	33.75	11,51
Göğüs Çapı (cm)	864	6,7	64,1	29.13	11,27
Boy (m)	864	4,6	33,8	16,75	5,70
Yaş (yıl)	864	9	163	67.93	33,43

Gövde analizi için, söz konusu ağaç göğüs yüksekliği belirlenip işaretlendikten sonra; motorlu testere ile 0,30 m yükseklikten kestirilip gövdenin ölçüm yapılacak üst yüzündeki dallar budanmıştır. Şerit metre ile kesit alınacak yerler (1,30, 3,30, 5,30, 7,30, m olarak) işaretlenmiştir. Genellikle 2'şer m (0.30-2.30, 2.30-4.30 m,...) ara ile enine kesitler alınırken, üretim standardizasyonuna bağlı olarak bazı ağaçlarda farklı uzunluklarda da kesitler alınmıştır. Alınan kesitlerin kalınlıkları 5-8 cm civarındır. Kesilen ağaç sayısının fazla olması, kesitlerin nakliyesinin ve uygun şartlarda depolanmasının zorluğu nedeniyle kesitler laboratuvara taşınmamış, ön işlemler arazide yapılmıştır. Ön işlemler: kesitlerin alınması, kesit yüzeylerinin temizlenmesi, yüksek çözünürlüklü makine ile fotoğraflarının çekilmesi ve bunların bilgisayara aktarılmasıdır. Ön işlemlerden sonra mevcut dokümanlar büroya nakledilmiştir.

Büro çalışmalarında; bilgisayara aktarılan fotoğraflar üzerinde, 5'er yıllık periyotlar halinde yıllık halka kalınlıkları ölçülmüş ve veriler MS Excel'de hazırlanmış gövde analizi tablolarına kaydedilmiştir. Gövde analizi verileri üzerinde istatistik analizler hariç tüm hesaplamalarda, MS Excel Visual Basic Application (VBA) kullanılmıştır. Bu aşamada yapılan gövde analizi ölçümleri; bonitet endeks tablosunun ve ağaç hacim tablolarının oluşturulmasında kullanılmıştır.

2.2.3.2 Ağaç Bileşenlerinin (Gövde, Dal, İbre ve Kabuk) Kurutulması

Arazide yaş ağırlıkları ölçülen gövde, dal ve ibre örnekleri polietilen torbalara konularak laboratuvara getirilmiştir. Örneklerin kuru ağırlıklarının belirlenmesi için, kurutma fırınında $105 \pm 2^{\circ}\text{C}$ 'de, yaklaşık 24 saat, değişmez ağırlığa gelinceye kadar, bekletilmiş ve hassas terazi yardımıyla ağırlıkları ölçülmüştür.

Daha sonra, biyokütlenin hesaplanmasında kullanılacak olan gövde kesitlerinin kabuklu ve kabuksuz haldeki hacimleri belirlenmiş ve aralarındaki farktan yararlanılarak da gövde ile kabuk hacimleri ayrı ayrı bulunmuştur. Fırında kurutulan enine kesitlerin önce kabuklu ağırlığı ölçülmüş; sonra kabuğu soyularak aynı işlem tekrarlanmış ve kabuk kuru ağırlığı belirlenmiştir. Örnek ağaç hacimleri, ağaçlar kesildikten sonra seksiyonlarda yapılan çap ve boy ölçümleri kullanılarak hesaplanmıştır. Ayrıca, örnek dal hacmi, ilgili ağaçtan alınan örnek dala ait çap ve boy değerlerinden yararlanılarak belirlenmiştir. Bu aşamada belirlenen örnek kesit hacimleri ve fırın kuru ağırlıkları, ağaç bileşenlerinin toplam hacimleriyle ilişkilendirilerek, ağaçların toplam fırın kurusu ağırlıkları bulunmuştur.

2.2.3.3 Ağaçların Karbon Analizleri

Karbon analizi yapmak için, fırın kurusu hale getirilen gövde, kabuk, dal ve ibre örneklerinden küçük parçalar alınmış, bu parçalar keser yardımıyla yaklaşık kibrit çöpü boyutlarına kadar ufaltılmıştır. Sonrasında bu örnekler öğütülmüş, 1 mm'lik elekte elenmiş ve ardından ağız kilitli poşetlere konularak karbon analizine hazır hale getirilmiştir. Son olarak öğütülen kısım içerisinde 100 mg'lık numune alınmış ve elementel analiz cihazında karbon analizleri yapılmıştır. Analiz sonucunda her bileşen için (gövde dip, orta, uç; kabuk, dal ve ibre) ayrı ayrı ortalama karbon oranları (%C) belirlenmiştir.

2.2.4 Ağaç Hacim Tablolarının Düzenlenmesi

Ağaç hacim tabloları, dikili bir ağacın göğüs çapı, göğüs çapı-boy veya göğüs çapı-boy-şekil katsayısı gibi değişkenlere göre, kalın odun hacmini ya da ticari hacmini veren tablolarıdır. Ağaç hacim tablolarının düzenlenmesinde temel amaç; ağaçların göğüs çapı ve boyu kolay ölçülebilen değişkenleri ile hacim arasındaki ilişkinin belirlenmesi ve bu ilişkiye bağlı olarak ağaç hacminin tahmin edilmesidir. Bu amaçla örnek ağaçlar, ilgilenilen orman toplumlarındaki tüm çap ve boy ile gövde şekli farklılığını yansıtabilecek özellikte ve yeterli sayıda seçilmesi gerekir (Kapucu vd., 2002).

Ağaç Hacim Tabloları, sadece göğüs çapına göre düzenlendiklerinde "Tek Girişli Ağaç Hacim Tabloları (Single Entry Volume Tables)", göğüs çapı ve boya göre düzenlendiklerinde "Çift Girişli Ağaç Hacim Tabloları (Double Entry Volume Tables)" ve göğüs çapı ve boya ek olarak üç ya da daha fazla değişkene göre (şekil katsayısı, tepe yüksekliği, tepe uzunluğu, tepe

uzunluğunun ağaç boyuna oranı ve gövdenin belirli bir yükseklikteki çapı) düzenlendiklerinde “Çok Girişli Ağaç Hacim Tabloları (Multiple Entry Volume Tables)” olarak adlandırılmaktadırlar (Loetsch vd., 1973; Kalıpsız, 1984; Yavuz, 1995). Ayrıca, geçerli oldukları alanın büyüklüğüne göre de “Yöresel (Lokal) Ağaç Hacim Tabloları”, “Bölgesel Ağaç Hacim Tabloları” ve “Genel Ağaç Hacim Tabloları” olmak üzere üç gruba ayrılmaktadır. Genelde, yöresel hacim tabloları için 50-100, bölgesel hacim tabloları için 100-500 ve genel hacim tabloları için 1000-5000 adet örnek ağacın seçilmesi yeterli görülmektedir (Fırat, 1973; Loetsch vd., 1973; Kalıpsız, 1984). Genellikle gövde hacmini veren tablolar şeklinde düzenlenmekle birlikte, kalın dallar ile gövde hacim toplamını, diğer bir anlatımla ağaç hacmini veren tablolar olarak da düzenlenmektedirler (Loetsch vd., 1973; Clutter vd., 1983; Kalıpsız, 1984; Philip, 1994; Laar ve Akça, 1997; Kapucu vd., 2002).

Tek ağaçların boyutlarına göre ortalama hacmini veren ağaç hacim tabloları, 19. yüzyılın başlarından beri kullanılmaktadır. Çoğu ağaç hacim tablosu, enerji üretimi için ağaç hacminden yararlanmak amacıyla üretilmedikçe, dal hacmini içermemektedir. Modern eğilim ise toplam gövde hacmini tahmin eden hacim tabloları yapmak ve bu tabloların fonksiyonlarını geliştirmek yönündedir (Laar ve Akça, 2007). Dünyada ağaç hacim tabloları ile ilgili yapılan çalışmalar incelendiğinde, farklı araştırmacıların farklı ağaç türleri için oldukça değişik sayıda örnek ağaçtan yararlandığı görülmektedir. Pilsbury ve Reimer Kaliforniya’da kentsel ağaçlandırma amacıyla kullanılan 10 farklı ağaç türü için ağaç hacim denklemi geliştirmek maksadıyla her ağaç türü için 50’şer adet örnek ağaç kullanmıştır (Pilsbury ve Reimer, 1997). Brooks vd., 2008 yılında Mut Orman İşletme Müdürlüğü sınırlarında yayılan Kızılçam, Toros Sediri ve Toros Gökarnı türleri için ağaç hacim denklemi geliştirmek amacıyla sırasıyla; 127, 78 ve 82 adet örnek ağaçtan yararlanmıştır (Brooks vd., 2008). Turski vd., 2008 yılında Polonya’da tıraşlama işletilen saf sarıçam meşcerelerinden aldığı 750 adet örnek ağaç ile ağaç hacim denklemi geliştirmiştir (Turski vd., 2008). Akindele ve Lemay, 2006 yılında Nijerya yağmur ormanlarında yetişen ekonomik değeri yüksek 77 ağaç türü için toplam 2391 adet ölçüm yaparak ilgili türler için ağaç hacim denklemleri geliştirmiştir (Akindele ve Lemay, 2006). Son olarak, Kurinobu vd. ise Endonezya’nın Doğu Java bölgesindeki *Paraserianthes falcata* türü için 172 adet örnek ağaçtan yararlanarak ağaç hacim denklemi geliştirmiştir (Kurinobu vd., 2007).

Ülkemizde ağaç hacim tablosu ilk olarak Erkin (1956) tarafından Bolu’daki Sarıçam meşcereleri için yöresel olarak düzenlenmiştir. Ülkemizde Genel Ağaç Hacim Tabloları Kızılçam (Alemdağ, 1962; Sun vd., 1978), Sarıçam (Alemdağ, 1967; Sun vd., 1978), Karaçam (Gülen, 1959; Sun vd., 1978), Gökarn (Sun vd., 1978), Batı Karadeniz Gökarnı (Saraçoğlu, 1988), Doğu Ladini (Akalp, 1978; Sun vd., 1978), Sedir (Evcimen, 1963; Sun vd., 1978), Ardiç (Aykın, 1978), Doğu Kayını (Kalıpsız, 1962; Sun vd., 1978; Carus 1998), Melez Kavağı (Birler, 1983), Ökaliptus (Özkurt, 2000), Kara Kavak (Birler vd., 1983), Dişbudak (Şentürk, 1997),

Kestane (Kapucu vd., 2002), Titrek Kavak (Bayburtlu, 2007) türleri için düzenlenmiştir. Bölgesel hacim tabloları da; Kızılçam için Alemdağ (1962) Güney Anadolu Bölgesinde ve Çatal (2009) tarafından Batı Akdeniz Bölgesinde; Karaçam için Sun vd. (1978) Batı-Güney Anadolu Bölgesinde; Sarıçam için Yavuz vd. (2010) ve Pehlivan (2010) Kuzey Anadolu Bölgesinde; Doğu Karadeniz Göknarı için Miraboğlu (1955) Kuzey Anadolu Bölgesinde ve Saraçoğlu (1988) tarafından Batı Karadeniz Bölgesinde; Meşe için Eraslan (1954) Trakya Bölgesinde; Kızılağaç için Saraçoğlu (1988 ve 1998a) Doğu Karadeniz Bölgesinde; Okalptus için Birler vd. (1995) Adana-Mersin Bölgesinde; Kestane için Özcan (1997) Batı Karadeniz Bölgesinde; Toros Göknarı için Bozkuş ve Carus (1997) Akdeniz Bölgesinde ve Sedir için Bozkuş ve Carus tarafından (1997) Akdeniz Bölgesinde düzenlenmiştir. Bunlardan ayrı olarak da; Kazdağı Göknarı için Asan (1984) Balıkesir yöresinde, Kızılçam için Özer ve Uğurlu (1977) tarafından ve Kızılçam ağaçlandırmaları için ise Carus ve Su (2014) tarafından Antalya-Korkuteline ve Şahin (2015) tarafından Mersin yöresinde; Okalptus için Fırat ve Kalıpsız (1963) Tarsus yöresinde, Sarıçam için Erkin (1956) tarafından Bolu'da, Yavuz (1995) tarafından Taşköprü'de; Karaçam için Yavuz (1995) tarafından Taşköprü'de ve Baynazoğlu (2014) tarafından Mudurnu-Sırçalı'da; Yalancı Akasya için Çatal vd. (2005) tarafından Isparta-Gölcük'de; Sahilçamı için Ercanlı vd. (2008) tarafından Sinop yöresinde ve Doğu Çınarı için ise Uludağ (2006) tarafından Kastamonu-Çatalzeytin yöresinde olmak üzere yöresel ağaç hacim tablosu olarak düzenlenmiştir. Ayrıca Kumaş (2015) tarafından Antalya yöresi Kızılçam meşcerleri için Demaerschalk (1972) tarafından geliştirilen gövde hacim denklemi ile çift girişli ağaç hacim denklemi geliştirilmiştir.

Ülkemizde asli ağaç türlerimizin hemen hemen hepsi için yöresel, bölgesel veya genel ağaç hacim tabloları bulunmakta ve Orman Amenajman Planlarında servet ve artım hesabı için bu tablolardan yararlanılmaktadır. Homojen yetişme ortamı ya da meşcere sıklık koşullarına sahip alanlar için bir hacim tablosu, toprak ve topoğrafik yapı değişiyorsa, her bir yetişme ortamı için ayrı birer hacim tablosunun düzenlenmesi önerilmektedir (Loetsch vd., 1973; Şentürk, 1997). Bu nedenle, günümüzde meşcere tipleri tanımlamasının yetişme ortamı verim gücüne (bonitete) dayalı olarak yapılması söz konusudur. Bu durumda ağaç türlerimiz için mevcut olan ağaç hacim tablolarının da güncellenmesi ve hatta pratik olması açısından bonitete dayalı ağaç hacim tablolarının oluşturması gerekecektir ve henüz hiçbir ağaç türümüz için bonitete dayalı bir ağaç hacim tabloları düzenlenmemiştir. Bu sebeple, ülkemizde en geniş yayılış alanına sahip, hızlı gelişen türlerden olan ve ekonomik değeri yüksek olan Kızılçamda bu eksikliğin giderilmesi gerekmektedir.

Bu çalışma kapsamında bonitete dayalı ağaç hacim tablosunun oluşturulmasında; bonitet endeks tablosunun da yeni geliştirilen yöntemlerle düzenlenip güncellenmesi, Kızılçam üzerine yapılacak olan çalışmalara bir zenginlik katacaktır. Bilindiği gibi; meşcere hacim ve hacim

elemanları, meşcere yaşı ve sıklığı yanında yetiştirme ortamı verimliliğine bağlı olarak değişmektedir. Diğer taraftan, değişik yaş basamaklarında elde edilecek ürünün boyutları ve değeri, bonitetin etkisi altındadır. Bu nedenlerle, başta ormancılık planlanması olmak üzere birçok ormancılık uygulanmasında, meşcerelerin yetiştirme ortamı verim güçlerinin bilinmesi büyük bir önem taşımaktadır (Kalıpsız, 1998). Meşcere boniteti olarak da adlandırılan yetiştirme ortamı verim gücü en genel ifadesiyle meşcerelerin büyüyüp geliştiği yetiştirme ortamının verimliliğini, hasılat ve üretim gücünü ortaya koyan bir terim olarak tanımlanmaktadır (Eraslan, 1982).

Ağaç hacim tablolarının düzenlenmesinde ağaçlar üzerindeki ölçümlerden sağlanan verilerin dengelenmesi söz konusu olup, bunun için “Grafik Yöntem” ya da istatistiksel bir yöntem olan “Regresyon Analizi” yönteminden yararlanılmaktadır (Loetsch vd., 1973; Kalıpsız, 1984; Şentürk, 1997). Dengeleme işleminde daha önce denenmiş ya da denenmemiş aritmetik ve logaritmik denklemler uygulanmaktadır. Matematik yöntem grafik yöntemine göre daha objektiftir ve hacmi belirlemek için seçilen denkleme belirli verileri uygulayan herkes aynı sonuçları elde eder (Kalıpsız, 1984; Şentürk, 1997). Bu çalışmada da aynı yaşlı ve saf Kızılcı meşcerelerinin farklı bonitetteki yapılan ölçüm sonuçlarından yararlanmak suretiyle Regresyon Analizi kullanılarak bonitete dayalı Kızılcı Ağaç Hacim Tabloları oluşturulmuştur.

Örnek ağaç sayısı toplumun büyüklüğüne, öngörülen hata miktarı ve güven düzeyine göre değişiklik göstermektedir. Bu çalışmada; Mersin ve Antalya yöresinden alınan 486 örnek alanın (9 yaş sınıfı X 3 bonitet sınıfı X 3 kapallık X 3 tekerrür X 2 Orman Bölge Müdürlüğü) her birinde 2 adet olacak şekilde (hem bonitet için kesilecek galip ağaç hem de meşcere orta çapını temsilen kesilecek ağaç), toplam 972 ağaç kesimi yapılmıştır. Kesilen bu 972 ağacın 486 adedi (meşcere orta çapını temsilen kesilecek ağaç) gövde analizi ölçüm verileri kullanılarak bonitet dayalı tek girişli, çift girişli ağaç hacim denklemleri oluşturulmuştur. Ağaç hacim denklemlerinin oluşturulmasında kullanılan örnek ağaçların Orman İşletme Müdürlüklerine dağılımları Tablo 3’de, ağaçlara ilişkin çeşitli istatistiksel değerler Tablo 6’da ve çap ve boy basamaklarına dağılımları ise Tablo 9’da verilmiştir.

Proje kapsamında ağaç hacim denklemlerinin oluşturulmasında kullanılacak örnek ağaçların seçiminde; ağaçların değişik çap ve boy kademesinde, canlı, tepesi sağlam, tek gövdeli ve sağlıklı olmasına özen gösterilmiştir. Dikili kuru, hastalıklı, tepesi kırık, çürük ve kovuk gibi ağaçlar örnek ağaç olarak seçilmemiştir. Bu ağaçlar kesilerek göğüs çapı ve ağaç boyu ile 1’er m aralıklarla gövdenin çapları ölçülmüştür.

Tablo 9. Ağaç hacminin belirlenmesinde kullanılan örnek ağaçların çap ve boy basamaklarına dağılımı

Çap (cm)	Boy (m)														Σ
	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24	26	28	
4	35	10													45
8		9	5	1											15
12			7	14	9	1									31
16			1	19	25	15	4	1							65
20				4	7	13	11	1	1		2	1			40
24					4	15	15	7	8	8	2	1		1	61
28					4	5	13	14	13	6	6	3			64
32						2	8	10	12	10	8	1	2	1	54
36							6	10	11	4	11	5	2		49
40							1	6	10	4	13	2	1	3	40
44										3	2	3	3		11
52												2			2
56										2	2	1		1	6
60											1	1			2
64										1					1
Σ	35	19	13	38	49	51	58	49	55	38	47	20	8	6	486

Hacim tablolarının düzenlenebilmesi için önce her bir örnek ağacın Bölümleme Yöntemi ile hacimlendirilmesi gerekir. Bölümleme Yönteminde gövde çaplarının eşit aralıklarla ölçülmesi durumunda, hacim hesapları kısa sürede ve kolaylıkla yapılabilir. Antalya ve Mersin Orman Bölge Müdürlüğündeki Kızılcım meşcerelerinden seçilen 486 adet örnek ağaç kesilerek, gövde dipten tepeye doğru önce 1, sonra 2'şer m olacak şekilde (0.3, 1.3, 3.3, 5.3 m ...) seksiyonlara ayrılmıştır. Genellikle 2'şer m (0.30-2.30, 2.30-4.30 m,...) ara ile enine kesitler alınırken, üretim standardizasyonuna bağlı olarak bazı ağaçlarda farklı uzunluklarda kesitler alınmıştır. Daha sonra gövde analizi için, her bir kesitin özünden kabuğuna doğru, birbirine dik yönlü cetvel konularak fotoğrafı çekilmiştir. Bu ağaçlarda 5'er yıllık periyotlarda yıllık halka kalınlıkları Yıllık Halka Ölçer ile mm duyarlığında ölçülmüştür. Bu veriler kullanılarak 2739 adet ağaç verisi türetilmiştir. Böylece 5'er yıllık periyotlardaki hacimler ayrı birer ağaçmış gibi elde edilmiştir. Her bir örnek ağacın periyotları; dip kütük, seksiyonlar ve uç parça olmak üzere üç ayrı bölümde hacimlendirilmiş ve bunların toplanması ile de periyotlardaki toplam gövde hacmi hesaplanmıştır. Dip kütüğün silindir, uç parçanın ise koni biçiminde olduğu varsayılmıştır. Seksiyon uzunlukları eşit olmadığından her bir seksiyonun hacimlendirilmesinde "Smalian" formülü kullanılmıştır.

$$V = V(\text{dip kütük}) + V(\text{seksiyon}) + V(\text{uç}) \quad (1)$$

$$V(\text{dip kütük}) = \frac{\pi}{4} \cdot d_{0.30}^2 \cdot l_{dk} \quad (2)$$

$$V(\text{seksiyon}) = \left(\frac{\pi}{4} \cdot (d_1^2 + d_2^2) \cdot \frac{l_1}{2} \right) + \left(\frac{\pi}{4} \cdot (d_1^2 + d_2^2) \cdot \frac{l_1}{2} \right) + \dots \quad (3)$$

$$V(u\check{c}) = \frac{\pi}{4} \cdot \frac{1}{3} \cdot d_{up}^2 \cdot l_{up} \quad (4)$$

Burada; V: örnek ağaçların gövde hacmini, $d_{0.30}$: dip kütük çapını (cm), l_{dk} : dip kütük uzunluğunu (m), $l_1, l_2, \dots, l_n$: seksiyon uzunluklarını (m). $d_1, d_2, \dots, d_n$: gövde çaplarını (cm), l_{up} : uç parça uzunluğunu (m) göstermektedir.

Ağaç hacim tablolarının düzenlenebilmesi için ağaçların kabuklu gövde hacmine ek olarak kabuklu göğüs çaplarının da bilinmesi gerekmektedir. Bu çalışmada gövde analizi yapılan ağaçlardaki her bir periyot bir ağaç gibi düşünülerek toplam 2739 veri ile en uygun ağaç hacim fonksiyonu belirlenmeye çalışılmıştır. Gövde analizi yapılan ağaçların sadece son periyotlarında (ağaç yaşı) kabuklu çap ölçümü yapıldığından, diğer periyotlardaki ölçülen çap değerleri kabuksuz aplardır. Bundan dolayı, öncelikle periyotlarda ölçülen kabuksuz çapların kabuklu çaplara dönüştürülmesi ve ondan sonra analizlere konu edilmesi gerekmektedir. Kabuklu ap ile kabuksuz çap arasındaki ilişkiyi belirlemede ağaçların gövde analizinde son periyottaki kabuksuz çapları (dkbs) ile kabuklu çapları (dkbl) verileri kullanılmıştır. İlişkinin saptanması için SPSS istatistik paket programında Regresyon-Curve Estimation seçeneğinde yer alan regresyon modelleri test edilmiş ve istatistiksel olarak belirtme katsayısı en yüksek standart hatası en düşük model en başarılı model olarak belirlenmiştir.

Ağaç hacim tablolarının düzenlenmesinde oldukça fazla sayıda ve karmaşık fonksiyonlar kullanılmaktadır. Bu fonksiyonlardan en çok kullanılanlar ve çalışma kapsamında test edilenler Tablo 10'da verilmiştir (Model 5-29) (Loetsch vd., 1973; Clutter vd. ,1983; Laar ve Akça, 1997).

Aşağıda verilen hacim denklemlerinden de görülebileceği gibi tek girişli hacim denklemlerinde göğüs çapı (d) ve göğüs çapından türetilen d^2 , $\log(d)$, $1/d$ ve $(\log d)^4$, çift girişli hacim denklemlerinde ise göğüs çapı (d) ve boy (h) ile bunlardan türetilen d^2 , $\log(d)$, $(\log d)^2$, h^2 , $1/h$, $\log(h)$, $\log(h)^2$, dh , d^2h , dh^2 , d^2h^2 , $\log d^2h$ ve $(h/d)^2d^2h$ gibi değişkenler kullanılmaktadır. Bu proje kapsamında ağaç hacim tablosunun düzenlenmesinde yukarıda verilen hacim fonksiyonlarını kullanmak yerine, göğüs çapı (d) ve ağaç boyu (h) değişkenleri ve bu değişkenlerden türetilen birçok yeni değişkenler hacimle ilişkiye getirilmiş ve istatistiksel olarak en az $P < 0.05$ önem düzeyi ile ilişki gösteren değişkenler ile hacim fonksiyonları oluşturulmuştur. Bu işlemler SPSS (SPSS 19.0 Institute Inc., 2010) adlı istatistik yazılım programı yardımıyla, "İleri Doğru Seçim (Forward Selection)", "Geriye Doğu Seçim (Bacward Selection)" ve "Aşamalı Regresyon (Stepwise Selection)" yöntemleri olarak isimlendirilen Regresyon analizinde değişken belirleme yöntemleriyle yapılmıştır.

Tablo 10. En çok kullanılan ağaç hacim modelleri

Bağımsız Değişken	Yazar	Model	Fonksiyon No
d	Kopecky-Gehrhardt	$V = b_0 + b_1 d^2$	5
	Dissescu-Meyer	$V = b_1 d + b_2 d^2$	6
	Hohenadl-Krenn	$V = b_0 + b_1 d + b_2 d^2$	7
	Berkhout	$V = b_0 d^{b_1}$	8
	Husch	$\log V = b_0 + b_1 \log d$	9
	Brenac	$\log V = b_0 + b_1 \log d + b_2 (1/d)$	10
	Hoffmann	$\ln V = b_0 + b_1 \log d + b_2 (\log d)^4$	11
d, h	Schumacher-Hall	$V = b_0 d^{b_1} h^{b_2}$	12
	Schumacher-Hall	$V = b_0 + b_1 d^{b_2} h^{b_3}$	13
	Honer	$V = d^2 / (b_0 + b_1 / h)$	14
	Ogaya	$V = d^2 (b_0 + b_1 h)$	15
	Takata	$V = d^2 h / (b_0 + b_1 d)$	16
	Spurr	$V = b_1 d^2 h$	17
	Birleşik Değişken (Spurr)	$V = b_0 + b_1 d^2 h$	18
	Spurr	$V = b_0 + b_1 d + b_2 d^2 + b_3 h + b_4 d h + b_5 d^2 h$	19
	Spurr	$\log V = b_0 + b_1 \log d^2 h$	20
	Naslund	$V = b_0 + b_1 d^2 + b_2 h^2 + b_3 d h^2 + b_4 d^2 h^2$	21
	Naslund (Ladin)	$V = b_1 d^2 + b_2 d^2 h + b_3 d h^2 + b_4 h^2$	22
	Stoate (Avustralya)	$V = b_0 + b_1 d^2 + b_2 d^2 h + b_3 h$	23
	Meyer (Değiştirilmiş)	$V = b_0 + b_1 d + b_2 d^2 + b_3 d h + b_4 d^2 h$	24
	Meyer (Kapsamlı)	$V = b_0 + b_1 d + b_2 d^2 + b_3 d h + b_4 d^2 h + b_5 h$	25
	Scott	$V = b_0 + b_1 d^{b_2} + b_3 d^{b_4} h^{b_5}$	26
	Baden-Wuerttemberg	$\log V = b_0 + b_1 (\log d)^2 + b_2 \log h + b_3 (\log h)^2$	27
	Prodan	$\log V = b_0 + b_1 \log d + b_1 (\log d)^2 + b_2 \log h + b_3 (\log h)^2$	28
	Newnham	$V = b_0 + b_1 (h/d)^2 d^2 h$	29

Burada; V: gövde hacmini, d: göğüs çapını, h: ağaç boyunu, $b_0, b_1, \dots, b_n$: denklem katsayılarını göstermektedir.

Çalışma kapsamında tek girişli, bonitete dayalı tek girişli ve çift girişli ağaç hacim tabloları düzenlenmiştir. Burada, daha önceki ağaç hacim fonksiyonlarından farklı olarak her bir bonitet sınıfı için ayrı tek girişli ağaç hacim fonksiyonları belirlenmiştir. Bonitet sınıfları bazında tek girişli ağaç hacim tabloları, tek girişli ağaç hacim tablolarının bir eksikliği olan yetiştirme ortamı koşullarını dikkate almaması ve dolayısıyla temsil kabiliyetinin düşüklüğünü gidermek için düzenlenmiştir. Bu tablolar oluşturulmadan önce, bir önceki aşamada bulunan yetiştirme ortamı verim gücü modeli kullanılmak suretiyle her bir örnek alanın boniteti yeniden bulunmuştur. Ardından bonitete dayalı ağaç hacim tablolarının oluşturulmasında kullanılan örnek ağaçlar, temsil ettikleri örnek alanın yeni bonitet derecesine göre değerlendirmeye tabii tutulmuştur.

2.2.4.1 Ağaç Hacim Denklemlerinin Kontrolü

Çalışma kapsamında tek girişli, bonitette dayalı tek girişli ve çift girişli ağaç hacim fonksiyonlarından beklenen büyüme yasaları ile uyumlu özellikleri taşıyan, düzeltilmiş belirtme katsayısı ($R_{düz.}^2$) değeri yüksek ve standart hata ($S_{y.x}$), Toplam Hata Yüzdesi (%TH) ve Ortalama Mutlak Hata Yüzdesi (%OMH) değerleri düşük model seçilmiştir (Kalıpsız, 1984).

$$\text{Belirtme Katsayısı} \quad R_{düz.}^2 = 1 - \left(\frac{\sum (V_i - \hat{V}_i)^2}{\sum (V_i - \bar{V}_i)^2} \right) \quad (30)$$

$$\text{Tahminin Standart Hatası} \quad S_{y.x} = \sqrt{\frac{\sum (V_i - \hat{V}_i)^2}{N - p}} \quad (31)$$

$$\text{Ortalama Mutlak Hata Yüzdesi (\%OMH)} \quad \%OMH = 100 \times \frac{\sum |\hat{V}_i - V_i|}{\sum V_i} \quad (32)$$

$$\text{Toplam Hata Yüzdesi (\%TH)} \quad \%TH = 100 \times \frac{\sum \hat{V}_i - \sum V_i}{\sum V_i} \quad (33)$$

Burada, N: veri sayını, p: parametre sayısını, V_i = örnek ağaçların hesaplanan hacim değerini, $\hat{V}_i$ = örnek ağaçların model ile tahmin edilen hacim değerini, $\bar{y}_i$ = örnek ağaçların ölçülen ortalama hacim değerini göstermektedir.

Hacim denklemlerinin meşcereye uygunluğu, denklemlerin oluşturulmasında kullanılan örnek ağaçlardan bağımsız olarak seçilen örnek ağaç verileri yardımıyla yapılmaktadır (Loetsch vd., 1973; Kalıpsız, 1984; Laar ve Akça, 1997). Grup II olarak verilen toplam örnek ağaç sayısının %20'sini oluşturan örnek ağaç bu amaçla seçilmiştir (Tablo 3). Bu ağaçların Bölümleme Yöntemi ile hesaplanan hacim değerleri (V_i) ile oluşturulan tek ya da çift girişli hacim denklemlerinden hesaplanan hacim değerlerinin ($\hat{V}_i$), parametrik test varsayımlarının gerçekleşmesi durumunda "Eşlendirilmiş Örnekler için t Testi (Paired Samples t Test)", bu varsayımların gerçekleşmemesi durumunda, parametrik olmayan testlerden "Wilcoxon Testi" ile karşılaştırılarak meşcereye uygun olup olmadıkları denetlenebilmektedir (Kalıpsız, 1988; Batu, 1995). Bu çalışmada, grup varyansları $\alpha = 0.05$ önem düzeyi ile homojen, grupların örnek sayıları yeterli büyüklükte ve normal dağılımlı olması nedeniyle "Eşlendirilmiş Örnekler için t Testi (Paired Samples t Test)" ile karşılaştırma yapılmıştır. İlgili test "SPSS" adlı paket bir program yardımıyla uygulanmıştır.

2.2.5 Toprak Üstü Biyokütle ve Karbon Depolama Miktarlarının Belirlenmesi

En genel ifadeyle biyokütle; gövde, dal, yaprak, kabuk ve köklerden oluşan bir ağacın ve bu ağaçların oluşturduğu meşcerenin toplam kütle (ağırlık) miktarı olarak tanımlanabilir. Biyokütle, yaş veya fırın kurusu ağırlık (kg veya ton) olarak ifade edilebilir olmasına karşın, kuru ağırlık

değerleri, yaş ağırlık değerlerine kıyasla tercih edilmekte ve uygulamada daha çok kullanılmaktadır (Saraçoğlu, 1992).

Orman ekosistemleri birçok önemli işleve sahiptirler. Bu işlevler içerisinde en önemli olanlarından biri de şüphesiz ki karbon depolama işlevidir. Bir orman ekosisteminin depoladığı karbon miktarı belirlenirken, o ormanın sahip olduğu biyokütle, bilinmesi gereken önemli unsurların başında gelmektedir. Biyokütlenin tahmini ise genellikle biyokütle dönüşüm faktörleri (BEF) yardımıyla dolaylı yoldan yapılmaktadır. Ağaç hacim tablolarından elde edilen hacim sonuçları, ilgili BEF ile çarpılarak herhangi bir orman ekosisteminin sahip olduğu biyokütle miktarı tahmin edilebilmektedir (Vallet vd., 2006).

Ormanlardaki karbon birikimi ve bilânçosu; orman alanları üzerindeki bitkisel kütlenin ağaç türleri itibariyle dağılımına ve bunların fırın kurusu madde miktarlarına dayanılarak hesaplanmaktadır. Hesaplamalarda; 1 ton fırın kurusu bitkisel madde içinde 0,45 ton karbon bulunduğu ve bu miktarın 3,66 ton CO₂'ye eşdeğer olduğu kabul edilmektedir (Asan vd., 2002).

Biyokütlenin toprak altı ve toprak üstü olmak üzere iki önemli bileşeni vardır. Toprak üstü ve toprak altı biyokütle tarım, orman ve çayır ekosistemlerinden faydalanmanın planlanmasında göz önünde bulundurulması gereken önemli değişkenlerdir. Çoğu araştırmacı biyokütle ile ilgili çalışmalarını çalışma kolaylığı açısından toprak üstü ile sınırlı tutmaktadır (Yavuz, vd., 2010). Ülkemizde birçok araştırmacı çeşitli ağaç türlerinin biyokütle değerlerini bulmaya yönelik çalışmalar yapmış ve biyokütle tabloları düzenlemiştir. Sun vd. (1976), stepe geçiş yörelerindeki sarıçam meşcerelerinde gövde, dal, ibre ve tüm ağacın yaş ve fırın kurusu ağırlıklarını göğüs yüzeyi orta ağacının çapı ve boyuna bağlı olarak hesaplayan doğrusal ilişkileri ve bileşenlerin hektardaki yaş ve fırın kurusu ağırlıklarını orta ağaç yöntemi ile belirlemişlerdir. Saraçoğlu (1988), Kızılağaç biyokütle tablolarını gövde odunu, gövde kabuğu, yaşayan dallar, dalcık ve yapraklar ile tüm ağaç için, regresyon modelleri yöntemine göre, ülkemizde ilk örnek çalışma olarak düzenlemiştir. Saraçoğlu (1992; 1998b) Doğu Karadeniz Bölgesi'ndeki Doğu Kayını; Durkaya (1998) Zonguldak Orman Bölge Müdürlüğü'ndeki Meşe; İkinci (2000) Zonguldak Orman Bölge Müdürlüğü'ndeki Kestane; Ünsal (2007)'de Adana-Karaisalı Orman İşletme Müdürlüğü'ndeki Kızılçam; Atmaca (2008) Erzurum Orman Bölge Müdürlüğü'ndeki Sarıçam; Çakıl (2008) Zonguldak Orman Bölge Müdürlüğü'ndeki Karaçam; Ülküdur (2010) Antalya Orman Bölge Müdürlüğü'ndeki Sedir, Karabürk (2011) Bartın ilindeki Gökmar, Yılmaz (2015) Antalya Orman Bölge Müdürlüğü'ndeki Kızılçam ve Şahin (2015) Mersin Orman Bölge Müdürlüğü'ndeki Kızılçam meşcerelerinin tek ağaç ve hektardaki biyokütle miktarlarının tahmin edilmesi konusunda çalışma yapmışlardır.

Ayrıca, Durkaya ve Durkaya (2008) yılında Türkiye'de 5 ağaç türü için yapılan biyokütle çalışmaların kritiğini yapmışlar ve karşılaştırmalı olarak değerlendirmelerde bulunmuşlardır.

Doğu Karadeniz Bölgesinde Eraslan (2009) yılında Isparta Orman Bölge Müdürlüğü, Eğirdir Orman İşletme Müdürlüğü'ne bağlı Aksu-Avşar Orman İşletme Şefliğinde, saf karaçam meşcerelerinde ve göğüs çapı 20 ile 60 cm arasında değişen III., IV., V. bonitet sahalarında, tesadüfi dal örneklemesi ve önem örneklemesi yöntemiyle toprak üstü biyokütle miktarını tahmin etmiştir. Bunlardan başka; Ülker (2010), Amasya Orman Bölge Müdürlüğü içerisindeki Sarıçam meşcerelerinin; Mısır vd. (2010) Maçka Orman İşletme Müdürlüğü Eğitim ve Araştırma işletme Şefliği Doğu Ladini meşcerelerinin; Aydın (2010), Artvin Orman Bölge Müdürlüğü Borçka Orman İşletme Müdürlüğü'ndeki Sarıçam meşcerelerinin tek ağaç biyokütle miktarlarının tahmin edilebilmesi amacıyla çalışma yapmışlardır. Ayrıca; Tüfekçioğlu ve Güner (2008), Artvin-Murgul Yalancı Akasya ağaçlandırmaları için; Sönmez vd., (2010b)'da, Artvin Yöresindeki aynı yaşlı ve saf Doğu Ladini meşcereleri için ve Yavuz vd. (2010)'da Karadeniz Bölgesi saf ve karışık Sarıçam meşcereleri için biyokütleyi ve karbon depolama kapasitesi belirlemişlerdir. Güner vd. (2010), Artvin-Murgul'da yaptıkları araştırmada yalancı akasya ağaçlandırmalarında karbon stoklarını incelemişlerdir. Tüfekçioğlu ve Küçük (2010) ise sarıçam meşcerelerinde köklerdeki karbon stoklarını araştırmışlar ve 5,94 t/ha olarak belirlemişlerdir. Orhan (2013), Erzurum Orman Bölge Müdürlüğü'ne bağlı Erzurum Orman İşletme Müdürlüğü sınırları içerisindeki Sarıçam, Zonguldak Orman Bölge Müdürlüğü'ne bağlı, Zonguldak Orman İşletme Müdürlüğü sınırları içerisinde de Karaçam meşcerelerinin ticari ve ticari olmayan bileşenlerinin biyokütle miktarlarını belirlemiştir. Diğer taraftan, Başaran (2004), dünyanın çeşitli biyomları için hesaplanan değerlerden yararlanarak ülkemizde depolanan toplam karbon miktarını 7,7 milyar ton olarak tahmin etmiş olup bunun 3,2 milyar tonunun orman ekosistemlerinde depolandığını bildirmektedir.

Çalışmamıza konu olan Kızılçam türüne ait yapılmış biyokütle tahmin çalışmaları da bulunmaktadır. Sun vd. (1980) Antalya Bük Araştırma Ormanı'nda Kızılçamda yaptıkları araştırmalarda orta ağaç yöntemi ile tek ağaç ve hektardaki bileşenlerin yaş ve fırın kurusu ağırlıklarını belirlemek için eşitlikler geliştirmişlerdir. Ünsal (2007) Adana Orman Bölge Müdürlüğü Karaisali Orman İşletme Müdürlüğü'ndeki Kızılçam meşcerelerinin tek ağaç ve hektardaki biyokütle miktarlarının tahmin edilmesi konusunda çalışma yapmıştır. Küçük vd. (2008) Türkiye'nin kuzey ve kuzeybatındaki saf Karaçam ve Kızılçam meşcerelerinin (324 Kızılçam ağacı ve 94 karaçam ağaç) toprak üstü ibre ve dal miktarını belirlemişlerdir. Küçük ve Bilgili (2008) yılında Türkiye'nin kuzeydoğusundaki Kızılçam meşcereleri için göğüs çapı ile ağaçların toplam yanıcı madde miktarı ve ibre biyokütlesi arasında ilişkiler belirlenmiştir. Bilgili ve Küçük (2009) Çanakkale-Keşan Orman İşletme Şefliği sınırları içerisinde göğüs çapı 20 cm'den daha küçük ağaçlardan elde edilen verilerle toprak üstü biyokütleyi veren eşitlikler geliştirmişlerdir. Durkaya vd. (2009)'da Adana-Karaisali Kızılçam meşcerelerinde çapa bağlı olarak toprak üstü biyokütleyi belirleyen denklemler geliştirmişlerdir. Zianis vd. (2011) yılında

Yunanistan'ın kuzey ve güney ege adalarında Kızılçam meşcerelerinde toprak üstü biyokütleyi allometrik ilişkilerle belirlemeye çalışmışlardır. Orhan (2013), Adana ilinde Karaisalı Orman İşletme Müdürlüğü sınırları içindeki Kızılçam meşcerelerinin ticari ve ticari olmayan bileşenlerinin biyokütle miktarlarını belirlemiştir. de-Miguel (2014), Lübnan ve Suriye bölgesindeki Kızılçam meşcerelerinde biyokütle tahmin çalışmaları yapmışlardır. Yılmaz (2015), Antalya Orman Bölge Müdürlüğü'ndeki Kızılçam meşcerelerinin tek ağaç ve hektardaki biyokütle miktarlarının tahmin edilmesi konusunda çalışma yapmıştır.

Bunlardan başka; ülkemizde, karbon depolama kapasitesini belirlemeye yönelik çalışmalar gün geçtikçe artmaktadır. Bu çalışmalar, Asan (1995)'in Türkiye Ormanlarında Karbon Birikimini için BEF₁ katsayılarının belirlediği çalışma ile başlamaktadır. Bu çalışmada Asan, Türkiye ormanlarında son 40 yıl içinde gözlenen biyokütle değişimini sayısal olarak ortaya koyup toplam biyokütle içindeki karbon ve ona eşdeğer CO₂ miktarlarını brüt ve net olarak ayrı ayrı hesaplayarak karbon bilançosunu bulmuştur. Asan, Türkiye ormanlarının atmosferden emdiği karbondioksit miktarının 1960 yılında 70 milyon ton iken 1995 yılında 79,5 milyon tona yükseldiğini bildirmektedir. Ayrıca, Asan (1999) yılında Türkiye ormanlarındaki karbon stoğunun 875 milyon ton olduğunu, bunun 554 milyon tonunun bitkisel kütlede, 321 milyon tonunun da orman topraklarında tutulduğunu bildirmektedir. Bu çalışmaların ardından yapılmış olan birçok çalışmada bu BEF katsayıları kullanılmak suretiyle; Asan vd., (2002) tarafından, İstanbul korularının karbon depolama oksijen üretimi ve toz tutma kapasitesi; Yolaşmaz ve Keleş (2009) tarafından Balçı Planlama biriminde, 1984-2006 yılları arasındaki karbon depolama ve oksijen üretim kapasitesinin değişimi; İnce (2011) tarafından, Artvin Merkez Planlama Birimi için uzaktan algılama yöntemleri kullanarak karbon depolama miktarı; Tolunay (2011) tarafından, Türkiye orman ekosistemlerindeki canlı biyokütlenin karbon stoğu ve karbon birikimi; Çömez (2012) tarafından, Eskişehir Sündiken Dağları'ndaki Sarıçam meşcerelerindeki karbon birikimi; Sivrikaya ve Bozali (2012) tarafından, Türkoğlu Planlama Birimi'nde, 1991-2002 yıllarındaki toprak üstü ve toprak altı biyokütleye karbon depolama kapasitesinin zamansal ve konumsal değişimi; Kadioğulları ve Karahalil (2013) tarafından da; Köprülü Kanyon Milli Parkı'nda, 1965 ve 2008 yıllarındaki toprak üstü ve toprak altı biyokütleye bağlı olarak BEF_s yardımıyla karbon depolama kapasitesinin konumsal ve zamansal değişimi belirlenmiştir.

Yukarıda verilen açıklamalardan da anlaşılacağı gibi ülkemizdeki bazı asli ağaç türleri için biyokütle tabloları yöresel veya bölgesel bazda olacak şekilde düzenlenmiş olmakla birlikte, bu konuda çalışmalar devam etmektedir. Bu nedenle; ülkemizdeki değişik ağaç türleri için biyokütle tablolarının düzenlenmesi, ormandan çıkartılan üründen tam kapasite ile faydalanılabilmesi, bunun yanında gerek doğaya gerekse çeşitli uluslararası sözleşmelere karşı olan sorumluluklarımızı yerine getirmek için gerekli bilgilerin ortaya konulması ve ayrıca

karbon birikimi ve bilançosu araştırmaları için daha sağlıklı bilgilerin elde edilmesi açısından oldukça önemlidir.

2.2.5.1 Örnek Ağaçların Nitelikleri ve Seçimi

Biyokütlenin toprak altı ve toprak üstü olmak üzere iki önemli bileşeni vardır. Toprak üstü ve toprak altı biyokütle tarım, orman ve çayır ekosistemlerinden faydalanmanın planlanmasında göz önünde bulundurulması gereken önemli değişkenlerdir. Çoğu araştırmacı biyokütle ile ilgili çalışmalarını çalışma kolaylığı açısından toprak üstü ile sınırlı tutmaktadır. Bu çalışma kapsamında da örnek ağaçların toprak üstü biyokütlesi ölçülmüştür.

Örnek ağaçların seçiminde; değişik çap ve boy kademesinde, canlı, tepesi sağlam, tek gövdeli ve sağlıklı olmasına özen gösterilmiştir. Örnek ağaçlar toprak seviyesinin 30 cm üstünden kesilip, gövde dipten tepeye doğru 0.3, 1.3, 3.3, 5.3 şeklinde ilk seksiyon 1 m olmak şartı ile kalan kısımlar ise 2 m'lik seksiyonlara bölünmüştür. Her bir metrede gövde çapları, ağaç üzerindeki tüm canlı dalların çapları ve boyları ölçülmüştür. Ağacın dip, orta ve uç kısımlarından olmak üzere toplam 3 adet 5-8 cm kalınlığında örnek kesitler alınmıştır. Daha sonra kesilmiş örnek ağacın dalları gövdesinden ayrılmış, dal kümelerini temsil eden örnek dal alınmış, dallar yapraklarından ayrılmış ve dal ile yaprak ağırlıkları ayrı ayrı tartılmıştır. Ağaç kesitlerinin, örnek dala ait dalcık ve yaprakların yaş ağırlıkları arazide tartılmıştır. Örnekler daha sonraki aşamalarda yapılacak ölçümler için laboratuvara götürülmüştür.

Bu şekilde alınan 323 deneme ağacının yaklaşık %80'i (259 adet) biyokütle denklemlerinin geliştirilmesi için kullanılırken, % 20'si (64 adedi) ise geliştirilen biyokütle denklemlerinin kontrolünde kullanılmıştır. Biyokütle denklemlerinin oluşturulmasında kullanılacak örnek ağaçlara ilişkin çeşitli istatistiksel değerler Tablo 11'de ve çap ve boy basamaklarına dağılımları ise Tablo 12'de (parantez içinde gösterilen numaralar kontrol için kullanılan veri ağaçlarını belirtmektedir) verilmiştir.

Tablo 11. Toprak üstü biyokütle, karbon depolama kapasitesinin belirlenmesinde kullanılan örnek ağaçlara ilişkin çeşitli istatistiksel bilgiler

Değişken	Ortalama	Minimum	Maksimum	Standart Sapma
Göğüs Çapı (cm)	24,3	0,7	59,8	12,6
Ağaç Boyu (m)	13,8	1,5	28,1	6,6

Tablo 12. Toprak üstü biyokütle, karbon depolama kapasitesinin belirlenmesinde kullanılan örnek ağaçların çap ve boy basamaklarına dağılımı

Çap (cm)	Boy (m)														Σ
	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24	26	28	
4	22(6)	5(5)													27(11)
8	1	5	2	2											10
12			6	8(2)	2(2)										16(4)
16			(1)	9(1)	12	8	3								32(2)
20				1(1)	6(1)	6(2)	8(1)	1	1		(1)				23(6)
24				1	1(2)	7(1)	10	3(1)	7(1)	3	(1)	2			34(6)
28					1	2(1)	5(4)	7(3)	6(1)	5(2)	1(1)	(1)			27(13)
32					1		4(2)	3(5)	5(1)	4	7	1	2		27(8)
36						(1)	3(1)	7(1)	6	3	6	2(1)	1(1)		28(5)
40						1	1	2(1)	4	2	7(1)	1(1)		1	19(3)
44								1	(1)	(1)	3			1(1)	5(3)
48										1	1	3(2)	1(1)		6(3)
52											2			1	3
60										1				1	2
Σ	23 (6)	10 (5)	8(1)	21 (4)	23 (5)	24 (5)	34 (8)	24 (11)	29 (4)	19 (3)	27 (4)	9 (5)	4 (2)	4 (1)	259 (64)

2.2.5.2 Gövde Yaş ve Fırın Kuru Ağırlıkların Belirlenmesi

Her deneme ağacının dip, orta ve uç kısmından örnek kesit alınmıştır. Laboratuvara getirilen tüm örnek kesitler 105 ± 2 °C'de 24 saat fırında değişmez ağırlığa gelinceye kadar kurutularak fırın kuru hale getirilmiştir. Fırın kuru haline gelen örnek kesitlerin kabuklu ağırlıkları ve hacimleri bulunmuş, sonrada kabuk soyularak aynı işlem tekrarlanmıştır. Örnek gövde kesitlerinin kabuklu ve kabuksuz kuru ağırlıkları ve hacimleri bulunmuştur. Örnek gövde kesitinin ağacı en iyi şekilde temsil etmesi için alınan üç kesitin (dip, orta, uç) ortalaması alınmıştır. Arazide ölçülen çap ve boy değerleri ile örnek ağaca ait gövdenin toplam hacmi hesaplanmış, örnek kesitlerin ortalama hacmine oranlanmıştır. Bu oran örnek gövde kesitinin ortalama fırın kuru ağırlığı ile çarpılarak deneme ağacının fırın kuru gövde ağırlığı hesaplanmıştır.

2.2.5.3 Dal Yaş ve Fırın Kuru Ağırlıkların Belirlenmesi

Her deneme ağacının canlı tüm dallarının dip çapları ile boyları ölçülmüş ve tüm dalların hacimleri hesaplanmıştır. Deneme ağacına ait hesaplanan tüm dal hacimleri toplanarak ağaca ait toplam dal hacmi bulunmuştur. Deneme ağacına ait tüm dalları temsil edecek bir adet örnek dal seçilmiş ibreleri temizlenmiş ve tartılarak yaş ağırlığı hesaplanmıştır. Örnek dal kesitine ait orta çap ve uzunluk ölçülerinden yararlanılarak hacmi hesaplanmıştır.

$$V(\text{örnek dal kesiti}) = \frac{\pi}{4} \cdot d_{0,5}^2 \cdot l \quad (34)$$

$$V(\text{örnek dal}) = \frac{1}{3} \cdot \frac{\pi}{4} \cdot d_0^2 \cdot h \quad (35)$$

Burada; $d_{0,5}$: örnek dal kesitinin orta çapını (cm), $d_{0,5}$: örnek dalın dip çapını (cm), l : örnek dal kesitinin uzunluğunu (m), h : örnek dalın uzunluğunu (m) göstermektedir

İbresi temizlenen dal örneği 105 ± 2 °C'de 24 saat fırında değişmez ağırlığa gelinceye kadar kurutularak fırın kurusu ağırlığı belirlenmiştir. Ağacın toplam dal hacmi, örnek dalın hacmine oranlanmıştır. Bulunan oran örnek dal kesitinin fırın kurusu ağırlığı ile çarpılarak deneme ağacına ait kuru dal ağırlığı elde edilmiştir.

2.2.5.4 İbre Yaş ve Fırın Kurusu Ağırlıkların Belirlenmesi

Bu amaç için her bir örnek ağacın toplam dal ağırlığından yararlanılmıştır. Ağacın dallanmasını temsil edecek şekilde seçilen örnek daldaki ibre ağırlığı belirlenerek tüm ağacın dal ağırlığıyla ilişkilendirilmiştir. Bulunan bu oran ile örnek daldan toplanan ibrenin yaş ağırlığı çarpılarak örnek ağacın ibre yaş ağırlığı, fırın kurusu ağırlığı çarpılarak örnek ağacın ibre kuru ağırlığı elde edilmiştir. Burada, daldan ayrılan ibre 105 ± 2 °C'de 24 saat fırında değişmez ağırlığa gelinceye kadar kurutularak fırın kurusu ağırlığı belirlenmiştir.

2.2.5.5 Kabuk Yaş ve Fırın Kurusu Ağırlıkların Belirlenmesi

Örnek gövde kesitinde bulunan kabuk 105 ± 2 °C'de 24 saat fırında değişmez ağırlığa gelinceye kadar kurutularak fırın kurusu ağırlığı belirlenmiştir. Deneme ağacının kabuklu ve kabuksuz gövde hacmi hesaplanmış ve aralarındaki fark belirlenerek deneme ağacının kabuk hacmi bulunmuştur. Aynı işlem örnek kabuklu gövde kesiti ve kabuksuz gövde kesiti için tekrarlanmış, örnek gövde kesitine ait kabuk hacmi bulunmuştur. Deneme ağacına ait toplam kabuk hacmi ile örnek kesit kabuk hacmi ilişkilendirilmiştir. Bulunan bu oran ile örnek enine kesite ait fırın kurusu kabuk ağırlığı çarpılarak örnek ağacın kabuk kuru ağırlığı hesaplanmıştır.

2.2.5.6 Toprak Üstü Biyokütle Modellerinin Belirlenmesi

Toprak üstü biyokütle modellerinin belirlenmesinde, kesilen örnek ağaçlardan, kesit ve örnek alınmış olan 323 adet orta ağaca ilişkin ölçüm verileri kullanılmıştır. Söz konusu 323 orta ağaca ilişkin istatistiksel bilgiler Tablo 11'de, bu ağaçların çap ve boy basamaklarına dağılımı ise Tablo 12'de verilmiştir. Ağaç bileşenlerine ait biyokütle modellerinin oluşturulmasında "Regresyon" yöntemi kullanılmıştır. Bu yöntemin amacı, örnek ağaçlarda yapılan ölçümlere göre tüm ağaç ve ağaç bileşenlerinin biyokütlelerini, göğüs çapı ve boy gibi kolay ölçülebilen parametreler ile tahmin etmektir. Biyokütle tabloları yaş ve kuru biyokütle tabloları biçiminde

düzenlenmektedir. Yaş ağırlık mevsimden mevsime değiştiğinden kuru biyokütle tablolarının düzenlenmesi uygun görülmüştür. Kuru ağırlığa dayanan biyokütle denklemleri, ağacın her bir bileşeni (gövde, dal, ibre ve kabuk) için ve bu bileşenlerin toplamından oluşan tüm ağaç için düzenlenmiştir. Bu modeller ve tablolar oluşturulurken, kozalaklar modellemeye dâhil edilmemiştir.

Biyokütle modellerinin belirlenmesinde ve tablolarının düzenlenmesinde oldukça fazla sayıda ve karmaşık fonksiyonlar kullanılmaktadır. Bu fonksiyonlardan en çok kullanılanlar ve çalışma kapsamında test edilenler Tablo 13'de verilmiştir.

Tablo 13'de verilen eşitliklerde; y : Bileşen ağırlığını (kg), d : Göğüs çapını (cm), h : Ağaç boyunu (m) ve b_0, b_1, b_2, b_3, b_4 : Modele ait katsayıları ifade etmektedir.

Ağaçların toprak üstü biyokütlesinin hesaplanması için, ilgili 323 ağaç bileşeninin (gövde, kabuk, dal ve ibre) fırın kurusu ağırlıklarıyla; aynı ağacın göğüs çapı ($d_{1,3}$) ve boyu (h) ölçümleri ilişkiye getirilerek regresyon analizleri yapılmıştır. Göğüs çapı, ağaç boyu ve bu değişkenlerin türevleri kullanılarak "İleri Doğru Seçim (Forward Selection)", "Geriye Doğru Seçim (Bacward Selection)" ve "Aşamalı Regresyon (Stepwise Selection)" yöntemleriyle gövde, dal, ibre, kabuk ve toprak üstü biyokütle gibi her bileşen için uygun biyokütle modeli belirlenmiştir.

Çalışmada kullanılan regresyon yöntemi için SPSS 19.0 (SPSS 19.0 Institute Inc., 2010) adlı istatistik paket programı kullanılmıştır. Biyokütle modelleri seçilirken; biyolojik büyüme esaslarına uygun modeller arasından istatistiksel olarak $p < 0,05$ önem düzeyi ile anlamlı, belirtme katsayısı (R^2 , Denklem 30) değeri en yüksek ve tahminin standart hatası (S_{yx} , Denklem 31), en düşük olan model seçilmiştir.

Tablo 13. Çeşitli çalışmalarda kullanılan biyokütle modelleri

Bağımsız Değişken	Model (Yazar)	Model	Model No
d	Doğrusal	$Y = b_0 + b_1d$	36
	Parabolik; Zianis vd., 2005	$Y = b_0 + b_1d + b_2d^2$	37
	Logaritmik; Zianis vd., 2005	$Y = b_0 + b_1\ln(d)$	38
	Birleşik; Zianis vd., 2005	$Y = b_0.b_1^d$	39
	S	$Y = \exp(b_0 + b_1/d)$	40
	Üssel	$Y = b_0.d^{b_1}$	41
	Ters (Devrik)	$Y = b_0 + b_1/d$	42
	Üstel; Zianis vd., 2005	$Y = b_0.\exp(b_1.d)$	43

	Büyüme; Küçük ve Bilgili, 2008; Bilgili ve Küçük, 2009	$Y = \exp (b_0 + b_1d)$	44
	Zianis vd., 2005	$Y = b_0+(d)^{b_1}$	45
	Zianis vd., 2005	$Y = b_0+b_1.(d)^{b_2}$	46
	Zianis vd., 2005	$Y = b_0+b_1.\ln(d^2)$	47
	Zianis vd., 2005; Yılmaz, 2015	$Y = b_0 + b_1d^2$	48
	Zianis vd., 2005; Yılmaz, 2015	$Y = b_0d^2$	49
	Zianis vd., 2005	$Y = b_0d^2+b_1(d^2-b_2)$	50
	Zianis vd., 2005	$Y = b_0.[1-\exp(-b_1d)]^{b_2}$	
	Jenkins vd.,2004; Zianis vd., 2005; Durkaya vd., 2009; Bilgili ve Küçük, 2009; Miguel, vd., 2014	$\ln Y = b_0 + b_1 \ln(d)$	51
	de-Miguel, vd., 2014	$\ln Y = b_0 + b_1d/(d + b_2)$	52
	Yılmaz, 2015	$Y = b_0 + b_1d^2h$	53
	Yılmaz, 2015	$Y = b_0 + b_1d + b_2h + b_3d^2h$	54
	Zianis vd., 2005	$Y = b_0 + b_1\ln d + b_2h + b_3\ln d^2h$	55
	Zianis vd., 2005	$Y = b_0 + b_1d + b_2 \ln(d) + b_3h$	56
	Zianis vd., 2005	$Y = b_0 + b_1\ln d + b_2d^2h$	57
	Zianis vd., 2005	$Y = b_0 + b_1\ln d + b_2\ln h$	58
d, h	Zianis vd., 2005	$Y = b_0 + b_1\log(d^2h)$	59
	Zianis vd., 2005	$Y = b_0 + b_1 \ln(d^2h)$	60
	Zianis vd., 2005	$Y = b_0d^{b_1}h^{b_2}$	61
	Zianis vd., 2005	$\ln Y = b_0 + b_1d + b_1d^2+ b_3h+b_4dh$	62
	Saraçoğlu, 2000; de-Miguel, vd., 2014	$\ln Y = b_0 + b_1 \ln(d^2h)$	63
	Küçük vd., 2008	$\ln Y = b_0 + b_1 \ln(d) + b_2 \ln(h)$	64
	de-Miguel, vd., 2014	$\ln Y = b_0 + b_1d + b_2 \ln(d) + b_3h$	65
	de-Miguel, vd., 2014	$\ln Y = b_0 + b_1 \ln(d^2) + b_2 \ln(h)$	66

2.2.5.7 Biyokütle Denklemlerinin Kontrolü

En uygun biyokütle modelleri belirlendikten sonra yapılması gereken önemli bir işlem de modelin Kızılçam meşcerelerine uygunluğunun test edilmesidir. Bunun için bir denklemin kullanılabilirliğinin kontrolü bağımsız bir veri grubu ile yapılmalıdır. Bu çalışma kapsamında geliştirilen biyokütle denklemleri de bağımsız bir veri grubu ile kontrol edilmiştir. Bu bağlamda toplam veri iki gruba ayrılmıştır. Birinci veri grubu denklem oluşturmak için kullanılırken, ikinci veri grubu denklemin kontrolü için kullanılmıştır. Vanclay (1994), bu tip verileri ayırmada çok

sayıda yöntem olduğunu belirtmekle birlikte, bu çalışmada da onlardan biri olan rastgele örnekleme kullanılmıştır.

Denklem geliştirmek amacıyla kullanılan veri toplam verinin yaklaşık % 80'ini oluştururken, geriye kalan yaklaşık %20'lik kısım geliştirilen denklemin kontrolünü yapmak amacıyla kullanılmıştır. Denklem gelişimi için ayrılan gözlem sayısının, denklem gelişimine olanak sağlayacak yeterlilikte, test grubundaki gözlem sayısı da test yapmaya ve uygun istatistiksel analiz yapmaya elverişli olmalıdır. Toprak üstü biyokütle modellerinin oluşturulması için kesilmiş bulunan 323 göğüs yüzeyi orta ağacı ölçüm verisinden, %80'i (259 adedi) model oluşturmada ve %20'si de (64 adedi) bulunan modellerin uygunluklarının denetlenmesinde kullanılmıştır. Geliştirilen denklemler Student'in Eşleştirilmiş t-testi ile kontrol edilmiştir.

$$t = \frac{\bar{d}}{S_{\bar{d}}} \quad (67)$$

Burada; $\bar{d}$: Ölçülen ve biyokütle denklemleri ile tahmin edilen biyokütle farklarının ortalamasını $S_{\bar{d}}$: farkların standart hatasını göstermektedir.

2.2.6 Karbon Depolama ve Oksijen Üretim Kapasitesinin Belirlenmesi

Örnek alanları temsilen kesilen göğüs yüzeyi orta ağaçlarının; gövde (dip, orta ve uç kısmından), kabuk, dal ve ibresinden alınarak fırın kurusu hale getirilen örnek kesitler, aynı zamanda karbon miktarlarının belirlenmesi için elementel analiz cihazında yakma işlemine tabi tutulmuşlardır. Bunun için fırın kurusu haldeki odun ve kabuk numuneleri, öncelikle keser ve bıçak kullanılarak kibrit çöpü boyutlarına kadar ufaltılmıştır. Ufaltılan bu parçalar ve ibreler, öğütme cihazında 1 mm'lik elekten geçecek hale gelene kadar öğütülmüştür. Daha sonra bu numuneler (her bir örnek ağacın gövde kesitleri ile kabuk, dal ve ibresinden oluşan 906 adet numune), nemlenmeyi önlemek için ağzı kilitli poşetlere konularak, karbon analizine hazır hale getirilmiştir. Fırın kurusu halindeki 50-100 mg'lık numuneler; yaklaşık 15'er dk süreyle elementel analiz cihazında yakma olayına tabi tutulmuş ve analiz sonucunda karbon oranları (%C) elde edilmiştir.

Her bir örnek ağacın her bileşeninden alınan örneklerin karbon içerikleri belirlendikten sonra elde edilen değerler tüm ağacın tüm bileşenlerinin karbon depolama miktarının belirlenmesinde kullanılmıştır. Böylelikle her örnek ağacın her bileşeninin karbon depolama kapasiteleri belirlenmiş ve Regresyon Analizi yöntemi kullanılarak her bileşene ait karbon depolama denklemleri geliştirilmiştir. Biyokütle denklemlerinin oluşturulmasında kullanılacak örnek ağaçlara ilişkin çeşitli istatistiksel değerler Tablo 11'de ve çap ve boy basamaklarına dağılımları ise Tablo 12'de verilmiştir.

2.2.6.1 Karbon Depolama Denklemlerinin Kontrolü

Oluşturulan karbon depolama denklemlerin kullanılabilirliğinin kontrolü, denklem oluşturmada yararlanılan verilerden bağımsız olan bir veri grubu ile gerçekleştirilmiştir. Denklem oluşturmak amacıyla kullanan veri toplam verinin yaklaşık %80 ini (259 adet) oluşturken, oluşturulan denklemin kontrolü için geri kalan verinin yaklaşık %20'lik (64 adet) kısmı kullanılmıştır. Karbon depolama modellerin uygunluğunun test edilmesinde, parametrik test varsayımlarından biri olan “grup varyanslarının homojenliği” varsayımının sağlanması durumunda; “Student’in Eşlendirilmiş t-testi (Paired Samples T test)”, sağlanamaması durumunda ise, parametrik olmayan testlerden “Wilcoxon’un İşaret Testi (Wilcoxon Signed Test)” kullanılarak tahmini ve aktüel çap artımları karşılaştırılmıştır (Kalıpsız, 1988; Batu, 1995).

2.2.7 Yetiştirme Ortamı Verim Gücünün Belirlenmesi

Ormancılık uygulamalarındaki öneminin bir sonucu olarak, yetiştirme ortamı verim gücünün tahmininde birçok yöntem geliştirilmiş ve uygulanmıştır. Bu yöntemlerden, meşcere yaş-üst boy ilişkisine dayanan ve standart yaştaki üst boy olarak hesaplanan bonitet endeksi, özellikle eşit yaşlı meşcereler için yetiştirme ortamı verim gücü göstergesi olarak genel kabul görmektedir. Meşcere üst boyu ile kılavuz eğri yaklaşımına dayanılarak geliştirilmiş bonitet endeks tablolarının yardımıyla bonitet sınıflaması yapılmaktadır. Bu yaklaşımın dezavantajları, standart yaşa bağlı olunması ve kılavuz eğri değerinden hareket edilerek enterpolasyon yoluyla diğer bonitet sınıflarının tahmin edilmesidir. Günümüzde bütün bu eksiklikler fark edilerek kılavuz eğri yaklaşımından daha üstün olan yeni yaklaşımlar geliştirilmiştir. Standart yaş değerinin istenen biçimde değiştirilmesi ile boy tahminlerinin bundan etkilenmemesini sağlayan bu yeni yaklaşım, Farklı Denklemler Yaklaşımı Yöntemi (The Difference Equation Method) olarak adlandırılmaktadır.

Farklı Denklemler Yaklaşımı Yönteminin ilki olan Cebirsel Fark Yaklaşımı “The Algebraic Difference Approach” (ADA), ilk olarak Bailey ve Clutter (1974) tarafından geliştirilmiştir. Bu yöntemde öncelikle, meşcerelerin boylanma eğrisine uygun bir temel büyüme fonksiyonu seçilmekte, daha sonra büyüme fonksiyonun seçilen bir parametresine bağlı olarak cebirsel olarak yeniden düzenlenmektedir. ADA yönteminde asimptot parametresine göre yapılan cebirsel düzenleme ile çok asimptotlu anamorfik, polymorphisim parametresine göre yapılan cebirsel düzenleme ile ise tek asimptotlu ve polimorfik şekilli bonitet endeks modelleri üretilmektedir. Hem polimorfik hem de çok asimptotlu bonitet endeks eğrileri üretilmek isteniyorsa, seçilen temel büyüme fonksiyonun iki parametresine bağlı olarak cebirsel düzenlemelerin yapılması gerekir (Corral Rivas vd. 2006; Wang vd., 2008; Cieszewski ve Strub ,2008; Subedi vd., 2009). Bonitet endeks modellerinde iki parametrenin cebirsel olarak

düzenlendiği Genelleştirilmiş Cebirsel Fark Yaklaşımı “The Generalized Algebraic Difference Approach” (GADA), Cieszewski ve Bailey (2000) tarafından geliştirilmiştir (Kahriman, 2011). Cieszewski ve Bailey, (2000); yaş-boy ilişkilerinin verim gücüne bağlı olarak değişimlerinde beklenen büyüme yasalarına ilişkin özellikleri şu şekilde ifade etmiştir;

- Bonitet endeks eğrilerine ilişkin trendin iyi ve kötü bonitet sınıfları için birbirinden farklı olması (Polimorfizm),
- Bonitet eğrilerine ilişkin maksimum boy değerlerinin yetiştirme ortamı verim gücüne göre değişmesi (çoklu asimptot),
- Eğrilerin maksimum boya ulaşma sürelerinin, verim gücü iyileştikçe küçülmesi veya değer olarak büyümesi,
- Eğrilerin orijinden geçmesi ($t=0$ yaşında $h=0$ m boy vermesi),
- Eğrilerin geniş S harfi biçimli bir trend izlemesi,
- Boy artımlarının maksimuma ulaşma sürelerinin yetiştirme ortamı verim gücü iyileştikçe küçülmesidir.

Ülkemizde bonitet endeks tabloları, genellikle Anamorfik yöntem kullanılarak hazırlanmış; Doğu Ladini (Akalp, 1978b), Melez Kavağı (Birler, 1983), Ökalyptus (Birler vd., 1995) Sahilçamı (Özcan, 2002), Titrek Kavak (Bayburtlu, 2007) ve Sedir (Aydın, 2008) ağaç türleri için Polimorfik yöntem ile bonitet endeks tabloları oluşturulmuştur. Bunlardan başka, Karadeniz Bölgesi Saf ve Karışık Sarıçam meşcerelerinde (Yavuz vd., 2010), Trabzon ve Giresun Orman Bölge Müdürlükleri’ndeki Doğu Ladini-Sarıçam karışık meşcerelerinde (Ercanlı, 2010) ve Karadeniz Bölgesi’ndeki Sarıçam-Doğu Kayını meşcerelerinde de (Kahriman, 2011) cebirsel fark yaklaşımına dayanan polimorfik yöntem yardımıyla bonitet endeksi çalışmaları yapmışlardır.

ADA ve GADA yaklaşımına göre elde edilen bonitet endeks modelleri, günümüzde gelişmiş ülkelerdeki ormancılık uygulamalarında bonitet endeks tahminlerinde kullanılan bir yöntem olarak birçok araştırmacıya konu olmaktadır. Özellikle bu popülerliğinin ve genel kabul görmesinin sebepleri olarak, bu yöntemle elde edilen bonitet endeks eğrilerinin standart yaşa bağımlı olmayıp farklı standart yaşlar için aynı eğri ile bonitet endeks tahmini olanağı sağlamaları ile Polimorfimizim, çoklu asimptot, bonitet endeksi bağılı olarak beklenen yaş-boy trendleri gibi bilinen büyüme yasaları ile uyumlu sonuçlar vermeleri sayılabilir. Bu bakımdan, özellikle bu gibi gelişmiş ülkelerde hali hazırda bonitet endeks eğrilerinin oluşturulmasında ve bonitet endeks tahminlerinde, bu ADA ve GADA modelleri sıklıkla kullanılmaktadır.

Bu çalışmada yetiştirme ortamı verim gücünün belirlenmesi ve bonitet endekslerinin hesaplanmasında, Genelleştirilmiş Cebirsel Fark Yaklaşımı (GADA) ile elde edilmiş bonitet endeks modellerine dayanan “Polimorfik yöntem” kullanılmıştır. Ağaçların farklı yaşlardaki boy değerlerinin yaşa ve diğer değişkenlere (standart yaş ve bonitet endeksi) göre değişimleri

modellemek üzere Chapman-Richards (M1:68), Hossfeld (M2:69), Log-logistic (M3:70), Hossfeld IV (M4:71), Lundqvist (M5:72), Weibull (M6:73), King-Pardon (M7:74), Bertalanffy-Richards (M8:75 ve M9:76) ve Hossfeld (M10:77) büyüme fonksiyonları kullanılmıştır (Tablo 14).

Tablo 14. Bonitetin belirlenmesinde kullanılan temel büyüme modelleri ve bu modellerden GADA yaklaşımlarına göre elde edilen dinamik bonitet endeks modelleri

Temel Fonksiyon	Cebirsel İşlem	Xo	GADA Modeli	No
Chapman-Richards: $h = a_1 \cdot (1 - \exp(-a_2 \cdot t))^{a_3}$	$a_1 = b_4 \cdot \left(\frac{h_0}{t_0}\right)^{b_5} \cdot t_0^{b_6}$	$X_0 = b_4 \cdot \left(\frac{h_0}{t_0}\right)^{b_5} \cdot t_0^{b_6}$	$h = h_0 \cdot \left[\frac{(1 - \exp(-X_0 \cdot t))}{(1 - \exp(-X_0 \cdot t_0))} \right]^{b_3}$ Goelz ve Burk (1992)	68
Hossfeld: $h = \frac{a_2 \cdot t^{a_3}}{t^{a_3} + a_1}$	$a_2 = a_{2a} + a_{2b} \cdot X$	$X_0 = h_0 - b_1 + \sqrt{(h_0 - b_1)^2 + 2 \cdot h_0 \cdot \frac{e^{b_2}}{t_0^{b_3}}}$	$h = h_0 \cdot \frac{t^{b_3} \cdot (t_0^{b_3} \cdot X_0 + e^{b_2})}{t_0^{b_3} \cdot (t^{b_3} \cdot X_0 + e^{b_2})}$ Cieszewski (2001)	69
Log-logistic (equivalent Hossfeld): $h = \frac{a_1}{1 + a_2 t^{-a_3}}$	$a_1 = b_1 + X$ $a_2 = b_2 X$	$X_0 = \frac{h_0 - b_1}{1 - b_2 h_0 t_0^{-b_3}}$	$h = \frac{b_1 + X_0}{1 + b_2 X_0 t^{-b_3}}$ Cieszewski (2000)	70
Hossfeld IV: $h = \frac{a_1}{1 + a_2 t^{-a_3}}$	$a_1 = \frac{b_4}{S}$	$X_0 = \sqrt{(h_0 - d)^2 + 4b_4 h_0 t^{-b_3}}$ $d = \frac{b_4}{Asi^{b_3}}$	$h = \frac{(h_0 + d + X_0)}{2 + 4b_4 \frac{t^{-b_3}}{(h_0 - d + X_0)}}$ Cieszewski ve Bella (1989)	71
Lundqvist: $h = a_1 \cdot \exp\left(\frac{-a_2}{t^{a_3}}\right)$	$a_1 = \exp(X)$ $a_2 = b_1 + \frac{b_2}{X}$	$X_0 = \frac{1}{2} \cdot \left(\ln(h_0) + \sqrt{[\ln(h_0)]^2 + 4 \cdot b_1 \cdot t_0^{b_3}} \right)$	$h = \exp(X_0) \exp\left[-\left(\frac{b_1}{X_0}\right) t^{-b_3}\right]$ Cieszewski (2004)	72
Weibull: $h = a_1 \cdot (1 - \exp(-a_2 \cdot t^{a_3}))$	$a_1 = a + a_0 \cdot X$ $a_2 = b_1 + b_2 \cdot X$	$X_0 = \frac{\ln(h_0) - b_1 \cdot \ln(1 - \exp(-t_0^{b_3}))}{1 + b_2 \cdot \ln(1 - \exp(-t_0^{b_3}))}$	$h = \exp[X_0 + [b_1 + b_2 \cdot X_0] \cdot \ln(1 - \exp(-t^{b_3}))]$ Cieszewski (2004)	73
King-Pardon: $h = \frac{t^{a_1}}{a_2 + a_3 \cdot t^{a_1}}$	$a_2 = b_2 + b_3 \cdot X$ $a_3 = X$	$X_0 = \frac{\left(\frac{t_0^{b_1}}{h_0}\right) - b_2}{(b_3 + t_0^{b_1})}$	$h = \frac{t^{b_1}}{b_2 + (b_3 \cdot X_0) + (X_0 \cdot t^{b_1})}$ Krumland ve Eng (2005)	74
Bertalanffy-Richards: $h = a_1 (1 - \exp(-a_2 t))^{a_3}$	$a_1 = \exp(X)$ $a_3 = b_2 + b_3/X$	$X_0 = \frac{1}{2} \left((\ln h_0 - b_2 L_0) + \sqrt{(\ln h_0 - b_2 L_0)^2 - 4b_3 L_0} \right)$ with $L_0 = \ln(1 - \exp(-b_1 t_0))$	$h = h_0 \left(\frac{1 - \exp(-b_1 t)}{1 - \exp(-b_1 t_0)} \right)^{(b_2 + b_3/X_0)}$ Cieszewski (2004)	75
	$a_1 = \exp(X)$ $a_3 = b_3 + 1/X$	$X_0 = \frac{1}{2} \left((\ln h_0 - b_3 L_0) \pm \sqrt{(\ln h_0 - b_3 L_0)^2 - 4L_0} \right)$ with $L_0 = \ln(1 - \exp(-b_2 t_0))$	$h = h_0 \cdot \left(\frac{1 - \exp(-b_2 t)}{1 - \exp(-b_2 t_0)} \right)^{(b_3 + 1/X_0)}$ Cieszewski (2004)	76
Hossfeld: $h = \frac{t^2}{a_1 + a_2 t + a_3 t^2}$	$a_2 = X$ $a_3 = b_1 + b_2 X$	$X_0 = \frac{t_0^2 (1 - b_1 h_0) - b_1 h_0}{h_0 t_0 (1 + b_2 t_0)}$	$h = \frac{t^2}{b_1 (1 + t_1^2) + X_0 t_1 (1 + b_2 t_1)}$ Cieszewski vd., (2007)	77

Burada; $a_1, a_2, a_3, b_1, b_2, b_3, b_4, b_5, b_6$ ve Asi modellerinin parametrelerini, S: bonitet endeksini, t_0 standart yaşı, h_0 : t_0 yaşı için boyu veya diğer bir ifadeyle de bonitet endeksini, t: ağaç yaşını ve h: ağacın t yaşındaki boyunu göstermektedir.

Bu fonksiyonlar; Goelz ve Burk (1992), Cieszewski ve Bella (1989), Cieszewski (2000), Cieszewski (2001), Cieszewski (2002), Cieszewski (2004), Krumland ve Eng (2005), Cieszewski vd. (2007) tarafından GADA ile yeniden düzenlenerek, farklı bonitet ve standart yaşlar için üst boy tahminleri yapabilecek bir model yapısına dönüştürülmüştür. Çalışma kapsamında bu denklemlerin GADA ile geliştirilen model yapıları kullanılmıştır.

Dinamik bonitet endeks model yapıları incelendiğinde; özellikle temel yapılarından farklı olarak h_0 ve t_0 olmak üzere 2 değişken daha eklendiği görülmektedir. Bu değişkenlerden, h_0 değişkeni; bonitet endeks gösterge değeri iken, t_0 değişkeni ise; standart yaş değerine ilişkin

gösterge değeridir. Bonitet endeks modellerinin bu yapısı; tek bir bonitet endeks modeli ile farklı bonitet eğrilerinin (site curves), farklı standart yaşlar referans alarak oluşturabilmesini sağlamaktadır.

Proje çalışması kapsamında polimorfik yöntemin uygulanmasında, çalışma alanında kesilen örnek ağaçlarda yapılan gövde analizi verileri kullanılmıştır. Modellere ilişkin parametre tahminleri ile modellerin istatistiki başarı ölçüt değerleri, SAS İstatistik Paket Programındaki PROC MODEL prosedürü ile elde edilmiştir (SAS Institute Inc., 2004). SAS istatistik programı ile doğrusal olmayan regresyon modellerinin elde edilmesinde Levenberg-Marquardt tahmin yöntemi kullanılmıştır. Bu çalışmada kullanılan farklı modellerden, ağaçların yaş-üst boy ilişkilerinin modellemede en başarılı olanını belirlemek üzere; Düzeltilmiş Belirtme Katsayısı (Adjusted Coefficient of Determination: R_{adj}^2), Hata Kareler Ortalamasının Karekökü (The Root Mean Square Error: RMSE) ve Akaike Bilgi Ölçütü (Akaike Information Criterion Differences: AICd) gibi bazı istatistiki başarı ölçüt değerleri kullanılmıştır. Bu istatistiki değerlerden, RMSE ve AICd değerlerinin küçük, R_{adj}^2 değerinin ise 1'e yakın olması istenilmektedir.

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (h_i - \hat{h}_i)^2}{n - p}} \quad (78)$$

$$R_{düz}^2 = 1 - \frac{(n - 1) \sum_{i=1}^n (h_i - \hat{h}_i)^2}{(n - p) \sum_{i=1}^n (h_i - \bar{h})^2} \quad (79)$$

$$AICd = n \log \hat{\sigma}^2 - \min(n \log \hat{\sigma}^2 + 2k) \quad (80)$$

$$\hat{\sigma}^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (h_i - \hat{h}_i)^2}{n} \quad (81)$$

Burada n: veri sayısını, p: tahminlerde kullanılan değişken sayısını, h_i : ölçülen üst boy değerini, $\hat{h}_i$: tahmin edilen üst boy değerini, $\bar{h}$: ölçülen üst boy değerlerinin ortalamasını ve $\hat{\sigma}^2$ modelin hata varyansını göstermektedir.

Modellerde kullanılacak veriler arasındaki seri-korelasyon (otokorelasyon), doğrusal olmayan regresyon analizi (Generalized Nonlinear Least Squares (GNLS) methods) ile giderilebilmektedir (Goelz and Burk, 1992; Huang, 1997; Monserud, 1984; Diéguez-Aranda vd., 2005; Diéguez-Aranda vd., 2006). Bu çalışmada 10 farklı bonitet endeksi modelinin parametreleri; özellikle zaman serisi olarak gövde analizlerinden elde edilen veriler arasındaki mevcut seri-korelasyonu (otokorelasyon) gidermek üzere, otoregresif modelleme ile yeniden tahmin edilmiştir. Zaman serisi analizinin temel bir bileşeni olan Otoregresif modelleme yapısı;

$$H_{ij} = f(H_j, t_i, t_j, \beta) + e_{ij} \quad (82)$$

$$e_{ij} = \rho \cdot e_{i-1,j} + \gamma \cdot e_{i,j-1} \quad (83)$$

biçiminde olup, H_{ij} ; H_j ile tahmin edilen boy değerini, t_i ; i. yaşı, t_j ; j. yaşı, H_j ; j. yaştaki boy değerini, e_{ij} ; hata terimlerini, ρ ; H_j ile tahmin edilen H_{i-1} 'e ilişkin hatalar arasındaki otokorelasyon değerini, γ ; H_{j-1} ile tahmin edilen H_i 'e ilişkin hatalar arasındaki otokorelasyon değerini ifade etmektedir (Diéguez-Aranda vd., 2005; Álvarez-González vd., 2005).

Otoregresif modelleme ile zaman serisi niteliğindeki veriler arasındaki seri-korelasyonun (otokorelasyon) giderilip giderilmediğini belirlemek üzere, “Durbin-Watson” test istatistiği kullanılmıştır. Durbin-Watson test istatistiğine ilişkin eşitlik aşağıda verilmiştir.

$$d = \frac{\sum_{i=1}^n (e_i - e_{i-1})^2}{\sum_{i=1}^n e_i^2} \quad (84)$$

Bu eşitlikte, e_i ; i. veriye ilişkin hata değerini, n ; veri sayısını ifade etmekte olup, durbin-watson katsayısı ise, 0 ile 4 arasında değer almaktadır. Özellikle 2'ye yakın durbin-watson katsayısı, seri-korelasyon (otokorelasyon) sorunun olmadığını göstermektedir (Fox, 1997).

Eşit yaşı meşcerelerde yetiştirme ortamı verim gücü genellikle meşcere yaşı ve üst boyuna bağlı olarak belirlenmektedir. (Kalıpsız, 1998; Vanclay, 2001; Pretzsch, 2009). Meşcere boy gelişimi üzerinde etkili olan meşcere yaşını sabit tutmak için ise, standart yaş olarak isimlendirilen belirli bir yaştaki üst boy değeri, yetiştirme ortamı verim gücü göstergesi olarak kullanılmaktadır (Kalıpsız, 1998).

Bonitet endeksi tayini için gerekli olan standart yaş, genellikle idare süresi veya yıllık cari boy artımının en yüksek olduğu yaşı biraz ilerisinde alınması gibi kriterler temel alınmaktadır. Standart yaş değeri, işletme amacına bağlı olarak değişmekle birlikte genelde kısa idare süreli türlerde (hızlı büyüyen türler: Kızılcıam, Sahilçamı, Kızılağaç, Dişbudak ve Kestane vb.) 30, 40, 50 yıl olarak alınırken uzun idare süreli türlerde ise (yavaş büyüyen türler: Sarıçam, Kayın, Karaçam, Doğu Ladini vb.) 100 yıl olarak alınmaktadır (Kalıpsız, 1998; Vanclay, 2001; Pretzsch, 2009).

Boy ve yaşı bilinen bir meşçerenin yetiştirme ortamı kalitesini (site quality) bir model ile pratik olarak belirlemede temel bir yaş seçilerek bu yaştaki verim gücü (site index) ortaya konulmaktadır. Tersine, bonitet endeksi (site index) ve standart yaş, istenilen yaşta üst boyu (dominant height) tahmin etmek için kullanılabilir. Bu yüzden, meşçerelerde yeni ölçümler olduğunda, meşçerenin verimine karar verirken standart yaşı seçilmesi önemli bir konu haline gelmektedir (Vanclay, 2001; Pretzsch, 2009). Goelz ve Burk (1992) 'a göre, standart yaş, şu hususlar dikkate alınarak seçilmelidir: (i) mevcut amenajman yönetmeliğine göre en düşük olarak seçilen idare süresine eşit veya bu yaştan daha küçük olabilir (ii) idare süresine yakın olabilir ve (iii) diğer yaşlardaki meşcere boy değerini doğru bir şekilde tahmin edebilecek yaşta olabilir.

Farklı standart yaş ve standart yaştaki üst boy değerleri, farklı yaşlardaki (hem daha genç hem de daha yaşlı) her ağacın boyunun tahmin edilmesinde kullanılmıştır. Elde edilen sonuçlar

gövde analizinden elde edilen değerler ile karşılaştırılmıştır ve tahminlerdeki bağıl-nispi hata (% RE: bağıl-nispi hata) aşağıdaki eşitlik yardımıyla hesaplanmıştır.

$$RE\% = \frac{\sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (h_i - \hat{h}_i)^2}{n - p}}}{\bar{h}} \times 100 \quad (85)$$

Burada, h_i , $\hat{h}_i$ ve $\bar{h}$ sırasıyla ölçülen, tahmin edilen ve ortalama boy değerlerini, n model parametrelerinin tahmin edilmesinde kullanılan veri sayısını ve p ise modelde kullanılan parametre sayısını göstermektedir.

Bu projede standart yaş belirlenirken nispi hata (%RE) değerleri kullanılmıştır. Bu amaçla boy tahminlerine ilişkin bağıl-nispi hata (% RE: bağıl-nispi hata) değerleri yaş sınıfları itibariyle (0-140 yaşları arasında 14 sınıf) hesaplanmıştır. Burada her bir yaş sınıfındaki veri sayısı eğrisi ile nispi hata (% RE) eğrisinin çakıştığı yaş değeri idare süresi olarak tercih edilmiştir (Goelz ve Burk 1992; Vanclay, 2001; Diéguez-Aranda vd., 2005; Pretzsch, 2009).

Bu yöntemin uygulanmasında, çalışma alanından kesilen galip ve ortak galip ağaçlarda (432 adet) yapılan gövde analizi ölçümleri kullanılmıştır. Kullanılan ağaçlara ilişkin istatistiksel bilgiler Tablo 15’de ve örnek ağaçların çap ve boy basamaklarına dağılımları da Tablo 16’da verilmiştir.

Tablo 15. Yetiştirme ortamı verim gücünün belirlenmesinde kullanılan örnek ağaçlara ilişkin çeşitli istatistiksel bilgiler

Değişken	Minimum	Maksimum	Ortalama	Standart Sapma
Kütük Çapı (cm)	11.3	77.0	35.66	12.32
Göğüs Çapı (cm)	9.4	59.6	30.24	11.21
Ağaç Boyu (m)	7.0	33.8	18.14	5.84
Ağaç Yaşı (yıl)	11.0	153.0	60.05	34.02

Tablo 16. Meşçere verim gücü belirlenmesinde kullanılan örnek ağaçların çap ve boy basamaklarına dağılımı

Çap Basamakları (cm)	Boy Basamakları (m)													Toplam
	8	10	12	14	16	18	20	22	24	26	28	30	34	
10	6	4												10
14	7	20	4		1									32
18	3	11	13	7	5	1								40
22		6	13	15	8	3	1	3						49
26		1	6	13	13	10	7	3	2	3		1		59
30				2	14	10	6	9	6	2				49
34					4	7	10	12	8	6	2	2		51
38					4	7	9	7	5	4	1	1		38

42					2	4	7	5	8	1	3	4		34
46					4	2	2	7	4	5	3	4	1	32
50					1	1	2	3	5	5	4	2		23
54								1	1	2		1		5
58								1		1	3			5
62								1		2	1			4
66										1				1
Toplam	16	42	36	37	56	45	44	52	39	32	17	15	1	432

Bu çalışmada, yetiştirme ortamı verim gücünün belirlenmesinde Genelleştirilmiş Cebirsel Fark Yaklaşımları (GADA) ile elde edilmiş bonitet endeks modellerine dayanan polimorfik yöntem kullanılmıştır. Bonitet modellerine ilişkin parametre tahminleri SAS İstatistik Paket Programındaki PROC MODEL prosedürü (SAS Institute Inc., 2004) kullanılarak hesaplanmış ve Kızılçam meşcereleri için en uygun bonitet endeksi modeli belirlenmiştir. Proje kapsamındaki Kızılçam meşcereleri için geçerli olacak şekilde elde edilen bonitet endeksi modeli ile yetiştirme ortamı verim gücü sınıflamasında belirli bir yaş ve üst boya sahip meşcerelerin, standart yaştaki üst boyları (bonitet endekslerinin) tahmin edilmiştir. Diğer bir ifadeyle, elde edilen bonitet endeksi modeli ile üst boyu ve yaşı ölçülen bir örnek alanın istenilen standart yaşa göre bonitet endeksi, enterpolasyona gerek kalmadan doğrudan hesaplanabilmektedir.

2.2.8 Meşcere Parametrelerinin Hesaplanması

Örnek alandan elde edilen veriler kullanılarak, ağaç sayısı, orta boyu, yaşı, orta çapı, üst boyu, göğüs yüzeyi ve hacim değerleri hesaplanacaktır. Hesaplanacak bu meşcere elemanları, ön veri niteliğinde olup, hem Kızılçam meşcereleri için düzenlenecek sıklığa bağlı hasılat tablosu hem de tek ağaç büyüme modellerinin oluşturulmasında kullanılacaktır.

2.2.8.1 Meşcere Yaşının Hesaplanması

Eşityaşlı bir meşcerelerde ortalama yaş, örnek alanda orta çapa yakın 4-5 ağacın yaşların aritmetik ortalaması olarak hesaplanmaktadır (Fırat, 1973; Kalıpsız, 1984; Vanclay, 2001). Çalışmamızda, her bir örnek alanda 10-15 ağacın yaşı ölçülmüştür. Bu ağaçlardan orta çapa yakın ağaçların yaşlarının aritmetik ortalaması alınarak meşcere yaşı hesaplanmıştır.

Ağaçların yaşları, doğrudan göğüs yüksekliğinden alınan artım kalemleri üzerindeki yıllık halka sayısına ağaçların göğüs yüksekliğine ulaşma yaşı eklenerek belirlenmiştir. Kızılçam ağaçlarının göğüs yüksekliğine (1.30 m) boyuna ulaşabilmesi için geçen yıl sayısı, yetiştirme ortamı verim gücü, meşcere sıklığı, kuruluşu, ağaçların genetik yapısı ve meşcere içindeki konumu gibi pek çok etmene göre değişiklik göstermektedir. Örnek alanlarının alındığı yetiştirme

ortamlarında ve civardaki fidanlarda yapılan ölçümlere bağlı olarak 1.30 m yüksekliğine ulaşma süresi 4-6 yıl olarak belirlenmiştir.

$$t = \frac{t_1 + t_2 + t_3 + \dots + t_n}{n} \quad (86)$$

Burada $t_1, t_2, \dots, t_n$: ağaçların yaşlarını, n = örnek alanda meşçereyi temsilen yaşı ölçülen ağaç sayısını göstermektedir.

2.2.8.2 Meşçere Orta Çapının Hesaplanması

Meşçere orta çapı, aritmetik orta çap, göğüs yüzeyi orta ağacının çapı, hacim orta ağacının çapı ve Weise orta ağacının çapı gibi değişik yaklaşımlarla hesaplanmaktadır. Bu çalışmada örnek alanlar için orta çap olarak meşçere göğüs yüzeyi orta ağacının çapı ($\bar{d}_g$) esas alınmıştır. Karesel ortalama çap olarak ta bilinen göğüs yüzeyi orta ağacının çapı, hacim orta ağacına çok yaklaşması ve kesin bir değer olarak hesaplanabilmesi bakımından uygulamalarda tercih edilmektedir (Fırat, 1973; Philip, 1994; Kalıpsız, 1984; Laar ve Akça, 2007). Her iki tür için ayrı ayrı olmak üzere örnek alandaki ağaçların göğüs çapların kareleri toplamının örnek alandaki ağaç sayısına bölünüp karekökünün alınmasıyla hesaplanmıştır.

$$d_q = \sqrt{\frac{4}{\pi} \cdot \bar{g}} = \sqrt{\frac{\sum d^2}{n}} \quad (87)$$

Burada, d_g göğüs yüzeyi orta ağacının çapını, $\bar{g}$ = ortalama göğüs yüzeyini, d = ağaçların göğüs çaplarını, n = örnek alandaki ağaç sayısını göstermektedir.

Meşçere boy eğrisi, meşçeredeki ağaçların göğüs çapları ile boyları arasındaki ilişkiyi gösteren bir eğridir ve genellikle eşityaşlı meşçerede parabol kolu, değişik yaşlı meşçerelerde geniş bir “S” eğrisi biçimindedir. Meşçere boy eğrileri; genellikle ağaçların boylarının tahmin edilmesi, meşçere orta boyu ve üst boyunun hesaplanması için düzenlenmektedir (Kalıpsız, 1984; Fırat, 1973).

2.2.8.3 Meşçere Boy Eğrileri

Meşçere boy eğrisi, meşçeredeki ağaçların çapları ile boyları arasındaki istatistiksel bağıntıyı gösteren bir fonksiyondur. Ormancılıkta boy ölçümüne kıyasla çap ölçümü çok daha kolay olduğundan, çapın fonksiyonu olarak boylar tahmin edilmektedir. Meşçere boy eğrileri, boyu ölçülmemiş olan ağaçların boylarının tahmin edilmesi ve meşçere orta boyunun hesaplanması gibi amaçlar için oluşturulmaktadır (Fırat, 1973; Kalıpsız, 1984).

Eşit yaşlı meşcerelerde genellikle parabol kolu şeklinde olan meşcere boy eğrisi (Kalıpsız, 1984), değişik yaşlı meşcerelerde ise yaygın bir “S” eğrisi şeklindedir (Laar ve Akça, 2007). Eşit yaşlı meşcerelerde görülen bu çap–boy ilişkisinde, çaplar kalınlaştıkça boylar artmaktadır. Meşcere boy eğrileri, tüm örnek alanlarda 20-25 ağaçta yapılan boy ölçümlerine bağlı olarak ilgili türler için düzenlenmiştir. Göğüs çapı-boy ilişkisini belirleyebilmek için aşağıdaki regresyon denklemlerinden istatistiksel olarak uygun olanlar seçilmiştir. Söz konusu seçimde, regresyon denkleminin en az 0.05 önem düzeyi ile anlamlı olması, belirtme katsayısının (R^2) yüksek, standart hatasının (S_{yx}) düşük ve biyolojik yasalara uygunluğu esas alınmıştır.

Doğrusal	$h = b_0 + b_1d$	88
Parabolik	$h = b_0 + b_1d + b_2d^2$	89
Logaritmik	$h = b_0 + b_1\ln(d)$	90
Birleşik	$h = b_0.b_1^d$	91
S	$h = \exp(b_0+b_1/d)$	92
Üssel	$h = b_0.d^{b_1}$	93
Ters (Devrik)	$h = b_0+b_1/d$	94
Üstel	$h = b_0.\exp(b_1.d)$	95
Büyüme	$h = \exp(b_0 + b_1d)$	96

Burada d: göğüs çapını (cm), h; ağaç boyunu (m), b_0 , b_1 , b_2 ise denklemin katsayılarını göstermektedir.

Yukarıdaki eşitlikler ile her bir örnek alan için belirlenen en uygun meşcere boy eğrisi denklemi ancak ilgili örnek alanda ölçülen çap değerlerinin değişim aralığı için geçerli olup, bu aralık dışındaki çap değerleri için güvenilir olmayan boy tahminleri verebilirler. Eşit yaşlı meşcerelerde zamana bağlı olarak ağaç çaplarının kalınlaşması ve boylarının uzamasıyla çap-boy eğrisi sağa ve yukarıya doğru kaydığından, bugünkü verilerle oluşturulan meşcere boy eğrileri denklemleri, gelecek periyotlar için doğru tahminler veremeyecektir. Bu nedenle gelecekteki meşcere yapılarına ilişkin boy tahminlerinde, bu meşcereler için ağaçların göğüs çapı, meşcere yaşı, bonitet endeksi ve sıklığının bir fonksiyonu olarak çok değişkenli regresyon modellerinin kullanılması önerilmektedir (Kalıpsız, 1984; Philip, 1994; Mısır, 2003; Laar ve Akça, 2007; Pretzsch, 2009). Bu çalışmada, ağaçların boyunu kendi çapı yanında yukarıda sözü edilen değişkenlerle tahmin eden regresyon denklemleri, SPSS adlı bir istatistik yazılım programı (SPSS 19.0 Inc., 2010) ile elde edilmiştir.

2.2.8.4 Meşcere Orta Boyunun Hesaplanması

Meşcere orta boyu; aritmetik orta boy ($\bar{h}$), göğüs yüzeyi orta ağacının boyu (h_q), göğüs yüzeyi merkezi orta ağacının boyu (h_{gm}), merkezi hacim orta ağacının boyu (h_{vm}), Weise orta ağacının

boyu (h_w), Lorey'in orta boyu (h_L) olmak üzere değişik yaklaşımlarla hesaplanabilmektedir (Kalıpsız, 1984; Eler, 2003; Laar ve Akça, 2007). Çalışmamızda, meşcere orta boyu olarak, göğüs yüzeyi orta ağacının boyu alınmıştır. Göğüs yüzeyi orta boyu, göğüs yüzeyi orta ağacının çapının düzenlenmiş meşcere boy eğrisinde yerine konulmasıyla hesaplanmıştır.

$$h_q = f(d_q) \quad (97)$$

Burada h_q : meşcere orta boyunu (m) ve d_q : meşcere orta çapını (cm) göstermektedir.

2.2.8.5 Meşcere Üst Boyunun Hesaplanması

Hasılat araştırmaları yapılırken yetiştirme ortamı verim gücünün belirlenmesi gerekmekte ve bunu belirlerken de; meşcereye yapılan müdahalelerden ve meşcere içindeki rekabetten en az etkilenen meşcere üst boyunun kullanılması tercih edilmektedir. Meşcere üst boyu; (i) meşcerede galip ve ortak galip ağaçların boylarının aritmetik ortalaması (Kraft'ın 1. ve 2. sosyal sınıfındaki ağaçların ortalama boyunu almak veya Kraft'ın 1. 2. ve 3. sosyal sınıfındaki ağaçların ortalama boyunu almak), (ii) hektarda 100 ağaç hesabı ile örnek alana düşen sayıda en boylu ağaçların aritmetik ortalaması ya da (iii) hektarda 100 ağaç hesabı ile örnek alana düşen sayıda en kalın çaplı ağaçların göğüs yüzeyi orta ağacının çapına karşılık meşcere boy eğrisinden hesaplanan boy değeri olmak üzere değişik yaklaşımlarla hesaplanabilmektedir (Kapucu vd., 2002, Van Laar ve Akça, 2007). Çalışmamızda, hektarda 100 ağaç hesabı ile örnek alana düşen sayıda en boylu ağaçların aritmetik ortalaması olarak üst boylar hesaplanmıştır.

$$h_{100} = \frac{h_1 + h_2 + h_3 + \dots + h_n}{n} \quad (n = \text{ÖABX} \frac{100}{10000}) \quad (98)$$

Burada h_1, h_2, h_n : hektarda 100 ağaç yöntemine göre örnek alandaki en boylu ağaçları ve n : örnek alandaki meşcere üst boyunu temsil eden ağaçların sayısını göstermektedir.

2.2.8.6 Meşcere Ağaç Sayısının Hesaplanması

Çalışma kapsamında birim alandaki ağaç sayıları, örnek alan içinde 6 cm'den daha kalın çaplı bireylerin toplamının hektara çevirme katsayısıyla çarpılmasıyla hesaplanmıştır.

$$N = \frac{10000}{a} \left(\sum_{i=1}^n n \right) \quad (99)$$

Burada, N : hektardaki ağaç sayısını, n : örnek alandaki ağaç sayısını, a : örnek alan büyüklüğünü göstermektedir.

2.2.8.7 Meşcere Göğüs Yüzeyinin Hesaplanması

Çalışma kapsamında, söz konusu örnek alanlardaki tüm ağaçların göğüs yüzeyleri hesaplanmıştır. Örnek alandaki toplam göğüs yüzeyi, hektara çevirme katsayısı ile çarpılarak da, birim alandaki göğüs yüzeyi elde edilmiştir.

$$G = \frac{10000}{a} \cdot \frac{\pi}{4} \sum d^2 \quad (100)$$

Burada, G: hektardaki göğüs yüzeyini (m²/ha), d: ağaçların göğüs çaplarını (cm), a: örnek alanı büyüklüğünü göstermektedir.

2.2.8.8 Meşcere Hacminin Hesaplanması

Meşcere hacim tahmininde, meşcere orta ağaç yöntemi, gövde hacim tablosu yöntemi, aç sayım yöntemi, altı ağaç yöntemi, hasılat tablosu yöntemi, meşcere hacim denklemleri yöntemi, kritik boy ortalaması yöntemi, 3P örnekleme, Importance örnekleme, merkezi örnekleme gibi değişik yöntemler kullanılmaktadır. Bununla birlikte, pratik olması nedeniyle uygulamada en çok ağaç hacim tablolarından yararlanılmaktadırlar (Kalıpsız, 1984).

Bu çalışmada, Antalya ve Mersin Orman Bölge Müdürlükleri sınırları içerisinde yer alan eşityaşlı Kızılçam meşcerelerinde 486 adet ağaçta gövde analizi yapılmıştır. Meşcere orta çapını temsilen kesilen bu 486 adet ağaçta gövde analizi ölçüm verileri kullanılarak bonitet dayalı tek girişli, çift girişli ağaç hacim denklemleri oluşturulmuştur.

Proje çalışması kapsamında elde edilen çift girişli ağaç hacim denklemleri kullanılarak, örnek alanlardaki tek ağaçların hacimleri hesaplanmıştır. Örnek alanların alındığı her bir meşcerenin hektardaki hacim değerleri ise aşağıdaki eşitlikle hesaplanmıştır.

$$V = \frac{10000}{a} \left(\sum_{i=1}^n v \right) \quad (101)$$

Burada, v; bir örnek alandaki tek ağaç hacimlerini (m³), V; hektardaki hacmi (m³), a; örnek alanı büyüklüğünü (m²) göstermektedir. Örnek alandaki toplam hacim, hektara çevirme katsayısı ile çarpılarak da, birim alandaki hacim (meşcere hacmi) elde edilmiştir.

2.2.9 Meşcere Sıklığının Hesaplanması

Meşcere sıklığı, ağaçların meşcere içindeki ortamını kullanma derecesini belirlemede kullanılan bir ölçüttür (Günel, 1982). Ormancılıkta sıklık ölçütü ya meşcere büyüme modellerinde bir meşcerenin gelecekteki büyüme miktarını tahmin etmede ya da mevcut

meşcerenin silvikültürel müdahalelere karşı nasıl bir başarı gösterdiğini belirlemede kullanılmaktadır. Meşcere sıklığı, değerlendirilmesi ve sayısallaştırılmasında uygun ölçütün ne olacağının belirlenmesi en zor olan meşcere öğelerinden biridir. Çünkü ideal bir sıklık ölçüsünün meşcere yaşına ve yetiştirme ortamı verim gücüne bağlı olmaması, ağaçlar arasındaki yarışmayı ve rekabeti tam yansıtmaması, kolay ve objektif olarak ölçülebilir olması gibi pek çok koşulu birlikte sağlaması gerekir. Meşcere hacmi, meşcere içi rekabete göre belirlendiğinden sıklık ölçütleri içindeki en ideal ölçütlerden birisi olmakla birlikte hem kolay ve objektif olarak ölçülememesi hem de yaşa ve yetiştirme ortamına bağımlılık gösterdiğinden sıklık ölçütü olarak kullanılmamaktadır.

Ormancılıkta çok sayıda sıklık ölçüsü geliştirilmiştir. Bunlardan en çok kullanılanlar; birim alandaki ağaç sayısı, göğüs yüzeyi, hacim, tepe kapallılığı, yaprak alanı ve biyokütle miktarıdır (West, 1982; Zeide, 1995; Pretzsch ve Biber, 2005).

Meşcere sıklığı, bir meşcerenin göğüs yüzeyinin, bu meşcere ile aynı yaş ve verim gücü endeksine sahip normal sıklıktaki bir meşcerenin göğüs yüzeyine oranlanması şeklinde oransal olarak da elde edilebilmektedir. Curtis vd. (1981), “Oransal Sıklık Endeksi (Relative Density Index)” adını verdikleri bir sıklık ölçüsü geliştirerek, günümüzdeki gelişmiş büyüme modellerinden biri olan “DFSIM (Douglas Fir Simulation Model)” adlı saf Douglas meşcereleri için simülasyon modelinde meşcere sıklık ölçüsü olarak kullanmışlardır (Kalıpsız, 1998). Diğer taraftan, Reineke (1933) eşit yaşlı saf meşcereler için orta çap-ağaç sayısı ilişkisine bağlı olarak geliştirdiği sıklık ölçütünün yaş ve bonitet endeksinden bağımsız olduğunu belirtmiştir. Bu çalışmada Curtis vd. (1981) tarafından geliştirilmiş olan Oransal Sıklık Endeksi ile meşcere sıklığı hesaplanmıştır. Oransal Meşcere Sıklığı (OMS):

$$OMS = \sqrt{\frac{G}{d_q}} \quad (102)$$

eşitliği ile belirlenmektedir (Kapucu vd., 2002). Bu eşitlikte, G (m^2/ha); tür ayırımı yapılmadan hesaplanan toplam göğüs yüzeyini, d_q (cm) ise; göğüs yüzeyi orta ağacının çapını göstermektedir.

2.2.10 Meşcere Biyokütle, Karbon Depolama ve Oksijen Üretim Kapasitesinin Belirlenmesi

Ormanlardaki karbon birikimi ve bilançosu; orman alanları üzerindeki bitkisel kütlenin ağaç türleri itibarıyla dağılımına ve bunların fırın kurusu madde miktarlarına dayanarak hesaplanmaktadır (Sönmez vd. 2010b). Hesaplamalarda; 1 ton fırın kurusu bitkisel madde içinde 0,45 ton karbon bulunduğu ve bu miktarın 3,66 ton CO_2 'ye eşdeğer olduğu kabul

edilmektedir. Bu çalışmalarda önce toprak üstündeki biyokütle belirlenmekte, sonra da toprak altı biyokütle tahmin edilmektedir (Asan vd., 2002).

Toprak üstü biyokütlenin tahmininde örnek alanlardaki ağaçlar üzerinde yapılan ölçümlerden yararlanılmıştır. Bu projede Kızılçam meşcerelerinin biyokütlelerini ve karbon depolama kapasitelerini belirlemek amacı ile 486 örnek alan alınmış ve 348 adet örnek ağaçta biyokütle ölçümleri yapılmış ve tek ağaç biyokütle denklemleri kullanılmıştır. Kesilen ağaçların hacimleri seksiyon yöntemine göre hesaplanmıştır. Her bir ağaçtan alınan gövde, dal, kabuk numunelerinin fırın kurusu ağırlıkları ölçülmüştür. Fırın kurusu ağırlık hesabı için örnekler 24 saat süreyle 65 derecede kurutulmuşlardır. Daha sonra örnekler içerisindeki karbon miktarları ölçülmüştür. Toplam toprak üstü karbon depolama miktarı, 1 hektar alandaki gövde, dal, sürgün ve ibrenin depoladığı karbon miktarları toplanarak elde edilmiştir.

Çalışma kapsamında alınan örnek alanların toplam karbon tutma kapasiteleri belirlenirken; öncelikle, bu alanlardaki ağaçların fırın kurusu (bir önceki aşamada elde edilen modellerin kullanılmasıyla hesaplanan) ağırlıkları kullanılmıştır. Hesaplanan değerlerin hektara çevirme katsayısıyla çarpılmasıyla da, örnek alanların birim alandaki toplam toprak üstü karbon tutma kapasitesi belirlenmiş; ardından oksijen miktarının hesaplanmasına geçilmiştir. Antalya ve Mersin Yöresi ormanlarının toplam karbon depolama ve yıllık oksijen üretim kapasitelerinin hesaplanması için örnek alanlardan elde edilen biyokütle değerlerinin ortalamaları kullanılarak birim alandaki miktarları elde edilmiştir.

Meşcerelerin yıllık oksijen üretimini hesaplayabilmek için yine Yakın Doğu Süreci Uygulama Kılavuzlarında da yer alan, Asan vd. (2002) tarafından hesaplanan, katsayı kullanılmıştır. Bu katsayı, fotosentez olayında tüketilen CO₂'ye karşılık üretilen O₂ miktarından yola çıkarak hesaplanmaktadır. Yani, yıllık fırın kurusu organik madde üretim miktarının 1,2 katı oksijen üretimi olduğu belirtilmektedir. Bunun için karbon birikimi hesabında olduğu gibi toprak altı ve toprak üstündeki biyokütlenin fırın kurusu ağırlığı cinsinden ortaya konması gerekmektedir (Yolasiğmaz, 2004; Yolasiğmaz vd., 2005; Yolasiğmaz ve Keleş, 2009). Yapılan çalışma kapsamında toprak altı biyokütle araştırılmayıp, doğrudan toprak üstündeki oksijen miktarı hesaplanmıştır. Bunun için örnek alanların alındığı bütün meşcerelerin gövdedeki yıllık cari artımları hesaplanmıştır. Ardından hesaplanan gövde cari artımına karşılık gelen toprak üstü fırın kurusu ağırlıklar bulunmuştur. Sonrasında da, hesaplanan fırın kurusu ağırlıklara karşılık gelen karbon değerleri bulunmuş ve son olarak da bulunan toprak üstü karbon değeriyle, söz konusu 1,2 katsayısı çarpılarak; birim alandaki toprak üstü oksijen üretim miktarı ortaya konmuştur.

$$OÜK = KO \times 1,2 \quad (103)$$

Bu denklemde, *OÜK*: Oksijen üretim kapasitesini ve *KO*: Karbon oranını ifade etmektedir.

2.2.11 Büyüme Modellerinin Oluşturulması

Büyüme modelleri, genel bir ifade ile çeşitli koşullar altındaki meşcerelerin ve bu meşcerelerde gelişim gösteren ağaçların büyüme değerlerini tahmin eden denklem sistemleri olarak tanımlanabilir (Vanclay, 1994). Ormancılıkta büyüme modelleri, ormanların büyüme değerleri hakkında tahminler sunmaları ile orman amenajman planlarının en önemli temel veri kaynaklarından birisidir. Büyüme modelleri, meşcerelerin bugünkü ve gelecekteki büyüme değerleri ile meşcere dinamiklerindeki değişimleri tahmin ederler (Gadow ve Hui, 1999). Bu tahminler, envanter verilerinin güncellenmesinde, meşcerelerden elde edilebilecek odun hasılasının belirlenmesinde ve silvikültürel işlem seçeneklerinin değerlendirilmesinde yaygın bir biçimde kullanılmaktadırlar (Burkhart, 1995; Garcia, 2001). Özellikle karar verme sürecinde alternatifler oluşturulurken, uygulanacak müdahaleler karşısında ormanın zamana göre projeksiyonun yapılması, servet ve artımının zamana göre hesaplanması ve dolayısıyla optimale karar verilmesi ancak meşcere büyümesinin modellenmesiyle mümkündür (Başkent vd., 2002).

Kullanılan yöntemlere göre büyüme modelleri, genel olarak ampirik (deneysel) büyüme modelleri ve süreç tabanlı büyüme modelleri (*Process-based*) olmak üzere iki gruba ayrılırlar (Porté ve Bartelink, 2002). Ampirik modellerde model parametrelerinin biyolojik olarak neyi ifade ettiği ile ilgilenmeden, sadece ölçülen değerler ile oluşturulan model yardımıyla tahmin edilen değerler arasındaki sapmanın en aza indirilmesi, diğer bir anlatımla iki değer uyumluluğu sağlanmaya çalışılır. Ampirik modeller, kısa dönemi kapsayan tahminlerde başarılı olup, özellikle bu modellerin geliştirilmesinde söz konusu olan iklimsel ve çevresel şartların sabit olması varsayımı altında gerçekçi tahminler sağlarlar (Peng vd., 2002). Ancak, uzun dönemli tahminlerde çevresel şartların ve ekolojik faktörlerin değişiminin neticesinde büyüme tahminlerindeki hata düzeylerinin artması nedeniyle kullanılması uygun görülmemektedir (Grote ve Erhard, 1998).

Süreç tabanlı modeller ise en karmaşık modellerdir. Bu modeller, ışık, sıcaklık, bitki besin maddeleri, karbon miktarları, değişik iklimsel özellikler gibi çevresel ve ekolojik faktörleri girdi olarak, ağacın kök, gövde ve yapraklarında meydana gelen fotosentez ve solunum gibi biyolojik süreçlerini tahmin etmektedirler. Yani çevresel ve ekolojik faktörlerdeki değişimlere bağlı olarak büyümeyi modelleyebilmektedirler (Landsberg, 1986). Ancak bu modeller, planlama süreçlerine altlık oluşturmada yetersiz kalmaktadırlar (Johnsen vd., 2001; Peng, 2000). Çünkü bu modeller, planlamada kullanımını engelleyen ölçümü zor ve pahalı bir çok çevresel değişkenleri içermekte ve ayrıca, model yapısı oldukça kompleks olup, planlamada karar sürecine hizmet edecek nitelikte olmamaktadırlar (Battaliga vd., 1999). Diğer taraftan, günümüzde süreç tabanlı modellerin uygulamada kullanılabilirliğine olanak sağlamak amacıyla, çevresel faktörlerdeki değişimin büyümeye etkisi yansıtabilen ve amenajman

planlarına da altlık oluşturulabilen “*Hybrid*” modelleri geliştirilmiştir (Robinson ve Ek, 2003). *Hybrid* modeller, süreç tabanlı modeller ile ampirik hasılat modellerini bütünleştiren ve çevresel faktörlerdeki değişimlerin ormanların planlamasında dikkate alınmasını sağlayan modellerdir (Monserud, 2003). Bu modeller, çevresel faktörlerdeki değişime bağlı olarak meşcerelerin büyüme ilişkilerini belirlerken, yapılacak müdahalelerle ileride oluşacak yapı ve kuruluşları da tahmin ederek planlamaya zengin fırsatlar sunmaktadırlar (Başkent ve Keleş, 2004).

Ampirik modeller, modellemede kullanılan birime göre; Meşcere Modelleri (Whole-Stand Model), Çap Sınıfı Modelleri (Size-Class Model) ve Tek Ağaç Modelleri (Individual-Tree Model) olmak üzere 3 sınıfa ayrılmaktadırlar (Vanclay, 1994). Meşcere modelleri, meşcere öğelerine (ağaç sayısı, göğüs yüzeyi, hacim, orta çap ve orta boy gibi) ilişkin tahminler sunarlar. Bu modeller ile belirlenen meşcere öğeleri ortalama değerler olup, tek ağaç düzeyinde tahminler sunmamaktadırlar. Meşcere modelleri de, uzaklığa bağlı ve uzaklıktan bağımsız modeller olmak üzere iki grupta sınıflandırmaktadır (Porté ve Bartelink, 2002). Uzaklığa bağlı meşcere modelleri, meşcereleri orman parçalarının bir mozaïği olarak tanımlamakta ve her bir meşcere parçası, meşcere içindeki konumu ve diğer parçalarla etkileşim halindeki kendi dinamikleri ile karakterize edilmektedirler. Porté ve Bartelink (2002), uzaklıktan bağımsız meşcere modellerini ise, orman herhangi bir konumsal bilginin dikkate alınmadığı bir ünite olarak değerlendirmektedir. Meşcere modelleri, meşcere öğelerinin tahminlerinde kullanılmakla birlikte, tek ağaç veya çap sınıfı düzeyinde ayrıntılı sonuçlar vermediklerinden meşcere düzeyinden daha ayrıntılı tahminler gerektiren ormancılık uygulamalarında ihtiyaçların giderilmesinde yetersiz kalmaktadırlar (Vanclay, 1994).

Meşcere modellerine göre meşcerenin yapısı hakkında daha ayrıntılı tahminler sunan çap sınıfı modelleri, modelleme ünitesi olarak çap sınıflarını kullanırlar. Bununla birlikte çap sınıfı modelleri, tek ağaç modelleri gibi tek ağaç bazında daha ayrıntılı tahminler vermezler (Vanclay, 1994; Gadow ve Hui, 1999). Tek ağaç modelleri ise, modelleme ünitesi olarak meşcerelerdeki tek ağaçları esas alan ve meşcere ve çap sınıfı modellerine göre daha ayrıntılı tahminler sunan modellerdir (Burkhart, 1995; Avery ve Burkhart, 1983; Pretzsch, 2009).

Tek ağaç modelleri, meşcerenin büyümesinin tahmininde meşcere modellerine göre daha yüksek sistematik hataya sahip olmalarına karşın (Zhao vd., 2004), türler arası rekabeti ve etkileşimi dikkate alıp, meşcereye uygulanan silvikültürel müdahalelerin büyüme üzerindeki etkilerini ortaya koyabilmesi nedeniyle daha güvenilir modellerdir (Monserud and Sterba, 1999). Tek ağaç modelleri, ağaçların komşu ağaçlardan gördüğü baskının hesaplanmasında kullanılan yarışma endekslerinin, ağaçların birbirlerine olan konumlarını ve uzaklıklarını dikkate alıp almamalarına göre; uzaklıktan bağımsız ve uzaklığa bağlı tek ağaç modelleri olmak üzere iki temel sınıfa ayrılmaktadırlar (Vanclay, 1994). Uzaklıktan bağımsız tek ağaç modellerinde, yarışma endeksinin hesaplanmasında; ağaçlar arasındaki uzaklıklara gerek

duymadan, konu ağacın büyüklüğünün meşceredeki diğer ağaçların büyüklüğüne oranlayarak hesaplanmaktadır (Yavuz, 1997; Yavuz vd., 2005). Ağaçların birbirine olan konumlarına ilişkin bilgileri gerektirmeyen uzaklıktan bağımsız modelleri, bu özellikleri ile genel ormancılık uygulamalarında tercih edilmelerine neden olmaktadır (Sterba vd., 2002). Gap modelleri ise, tek ağaç modelleri içerisinde uzaklığa bağlı ve uzaklıktan bağımsız modellere ek olarak üçüncü bir sınıf olarak düşünülmektedir. Tek ağaç modelleri içinde bağımsız bir sınıf olarak düşünülen gap modelleri, çap sınıfı modellerinden daha geniş kullanım alanı bulmakta, daha uzun periyotlara uygulanabilmekte ve ekosistemdeki ekolojik fonksiyonların daha ayrıntılı tanımlanmasına olanak sağlamaktadır (Pretzsch, 2009).

2.2.11.1 Meşcere Büyüme Modellerinin Oluşturulması

Ormancılıkta büyüme modelleri, ormanların planlanmasında kullanılan en önemli araçlardan birisidir (Pretzsch, 2009). Ormancılık tarihinde basit tablolar şeklinde oluşturulan ilk hasılat çalışmalarından sonra meşcere modelleri geliştirilmiştir. Meşcere modellerinin tablolaştırılmış hali hasılat tabloları olup, genellikle basit ve doğru tahmin vermektedirler. Hasılat tabloları meşcerelerin gelişme eğilimlerinin belirlenmesinde kullanılan yardımcı tablolardır. Hasılat tablosu oluşturulmasına ilişkin ilk düşünceler Réaumer tarafından 1721 yılında ortaya atılmıştır. İlk hasılat tablosu çalışmaları Paulsen (1795) ve Cotta (1821) tarafından saf meşcerelerde yapılmıştır (Fırat, 1972).

Normal hasılat tabloları, düzenlendikleri ağaç türünün normal sıklıktaki asli (kalan) ve ara (ayrılan) meşcerenin hacim ve hacim elemanlarının meşcere yaşı ve yetiştirme ortamı verim gücüne (bonitet) göre değişimini veren tablolardır. Normal sıklıktaki müdahale görmemiş eşityaşlı ve saf meşcereler için düzenlenen normal hasılat tabloları, orman işletmesinin belirli bir işletme sınıfında bulundurulacak optimal ağaç servetinin saptanmasına ve mevcut aktüel servetin optimal servet ile karşılaştırılmasına olanak sağlarlar (Kalıpsız, 1998). Büyüme, meşcere yaşı ve meşcere yetiştirme ortamı verim gücünden başka meşcere sıklığının da fonksiyonu olarak önemli değişim gösterir. Hacim, göğüs yüzeyi, orta çap, orta boy, ağaç sayısı gibi meşcere elemanlarını yaş, yetiştirme ortamı verim gücü ve sıklığa göre ortalama değerler olarak veren tablolara “Sıklığa Bağlı Hasılat Tabloları” adı verilmektedir. Bu tablolar, değişik sıklıktaki meşcerelerde büyümedeki değişimin belirlenmesine olanak sağlarlar.

Meşcere bazında büyüme modellerinin oluşturulmasında en güvenilir bilgi kaynağı, periyodik ölçümlerin yapıldığı devamlı örnek alanlarıdır. Devamlı örnek alanlarında belirli zaman aralıkları ile ölçüm yapıldığından, zaman bağlı olarak orta çap, orta boy, üst boy, göğüs yüzeyi, hacim ve ağaç sayısı gibi temel meşcere parametrelerinin değişimi doğrudan incelenebilmektedir. Tek ölçüye bağlı, diğer bir ifadeyle geçici nitelikteki, örnek alan verileri ile meşcere büyüme modellerinin oluşturulmasında ise meşcerelerin zamansal büyüme

trendlerine ilişkin elde herhangi bir bilgi olmadığından, geleceğe ilişkin tahminler ancak uygun istatistik modellerle yapılabilir (Yavuz vd., 2010).

Bu çalışma kapsamında 3 yıllık proje süresince geçici örnek alanlardan elde edilen verilere bağlı olarak, meşcere bazında büyüme modelleri oluşturulmuştur. Geçici nitelikte alınan örnek alanlar ile meşcere modellerinin oluşturulmasında, diğer bir ifadeyle hasılat tablolarının oluşturulmasında ilk olarak meşcerelerin yaş, orta çap, orta boy, üst boy, birim alandaki ağaç sayısı, göğüs yüzeyi ve hacmi gibi meşcere parametreleri hesaplanmaktadır. İkinci aşamada eğer normal hasılat tabloları düzenlenmek isteniyorsa, normalite kontrolü yapılmakta, sıklığa bağlı hasılat tablosu düzenleniyorsa meşcerelerin sıklık dereceleri hesaplanmaktadır. Üçüncü aşamada meşcere yaşı ve üst boy veya gövde analizleri yapılmış ise tek ağaçların yaş ve boy değerlerine bağlı olarak bonitet tabloları oluşturulmakta ve örnek alanların alındığı tüm meşcerelerin bonitet endeksleri belirlenmektedir. Dördüncü aşamada ise kalan meşcereye ilişkin orta çap, orta boy, birim alandaki ağaç sayısı, göğüs yüzeyi ve hacim değerleri; meşcere yaşı ve bonitet endeksinin veya meşcere yaşı-bonitet endeksi-sıklık derecesinin fonksiyonu olarak uygun regresyon denklemleri ile tahmin edilmektedir. Beşinci aşamada örnek alanlarda yapılan gözlemler sonucunda belirlenen dikili kuru veya kurumaya başlamış ağaçlar yardımıyla ayrılan meşcere hacmi hesaplanıp, kalan meşcere parametrelerinde olduğu gibi meşcere yaşı ve bonitet endeksinin veya meşcere yaşı-bonitet endeksi-sıklık derecesinin fonksiyonu olarak uygun regresyon denklemleri ile tahmin edilmektedir. Altıncı ve son aşamada ise kalan (asli) ve genel meşcereye ilişkin hacim artımları hesaplanarak, sonuçlar tablolar halinde sunulmaktadır (Yavuz vd., 2010).

2.2.11.1.1 Kalan Meşcere Öğelerinin Hesaplanması

Kalan (Asli) meşcereye ilişkin hektardaki ağaç sayısı (N), göğüs yüzeyi (G), hacmi (V), orta çap (dq) ve orta boy (hq) gibi meşcere hacim ve hasılat öğeleri, meşcere yaşı (t), bonitet endeksi (be) ile sıklık derecesinin (sd) fonksiyonu olarak hesaplanmıştır. Kalan meşcere öğeleri (ağaç sayısı, göğüs yüzeyi, hacim, orta çap ve orta boy) ile meşcere yaşı (t), bonitet endeksi (be), sıklık derecesi (sd) değişkenleri ve bu değişkenlerden türetilmiş bağımsız değişkenler kullanılarak, SPSS (SPSS 19.0 Inc., 2010) adlı istatistik yazılım programı yardımıyla “İleri Doğru Seçim (Forward Selection)”, “Geriye Doğru Seçim (Bacward Selection)” ve “Aşamalı Regresyon (Stepwise Selection)” ile uygun regresyon denklemleri elde edilmiştir. İstatistiksel olarak $p < 0.05$ önem düzeyi ile anlamlı, Belirtme Katsayısı (R^2) en büyük, Standart Hatası ($S_{y.x}$) en küçük ve ayrıca biyolojik kurallar ile uyumlu olan modeller seçilmiştir.

2.2.11.1.2 Ayrılan (Ara) Meşcere Öğelerinin Hesaplanması

Meşcerede bulunan ağaçlardan bazıları ışık azlığı, biyotik ve abiyotik zararlar ve bakım kesimleri gibi çeşitli nedenlerle doğal ömürlerini tamamlayamadan sahadan ayrılırlar (Çepel, 1978). Belirli bir değerin altında artım yapan ağaçlar, meşcerede uzun süre canlı olarak kalamazlar (Akalp, 1983). Eşityaşlı meşcerelerde mağlup ağaçların meşcere ağaç sayısına oranı bütün bonitet sınıflarında başlangıçta büyük değerlerle başlamakta, yaşın ilerlemesiyle önceleri hızlı bir şekilde azalmakta ileri yaşlarda ise daha yavaş bir düşüş göstermektedirler (Akalp, 1995). Meşcerelerin kalan (asli) hacim ve hacim öğelerinin yaş, yetiştirme ortamı verim gücü, sıklık ve karışım oranlarına göre değişiminin bilinmesi bu meşcerelerin genel hacim veriminin belirlenmesi için yeterli bulunmamaktadır. Çünkü bir meşcerenin genel verimi, bu meşcerenin belirli bir yaştaki hacmi (kalan=asli) ile o yaşa kadar ayrılan (ara) meşcere hacimleri toplamı olduğundan bu meşcerelerin ayrıca ayrılan (ara) meşcerenin hacmi ve hacim öğelerinin de bilinmesi gerekir.

Geçici örnek alanlardan elde edilen verilerle hasılat tablosu oluşturulurken, ara meşcere hacmi değişik yöntemlerle hesaplanabilmektedir. Bunlardan birincisinde öncelikle, her örnek alanda doğal kuruma sonucu meşcereden ayrılan ağaçlar ile bakım kesimleri sonucu meşcereden uzaklaştırılan ağaçların hacimleri tek girişli ağaç hacim denklemleri ile hesaplanıp tolandıktan sonra hektara çevrilerek her örnek alan için ayrılan meşcere hacmi elde edilmektedir (Mısır, 2003). Ayrılan meşcere hacmi ise, meşcere yaşı (t), bonitet endeksi (be) ve sıklık derecesi (sd) ve bu değişkenlerden türetilen değişkenlerin fonksiyonu olarak tahmin edilmektedir. Bu çalışma kapsamında ayrılan meşcere tahmin edilmeye çalışılmış fakat istatistiksel olarak ve büyüme kanuniyetlerine uygun model elde edilememiştir. Bu çalışmada ara meşcere hacmi aşağıda açıklanan yöntemle tahmin edilmiştir. Birinci aşamada, ayrılan meşcereye ilişkin ağaç sayısı, aynı bonitet sınıfı ve sıklık derecesi içinde, birbirini izleyen yaş basamaklarında kalan meşcereye ilişkin ağaç sayılarının farkı alınarak hesaplanmış ve hasılat tablosunun ilgili sütununa aktarılmıştır. İkinci aşamada her bir örnek alandaki dikili kuru ve mağlup ağaçların ayrılan meşcere elemanları olduğu varsayılarak, bu ağaçların orta çap ve orta boyları hesaplanmıştır. Üçüncü aşamada ayrılan meşcere orta çapı (d_a) ile kalan meşcere orta çapı (d_q) ve ayrılan meşcere orta boyu (h_a) ile kalan meşcere orta boyu (h_q) arasındaki istatistiksel ilişkiler regresyon analizi ile belirlenmiştir. Dördüncü aşamada her bir bonitet sınıfı, yaş basamağı ve sıklık derecesi için elde edilen kalan meşcereye ilişkin regresyon denklemleri ile tahmin edilen kalan meşcere orta çapı ve orta boyu değerleri, üçüncü aşamada belirtilen regresyon denkleminde yerine konularak, ayrılan meşcerenin orta çapı ve orta boyu tahmin edilmiştir. Beşinci ve son aşamada ise tahmin edilen ayrılan meşcere orta çapı ve orta boyu, ağaç hacim denkleminde yerine konularak, ayrılan meşcere orta ağacının hacmi hesaplanıp,

ilgili yaş periyodu için ayrılan ağaç sayısı ile çarpılarak periyodik olarak ayrılan meşcerenin hacmi belirlenmiş ve hasılat tablosunun ilgili sütunlarına aktarılmıştır.

Ayrılan meşcereye ilişkin ağaç sayısı, orta çap ve hacim gibi büyüme ögeleri, “devamlı örnek alanlarda” yapılan periyodik ölçüm ve gözlemlerle doğrudan saptanabilmektedir. Devamlı örnek alanların mevcut olmaması durumunda, “geçici örnek alanlar” yardımıyla ayrılan meşcereye ilişkin büyüme ögeleri, ancak tahmin edilebilmektedir. Ayrılan meşcereye ilişkin ağaç sayısı, aynı bonitet sınıfı ve sıklık derecesinde, birbirini izleyen yaş basamaklarında kalan meşcereye ilişkin ağaç sayılarının farkı alınarak belirlenebilmektedir. Çalışmamızda ayrılan meşcereye ilişkin ağaç sayıları bu yöntemle hesaplanarak, hasılat tablosunun ilgili sütunlarında verilmiştir (Fırat, 1972; Kalıpsız, 1998).

2.2.11.1.3 Hasılat Tablosunun Diğer Öğelerinin Hesaplanması

Hasılat tablolarında kalan ve ayrılan meşcerelere ilişkin hacim ve hacim ögelerine ek olarak yıllık cari hacim artımı ve artım yüzdesi, genel hacim verimi ve genel hacim verimi içindeki ara hasılat yüzdesi, kalan meşcerenin ortalama artım miktarları ve genel verim değerleri olmak üzere hasılat tablosunun diğer ögeleri de hesaplanmıştır.

Yıllık cari hacim artımı (YCHA); periyot sonu ve periyot başındaki kalan meşcere hacim farkına, ilgili periyot için ayrılan meşcere hacmi eklenip, bulunan hacim değerinin periyot uzunluğuna bölünmesiyle hesaplanmıştır. Yıllık cari hacim artım yüzdesi (YCHAY); yıllık cari hacim artımının periyot ortasındaki meşcere hacmine oranlanmasıyla bulunmuştur. Genel hacim verimi (GHV); belirli bir yaş periyodu için kalan meşcere hacmine, o yaşa kadar ayrılan meşcere hacim toplamı eklenerek bulunmuştur. Genel hacim verimi içindeki ara hasılat yüzdesi (AHY); her periyotta, o yaş periyoduna kadar ayrılan meşcere hacimleri toplamının, genel hacim verimine oranlanmasıyla elde edilmiştir. Kalan meşcerenin ortalama hacim artımı (KMOHA); kalan meşcere hacminin meşcere yaşına bölünmesiyle hesaplanmıştır. Genel ortalama hacim artımı (GOHA); genel hacim veriminin meşcere yaşına bölünmesiyle hesaplanmıştır.

$$YCHA = \frac{V_s - V_b + V_{pa}}{n} \quad (104)$$

$$YCHAY = \frac{YCHA}{\frac{V_s + V_b}{2} + \frac{V_{pa}}{2}} \times 100 = \frac{200 \cdot (YCHA)}{V_s + V_b + V_{pa}} \quad (105)$$

$$GHV = V_t + \sum_{i=1}^k V_{pa} \quad (106)$$

$$AHY = \frac{\sum_{i=1}^k V_{pa}}{GHV} \times 100 \quad (107)$$

$$KMOHA = \frac{V_t}{t} \quad (108)$$

$$GOHA = \frac{GHV}{t} \quad (109)$$

Tüm bu değerler hasılat tablosunun ilgili sütunlarında verilmiştir. Yukarıdaki eşitliklerde;

- V_b : periyot başındaki kalan meşcere hacmini (m^3),
- V_s : periyot sonundaki kalan meşcere hacmini (m^3),
- V_t : t yaşındaki kalan meşcere hacmini (m^3),
- V_{pa} : ilgili periyot süresince ayrılan meşcere hacmini (m^3),
- n : periyot uzunluğu (yıl),
- k : Hesaplamaya konu olan periyot sayısını,
- t : meşcere yaşını (yıl) göstermektedir.

2.2.11.2 Tek Ağaç Büyüme Modellerinin Oluşturulması

Tek ağaç modelleri, modelleme ünitesi olarak meşcerelerdeki tek ağaçları esas alan ve modelleme yaklaşımları içinde en ayrıntılı tahminler sunan modellerdir (Gadow ve Hui, 1999). Tek ağaç büyüme modelleri meşcereye uygulanacak değişik silvikültürel işlemlerin büyüme üzerindeki etkilerinin belirlenmesinde ve türler arası büyüme farklılıklarını ve etkileşimleri daha iyi yansıtmaları ile karışık meşcerelerin modellemesinde daha iyi çözümler sunmaktadırlar (Pretzch, 2009). Tek ağaç modelleri, meşcere modellerine göre çok daha karmaşık bir yapıya sahip olmalarına karşın, sağladıkları bilgi bakımından meşcere modellerinden daha üstündür (Vanclay, 1994).

Tek ağaç modelleri, ağaçların komşu ağaçlardan gördüğü baskının hesaplanmasında kullanılan yarışma endekslerinin, ağaçların birbirlerine uzaklıklarını dikkate alıp almamalarına göre; uzaklıktan bağımsız ve uzaklığa bağlı tek ağaç modelleri olmak üzere iki temel sınıfa ayrılmaktadırlar (Gadow ve Hui, 1999; Vanclay, 1994). Uzaklıktan bağımsız tek ağaç modellerinde, yarışma endeksi; ağaçlar arasındaki uzaklıklara gerek duymadan, konu ağacın büyüklüğünün meşceredeki diğer ağaçların büyüklüğüne oranlayarak hesaplanmaktadır (Yavuz, 1997). Ağaçların birbirine olan konumlarına ilişkin bilgileri gerektirmeyen uzaklıktan bağımsız yarışma modelleri, bu özellikleri ile genel ormancılık uygulamalarında tercih edilmelerine neden olmaktadır (Monserud ve Sterba, 1996; Sterba vd., 2002). Bununla birlikte, uzaklığa bağlı tek ağaç modelleri, ağaçlar arasındaki uzaklıkları ve ağaçların birbirine olan konumlarını dikkate aldıklarından ağaçlar arasındaki rekabetin durumunu daha iyi yansıtmaktadırlar (Vanclay, 1994). Uzaklığa bağlı tek ağaç modellerinde ağaçlar arasındaki rekabetin hesaplamasında, daha karmaşık yapıdaki uzaklığa bağlı yarışma endeksleri

kullanılmaktadır. ormancılık uygulamasında ağaçların birbirlerine uzaklıkları ve konumsal bilgilere ilişkin ölçümler, araştırma amaçlı özel uygulamalar dışında, yapılmamaktadır (Monserud ve Sterba, 1996). Ormancılık uygulamalarında ağaçların birbirlerine uzaklıkları ve konumsal bilgilere ilişkin ölçümlerin zaman alıcı ve pratik olmamasından dolayı, konumsal bilgilerinin gerekli olmadığı uzaklıktan bağımsız tek ağaç modelleri tercih edilmektedir. Uzaklığa bağlı tek ağaç modelleri genel itibarıyla bilimsel araştırmalarda tercih edilmektedir (Vanclay, 1994; Monserud ve Sterba, 1996; Sterba vd., 2002).

Tek ağaç modellerinde en önemli aşama ağaçların çap artımının veya göğüs yüzeyi artımının modellenmesidir. Çünkü çap artımları, bugünkü ağaç çapına eklenerek gelecek büyüme dönemi sonuna ilişkin ağaç çapları tahmin edilebilmekte ve ağaçların göğüs yüzeyi, hacim ve boy gibi diğer büyüme elemanları ise çap ile çok yüksek düzeyli ilişkiler göstermesi nedeniyle istatistiksel olarak çapın fonksiyonu ile tahmin edilebilmektedir. Çap artımları genellikle beş veya on yıllık periyotlara göre tahmin edilmektedir.

Artım modellerinde çap ya da göğüs yüzeyi kullanılmasına, hata dağılımlarının durumuna göre karar verilmektedir. Yapılan bazı çalışmalarda, göğüs yüzeyi artımı ile hacim artımı arasında daha iyi bir ilişki elde edilmiş ve göğüs yüzeyi artımının kullanılması gerektiği ifade edilmiştir (Bella, 1971; Johnson, 1973). West (1980) ve Shifley (1987) ise, modellerin hata dağılımları arasında bir farklılık olmadığını belirtmişlerdir (Zhang vd., 2004).

Çap artımı, söz konusu ağaçların (konu ağaç) çapı, boyu, yaşı ve tepe boyutları gibi belirli özellikleri, komşu ağaçlardan gelen baskının sayısal ifadesi olan yarışma endeksleri, yetiştirme ortamı verim gücü, meşcere sıklığı, meşcere ağaç sayısı, göğüs yüzeyi, meşcere yaşı gibi bağımsız değişkenler kullanılarak modellenebilmektedir (Vanclay, 1994; Sterba vd., 2002).

Çalışmamızda Kızılçam için uzaklıktan bağımsız ve uzaklığa bağlı tek ağaç modelleri oluşturulmuştur. Söz konusu tek ağaç modellerinde; göğüs çapı ve boyu gibi tek ağaç boyutları, rekabet durumları (yarışma endeksleri), meşcerelerin yaşı, göğüs yüzeyi, bonitet endeksi, ağaç sayısı ve orta çapı gibi meşcere değişkenler ile bu değişkenlerden türetilen bir çok bağımsız değişkenin fonksiyonu olarak yıllık ortalama çap artımını tahmin eden çoğul regresyon modelleri, "Aşamalı Regresyon (Stepwise Selection)" teknikleri kullanılarak SPSS paket programı (SPSS 19.0 Inc., 2010) ile elde edilmiştir.

Çap ve göğüs yüzeyi artımı modellerinde en önemli aşamalardan biri ağaçların karşılaştıkları baskı miktarının ölçülebilmesidir. Bu amaçla ormancılıkta şimdiye kadar çeşitli araştırmacılar tarafından pek çok yöntem geliştirilmiştir.

Bir yarışma endeksinin başarısı, ağaç türü ve eldeki verilerin dışında özellikle seçilen modelin yapısına bağlı olarak değişmektedir (Tome ve Burkhart, 1989; Biging ve Dobbartin, 1995). Yarışma endeksleri "Uzaklıktan Bağımsız (Distance Independent)" ile "Uzaklığa Bağlı (Distance Dependent)" olmak üzere ikiye ayrılmaktadır. Uzaklıktan bağımsız yarışma

endeksleri, meşcere değişkenleri (özellikleri) ve yarışma endeksi hesaplanacak ağacın başlangıç boyutlarının fonksiyonu olarak hesaplanmasına karşın, uzaklığa bağlı yarışma endekslerinde ise konu ağacın başlangıç boyutları ile çevresinde kendisiyle yarışma durumunda olan yarışmacı ağaçların uzaklık ve boyutlarının fonksiyonları olarak hesaplanmaktadır. Kavramsal olarak uzaklığa bağlı yarışma endekslerinin uzaklıktan bağımsız yarışma endekslerine göre daha başarılı olacağı beklenmesine karşın, bazı araştırmacılar her iki grup modelin başarıları arasında önemli farklar olmadığını belirtmişlerdir (Valsta, 1992; Zeide, 1993; DeBell vd., 1997; Peri ve Guullerno, 1997; Mirbadin, 1997). Buna neden olarak; yarışmacı ağaçların tam olarak belirlenememesi ya da seçilen modelin yetersiz olması gösterilmektedir (Gracan ve Peric, 1997; Prevosto vd., 2000).

Günümüze kadar birçok sayıda çalışmaya konu olan yarışma endeksleri, ilk olarak 1951 yılında Staebler tarafından geliştirilmeye başlanmıştır. Staebler, iki ağaç arasındaki rekabeti ifade edebilmek için bu iki ağacın tepe çaplarının birbirlerini örtmek suretiyle meydana gelen örtme alanının genişliğini esas almıştır (Yavuz, 1992). Uzaklığa bağlı yarışma endeksleri genellikle doğal meşcereler için daha uygun olmakta, ağaçlandırma alanlarında ise daha çok uzaklıktan bağımsız yarışma endeksleri kullanılmaktadır (Vanclay, 1994; Prevosto vd., 2000). Bu projede ise altısı uzaklıktan bağımsız ve onbiri ise uzaklığa bağlı toplam 17 adet yarışma endeksi hesaplanmıştır. Uzaklıktan bağımsız yarışma endeksleri:

- i) Konu ağaç göğüs çapını, meşcerenin göğüs yüzeyi orta ağacının çapına oranlayan yaklaşım (YE_1)
- ii) Konu ağaç göğüs çapını, meşceredeki en kalın çapa oranlayan yaklaşım (YE_2)
- iii) Konu ağacın göğüs yüzeyini, meşcerenin ortalama göğüs yüzeyine oranlayan kullanan yaklaşım (YE_3)
- iv) Konu ağacın göğüs yüzeyini, meşceredeki en kalın çaplı ağacın göğüs yüzeyine oranlayan yaklaşım (YE_4)
- v) Konu ağaçtan daha kalın çaplı ağaçların, göğüs yüzeyleri toplamını yarışma endeksi olarak kabul eden yaklaşım (YE_5 :BAL)
- vi) Konu ağacın canlı tepesinin % 66'sı yüksekliğinde meşceredeki tüm ağaçların tepe izdüşüm alanları toplamını yarışma endeksi kabul eden yaklaşım (YE_6)

$$YE_1 = \frac{d_i}{d_q} \quad (110)$$

$$YE_2 = \frac{d_i}{d_{\max}} \quad (111)$$

$$YE_3 = \frac{g_i}{\bar{g}} \quad (112)$$

$$YE_4 = \frac{g_i}{g_{\max}} \quad (113)$$

$$YE_5 = BAL_i = \frac{\pi}{4} \sum_{j=1}^n d_j^2 \quad d_j > d_i \quad (114)$$

$$YE_6 = \sum C_{66i} \quad (115)$$

Yukarıda verilen ilk dört yarışma endeksinde YE oranının artması, ağacın gördüğü baskı miktarının azaldığını göstermektedir. YE_5 (BAL) yarışma endeksinde konu ağaçtan daha kalın çaplı ağaçların göğüs yüzeyleri toplamının (BAL_i) azalması, konu ağacın rekabet üstünlüğü elde ettiğini ya da serbest büyümeye yaklaştığını göstermektedir. YE_6 yarışma endeksi yaklaşıma göre, eğer konu ağacın canlı tepe uzunluğunun %66 yüksekliğinde diğer tüm ağaçların tepe alanları toplamı sayısal olarak küçükse, konu ağacın daha az baskı göreceği varsayılmaktadır.

Burada;

- YE_i ve BAL_i : Konu ağacın yarışma endeksinin,
- d_i : Konu ağacın göğüs çapını,
- d_q : Meşcere orta çapını,
- $d_{\max}$: Meşceredeki en kalın çaplı ağacın göğüs çapını,
- g_i : Konu ağacın göğüs yüzeyini,
- $\bar{g}$: Meşcerenin ortalama göğüs yüzeyini,
- $g_{\max}$: Meşceredeki en kalın çaplı ağacın göğüs yüzeyini,
- d_j : Konu ağaçtan daha kalın ağaçların çaplarını,
- C_{66i} : Konu ağacın canlı tepesinin %66 yüksekliğinde meşceredeki diğer tüm ağaçların tepe izdüşümü alanlarını göstermektedir.

Uzaklıktan bağımsız yarışma endeksleri:

Staebler (1951) Endeksi (YE_7):

Staebler, konu ağaç etrafındaki bireysel etki zonlarını dikkate alarak aşağıdaki yarışma endeksinin düzenlemiştir. Bu zon içindeki ağaçlar yarışmacı ağaç olarak kabul edilmiştir (Staebler, 1951).

$$YE_7 = \sum_{i=1}^n \left(\frac{d_{ij} \times CR_j}{2} \right) \quad (116)$$

Burada; YE_7 : j'inci ağacın yarışma endeksini, d_{ij} : i'inci yarışmacı ağaç ile konu ağaç tepe kesim alanlarının uzaklığını, CR_j : Konu ağacın tepe yarıçapını, N : Yarışmacı ağaç sayısını göstermektedir. Bu yarışmacı endeksi, yarışmacı ağaç sayısının azalmasıyla sayısal olarak küçülmektedir.

Hegyi (1974) Endeksi (YE_8):

Hegyi, yarışmacı ağaçların uzaklık-ağırlık oranlarının toplamını kullanarak yarışma endeksi hesaplamıştır. Yarışmacı ağaçları ise konu ağaç etrafında sabit bir yarıçapa sahip daire içerisinde kalan ağaçlar olarak belirlemiştir (Hegyi, 1974).

$$YE_8 = \sum_{i=1}^n \left(\frac{D_i}{D_j} \times \frac{1}{L_{ij}} \right) \quad (117)$$

Burada; D_i , D_j : konu ve yarışmacı ağacın göğüs çaplarını, L_{ij} : d_{ij} (uzaklık), i'inci yarışmacı ağaç ile konu ağacın tepe kesişim alanlarının uzaklığını, n : Yarışmacı ağaç sayısını göstermektedir.

Sun (1977) Endeksi (YE_9):

Sun, yarışma endeksini konu ağaç ve yarışmacı ağaç büyüme alanlarının oranını ve konu ve yarışmacı ağaç çapları ile ağaçlar arası uzaklıkla düzelterek hesaplanmıştır (Sun, 1977).

$$YE_9 = \sum_{i=1}^n \left(\frac{ta_j}{ta_i} \right) \times \left(\frac{d_i}{d_j} \right) \times \left(\frac{1}{U_{ij}} \right) \quad (118)$$

Burada; ta_i : i'inci konu ağacın tepe alanını, ta_j : j'inci yarışmacı ağacın tepe alanını, d_i : Konu ağacın çapını, d_j : Yarışmacı ağacın çapını, U_{ij} : i'inci konu ağacın j'inci yarışmacı ağaca olan uzaklığını göstermektedir.

Alemdağ (1978) Endeksi (YE_{10}):

Alemdağ, yarışma endeksini, belli bir büyüme alanı içinde bulunan bir ağacın karşılaşacağı baskı yoğunluğunun, çevresindeki yarışmacı ağaçların sayısı ile değişeceği esasına dayandırmaktadır. Böylece, konu ağacın büyüme alanında daha fazla sayıda ağaç bulunması durumunda konu ağaç üzerindeki baskının artacağı, az sayıda olması durumunda ise azalacağı sonucu ortaya çıkmaktadır. Buna göre yarışma endeksi (Alemdağ, 1978).

$$YE_{10} = n / k \quad (119)$$

Burada; n : Konu ağacın büyüme alanını, k : Konu ağacın büyüme alanı içindeki yarışmacı ağaç sayısını göstermektedir.

Newnham (1966) Endeksi (YE_{11}):

Newnham, yarışma endeksini, konu ağaç merkezini, etki zonlarının kesim noktalarına birleştiren doğrular arasında kalan ve bu zonların oranı ile düzeltilmiş açılar toplamı yardımıyla belirlemiştir (Newnham, 1966).

$$YE_{11} = \frac{1}{2\pi} \sum_{i=1}^n \alpha_i \frac{R_i}{R_j} \quad (120)$$

Burada; α_i : Konu ağaç merkezini etki zonlarının kesim noktalarına birleştiren doğrular arasında kalan açı, R_i : Yarışmacı ağaçların etki zonu yarıçaplarını, R_j : Konu ağaç etki zonu yarıçapını, n : Yarışmacı ağaç sayısını göstermektedir.

Konu ve yarışmacı ağaçlar arasındaki ortak alanlar α_1 ve α_2 (örneğin: yarışmacı iki ağaç olması durumunda) sembollerleriyle verilen ve ağaçların merkezlerinden kesiştiği noktalara çizilen doğrular arasında kalan merkez açılarıyla yararlanılarak hesaplanmaktadır.

$$\alpha_1 = \arcsin\left(\frac{(R_1^2 - R_j^2 + D^2)}{(2 \cdot D \cdot R_1)}\right) \quad (121)$$

$$\alpha_2 = \arcsin\left(\frac{(R_j^2 - R_2^2 + D^2)}{(2 \cdot D \cdot R_j)}\right) \quad (122)$$

Bu formüllerde, R_j konu ağacın yarıçapı, R_1 ve R_2 yarışmacı ağaçların yarıçaplarını, D ise bu iki ağacın merkezleri arasındaki uzaklığı ifade etmektedir.

Bella (1971) Endeksi (YE_{12}):

Bella, konu ağaç tepesinin yarışmacı ağaçlar tarafından kullanılma oranına bağlı olarak yarışma endeksini 58 nolu eşitlikle hesaplanmaktadır (Bella, 1971).

$$YE_{12} = \sum_{i=1}^n \left(\left(\frac{O_{ij}}{A_j} \right) \times \left(\frac{D_i}{D_j} \right)^k \right) \quad (123)$$

Burada; O_{ij} : Ortak tepe alanını, A_j : Konu ağacın tepe alanını, D_i , D_j : konu ve yarışmacı ağaçların göğüs çaplarını, K : Bir faktörü, N : O_{ij} pozitif olan tüm ağaç sayısını göstermektedir.

Opie (1968) Endeksi (YE_{13}):

Opie, yarışma endeksini konu ağaçla yarışmacı ağaç etki zonları arasında kalan ortak alanların toplamı olarak hesaplanmıştır (Opie, 1968).

$$YE_{13} = \frac{1}{EZ_j} \times \sum_{i=1}^n AK_{ij} \quad (124)$$

Burada, EZ_j : Konu ağaç etki zonu, AK_{ij} : Konu ve yarışmacı ağaç etki zonları ortak alanı, n : Yarışmacı ağaç sayısını göstermektedir.

Erkan (1996) Endeksi (YE_{14}):

Erkan, yarışma endeksini yarışmacı ağaçların çaplarını ve konu ağaca olan uzaklıklarını kullanarak aşağıdaki eşitlikle belirlemiştir (Erkan, 1996).

$$YE_{14} = \frac{d_i}{6} \times \sum_{j=1}^n \left(\frac{U_{ij}}{d_i + d_j} \right) \quad (125)$$

Burada, d_i : Konu ağacı göğüs yüzeyi çapını, d_j : Yarışmacı ağacın göğüs yüzeyi çapını, U_{ij} : J'inci konu ağacın i'inci yarışmacı ağaca olan uzaklığını, n : Yarışmacı ağaç sayısını göstermektedir.

Martin ve Ek (1984) Endeksi (YE_{15}):

Martin ve Ek, konu ve yarışmacı ağaç çapları ile aralarındaki uzaklığa bağlı olarak yarışma endeksini hesaplamışlardır (Martin ve Ek, 1984).

$$YE_{15} = \sum_{j=1}^n \left(\frac{d_j}{d_i} \right) \exp \left(\frac{16 \times U_{ij}}{d_i + d_j} \right) \quad (126)$$

Burada, d_i : Konu ağacı göğüs yüzeyi çapını, d_j : Yarışmacı ağacın göğüs yüzeyi çapını, U_{ij} : i'inci konu ağacın j'inci yarışmacı ağaca olan uzaklığını, n : Yarışmacı ağaç sayısını göstermektedir.

Arney (1978) Endeksi (YE_{16}):

Arney, yarışma endeksini yarışmacı ve konu ağacın tepe alanlarını ve ortak alanlarını kullanarak 68 nolu eşitlikle hesaplamıştır (Arney, 1978).

$$YE_{16} = \left[\left(\sum_{j=1}^n (ao_{ij} + ta_j) \right) / ta_i \right] \times 100 \quad (127)$$

Burada, ao_{ij} : i'inci konu ağaç ile j'inci yarışmacı ağacın ortak tepe alanını, ta_j : yarışmacı ağacın tepe alanını, ta_i : Konu ağacın tepe alanını göstermektedir.

Tennent (1975) Endeksi (YE_{17}):

Tennent, yarışmacı ağaçlarla konu ağacın çakışan tepe alanları ve konu ağacın tepe alanlarını kullanarak aşağıdaki yarışma endeksini kullanmıştır (Tennent, 1975).

$$YE_{17} = \frac{1}{A} \times \sum_{i=1}^n a_i \quad (128)$$

Burada, YE_i : Yarışma değerini a_i : Yarışmacı ağaçlarla konu ağacın çakışan tepe alanını, A : Konu ağacın yarışma alanı dairesini, n : Yarışmacı ağaç sayısını göstermektedir.

Bir ağacın hem uzaklığa bağlı ve hem de uzaklıktan bağımsız yarışma endekslerinin hesaplanabilmesi oldukça karmaşık işlemleri gerektirdiğinden, ancak bir bilgisayar programı ile bu işlemler kısa sürede ve kolaylıkla yapılabilmektedir. Bu çalışmada, kullanımı kolay ve hemen hemen her programcının kullanabildiği *VISUAL BASIC* programlama dili kullanılarak, *MS EXCEL* programı altında çalışan *Visual Basic Application* (VBA) ile yarışma endekslerini hesaplayan bir modül kullanılmıştır.

2.2.11.2.1 Tek Ağaç Büyüme Modellerinin Denetimi ve Kontrolü

Ormancılık uygulamalarında kullanılacak olan tek ağaç büyüme modellerinin kuruluşu, modellerin geliştirilmesi, test edilmesi ve kullanılması gibi üç önemli kısımdan oluşmaktadır.

Büyüme üzerinde etkili olan tüm etmenlere ilişkin bilgileri birlikte kullanabilme olanağına sahip olan bu tek ağaç büyüme modelleri, geleceğe ilişkin tahminde bulunabilmesi için sonuçların analiz edilmesi ve özellikle bilinen büyüme yasaları ile uyumlu olması gerekmektedir (Vanclay, 1994). Model sonuçlarının analiz edilmesi; modelin denetlenmesi ve kontrolü olmak üzere iki aşamada yürütülmektedir (Vanclay ve Skovsgaard, 1997).

Model denetim süreci; modellerin oluşturulmasında yaygın bir biçimde kullanılan başta regresyon analizi olmak üzere çeşitli yöntemlerin gerektirdiği varsayımların sağlanıp sağlanmadıklarının sapma değerlerinin normal dağılmış olması, aralarında istatistiksel bir bağıntının bulunmaması (otokorelasyon), varyanslarının sabit olması (heteroscedasticity), modelde yer alan bağımsız değişkenlerin birbiri ile anlamlı korelasyonlar göstermemesi (Çoklu bağıntı=multicollinearity)] denetimi ile ayrıca model sonuçlarının biyolojik büyüme yasalarına uygunluğunun analizlerini kapsamaktadır (Leech vd., 2005; Coakes, 2005). Bu çalışmada, tek ağaç büyüme modellerine ilişkin model hatalarının normal dağılım gösterip göstermediği, hataların normal dağılım grafiği ile denetlenmiştir. Modelin tahminlerinde oluşan bu sapmalar (residuals), varyansların çok büyük olmaması durumunda normal karşılanırlar (Vanclay, 1994). Otokorelasyon sorunu, *Durbin-Watson* katsayısı ile test edilmiştir. Bu katsayının değeri 2'ye yaklaştıkça, regresyon modellerinde otokorelasyon sorununun olmadığını göstermektedir (Coakes, 2005). Değişen varyans sorununun (*heteroscedasticity*, sabit varyans: *homoscedasticity*) varlığı, standardize edilmiş hataların ordinat (Y) eksenine tahmin değerlerin de apsis (X) eksenine aktararak oluşturulan grafiklerde, noktaların dağılımının rastgele oluşması ve özellikle de yatay bir huni biçiminde serpilme göstermemesi ile belirlenebilmektedir. Regresyon modellerinde çoklu bağıntı (*Multicollinearity*) olarak adlandırılan bağımsız değişkenlerin kendi aralarında yüksek ilişkiler göstermesi sorunu olması durumunda, bağımsız değişkenlerin ayrı ayrı bağımlı değişken üzerinde ne derecede etkili olduklarının saptanamamasına, bağımsız değişkenlere ilişkin standart hataların büyüye, t değerlerinin küçülerek gerçekte ilişki gösteren bağımsız değişkenlerin modelde yer almamasına yol açabilmektedir (Vanclay, 1994). Çoklu bağıntının belirlenmesinde, *VIF* "variance inflation factor" değerleri kullanılmaktadır. (Leech vd., 2005). Özellikle *VIF* değerinin 10'dan büyük olması ile regresyon modelleri için çoklu bağlantı sorunu söz konusu olmaktadır (Marguard, ve Snee, 1975; Neter vd., 1996; Orhunbilge, 2000; Kutner vd., 2004).

Model kontrolü süreci ise, ormancılıkta tek ağaç modellerinin sonuçlarının, bağımsız bir veri grubu ile test edilerek, modelin örneklenen popülasyona istatistiksel olarak uygun olup olmadığının analiz edilmesini içermektedir. Model, modelin kurulmasında kullanılan verilerin dışında bir başka bağımsız bir veri grubu (kontrol verileri) ile kontrol edilmelidir (Vanclay, 1994). Bu bakımdan çalışma kapsamında elde edilen veriler, modelin oluşturulmasında ve kontrol edilmesinde kullanılacak veriler olmak üzere iki gruba ayrılmıştır. Model geliştirilmek için

kullanılan veriler (7094), toplam verilerin yaklaşık % 80'ni (5675 adet) oluştururken, geri kalan yaklaşık % 20'lik kısım ise (1419 adet) geliştirilen modelin kontrol edilmesinde kullanılmıştır. Modellerin kontrol sürecinde, kontrol amaçlı ayrılan ağaçların yıllık ortalama çap artımları, tek ağaç modelleri ile tahmin edilmiş, böylece ölçülmüş aktüel yıllık ortalama çap artımları ile tahmin edilmiş artımlardan oluşan iki grup oluşturulmuştur. Tek ağaç modellerin uygunluğunun test edilmesinde, parametrik test varsayımlarından biri olan “grup varyanslarının homojenliği” varsayımının sağlanması durumunda; “*Student’in Eşlendirilmiş t-testi (Paired Samples T test)*”, sağlanamaması durumunda ise, parametrik olmayan testlerden “*Wilcoxon’un İşaret Testi (Wilcoxon Signed Test)*” kullanılarak tahmini ve aktüel çap artımları karşılaştırılmıştır (Kalıpsız, 1988; Batu, 1995). Bu test sonucunda eşlendirilmiş iki veri grubu arasında istatistiksel olarak anlamlı bir fark çıkmaması durumunda geliştirilen tek ağaç büyüme modeli sonuçlarının, verilerin elde edildiği meşcereler için geçerli olduğu, farklılık çıkması durumunda ise modelin kullanılmaması gerektiği sonucuna varılabilir.

2.2.12 Odun Çeşidi Oranlarının Saptanması

Ürün çeşitliliği üreticinin belli plan ve programa göre çalışmasını, seri imalat, kitle üretim ve yüksek kalite sağlamasını, standart kayıp ve artıkları en az düzeye indirmesini, verimliliği ve hasılayı arttırmasını, depolamayı kolaylaştırmasını, stokların azaltılmasını, taşımayı kolaylaştırmasını ve maliyeti düşürmesini sağlar. Tüketicinin ise malların karşılaştırma ve seçim kolaylığı yapmasını, sipariş ve alım-satım işlerini kolaylaştırmasını, fiyat ve kalite yönünden aldanmasını önler.

Kullanım durumuna göre odunlar ‘Yapacak Odunlar’ ve ‘Yakacak Odunlar’ olmak üzere ikiye ayrılmaktadır. Yapacak odunlar yuvarlak odunlar olup, yapacak olarak kullanılmaktadırlar. Yapacak odun çeşitleri; tomruk, direk, yuvarlak sanayi odunu, sırık ve çubuktur. Bu tür yapacak odunlarda ölçme ve hacimlendirmeler orman ürünleri standardizasyonuna göre yapılır. Yuvarlak odunların sınıflandırmaları Tablo 17’de verilmiştir.

Tablo 17. Yuvarlak odunların Türk standartlarına göre sınıflandırılması

Sınıflar	Orta çap (kbs, cm)	Boy (m)	Sınıflar	Orta çap (kbl, cm)	Boy (m)
Tomruk	≥ 21	≥ 1,5	Sırık	5 - 8	≥ 2,0
Direk	8 - 20	≥ 1,5	Çubuk	≤ 4	≥ 1,0
Yuvarlak Sanayi	≥ 5	0,5 -1,4			

Tomrukların kalite sınıflandırmasında çürük, kovuk, budak, çatlak, renklenme, eğrilik, bükülme, geniş yıllık halka, yumuşaklarda cıızlık, olukluluk, yara gibi kusurlar rol oynar. Tomruklar kusur

sayısına göre de 3 sınıfa ayrılırlar. Eğrilik ve burukluk aynı tomrukta olmamak koşulu ile kusur sayısı 4'e kadar olanlar 1.Sınıf tomruk, kusur sayısı 4-5 olanlar 2. Sınıf tomruk ve kusur sayısı 6-7 olanlar 3. Sınıf tomruk olarak adlandırılırlar. Tomrukların kalite sınıflandırmasında bu hususlar dikkate alınmıştır.

Ağaçların gövde şekli, alındığı yer, çap, uzunluk, yıllık halka yapısı, öz ve diri odun oluşumu, özgül ağırlık, budak, reaksiyon odunu, reçine keseleri, lif kıvrıklığı ve çatlaklar gibi özellikler ve kusurlar, odunların kalite sınıfı üzerine etkilidir. Bu açıdan, örnek ağaçlar üzerinde odun ürünleri sınıflaması yapılırken, bu özelliklere dikkat edilmiştir. Bilindiği üzere yetiştirme ortamının çok iyi olmadığı alanlarda Kızılçam gövde formu genellikle çok düzgün değildir. Bu yüzden yukarıdaki tabloya göre, ölçüleri tomruk sınıfında kalabilecek olan seksiyonların, gövde şeklinin eğriliği ve diğer odun kusurları sebebiyle “sanayi odunu” veya “yakacak odun” içerisine dâhil edildiği durumlar olmuştur. Bu aşamada sınıflandırma yapılırken, Orman İşletmelerin Pazar payı da dikkate alınarak, sırık ve çubuk sınıfları ‘Sanayi Odunu’ sınıfına dâhil edilmiş, ayrıca Tel Direği sınıfı dikkate alınmayıp sadece ‘Maden Direği’ sınıflandırması yapılmıştır. Sınıflandırması yapılan örnek ağaçların, ürün çeşitlerine göre ayrı ayrı, hacimleri bulunurken Smalian formülü kullanılmıştır.

Bu amaçla, parasal değerleri ve kullanım yerleri birbirinden önemli derecede farklı olan çeşitli ürünlerin tek ağaç ve hektardaki dağılımlarının önceden bilinmesi, kaynağa ilişkin olarak yapılacak planlara önemli katkılar sağlayarak birim alandan elde edebilecekleri tomruk, direk, sanayi odunu ve yakacak odun miktarlarını belli bir yaklaşımla hesaplamayı mümkün kılacaktır. Çalışma kapsamında kesilmiş olan 972 adet örnek ağacın tümünde ağacın kesim yerinden tepeye kadar olan gövde, Tablo 17'deki ölçütlere göre sınıflandırılmıştır. Sınıflandırma yapıldıktan sonra sırasıyla; (i) gövde analizi ölçüm verileri kullanılarak elde edilen, kabuklu-kabuksuz çap ilişkisine göre her bir seksiyonun kabuksuz çapı hesaplanmış ve ağaçtaki kabuk oranları bulunmuştur, (ii) Standartlara göre sınıflandırılmış olan odun ürün çeşitlerinin, ağaçtaki yüzde oranları ayrı ayrı hesaplanmıştır.

Bu aşamalardan sonra, tespit edilen odun ürün çeşitleri oranlarıyla ağaçların göğüs çapları ilişkiye getirilerek regresyon analizleri yapılmıştır. Odun ürün çeşitleri üzerinde ağaç boyu etkisinin önemsenecek kadar az olması sebebiyle (Eraslan, 1954; Alemdağ, 1967; Sun vd., 1978; Asan, 1984) bu oranların modellenmesinde boy faktörü dikkate alınmamıştır. Yapılan çalışmada yakacak odun hacim oranlarının tespitine ilişkin belirli bir model önerilmemiştir. Bunun başlıca nedeni; yetiştirme ortamı verimliliğinin iyi olduğu alanlardaki ağaçlarda yakacak odun yüzdesi normal bir seyirde azalmaktayken, yetiştirme ortamı verimliliğinin kötü olduğu alanlardaki ağaçlarda yakacak odun yüzdesi anlamsız oranlarda artabilmektedir. Bu durumda da, biyolojik büyüme esaslarına uygun trendde bir eğri tespit edilememektedir. Bu yüzden; yakacak odun hacim oranı hesaplanırken; diğer odun ürün

çeşitlerine (tomruk, maden direği ve sanayi odunu) ilişkin değerler, seçilen modellerle hesaplanmış, bu oranların toplamını %100'den çıkararak, yakacak odun hacim oranlarına ait oranlar elde edilmiştir. Odun çeşidi oranlarının saptanmasında kullanılacak örnek ağaçların Orman İşletme Müdürlüklerine dağılımları Tablo 3'de, ağaçlara ilişkin çeşitli istatistiksel değerler Tablo 6'de ve çap ve boy basamaklarına dağılımları ise Tablo 7'de verilmiştir.

3 BULGULAR

3.1 Örnek Alan Verilerine İlişkin Bulgular

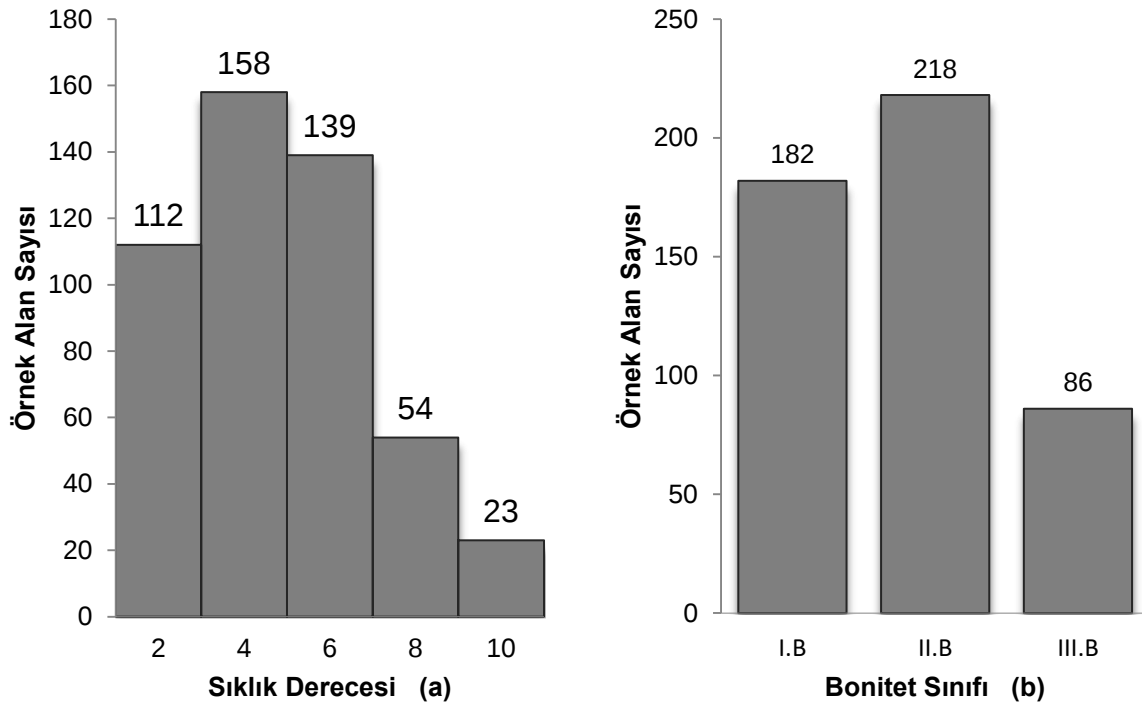
486 örnek alana ilişkin yaş, bonitet endeksi, sıklık derecesi, orta çap, orta boy, göğüs yüzeyi, hacim ve ağaç sayısının minimum, maksimum, ortalama ve standart sapma gibi çeşitli istatistiksel bilgileri Tablo 18'de verilmiştir.

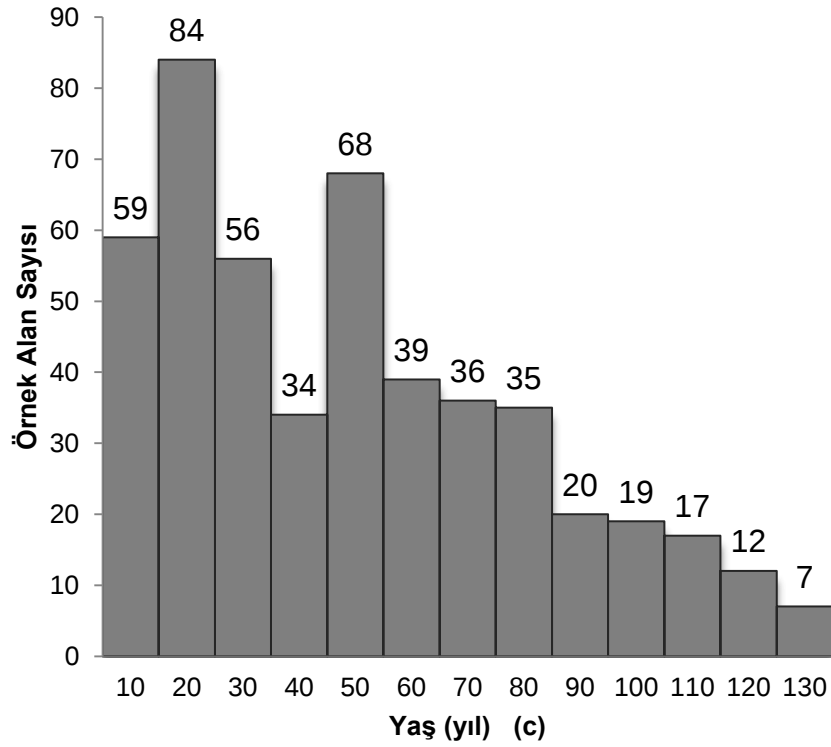
Tablo 18. Örnek alan verilerine ilişkin bazı istatistiksel bilgiler

Özellik	Ortalama	Minimum	Maksimum	Standart Sapma
Yaş (yıl)	49,8	6,0	134,8	32,1
Bonitet Endeksi (m)	21,7	8,5	33,8	5,5
Sıklık Derecesi	4,8	0,3	12,4	2,3
Orta Çap (cm)	25,6	0,7	61,8	13,6
Orta Boy (m)	14,2	1,2	31,2	7,1
Üst Boy (m)	16,5	1,5	32,4	7,6
Göğüs Yüzeyi (m ² /ha)	25,5	0,3	69,5	15,9
Meşcere Hacmi (m ³ /ha)	207,7	2,5	983,7	170,9
Ağaç sayısı (adet/ha)	933,6	80,0	7800,0	1337,0

Kızılçam için; yaş 6.0-134.8 yıl, bonitet endeksi 8.5-33.8 m, sıklık derecesi 0.3-12.4, orta çap 0.7-61.8 cm, orta boy 1.2-31.2 m, üst boy 1.5-32.4 m, göğüs yüzeyi 0.3-69.5 m²/ha, hacim 2.5-983.7 m³/ha ve ağaç sayısı 80-7800 adet arasında değişmektedir (Tablo18).

Bu çalışmada, yaş, verim gücü ve sıklık derecelerindeki değişkenliği yansıtacak şekilde 486 adet örnek alan alınmıştır. Örnek alanların yaş, bonitet ve sıklık derecelerine göre dağılımları Şekil 11'de verilmiştir. Örnek alanların 112'si 2, 158'i 4, 139'u 6, 54'ü 8 ve 23'ü ise 10 sıklık derecesinde yer almaktadır (Şekil 11a). Bonitet sınıflarına göre örnek alanların dağılımı Kızılçam için iyi bonitetten kötü bonitete doğru sırasıyla 182, 218 ve 86 adettir (Şekil 11b). Kızılçam için 10-130 yaş sınıflarına göre örnek alanların dağılımı sırasıyla 59, 8, 56, 34, 68, 39, 36, 35, 20, 19, 17, 12 ve 7 adettir (Şekil 11c).





Şekil 11. Örnek alanların sıklık derecesi (a), bonitet sınıfı (b) ve yaş sınıflarına (c) göre dağılımları

3.2 Meşcere Boy Eğrilerine İlişkin Bulgular

Örnek alanlar içerisindeki genellikle tüm ağaçların boyu ölçülmüştür. Ancak, herhangi bir nedenle örnek alandan uzaklaştırılmış olan ağaçların ise, yalnızca dip kütükleri ölçülmüştür. Meşcereye ilişkin tüm parametrelerin hesaplanabilmesi için bu ağaçların boylarının da bilinmesi gerekmektedir. Bu yüzden, dip çap-göğüs çapı ilişkisi ile göğüs çapı belirlenen bireylerin, boyları da; Bölüm 2.2.5.3'te verilen, regresyon modelleri (eşitlik 88-96) vasıtasıyla bulunmuştur.

Her bir örnek alanın temsil ettiği meşcerelere ilişkin boy eğrilerinin bulunmasında; temel büyüme modelleri (eşitlik 88-96) kullanılmış ve en uygun modeller seçilmiştir. Çap-boy modelleri I. yaş sınıfında alınan 54 örnek alanı (0-10 yaşları arasındaki örnek alanlarda örnek alan verileri genel olarak elde edilmiştir. Diğer bir ifadeyle tüm ağaçların çapları, boyları, yaşları gibi değişkenler ölçülmeyp, yaş, orta çap, orta boy, üst boy gibi değişkenler için ölçümler yapılmıştır) dışındaki 432 örnek alan için elde edilmiştir. Elde edilen bu eşitliklere ilişkin projede sadece özet bilgiler verilmiştir. 432 adet örnek alandan, 162'sinde (% 37.5'u) S, 76'sında (% 17.6'sı) Üssel, 69'unda (% 16.0'sı) Ters-Devrik, 59'unda (% 13.6'sı) Birleşik, 44'ünde

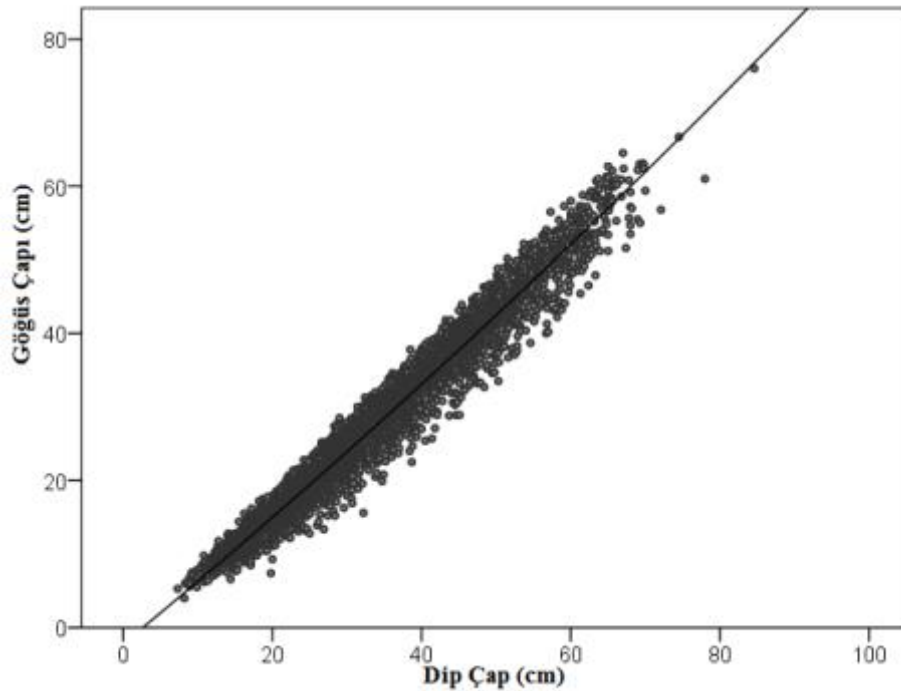
(%10.2'si) ve 22'sinde de (%5.1'i) Parabolik modelin en başarılı sonucu verdiği tespit edilmiştir. Buna göre; Kızılcım için göğüs çapı ile ağaç boyu arasındaki ilişki düzeyi iyi derecede olup Belirtme Katsayıları (R^2), 0.357-0.979, standart hata değerleri ($S_{y,x}$) 0.26-4.99 m ve F_h değerleri ise 10.43-1234.63 arasında değişmektedir.

3.3 Dip Çap ile Göğüs Çapı İlişkisi

Herhangi bir nedenle örnek alandan uzaklaştırılmış olan ağaçların göğüs çaplarını bulabilmek için; gövde analizinde ölçülmüş olan ağaçların dip çapları ($d_{0,3}$) ve göğüs çapları ($d_{1,3}$) arasında ilişki araştırılmıştır. Yapılan regresyon analizi sonucunda dip çap ile göğüs çapı arasında %96.5 oranında bir ilişki olduğu bulunmuştur (Şekil 12).

Dip çap ($d_{0,3}$) ile göğüs çapı ($d_{1,3}$) arasındaki ilişkinin şekli yukarıda verilmiştir (Şekil 12). Dip çap ile göğüs çapı arasında en iyi ilişki parabolik denklem ile elde edilmiştir. Denklemin standart hatası (S_{yx}) 2.259 cm olup, F_h değeri ise 72644.42'dir.

$$d_{1,3} = -2.193 + 0,8357 d_{0,3} + 0.00115 d_{0,3}^2 \quad (129)$$



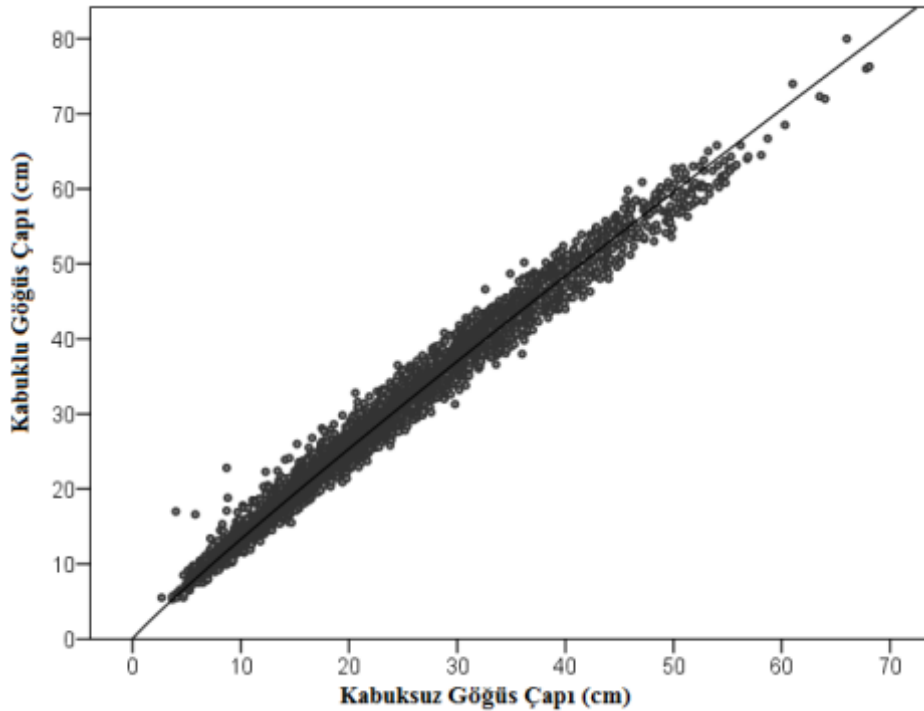
Şekil 12. Dip çap ile göğüs çapı arasındaki ilişki grafiği

3.4 Kabuklu Çap ile Kabuksuz Çap İlişkisi

Gövde analizinde periyotlar itibariyle ölçülen değerler kabuksuz çaplardır. Ancak çalışma kapsamında oluşturulan ağaç hacim ve odun ürün çeşitleri tablolarında kabuk oranının bulunması için kabuklu çapların (d_{kbl}) bilinmesi gerekmektedir. Dolayısıyla söz konusu tabloların oluşturulması için, ölçülen kabuksuz çapların kabuklu çaplara dönüştürülmesi ve ondan sonra analizlere konu edilmesi gerekmektedir. Bunların dışında, kabuk oranlarının hesaplanması için; kabuklu çap ile kabuksuz çap ($d_{kbl} - d_{kbs}$) arasındaki ilişkinin bilinmesi gerekmektedir. Bu sayede, ağaçlarda kabuksuz çapı bilinen ağaçların kabuklu çapları elde edilebilmektedir.

Gövde analizi yapılan ağaçların kabuksuz çap ve hacim değerleri, kabuklu çap ve kabuklu hacim değerlerine dönüştürülerek ayrı ağaç gibi değerlendirilmiştir. Gövde analizinde ağaçların son periyottaki kabuksuz çapları (d_{kbs}) ile kabuklu çapları (d_{kbl}) arasında ilişki araştırılmış ve bir model elde edilmiştir (Model 130). Elde edilen modelin belirtme katsayısı (R^2) %99.1, tahminin standart hatası (S_{yx}) 0,047 cm ve F_h değeri 528513.7'dir. Bu model yardımıyla kabuksuz çaplar, kabuklu çapa dönüştürülmüştür. Ağaçların kabuksuz çapları ordinat, kabuklu çapları ise apsis ekseninde olmak üzere koordinat sisteminde işaretlenerek Şekil 13'de verilmiştir.

$$d_{kbl} = 1,28305 \times d_{kbs}^{0,98818} \quad (130)$$



Şekil 13. Kabuklu ve kabuksuz göğüs çapı arasındaki ilişki grafiği

3.5 Ağaç Hacim Tablolarına İlişkin Bulgular

3.5.1 Tek Girişli Ağaç Hacim Tablolarına İlişkin Bulgular

Tek girişli ağaç hacim tablosunda ağaçlar, bonitet sınıfı ayrımı yapılmaksızın bir bütün olarak ele alınmıştır. Bu doğrultuda tek girişli ağaç hacim tablosu üretmek için, gövde analiziyle elde edilen 6033 ağaç verisinden, %80'i (4826'sı) kullanılmıştır.

Kızılçam meşcereleri için tek girişli ağaç hacim denkleminin düzenlenmesinde, göğüs çapı ve bu çap değişkeninden türetilen yeni değişkenler arasından “İleri Doğru Seçim (Forward Selection)”, “Geriye Doğru Seçim (Bacward Selection)” ve “Aşamalı Regresyon (Stepwise Selection)” Tekniği kullanılarak, ağaç hacmi ile en anlamlı ilişki gösteren değişkenler belirlenmiştir. Bu çalışmada denenen tek girişli ağaç hacim denklemleri arasında Kızılçam türü için en iyi sonuç aşağıda verilen denklem ile elde edilmiştir.

$$V = 0.1654x d^{2.3784} \quad (131)$$

Kızılçam tek girişli ağaç hacim denkleminin ilişkin belirtme katsayısı (R^2) 0.975, standart hatası ($Sy.x$) 52.844 dm³ olarak hesaplanmıştır. Böylece gövde hacmindeki değişkenliğin % 97.5'ini yalnız göğüs çapının açıkladığını söyleyebiliriz. Geriye kalan % 2.5'lik açıklanamayan kısmı ise ağaç boyu ve gövde şekli farklılıklarından kaynaklanmaktadır. Tek girişli ağaç hacim denkleminin Toplam Hata Yüzdesi (%TH) -0.457 ve Ortalama Mutlak Hata Yüzdesi ise (%OMH) 9.756'dır.

Tek girişli hacim denkleminin meşcereye uygun olup olmadığının testi için önce “F” testi ile grup varyansları karşılaştırılmıştır. Toplam örnek ağaç sayısının %20'sini oluşturan örnek ağaç verileri (1207 örnek ağaç) bu amaçla seçilmiştir. Verilere ilişkin F istatistiği 0.072 ve $P>0.05$ olduğundan ($p=0.788$) grup varyanslarının homojen olduğu sonucuna varılmıştır. Varyanslar homojen olduğundan, iki bağımlı grup için Eşlendirilmiş Örneklem t Testi (Paired Sample t Test) ile karşılaştırılmış ve t istatistiği -1.275 ve önem düzeyi $P=0.203$ olarak bulunmuştur. Böylece düzenlenen tek girişli Kızılçam hacim denkleminin örnek ağaçların alındığı Kızılçam meşcereleri için uygun olduğunu söyleyebiliriz. Seçilen tek girişli ağaç hacim modelinin grafiği Şekil 14'de gösterilmiştir. Üretilen tek girişli ağaç hacim modellerinin kontrolü yapıldıktan sonra Kızılçam için düzenlenen “Tek Girişli Ağaç Hacim Tablosu” Ek Tablo 1'de verilmiştir.

3.5.2 Bonitete Dayalı Tek Girişli Ağaç Hacim Tablolarına İlişkin Bulgular

Bonitete dayalı tek girişli ağaç hacim denklemini geliştirmek için bonitet sınıfları itibariyle kabuklu göğüs çapları ile ağaç hacimleri ilişkiye getirilmiştir. Bunun için verilerin %80'i (6033 ağaç

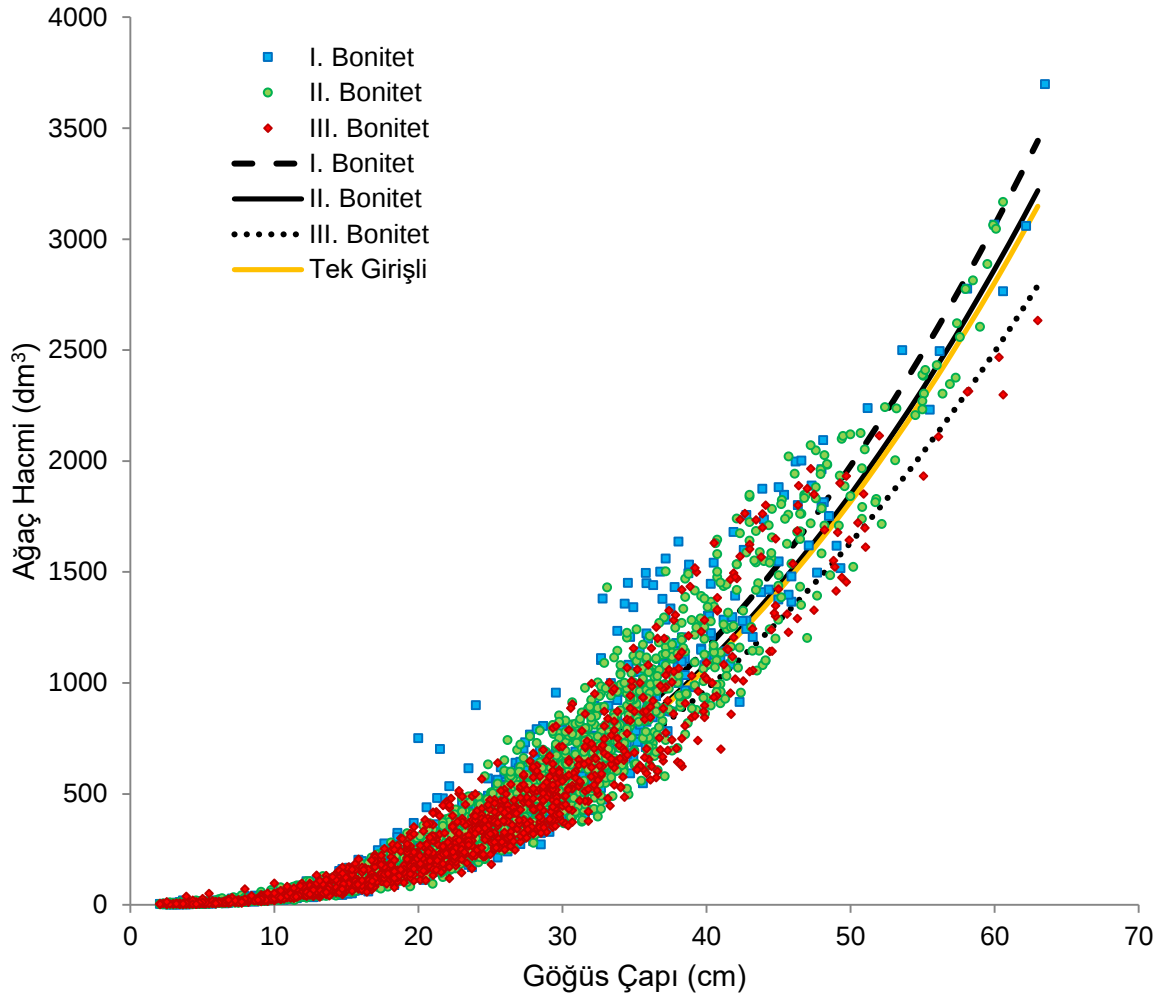
verisinin 4826 adedi) her bonitet sınıfı için ayrı olmak üzere regresyon analizine tabi tutulmuşlardır. Buna göre toplam 4826 ağaç verisinin, 1347 adedi I. Bonitet sınıfı, 2238 adedi II. Bonitet sınıfı ve 1251 adedi ise III. Bonitet sınıfı için bonitete dayalı ağaç hacim denklemlerinin elde edilmesinde kullanılmıştır. Bu proje çalışması kapsamında denenen bonitete dayalı tek girişli ağaç hacim denklemleri arasında, Kızılçam türü için en iyi sonuç aşağıda verilen denklemler ile elde edilmiştir.

$$\text{I. Bonitet Sınıfı için} \quad V = 0.1655x d^{2.3999} \quad (132)$$

$$\text{II. Bonitet Sınıfı için} \quad V = 0.1569x d^{2.3965} \quad (133)$$

$$\text{III. Bonitet Sınıfı için} \quad V = 0.1855x d^{2.3216} \quad (134)$$

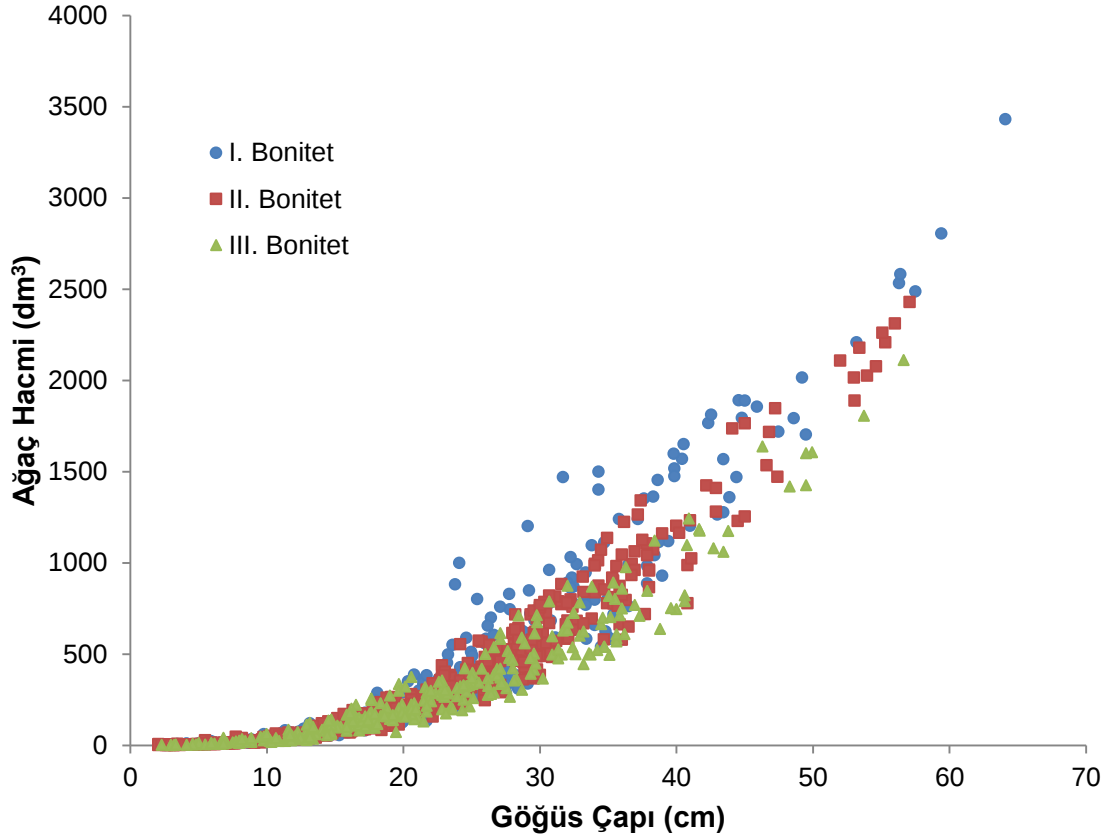
Antalya ve Mersin Orman Bölge Müdürlüğündeki Kızılçam meşcereleri için elde edilen bonitete dayalı tek girişli ağaç hacim denklemlerinin belirtme katsayıları ve standart hataları sırasıyla: I. Bonitet Sınıfı için $R^2= 0.978$, $Sy.x= 44.841 \text{ dm}^3$, II. Bonitet Sınıfı için $R^2= 0.976$, $Sy.x= 54.447 \text{ dm}^3$ ve III. Bonitet Sınıfı için ise $R^2= 0.969$, $Sy.x= 52.962 \text{ dm}^3$, olarak hesaplanmıştır. I. Bonitet Sınıfındaki ağaçların gövde hacmindeki değişkenliğin % 97.8'ini, II. Bonitet Sınıfındaki ağaçların gövde hacmindeki değişkenliğin % 96.9'unu ve III. Bonitet Sınıfındaki ağaçların gövde hacmindeki değişkenliğin % 96.9'unu yalnız göğüs çapının açıkladığını söyleyebiliriz. Bonitete dayalı tek girişli ağaç hacim denklemlerinin Toplam Hata Yüzdeleri (%TH) ve Ortalama Mutlak Hata Yüzdeleri (%OMH) sırasıyla; I. Bonitet Sınıfı için 9.849 ve -0.438, II. Bonitet Sınıfı için 9.501 ve -0.464 ve III. Bonitet Sınıfı için ise 9.256 ve -0.452 olarak elde edilmiştir. Seçilen bonitete dayalı tek girişli ağaç hacim modellerinin grafiği Şekil 14'de gösterilmiştir.



Şekil 14. Kızılçam tek girişli ve bonitete dayalı tek girişli ağaç hacim grafiği

Bonitete dayalı tek girişli hacim denklemlerinin meşcereye uygun olup olmadıklarını belirlemek için öncelikle “F” testi ile grup varyansları karşılaştırılmıştır. Her bir bonitet sınıfı için ayrı olacak şekilde örnek ağaç sayısının %20’sini oluşturan örnek ağaç verileri (I. Bonitet Sınıfı için 335, II. Bonitet Sınıfı için 560 ve I. Bonitet Sınıfı için ise 312 örnek ağaç) bu amaçla seçilmiştir. Denklemlere ilişkin F istatistikleri sırasıyla, I. Bonitet Sınıfı için $F=0.010$ ve $P>0.05$ ($p=0.992$), II. Bonitet Sınıfı için $F=0.026$ ve $P>0.05$ ($p=0.872$) ve III. Bonitet Sınıfı için $F=0.024$ ve $p>0.05$ ($p=0.878$) olduklarından grup varyanslarının homojen olduğu sonucuna varılmıştır. Varyanslar homojen olduğundan, iki bağımlı grup için Eşlendirilmiş Örnekler İçin t Testi (Paired t Test) ile karşılaştırılmış ve t istatistik değerleri sırasıyla, I. Bonitet Sınıfı için $t=-1.585$ ve önem düzeyi $p=0.114$, II. Bonitet Sınıfı için $t=0.781$ ve önem düzeyi $p=0.435$ ve III. Bonitet Sınıfı için $t=-0.893$ ve önem düzeyi $p=0.373$ olarak bulunmuştur. Böylece düzenlenen bonitete dayalı tek girişli Kızılçam hacim denklemlerinin örnek ağaçların alındığı Kızılçam meşcereleri için uygun olduğunu söyleyebiliriz. Modellerin denetiminde kullanılan verilerin dağılımı Şekil 15’de verilmiştir. Seçilen modeller vasıtasıyla üretilen bonitete dayalı tek girişli ağaç hacim

modellerinin kontrolü yapıldıktan sonra Kızılçam için düzenlenen “Bonitete Dayalı Tek Girişli Ağaç Hacim Tablosu” Ek Tablo 1’de verilmiştir.



Şekil 15. Tek girişli ağaç hacim modellerinde kullanılan verilerin dağılımı

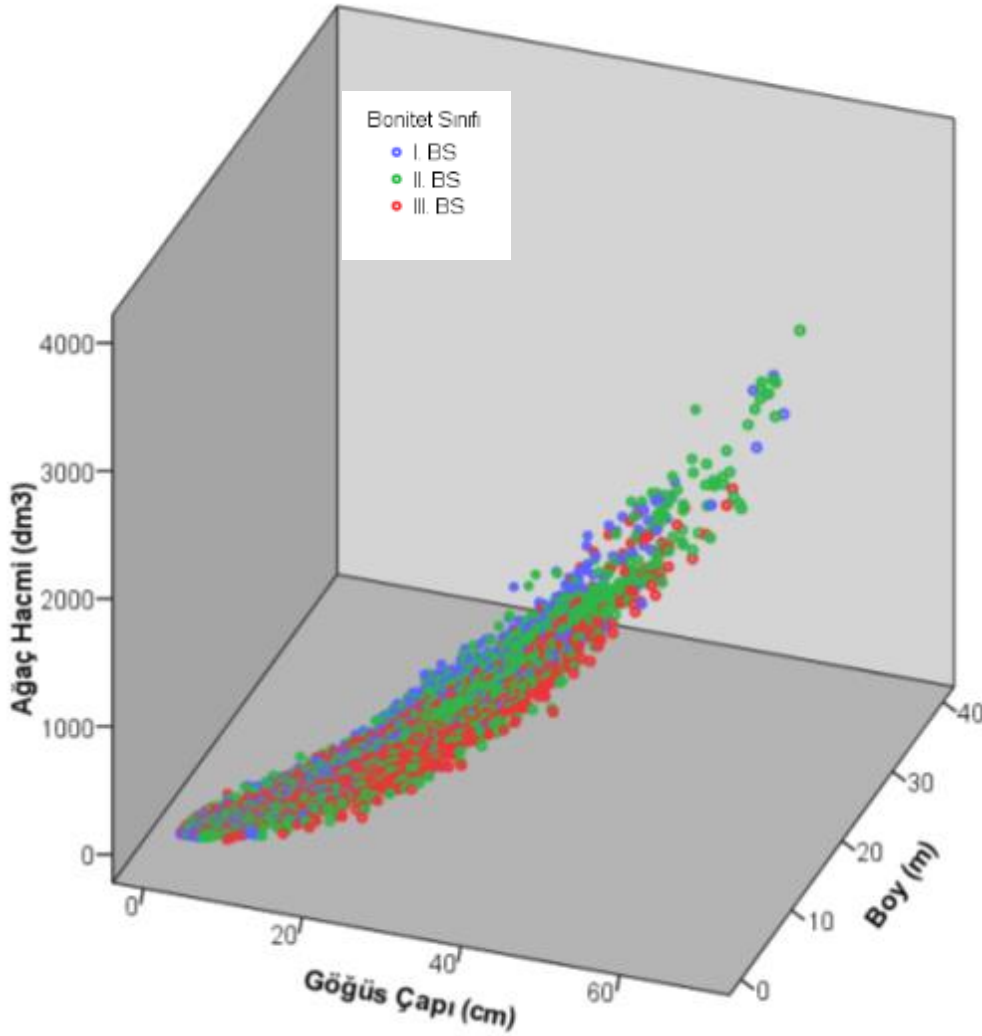
3.5.3 Çift Girişli Ağaç Hacim Tablolarına İlişkin Bulgular

Antalya ve Mersin Orman Bölge Müdürlüğündeki Kızılçam meşcereleri için çift girişli ağaç hacim denkleminin düzenlenmesinde, göğüs çapı (d) ile ağaç boyu (h) ve bu iki değişkenden türetilen yeni değişkenler arasından “İleri Doğru Seçim (Forward Selection)”, “Geriye Doğru Seçim (Bacward Selection)” ve “Aşamalı Regresyon (Stepwise Selection)” Tekniği kullanılarak, ağaç hacmi ile en anlamlı ilişki gösteren değişkenler belirlenmiştir. En iyi çift girişli ağaç hacim denklemini belirlemek için 6033 ölçüm verisinden %80’i (4826) regresyon analizine tabi tutulmuştur. Buna göre Kızılçam çift girişli hacim denklemi aşağıda verilmiştir.

$$\ln V = -3.292 + \frac{2.834}{d} + \frac{1.024}{h} + 0.978 \ln d^2 h \quad (135)$$

Kızılçam çift girişli ağaç hacim denklemine ilişkin belirtme katsayısı (R^2) 0.992, standart hatası (Sy.x) 41.258 dm³ ve düzeltme faktörü (df) 1.009 olarak hesaplanmıştır. Çift girişli ağaç hacim denkleminin Toplam Hata Yüzdesi (%TH) 0.210 ve Ortalama Mutlak Hata Yüzdesi ise (%OMH)

5.038'dir. Görüleceği üzere, beklenildiği gibi, tek girişli ağaç hacim denklemine göre gerek toplam hata ve gerekse ortalama mutlak hata miktarında önemli derecede bir azalma görülmektedir.



Şekil 16. Ağaçların hacimlerinin göğüs çapı ve ağaç boyuna göre değişimi

Çift girişli ağaç hacim modelinin örneklenen topluma (popülasyona) istatistiksel olarak uygun olup olmadığı bağımsız bir veri grubu ile test edilmiştir. Toplam örnek ağaç sayısının %20'sini oluşturan örnek ağaç verileri (1207 örnek ağaç) bu amaçla seçilmiştir. Modelde yapılan karşılaştırmada varyansların homojen olduğu (Kızılçam çift girişli ağaç hacim modeli için; $F=0.00488$, $p>0.05$ ($p=0.944$)) belirlenmiştir. Modellerin grup varyansları homojen olduğundan parametrik testlerden Eşlendirilmiş Örnekler için t Testi (Paired Samples t Test) "İşaret Testi" kullanılarak tahmini ve aktüel hacim değerleri karşılaştırılmıştır. Eşlendirilmiş Örnekler için t Testi sonuçlarına göre çift girişli ağaç hacim modeli ($t=0.650$, $p>0.83$ ($p=0.526$)) ile tahmin edilen hacim değerleri ve arazide ölçülen hacim değerleri arasında $\alpha=0.05$ önem düzeyi ile

istatistiksel olarak bir fark olmadığı sonucuna varılmıştır. Kızılçam için geliştirilen çift girişli ağaç hacim modelinin, bu modellerin geliştirilmesinde kullanılan verilerin alındığı meşcerelere uygun olduğu söylenebilir. Aşağıda çift girişli ağaç hacim modelinin belirlenmesinde kullanılan ağaçların hacimlerinin göğüs çapı ve ağaç boyuna göre değişimi üç boyutlu olarak verilmiştir (Şekil 16). Üretilen çift girişli ağaç hacim modellerinin kontrolü yapıldıktan sonra Kızılçam için düzenlenen “Çift Girişli Ağaç Hacim Tablosu” Ek Tablo 2’de (Göğüs çapları 5-60 cm arasında ve boylar 5-35 m arasında olacak şekilde) verilmiştir. Göğüs çapı 60 cm’den daha kalın çaplı ağaçlar için hacim değerleri tabloda verilmediğinden, bu ağaçlar için hacim değerleri denklem kullanılarak hacim elde edilebilir.

3.6 Biyokütle Denklemlerine İlişkin Bulgular

Kızılçam toprak üstü biyokütle tablolarının düzenlenmesi için yöntem bölümünde anlatıldığı üzere 323 ağacın öncelikle gövde, dal, kabuk, ibre ve toprak üstü kuru ağırlıkları belirlenmiştir. Daha sonra bu biyokütle bileşenleri, göğüs çapı, ağaç boyu ve bu iki değişkenden türetilen yeni değişkenler arasında istatistiksel olarak anlamlı olacak şekilde modellenmiştir. Bu aşama için kesilmiş bulunan 323 ağaç verisinden, %80’i (259 adedi) model oluşturmada, %20’si de (64 adedi) bulunan modellerin uygunluklarını denetlemede kullanılmıştır. Test edilen modellerin en uygun olanına karar verebilmek için belirtme katsayıları (R^2), tahminin standart hataları (S_{yx}) ve F_h hesaplanmış ve model seçiminde kullanılmıştır. Belirlenen modeller tek ve çift girişlidir. Ancak bu denklemlerin katsayıları, logaritmik değerler üzerinden hesaplandıkları için sistematik bir hata söz konusudur (Akalp, 1978a). Bu sistematik hatanın giderilmesi için, regresyon denklemleri ile elde edilen değerler bir düzeltme faktörü ile çarpılmalıdır. Bu çalışmada, doğal logaritma ($\ln$) düzeltme faktörü (Baskerville, 1972);

$$df = e^{\frac{S_{y,x}^2}{2}} \quad (136)$$

eşitliği ile hesaplanmıştır. Bu eşitlikte, e , doğal logaritmayı (2.718281828) ve $S_{y,x}$, denklemin standart hatasını ifade etmektedir.

323 örnek ağaca ilişkin gövde, dal, kabuk, ibre ve toprak üstü kuru ağırlıklarının minimum, maksimum, ortalama ve standart sapma gibi çeşitli istatistiksel bilgileri Tablo 19’da verilmiştir.

Tablo 19. Toprak üstü biyokütle, karbon depolama kapasitesinin belirlenmesinde kullanılan örnek ağaçların biyokütle bileşenlerine ilişkin çeşitli istatistiksel bilgiler

Değişken	Ortalama	Minimum	Maksimum	Standart Sapma
Gövde	174,09	0,01	923,81	179,20
Dal	35,94	0,01	327,45	46,31
Kabuk	30,82	0,01	245,01	34,01

İbre	8,84	0,03	82,30	11,03
Toprak Üstü	249,69	0,38	1395,27	247,99

3.6.1 Tek Girişli Biyokütle Denklemlerine İlişkin Bulgular

Biyokütle denklemlerinin geliştirilmesi için yöntem bölümünde de değinildiği gibi Aşamalı Regresyon Analizi yöntemi kullanılmıştır. Her bir biyokütle bileşeni için farklı değişkenlerin anlamlı olduğu görülmüştür. Biyokütleye ilişkin elde edilen modeller aşağıda ve modellere ilişkin istatistiksel bilgilerde Tablo 20’de verilmiştir. Elde edilen modeller fırın kurusu ağırlıkları ifade etmektedir.

$$\text{Gövde} \quad Y = 6.1701 - 1.9781 d + 0.2859 d^2 \quad (137)$$

$$\text{Dal} \quad \ln Y = -2.2248 + 0.0372 d + 1.3516 \ln d \quad (138)$$

$$\text{Kabuk} \quad \ln Y = -3.0252 + 1.9135 \ln d \quad (139)$$

$$\text{İbre} \quad \ln Y = -2.1128 + 0.0518 d + 0.7819 \ln d \quad (140)$$

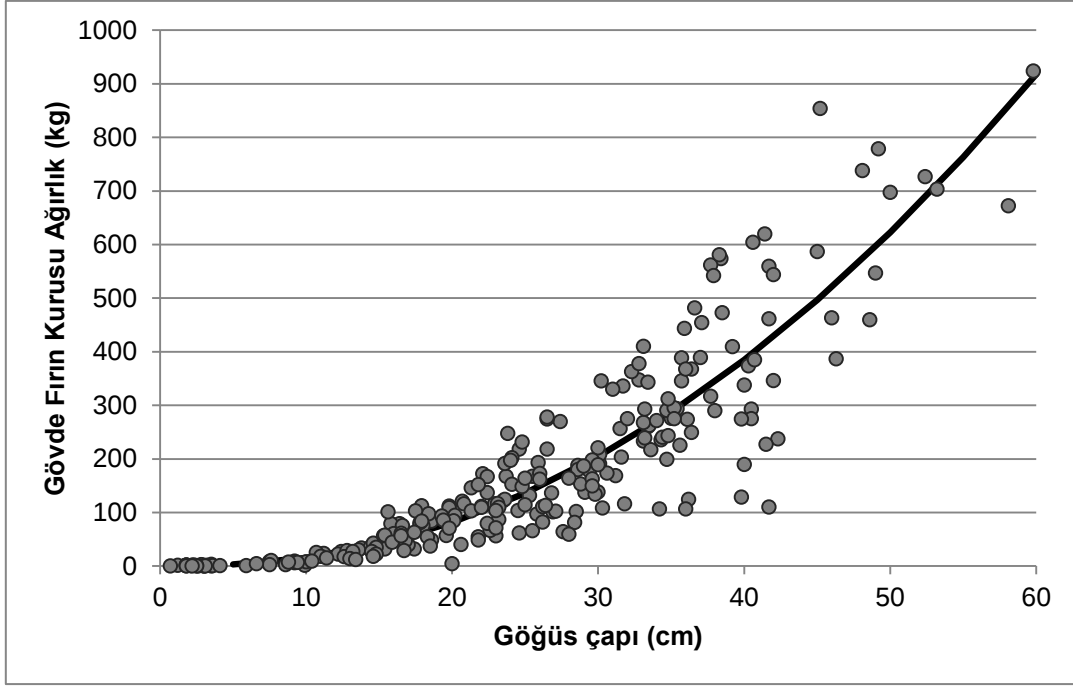
$$\text{Toprak Üstü} \quad \ln Y = -2.5300 + \frac{2.4441}{d} + 2.3769 \ln d \quad (141)$$

Tablo 20. Tek ağaç bileşenlerine ait tek girişli biyokütle denklemlerine ilişkin parametrelerin tahmin değerleri ile önemlilik düzeyleri

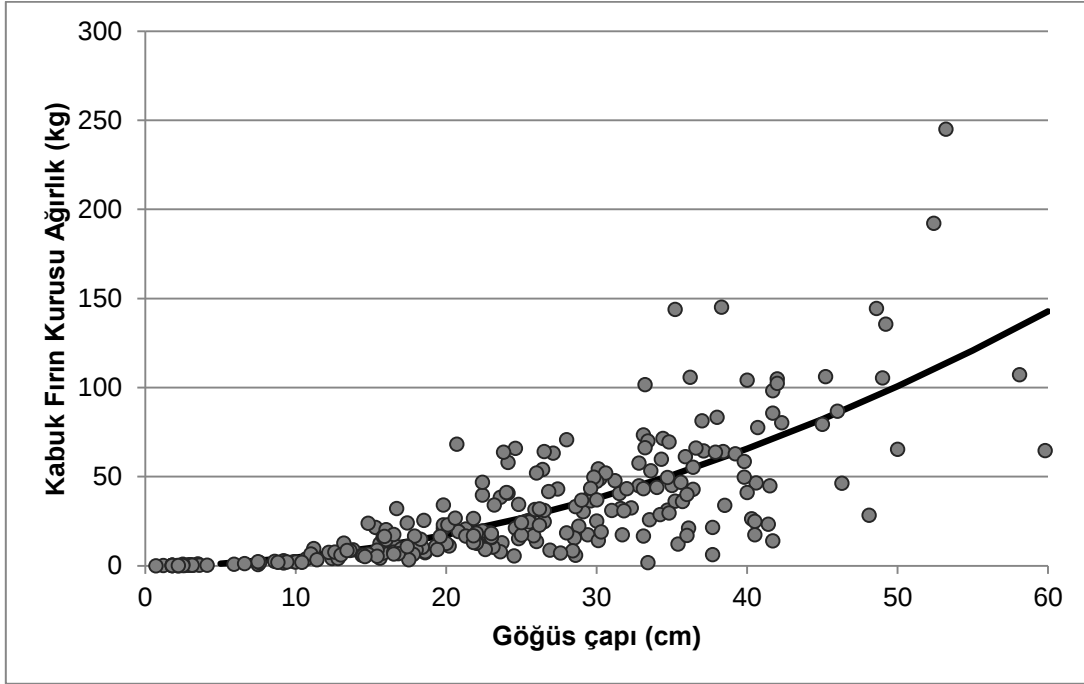
Biyokütle Bileşeni	R ²	S _{yx}	F _h	Önem Düzeyi	df
Gövde	0.937	36.82	1605.28	<0.001	-
Dal	0.836	29.54	657.17	<0.001	1.2688
Kabuk	0.893	23.68	2105.31	<0.001	1.1633
İbre	0.802	6.53	522.36	<0.001	1.2211
Toprak Üstü	0.948	94.54	2343.74	<0.001	1.0812

Burada Y, ağacın gövdesinin, dalının, ibresinin, kabuğunun ve toplam toprak üstü kuru ağırlığını, d göğüs çapını ve df ise düzeltme faktörünü göstermektedir.

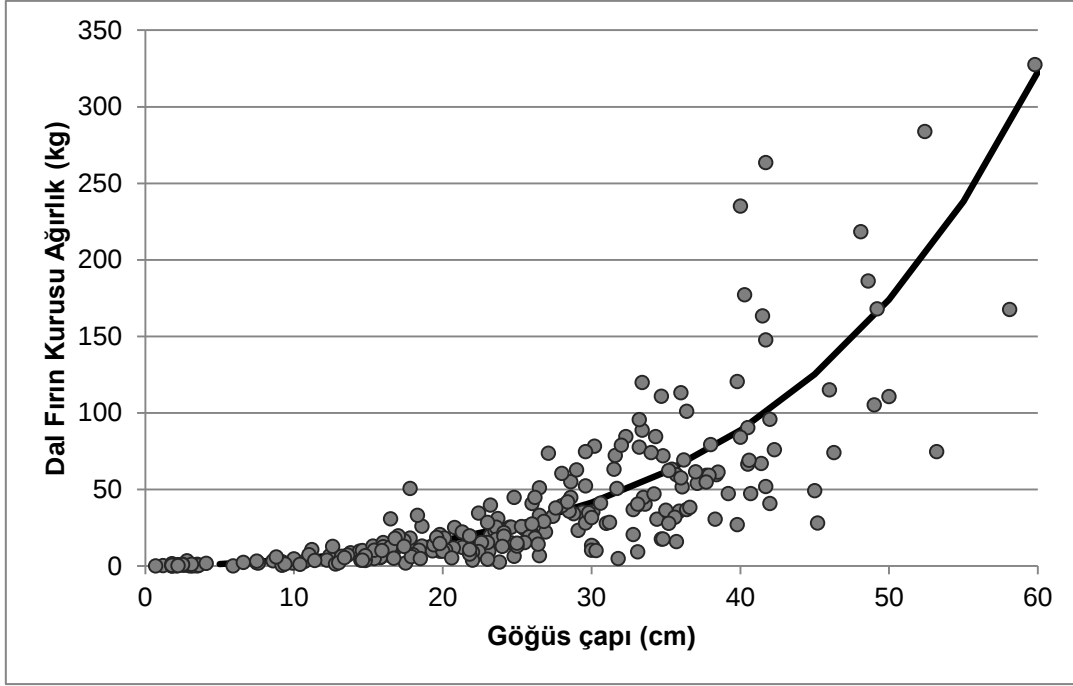
Seçilen tek girişli biyokütle modellerinin göğüs çapıyla ilişkileri; Şekil 17-21’deki grafiklerde verilmiştir. Ayrıca, seçilen tek girişli toprak üstü biyokütle modelleri vasıtasıyla Antalya ve Mersin Yöresi Kızılçam meşcerelerindeki tek ağaçlar için geçerli olan, “Kızılçam Tek Girişli Biyokütle Tablosu” oluşturulmuştur (Ek Tablo 3).



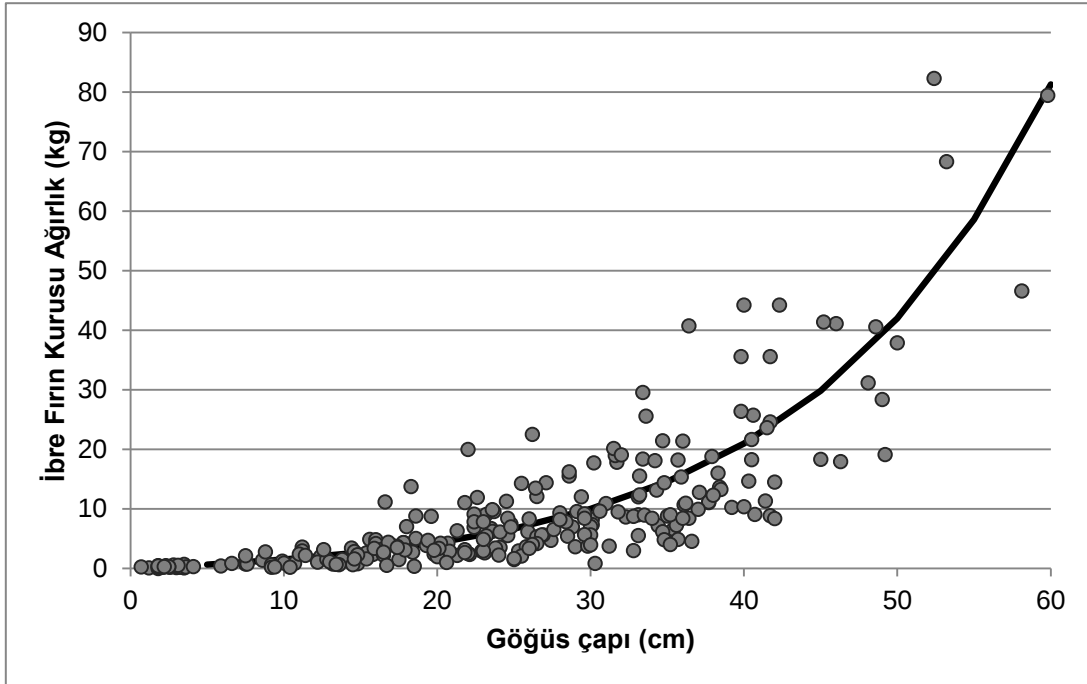
Şekil 17. Tek ağaç gövde fırın kuru ağırlıkları ile göğüs çapı arasındaki ilişki



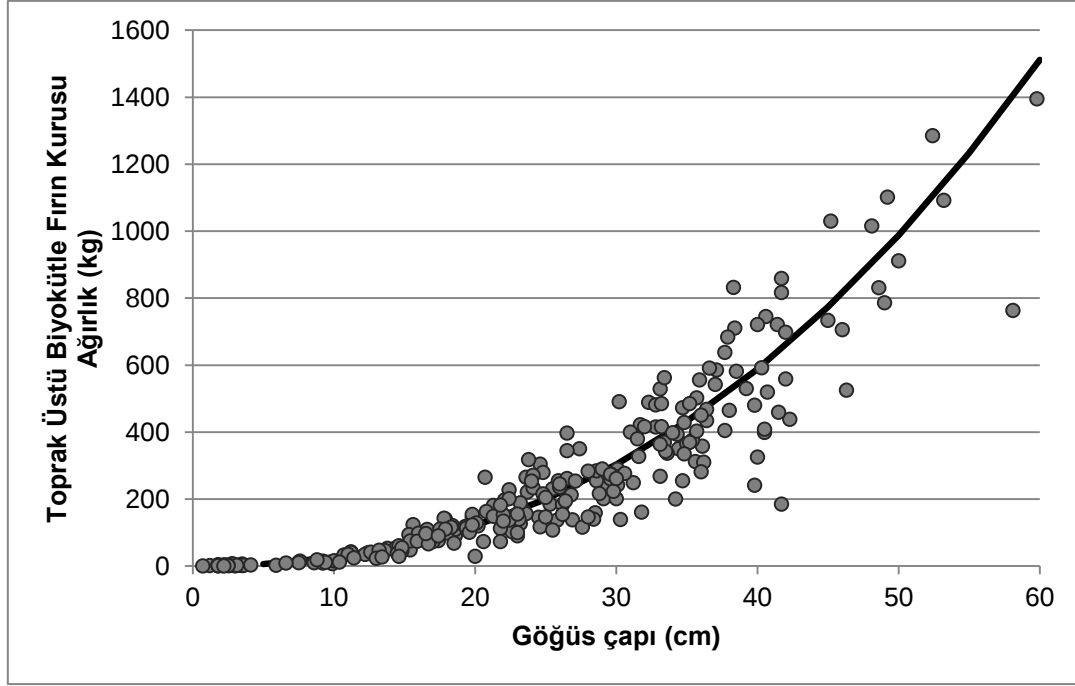
Şekil 18. Tek ağaç kabuk fırın kuru ağırlıkları ile göğüs çapı arasındaki ilişki



Şekil 19. Tek ağaç dal fırın kuru ağırlıkları ile göğüs çapı arasındaki ilişki



Şekil 20. Tek ağaç ibre fırın kuru ağırlıkları ile göğüs çapı arasındaki ilişki



Şekil 21. Tek ağaç toprak üstü biyokütle fırın kurusu ağırlıkları ile göğüs çapı arasındaki ilişki

Bu çalışma ile elde edilen Kızılcım türünün her bir biyokütle bileşeni ve bu bileşenlerden oluşan toprak üstü biyokütle ile göğüs çapı arasındaki ilişkileri incelenmiştir. Tüm biyokütle miktarları göğüs çapı ile doğru orantılı olarak değişmekte, diğer bir ifade ile göğüs çapı arttıkça tek ağacın tüm biyokütle miktarları artmaktadır.

3.6.2 Çift Girişli Biyokütle Denklemlerine İlişkin Bulgular

Kızılcım çift girişli toprak üstü biyokütle tablolarının düzenlenmesi için ağaçların göğüs çapı, ağaç boyu ve bu iki değişkenden türetilen yeni değişkenler yardımıyla ağaçların gövde, kabuk, dal, ibre ve toprak üstü biyokütle modelleri geliştirilmiştir. Gövde, kabuk, dal, ibre ve TÜBK (toprak üstü biyokütle) için test edilen modellerden en uygun olanına karar verebilmek amacıyla belirtme katsayıları (R^2), tahminin standart hataları (S_{yx}) ve F_h değerleri hesaplanmıştır. Biyokütleyle ilişkin elde edilen modeller ve modellere ilişkin istatistiksel bilgilerde Tablo 21’de verilmiştir. Model içerisindeki bağımsız değişken sayısı arttıkça modelin açıklayıcı gücü arttığı için çift girişli modeller, tek girişli modellere göre daha üstün bulunmuştur. Seçilen bu çift girişli modeller; Kızılcım Çift Girişli Toprak Üstü Biyokütle Tablosunun oluşturulmasında kullanılmıştır. Ayrıca, seçilen çift girişli (göğüs çapı ve ağaç boyuna bağlı) toprak üstü biyokütle modeli vasıtasıyla da Kızılcım meşcerelerindeki tek ağaçlar için geçerli olan, “Kızılcım Çift Girişli Biyokütle Tablosu” oluşturulmuştur (Ek Tablo 4).

$$\text{Gövde} \quad Y = -0.3086 + 0.2235 dh + 0.005879 d^2h \quad (142)$$

$$\text{Dal} \quad \ln Y = 1.2016 + 0.0769 d - \frac{2.0911}{d} - \frac{3.3840}{h} \quad (143)$$

$$\text{Kabuk} \quad \ln Y = -4.2695 + \frac{2.1334}{h} + 0.7954 \ln d^2h \quad (144)$$

$$\text{İbre} \quad \ln Y = -2.2548 + 0.05419 d + 0.2873 \ln d^2h \quad (145)$$

$$\text{Toprak Üstü} \quad \ln Y = -2.8385 + \frac{21.5059}{d} + \frac{1.3302}{h} + 0.8688 \ln d^2h \quad (146)$$

Tablo 21. Tek ağaç bileşenlerine ait çift girişli biyokütle denklemlerine ilişkin parametrelerin tahmin değerleri ile önemlilik düzeyleri

Biyokütle Bileşeni	R ²	S _{yx}	F _h	Önem Düzeyi	df
Gövde	0.949	32.27	1987.05	<0.001	-
Dal	0.847	28.89	477.68	<0.001	1.2516
Kabuk	0.897	23.18	1098.71	<0.001	1.1570
İbre	0.830	6.18	631.45	<0.001	1.1944
Toprak Üstü	0.956	88.05	1890.74	<0.001	1.0673

Burada Y, ağacın gövdesinin, dalının, ibresinin, kabuğunun ve toplam toprak üstü kuru ağırlığını, d göğüs çapını ve df ise düzeltme faktörünü göstermektedir.

Tablo 20 ve Tablo 21’de görüleceği üzere biyokütle değişkenlerindeki değişkenliği belirlemede çift girişli modeller daha başarılıdır. Şöyle ki: çift girişli biyokütle modelleri gövde, dal, kabuk, ibre ve toprak üstü biyokütleyi modellemede tek girişli modellere göre sırasıyla %0.012, %0.011, %0.004, %0.028 ve %0.008 oranında daha başarılıdır.

3.6.3 Tek ve Çift Girişli Biyokütle Denklemlerinin Kontrolüne İlişkin Bulgular

Üretilen tek ve çift girişli toprak üstü biyokütle modelleri kullanılmadan önce; seçilen modellerin uygunluğu, model üretimine dâhil edilmemiş olan 64 kontrol verisi kullanılarak, her bir ağaç bileşenine ait model (gövde, kabuk, dal, ibre ve toplam toprak üstü biyokütle) için ayrı ayrı yapılmıştır. Bunun için öncelikle "Eşleştirilmiş Örneklem T-Testinin" uygulanabilme koşulu olan varyansların eşitliği denetlenmiş ve ardından kontrol verileri ile model verileri t-testine tabi tutulmuşlardır. Yapılan analizlere ilişkin sonuçlar Tablo 22’de verilmiştir.

Tablo 22. Tek girişli toprak üstü biyokütle modelleri için yapılan varyansların eşitliği ve t-testi sonuçları

Biyokütle Bileşeni	Tek Girişli Biyokütle Modelleri				Çift Girişli Biyokütle Modelleri			
	Varyansların Eşitliği		t-testi sonuçları		Varyansların Eşitliği (Levene istatistiği)		t-testi sonuçları	
	F	p	t	p	F	p	t	p
Gövde	0,88 ₇	0,348	-0,073	0,942	0,947	0,332	0,056	0,95 ₇
Dal	0,10 ₇	0,744	-1,060	0,293	0,441	0,508	1,153	0,25 ₂
Kabuk	0,01 ₇	0,919	-1,410	0,163	0,190	0,663	-1,920	0,05 ₇
İbre	0,22 ₆	0,635	-1,449	0,152	0,479	0,490	-1,577	0,12 ₇
Toprak Üstü	0,04 ₁	0,841	-1,507	0,137	0,017	0,897	-1,783	0,07 ₉

Varyansların eşitliğinin denetlenmesi sonucu elde edilen anlamlılık düzeyleri %5'ten büyük olduğundan her bir ağaç bileşeni için de varyansların eşit olduğu kanaatine varılmıştır ($p>0,05$). Modellerin uygunluğunun denetlenmesi için yapılan "Eşleştirilmiş Örneklem T-Testi" sonuçlarına göre de anlamlılık düzeyleri %5'ten büyük çıkmıştır. Bu durum, $p>0,05$ olduğu için, elde edilen tek ve çift girişli toprak üstü biyokütle modellerinin %95 güvenle kullanılabilir olduğunu göstermektedir. Diğer bir ifadeyle, geliştirilen biyokütle denklemlerinin 0.05 önem düzeyinde genel bazda kullanılabileceği sonucuna varılmıştır.

3.7 Karbon Depolama Denklemlerine İlişkin Bulgular

Karbon depolama denklemlerinin geliştirilmesi için yöntem bölümünde de değinildiği gibi Aşamalı Regresyon Analizi yöntemi kullanılmıştır. Her bir karbon depolama bileşeni için farklı değişkenlerin anlamlı olduğu görülmüştür. Karbon depolama kapasitesine ilişkin elde edilen modeller aşağıda ve modellere ilişkin istatistiksel bilgilerde Tablo 23'de verilmiştir.

$$\text{Gövde} \quad \ln Y = -4.0943 + 2.5259 \ln d + \frac{2.2257}{d} \quad (147)$$

$$\text{Dal} \quad \ln Y = -2.8955 + 1.3523 \ln d + 0.03681 d \quad (148)$$

$$\text{Kabuk} \quad \ln Y = -2.3056 + 2.1261 \ln d + \frac{0.8649}{d^2} \quad (149)$$

$$\text{İbre} \quad \ln Y = -2.8710 + 0.0485 d - 0.8392 \ln \left(\frac{1}{d} \right) \quad (150)$$

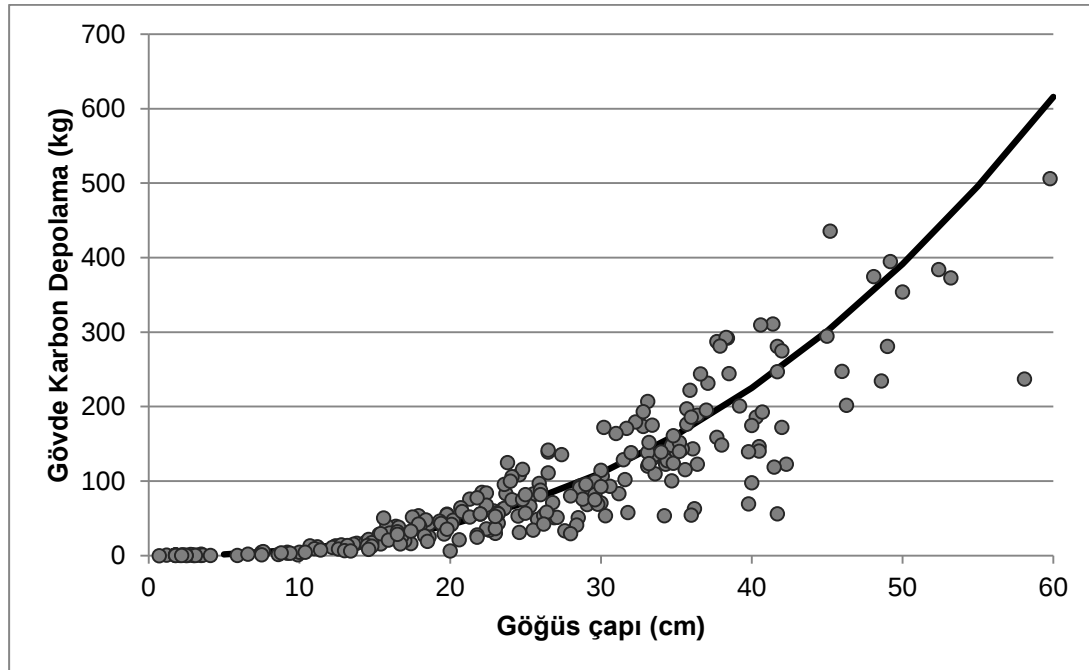
$$\text{Toprak Üstü} \quad \ln Y = -3.1961 + \frac{2.4596}{d} - 2.3796 \ln\left(\frac{1}{d}\right) \quad (151)$$

Tablo 23. Tek ağaç bileşenlerine ait tek girişli karbon depolama denklemlerine ilişkin parametrelerin tahmin değerleri ile önemlilik düzeyleri

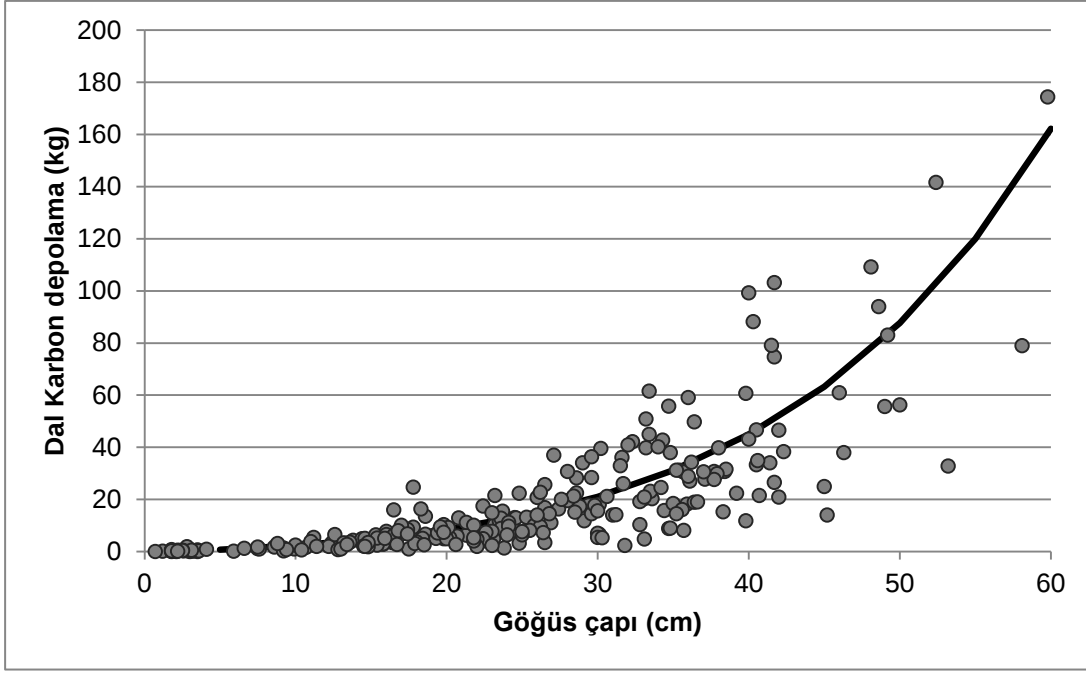
Biyokütle Bileşeni	R ²	S _{yx}	F _h	Önem Düzeyi	df
Gövde	0.924	0.525	1574.8	<0.001	1.1479
Dal	0.834	0.697	648.1	<0.001	1.2746
Kabuk	0.870	0.662	861.0	<0.001	1.2453
İbre	0.800	0.638	518.5	<0.001	1.2255
Toprak Üstü	0.948	0.394	2359.8	<0.001	1.0807

Burada Y, ağacın gövdesinin, dalının, ibresinin, kabuğunun ve toplam toprak üstü karbon depolama miktarını, d göğüs çapını ve df ise düzeltme faktörünü göstermektedir.

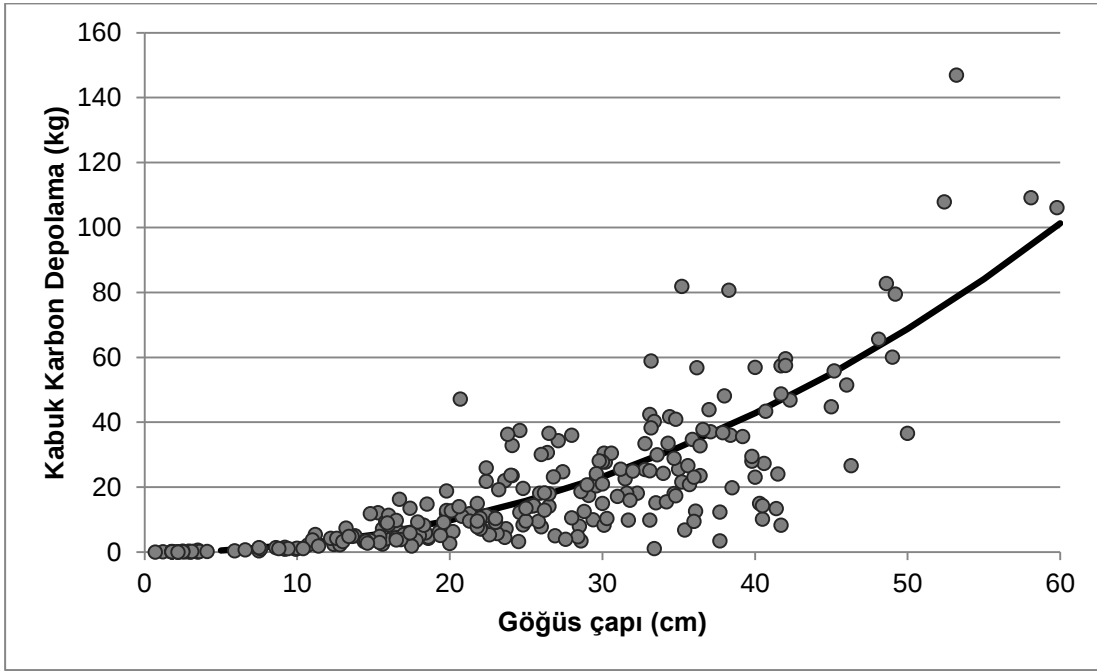
Seçilen tek girişli karbon depolama modellerinin göğüs çapıyla ilişkileri; Şekil 22-26'daki grafiklerde verilmiştir.



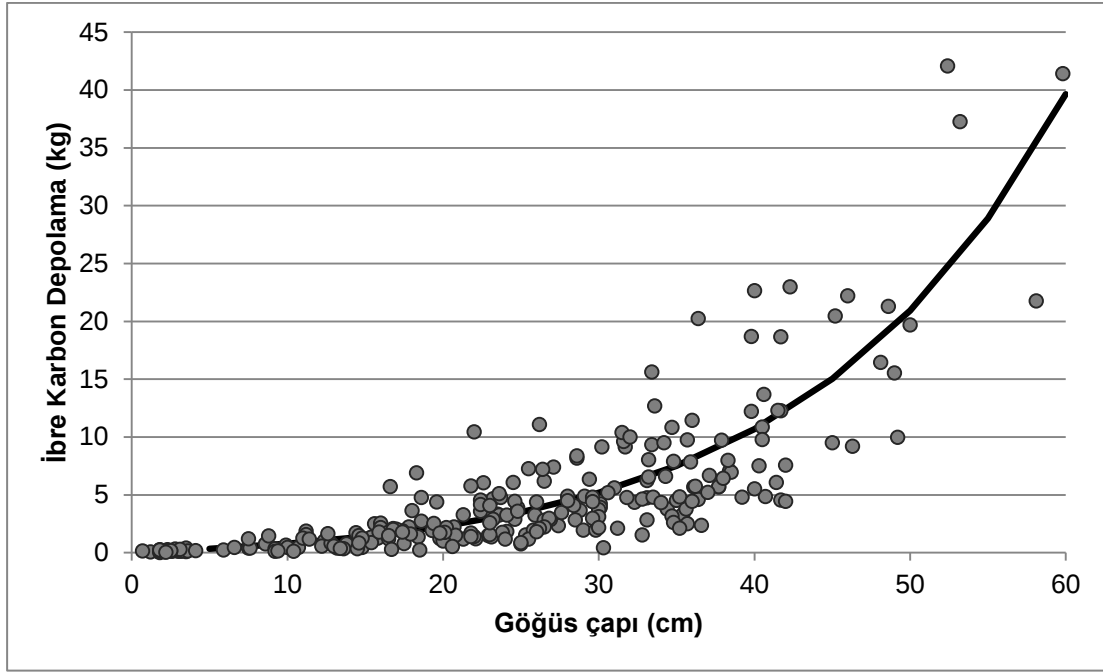
Şekil 22. Tek ağacın gövdesinde depolanan karbon miktarı ile göğüs çapı arasındaki ilişki



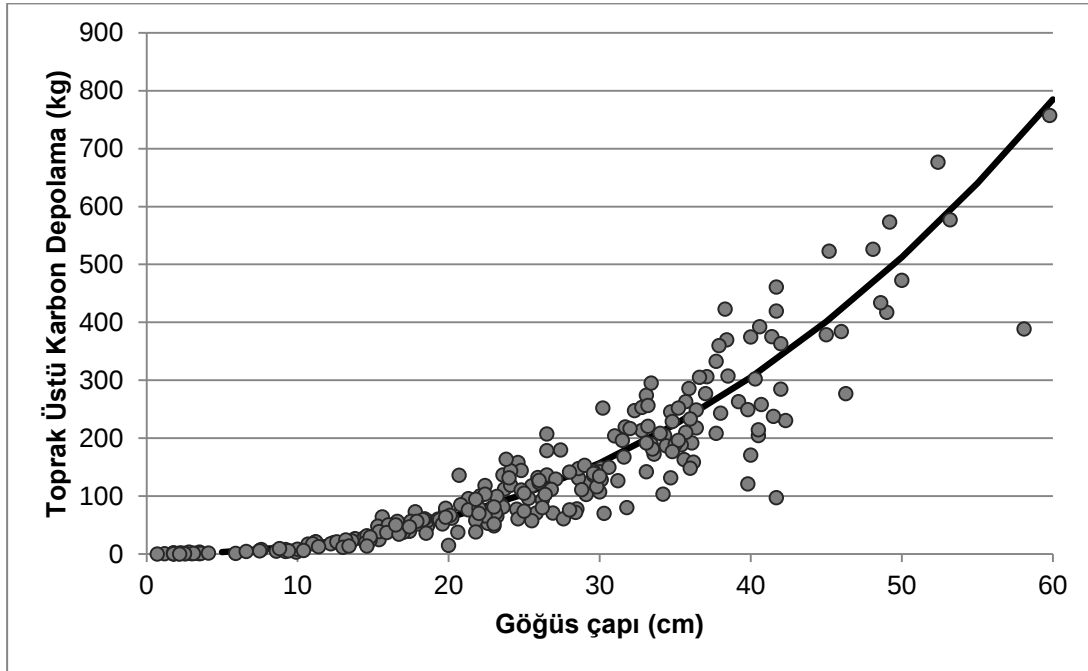
Şekil 23. Tek ağacın dalında depolanan karbon miktarı ile göğüs çapı arasındaki ilişki



Şekil 24. Tek ağacın kabuğunda depolanan karbon miktarı ile göğüs çapı arasındaki ilişki



Şekil 25. Tek ağacın ibresinde depolanan karbon miktarı ile göğüs çapı arasındaki ilişki



Şekil 26. Tek ağacın toprak üstü kısımlarında depolanan karbon miktarı ile göğüs çapı arasındaki ilişki

3.7.1 Karbon Depolama Denklemlerinin Kontrolüne İlişkin Bulgular

Üretilen karbon depolama modelleri kullanılmadan önce, seçilen modellerin uygunluğu, model üretimine dâhil edilmemiş olan 64 kontrol verisi kullanılarak, her bir ağaç bileşenine ait model (gövde, kabuk, dal, ibre ve toplam toprak üstü biyokütle) için ayrı ayrı yapılmıştır. Bunun için

öncelikle "Eşleştirilmiş Örneklem T-Testinin" uygulanabilme koşulu olan varyansların eşitliği denetlenmiş ve ardından kontrol verileri ile model verileri t-testine tabi tutulmuşlardır. Yapılan analizlere ilişkin sonuçlar Tablo 24'de verilmiştir.

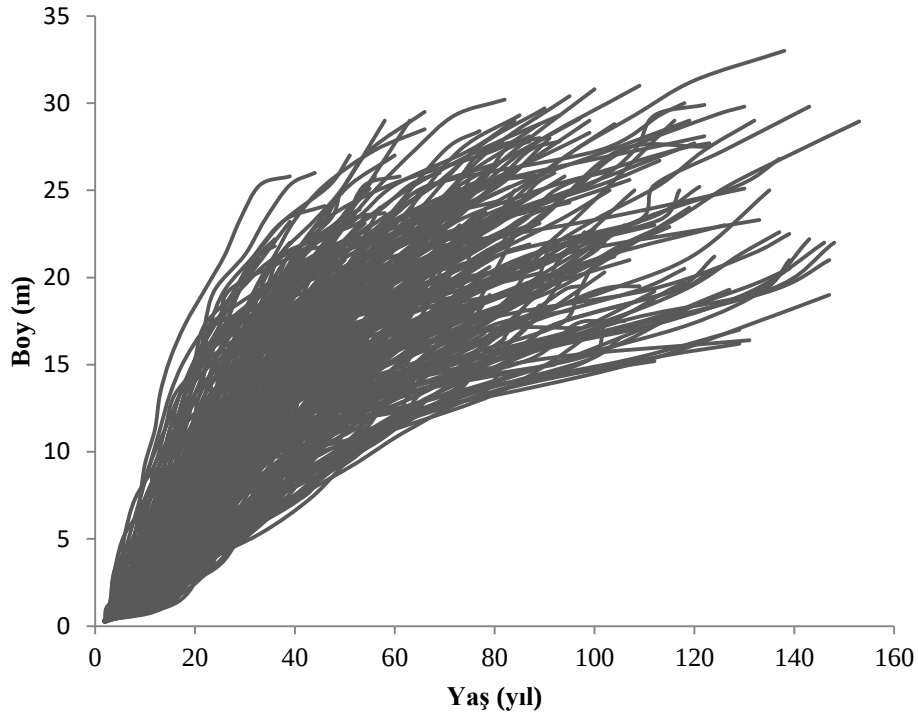
Tablo 24. Tek ağaç bileşenlerine ait karbon depolama modelleri için yapılan varyansların eşitliği ve t-testi sonuçları

Biyokütle Bileşeni	Tek Girişli Biyokütle Modelleri			
	Varyansların Eşitliği (Levene istatistiği)		t-testi sonuçları	
	F	p	t	p
Gövde	0,001	0,974	-1,645	0,105
Dal	0,073	0,788	-0,998	0,322
Kabuk	0,815	0,368	-0,123	0,090
İbre	0,100	0,752	-1,329	0,189
Toprak Üstü	0,026	0,871	-1,481	0,144

Varyansların eşitliğinin denetlenmesi sonucu elde edilen anlamlılık düzeyleri %5'ten büyük olduğundan her bir ağaç bileşeni için de varyansların eşit olduğu kanaatine varılmıştır ($p>0,05$). Modellerin uygunluğunun denetlenmesi için yapılan "Eşleştirilmiş Örneklem T-Testi" sonuçlarına göre de anlamlılık düzeyleri %5'ten büyük çıkmıştır. Bu durum $p>0,05$ olduğu için, elde edilen karbon depolama modellerinin %95 güvenle kullanılabilir olduğunu göstermektedir. Diğer bir ifadeyle, geliştirilen karbon depolama denklemlerinin 0.05 önem düzeyinde genel bazda kullanılabileceği sonucuna varılmıştır.

3.8 Yetiştirme Ortamı Verim Gücünün Belirlenmesine İlişkin Bulgular

Bonitet endeksi modellerinin parametreleri, gövde analizi yapılan tek ağaçların her bir kesit yüksekliğini aldığı yıl sayısı ile kesit yüksekliği (boy değeri) değerleri kullanılarak tahmin edilmektedir. Bunun için öncelikle ağaçların farklı gövde yüksekliklerinden kesitler alınarak, her bir kesitteki halka sayıları belirlenmiş ve daha sonra her bir kesitteki halka sayıları da, ağacın son kesildiği andaki yaşından çıkarılarak kesitlere ulaşma süreleri hesaplanmıştır. Şekil 27'de, örnek ağaçlara ilişkin farklı yaşlardaki boy değerlerini gösterir yaş-boy grafikleri verilmiştir.



Şekil 27. Örnek ağaçlara ilişkin farklı yaşlardaki boy değerlerini gösterir yaş-boy grafikleri

Bu çalışmada, yetiştirme ortamı verim gücünün belirlenmesinde Genelleştirilmiş Cebirsel Fark Yaklaşımları (GADA) ile elde edilmiş bonitet endeks modellerine dayanan polimorfik yöntem kullanılmıştır. Yöntem Bölümünde, Tablo 14’de model yapıları verilmiş olan 10 GADA modeli (Chapman-Richards (M1:68), Hossfeld (M2:69), Log-logistic (M3:70), Hossfeld IV (M4:71), Lundqvist (M5:72), Weibull (M6:73), King-Pardon (M7:74), Bertalanffy-Richards (M8:75 ve M9:76) ve Hossfeld (M10:77)) ile elde edilmiş bonitet endeks modelleri denenmiştir. Bonitet endeks modellerinin geliştirilmesi için kullanılan 10 farklı dinamik bonitet endeks modellerine ilişkin parametre tahminleri ile bu modellere ilişkin çeşitli istatistiki başarı ölçüt değerleri otoregresif modelleme yaklaşımı için Tablo 25’de verilmiştir.

Test edilen tüm bu bonitet endeks modelleri $p < 0.05$ önem düzeyi ile anlamlı bulunmuştur. 73 (Model 6) nolu modeldeki b_3 ve 77 (Model 10) nolu modeldeki b_2 parametresi hariç bonitet endeksi modellerindeki tüm parametreler % 1 önem düzeyinde istatistiksel olarak anlamlıdır. Otoregresif modelleme ile elde edilen denklemlere ilişkin Düzeltilmiş Belirtme Katsayısı ($R_{düz}^2$) değerleri 0.9825 ile 0.9842 arasında, Hata Kareler Ortalamasının Karekökü (RMSE) değerleri 0.8004 ile 0.8435 arasında ve Akaike Bilgi Ölçütü (AICd) değerleri ise 0 ile 147 arasında değişmektedir.

Tablo 25. GADA yaklaşımına göre elde edilen bonitet endeks denklemlerinin katsayıları ve denklemlerinin istatistiksel sonuçları

Model	Parametre	Katsayılar	Standart Hata	t değeri	Önem düzeyi	RMSE	R^2_{adj}	AIC	DW
M1 (68)	b ₃	1.47472	0.0298	49.51	<.0001	0.8004	0.9842	0	2.0068
	b ₄	0.071192	0.0166	4.28	<.0001				
	b ₅	0.409663	0.0703	5.83	<.0001				
	b ₆	-0.14536	0.0669	-2.17	0.0298				
	ρ	0.848975	0.0175	48.48	<.0001				
	γ	-0.10309	0.0174	-5.91	<.0001				
M2 (69)	b ₁	15.94558	3.6495	4.37	<.0001	0.8013	0.9842	2	2.0099
	b ₂	9.491999	0.1616	58.74	<.0001				
	b ₃	1.370244	0.0191	71.91	<.0001				
	ρ	0.864694	0.0175	49.51	<.0001				
	γ	-0.11871	0.0175	-6.79	<.0001				
M3 (70)	b ₁	68.40191	5.4329	12.59	<.0001	0.8027	0.9841	7	2.0088
	b ₂	-10.1503	2.0218	-5.02	<.0001				
	b ₃	1.369392	0.0194	70.55	<.0001				
	ρ	0.864775	0.0175	49.52	<.0001				
	γ	-0.11583	0.0175	-6.63	<.0001				
M4 (71)	b ₁	1.370499	0.0191	71.92	<.0001	0.8013	0.9842	2	2.0097
	b ₂	6656.458	1075.5	6.19	<.0001				
	Asi	82.16802	24.6942	3.33	0.0009				
	ρ	0.86453	0.0175	49.50	<.0001				
	γ	-0.11845	0.0175	-6.78	<.0001				
M5 (72)	b ₁	44.76595	0.4583	97.69	<.0001	0.8023	0.9842	4	2.0059
	b ₃	0.40251	0.0127	31.74	<.0001				
	ρ	0.839092	0.0174	48.13	<.0001				
	γ	-0.0906	0.0175	-5.19	<.0001				
M6 (73)	b ₁	14.99551	0.1611	93.07	<.0001	0.8043	0.9841	13	2.0100
	b ₂	0.236034	0.00450	52.49	<.0001				
	b ₃	0.012235	0.0126	0.97	0.3319				
	ρ	0.863345	0.0174	49.53	<.0001				
	γ	-0.1115	0.0175	-6.36	<.0001				
M7 (74)	b ₁	1.295187	0.0192	67.41	<.0001	0.8243	0.9833	83	2.0177
	b ₂	2.4359E8	6250270	38.97	<.0001				
	b ₃	-1.1E10	2.75E-18	-	<.0001				
	ρ	0.930309	0.0173	53.74	<.0001				
	γ	-0.1531	0.0174	-8.79	<.0001				
M8 (75)	b ₁	0.017532	0.000689	25.43	<.0001	0.8166	0.9836	56	2.0135
	b ₂	0.941745	0.1554	6.06	<.0001				
	b ₃	1.249257	0.5841	2.14	0.0325				
	ρ	0.894758	0.0174	51.38	<.0001				
	γ	-0.14123	0.0174	-8.10	<.0001				
M9 (76)	b ₂	0.017391	0.000599	29.03	<.0001	0.8165	0.9836	54	2.0136
	b ₃	1.007242	0.0195	51.64	<.0001				
	ρ ₁	0.8954	0.0174	51.43	<.0001				
	ρ ₂	-0.14136	0.0174	-8.10	<.0001				
M10 (77)	b ₂	-0.00332	0.00237	-1.40	0.1608	0.8435	0.9825	147	2.0436
	b ₃	0.006193	0.000970	6.38	<.0001				
	ρ	0.985504	0.0170	57.93	<.0001				
	γ	-0.24075	0.0170	-14.16	<.0001				

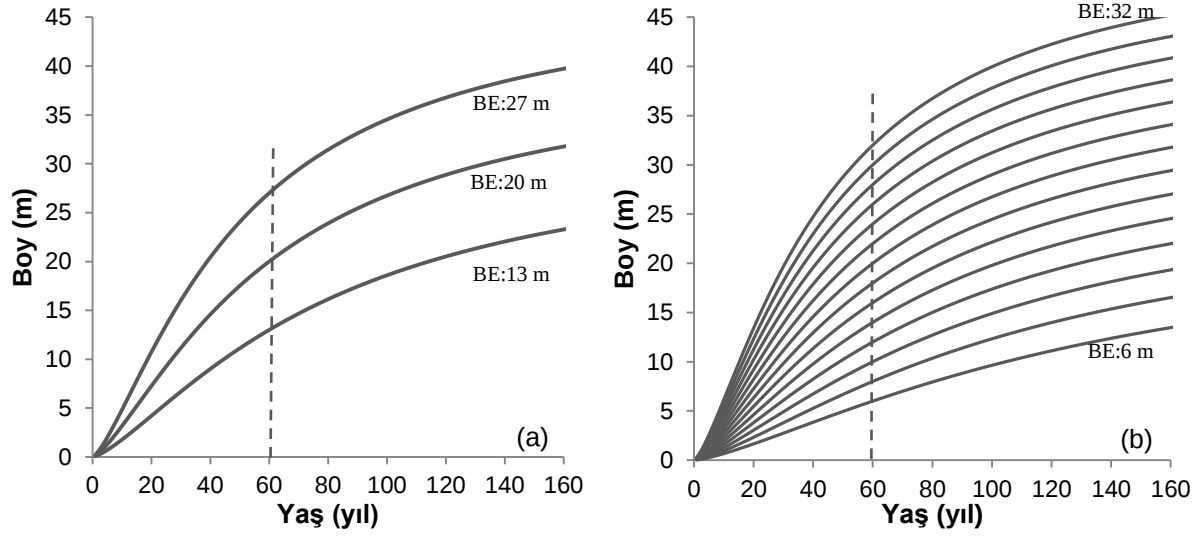
Otoregresif modelleme ile elde edilen bu modellerin Hata Kareler Ortalamasının Karekökü (RMSE), Düzeltilmiş Belirtme Katsayısı ($R_{düz}^2$) ve Akaike Bilgi Ölçütü (AICd) değerleri bakımından başarı sıralaması yapılmıştır. Başarı sıralamasına göre ilk üçte yer alan modeller Chapman-Richards (M1:68), Hossfeld (M2:69) ve Hossfeld IV (M4:71) modelleridir. Ancak bu modellerden Chapman-Richards (M1:68) ve Hossfeld IV (M4:71) modelleri standart yaş değişmezliği özelliğini sağlamadıklarından dolayı bonitet endeksi modeli olarak seçilmemişlerdir. Modellere ilişkin başarı ölçütleri değerlendirildiğinde, yaş-üst boy ilişkisini modellemede en başarılı denklemin Hossfeld büyüme fonksiyonunun (M2:69) olduğu görülmektedir. Seçilen Hossfeld (M2:69) modelinin (a_1) ve ($a_2=b_1 + b_2.X$) katsayılarını esas alan dönüşümle elde edilmiş GADA modeli olup, boydaki değişkenliğin % 98,42'sini ($R_{düz}^2$) açıklamaktadır. Denklemin Hata Kareler Ortalamasının Karekökü (RMSE) değeri 0.8013 m., Akaike Bilgi Ölçütü (AICd) değeri 0 ve Durbin-Watson test istatistiği değeri ise 2.0099'dur. Bu başarı ölçüt değerleri değerlendirildiğinde, Otoregresif modelleme ile seri korelasyon problemin olmadığı (D.W.=2.0099) görülmektedir. Otoregresif modelleme ile elde edilen Hossfeld denkleminin model yapısı aşağıda verilmiştir.

$$h = h_0 \cdot \frac{t^{1.370244} \cdot (t_0^{1.370244} \cdot X_0 + e^{9.491999})}{t_0^{1.370244} \cdot (t^{1.370244} \cdot X_0 + e^{9.491999})} \quad (152)$$

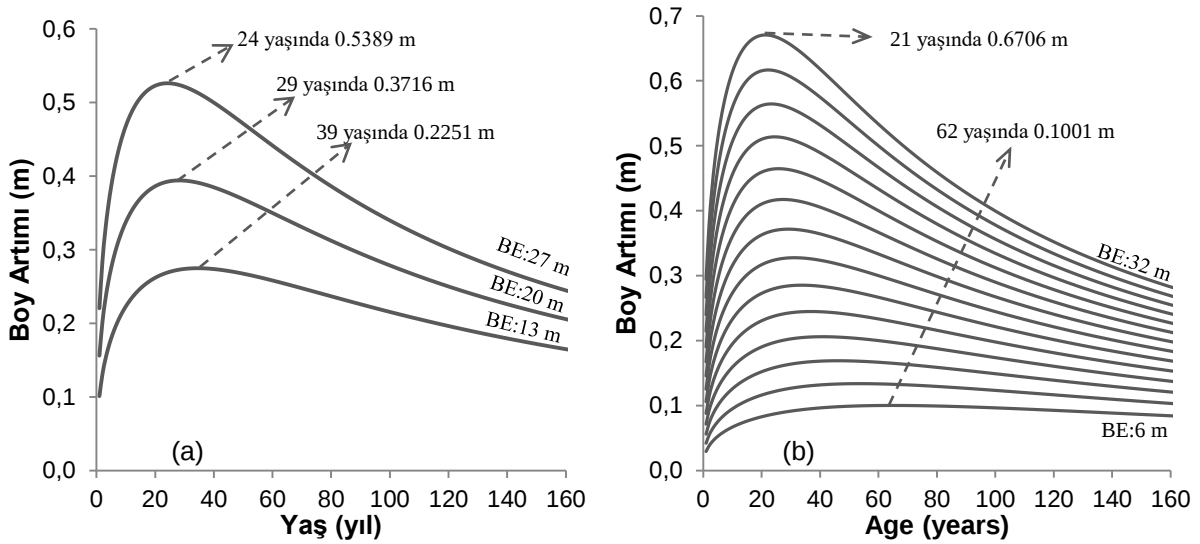
$$X_0 = h_0 - 15.94558 + \sqrt{(h_0 - 15.94558)^2 + 2 \cdot h_0 \cdot \frac{e^{9.491999}}{t_0^{1.370244}}} \quad (153)$$

Bu modelde, h belirli t yaşı için tahmin edilen üst boyu, t_0 standart yaşı, h_0 ise; t_0 standart yaşındaki üst boy değerini veya diğer bir ifadeyle bonitet endeksini göstermektedir.

Çalışma kapsamında bonitet endeksi olarak kullanılan 69 nolu Hossfeld (M2:69) modelinin Kızılçam için ortaya koyduğu değişimin, verim gücüne bağlı olarak yaş-boy ilişkilerinde bilinen büyüme yasaları ile uyumluluğu polimorfizm, çoklu asimptot, eğrilerin S biçimli olması, boy artımlarının maksimuma ulaşma sürelerinin bonitet iyileştikçe azalması gibi temel özellikler ile denetlenmiştir. Bu özellikler ile Hossfeld modelini değerlendirmek üzere, yaş-boy ilişkilerine ilişkin büyüme grafikleri Şekil 28'de ve artım grafikleri ise Şekil 29'da verilmiştir. Kızılçam meşcerelerinden alınan 432 örnek alanın üst boy değerleri 6.5-32.0 m ($\bar{X}$ =18.1 m) arasında ve yaşları ise 11-145.3 yıl ($\bar{X}$ =57 yıl) arasında değiştiğinden Şekil 28b ve 29b'deki üst boylar 6-32 m arasında olacak şekilde alınmıştır.



Şekil 28. Kızılçam bonitet sınıfllarına (a) ve 2'şer m aralıklı bonitet basamaklarına (b) ilişkin bonitet endeks eğrileri

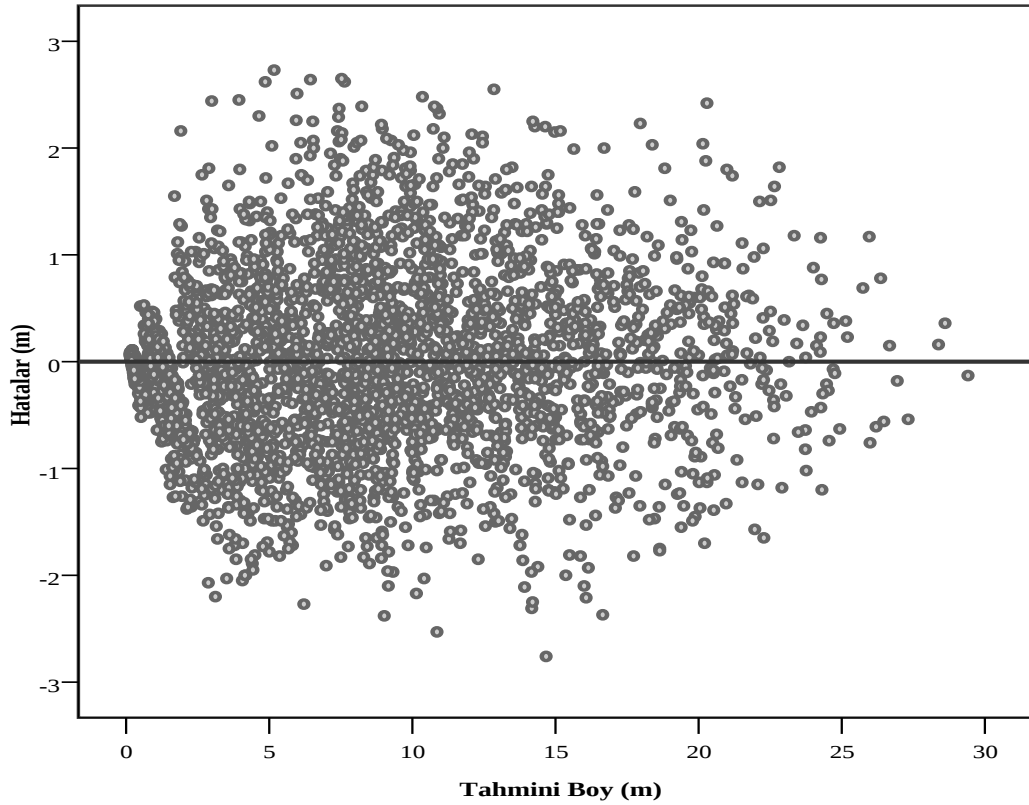


Şekil 29. Kızılçam bonitet sınıfllarına (a) ve 2'şer m aralıklı bonitet basamaklarına (b) ilişkin genel ortalama boy artımı değerleri

Şekil 29'da, genel ortalama boy artımının bonitetlere göre değişimi; bu eğrilerin maksimum olma yaşları ve değerleri ile birlikte verilmiştir. Bu grafikler incelendiğinde; 13.0 m eğrisi (III. Bonitet), 39 yaşında 0.2251 m genel ortalama değeri ile maksimum olurken, 20.0 m eğrisi (II. Bonitet) 29 yaşında 0.3716 m ve 27.0 m eğrisi (I. Bonitet) ise 24 yaşında 0.5389 m genel ortalama değeri ile maksimum olmaktadır (Şekil 29a). Hossfeld (M2:69) denkleminin ortaya koyduğu genel ortalama boy değişimi olarak, bonitet endeks değeri artıkça diğer bir ifadeyle yetiştirme ortamı verim gücü iyileştikçe eğrilerin maksimum olma yaşı düşerken, maksimum olduğu genel ortalama boy değeri ise artmaktadır. Diğer taraftan 6-32 m arasında 2'şer m'lik aralıklarla 6, 8, 10, 12, 14, 16, 18, 20, 22, 24, 26, 28, 30 ve 32 metrelik bonitet endeks değerleri

için hesaplanan genel ortalama boy artımları ve maksimum oldukları yaşlar sırasıyla; 0.1001 m (62 yaşında), 0.09955 m (54 yaşında), 0.1689 m (46 yaşında), 0.2060 m (41 yaşında), 0.2448 m (37 yaşında), 0.2853 m (34 yaşında), 0.3276 m (31 yaşında), 0.3716 m (29 yaşında), 0.4173 m (27 yaşında), 0.4647 m (26 yaşında), 0.5137 m (25 yaşında), 0.5644 m (23 yaşında), 0.6167 (22 yaşında) ve 0.6706 m (21 yaşında) olarak belirlenmiştir (Şekil 29b).

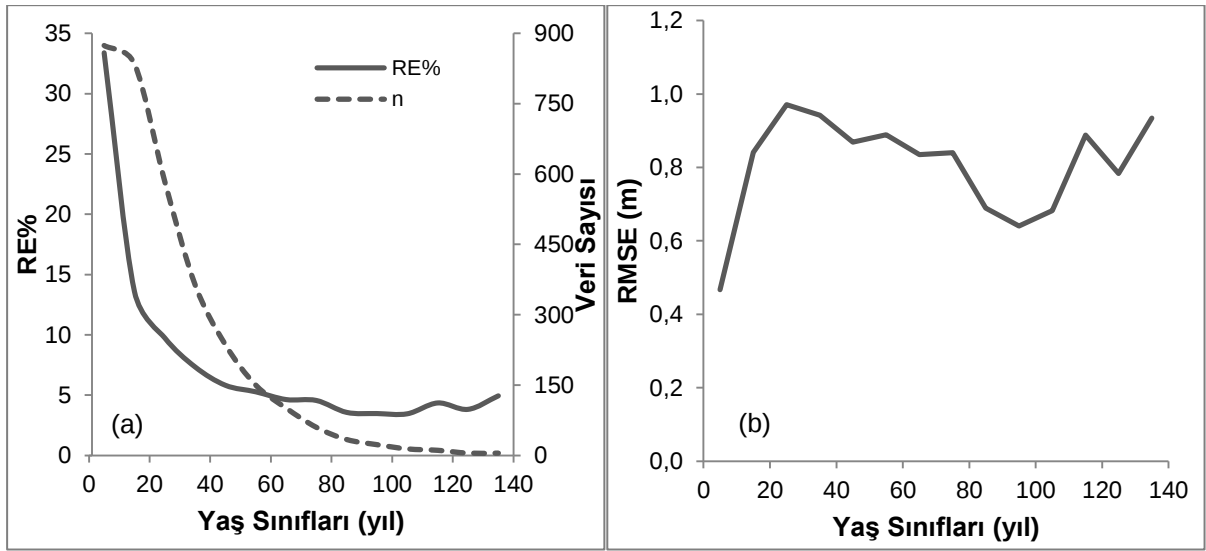
Hossfeld (M2:69) bonitet endeks modeline ilişkin değişen varyans sorununun belirlenmesinde, kullanılan model hataların modelin tahmin değerlerine göre değişimi grafikleri Şekil 30'da verilmiştir. Geliştirilen bonitet endeks modelinde hataların dağılımının rastgele olduğu ve belirli bir yönde bir eğilim göstermediği, dolayısıyla modellerde değişen varyans sorununun olmadığı görülmektedir (Şekil 30).



Şekil 30. Kızılçam bonitet endeksi modeline ilişkin hataların tahmin değerlerinde göre dağılımı

Bu projede standart yaş belirlenirken nispi hata (%RE) değerleri kullanılmıştır. Bu amaçla boy tahminlerine ilişkin bağıl-nispi hata (% RE: bağıl-nispi hata) değerleri yaş sınıfları itibarıyla (0-140 yaşları arasında 14 sınıf) hesaplanmıştır. Boy tahminlerine ilişkin nispi hata (% RE) değerleri Şekil 31'de ve Hata Kareler Ortalamasının Karekökü (RMSE) değerleri ise Şekil 31b'de verilmiştir. Burada her bir yaş sınıfındaki veri sayısı eğrisi ile nispi hata (% RE) eğrisinin çakıştığı yaş değeri idare süresi olarak tercih edilmiştir. Şekil 31a incelendiğinde diğer

yaşlardaki boyu tahmin etmek için seçilmesi gereken en ideal standart yaş değerinin yaklaşık 60 yıl olduğu görülecektir. Bu nedenle 60 yaş değeri, Kızılçam meşcerelerini yetiştirme ortamı verim gücüne göre sınıflandırabilmek için standart yaş değeri olarak seçilmiştir. Ayrıca belirlenen bu 60 standart yaş değeri, genellikle üretim amaçlı işletilen meşcerelerde idare süresine eşit olarak kabul edilmekte ve bu değer idare süresi olarak da kullanılmaktadır (Goelz and Burk, 1992; Huang, 1997; Monserud, 1984; Diéguez-Aranda vd., 2005). Hata Kareler Ortalamasının Karekökü (RMSE) değerleri 0-10 yaşları ve 80-110 arasında daha düşük, 10-80 ve 110 yaşından sonra ise daha yüksek değerlere sahiptir. Diğer taraftan en yüksek değere 25 yaşında sahipken en düşük değere ise 5 yaşında sahiptir (Şekil 31b).



Şekil 31. Standart yaş seçiminde bonitet endeksi modelindeki boy değerlerinin 10'ar yıllık yaş sınıfları itibariyle bağıl hata (a) ve hata kareler ortalamasının karekökü (b) değerleri

Çalışma kapsamında standart yaş 60 yıl alınarak standart yaştaki en büyük ve en küçük boy değerlerinin farkları dikkate alınarak, 7'şer metre olmak üzere 3 bonitet sınıfı oluşturulmuştur. Buna göre düzenlenen bonitet sınıflarının sınır değerleri Tablo 26'da verilmiştir.

Tablo 26. Kızılçam için bonitet endeks sınıfı değerleri ve sınırları

Bonitet Sınıfları	Sınıf Orta (m)	Alt ve Üst Sınır (m)
I	27.0	23.5-30.5
II	20.0	16.5-23.5
III	13.0	9.5-16.5

Kızılçam için geliştirilen 152 ve 153 nolu eşitlik h_0 (bonitet endeksi) için yeniden düzenlenirse yetiştirme ortamı verim gücü sınıflamasında belirli bir yaş ve üst boya sahip meşcerelerin, standart yaştaki üst boyları (bonitet endekslerinin) tahmin edilebilmektedir. Çalışma

kapsamında Kızılcım için GADA yaklaşımı ile üretilen bu bonitet endeks modelleri sayesinde bonitet endeks tablolarının üretilmesine gerek yoktur. Kızılcım için geliştirilen 152 ve 153 nolu bonitet endeks eşitlikleri h_0 için düzenlendiğinde 154 ve 155 nolu eşitlikler elde edilir. 154 nolu eşitlikte belirlenen belirli bir standart yaş (t_0), meşcere yaşı (t) ve üst boyu (h) ile doğrudan meşcere bonitet endeksi hesaplanabilir.

$$h_0(SI) = h \cdot \frac{t_0^{1.370244} \cdot (t^{1.370244} \cdot X_0 + e^{9.491999})}{t^{1.370244} \cdot (t_0^{1.370244} \cdot X_0 + e^{9.491999})} \quad (154)$$

$$X_0 = h - 15.94558 + \sqrt{(h - 15.94558)^2 + 2 \cdot h \cdot \frac{e^{9.491999}}{t^{1.370244}}} \quad (155)$$

Kızılcım için 154 ve 155 nolu eşitliklerde verilen bonitet endeksi eşitliğinde h örnek alanın üst boyunu, t yaşını ve t_0 standart yaşı göstermektedir. Bu eşitliklerle üst boyu ve yaşı ölçülen bir örnek alanın istenilen standart yaşa göre bonitet endeksi doğrudan hesaplanabilmektedir. Bu çalışmada Kızılcım için geliştirilen bonitet endeks modelleri, önemli derecede tahmin başarısı gösterme ve yaş-boy ilişkilerinin verim gücüne göre değişiminde beklenen büyüme yasalarıyla uyumlu sonuçlar verme gibi GADA bonitet endeks modellerinin temel özelliklerine sahip modellerdir.

3.9 Meşcere Büyüme Modellerinin Oluşturulmasına İlişkin Bulgular

Bu çalışma kapsamında 486 geçici örnek alanlardan elde edilen verilere bağlı olarak, meşcere bazında büyüme modelleri oluşturulmuştur. Bu modeller diğer bir ifadeyle hasılat tablolarının oluşturulmasında kullanılan modellerdir ki bu çalışmada sıklığa bağlı hasılat tablosu geliştirilmiştir. Hacim, göğüs yüzeyi, orta çap, orta boy, ağaç sayısı gibi meşcere elemanlarını yaş, yetiştirme ortamı verim gücü ve sıklığa göre ortalama değerler olarak veren tablolara Sıklığa Bağlı Hasılat Tabloları adı verilmektedir. Bu tablolar, değişik sıklıktaki meşcerelerde büyümedeki değişimin belirlenmesine olanak sağlarlar.

3.9.1 Sıklığa Bağlı Hasılat Tablosunun Kalan Meşcere Öğelerine İlişkin Bulgular

Kalan meşcerenin orta çap (dg), orta boy (hg), hektardaki ağaç sayısı (N), göğüs yüzeyi (G) ve hacminin (V); meşcere yaşı (t), bonitet endeksi (be) ve sıklık derecesi (sd) ile ilişkileri araştırılmıştır. Söz konusu ilişkileri modellemede aşağıda verilen regresyon modelleri ile kullanılmıştır. Bu aşamada elde edilen modeller logaritmik oldukları için, düzeltme faktörleri

eşitlik 136'a göre hesaplanmıştır. Belirtilen modellerle kalan meşcere öğeleri hesaplandıktan sonra hasılat tablosunun ilgili sütunlarına aktarılmıştır.

$$\ln \hat{d}_q = -0.8375 - \frac{322.142}{t.be} + 0.6141 \ln t.be + \frac{33.066.sd}{t.be} - 0.003635sd^2 \quad (156)$$

$$p < 0.001, R^2 = 0.953, S_{yx} = 0.178 \text{ cm (logaritmik), } F_h = 2313.22, df = 1.0161$$

$$\ln \hat{h}_q = -6.3186 + 1.3570 \ln t.be - 0.0003 t.be + \frac{0.03863.be}{sd} - \frac{0.00937.t}{sd} \quad (157)$$

$$p < 0.001, R^2 = 0.967, S_{yx} = 0.101 \text{ m (logaritmik), } F_h = 3252.48, df = 1.0051$$

$$\ln \hat{G} = -3.2944 + 0.11848 \ln be.sd + 0.6504 \ln t.be.sd \quad (158)$$

$$p < 0.001, R^2 = 0.965, S_{yx} = 0.173 \text{ m}^2 \text{ (logaritmik), } F_h = 6236.85, df = 1.0151$$

$$\ln \hat{N} = 10.5271 + 0.00001632 t^2 - 1.1718 \ln t - 0.0008041be^2 + 0.0145sd^2 \quad (159)$$

$$p < 0.001, R^2 = 0.822, S_{yx} = 0.280 \text{ adet (logaritmik), } F_h = 512.68, df = 1.0399$$

$$\ln \hat{V} = -3.4113 + 1.1039 \ln t - 0.00001816 t^2 + 0.9174 \ln sd + 0.9145 \ln be \quad (160)$$

$$p < 0.001, R^2 = 0.979, S_{yx} = 0.163 \text{ m}^3 \text{ (logaritmik), } F_h = 4306.12, df = 1.0133$$

3.9.2 Sıklığa Bağlı Hasılat Tablosunun Ayrılan Meşcere Öğelerine İlişkin Bulgular

Kızılçam sıklığa bağlı hasılat tablosu oluşturulurken, ayrılan meşcere hacminin bulunmasında; örnek alanlardaki dikili kuru ve alt tabakada yer alan, kurumak üzere olan mağlup ağaçlarda yapılan ölçümlerden yararlanılmıştır. Her bir örnek alanda dikili kuru ve alt katmanda bulunan mağlup ağaçların orta çapı (ayrılan meşcere orta çapı) ile kalan meşcere orta çapı ve yine bu ağaçların orta boyu (ayrılan meşcere orta boyu) ile de kalan meşcere orta boyu arasındaki ilişki aşağıdaki regresyon modelleri ile hesaplanmıştır.

$$\ln \hat{d}_{q-ayrılan} = -0.92818 + 1.168507 \ln d_{q-ayrılan} \quad (161)$$

$$p < 0.001, R^2 = 0.861, S_{yx} = 0.210 \text{ cm (logaritmik), } F_h = 2494.24, df = 1.0224$$

$$\ln \hat{h}_{q-ayrılan} = -0.49169 + 1.110813 \ln d_{q-ayrılan} \quad (162)$$

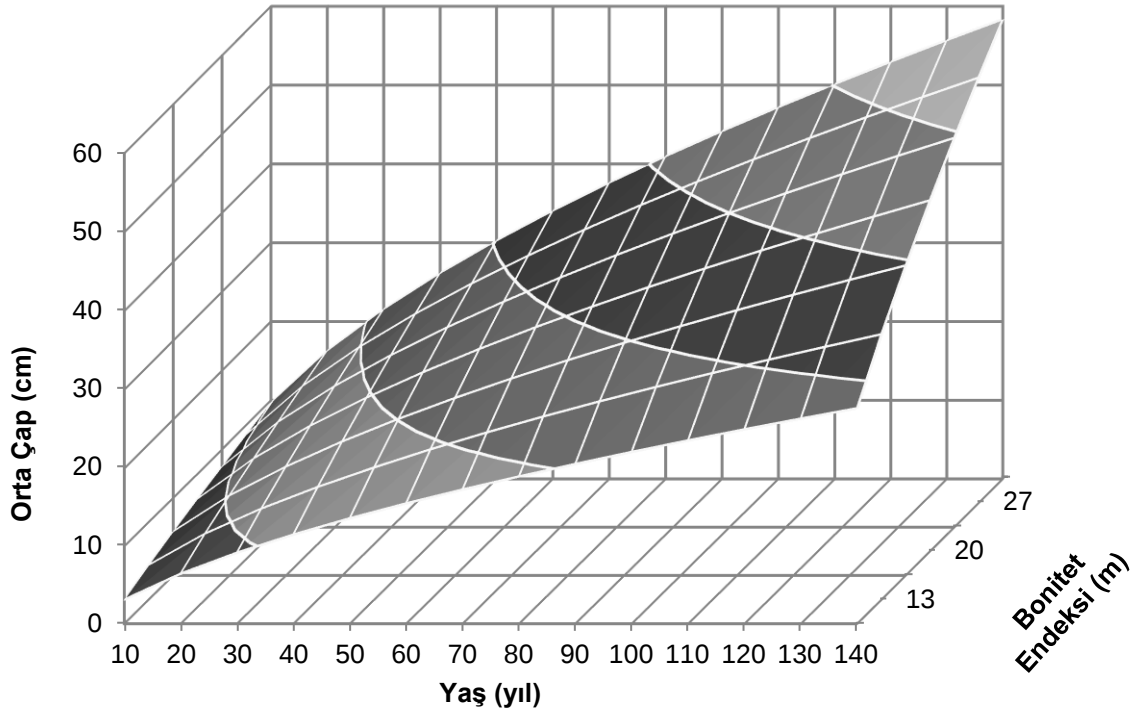
$$p < 0.001, R^2 = 0.853, S_{yx} = 0.200 \text{ m (logaritmik)}, F_h = 2422.39, df = 1.0203$$

Değişik meşcere yaşı (t), bonitet endeksi (be) ve meşcere sıklığındaki (sd) kalan meşcerenin orta çapı ve orta boyu; yukarıdaki modellerde yerine konularak, ayrılan bir ağacın çapı ve boyu hesaplanmıştır. Ardından, tahmin edilen çap ve boy değerleri, düzenlenmiş olan çift girişli hacim modelinde yerine konularak ayrılan bir ağacın hacmi hesaplanmıştır. Burada hesaplanan ayrılan ağaç hacmi, değişik bonitet dereceleri ve meşcere sıklığına ait her yaş basamağındaki ayrılan ağaç sayısı ile çarpılarak ayrılan meşcere hacmi elde edilmiştir.

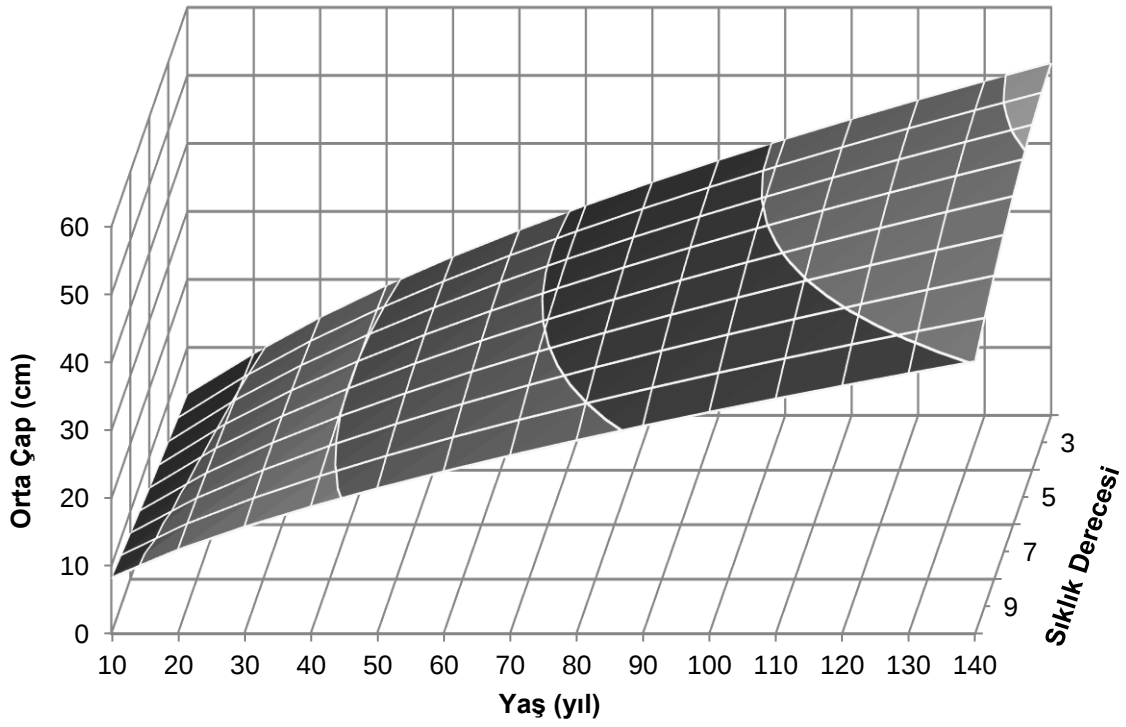
3.9.3 Kızılçam Meşcereleri İçin Sıklığa Bağlı Hasılat Tablolarına İlişkin Bulgular

Kızılçam sıklığa bağlı hasılat tabloları oluşturulurken kalan ve ayrılan meşcere elemanları, yukarıda verilen eşitliklerle meşcere yaşı, bonitet endeksi ve meşcere sıklığının fonksiyonu olarak bulunmuştur. Hasılat tablosunun diğer öğeleri ise, Hasılat Tablosunun Diğer Öğelerinin Hesaplanması Bölümünde verilen eşitliklerle de bulunmuştur. Bulunan kalan ve ayrılan meşcere elemanları ile hasılat tablosunun diğer öğeleri; 5'er yıllık yaş basamağı (10-140 arasında), 5 sıklık derecesi (2,0-4,0-6,0- 8,0-10,0 için), ve 3 bonitet sınıfı (I-II-III) için ayrı ayrı hesaplanmıştır. Bu öğelerin, ilgili sütunlara aktarılmasıyla oluşturulan "Kızılçam Sıklığa Bağlı Hasılat Tabloları", Ek Tablo 5'de verilmiştir. Bu aşamada, Kızılçam meşcerelerinin normal sıklık değeri, ölçümü yapılan örnek alanların sıklığı göz önüne alınarak 8,0 olarak belirlenmiştir. Kızılçam meşcerelerinde meşcere orta çapı yaş ilerledikçe ve bonitet sınıfı iyileştikçe artmakta meşcere sıklığı arttıkça azalmaktadır (Şekil 32-33). Normal sıklık derecesinde (8.0) I., II. ve III. bonitet sınıflarına göre meşcere orta çapı 60 yaşında 27.9, 22.9 ve 17.0 cm; 100 yaşında ise 43.7, 36.1 ve 27.3 cm'dir. Diğer taraftan orta bonitet sınıfında 2.0, 4.0, 6.0, 8.0 ve 10.0 sıklık derecelerine göre meşcere orta çapı 60 yaşında sırasıyla 27.9, 27.6, 27.1, 25.9 ve 24.0 cm; 100 yaşında ise 40.6, 40.2, 38.6, 36.1 ve 32.7 cm olarak hesaplanmıştır.

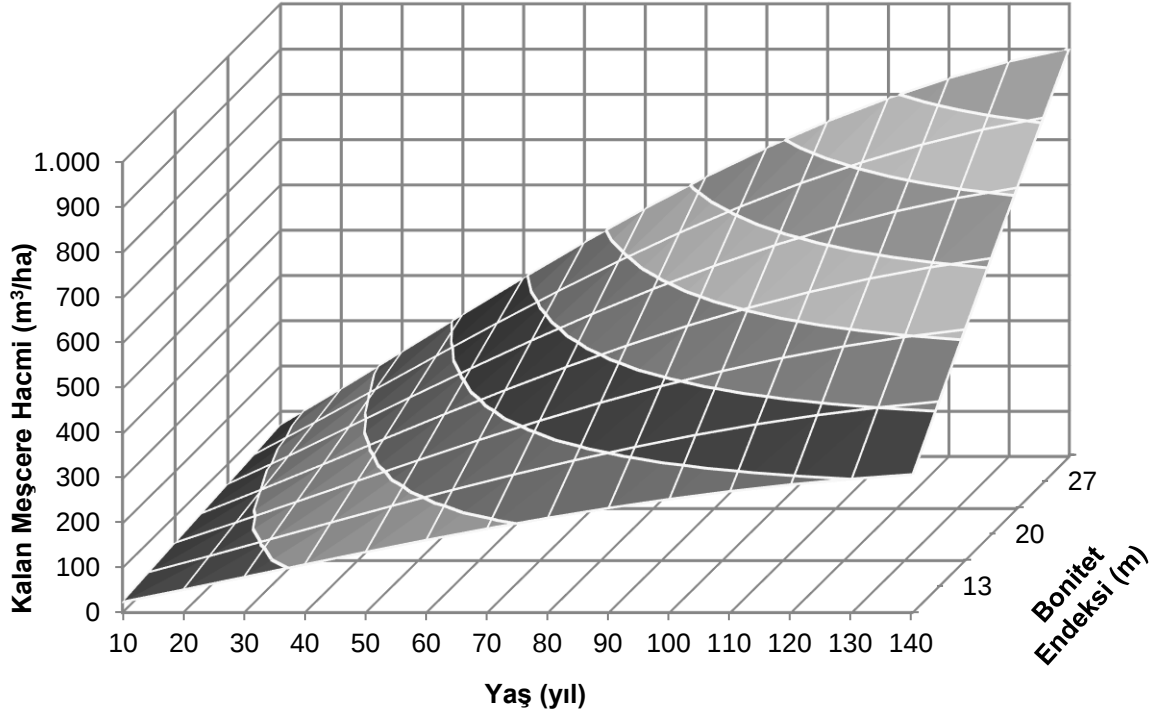
Kızılçam meşcerelerinde yaş ilerledikçe ve bonitet sınıfı iyileştikçe ya da meşcere sıklığı arttıkça kalan meşcere hacmi de artmaktadır (Şekil 34-35). Normal sıklık derecesinde (8.0) I., II. ve III. bonitet sınıflarına göre kalan meşcere hacmi 60 yaşında 423.4, 321.7 ve 217.0 m³/ha; 100 yaşında ise 662.4, 503.4 ve 339.5 m³/ha'dır. Diğer taraftan orta bonitet sınıfında 2.0, 4.0, 6.0, 8.0 ve 10.0 sıklık derecelerine göre kalan meşcere hacmi 60 yaşında sırasıyla 90.2, 170.4, 247.1, 321.7 ve 394.8 m³/ha; 100 yaşında ise 141.1, 266.6, 386.7, 503.4 ve 617.8 m³/ha olarak hesaplanmıştır.



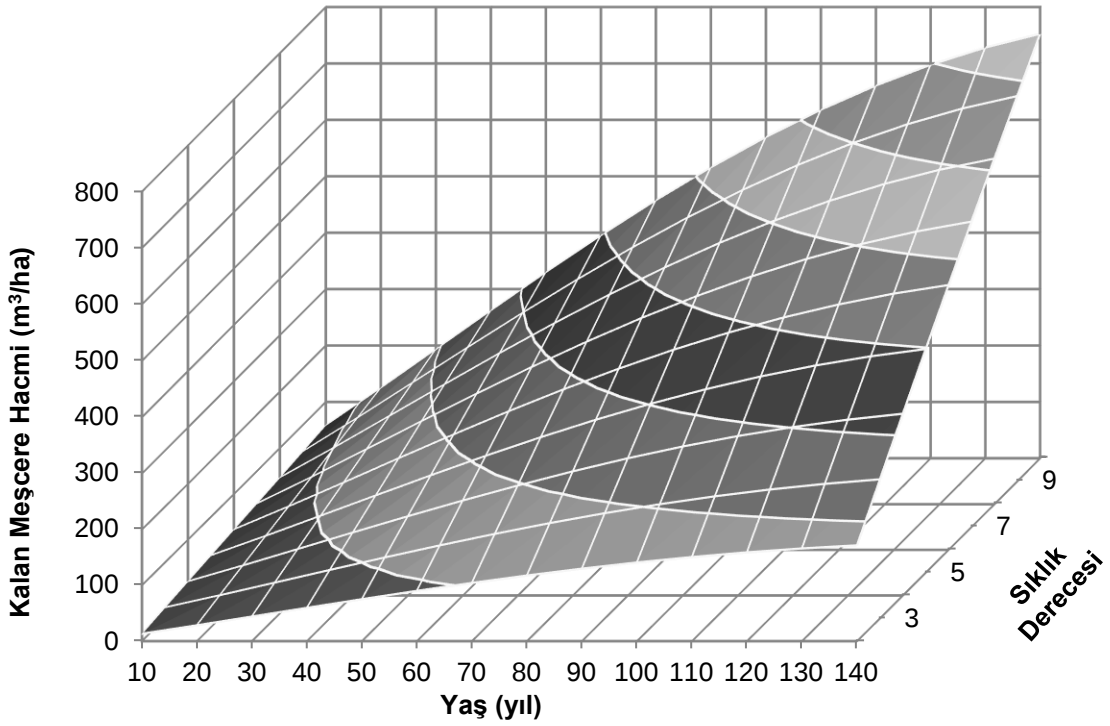
Şekil 32. Meşcere orta çapının, meşcere yaşı ve bonitet endeksine göre değişimi (sıklık derecesi = 8,0)



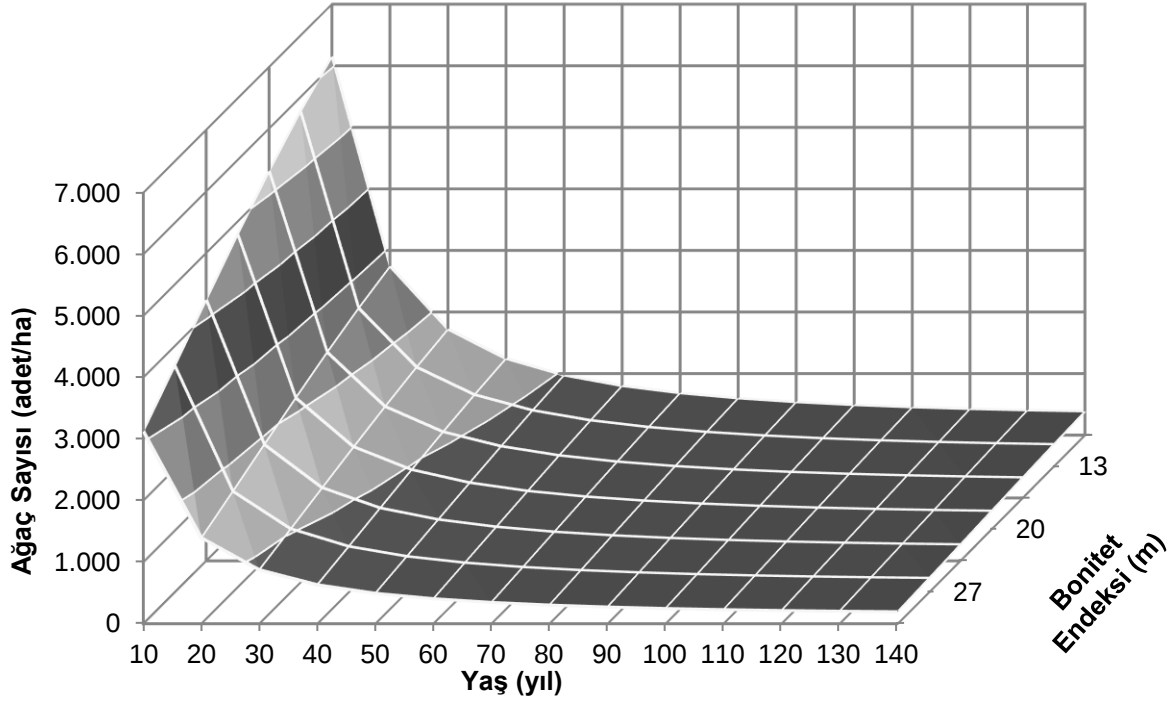
Şekil 33. Meşcere orta çapının, meşcere yaşı ve sıklık derecesine göre değişimi (bonitet endeksi = 23 m)



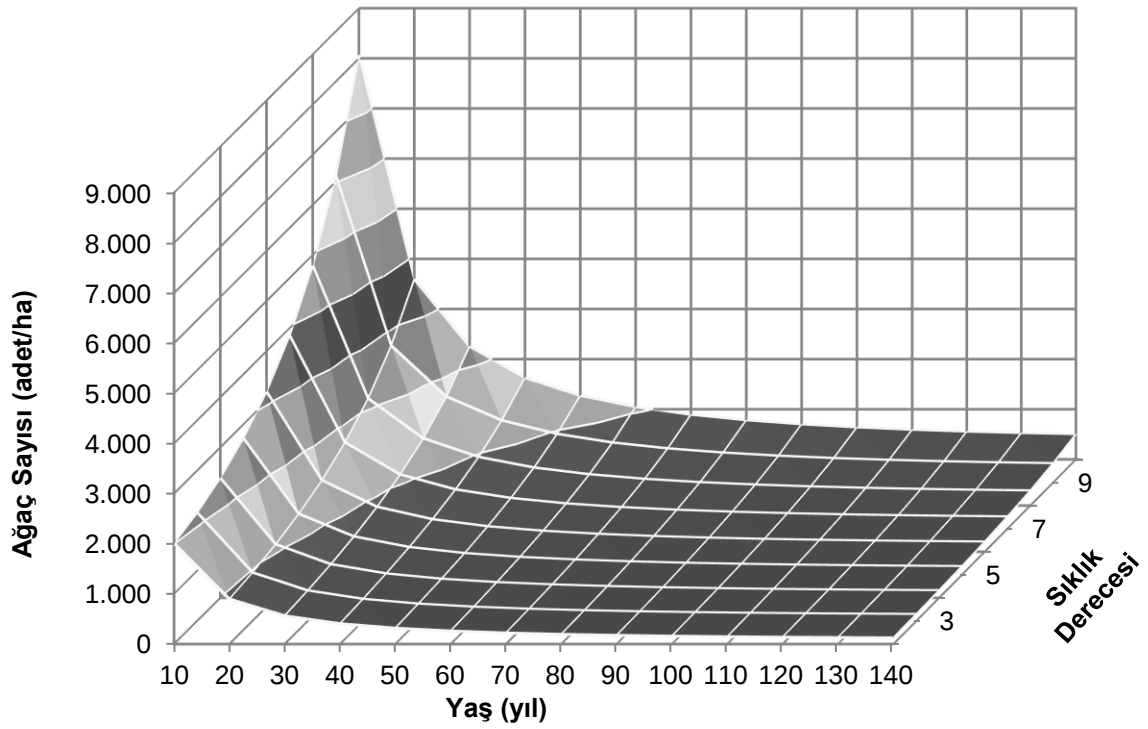
Şekil 34. Kalan meşcere hacminin meşcere yaşı ve bonitet endeksine göre değişimi (sıklık derecesi = 8,0)



Şekil 35. Kalan meşcere hacminin meşcere yaşı ve sıklık derecesine göre değişimi (bonitet endeksi = 23 m)



Şekil 36. Ağaç sayısının meşcere yaşı ve bonitet endeksine göre değişimi (sıklık derecesi = 8,0)

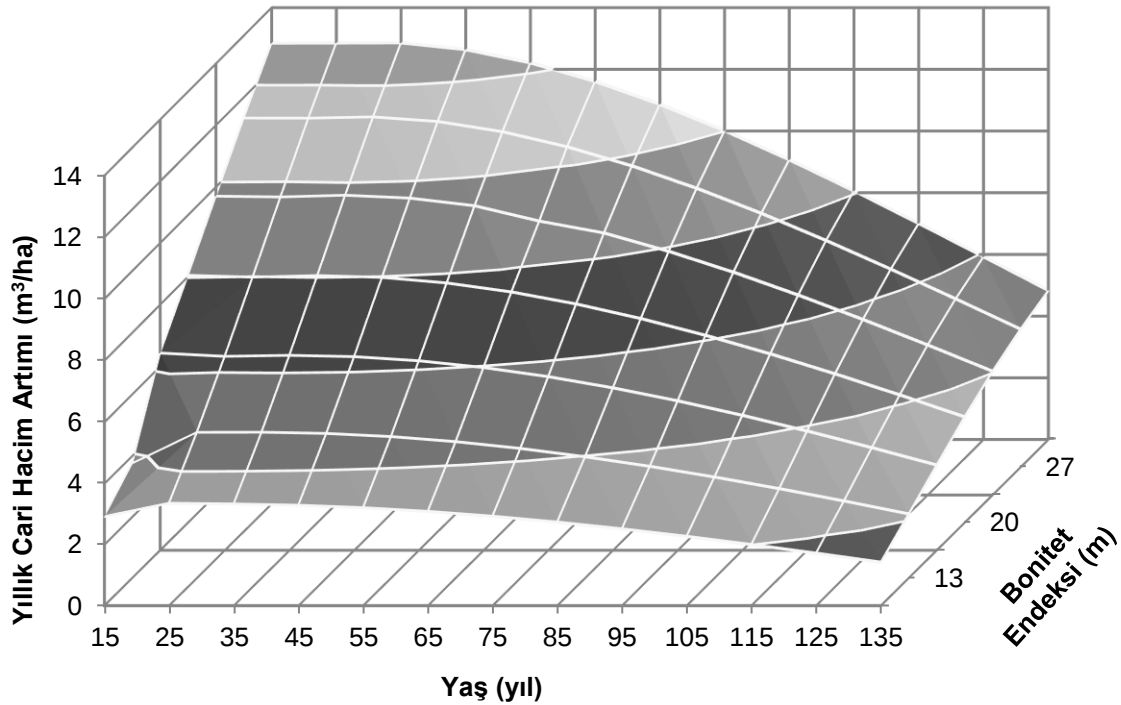


Şekil 37. Ağaç sayısının meşcere yaşı ve sıklık derecesine göre değişimi (bonitet endeksi = 23 m)

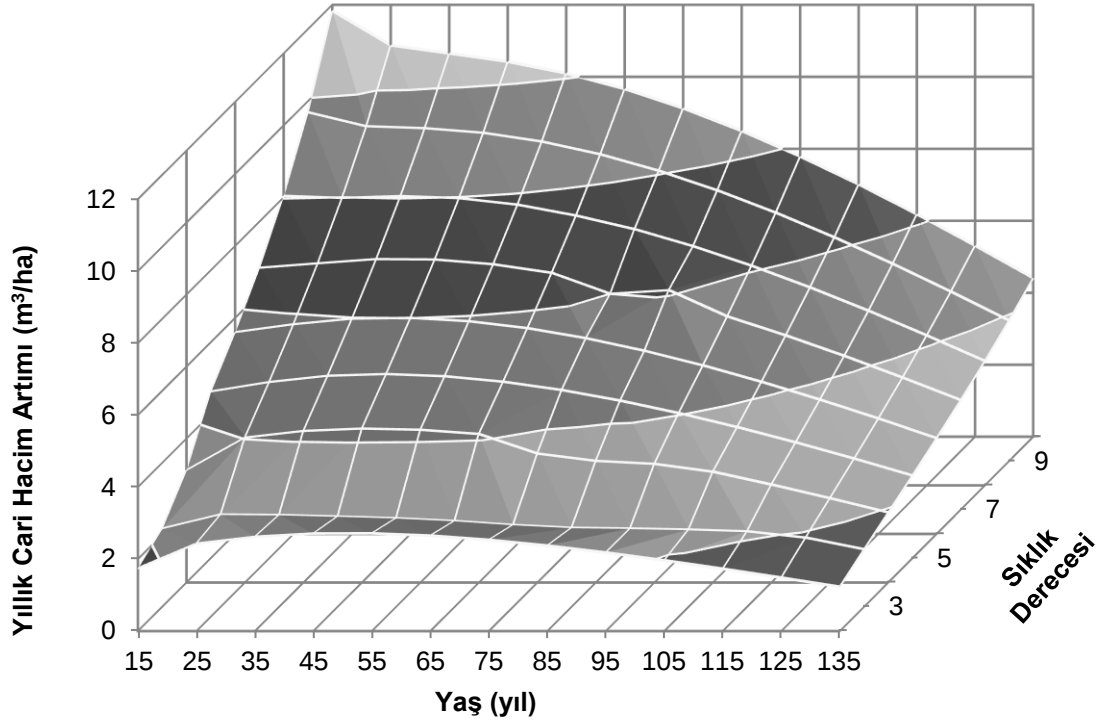
Kızılçam meşcerelerinde ağaç sayısı yaş ilerledikçe ve bonitet sınıfı iyileştikçe azalmakta meşcere sıklığı arttıkça da artmaktadır (Şekil 36-37). Normal sıklık derecesinde (8.0) I., II. ve III. bonitet sınıflarına göre ağaç sayısı 60 yaşında 477, 622 ve 749 adet/ha; 100 yaşında 291, 379 ve 457 adet/ha'dır. Diğer taraftan orta bonitet sınıfında 2.0, 4.0, 6.0, 8.0 ve 10.0 sıklık derecelerine göre ağaç sayısı 60 yaşında sırasıyla 261, 310, 415, 622 ve 1047 adet/ha; 100 yaşında ise 159, 189, 253, 379 ve 639 adet/ha olarak hesaplanmıştır.

Kızılçam meşcerelerinin tüm bonitet sınıflarında ve tüm sıklık derecelerinde yıllık cari hacim artımı, 30-40 yaşlarına kadar artıp maksimuma ulaştıktan sonra yaş ilerledikçe azalmaktadır. Diğer taraftan bonitet sınıfı iyileştikçe ya da meşcere sıklığı arttıkça, yıllık cari artım artmaktadır (Şekil 38-39).

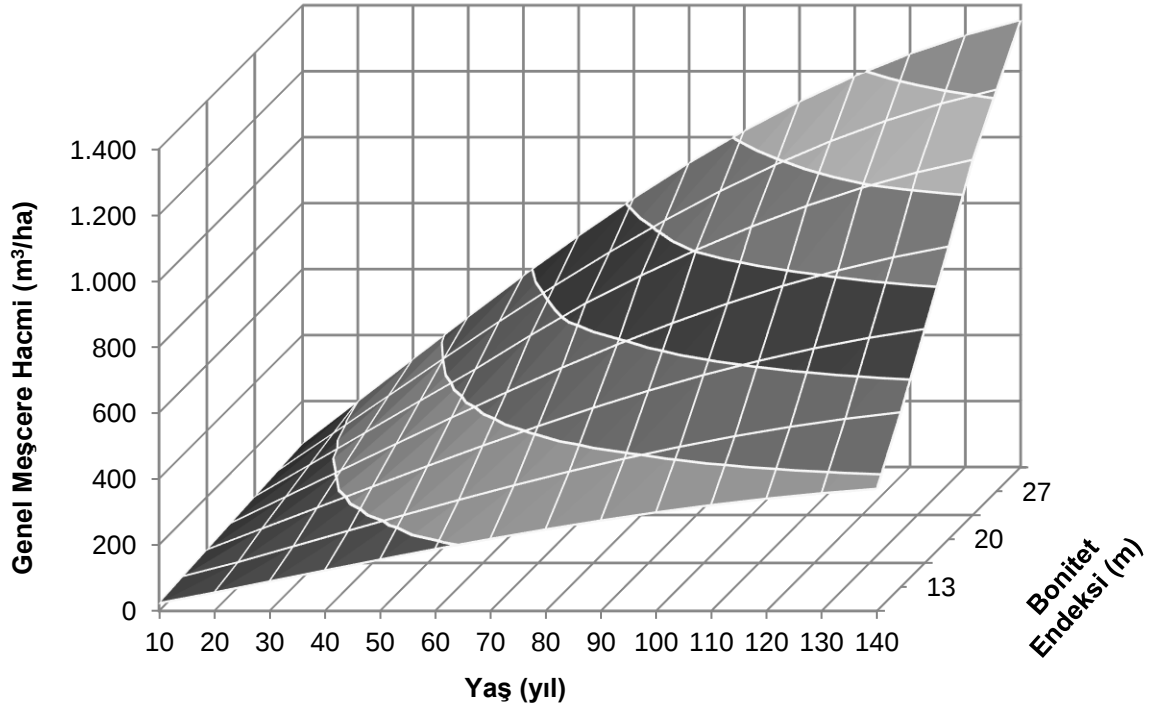
Kızılçam meşcerelerinde yaş ilerledikçe bonitet sınıfı iyileştikçe ve meşcere sıklığı arttıkça genel meşcere hacmi de artmaktadır (Şekil 40-41). Normal sıklık derecesinde (8.0) I., II. ve III. bonitet sınıflarına göre genel meşcere hacmi 60 yaşında 622.0, 447.0 ve 263.4 m³/ha; 100 yaşında ise 989.4, 713.7 ve 424.4 m³/ha'dır. Diğer taraftan orta bonitet sınıfında 2.0, 4.0, 6.0, 8.0 ve 10.0 sıklık derecelerine göre genel meşcere hacmi 60 yaşında sırasıyla 139.2, 231.6, 330.4, 444.7 ve 590.6 m³/ha; 100 yaşında ise 229.5, 380.9, 536.2, 713.7 ve 935.0 m³/ha olarak hesaplanmıştır.



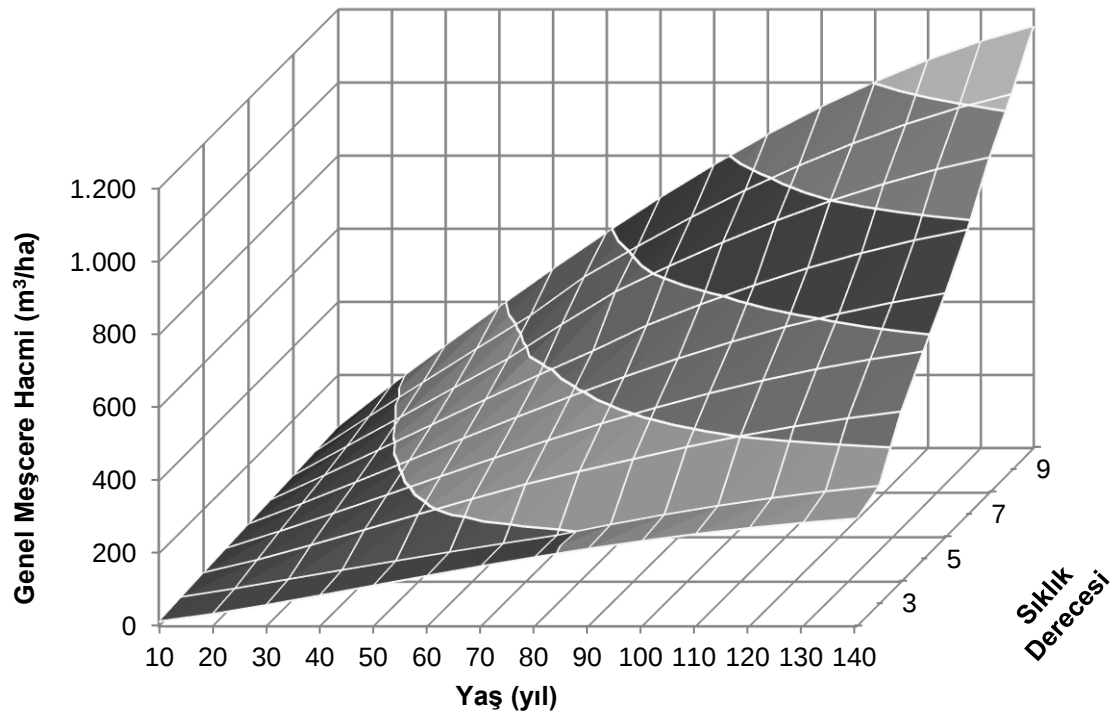
Şekil 38. Yıllık cari hacim artımının meşcere yaşı ve bonitet endeksine göre değişimi (sıklık derecesi = 8,0)



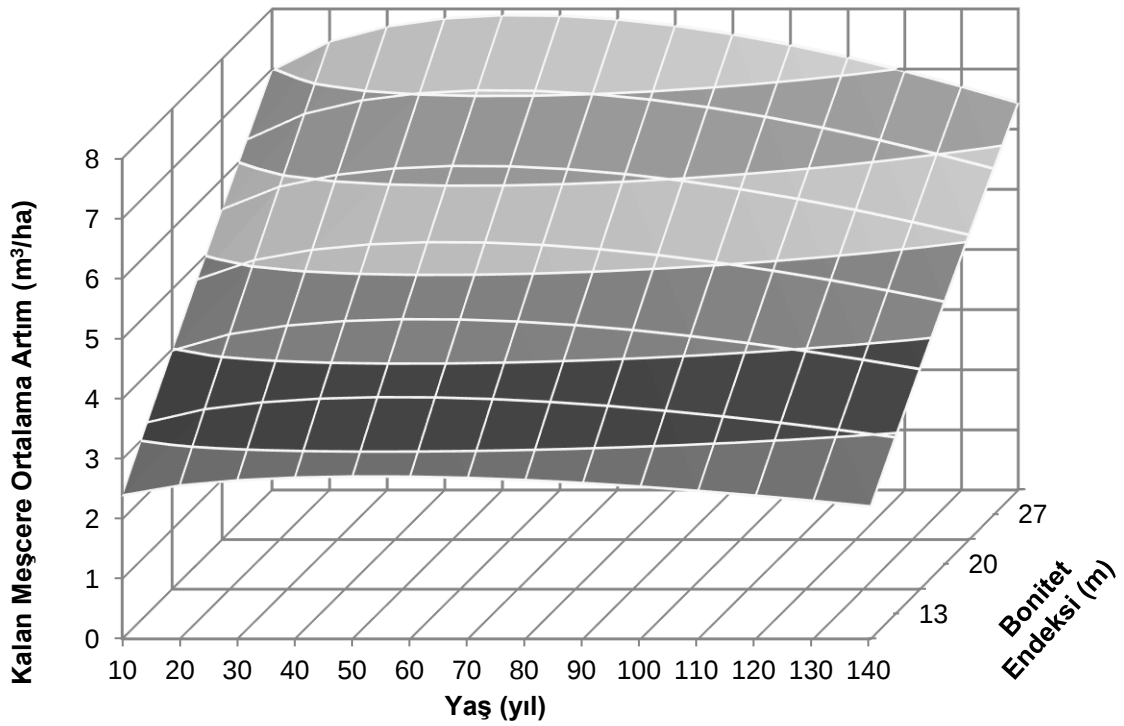
Şekil 39. Yıllık cari hacim artımının meşcere yaşı ve sıklık derecesine göre değişimi (bonitet endeksi = 23 m)



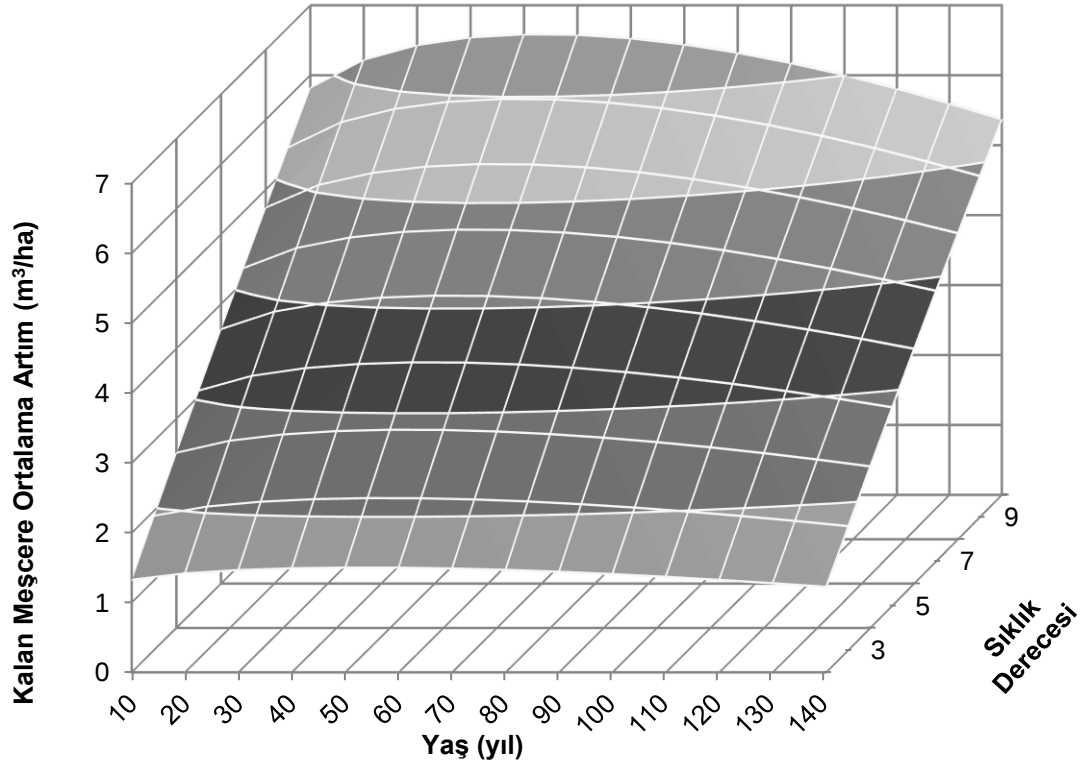
Şekil 40. Genel meşcere hacminin meşcere yaşı ve bonitet endeksine göre değişimi (sıklık derecesi = 8,0)



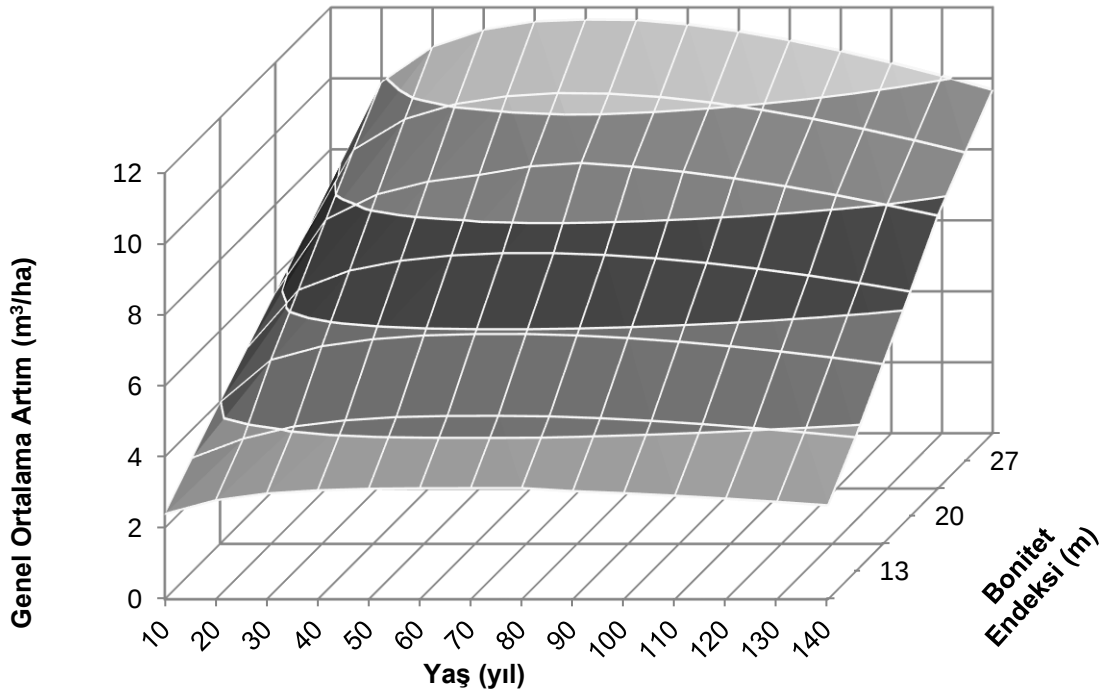
Şekil 41. Genel meşcere hacminin meşcere yaşı ve sıklık derecesine göre değişimi (bonitet endeksi = 23 m)



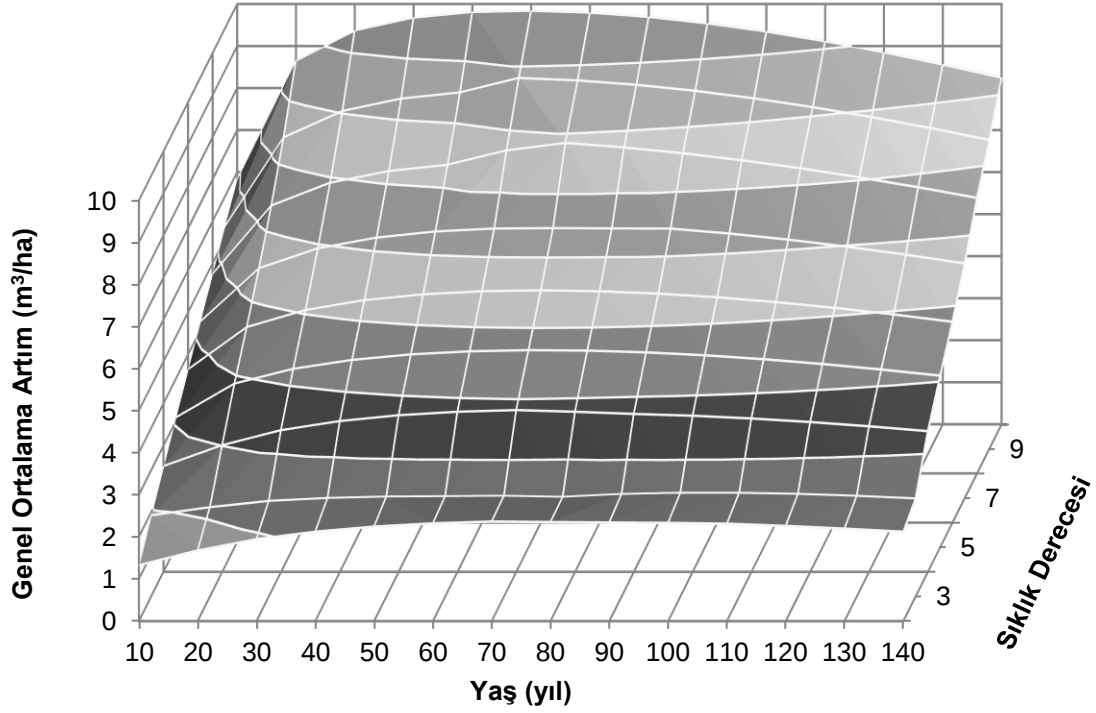
Şekil 42. Kalan meşcere ortalama hacim artımının meşcere yaşı ve bonitet endeksine göre değişimi (sıklık derecesi = 8,0)



Şekil 43. Kalan meşcere ortalama hacim artımının meşcere yaşı ve sıklık derecesine göre değişimi (bonitet endeksi = 23 m)



Şekil 44. Genel ortalama hacim artımının meşcere yaşı ve bonitet endeksine göre değişimi (sıklık derecesi = 8,0)



Şekil 45. Genel ortalama hacim artımının meşcere yaşı ve sıklık derecesine göre değişimi (bonitet endeksi = 23 m)

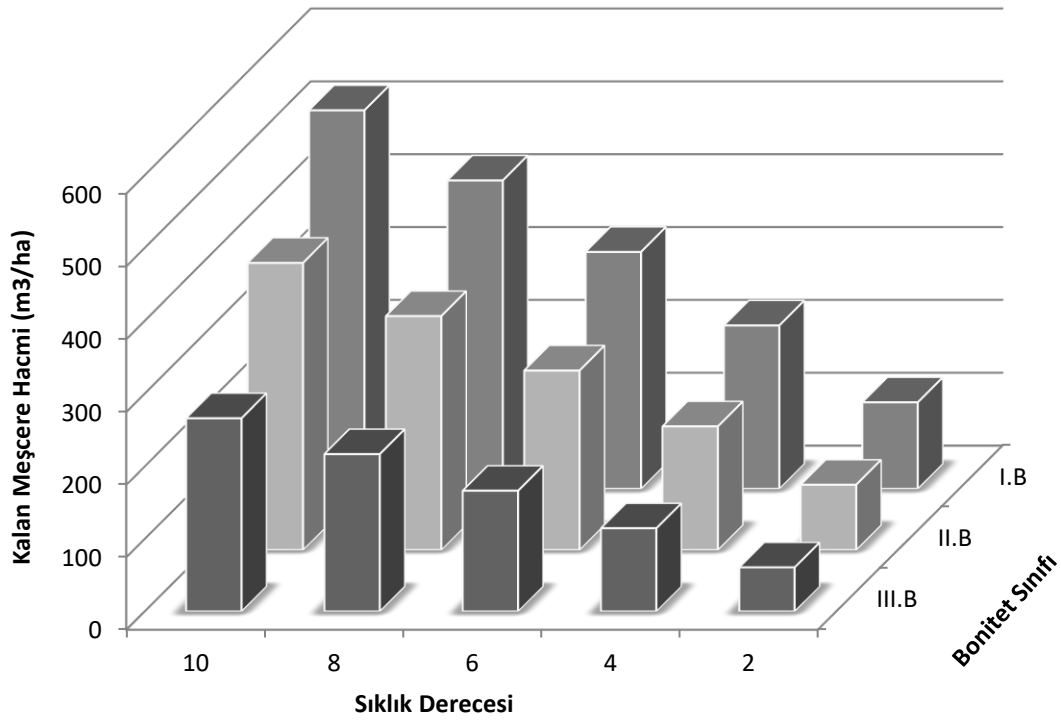
Kızılçam meşcerelerinin tüm bonitet sınıflarında ve sıklık derecelerinde kalan meşcere ortalama hacim artımı yaş ilerledikçe artmakta ve genel olarak 45-60 yaşlarında maksimuma ulaştıktan sonra azalmaya başlamaktadır. Diğer taraftan bonitet sınıfı iyileşip meşcere sıklığı arttıkça da, kalan meşcere ortalama hacim artımı artmaktadır (Şekil 42-43).

Kızılçam meşcerelerinin tüm bonitet sınıflarında ve sıklık derecelerinde genel ortalama hacim artımının yaş ilerledikçe önce belli bir yaşa kadar artarak, maksimuma ulaştıktan sonra (I. bonitette 55-60, II. bonitette 65-70 ve III. bonitette 70-75 yaş) azalmaya başlamaktadır. Ayrıca bonitet sınıfı iyileşip meşcere sıklığı arttıkça da, genel ortalama hacim artımı artmaktadır (Şekil 44-45). Normal sıklık derecesinde (8.0) I., II. ve III. bonitet sınıflarına göre genel ortalama artım değerleri 60 yaşında 10.33, 7.41 ve 4.38 m³/ha; 100 yaşında ise 9.89, 7.14 ve 4.24 m³/ha olarak hesaplanmıştır.

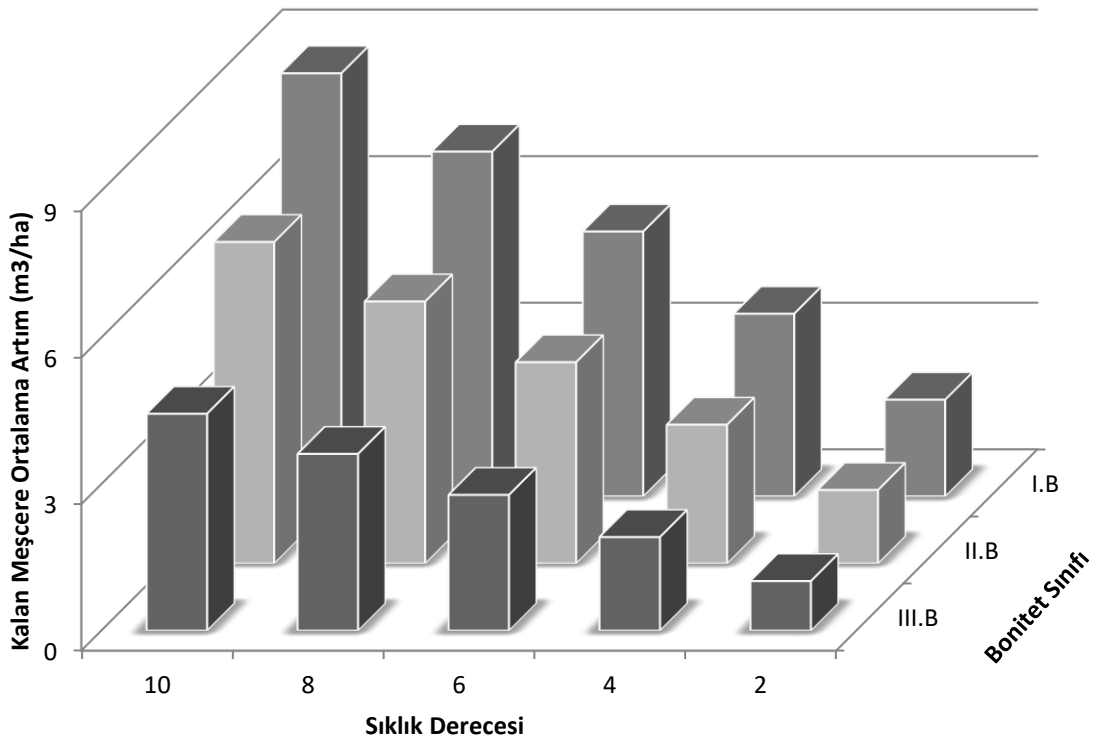
Tablo 27. Kalan meşcere hacminin ve ortalama artımının meşcere yaşı, bonitet sınıfı ve sıklık derecesine göre değişimi

Kalan Meşcere Hacmi (m ³ /ha)					Kalan Meşcere Ort. Hacim Artımı (m ³ /ha)				
Sıklık Derecesi	Yaş	I. B	II. B	III. B	Sıklık Derecesi	Yaş	I. B	II. B	III. B
2,0	30	253,9	192,9	130,1	2,0	30	8,46	6,43	4,34
	60	519,5	394,8	266,3		60	8,66	6,58	4,44
	100	812,9	617,8	416,6		100	8,13	6,18	4,17
	140	990,0	752,4	507,4		140	7,07	5,37	3,62
4,0	30	206,9	157,2	106,0	4,0	30	6,90	5,24	3,53
	60	423,4	321,7	217,0		60	7,06	5,36	3,62
	100	662,4	503,4	339,5		100	6,62	5,03	3,40
	140	806,8	613,1	413,5		140	5,76	4,38	2,95
6,0	30	158,9	120,7	81,4	6,0	30	5,30	4,02	2,71
	60	325,2	247,1	166,7		60	5,42	4,12	2,78
	100	508,8	386,7	260,8		100	5,09	3,87	2,61
	140	619,6	470,9	317,6		140	4,43	3,36	2,27
8,0	30	109,5	83,2	56,1	8,0	30	3,65	2,77	1,87
	60	224,1	170,4	114,9		60	3,74	2,84	1,91
	100	350,7	266,6	179,8		100	3,51	2,67	1,80
	140	427,1	324,6	218,9		140	3,05	2,32	1,56
10,0	30	58,0	44,1	29,7	10,0	30	1,93	1,47	0,99
	60	118,7	90,2	60,8		60	1,98	1,50	1,01
	100	185,7	141,1	95,2		100	1,86	1,41	0,95
	140	226,2	171,9	115,9		140	1,62	1,23	0,83

Aynı yaştaki Kızılçam meşcerelerine ilişkin kalan meşcere hacmi, bonitet sınıfı iyileştikçe ya da sıklık oranı arttıkça, genel itibariyle artış göstermektedir (Tablo 27, Şekil 46). Kalan meşcere ortalama hacim artımı ise farklı bonitet sınıflarında ve farklı sıklık derecelerinde düzensiz bir şekilde artış göstermektedir (Tablo 27, Şekil 47).



Şekil 46. Kalan meşcere hacminin bonitet sınıfı ve sıklık derecesine göre değişimi (meşcere yaşı: 60 yıl)

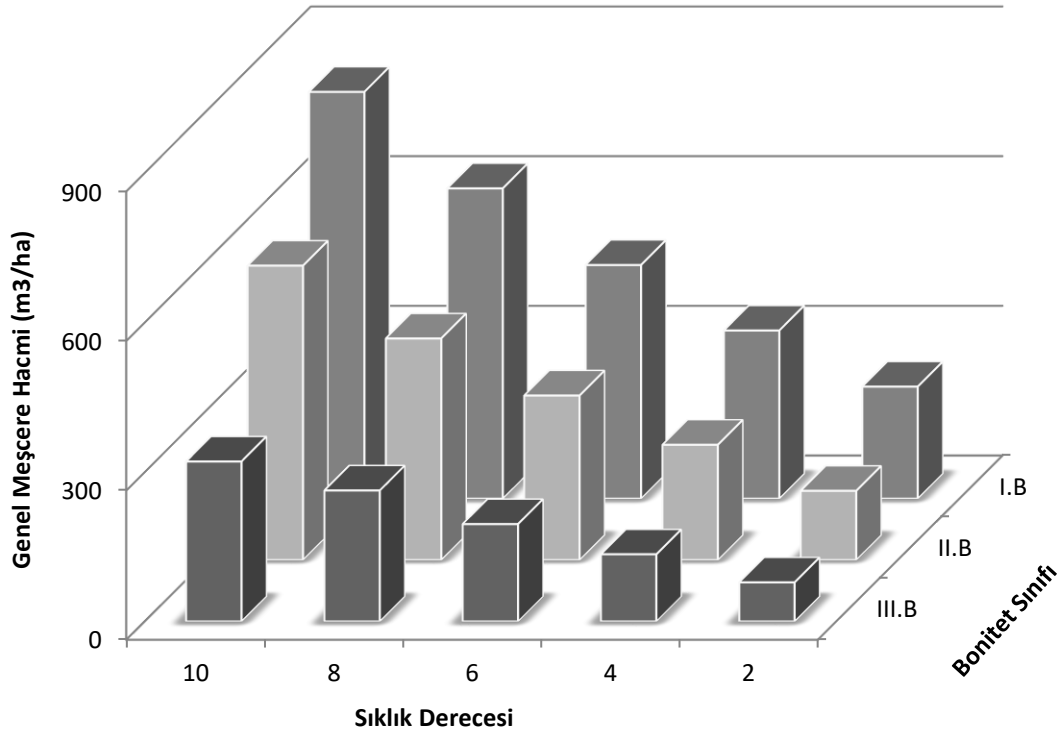


Şekil 47. Kalan meşcere ortalama hacim artışının bonitet sınıfı ve sıklık derecesine göre değişimi (meşcere yaşı: 60 yıl)

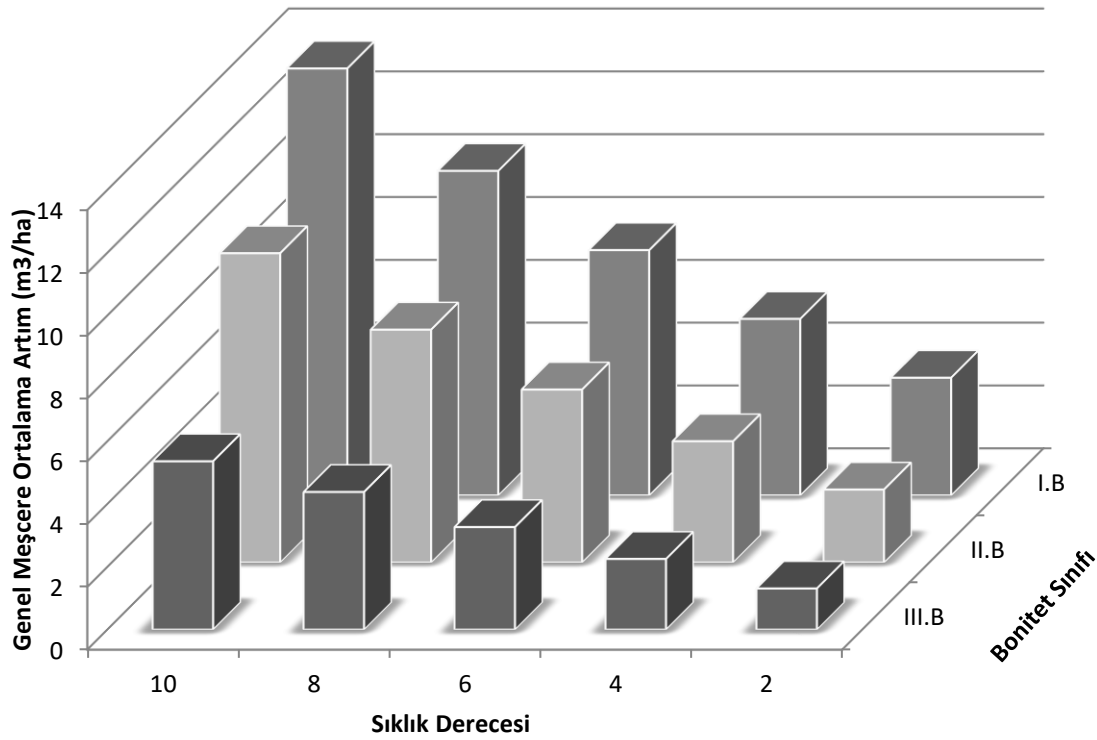
Tablo 28. Genel meşcere hacminin ve ortalama artımının meşcere yaşı, bonitet sınıfı ve sıklık derecesine göre değişimi

Genel Meşcere Hacmi (m ³ /ha)					Genel Meşcere Ort. Hacim Artımı (m ³ /ha)				
Sıklık Derecesi	Yaş	I. B	II. B	III. B	Sıklık Derecesi	Yaş	I. B	II. B	III. B
2,0	30	385,9	281,2	148,9	2,0	30	12,86	9,37	4,96
	60	815,5	590,6	321,5		60	13,59	9,84	5,36
	100	1281,5	935,0	526,3		100	12,82	9,35	5,26
	140	1569,2	1155,4	660,7		140	11,21	8,25	4,72
4,0	30	288,9	207,6	122,5	4,0	30	9,63	6,92	4,08
	60	622,0	444,7	263,4		60	10,33	7,41	4,38
	100	989,4	713,7	424,4		100	9,89	7,14	4,24
	140	1217,1	886,5	529,1		140	8,69	6,33	3,78
6,0	30	213,9	151,8	90,9	6,0	30	7,13	5,06	3,03
	60	468,4	330,4	195,8		60	7,81	5,51	3,26
	100	752,7	536,2	317,4		100	7,53	5,36	3,17
	140	929,8	669,2	396,9		140	6,64	4,78	2,84
8,0	30	150,1	104,2	62,4	8,0	30	5,00	3,47	2,08
	60	337,0	231,6	134,9		60	5,62	3,86	2,25
	100	545,9	380,9	220,3		100	5,46	3,81	2,20
	140	677,6	478,0	276,7		140	4,84	3,41	1,98
10,0	30	94,5	58,4	36,1	10,0	30	3,15	1,95	1,20
	60	224,6	139,2	78,5		60	3,74	2,32	1,31
	100	363,4	229,5	128,8		100	3,63	2,29	1,29
	140	451,7	291,2	161,9		140	3,23	2,08	1,16

Aynı yaştaki Kızılçam meşcerelerine ilişkin genel verim de, aynı kalan meşcere hacminde olduğu gibi, aynı yaşta bonitet sınıfı iyileştikçe ya da sıklık oranı arttıkça genel itibariyle ilk yıllardan itibaren giderek azalan miktarda sürekli bir artış göstermektedir (Tablo 28, Şekil 48). Aynı yaştaki Kızılçam meşcerelerine ilişkin genel meşcere ortalama hacim artımı ise, yine kalan meşcere ortalama hacim artımında olduğu gibi; farklı bonitet sınıflarında ve farklı sıklık derecelerinde düzensiz bir şekilde artış göstermektedir (Tablo 28, Şekil 49).



Şekil 48. Genel meşcere hacminin bonitet sınıfı ve sıklık derecesine göre değişimi (meşcere yaşı: 60 yıl)



Şekil 49. Genel ortalama hacim artışının bonitet sınıfı ve sıklık derecesine göre değişimi (meşcere yaşı: 60 yıl)

3.10 Tek Ağaç Büyüme Modellerinin Oluşturulmasına İlişkin Bulgular

3.10.1 Tek Ağaç Verilerinin Değerlendirilmesine İlişkin Bulgular

486 örnek alandaki tek ağaçların göğüs çapı, bazı tepe boyutları (tepe uzunluğu, tepe çapı gibi), yaşı, yıllık çap artımı, 6 farklı yaklaşıma göre hesaplanan uzaklıktan bağımsız yarışma endeksleri ve 11 farklı yaklaşıma göre hesaplanan uzaklığa bağlı yarışma endekslerinin minimum, maksimum, ortalama ve standart sapma gibi çeşitli istatistiksel bilgileri Tablo 29'da verilmiştir.

3.10.2 Tek Ağaç Boyuna İlişkin Bulgular

Ağaç boyunu göğüs çapının fonksiyonu olarak tahmin eden modeller, zamanla meşcere yapılarının değişmesi ile kullanılamamaktadırlar. Göğüs çapı ($d_{1.30}$), meşcere yaşı (t), bonitet endeksi (be) ve meşcere sıklığının (sd) fonksiyonu olarak tek ağaçların gelecek periyotlardaki boyu Kızılcıdam için aşağıdaki regresyon modeli ile hesaplanmıştır.

$$h = 15.553 + 0.256 d_{1.3} + 0.000207 t^2 - \frac{211.008}{t} + 0.00768 be^2 - \frac{97.179}{be} + 0.0218 sd^2 - 1.460 \ln sd \quad (163)$$

$$p < 0.001, R^2 = 0.907, S_{yx} = 1.921 \text{ m}, F_h = 17982.0$$

3.10.3 Tepe Boyutlarına İlişkin Bulgular

Tek ağaçların gelecek periyotlardaki tepe başlangıç yüksekliği ve tepe çapı, göğüs çapı ($d_{1.30}$), meşcere yaşı (t), bonitet endeksi (be) ve sıklık derecesinin (Sd) fonksiyonu olarak Kızılcıdam için aşağıdaki regresyon modelleri ile hesaplanmıştır.

$$tby = 5.261 + 0.149 d_{1.3} + 0.000202 t^2 - \frac{131.223}{t} + 0.00472 be^2 - \frac{48.807}{be} + 0.0215 sd^2 + \frac{2.581}{sd} \quad (164)$$

$$p < 0.001, R^2 = 0.800, S_{yx} = 1.936 \text{ m}, F_h = 7205.0$$

$$t\phi = 2.683 + 0.143 d_{1.3} - 0.0000118 t^2 + \frac{3.446}{t} - 0.059 be^2 - \frac{12.948}{be} + 0.078 sd^2 + \frac{1.580}{sd} \quad (165)$$

$$p < 0.001, R^2 = 0.704, S_{yx} = 1.084 \text{ m}, F_h = 3685.7$$

Tablo 29. Kızılcıdam için tek ağaçlarda hesaplanan bazı istatistiksel bilgiler

Özellik	Ortalama	Standart Sapma	Minimum	Maksimum
d1.30 (cm)	29,53	4,00	13,00	87,10
d0.30 (cm)	24,77	3,70	13,60	97,40
d5kbl (cm)	26,30	1,79	13,51	96,47
d10kbl (cm)	25,27	0,20	14,07	95,50
Ağaç Boyu (m)	14,09	2,50	6,38	34,00
Tepe Baş. Yük. (m)	7,30	0,30	4,60	25,50
Tepe Uzunluğu (m)	6,76	0,50	2,90	22,80
Tepe Çapı (cm)	5,40	0,80	2,60	16,00
Yaş (yıl)	53,63	10,00	30,00	165,00
Çap Art. (5 yıl, mm)	3,02	0,40	2,07	15,60
Çap Art (10 yıl, mm)	3,09	0,40	2,16	14,70
YE1	0,96	0,15	0,27	2,53
YE2	0,63	0,09	0,20	1,00
YE3	1,00	0,02	0,57	6,39
YE4	0,44	0,01	0,25	1,00
BAL	16,28	0,00	12,55	69,87
C66	7874,24	76,97	7060,85	61661,68
YE (Staebler)	23,29	0,00	29,35	149,39
YE (Hegyi)	4,08	0,00	6,55	98,60
YE (Sun)	5,21	0,00	8,98	143,70
YE (Alemdağ)	6,97	0,00	7,78	132,73
YE (Newnham)	2,73	0,00	5,85	102,55
YE (Bella)	5,25	0,00	10,39	97,32
YE (Opie)	62,30	0,00	50,33	199,82
YE (Erkan)	2,03	0,00	2,05	17,58
YE (Martin-Ek)	4,43	0,00	4,31	55,53
YE (Arney)	786,77	0,00	757,29	7971,52
YE (Tennent)	0,64	0,00	1,07	15,03

3.10.4 Tek Ağaç Çap Artım Modeline İlişkin Bulgular

Tek ağaç modellerinde en önemli aşama ağaçların çap artımının veya göğüs yüzeyi artımının modellenmesidir. Çünkü çap artımları, bugünkü ağaç çapına eklenerek gelecek büyüme

dönemi sonuna ilişkin ağaç çapları tahmin edilebilmekte ve ağaçların göğüs yüzeyi, hacim ve boy gibi diğer büyüme elemanları ise çap ile çok yüksek düzeyli ilişkiler göstermesi nedeniyle istatistiksel olarak çapın fonksiyonu ile tahmin edilebilmektedir. Bu amaçla 486 örnek alandan elde edilen verilere bağlı olarak altısı uzaklıktan bağımsız ve onbirisi ise uzaklığa bağlı olmak üzere toplam 17 adet yarışma endeksi hesaplanmıştır.

Proje kapsamında hesaplanan yarışma endeksleriyle ağaçların çap artımları arasındaki korelasyonlar incelendiğinde uzaklıktan bağımsız yarışma endekslerinden BAL (YE₅) yarışma endeksi en yüksek (r:-0.341) korelasyonu vermektedir. Bu yarışma endeksini takiben en yüksek korelasyonlar sırasıyla, C₆₆ uzaklıktan bağımsız yarışma endeksi (YE₆; r:-0.225), Staebler (1951) tarafından geliştirilen uzaklığa bağlı yarışma endeksi (YE₇; r:-0.208), Erkan (1996) tarafından geliştirilen uzaklığa bağlı yarışma endeksi (YE₁₄; r:-0.181) ve Arney (1978) tarafından geliştirilen uzaklığa bağlı yarışma endeksi (YE₁₆; r: -0.165) ile elde edilmiştir. Bu nedenle pratik açıdan yarışma endeksi olarak BAL değeri esas alınmıştır.

Tek ağaçların 5 ve 10 yıllık ortalama çap artımları hesaplanmış, daha anlamlı ve başarılı sonuçlar vermesi nedeniyle 5 yıllığa göre hesaplanmış yıllık çap artımı, geliştirilen modellerde bağımlı değişken olarak esas alınmıştır. Söz konusu modellerde bağımsız değişkenler olarak ise; tek ağaçların 5 yıl önceki göğüs çapı, ilgili türün meşcere ortalama yaşı ve bonitet endeksi, sıklık derecesi, karışım oranı, toplam ağaç sayısı ile uzaklıktan bağımsız ve uzaklığa bağlı yarışma endekslerine ilişkin değişkenler ve bu değişkenlerden türetilmiş çeşitli yeni değişkenler modellerde yer almışlardır. 5 yıl önceki göğüs çapı (periyot başındaki göğüs çapı), periyot sonundaki kabuksuz göğüs çapından kabuksuz olarak hesaplanan 5 yıllık çap artımı değerinin çıkartılması ve elde edilen kabuksuz göğüs çapın da hesaplanan kabuk faktörü değeri ile çarpılması ile elde edilmiştir. Böylece periyot başındaki çap değerinin fonksiyonu olarak gelecek 5 yıldaki çap artımı tahmin edilmiştir (Mısır, 2003). Geliştirilen modeller, α=0.05 önem düzeyinde anlamlı, belirtme katsayısı en yüksek, standart hatası, ortalama hatası ve ortalama mutlak hatası en düşük olan ve bilinen büyüme yasaları ile uyumlu sonuçlar veren çap artım modelleri seçilmiştir. Geliştirilen çap artım modellerine ilişkin parametrelerin tahmin değerleri ve bunlara ilişkin çeşitli istatistiksel bilgiler aşağıda verilmiştir.

$$\begin{aligned}
 tby = & 3.9078 - \frac{4.4722}{d_{1.30}} - 0.6992 \ln d_{1.30} - 0.8139 \ln t + 1.8387 - 0.8139 \ln be \\
 & - 0.3744 - 0.8139 \ln sd - 0.134 - 0.8139 YE (BAL) \\
 & - 0.0866 \ln YE (BAL)
 \end{aligned}
 \tag{166}$$

$$p < 0.001, R^2 = 0.744, S_{yx} = 0.678 \text{ mm}, F_h = 1411.1$$

Kızılçam için geliştirilen çap artım modelin belirtme katsayısı (R^2) 0.744 ve standart hatası ($S_{y,x}$) 0.678 mm, ve F_h değeri 1411.1'dir.

Göğüs çapının çap artımıyla olan ilişkisi eşit yaşı meşcerelerde doğrusal bir ilişki göstermekte ve meşcere yaşının artması ile birlikte doğrunun eğimi giderek azalmaktadır. Bu doğrusal ilişki meşcere yaşının artması ile birlikte parabol çizmektedir (Kalıpsız, 1998). Bu bakımdan, ağaçların göğüs çapının artması ile birlikte çap artımının artması, belli bir çap değerinden sonra ise çap artımının azalması beklenmektedir. Geliştirilen çap artımı modellerinde çap artımının belli bir çap değerine kadar artışı $1/d_{1.30}$ değişkeni, belli bir çap değerinden sonra çap artımının azalmasını $\ln d_{1.30}$ değişkeni sağlamaktadır.

Eşityaşlı meşcerelerde büyüme eğrilerinin büküm ve dönüm noktaları yaşa bağlı olarak geliştiğinden çap artım modellerinde yaş bir değişken olarak yer almalıdır (Akalp, 1983). Çalışma kapsamında, meşcere yaşı ile çap artımı arasında negatif yönde bir ilişki, maksimum çap artımlarını erken yaşlarda yapması ve ileriki yaşlarda da meşcere yaşının artmasına bağlı olarak ağaçların yaşlanması ile birlikte büyüme enerjilerinin azalmasının bir sonucu olabilir.

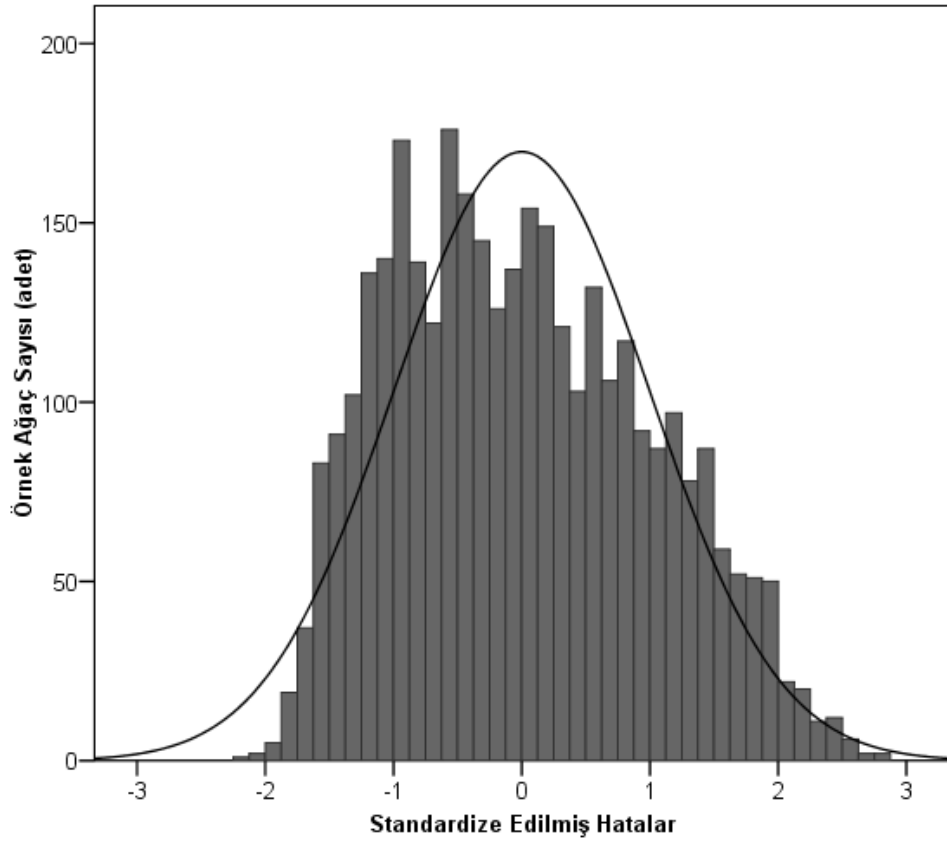
İyi bonitetteki meşcerelerde çap artımının daha fazla olacağı beklendiğinden, elde edilen tek ağaç modellerinde yetiştirme ortamı verim gücünün göstergesi olarak bonitet endeksi ile çap artımı arasında pozitif yönde ilişkiler belirlenmiştir.

Elde edilen tek ağaç modellerinde meşcerenin sıklık derecesi ile çap artımı değişkenleri arasında da negatif yönde bir ilişki saptanmıştır. Negatif ilişki, meşceredeki ağaçların yetiştirme ortamını kullanım derecesinin bir ölçüsü olan meşcere sıklığının çap artımı üzerindeki negatif yöndeki etkisinin bir sonucudur.

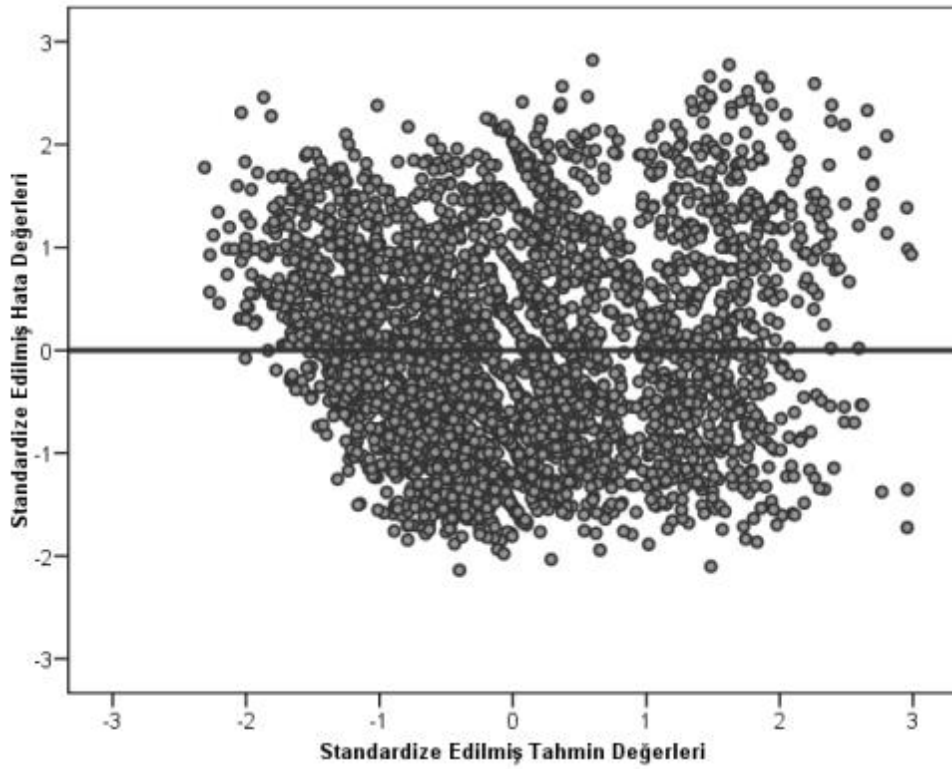
Yarışma endeksi değişkeni (BAL eşitliği ile hesaplanan) ile çap artımı arasında negatif yönde ilişkiler bulunmuştur. Belirlenen bu negatif ilişki, tek ağaçların komşu ağaçlardan gördüğü baskının göstergesi olan yarışma endekslerinin çap artımını olumsuz olarak etkilemesinin bir sonucudur. Diğer bir ifadeyle, yarışma endeksi değerlerinin artması konu ağaca komşu ağaçlardan gelen baskının daha fazla olduğunu ve dolayısıyla artımın daha az olduğunu göstermektedir.

3.10.5 Tek Ağaç Çap Artım Modelinin Denetimi ve Kontrolüne İlişkin Bulgular

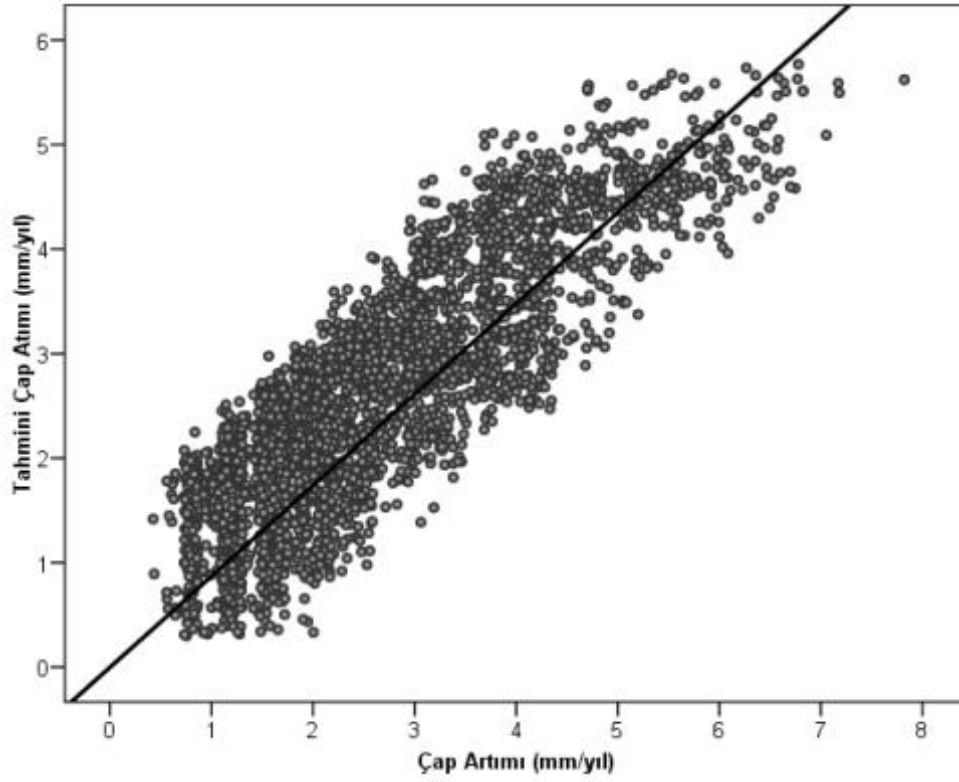
Model hataların normal dağılıp dağılmadığına ilişkin grafik Şekil 50'da verilmiştir.



Şekil 50. Kızılcām çap artımı modeline ilişkin hataların normal dağılım grafiği



Şekil 51. Kızılcām çap artımı modeline ilişkin çap artımı ile tahmini çap artımı arasındaki ilişki



Şekil 52. Kızılcıam çap artımı modeline ilişkin standardize edilmiş hataların standardize edilmiş tahmin değerlerine göre dağılımı

Tek ağaç çap artımı modellerine ilişkin değişen varyans sorununun belirlenmesinde kullanılan model hataların modelin tahmin değerlerine göre değişimi grafiği Şekil 51’de verilmiştir. Geliştirilen tek ağaç modellerinde hataların dağılımının rastgele olduğu ve belirli bir yönde bir eğilim göstermediği, dolayısıyla modellerde değişen varyans sorununun olmadığı görülmektedir (Şekil 51). Tek ağaç modellerine ilişkin gözlenen çap artımı değerleri ile tahmini çap artımı değerleri ilişkileri Şekil 52’de verilmiştir.

Çalışma kapsamındaki tek ağaç çap artımı modelinde *Durbin-Watson* katsayısına ilişkin değer 1.852 olarak bulunmuştur. Modellere ilişkin *Durbin-Watson* katsayılarının 2 değerine yakın olması modellerde *otokorelasyon* sorunun olmadığını göstermektedir.

Çoklu bağıntının belirlenmesinde, VIF “variance inflation factor” değerleri kullanılmıştır. Tek ağaç modellerine ilişkin her bir bağımsız değişken için hesaplanan VIF değerleri genellikle 2.41 ($\ln be$) ile 9.19 ($\ln d_{1.30}$) arasında değişmektedir. Bu çalışmadaki çap artımı modellerinde genellikle VIF değerinin 10’dan küçük olması ile regresyon modelleri için çoklu bağlantı sorunun söz konusu olmadığı görülmektedir (Kalıpsız, 1998). Geliştirilen çap artımı modellerinde de çap artımının belli bir çap değerine kadar artışını $1/d_{1.30}$ değişkeni, belli bir çap değerinden sonra çap artımının azalmasını $\ln(d_{1.30})$ değişkeni sağlamaktadır. Bu nedenle çap

artımı modellerinde her iki değişkenin yer almasıyla, yıllık çap artımları daha gerçekçi olarak tahmin edilebilecektir (Zhao vd., 2004).

Tek ağaç çap artımı modellerinin örneklenen topluma (popülasyona) istatistiksel olarak uygun olup olmadığı bağımsız bir veri grubu ile test edilmiştir. Modelde yapılan karşılaştırmada varyansların homojen olmadığı ($F=187.2$, $p<0.05$) belirlenmiştir. Çap artımı modelinin grup varyansları homojen olmadığından parametrik olmayan testlerden “*Wilcoxon İşaret Testi*” kullanılarak tahmini ve aktüel çap artımları karşılaştırılmıştır. Wilcoxon İşaret testi sonuçlarına göre model ($Z=-1.117$, $p=0.264$) ile tahmin edilen artım değerleri ve arazide ölçülen 5 yıllık ortalama çap artımları arasında $\alpha=0.05$ önem düzeyi ile istatistiksel olarak bir fark olmadığı sonucuna varılmıştır. Geliştirilen tek ağaç çap artım modelinin, bu modellerin geliştirilmesinde kullanılan verilerin alındığı Antalya ve Mersin Orman Bölge Müdürlüklerindeki meşcerelere uygun olduğu söylenebilir.

3.11 Meşcere Biyokütlesinin Belirlenmesine İlişkin Bulgular

Elde edilen tek ve çift girişli biyokütle modellerinin kontrolü yapıldıktan sonra tüm örnek alanlardaki ağaçların gövde, kabuk, dal, ibre ve toplam toprak üstü biyokütlenin fırın kurusu ağırlıklarının toplamı ayrı ayrı hesaplanmıştır. Daha sonra, seçilen tek ve çift girişli modellerle elde edilmiş olan bu değerler, hektara çevirme katsayıları ile çarpılarak örnek alanların alındığı Kızılçam meşcerelerinin birim alandaki toplam toprak üstü biyokütle miktarları belirlenmiştir. Son olarak da 486 örnek alanın gövde, kabuk, dal, ibre ve toplam toprak üstü biyokütlenin yaş sınıfları itibarıyla hem tek girişli hem de çift girişli model verilerine göre minimum, maksimum, ortalama ve standart sapma değerleri hesaplanmıştır (Ek Tablo 6). Burada yaş sınıfları, 0-10, 11-20, 21-30, 31-40, 41-50, 51-60, 61-80, 81-100 ve > 100 yıl olacak şekilde (9 yaş sınıfı) seçilmiştir.

Ek Tablo 6’daki değerlere bakıldığında Kızılçam meşcerelerinin tek girişli model sonuçlarına göre gövde biyokütleleri 0.1 ton/ha ile 306.2 ton/ha, dal biyokütlelerinin 0.1 ton/ha ile 82.2 ton/ha, ibre biyokütlelerinin 0.2 ton/ha ile 20.0 ton/ha, kabuk biyokütlesinin 0.1 ton/ha ile 50.7 ton/ha ve tüm ağaç biyokütlelerinin ise 2.1 ton/ha ile 479.4 ton/ha arasında değiştiği belirlenmiştir. Çift girişli model sonuçlarına göre ise gövde biyokütleleri 1.3 ton/ha ile 306.9 ton/ha, dal biyokütlelerinin 0.4 ton/ha ile 95.2 ton/ha, ibre biyokütlelerinin 0.5 ton/ha ile 20.3 ton/ha, kabuk biyokütlesinin 0.5 ton/ha ile 52.1 ton/ha ve tüm ağaç biyokütlelerinin ise 3.7 ton/ha ile 467.1 ton/ha arasında değiştiği belirlenmiştir (Ek Tablo 6).

3.12 Karbon Depolama ve Oksijen Üretim Kapasitesinin Belirlenmesine İlişkin Bulgular

Tek ağaçların karbon tutma kapasitesini belirlemek amacıyla biyokütle tabloları oluşturmak için kesilen göğüs yüzeyi orta ağaçlarının (323 adet ağaç) fırında kurutulan numuneleri kullanılmıştır. Bu ağaçlardan alınan gövde (dip, orta ve uç kısmından) kesitleri ile kabuk, dal ve ibresinden alınan örnekler (1972 adet numune) parçalanıp öğütülmüş ve elementel analiz cihazında karbon analizleri yapılmıştır.

Bu aşamada, söz konusu örneklerin karbon analizleri yapılmadan önce bu örneklerin nem tutma oranları belirlenmiştir. Bunun için de öğütülmüş numuneler, hem hava kurusu halde hem de tekrar fırında kurutularak tam kuru halde, ayrı ayrı karbon analizine tabi tutulmuşlardır. Yapılan analizler neticesinde ortalama %6,70 oranında nem kaybının olduğu tespit edilmiş ve hesaplanan bu nem kaybı oranı analiz yapılan tüm örneklerle eklenerek tam kuru haldeki karbon tutma oranları belirlenmiştir.

Tablo 30. Kızılçam meşcerelerinin ağaç gövde bileşenlerine göre yüzde cinsinden karbon depolama kapasitesi

Biyokütle Bileşeni	Adet	Ortalama	Minimum	Maksimum
Gövde Dip Kesit	353	50,96	43,74	61,11
Gövde Orta Kesit	280	50,56	43,86	54,43
Gövde Uç Kesit	280	50,59	45,78	57,10
Toplam Gövde	913	50,72	44,40	57,83
Dal	353	50,80	42,20	54,98
İbre	353	51,71	38,98	55,58
Kabuk	353	56,34	39,47	60,06
Genel Toplam	1972	51,92	38,98	61,11

Yapılan analiz sonucunda her bir örneğin fırın kurusu ağırlığına karşılık gelen karbon oranları (%C) elde edilmiştir. Daha sonra ağaç bileşenleri (gövde, kabuk, dal ve ibre) için ayrı ayrı ortalama karbon oranları hesaplanmıştır. Yapılan analizler ve hesaplamalar sonucunda bir Kızılçam ağacının bileşenlerinde farklı oranlarda karbon depolandığı tespit edilmiştir. Ağaç bileşenlerine göre karbon depolama yüzdeleri en düşük değerden en yükseğe doğru sırasıyla % ibrede %50.80, gövdede %50.72, ibrede %51.71 ve kabukta %56.34 olarak elde edilmiştir. Ayrıca gövde üzerinde 3 farklı konumdan alınan örneklerin analizi sonucu gövdenin dip

kısımında (%50,96) orta ve uç kısımlara göre çok az miktarda da olsa, daha fazla karbon depolandığı, orta ve uç kısımlarda ise birbirine çok yakın miktarda (sırasıyla %50,56 ve %50,59) karbon depolandığı belirlenmiştir (Tablo 30).

Ayrıca her örnek alan için 2 farklı şekilde (tek ve çift girişli biyokütle modelleriyle) elde edilmiş olan toprak üstü biyokütle değerleri, ilgili karbon yüzde değerleriyle çarpılarak, 486 örnek alanın birim alan bazında ortalama karbon tutma kapasitesi belirlenmiştir (Ek Tablo 7). Daha sonra 486 örnek alanın gövde, kabuk, dal, ibre ve toplam toprak üstü karbon depolama kapasitelerinin minimum, maksimum, ortalama ve standart sapma değerleri yaş sınıfları itibarıyla hesaplanmıştır. Burada yaş sınıfları, 0-10, 11-20, 21-30, 31-40, 41-50, 51-60, 61-80, 81-100 ve > 100 yıl olacak şekilde (9 yaş sınıfı) seçilmiştir.

Ek Tablo 7'deki değerlere bakıldığında Kızılçam meşcerelerinin tek girişli model sonuçlarına göre karbon depolama kapasiteleri 0.62 ton/ha ile 151.59 ton/ha, dal biyokütlesinin 0.02 ton/ha ile 41.73 ton/ha, ibre biyokütlesinin 0.08 ton/ha ile 10.31 ton/ha, kabuk biyokütlesinin 0.03 ton/ha ile 28.58 ton/ha ve tüm ağaç biyokütlesinin ise 1.07 ton/ha ile 248.89 ton/ha arasında değiştiği belirlenmiştir. Çift girişli model sonuçlarına göre ise gövde biyokütlesi 0.65 ton/ha ile 155.66 ton/ha, dal biyokütlesinin 0.19 ton/ha ile 48.35 ton/ha, ibre biyokütlesinin 0.24 ton/ha ile 10.49 ton/ha, kabuk biyokütlesinin 0.25 ton/ha ile 29.33 ton/ha ve tüm ağaç biyokütlesinin ise 1.94 ton/ha ile 239.42 ton/ha arasında değiştiği belirlenmiştir (Ek Tablo 7). Kızılçam meşcereleri için ağaç bileşenleri bazında hem biyokütle hem de ortalama karbon tutma kapasiteleri aşağıda verilmiştir (Tablo 31).

Tablo 31. Örnek alanların ağaç bileşenlerine göre hesaplanmış toprak üstü biyokütlesine karşılık gelen karbon depolama miktarları (ton/ha)

Ağaç Bileşeni	Tek Girişli Biyokütle Modellerine Göre Hesaplanan		Çift Girişli Biyokütle Modellerine Göre Hesaplanan	
	Ort. FKA	Ort. C	Ort. FKA	Ort. C
Gövde	74.43	37.77	74.67	37.87
Dal	18.40	9.33	16.30	8.28
Kabuk	13.67	7.70	13.33	7.51
İbre	4.67	2.41	4.75	2.46
Σ TÜBK	114.74	59.57	112.91	58.62

Daha sonra ortalama oksijen üretim kapasitesinin hesaplanmıştır. Kızılçamın birim alandaki ortalama oksijen üretimini hesaplayabilmek için Bölüm 2.2.11'de belirtilen Eşitlik 103

kullanılmıştır. Buna göre tek girişli biyokütle modellerine göre birim alanda 69.48 ton, çift girişli biyokütle modellerine göre birim alanda 67.75 ton oksijen üretimi gerçekleşmektedir.

3.13 Odun Çeşidi Oranlarının Saptanmasına İlişkin Bulgular

Kızılçam tek girişli odun ürün çeşitleri tablosu düzenlenmesi için, Bölüm 2.2.13'de belirtildiği gibi kesilmiş olan her bir ağacın (872 ağaç) arazide ürün çeşitleri belirlendikten sonra çap kademeleri itibarıyla kabuk oranları ve odun ürün çeşidi oranları (%) bulunmuştur. Elde edilen bu veriler yardımıyla ilgili ağaçların odun ürün çeşitlerinin kabuksuz hacimlerine karşılık gelen (tomruk, sanayi odunu, maden direği ve kabuk) yüzde (%) oranlarıyla aynı ağaçların göğüs çapları ($d_{1,3}$) ilişkiye getirilerek regresyon analizleri yapılmıştır. Odun ürün çeşitleri oranlarını belirleyebilmek için test edilen modellerden en uygun olanına karar verebilmek amacıyla belirtme katsayıları (R^2), tahminin standart hataları (S_{yx}), hesaplanmış ve seçilen modeller aşağıda verilmiştir. Modellere ilişkin istatistiksel bilgiler Tablo 32'de ve şekiller Şekil 53-56'da verilmiştir.

$$\text{Tomruk} \quad \log Y = 2.1791 - 0.003378 d - \frac{306.6098}{d^2} \quad (167)$$

$$\text{Sanayi Odunu} \quad \log Y = 4.2611 - 1.0838 \log d^2 - \frac{40.5901}{d^2} \quad (168)$$

$$\text{Maden Direği} \quad \log Y = 2.9114 - 0.000229 d^2 - 0.5317 \log d^2 \quad (169)$$

$$\text{Kabuk Oranı} \quad \log Y = 1.4559 - 0.00198 d + 0.0661 \log \left(\frac{1}{d} \right) \quad (170)$$

Tablo 32. Odun ürün çeşidi modellerine ilişkin istatistiksel sonuçlar

Odun Çeşidi	R^2	S_{yx}	Önem Düzeyi	df
Tomruk	0.855	0.051	<0.001	1.0070
Sanayi Odunu	0.843	0.135	<0.001	1.0500
Maden Direği	0.947	0.086	<0.001	1.0198
Kabuk Oranı	0.972	0.006	<0.001	1.0001

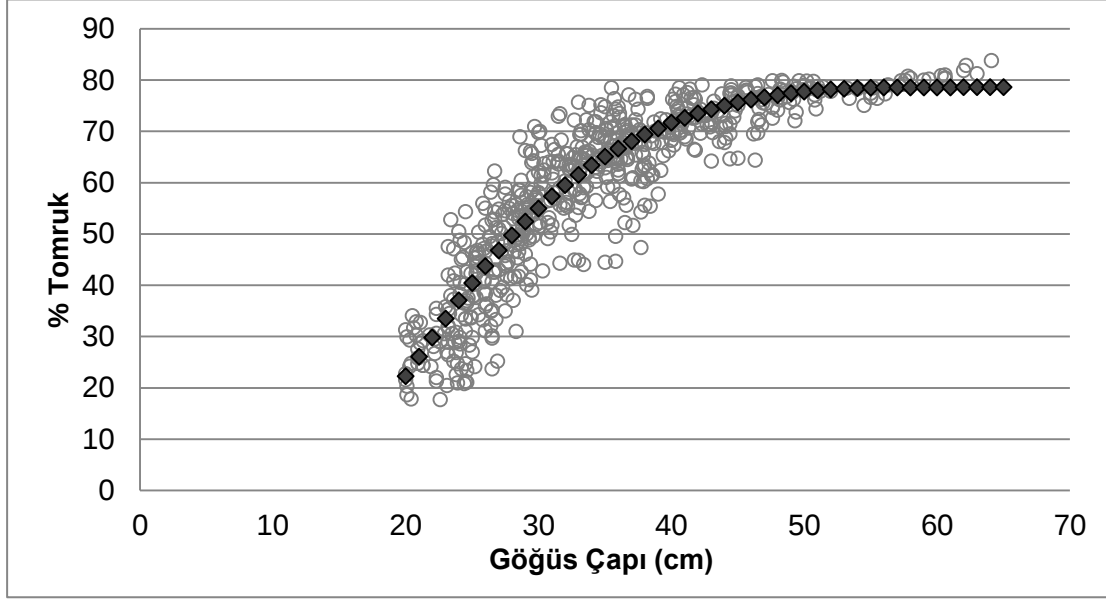
Burada Y, odun çeşidini, d göğüs çapını ve df ise düzeltme faktörünü göstermektedir.

Yukarıdaki denklemler logaritma olarak hesap yapılması nedeniyle oluşan sistematik hatanın giderilmesi için ise, antilogaritması alınarak bulunan değerlerin bir düzeltme faktörü ile

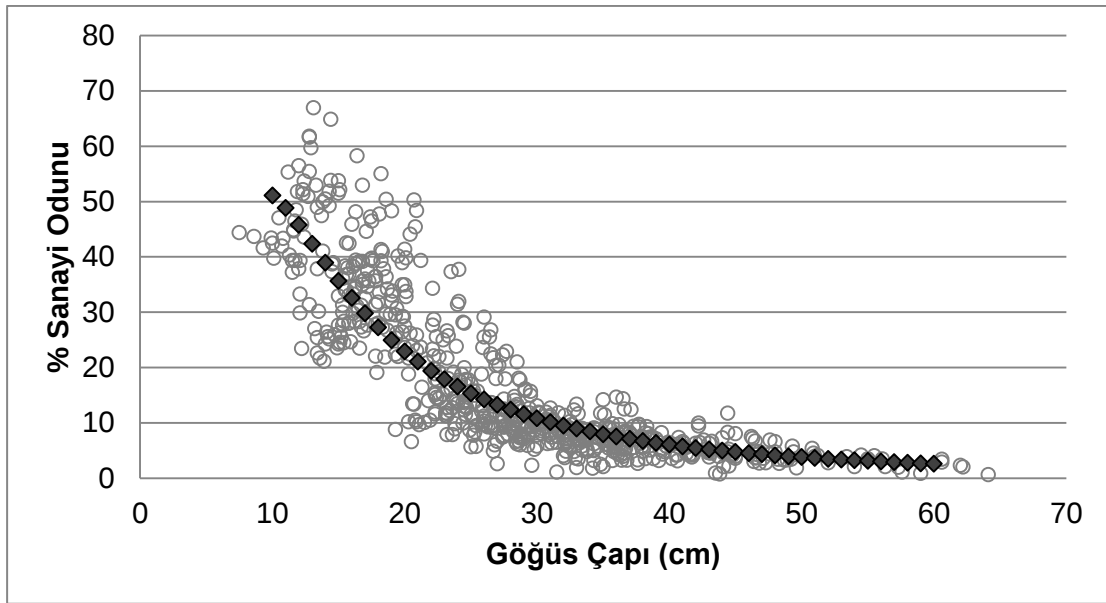
çarpılması gerekmektedir (Spurr, 1952; Alemdağ, 1962; Akalp 1978a). Düzeltme faktörü, logaritma dönüşümleri için aşağıdaki eşitlik kullanılmıştır.

$$df = 10^{1,1513.Syx^2}$$

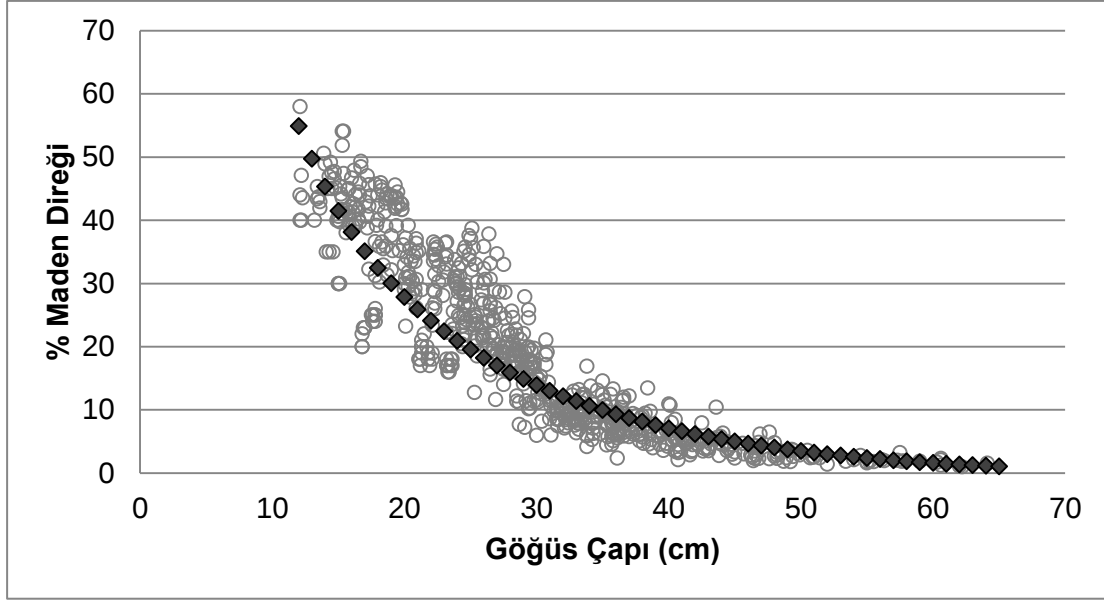
(171)



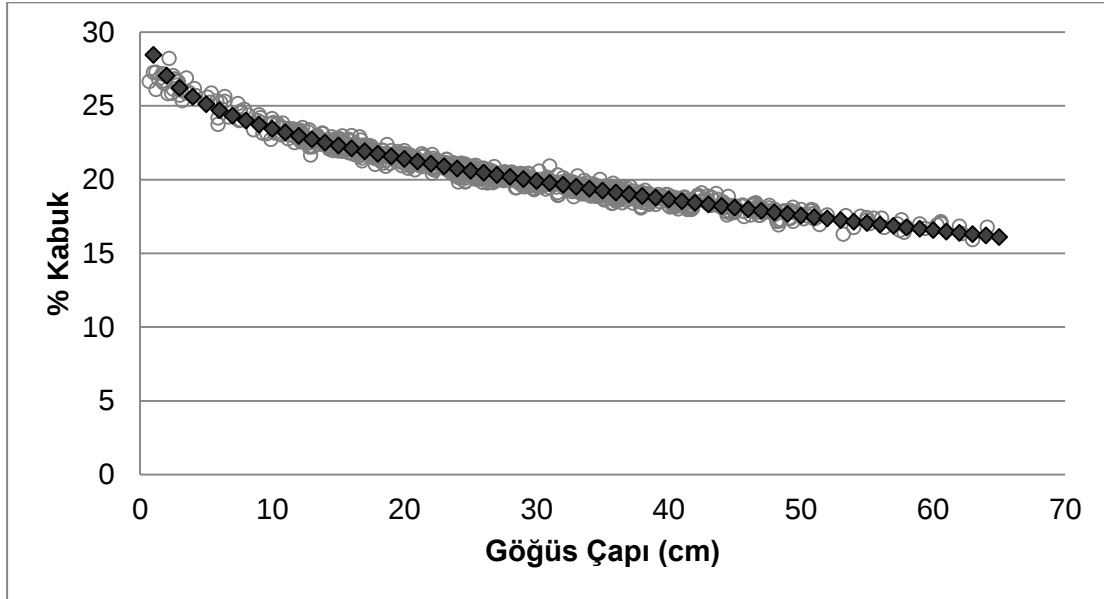
Şekil 53. Tek ağaç tomruk oranı ile göğüs çapı arasındaki ilişki



Şekil 54. Tek ağaç sanayi odunu oranı ile göğüs çapı arasındaki ilişki



Şekil 55. Tek ağaç maden direği oranı ile göğüs çapı arasındaki ilişki



Şekil 56. Tek ağaç kabuk oranı ile göğüs çapı arasındaki ilişki

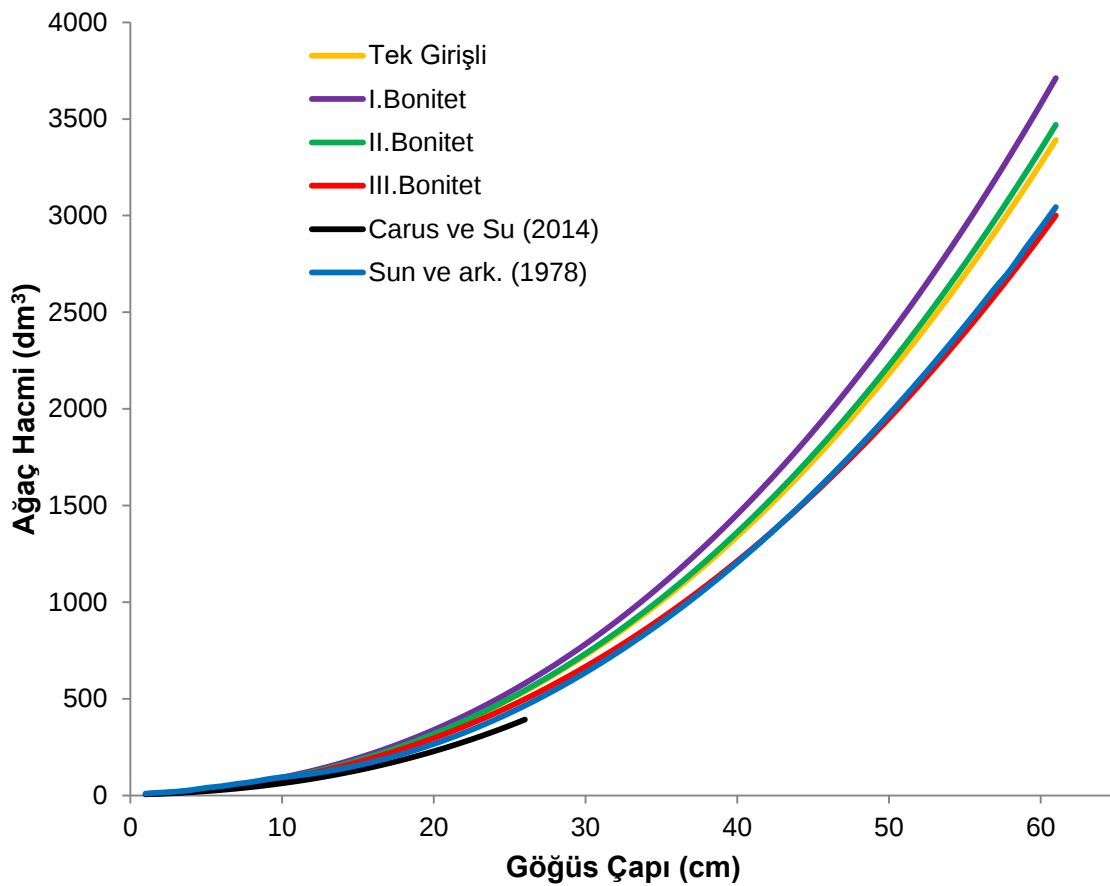
Üretilen tek girişli odun ürün çeşitleri modelleriyle, bir ağaçtaki tomruk, sanayi odunu ve maden direği oranları hesaplanmış, bu değerlerin toplamının 100'den çıkarılmasıyla da; ağaçtaki yakacak oranı bulunmuştur. Ayrıca bu değerlere kabuk oranı da hesaplanarak eklenmiş ve "Kızılçam Tek Girişli Odun Ürün Çeşitleri Tablosu" oluşturulmuştur (Ek Tablo 8).

4 TARTIŞMA

4.1 Ağaç Hacim Tablolarına İlişkin Tartışma

4.1.1 Tek Girişli ve Bonitete Dayalı Ağaç Hacim Tablolarına İlişkin Tartışma

Çalışma kapsamında elde edilen Kızılcām ağaç türüne ilişkin tek girişli ağaç hacim modeli ve bonitete dayalı tek girişli ağaç hacim modelleri, Carus ve Su (2014) tarafından, Antalya-Korkuteli Yöresi Kızılcām ağaçlandırmaları için ve Sun vd.. (1978) tarafından çeşitli yetiştirme ortamları için oluşturdukları tek girişli ağaç hacim modeliyle kıyaslanmıştır (Şekil 57).



Şekil 57. Ağaçların hacimlerinin göğüs çapı ve ağaç boyuna göre değişimi

Şekil 57 incelendiğinde; çalışma kapsamında üretilen tek girişli ağaç hacim modelinin; Carus ve Su (2014) tarafından oluşturulan ağaç hacim modeline göre hep daha yüksek; Sun vd. (1978) tarafından yapılan çalışmadan da 12 cm çapa kadar düşük, sonraki çaplarda daha yüksek sonuç verdiği görülmektedir. Bu farkın, Carus ve Su (2014)'nın çalışmasının ağaçlandırma alanlarındaki bu çalışmanın ise doğal Kızılcām meşcerelerinde yapılmasından

kaynaklandığı; ayrıca Sun vd. (1978)'nin çalışması birkaç yöreyi kapsıyorken, bu çalışmanın farklı bir yörede (yöresel) olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir.

Diğer taraftan, çalışma kapsamında üretilen bonitete dayalı tek girişli ağaç hacim modelleri ile tek girişli ağaç hacim modeli karşılaştırılmıştır. I. bonitete ilişkin model, tek girişli ve diğer bonitetler için oluşturulan modellere göre daha yüksek sonuç vermekteyken; III. bonitete ilişkin model, tek girişli ve diğer bonitetler için oluşturulan modellere göre daha düşük sonuçlar vermektedir. II. bonitete ilişkin model, tüm çaplarda I. bonitete göre düşük III. bonitete göre ise yüksek sonuçlar vermektedir. Üretilen tek girişli ağaç hacim modeli, tüm çaplarda III. bonitet için üretilen modelden daha yüksek, I. bonitet için üretilen modelden daha düşük ve 20 cm çapına kadar II. bonitet için üretilen modelden daha yüksek daha yüksek çaplarda ise daha düşük sonuçlar vermektedir (Şekil 57).

Ayrıca bu çalışmada üretilen tek girişli ağaç hacim modeli ile bonitete dayalı tek girişli ağaç hacim modelleri kıyaslanmıştır. Bunun için modellerin uygunluğunda kullanılan bağımsız veriler, her iki yöneme göre de hacimlendirilerek ortalamalar, aralarındaki farklar ve oranlar hesaplanmıştır (Tablo 33).

Tablo 33. Ağaçların hacimlerinin göğüs çapı ve ağaç boyuna göre değişimi

Bonite t Sınıfı	N	Ortalama Fark	Ortalama Fark Yüzdesi (%)	Ortalama Hacim Tek Girişli (dm3)	Ortalama Hacim (dm3)	t	p
I	347	-25.72	-6,32	337.71	363.44	- 13.3	<0.0 5
II	553	-1.79	-0.45	332.46	334.25	-1.88	0.06
III	307	21.68	4.28	312.07	290.39	11.6 4	<0.0 5

Tek girişli ve bonitete dayalı tek girişli ağaç hacim modelleri arasında bir farkın olup olmadığının belirlenmesinde, her bir bonitet sınıfı için ayrı ayrı olacak şekilde kontrol verileri bonitet sınıfı için oluşturulan modeller ve tek girişli ağaç hacim modeli ile hacimlendirilmiş ve elde edilen değerler “Eşleştirilmiş Örneklem T-Testi” kullanılarak kıyaslanmıştır. Eşlendirilmiş Örnekler İçin t Testi (Paired t Test) sonuçlarına göre t istatistik değerleri sırasıyla, I. Bonitet Sınıfı için $t=-13.38$ ve önem düzeyi $p<0.05$, II. Bonitet Sınıfı için $t=-1.88$ ve önem düzeyi $p=0.06$ ve III. Bonitet Sınıfı için $t=11.64$ ve önem düzeyi $p<0.05$ olarak bulunmuştur. Analiz sonucunda I. ve III. Bonitet Sınıflarında önem düzeyleri %5'den küçük olduğundan tek girişli model ile I. ve III. bonitete dayalı tek girişli modeller arasında istatistiki olarak anlamlı farklılığın olduğu, II. Bonitet Sınıfında ise p değeri, 0,05'ten ($p=0,06$) büyük olduğundan tek girişli model ile II. Bonitet Sınıfı için bonitete dayalı tek girişli model arasında istatistiki olarak bir fark olmadığı anlaşılmıştır. Böyle bir sonuç beklentileri karşılamaktadır. Yani Kızılçam meşçereleri için geliştirilen tek girişli ağaç hacim modelleri I. bonitet sınıfındaki ağaçlar için düşük ve III. Bonitet

sınıfındaki ağaçlar için ise yüksek tahminler yapmaktadır. Bununla birlikte orta bonitet sınıfındaki meşcerelerdeki ağaçlar için tek girişli ağaç hacim modeli, II. bonitet sınıfı için oluşturulan ağaç hacim modelleri ile istatistiksel olarak aynı tahminler vermektedir.

Yukarıdaki tabloda ortalama fark sütunu; tek girişli ağaç hacim tablo değerinden ilgili bonitet sınıfı tablo değerinin farkı alınarak hesaplanmıştır (Tablo 33). Tabloda da görüldüğü üzere, tek girişli ağaç hacim tablosu değeri, I. ve II. Bonitet Sınıflarında bonitete dayalı tek girişli ağaç hacim modelleri değerinden düşük olup bu fark I. Bonitet Sınıfı için %-6.32 ve II. Bonitet Sınıfı için ise %-0.45'dir. Oysa III. Bonitet Sınıfında tek girişli ağaç hacim modeli, bonitete dayalı tek girişli ağaç hacim modelinden %4.28 daha büyük değerler vermektedir. Bunun anlamı hacimlendirme yapılırken tek girişli ağaç hacim modeli kullanıldığı zaman I. ve II. Bonitet Sınıflarında düşük değerler elde edilirken, III. Bonitet Sınıfında ise yüksek değerler elde edilmektedir.

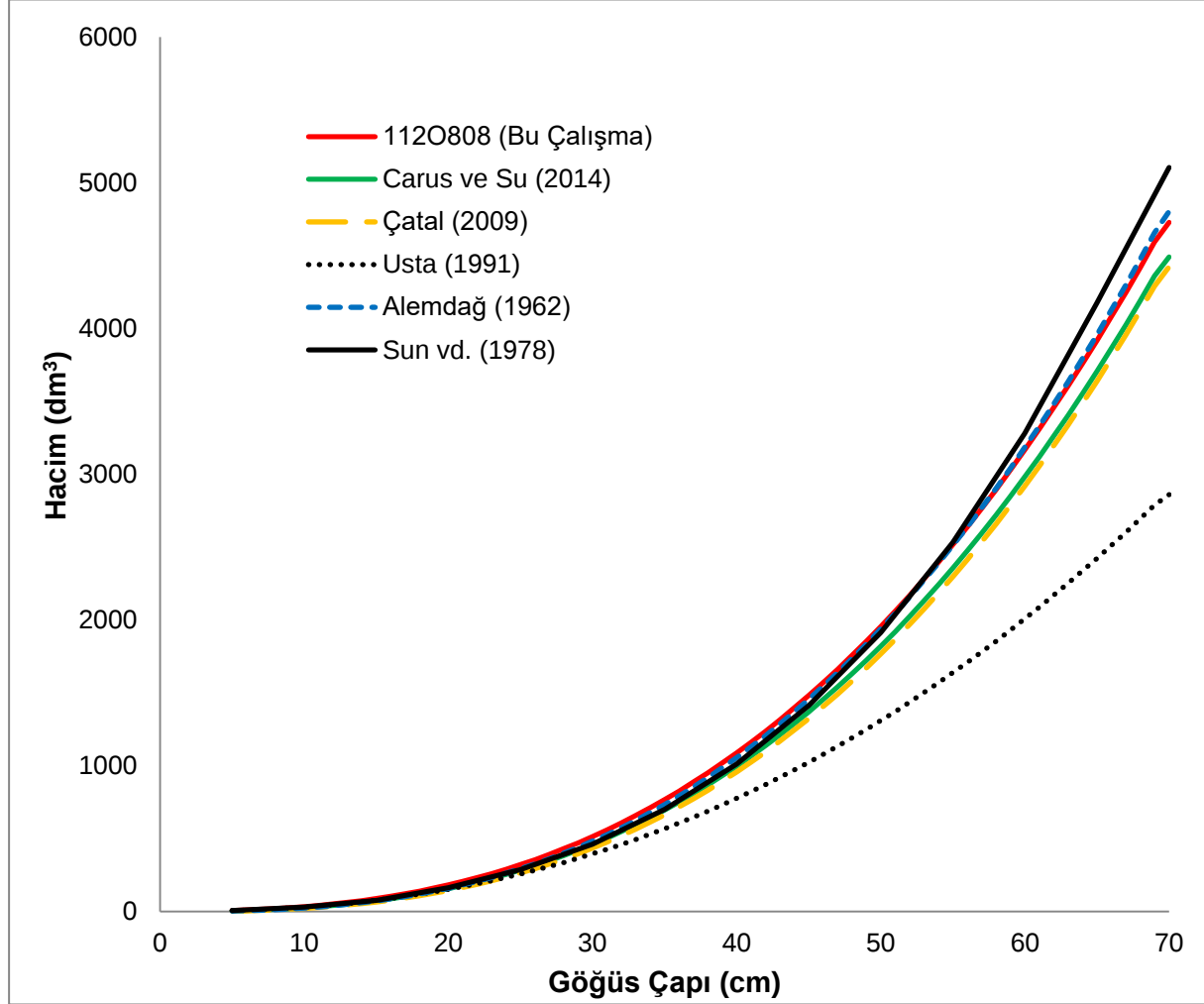
4.1.2 Çift Girişli Ağaç Hacim Tablolarına İlişkin Tartışma

Kızılcım için geliştirilen çift girişli ağaç hacim denklemi istatistiksel ölçütler bakımından uygun olup tek girişli olanlarının dahi mutlak hataları %10'un altında kalmıştır. Geliştirilen hacim denklemleri oldukça fazla sayıda örnek ağaç ile oluşturulduklarından, örnek ağaçların çap ve boy basamaklarına dağılımı da homojendir. Her tür için geliştirilen hacim denklemi, bağımsız bir veri kümesi ile kontrol edilerek Kızılcım meşcerelerinde kullanılabilecekleri sonucuna varılmıştır.

Çalışma kapsamında elde edilen çift girişli ağaç hacim modeli; Carus ve Su (2014)'nın, Antalya-Korkuteli Yöresi Kızılcım ağaçlandırmaları için; Çatal (2009)'ın, Batı Akdeniz Kızılcım meşcereleri için; Usta (1991)'nin Kızılcım ağaçlandırma alanları için; Sun vd. (1978)'nin çeşitli yetişme ortamları için ve Alemdağ (1962)'in ülkemizdeki tüm Kızılcım meşcereleri için yapmış oldukları çift girişli ağaç hacim modelleriyle kıyaslanmıştır (Şekil 58).

Şekil 58 incelendiğinde; çalışma kapsamında üretilen çift girişli ağaç hacim modelinin tüm çaplarda Çatal (2009) ve Carus ve Su (2014) tarafından hazırlanan çift girişli ağaç hacim modellerinden daha yüksek sonuç verdiği görülmektedir. Usta (1991) tarafından üretilen ağaç hacim modeli, 8 cm çapına kadar bu çalışmada üretilen çift girişli ağaç hacim modeli değerlerinden daha yüksek ve bu çaptan daha kalın çaplılar için ise daha düşük değerler vermektedir. Diğer taraftan Alemdağ (1962) ve Sun vd. (1978) tarafından elde edilen çift girişli ağaç hacim değerleri 55 cm çapına kadar bu çalışmada elde edilen çift girişli ağaç hacim modeli değerlerinden daha düşük ve bu çaptan daha kalın çaplılar için ise daha yüksek değerler vermektedir. Ayrıca çalışma kapsamında üretilen çift girişli ağaç hacim modelinin 25 cm çapına kadar Sun vd. (1978) modeli ve 25 cm çapından daha kalın çaplılarda ise Alemdağ (1962) tarafından üretilen çift girişli ağaç hacim modeli ile en yakın sonuçlar vermektedir.

Üretilen çift girişli modelin, diğer çift girişli modellerden daha yüksek sonuç vermesinin, yine üretilen çift girişli ağaç hacim modelinin farklı yörede (yöresel) olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir.



Şekil 58. Çift girişli ağaç hacim modellerinin kıyaslanması

Diğer taraftan elde edilen toplam hata yüzdesinin % 1'den daha düşük ve ortalama mutlak hata yüzdesinin ise %10'dan daha düşük olması önerilmektedir (Bruce, 1920; Chapman ve Meyer, 1949; Loetsch vd. 1973; Husch, 1963; Özer ve Uğurlu 1977; Çevik 1993). Bruce'a göre toplam farkın $\pm$ % 0,5'ten daha küçük olması gerekir. Bu fark $\pm$ % 1'e kadar kabul edilebilir. Bunu aşması durumunda hata yapılmış olunur (Husch, 1963). Böyle hallerde yeni tabloların düzenlenmesi gerekir. Ortalama mutlak hata yüzdesinin ise iyi ağaç hacim tablolarında genellikle $\pm$ % 8'in altında olduğu belirtilmektedir (Chapman ve Meyer, 1949).

Bu çalışma kapsamında üretilen tek girişli, bonitete dayalı tek girişli ve çift girişli ağaç hacim modellerinin hem toplam hata hem de ortalama mutlak hata yüzdeleri kabul edilen hata

sınırlarını aşmamaktadır. Bu da bu modellerin kabul edilebilir olduklarını ve çalışma alanlarındaki meşcerelerdeki ağaçların hacimlerinin doğruya yakın tahmin edilebileceklerini göstermektedir. Şöyle ki: Toplam Hata Yüzdeleri (%TH) Kızılçam tek girişli, I. bonitet, II. bonitet, III. bonitet ve çift girişli modeller için sırasıyla, -0.457, -0.438, -0.464, 0.210 olarak elde edilmiştir. Diğer taraftan aynı modellerin Ortalama Mutlak Hata Yüzdeleri (%OMH) tek girişli, I. bonitet, II. bonitet, III. bonitet ve çift girişli modeller için sırasıyla, 9.756, 9.849, 9.501, 9.256 ve 5.038'dir.

Ayrıca bu aşamada; çalışma kapsamında üretilen Kızılçam çift girişli ağaç hacim modeli değerleri; daha önce, doğal Kızılçam meşcereleri için hazırlanmış olan diğer çift girişli ağaç hacim modellerinin değerleriyle karşılaştırılmıştır. Karşılaştırmada kullanılan tablolar çift girişli oldukları için; her iki tabloya göre hesaplanan hacim değerlerinin, farklarının ortalaması ve yüzdesi kullanılmıştır. Bu çalışma kapsamındaki kontrol verileri kullanılarak elde edilen sonuçlar aşağıda verilmiştir. Ayrıca aynı çap ve boy değerleri kullanılarak silindir hacmi de hesaplanmış ve ortalama şekil katsayısı bulunmuştur (Tablo 34).

Tablo 34'de görüleceği gibi bu çalışma kapsamında üretilen modele ait hacim değerleriyle hâlihazırda kullanılan, Alemdağ (1962) tarafından üretilen model arasında; yaklaşık %9.4 fark olduğu görülmektedir. Farkın pozitif olması, bu çalışmada üretilen ağaç hacim modelinin Alemdağ (1962)'a göre genellikle daha yüksek sonuçlar verdiğini ifade etmektedir. Ancak, 55 cm çapından sonra farkın negatif olması, bu çaptan daha kalın çaplı ağaçlarda Alemdağ (1962) modelinin hacim değerlerinin daha yüksek değer verdiği anlaşılmaktadır. Fark, ince çaplarda fazla iken (yaklaşık %35) kalın çaplara gidildikçe azalmaktadır, hatta 55 cm çapından sonra fark negatif olmaktadır. Benzer durum Sun vd. (1978) tarafından üretilen model ile bu çalışmada üretilen çift girişli ağaç hacim modelleri arasında da görülmektedir. Sun vd. (1978) tarafından üretilen model arasında; yaklaşık %7.0 fark olduğu görülmektedir. Farkın pozitif olması, bu çalışmada üretilen ağaç hacim modelinin Sun vd. (1978)'a göre genellikle daha yüksek sonuçlar verdiğini ifade etmektedir. Ancak, 55 cm çapından sonra farkın negatif olması, bu çaptan daha kalın çaplı ağaçlarda Sun vd. (1978) modelinin hacim değerlerinin daha yüksek değer verdiği anlaşılmaktadır. Diğer taraftan, çalışma kapsamında üretilen modele ait hacim değerleriyle, Çatal (2009) tarafından üretilen model arasında, yaklaşık %17.5 oranında bir fark olduğu tespit edilmiştir. Bu farkların sebebinin de, yine yapılan çalışmanın yöresel olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir. Çünkü toprak ve iklim özellikleri yöreye göre farklılık göstermektedir. Bu da yetiştirme ortamı verim gücünü etkileyeceği gibi, dolaylı olarak ağaç hacimlerini de etkilemektedir.

Tablo 34. Çift girişli ağaç hacim modelleri kıyaslama verileri

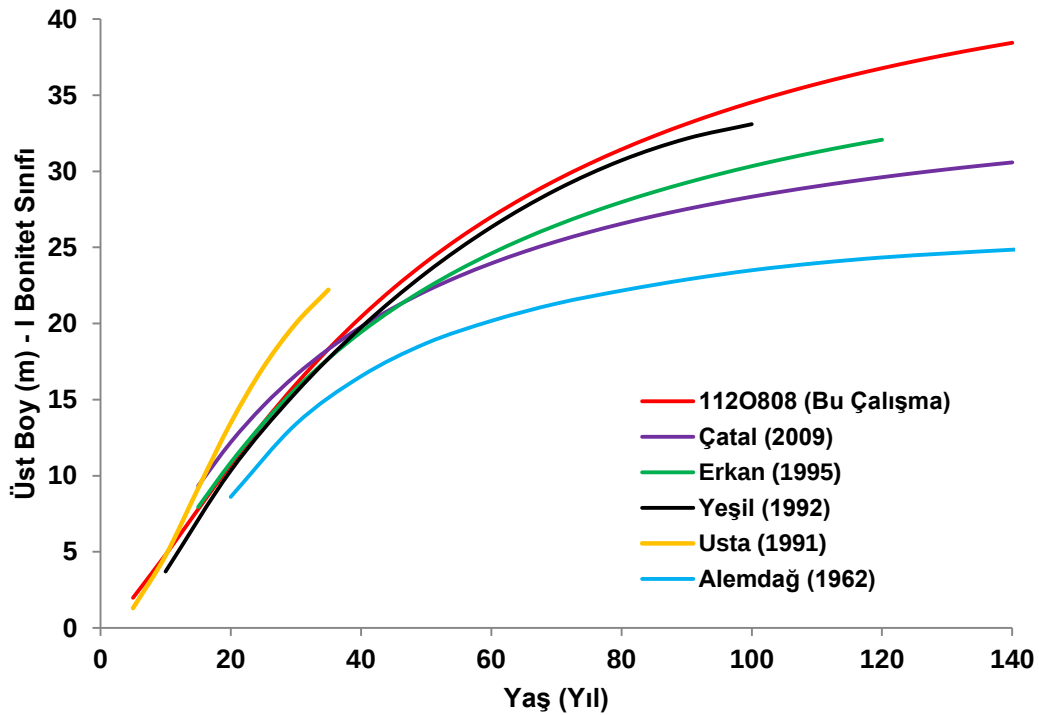
Göğüs Çapı (cm)	Ağaç Boy (m)	Hacim 1120808 (dm ³)	Fark Çatal (2009)	Fark Alemdağ (1962)	Fark Sun vd. (1978)	%Fark Çatal (2009)	%Fark Alemdağ (1962)	%Fark Sun vd. (1978)	Silindir Hacmi (dm ³)	f
6	5	11,9	5,5	5,2	1,1	46,5	44,2	9,0	14,1	0,84
8	6	21,4	8,3	7,4	2,0	38,9	34,8	9,3	30,1	0,71
10	7	35,0	11,8	9,9	3,5	33,6	28,2	10,0	55,0	0,64
12	8	53,3	15,9	12,5	5,8	29,8	23,4	10,9	90,4	0,59
14	9	77,1	20,7	15,2	8,9	26,8	19,7	11,6	138,5	0,56
16	10	107,0	26,1	17,9	12,8	24,4	16,7	12,0	201,0	0,53
18	11	143,7	32,3	20,7	17,5	22,5	14,4	12,2	279,8	0,51
20	12	187,8	39,1	23,4	23,0	20,8	12,5	12,3	376,8	0,50
22	13	240,0	46,5	26,1	29,2	19,4	10,9	12,2	493,9	0,49
24	13	281,6	51,3	25,8	30,4	18,2	9,1	10,8	587,8	0,48
26	14	348,9	59,7	27,9	37,0	17,1	8,0	10,6	742,9	0,47
28	15	426,0	68,8	29,9	43,9	16,1	7,0	10,3	923,2	0,46
30	16	513,7	78,4	31,6	51,1	15,3	6,2	9,9	1130,4	0,45
32	17	612,5	88,6	33,2	58,1	14,5	5,4	9,5	1366,5	0,45
34	18	723,1	99,4	34,5	64,9	13,7	4,8	9,0	1633,4	0,44
36	19	846,0	110,6	35,5	71,0	13,1	4,2	8,4	1933,0	0,44
38	19	936,6	117,1	30,8	65,5	12,5	3,3	7,0	2153,7	0,43
40	20	1081,7	129,1	30,8	68,9	11,9	2,8	6,4	2512,0	0,43
42	21	1241,0	141,4	30,5	70,9	11,4	2,5	5,7	2908,0	0,43
44	22	1415,0	154,2	29,7	70,9	10,9	2,1	5,0	3343,5	0,42
46	22	1539,3	161,2	21,5	55,6	10,5	1,4	3,6	3654,3	0,42
48	23	1739,3	174,4	19,5	50,1	10,0	1,1	2,9	4159,9	0,42
50	24	1955,7	187,8	17,1	41,5	9,6	0,9	2,1	4710,0	0,42
52	25	2189,2	201,5	14,3	29,3	9,2	0,7	1,3	5306,6	0,41
54	26	2440,3	215,4	11,0	12,7	8,8	0,4	0,5	5951,6	0,41
56	26	2615,4	222,5	-2,5	-22,5	8,5	-0,1	-0,9	6400,6	0,41
58	27	2897,3	236,5	-7,3	-49,1	8,2	-0,3	-1,7	7130,0	0,41
60	28	3198,6	250,5	-12,6	-81,4	7,8	-0,4	-2,5	7912,8	0,40
Ortalama			105,5	19,3	27,6	17,5	9,4	7,0	-	0,49

Diğer taraftan, çalışma kapsamında üretilen modele ait hacim değerlerinin ortalama şekil katsayısı da 0,49 bulunmuştur (Tablo 34). Bu da modelin uygun bir sonuç verdiğini göstermektedir. Sonuç olarak, çalışma kapsamında elde edilen ağaç hacim modelleri, en uygun belirtme katsayısına (R^2) ve en düşük standart hata (S_{yx}), toplam hata ve ortalama mutlak hata yüzdelere göre seçilmiştir. Ayrıca seçilen model, büyüme kanuniyetlerine uygun sonuçlar vermiştir. Bu da çalışmamızda elde edilen ağaç hacim modellerinin kullanılabilir ve çalışma alanı olan Antalya ve Mersin Yöresi için genelleştirilebilir olduğunu göstermektedir. Ancak belirlenen modellerin hata oranları göstermektedir ki; bonitete dayalı tek girişli ağaç

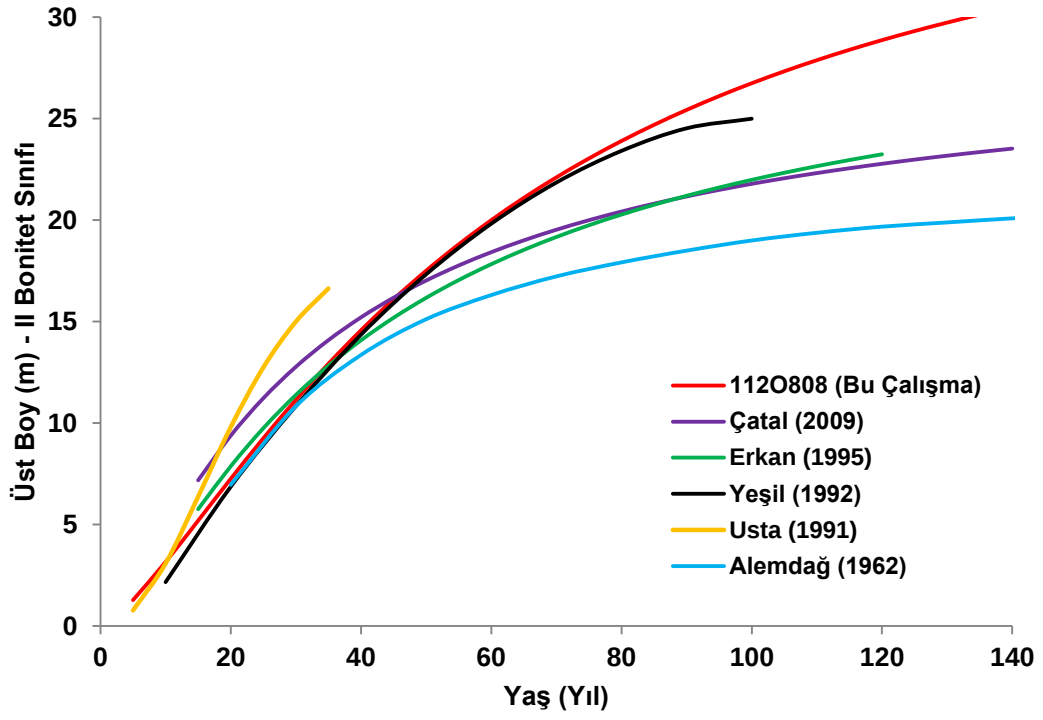
hacim modellerine ilişkin hesaplanan hata oranları, tek girişli ağaç hacim modelinde hesaplanan hata oranlarına yakın değerler vermekteyken; çift girişli ağaç hacim modelinde hesaplanan hata oranlarından daha yüksek değerler vermiştir. Bu da çift girişli ağaç hacim modellerinin, tek girişli ve bonitete dayalı tek girişli modellerden daha başarılı sonuçlar verdiğini göstermektedir.

4.2 Yetiştirme Ortamı Verim Gücünün Belirlenmesine İlişkin Tartışma

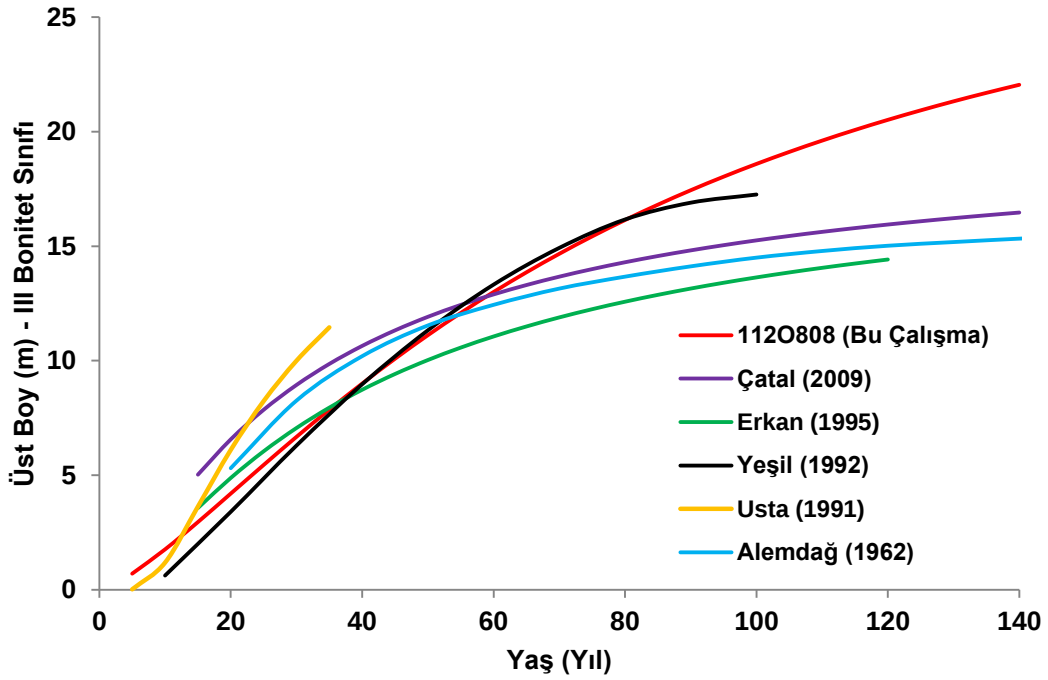
Proje kapsamında elde edilen bonitet endeks tablosu değerleri ile ülkemizde daha önce doğal (Alemdağ 1962; Yeşil 1992; Erkan 1995; Çatal 2009) ve yapay (Usta 1991) Kızılçam meşcereleri için düzenlenmiş Kızılçam bonitet endeks tablosu değerleri karşılaştırılmıştır. Daha önce yapılan araştırmalarda; Alemdağ (1962), Usta (1991), Erkan (1995) ve Çatal (2009) üç sınıflı bonitet tablosu düzenlemişken; Yeşil (1992) ise beş sınıflı bonitet tablosu hazırlamıştır. Yeşil (1992)'in çalışmasındaki standart yaştaki boy farklılıkları (8-28 m) dikkate alınarak, 5 bonitet yerine 3 bonitet için tekrar düzenlenmiş ve grafikteki karşılaştırmalar yapılmıştır. Burada değişik çalışmalarla ortaya konulmuş olan bonitet çalışmalarında iyi, orta ve kötü bonitetler için ayrı ayrı karşılaştırmalar yapılmıştır (Şekil 59-61).



Şekil 59. Kızılçam bonitet endeksi değerlerinin karşılaştırılması (I. Bonitet Sınıfı)



Şekil 60. Kızılcām bonitet endeksi değerlerinin karşılaştırılması (II. Bonitet Sınıfı)



Şekil 61. Kızılcām bonitet endeksi değerlerinin karşılaştırılması (III. Bonitet Sınıfı)

Şekil 59-61’de görüleceği gibi, projede Kızılçam için hazırlanmış olan bonitet eğrileri;

- ✓ Kızılçam ağaçlandırmaları için; Usta (1991) tarafından hazırlanmış I., II. ve III. bonitet sınıfı eğrilerinden; sırasıyla 10, 12 ve 14 yaşlarına kadar düşük, sonraki yıllarda ise daha yüksek değerlere sahiptir.
- ✓ Doğal Kızılçam meşcereleri için hazırlanmış olan; Çatal (2009)’ın hazırladığı bonitet eğrileri ile karşılaştırıldığında, I., II. ve III. bonitet sınıfı eğrilerinden; sırasıyla 35, 50 ve 60 yaşlarına kadar düşük, sonraki yıllarda ise daha yüksek değerlere sahip olduğu görülmektedir. Bununla birlikte I. bonitet eğrileri 45 yaşına kadar birbirine daha yakın olduğu görülmektedir.
- ✓ Erkan (1995)’ın hazırladığı bonitet eğrileri ile karşılaştırıldığında, I., II. ve III. bonitet sınıfı eğrilerinden; sırasıyla 35, 40 ve 40 yaşlarına kadar düşük, sonraki yıllarda ise daha yüksek değerlere sahiptir.
- ✓ Yeşil (1992)’in hazırladığı bonitet eğrileri ile karşılaştırıldığında, tüm bonitet sınıflarında çok yakın değerler elde edilmiştir. Diğer bir ifadeyle diğer bonitet çalışmalarına göre daha benzer değerler elde edilmiştir. Bununla birlikte, I. ve II. bonitet sınıfı eğrilerinden hep daha yüksek, III. bonitet eğrisinden ise 40 yaşına kadar ve 80 yaşından sonra daha yüksek ve 40-80 yaşları arasında ise daha düşük değerler elde edilmiştir.
- ✓ Son olarak da, Alemdağ (1962)’in hazırladığı bonitet eğrileri ile karşılaştırıldığında da, I. bonitet sınıfı eğrisinin hep daha yüksek, II. bonitet sınıfı eğrisinin 35 yaşına kadar birbirine yakın olmakla birlikte hep daha yüksek, III. bonitet sınıfı eğrisinin ise 50 yaşına kadar düşük, sonraki yıllarda ise daha yüksek değerlere sahip olduğu görülmektedir.
- ✓ Diğer taraftan 60 yaş itibarıyla bonitet sınıfı eğrilerinin değerleri en düşükten yükseğe doğru sırasıyla, I bonitet sınıfı için 20.2 m (Alemdağ, 1962), 23.5 m (Erkan, 1995), 23.9 m (Çatal, 2009), 26.3 m (Yeşil, 1992) ve 27.0 m (112O808-Bu çalışma); II. bonitet sınıfı için 16.3 m (Alemdağ, 1962), 17.8 m (Erkan, 1995), 18.4 m (Çatal, 2009), 19.8 m (Yeşil, 1992) ve 20.0 m (112O808-Bu çalışma) ve III. bonitet sınıfı için ise 11.1 m (Erkan, 1995), 12.4 m (Alemdağ, 1962), 12.9 m (Çatal, 2009), 13.3 m (Yeşil, 1992) ve 13.0 m (112O808-Bu çalışma) olarak elde edilmiştir.

Kızılçam için bonitet endeksi değerlerinin karşılaştırılmasına ilişkin Wilcoxon testi sonuçları Tablo 35’de verilmiştir.

Çalışma kapsamında geliştirilen bonitet endeks modellerinin tahmin sonuçları ile Alemdağ (1962), Usta (1991), Yeşil (1992), Erkan (1995) ve Çatal (2009) tarafından geliştirilen bonitet endeks eğrilerine ilişkin değerler arasında, grup varyanslarının homojenliğini sağlanmamaktadır. Bu yüzden, parametrik olmayan testlerden Eşlendirilmiş Örnekler için t Testi (Paired Samples t Test- Wilcoxon’un İşaret Testi) ile karşılaştırılmışlardır. Alemdağ

(1962), Usta (1991) ve Erkan (1995) tarafından yapılan çalışmalar ile bu çalışmada elde edilen bonitet endeks eğrilerinin tüm bonitet sınıfları için %5 önem düzeyi ile istatistiksel olarak farklı olduğu belirlenmiştir. Ayrıca, Yeşil (1992)'in çalışması ile bu çalışmada elde edilen bonitet endeks eğrilerinde I. ve II. bonitet sınıfları için farklılık olduğu, III. bonitet sınıfı için ise farklılık olmadığı görülmüştür. Diğer taraftan 35 yaşına kadar genç yapay Kızılçam meşcereleri için Usta (1991) tarafından yapılan çalışma ile bu çalışmada elde edilen bonitet endeks eğrilerinde tüm bonitet sınıfları için %5 önem düzeyi ile istatistiksel olarak farklılık olmadığı belirlenmiştir (Tablo 35).

Tablo 35. Kızılçam için bonitet endeksi değerlerinin karşılaştırılmasına ilişkin Wilcoxon testi sonuçları

Bu Araştırma	Bon. Sın.	IB (27,5 m)	IIB (22,5 m)	IIIB (17,5 m)
	Bon. Sın.	IB (23,5 m)	IIB (19,0 m)	IIIB (14,5 m)
Alemdağ (1962)	Z	-3,180	-3,180	-2,201
	P	0,001	0,001	0,028
	Bon. Sın.	IB (20,0 m)	IIB (15,0 m)	IIIB (10,0 m)
Usta (1991)	Z	-1.859	-1.859	-1,690
	P	0,063*	0,063*	0,091*
	Bon. Sın.	IB (23,3 m)	IIB (17,3 m)	IIIB (11,3 m)
Yeşil (1992)	Z	-2,810	-2,805	-1,377
	P	0,005	0,005	0,169*
	Bon. Sın.	IB (27,3 m)	IIB (19,8 m)	IIIB (12,3 m)
Erkan (1995)	Z	-3,945	-3,587	-3.474
	P	<0,001	0,001	0,001
	Bon. Sın.	IB (26,0 m)	IIB (20,0 m)	IIIB (14,0 m)
Çatal (2009)	Z	-3,180	-3,365	-2,349
	P	<0,001	0.001	0,001

Söz konusu bu farklılıkların bir kısmının çalışma alanı özellikleri ile kullanılan bonitetleme yöntemi; bir kısmının da bonitet sınıfları oluşturulurken bölünen sınıf sayısı (Yeşil, 1992;

alışmasında V bonitet sınıfına bölmüştür) ve belirlenen orta değ erlerin farklı olmasından kaynaklandığı düşünölmektedir. Genel bir değ erlendirme yapılacak olursa, alışmamızdaki I. bonitet eğrisi değ erlerine en yakın değ erleri, ilk yıllarda Usta (1991), sonra 20-40 yaşları arasında Yeşil (1992), Erkan (1995) ve atal (2009) ve 40 yaşından sonra ise Yeşil (1992)'in verdiğı belirlenmiştir. Yine II. bonitet eğrisi değ erlerine en yakın değ erleri, ilk yıllarda Usta (1991), sonra 20-40 yaşları arasında Alemdağ (1962), Yeşil (1992) ve Erkan (1995), 40-55 yaşları arasında Yeşil (1992) ve atal (2009) ve 45 yaş ve sonrasında da Yeşil (1992)'in verdiğı belirlenmiştir. Son olarak III. bonitet eğrisi değ erlerine en yakın değ erleri ise 20 yaşına kadar Usta (1991), sonra 20-40 yaşları arasında Yeşil (1992) ve Erkan (1995), yaklaşık 50-65 yaşları arasında Yeşil (1992), Alemdağ (1962) ve atal (2009) ve 65 yaş ve sonrasında da Yeşil (1992)'in vermekte olduğı belirlenmiştir.

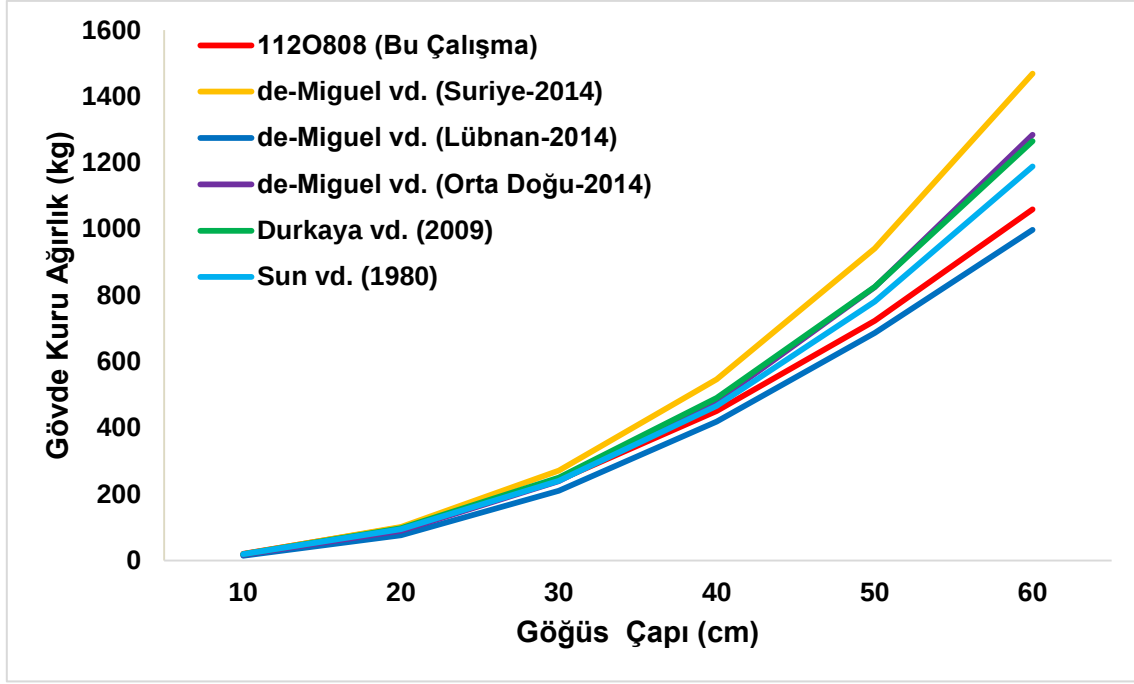
Çalışma kapsamında elde edilen bonitet endeks modeli, hesaplanan önem düzeyi ve hata kriterlerine göre en uygun model olup büyüme kanuniyetlerine uygun sonuçlar vermiştir. Bu da çalışmamızda, bu model vasıtasıyla elde edilen bonitet eğrilerinin kullanılabilir ve çalışma alanı olan Mersin Yöresi için de genelleştirilebilir olduğunu göstermektedir.

4.3 Biyokötle Denklemlerine İlişkin Tartışma

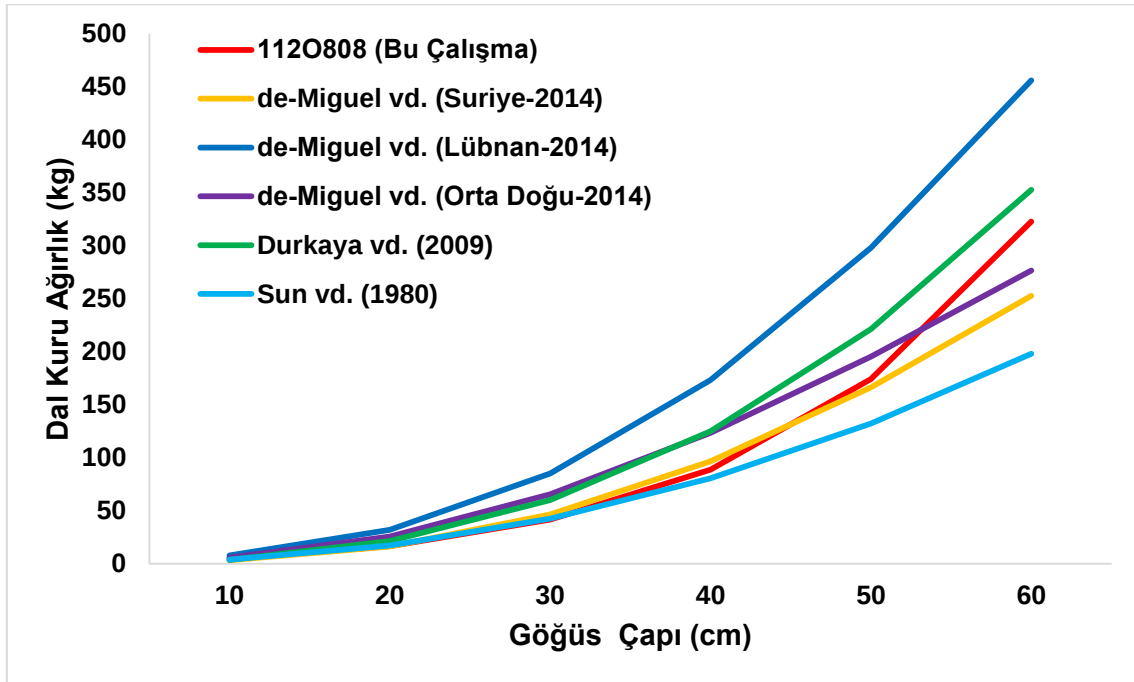
4.3.1 Tek Girişli Biyokötle Denklemlerine İlişkin Tartışma

Çalışma kapsamında elde edilen Kızılçam ağaç türüne ilişkin tek girişli toprak üstü biyokötle modelleri; de-Miguel vd. (2014)'nın farklı bölgeler (Suriye, Lübnan ve Orta Doğı), ayrıca Durkaya vd. (2009)'nın Adana-Karaisalı ve Sun vd. (1980)'nin Antalya-Bük için oluşturdıkları tek girişli toprak üstü biyokötle modelleriyle kıyaslanmıştır. Bu kıyaslamalar, her ağaç bileşeni için ayrı ayrı yapılmıştır (Şekil 62-65).

Gövde kuru ağırlık değ erleri kıyaslanmadan önce, diğ er çalışmalarda kabuklu gövde kuru ağırlığı elde edilmiş olması sebebiyle, gövde ve kabuk kuru ağırlık modelleriyle elde edilen sonuçlar toplanarak kıyaslama yapılmıştır. Şekil 62 incelendiğinde genelde altı farklı yöreye ilişkin gövde kuru ağırlıklarının aynı yönde seyretmektedir. Ayrıca, 40 yaşına kadar model verilerinin birbirine yakın olduğı, 40 yaşından sonra farkın arttığı görölmektedir. Bu çalışmada elde edilen değ erler, de-Miguel vd.(2014)'nın Lübnan için yaptıkları çalışmalara daha yakın olmakla birlikte daha fazladır. Diğ er çalışmalardan elde edilen değ erler ise bu çalışmadakine göre daha fazladır.



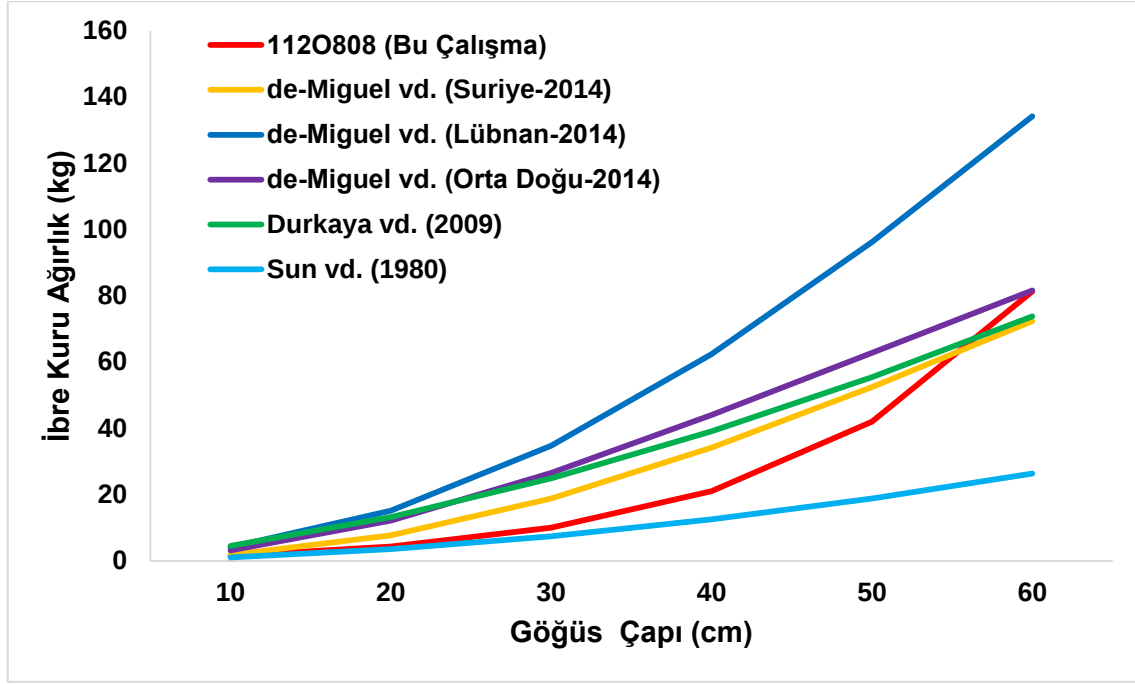
Şekil 62. Tek girişli modellerle elde edilen gövde fırın kuru ağırlığının çapa bağlı değişiminin kıyaslanması



Şekil 63. Tek girişli modellerle elde edilen dal fırın kuru ağırlığının çapa bağlı değişiminin kıyaslanması

Şekil 63 incelendiğinde; altı farklı yöreye ilişkin dal kuru ağırlıklarının 40 yaşına kadar aynı yönde seyrettiği, 40 yaşından sonra farklılıkların olduğu görülmektedir. Çalışma kapsamında

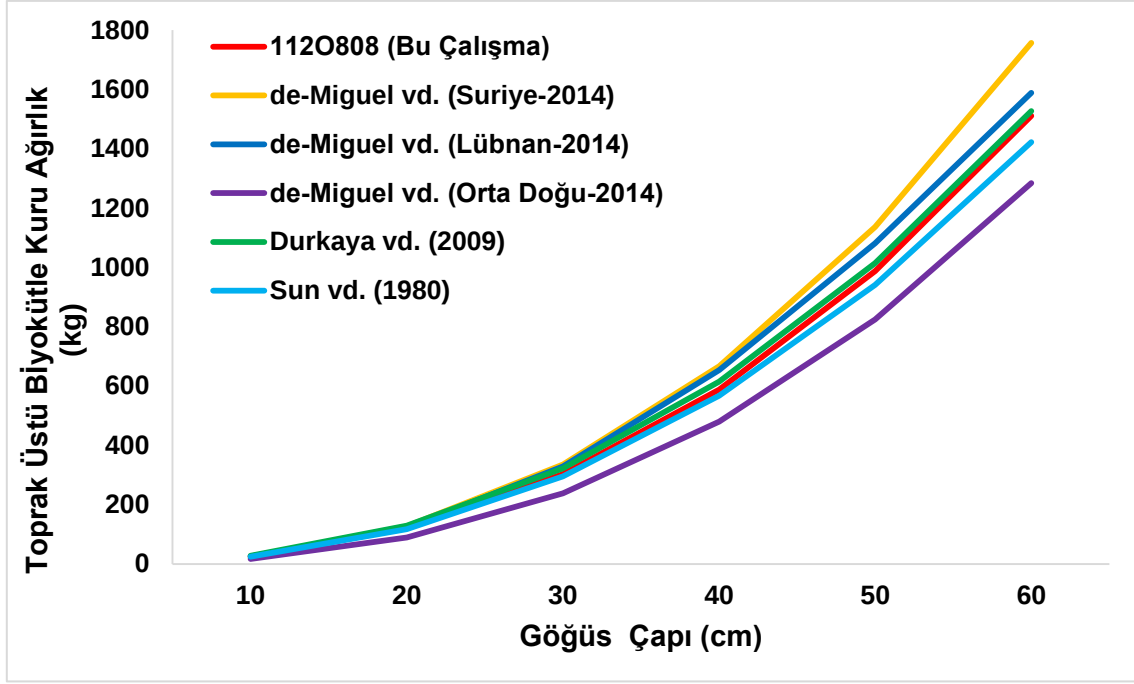
Üretilen tablo değerlerinin yaklaşık 50 cm çapına kadar de-Miguel vd. (2014)'nın Suriye için yaptıkları çalışmalara yakın, daha yüksek çaplarda ise hep daha yüksek değerlere sahip olduğu tespit edilmiştir. Bu alışma ile elde edilen değerler, 45 yaşına kadar Sun vd. (1980), 45-53 yaşları arasında Sun vd. (1980) ve de-Miguel vd. (2014)'nın Suriye ve 53 yaşından sonra ise Sun vd. (1980), de-Miguel vd. (2014)'nın Suriye ve de-Miguel vd. (2014)'nın Ortadoğu değerlerinden daha yüksektir.



şekil 64. Tek girişli modellerle elde edilen ibre fırın kurusu ağırlığının çapa bağlı değişiminin kıyaslanması

şekil 64 incelendiğinde; altı farklı yöreye ilişkin ibre kuru ağırlıklarının 54 yaşına kadar aynı yönde seyrettiği ve bu yaştan sonra farklılaştığı görülmektedir. Bu alışma ile elde edilen değerler, 54 yaşına kadar Sun vd. (1980), 54 yaşından sonra ise Sun vd. (1980), de-Miguel vd. (2014)'nın Suriye ve Durkaya vd. (2009) değerlerinden daha yüksektir. de-Miguel vd. (2014) Lübnan değerleri her yaşta en yüksek ibre biyokütlesine sahipken, Sun vd. (1980) değerleri ise en düşük değerlere sahiptir.

şekil 65 incelendiğinde; altı farklı yöreye ilişkin toprak şt toplam biyokütle kuru ağırlıklarının aynı yönde seyrettiği; ilk çaplardan itibaren, Sun vd. (1980) ve de-Miguel vd. (2014) ve 'nın Ortadoğu Bölgesi için yaptıkları çalışmadan hep daha yüksek, diğer çalışmalardan hep daha düşük değerler vererek en düşük üçüncü sırada yer aldığı tespit edilmiştir. Ayrıca toprak şt biyokütle değerleri bakımından en yakın sonuçlar Durkaya vd. (2009) tarafından yapılan çalışma ile elde edilmiştir.

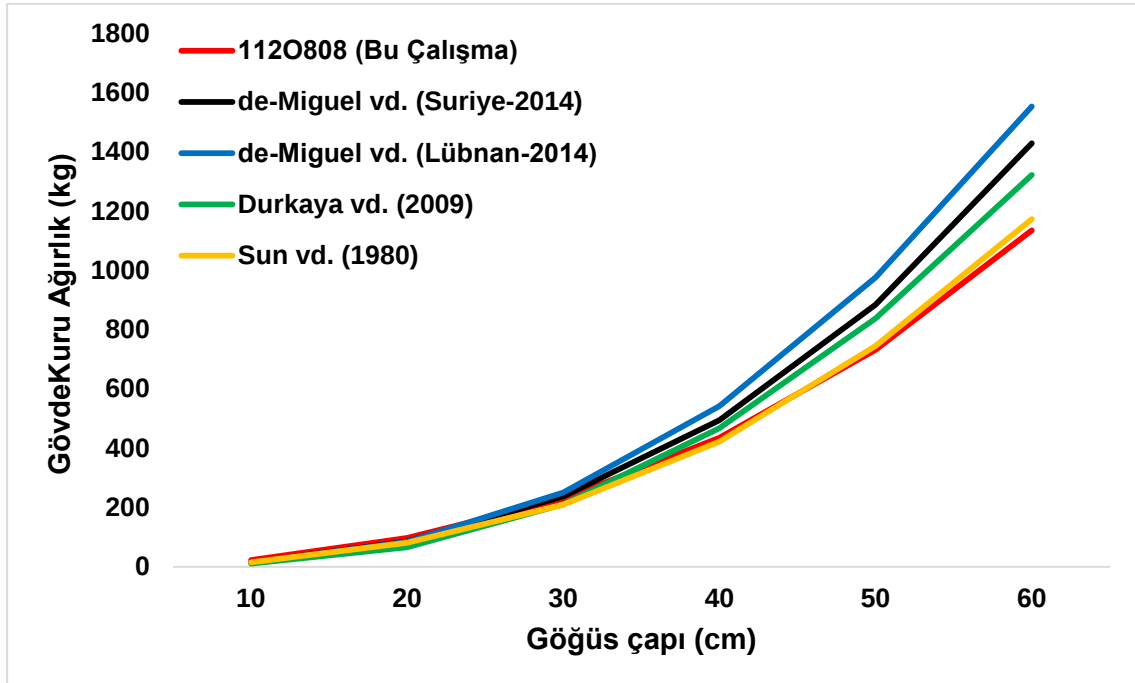


Şekil 65. Tek girişli modellerle elde edilen toprak üstü fırın kurusu ağırlığının çapa bağlı değişiminin kıyaslanması

Kıyaslanan tablo değerleri yorumlanacak olursa; gövde ve toprak üstü kuru biyokütle değerleri arasındaki farklılık dal ve ibre kuru biyokütle değerlerine göre daha azdır. Dal ve ibre eğrilerinin tablo değerleri arasında ciddi farklar bulunmakta ve bu fark ince çaptan kalın çapa gittikçe özellikle 30 yaşında sonra artmaktadır. Bunun sebebinin de coğrafi bölge farklılığına bağlı, yetişme ortamı koşullarından kaynakladığı düşünülmektedir. Zira yapılan çalışmaya ilişkin toprak üstü biyokütle kuru ağırlık grafiğinin Durkaya vd. (2009)'nın, gövde biyokütle kuru ağırlık grafiğinin ise de-Miguel vd. (2014) ve 'nın Lübnan Bölgesi için yaptıkları çalışmanın grafiğine çok yakın değerler vermesi, diğer çalışmalarla olan farkların yöre farkından kaynaklandığı ihtimalini kuvvetlendirmektedir (Şekil 62-65). Ayrıca; biyokütle modellerinin oluşturulmasında kullanılan ağaçların hacimlendirilmesi ve bu ağaçlardan alınan numunelerin kurutma yöntemlerinin de fark oluşturabileceği düşünülmektedir. Diğer taraftan, çalışma sonucu oluşturulan tek girişli biyokütle modellerinin en uygun belirtme katsayısına (R^2) ve en uygun hata değerlerine (S_{yx}) göre seçilmiş olmalarının yanı sıra büyüme kanuniyetlerine uygun sonuçlar vermesi; bu modellerin, Antalya ve Mersin Yöresi saf Kızılçam meşcerelerinin toprak üstü biyokütle kuru ağırlıklarını tahminde kullanılabileceklerini göstermektedir.

4.3.2 Çift Girişli Biyokütle Denklemlerine İlişkin Tartışma

Çalışma kapsamında elde edilen Kızılcām ağaç türüne ilişkin çift girişli toprak üstü biyokütle modelleri de-Miguel vd. (2014)'nın farklı bölgeler (Suriye, Lübnan ve Orta Doğu) için, Durkaya vd. (2009)'nın da, Adana-Karaisalı için ve Sun vd. (1980)'nin Antalya-Bük için oluşturdukları çift girişli toprak üstü biyokütle modelleriyle kıyaslanmıştır (Şekil 66-67). Burada, çift girişli olmaları sebebiyle, sadece gövde ve toplam biyokütle kuru ağırlık modelleri kıyaslanmıştır. Diğer ağaç bileşenleri (dal ve ibre) için üretilen modeller, çok girişli olmaları sebebiyle, kıyaslamaya dâhil edilmemişlerdir. Çift girişli modeller kıyaslanırken; 10, 20, 30, 40, 50 ve 60 cm çapları ve bu çaplara karşılık gelen boy değerleri (sırasıyla 7, 12, 16, 20, 24 ve 28 m) kullanılmıştır.

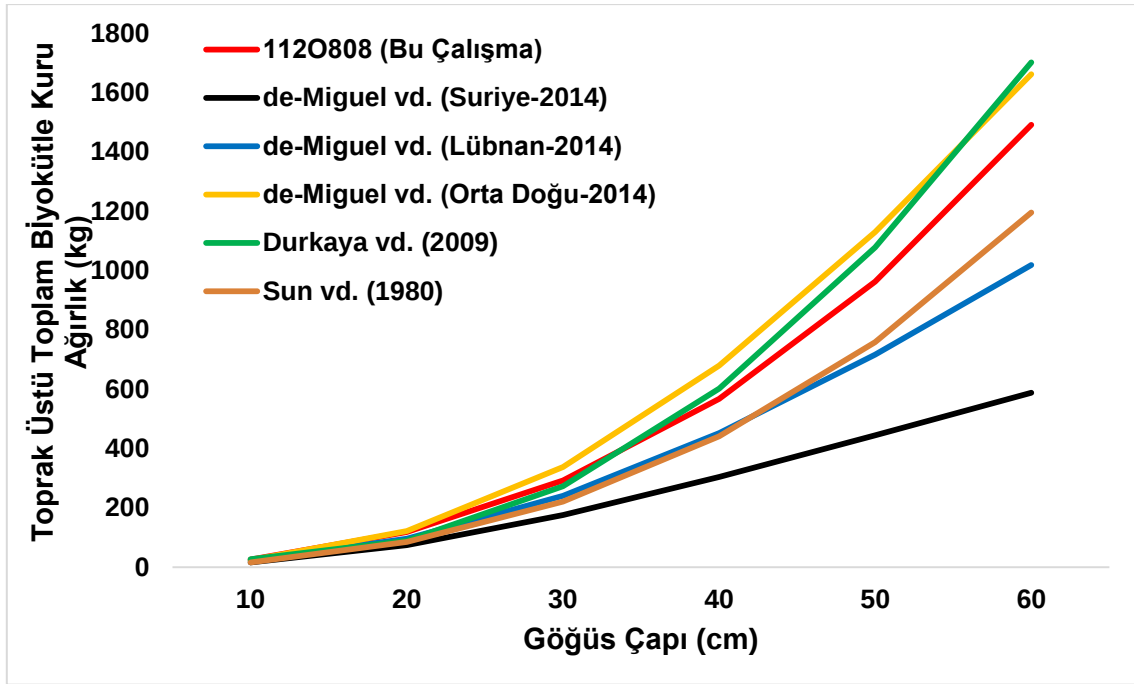


Şekil 66. Çift girişli modellerle elde edilen gövde fırın kuru ağırlığının çapa bağlı değişiminin kıyaslanması

Tek girişlide de olduğu gibi; çift girişli gövde kuru ağırlık değerleri kıyaslanmadan önce, diğer çalışmalarda kabuklu gövde kuru ağırlığı elde edilmiş olması sebebiyle, gövde ve kabuk kuru ağırlık modelleriyle elde edilen toplanarak kıyaslamaya geçilmiştir. Bu aşamada, gövde kuru ağırlıklar kıyaslanırken, de-Miguel vd. (2014) tarafından Orta Doğu bölgesi için, gövde kuru ağırlık modeli bulunmadığı için kıyaslamaya dâhil edilmemiştir.

Şekil 66 incelendiğinde beş farklı yöreye ilişkin gövde kuru ağırlıklarının aynı yönde seyrettiği ve çalışma kapsamında üretilen tablo değerlerinin genelde Sun vd. (1980) tarafından yapılan

çalışmaya çok yakın değerlere sahip olduğu görülmektedir. Bu çalışma ile elde edilen değer diğer çalışmalardan her yaşta daha düşüktür.



Şekil 67. Çift girişli modellerle elde edilen toprak üstü toplam biyokütle fırın kurusu ağırlığının çapa bağlı değişiminin kıyaslanması

Şekil 67 incelendiğinde altı farklı yöreye ilişkin toprak üstü toplam biyokütle kuru ağırlıklarının aynı yönde seyrettiği ve çalışma kapsamında üretilen tablo değerlerinin 40 yaşına kadar Durkaya vd. (2009) tarafından yapılan çalışmaya çok yakın olduğu, bu yaştan itibaren farkın açıldığı görülmektedir. Genel itibariye ifade etmek gerekirse bu çalışma ile elde biyokütle değerleri, 40 yaşına kadar de-Miguel vd. (2014) tarafından Orta Doğu bölgesi için yapılan çalışmadan ve 40 yaşında sonra ise Durkaya vd. (2009) ve de-Miguel vd. (2014) tarafından Orta Doğu bölgesi için yapılan çalışmalardan daha düşüktür.

Bu kıyaslamalarda ortaya çıkan farklılığın, yine yöre farkından ve biyokütle modellerinin oluşturulmasında kullanılan ağaçların hacimlendirilmesi ve bu ağaçlardan alınan numunelerin kurutma aşamasındaki yöntemlerin farklı olabileceğinden kaynaklandığı düşünülmektedir. Diğer taraftan, çalışma sonucu oluşturulan çift girişli biyokütle modellerinin de, en uygun belirtme katsayısına (R^2) ve en uygun hata değerine (S_{yx}) sahip olmalarının yanı sıra büyüme kanuniyetlerine uygun sonuçlar vermesi, bu modellerin Antalya ve Mersin Yöresi saf Kızılcıam meşcerelerinin toprak üstü biyokütle kuru ağırlıklarını tahminde kullanılabileceklerini göstermektedir. Ayrıca bu kıyaslamalarla; oluşturulan tabloların yöreye ve yönteme göre farklılıklar gösterebileceği, bu nedenle de yöresel olarak yapılan çalışmalarla elde edilen tabloların farklı yöre ve türlerde kullanılması halinde farklılıklar olacağı bilinmelidir.

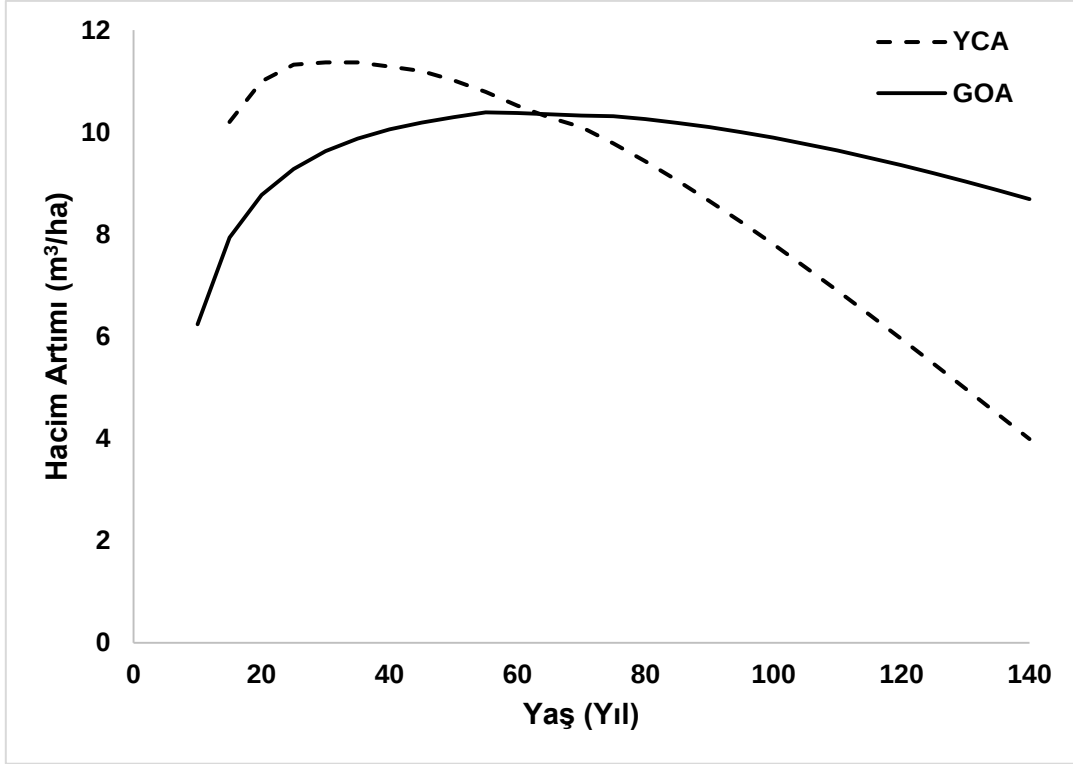
4.4 Sıklığa Bağlı Hasılat Tablolarına İlişkin Tartışma

Çalışma kapsamında, Antalya ve Mersin Yöreleri saf Kızılçam meşcereleri için sıklığa bağlı hasılat tablolarının düzenlenmesinde, meşcere yaşı (t), bonitet endeksi (be) ve meşcere sıklığının (sd) bir fonksiyonu olarak kalan meşcere elemanlarına ilişkin sayısal değerleri tahmin eden meşcere modelleri geliştirilmiştir. Geliştirilen meşcere modellerine bağlı olarak üretilen sıklığa bağlı hasılat tabloları; 5'er yıllık yaş basamağı (10-140 arasında), 5 farklı sıklık derecesi (2,0-4,0-6,0-8,0-10,0) ve 3 bonitet sınıfı (I-II-III) için düzenlenmiştir (Ek Tablo 5).

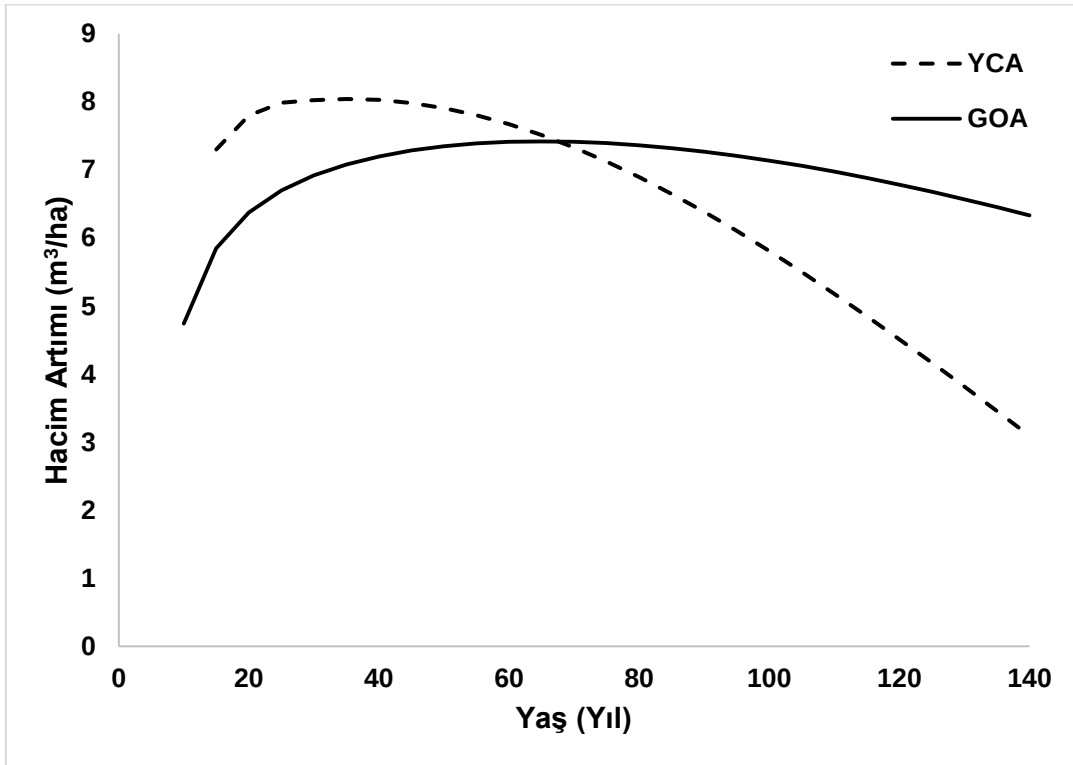
Oluşturulan tablolara göre; kalan meşcere elemanlarından orta çap ve orta boy, yaş ilerleyip yetiştirme ortamı verim gücü iyileştikçe artmakta; meşcere sıklığı arttıkça da azalmaktadır (Ek Tablo 5 ve Şekil 32-33). Yine kalan meşcere elemanlarından meşcere hacmi, yaş ilerleyip yetiştirme ortamı verim gücü iyileştikçe ve meşcere sıklığı arttıkça artmaktadır (Ek Tablo 5 ve Şekil 34-35). Meşcere ağaç sayısı ise tam tersine, yaş ilerleyip yetiştirme ortamı verim gücü iyileştikçe ve meşcere sıklığı arttıkça azalmaktadır (Şekil 36-37). Yıllık cari hacim artımı, tüm bonitet sınıflarında, farklı sıklık derecelerine göre genel olarak 45-50 yaşlarına kadar artmakta ve bu yaşlarda maksimuma ulaştıktan sonra azalan bir seyir izlemektedirken, yetiştirme ortamı verim gücü iyileştikçe ve meşcere sıklığı arttıkça artmaktadır (Şekil 38-39). Genel meşcere ortalama hacim artımı ise, farklı sıklık derecelerine göre I. bonitette 55-60, II. bonitette 65-70 ve III. bonitette 70-75 yaşlarına kadar artmakta ve bu yaşlarda maksimuma ulaştıktan sonra azalan bir seyir izlemektedirken, yetiştirme ortamı verim gücü iyileştikçe ve meşcere sıklığı arttıkça da artmaktadır (Şekil 42-43). Son olarak kalan meşcere ortalama hacim artımı ise, farklı sıklık derecelerine göre genel olarak 45-60 yaşlarına kadar artmakta, bu yaşlarda maksimuma ulaştıktan sonra azalmaktadır (Şekil 40-41).

Kızılçam hasılat tablosunun normal sıklık derecesinde (sıklık derecesi: 8,0) yıllık cari artım ile genel ortalama artım arasındaki ilişki de her bir bonitet sınıfı için ayrı ayrı incelenmiştir (Şekil 68-70).

Şekil 68'de görüldüğü üzere, I. bonitette yıllık cari artımı, 30 yaşında maksimum noktaya ulaştıktan sonra hızla azalmaktadır. Genel ortalama artım ise 55-60 yaşları arasında maksimum noktaya ulaştıktan sonra daha yavaş bir seyrinde azalmaktadır. Yıllık cari artım ile genel ortalama artım eğrileri 55-60 yaşları arasında kesişmektedir. Bu da bize Antalya ve Mersin Yöreleri Kızılçam meşcereleri için iyi bonitette (I. bonitette) idare süresinin bu değere yakın olması gerektiğini göstermektedir.



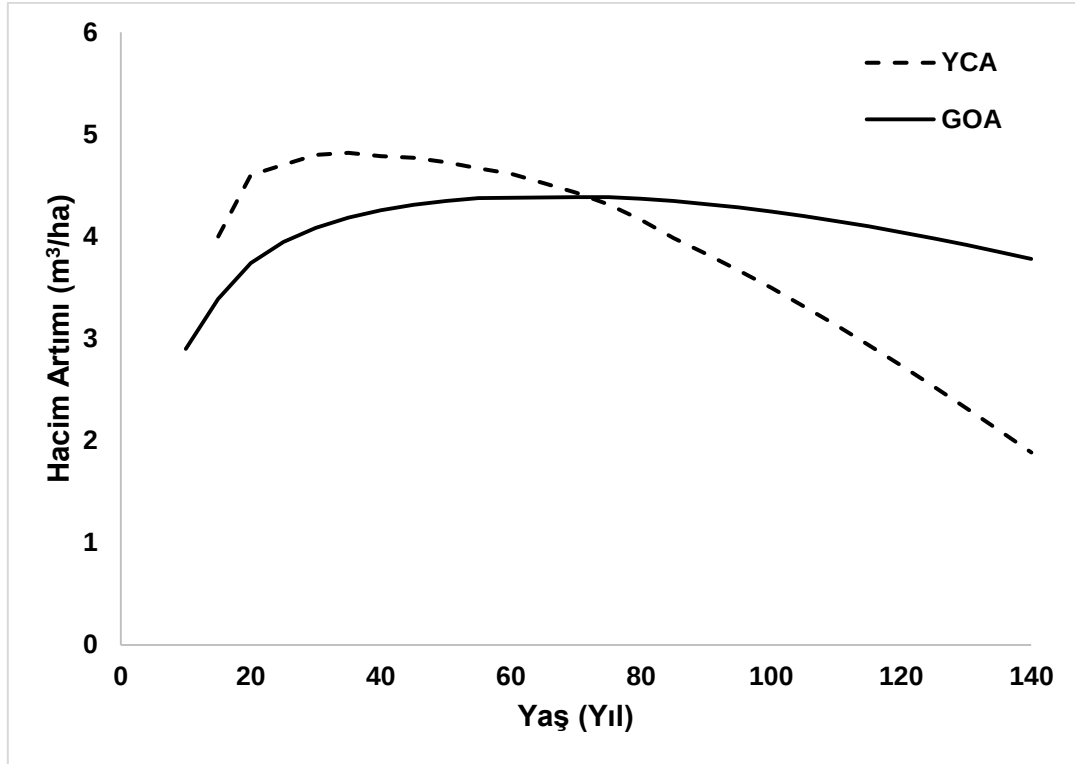
Şekil 68. I. bonitet sınıfında yıllık cari hacim artımı ile genel ortalama hacim artımı ilişkisi



Şekil 69. II. bonitet sınıfında yıllık cari hacim artımı ile genel ortalama hacim artımı ilişkisi

Şekil 69'da görüldüğü üzere, II. bonitette; yıllık cari artımı, 30 yaşında maksimum noktaya ulaşmakta ve sonra hızla azalmaktadır. Genel ortalama artım ise 65-70 yaşları arasında maksimum noktaya ulaştıktan sonra daha yavaş bir seyirde azalmaktadır. Yıllık cari artım ile genel ortalama artım eğrileri; 65-70 yaşları arasında kesişmektedir. Bu da bize Antalya ve Mersin Yöreleri Kızılçam meşcereleri için orta bonitette (II. bonitette) idare süresinin bu değerlere yakın olması gerektiğini göstermektedir.

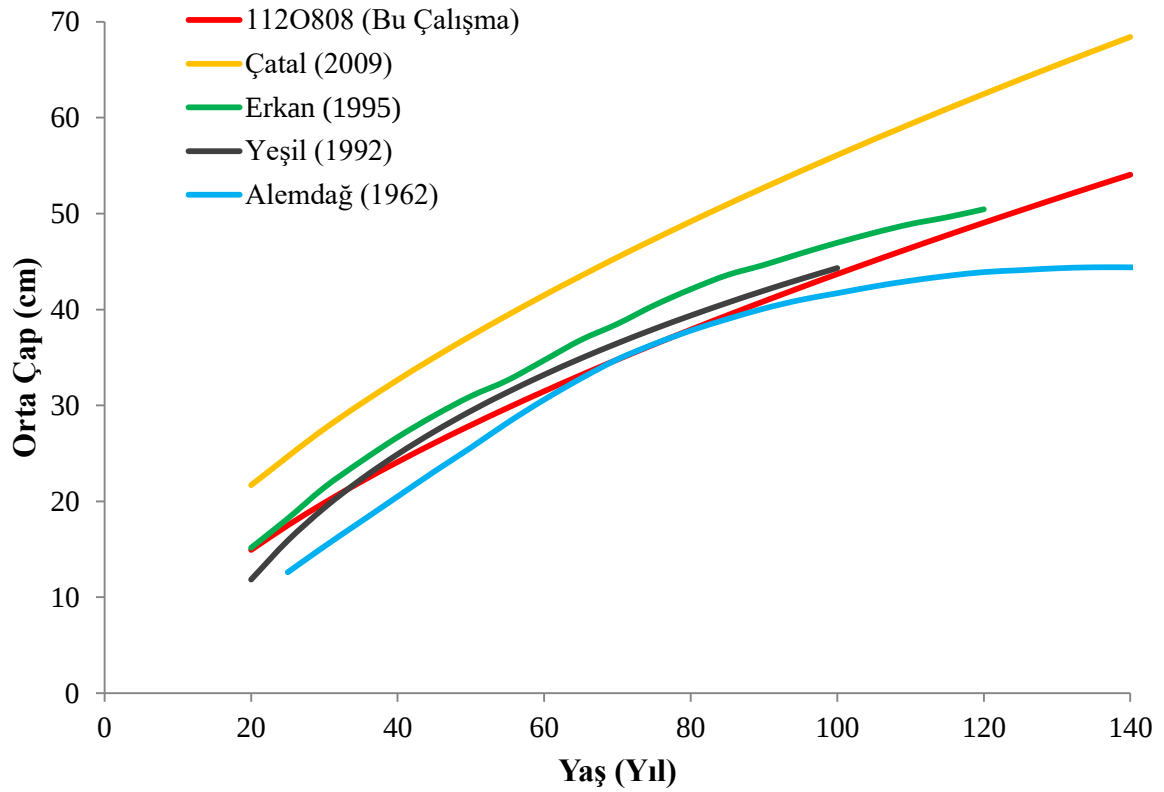
Şekil 70'de görüldüğü üzere, III. bonitette yıllık cari artımı, 35 yaşında maksimum noktaya ulaştıktan sonra, hızla azalmaktadır. Genel ortalama artım ise 70-75 yaşları arasında maksimum noktaya ulaştıktan sonra daha yavaş bir seyirde azalmaktadır. Yıllık cari artım ile genel ortalama artım eğrileri; 70-75 yaşları arasında kesişmektedir. Bu da bize Antalya ve Mersin Yöresi Kızılçam meşcereleri için kötü/fena bonitette (III. bonitette) idare süresinin bu değere yakın olması gerektiğini göstermektedir.



Şekil 70. III. bonitet sınıfında yıllık cari hacim artımı ile genel ortalama hacim artımı ilişkisi

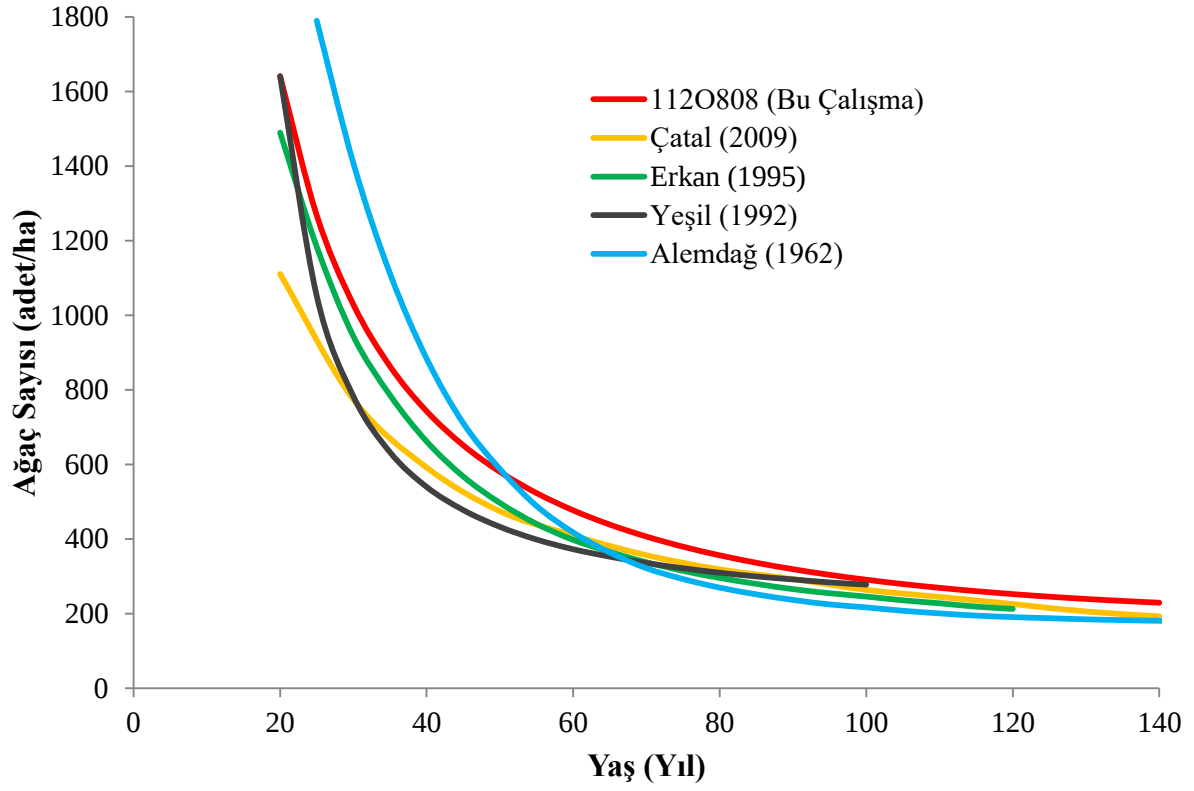
Çalışma kapsamında düzenlenmiş olan Kızılçam sıklığına bağlı hasılat tablolarına ilişkin sonuçlar, daha önceki yıllarda, Çatal (2009), Erkan (1995), ve Alemdağ (1962) tarafından geliştirilen hasılat tabloları ve Yeşil (1992) tarafından geliştirilen sıklığına bağlı hasılat tablolarıyla kıyaslanmış ve sonuçların benzer olup meşcere modellerine ilişkin büyüme yasaları ile uyumlu olduğu tespit edilmiştir. Bu karşılaştırma yapılırken çalışma kapsamında normal sıklık derecesi olarak belirlenen 8,0 sıklık derecesindeki tablo değerleri; Yeşil (1992)'in ürettiği tablolarda da

normal sıklık derecesi olarak ifade edilen 1,0 sıklık derecesi kullanılmıştır. Ayrıca karşılaştırmada daha net ve iyi bir sonuç alabilmek amacıyla ağaç türlerinin en iyi şartlarda yetişen meşcereleri, yani her bir ağaç türünün kendi I. bonitet sınıfındaki meşcerelerine ait olan hasılat tablosu değerleri karşılaştırılmıştır (Fırat, 1972; Akalp, 1978a; Carus, 1998). Kızılcım iyi bonitet sınıfı ve normal sıklıktaki meşcerelerin orta çap, ağaç sayısı, göğüs yüzeyi, kalan ve genel meşcere hacmi, yıllık cari artımı, genel meşcereye ilişkin ortalama hacim artımı değerleri ile ilgili önceki çalışmalarla yapılan kıyaslamalara ilişkin grafikler Şekil 71-77’de verilmiştir.

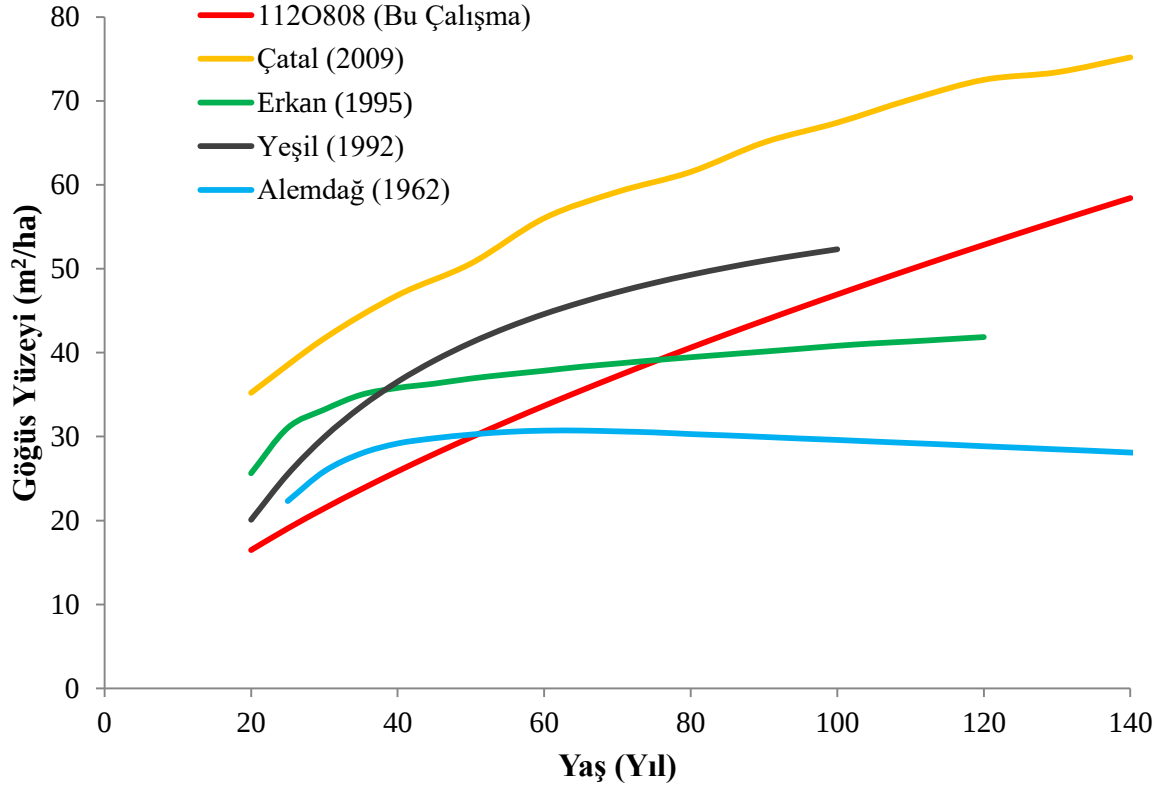


Şekil 71. Kızılcım için meşcere orta çapının karşılaştırılması

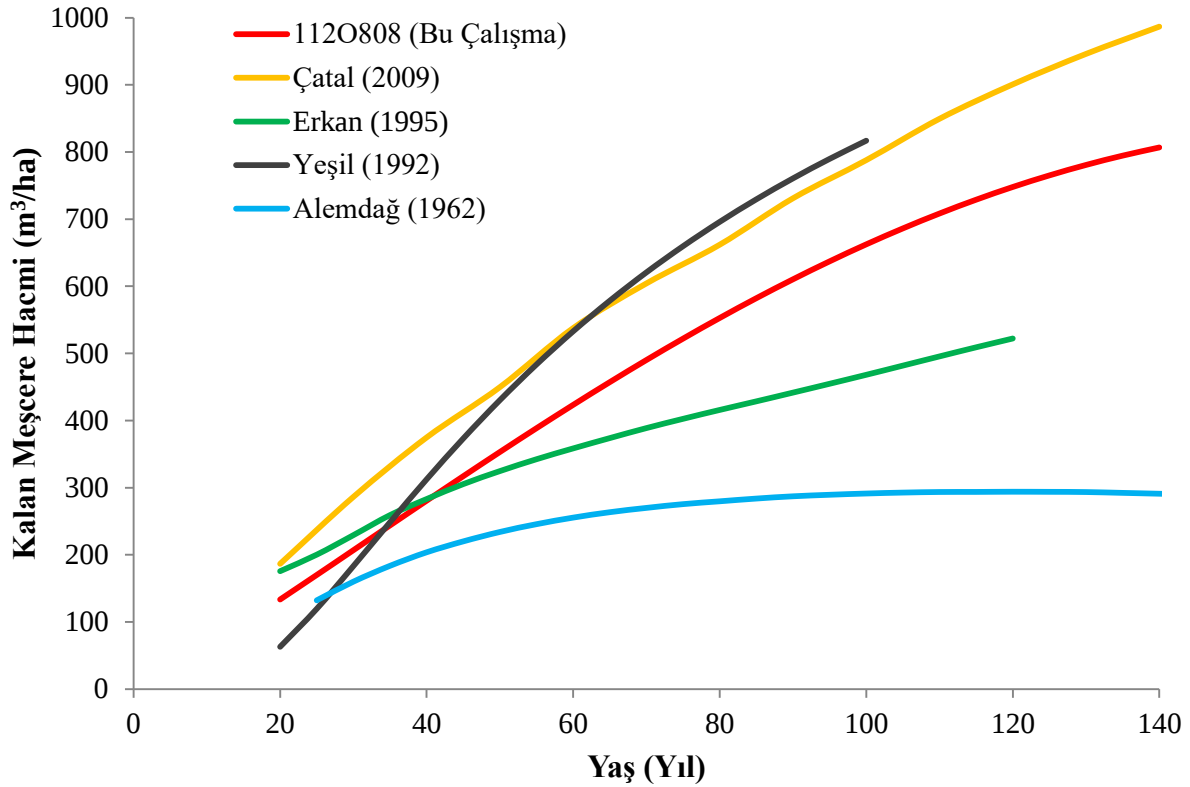
Meşcere orta çapına ilişkin eğrilere bakıldığında. 60 yaşına kadar Yeşil (1992) ve Erkan (1995), 60-100 yaşları arasında Yeşil (1992) ve Alemdağ (1962) ve 100-120 yaşları arasında ise Erkan (1995) tarafından yapılan çalışma değerlerine daha yakın olduğu görülmektedir (Şekil 71). 60 yaşındaki orta çap değerleri ince çaplıdan kalın çaplıya doğru sırasıyla, 30.6 cm Alemdağ (1962), 31.5 cm 112O808 (Bu Çalışma), 33.2 cm Yeşil (1992), 34.7 cm Erkan (1995) ve 41.5 cm Çatal (2009)’dir.



Şekil 72. Kızılçam için ağaç sayısının karşılaştırılması



Şekil 73. Kızılçam için göğüs yüzeyinin karşılaştırılması

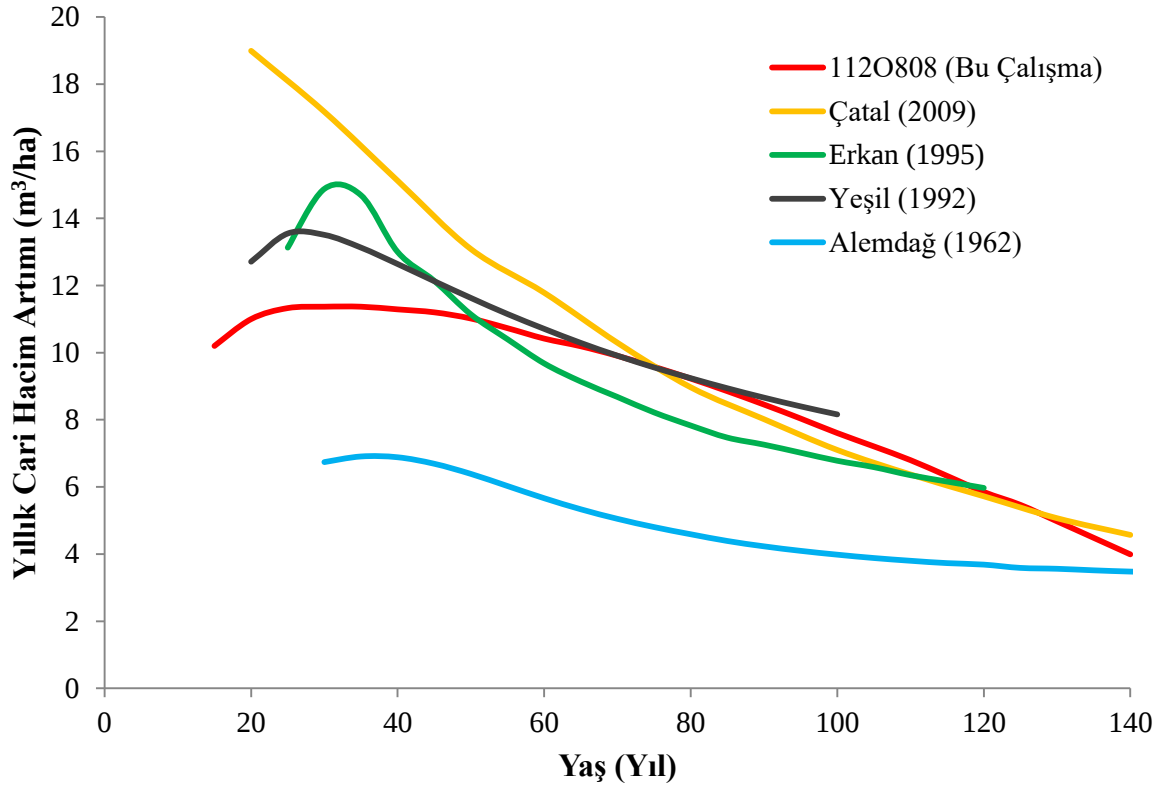


Şekil 74. Kızılcām için kalan meşcere hacminin karşılaştırılması

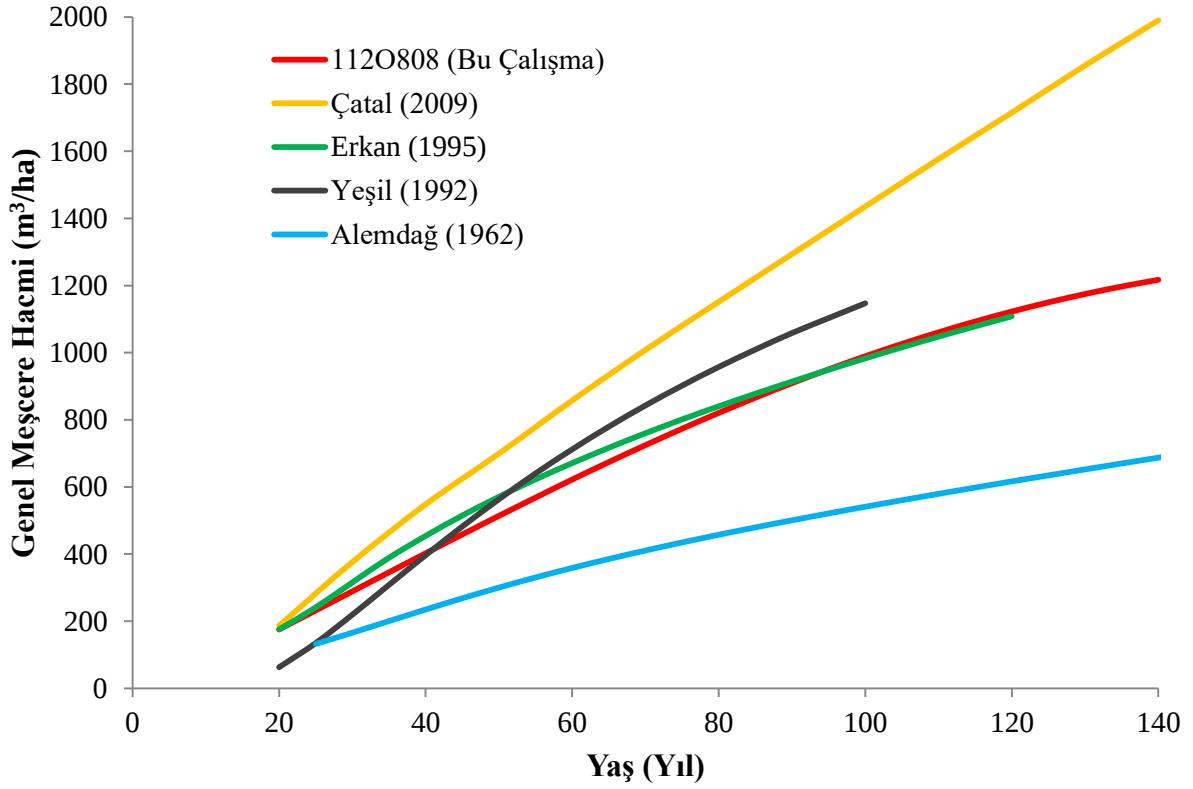
Üretilen Kızılcām sıklığına bağlı hasılat tablolarına ilişkin meşcere ağaç sayıları, 50 yaşına kadar sadece Alemdağ (1962)'dan düşük ve 50 yaşından sonra ise en diğer tüm çalışmaların değerlerinden daha fazladır. Genel olarak 60 yaşından sonra tüm çalışmalardaki ağaç sayıları birbirine yakın olmakla birlikte bu çalışmaya en yakın değerler Çatal (2009) tarafından yapılan çalışma ile elde edilmiştir (Şekil 72).

Göğüs yüzeyi değerlerine bakıldığında, 50 yaşına kadar diğer yapılan çalışmalarinkine göre daha düşük, 50-75 yaşları arasında Alemdağ (1962)'kinden ve 75 yaşından sonra ise Alemdağ (1962) ve Erkan (1995)'kinden daha fazla olduğu görülmektedir (Şekil 73). 60 yaşındaki göğüs yüzeyi değerleri en düşük değerden yükseğe doğru sırasıyla, 30.7 m²/ha Alemdağ (1962), 33.7 m²/ha 112O808 (Bu Çalışma), 37.9 m²/ha Erkan (1995), 44.6 m²/ha Yeşil (1992) ve 56.0 m²/ha Çatal (2009)'dır.

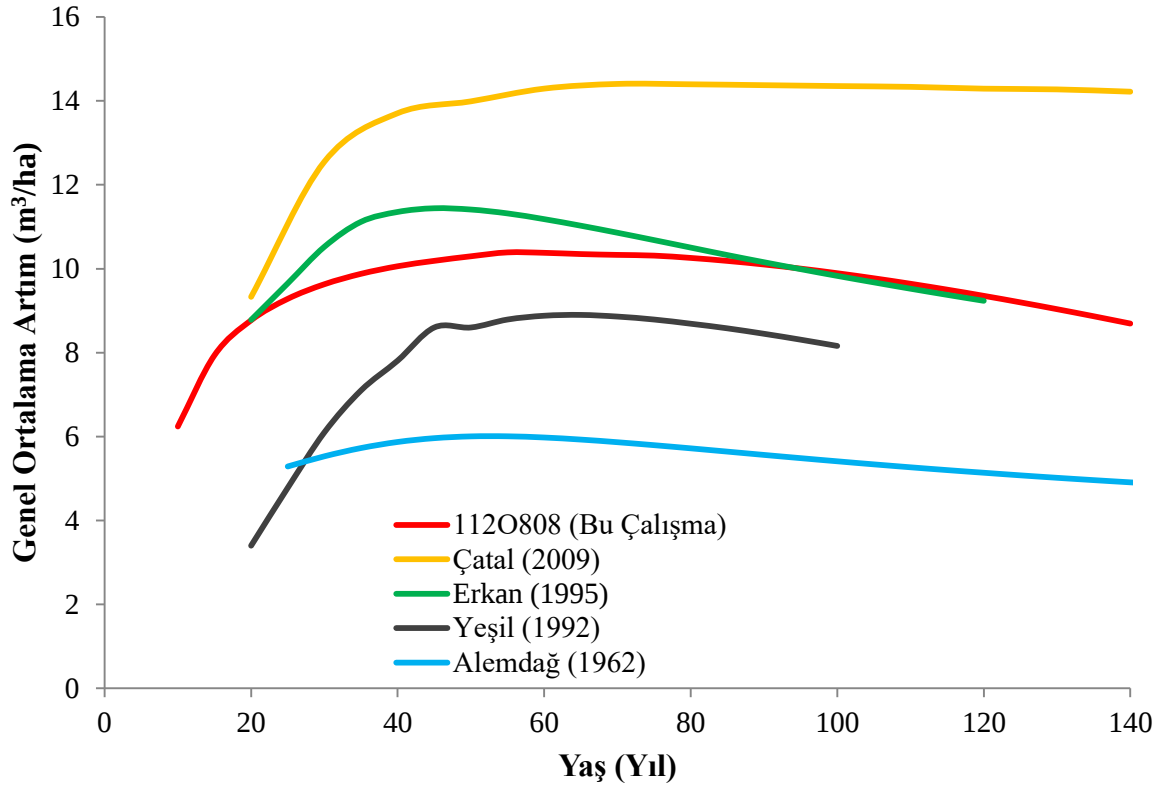
Kalan meşcere hacimleri incelendiğinde, bu çalışma ile elde edilen değerler 35 yaşına kadar Alemdağ (1962) ve Yeşil (1992), 35-45 yaşları arasında Alemdağ (1962) ve 45 yaşından sonra ise Alemdağ (1962) ve Erkan (1995)'kinden daha fazla olduğu görülmektedir (Şekil 74). 60 yaşındaki kalan meşcere hacimleri değerleri en düşük değerden yükseğe doğru sırasıyla, 255.4 m³/ha Alemdağ (1962), 358.5 m³/ha Erkan (1995), 423.4 m³/ha 112O808 (Bu Çalışma), 532.9 m³/ha Yeşil (1992) ve 537.7 m³/ha Çatal (2009)'dır.



Şekil 75. Kızılçam için yıllık cari hacim artımının karşılaştırılması



Şekil 76. Kızılçam için genel meşçere hacminin karşılaştırılması



Şekil 77. Kızılcām için genel ortalama hacim artımının karşılaştırılması

Yıllık cari artım değerleri genel olarak başlangıçta artış göstermekte belli bir yaşa kadar bu artış devam ettikten sonra hızlı bir şekilde düştüğü görülmektedir. Bu çalışma ile elde edilen yıllık hacim artımları 50-yaş arasında Yeşil (1992), 70-100 yaşları arasında Yeşil (1992) ve Çatal (2009), 100-120 yaşları arasında Çatal (2009) ve Erkan (1995) ve 100 yaşından sonra ise Çatal (2009) tarafından yapılan çalışmaları ile elde edilen değerlerden daha yüksek olduğu görülmektedir (Şekil 75).

Genel meşcere hacim değerleri genel olarak kalan meşcere hacim değerleri ile benzerlik göstermektedir. Genel meşcere hacimlerine en yakın değerler Erkan (1995) tarafından yapılan çalışma ile elde edilmiştir. Bu çalışma ile elde edilen değerler 40 yaşına kadar Alemdağ (1962) ve Yeşil (1992), 40-50 yaşları arasında Alemdağ (1962) ve 50 yaşından sonra ise Alemdağ (1962) ve Erkan (1995)'kinden daha fazla olduğu görülmektedir (Şekil 76). 60 yaşındaki genel meşcere hacimleri değerleri en düşük değerden yükseğe doğru sırasıyla, 358.7 m³/ha Alemdağ (1962), 622.0 m³/ha 112O808 (Bu Çalışma), 670.9 m³/ha Erkan (1995), 712.0 m³/ha Yeşil (1992) ve 857.6 m³/ha Çatal (2009)'dır.

Genel ortalama hacim artımları genel olarak belli bir yaşa kadar artıp belirli bir yaşta maksimum değere ulaştıktan sonra azaldığı görülmektedir. Genel ortalama artımlarının maksimum olduğu yaşlar en düşük yaşıdan yükseğe doğru sırasıyla, 50 yaşında Erkan (1995), 55 yaşında

Alemdağ (1962), 60 yaşında 1120808 (Bu Çalışma), 65 yaşında Yeşil (1992) ve 70 yaşında Çatal (2009) olduğu görülmektedir (Şekil 77).

4.5 Tek Ağaç Modeline İlişkin Tartışma

Bu projede saf ve aynı yaşlı Kızılçam meşcerelerinden alınan 486 örnek alandan elde edilen verilere bağlı olarak tek ağaç büyüme modeli geliştirilmiştir. Kızılçam için geliştirilen çap artımı modelinin modelin belirtme katsayısı (R^2) 0.744, standart hatası ($S_{y,x}$) 0.678 mm ve F_n değeri 1411.1'dir.

Kızılçam için geliştirilen tek ağaç modelinde çap artımının tahmin edilmesinde etkili değişkenlerin belirlenmesinde, bağımsız değişkenlere ilişkin hesaplanan standardize edilmiş katsayıların, standardize edilmiş katsayıların mutlak değerce toplamına bölünmesi ile elde edilen oran kullanılmıştır. Geliştirilen tek ağaç modelinde, çap artımının tahmininde en etkili değişken $\ln(b_e)$ (0.2780) iken, daha sonra ise sırasıyla $\ln(t)$ değişkeni (0.2330), $\ln(d_{1.30})$ değişkeni (0.1998), BAL'a göre hesaplanan yarışma endeksi (0.0896), $\ln(sd)$ değişkeni (0.0826), $1/d_{1.30}$ değişkeni (0.0787) ve $\ln(BAL)$ değişkeni (0.0383) gelmektedir.

Kızılçam için geliştirilen tek ağaç modellerindeki göğüs çapı, meşcere yaşı, bonitet endeksi, sıklık derecesi ve yarışma endeksi gibi bağımsız değişkenlerinin çap artımı ile ilişkileri istatistiksel olarak % 5 önem düzeyinde anlamlı olup, ilişkilerinin yönü bilinen büyüme kanunları ile uyumludur. Çap artımında elde edilen ilişkiler daha önceki büyüme modelleri konusundaki çalışmalarla da benzerlikler göstermektedir. Göğüs çapları ile çap artımı arasında belli bir çapa kadar pozitif yönde belli bir çaptan sonra ise negatif yönde ilişkiler belirlenmiş olup, diğer birçok çalışmada da benzer ilişkiler elde edilmiştir (Wykoff vd., 1982; Sun, 1983; Vanclay, 1994; Monserud ve Sterba, 1996; Vanclay ve Skovsgaard 1997; Jogiste, 1998; Carus, 1998; Jogiste, 2000; Gobakken ve Næsset, 2002; Sterba vd., 2002; Mabvurira ve Miina, 2002; Mısır, 2003; Palahí ve Grau, 2003; Yang vd., 2003; Zhao vd., 2004; Zhang vd., 2004; Lee vd., 2004; Trasobares ve Pukkala, 2004; Vanclay, 2006; Çatal, 2009; Bristow vd., 2006; Ercanlı, 2010; Crecente-Campo vd., 2010; Yavuz vd., 2010; Kahriman, 2011; Kaya, 2013). Yaş değişkeni ile çap artımı arasında negatif ilişki belirlenmiştir (West, 1980; Wykoff vd., 1982; Wykoff, 1990; Vanclay, 1994; Monserud ve Sterba, 1996; Yoshida ve Kamitani, 1999; Hokka ve Groot, 1999; Jogiste, 2000; Mabvurira ve Miina, 2002; Gobakken ve Næsset, 2002; Palahí ve Grau, 2003; Mısır, 2003; Lee vd., 2004; Ercanlı, 2010; Crecente-Campo vd., 2010). BAL'a göre hesaplanan yarışma endeksi ile çap artımı arasında diğer çalışmalara benzer şekilde negatif yönde bir ilişkiler belirlenmiştir (Teck ve Hilt, 1991; Vanclay, 1994; Biging and Dobbertin, 1995; Monserud ve Sterba, 1996; Vanclay ve Skovsgaard, 1997; Yoshida ve Kamitani, 1999; Lessard vd., 2001; Sterba vd., 2002; Mabvurira ve Miina, 2002; Andreassen ve Tomter, 2003; Palahí ve Grau, 2003; Trasobares ve Pukkala, 2004; Zhao vd., 2004; Zhang

vd., 2004; Crecente-Campo vd., 2010). Tek ağaç modellerinde bonitet endeksi ile çap artımı arasında pozitif, meşcere sıklığı ile negatif yönde ilişkiler saptanmıştır (West, 1980; Wykoff, 1990; Vanclay, 1994; Monserud ve Sterba, 1996; Hokka ve Groot, 1999; Gobakken ve Næsset, 2002; Sterba vd., 2002; Mabvurira ve Miina, 2002; Palahí ve Grau, 2003; Mısır, 2003; Zhang vd., 2004; Zhao vd., 2004; Ercanlı, 2010; Crecente-Campo vd., 2010; Yavuz vd., 2010; Kahrıman, 2011).

Saf Kızılcım için geliştirilen tek ağaç modelleri, hataların normal dağılması, otokorelasyon, varyanslarının sabit olması (heteroscedasticity), çoklu bağıntı (multicollinearity) gibi regresyon analizi yöntemlerin gerektirdiği varsayımları sağlamaktadır. Büyüme üzerinde etkili olan etmenlere ilişkin bilgileri birlikte kullanabilme olanağına sahip olan bu tek ağaç büyüme modellerinin, geleceğe ilişkin tahminlerin yansız, tutarlı ve bilinen büyüme yasaları ile uyumlu olduğu söylenebilir. Vettenranta (1999) ve Mabvurira ve Miina (2002), geliştirdikleri uzaklığa bağlı tek ağaç modellerine ilişkin hataların değişen varyans ile belirli bir trend gösterip göstermediğini denetlemiştir. Andreassen ve Tomter (2003), Palahí ve Grau (2003), Zhang vd. (2004), Zhao vd. (2004) ve Crecente-Campo vd (2010) geliştirdikleri uzaklıktan bağımsız tek ağaç modellerine ilişkin hataların değişen varyans ile belirli bir trend gösterip göstermediğini denetlemiştir. Wykoff (1990), Monserud ve Sterba (1996), Jogiste (2000), Gobakken ve Næsset (2002) Andreassen ve Tomter (2003) ve Crecente-Campo vd (2010) ise, geliştirdiği modeli çoklu bağıntı sorunu bakımından denetlemiştir. Mısır (2003) ise, model hatalarının varyansının homojenliği ve normalliğini analiz etmiştir. Mısır vd. (2004) ise, model hatalarının varyansının homojenliği ile belirli bir tren gösterip göstermediğini denetlemiştir. Ercanlı (2010), Doğu Ladini-Sarıçam karışık meşcerelerinde Doğu Ladini ve Sarıçam için geliştirdiği uzaklıktan bağımsız ve uzaklığa bağlı tek ağaç modellerinde hataların normal dağılıp dağılmadığını, otokorelasyonu, varyanslarının sabit olmasını (heteroscedasticity) ve çoklu bağıntı (multicollinearity) varsayımlarını denetlemiştir. Yavuz vd. (2010), saf ve karışık Sarıçam meşcerelerinde geliştirdikleri tek ağaç modellerinde hataların normal dağılıp dağılmadığını, otokorelasyonu, varyanslarının sabit olmasını (heteroscedasticity) ve çoklu bağıntı (multicollinearity) varsayımlarını denetlemiştir. Kahrıman (2011), Sarıçam - Doğu Kayını karışık meşcerelerinde Sarıçam ve Doğu Kayını için geliştirdiği uzaklıktan bağımsız ve uzaklığa bağlı tek ağaç modellerinde hataların normal dağılıp dağılmadığını, otokorelasyonu, varyanslarının sabit olmasını (heteroscedasticity) ve çoklu bağıntı (multicollinearity) varsayımlarını denetlemiştir.

4.6 Antalya ve Mersin Yöresi Saf Kızılçam Meşcerelerinin Karbon Depolama ve Oksijen Üretim Kapasitesine İlişkin Tartışma

Bu Projede Antalya ve Mersin Orman Bölge Müdürlüklerindeki saf Kızılçam meşcerelerinin karbon depolama ve oksijen üretim miktarları belirlenmiştir. Bunun için saf Kızılçam alanı (Bölüm 2.2.1:Tablo 3) ile Tablo 30'daki (Bölüm 3.12) örnek alanların temsil ettiği meşcerelerin ortalama fırın kurusu ağırlığına karşılık gelen hektardaki ortalama karbon tutma miktarlarıyla çarpılmıştır. Burada hesaplanan karbon miktarlarının, Denklem 103'de belirtilen katsayıyla çarpılması suretiyle de, oksijen üretim kapasitesi belirlenmiştir. Tablo 3'de verildiği üzere çalışma alanındaki (Antalya ve Mersin Orman Bölge Müdürlüğü) saf Kızılçam meşcerelerinin toplam alanı 761196.3 ha olup buna göre hesaplanan karbon depolama ve oksijen üretim miktarları aşağıda verilmiştir (Tablo 36).

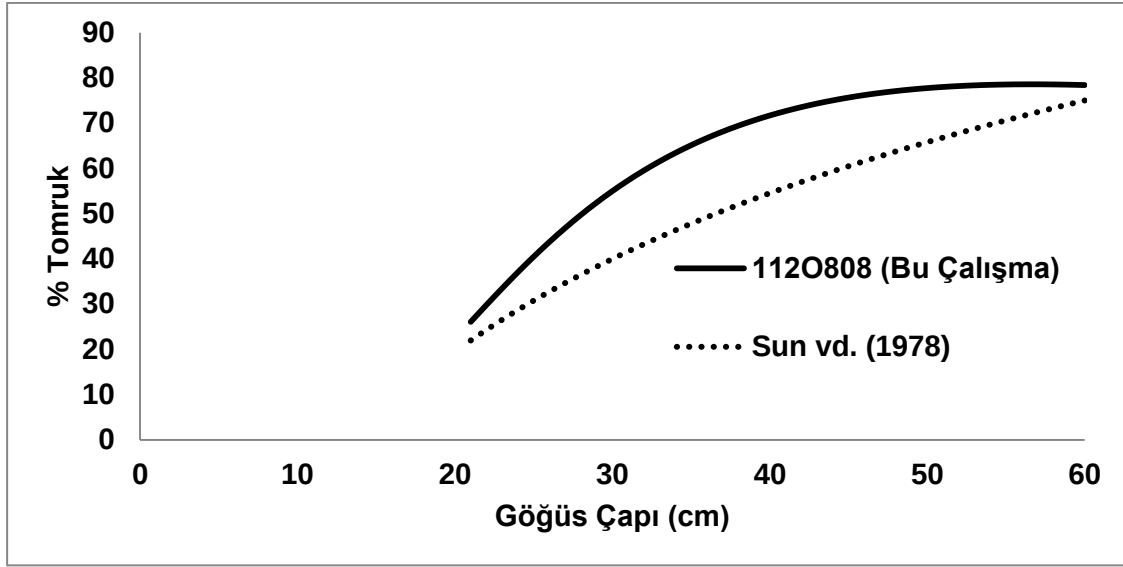
Tablo 36. Antalya ve Mersin Orman Bölge Müdürlüğü'ndeki saf Kızılçam meşcerelerinin karbon depolama kapasiteleri ve oksijen üretim kapasiteleri (ton)

Ağaç Bileşeni	Tek Girişli Biyokütle Modellerine Göre Hesaplanan Ortalama FKA'ya Karşılık Gelen		Çok Girişli Biyokütle Modellerine Göre Hesaplanan Ortalama FKA'ya Karşılık Gelen	
	Toplam Karbon	Toplam Oksijen	Toplam Karbon	Toplam Oksijen
Gövde	28750384,3	34500461,1	28826503,9	34591804,7
Kabuk	7101961,5	8522353,8	6302705,4	7563246,4
Dal	5861211,5	7033453,8	5716584,2	6859901,1
İbre	1834483,1	2201379,7	1872542,9	2247051,5
ΣTÜBK	45344463,6	54413356,3	44621327,1	53545592,5

Buna göre Antalya ve Mersin Orman Bölge Müdürlüğü'ndeki saf Kızılçam meşcereleri tek girişli biyokütle modelleriyle hesaplanan fırın kurusu ağırlıklara göre 43.344.463,6 ton, çok girişli biyokütle modelleriyle hesaplanan fırın kurusu ağırlıklara göre ise aynı alanın 44.621.327.1 ton karbon depolama kapasitesine sahip olduğu hesaplanmıştır.

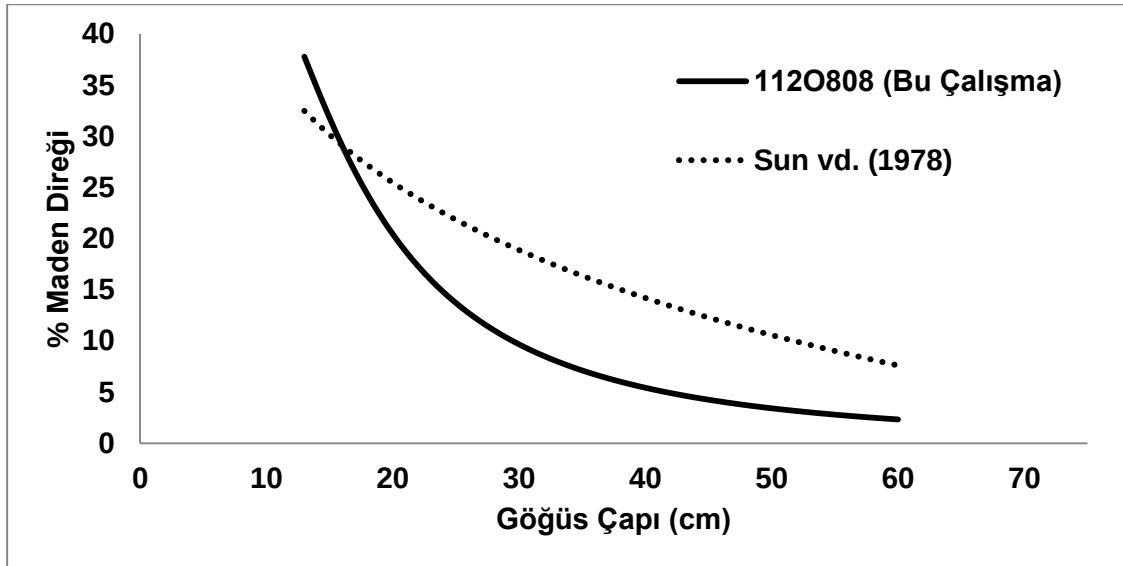
4.7 Odun Ürün Çeşidi Oranlarına İlişkin Tartışma

Çalışma kapsamında elde edilen Kızılçam tek girişli ürün çeşitleri modelleri Sun vd. (1978) tarafından, ülkemizdeki tüm Kızılçam meşcereleri için yapılmış olan tek girişli ürün çeşitleri modelleriyle kıyaslanmıştır. Bu kıyaslamalar, her odun ürün çeşidi için ayrı ayrı, yapılmıştır (Şekil 78-82).



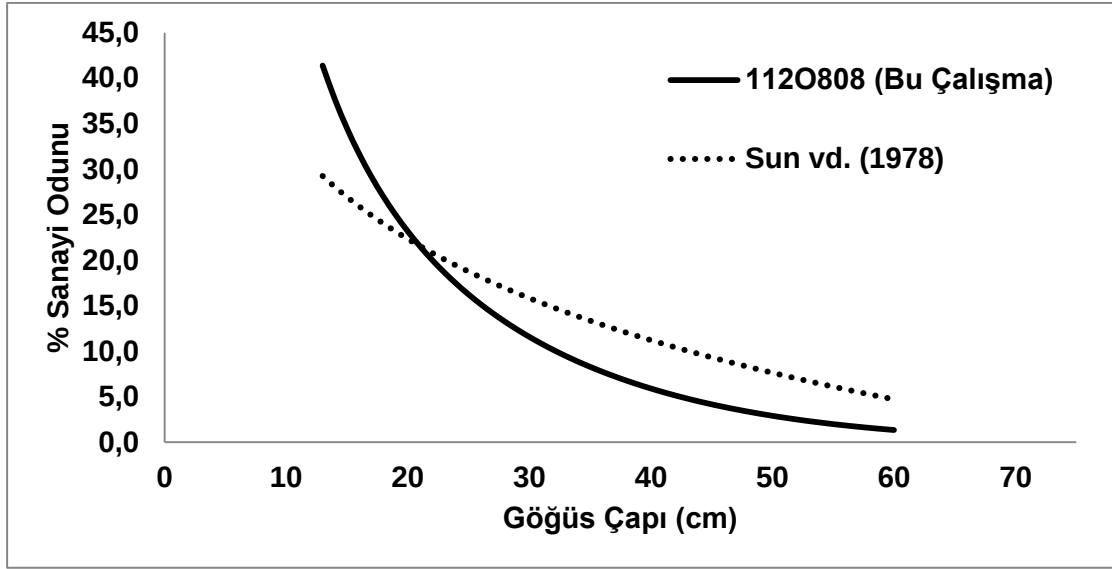
Şekil 78. Tek girişli modelle elde edilen Tomruk oranlarının kıyaslanması

Şekil 78 incelendiğinde çalışma kapsamında üretilen tek girişli 'Tomruk' oranı modelinin Sun vd. (1978) tarafından oluşturulan modelle aynı yönde, artış göstermektedir. Çalışma kapsamında üretilen modelin, Sun vd. (1978) tarafından oluşturulan modele göre daha yüksek sonuç verdiği tespit edilmiştir.



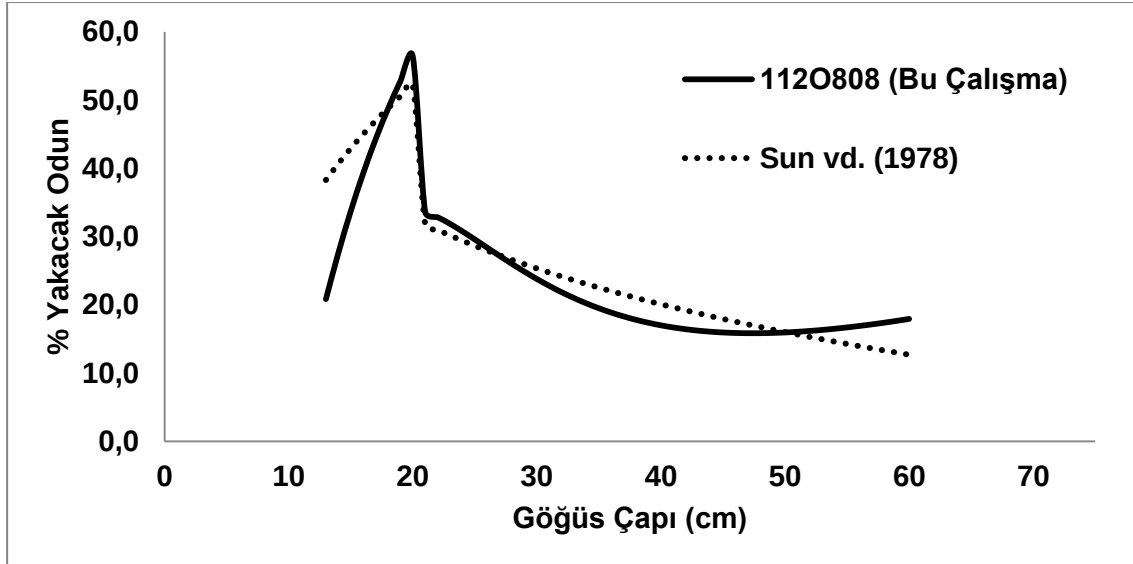
Şekil 79. Tek girişli modelle elde edilen Maden Direği oranlarının kıyaslanması

Şekil 79 incelendiğinde çalışma kapsamında üretilen tek girişli 'Maden Direği' oranı modelinin Sun vd. (1978) tarafından oluşturulan modelle aynı yönde, azalış gösterdiği görülmüştür. 20 cm çapına kadar Sun vd. (1978) tarafından oluşturulan modele yakın, sonrasındaki çaplarda ise daha düşük değerler verdiği tespit edilmiştir.



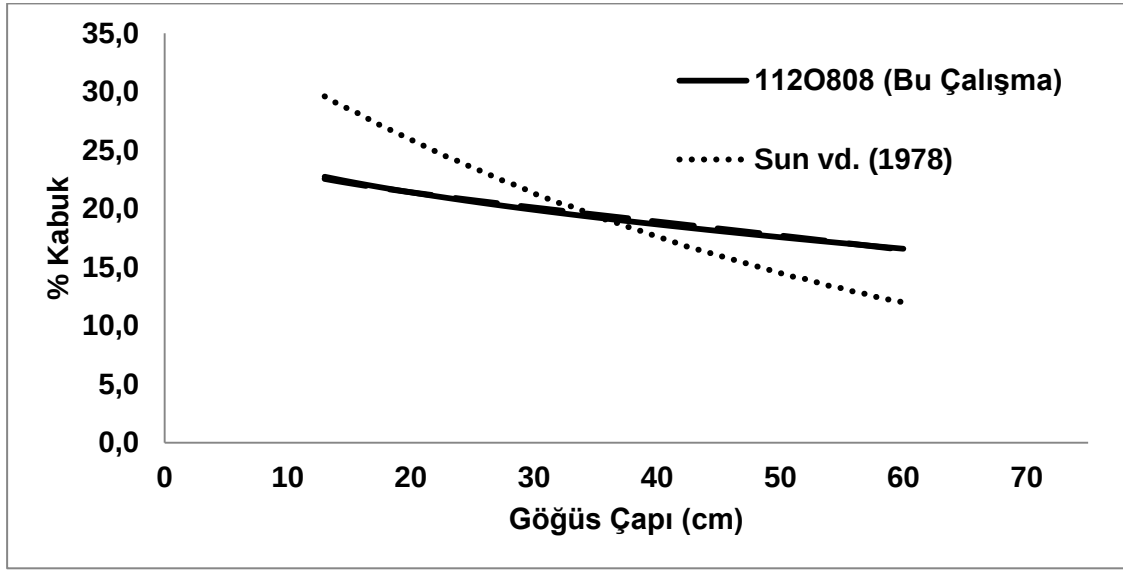
Şekil 80. Tek girişli modelle elde edilen Sanayi Odunu oranlarının kıyaslanması

Şekil 80 incelendiğinde, çalışma kapsamında üretilen tek girişli 'Sanayi Odunu' oranı modelinin Sun vd. (1978) tarafından oluşturulan modelle aynı yönde olup, azalan bir seyir izlediği görülmüştür. Detaylı incelenecek olursa; çalışma kapsamında üretilen tek girişli Sanayi Odunu oranı modelinin, 20 cm çapına kadar Sun vd. (1978) tarafından oluşturulan model değerlerinden daha yüksek, sonrasındaki çaplarda ise daha düşük değerler verdiği görülmüştür.



Şekil 81. Tek girişli model sonuçlarına göre hesaplanmış Yakacak Odun oranlarının kıyaslanması

Şekil 81 incelendiğinde çalışma kapsamında üretilen tek girişli modellerin farkı alınarak elde edilen yakacak oranı tablo değerleri Sun vd. (1978) tarafından yakacak oranı tablo değerleriyle aynı trendde seyretmektedir. Şekilden de görüleceği üzere ağaçlardan odun ürün çeşidi olarak 'tomruk' üretiminin gerçekleştiği çapa kadar (20 cm kabuklu çapına kadar) öncelikle artış göstermektedir. 20 cm kabuklu çaptan daha büyük çaplarda, tomruk da üretilmeye başladığı için, yakacak oranı giderek azalmaktadır. Her iki tablonun yakacak oranı tablo değerleri genelde birbirine yakın, 20-35 cm çapları arasında da daha da birbirine yaklaşmakta olduğu tespit edilmiştir.



Şekil 82. Tek girişli modellerle elde edilen Kabuk oranlarının kıyaslanması

Şekil 82 incelendiğinde çalışma kapsamında üretilen tek girişli kabuk oranı modelinin Sun vd. (1978) tarafından oluşturulan modelde olduğu gibi azalan bir seyir izlediği görülmüştür. 35 cm çapına kadar Sun vd. (1978) tarafından oluşturulan model değerlerinden daha düşük, sonrasındaki çaplarda ise daha yüksek değerler verdiği tespit edilmiştir.

Çalışma kapsamında elde edilen ürün çeşitleri modelleri ile genel olarak Kızılçam için hazırlanmış olan modellerin seyrine uygun değerler elde edilmiştir. Çalışma kapsamında oluşturulan modeller, Sun vd. (1978) tarafından oluşturulan modellere göre tomruk oranını daha yüksek, maden direği ve sanayi odunu oranları genellikle daha düşük miktarlarda tahmin etmektedir. Kıyaslanan modellerle arada bulunan değer farklılıklarının da, yapılan çalışmanın yöresel Sun vd. (1978) tarafından yapılan çalışma ise ülkemiz için genel olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir.

5 SONUÇ ve ÖNERİLER

Kızılçam, yayılış alanı, artım ve büyüme özellikleri, yarattığı ekonomik değer dolayısıyla ülkemizin en önemli asli orman ağacı türlerinden biridir. Bu önem, ülkemizde yayılış alanı bakımından ilk sırada; hacim olarak da Anadolu Karaçamından sonra ikinci sırada yer alması, odununun çeşitli kullanım yerlerine sahip olmasından ileri gelmektedir. Bu yüzden Kızılçam ağaç türünün çok yönlü ele alınıp tanımlanması gerekmektedir.

Bu proje kapsamında, Antalya ve Mersin Orman Bölge Müdürlüğü saf Kızılçam meşçerelerinde yaş sınıfı, bonitet ve sıklık derecesi gibi meşçere özelliklerine göre dağılımı homojen olacak şekilde 486 geçici örnek alanda ve her bir örnek alanda 2 adet olmak üzere toplamda 972 örnek ağaçta yapılan gerekli ölçümler sonucunda elde edilen verilere bağlı olarak;

- Artım ve büyüme modelleri geliştirilmiş,
- Yetiştirme ortamı verim gücünü (bonitet) saptanmış,
- Tek girişli, bonitete dayalı tek girişli ve çift girişli ağaç hacim tabloları oluşturulmuş,
- Ürün çeşidi oranları saptanmış ve göğüs çapı ve ağaç boyuna bağlı olarak ürün çeşitleri modellenmiş ve tablolatırılmış,
- Toprak üstü biyokütle miktarı belirlenmiş,
- Karbon depolama kapasitesi belirlenmiş,
- Hesaplanan karbon depolama kapasiteleri yardımıyla toplam oksijen üretim kapasitesi hesaplanmıştır.

Örnek alanların sayısı, 9 yaş sınıfı (0-10, 11-20, 21-30, 31-40, 41-50, 51-60, 61-80, 81-100 ve > 100 yıl) X 3 bonitet sınıfı X 3 sıklık derecesi (sıklık derecesi, kapalılığa uygun olacak şekilde 3 gruba ayrılmıştır; 0.10-0.40, 0.41-0.70 ve ≥ 0.71) X 3 tekerrür X 2 Orman Bölge Müdürlüğü dikkate alınarak belirlenmiştir.

Proje kapsamında her bir örnek alandan biri orta ağacı temsil eden ağaç ve diğeri üst boyu temsil eden ağaç olmak üzere 2 ağaç kesilmiş ve ağaçlar üzerinde gerekli ölçümler yapılmıştır. 972 ağacın tamamı ürün çeşidi oranlarının saptanmasında, 486 orta ağaç hacim tablolarının oluşturulmasında, 486 üst boydaki ağaç yetiştirme ortamı verim gücünün belirlenmesinde, 486 orta ağacın 324 adedi ise toprak üstü biyokütle miktarının ve karbon depolama kapasitesinin belirlenmesinde (486 orta ağacın 2/3'ü: 2 tekerrür) kullanılmıştır (Tablo 3).

Ülkemizde Kızılçam ağaç türüne ait çift girişli ağaç hacim tablosu daha önceden düzenlenmiş ve kullanılmaktadır. Ancak tek girişli ağaç hacim tabloları, doğruluk bakımından çift girişli ağaç hacim tablosuna kıyasla, daha düşük hassasiyete sahip olmakla birlikte; kullanımı daha kolay olduğundan ormancılık faaliyetlerinde çoğunlukla tercih edilmektedir. Bu nedenle çalışma kapsamında Kızılçam için hem çift girişli, hem de tek girişli ağaç hacim tablosu düzenlenmiştir.

Yöresel ağaç hacim tabloları, genel ağaç hacim tablolarına göre daha güvenilir bulundukları için çalışma kapsamında, Kızılçam için yöresel tek girişli, bonitete dayalı tek girişli ve çift girişli ağaç hacim tabloları oluşturulmuştur. Kızılçam meşcereleri için geliştirilen tek girişli ağaç hacim modelleri I. bonitet sınıfındaki ağaçlar için düşük ve III. bonitet sınıfındaki ağaçlar için ise yüksek tahminler yapmaktadır. Bununla birlikte orta bonitet sınıfındaki meşcerelerdeki ağaçlar için tek girişli ağaç hacim modeli, II. bonitet sınıfı için oluşturulan ağaç hacim modelleri ile istatistiksel olarak aynı tahminler vermektedir. Tek girişli ağaç hacim tablosu değeri, I. ve II. bonitet sınıflarında bonitete dayalı tek girişli ağaç hacim modelleri değerinden düşük olup bu fark I. bonitet sınıfı için %-6.32 ve II. bonitet sınıfı için ise %-0.45'dir. Oysa III. bonitet sınıfında tek girişli ağaç hacim modeli, bonitete dayalı tek girişli ağaç hacim modelinden %4.28 daha büyük değerler vermektedir. Bunun anlamı hacimlendirme yapılırken tek girişli ağaç hacim modeli kullanıldığı zaman I. ve II. bonitet sınıflarında düşük değerler elde edilirken, III. bonitet sınıfında ise yüksek değerler elde edilmektedir.

Çalışma kapsamında üretilen çift girişli ağaç hacim modeli ile genellikle Usta (1991), Çatal (2009) ve Carus ve Su (2014) tarafından hazırlanan çift girişli ağaç hacim modellerinden daha yüksek, Alemdağ (1962) ve Sun vd. (1978) tarafından hazırlanan çift girişli ağaç hacim modellerinden daha düşük hacimler elde edilmektedir. Daha önce üretilen çift girişli ağaç hacim denklemleri ve tablolarının yerleri ve kullanılan örnek ağaç sayıları: Alemdağ (1962) Akdeniz Bölgesi ve Güney Ege'de (Adana, Mersin, Antalya, Muğla, Denizli, Isparta) 106 adet ağaç verisi; Sun vd. (1978) Türkiye genelinde 1160 ağaç verisi; Usta (1991) Antalya, Muğla, Adana, Maraş illerinde 289 ağaç verisi; Çatal (2009) Burdur, Isparta, Konya, Afyonkarahisar, Muğla, Denizli, Antalya ve Mersin illerinde 72 ağaç (892 seksiyon verisi); Carus ve Su (2014) Antalya-Korkuteli'nde 50 ağaç (325 seksiyon verisi) şeklindedir. Ayrıca bunların dışında Uğurlu ve Özer (1977) tarafından Antalya-Bük Araştırma ormanında 251 ağaç verisi kullanılarak çift girişli ağaç hacim denklemi üretilmiştir. Üretilen çift girişli modelin, diğer çalışmalara göre daha yüksek veya daha düşük sonuç vermesinin, hem üretilen çift girişli ağaç hacim modellerinin farklı yörede (yöresel) olmasından hem de modelde yer alan değişkenlerin farklı olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir.

Diğer taraftan, üretilen tek girişli, bonitete dayalı tek girişli ve çift girişli ağaç hacim modellerinin hem toplam hata hem de ortalama mutlak hata yüzdeleri kabul edilen hata sınırlarını aşmamaktadır. Bu da bu modellerin kabul edilebilir olduklarını ve çalışma alanlarındaki meşcerelerdeki ağaçların hacimlerinin doğruya yakın tahmin edilebileceklerini göstermektedir. Bu çalışmada bonitet endeksi modellerine ilişkin başarı ölçütleri değerlendirildiğinde, yaş-üst boy ilişkisini modellemede en başarılı denklemin Hossfeld büyüme fonksiyonun ($M2:69$) olduğu görülmektedir. Seçilen Hossfeld ($M2:69$) modelinin (a_1) ve ($a_2=b_1 + b_2.X$) katsayılarını esas alan dönüşümle elde edilmiş GADA modeli, boydaki değişkenliğin % 98,42'sini ($R_{düz}^2$)

açıklamaktadır. Denklemin Hata Kareler Ortalamasının Karekökü (RMSE) değeri 0.8013 m., Akaike Bilgi Ölçütü (AICd) değeri 0 ve Durbin-Watson test istatistiği değeri ise 2.0099'dur. Bu başarı ölçüt değerleri değerlendirildiğinde, Otoregresif modelleme ile seri korelasyon problemin olmadığı (D.W.=2.0099) görülmektedir. Geliştirilen bonitet endeks modelinde hataların dağılımının rastgele olduğu ve belirli bir yönde bir eğilim göstermediği, dolayısıyla modellerde değişen varyans sorununun olmadığı görülmüştür.

Bu projede standart yaş belirlenirken nispi hata (%RE) değerleri kullanılmıştır. Burada her bir yaş sınıfındaki veri sayısı eğrisi ile nispi hata (% RE) eğrisinin çakıştığı yaş değeri idare süresi olarak tercih edilmiştir. Yapılan değerlendirme sonucunda en ideal standart yaş değerinin yaklaşık 60 yıl olduğu tespit edilmiştir. Bu nedenle 60 yaş değeri, Kızılçam meşcerelerini yetiştirme ortamı verim gücüne göre sınıflandırabilmek için standart yaş değeri olarak seçilmiştir. Ayrıca belirlenen bu 60 standart yaş değeri, genellikle üretim amaçlı işletilen meşcerelerde idare süresine eşit olarak kabul edilmekte ve bu değer idare süresi olarak da kullanılmaktadır (Goelz and Burk, 1992; Huang, 1997; Monserud, 1984; Diéguez-Aranda vd., 2005). Bu yaş değeri bu çalışmada da idare süresi olarak alınmıştır.

Kızılçam meşcerelerine ilişkin meşcere modelleri, sıklığa bağlı hasılat tabloları şeklinde geliştirilmiştir. Sıklığa bağlı hasılat tablolarında, meşcere yaşı (t), bonitet endeksi (be) ve meşcere sıklığının (sd) fonksiyonu olarak, kalan meşcerenin orta çapı ($\bar{d}_g$), orta boyu ($\bar{h}_g$), hektardaki ağaç sayısı (N), göğüs yüzeyi (G) ve hacmi (V) regresyon denklemleri ile hesaplanmıştır. Sıklığa bağlı hasılat tablolarının kalan ve ayrılan meşcere öğeleri ile hasılat tablosunun diğer öğelerinin değişimi 5'er yıllık yaş basamağı (10-140 yıl arasında), 5 sıklık derecesi (2,0-4,0-6,0- 8,0-10,0 için) ve 3 bonitet sınıfı (I B-II B-III B) için ortaya konulmuştur. Düzenlenen bu sıklığa bağlı hasılat tabloları sayesinde belirli bir yaş, bonitet sınıfı ve sıklık derecesine bağlı olarak tahminler yapılabilecektir.

Oluşturulan tablolara göre; kalan meşcere elemanlarından orta çap ve orta boy, yaş ilerleyip yetiştirme ortamı verim gücü iyileştikçe artmakta; meşcere sıklığı arttıkça da azalmaktadır (Ek Tablo 5 ve Şekil 32-33). Yine kalan meşcere elemanlarından meşcere hacmi, yaş ilerleyip yetiştirme ortamı verim gücü iyileştikçe ve meşcere sıklığı arttıkça artmaktadır (Ek Tablo 5 ve Şekil 34-35). Meşcere ağaç sayısı ise tam tersine, yaş ilerleyip yetiştirme ortamı verim gücü iyileştikçe ve meşcere sıklığı arttıkça azalmaktadır (Şekil 36-37). Yıllık cari hacim artımı, tüm bonitet sınıflarında, farklı sıklık derecelerine göre genel olarak 30-50 yaşlarına kadar artmakta ve bu yaşlarda maksimuma ulaştıktan sonra azalan bir seyir izlemekteyken, yetiştirme ortamı verim gücü iyileştikçe ve meşcere sıklığı arttıkça artmaktadır (Şekil 38-39). Kalan meşcere ortalama hacim artımı ise, farklı sıklık derecelerine göre genel olarak 45-60 yaşlarına kadar artmakta, bu yaşlarda maksimuma ulaştıktan sonra azalmaktadır (Şekil 42-43). Genel meşcere ortalama hacim artımı ise, farklı sıklık derecelerine göre I. bonitette 55-60, II. bonitette 65-70

ve III. bonitette 70-75 yaşlarına kadar artmakta ve bu yaşlarda maksimuma ulaştıktan sonra azalan bir seyir izlemektedir, yetiştirme ortamı verim gücü iyileştikçe ve meşcere sıklığı arttıkça da artmaktadır (Şekil 44-45).

Kızılçam hasılat tablosunun normal sıklık derecesinde (normal sıklık derecesi: 8,0) yıllık cari artım ile genel ortalama artım arasındaki ilişki de her bir bonitet sınıfı için ayrı ayrı incelenmiştir (Şekil 68-70). Genel ortalama artım değerleri I. bonitet sınıfında 55-60, II. bonitet sınıfında 65-70 ve III. bonitet sınıfında ise 70-75 yaşları arasında maksimum olduktan sonra yavaş bir seyirde azalmaktadır. Diğer taraftan genel ortalama artım değerlerinin maksimum olduğu yaş değerlerinde yıllık cari artıma eşit olduğu görülmüştür. Sonuç olarak Antalya ve Mersin saf Kızılçam meşcerelerinin i Kızılçam meşcerelerinin en yüksek hasılatı veren olgunluk müddetlerini (dare süresi) I. bonitet sınıfı için 60, II. bonitet sınıfı için 65 ve III. bonitet sınıfı için ise 75 yıl idare süresi olarak seçilebilir.

Bu projede saf ve aynı yaşlı Kızılçam meşcerelerinden alınan 486 örnek alandan elde edilen verilere bağlı olarak çap artımı modeli geliştirilmiştir. Kızılçam için geliştirilen çap artımı modelinin modelin belirtme katsayısı (R^2) 0.744, standart hatası ($S_{y,x}$) 0.678 mm ve F_h değeri 1411.1'dir. Kızılçamda çap artımının tahmini için etkili değişkenlerin belirlenmesinde, bağımsız değişkenlere ilişkin hesaplanan standardize edilmiş katsayıların, standardize edilmiş katsayıların mutlak değerce toplamına bölünmesi ile elde edilen oran kullanılmıştır. Geliştirilen tek ağaç modelinde, çap artımının tahmininde en etkili değişken $\ln(b_e)$ (0.2780) iken, daha sonra ise sırasıyla $\ln(t)$ değişkeni (0.2330), $\ln(d_{1.30})$ değişkeni (0.1998), BAL'a göre hesaplanan yarışma endeksi (0.0896), $\ln(sd)$ değişkeni (0.0826), $1/d_{1.30}$ değişkeni (0.0787) ve $\ln(BAL)$ değişkeni (0.0383) gelmektedir. Saf Kızılçam için geliştirilen tek ağaç modelleri, hataların normal dağılımı, otokorelasyon, varyanslarının sabit olması (heteroscedasticity), çoklu bağıntı (multicollinearity) gibi regresyon analizi yöntemlerin gerektirdiği varsayımları sağlamaktadır. Büyüme üzerinde etkili olan etmenlere ilişkin bilgileri birlikte kullanabilme olanağına sahip olan bu tek ağaç büyüme modellerinin, geleceğe ilişkin tahminlerin yansız, tutarlı ve bilinen büyüme yasaları ile uyumlu olduğu söylenebilir.

Bu çalışma ile elde edilen Kızılçam türünün her bir biyokütle bileşeni ve bu bileşenlerden oluşan toprak üstü biyokütle ile göğüs çapı arasındaki ilişkileri incelenmiştir. Bu aşamada, ağaçların yaş ağırlıkları zaman içerisinde değişeceği için kuru ağırlık tablolarının düzenlenmesi daha uygun ve objektif görülmüştür. Tüm biyokütle miktarları göğüs çapı ile doğru orantılı olarak değişmekte, diğer bir ifade ile göğüs çapı arttıkça tek ağacın tüm biyokütle miktarları artmaktadır. Model içerisindeki bağımsız değişken sayısı arttıkça modelin açıklayıcı gücü arttığı için çift girişli modeller, tek girişli modellere göre daha üstün bulunmuştur.

Üretilen karbon depolama modelleri kullanılmadan önce, seçilen modellerin uygunluğu, model üretimine dâhil edilmemiş olan 64 kontrol verisi kullanılarak, her bir ağaç bileşenine ait model

(gövde, kabuk, dal, ibre ve toplam toprak üstü biyokütle) için ayrı ayrı yapılmıştır. Yapılan değerlendirme sonucunda geliştirilen karbon depolama denklemlerinin 0.05 önem düzeyinde genel bazda kullanılabileceği sonucuna varılmıştır. Çalışma sonucu oluşturulan çift girişli biyokütle modelleri, en yüksek belirtme katsayısına (R^2) ve en düşük hata değerine (S_{yx}) sahip olmalarının yanı sıra büyüme kanuniyetlerine uygun sonuçlar vermesi, bu modellerin Antalya ve Mersin Yöresi saf Kızılçam meşcerelerinin toprak üstü biyokütle kuru ağırlıklarını tahminde kullanılabileceklerini göstermektedir. Ayrıca diğer biyokütle çalışmaları ile yapılan kıyaslamalarla; oluşturulan tabloların yöreye ve yöntemle göre farklılıklar gösterebileceği, bu nedenle de yöresel olarak yapılan çalışmalarla elde edilen tabloların farklı yöre ve türlerde kullanılması halinde farklılıklar olacağı bilinmelidir.

Çalışma kapsamında düzenlenen tek girişli odun ürün çeşitleri modellerinin, büyüme yasaları ile uyumlu olduğu görülmüştür. Diğer bir ifadeyle, geliştirilen tek girişli odun ürün çeşitleri modelleri ile oluşturulan tek odun ürün çeşitleri tablosunun Antalya ve Mersin Yöresi için kullanılabildiği kanaatine varılmıştır. Bu tablonun, Antalya ve Mersin dışındaki Kızılçam meşcerelerinde kullanılması mümkün olsa bile elde edilen sonuçların, tablodaki sonuçlarla uygun olup olmadığı kontrol edilmelidir. Bölgelerin iklim, toprak yapısı vs. gibi farklılıkları bulunduğundan dolayı, bu tablonun farklı yörelerde kullanılması halinde farklılıklar gösterebileceği bilinmelidir.

Orman idarecilerinin ormanlarda yetiştirme ortamı koşullarına uygun ve süreklilik ilkelerini dikkate alarak işletmecilik yapmaları, meşcere kalitesi ile verimini yükseltme olanaklarını araştırmaları en önemli görevleri arasında yer almaktadır. Geliştirilen büyüme modelleri bu görevlerini yerine getirmelerine hizmet etmektedir. Proje kapsamında Antalya ve Mersin Yöresi Kızılçam meşcerelerinde meşcere ve tek ağaç düzeyinde geliştirilen büyüme modelleri, meşcerelerin gelecekteki yapılarına ilişkin sayısal bilgilerin önceden tahmin edilmesine olanak sağlamıştır. Aynı zamanda meşcerelere yapılan silvikültürel müdahalelere bağlı olarak artım ve büyümdaki değişimler ortaya konulabilecektir.

Antalya ve Mersin Yöresi Kızılçam meşcerelerinde düzenlenen sıklığa bağlı hasılat tabloları sayesinde belirli bir yaş, bonitet sınıfı ve sıklık derecesine bağlı olarak kalan, ayrılan ve genel meşcereye ilişkin çeşitli büyüme ölçeleri ile artım değerleri hesaplanabilmektedir. Tek ağaç çap artım modelleri ise, modelleme ünitesi olarak meşcerelerdeki tek ağaçları esas almakta ve meşcere modellerine göre daha ayrıntılı tahminler elde edilmektedir.

Düzenlenen bu sıklığa bağlı hasılat tablolarının kullanılabilmesi için meşcerelerin yaşı, boniteti ve sıklık derecesinin bilinmesi gerekmektedir. Meşcerenin ortalama yaşı, örnek alanda orta çapa yakın 3-4 ağacın yaşlarının aritmetik ortalaması alınarak belirlenebilir. Üst boy, hektarda 100 ağaç hesabı ile örnek alana düşen sayıda en boylu ağaçların aritmetik ortalaması alınarak hesaplanabilir. Çalışma kapsamında geliştirilen GADA modeli sayesinde herhangi bir

enterpolasyona gerek kalmadan meşcerenin boniteti, yaş ve üst boyun fonksiyonu olarak hesaplanabilmektedir. Meşcerenin toplam göğüs yüzeyini göğüs yüzeyi orta ağacının çapın oranlayan oransal meşcere sıklığı Relaskop boy ölçer ile kısa sürede belirlenebilmektedir.

Proje kapsamında Antalya ve Mersin Yöresi Kızılçam meşcereleri için hem tek ağaç hem de meşcere bazında geliştirilen büyüme modelleri ile meşcerenin serveti ve meşcereye uygulanacak teknik müdahalelerin büyüme üzerindeki etkileri elde edilebilecektir. Ancak elde edilen bu büyüme modelleri, örnek alanların geçici özellikte olmaları nedeniyle meşcerelerin gelecek periyotlardaki gelişim süreçleri ve meşcere dinamikleri güvenilir bir biçimde ortaya konamamaktadır. Çünkü geçici örnek alanlarında elde edilen veriler sadece ölçüldükleri zamandaki meşcere yapısını göstermektedir. Farklı ekolojik özelliklere sahip değişik yaşlardaki örnek alanların bir araya getirilerek birbirinin gelecekteki veya geçmişteki büyüme seyrinin bir devamı olarak kabul edilmesi, bu hatalı sonucun ortaya çıkmasına sebep olmaktadır.

Bu çalışmada büyüme modelleri, geçici örnek alanlarından elde edilen verilerle geliştirilmiştir. Geçici örnek alanlardan sağlanan verilerle baskı ve rekabetle meşcerede gerçekleşen doğal kurumalar, bunun yanı sıra hastalık, böcek salgını, kar ve rüzgâr devirmesi veya doğal afetler (toprak kayması, erozyon vb.) sonucu oluşan olağanüstü kurumalar, ormanda yapılan bakım müdahaleleri sonucu ve kaçak kesimlerle kesilen bireylere ilişkin bilgiler sağlıklı ve net bir şekilde elde edilememektedir. Geçici örnek alanları ile geliştirilen bu modeller, günümüz meşcereleri için kullanımları istatistiksel olarak uygun olmalarına karşın, gelecek periyotlardaki meşcereler için uygunluğu test edilememektedir. Meşcerelerin gelecek periyotlardaki gelişim süreçleri ve meşcere dinamikleri güvenilir bir biçimde ortaya konulabilmesi için, farklı yetiştirme ortamları ve farklı meşcere yapılarını temsil edecek şekilde devamlı deneme alanlarının oluşturulmalı ve periyodik olarak ölçülmelidir. Bu sayede bu alanlarda periyodik ölçümler yapılarak ayrılan meşcere hacmi daha güvenilir bir şekilde ortaya konulabilecektir. Bu çalışmada alınan örnek alan sayısının fazla olması sebebiyle, bu kadar alanın koruma altında tutulamayacağından dolayı Antalya ve Mersin Yöresi için düzenlenen sıklığa bağlı hasılat tabloları için geçici örnek alan verileri kullanılmıştır.

Diğer taraftan enerji kaynaklarının tükenmeye başlamasıyla birlikte ormandan ve dolayısıyla ağaçtan sağlanacak olan biyokütle miktarı ve dağılımının bilinmesi de oldukça önem kazanmıştır. Bu yüzden çalışma kapsamında oluşturulan tek ve çift girişli biyokütle modelleri sayesinde, Antalya ve Mersin Yöresi saf Kızılçam meşcerelerinden elde edilebilecek toprak üstü biyokütle miktarı, ağaç bileşenleri bazında hesaplanabilecektir.

Ayrıca, üretilen toprak üstü biyokütle modelleri ve tabloları yardımıyla hesaplanacak olan kuru biyokütle ağırlıkları yardımıyla da, günümüzde büyük önem kazanmış olan karbon depolama kapasitesi ve oksijen üretim miktarı da kolaylıkla hesaplanabilecektir. Bu çalışmada Antalya ve Mersin Yöresi saf Kızılçam meşcerelerinin toplam karbon depolama miktarları, hâlihazırda

kullanılan katsayılarla değil alandan alınmış olan farklı ağaç bileşenlerinin numunelerinin, elementel analizi neticesinde ortaya konmuş, bu aşamadan sonra eşitlik 103'te belirtilen katsayı kullanılarak oksijen üretim kapasitesi hesaplanmıştır. Bu da çalışmada belirlenen karbon miktarlarının daha net olduğunu göstermektedir.

Proje kapsamında saf Kızılçam meşcereleri için odun ürün çeşitleri tablosu oluşturulmuştur. Bu tablolar söz konusu Kızılçam meşcerelerinden elde edilecek olan odun ürün çeşitlerinin oransal olarak daha doğru bir biçimde bilinmesini ve meşcerelerden çıkarılacak bireylerin seçilirken bu durumun dikkate alınmasını da sağlayacak ve ekonomik planlamaya katkıda bulunabilecektir. Bu sayede yanlış sınıflandırma ile odun hammaddesinde meydana gelebilecek değer kayıplarının da önüne geçilebilecektir. Bu yüzden Kızılçamda odun ürün çeşitlerinin oransal dağılımının bilinmesinin, bu türden daha çok verim alınabilmesini de sağlayacağı düşünülmektedir. Buradan hareketle, diğer ağaç türlerinde yapılacak olan çalışmalarda odun ürün çeşitleri konusunun da araştırılması; orman işletmelerin ekonomik boyutu açısından gerekli ve önemlidir.

Çalışma kapsamında geliştirilen büyüme modelleri ve oluşturulan tablolar, orman işletmelerinin, planlama ilkelerine hizmet ederek kolaylık sağlayacak, aynı zamanda pratiklik kazandırarak ekonomik boyutta da işletmeleri kâra geçirecek niteliktedir. Bu yüzden, yapılan bu çalışmanın benzerliğinde, diğer asli türlerimiz için de, yöresel ve detaylı çalışmaların yapılması; hem uygulayıcılara ve araştırmacılara ışık tutacak, hem de ekonomik planlamaya geçiş için bir basamak oluşturacaktır.

Proje kapsamındaki Kızılçam meşcereleri için geçerli olacak şekilde elde edilen bonitet endeksi modeli ile yetişme ortamı verim gücü sınıflamasında belirli bir yaş ve üst boya sahip meşcerelerin, standart yaştaki üst boyları (bonitet endekslerinin) tahmin edilmiştir. Diğer bir ifadeyle, elde edilen bonitet endeksi modeli ile üst boyu ve yaşı ölçülen bir örnek alanın istenilen standart yaşa göre bonitet endeksi, enterpolasyona gerek kalmadan doğrudan hesaplanabilmektedir. Hem uygulama açısından daha pratik hem de cebirsel fark yaklaşımına dayanan polimorfik yöntem yardımıyla yetişme ortamı verim gücünün saptanmasından dolayı, diğer önemli ağaç türlerimiz için de bu yeni yaklaşım yapılmalıdır.

Ayrıca bu proje sonucunda hazırlanmış toprak üstü biyokütle ve ürün çeşitleri tabloları yardımıyla Antalya ve Mersin yöresi aynı yaşlı ve saf Kızılçam meşcerelerinin hem tek ağaç ürün çeşidi hacim oranları (tomruk, maden direği, sanayi odunu, yakacak odun miktarı ve kabuk miktarı) hem de toprak üstü biyokütle miktarları belirlenmiştir. Bu sayede daha önceden mevcut olan Kızılçam Ürün Çeşidi Oranları Tablosu da Antalya ve Mersin yöresi için güncellenmiş ve bu değerler yöresel olduğundan uygulamada kullanılması daha doğru olacaktır. Diğer taraftan ağaçların karbon depolama kapasiteleri, belirli katsayılardan değil de ölçüm ve analizler sonucunda elde edildiğinden daha net olarak saptanmıştır. Bu sayede Rio

sözleşmesi, Helsinki ve Yakın Doğu Süreci kapsamında hesaplamakla yükümlü olduğumuz ormanların karbon birikimini Antalya ve Mersin yöresi için daha doğru bir şekilde ortaya konulmuştur. Sonuç olarak, Kızılçam için bu derece kapsamlı bir biyokütle ve net oksijen üretimi araştırması ile Antalya ve Mersin yöresindeki aynı yaşlı ve saf Kızılçam ormanlarının depoladığı toplam karbon ve yıllık karbon miktarları da ortaya konmuştur. Kızılçam ağaç türünün diğer yörelerdeki meşcereleri ve diğer önemli asli ağaç türlerimiz için bu şekilde yeterli sayıda örnek ölçümler yaparak karbon birikimleri ve oksijen depolama kapasiteleri belirlenmelidir.

Ormancılıkta, meşcere tiplerinin tanımlamasının yetiştirme ortamı verim gücüne dayalı olarak yapılmasının gündemde olduğu günümüzde; ağaç hacim tablolarının da yetiştirme ortamı verim gücüne (bonitete) dayalı olarak düzenlenmesi gerekliliği ortaya çıkmaktadır. Aynı ağaç türünün, farklı yetiştirme ortamı verim gücüne sahip alanlarda, aynı çap değerine sahip olan iki bireyi ele alındığında bu iki farklı ağacın değişik hacim değerlerine sahip olacakları aşikardır. Bu bağlamda yetiştirme ortamı verim gücünden kaynaklanan bu farkın giderilmesi için yetiştirme ortamı verim gücüne göre ağaç türlerinin alacağı hacim değerlerinin tespiti tekrar araştırılmalı ve bunun içinde yetiştirme ortamı verim gücüne dayanan yeni ağaç hacim tabloları düzenlenmesi gerektiği bir ihtiyaç olarak görülmektedir.

Özellikle bonitete dayalı ağaç hacim tablolarının oluşturulmasıyla, saf Kızılçam meşcerelerinde yapılacak bakım ve gençleştirme çalışmalarında tek ağaç hacmi ve artımı, dolayısıyla toplam servet, daha doğru bir şekilde belirlenmiş olacak, bunun yanında bonitete değişik olan meşcerelerden çıkarılabilecek ara hasılat etasının alt ve üst sınırlarının karşılaştırılması yapılabilecektir. SUN vd. (1978) tarafından yapılan çalışmada, Kızılçam ve diğer türlerde bonitetlere göre tek ve çift girişli hacim tablolarının düzenlenmesi düşünülmüş ancak, örnek ağaç ve alanların boy/yaş, hacim/yaş ilişkilerinin hesaplanması için gerekli dağılım sağlanamamıştır. Bu çalışma kapsamında bu eksiklik giderilmiştir.

Çift girişli ağaç hacim tablolarının tek girişli olanlara göre doğruya daha yakın sonuç verdiği bilinmektedir. Ancak gerek planlama gerekse uygulama aşamasında orman işletmeleri daha pratik olması açısından tek girişli ağaç hacim tablolarını kullanmaktadırlar. Yalnız ağaç çapına göre hacmi veren tek girişli ağaç hacim tabloları yetiştirme şekli ne olursa olsun aynı çapa sahip ağaçların aynı hacim değerinde olacağı ilkesine göre yapılmaktadır. Oysa bilinmektedir ki farklı yetiştirme ortamlarındaki aynı çapa sahip ağaçlar hiçbir zaman aynı hacme sahip olamazlar. Bu durumda tek girişli ağaç hacim tablolarının kullanılmasından dolayı belirli bir oranda hata yapılmaktadır. İşte bu hatayı en aza indirmek için farklı yetiştirme ortamlarındaki ağaçlar için farklı tablolar düzenlenmesi gerekmektedir. Bu projede, Antalya ve Mersin yörelerinde aynı yaşlı ve saf Kızılçam meşcerelerine ilişkin oluşturulan bonitete dayalı ağaç hacim tabloları bu eksikliği gidermiştir. Hem uygulama açısından pratik hem de tek girişliye göre daha doğru

tahminler sunan bonitete dayalı ağaç hacim denklemlerinin ve tablolarının ülkemizin diğer önemli ağaç türlerimiz için de üretilmelidir.

KAYNAKLAR

- Akalp, T., 1978a. Türkiye'deki Doğu Ladini (*Picea orientalis* Lk. Carr) Ormanlarında Hasılat Araştırmaları. Doktora Tezi, İstanbul Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Akalp, T., 1978b. Anamorfik ve Polimorfik Yöntemlerle Bulunmuş Bonitet Eğrilerinin Karşılaştırılması. İ.Ü. Orman Fakültesi Dergisi. Seri A, Sayı 1, 213-232 s.
- Akalp, T., 1983. Değişik Yaşlı Meşcerelerde Artım ve Büyümenin Simülasyonu. İÜ Yayın No:3051, Orman Fakültesi Yayın No: 327, İstanbul, 169 s.
- Akalp, T., 1995. Doğu Ladini Meşcerelerinde Artım ve Büyüme, I. Ulusal Ormancılık Kongresi,

Trabzon.

- Akındele, S.O. ve LeMay, V.M. 2006. Development of Tree Volume Equations for Common Timber Species in the Tropical Rain Forest Area of Nigeria, *Forest Ecology and Management*, 226, 41-48.
- Alemdağ, İ.Ş., 1961. Türkiye'deki Ladin+Sarıçam Meşcerelerinin Kuruluşları, Ağaç Servetleri ve Tecessümleri Üzerine Bazı Müdahaleler. *Ormancılık Araştırma Enstitüsü Dergisi*, 3, 7, 25-37.
- Alemdağ, İ.Ş., 1962. Türkiye'deki Kızılçam Ormanlarının Gelişimi, Hasılat ve Amenajman Esasları. *Ormancılık Araştırma Enstitüsü, Teknik Bülten No: 11*, Ankara, 160 s.
- Alemdağ, İ.Ş., 1967. Türkiye'deki Sarıçam Ormanlarının Kuruluşu, Verim Gücü ve Bu Ormanların İşletilmesinde Takip Edilecek Esaslar. *Ormancılık Araştırma Enstitüsü Teknik Bülten No: 20*, Ankara, 160s.
- Alemdağ, İ. Ş., 1978, Meşcere Modellerinin Hazırlanmasında Etkenlik Endekslerinin Yeri ve Yeni Bir Etkenlik Endeksi , *İ.Ü. Orman Fakültesi Dergisi*, 28, 1, 138-149.
- Alemdağ, İ.Ş., 1993. Kızılçam Meşcerelerinin Büyüme ve Hasılatı. *Uluslararası Kızılçam Sempozyumu 18-23 Ekim, Bildiriler Kitabı, Marmaris*, s. 473-481.
- Álvarez González J.G., Ruíz González A.D., Rodríguez Soalleiro R. ve Barrio Anta M., 2005. Ecoregional Site Index Models for *Pinus pinaster* in Galicia (Northwestern Spain), *Ann. For. Sci.*, 62, 115–127.
- Alemdağ, İ.Ş., 1993. Kızılçam Meşcerelerinin Büyüme ve Hasılatı. *Uluslararası Kızılçam Sempozyumu 18-23 Ekim, Bildiriler Kitabı, Marmaris*, s. 473-481.
- Andreassen, K. ve Tomter, S. M., 2003. Basal Area Growth Models for Individual Trees of Norway Spruce, Scots Pine, Birch And Other Broadleaves in Norway, *Forest Ecology and Management*, 180, 11-24.
- Anonim, 1998. Başlıca Ağaç Türleri İçin Değişik Dönemlerde Çıkarılan Amenajman Yönetmeliklerinde ve Orman Genel Müdürlüğü Olurları'nda Verilen ve Amenajman Planlarında Kullanılan İdare Süreleri, 20.7.1998 Gün ve AS.1.A-1-4/20 2829 Nolu Tamim.
- Anonim, 2001. Climate Change: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) Working Group II, ed: MacCarthy, J.J. et al., Cambridge University Press, Cambridge, UK.
- Anonim, 2008. 2008 Yılı Sürdürülebilir Orman Yönetimi Kriter ve Göstergeleri Raporu. Çevre ve Orman Bakanlığı, Orman Genel Müdürlüğü, Ankara, 141 s.
- Anonim, 2015. Türkiye Orman Varlığı. T.C. Orman ve Su İşleri Bakanlığı Orman Genel Müdürlüğü Orman İdaresi ve Planlama Daire Başkanlığı, Ankara.
- Arney, J.D., 1978. Tables for Quantifying Competitive Stres on Individual Trees, Canadian Forest Service Pacific Forest Research Center, Int. Rep. BC-X-78.
- Anşin, R., 1994. Tohumlu Bitkiler-Gymnospermae (Açık Tohumlular)-I. Cilt-II. Baskı, KTÜ Orman Fakültesi Yayın No: 122/15, Trabzon, 262 s.

- Asan, Ü., 1984. Kazdağı Göknarı (*Abies equi-trojani* Aschers Et Sinten) Ormanlarının Hasılat ve Amenajman Esasları Üzerine Araştırmalar. İÜ Orman Fakültesi, 3205/365, İstanbul. İÜ Orman Fakültesi Dergisi, B Serisi, Cilt 43, Sayı 1-2, s. 31-44, İstanbul.
- Asan, Ü., 1987. Batı ve Orta Karadeniz Yöresi'ndeki Doğu Kayını Ormanlarında Bonitet Araştırmaları, İ.Ü.Orman Fakültesi Dergisi, A, 37, 1, 106-130.
- Asan, Ü., 1995. Global İklim Değişimi ve Türkiye Ormanları'nda Karbon Birikimi. İÜ Orman Fakültesi Dergisi. B Serisi, Cilt 45, Sayı 1-2, s.23-38, İstanbul.
- Asan, Ü., 1998. Fonksiyonel Planlamada İdare Süreleri ve Amaç Çapları. İÜ Orman Fakültesi Dergisi, B Serisi, Cilt 37, Sayı 1-2-3-4, s.23-40, İstanbul.
- Asan, Ü., 1999. Climate cange, carbon sinks and the forests of Turkey, Proceedings: International Conference on Tropical Forests and Climate Change: Status, Issues and Challenges (TFCC '98), 12-22 October 1998, Makati City, The Philippines, 157-170.
- Asan, Ü., Destan, S. ve Özkan, U.Y., 2002. İstanbul korularının karbon depolama, oksijen üretimi ve toz tutma kapasitesinin kestirilmesi. Orman Amenajmanında Kavramsal Açılımlar ve Yeni Hedefler Sempozyumu, Nisan, İstanbul, Bildiriler Kitabı, s. 194–202.
- Asmaz, H., 1993. Akdeniz Peyzajında Kızılçamın Önemi. Uluslararası Kızılçam Sempozyumu 18-23 Ekim, Bildiriler Kitabı, Marmaris, s. 48-55.
- Atıcı, E., 1998 Değişikyaşlı Doğu Kayını (*Fagus orientalis* Lipsky. Ormanlarında Artım ve Büyüme. Doktora Tezi, İstanbul Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 386 s.
- Atmaca, S., 2008. Erzurum Orman Bölge Müdürlüğü Sarıçam Biyokütle Tablolarının Düzenlenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Zonguldak Karaelmas Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Bartın, 111 s.
- Avery, T.E. ve Burkhart, H. E. 1983. Forest Measurements, Mcgraw-Hill Series in Forest Resources, Mcgraw-Hill Book Company, New York, 331 s.
- Aydın, A.C., 2008. Antalya İli Sedir Ormanlarında Polimorfik Yöntemle Meşcere Verim Gücünün Saptanması, (Yüksek Lisans Tezi), Karadeniz Teknik Üniversitesi Orman Fakültesi, Trabzon.
- Aydın, Ç., 2010. Artvin Orman Bölge Müdürlüğü Borçka Orman İşletme Müdürlüğü Sarıçam Biyokütle Tabloları. Yüksek Lisans Tezi, KTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, 53 s.
- Aykın, R. 1978. Ardıç Çift Girişli Kabuklu Gövde Hacım Tablosu, Ormancılık Araştırma Enstitüsü Dergisi, Sayı: 1, Ankara.
- Bailey, R.L. ve Clutter, J.L., 1974. Base-Age Invariant Polymorphic Site Curves, Forest Science, 20, 155–159.
- Baskerville, G., 1972. Use of Logarithmic Regression in The Estimation of Plant Biomass, Canadian Journal of Forest Research, 2, 49–53.
- Başaran, M., 2004, Türkiye'nin organik karbon stoğu, Harran Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi, 8 (3/4), 31-36.
- Başkent, E., Yolaşmaz, H. A. ve Mısır, M., 2001. Orman Ekosistem Amenajmanı, I. Ulusal Ormancılık Kongresi, Ankara, Bildiriler Kitabı, 60-74.

- Başkent, E.Z., Yolaşığmaz, H.A., Mısır, M. ve Çakır, G., 2002. Kombine Optimizasyon Teknikleri ve Ekosistem Amenajmanı. Orman Amenajmanında Kavramsal Açılımlar ve Yeni Hedefler Sempozyumu, Bildiriler Kitabı, İÜ Orman Fakültesi Yayınları, İstanbul, s. 77-88.
- Başkent, E. Z. ve Keleş, S., 2004. Ormancılıkta Model ve Modelleme Kavramlarının Kullanımı ve Genel Değerlendirilmesi, Orman Mühendisliği Dergisi, 40, 1, 3, 19-32.
- Battaliga, M., Sands, P. J. ve Candy, S. G., 1999. Hybrid Growth Model To Predict Height and Volume Growth in Young Eucalyptus Globulus Plantations, Forest Ecology and Management, 120, 193-201.
- Batu, F., 1977. Değişik Yaşlı Doğu Ladini Meşcerelerinde Kuruluş ve Envanter Sorunları. Doçentlik Tezi, K.T.Ü. Orman Fakültesi, Trabzon, 98 s.
- Batu, F., 1995. Uygulamalı İstatistiksel Yöntemler. K.T.Ü. Orman Fakültesi Yayın No: 179/22, Trabzon, 312 s.
- Batu, F. ve Kapucu, F., 1995. Doğu Karadeniz Bölgesi Kızılağaç Meşcerelerinde Bonitet Endeksi ve Hasılat Tablosunun Düzenlenmesi. I. Ulusal Karadeniz Ormancılık Kongresi Bildirileri, 4. Cilt, s. 349-362.
- Bayburtlu, Ş., 2007. Titrek Kavak (*Populus tremula* L.) Hacim ve Bonitet Endeks Tablolarının Düzenlenmesi. Yüksek Lisans Tezi, KTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon, 52 s.
- Baynazoğlu, F., 2014. Mudurnu-Sırçalı Orman İşletme Şefliğinde Yayılış Gösteren Anadolu Karaçamı [*Pinus nigra* Arnold. subsp. *pallasiana* (Lamb.) Holmboe] Meşcereleri İçin Tek ve Çift Girişli Ağaç Hacim Denklemlerinin Geliştirilmesi. Yüksek Lisans Tezi, Çankırı Karatekin Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Çankırı, 55 s.
- Bella, I.E., 1971. A New Competition Model for Individual Trees. For. Sci. 17: 364-372.
- Biging, G.S. ve Dobbartin M., 1995. Evaluation of Competition indices in Individual Tree Growth Models, Forest Science, 41, 360-377.
- Bilgili, E., ve Küçük, Ö., 2009. Estimating Above-Ground Fuel Biomass in Young Calabrian Pine (*Pinus brutia* Ten.). Energy & Fuels, 23, 1797-1800.
- Birler A.S., 1983. I.214 Melez Kavağı Plantasyonlarında Hasılat Araştırmaları. Kavak ve Hızlı Gelişen Yabancı Tür Orman Ağaçları Enstitüsü Yayını, No: 125.
- Birler A.S. ve Yüksel, Y., 1983. Sahil Çamı Ağaçlandırma Meşcerelerinde Hasılat Araştırması. Kavak ve Hızlı Gelişen Yabancı Tür Orman Ağaçları Enstitüsü Yayınları, No: 25.
- Birler, A. S., Usta, H. Z. ve Yüksel Y. 1983. Karakavaklar İçin Hacim Tablosu. Kavak ve Hızlı Gelişen Orman Ağaçları Araştırma Enstitüsü, Yıllık Bülten No: 19, s. 153–168, İzmit.
- Birler. A.S, Koçar. S., Avcioğlu, E., Diner, A., Gürses, K. ve Gülbaba, A.G., 1995. Ökalyptus Ağaçlandırmalarında Hacim ve Kuru Madde Hasılatı. Kavak ve Hızlı Gelişen Yabancı Tür Orman Ağaçları Enstitüsü Yayını, No: 66.
- Boydak, M., Dirik, H. ve Çalikoğlu, M., 2006. Kızılcıam'ın (*Pinus brutia* Ten.) Biyolojisi ve Silvikültürü. OGEM-VAK Yayını, Ankara, 364 s.
- Bozkuş. H.F. ve Carus. S., 1997. Toros Gökarnı(*Abies cilicica* Carr.) ve Sedir (*Cedrus libani*

Link.)'in Çift Girişli Gövde Hacim Tabloları ve Mevcut Tablolarla Karşılaştırılması. İÜ Orman Fakültesi Dergisi, Seri: A, 47, 1, 51-70.

Bristow M., Vanclay J., Brooks L. ve Hunt M., 2006. Growth and Species Interactions of Eucalyptus Pellita in a Mixed and Monoculture Plantation in The Humid Tropics of North Queensland, Forest Ecology and Management, 233, 285–294.

Brooks, J.R., Jiang, L. ve Özçelik, R. 2008. Competible Stem Volume and Taper Equations for Brutian Pine, Cedar of Lebanon and Cilicica Fir in Turkey, Forest Ecology and Management, 256, 147-151.

Brown, S., 2002. Measuring Carbon in Forests: Current Status and Future Challenges, Environmental Pollution, 116, 363–372.

Bruce, D. 1920. A proposed standardisation of the checking of volume tables. Jour. For., 18 = 5Jf9 - 557 (original not seen; quoted from forest mensuration and statis- tics by B. Husch, 1963).

Burkhart, H., 1995. Growth Models for Tropical Forests: A synthesis of Models and methods, Forest science, 41, 7-42.

Carmean, W.H. ve Lenthall, D.J., 1989. Height growth and Site-Index Curves for Jack Pine in North Central Ontario, Canadian Journal of Forestry Research, 19, 215–224.

Carus, S., 1998. Aynı Yaşlı Doğu Kayını (Fagus orientalis Lipsky) Ormanlarında Artım ve Büyüme. Doktora Tezi, İstanbul Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 356 s.

Carus, S. ve Su, Y., 2014. Antalya–Korkuteli Yöresi Kızılçam Ağaçlandırmaları İçin Tek ve Çift Girişli Ağaç Hacim Tablosunun Düzenlenmesi ve Mevcut Tablolar ile Kıyaslanması. II. Ulusal Akdeniz Orman ve Çevre Sempozyumu, 22-24 Ekim, Bildiriler Kitabı, Isparta, s. 574-584.

Chapman, H.H. ve Meyer, W.H., 1949. Forest Mensuration, McGraw-Hill Book Compamy, Inc.

Cieszewski, C.J., 2000. Analytical Site Index Solution for the Generalized Log-Logistic Height Equation. For Sci., 46: 291-296.

Cieszewski, C.J., 2001. Three Methods of Deriving Advanced Dynamic Site Equations Demonstrated on Inland Douglas-Fir Site Curves. Canadian Journal of Forest Research, 31, 1: 165-173.

Cieszewski, C.J., 2002. Comparing Fixed and Variable-Base-Age Site Equations Having Single Versus Multiple Asymptotes. Forest Science, 48, 1: 7-23.

Cieszewski, C.J., 2003. Developing A Well-Behaved Dynamic Site Equation Using A Modified Hossfeld IV Function $Y_3 = (A x^m) / (C + x^m - 1)$, A Simplified Mixed-Model And Scant Subalpine Fir Data, Forest Science, 49, 539–554.

Cieszewski, C.J., 2004. GADA Derivation of Dynamic Site Equations with Polymorphism and Variable Asymptotes From Richards to Weibull and Other Exponential Function. Plantation Management Research Cooperative, 10 s., Athens.

Cieszewski CJ, Bella I.E., 1989. Polymorphic height growth and site index curves for Lodgepole Pine in Alberta. Can J For Res 19:1151–1160.

- Cieszewski, C.J. ve Bailey, R.L., 2000. Generalized Algebraic Difference Approach:Theory Based Derivation of Dynamic Site Equations with Polymorphism and Variable Asymptotes, *Forest Science*, 46, 116–126.
- Cieszewski, C. J., Strub, M. ve Zasada, M. J., 2007. New Dynamic Site Equation That Fits Best The Schwappach For Scots Pine (*Pinus sylvestris* L.) in Centarl Europe, *Forest Ecology and Management*, 23: 83-93.
- Cieszewski, C.J. ve Strub, M. 2008. Generalized Algebraic Difference Approach Derivation of Dynamic Site Equations with Polymorphism and Variable Asymptotes From Exponential and Logarithmic Functions. *Forest Science*, 54: 303-315.
- Clutter, J.L., Fortson, J.C., Pienaar, L.V., Birester, G.H. ve Bailey, R.L., 1983. *Timber Management, A Quantitative Approach*. John Wiley and Sons Inc. 339 s. New York.
- Coakes, S.J., 2005. *SPSS Version 12 For Windows: Analysis without Anguish*, John Wily and Sons, Brisbane, 284 s.
- Cochran, P.H., 1985. Site Index, Height Growth, Normal Yields and Stocking Levels for Larch in Oregon and Washington. PNW-424, 24 p.
- Corral Rivas, J.J., Álvarez-González, J.G., Ruíz González ve Gadow, K.V., 2006. Compatible Height and Site Index Models for Five Pine Species in El Salto, Durango (Mexico), *Forest Ecology and Management*, 201, 145–160.
- Cotta von, H. 1821. *Hülftafeln für Forstwirte und Forsttaxatoren*. Arnoldische Buchhandlung, Dresden, 80 pp.
- Crecente-Campo, F., Soares, P., Toméb, M. ve Diéguez-Aranda, U., 2010. Modelling Annual Individual-Tree Growth and Mortality of Scots Pine With Data Obtained at Irregular Measurement Intervals and Containing Missing Observations, *Forest Ecology and Management* 260, 1965–1974.
- Curtis, R.O., DeMars, D.J. ve Herman, F.R., 1974. Which Dependent Variable in Site Index Height Age Regressions?. *Forest Science* 20, 74–87.
- Curtis, R.O., Clendenan, G.W. ve Demars, D.J., 1981. *A New Stand Simulator for Coast Douglas-Fir: DFSIM Users Guide*: U.S. Forest Service General Technical Report PNW-128.
- Çakıl, E., 2008. Zonguldak Orman Bölge Müdürlüğü Karaçam Meşcereleri Biyokütle Tablolarının Düzenlenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Z.K.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Zonguldak, 167 s.
- Çalışkan, A., 1989. Karabük Büyükdüz Araştırma Ormanında Sarıçam (*Pinus sylvestris* L.) - Gökmar (Abies bornmülleriana Matff.) - Kayın (*Fagus orientalis* Lipsky.) Karışık Meşcerelerinde Büyüme İlişkileri ve Gerekli Silvikültürel İlişkiler. Doktora Tezi, İstanbul Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Çatal, Y., 2002. Isparta Bölgesi Doğal Kızıldağ (Pinus brutia Ten.)-Anadolu Karaçamı [Pinus nigra Arnold. subsp. pallasiana (Lamb.) Holmboe] Karışık Meşcerelerinde Artım ve Büyüme İlişkileri. Yüksek Lisans Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta, 111 s.

- Çatal, Y., 2009. Batı Akdeniz Bölgesi Kızılçam (*Pinus brutia* Ten.) meşcerelerinde Artım ve Büyüme. Doktora Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta, 281 s.
- Çatal, Y., Gürlevik, N., Karatepe, Y. ve Carus, S., 2005. Isparta-Gölcük Yöresi Yalancı Akasya (*Robinia pseudoacacia* L.) Meşcereleri İçin Tek ve Çift Girişli Ağaç Hacim Tablosu. Süleyman Demirel Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi Seri: A, Sayı: 2, ISSN: 1302-7085, Sayfa: 78-90.
- Çepel, N., 1978. Orman Ekolojisi, İ.Ü. Orman Fakültesi Yayınları, Yayın No: 257, İstanbul.
- Çepel, N. 1995. Orman Ekolojisi, İ.Ü Orman Fakültesi, 4. Baskı, İstanbul, 536 s.
- Çevik, İ., 1993. Boşaltma Aşamasına Gelmiş Kızılçam Meşcerelerinde Dikili Ağaç Hacminin Belirlenmesi, Orman Bakanlığı, Ege Ormancılık Araştırma Enstitüsü Müdürlüğü, Teknik Bülten No:6.
- Çömez, A., 2012. Sündiken Dağları'ndaki (Eskişehir) Sarıçam (*pinus sylvestris* L.) Meşcerelerinde karbon Birikiminin Belirlenmesi. OGM Orman ve Toprak Ekoloji Araştırmaları Enstitü Müdürlüğü, Enstitü Yayın No: 6, Teknik Bülten No: 2, Eskişehir, 123 s.
- DeBell, D.S., Cole, T.G. ve Whitesell, C.D., 1997. Growth, Development and Yield in *Eucalyptus* and *Albizia*, *Forest Science*, 43, 2, 286-298.
- Demaerschalk, J. P., 1972. Converting volume equations to compatible taper equations. *Forest Science*, 18, 241-245.
- De-Miguel, S., 2014. Growth and yield modelling for optimal multi-objective forest management of eastern Mediterranean *Pinus brutia*, University of Eastern Finland.
- De-Miguel, S., Pukkala, T., Assaf, N. ve Shater, Z., 2014. Intra-specific differences in allometric equations for aboveground biomass of eastern Mediterranean *Pinus brutia*. *Annals of Forest Science*, 71: 101-112.
- Demirci, A., 1991 Doğu Ladini (*Picea orientalis* (L.) Link) - Doğu Kayını (*Fagus orientalis* Lipsky.) Karışık Meşcerelerinin Gençleştirilmesi. Doktora Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon, 223 s.
- Diéguez-Aranda, U., Burkhart H.E. ve Rodríguez-Soalleiro R., 2005. Modeling Dominant Height Growth Of Radiata Pine (*Pinus radiata* D. Don) Plantations in North-Western Spain, *Forest Ecology and Management* 215 (1), 271–284.
- Diéguez-Aranda, U., Grandas-Arias, J.A., Álvarez-González, J.G. ve Gadow, K.V., 2006. Site Quality Curves For Birch Stands i North-Western Spain, *Silva Fennica*, 40, 4: 631-644.
- Dixon, R.K., Brown, S., Houghton, R.A., Solomon, A.M., Trexler, M.C. ve Wisniewski, J., 1994. Carbon Pools and Flux of Global Forest Ecosystems, *Science*, 263, 185- 190.
- Dolph, K.L., 1983. Site Index Curves for Young Growth Incense Cedar of the Westside Sierra Nevada. Pacific Southwest Forest and Range Experiment station, Forest Service, Research Note PSW-363, 8p. Berkeley.
- Durkaya, B., 1998. Zonguldak Orman Bölge Müdürlüğü Meşe Meşcerelerinin Biyokütle

Tablolarının Düzenlenmesi. ZKÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 110 s.

- Durkaya, B., 2004. Zonguldak Orman Bölge Müdürlüğü Sarıçam (*Pinus sylvestris* L.)- Uludağ Göknaarı (*Abies bornmülleriana* Mattf.) - Doğu Kayını (*Fagus orientalis* Lipsky) Karışık Meşçerelerinde Artım-Büyüme İlişkileri. Doktora tezi, Z.K.Ü Fen Bilimleri Enstitüsü, Bartın, 226 s.
- Durkaya, B., Durkaya, A. 2008. Türkiye Toprak Üstü Tek Ağaç ve Meşçere Biyokütle Tabloları, Bartın Orman Fakültesi Dergisi, 10:13, 1-10.
- Durkaya, A., Durkaya, B. ve Ünsal, A., 2009. Predicting the Above-ground Biomass of Calabrian Pine (*Pinus brutia* Ten.) Stands in Turkey. African Journal of Biotechnology 8 (11): 2483-2488.
- Eler, Ü., 1986. Türkiye’de Boylu Ardıç (*Juniperus excelsa* Bieb.) Ormanlarında Hasılat Araştırmaları. Ormancılık Araştırma Enstitüsü Teknik Bülten No: 192, Ankara.
- Eler, Ü., 1993. Türkiye’de Müdahale Görmemiş Tam Kapalı Doğal Kızılçam Ormanlarında Meşçere Kuruluşları. Uluslararası Kızılçam Sempozyumu, 18-23 Ekim, Bildiriler Kitabı, Marmaris, s. 482-490.
- Eler, Ü., 2003. Dendrometri. Süleyman Demirel Üniversitesi orman Fakültesi Yayın no: 30, s. 233.
- Eler, Ü. ve Carus, S., 2006. Orman Hasılat Bilgisi. SDÜ Yayın No:66, Isparta, s.201.
- Eraslan, İ., 1954. Trakya ve Bilhassa Demirköy Mıntıkası Meşe Ormanlarının Amenajman Esasları Hakkında Araştırmalar. OGM Yayınları, Ankara, Sıra No: 132, Seri No:13, 250 s.
- Eraslan, İ., 1971. Orman Amenajmanı. İÜ Orman Fakültesi Yayın No:169, s.488.
- Eraslan, İ., 1982. Orman Amenajmanı. Dördüncü Baskı, İÜ Basımevi, İstanbul Üniversitesi Yayın No: 3010, Orman Fakültesi Yayın No: 318, İstanbul, 582s.
- Eraslan, T. 2009. Tesadüfi dal örnekleme ve önem örnekleme kullanarak karaçam (*Pinus nigra* Arnold) ağaç türü için toprak üstü biyokütle tahmini, Yüksek Lisans Tezi, SDÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta.
- Eraslan, İ. ve Evcimen, B.S., 1967. Trakya’daki Meşe ormanlarının hacim ve hasılatı hakkında tamamlayıcı araştırmalar. İÜ Orman Fakültesi Dergisi A(1), 31-56.
- Ercanlı, İ., 2003. Artvin Orman İşletme Şefliği Sınırları İçerisindeki Doğu Ladini (*Picea orientalis* (L.) Link.) Meşçerelerinde Sıklığa Bağlı Hasılat Tablosunun Düzenlenmesi, Yüksek Lisans Tezi, KTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon, 103 s.
- Ercanlı, İ., Sivrikaya, F., Keleş, S. ve Günlü, A., 2007a. Sarıçam (*Pinus sylvestris* L.) Meşçerelerinin Hacim Artımının Meşçere Yaşı, Bonitet Endeksi ve sıklık Derecesine Göre Değişimi, Kastamonu Orman Fakültesi Dergisi, 7 (1), 24-37.
- Ercanlı, İ., Altun, L., Yılmaz, M., Usta, A., Yılmaz, F. ve Günlü, A., 2007b. Sinop Yöresi Sahilçamı (*Pinus pinaster* Ait.) Ağaçlandırmalarına İlişkin Yöresel Sıklığa Bağlı Hasılat Tablosunun Düzenlenmesi. Düzce Üniversitesi Ormancılık Dergisi, 3 (1), 35-54.
- Ercanlı, İ., Güvendi, E., Güney, D., Günlü, A. ve Altun, L., 2008. Sinop Yöresi Sahilçamı (*Pinus*

- pinaster Ait.) Ağaçlandırmalarına İlişkin Tek ve Çift Girişli Ağaç Hacim Tablolarının Düzenlenmesi. Kastamonu Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi, 8 (1), 14-25.
- Ercanlı, İ., 2010. Trabzon ve Giresun Orman Bölge Müdürlükleri Sınırları İçerisinde Yer Alan Doğu Ladini (*Picea orientalis* (L.) Link)-Sarıçam (*Pinus sylvestris* L.) Karışık Meşcerelerine İlişkin Büyüme Modelleri. Doktora Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon, 351 s.
- Ercanlı, İ., Şenyurt, M. ve Bolat, F., 2014. Çankırı Yöresi Sarıçam Meşcereleri İçin Dinamik Bonitet Endeks Modellerinin Otoregresif Modelleme ile Geliştirilmesi. SDÜ Orman Fakültesi Dergisi, 15: 53-60.
- Erdemir, Ö., 1974. Sarıkamış, Otlu ve Göle Mıntıkalari Saf Sarıçam Meşcerelerinde Hasılat Araştırması. Ormancılık Araştırma Enstitüsü Teknik Bülten No: 59, Ankara.
- Erkan, N., 1995. Kızılçamda Meşcere Gelişiminin Simülasyonu. Doktora Tezi, İ.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, 124 s.
- Erkan, N., 1996. Kızılçamda (*Pinus brutia* Ten.) Meşcere Gelişmesinin Simülasyonu. O.G.M. Güneydoğu Anadolu Ormancılık Araştırma Müdürlüğü, Elazığ.
- Erkin, K., 1956. Seben mıntıkası sarıçamları hacim eğrisine ait tamamlayıcı etütler. İstanbul Orman Fakültesi Dergisi, A, 6, 2, 243-263.
- Erten, P. ve Taşkın, O., 1985. Kızılçam (*Pinus brutia* Ten.) Kabuklarında Tanen Miktarının Saptanmasına İlişkin Araştırmalar. Ormancılık Araştırma Enstitüsü Teknik Bülten Serisi No: 147, Ankara.
- Evcimen, B.S., 1963. Türkiye Sedir Ormanlarının Ekonomik Önemi, Hasılat ve Amenajman Esasları. T.C. Tarım Bakanlığı, Orman Genel Müdürlüğü Yayını, No: 355/16, İstanbul, 199 s.
- Evcimen, B.S., 1972. Türkiye'de Aynı Yaşlı Ormanların Optimal Kuruluşa Götürülmesi hakkında araştırmalar. Orman Genel Müdürlüğü. Yayın No:555, s. 253.
- Fırat, F., 1943. Fıstık Çamı Ormanlarında Meyve ve Odun Verimi Bakımından Araştırmalar ve Bu Ormanların Amenajman Esasları, YZE Yayın No: 141, Ankara.
- Fırat, F., 1972. Orman Hasılat Bilgisi, İ. Ü. Orman Fakültesi Yayın No: 166, 191 s.
- Fırat, F., 1973. Dendrometri. İ.Ü. Orman Fakültesi, Yayın No: 1800/193, Kurtuluş Matbaası, İstanbul, 359 s.
- Fırat, F. ve Kalıpsız, A., 1963. Tarsus-Karabucak Ormanları İçin *Eucalyptus camaldulensis* Ağaç Hacim Tablosu. İÜ Orman Fakültesi Dergisi A-18 (1), 11 – 22.
- Fox, J., 1997. Applied Regression Analysis, Linear Models, and Related Methods. Thousand Oaks, CA: Sage.
- Gadow, K.V. ve Hui, G.Y., 1999. Modelling Forest Development. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, 213 s.
- Garcia, O., 2001, Growth And Yield in British Columbia Background And Discussion, University of Northern British Columbia.

- Gevorkiantz, S. R. 1957. Site index curves for white spruce in the Lake States. U.S. Department of Agriculture Forest Service, Technical Note 464, 2 p. U.S. Department of Agriculture Forest Service, Lake States Forest Experiment Station, St. Paul, Minnesota.
- Gevorkiantz, S. R. 1956. Site index curves for balsam Fir in the Lake States. U.S. Department of Agriculture Forest Service, Technical Note 465, 2 p. U.S. Department of Agriculture Forest Service, Lake States Forest Experiment Station, St. Paul, Minnesota.
- Gobakken, T. ve Næsset, E., 2002. Spruce Diameter Growth in Young Mixed Stands of Norway Spruce (*Picea abies* (L.) Karst.) and Birch (*Betula pendula* Roth. B. Pubescens Ehrh.), Forest Ecology and Management, 171, 297-308.
- Goelz, J.C.G. ve Burk, T.E., 1992. Development of a Well-Behaved Site Index Equation: Jack Pine in North Central Ontario. Can. J., For. Res., 22, 6: 776-784.
- Goodale, C.L., Apps, M.J., Birdsey, R.A., Field, C.B., Heath, L.S., Houghton, R.A., Jenkins, J.C., Kohlmaier, G.H., Kurz, W., Liu, S., Nabuurs, G., Nilsson, S. ve Shvidenko, A.Z.. 2002. Forest Carbon Sinks in The Northern Hemisphere, Ecological Applications, 12, 891-899.
- Goudie, A., 1993. The Nature of the Environment, University Of Oxford, pp: 227-230.
- Grote, R. ve Erhard, M., 1998, Simulation of Tree and Stand Development Under Different Environmental Conditions with A Physiologically Based Model, For. Eco. Management, 120, 59-76.
- Göksel, E., 1984. Kızılcâmın Lif Mitolojisi ve Odundan Sülfat Selülozu Elde Etme Olanakları Üzerine Araştırmalar. İÜ Orman Fakültesi Yayın No: 3204/264, İstanbul, s. 120.
- Gracan, J. ve Peric, Z., 1997. Growth and Increment of Diffrent Scots Pine (*Pinus sylvestris* L.) Provenances in Croatia, XI. World Forestry Congress, Antalya.
- Gülen, İ., 1959. Karaçam Hacim Tablosu. İstanbul Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi, A-9 (1), 97-112.
- Günel, A., 1982. Orman Hasılatı Bilgisi Ders Notları. İÜ Orman Fakültesi, s 89.
- Güner, S., Tüfekçioğlu, A., Duman, A. ve Küçük, M., 2010, Murgul yalancı akasya ağaçlandırmalarının ve bitişindeki otlak alanların topraküstü biyokütle, kök kütlesi, kök üretimi ve karbon depolama yönlerinden karşılaştırılması, III. Ulusal Karadeniz Ormancılık Kongresi, 20-22 Mayıs 2010, Artvin, 3, 1045-1055.
- Harrison, W. M., Cieszewski, C. J., Martin, S.W., Zasada, M. ve Borders, B. E., 2002. Updated Base Age Invariant Height Growth Models for Loblolly Pine (*Pinus taeda*, L.) Based on Intensively Managed Plantation Data, Southern Mensurationists' Conference, November, Chattanooga, Symposium Proceedings, 4-8.
- Hartig, G.L. 1795. Anweisung zu Taxation der Forsten oder zur Bestimmung des Holzertrages der Wälder. Heyer, Gießen, 166 pp.
- Hegyi, F., 1974. A Simulation Model for Managing Jack-Pine Stands. In: Growth Models For Tree And Stand Simulation. Stockholm Rep. No. 30, 74-90.
- Hennert, C.W. 1791. Anweisung zur Taxation der Forsten; nach der hierueber ergangenen

- und bereits bey vielen Forsten in Ausuebung gebrachten Koenigl. Preuss. Verordnungen. Theil 1. Nicholai, Berlin, Stettin, 297 pp.
- Hokka, H. and A. Groot., 1999. An Individual-Tree Basal Area Growth Model For Black Spruce In Second-Growth Peatland Stands, Can. J. For. Res., 29, 621–629.
- Huang S., 1997. Development of a subregion-based compatible heightsite index-age model for black spruce in Alberta, Alberta Land and Forest Service, For. Manag. Res. Note No. 5, Pub. No. T/352, Edmonton, Alberta.
- Husch, B., 1963. Forest Mensuration. The Ronald Press Company, 402p., New York.
- İkinci, O., 2000. Zonguldak Orman Bölge Müdürlüğü Kestane Meşcerelerinin Biyokütle Tablolarının Düzenlenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Zonguldak Karaelmas Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Bartın, s 86.
- İnce, K, 2011. Uzaktan Algılama Yöntemiyle Karbon Depolama Miktarının Belirlenmesi (Artvin Örneği). Yüksek Lisans Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon, 104 s.
- Jogiste, K., 1998. Productivity of Mixed Stands of Norway spruce and Birch Affected by Population Dynamics: A Model Analysis, Ecol. Model, 106 (1), 77–91.
- Jogiste, K., 2000. A Basal Area Increment Model for Norway Spruce in Mixed Stands in Estonia, Scandinavian Journal Forest Research, 15, 97–102.
- Johnsen, K., Samuelson, L., Teskey, R., McNulty, S. ve Fox, T., 2001. Process Models as Tools in Forestry Research And Management, Forest Science, 47, 2-8.
- Johnson, E.W., 1973. Relationship between point density measurements and subsequent growth of southern pines, Agricultural, Experience Statistics, Auburn University, AL, Bulletin. 447, 109 p.
- Kadoğulları, A.İ. ve Karahalil, U., 2013. Spatiotemporal Change of Carbon Storage in Forest Biomass: A case Study in Köprülü Canyon National Park. Kastamonu Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi, 13 (1): 1-14.
- Kahrıman, A., 2011. Karadeniz Bölgesi Sınırları İçerisinde Yer Alan Sarıçam (Pinus sylvestris L.) - Doğu Kayını (Fagus orientalis Lipsky) Karışık Meşcerelerine İlişkin Büyüme Modellerinin Geliştirilmesi. Doktora Tezi, KTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon, 334 s.
- Kalıpsız, A., 1962. Doğu Kayınında Artım ve Büyüme Araştırmaları. OGM Yayınları, No: 339, İstanbul.
- Kalıpsız, A., 1963. Türkiye’de Karaçam Meşcerelerini Tabi Bünyesi ve Verim Kudreti Üzerine Araştırmalar. O.G.M. Yayınları, İstanbul.
- Kalıpsız, A., 1982. Orman Hasılat Bilgisi. İstanbul Üniversitesi Orman Fakültesi Yayınları, No:3052/328, İstanbul. 349 s.
- Kalıpsız, A., 1984. Dendrometri. İstanbul Üniversitesi Orman Fakültesi Yayınları, No:3194/354, İstanbul. 406 s.
- Kalıpsız, A., 1988. İstatistik Yöntemler. İ.Ü. yayın No: 3522, İstanbul, 453 s.

- Kalıpsız, A., 1998. Orman Hasılat Bilgisi. İstanbul Üniversitesi Orman Fakültesi Yayınları, No:4060/448, İstanbul. 349 s.
- Kantarıcı, M.D. 2000. Toprak İlmî, İ.Ü Orman Fakültesi, Üniversite Yayın No: 4261, O.F. Yayın No: 462, İstanbul, 420 s.
- Kapucu, F., 1978. Doğu Karadeniz Bölgesindeki Doğu Ladini, Sarıçam, Doğu Karadeniz Göknarı ve Doğu Kayını Karışık Meşcerelerinin Kuruluşları-Amenajman Yönünden Değerlendirilmesi Üzerine Araştırmalar. Doçentlik Tezi. Trabzon. 178 s.
- Kapucu, F., Yavuz, H. ve Gül, A.U., 1999. Doğal ve Yapay Dişbudak (*Fraxinus angustifolia*) Meşcereleri İçin Normal Hasılat Tablosu. Proje Raporu, KTÜ-BAP, 96.113.001.4, Trabzon.
- Kapucu, F., Yavuz, H., Gül, A.U. ve Mısır, N., 2002. Kestane Meşcerelerinin Hasılat ve Amenajman Esasları. TOGTAG 2229 nolu TÜBİTAK Projesi, 118 s., Ankara.
- Karaca, İ., 2012. Burdur Yöresindeki Saf, Aynı Yaşlı ve Doğal Kızılçam (*Pinus brutia* Ten.) Meşcerelerinde Çeşitli Kızılçam Hasılat Tablolarının Tahminlerinin Kıyaslanması. Yüksek Lisans Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta, 66 s.
- Karabürk, T., 2011. Bartın İli Göknar Meşcerelerinin Biyokütle Tablolarının Düzenlenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Bartın Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Bartın, 198 s.
- Kaya, B., 2013. Farklı Yarışma Endekslerinin Kızılçam (*Pinus brutia* Ten.) Ağaçlarında Çap Artımının Tahmini İçin Kıyaslanması. Yüksek Lisans Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta, 99 s.
- Kayacık, H., 1965. Orman ve Park Ağaçlarının Özel Sistematiği *Gymnospermae* (Açık Tohumlular) I. Cilt. İstanbul Üniversitesi Orman Fakültesi Yayın No: 1105/98, İstanbul, 390 s.
- Köse, S. ve Yavuz, H., 1993. Yaş Sınıfları Yönetiminin Türkiye'deki Kızılçam Ormanlarında Uygulanması. Uluslararası Kızılçam Sempozyumu, 18-23 Ekim, Bildiriler Kitabı, Marmaris, s. 598-605.
- Köse, S., Yavuz, H., Mısır, M. ve Mısır, N., 2001. KTÜ Orman Fakültesi Araştırma Ormanı Ladin Meşcerelerinin Hasılat Esasları Sonuç Raporu, K.T.Ü. Araştırma Fonu Başkanlığı, Sonuç Raporu, 27 s.
- Krumland, B. ve Eng, H. 2005. Site Index Systems for Major Young-Growth Forest and Woodlands Species in Northern California. California Forestry Report No. 4. Sacramento, CA: Calif. Dept. of Forestry and Fire Protection. 219 p.
- Kumaş, G., 2015. Antalya Orman Bölge Müdürlüğünde Yayılış Gösteren Kızılçam Meşcereleri İçin Uyumlu Gövde Profili Denklem Sistemlerinin Geliştirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, Artvin Çoruh Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Artvin, 73 s.
- Kurinobu, S., Prehatin, D., Mohanmad, N. ve Matsune, K., 2007. A Stem Taper Equation Compatible to Volume Equation for *Paraserianthes falcata* in Pare, East Java, Indonesia: Its Implications for the Plantation Management, Journal of Forest Research, 12, 473-478.

- Kurz, W.A., Beukema, S.J. ve Apps, M.J., 1996. Estimation of Root Biomass and Dynamics for the Carbon Budget Model of the Canadian Forest Sector, *Canadian Journal of Forest Research*, 26, 1973–1979.
- Kutner, M. H., Nachtsheim, C. J. ve Neter, J., 2004. *Applied Linear Regression Models*, 4th edition, McGraw-Hill Irwin,
- Küçük, Ö. ve Bilgili, E., 2008. Crown Fuel Characteristics and Fuel Load Estimaes in Young Calabrian Pine (*Pinus brutia* Ten.) Stands in Northwestern Turkey. *Fresenius Environmental Bulletin*, 17, No. 12 b., 2226-2231.
- Küçük, Ö., Bilgili, E. ve Sağlam, B., 2008. Estimating Crown Fuel Loading for Calabrian Pine and Anatolian Pine. *International Journal of Wildland Fire*, 17, 147-154.
- Laar, A.V. ve Akça, A. 1997. *Forest Mensuration*. Cuvillier Verlag, Göttingen, 385 s.
- Laar, A.V. ve Akça, A. 2007. *Forest Mensuration*. ISBN: 978-1-4020-5990-2, Published by Springer, Netherlands. 383 p.
- Landsberg, J. J., 1986. *Phsiological Ecology of Forest Production*, Academiz Press, London, 186 s.
- Lee W., Klaus von Gadow K., Dong-Jun Chung D., Lee, J. ve Shin, M., 2004. DBH Growth Model for *Pinus Densiflora* and *Quercus Variabilis* Mixed Forests in Central Korea, *Ecological Modelling*, 176, 187–200.
- Leech, N.L. Barrett, K.C. ve Morgan G.A., 2005. *SPSS for intermediate statistics: Use and Interpretation*, Lawrence Erlbaum, Mahweh, NJ, 250 s.
- Loetsch, F., Zöhrer, F. ve Haller, K.E., 1973. *Forest Inventory. Volume II*, ISBN 3-405- 10812-8, BLV Verlagsgesellschaft München Benn Wien, München.
- Lessard, V.C., McRoberts, R.E. ve Holdaway, M.R., 2001. Diameter Growth Models Using Minnesota Forest Inventory and Analysis Data, *For. Sci.*, 47, 3, 301–310.
- Mabvurira, D. ve Miina, J., 2002. Individual-Tree Growth and Mortality Models for *Eucalyptus grandis* (Hill) Maiden Plantations in Zimbabwe, *Forest Ecology and Management*, 161, 1-3, 231-245.
- Marguard, D. W. ve Snee, R.D. 1975. Ridge Regression in Practice, *American Statistician*, 29,3-19.
- Martin, G.L. ve Ek, A.L., 1984. A Comparision of Competition Measures and Growth Models for Predicting Plantation Red Pine Diameter and Height Growth, *Forest Science*, 30, 9, 450-460.
- McDill, M. E. ve Amateis, R. L., 1992. Measuring Forest Site Quality Using The Parameters of A Dimensionally Compatible Height Growth Function, *Forest Science*, 38, 409–429.
- Mısır, N., 2003. Karaçam Ağaçlandırmalarına İlişkin Büyüme Modelleri. Doktora Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon, 209 s.
- Mısır, M., Köse, S., Yavuz, H., Mısır, N., Altun, L., Sakıcı, O.E. ve Karahalil, U., 2010. KTÜ Orman Fakültesi, Eğitim Araştırma Ormanının Karbon Depolama Kapasitesinin Belirlenmesi ve Orman Amenajman Planına Aktarılması. (KTÜ Bilimsel Araştırma

- Projesi, No: 2007.113.001.13), Karadeniz Teknik Üniversitesi Orman Fakültesi.
- Miraboğlu, M., 1955. Göknarda Şekil ve Hacim Araştırmaları, Orman Genel Müdürlüğü Yayınları, 103 s. İstanbul.
- Mirbadin, A.R., 1997. Growth by Size Classes in Virgin Forest and Growth of Released Large-Sized Advance Growth in Caspian Forests Region, XI. World Forestry Congress, Antalya.
- Monserud, R.A., 1984. Height Growth and Site Index Curves For Inland Douglas-Fir Based on Stem Analysis Data and Forest Habitat Type, *Forest Science*, 30, 943–965.
- Monserud, R. A., 2003. Evaluating Forest Models in A Sustainable Forest Management Context, *Forest Biometry, Modelling and Information Sciences*, 1, 35-47.
- Monserud R. A. ve Sterba, H., 1996. A Basal Area Increment Model for Individual Trees Growing in Even- and Uneven- Aged Forest Stands in Austria, *Forest Ecology and Management*, 80, 57-80.
- Monserud, R.A. ve Sterba, H., 1999. Modeling Individual Tree Mortality for Austrian Forest Species. *Forest Ecology and Management*, 113, 109-123.
- Nahal, I., 1986. Taxonomie Et Aire Géographiwue Des Pines Du Groupe halepensis Options Méditerranéennes. Le Pin d'Alep et Brutia Dans la Sylviculture Méditerranéenne, C.I.H.E.A.M., p. 1-9.
- Neter, J. Wessrman, M. H. ve Kutner, T. S. 1996. *Applied Linear Statistical Models*, 4. Baskı, Irwin, 225-289, Chicago.
- Newnham, R.M., 1966. Stand Structure and Diameter Growth of Individual Trees in a Young Red Pine Stand, Canada Dept., Forestry, Monthly Res. Notes, 22, 4-5.
- OGM, 2013a. Orman Genel Müdürlüğü, Ormancılık İstatistikleri, Ankara.
- OGM, 2013b. Orman Genel Müdürlüğü, İşletme Pazarlama Daire Başkanlığı, Orman İşletmeciliğinde Üretim Pazarlama Faaliyetleri, Ankara.
- Opie, J.E., 1968. Predictability of Individual Tree Growth Using Various Definitions of Competing Basal Area. *For. Sci.* 14: 314-323.
- Orhan, İ. 2013. Kızılçam, Karaçam ve Sarıçam'ın ticari ve ticari olmayan biyokütle miktarlarının belirlenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Bartın Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Bartın.
- Orhunbilge, N., 2000. Uygulamalı Regresyon ve Korelasyon Analizi, Avcıol- Basım Yayın, İstanbul.
- Öttelt, K.C. 1765. Practischer Beweis, dass die Mathesis bey dem Forstwesen unentbehrliche Dienste thue. Griebach, Eisennach, 127 pp.
- Özcan, M., 1997. Batı Karadeniz Bölgesi İçin Kestane Hacim Tablosunun Düzenlenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon (yayımlanmamış).
- Özcan, B.G., 2002. Sahil Çamı (*Pinus pinaster* Ait.) Ağaçlandırmalarında Artımın Tayini. Doktora Tezi, İstanbul Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

- Özçelik, R., 2002. Doğu ve Batı Akdeniz Bölgeleri İçin Kızılcım (Pinus brutia Ten.) Meşcere Tipi Verim Tablolarının Düzenlenme ve Orman Amenajmanında Kullanılabilir Olanakları. Doktora Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon, 307 s.
- Özer, E. ve Uğurlu, S., 1977. Aynalı Relaskop Fh/d Değerlerinden Elde Edilen ya da Çift Girişli Hacim tablolarına Göre Elde Edilen Hacimlerin Seksiyondan Hesaplanan Hacimlerle Karşılaştırması. Ormancılık Araştırma Enstitüsü Teknik Bülten No 99. Ankara.
- Özkurt, A., 2000. Okalıptüs (Eucalyptus grandis W. Hill Ex Maiden) için hacim tablosu. DOA Dergisi, s.87-105.
- Palahí, M. ve Grau J. M., 2003. Preliminary Site Index Model and Individual-Tree Growth and Mortality Models for Black Pine (Pinus nigra Arn.) in Catalonia (Spain), Invest Agrar., Sist. Recur. For., 12, 1, 137–148.
- Pamay, B., 1968. Yaş Sınıfları Amenajman Metodunun Türkiye Orman Uygulaması İmkanları ve Karşılaşılan Güçlükler. İÜ Orman Fakültesi A, Sayı:2, s.23-41.
- Pantelas, V., 1986. The Forests of Brutia Pine in Cyprus. Ciheam. 86(1), 46-46.
- Paulsen, J.C. 1795. Kurze praktische Anleitung zum Forstwesen. Verfaßt von einem Forstmanne. Detmold.
- Peicl, M. ve Arain, M.A., 2007. Allometry and Partitioning of Above- and Belowground Tree Biomass in an Age-Sequence of White Pine Forests, Forest Ecology and Management, 253, 68-80.
- Pehlivan, S., 2010. Sarıçım (Pinus sylvestris L.) Ağaç Hacim Tablolarının Düzenlenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon, 53 s.
- Peng, C., 2000. Understanding the role of Forest Simulation Models in Sustainable Forest Management, Environmental Impact Assessment Review, 481-501.
- Peng, C., Liu, J., Dang, Q., Apps, M. ve Jiang, H., 2002. TRIPLEX: A Generic Hybrid Model for Predicting Forest Growth and Carbon and Nitrogen Dynamics. Ecological Modelling, 153, 109–130.
- Peri, P.L ve Guallerno, M.P., 1997. Growth and Production Models of Populus nigra cv italica in Argentine Patagonia Windbreaks, XI. World Forestry Congress, Antalya.
- Philip, M.S., 1994. Measuring Trees And Forests, 2nd edition, CAB International, Wallingford, 310 pp.
- Pilsbury, N.H. ve Reimer, J.L. 1997. Tree Volume Equations for 10 Urban Species in California, USDA Forest Service Gen. Tech. Rep., PSW-GTR-160, 465-477.
- Plonski, W.L. 1956. Normal yield tables for black spruce, jack pine, aspen, and white birch in northern Ontario. Ont Dep. Lands For., Timber Manage. Dir. No. 24,40 p.
- Plonski, W.L. 1960. Normal yield tables pine, aspen, white birch, tolerant Toronto, for black hardwood, Ont. Rep. spruce, jack white pine, and red pine for Ontario. Ont. Dep. Lands For., Toronto, ON. Silv. Ser. Bull. 2,39 p.

- Porté, A. ve Bartelink, H.H., 2002. Modelling Mixed Forest Growth: A Review of Models For Forest Management, Ecological Modelling, 150, 141–188.
- Pretzsch, H. ve Biber, P., 2005. A Re-Evaluation Of Reineke"s Rule And Stand Density Index, Forest Science, 51, 4, 304-320.
- Pretzsch, H., 2009. Forest Dynamics: from Measurement To Model. Springer International, Berlin, Germany, 664 s.
- Prevosto, B., Curt, T., Guegnot, J. ve Coquillard, P., 2000. Modeling Mid-Elevation Scots Pine Growth on A Volcanic Substrate, Forest Ecology and Management, 131, 1-3, 223-237.
- Quzel, P., 1986. The Forest Vegetation of Turkey. Proceedings of The Royal Society, B-89, 113-122.
- Réaumur RA. 1721. Réflexions sur l'état des Bois du Royaume et sur les Précautions qu'on pourroit prendre pour en empêcher le déperissement, et les mettre en valeur, Hars, Mémoires, pp 284-301.
- Reineke, L.H. 1933. Perfecting a stand-density index for even-aged forests. Journal of Agricultural Research 46:627-638.
- Robinson, A.P. ve Ek, A.R., 2003. Description And Validation of A Hybrid Model of Forest Growth and Stand Dynamics for The Great Lakes Region, Ecological Modelling, 170, 73-104.
- Saraçoğlu, N., 1988. Kızılağaç Gövde Hacim ve Biyokütle Tablolarının Düzenlenmesi. Doktora Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Orman Mühendisliği Anabilim Dalı, Trabzon, 122 s.
- Saraçoğlu, N., 1990. Construction of Biomass Tables in Turkey. IUFRO XIX th World Congress, Canada, Division:1, Volume:2,2, 422, Montreal.
- Saraçoğlu, N., 1992. Kayın (*Fagus orientalis* Lipsky.) Biyokütle Tablolarının Düzenlenmesi. KTÜ Trabzon, 50 s.
- Saraçoğlu, N., 1998a. Kızılağaç (*Alnus glutinosa* Gaertn subsp. *barbata* (C.A. Mey.) Yalt.) Gövde Hacim Tablosu, Turkish Journal of Agriculture and Forestry, 22, 215-225.
- Saraçoğlu, N., 1998b. Kayın (*Fagus orientalis* Lipsky) Biyokütle Tabloları. Turkish Journal of Agriculture and Forestry, 22: 93-100.
- Saraçoğlu, N., 2002. Orman Hasılat Bilgisi. Bartın Orman Fakültesi Yayınları, Üniversite Yayın No: 22, Fakülte Yayın No:9, Bartın, s. 304.
- Saraçoğlu, N., 2008. Biyokütleden Enerji Üretiminde Enerji Ormancılığının Önemi, VII. Ulusal Temiz Enerji Sempozyumu, Aralık, İstanbul, Bildiriler Kitabı, 265-271.
- Saraçoğlu, Ö., 1986. Karadeniz Yöresi Gökmar Meşcerelerinde Artım ve Büyüme, Doktora Tezi, İ.Ü. Orman Fakültesi Orman Hasılatı ve Biyometri Bilim Dalı, İstanbul, 369 s.
- SAS Institute Inc. 2004. SAS/ETS® 9.0 User's Guide. Cary, NC: SAS Institute Inc.
- Shifley, S.R., 1987. A Generalized System of Models Forecasting Central States Growth, USDA Forest Service, Research Paper, NC-279, 10 s.

- Sivrikaya, F. ve Bozali, N., 2012. Karbon Depolama Kapasitesinin Belirlenmesi: Türkoğlu Planlama Birimi Örneği. Bartın Orman Fakültesi Dergisi, Cilt: 14, Özel Sayı, 69-76.
- Sönmez, T., Yılmaz, M., Günlü, A., Karahalil, U. ve Aktürk, G.M., 2010b. Aynıyaşlı ve Saf Doğu Ladini Meşcereleri İçin Büyüme Modeli Geliştirilmesi, (TÜBİTAK-TOVAG, proje no: 106O603), Artvin Çoruh Üniversitesi Orman Fakültesi, Artvin.
- SPSS Institute Inc. 2010. IBM SPSS Statistics 19 Core System User's Guide, SPSS Programming and Data Management, 426 pp.
- Spurr, S.H. 1952. Forest Inventory, Ronald Press, New York. 476 s.
- Staebler, G.R., 1951. Growth and Spacing in an Even – Aged Stand of Douglas Fir, Michigan Univ., M. F. Thesis.
- Sterba, H., Blab, A. ve Katzensteiner, K., 2002. Adapting an Individual Tree Growth Model for Norway Spruce (*Picea Abies* L. Karst.) in Pure and Mixed Species Stands, Forest Ecology and Management, 159, 101–110.
- Subedi N., Sharma M. ve Parton J., 2009. An Evaluation of Site Index Models for Young Black Spruce and Jack Pine Plantations in a Changing Climate, Climate Change Research Report CCRR-15, Applied Research and Development Ontario Forest Research Institute, Canada.
- Sun, O., Uğurlu, S ve Araslı, B., 1976. Stepe Geçiş Yörelerindeki Sarıçam Meşcerelerinde Biyolojik Kütlenin Saptanması. OAE Yayınları, Teknik Bülten Serisi, No.80, Ankara, 48 s.
- Sun, O., 1977. Bir Kızılçam Ağacının Simülasyonu İçin Büyüme Modeli. Ormancılık Araştırma Enstitüsü Teknik Bülten No:119, Ankara, 60 s.
- Sun, O., Eren, M. E. ve Orpak, M., 1978. Temel Ağaç Türlerimizde Tek Ağaç ve Birim Alandaki Odun Çeşidi Oranlarının Saptanması. (TÜBİTAK, proje no: TOAG-288), Tarım ve Ormancılık Araştırma Grubu Yayını.
- Sun, O., Uğurlu, S ve Özer, E., 1980. Kızılçam (*Pinus brutia* Ten.) Türüne Ait Biyolojik Kütlenin Saptanması. OAE Yayınları, Teknik Bülten Serisi, No.104, Ankara, 32 s.
- Sun, O., 1983. Bir Kızılçam Ağacının Simülasyonu için Büyüme Modeli. Ormancılık Araştırma Enstitüsü Teknik Bülten No: 119, 60 s.
- Şahin, A., 2015. Mersin Yöresi Saf Kızılçam (*Pinus brutia* Ten.) Meşcerelerinde Hasılat Araştırmaları, Doktora Tezi, Artvin Çoruh Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Artvin, 245 s.
- Şentürk, N., 1997. Dişbudak (*Fraxinus angustifolia* Wahl. subsp. *oxycarpa* (Bieb. Ex Willd.) Franco & Rocha Afonso) Gövde Hacim ve Ağaç Hacim Tablolarının Düzenlenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon, 97 s.
- Şenyurt, M., 2011. Batı Karadeniz Yöresi Sarıçam Meşcerelerinde Artım ve Büyüme. Doktora Tezi, İstanbul Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 199 s.
- Teck, R. M. ve Hilt, D. E., 1991. Individual-Tree Diameter Growth Model for the Northeastern

- United States, United States Department of Agriculture, Forest Service, Research Paper, NE-649.
- Tennent, R.B., 1975. Competition Quotient in Young Pinus Radiata, Forest Research Institute, New Zealand Forest Service, Rotorua.
- Tolunay, D., 2011. Total carbon stocks and carbon accumulation in living tree biomass in forest ecosystems of Turkey. *Türk J. Agric. For.* 35, 265-279.
- Tome, E. ve Burkhart, H.E., 1989. Distance-Dependent Competition Measures for Projecting Growth of Individual Trees, *Forest Science*, 35 (3), 816-831.
- Tosun, S., 1992. Batı Karadeniz Bölgesindeki Doğu Kayını (*Fagus orientalis*)-Sarıçam (*Pinus sylvestris*) ve Uludağ Göknaarı (*Abies bornmülleriana*) Gençliklerinde Yaş- Boy İlişkisi. OAE Teknik Raporlar Seri No:50, 15 Ref, 38: 75, 59-77, Ankara.
- Trasobares, A. ve Pukkala, T., 2004. Using Past Growth to Improve Individual-Tree Diameter Growth Models for Uneven-Aged Mixtures of *Pinus Sylvestris* L. and *Pinus Nigra* Arn. in Catalonia, North-East Spain, *Annals of Forest Science*, 61 (5), 409-417.
- Turski, M., Beker, C., Kazmierczak, K. ve Najgrakowski, T. 2008. Allometric Equations for Estimating the Mass and Volume of Fresh Assimilational Apparatus of Standing Scots Pine (*Pinus sylvestris* L.) Trees, *Forest Ecology and Management*, 255, 2678-2687.
- Tüfekçioğlu, A. ve Güner, S., 2008. Artvin-Murgul Yalancı Akasya Ağaçlandırmalarının Odun Üretimi, Biyokütle, Karbon Depolama, Toprak Islahı ve Erozyonu Önleme Yönlere Araştırılması. (TÜBİTAK-TOVAG, proje no: 106O418), Artvin Çoruh Üniversitesi Orman Fakültesi, Artvin.
- Tüfekçioğlu, A. ve Küçük, M., 2010, Saf sarıçam meşcerelerinde kök kütlesi, kök üretimi ve kök karbon depolama miktarlarının yaş sınıflarına göre değişimi, III. Ulusal Karadeniz Ormancılık Kongresi, 20-22 Mayıs 2010, Artvin, 3, 1030-1037.
- Uludağ, M., 2006. Kastamonu Orman Bölge Müdürlüğü Çatalzeytin Orman İşletme Müdürlüğü Çınar (*Platanus orientalis* L.) Gövde Hacim Tablolarının Düzenlenmesi. Yüksek Lisans tezi, Z.K.Ü Fen Bilimleri Enstitüsü, Bartın, 68 s.
- URL-1.<http://www.mgm.gov.tr/veridegerlendirme/il-ve-ilceler-istatistik.aspx?m=MERSIN> (17 Mart 2015, 10:00).
- Usta, H. Z., 1991. Kızılçam (*Pinus brutia* Ten.) Ağaçlandırmalarında Hasılat Araştırmaları. Ormancılık Araştırma Enstitüsü Teknik Yayın Serisi No: 219.
- Uzun, M., 2015. Kızılçam'da Bonitet Sınıflarına Göre Ürün Çeşitliliğinin Araştırılması: Antalya Orman Bölge Müdürlüğü Örneği, Yüksek Lisans Tezi, Artvin Çoruh Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Artvin, 60 s.
- Ülker, C., 2010. Amasya Orman Bölge Müdürlüğü Sarıçam (*Pinus sylvestris* L.) Meşcerelerinin Biyokütle Tablolarının Düzenlenmesi (Kunduz Örneği). Yüksek Lisans Tezi, KTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon, 64 s.
- Ülküdür, M., 2010. Antalya Orman Bölge Müdürlüğü Sedir Meşcerelerinin Biyokütle Tablolarının Düzenlenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Bartın Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Bartın, 164 s.

- Ünsal, A., 2007. Adana Orman Bölge Müdürlüğü Karaisalı Orman İşletme Müdürlüğü Kızılcım Biyokütle Tablolarının Düzenlenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Zonguldak Karaelmas Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Bartın, 51 s.
- Vallet., P., Dhôte, J.-F., Le Moguedec, G., Ravart, M. ve Pignard G., Developmnet of Total Above Ground Volume Equations for Seven Important Forest Tree Species in France, *Forest Ecology and Management*, 229, 98-110.
- Valsta, L., 1992. An Optimization Model for Norway Spruce Management Based on Individual Tree Growth Models, *Acta Forestalia Fennica*, 232, 1-22.
- Vanclay, J.K., 1994. Modelling Forest Growth: Applications To Mixed Tropical Forests, CAB International, Department of Economics and Natural Resource. Royal Veterinary and Agricultural University, Copenhagen, Denmark, Wallingford, UK, 312 s.
- Vanclay, J.K. 2001. Modeling Forest Growth and Yield, CABI Publishing, 304 pp.
- Vanclay, J., 2006. Spatially-Explicit Competition Indices and The Analysis of Mixed-Species Plantings with The Simile Modelling Environment, *Forest Ecology and Management*, 233, 295–302.
- Vanclay , J.K. ve Skovsgaard, J.P., 1997. Evaluating Forest Growth Models. *Ecological Modelling*, 98, 1-12.
- Vettenranta, J., 1999. Distance-Dependent Models for Predicting the Development of Mixed Coniferous Forests in Finland, *Silva Fennica*. 31 (1), 51–72.
- Vogt, K., 1991. Carbon Budgets of Temperate Forest Ecosystems, *Tree Physiology*, 9, 69–86.
- Wang M., Borders, B.E. ve Zhao, D., 2008. An Empirical Comparison of Two Subject Specific Approaches to Dominant Heights Modeling: The Dummy Variable Method and Mixed Model Method, *For. Ecol. Manage*, 255, 2659-2669.
- West, P.W., 1980. Use of Diameter Increment and Basal Area Increment in Tree Growth Studies, *Canadian Journal of Forest Research*, 10, 71–77.
- West, P.W., 1982. Comparison Of Stand Density Measures in Even-Aged Regrowth Eucalypt Forest Of Sourhern Tasmania, *Canadian Journal of Forest Research*, 13, 22-31.
- Wykoff, W.R., 1990. A Basal Area Increment Model for Individual Conifers in The Northern Rocky Mountains, *For. Sci*, 36, 4, 1044–1077.
- Wykoff, W.R., Crookston, N.L. ve Stage, A.R., 1982, Users Guide to the Stand Prognosis Model, General Technical Report INT-I33, Intermountain Forest and Range Experiment Station, USDA Forest Service, 112 s.
- Yang, X., Titus, S. J. ve Huang, S., 2003. Modeling Individual Tree Mortality for White Spruce in Alberta, *Ecological Modelling*, 163, 209– 222.
- Yavuz, H., 1992. Değişik Yaşlı Meşcerelerde Büyümenin Markov Zincirleri Yöntemi ile Analiz Edilmesi. Doktora Tezi, KTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, 230 s.
- Yavuz, H., 1995. Taşköprü Orman İşletmesinde Sarıçam ve Karaçam İçin Uyumlu Gövde Çapı, Gövde Hacmi ve Hacim Oran Denklem Sistemlerinin Geliştirilmesi. Trabzon, 101

s. (Basılmamıştır).

- Yavuz, H., 1997. Yarışma Endeksleri ve Büyüme Modellerinde Kullanılması. KTÜ Bahar Yarıyılı Seminerleri, Trabzon, No: 4, 47-54.
- Yavuz, H. ve Sakıcı, O.E., 2002. Gövde Profili Modellerinin Bilimsel ve Pratik Açidan İrdelenmesi. Orman Amenajmanında Kavramsal Açılımlar ve Yeni Hedefler Sempozyumu. 18-19 Nisan 2002, İstanbul, Bildiriler Kitabı.
- Yavuz, H., Mısır, N., Ercanlı, İ. ve Kahriman, A., 2005. Büyüme Modellerinin Ormancılıktaki Önemi ve Ormancılığımız İçin Öneriler. 1. Çevre ve Ormancılık Şurası, Tebliğler Kitabı, 4. Cilt, Mart 2005, Antalya, 1708-1717.
- Yavuz, H., Köse, S., Kalay, H.Z., Başkent, E.Z., Mısır, N., Mısır, M., Altun, L., Sakıcı, O.E. ve Kahriman, A., 2006. Titrek Kavak Meşcerelerinin Kuruluşu, Ekolojik Yönden İncelenmesi, Artım ve Büyüme İlişkileri ile Amenajman Esasları. KTÜ BAP Projesi - 2002.113.001.7, Karadeniz Teknik Üniversitesi Orman Fakültesi, Trabzon.
- Yavuz, H., Mısır, N., Tüfekçioğlu, A., Altun, L., Mısır, M., Ercanlı, İ., Sakıcı, O. E., Kahriman, A., Karahalil, U., Yılmaz, M., Sarıyıldız, T., Küçük, M., Meydan, G., Bayburtlu, Ş., Bilgili, F., Aydın, A. C., Kara, Ö., Bolat, İ. ve Usta, A., 2010. Karadeniz Bölgesi Saf ve Karışık Sarıçam (*Pinus sylvestris* L.) Meşcereleri İçin Mekanistik Büyüme Modellerinin Geliştirilmesi, Biyokütle ve Karbon Depolama Miktarlarının Belirlenmesi. (TÜBİTAK-TOVAG Projesi, Proje No: 106O274), Karadeniz Teknik Üniversitesi Orman Fakültesi, Trabzon.
- Yeşil, A., 1992. Değişik Sıklık ve Bonitetlerdeki Kızılcım Meşcerelerinin Yaşa Göre Gelişimi. Doktora Tezi, İstanbul Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 179 s.
- Yılmaz, S., 2015. Antalya Yöresi Aynı Yaşlı Saf kızılçam Meşcerelerinde Toprak Üstü Biyokütlelerin Belirlenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Artvin Çoruh Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Artvin, 60 s.
- Yolasiğmaz, 2004. Orman Ekosistem Amenajmanı Kavramı ve Türkiye’de Uygulanması (Artvin Merkez Planlama Birimi Örneği). Doktora Tezi, KTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon, 214 s.
- Yolasiğmaz, H. A., Başkent, E. Z., Keleş, S. ve Günlü, A., 2005. Ladin Ormanlarında Ekosistem Tabanlı Çok Amaçlı Planlama Sürecinin Uygulanabilirliğinin Değerlendirilmesi. Ladin Sempozyumu Bildiriler Kitabı, Cilt II, (s. 595-604). Trabzon.
- Yolasiğmaz, H.A. ve Keleş, S., 2009. Changes in carbon storage and oxygen production in forest timber biomass of Balci Forest Management Unit in Turkey between 1984 and 2006. African Journal of Biotechnology Vol. 8 (19), pp. 4872-4883.
- Yoshida T. ve Kamitani T., 1999, Growth of A Shade-Intolerant Tree Species, *Phellodendron Amurense*, As a Component of a Mixed-Species Coppice Forest of Central Japan, Forest Ecology and Management, 113, 57-65
- Yücesan, Z., 2006. Çamlıhemşin-Fırtına Vadisi Yüksek Dağlık Alanlardaki Saf ve Karışık Ormanların Meşcere Dinamiklerinin Analizi. Doktora Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon, 329 s.
- Zeide, B., 1993. Analysis of Growth Equations, Forest Science, 39, 3, 594-616.

- Zeide, B., 1995. A Relationships Between Size of Trees And Their Number, *Forest Ecology and Management*, 72, 265-272.
- Zhang L., Peng, C. ve Dang, Q., 2004, Individual-Tree Basal Area Growth Models for Jack Pine and Black Spruce in Northern Ontario, *The Forestry Chronicle*, 80, 366-374.
- Zhao, D., Borders, B. ve Wilson, M., 2004. Individual Tree Diameter Growth and Mortality Models for Botomland Mixed-Species Hardwood Stands in the Lower Mississippi Alluvial Valley. *Forest Ecology and Management*, 199, 307-322.
- Zianis D., Xanthopoulos G., Kalabodikis K., Kazakis G., Ghosn D. ve Roussou O. 2011. Allometric equtions for aboveground biomass estimation by size class for *Pinus brutia* Ten. Trees growing in North and South Aegean Islands, *European Journal of Forest Research*, Greece.

TÜBİTAK
PROJE ÖZET BİLGİ FORMU

Proje Yürütücüsü:	Yrd. Doç. Dr. AYDIN KAHRİMAN
Proje No:	112O808
Proje Başlığı:	Antalya ve Mersin Yöresi Saf Kızılçam Meşcerelerinde Hasılat Araştırmaları
Proje Türü:	1001 - Araştırma
Proje Süresi:	36
Araştırmacılar:	MEHMET YAVUZ, TURAN SÖNMEZ
Danışmanlar:	
Projenin Yürütüldüğü Kuruluş ve Adresi:	ARTVİN ÇORUH Ü. ORMAN F. ORMAN MÜHENDİSLİĞİ B.
Projenin Başlangıç ve Bitiş Tarihleri:	01/04/2013 - 01/04/2016
Onaylanan Bütçe:	403300.0
Harcanan Bütçe:	346643.51
Öz:	Bu projede Antalya ve Mersin yöresi aynı yaşlı ve saf Kızılçam meşcereleri için artım ve büyüme modellerinin geliştirilmesi ve bu meşcerelerin yetiştirme ortamı verim gücü, odun ürünü çeşidi oranları, biyokütle miktarları, karbon depolama ve oksijen üretim kapasitelerinin belirlenmesi amaçlanmıştır. Bunun için yaş, yetiştirme ortamı verim gücü ve sıklık değişkenliğini yansıttak şekilde tüm alana rasgele dağıtılmış 486 geçici örnek alanda ölçümler yapılmıştır. Ayrıca bu alanları temsilen 486 adedi göğüs yüzeyi orta ağacı ve 486 adedi galip ve ortak galip olmak üzere toplam 972 ağaç verisi kullanılmıştır. Bonitet endeksi modeli olarak Hossfeld büyüme fonksiyonu (M2:69), tahmin gücü (R2: 0.948) ve model hataları bakımından en iyi sonucu verdiği ve seri korelasyon problemin olmadığı (D.W.=2.0099) görülmektedir. Nispi hata (%RE) değerlerine göre en ideal standart yaş ve idare süresinin yaklaşık 60 yıl olduğu tespit edilmiştir. Tek girişli ağaç hacim tablosu değeri, I. (%-6.32) ve II. bonitet sınıflarında (%-0.45) bonitete dayalı tek girişli ağaç hacim modelleri değerinden düşük, III. bonitet sınıfında ise daha büyük değerler (%4.28) vermektedir. Çift girişli ağaç hacim denklemine ilişkin belirtme katsayısı (R2) 0.992 olup, toplam hata yüzdesi 0.210 ve ortalama mutlak hata yüzdesi ise 5.038'dir. Çift girişli biyokütle modellerinin gövde, dal, kabuk, ibre ve toprak üstü biyokütleyi modellemede tek girişli modellere göre sırasıyla %0.012 (R2:0.947), %0.011 (R2:0.847), %0.004 (R2:0.897), %0.028 (R2:0.830) ve %0.008 (R2:0.956) oranında daha başarılı oldukları tespit edilmiştir. Ağaç bileşenlerine göre karbon depolama yüzdeleri en düşük değerden en yükseğe doğru sırasıyla, gövdede %50.72, ibrede %50.80, ibrede %51.71 ve kabukta %56.34 olarak elde edilmiştir. Bunun yanı sıra, çalışma sonuçları Kızılçamda yapılmış olan diğer çalışmalarla kıyaslanmıştır. Geliştirilen tek ağaç çap artım, ağaç hacim, biyokütle ve karbon depolama modelleri bağımsız bir veri grubu ile kontrol edilmiş ve $r = 0,05$ önem düzeyinde kullanılabilecekleri sonucuna varılmıştır. Elde edilen biyokütle modelleri, diğer Akdeniz yöresindeki Kızılçam meşcerelerindeki ağaçların toprak üstü biyokütlesini belirlemede kullanılabilir.
Anahtar Kelimeler:	Büyüme modeli, bonitet, ağaç hacim tablosu, biyokütle, üretim, karbon depolama, odun çeşidi oranı
Fikri Ürün Bildirim Formu Sunuldu Mu?:	Hayır
Projeden Yapılan Yayınlar:	1- Mersin Yöresi Saf Kızılçam (Pinus brutia Ten.) Meşcerelerinde Hasılat Araştırmaları (Tez (Araştırmacı Yetiştirilmesi) - Doktora Tezi), 2- Kızılçam'da Bonitet Sınıflarına Göre Ürün Çeşitliliğinin Araştırılması: Antalya Orman Bölge Müdürlüğü Örneği (Tez (Araştırmacı Yetiştirilmesi) - Yüksek Lisans Tezi), 3- Antalya Orman Bölge Müdürlüğünde Yayılış Gösteren Kızılçam Meşcereleri İçin Uyumlu Gövde Profili Denklem Sistemlerinin Geliştirilmesi (Tez (Araştırmacı Yetiştirilmesi) - Yüksek Lisans Tezi), 4- ANTALYA YÖRESİ AYNI YAŞLI VE SAF KIZILÇAM MEŞÇERELERİNDE TOPRAK ÜSTÜ BİYOKÜTLENİN BELİRLENMESİ (Tez (Araştırmacı Yetiştirilmesi) - Yüksek Lisans Tezi),