

**Aynıyaşlı ve Saf Doğu Ladini Meşcereleri İçin Büyüme Modeli
Geliştirilmesi**

Proje No: 1060603

Yrd. Doç. Dr. Turan SÖNMEZ

Yrd. Doç. Dr. Murat YILMAZ

Arş. Gör. Alkan GÜNLÜ

Arş. Gör. Uzay KARAHALİL

Gülcan MEYDAN AKTÜRK

NİSAN 2010

ARTVİN

ÖNSÖZ

Artvin yöresi Saf Doğu Ladini (*Picea orientalis* L. Link) meşcereleri için büyüme modellerinin geliştirilmesini amaçlayan bu çalışma 2007-2010 yılları arasında gerçekleştirilmiştir. Çalışma kapsamında 3 yaz dönemi envanter çalışması yapılmıştır. Çalışma kapsamında 501 adet örnek alanda ölçüm yapılması planlanmış ancak elde olmayan sebeplerle 403 adet örnek alanda ölçüm yapılabilmektedir. Büyüme modellerinin geliştirilmesi için örnek alanlarda; koordinat, eğim, bakı, rakım gibi genel özelliklerinin yanı sıra, ağaçların göğüs çapı, boyu, yaşı, çift kabuk kalınlığı, tepe başlangıç yüksekliği gibi veriler de toplanmıştır. Toplanan bu veriler SPSS paket programında analiz edilerek meşcere büyüme modelleri geliştirilmiştir. Ayrıca meşcerelerin karbon depolama miktarlarını ve oksijen üretim kapasiteleri tespit edilmiştir. Geliştirilen büyüme modellerinin kullanımını kolaylaştırmak ve yaygınlaştırmak için bir program yazılmıştır. Projenin tümü gerek malzeme alımı ve gerekse proje çalışanlarının yevmiyeleri TÜBİTAK tarafından karşılanmıştır.

İçindekiler

TABLolar DİZİNİ	IV
ŞEKİLLER DİZİNİ	V
ÖZET	VI
ABSTRACT	VII
1. GİRİŞ	1
2. GENEL BİLGİLER	2
3. GEREÇ ve YÖNTEM	5
3.1. Gereç	5
3.1.1. Çalışma Alanı	5
3.1.2. Veri Toplama	7
3.2. Yöntem	18
3.2.1. Dendrometrik Ölçümler	19
3.2.2. Karbon Depolama ve Oksijen Üretim Tahmini İçin Yapılan Ölçümler	19
3.2.3. Model Kurma	22
3.2.4. Paket Program	30
4. BULGULAR	31
4.1. Büyüme Modelleri	31
4.1.1. Meşcere Üst Boy Modeli	31
4.1.2. Meşcere Orta Boy Modeli	32
4.1.3. Meşcere Orta Çap Modeli	34
4.1.4. Çap Dağılım Modeli	35
4.1.5. Göğüs Yüzeyi Modeli	38
4.1.6. Meşcere Hacim Modeli	39
4.1.7. Karbon Depolama Kapasitesi ve Oksijen Üretim Miktarı	40
4.2. Paket Program	43
5. TARTIŞMA ve SONUÇ	47
KAYNAKLAR	51

TABLolar DİZİNİ

Tablo 1. Yaş sınıfları itibariyle Saf Doğu Ladini alansal dağılımı	9
Tablo 2. Meşcere tipleri itibariyle Saf Doğu Ladini alansal dağılımı	10
Tablo 3.Meşcere tipleri itibariyle Saf Doğu Ladini alansal dağılımı	11
Tablo 4. Örnek alanların bazı meşcere özelliklerine göre dağılımı	13
Tablo 5. Örnek alanların işletme müdürlüğü ve işletme şefliklerine dağılımı	14
Tablo 6.Veri tabanına kaydedilen veriler için bir örnek	15
Tablo 7. Örnek alanlarda ağaç bazında yapılan ölçümler ve kullanılan aletler	17
Tablo 8.Meşcere karakteristiklerine ilişkin istatistiki bilgiler	17
Tablo 9.Her bir model için kullanılan verilere ilişkin istatistiki bilgiler	17
Tablo 10. Meşcere üst boyu için test edilen denklemler	24
Tablo 11. Meşcere orta boyu için test edilen denklemler	25
Tablo 12.Meşcere orta çapı için test edilen denklemler	26
Tablo 13.Çap dağılım modellemesinde en iyi sonucu veren dağılımlar	28
Tablo 14.Meşcere göğüs yüzeyi modellemesinde en iyi sonuç veren fonksiyonlar	29
Tablo 15. Meşcere hacim modeli için test edilen denklemler (PIENAAR, RIHENEY; 1995)	30
Tablo 16.Meşcere üst boyu için test edilen denklemlere ilişkin istatistikler	31
Tablo 17.Geliştirilmiş Monserud denklemi için üretilen katsayı istatistikleri	32
Tablo 18.Meşcere orta boyu için test edilen denklemlere ilişkin istatistikler	33
Tablo 19.Geliştirilmiş Monserud denklemi için üretilen katsayı istatistikleri	33
Tablo 20. Meşcere orta çapı için test edilen denklemlere ilişkin istatistikler	35
Tablo 21.Geliştirilmiş Monserud denklemi için üretilen katsayı istatistikleri	35
Tablo 22.Meşcere göğüs yüzeyi için test edilen denklemlere ilişkin istatistikler	38
Tablo 23.6 nolu denklem için üretilen katsayı istatistikleri	39
Tablo 24.Meşcere hacmi için test edilen denklemlere ilişkin istatistikler	40
Tablo 25. 3 nolu denklem için üretilen katsayı istatistikleri	40

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1. Doğu Ladini ibreleri	3
Şekil 2. Çalışma alanı sınırları.....	6
Şekil 3. Çalışma alanı saf Doğu Ladini konumsal dağılımı.....	8
Şekil 4. Dendrometrik ölçüm yapılacak meşcerelerin sayısal gösterimi (örnek).....	14
Şekil 5.Cep Bilgisayarlarına veri girişi için hazırlanmış MS Excel dosyası örneği	16
Şekil 6. Meşcere orta boy modeli hesaplama örneği	34
Şekil 7. Örnek alanların genel çap dağılımı.....	36
Şekil 8.Yaş sınıflarına göre çap dağılım modelleri	37
Şekil 9.Büyüme modeli simülasyon programı ana menüsü.....	44
Şekil 10. Meşcere tanımlama ekranı	44
Şekil 11.Meşcere bilgileri güncelleme ekranı	44
Şekil 12. Meşcere bilgileri silme ekranı	45
Şekil 13. Modeller için denklem belirleme ekranı	45
Şekil 14. Hesaplama ekranı.....	46

ÖZET

Meşcere büyüme modeli, ormandaki meşcerenin doğal dinamiklerinin özetidir. Bu model, yeni bireylerin katılması, doğal kuruma ve büyüme gibi bir meşcerenin yapısında ve bileşiminde oluşan değişimleri içermektedir. Değişik orman kuruluşları için düzenlenen hasılat tabloları büyüme modeli niteliğindedir. Dünyadaki ilk hasılat tablosu, 1787 yılında Almanya’da yayınlanmış ve bunu izleyen yüz yıl içerisinde binlerce hasılat tablosu üretilmiştir. Modern hasılat tablosu sadece hasılat değil aynı zamanda meşcere boyunu, ortalama çapını, ağaç sayısını, meşcere göğüs yüzeyini ve şimdiki ve ortalama yıllık hacim artımını içerir. Avrupa’da hasılat alanında başlayan bu gelişmeler baş döndürücü bir hızla artmaya başlamış, bunun sonucu olarak hasılat tablolarından sonra büyüme ve hasılat denklemleri, detaylandırılmış meşcere modelleri, meşcere tabloları, geçiş matrisleri, uzaklıktan bağımsız ve uzaklığa bağımlı tek ağaç modelleri gibi onlarca teknik, yaklaşım ve model geliştirilmiştir. Bilim adamları ve uzmanlar, bilgisayar teknolojisini de arkalarına alarak geliştirilen bu modellere canlılık, işlevsellik ve kullanılabilirlik kazandırmışlardır. Şu anda Almanya, Finlandiya, İsveç, Amerika ve Kanada başta olmak üzere dünyadaki birçok ülke ağaç türleri için büyüme modellerini geliştirmiş ve yıllardır kullanılmaktadır.

Bu çalışmanın amacı; Artvin Orman Bölge Müdürlüğü sınırları içerisindeki Aynıyaşlı ve Saf Doğu Ladini Meşcereleri Büyüme Modelini geliştirmektir. Geliştirilen model ve bilgisayar programı sayesinde meşcere gelişiminin zamana bağlı olarak nasıl şekil aldığı görülebilmektedir. Böylece karar vericiler daha etkili kararlar verebilmek için istedikleri bilgilere anında ve güvenilir doğrulukta sahip olabilecekler, meşcerelerin gelişimlerini izleyebileceklerdir. Zira ormancılık faaliyetlerinde verilen hatalı kararlar ormanlar üzerinde telafisi zor olumsuz etkiler bırakabilmektedir. Bunların düzeltilmesi 90-100 yıl gibi uzun zaman alabilmekte hatta mümkün dahi olamamaktadır.

Anahtar Kelimeler: Meşcere büyüme modeli, Model geliştirme, Artvin, Doğu Ladini

ABSTRACT

A *stand growth model* is an abstraction of the natural dynamics of a forest stand, and may encompass growth, mortality, and other changes in stand composition and structure. Yield tables developed for various forest types is a growth model. The first yield tables were published in Germany in 1787 and within a hundred years, over a thousand yield tables had been published. Modern yield tables often include not only yield, but also stand height, mean diameter, number of stems, stand basal area and current and mean annual volume increments. As a result of these developments of yield in Europe, a lot of techniques, approaches and models such as growth and yield equations, more detailed stand models, stand tables, transition matrices, and distance-independent and distance-dependent single tree models were developed after normal yield tables. Scientist and specialists were provided liveliness, functional and usefulness using computer technologies. Now, many countries such as Germany, Finland, Sweden, USA and Canada have developed a growth model for different tree species and been using these models for a long time.

The aim of this study was therefore to develop a growth model taking into account the stand closure, mortality, in-growth and prescription for even-aged and pure *Picea orientalis* stands in Forest Regional Directorate of Artvin. At the end of the study, with the developed model and program, it would be possible to monitor forest stand depending on the time. Hence, decision makers would make right decisions using the accurate and required data on time, and monitor the developing a forest stand. So they could reconsider their decisions since wrong decision on forest management could cause irreversible damage on forest. They can take a long time, such as correction of 90-100 years is not even possible to even.

Keywords: Stand growth model, Developing model, Artvin, Oriental spruce

1. GİRİŞ

Büyüme, hacim ve diğer meşcere parametrelerindeki değişimin yaşın bir fonksiyonu olarak tanımlanması ve ölçülmesini içeren biyolojik bir süreçtir. Hasılat, belli bir periyotun sonunda tek ağaç ya da meşcerenin hacmini ortaya koyar (VANCLAY, 1994; VAN LAAR, AKÇA, 1997). Belirli bir periyot için doğru büyüme ve hasılat tahminlerini yapmak, ormancılık faaliyetleri açısından gereklidir. Meşceredeki ağaçların büyüme tahminlerini doğru yapmak karar vericiler için çok önemlidir. Büyüme ve hasılat modelleri ile üretim zamanında hacim verimini tahmin etmek mümkündür. Büyüme eğrileri ya da matematik modeller olmaksızın bu tahmini yapmak çok zor olabilmektedir (PESONEN, 2006).

Ormanın büyümesi simüle edilirken, meşcerenin yaşı ve üst boyu biliniyorsa bonitet endeksinin tahmini için boy büyüme modeli kullanılabilir. Meşcerenin üst boyu bonitet sınıfını belirler ve aynı zamanda büyüme potansiyelinin de göstergesidir. Boy modeli ve çap artım modeli meşcerenin dikey ve yatay boyutlarını tanımlamaktadır. Eğer bir ağacın büyümesi bu iki boyutta ortaya konabilirse hacim gelişimini de tanımlamak mümkün olabilmektedir.

Büyüme ve hasılat modellerinin kullanılması, az sayıda değişken üzerinden veri toplanacağı için daha az masraflı arazi çalışması ve daha hızlı envanter yapmayı mümkün kılmaktadır. Orman envanterinde gövde hacmi ve biokütle gibi bazı karakteristikleri ölçmek imkansız olduğu için bu modeller ilgili değişkenlerin ölçümü için kullanılmaktadır (PESONEN, 2006).

Dünyada ilk hâsılat araştırmaları, orman azalması endişesine karşı planlı ormancılığın kurulmasına gerek duyulması ile 18. yüzyılda başlamış (KALIPSIZ, 1998) ve ilk hasılat tablosu 1787 yılında Almanya’da yayınlanmıştır (VANCLAY, 1994). 19. yüzyılda ise J. C. Paulsen, F. von Baur, R. Hartig, T. von Lorey, K. Wimmenauer ve F. Eichorn tarafından çeşitli hasılat tabloları ilk defa düzenlenmiştir (KALIPSIZ, 1998). Eşit yaşlı meşcereler için hasılat tablolarının nasıl düzenleneceği hakkında ilk bilimsel açıklamalar 1898 yılında Kramer tarafından yapılmıştır (YAVUZ ve ark., 2005). Özellikle Almanya ve Avusturya’da 20. yüzyılın ilk çeyreğinde bir çok ağaç türüne ait hasılat tabloları düzenlenmiştir. Meşcerede büyümenin tahmin edilmesine yönelik ilk çalışma 1962 yılında Amerika’da Buckman tarafından yapılmıştır. Şu an ise Avrupa ve Amerika kıtasındaki birçok ülkede ormanların planlanmasında, geliştirilmiş olan büyüme

modellerinden yararlanılmaktadır. Bu modellerin kullanılması için veri tabanı ve bilgisayar programları hazırlanmıştır.

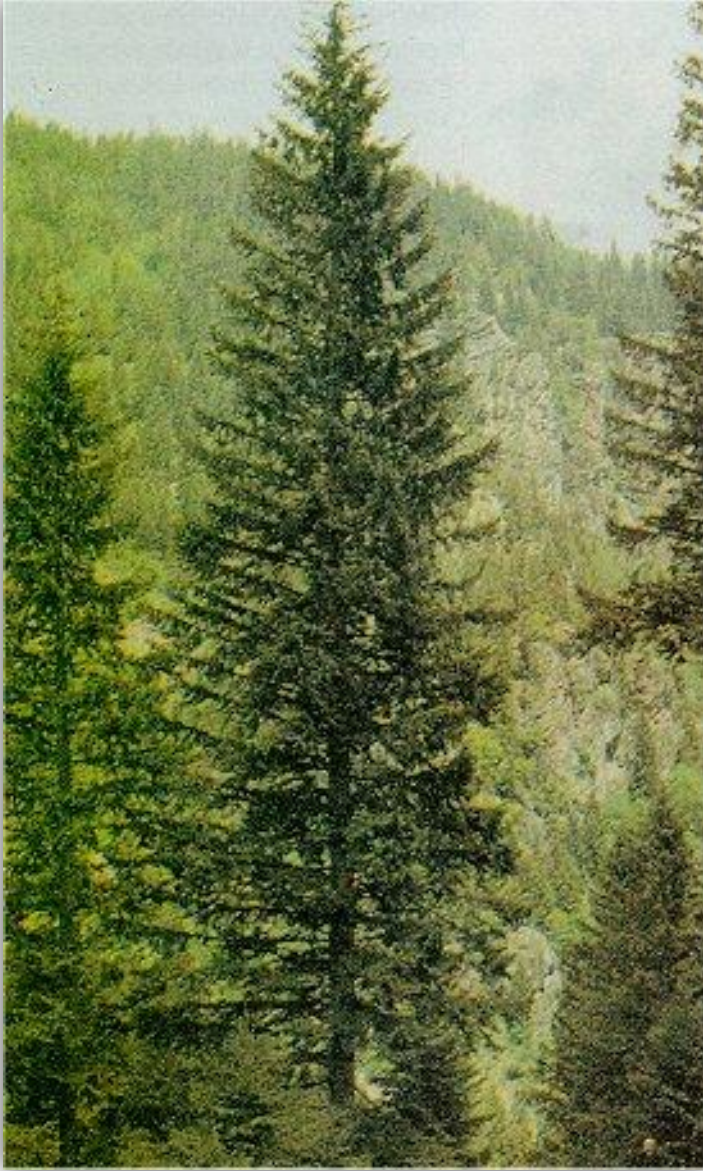
Ülkemizde çeşitli ağaç türleri için büyüme ve hasılatı belirlemeye yönelik çalışmalara 20. yy'ın son çeyreğinden itibaren başlanmıştır. Önceleri sıklıktan bağımsız hasılat tabloları yapımı şeklinde başlayan çalışmalar daha sonraları sıklığa bağlı hasılat tabloları düzenlemesi şeklinde devam etmiş, son zamanlarda da simülasyon ve büyüme modeli geliştirilmesi konularında çalışmalar yapılmıştır. Kestane (KAPUCU ve ark., 2002) ve Kızılçam (YEŞİL, 1992) ağaç türleri için sıklığa bağlı hasılat tablosu düzenlenmiştir. Türkiye'de Doğu Ladini meşcerelerinin büyüme ve hasılatını belirlemeye yönelik ilk çalışma AKALP (1978) tarafından yapılmıştır. Daha sonraki yıllarda, değişik yaşlı Doğu Ladini meşcereleri için AKALP (1983) ve YAVUZ (1992) tarafından geliştirilen simülasyon modelleri ile büyüme ve artım ilişkileri araştırılmıştır. Çeşitli ağaç türlerinin büyüme ve artım ilişkileri özellikle plantasyon alanlarında yoğunlaşmıştır.

Türkiye'de son zamanlarda ormancılık araştırmalarında önemli gelişmeler kaydedilmiştir. Ancak Doğu Ladini meşcerelerinin büyüme ve artımını tahmin etmeye yönelik yöresel modeller çalışılmamıştır. Bu çalışmanın amacı; Artvin yöresi Saf Doğu Ladini (*Picea orientalis* L. Link) meşcereleri için büyüme modelleri geliştirilmesidir. Modellerin kurulması için örnek alanlarda ölçülen göğüs çapı ve boy gibi temel ağaç karakteristikleri ve yaş, üst boy, orta boy, orta çap, sıklık, göğüs yüzeyi gibi meşcere değişkenleri kullanılmıştır.

2. GENEL BİLGİLER

Kuzey yarım küresinde 40 muhtelif türü bulunan ladin cinsinin ülkemizdeki tek temsilcisi Doğu Ladini'dir (ANONİM, 1989; KIRIŞ & ÖZDEMİR, 2005). Ladin, 40-50 metre, bazen de 60 metre boylara ulaşan, 1,5-2 metre çap yapabilen, dolgun ve düzgün gövdeli, sivri tepeli önemli bir orman ağacıdır (Şekil 1) (GÖKMEN, 1953; KAYACIK, 1965; YALTIRIK, 1988). Doğu Ladini'ni ilk kez Kuzey Anadolu Dağları'nda (Trabzon' un güneydoğusunda) Tournefort bulmuştur. Daha sonraları Pallas, bu türü *Pinus picea* olarak adlandırmıştır. Kabuk genç gövdelerde genelde açık renkli ve düzgün, yaşlı gövdelerde koyu renkli ve çatlaklıdır. Doğu Ladininin kabuk kalınlığı ortalama 13.30 mm, kabuk yüzdesi ise %12.3 olarak belirlenmiştir (AKYÜZ, 1997). Dallar çevrel olarak sık bir halde tüm gövdeye yerleşmiştir. Genç sürgünler ince, açık renkli ve tüylüdür. Tomurcuk kahverengi, sivri ve reçinesizdir. Doğu Ladini bilinen

ladin taksonlarının en kısa iğne yapraklısı olup uzunlukları 6-11 mm., uçları keskin değil, kör ya da küt olarak sonuçlanır. Cilalı görünümlü ve koyu yeşildir. Enine kesitleri dört köşelidir. Her yüzünde 1-4 sıra stoma çizgisi bulunur (ANŞİN & ÖZKAN, 1993; URL-1, 2010).



Şekil 1. Doğu Ladini ibreleri

İlk yaşlarda büyümesi çok yavaştır. Bu nedenle, silvikültürel yönden doğal ya da yapay gençleştirmede önemli diri örtü sorunu ile karşılaşılmaktadır. Ancak 8-10 yaşlarından sonra büyüme hızlanmakta ve uzun yıllar sürmektedir. Kök sistemi genel olarak sığdır. Ancak, uygun, bir başka deyimle, fiziksel özellikleri iyi olan topraklarda kuvvetli yan kökler ve derine inebilen ana kök sistemi oluşturabilmektedir (ANŞİN & ÖZKAN, 1993; URL-1, 2010).

Doğu Ladini, Kuzeydoğu Anadolu'nun sahil kesimleri ile Kafkasya'da doğal olarak yayılmaktadır. Ülkemizde Türkiye-Gürcistan sınırından başlamakta ve batıda Ordu ili yakınlarında Melet Irmağı ile son bulmaktadır (ANŞİN & ÖZKAN, 1993). Doğu Karadeniz dağlarının denize bakan yamaçlarında bazen saf ve çoğu kez de *Pinus sylvestris*, *Abies nordmanniana* ve *Fagus orientalis* gibi ağaç türleri ile karışık meşcereler oluşturmaktadır. Esas yayılış itibarıyla 1100-2000 m yükseltide 146300 ha saf olmak üzere toplamda 289397 ha alanı kaplamaktadır (URL-1, 2010). Bununla birlikte Karadeniz ardı kesimlerde ise nemli deniz rüzgârlarının içlere değin taşınmasına olanak veren Çoruh Nehri ve Harşit Çayı'nın etkisinde kalan alanlarda, yüksek dağların yine kuzey yamaçlarında saf veya karışık olarak izlenebilmektedir (ANŞİN, 1981). Örneğin; Trabzon-Meryemana yöresinde güzel örneklerine rastlanır. Yine Torul'un Saraç Dağı ormanları, Artvin Atila, Şavşat ve Borçka'da da Doğu Ladini ormanları mevcuttur. Çoğunlukla 900-1500 metre arasında karışık, 1500-2200 bazen de 2400 metre aralarında saf ormanlar kurar (ANŞİN & ÖZKAN, 1993). Genel olarak granit anakaya üzerinde kumlu balçık, balçık ve tozlu balçık topraklar üzerinde yetişmektedir. Kök sistemi anakaya, toprak türü ve derinliğine bağlı olarak değişse de genellikle sığ ve yayvan kök sistemine sahiptir. Doğu Ladini genellikle %30 eğimin üzerinde ortalama %60 eğimli, orta ve kötü (3, 4, ve 5. bonitet) verim gücüne sahip, kuzey hakim bakılı alanlarda yayılış göstermektedir (ANONİM, 1989; YOLASIĞMAZ, BAŞKENT, KELEŞ, & GÜNLÜ, 2005).

Doğu Ladini, Artvin Orman Bölge Müdürlüğü sınırları içerisinde toplam 94902,5 ha alanda yayılış göstermektedir. Bu alanın 14260,9 ha'ı saf Doğu Ladini meşceresi olup, Artvin, Şavşat ve Ardauç İşletme Şeflikleri sınırları içerisinde bulunmaktadır. Bölge Müdürlüğü ormanlık alanının %25'ini, Doğu Karadeniz Bölgesi ormanlık alanlarının ise %35'ini (KIRIŞ & ÖZDEMİR, 2005) oluşturan Doğu Ladini meşcerelerinin servet ve artımları 1978 yılında Akalp tarafından 5 bonitet sınıfında saf ve müdahale görmemiş meşcereler için düzenlenmiş olan Ladin Hâsılat Tabloları kullanılarak hesaplanmaktadır.

3. GEREÇ ve YÖNTEM

3.1. Gereç

3.1.1.Çalışma Alanı

Çalışma alanı genel itibariyle Doğu Ladini'nin Karadeniz Bölgesinde yayılış gösterdiği üç Orman Bölge Müdürlüğünden (OBM) birisi olan Artvin OBM'dir. Çalışma alanının belirlenmesinde Artvin Orman Bölge Müdürlüğü'ne bağlı tüm işletme şefliklerinin orman amenajman planları dikkate alınmıştır. Araştırma konusu sadece saf Doğu Ladini meşcerelerini kapsadığından, çalışma alanı, Artvin OBM'ye bağlı Artvin, Şavşat ve Ardanuç Orman İşletme Müdürlükleri olmaktadır (Şekil 2). Zira diğer işletmelerde ölçüm yapılabilecek düzeyde saf Doğu Ladini meşcereleri bulunmamaktadır.

Doğu Karadeniz Bölgesinin %34'ü ormanlarla kaplıdır (1338374 ha). Bu ormanların %29'u Artvin ili sınırları içerisinde. Sadece Artvin iline hizmet eden Artvin OBM'nin hizmet sahası 390453 hektardır (Toplam il alanının %53'ü). Bu alanın 120451,5 hektarında Doğu Ladini, saf ya da karışık halde yayılış göstermektedir. Proje çalışma alanı ise; Artvin OBM sınırları içerisindeki saf Doğu Ladini meşcereleridir.



Şekil 2. Çalışma alanı sınırları

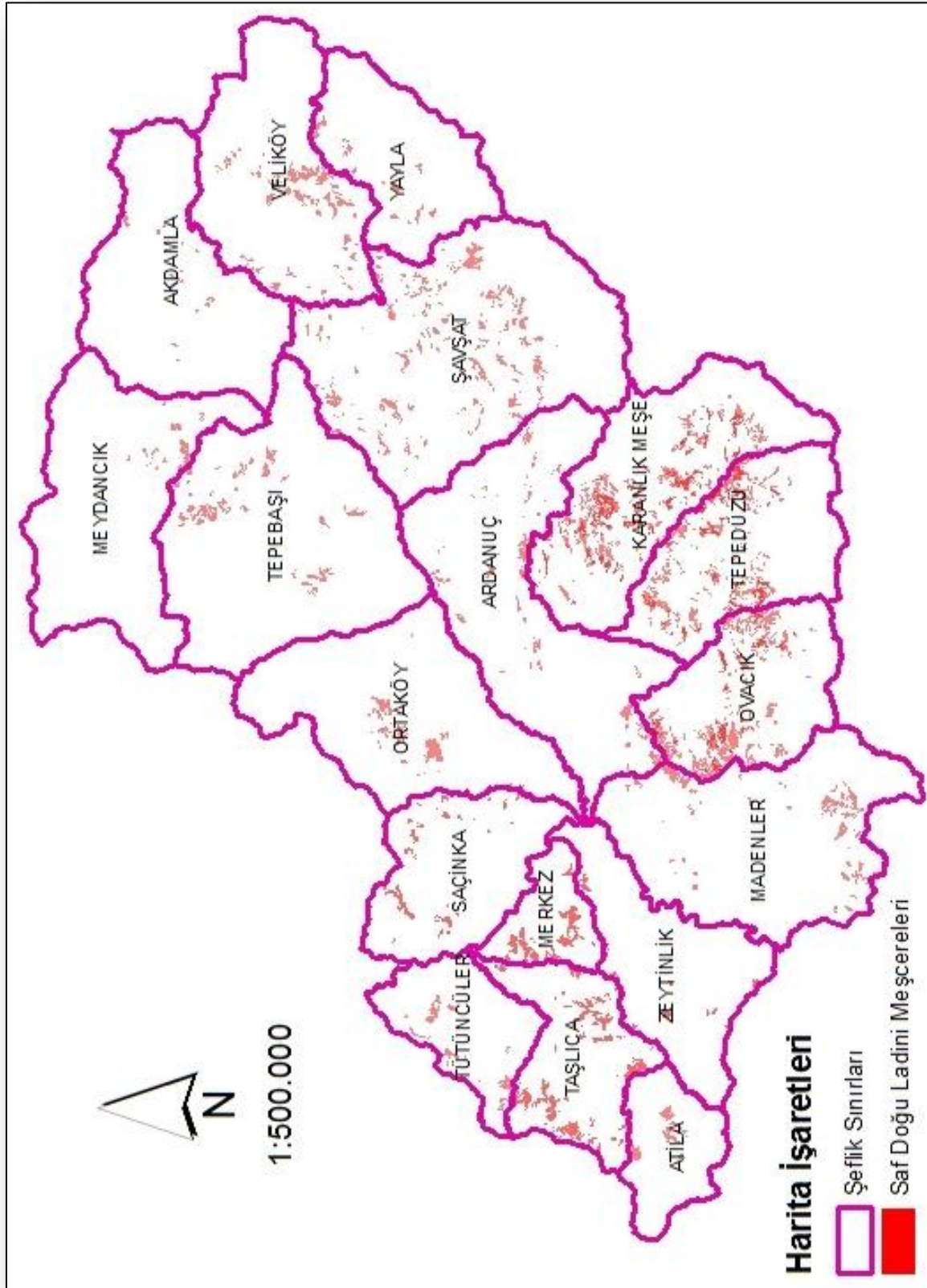
3.1.2. Veri Toplama

Çalışmada; meşcere, idari sınırlar (orman işletme müdürlükleri ve şeflikleri gibi) ve memleket haritaları sayısal temel altlıklar olarak kullanılmıştır. Sayısal meşcere haritaları, Coğrafi Bilgi Sistemleri yazılımı kullanılarak, meşcere haritalarının coğrafi koordinatlarının bilgisayar ortamına aktarılmasıyla oluşturulmaktadır. Çalışmanın doğru ve sağlıklı bir şekilde sürdürülmesi ve tamamlanması için Orman Genel Müdürlüğü ve Artvin OBM'nden sayısal meşcere altlıkları temin edilmiştir. Böylelikle; çalışmaya konu olacak meşcereler çok rahat ve doğru olarak tespit edebilecek, ölçüm yapmak için meşcerelere ulaşmak –meşcerelerin coğrafi koordinatları belli olacağından- hızlı ve doğru olacak ve çalışma yapılacak meşcerelere ulaşmak için gerekli yolun olup olmadığı, varsa nasıl kullanılacağı memleket haritasıyla karşılaştırılmak suretiyle tespit edilecektir.

3.1.2.1. Meşcere ve Örnek Alanların Seçimi

Çalışmaya konu olacak saf Doğu Ladini meşcerelerini belirleyebilmek için ArcInfo™ CBS yazılımı kullanılarak sayısal meşcere haritaları üzerinde konumsal sorgulama yapılmıştır. Daha sonra saf Doğu Ladini meşcerelerinin Artvin OBM'ne bağlı 3 adet Orman İşletme Müdürlüğü (OİM) ve bu müdürlüklere bağlı 18 adet Orman İşletme Şefliği sınırları içerisinde yayılış gösterdiği belirlenmiştir (Şekil 3).

Yine sayısal meşcere haritaları üzerinde saf Doğu Ladini meşcerelerinin belirli özelliklere göre öznitelik bilgileri de araştırılmıştır. Araştırma sonucu Şekil 3'te görülen ve çalışmaya konu olan saf Doğu Ladini meşcerelerinin toplam 15044.9 ha'lık alanda yayılış gösterdiği belirlenmiştir. Saf Doğu Ladini meşcerelerinin işletme şeflikleri bazında yaş sınıfları itibariyle dağılımı Tablo 1'de, meşcere tipleri itibariyle dağılımı Tablo 2'de ve meşcere kapalılığı itibariyle dağılımı Tablo 3'de verilmiştir.



Şekil 3. Çalışma alanı saf Doğu Ladini konumsal dağılımı

Tablo 1. Yaş sınıfları itibariyle Saf Doğu Ladini alansal dağılımı

İşletme Müdürlüğü	İşletme Şefliği	Yaş Sınıfları								Toplam	İşletme Müdürlüğü Toplamı
		1	2	3	4	5	6	7	8		
Artvin	Artvin	0	0	2,5	54,5	399,9	121,6	21,1	20,5	620,1	4079,4
	Atila	0	0	0	19,7	229,5	0	0	0	249,2	
	Madenler	0	0	188,1	235,2	341,9	0	0	0	765,2	
	Ortaköy	0	0	29,3	112,6	318,9	44,6	0	0	505,4	
	Saçinka	0	2,1	70,7	34,9	260,3	9,2	1,3	0	378,5	
	Taşlıca	0	3,1	26,5	163,9	439,6	415,4	91,2	0	1139,7	
	Tütüncüler	58,9	0	5,3	26,4	100,3	0	0	0	190,9	
	Zeytinlik	0	0	0	30,7	78,9	120,8	0	0	230,4	
Ardanuç	Ardanuç	0	266,1	470,7	319,1	675,7	0	0	0	1731,6	6984,2
	Karanlık Meşe	0	316,0	611,4	445,5	608,4	0	0	0	1981,3	
	Ovacık	51,5	0	158,0	602,1	883,5	90,6	0	0	1785,7	
	Tepedüzü	0	178,6	667,9	412,6	226,5	0	0	0	1485,6	
Şavşat	Akdamlı	0	0	22,8	100,7	7,8	0	0	0	131,3	3981,3
	Meydancık	0	39,1	162,3	8,4	0	0	0	0	209,8	
	Şavşat	0	166,3	1164,9	374,3	102,7	0	0	0	1808,2	
	Tepebaşı	0	135,0	169,8	357,4	0	0	0	0	662,2	
	Veliköy	0	0	332,6	245,3	302,6	0	0	0	880,5	
	Yayla	0	29,4	187,2	72,7	0	0	0	0	289,3	
Toplam		110,4	1135,7	4270	3616	4976,5	802,2	113,6	20,5	15044,9	15044,9

Tablo 2. Meşcere tipleri itibariyle Saf Doğu Ladini alansal dağılım

İşletme Müd.	İşletme Şefliği	Meşcere Tipleri																	Toplam (ha)
		L0	La	Lab2	Lb1	Lb2	Lb3	Lbc2	Lbc3	Lc1	Lc2	Lc2-T	Lc3	Lcd1	Lcd2	Lcd3	Ld2	Ld3	
Artvin	Artvin								134,9							332,3	29,9	123,0	620,1
	Atila										162,1						87,1		249,1
	Madenler									208,8	556,4								765,2
	Ortaköy										102,2	23,3	242,5	68,7	42,6	26,3			505,4
	Saçinka								104,7							194,0	48,8	30,9	378,4
	Taşlıca						39,4				132,9		487,3	6,0		278,3		196,0	1139,9
	Tütüncüler		58,9								4,0		128,0						190,9
	Zeytinlik												162,0	30,8				37,7	230,4
Ardanuç	Ardanuç				76,6		761,0						894,1						1731,7
	Karanlıkmeşe				456,5	495,2	116,7			323,7	402,0						187,3		1981,3
	Ovacık	24,8	26,5		3,9		3,9			225,4	124,7		1376,3						1785,4
	Tepedüzü				565,9	433,2	133,0			117,1	236,4								1485,6
Şavşat	Akdamlı					92,0				35,2	4,1								131,3
	Meydancık			209,7															209,7
	Şavşat				567,9	643,1	334,9			3,9	258,6								1808,3
	Tepebaşı			85,2		105,7		471,3											662,2
	Veliköy				171,2	173,1	49,3			37,2	341,9		107,7						880,5
	Yayla									158,2	131,2								289,4
Toplam		24,8	85,4	294,9	1841,8	1942,2	1438,2	471,3	239,7	1109,7	2456,4	23,3	3397,8	105,5	42,6	830,9	353,1	387,5	15044,9

L0: Boşaltma yapılmış; La: Gençleştirme yapılmış henüz kapalılık oluşmamış; Lab2: Gençlik ve sırlıklık çağlarında orta kapalılıkta; Lb1, Lb2, Lb3: Sırlıklık çağında (sırasıyla) seyrek, orta ve tam kapalı; Lbc2, Lbc3: Sırlıklık ve ince ağaçlık çağında (sırasıyla) orta ve tam kapalı; Lc1, Lc2, Lc3: ince ağaçlık çağında (sırasıyla) seyrek, orta ve tam kapalı; Lcd1, Lcd2, Lcd3: ince ve kalın ağaçlık çağında (sırasıyla) seyrek, orta ve tam kapalı; Ld2, Ld3: Kalın ağaçlık çağında (sırasıyla) orta ve tam kapalı ladin meşcerelerini ifade etmektedir.

Tablo 3.Meşcere tipleri itibariyle Saf Doğu Ladini alansal dağılımı

İşletme Müd.	İşletme Şefliği	Meşcere Kapalılığı				Toplam
		0*	1	2	3	
Artvin	Artvin			29,9	590,2	620,1
	Atila			249,1		249,1
	Madenler		202,6	562,6		765,2
	Ortaköy		68,7	168,0	268,7	505,4
	Saçinka			48,8	329,6	378,4
	Taşlıca		6,0	132,9	1001,0	1139,9
	Tütüncüler	58,9		4,0	128,0	190,9
	Zeytinlik		30,8		199,7	230,4
Ardanuç	Ardanuç		76,6		1655,1	1731,7
	Karanlıkmeşe		780,2	1084,5	116,7	1981,3
	Ovacık	51,3	229,3	124,7	1380,2	1785,4
	Tepedüzü		683,0	669,6	133,0	1485,6
Şavşat	Akdamlı		35,2	86,0	10,0	131,3
	Meydancık			209,7		209,7
	Şavşat		571,8	901,7	334,9	1808,3
	Tepebaşı			662,2		662,2
	Veliköy		208,4	515,0	157,1	880,5
	Yayla		152,9	136,5		289,4
Toplam		110,1	3045,3	5585,3	6304,1	15044,9

Çalışmanın temel prensibi; aynıyaşlı ve saf Doğu Ladini meşcerelerinde büyüme modelini ortaya koyabilmek için çeşitli ölçümler yaparak veri toplamak ve bunları değerlendirmektir. Örnek alanlarda; dendrometrik ve diğer ölçümler (toprak, ince kök ve kalın kök ölçümleri) olmak üzere iki ana grupta veri toplanmıştır. Dendrometrik ölçüm yapılacak örnek alanların konumsal dağılımının ve sayısının belirlenmesinde; kapalılık, yaş sınıfı, bonitet ve meşcere gelişim çağı dikkate alınmıştır. Dendrometrik ölçüm yapılacak örnek alan sayısının belirlenmesinde meşcere gelişim çağı, kapalılık, yaş sınıfı ve bonitet özellikleri dikkate alınmıştır. Her bir özelliğe sahip meşcerelerden 3'er adet örnek alan alınması uygun görülmüştür. Bu kriterler aşağıda detaylı olarak açıklanmıştır.

Kapalılık: Orman amenajman planlamada meşcereler kapalılık derecesine göre; seyrek, orta ve tam kapalı olmak üzere 3 çeşittir. Sayısal meşcere haritalarında da meşcerelerin kapalılık

* 0: L0 ve La meşcereleri için verilen kapalılık kodu

dereceleri öznitelik bilgisi olarak yer almaktadır. Bu çalışmada da meşcereler, orman amenajman planlarına uygun olacak şekilde 3 gruba ayrılmıştır.

Yaş Sınıfı: Doğu Ladini’nde yaş sınıfları 20 yıllık olarak düzenlenmektedir. İdare süresinin 20’ye bölünmesi ile yaş sınıfı sayısı elde edilebilir. Doğu Ladini’nde idare süresi 90-120 yıl arasında olabilmektedir (SAATÇİOĞLU, 1971). İdare süresi 120 olarak ele alındığında $120/20=6$ yaş sınıfında ölçüm yapılması gerekmektedir. Ancak 1. yaş sınıfındaki meşcerelerin ölçülemeyecek derecede küçük olması nedeniyle örnek alanların sayısının belirlenmesinde 5 yaş sınıfı esas alınmıştır.

Bonitet: Doğu Ladini Hasılat Tablosu 5 bonitet sınıfı esas alınarak düzenlenmiştir (AKALP, 1978). Halen uygulamada kullanılan bonitet sınıfı sayısı da 5’tir. Ancak çalışma alanında 1. bonitette saf Doğu Ladini meşcerelerinin olmaması nedeniyle 4 bonitet sınıfı dikkate alınarak örnek alan sayıları belirlenmiştir.

Meşcere Gelişim Çağı : Artvin Orman Bölge Müdürlüğü Sınırları içerisinde kalan aynıyaşlı ve saf Doğu Ladini meşcerelerinden b, c ve d çağlarındaki meşcerelerde (3 tip) dendrometrik ölçüm yapılmış ancak “a” çağındaki meşcerelerde ölçüm yapılamamıştır. Buralarda fidanların çaplarının 8 cm’den düşük ve çok sayıda olmaları nedeniyle sadece 10x10 m’lik alanda sayım yapılmıştır.

Meşcere tipleri, gelişme çağları itibarıyla 3 ana grupta toplanmıştır. L0 meşceresi gençleştirme alanı olduğundan ölçüm için ağaç olmaması ve La meşceresi de gençlik olması sebebiyle bu alanlarda dendrometrik ölçüm yapılmamıştır. Diğer meşcerelerden; Lab, Lb, ve Lbc meşcereleri “b”; Lc ve Lcd meşcereleri “c”; Ld meşcereleri “d” gelişme çağını ifade edecek şekilde gruplandırılmıştır. Bu durumda 3 farklı gelişim çağını içeren meşcere gruplarında dendrometrik ölçüm yapılmış demektir. Çalışma alanında I. yaş sınıfından VIII. yaş sınıfına kadar her yaş sınıfında meşcereler bulunmaktadır. Bunlardan I. yaş sınıfındaki meşcereler L0 ve La gelişim çağlarında olduklarından bu yaş sınıfı çalışma kapsamı dışı tutulmuştur. VII. ve VIII. yaş sınıflarındaki meşcerelerin fazla alan kaplamamaları ve idare süresinin de 120 yıl olması nedeniyle VI. yaş sınıfına dahil edilmeleri uygun görülmüştür. Bu durumda II-VI yaş sınıflarındaki (toplam 5 yaş sınıfı) meşcerelerde veri toplanacak örnek alanların dağılımı gerçekleştirilmiştir.

Çalışma kapsamında dendrometrik ölçüm yapılacak örnek alanların dağılımı meşcerelerin gelişim çağı, kapalılık derceleri, yaş sınıfları ve bonitet dereceleri dikkate alınarak düzenlenmiş ve Tablo 4'te verilmiştir. Tabloda da görüldüğü üzere aynı kriteri sağlayan bazı yerlerden 3 bazı yerlerden 6 adet örnek alan alınması planlanmıştır. Bunun nedeni aynı meşcere tipi üzerine olabilecek coğrafi konum etkisini en aza indirmektir. Bu durum tüm meşcerelere uygulanmak istenmiş, fakat ilgili kriteri sağlayan bazı meşcerelerin tek bir yerde ve yalnızca 1 adet bulunması nedeniyle bu düşünce tam anlamıyla uygulanamamıştır.

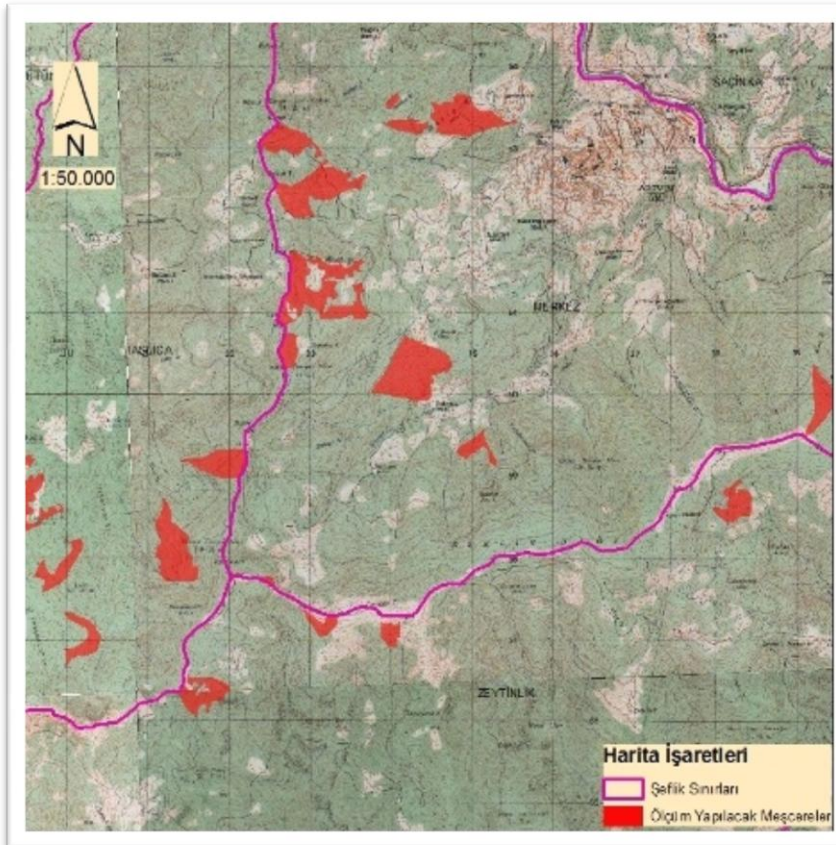
Tablo 4. Örnek alanların bazı meşcere özelliklerine göre dağılımı

Gelişim Çağı	Yaş Sınıfı	Kapalılık																	Genel Toplam	
		1					Toplam	2					Toplam	3						Toplam
		Bonitet Derecesi						Bonitet Derecesi						Bonitet Derecesi						
		1	2	3	4	5		1	2	3	4	5		1	2	3	4	5		
b	2	3		3	3		9		3	3	3	3	12	3	3	3	3	3	15	36
	3	3	3	3	3	3	15	3	3	3	3	3	15	3	3	3	3	3	15	45
	4			3	3	3	9		3	3	3	3	12		3	3	3	3	12	33
	5			3	3	3	9			3	3	3	9		3	3	3	3	12	30
Alt Toplam		6	3	12	12	9	42	3	9	12	12	12	48	6	12	12	12	12	54	144
c	2	6	3	3			12													12
	3	6	6	6	6		24		6	6	6		18	3	6	6	6		21	63
	4		3	6	6	3	18	6	6	6	6	6	30	6	6	6	6	3	27	75
	5		6	6	6	6	24		6	6	6	6	24	6	6	6	6	6	30	78
	6			6			6							6	6	6	6		24	30
	7														3		6		9	9
Alt Toplam		12	18	27	18	9	84	6	18	18	18	12	72	21	27	24	30	9	111	267
d	3														6				6	6
	4								6	6	6		18		3	3			6	24
	5								6	6	6		18	6	6	6			18	36
	6													3	3	6			12	12
	7													3	6	3			12	12
Alt Toplam								12	12	12		36	12	24	18			54	90	
Genel		18	21	39	30	18	126	9	39	45	39	21	153	39	63	57	42	21	222	501

Bu doğrultuda çalışma kapsamında 501 adet örnek alanda dendrometrik ölçüm yapılması planlanmıştır. Dendrometrik ölçüm yapılacak örnek alanların işletme müdürlüğü ve işletme şefliklerine dağılımı ise Tablo 5'te verilmiştir. Ayrıca dendrometrik ölçüm yapılacak meşcereler sayısal ortamda da işaretlenmiş ve araştırmacıların arazide kullanabilecekleri şekilde hazırlanmıştır. Hazırlanan sayısal çıktılar çok büyük olduğundan ve küçültüldüklerinde detaylar görülmediğinden küçük bir örnek Şekil 4'de verilmiştir.

Tablo 5. Örnek alanların işletme müdürlüğü ve işletme şefliklerine dağılımı

İşletme Müdürlüğü	İşletme Şeflikleri	Meşcere Gelişim Çağı			Toplam
		b	c	d	
Artvin	Artvin	3	18	30	51
	Atila		3		3
	Madenler		21		21
	ortaköy		12		12
	Saçinka	8	12	27	47
	Taşlıca		30	12	42
	Zeytinlik		3	3	6
Alt Toplam		11	99	72	182
Ardanuç	Ardanuç	21	15		36
	Karanlıkmeşe	44	33	18	95
	Ovacık		48		48
	Tepedüzü	24	6		30
Alt Toplam		89	102	18	209
Şavşat	Meydancık	4			4
	Şavşat	31	3		34
	Tepebaşı	6			6
	Veliköy	3	30		33
	Yayla		33		33
Alt Toplam		44	66	0	110
Genel Toplam		144	267	90	501



Şekil 4. Dendrometrik ölçüm yapılacak meşcerelerin sayısal gösterimi (örnek)

3.1.2.2. Veri Tabanı Tasarımı ve Model Program

Arazi envanteri sonucu elde edilen veri ve bilgileri sayısal ortamda saklamak, analiz etmek ve büyüme modelleri kullanımı için yazılacak bilgisayar programında kullanmak amacıyla veri tabanı tasarımı gerçekleştirilmiştir. Bunun için öncelikle arazi envanterinde toplanacak verilerin neler olduğu ve sayısal ortamda ne şekilde depolanacakları tespit edilmiştir. Tablo 6’da buna ilişkin bir örnek verilmiştir. Bu tespit neticesinde arazi envanterinde elde edilecek veriler öncelikli olarak cep bilgisayarlarına girilebilmesi için MS Excel dosyası oluşturulmuştur (Şekil 5). Ancak veri tabanı MS Access ortamında hazırlanmıştır. Arazi envanteri tamamlandıktan sonra cep bilgisayarında MS Excel ortamındaki veriler MS Access’te hazırlanmış veri tabanına aktarılmıştır. Geliştirilen büyüme modellerinin diğer kullanıcılar tarafından kolay kullanımı için Delphi programlama dilinde Doğu Ladini Büyüme Modeli Kullanım Programı yazılmıştır. Veri tabanının MS Access’te hazırlanmasının nedeni büyüme modelleri kullanım programının yazıldığı Delphi programlama dilinin MS Access veri tabanı ile kolay ilişkilendirilebilmesi, doğrudan veri tabanı üzerinde işlem yapabilmesidir.

Tablo 6. Veri tabanına kaydedilen veriler için bir örnek

Detay Kodu	Veri Tipi	Alan Boyutu	Açıklama
SefKod	Sayı	6	İşletme Şefliği Kodu
BolmeNo	Sayı	4	Bölme Numarası
MesTipi	Metin	15	Meşcere Tipi
BlmckNo	Sayı	2	Bölmecik Numarası
OrAlanNo	Sayı	10	Örnekleme Alanı Numarası
AgTurKod	Sayı	2	Ağaç Türü Kodu
Cap	Sayı	3,1	Ağacın Göğüs Çapı (cm)
Yas	Sayı	3	Ağaç Yaşı (yıl)
Boy	Sayı	2,1	Ağacın Boyu (m)
KbkKal	Sayı	3	Çift Kabuk Kalınlığı (mm)
OnHalka	Sayı	3	Son 10 Yıllık Halka Kalınlığı (mm)
TepeCap	Sayı	3,1	Tepe Çapı (cm)
TepeBslYuk	Sayı	2,1	Tepe Başlangıç Yüksekliği (m)
Nitelik	Sayı	1	Ağacın Niteliği (devrik, yatık, vs)
Kalite	Sayı	1	Ağacın Kalitesi (1, 2, 3, 4, gibi)
MerUzak	Sayı	5	Ağacın Başlangıç Noktasına Uzaklığı (cm)
KuzAcı	Sayı	3	Başlangıç Noktasındaki Ağaçla Yaptığı Aç
Kapalilik	Sayı	1	Meşcere kapalılığı

Ölçü No	Ölçü Yeri Kodu	1.30'lık Çap	Yük	Kalınlık	Mevlâhâk Durumu	Silvâk İlmiyel Durum	Çift Etil. Etilâhâk	10' Etilâk Çatâhâk	Ölçü Dâim	Yeni Çapı	Yeni Etilâhâk Yüklâhâk	Mevlâhâk Etilâhâk	Kısmî Açık	Ölçü Adı	Belirleç Adı	Ölçü No	Ölçü Adı
1																	
2																	
3																	
4																	

Şekil 5.Cep Bilgisayarlarına veri girişi için hazırlanmış MS Excel dosyası örneği

3.1.2.3. Örnek Alanlarda Ölçüm

Arazi envanteri, belirli kriterlere göre konumu tespit edilmiş meşcerelerde büyüme modeli geliştirilmesi için veri ve bilgilerin toplanması işlemidir. Örnek alanlardaki ölçümler 1000 m² büyüklüğündeki alanlarda yapılmıştır. Örnek alanlar dairesel veya dikdörtgen şeklinde araziye aplike edilmektedir. VANCLAY (1994), dairesel örnek alanlarda, meşçereye yeni katılımların dikkate alınmasında tek ağaç modellerinde sorunlar yaşanabileceğine işaret etmektedir. Ayrıca, alanın sınırlarının tam olarak belirlenmesinde de sıkıntılar çıkabileceğini ifade etmektedir. Yine bu noktaların sadece merkeze işaret konulması sebebiyle ikinci defa ölçüm sırasında bulunmasında zorluk çekilebileceği veya kaybolabileceğine değinerek dikdörtgen tipi örnek alanların bu olumsuzlukları en aza indirdiğini belirtmektedir. Ayrıca ölçüm yapılacak noktaların uzun kenarlarının eşyükselti eğrisine paralel ve arazi eğimine dik yönde alınmasının dinamik modeller için daha uygun olacağına işaret etmektedir. Bu hususlar dikkate alınarak, yarı devamlı örnek alanlar 50x20 m boyutlarında eşyükselti eğrisine paralel biçimde ve eğime dik yönde araziye işaretlenmiştir. Örnek alanların; köşe koordinatları, topoğrafik özellikleri (yüksekti, eğim, bakı, dere veya sırta uzaklık), toprağın fiziksel özellikleri (derinlik, tekstür) tespit edilmiştir. Örnek alanlarda ağaç bazında yapılacak dendrometrik ölçümler ve kullanılacak aletler Tablo 7’de listelenmiştir.

Tablo 7. Örnek alanlarda ağaç bazında yapılan ölçümler ve kullanılan aletler

Ölçüm Tipi	Ölçüm Aleti
Koordinat	GPS
Çap (göğüs yüksekliğinden)	Çap ölçer
Boy	Dijital boy ölçer
Yaş	Artım burgusu
Kabuk kalınlığı	Kabuk ölçer
Son 10 yıllık halka kalınlığı	Artım burgusu
Tepe çapı	Lazerli mesafe ölçer
Tepe başlangıç yüksekliği	Dijital boy ölçer

3.1.2.4. Örnek Alan İstatistikleri

Çalışma kapsamında 13 farklı saf Doğu Ladini meşceresinde ölçümler yapılmıştır. Ölçüm yapılan 403 adet örnek alana ilişkin istatistik bilgileri Tablo 8’de verilmiştir. Her bir model için kullanılan verilere ilişkin istatistiki bilgiler ise Tablo 9’da verilmiştir.

Tablo 8.Meşcere karakteristiklerine ilişkin istatistiki bilgiler

Değişkenler	Minimum	Maksimum	Ortalama	Standart Sapma
Ortalama Boy (m)	8,33	31,46	20,01	4,96
Ortalama Çap (cm)	14,10	56,33	32,87	7,25
Göğüs Yüzeyi (m ² ha ⁻¹)	8,17	80,47	40,90	13,90
Ağaç Sayısı (gövde, ha ⁻¹)	290,00	2110,00	791,46	335,63
Meşcere Yaşı (yıl)	37,00	168,00	87,80	23,53
Üst Boy (m)	9,16	58,38	23,52	5,74
Bonitet İndeksi (m)	10,20	68,01	27,14	6,28

Tablo 9.Her bir model için kullanılan verilere ilişkin istatistiki bilgiler

Değişkenler	N	Minimum	Maksimum	Ortalama	Standart Sapma
Çap (cm)	31889	5,00	95,00	22,86	11,66
Göğüs Yüzeyi (m ² ha ⁻¹)	31889	0,002	0,709	0,052	0,055
Yaş (yıl)	2307	26	222	88	27
Boy (m)	10882	2,90	48,10	19,92	6,21
Çift Kabuk Kalınlığı (mm)	2307	0,90	58,00	23,38	7,44
Son On Yıllık Halka Kalınlığı (mm)	2307	1,40	50,00	11,76	5,21
Tepe Çapı (m)	10882	0,10	77,60	3,99	1,75
Tepe Başlangıç Yüksekliği (m)	10882	0,20	35,00	8,42	4,28

Tablo 9'dan da anlaşılacağı üzere 403 örnekleme alanında toplam 31889 adet ağaç üzerinde çap ölçümü yapılmıştır. 10882 ağacın boy, tepe çapı ve tepe başlangıç yükseklikleri; 2307 ağaçta ise yaş, çift kabuk kalınlığı ve son on yıllık halka kalınlıkları ölçülmüştür.

3.2. Yöntem

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. Çünkü bu tür örnek alanlarda 5 veya 10 yıl gibi belirli periyotlarla sürekli ölçümler yapıldığından, meşcerelerin zamana bağlı olarak gerçekleştireceği büyüme değerleri doğrudan elde edilebilmektedir. Ancak bu tür örnek alanlar, çalışılan ağaç türüne bağlı olarak 50, 100, 150 yıl gibi çok uzun bir dönemi kapsadığından, bir proje süresi içerisinde bu tür alanların ölçülmesi mümkün değildir. 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 alan verileri ile oluşturulanlara oranla daha düşük güvenilirlik düzeyine sahip olmaktadır. Ancak gerek zamansal kazanım ve gerekse devamlı örnek alanların uzun dönem içinde çeşitli iç ve dış etmenler sonucunda yok olma veya kısmen zarara uğrama olasılıkları dikkate alınarak, büyüme modeli oluşturmak amacıyla yarı devamlı örnek alan verileri çok sayıda araştırmada kullanılmış ve günümüzde de kullanılmaya devam edilmektedir. 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, 1978). Ancak geçici örnek alan verileriyle, meşcerelere uygulanan silvikültürel işlemlerin etkilerini ortaya koymak mümkün olamamaktadır. Ayrıca bu verilerle meşcerelerin geleceğine ilişkin yapılan tahminler; aynı meşcereden değil farklı meşcerelerden elde edilen verilerle yapılmaktadır. Oysa devamlı veya yarı devamlı örnek alanlardan elde edilen verilerle oluşturulan büyüme modelleri, aynı meşcerenin belirli bir periyot sonraki verilerini de kullandığı için daha gerçekçi tahminlerde bulunabilmektedir. Örnek alanların bu özellikleri dikkate alınarak çalışmanın yarı devamlı örnek alanlarda yapılmasına karar verilmiştir.

3.2.1.Dendrometrik Ölçümler

Eşit yaşlı saf Doğu Ladini meşcerelerinde büyümenin modellenenebilmesi için ölçümler 1000 m² (50x20) büyüklüğündeki yarı devamlı örnek alanlarda yapılmıştır. Örnek alanların köşe koordinatları GPS kullanılarak belirlenmiş ve kayıt altına alınmıştır. Sınırlar, lazerli mesafe ölçer ile tespit edilmiş ve sınır içerisinde kalan ağaçlara sırayla numara verilmiştir. Örnek alanın uzun kenarı, örnek alan içerisinde yükselti farkından meydana gelebilecek etkiyi en aza indirebilmek için, eşyükselti eğrisine paralel alınmıştır. Alandaki tüm ağaçların çapları, çap ölçer kullanılarak birbirine dik iki ölçümün ortalaması hesaplanarak, mm hassasiyetinde ölçülmüştür. Meşcerelerde çap-boy gelişimini ortaya koyabilmek için her örnek alanda 30 adet ağacın boyu dijital boy ölçer ile cm hassasiyetinde ölçülmüştür. Ayrıca söz konusu ağaçların tepe çapları (lazerli mesafe ölçer ile cm hassasiyetinde) ve tepe başlangıç yükseklikleri (dijital boy ölçer ile cm hassasiyetinde) ölçülmüştür. Meşcerenin ortalama yaşını belirleyebilmek için örnek alandaki 6 adet ağacın yaşı artım burgusu ile tespit edilmiştir. Kabuklu ve kabuksuz çap artımı ile hacim artımını belirleyebilmek için yaşı ölçülen ağaçların çift kabuk kalınlıkları kabuk ölçer yardımıyla ölçülmüştür.

Eşit yaşlı meşcerelerde büyüme ve artım olayları, yetiştirme ortamı verimliliği ve meşcere orta yaşına bağlı olarak incelenmektedir (ERASLAN, 1982). Artım ve büyüme ile ilgili ölçümler, meşcereyi en iyi temsil etmesi için özenle seçilmiş alanlardaki deneme ağaçlarında yapılmaktadır (GÜNEL, 1981). Deneme ağaçları kullanılarak yapılan gövde analizleri ile tek ağaçtaki büyüme ve artım ilişkileri araştırılmaktadır. Meşcerelerdeki büyüme ve artım ilişkilerini daha iyi açıklayabilmek için aynı özelliklere sahip meşcerelerden 1 adet ağaç kesilerek gövde analizleri yapılmıştır.

3.2.2.Karbon Depolama ve Oksijen Üretim Tahmini İçin Yapılan Ölçümler

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

Toprak üstü biokütlenin tahmininde örnek alanlardaki ağaçlar üzerinde yapılan ölçümlerden yararlanılmıştır. Bunun dışında her meşcere gelişim çağı, yaş sınıfı ve bonitet derecesinde 1 adet olmak üzere (kalın kök örneklerinin alındığı örnek alanlardan 1'er adet) toplam 40 adet ağaç kesilmiştir. Kesilen gövde seksiyonlarının her biri arazide tartılmıştır. Kesilen ağaçların hacimleri seksiyon yöntemine göre hesaplanmıştır. 1,30 seksiyonlarında fırın kurusu ağırlıkları ölçülmüştür. Fırın kurusu ağırlık hesabı için örnekler 24 saat süreyle 65 derecede kurutulmuşlardır. Daha sonra örnekler içerisindeki karbon miktarları ölçülmüştür. Aynı yöntem kesilen ağacın dal, sürgün ve ibreleri için de kullanılmıştır. Toplam toprak üstü karbon depolama miktarı, 1 hektar alandaki gövde, dal, sürgün ve ibrenin depoladığı karbon miktarları toplanarak elde edilmiştir. Gövde hacmini kullanarak dal, sürgün ve ibre miktarını belirleyebilmek için analizler yapılmıştır. Bu işlem sonunda 1 m³ dikili gövde hacmine karşılık gelen dal, sürgün ve ibre oranları elde edilmiştir.

Meşcerelerin sahip oldukları karbon depolama ve oksijen üretim kapasitelerinin hesaplanması amacıyla; örnek alanlarda toprak altı biyokütle tahminleri için kalın ve ince kök (kılcal kökle birlikte) örnekleri alınmıştır. Kalın kök (kalınlık > 5mm) örnekleri için, her bir meşcere çağ sınıfından 1 adet rastgele olarak seçilmiş 1x2 m genişliğinde toprak profili kazılıp kalın kökler topraktan elenerek elde edilmiştir. 3 farklı meşcere gelişim çağı, 4 yaş sınıfı ve 4 bonitette ("d" gelişim çağına ait meşcereler 2 bonitete dağılmıştır) toplam 40 adet (2x4x4 + 2x4) kök profili alınmıştır. Eleme 30 cm'lik toprak kalınlığı baz alınarak yapılmış, böylelikle derinlikle kaba ve kalın kök arasındaki değişim ortaya konmuştur. Çıkarılan kökler arazide yaş halde tartılmış, fırın kurusu ağırlığın saptanması amacıyla bir miktar örnek alınarak kurutma fırınlarında 65 °C de 2 gün süre ile kurutulmuştur. Kurutulan örnekler, tartıldıktan sonra 1 mm'lik elekten geçirilinceye kadar öğütme değirmeninde öğütülmüştür. Öğütülen örneklerde karbon analizi yapılmış ve kök kütlelerinin karşılık geldiği karbon miktarı belirlenmiştir. İnce kök (kök kalınlığı: 2–5 mm) ve kılcal kök (kalınlığı:< 2 mm) örnekleri için ise kalın kök örneklerinden farklı olarak her gelişim çağındaki meşcerelerde 3 adet ölçüm yapılmıştır. Bu durumda 40x3=120 adet kök örneği alınmıştır. Örneklerin alımında 6,4 cm çapında ve 30 cm boyunda çelik boru kullanılmıştır. Laboratuar ortamında kökler topraktan arındırıldıktan sonra ince ve kılcal çap sınıflarına göre ayrılarak 65 °C de 24 saat süre ile kurutulmuş ve hassas terazide tartılarak gerekli dönüşümler yapıldıktan sonra hektardaki kök biyokütlesi belirlenmiştir.

Kalın köklerin kütlesi, ağaç çapı ve meşcere yaşı ile orantılı olarak değişmektedir (SANTANTONIO, HERMAN, & OVERTON, 1977; FOSTER, 1985). Kılcal, ince ve kalın köklerde depolanan yıllık karbon miktarının toplamı toprak altına yıllık depolanan karbon miktarını vermektedir.

Toplam karbon kapasitesinin belirlenmesinde Toprak Üstü Ölü ve Diri Örtü Karbon Depolama Kapasitesinin (TÜÖDKDK) de hesaplanmasına gerek duyulmaktadır. Yaptığımız çalışmada ölü ve diri örtüye ait veri toplanmadığından burada uluslar arası genel kabuller doğrultusunda hesaplama yapılacaktır. Belirlenen canlı biyokütle; alandaki göğüs çapı 6 cm üzerindeki ağaçların biyokütlesini göstermektedir. Bu ölçü basamağının dışındaki ağaç, ağaççık ve çalı ve şüceyrat ile bunlara ait gövde, dal, kozalak, ibre ve yaprak artıklarından oluşan ölü örtünün toplam biyokütlesinin de hesaplanması gerekmektedir. Dünyanın değişik ülkelerinde yapılan araştırma sonuçlarına göre bulunan ortalama ağaç ve ağaççık canlı biyokütle toplamının belirli oranlarla çarpımı sonucu bu değer hesaplanmaktadır. Türkiye'nin üzerinde yer aldığı yarı kurak enlem dereceleri için bu değer %40 olarak verilmektedir.

Meşcerelerin yıllık oksijen üretimini hesaplayabilmek için yine Yakın Doğu Süreci Uygulama Kılavuzlarında da yer alan, Asan ve arkadaşları tarafından hesaplanan katsayılar kullanılmıştır. Fotosentez olayında tüketilen CO₂'ye karşılık üretilen O₂ miktarından yola çıkılarak ilgili katsayı hesaplanmaktadır. Buna göre, yıllık fırın kurusu organik madde üretim miktarının 1,2 katı oksijen üretimi hesaplanmıştır. Bunun için karbon birikimi hesabında olduğu gibi toprak altı ve toprak üstündeki biyokütle artımının fırın kurusu ağırlık cinsinden ortaya konması gerekmektedir (YOLASIĞMAZ, BAŞKENT, KELEŞ, & GÜNLÜ, 2005).

Tür gruplarına ait cari hacim artımları, daha önce ASAN vd. (2002) tarafından Türkiye ormanları için hesaplanan karbon depolama kapasitesi hesabında olduğu gibi, özel katsayılar ile çarpılmak suretiyle önce fırın kurusu ağırlığa, sonra da toprak üstü toplam biyokütle ağırlığına dönüştürülmüştür.

Toprak altındaki kök artımı, toprak üstü artım ve özel katsayılar kullanılarak tahmin edilmiştir (ibreliler için 0,20). Bu artımlardan yola çıkılarak her tür veya tür grubu için toplam toprak üstü ve toprak altı biyokütle artımları, fırın kurusu ağırlık olarak hesaplanmıştır. Toprak üstü

ve toprak altı biyokütle artımları 1,2 sabit çarpanı ile işleme konularak biyokütle üretimi sırasında açığa çıkan oksijen miktarı hesaplanmıştır.

3.2.3. Model Kurma

Bu çalışmada; meşcere üst boy, boy, çap artım, çap dağılım, göğüs yüzeyi, tepe çapı ve biyokütle modelleri geliştirilmiştir. Model geliştirme aşamasında tüm meşcere elemanları için, daha önceden çeşitli bilim adamları tarafından düzenlenmiş, doğrusal ve doğrusal olmayan denklemler toplanan envanter verileriyle test edilmiştir.

Model seçimi herhangi bir istatistik analizin en önemli aşamasıdır. Regresyon modellerini değerlendirme ve karşılaştırmada birkaç istatistik yöntem kullanılmaktadır. Bir model ilave değişkenlerle genişletildiği zaman korelasyon katsayısı R^2 'de bir artış meydana geldiği için bir kural olarak çoklu korelasyon katsayısı R^2 'nin en yüksek değer olarak kullanımı uygun görülmektedir. Aslında veriye uygun seçilmiş bir model çok az değişken içermektedir (CLUTTER, FORTSON, PIENAAR, BRISTER, & BAILEY, 1983). Düzeltilmiş R^2 (R^2_{adj}), R^2 'nin bir modifikasyonudur ve modeldeki parametrelerin sayısını dikkate alır. Bu nedenle bu çalışmada da en uygun modelin seçiminde R^2_{adj} (Denklem 1) kullanılmıştır.

$$R^2_{adj} = \frac{\sum_{i=1}^n (\hat{y}_i - \bar{y})^2}{p-1} / \frac{\sum_{i=1}^n (\hat{y}_i - \bar{y})^2 + \sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y})^2}{n-1} \quad [1]$$

Burada; n ölçüm değerleri sayısını, p modeldeki parametre sayısını, y_i ölçüm değerini, $\bar{y}$ ölçüm değerleri ortalamasını ve $\hat{y}_i$ formülle hesaplan değeri ifade etmektedir.

Ormancılıkta, güvenli olmayan tahminlerden ve bunun sonucu olarak başarısız kararlar vermekten kaçınmak için kurulmuş modeller uygulamaya konulmadan önce test edilmeli ve sınırları ortaya konulmalıdır. Bu çalışmada da kurulmuş modellerin performansı gerçek arazi envanter verileriyle test edilmiştir.

3.2.3.1. Meşcere Üst Boy Modeli

Bonitet indeksi genellikle canlı ağaçların yaş ve boyları arasındaki ilişkiyi göstermektedir. Bu indeks aynı zamanda belirli bir standart yaştaki bir meşcerenin üst tabakasındaki (hakim) ağaçlarının boyu (MONSERUD, 1984) olarak da ifade edilmektedir. Üst boy genellikle hektardaki en kalın çaplı 100 ağacın ortalama boyu olarak hesaplanmaktadır.

Bonitet derecelerini sınıflandırmak için doğrudan ve dolaylı yöntemler kullanılmaktadır. Meşcere boyuna bağlı tahmin yöntemi doğrudan yöntemle bir örnektir. Yetiştirme ortamı özelliklerine dayalı olarak yapılan sınıflandırma ise dolaylı bonitet tahmin yöntemlerindendir. Bir çok tür için boy büyümesinin en iyi olduğu alanlar bonitet derecesinin iyi olduğu yerlerdir. Eşit yaşlı meşcerelerde hakim ağaçların boy gelişimi, meşcere sıklığı ve ani kesimlerden çok az etkilenmekte ve bunun sonucu olarak da üretim potansiyeli üst boydaki gelişme ile yüksek ilişki göstermektedir (CLUTTER, FORTSON, PIENAAR, BRISTER, & BAILEY, 1983).

Bonitet indeksi denklemleri; anamorfik ve polimorfik yöntem olmak üzere iki sınıfa ayrılmaktadır. Anamorfik yöntemde her bir eğri, ortalama eğrinin sabit bir sayı ile çarpılmasıyla hesaplanmaktadır. Polimorfik yöntemde ise bu farklı hesaplanmakta olup ilgili yaş sınırları içerisinde eğriler kesişebilmektedir (CLUTTER, FORTSON, PIENAAR, BRISTER, & BAILEY, 1983). Geçici örnek alan verileriyle polimorfik eğriler oluşturmak genellikle mümkün olmamaktadır (PESONEN, 2006).

Son zamanlarda üst boy büyüme eğrileri matematiksel modellerle tanımlanmakta ve parametreleri genellikle regresyon teknikleri kullanılarak tahmin edilmektedir (CIEZEWSKI & BELLA, 1989). Bonitet kalitesini değerlendiren boy tabanlı modellerin çoğu bonitet indeks eğrilerinin kullanımını içermektedir.

Bu çalışmada; üst boy ($H_{üst}, m$) her bir örnek alan için en kalın çaplı 10 ağacın ortalama boyu olarak hesaplanmıştır. Meşcere yaşı ($T, yıl$) (aynı zamanda örnek alanların yaşı) meşcereyi temsil eden 6 ağacın ortalama yaşı olarak hesaplanmıştır. Bonitet indeksi (BI, m), AKALP (1978) tarafından geliştirilen Doğu Ladini Bonitet Tablosu esas alınarak ilgili meşcerenin 100 yaşına geldiği zaman alacağı boy olarak değerlendirilmiştir. Meşcere orta çapı ($\bar{D}, cm$), örnek alandaki tüm ağaçların göğüs çaplarının ortalaması ve meşcere sıklığı (MS) ise ölçülen meşcere göğüs yüzeyinin Doğu Ladini Hasılat Tablosundaki göğüs yüzeyine oranı olarak hesaplanmıştır. Meşcere üst boy gelişimini ortaya koyabilmek için SCHUMACHER (1939), Chapman-Richards (RICHARDS, 1959), EK (1971) tarafından geliştirilmiş Chapman-Richards, ZAKRZEWSKI (1986), MONSERUD (1984), S, logaritmik, doğrusal, kuadratik, ekponansiyel, kübik ve 1 adet Değiştirilmiş Invers denklemi test edilmiştir. Bu denklemlerden meşcere üst boyunu en iyi açıklayabilen 8 adet denklem Tablo 10'da verilmiştir.

Tablo 10. Meşcere üst boyu için test edilen denklemler

Denklem No	Denklem	Açıklama
1	$H_{üst} = a_0 + a_1/\ln T + a_3/\ln BI + a_4/\ln MS + a_5/\ln \bar{D}$	1 Nolu Denklem
2	$H_{üst} = BI(T/(a_0 + a_1T))^2$	Zakrzewski
3	$H_{üst} = BI(1 - e^{-a_0T})^{a_1}$	Chapman-Richards
4	$H_{üst} = (a_0BI^{a_1})/(1 + e^{a_2+a_3 \ln T+a_4 \ln BI})$	Monserud
5	$H_{üst} = (a_0BI^{a_1})/(1 + e^{a_2+a_3 \ln T+a_4 \ln BI+a_5 \ln MS+a_6 \ln \bar{D}})$	Geliştirilmiş Monserud
6	$H_{üst} = \{BI/\exp [(a_0 + a_1BI)10^{-a_2}]\}. \exp[(a_0 + a_1BI)T^{-a_2}]$	Schumacher
7	$H_{üst} = (a_0BI^{a_1}). (1 - e^{a_2T})^{a_3BI}$	Ek
8	$H_{üst} = e^{a_0+a_1/T}$	S-curve

$H_{üst}$: Meşcere üst boyu (m); $a_0 \dots a_n$: Denklem katsayıları; T : Meşcere Yaşı(yıl); BI : Bonitet indeksi (m); MS : Meşcere sıklığı; $\bar{D}$: Meşcere orta çapı (cm)

3.2.3.2. Meşcere Orta Boy Modeli

Meşcere boy gelişimi, bir meşcerenin bonitet indeksini belirlemede gerekli olan önemli bir değişkendir. Örneğin; meşcerenin hacmini ve gelecekteki büyümesini hesaplamada kullanılmaktadır (VAN LAAR & AKÇA, 1997). Envanter sırasında tüm ağaçların boyu, genellikle, ölçülmenin zaman alması ve ekonomik olmaması nedeniyle ölçülmemektedir (PESONEN, 2006). Bunun yerine örnek alanlarda alanı temsil eden bazı ağaçların boyları ölçülmektedir.

Meşcere orta boy modeli, meşcerede ölçümü kolay olan bir parametreyle meşcerenin orta boyunu tahmin etmek için kullanılmaktadır. Bu modellerde meşcere orta boyu ile yaş, bonitet, orta çap ve göğüs yüzeyi değeri birlikte veya ayrı ayrı olarak ele alınmaktadır. Bu çalışmada; meşcere orta boyu, her bir örnekleme alanında ölçülmüş 30 adet ağacın ortalama boyu ($\bar{H}, m$); meşcere yaşı, örnek alanların yaşı ($T, yıl$) olarak meşcereyi temsil eden 6 ağacın ortalama yaşı; bonitet indeksi (BI, m), Akalp (1978) tarafından geliştirilen Doğu Ladini Bonitet Tablosu esas alınarak ilgili meşcerenin 100 yaşına geldiği zaman alacağı boy; meşcere göğüs yüzeyi ($GY, m^2/ha$), örnek alanlarda ölçülen ağaçların göğüs yüzeyleri toplamının hektar cinsinden karşılığı; orta çap ($\bar{D}, cm$), örnek alandaki tüm ağaçların göğüs çaplarının ortalaması ve meşcere sıklığı (MS) ise ölçülen meşcere göğüs yüzeyinin Doğu Ladini Hasılat Tablosundaki göğüs yüzeyine oranı olarak alınmıştır.

Meşcere orta boy modelini ortaya koyabilmek için SCHUMACHER (1939), Chapman-Richards (RICHARDS, 1959), EK (1971) tarafından geliştirilmiş Chapman-Richards, ZAKRZEWSKI (1986), MONSERUD (1984), S-curve, logaritmik, doğrusal, kuadratik, ekponansiyel, kübik ve 1 adet

değiştirilmiş Invers denklemi test edilmiştir. Bu denklemlerden meşcere orta boyunu en iyi açıklayabilen 8 adet denklem Tablo 11’de verilmiştir.

Tablo 11. Meşcere orta boyu için test edilen denklemler

Denklem No	Denklem	Açıklama
1	$\ln \bar{H} = a_0 + a_1/\ln T + a_3/\ln BI + a_4/\ln MS + a_5/\ln \bar{D}$	1 Nolu Denklem
2	$\ln \bar{H} = BI(T/(a_0 + a_1\bar{D}))^2$	Zakrzewski
3	$\ln \bar{H} = BI(1 - e^{-a_0\bar{D}})^{a_1}$	Chapman-Richards
4	$\ln \bar{H} = (a_0BI^{a_1})/(1 + e^{a_2+a_3 \ln \bar{D}+a_4 \ln BI})$	Monserud
5	$\ln \bar{H} = (a_0BI^{a_1})/(1 + e^{a_2+a_3 \ln T+a_4 \ln BI+a_5 \ln MS+a_6 \ln \bar{D}})$	Geliştirilmiş Monserud
6	$\ln \bar{H} = \{BI/\exp [(a_0 + a_1BI)10^{-a_2}]\}. \exp [(a_0 + a_1BI)\bar{D}^{-a_2}]$	Schumacher
7	$\ln \bar{H} = (a_0BI^{a_1}). (1 - e^{a_2\bar{D}})^{a_3BI}$	Ek
8	$\ln \bar{H} = e^{a_0+a_1/\bar{D}}$	S-curve

$\bar{H}$: Meşcere orta boyu (m); $a_0 \dots a_n$: Denklem katsayıları; T : Meşcere Yaşı (yıl); $\bar{D}$: Meşcere Orta Çapı (cm); BI : Bonitet indeksi (m); MS : Meşcere sıklığı

3.2.3.3. Meşcere Orta Çap Modeli

Meşcere orta çapı, gelişim çağını belirleme açısından önemli bir parametredir. Orta çap, meşcerenin bonitet derecesine, sıklığına ve yaşına bağlı olarak farklı değerler alabilmektedir. Meşcere orta çapı aynı zamanda meşcere üst boyu, orta boyu, göğüs yüzeyi ve hacmi gibi parametrelerin tahmininde de bağımsız değişken olarak kullanılmaktadır.

Meşcere orta çap modelini ortaya koyabilmek için, meşcerenin yaşı, boniteti, ve sıklığı birlikte veya ayrı ayrı fonksiyonlar olarak ele alınmıştır. Bu çalışmada; meşcere orta çapı ($\bar{D}$, cm), örnek alandaki tüm ağaçların göğüs çaplarının ortalaması olarak hesaplanmıştır. Meşcere yaşı, örnek alanların yaşı (T , yıl) olarak meşcereyi temsil eden 6 ağacın ortalama yaşı; bonitet indeksi (BI , m), Akalp (1978) tarafından geliştirilen Doğu Ladini Bonitet Tablosu esas alınarak ilgili meşcerenin 100 yaşına geldiği zaman alacağı boy ve meşcere sıklığı (MS) ise ölçülen meşcere göğüs yüzeyinin Doğu Ladini Hasılat Tablosundaki göğüs yüzeyine oranı olarak alınmıştır.

Meşcere orta çap modelini ortaya koyabilmek için SCHUMACHER (1939), Chapman-Richards (RICHARDS, 1959), EK (1971) tarafından geliştirilmiş Chapman-Richards, ZAKRZEWSKI (1986), MONSERUD (1984), S-curve, logaritmik, doğrusal, kuadratik, ekponansiyel, kübik ve 1 adet Değiştirilmiş Invers denklemi (1 Nolu denklem) test edilmiştir. Bu denklemlerden meşcere orta çapını en iyi açıklayabilen 8 adet denklem Tablo 12’de verilmiştir.

Tablo 12.Meşcere orta çapı için test edilen denklemler

Denklem No	Denklem	Açıklama
1	$\ln \bar{D} = a_0 + a_1/\ln T + a_3/\ln BI + a_4/\ln N$	1 Nolu Denklem
2	$\ln \bar{D} = BI(T/(a_0 + a_1T))^2$	Zakrzewski
3	$\ln \bar{D} = BI(1 - e^{-a_0T})^{a_1}$	Chapman-Richards
4	$\ln \bar{D} = (a_0BI^{a_1})/(1 + e^{a_2+a_3\ln T+a_4\ln BI})$	Monserud
5	$\ln \bar{D} = (a_0BI^{a_1})/(1 + e^{a_2+a_3\ln T+a_4\ln BI+a_5\ln N})$	Geliştirilmiş Monserud
6	$\ln \bar{D} = \{BI/\exp [(a_0 + a_1BI)10^{-a_2}]\}. \exp[(a_0 + a_1BI)T^{-a_2}]$	Schumacher
7	$\ln \bar{D} = (a_0BI^{a_1}). (1 - e^{a_2T})^{a_3BI}$	Ek
8	$\ln \bar{D} = e^{a_0+a_1/T}$	S-curve
9	$\ln \bar{D} = e^{a_0+a_1/T+a_2/BI}$	Geliştirilmiş S-curve

$\bar{D}$: Meşcere Orta Çapı(cm); $a_0, \dots, a_n$: Denklem katsayıları ; T : Meşcere Yaşı(yıl); BI : Bonitet indeksi (m)
 GY : Meşcere göğüs yüzeyi (m^2/ha); MS : Meşcere sıklığı

3.2.3.4. Çap Dağılım Modeli

Bir meşcere içinde ağaçların çap basamaklarına dağılımı, meşcerenin yapısı hakkında bilgiler veren önemli bir meşcere özelliğidir (MEHTATALO, 2004). Özellikle, ağaçların çap dağılımının modellenmesi, meşcerelerden elde edilebilecek ürün çeşitlerini tahmin olanağı sağlaması bakımından da ormancılık planlanmasında karar alma sürecinde değerli bir bilgidir.

Meşcerede ağaç sayısının çap basamaklarına dağılımının belirlenmesi ve bunun yetiştirme ortamı verim gücü, meşcere dinamiği ve yaş ile ilişkileri, hem biyolojik, hem de ekonomik bakımdan oldukça önemlidir (SARAÇOĞLU, 1988; CARUS, Aynı Yaşlı Doğu Kayını (*Fagus orientalis* Lipsky.) Ormanlarında Artım ve Büyüme, 1998). Çünkü, çap ile boy, hacim, şekil katsayısı, bir ağaçtan elde edilecek odun ürünü çeşitleri ve miktarları arasında istatistik açıdan anlamlı bir ilişki bulunmaktadır (YAVUZ, GÜL, MISIR, ÖZÇELİK, & SAKICI, 2002). Ayrıca, ağaç sayısının yaş ve bonitet sınıflarına göre değişmesi yanında, bu miktarın çap basamaklarına dağılımını da bilmek, meşcere kuruluşunu göstermesi bakımından da önemli bulunmaktadır. Meşcerede, çap dağılımları incelenerek gelecekteki çap dağılımı ve meşcere hacmi hesaplanabilmektedir (SARAÇOĞLU, 1988).

Aynı yaşlı meşcerelerde ağaç sayısının çap basamaklarına dağılımı çan eğrisi biçimi göstermektedir. Bu dağılım genç meşcerelerde dik tepeli olup, meşcere yaşı ilerledikçe çap artımından dolayı kalın çap basamaklarına doğru hareketlenerek, çan eğrisinin basıklığı artmakta ve giderek yayvan bir yapı almaktadır (KALIPSIZ, 1998). Ağaç sayısı, meşcere yaşı ilerledikçe, ilk önce hızlı, sonra yavaşlayan bir hızla azalmaktadır (CARUS & ÇATAL, 2008).

Ormancılıkta çap dağılımları, belirli bir olasılıklı yoğunluk fonksiyonları “probability density function (pdf)” ile modellenmektedirler (RENNOLLS, GEARY, & ROLLINSON, 1985). Çap dağılımlarının modellenmesinde, Normal (BAILEY, 1980), Log-normal (BLISS, REINKER, 1964), Gamma (NELSON, 1964), Beta (CLUTTER, BENNET, 1965; ZÖHRER, 1969), Johnson’s SB (JOHNSON, 1949) ve Weibull dağılımı (WEIBULL, 1951; BAILEY, DELL, 1973) gibi farklı olasılıklı yoğunluk fonksiyonları kullanılmaktadır. NELSON (1964) çap dağılımlarının modellenmesinde Gamma fonksiyonunu, CLUTTER ve BENNET (1965) Beta Dağılımını, BAILEY ve DELL (1973) 3 Parametrelili Weibull dağılımını, HAFLEY ve SCHREUDER (1977) Johnson’un SB fonksiyonlarını önermişlerdir. Özellikle günümüzde 3 Parametrelili Weibull dağılımı ile Johnson SB dağılımları, model yapılarının oldukça esnek olmaları nedeniyle farklı çap dağılımlarını modellemedeki başarıları ile diğer dağılım fonksiyonlarında daha öne çıkmaktadırlar (MATNEY & SULLIVAN, 1982; RENNOLLS, GEARY, & ROLLINSON, 1985).

Aynı yaşlı meşcerelere ilişkin çap dağılımının modellenmesinde Beta, Gamma, Johnson’s SB, Weibull, Normal, Log-normal ve benzeri istatistik dağılımlarından yararlanılmaktadır. Ülkemizde CARUS (1998) Doğu kayını (*Fagus orientalis* Lipsky.) ve YAVUZ vd (2002) dışbudak meşcerelerinde çap dağılımlarının belirlenmesi için çeşitli istatistik dağılım modellerini test etmişlerdir (CARUS & ÇATAL, 2008).

Bu çalışmada; EasyFit® 5.1 paket programında mevcut 60 farklı dağılım fonksiyonunun uygunluğu test edilmiştir. Burada tüm fonksiyonların değil en iyi sonucu veren dağılıma ait fonksiyonların denklem ve parametreleri aşağıda verilmiştir (Tablo 13). En uygun dağılıma karar verebilmek için Kolmogorov-Smirnov Testi uygulanmıştır. Bu test sonucu elde edilen test istatistiği değerleri ve uygunluk dereceleri paket program tarafından listelenmektedir. Buradaki sıralama dikkate alınarak en uygun dağılıma sahip model ve ona ait değerler ilgili listeden alınmıştır.

Tablo 13.Çap dağılım modellemesinde en iyi sonucu veren dağılımlar

Dağılım Adı	Denklem	
Weibull 3P	$f(x) = \frac{\alpha}{\beta} \left(\frac{x - \gamma}{\beta} \right)^{\alpha-1} \exp \left(- \left(\frac{x - \gamma}{\beta} \right)^{\alpha} \right)$	$(\alpha > 0, \quad \beta > 0)$
Gen-Gamma 4P	$f(x) = \frac{k(x - \alpha)^{k\alpha-1}}{\beta^{k\alpha}\Gamma(\alpha)} \exp(-((x - \gamma)/\beta)^k)$	$(k > 0, \quad \alpha > 0, \quad \beta > 0)$
Beta	$f(x) = \frac{1}{B(\alpha_1, \alpha_2)} \frac{(x - a)^{\alpha_1-1} (b - x)^{\alpha_2-1}}{(b - a)^{\alpha_1+\alpha_2-1}}$	$(\alpha_1 > 0, \quad \alpha_2 > 0, \quad a < b)$
Log-Pearson 3	$f(x) = \frac{1}{x \beta \Gamma(a)} \left(\frac{\ln(x) - \gamma}{\beta} \right)^{a-1} \exp \left(- \frac{\ln(x) - \gamma}{\beta} \right)$	$(\alpha > 0, \quad \beta \neq 0)$

$(\alpha, \beta, \gamma, \Gamma, \alpha_1, \alpha_2, a, b : \text{Değişkenler}; x: \text{Çap basamağı ağaç sayısı } (ha^{-1})$

3.2.3.5. Meşcere Göğüs Yüzeyi Modeli

Göğüs yüzeyi büyümesi genellikle iki şekilde ifade edilmektedir. Bunlardan birincisi kümülatif büyüme diğeri de artımsal büyümedir. Kümülatif göğüs yüzeyi büyümesinin yaşa bağlı grafiği çizildiği zaman sigmoidal (S eğrisi şeklinde) bir yapı gösterdiği görülmektedir. Artımsal göğüs yüzeyi büyümesi eğrileri ise herhangi bir zamandaki göğüs yüzeyi büyümesinin oranını göstermektedir (HUSCH, MILLER, & BEERS, 1982; SEBER & WILD, 1989; AVERY & BURKHART, 1994).

Model geliştiriciler, büyümenin matematiksel olarak ifade edilmesi üzerine yoğun çaba harcamışlardır. Ortaya konulan fonksiyonların çoğu çap gelişimini iyi bir şekilde ifade etmektedir (ZEIDE, 1989). Ülkemizde, meşcere bazında göğüs yüzeyi gelişiminin modellenmesi üzerine fazla bir çalışma yapılmadığı görülmektedir. Özellikle Türkiye haricindeki ülkelerde göğüs yüzeyi gelişimi konusundaki çalışmalar daha çok tek ağaç bazında yapılmıştır.

Meşcere göğüs yüzeyi ile özellikle meşcere yaşı arasındaki ilişki kullanılarak çeşitli modeller oluşturulmuştur. Bunlardan en çok kullanılanı Chapman-Richards formülü olarak kullanılan modeldir. Meşcere yaşı ile birlikte meşcere orta çapı, ağaç sayısı ve boniteti gibi meşcere parametrelerinin de meşcere göğüs yüzeyi gelişimi üzerine etkili olduğu bilinmektedir. Bu çalışmada da tüm bu parametreler kullanılarak meşcere göğüs yüzeyi modeli elde edilmeye çalışılmıştır.

Meşcere göğüs yüzeyi $(GY, m^2/ha)$, örnek alanda göğüs çapları ölçülen tüm ağaçların göğüs yüzeyleri toplamının hektardaki karşılığı olarak hesaplanmıştır. Meşcere yaşı $(T, yıl)$, örnek

alanlarda meşcereyi temsil eden 6 ağacın ortalama yaşı; bonitet indeksi (BI, m), Akalp (1978) tarafından geliştirilen Doğu Ladini Bonitet Tablosu esas alınarak ilgili meşcerenin 100 yaşına geldiği zaman alacağı boy ve orta çap ($\bar{D}, cm$) örnek alandaki tüm ağaçların göğüs çaplarının aritmetik ortalaması olarak alınmıştır.

Meşcere göğüs yüzeyi modelini ortaya koyabilmek için aralarında Chapman-Richards, S-curve, Monserud, Schumacher gibi fonksiyonların bulunduğu çok sayıda denklem ve bunların değişiklik yapılmış formları üzerinde doğrusal olmayan regresyon analizi yapılmıştır. Bunlar içerisinde en iyi sonuç veren 6 denklem aşağıda verilmiştir (Tablo 14).

Tablo 14. Meşcere göğüs yüzeyi modellemesinde en iyi sonuç veren fonksiyonlar

Denklem No	Denklem
1	$\ln GY = a_0 + a_1 \bar{D} + BI^{(a_2+a_3/T)} N^{(a_4+a_5/T)}$
2	$\ln GY = \bar{D}^{(a_0+a_1/T)} BI^{(a_2+a_3/T)} N^{(a_4+a_5/T)}$
3	$\ln GY = a_0 \bar{D}^{a_1} + BI^{(a_2+a_3/T)} N^{(a_4+a_5/T)}$
4	$\ln GY = a_0 \bar{D} + BI^{(a_1+a_2/T)} N^{(a_3+a_4/T)}$
5	$\ln GY = e^{(a_0+a_1/T)} \bar{D}^{(a_2+a_3/T)} N^{(a_4+a_5/T)}$
6	$\ln GY = e^{(a_0+a_1/T)} BI^{(a_2+a_3/T)} \bar{D}^{(a_4+a_5/T)} N^{(a_6+a_7/T)}$

*GY: Meşcere göğüs yüzeyi (m^2/ha); $a_0 \dots a_n$: Denklem katsayıları; T : Meşcere Yaşı (yıl); $\bar{D}$: Meşcere Orta Çapı (cm)
 BI : Bonitet indeksi (m); N : Ağaç sayısı (adet/ha)*

3.2.3.6. Meşcere Hacim Modeli

Meşcere hacmi, örnek alanlarda tek ağaçların hacminin hesaplanmasıyla başlamaktadır. Tek ağaçların hacim hesabında orta yüzey formülü kullanılmıştır. Orta yüzey formülünde tek ağaçların orta çapı ve boyu dikkate alınmaktadır. Ancak örnek alanlarda ne orta çaplar ne de tüm ağaçların boyları ölçülmektedir. Bu nedenle boyları ölçülemeyen ağaçların boylarını tahmin etmek için ölçülen boylarla göğüs çapları arasında bir ilişkinin varlığı araştırılmıştır. Bulunan ilişkinin matematiksel ifadesinden yararlanılarak boyları ölçülmeyen ağaçların boyları tahmin edilmiştir. Tek ağaçların dip çaplarını tahmin etmek için ise envanter sırasında gövde analizi için kesilen 40 adet ağacın göğüs çapı-dip çapı ilişkisi araştırılmıştır. Bu ilişkiden ($d_{0,30} = a_0 d_{1,30}^{a_1}$) yararlanılarak tüm ağaçların önce dip çapları daha sonra da orta çapları tahmin edilmiştir. Tahmin edilen boylar ve orta çaplar orta yüzey formülünde yerine konulmak suretiyle tüm ağaçların hacimleri hesaplanmıştır. Örnek alanlardaki tek ağaç

hacimleri toplamının hektar cinsinden karşılıkları ve kesilen ağaçların gövde analiziyle hesaplanan hacimleri örnek alanların bonitetlerine göre istatistik analize tabi tutulmuşlardır. Meşcere hacim modellerinin çıkarılmasında; meşcere göğüs yüzeyi ($GY, m^2/ha$), ağaç sayısı (N), sıklığı (MS), kareli orta çapı ($\bar{D}_k, cm$) ve orta boyunun ($\bar{H}, m$) meşcere hacmine ($V, dm^3/ha$) etkisi araştırılmıştır. Yapılan analiz sonucunda meşcere hacmine, meşcere göğüs yüzeyi ve orta boyunun en fazla etki ettiği tespit edilmiştir. Meşcere hacim modelini belirleyebilmek için test edilen denklemler aşağıda verilmiştir (Tablo 15). Tüm modeller STOATE (1945) ve SPURR (1952)'un geliştirdiği modellerden türetilmişlerdir.

Tablo 15. Meşcere hacim modeli için test edilen denklemler (PIENAAR, RIHENEY; 1995)

Denklem No	Denklem
1	$V = a_0 + a_1 \ln GY + a_2 \ln \bar{H}$
2	$\ln V = a_0 + a_1 GY + a_2 \bar{H}$
3	$\ln V = a_0 + a_1 \ln GY + a_2 \ln \bar{H} + a_3 \ln BI + a_4 \ln T$
4	$\ln V = a_0 + a_1 / \ln GY + a_2 / \ln \bar{H}$
5	$\ln V = a_0 + a_1 / (GY \bar{H})$
6	$\ln V = a_0 + a_1 GY \bar{H}$
7	$\ln V = a_0 + a_1 / \ln (GY \cdot \bar{H})$

3.2.4. Paket Program

Çalışma kapsamında; geliştirilen modellerin kullanımını kolaylaştırma ve yaygınlaştırmak adına bir paket program yazılmıştır. Paket programın açılışında meşcere özelliklerinin kaydedildiği, değiştirildiği, silindiği ve model hesaplamalarının yapılabileceği bir menü bulunmaktadır. Kullanıcı daha önce kaydettiği meşcere bilgilerine istediği an ulaşabilmekte, bunlar üzerinde düzeltme/güncelleme yapabilmekte ve silebilmektedir. Hesaplama bölümünde ise kullanıcı bir meşcerenin herhangi bir zaman dilimi sonrası durumunu grafiksel ve metinsel olarak takip edebilmektedir. Modellere ilişkin denklemler kullanıcıya sunulan seçenekler içerisinde seçebilmektedir. Daha sonra kullanıcı, denklemlere ilişkin katsayıları veri tabanına kaydedebilmektedir.

4. BULGULAR

4.1. Büyüme Modelleri

4.1.1.Meşcere Üst Boy Modeli

Meşcere üst boy modelinin belirlenmesi için çeşitli denklemler arazi envanter verileriyle test edilmiştir. Model geliştirme aşamasında ilk önce meşcere üst boyu bağımlı değişken, meşcere yaşı bağımsız değişken olarak alınmıştır. Yapılan regresyon analizi sonucunda meşcere üst boyundaki değişimin yaklaşık %70'inin meşcere yaşı ile açıklanabildiği tespit edilmiştir. Daha sonra meşcere üst boyu gelişimine meşcere yaşı ile birlikte başka bir meşcere elemanının da etkili olabileceği fikrinden hareketle meşcere boniteti de denkleme ikinci bağımsız değişken olarak dahil edilmiştir. Bu işlemten sonra yapılan regresyon analizi sonucunda belirlilik katsayısının yükselerek %90'lara çıktığı görülmüştür. Bu iki bağımsız değişkenin haricinde meşcere orta çapı ve sıklığı da denkleme üçüncü ve dördüncü bağımsız değişken olarak ilave edilmiş ve meşcere üst boyu üzerinde bir miktar daha etkili olduğu anlaşılmıştır. Test işlemi, Tablo 10'da belirtilen denklemler üzerinde yapılmıştır. Test işlemi sonunda MONSERUD (1984) tarafından geliştirilmiş olan denklem üzerinde yapılan değişiklikle elde edilen yeni denklemin başarısının diğer denklemlere göre daha iyi olduğu tespit edilmiştir ($R_{adj}^2 = 0,939$). Başarısı yüksek olan 5 denkleme ilişkin istatistik değerleri Tablo 16'da verilmiştir. Söz konusu denklem, meşcere üst boyundaki değişimi yaş ve bonitet indeksine bağlı olarak %94 oranında açıklayabilmektedir ($p < 0,05$). Yapılan regresyon analizi sonucunda Geliştirilmiş Monserud denklemine göre elde edilen katsayılar ve standart hata değerleri aşağıda verilmiştir (Tablo 17).

Tablo 16.Meşcere üst boyu için test edilen denklemlere ilişkin istatistikler

Denklem No	R_{adj}^2	σ	Açıklama
1	0,913	1,594	1 Nolu Denklem
2	0,920	1,529	Zakrzewski
4	0,937	1,360	Monserud
5	0,939	1,330	Geliştirilmiş Monserud
7	0,861	2,017	Ek

R_{adj}^2 : Düzeltilmiş belirlilik katsayısı; σ : Hata kareler ortalaması standart hatası

Tablo 17. Geliştirilmiş Monserud denklemi için üretilen katsayı istatistikleri

Katsayısı	Değeri	Standart Hata
a_0	12,087	2,432
a_1	0,368	0,057
a_2	11,778	0,737
a_3	-1,695	0,110
a_4	-1,197	0,150
a_5	-0,011	0,016
a_6	-0,208	0,046

4.1.2. Meşcere Orta Boy Modeli

Meşcere orta boy gelişimini matematiksel olarak ifade edebilmek için çeşitli denklemler arazi envanter verileriyle test edilmiştir. Model geliştirme aşamasında öncelikle meşcerenin yaşı, orta çapı, boniteti, sıklığı ve göğüs yüzeyinin ayrı ayrı meşcere orta boyu ile ilişkileri araştırılmıştır. Bu aşamada meşcere orta boyunun doğal logaritması bağımlı değişken, diğerleri bağımsız değişken olarak ele alınmıştır. Yapılan analiz sonucunda; meşcere orta çapının orta boy üzerinde %74 etkili olduğu (S denklemi) belirlenmiştir. Daha sonra meşcere orta boyu gelişimine meşcere orta çapı ile birlikte başka bir meşcere elemanının da etkili olabileceği fikrinden hareketle meşcere boniteti de denkleme ikinci bağımsız değişken olarak dahil edilmiştir. Bu aşamada yapılan regresyon analizi sonucunda belirlilik katsayısında önemli bir artış olduğu görülmüştür. Bu iki bağımsız değişkenin haricinde meşcere yaşı da denkleme üçüncü bağımsız değişken olarak ilave edilmiş ve meşcere orta boyu üzerinde %2'lik bir artış daha olduğu anlaşılmıştır. Test işlemi, Tablo 11'de belirtilen denklemler üzerinde yapılmıştır. Test işlemi sonunda Geliştirilmiş Monserud denkleminin başarısının diğer denklemlere göre daha iyi olduğu tespit edilmiştir ($R_{adj}^2 = 0,853$). Başarısı yüksek olan 5 denkleme ilişkin istatistik değerleri Tablo 18'de verilmiştir. Söz konusu denklem, meşcere orta boyundaki değişimi orta çap, göğüs yüzeyi ve bonitet indeksine bağlı olarak %85 oranında açıklayabilmektedir ($p < 0,05$). Yapılan regresyon analizi sonucunda Geliştirilmiş Monserud denklemine göre elde edilen katsayılar ve standart hata değerleri aşağıda verilmiştir (Tablo 19).

Tablo 18.Meşcere orta boyu için test edilen denklemlere ilişkin istatistikler

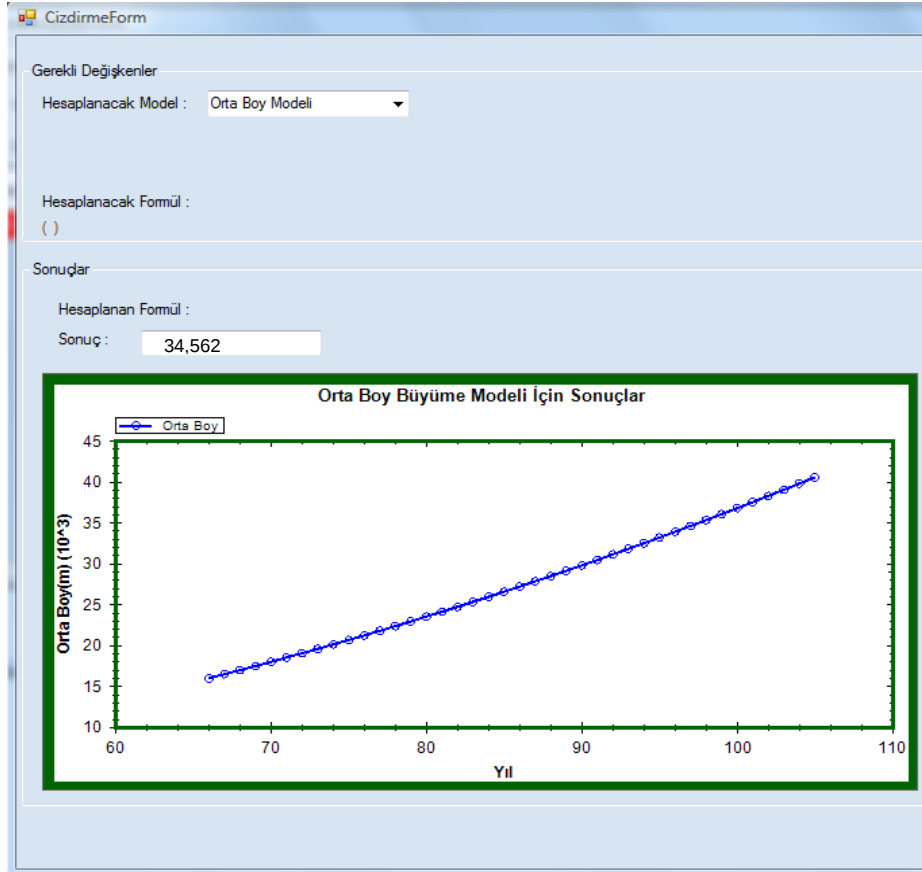
Denklem No	R_{adj}^2	σ	Açıklama
1	0,844	1,965	1 Nolu Denklem
2	0,738	2,552	Zakrzewski
4	0,814	2,151	Monserud
5	0,853	1,913	Geliştirilmiş Monserud
7	0,735	2,563	Ek

R_{adj}^2 : Düzeltilmiş belirlilik katsayısı; σ : Hata kareler ortalaması standart hatası

Tablo 19.Geliştirilmiş Monserud denklemi için üretilen katsayı istatistikleri

Katsayısı	Değeri	Standart Hata
a_0	59,380	24,316
a_1	-0,110	0,100
a_2	11,515	0,810
a_3	-1,063	0,126
a_4	-1,425	0,166
a_5	-0,042	0,023
a_6	-0,655	0,093

Yapılan istatistik analiz neticesinde en iyi sonucu veren Geliştirilmiş Monserud denklemi katsayıları kullanılarak örnek Ld3 meşceresi için meşcere orta boyu büyüme modeli ilgili program kullanılarak hesaplanış ve örneği aşağıda verilmiştir (Şekil 6). Söz konusu programda şu anki Lc3 meşceresinin 30 yıl sonraki durumu belirlenmeye çalışılmıştır.



Şekil 6. Meşcere orta boy modeli hesaplama örneği

4.1.3.Meşcere Orta Çap Modeli

Meşcere orta çap gelişimini modelleyebilmek için çeşitli denklemler arazi envanter verileriyle test edilmiştir. Model geliştirme aşamasında öncelikle meşcerenin yaşı, boniteti, sıklığı ve göğüs yüzeyinin ayrı ayrı meşcere orta boyu ile ilişkileri araştırılmıştır. Meşcere orta çapının ölçüm değeri ve doğal logaritması bağımlı değişken olarak bağımsız değişkenlerle analize tabi tutulmuş ve en iyi sonucu meşcere orta çapının doğal logaritması ile alındığı belirlenmiştir. Yapılan analiz sonucunda meşcere yaşının orta çap üzerine %50 civarında bir etki yaptığı bulunmuştur. Daha sonra meşcere yaşı ile birlikte meşcere boniteti ve sıklığı veya göğüs yüzeyi de bazı denklemlere ilave edilerek belirlilik katsayısının yükseltilmesi amaçlanmıştır. Yapılan analizler sonucunda 1 Nolu Denklemin başarısının daha iyi olduğu belirlenmiştir ($R_{adj}^2 = 0,776$). Söz konusu denklem; meşcere orta çapındaki değişimi yaş, bonitet ve göğüs yüzeyine bağlı olarak %77 oranında açıklayabilmektedir ($p < 0,05$). Başarısı yüksek olan 5 denkleme ilişkin istatistik değerleri Tablo 20’de verilmiştir. Yapılan regresyon analizi

sonucunda 1 Nolu Denkleme göre elde edilen katsayılar ve standart hata değerleri aşağıda verilmiştir (Tablo 21).

Tablo 20. Meşcere orta çapı için test edilen denklemlere ilişkin istatistikler

Denklem No	R_{adj}^2	σ	Açıklama
1	0,776	0,122	1 Nolu Denklem
4	0,603	0,164	Monserud
5	0,772	0,122	Geliştirilmiş Monserud
7	0,533	0,179	Ek
9	0,581	0,167	Geliştirilmiş S-curve

R_{adj}^2 : Düzeltilmiş belirlilik katsayısı; σ : Hata kareler ortalaması standart hatası

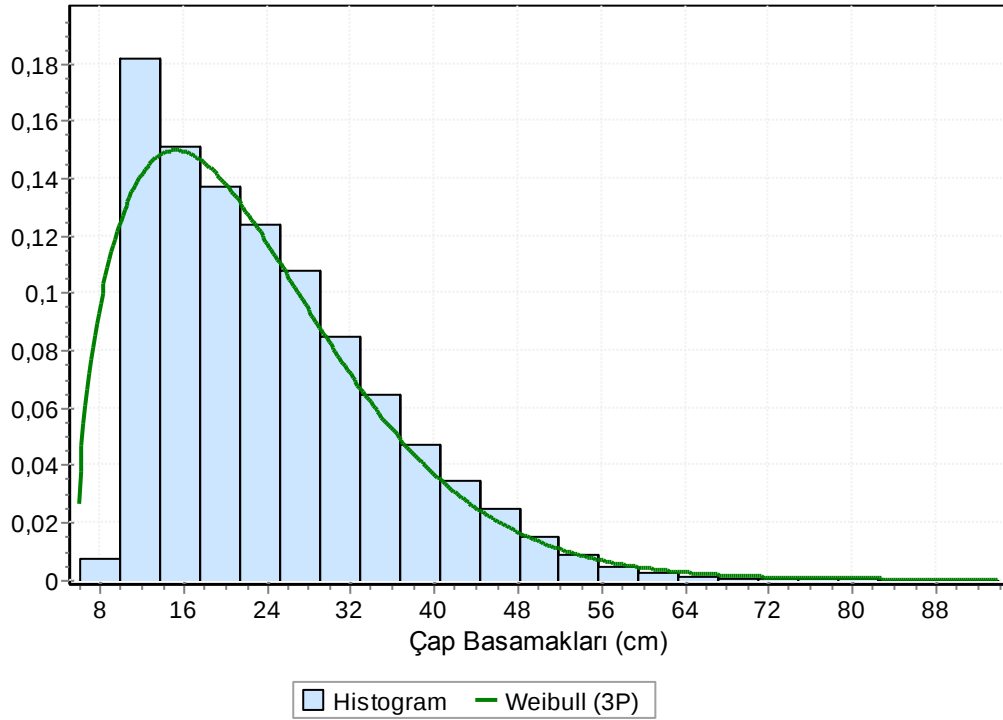
Tablo 21. Geliştirilmiş Monserud denklemi için üretilen katsayı istatistikleri

Katsayısı	Değeri	Standart Hata
a_0	6,967	3,854
a_1	-0,060	0,100
a_2	2,215	0,631
a_3	-0,370	0,125
a_4	-0,499	0,161
a_5	0,196	0,068

4.1.4. Çap Dağılım Modeli

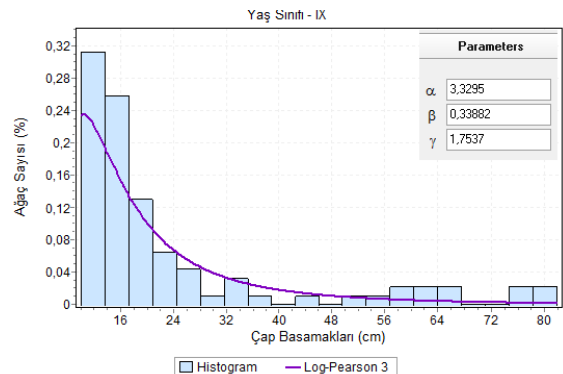
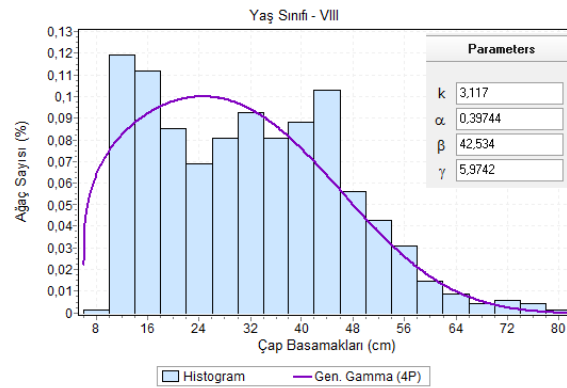
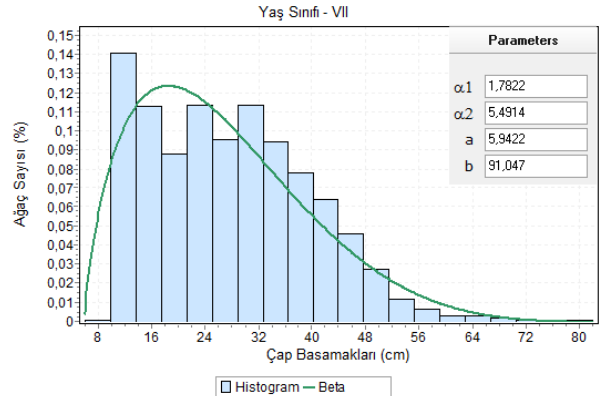
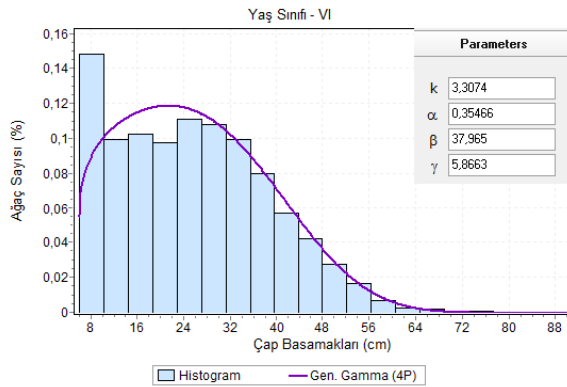
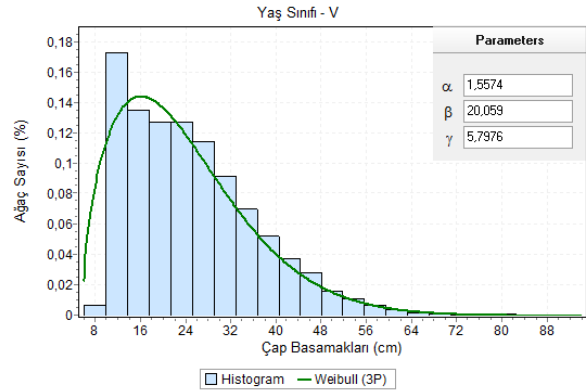
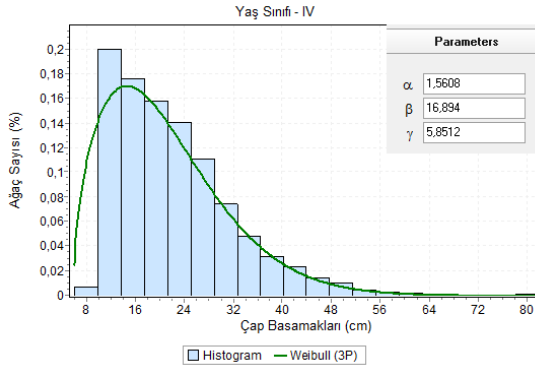
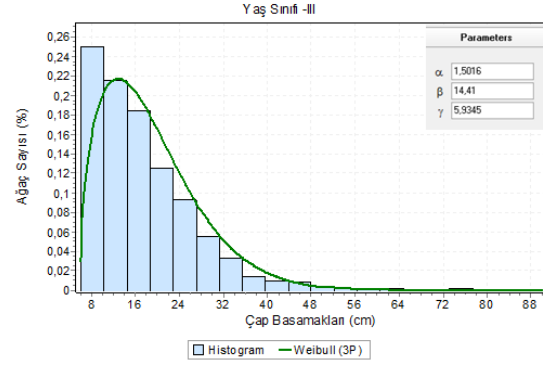
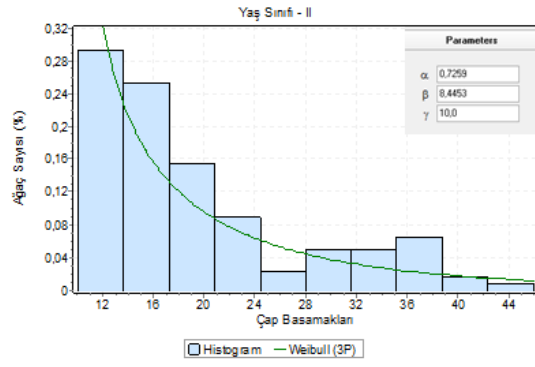
Çap dağılım modelini ortaya koymak için örnek alanlarda ölçüm yapılan ağaçların göğüs çapları 4 cm genişliğinde çap basamaklarına ayrılmıştır. Her örnek alanda çap basamakları itibarıyla kaç ağacın bulunduğu veri tabanından sorgulanarak çekilmiştir. Ayrıca, örnek alanlar yaşlarına göre 20 yıllık yaş sınıflarına ayrılmışlardır. Çap dağılımının aynı yaşlı meşcerelerde hemen hemen benzer dağılım göstereceği beklenmektedir. Bu beklentiden hareketle öncelikle tüm örnek alanlardaki ağaçların genel çap dağılımı daha sonra da yaş sınıfları itibarıyla çap dağılımı araştırılmıştır. Çap dağılımının belirlenmesinde EasyFit® 5.1 paket programında mevcut 60 farklı dağılım fonksiyonunu test edilmiştir. Test işlemi sonucunda; genel çap dağılımının 3 Parametrelili Weibull dağılımına uygun olduğu tespit edilmiştir. Dağılıma ilişkin grafik aşağıda verilmiştir (Şekil 7). 3 Parametrelili Weibull dağılımına

ait parametre değerleri ise; $\alpha = 1,5231$, $\beta = 19,156$ ve $\gamma = 5,8192$ 'dir. Test işleminin başarısını belirlemede kullanılan Kolmogorov-Smirnov test istatistiği değeri 0,10038 olarak bulunmuştur. Kolmogorov-Smirnov testinde sıfır hipotezi; elde edilen verilerin araştırılan dağılıma uygun olduğunu, alternatif hipotez ise uygun olmadığını ileri sürmektedir. Söz konusu test sonucu sıfır hipotezi %99 güvenle kabul edilmiştir.



Şekil 7. Örnek alanların genel çap dağılımı

Yaş sınıfları itibariyle çap dağılımını ortaya koyabilmek için örnek alanlar yaş sınıflarına ayrılmışlardır. 403 örnekleme alanının 2 ila 9'uncu yaş sınıfları arasında dağılım gösterdiği bulunmuştur. Her yaş sınıfındaki ağaç sayısı çap basamaklarına ayrılmış ve ayrı ayrı test edilmişlerdir. Test işlemi sonunda; çap dağılımının II-V yaş sınıflarında 3 Parametrelili Weibull (Weibull 3P) dağılımına uygun şekilde dağılım gösterdiği tespit edilmiştir. VI ve VIII. Yaş sınıflarında dağılımın 4 Parametrelili Genelleştirilmiş Gamma (Gen-Gamma 4P) dağılımına daha uygun olduğu sonucuna ulaşılmıştır. VII. Yaş sınıfında çap basamaklarındaki ağaç sayısı dağılımının Beta, IX. Yaş sınıfında ise 3 Parametrelili Log-Pearson (Log-Pearson 3P) dağılımına uygun şekilde dağılım gösterdiği bulunmuştur (Şekil 8). Dağılımlara ait parametre değerleri şeklin üzerinde verilmiştir.



Şekil 8.Yaş sınıflarına göre çap dağılım modelleri

4.1.5.Göğüs Yüzeyi Modeli

Meşcere göğüs yüzeyinin çeşitli meşcere parametrelerine bağlı olarak değişimini matematiksel olarak ifade edebilmek için çeşitli denklemler arazi envanter verileriyle test edilmiştir. Yapılan normalite kontrolü sonucu logaritmik dönüşüm yapılmış meşcere göğüs yüzeyi değerleri bağımlı değişken; meşcere yaşı, boniteti ve hektardaki ağaç sayısı bağımsız değişken alınmak suretiyle istatistik analiz yapılmıştır. Yapılan regresyon analizi sonucunda belirlilik katsayısının 0,60-0,70 arasında değiştiği belirlenmiştir. Daha sonra bu değişkenlere meşcere orta çapı eklenmek suretiyle belirlilik katsayısı 0,95'e kadar çıkarılmıştır. Regresyon analizi Tablo 14'de belirtilen denklemler üzerinde yapılmıştır. Analiz sonunda Tablo 22'de verilmiş olan 6 nolu denklemin başarısının diğerlerine göre daha iyi olduğu tespit edilmiştir ($R_{adj}^2 = 0,966$). Tüm denklemlere ilişkin regresyon analizi sonuçları Tablo 22'de verilmiştir. 6 nolu denklem, meşcere göğüs yüzeyindeki değişimi meşcerenin yaşı, boniteti, orta çapı ve hektardaki ağaç sayısına bağlı olarak %97 oranında açıklayabilmektedir ($p<0,05$). Yapılan regresyon analizi sonucunda 6 nolu denklem için elde edilen katsayılar ve standart hata değerleri aşağıda verilmiştir (Tablo 23).

Tablo 22.Meşcere göğüs yüzeyi için test edilen denklemlere ilişkin istatistikler

Denklem No	R_{adj}^2	σ
1	0,924	0,100
2	0,676	0,205
3	0,742	0,184
4	0,712	0,195
5	0,955	0,077
6	0,966	0,063

R_{adj}^2 : Düzeltilmiş belirlilik katsayısı; σ : Hata kareler ortalaması standart hatası

Tablo 23.6 nolu denklem için üretilen katsayı istatistikleri

Katsayısı	Değeri	Standart Hata
a_0	-1,307	0,133
a_1	-65,264	9,961
a_2	0,355	0,018
a_3	11,468	1,387
a_4	0,218	0,012
a_5	3,367	0,924
a_6	0,023	0,014
a_7	1,200	1,127

4.1.6. Meşcere Hacim Modeli

Meşcere hacminin modellenmesinde; öncelikle meşcere parametrelerinden hangisinin ya da hangilerinin meşcere hacmi üzerinde etkili oldukları araştırılmıştır. Yapılan araştırma sonucunda meşcere göğüs yüzeyi ve orta boyunun meşcere hacmi üzerinde ağırlıklı etkiye sahip olduğu belirlenmiştir. Bu işlemten sonra Tablo 16’da verilen denklemler arazi envanter verileriyle regresyon analizine tabi tutulmuşlardır. Analiz işlemine, logaritmik dönüşüm yapılmış meşcere hacmi bağımlı değişken; meşcere göğüs yüzeyi ve orta boy değerleri bağımsız değişken olarak alınmıştır. Yapılan regresyon analizi sonucunda belirlilik katsayısının 0,85-0,97 arasında değiştiği belirlenmiştir. Analiz sonunda Tablo 24’de verilmiş olan 3 nolu denklemin başarısının diğerlerine göre daha iyi olduğu tespit edilmiştir ($R_{adj}^2 = 0,978$). Tüm denklemlere ilişkin regresyon analizi sonuçları Tablo 24’de verilmiştir. 3 nolu denklem, meşcere hacmindeki değişimi meşcerenin göğüs yüzeyi ve orta boyuna bağlı olarak %97 oranında açıklayabilmektedir ($p < 0,05$). Analiz sonucu 3 nolu denklem için elde edilen katsayılar ve standart hata değerleri aşağıda verilmiştir (Tablo 25).

Tablo 24.Meşcere hacmi için test edilen denklemlere ilişkin istatistikler

Denklem No	R^2_{adj}	σ
1	0,961	42,51
2	0,903	26,95
3	0,978	0,071
4	0,960	0,100
5	0,854	0,187
6	0,865	0,182
7	0,965	0,089

R^2_{adj} : Düzeltilmiş belirlilik katsayısı; σ : Hata kareler ortalaması standart hatası

Tablo 25. 3 nolu denklem için üretilen katsayı istatistikleri

Katsayısı	Değeri	Standart Hata
a_0	-1,378	0,113
a_1	1,024	0,013
a_2	0,582	0,031
a_4	0,277	0,029
a_5	0,159	0,021

4.1.7.Karbon Depolama Kapasitesi ve Oksijen Üretim Miktarı

Toprak üstü karbon depolama kapasitesinin tahmini için Dikili Gövde Hacmi (DGH) ile ağacın sahip olduğu dal, sürgün ve ibre miktarları arasında ilişki araştırılmıştır. Sonuç olarak dal, sürgün ve ibrelerin toplam ağırlıklarının dikili gövdenin ağırlığının yaklaşık %15,5'i kadarı olduğu bulunmuştur ($p < 0,05$). Toprak üstü karbon depolama kapasitesinin tahmininde tüm parametrelerin fırın kurusu ağırlıkları kullanılmıştır.

Meşcerelerin toprak üstü karbon depolama kapasiteleri için kesilen ağaçların depoladığı karbon miktarı ile biyokütleleri arasında bir ilişkinin varlığı zaten bilinmekteydi. Bu çalışmada bu ilişkinin şekli araştırılmıştır. Toplam toprak üstü karbon depolama kapasitesi gövde, dal, sürgün ve ibrelerin fırın kurusu ağırlıkları üzerinden hesaplanmıştır. Laboratuarda yapılan araştırma neticesinde toprak üstü biyokütlenin fırın kurusu ağırlığının yaş ağırlığına oranının (Fırın Kurusu Ağırlık Dönüşüm Faktörü, FKADF) %52,3 olduğu tespit edilmiştir. Araştırma

sonucunda dal, ibre ve sürgünlerin toplam ağırlıklarının %62,5'i; dikili gövdenin ise toplam hacminin %58,4'ü oranından karbon depolama kapasitesine sahip oldukları bulunmuştur ($p<0,05$). Ağaçların tepe hacimlerini ölçmek oldukça zor olduğundan; ağacın dikili gövde hacmi ile tepe hacmi arasında bir ilişkinin var olup olmadığı araştırılmış ve dikili gövde hacminin yaklaşık %15,5'i oranında tepe hacmine sahip oldukları tespit edilmiştir ($p<0,05$). Ağaçların dikili gövde hacmi ile tepe hacimleri arasındaki ilişki ve yukarıda verilen oranlar kullanılarak toprak üstü karbon depolama kapasiteleri hesaplanabilmektedir. 1 m^3 dikili gövde hacmine karşı gelen biyokütlenin belirlenebilmesi için Biyokütle Dönüşüm Faktörü (BKDF) kullanılmaktadır. Bu faktörün iğne yapraklı türlerde 1,2 olduğunu ASAN (2002) bildirmektedir.

Tüm bu verilerden hareketle Toprak Üstü Karbon Depolama Kapasitesi (TÜKDK) aşağıdaki formülle hesaplanmıştır.

$$\text{TÜKDK} = \text{TÜBK} \times 0,584 + \text{TÜBK} \times 0,155 \times 0,625$$

$$\text{TÜBK} = \text{DGH} \times \text{FKADF} \times \text{BDF}$$

TÜBK: Toprak Üstü Biyokütle (ton)

DGH: Dikili Gövde Hacmi (m^3/ha)

Yöntem bölümünde açıklandığı üzere Toprak Üstü Ölü ve Diri Örtü Karbon Depolama Kapasitesi (TÜÖDKDK), TÜKDK'nin %40'ı alınarak hesaplanmıştır.

$$\text{TÜÖDKDK} = \text{TÜKDK} \times 0,40$$

Toprak Altı Karbon Depolama Kapasitesinin (TAKDK) belirlenmesinde kalın ve ince köklerin fırın kurusu ağırlıklarındaki karbon miktarlarından yararlanılmıştır. Toprak profilinin alındığı 2 m^3 'lük alanda bulunan toplam ince ve kalın kök fırın kurusu ağırlıkları üzerinden karbon depolama kapasiteleri bulunmuştur. SARAÇOĞLU (2002), MITSCHERLICH (1970)'e atfen kök hacminin hektardaki toprak üstü gövde, dal vb hacmine oranının Ladin'de %25.1 oranında olduğunu belirtmektedir. Bu çalışmada köklerin fırın kurusu ağırlıklarının yaş ağırlıklarına oranının (FKADF) ise %50,2 olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca kalın ve ince köklerin fırın kurusu ağırlıklarının ortalama %43,6'sı oranında karbon depolama kapasitesine sahip oldukları sonucuna ulaşılmıştır. Toprak üstü biyokütle hesabında olduğu gibi burada da BDF 1,2 olarak alınmıştır. Tüm bu veriler kullanılarak TAKDK aşağıdaki formülle hesaplanmıştır.

$$TAKDK = TABK \times 0,436$$

$$TABK = DGH \times 0,251 \times FKADF \times BDF$$

TAKDK: Toprak altı karbon depolama kapasitesi (ton)

TABK: Toprak altı biyokütle (ton)

Meşcerelerin toplam karbon depolama kapasiteleri toprak üstü, toprak altı ve ölü-diri örtü karbon depolama kapasitelerinin toplamına eşittir. Bunu da aşağıdaki formülle açıklayabiliriz.

$$KDK = T\ddot{U}KDK + T\ddot{U}\ddot{O}DKDK + TAKDK$$

Meşcerelerin yıllık oksijen üretimini hesaplayabilmek için yine Yakın Doğu Süreci Uygulama Kılavuzlarında da yer alan, Asan ve arkadaşları tarafından hesaplanan katsayılar kullanılmıştır. Fotosentez olayında tüketilen CO₂'ye karşılık üretilen O₂ miktarından yola çıkılarak ilgili katsayı hesaplanmaktadır. Buna göre, yıllık fırın kurusu organik madde üretim miktarının 1,2 katı oksijen üretimi hesaplanmıştır. Bunun için karbon birikimi hesabında olduğu gibi toprak altı ve toprak üstündeki biyokütle artımının fırın kurusu ağırlığı cinsinden ortaya konması gerekmektedir (YOLASIĞMAZ, 2004).

Toprak Üstü Biyokütle Artımı (TÜBKA), meşcerenin hektardaki yıllık hacim artımının fırın kurusu ağırlığı ve biyokütle dönüşüm faktörüyle çarpılması sonucu bulunmaktadır. Meşcerenin yıllık hacim artımı, belirli bir periyot için meşcerenin periyodik ortalama hacim artımı olarak hesaplanmaktadır. Bulunan bu artım miktarı fırın kurusu ağırlığına dönüştürülmüş ve biyokütle dönüşüm faktörüyle çarpılarak TÜBKA hesaplanmıştır. FKADF ve BKDF, TÜBK hesabındaki değerler olarak alınmıştır.

$$T\ddot{U}BKA = DGHA \times FKADF \times BDF$$

DGHA: Dikili gövde hacim artımı (m³/ha/yıl)

Toprak Altı Biyokütle Artımını (TABKA) hesaplamak için meşcerenin dikili gövde hacim artımı ve bunu toprak altı hacim artımına dönüştüren katsayılardan yararlanılmıştır. Buradaki hesaplamada TABK hesabındaki dikili gövde hacmi dönüşüm katsayısı, fırın kurusu ağırlık dönüşüm faktörü ve biyokütle dönüşüm faktörü aynen alınmıştır.

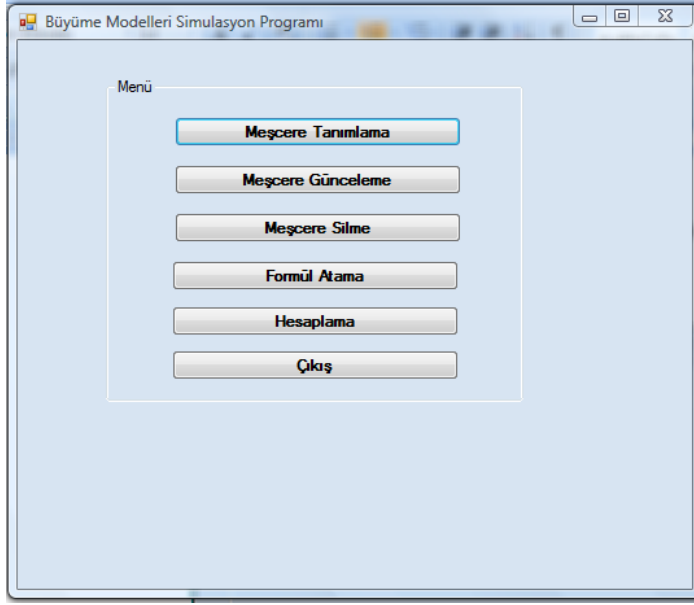
$$TABKA = DGHA \times 0,251 \times FKADF \times BDF$$

Toprak üstü ve toprak altı biyokütle artımları 1,2 sabit çarpanı ile işleme konularak biyokütle üretimi sırasında açığa çıkan oksijen miktarı hesaplanmıştır.

$$OÜK = (TÜBKA + TABKA) \times 1,2$$

4.2. Paket Program

Meşcere büyüme modelinin kullanılmasıyla ilişkili paket programın açılışında ana menü üzerinde 5 farklı işlemin yapıldığı düğmeler bulunmaktadır (Şekil 9). Bunlardan birincisi “Meşcere Tanımlama” düğmesi olup meşcerelerin özelliklerinin veri tabanına girilmesi işlemini yerine getirmektedir. Bu düğmeye basıldığı zaman açılan yeni pencerede meşcereye ait hangi bilgilerin girilmesi gerektiği ve nasıl girileceği gösterilmektedir (Şekil 10). Ana menü üzerindeki “Meşcere Güncelleme” adlı ikinci düğme ise daha önce veri girişi yapılmış meşcerelere ait bilgileri değiştirme ve güncelleme işlemleri için kullanılmaktadır (Şekil 11). Söz konusu düğmeye basıldığı zaman açılan yeni pencerede hangi bilgilerin güncellenebileceği görülmektedir. Kullanıcı istediği bilgileri güncelleyerek “Kaydet” düğmesine basması durumunda son güncel bilgiler veri tabanına kaydedilmektedir. “Meşcere Sil” adlı üçüncü düğme ise gerek yanlış girilen gerekse herhangi bir nedenle veri tabanında bulunmaması gereken meşcereleri silmek için kullanılmaktadır (Şekil 12). Dördüncü düğme olan “Formül Atama” bölümünde ise meşcere büyüme modellerinin ve ilgili denklemlerinin seçimi ile katsayıların girişi yapılmaktadır (Şekil 13). Bu bölümde modeller sırasıyla ekrana gelmekte, kullanıcının ilgili denklemini seçmesi ve sonra denkleme ait katsayıların girilmesi istenmektedir. “İleri” düğmesine basıldığında bir sonraki model için aynı işlemler tekrarlanmaktadır.



Şekil 9. Büyüme modeli simülasyon programı ana menüsü

Şekil 10. Meşcere tanımlama ekranı

Şekil 11. Meşcere bilgileri güncelleme ekranı

Silme İşlemi

Silmek istediğiniz meşcereyi seçiniz ve "Sil" tuşuna basınız

Meşcere Kodu :

MesKod	Meşcere Tipi	Ağaç Tür 1	Ağaç Tür 2	Gelişim Çağı	Kapalılık	Ağaç Sayısı	Yas	Meşcere Göğüs Yüzeyi Orta Ağacının Çapı	Meşcere Göğü Ağacının Yılık
1155444444	La0	Kızılcām	Kızılcām	Gençlik Çağı	Gençlik	12.0000000000	11	11.0000000000	11.0000000000
443322	La0	Kızılcām	Kızılcām	Gençlik Çağı	Gençlik	2.0000000000	2	32.0000000000	2.0000000000
332211487...	La0	Kızılcām	Gökmar	Gençlik Çağı	Gençlik	22.0000000000	2	2.0000000000	2.0000000000
433	La0	Kızılcām	Kızılcām	Gençlik Çağı	Gençlik	3.0000000000	3	2.0000000000	2.0000000000
56	La0	Kızılcām	Kızılcām	Gençlik Çağı	Gençlik	67.0000000000	77	77.0000000000	77.0000000000
43	La0	Kızılcām	Kızılcām	Gençlik Çağı	Gençlik	4.0000000000	4	4.0000000000	4.0000000000
12322	La0	Kızılcām	Kızılcām	Gençlik Çağı	Gençlik	11.0000000000	11	11.0000000000	1111.00000000
343434	La0	Kızılcām	Kızılcām	Gençlik Çağı	Gençlik	2.0000000000	2	2.0000000000	2.0000000000
1	La0	Kızılcām	Kızılcām	Gençlik Çağı	Gençlik	12.0000000000	2	2.0000000000	2.0000000000
99111	La0	Kızılcām	Kızılcām	Gençlik Çağı	Gençlik	1.0000000000	0	22.0000000000	22.0000000000
11566666	La0	Kızılcām	Kızılcām	Gençlik Çağı	Gençlik	12.0000000000	11	11.0000000000	11.0000000000
1188888888	La0	Kızılcām	Kızılcām	Gençlik Çağı	Gençlik	34.0000000000	45	345.0000000000	345.0000000000

Geri Sil

Şekil 12. Meşcere bilgileri silme ekranı

Göğüs Yüzeyi Modeli Formül Atama Formu

Göğüs Yüzeyi Modeli Formül Atama İşlemi

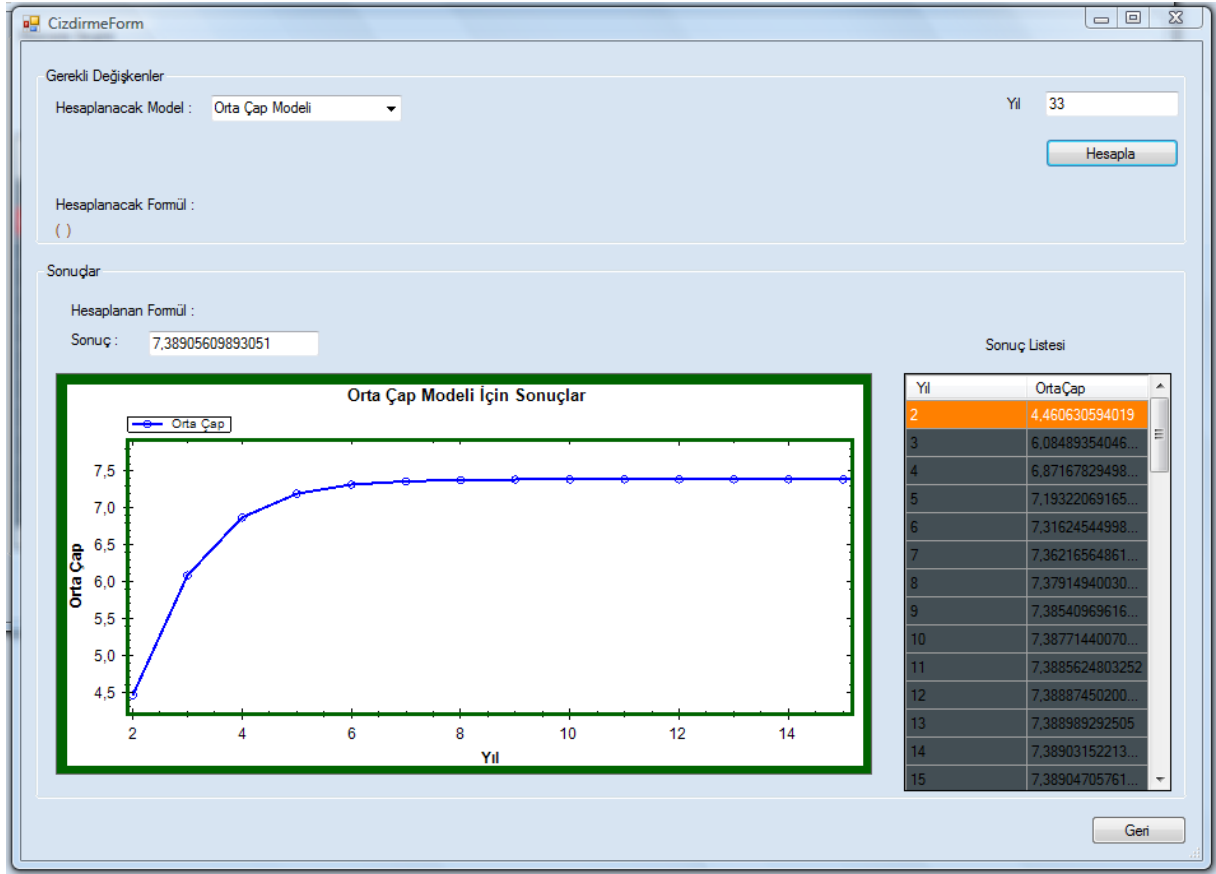
A0 A1 A2
A3 A4 A5

(Atamak istediğiniz formülü seçip gerekli katsayıları yukarıdaki kutulara girdikten sonra "İleri" butonuna basınız.)

FormülNo	FormülText	FormülAçıklama	FormülAd
1	$\ln GY = A0 + A1 \cdot D + B1 \cdot (A2 + A3 / T) \cdot N \cdot (A4 + A5 / T)$	GY: Meşcere Göğüs(m ² /ha) Yüzeyi N: Ağaç Sayısı B1: Bonitet İndeksi (m...	
2	$\ln GY = D \cdot (A0 + A1 / T) \cdot B1 \cdot (A2 + A3 / T) \cdot N \cdot (A4 + A5 / T)$	GY: Meşcere Göğüs(m ² /ha) Yüzeyi N: Ağaç Sayısı B1: Bonitet İndeksi (m...	
3	$\ln GY = A0 \cdot D \cdot A1 \cdot B1 \cdot (A2 + A3 / T) \cdot N \cdot (A4 + A5 / T)$	GY: Meşcere Göğüs(m ² /ha) Yüzeyi N: Ağaç Sayısı B1: Bonitet İndeksi (m...	
4	$\ln GY = A0 \cdot D \cdot B1 \cdot (A1 + A2 / T) \cdot N \cdot (A3 + A4 / T)$	GY: Meşcere Göğüs(m ² /ha) Yüzeyi N: Ağaç Sayısı B1: Bonitet İndeksi (m...	
5	$\ln GY = e \cdot (A0 + A1 / T) \cdot D \cdot (A2 + A3 / T) \cdot N \cdot (A4 + A5 / T)$	GY: Meşcere Göğüs(m ² /ha) Yüzeyi N: Ağaç Sayısı D: Meşcere Orta Çapı...	
6	$\ln GY = e \cdot (A0 + A1 / T) \cdot B1 \cdot (A2 + A3 / T) \cdot D \cdot (A4 + A5 / T) \cdot N \cdot (A6 + A7 / T)$	GY: Meşcere Göğüs(m ² /ha) Yüzeyi N: Ağaç Sayısı B1: Bonitet İndeksi (m...	

Atla Geri İleri

Şekil 13. Modeller için denklem belirleme ekranı



Şekil 14. Hesaplama ekranı

Programın asıl amacını teşkil eden “Hesaplama” aşamasında sadece seçilen meşcereye ilişkin projeksiyon yapılması düşünülen yaş sorulmaktadır (Şekil 14). Kullanıcıdan yaş alındıktan sonra sırasıyla aşağıda belirtilen aşamalar gerçekleştirilmektedir.

1. Meşcere çap dağılımının ve hektardaki ağaç sayısının (N) hesaplanması
2. Meşcere orta çapının hesaplanması,
3. Mescere göğüs yüzeyinin hesaplanması
4. Meşcere sıklığının hesaplanması
5. Meşcere orta boyunun hesaplanması
6. Meşcere üst boyunun hesaplanması
7. Meşcere hacminin hesaplanması

Tüm bu hesaplamalar yapıldıktan sonra elde edilen sonuç belirlenen zaman projeksiyonunda hem grafiksel hem de metinsel olarak ekrana yansıtılmaktadır. Kullanıcı bu aşamada projeksiyon yaşını değiştirmek suretiyle tekrar tekrar hesaplamalar yapabilmektedir.

5. TARTIŞMA ve SONUÇ

Saf Doğu Ladini meşcerelerinde büyüme modelinin geliştirilmesi aşamasında ilk ölçüm neticesinde;

- Meşcere üst boy modeli,
- Meşcere orta boy modeli,
- Meşcere orta çap modeli,
- Meşcere çap dağılım modeli,
- Meşcere göğüs yüzeyi modeli ve
- Meşcere hacim modeli

geliştirilmeye çalışılmıştır.

Meşcere üst boyunun meşcereler arasında farklı oluşunda; yaş, yetiştirme ortamı verim gücü (bonitet), gelişim çağı ve kapalılık veya sıklığı gibi temel meşcere özelliklerinin hemen hemen hepsinin etkisi olduğu bulunmuştur. Bu farklılığa, %94 oranında, bonitet indeksi, yaş, sıklık ve orta çapın neden oldukları %95 güvenle ortaya konulmuştur. Geri kalan %6'lık kısmın ise meşcerenin ölçülmeyen/ölçülemeyen diğer özelliklerinden kaynakladığı anlaşılmıştır. Meşcere üst boyu ile yukarıda sözü edilen meşcere özellikleri arasında bulunan %94'lük ilişkinin çok kuvvetli olduğu rahatlıkla söylenebilir.

Meşcere orta boyunun modellenmesinde de temel meşcere özelliklerinin orta boy üzerinde etkili olacağı düşünülmüş ve bu doğrultuda araştırmalar yapılmıştır. Araştırma sonucunda; meşcere orta boyu üzerinde de meşcere üst boyunda olduğu gibi bonitet indeksi, yaş, sıklık ve orta çapın etkili oldukları bulunmuştur. Ancak buradaki orta boy ile diğer bağımsız değişkenler arasındaki ilişki %85 civarında kalmaktadır. Bu demektir ki; meşcere orta boyu üzerinde %15 etki yapan ve açıklanamayan meşcere özellikleri bulunmaktadır. Bu etkinin Tablo 11'de bağımsız değişken olarak ele alınan meşcere parametreleriyle açıklanamadığı gerçektir. Bu durum farklı meşcere özelliklerinden kaynaklanabileceği gibi şu an yapılan ölçüm yöntem ve tekniklerinden de kaynaklanabilir. Fakat yine de orta çaptaki değişimi %85 oranında kolay ölçülebilir meşcere parametreleriyle açıklayabilmek oldukça önemlidir.

Meşcere orta çapı ile meşcerenin diğer özellikleri arasında yapılan regresyon analizi sonucu iyi derece bir ilişkinin varlığı belirlenmiştir ($R^2 = 0,776$). Bunun anlamı orta çaptaki değişimi etkileyen başka etkenlerin veya meşcere özelliklerinin de var olabileceğidir. Ancak ölçülmesi kolay olan ve meşcere orta çapını etkileyen başka meşcere özelliği de mevcut değildir. Fakat meşcere yaşı, bonitet indeksi ve hektardaki ağaç sayısının da meşcere orta çapını yeteri ölçüde açıklayabildiği kanaatine varılmıştır.

Aynı yaşlı doğal meşcerelerde çap basamakları itibarıyla ağaç sayısı dağılımının normal dağılıma benzer şekilde olacağı bilinmektedir. Bu çalışmada; her yaş sınıfı için ayrı ayrı çap dağılım modeli araştırılmıştır. Bulunan sonuçların hiçbirisi tam anlamıyla çan eğrisi biçiminde değildir. Bunun nedeninin; ölçüm yapılan örnek alanların büyük çoğunluğunun normal sıklıkta olmaması ve bir şekilde müdahale görmüş olmasından ileri geldiği düşünülmektedir. Ancak II. ve IX. yaş sınıfları hariç diğer yaş sınıflarında çan eğrisine benzer bir dağılım söz konusudur.

Meşcere göğüs yüzeyini modellemek için ölçülen yaş, bonitet indeksi, ağaç sayısı ve orta çap gibi meşcere özelliklerinin yeterli olabileceği belirlilik katsayısının %97 civarında olmasından anlaşılmaktadır. Belirlilik katsayısı oldukça yüksek olan meşcere göğüs yüzeyi modeli için başka meşcere özelliğine gerek bulunmamaktadır.

Meşcere hacmini ortaya koyabilmek için göğüs yüzeyi, orta boyu, yaşı ve bonitet indeksine gerek duyulmuştur. Böylece meşcere hacmindeki değişim, %98 gibi büyük bir başarı ile modellenenmiştir.

Bu çalışmada tüm modeller, meşcerenin iki temel özelliği olan bonitet indeksi ve yaşına bağlı olarak hesaplama yapmaktadır. Çünkü meşcere gelişimini etkileyen en önemli iki özellik verim gücü ve zamandır. Bu nedenle tüm modellerde bu iki meşcere özelliğine mutlak suretle yer verilmiştir.

Meşcerelerin karbon depolama kapasitelerinin hesaplanması için biyokütle hesabında kullanılan fırın kurusu ağırlıklar ve karbon miktarları laboratuvar ortamında belirlenmiştir. Ancak biyokütle dönüşüm faktörü, toprak üstü ölü ve diri örtü biyokütlelerinin tahmini ile kök hacmi-toprak üstü toplam hacim arasındaki ilişki daha önce yapılmış çalışmalardan alınmıştır. Meşcerelerin karbon depolama kapasiteleri ve oksijen üretim miktarları, meşcere

hacimleri yardımıyla hesaplanmıştır. Meşcere hacimleri ise çalışma kapsamında geliştirilmiş olan hacim büyüme modeli kullanılarak elde edilmiştir.

Geliştirilen modellerin kullanımını kolaylaştırmak ve yaygınlaştırmak için bir program hazırlanmıştır. Gerek veri tabanı ve gerekse program gelişme raporlarında verilen şekliyle bırakılmamış sürekli geliştirilmiştir. Sonuç itibarıyla program meşcere özelliklerinin veri tabanına kaydedilmesiyle başlamakta ve model sonuçlarıyla son bulmaktadır. Her bir model için daha önceden bu çalışma kapsamında belirlenmiş en iyi sonuç veren denklemler şimdilik standart olarak yer almaktadır. Kullanıcı her bir model için denklem belirlemeden ve denklemlere ilişkin katsayıları girmeden hesaplama aşamasına geçememektedir.

Çalışma kapsamında büyüme modelleri, geçici örnek alanlardan tek ölçümle elde edilen veriler kullanılarak geliştirilmiştir. Olması gereken ise, devamlı deneme alanlarından elde edilen verilerle büyüme modelinin geliştirilmesidir. Ancak bu şekilde bir meşcerenin zamana bağlı gelişimi gerçek anlamda izlenebilir. Ülkemizde devamlı deneme alanlarının kurulması ve veri toplanması işlemlerinin uzun zaman alması nedeniyle bu yöntem pek başvurulmamıştır. Oysa Amerika ve Avrupa'daki hatta Uzak Doğu Asya'daki bir çok ülkede devamlı deneme alanları kurulmuştur ve uzun yıllardır gözlem yapılmaktadır. Oysa devamlı deneme alanlarının kurulması hem ormancılık faaliyetlerini kolaylaştıracak hem de karar vericilerin daha doğru ve yerinde kararlar almasına yardımcı olacaktır.

Bu projenin ilk sunumu aşamasında ikinci bir envanterin yapılması gerektiği ve bunun da ilk envanterin başlangıcından 5 yıl sonra olacağı ifade edilmişti. Proje ilk sunumundaki metin şu şekildedir:

“Yukarıda belirtilen meşcere dinamiklerini dikkate alan bir büyüme modeli, en az iki envanter yapılması durumunda geliştirilebilmektedir. Yapılan bir çalışmada, ölçümler arası sürenin uzun tutulması, hacim artımının daha güvenilir tahmin edilmesine neden olduğu ve ölçümlerin 5 yılda bir tekrarlanmasının daha iyi olacağı sonucuna varılmıştır. Çalışma kapsamında önerilen arazi envanteri en az 3 yıl içerisinde tamamlanabilecektir. Bu durumda en fazla 3 yıl için önerilebilen projede süre ana amaç için yeterli olmamaktadır. Bu durumda çalışma iki aşamada gerçekleştirilebilecektir. Birinci aşamada; çalışma alanı, ölçüm yapılacak alanlar belirlenecek ve ilk ölçüm yapılacaktır. İkinci aşamada ise 5 yıl sonra ikinci ölçümler

tekrarlanarak Artvin yöresi Aynıyaşlı ve Saf Doğu Ladini Meşcereleri için Büyüme Modeli geliştirilecektir. Şu an için önerilen çalışma birinci aşama içindir. Her iki aşamada yapılacak çalışmalar konu/kapsam ve yöntem bölümlerinde açıklanmıştır.”

Yukarıda da belirtildiği gibi projenin başarısı aslında ikinci envanter sonucuna bağlıdır. İkinci envanterin zamanında yapılması ve gerekli verilerin toplanması durumunda büyüme modeli tam anlamıyla geliştirilebilecektir.

KAYNAKLAR

- AKALP, T. (1978). Türkiye'deki Doğu Ladini (*Picea orientalis* L. Carr.) Ormanlarında Hasılat Araştırmaları. *Doktora Tezi*. İstanbul: İstanbul Üniversitesi Orman Fakültesi.
- AKYÜZ, M. (1997). *Doğu Ladini (Picea orientalis) Odununun Fiziksel ve Mekaniksel Özellikleri*. Doğu Karadeniz Ormancılık Araştırma Enstitüsü, Teknik Bülten No:3, Trabzon.
- ANONİM. (1989). *Doğu Ladini*. Ormancılık Araştırma Enstitüsü Yayınları, El Kitabı Dizisi:5, Ankara, 288 s.
- ANŞİN, R. (1981). *Saf Doğu Ladini Ormanı Florası ile Tıraşlama Kesimleri Yöntemine Göre Açılan Doğu Ladini Alanlarında Oluşan Yabani Floranın Kıyaslanması*.
- ANŞİN, R., & ÖZKAN, Z. C. (1993).
- AVERY, T. E., & BURKHART, H. E. (1994). *Forest Measurements*. 3d ed. McGraw-Hill Inc. New York. 408 p.
- CARUS, S. (1998). Aynı Yaşlı Doğu Kayını (*Fagus orientalis* Lipsky.) Ormanlarında Artım ve Büyüme. *İ.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi*. İstanbul.
- CARUS, S., & ÇATAL, Y. (2008). Kızılçam (*Pinus Brutia* Ten.) Meşcerelerinde 7-Ağaç Örnek Nokta Yöntemiyle Meşcere Ağaç Sayısının Çap Basamaklarına Dağılımının Belirlenmesi. *SDÜ Orman Fakültesi Dergisi* (2), 158-169.
- CIEZEWSKI, C. J., & BELLA, I. E. (1989). Polymorphic Height and Site Index Curves for Lodgepole Pine in Alberta. *Canadian Journal of Forest Research*, 19, 1151-1160.
- CLUTTER, J., FORTSON, J. C., PIENAAR, L. V., BRISTER, G. J., & BAILEY, R. (1983). *Timber Management*. New York: John Wiley & Sons.
- ERASLAN, İ. (1982). *Orman Amenajmanı*. İstanbul: İÜ Orman Fakültesi, Yayın No:3010/318.
- FOSTER, J. R. (1985). Coarse Root Biomass in Subalpine Balsam Fir Forests. *Forest Science*, 31 (4), 952-956.
- GÖKMEN, H. (1953). *Gymnospermiler (Çıplak Tohumlular)*. OGM Yayınları, Sıra No:143, Seri No:22, Silvikültür Serisi, Ankara.
- GÜNEL, H. A. (1981). Meşcere Verim Gücünün Tayininde Kullanılan Anamorfik Eğriler Yönteminin İyileştirilmesi Olanağı. *İÜ Orman Fakültesi Dergisi*, 31 (2), 110-117.
- HUSCH, B., MILLER, C. I., & BEERS, T. W. (1982). *Forest Mensuration*. 402 p.
- KALIPSIZ, A. (1998). *Orman Hasılat Bilgisi*. İstanbul: İstanbul Üniversitesi, Orman Fakültesi, Yayın No:4060, 3. Baskı.
- KAPUCU, F., YAVUZ, H., GÜL, A. U., & MISIR, N. (2002). Kestane Meşcerelerinin Hasılatı ve Amenajman Esasları. TÜBİTAK Proje No: TOGTAG-TARP 2229, Sonuç Raporu.

- KAYACIK, A. (1965). *Orman ve Park Ağaçlarının Sistemetiği, I. Cilt Gymnospermae (Açık Tohumlular)*. İ.Ü. Orman Fakültesi, Orman Botaniği Enstitüsü ve Kürsüsü, İstanbul.
- KIRIŞ, R., & ÖZDEMİR, A. (2005). Amenajman Planlarında Ladin İşletme Sınıfları. *Ladin Sempozyumu Bildiriler Kitabı, Cilt II*, (s. 527-537). Trabzon.
- MATNEY, T. G., & SULLIVAN, A. D. (1982). Variable Top Volume and Height Predictors for Slash Pine Trees. *Forest Sci.* , 28, 274 - 282.
- MEHTATALO, L. (2004). Predicting Stand Characteristics Using Limited Measurements. The Finnish Forest Research Institute, Research Papers 929.
- 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.
- PESONEN, A. (2006). Modelling the Growth and Yield of Larch in Hallormsstadur, Iceland. *Master's Thesis* . Joensuu: University of Joensuu, Faculty of Forestry.
- RENNOLLS, K., GEARY, D. N., & ROLLINSON, T. J. (1985). Characterizing Diameter Distributions by the Use. *Forestry* , 58(1), 57-66.
- SAATÇIOĞLU, F. (1971). *Orman Bakımı*. İstanbul: İÜ Orman Fakültesi, Yayın No:60.
- SANTANTONIO, D., HERMAN, R. K., & OVERTON, W. S. (1977). Root Biomass Studies in Forest Ecosystems. *Pedobiologia* , 17, 1-31.
- SARAÇOĞLU, Ö. (1988). Karadeniz Yöresi Gökmar Meşcerelerinde Artım ve Büyüme. Ankara: Orman Genel Müdürlüğü Yayını, 312 s.
- SCURLOCK, J. M., JOHNSON, K., & OLSON, R. J. (2002). Estimating Net Primary Productivity From Grassland Biomass Dynamics Measurements. *Global Change Biology* , 8, 736-753.
- SEBER, G. A., & WILD, C. J. (1989). *Nonlinear Regression*. Joh Wiley and Sons. NewYork. 768 p.
- SPURR, S. (1952). *Forest Inventory*. New York: Ronald Press.
- STOATE, T. (1945). The Use of Volume Equation in Pine Stands. *Aust. For. Res.* , 9, 48 - 52.
- URL-1. (2010). <http://www.ogm.gov.tr>, Orman Genel Müdürlüğü web sayfası. adresinden alınmıştır
- VAN LAAR, F., & AKÇA, A. (1997). *Forest Mensuration*. Cuvillier Verlag, Göttingen. 418 p.
- VANCLAY, J. K. (1994). *Modelling Forest Growth and Yield: Applications to Mixed Tropical Forests*. Wallingford UK: CAB International.
- YALTIRIK, F. (1988). *Dendroloji Ders Kitabı-1 Gymnospermae (Açık Tohumlular)*. İ.Ü. Orman Fakültesi, Yayın No:3443, Orman Fakültesi Yayın No: 386, İstanbul.
- YAVUZ, H. (1992). Değişik Yaşlı Meşcerelerde Büyümenin Markov Zincirleri Yöntemi ile Analiz Edilmesi. *Doktora Tezi* . Trabzon: KTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü.

YAVUZ, H., GÜL, A., MISIR, N., ÖZÇELİK, R., & SAKICI, O. (2002). Meşcerelerde Çap Dağılımlarının Düzenlenmesi ve Bu Dağılımlara İlişkin Parametreler ile Çeşitli Meşcere Öğeleri Arasında İlişkilerin Belirlenmesi. *Orman Amenajmanında Kavramsal Açılımlar ve Yeni Hedefler Sempozyumu, 18-19 Nisan*. İstanbul.

YAVUZ, H., MISIR, N., ERCANLI, İ., & KAHRİMAN, A. (2005). Büyüme Modellerinin Ormancılıktaki Önemi ve Ormancılığımız İçin Öneriler. *1. Çevre ve Ormancılık Şurası, 4*, s. 1708-1717. Antalya.

YEŞİL, A. (1992). Değişik Sıklık ve Bonitetlerdeki Kızılçam Meşcerelerinin Yaşa ve Boya Bağlı Gelişimi. *Doktora Tezi*. İstanbul: İstanbul Üniversitesi Orman Fakültesi.

YOLASIĞMAZ, H. A., BAŞKENT, E. Z., KELEŞ, S., & GÜNLÜ, A. (2005). LadinOrmanlarında Ekosistem Tabanlı Çok Amaçlı Planlama Sürecinin Uygulanabilirliğinin Değerlendirilmesi. *Ladin Sempozyumu Bildiriler Kitabı, Cilt II*, (s. 595-604). Trabzon.

ZEIDE, B. (1989). Accuracy of Equations Describing Diameter Growth. *Canadian Journal of Forest Resources* (19), 1283-1286.

TÜBİTAK
PROJE ÖZET BİLGİ FORMU

Proje No: 106O603
Proje Başlığı: Aynıyaşlı ve Saf Doğu Ladini Meşcereleri İçin Büyüme Modeli Geliştirilmesi
Proje Yürütücüsü ve Araştırmacılar: Yrd. Doç. Dr. Turan SÖNMEZ, Yrd. Doç. Dr. Murat YILMAZ, Arş. Gör. Alkan GÜNLÜ, Arş. Gör. Uzay KARAHALİL, Gülcan MEYDAN AKTÜRK
Projenin Yürütüldüğü Kuruluş ve Adresi: Artvin Çoruh Üniversitesi Orman Fakültesi
Destekleyen Kuruluş(ların) Adı ve Adresi:
Projenin Başlangıç ve Bitiş Tarihleri: 15.01.2007 – 15.01.2010
Öz (en çok 70 kelime) Artvin Orman Bölge Müdürlüğü sınırları içerisindeki Aynıyaşlı ve Saf Doğu Ladini Meşcereleri Büyüme Modeli geliştirilmiştir. Geliştirilen model ve bilgisayar programı sayesinde meşcere gelişiminin zamana bağlı olarak nasıl şekil aldığı görülebilmektedir. Böylece karar vericiler daha etkili kararlar verebilmek için istedikleri bilgilere anında ve güvenilir doğrulukta sahip olabilecekler, meşcerelerin gelişimlerini izleyebileceklerdir. Zira ormancılık faaliyetlerinde verilen hatalı kararlar ormanlar üzerinde telafisi zor olumsuz etkiler bırakabilmektedir. Bunların düzeltilmesi 90-100 yıl gibi uzun zaman alabilmekte hatta mümkün dahi olamamaktadır.
Anahtar Kelimeler: Meşcere büyüme modeli, Model geliştirme, Artvin, Doğu Ladini
Fikri Ürün Bildirim Formu Sunuldu mu? Evet ☐ Gerekli Değil ☒ Fikri Ürün Bildirim Formu'nun tesliminden sonra 3 ay içerisinde patent başvurusu yapılmalıdır.
Projeden Yapılan Yayınlar: • Sönmez, T., 2009. Diameter at breast height-crown diameter prediction models for <i>Picea orientalis</i>. African Journal of Agricultural Research, 4(3), 215-219.