

100

TÜRKİYE CUMHURİYETİ'NİN YÜZÜNCÜ YILI

Sürdürülebilir Ormancılık Uygulamalarında Farklı Yaklaşımlar

Editörler
FATİH SIVRIKAYA
KORHAN ENEZ



BİDGE Yayınları

Sürdürülebilir Ormanlık Uygulamalarında Farklı Yaklaşımlar

Editörler: Fatih SİVRİKAYA & Korhan ENEZ

ISBN: 978-625-372-316-3

1. Baskı

Sayfa Düzeni: Gözde YÜCEL

Yayınlama Tarihi: 25.11.2024

BİDGE Yayınları

Bu eserin bütün hakları saklıdır. Kaynak gösterilerek tanıtım için yapılacak kısa alıntılar dışında yayıncının ve editörün yazılı izni olmaksızın hiçbir yolla çoğaltılamaz.

Sertifika No: 71374

Yayın hakları © BİDGE Yayınları

www.bidgeyayinlari.com.tr - bidgeyayinlari@gmail.com

Krc Bilişim Ticaret ve Organizasyon Ltd. Şti.

Güzeltepe Mahallesi Abidin Daver Sokak Sefer Apartmanı No: 7/9 Çankaya /
Ankara



Önsöz

Ormancılık, ekosistem dengesinin korunması, biyolojik çeşitliliğin sürdürülebilirliği ve orman sağlığının iyileştirilmesi ve karbon döngüsüne katkısı açısından kritik bir rol oynamaktadır. Gelişen teknoloji, yenilikçi yöntemler ve bilimsel ilerlemeler, ormancılığın geleceğini şekillendirirken, doğal kaynakların doğru yönetilmesi adına önemli fırsatlar sunmaktadır. Bu kitap, orman yönetimi, ekosistem hizmetleri, biyolojik çeşitlilik ve orman ekosistemlerinin korunması konularında önemli bulguları ve yeni modelleme yaklaşımlarını bir araya getirerek, ormancılık alanındaki en güncel gelişmeleri ve uygulamaları ele almaktadır.

"Sürdürülebilir Ormancılık Uygulamalarında Farklı Yaklaşımlar" adlı bu kitapta yer alan bölümler, orman amenajman planlarının hazırlanmasında kullanılan karar destek sistemlerinden, orman hacmi hesaplamalarına yönelik modelleme yaklaşımlarına kadar geniş bir yelpazeyi kapsamaktadır. Genç karaçam meşcerelerinde hacim denklemlerinin kullanımı, farklı hacim formüllerinin karşılaştırılması ve orman alanlarındaki zamansal değişimlerin tespiti gibi uygulamalı çalışmalar, orman yönetiminde karşılaşılan pratik sorunlara bilimsel çözümler sunmaktadır.

İlk bölüm, planlamada karar destek sistemlerinin uygulamalarını ele alırken, ikinci bölüm, gövde çapı modelleri ve modelleme yaklaşımlarını açıklamaktadır. Üçüncü ve dördüncü bölüm hacim denklemlerinin farklı meşcerelerde kullanılabilirliğini irdelemektedir. Beşinci bölüm orman ekosisteminde meydana gelen zamansal ve konumsal değişim ortaya konulurken altıncı bölümde ise ekosistem hizmetlerinin belirlenmesi ele alınmıştır. Yedinci

bölümde üretim faaliyetlerinin toprağa yaptığı zarar ortaya konulmuştur. Son olarak, sekizinci bölümde ise, bazı istilacı türlerin biyolojik ve ekolojik özellikleri ifade edilmiştir.

Bu kitap, ormancılık bilimindeki çeşitli alanlarda yapılan özgün araştırmaları hem akademisyenler hem de ormancılar için önemli bir kaynak olmayı hedeflemektedir. Ormanların yönetimi, korunması ve sürdürülebilir kullanımı konusunda daha bilinçli ve etkili adımlar atılmasına katkı sağlamayı amaçlayan bu çalışma, aynı zamanda doğanın korunması ve sürdürülebilir orman yönetimi konusunda daha bilinçli adımlar atılmasına katkı sağlamayı umuyoruz. Kitabın bu yolculuğunda, katkı sağlayan tüm yazarlara teşekkür ederiz.

Editörler

Fatih SİVRİKAYA

Korhan ENEZ

İçindekiler

Önsöz	3
Orman Amenajman Planlarının Hazırlanmasında Karar Destek Sistemleri	7
Sedat KELEŞ	
Gövde Çapı Modelleri ve Modelleme Yaklaşımları	30
Oytun Emre SAKICI	
Ramazan ÖZÇELİK	
Genç Karaçam Meşcerelerinde Hacim Denklemlerinin Kullanılabilirliği ve Eskişehir-Çifteler Yöresine Ait Hacim Denklemleri.....	78
Abdurrahman ŞAHİN	
Faruk EKİCİ	
İlker ERCANLI	
Kürtün-Baraj Orman Deposundaki Tomruk Türlerinde Çeşitli Hacim Formüllerinin Uygulanabilirliği	110
Abdurrahman ŞAHİN	
Çiğse Ilgın AKIN	
Durmuş Ali ÇELİK	
Orman Alanlarında Yaşanan Zamansal ve Konumsal Değişimlerin Tespiti ve Yorumlanması: Türkiye'den Örnek Çalışmalar.....	137
Sinan KAPTAN	
Ali DURKAYA	
Birsen DURKAYA	

Orman Ekosistem Hizmetlerinin Belirlenmesinde Yeni Yaklaşımlar
..... 164

Nuri BOZALİ

Meşe Meşceresinde Odun Üretim Faaliyetlerinin Toprağa Verdiği
Bazı Zararların İncelenmesi: Kastamonu / Çöme Yöresi Örneği 179

Korhan ENEZ

Metehan IŞIK

Gamze SAVACI SELAMET

Türkiye'deki Bazı İstilacı Yabancı Bitkilerin Biyolojik ve Ekolojik
Özellikleri..... 212

Sefa AKBULUT

BÖLÜM I

Orman Amenajman Planlarının Hazırlanmasında Karar Destek Sistemleri

Sedat KELEŞ¹

Giriş

Hızlı nüfus artışı, sanayileşme, aşırı tüketim alışkanlıkları, doğal kaynaklardan plansız ve yanlış faydalanmalar gibi nedenlere bağlı olarak son yıllarda değişik ekolojik ve çevresel problemler ortaya çıkmıştır. Doğal olarak bu problemler, küresel ölçekte, dünyanın en karmaşık sorunları arasında yer almaktadır ve acil olarak çözüm beklemektedir. İklim değişikliğine bağlı küresel ısınma, biyolojik çeşitliliğin azalması, toprak-su-hava kirliliği, sel-taşkın-çığ-heyelan olaylarının artması gibi problemler, ekosistemlerin dengesini tehdit ederek hem doğanın hem de insan sağlığının geleceğini tehlikeye atmaktadır. Bu problemler, sadece ekolojik ve çevresel değil, aynı zamanda ekonomik ve sosyal boyutlarıyla da toplumsal düzeni olumsuz etkilemektedir. Bu

¹ Prof. Dr., Çankırı Karatekin Üniversitesi, Orman Fakültesi, Orman Mühendisliği Bölümü, Çankırı/TÜRKİYE, Orcid: 0000-0002-2724-983X, dr.sedatkeles@gmail.com



karmaşık sorunlarla başa çıkmak ise, doğal kaynakların sürdürülebilir planlanması, işletilmesi ve en uygun koruma-faydalanma stratejilerinin geliştirilmesini zorunlu kılmaktadır.

Ormanlar odun ve odun dışı orman ürünleri üretimi, toprak ve su koruma, karbon depolama, oksijen üretimi, biyolojik çeşitlilik koruma, rekreasyon ve estetik gibi insanlara ve çevreye ekolojik, ekonomik ve sosyal faydalar (fonksiyonlar/ürün ve hizmetler) sunan ekosistemlerdir. Orman ekosistemlerinin sunmuş olduğu faydaların miktar ve kalitesi ise orman yapı ve kuruluşu ile doğrudan ilişkilidir. Orman ekosistemleri küresel bağlamda değerlendirildiğinde ve son zamanlar (günümüz) dikkate alındığında, arazi kullanım değişiklikleri (ormanların aleyhine dönüşüm), doğal müdahaleler (yangınlar, küresel ısınma gibi), plansız ve yanlış faydalanmalar (usulsüz kesim, açma, otlatma gibi) neticesinde, hem alan itibarıyla azalma hem de yapı-kuruluş ve sağlıklarının bozulması ile karşı karşıya kalmıştır. Bu durum ise, orman ekosistemlerinin sürekliliğinin sağlanarak koruma-faydalanma dengesinin yerine getirilmesi sürecini olumsuz etkilemektedir. Ortaya çıkan bu duruma bağlı olarak, orman ekosistemlerinin sürekliliğinin sağlanması, çeşitli süreç ve sözleşmelerde küresel bir boyut kazanmıştır. Orman ekosistemleri ve ormancılığı da içeren bu süreç veya sözleşmelerde; orman ekosistemlerinin korunması, ormanların topluma ve çevreye sunduğu ekolojik, ekonomik, sosyo-kültürel değerler ve bu değerlerin korunması, orman kaynaklarının kapsamı, ormanların sürdürülebilir yönetimine yönelik yasal, politik ve kurumsal yapı gibi birtakım özellikler üzerinde durulmaktadır (Durusoy, 2002).



Belirtilen gelişmelere paralel olarak, orman ekosistemlerinin sürekliliğinin sağlanarak ormanların sunmuş olduğu tüm ürün ve hizmetlerden maksimum faydayı sağlamayı amaçlayan orman amenajmanı tanımı ve kapsamında da bir takım değişimler/gelişmeler olmuştur. Özellikle, toplumun ormanlardan beklediği faydalar/fonksiyonların yönü ve kapsamı, ortaya çıkan ekonomik koşullar, ulusal sınır tanımayan küresel ekolojik ve çevresel problemler ile gelişen teknolojiye bağlı olarak değişmiştir (Asan, 1995). Ormanların odun eksenli planlama ve işletilmesi anlayışı terkedilerek, yerini ekosistem tabanlı çok amaçlı planlama anlayışı almıştır. Diğer bir ifadeyle, günümüz orman amenajmanı kavramı, orman ekosistemlerinin geleceği hakkında kararları etkileyen ekonomik, ekolojik ve sosyo-kültürel faktörlerin tümünü bütünleştirme gibi zor bir görevi üstlenmektedir (Başkent & ark., 2002; Keleş, 2009). Orman amenajmanı planlama tekniği itibariyle değerlendirildiğinde, planlamada daha önce kullanılan basit formüller yaklaşımların yerini bilimsel karar verme teknikleri almıştır (Başkent & ark., 2002). Tüm bu gelişmelere bağlı olarak, orman ekosistemlerinden süreklilik ilkesi dahilinde çok amaçlı planlamanın gerçekleştirilmesi zorunluluğu, karar destek sistemlerinin (KDS) orman amenajmanında kullanımı ihtiyacını doğurmuştur. Bu kapsamda, son yıllarda, orman ekosistemlerinin planlanması konusunda özellikle ormancılığı geliştirmiş ülkelerde orman amenajman planlarının hazırlanmasına hizmet eden KDS'leri geliştirilmiş ve geliştirilmeye devam etmektedir.

Buradan hareketle hazırlanan bu çalışmada öncelikle, orman amenajmanı ve KDS ile doğrudan bağlantılı kavramlar/bilgiler



tanıtılmıştır. Devamında, orman amenajman planlarının hazırlanmasına hizmet etmek için geliştirilmiş bazı önemli KDS'lerinin özellikleri hakkında bilgiler verilmiştir. Son olarak, KDS'lerinin orman amenajman planlarının hazırlanması sürecinde yarattığı katkılar ile geleceğe yönelik değerlendirmeler kısaca sunulmuştur.

Orman Amenajmanı

Karmaşık ve dinamik bir sistem olan orman ekosistemleri topluma ve çevreye çok sayıda önemli ekonomik, ekolojik ve sosyo-kültürel fonksiyonlar sunmaktadır. Ormanların sunmuş olduğu bu fonksiyonların/değerlerin miktarı ve kalitesi, orman yapı ve kuruluşu ile doğrudan ilişkilidir. Yine orman fonksiyonlarının her birinden sağlanacak maksimum fayda ve hizmetler için tek bir orman yapı ve kuruluşu yeterli olmamaktadır. Diğer bir ifadeyle, her bir orman fonksiyonunun en uygun ve verimli bir şekilde sağlanması için istenen/hedeflenen yapı ve kuruluş farklılık göstermektedir. Orman yapı ve kuruluşu, doğal müdahaleler (yangın, böcek arzu gibi) ve bilinçli insan müdahaleleri (silvikültürel müdahaleler) ile sürekli olarak değişebilmekte ve böylece dinamik bir yapı sergilemektedir. Toplumun orman fonksiyonlarına olan talebine bağlı olarak ortaya çıkan orman işletme amaçları ise çoğunlukla, zaman ve konum itibarıyla farklı ölçekleri kapsamaktadır (Keleş, 2009). Orman amenajman planlaması, doğada hiyerarşik yapıda olan bir karar verme sürecine göre işlemektedir ve bu yapı stratejik (uzun vadeli), taktiksel (orta vadeli) ve operasyonel (kısa vadeli) olmak üzere üç temel düzeye ayrılmaktadır (Weintraub & Cholaky, 1991; Gunn, 1991; Murray & Church, 1995; Sessions & Bettinger, 2007). Yine



orman amenajman planlamasında, konumsal düzeyler meşcere düzeyinden orman düzeyine kadar farklı ölçeklerde olabilmektedir. Orman ekosistemlerinin konumsal ve zamansal düzenlemesini görev olarak üstlenen orman amenajmanı bu kapsamda değerlendirildiğinde, karmaşık ve zor bir ormancılık faaliyeti olarak ortaya çıkmaktadır.

Orman ekosistemlerinden faydalanmanın belirli bir düzen altına alınması, orman ekosistemlerinin sürekliliğinin garanti altına alınması şartıyla toplumun orman ürün ve hizmetlerine olan talebinin sürekli bir şekilde karşılanması düşüncesi, orman amenajmanının temel felsefesini oluşturmaktadır (Eraslan, 1982). Orman amenajmanı disiplini bu görevleri üstlenirken, ormanlardan en uygun faydalanma şekline karar verebilmek için çağdaş teknoloji, yöntem ve teknikleri de etkin ve verimli bir şekilde kullanmak durumundadır. Böylelikle hem orman ekosistem dengesinin kontrol altına alınması hem de ormanların sunmuş olduğu değerlerden optimal şekilde faydalanabilmek mümkün olmakta ve bu süreç, orman amenajmanının özünü oluşturmaktadır (Başkent, 1996).

Karar Destek Sistemleri

Karar verme süreci, bireylerin veya grupların belirli bir durum veya problemin çözümü ile ilgili karşısına çıkabilecek çok sayıda alternatiflerden arasından en uygun seçeneği belirlemek için büyük miktarda veri/bilgi toplama, bu verilerin değerlendirmesi ve analiz etme aşamalarını içeren karmaşık bir faaliyettir. Bu süreç, genellikle bir takım belirsizlik ve risk faktörleriyle doludur. Çoğu zaman, yeterli verinin bulunmadığı durumlarda kararlar alınmaktadır. Diğer taraftan karar vericiler, karar verme süreçlerini doğrudan etkileyen



ve çoğunlukla birbirleriyle çelişen/çatışan çok sayıda faktörler ile karşı karşıya kalabilmektedir. Böyle bir durumda, KDS'leri, karar vericilere mevcut alternatifleri ve bunlar arasındaki ilişkileri en iyi şekilde yansıtarak, problemlere etkili çözümler getirecek sistematik bir yaklaşım sunan araçlar olarak ortaya çıkmaktadır.

KDS'leri, kullanıcıların belirli bir durum karşısında ya da karşılaşılan problemlere çözüm bulma sürecinde, karar vericilerin daha etkin kararlar vermesini sağlamak amacıyla veri, analiz ve farklı modeller kullanarak karar vericilere destek sunan bilgisayar tabanlı bilgi sistemleridir. Bu sistemler, genellikle yöneticiler ve karar vericiler tarafından, karmaşık ve belirsiz durumlar karşısında en iyi kararları verebilmek için kullanılmaktadır. KDS'leri, farklı alanlarda ve durumlarda ortaya çıkabilecek kararların sonuçlarının değerlendirilmesine yardım ederek, verilen kararların belirlenen amaçlara ulaşılmasına hizmet etmektedir (Keleş, 2009).

KDS'lerinin geliştirilmesinde çoğunlukla, veri toplama ve analiz, modelleme, kullanıcı dostu arayüz, esneklik ve uygulanabilirlik gibi temel özellikleri içeren üç adım izlenmektedir. Bu adımlar teori, yöntem ve yazılım olup, en önemli bileşenini karar vericiler oluşturmaktadır. Bununla birlikte, KDS'lerinin farklı alanlarda veya durumlarda problemlerin çözümündeki başarısı, KDS'lerinin geliştirilmesinde kullanılan yazılım ve dananım ile doğrudan bağlantılıdır (Makowski, 1991, 1994).

Orman Amenajmanında Karar Destek Sistemi Kullanım Örnekleri



Orman amenajman planlarının hazırlanmasında kullanılmak üzere, özellikle ABD, Kanada, Finlandiya, İsveç, Norveç gibi ormancılığı gelişmiş ülkelerde günümüze kadar çok sayıda KDS geliştirilmiştir. Bu KDS'lerinin geliştirilmesinde, mevcut teknolojiler (coğrafi bilgi sistemleri, uzaktan algılama gibi) ve bilimsel karar verme tekniklerinin (farklı simülasyon ve optimizasyon teknikleri) etkin bir şekilde kullanıldığı görülmektedir. Yine, daha önceleri tek bir amaca (odun üretimi) yönelik olarak geliştirilmiş karar destek sistemlerinin yerini, orman ekosistemlerinin sunmuş olduğu çok sayıda fonksiyonları dikkate alan çağdaş KDS'lerinin aldığı görülmektedir. Diğer taraftan, orman amenajman planlarının hazırlanmasına hizmet eden KDS'lerinin zamanla değişen teknoloji, modelleme teknikleri, ekolojik/çevresel faktörler ve toplum taleplerine karşılık verecek şekilde güncelleştirilmektedirler (Başkent & Keleş, 2004; Keleş, 2009). Buradan hareketle bu bölümde, orman amenajman planlarının hazırlanmasına hizmet etmek için farklı ülkelerde geliştirilmiş KDS'leri öz bir şekilde tanıtılmıştır.

Orman amenajman planlarının hazırlanmasına hizmet eden karar destek sistemlerinin özellikle ABD'de çok uzun yıllardan beri orman planlarının hazırlanmasında kullanıldığı görülmektedir. TimberRAM ABD ormancılık sektörü tarafından, odun üretimi amaçlı planlamalar için geliştirilmiş en eski planlama modeli olup doğrusal programlama tabanlıdır (Navon, 1971; Chappelle, Mang & Miley, 1976). MUSYC yine doğrusal programlama tekniğine dayalı olarak geliştirilmiş ancak çok amaçlı planlamaya hizmet eden bir karar destek sistemidir (Johnson & Jones, 1980). ABD Ormancılık



Birimi tarafından TimberRAM'e göre daha detay amenajman planlama modeli olan FORPLAN geliştirilmiştir. Yine bu planlama modeli doğrusal programlama tekniğine ve yaş sınıfları yöntemine dayalı olarak geliştirilmiş olup, içerisinde yaban hayatı ve su üretimi fonksiyonları ile ilgili planlama modeline farklı hedef veya kısıtlayıcıların eklenmesine izin vermek suretiyle aynı zamanda çok amaçlı planlama modeli olarak ön plana çıkmaktadır. Model, hem matris kurma hem de matris çözme yeteneklerine sahiptir. ABD'de orman amenajman planlarının hazırlanmasında çok uzun yıllar kullanım alanı bulmuştur (Johnson, Stuart & Crimm, 1986). TEAMS, odun üretim planlamasına yönelik geliştirilmiş bir model olup, içerisinde matris kurucu, matris çözücü (LINDO ticari yazılım) ve rapor sunucu olmak üzere farklı modüller içermektedir. Yine bu planlama modeli, CBS yazılımları ile entegre olma ve çıktıların sayısal sunumunu sağlama yeteneklerine sahip olacak şekilde geliştirilmiştir (Covington & ark., 1988). FORPLAN'ın modern versiyonu olarak geliştirilen SPECTRUM, planlamada hem konumsal planlama özelliklerini içermek hem de doğrusal programlama tekniğine ilaveten amaç programlama ve dinamik programlama gibi farklı modelleme tekniklerini içermesi yönüyle yenilikçi bir KDS olarak ortaya çıkmıştır. Matris kurucu, matris çözücü (C-WHIZ ticari yazılım) ve rapor sunucu olmak üzere farklı modüllerden oluşmaktadır (Greer & Meneghin, 2000). Bununla birlikte, SPECTRUM modelinin herhangi bir planlama problemine ilişkin vermiş olduğu uzun dönem planlama sonuçlarını esas alarak, konumsal orman planlarının hazırlanmasına hizmet eden RELMds planlama modeli de eş zamanlı olarak geliştirilmiştir (Church & ark.,



2000). Yukarıda bazı örnekleri verilen KDS'leri matematiksel optimizasyon tekniklerine dayalı olarak geliştirilmiş olup aynı zamanda ABD'de orman amenajman planlarının hazırlanmasına hizmet eden simülasyon tabanlı planlama modellerinin de geliştirildiği görülmektedir. Bunlardan HARVEST (Gustafson & Crow, 1994, 1999), LANDIS (Gustafson & ark., 2000) ve LAMPS (Bettinger & Lennette, 2004) bu modellere örnek olarak verilebilir. Bu üç model genel olarak, artım ve büyüme modellerini esas almak suretiyle, ormana uygulanan potansiyel silvikültürel müdahalelere bağlı olarak orman yapı ve kuruluşu ile ormandan sağlanan bazı önemli fonksiyonların sayısal tahminine olanak sunan, uzun veya kısa dönem planlama özelliklerine sahip olan ve aynı zamanda konumsal özelliklerin planlamalara dahil edilmesine fırsat veren yeni nesil modeller olarak ortaya çıkmaktadır.

Ormancılığı gelişmiş bir diğer ülke olan Finlandiya'da da orman amenajman planlarının hazırlanmasına yönelik farklı KDS'leri (planlama modelleri) geliştirilmiştir. Bunlardan JLP ve J (JLP'nin değişik bir versiyonu), meşecere büyüme modellerini esas alarak, farklı silvikültürel müdahale seçeneklerine göre meşcerelerin büyüme simülasyonunu gerçekleştiren, buradan elde verileri kullanarak farklı amaç ve kısıtlayıcılara göre doğrusal programlama tabanlı karar alternatifleri oluşturup bunlar arasından en iyisini seçmeye yönelik geliştirilmiş modellerdir. Benzer mantıkla çalışan diğer önemli bir KDS ise MELA'dır (Lappi, 1992; Redsvén & ark., 2005). Konumsal ve konumsal olmayan özellikleri birlikte planlamalara entegre edebilen, ormanların odun üretimi ile diğer bir çok odun dışı ürün ve hizmetlerini sayısal olarak planlamalara dahil



eden ve yine birçok modelleme (farklı optimizasyon, simülasyon ve kombine optimizasyon teknikleri) tekniğine göre karar verme süreçlerine hizmet eden MONSU, çağdaş karar destek sistemi özelliği ile ön plana çıkmaktadır (Pukkala, 2004). MOTTI, farklı silvikültürel müdahale seçeneklerine göre meşcere yapı ve kuruluşunda meydana gelen değişiklikler ile bu meşcerelerden elde edilen farklı orman değerlerini (odun üretimi, biyolojik çeşitlilik, karbon depolama gibi) sayısal olarak sunan, meşcere düzeyinde simülasyon modelidir (Hynynen & ark., 2005).

Meşcerelerin farklı silvikültürel müdahale seçeneklerine göre uzun dönem projeksiyonu yaparak en uygun planlama alternatiflerine karar vermeye hizmet etmek amacıyla geliştirilen FORMAN, konumsal özellikleri dikkate alarak odun üretim planlamasına hizmet eden GISFORMAN Kanada ormancılığı için geliştirilmiş planlama modelleridir (Wang, 1987; Jordan & Başkent, 1992). Odun üretimi ile birlikte bazı önemli diğer orman fonksiyonlarını içerecek şekilde farklı konumsal düzeylerde planlama gerçekleştirebilen WOODSTOCK, konumsal özellikleri planlamalara dahil edebilen SPATIAL WOODSTOCK, Kanada'da geliştirilmiş ve farklı uzunlukta (uzun, orta, kısa vadeli) planlamalar yapabilme yeteneğine sahip KDS'leridir (Walters, 1993). Sistem içerisinde planlama problemlerinin çözümünde simülasyon, doğrusal programlama ve kombine optimizasyon teknikleri gibi farklı modelleme teknikleri yer almaktadır. SFMM, doğrusal programlama tekniğine dayalı, uzun dönem planlama yapabilen, konumsal özellikleri dikkate almayan, fakat çok amaçlı planlama özelliğini taşıyan bir planlama modelidir (Davis, 1999). Yine



Kanada'da sistem içerisinde farklı simülasyon, optimizasyon ve kombine optimizasyon tekniklerine dayalı olarak çalışan, konumsal ve konumsal olmayan özellikleri dikkate alan ve çok amaçlı planlama özelliğinde olan daha karmaşık düzeyde ECHO (MMFA, 2001) ve HABPLAN (NCASI, 2006) gibi KDS'leri geliştirilmiştir. Simülasyon tabanlı bir KDS olan ATLAS ise, konumsal ve konumsal olmayan özellikleri aynı anda planlamalarda dikkate alarak farklı konumsal düzeylerde ve farklı zaman ölçeğinde planlamalar yapmaya hizmet eden bir planlama modelidir (Nelson, 2000, 2003). FSOS, farklı konumsal düzeylerde (meşcere, orman ve bölge) ve farklı zaman düzeylerinde (stratejik, taktiksel ve operasyonel) birbiriyle bağlantılı olan çok amaçlı planlamaya hizmet etmek için geliştirilmiş bir orman planlama sistemidir (Martell, 2017).

AVVIRK, Norveç'te geliştirilmiş olan, farklı işletme ve yatırım seçeneklerine göre çıktıları hesaplama yeteneğine sahip olan, stratejik düzeyde planlamalar yapabilen deterministik simülasyon modelidir (Hobbelstad & Hofstad, 1988). SAGALP, Almanya'da geliştirilen, içerisinde doğrusal programlama ve farklı kombine optimizasyon tekniklerine dayalı algoritmalara göre çalışan modülleri olan, orman amenajman planlama problemlerine çözüm bulmak amacıyla geliştirilmiş bir karar destek sistemidir (Chen & Gadow, 2001). Şili'de operasyonel (kısa dönem) düzeyde odun üretimine hizmet etmek için geliştirilmiş ve aynı zamanda konumsal özellikleri dikkate alan doğrusal programlama tabanlı OPTICORT, karışık tamsayılı programlama tabanlı OPTILOG ve kombine optimizasyon tekniklerine dayalı PLANEX planlama modelleri



geliştirilmiştir. Yine Şili’de konumsal özellikleri dikkate alan ve orta düzeyde (taktiksel) odun üretimine yönelik planlamalar yapabilen karışık tamsayılı-doğrusal programlama tekniğine dayalı MPCOS, uzun dönem (stratejik) odun üretim planlamasına hizmet etmek amacıyla geliştirilmiş doğrusal programlama tabanlı AUSTRAL planlama modelleri geliştirilmiştir (Epstein, Parada & Weintraub, 2014). SADfLOR, MfLOR, PfLOR ve EfLOR Portekiz’de farklı orman planlama problemlerine hizmet etmek amacıyla, doğrusal programlama, karışık tamsayılı programlama ve amaç programlama gibi optimizasyon tekniklerine dayalı olarak ve farklı konumsal ve zamansal düzeyler için orman planları geliştirebilen planlama modelleridir (Marques, Garcia-Gonzalo & Borges, 2014). GOTILWA+, MONTE ve ESCEN İspanya’da orman amenajman planlarının hazırlanmasına hizmet etmek için geliştirilmiş KDS’leridir. Bu sistemler farklı simülasyon ve optimizasyon tekniklerine dayalı olarak çalışmaktadır ve odun üretimi ile birlikte karbon depolama, biyolojik çeşitlilik, yangın riski gibi özellikleri de planlamalara sayısal olarak dahil edebilme yeteneklerine sahiptir (Trasobares & ark., 2014). FMPP, farklı silvikültürel müdahale seçeneklerine göre meşcere büyümesini tahmin eden ve buna göre uzun dönem amenajman planlaması yapmaya hizmet etmek amacıyla İsveç’te geliştirilmiş bir orman planlama modelidir. Heureka PlanWise yine İsveç’te orman amenajman planlamasına hizmet etmek amacıyla geliştirilmiş kapsamlı bir karar destek sistemidir. Sistem içerisinde meşcerelerin farklı silvikültürel müdahalelere göre büyümesini tahmin eden simülasyon modülü, planlama problemlerine çözüm için belirlenen alternatifler arasından



uygun olanını seçmek için doğrusal programlama tekniği modülü yer almaktadır. Bu planlama modeli, hem uzun vadeli hem de orta vadeli plan yapabilme yeteneğine sahiptir (Lamas, Nordström & Sallnas, 2014). Türkiye’de orman amenajman planlarının hazırlanmasına yönelik olarak uzun ve orta vadeli düzeylerde meşcere ve orman düzeyinde planlamalar yapabilen ETÇAP adında bir karar destek sistemi geliştirilmiştir. Bu KDS, Klasik planlama yapabilen ETÇAPklasik, konumsal özellikleri dikkate almayan doğrusal planlama tabanlı ETÇAPOptimizasyon, simülasyon tabanlı ETÇAPsimülasyon ve konumsal özellikleri dikkate alan ETÇAPkonumsal gibi modüllerden oluşmaktadır. Ayrıca farklı silvikültürel müdahalelere göre meşcere parametrelerinin değişimini tahmin eden artım ve büyüme modülü ile odun üretimine yönelik ekonomik hesaplamaları yapabilen modülleri de bulunmaktadır. Odun üretimi haricinde su üretimi, toprak koruma, karbon depolama, oksijen üretimi gibi önemli orman fonksiyonları sayısal olarak planlamalarda yer alabilmektedir (Keleş & Başkent, 2014).

Sonuç ve Öneriler

Orman amenajmanı, toplumun ormanlardan olan ve gün geçtikçe değişerek artan beklentilerini en iyi şekilde karşılamak ve orman ekosistemlerinin uzun vadede sağlık ve bütünlüğünü sürdürülebilir şekilde planlamak gibi kapsamlı, karmaşık ve zor bir görevi üstlenmektedir. Orman amenajmanı tarihsel bir süreç içerisinde geçerken, orman ekosisteminin sürekliliği ve bu ekosistemin sunduğu değerlerden sürdürülebilir şekilde faydalanma kapsamında, planlama sürecinde özellikle son yıllarda içerisinde



farklı simülasyon veya optimizasyon tekniklerini içeren KDS'leri kullanılmaya başlanmıştır.

Orman amenajman planlarının hazırlanmasına yönelik geliştirilen bu KDS'lerinin, genelde ormancılık sektörüne/bilimine özelde orman amenajmanına birçok katkıları olmaktadır. Her şeyden önemlisi bu KDS'leri hem ormancılık uygulamalarında, hem ormancılık eğitiminde hem de bilimsel araştırmalara büyük hizmetler sunmaktadır.

Orman amenajmanında kullanılan KDS'leri, orman planlama problemlerinin çözümüne sistem anlayışını ve bütünsel yaklaşım tarzını getirmektedir. Planlama problemlerinin çözümünde, karar vericilere çok sayıda planlama/işletme seçeneklerini sunma ve bu seçenekler arasından en iyisini belirleme fırsatı sunmaktadır. Planlama seçeneklerinin geliştirilmesinde, ormanı oluşturan her bir meşcere için önerilen silvikültürel müdahale seçeneğinin, özelde meşcere genelde orman yapı ve kuruluşu üzerinde meydana gelen değişimleri analiz etme imkanı vermektedir. Böylece orman dinamiğinin kolaylıkla anlaşılabilmesi ve her bir meşcere için en uygun müdahale seçeneğinin belirlenmesi sağlanmaktadır. Planlama sürecinde, orman ekosistemlerinin sunmuş olduğu ve sistemde yer alan fonksiyonların kalite veya miktarları sayısal olarak ortaya konulabilmekte, yine verilerin/modellerin sistemde yer alması durumunda her bir fonksiyon için ekonomik analizlerin planlamaya dahil edilmesi ile daha gerçekçi planlar hazırlanabilmektedir. KDS'leri, ormancılık ana planları ve kalkınma planlarında ormancılık sektörü için belirlenen hedeflere daha kolay ulaşılabilmesine yardımcı olmaktadır. Odun ürün fiyatlarında



meydana gelen dalgalanmalar, yangın, rüzgar, böcek riski gibi durumlar KDS'lerine entegre edilmek suretiyle, belirsizlik ve risk ortamlarında uygun kararların alınması gerçekleştirilebilmektedir. Planlama alternatiflerinin sonuçlarını veya çıktılarını metin, grafik, tablo ve harita gibi farklı formatlarda sunmak suretiyle karar vericilerin hızlı düşünme ve daha isabetli kararlar almasına yardımcı olmaktadır. Oldukça zahmetli, maliyetli ve zaman alan orman amenajman planlarının, bilgisayar ortamında daha hızlı, güvenilir, doğru ve isabetli bir şekilde hazırlanması yapılabilmektedir. Orman amenajman planlarının hazırlanmasında kullanılan KDS'leri, farklı senaryoları simüle ederek potansiyel risklerin önceden fark edilmesini sağlar. Karar verme süreçlerini otomatikleştirerek zaman kazandırır ve insan hatalarını en aza indirir.

KDS'lerinin karar verme süreçlerinde sağlamış olduğu faydalar dikkate alındığında, orman amenajman planlarının hazırlanması amacıyla, bu sistemlerin geliştirilmesi veya geliştirilenlerin de yeni teknolojiler veya yaklaşımlara göre güncellenmesi büyük önem arz etmektedir. Bu sistemlerin geliştirilmesinde pek çok zorluklar bulunmakta olup öncelikle bu zorlukların aşılması için çözümler üretilmelidir. Orman amenajman planlarının hazırlanmasına yönelik geliştirilecek bir KDS için öncelikle, orman yapı ve kuruluşu ile orman fonksiyonları arasındaki ilişkiler sayısal olarak belirlenmelidir. Her bir orman değeri için ekonomik modeller, yangın-böcek-fırtına gibi doğal olayların planlamalara dahil edilebilmesi için ekolojik modeller geliştirilmeli ve KDS'lerine entegre edilmelidir. Orman işletme amaçlarının öncelik ve ağırlıklarına karar vermede, alternatif planlama



seçenekleri arasından en uygununa karar verme aşamalarında kullanılmak üzere, uygun çok ölçütlü karar verme teknikleri KDS'lerine entegre edilmelidir. Konumsal analizlerin yapılabilmesi için KDS'lerine CBS yazılımları entegre edilmelidir. Karar destek sistemlerinde kullanılan farklı simülasyon ve optimizasyon tekniklerine ilaveten, büyük veri analitiği, yapay zeka ve makine öğrenme gibi modern teknolojilerle entegre edilerek, KDS'leri karar verme süreçlerinde daha da güçlü ve etkili hale getirilmelidir.

Kaynaklar

Asan, Ü. (1995). Orman Kaynaklarının Rasyonel Kullanımı ve Ülkemizdeki Durum. *İ.Ü. Orman Fakültesi Dergisi*, 45 (3-4), 15-27.

Başkent, E.Z. (1996). 21. Yüzyıl Ormancılığına Yeni Bir Yaklaşım: Sayısal Ormancılık, KTÜ Orman Fakültesi, Güz Yarıyılı Seminerleri, Seminer Serisi, No: 1, 77-84.

Başkent, E. Z., Yolasığmaz, H. A., Mısır, M. & Çakır, G. (2002). Kombine Optimizasyon Teknikleri ve Ekosistem Amenajmanı, Orman Amenajmanında *Kavramsal Açılımlar ve Yeni Hedefler Sempozyumu*, Nisan, İstanbul, (pp. 77-88).

Başkent, E.Z. & Keleş, S. (2004). *Ormancılıkta Model ve Modelleme Kavramlarının Kullanımı ve Genel Değerlendirmesi (1. Bölüm)*. *Orman Mühendisliği Dergisi*, 41 (1-2-3), 19-24.

Bettinger, P. & Lennette, M. (2004). Landscape management policy Simulator (LAMPS) version 1.1. user guide. Oregon State University, College of Forestry, Research Contribution 43.

Chappelle, D.E., Mang, M. & Miley, S.C. (1976). Evaluation of TimberRAM as a forest management planning model. *Journal of Forestry*, 74 (5), 288-293.

Chen, B. & Gadov, K. (2001). User manual of SAGALP, Institute of Forest Resource Management, Georg-August-University, Göttingen, Germany, 6 s.

Church, R.L., Murray, A.T., Figueroa, M.A. & Barber, K.H. (2000). Support system development for forest ecosystem management. *European Journal of Operational Research*, 121 (2), 247-258.

Covington, W.W., Wood, D.B., Young, D.L., Dykestra, D.P. & Garrett, L.D. (1988). TEAMS: A decision support system for multiresource management. *Journal of Forestry*, 86 (8), 25-33.

Davis, R. (1999). Strategic forest management model version 1.6 user guide. Ministry of Natural Resources, Queen's Printer for Ontario, Canada.

Durusoy, İ. (2002). Sertifikalandırma ve Türkiye Ormancılığında Gerekliliği, Olabilirliği, Uygulanması Sürecinde Karşılaşılması Muhtemel Darboğazların ve Fırsatların İrdelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, K.T.Ü., Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.

Epstein, R., Parada, C. & Weintraub, A. (2014). The Design and use of forest decision support systems in Chile. Borges, J.G., Nordström, E.M., Garcia-Gpnzalo, J., Hujala, T. & Trasobares, A. (Eds), *Computer-based tools for supporting forest management. The experience and the expertise World-wide* içinde (s. 71-83), UMEA, Sweden.

Eraslan, İ. (1982). *Orman Amenajmanı*. İÜ Orman Fakültesi Yayını, No: 3010/318, İstanbul.

Greer, K. & Meneghin, B. (1991). SPECTRUM. An analytical tool for building natural resource management models. Ecosystem Management Analysis Center, USDA Forest Service, Research Paper, (15/10/2024 tarihinde <http://ncrs.fs.fed.us/pubs/gtr/other/gtrnc205/abstracts.htm/profiles/p53.pdf> adresinden ulaşılmıştır).

Gunn, E.G. (1991). Some aspects of hierarchical production planning in forest management. Proceedings of the 1991 Symposium

on Systems Analysis in Forest Resources, March, South Carolina, USDA FS General Technical Report, SE-74, (pp. 54-62).

Gustafson, E.J. & Crow, T.R. (1994). Modeling the effects of forest harvesting on landscape structure and the spatial distribution of cowbird brood parasitism. *Landscape Ecology*, 9, 237-248.

Gustafson, E.J. & Crow, T.R. (1999). HARVEST: linking timber harvest strategies to landscape patterns, In: Mladenoff, D.J., Baker, W.L. (Eds.), *Spatial Modeling of Forest Landscapes: Approaches and Applications*, Cambridge University Press, UK, (pp. 309-332).

Gustafson, E.J., Shifley, S.R., Mladenoff, D.J., Nimerfo, K.K. & He, H.S. (2000). Spatial simulation of forest succession and timber harvesting using LANDIS. *Canadian Journal of Forest Research*, 31, 32 – 43.

Hobbelstad, K. & Hofstad, O. (1988). AVVIRK 3, a model for long-term forest planning, Reports of Norwegian Forest Research Institute, 41, ISBN 82-7169-401-4, (pp. 503-516).

Hynynen, J., Ahtikoski, A., Siitonen, J., Sievanen, R. & Liski, J. (2005). Applying the MOTTI Simulator to analyse the effects of alternative management schedules on timber and non – timber production. *Forest Ecology and Management*, 207, 5-18.

Johnson, K. & Jones, D.B. (1980). A user's guide to multiple use-sustained yield resource scheduling (MUSYC), USDA Forest Service, Fort Collins, Colorado, USA.

Johnson, K., Stuart, T. & Crimm, S. (1986). FORPLAN Version 2: An overview, USDA Forest Service, Land Management Planning Systems Section, Washington – USA.

Jordan, G.A. & Başkent, E.Z. (1992). A case study in spatial wood supply analysis. *Forestry Chronicle*, 68 (4), 503-516.

Keleş, S. (2009). Orman Amenajman Planlarının Hazırlanmasına Yönelik Karar Destek Sisteminin Tasarımı ve Prototip Modelinin Geliştirilmesi. Doktora Tezi, KTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.

Keleş, S. & Başkent, E.Z. (2014). The design and use of forest decision support systems (DSS) in Turkey. Borges, J.G., Nordström, E.M., Garcia-Gpnzalo, J., Hujala, T. & Trasobares, A. (Eds), *Computer-based tools for supporting forest management. The experience and the expertise World-wide* içinde (s. 445-459). UMEA, Sweden.

Lamas, T., Nordström, E.M. & Sallnas, O. (2014). The design and use of forest decision support systems in Sweden. Borges, J.G., Nordström, E.M., Garcia-Gpnzalo, J., Hujala, T. & Trasobares, A. (Eds), *Computer-based tools for supporting forest management. The experience and the expertise World-wide* içinde (s. 403-419). UMEA, Sweden.

Lappi, J. (1992). JLP: A linear programming package for management planning, Finnish Forest Research Institute, Research Paper 414, ISBN 951-40-1218-6.

Makowski, M. (1991). Selected issues of design and implementation of Decision Support Systems; Marek Makowski, Working Paper, WP-91-16.

Makowski, M. (1994). Design and Implementation of model – based decision support systems, Working Paper, WP-91-17.

Marques, A.F., Garcia-Gonzalo, J. & Borges, J.G. (2014). Computer-based tools for supporting forest management in Portugal. Borges, J.G., Nordström, E.M., Garcia-Gonzalo, J., Hujala, T. & Trasobares, A. (Eds), *Computer-based tools for supporting forest management. The experience and the expertise World-wide içinde* (s.296-319). UMEA, Sweden.

Martell, D. (2014). The development and use of forest management decision support systems in Canada. Borges, J.G., Nordström, E.M., Garcia-Gonzalo, J., Hujala, T. & Trasobares, A. (Eds), *Computer-based tools for supporting forest management. The experience and the expertise World-wide içinde* (s. 48-70), UMEA, Sweden.

MMFA. (2001). ECHO planning System, planner's user guide, McGregor Model Forest Association, British Columbia, Canada. (15/10/2024 tarihinde <http://www.mcgregor.bc.ca/> adresinden ulaşılmıştır).

Murray, A.T. & Church, R.L. (1995). Heuristic solution approaches to operational forest planning problems. *OR Spektrum*, 17, 193–203.

Navon, D. (1971). TimberRAM, Research Paper, USDA Forest Service, USA, PSW-70.

NCASI. (2006). HABPLAN user manual, NCASI Statistics and Model Development Group, Canada. (15/10/2024 tarihinde <http://ncasi.uml.edu/> adresinden ulaşılmıştır).

Nelson, J.D. (2000). ATLAS operations manual, Faculty of Forestry, University of British Columbia, Vancouver, Canada. (15/10/2024 tarihinde <http://www.forestry.ubc.ca/atlassimfor/extension/docs.html#ATLAS> adresinden ulaşılmıştır).

Nelson, J.D. (2003). FPS-ATLAS database manual: Version 6, Faculty of Forestry, University of British Columbia, Vancouver, Canada. (15/10/2024 tarihinde <http://www.forestry.ubc.ca/atlas-simfor/extension/docs.html#ATLAS> adresinden ulaşılmıştır).

Pukkala, T. (2004). Dealing with ecological objectives in the MONSU planning system. *Silva Lusitana, no especial*, 1-15.

Redsven, V., Anola-Pukkila, A., Haara, A., Hirvelä, H., Härkönen, K., Kettunen, L., Kiiskinen, A., Kärkkäinen, L., Lempinen, R., Muinonen, E., Nuutinen, T., Salminen, O. & Siitonen, M. (2005). MELA2005 Reference Manual, The Finnish Forest Research Institute, Finland, ISBN: 951-40-1974-1.

Sessions, J. & Bettinger, P. (2007). Hierarchical planning: pathway to the future? (15/10/2024 tarihinde <http://www.cfr.washington.edu/Outreach/Postprefor/Sessions%20final.pdf> adresinden ulaşılmıştır).

Trasobares, A., Palahi, M., Marey, M. & Diaz-Balteiro, J. (2014). Computer-based tools for supporting forest management in Spain. Borges, J.G., Nordström, E.M., Garcia-Gonzalo, J., Hujala, T. & Trasobares, A. (Eds), *Computer-based tools for supporting forest management. The experience and the expertise World-wide içinde* (s. 383-402), UMEA, Sweden.

Walters, K.R. (1993). Design and development of a generalized forest management modeling system: WOODSTOCK.

Proceedings of the International Symposium on Systems Analysis and Management Decisions in Forestry, Valdivia, Chile, (pp. 190-196).

Wang, P. (1987). Wood Supply Forecasting Techniques, Research Paper, Canada.

Weintraub, A. & Cholaky, A. (1991). A hierarchical approach to forest planning. *Forest Science*, 37 (2), 439-460.

BÖLÜM II

Gövde Çapı Modelleri ve Modelleme Yaklaşımları

Oytun Emre SAKICI¹
Ramazan ÖZÇELİK²

Giriş

Ormanlar, geçmişten günümüze insanoğlunun yaşamının barınma, beslenme, ısınma vb. birçok alanında vazgeçilmez bir unsur olmuştur. Toplumun ormanlardan beklentileri ve yararlanma biçimlerinde son yıllarda meydana gelen artış ve çeşitlenme, ormanların planlı ormancılık kapsamında topluma sundukları işlevleri de çeşitlendirmiştir. Kapucu (1987) ormanların işlevlerini; (i) orman ürünleri üretimi ve (ii) altyapısal hizmetler olmak üzere iki ana gruba ayırmış ve bu temel işlevlerin önemliliklerinin ve öncelik sıralarının toplumun istek ve ihtiyaçlarına göre değiştiğini ifade etmiştir. Bu işlevlerden ilki; orman ekosistemlerinden ekonomik değeri bulunan ve odun ve odun dışı ürünler olarak iki gruba ayrılan

¹ Doç. Dr., Kastamonu Üniversitesi, Orman Fakültesi, Orman Mühendisliği Bölümü, Kastamonu/Türkiye, Orcid: 0000-0003-4961-2991, oesakici@kastamonu.edu.tr

² Prof. Dr., Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Orman Fakültesi, Orman Mühendisliği Bölümü, Isparta/Türkiye, Orcid: 0000-0003-2132-2589, ramazanozcelik@isparta.edu.tr



çeşitli ürünler üreterek toplumun bu ürünlere olan taleplerini karşılamak şeklinde açıklanabilir. Altyapısal hizmetler ise; toprak kayıplarının önlenmesi, su kaynaklarının düzenlenmesi ve korunması, çığ riskinin azaltılması, toplum sağlığının ve huzurunun iyileştirilmesi, ulusal savunmaya katkı sağlanması vb. birçok üretim dışı işlevi içermektedir. Dünya nüfusundaki artışa paralel olarak ormanların her türlü işlevlerine olan talebin de giderek artmasına karşın, dünya orman varlığında sürekli bir azalış söz konusudur. FAO (2020) raporuna göre 1990 yılında 4,24 milyon ha olan dünya orman varlığı 2000 yılında 4,16 milyon ha'a, 2010 yılında 4,11 milyon ha'a ve 2020 yılında da 4,06 milyon ha'a düşmüştür. Orman varlığında küresel ölçekte gözlenen bu azalış, orman ekosistemlerinden faydalanmanın optimal ve sürdürülebilir düzeyde sağlanması gerekliliğinin bir göstergesi olmakta ve sürekliliğin sağlanabilmesinde ormanların planlı işletilmesinin önemini ortaya koymaktadır (Yavuz ve Sakıcı, 2002).

Gerek devlet eliyle ve gerekse özel veya tüzel kişiliklerce işletilen tüm ormanlarda işletme sermayesinin en önemli bileşenini ağaç serveti teşkil etmekte ve bu nedenle de orman işletmeciliğine esas planların düzenlenmesi esnasında ormanların mevcut ağaç servetlerinin toplam hacim ve odun çeşitleri esaslı hacim değerleri şeklinde ortaya konulması gerekmektedir (Yavuz, 1995). Ağaç servetinin belirlenmesinde farklı yöntemler bulunmakla birlikte, diğer yöntemlere göre daha pratik olmaları nedeniyle uygulamada genellikle ağaç hacim tablolarının kullanımı tercih edilmektedir. Bu tablolar, ağaçların gövde hacmini çeşitli ağaç boyutlarına bağlı olarak tahmin etmek üzere geliştirilen *tek girişli* (yalnızca göğüs çapını kullanan), *çift girişli* (göğüs çapı ve ağaç boyunu kullanan)



veya *çok girişli* (göğüs çapı ve ağaç boyuna ilaveten tepe boyutları ve belirli gövde yüksekliklerindeki çaplar gibi üç ya da daha fazla değişken kullanan) ağaç hacim denklemlerinden yararlanılarak düzenlenen tablolardır (Loetsch vd., 1973; Laar ve Akça, 2007). Ülkemizde doğal yayılış gösteren birçok asli ağaç türümüz için gerek ulusal bazda (Eraslan, 1954; Miraboğlu, 1955; Gülen, 1959; Alemdağ, 1962; Kalıpsız, 1962; Evcimen, 1963; Alemdağ, 1967; Akalp, 1978; Sun vd., 1978; Asan, 1984; Bozkuş ve Carus, 1997; Şentürk, 1997; Kapucu vd., 2002; Mısır ve Mısır, 2004) ve gerekse bölgesel ve yöresel bazda (Saraçoğlu, 1991; Çalışkan ve Yeşil, 1996; Yavuz, 1999; Sakıcı ve Yavuz, 2003; Ercanlı vd., 2008; Özçelik, 2010; Baynazoğlu, 2014; Carus ve Su, 2014; Kahrıman vd., 2017; Özçelik ve Çevlik, 2017; Çatal ve Güneş, 2018; Özçelik ve Kalkanlı, 2018; Sakıcı vd., 2018; Şenyurt ve Ümit, 2019; Ölmez ve Şenyurt, 2022; Baytaş ve Seki, 2023; Kahrıman vd., 2023; Sönmez vd., 2023; Şahin ve Ercanlı, 2023) ağaç hacim denklemi/tablosu düzenlenmiştir.

Odun üretimi amacıyla yönetilen ormanlarda, üretime konu olan meşcerelerdeki ağaçlardan çeşitli odun ürünleri (tomruk, direk ve sanayi odunu gibi) elde edilmektedir. Bu ürünler hem boyutlarına ilişkin standartlar hem de birim fiyatları bakımından önemli farklılıklar göstermektedir. Buna bağlı olarak da üretime alınacak ağaçların toplam gövde hacminin yanında bu ağaçlardan elde edilebilecek odun çeşitlerinin hacimlerinin de bilinmesine ihtiyaç duyulmaktadır. Ağaç hacim denklemleri veya tabloları bu ihtiyacı karşılayamadığından hacim oran denklemleri geliştirilmeye başlanmıştır. Bu denklemler yardımıyla gövdenin herhangi bir yüksekliğine kadar olan bölümünün toplam gövde hacmine oranı



belirlenebilmekte ve dolayısıyla ticari (satışa konu) gövde hacmi tahmin edilebilmektedir. Ancak, bu denklemler yardımıyla gövdenin herhangi bir yüksekliğindeki çap değeri ya da herhangi bir çap değerine ilişkin gövde yüksekliği hesaplanamadığından ağaç gövdesinden elde edilebilecek odun çeşitlerinin hacimlerinin tahmin edilmesinde bu denklemlerden yararlanılamamaktadır (Sakıcı, 2002). Ülkemizde yayılış gösteren bazı asli ağaç türleri için göğüs çapına göre ağaçlardan elde edilebilecek odun çeşitlerinin toplam gövde hacmi içindeki ortalama oranlarını veren tablolar hazırlanmıştır (Sun vd., 1978).

Ağaç hacim denklemlerinin bir ağacın toplam gövde hacmini ve hacim oran denklemlerinin de gövdenin herhangi bir yüksekliğine kadar olan bölümünün hacmini hesaplamak üzere kullanılabildiği dikkate alınır, bu denklemler yardımıyla ağaçlardan elde edilebilecek ticari odun çeşitlerinin hacimleri tahmin edilememektedir. Gerek ağaç hacim denklemlerinin ve gerekse hacim oran denklemlerinin yetersiz kaldığı bu amacı gerçekleştirmek üzere Gövde Çapı Modelleri geliştirilmiştir. Bu modeller, bir ağaç gövdesi üzerindeki herhangi bir yükseklikteki gövde çapının veya herhangi bir gövde çapının bulunduğu gövde yüksekliğinin tahmin edilmesinde kullanılmaktadırlar. Jiang vd. (2005), ağaçlardan elde edilebilecek odun çeşitlerinin hacimlerinin tahmin edilebilmesi için ihtiyaç duyulan gövde çaplarının belirlenmesinde en yaygın yaklaşımın gövde çapı modelleri olduğunu ifade etmiştir. De-Miguel vd. (2012) ise gövde çapı modellerinin artım ve büyüme modellerine entegrasyonu ile çeşitli koşullardaki meşcerelerden gelecekte sağlanabilecek odun çeşitlerinin tahmin edilebileceğini belirtmiştir. Diğer taraftan,



meşcerelerde bulunan dikili ağaçlara ilişkin toplam ve ticari gövde hacimlerinin tahmini için de en güvenilir ve pratik yöntemlerden birinin gövde çapı modelleri olduğu savunulmaktadır (Fang vd., 2000; Rojo vd., 2005; Diéguez-Aranda vd., 2006; Li ve Weiskittel 2010). Bu olumlu katkıları nedeniyle gövde çapı modelleri gerek ormancılık uygulamaları ve gerekse ormancılık alanındaki bilimsel araştırmalar açısından öne çıkmaktadır.

Gövde Çapı Modellerinin Tanımı, Tarihçesi ve Sınıflandırması

Gövde çapı modelleri; göğüs çapı, ağaç boyu ve ağaç gövdesi üzerinde ölçülen diğer bazı değişkenler yardımıyla; (i) ağaç gövdesinin herhangi bir yüksekliğindeki gövde çapını, (ii) herhangi bir gövde çapının bulunduğu gövde yüksekliğini, (iii) herhangi bir gövde yüksekliği ile toprak seviyesi arasındaki bölümün ticari hacmini, (iv) toplam gövde hacmini ve (v) herhangi iki gövde yüksekliği ya da gövde çapı arasındaki bölümün hacmini tahmin etmek için geliştirilen modellerdir (Yavuz, 1995; Kozak, 2004).

Ormancılık biliminde ağaçların gövde şekilleri üzerine ilk araştırmanın 1903 yılında Höjer tarafından yapıldığı (Figueiredo-Filho ve Schaaf, 1999), bu araştırmayı 1920'li yıllarda Behre tarafından yapılan çalışmaların izlediği (Newnham, 1992) ve Gray (1956) tarafından yürütülen çalışmaların da çap düşüşünün modellenmesi üzerine yoğunlaştığı (Muhairwe, 1999) belirtilmektedir. 1960'lı yılların sonlarında ise gövde çapı modelleri ile ilgili araştırmalara başlanmıştır (Honer, 1967; Bruce vd., 1968; Kozak vd., 1969; Bennet ve Swindel, 1972). Belirli gövde yüksekliklerindeki gövde çaplarını göğüs çapı ve ağaç boyunun bir fonksiyonu olarak tahmin eden bu ilk modeller, ağaç gövdesini



bütünleşik olarak ele alarak ortalama bir şekil katsayısı ile modelleyen basit polinom fonksiyonu formundadırlar. İlerleyen süreçte, ağaç gövdesindeki çap düşüşünün dipten uca doğru oransal şekilde devam etmeyeceği düşüncesinden hareketle gövdenin tamamının tek bir fonksiyonla tanımlanması yerine, gövdenin şekil farklılıkları gösteren bölümlere ayrılarak gövde çaplarının her bir gövde bölümü için ayrı birer polinom fonksiyonu ile tanımlanması ve bu fonksiyonların birleştirilmesi düşüncesi hakim olmuştur (Max ve Burkhart, 1976; Demaerschalk ve Kozak, 1977; Cao vd., 1980; Green ve Reed, 1985; Byrne ve Reed, 1986; Czaplewski ve McClure, 1988). Bu model formunda ağaçların yerden belirli bir yüksekliğe (30 cm gibi) kadar olan dip kısımlarının nayloite, ticari odun ürünlerinin elde edildiği orta kısmının parabolite ve ticari gövdenin üstünde kalan uç kısmının ise koniye benzediği varsayılmaktadır. Parçalı fonksiyonlar kullanılarak geliştirilen gövde çapı modellerin sonrasındaki süreçte ise göğüs çapı ve ağaç boyuna ilaveten gövde şeklinin değişim gösterdiği oransal boy değerlerini de bağımsız değişken olarak işleme alan üssel formdaki fonksiyonlar geliştirilmiştir (Kozak, 1988; Newnham, 1988; Perez vd., 1990).

Gövde üzerindeki çap değişiminin modellenmesinde yukarıda açıklanan ve regresyon analizi ile çözümlenen üç temel model formuna ilaveten denkleştirilmiş (spline) fonksiyonlar (Liu, 1980), Chapman-Richards büyüme fonksiyonu (Biging, 1984; Matney vd., 1985), polinomiyal enterpolasyon yaklaşımı (Therien ve Chamire, 1986), asal bileşenler analizi (Real vd., 1989; Tatsuo, 1988) ve trigonometrik fonksiyonlar (Thomas ve Parrersol, 1991; Bi, 2000; Bi ve Long, 2001) gibi çeşitli yaklaşımlar da kullanılmıştır. Gövde



çapı modellerinin geliştirilmesinde literatürde sıklıkla tercih edilen doğrusal ve doğrusal olmayan regresyon modellerindeki zamansal ve/veya konumsal otokorelasyon problemlerinin çözümü amacıyla karışık etkili modelleme (Özçelik vd., 2011; Ercanlı vd., 2014; Arias-Rodil vd., 2015; Özçelik vd., 2017) ve otoregresif modelleme (Ercanlı vd., 2015; Ercanlı ve Şenyurt, 2017) yaklaşımlarının kullanıldığı araştırmalar da mevcuttur.

Literatürde, sınıflandırmada kullanılan ölçütlere bağlı olarak gövde çapı modellerinin çok farklı sınıflara ayrıldığı görülmektedir (Flewelling ve Raynes, 1993; Muhairwe vd., 1994; Williams ve Reich, 1997; Petersson, 1999; Fang ve Bailey, 1999; Fang vd., 2000; Sharma ve Oderwald, 2001; Sakıcı vd., 2008). Bu sınıflandırmalardan bazıları aşağıda açıklanmıştır.

Reed ve Green (1984), ağaç gövdesinin farklı yüksekliklerdeki gövde çaplarını tahmin amacıyla geliştirilen bu modellerin aynı zamanda gövde hacmi tahminlerinde kullanılabilirliklerine bağlı olarak (i) *Uyumsuz Gövde Çapı Modelleri* ve (ii) *Uyumlu Gövde Çapı Modelleri* şeklinde bir sınıflandırma yapmıştır. Uyumsuz modeller yardımıyla gövde çapı tahminleri yapılabilirken gövde hacimleri tahmin edilememekte ve hacim tahminlerinde bu modeller yardımıyla tahmin edilen gövde çaplarının bilinen hacim formüllerinde (Huber, Smalian, Newton-Riecke formülleri gibi) kullanılması yoluna gidilmektedir (Yavuz, 1995). Uyumsuz gövde çapı modellerine örnek olarak Kozak vd. (1969), Bennet ve Swindel (1972), Bennet vd. (1978), Kozak (1988) ve Perez vd. (1990) tarafından önerilen modeller verilebilir. Bir gövde çapı modelinin ağaç gövdesinin dip ve uç noktaları arası için



integrali alındığında doğrudan gövde hacmini ve dip ile belirli bir gövde yüksekliği arasında integrali alındığında da ilgili gövde bölümünün hacmini veren modeller ise uyumlu gövde çapı modelleridir (Yavuz, 1995). Demaerschalk (1973), Martin (1981), Matney ve Sullivan (1982), Reed ve Green (1984), Green ve Reed (1985), Brooks vd. (2008), Özçelik ve Brooks (2012) ve Özçelik vd. (2012) gibi çalışmalarda geliştirilen modeller de uyumlu gövde çapı modellerine örnek olarak verilebilir.

Fang ve Bailey (1999), kullanılan modelleme yaklaşımına göre (i) *Ampirik Yaklaşımla Geliştirilen Gövde Çapı Modelleri* ve (ii) *Geometrik Yaklaşımla Geliştirilen Gövde Çapı Modelleri* şeklinde bir sınıflandırmayı tercih etmiştir. Ampirik (deneysel verilerle) yaklaşımla geliştirilen modellerde, gövde çapı tahminine konu ağaç gövdesi herhangi bir standart geometrik şekle benzetilmemekte ve modellerin katsayıları ölçüm yoluyla elde edilen verilere bağlı olarak regresyon analizi yöntemiyle belirlenmektedir. Ampirik yaklaşımla geliştirilen modellere örnek olarak Kozak vd. (1969), Max ve Burkhart (1976), Kozak (1988), Perez vd. (1990) ve Newnham (1992) tarafından geliştirilen modeller verilebilir. Geometrik yaklaşımla geliştirilen modellerde ise bazı model katsayıları ağaç gövdelerinin belirli bir geometrik şekle (silindir, paraboloid, koni veya nayloid gibi) benzediği varsayımıyla ya da ağaç türüne (iğne yapraklı veya geniş yapraklı gibi) bağlı olarak standart katsayılar şeklinde alınmakta ve modellerin diğer katsayılarının belirlenmesinde regresyon analizinden yararlanılmaktadır. Ormerod (1973), Biging (1984), Thomas ve Parresol (1991) ve Bi (2000) tarafından yürütülen



çalışmalarda geliştirilen modeller de geometrik yaklaşımla geliştirilen modellere örnek olarak verilebilir.

Sakıcı vd. (2008) ise gövde çapı modellerini tarihsel gelişim süreçlerine bağlı olarak (i) *Basit Polinomial Gövde Çapı Modelleri*, (ii) *Parçalı Polinomial Gövde Çapı Modelleri* ve (iii) *Değişken-Şekil Gövde Çapı Modelleri* olmak üzere üç sınıfta değerlendirmiştir. Basit polinomial gövde çapı modelleri, ağaç gövdesinin herhangi bir yüksekliğindeki gövde çapını ağacın göğüs çapı ve boyunun bir fonksiyonu olarak tanımlayan ve ağacın gövde şeklinin bir bütün olarak ortalama bir şekil katsayısı ile değiştiği varsayımıyla geliştirilen modellerdir (Bruce vd., 1968; Kozak vd., 1969; Bennet ve Swindel, 1972). Bu model yapısında ağaçların gövde şeklindeki değişimin tüm ağaç gövdesi boyunca standart kabul edilmesi, modellerin tahmin başarılarını olumsuz yönde etkilemekte ve bu nedenle de gövde çaplarının tahmininde basit polinomial modeller fazla tercih edilmemektedir (Özdemir, 2018). Parçalı polinomial gövde çapı modelleri, ağaçlarda gövde şeklinin belirli gövde yüksekliklerinde değiştiği varsayımıyla geliştirilen gövde çapı modelleri olup, bu varsayımda ağaç gövdesi dip kütük, ana gövde ve uç kısım olmak üzere üç parçaya ayrılmakta ve toprak seviyesine yakın olan dip kütüğün nayloit, dip kütük ile uç parça arasında kalan ana gövdenin paraboloid ve tepe kısmındaki uç parçanın ise koni biçiminde olduğu varsayılmaktadır. Bu yaklaşımla gövde çaplarının modellenmesinde, söz konusu üç bölümün her biri için çap düşüşleri ayrı ayrı modellenmekte ve gövde çapı modeli, bu üç denklemin bölümler arası geçişleri temsil eden kesişim noktalarında birleştirilmesiyle elde edilmektedir (Max ve Burkhart, 1976; Clark vd., 1991; Fang vd., 2000; Jiang vd., 2005). Değişken-



şekil gövde çapı modellerinde ise, ağaçların gövde şeklinin tüm gövde boyunca sürekli bir biçimde değiştiği varsayılmakta ve gövde çapları söz konusu şekil değişiminin sürekli polinomial fonksiyonlar ile açıklandığı denklemlerle modellenmektedir (Kozak, 1988; Newnham, 1992; Perez vd., 1990; Kozak, 2004).

Gövde Çapı Modellerinin Geliştirilmesinde Kullanılan Modelleme Yaklaşımları

Gövde çapı modellerinin geliştirilmesi ve model parametrelerinin tahmini amacıyla En Küçük Kareler Yöntemi (*OLS*) başta olmak üzere eş zamanlı tahmin yöntemleri (Genelleştirilmiş Moment Metodu, *GMM*; Görünürde Uyumsuz Regresyon, *SUR*; Tam Bilgi Maksimum Olabilirlik Tahmini, *FIML*) ve Doğrusal Olmayan Karışık Etkili Modelleme (*NLME*) tekniği gibi farklı yöntemler kullanılmaktadır. Örneğin Biging (1984), Kozak (1988), Newnham (1992) ve Sharma ve Zhang (2004) gövde çapı modellerinin geliştirilmesinde *OLS* yaklaşımını kullanmıştır. Gövde çapı modellerinin geliştirilmesinde yararlanılan veriler, aynı ağaç üzerinde belirli ya da düzensiz aralıklarla elde edilen çap ölçümlerinden sağlandığı için bu ölçümler arasında bir ilişki vardır. Bu ilişki, regresyon analizinde kovaryans matrisinin eğilimsiz tahmini için şart olan hata terimlerinin bağımsızlık varsayımını ihlal etmektedir. Ayrıca, regresyon modelleri genellikle popülasyon bazlı ve birey bazlı modeller olarak ikiye ayrılmaktadır. Popülasyon bazlı modeller, popülasyon ortalamalarına ilişkin parametreleri tahmin ederken; birey bazlı modeller, bir popülasyon içindeki bireyler için bireye özgü tahminler yaparak daha yüksek tahmin doğruluğu sağlamaktadır. Eğer uyumlu gövde çapı ve gövde hacim tahminleri isteniyorsa, gövde çapı ve hacim denklemleri, her iki tahmindeki



hatayı eş zamanlı minimize etmek amacıyla birlikte çözülebilir. Nitekim; Martin (1981), Fang ve Bailey (1999), Fang vd. (2000), Jiang vd. (2005) ve Coble ve Hilpp (2006) bu tür uyumlu modeller geliştirmiştir. Son yıllarda yapılan araştırmalar, farklı model yapılarının geliştirilmesine ve gövde formundaki bireyler arası varyasyonun ortaya konmasına yönelik yeni yaklaşımlara yoğunlaşmıştır. Bu bağlamda, *NLME* yöntemi, gövde çapı modellerinin geliştirilmesinde giderek daha fazla kullanılmaya başlanmıştır (Gregoire ve Schabenberger, 1996; Garber ve Maguire, 2003; Trincado ve Burkhart, 2006; Yang vd., 2009; Arias-Rodil vd., 2015; Cao ve Wang, 2015). Bu modelleme yaklaşımına ek olarak Kantil Regresyon (*QR*) ve Yapay Sinir Ağları (*ANN*) gibi tekniklerin de gövde çapı modellerinin geliştirilmesinde kullanılmaya başlandığı görülmektedir (Leite vd., 2011; Nunes ve Görgens, 2016; Sakıcı ve Özdemir, 2018). Gövde çapı modellerinin geliştirilmesinde kullanılan geleneksel *OLS* yaklaşımı ile ilgili açıklamaların birçok kaynaktan kolaylıkla temin edilebileceği düşüncesiyle bu çalışma kapsamında yalnızca güncel modelleme yaklaşımlarına yer verilmiş ve bu yaklaşımlar aşağıda detaylı olarak açıklanmaya çalışılmıştır.

1. Doğrusal Olmayan Karışık Etkili Modelleme (*NLME*)

NLME modelleme yöntemi, çoklu hiyerarşik yapı sergileyen veri setlerinde, bireylerin kendi içlerindeki ve bireyler arası ilişkilerin hesaplanmasını sağlarken, model esnekliğini de artırmaktadır. Geleneksel regresyon tekniklerinden farklı olarak, *NLME* hem popülasyona hem de bireye özel sonuçlar elde etmeye olanak tanır. Popülasyona özgü modeller yalnızca sabit etkili



parametreleri içerirken, bireye özgü modeller hem tesadüfi hem de sabit etkili parametreleri barındırır. Bu teknik, yeni bir fert ya da bireye özgü tahmin yapılması gerektiğinde ve gerekli ön bilgilere erişildiğinde, tesadüfi değişkenlerin tahmin edilmesini ve modelin kalibre edilmesini mümkün kılar. Bu özellikler, *NLME*'yi diğer modelleme yöntemlerine göre daha avantajlı hale getirir.

NLME yaklaşımı, bonitet endeks modellerinin (Lappi ve Bailey, 1988; Fang ve Bailey, 2001), ağaç hacim tahminlerinin (Lappi, 1991), gövde çapı modellerinin (Trincado ve Burkhart, 2006; Yang vd., 2009; Özçelik vd., 2011; Arias-Rodil vd., 2015; Cao ve Wang, 2015), büyüme modellerinin (Hall ve Bailey, 2001) ve çap-boy modellerinin (Mehtätalo, 2004; Calama ve Montero, 2004; Sharma ve Parton, 2007; Adame vd., 2008; Crecente-Campo vd., 2010; Cao ve Wang, 2011; Özçelik vd., 2018) geliştirilmesinde yaygın olarak kullanılmıştır.

Burkhart ve Tomé (2012), *NLME*'nin geleneksel regresyon denklemlerine göre üstünlüklerini, tesadüfi ve sabit etkili parametreleri bir arada kullanabilmesi ve hiyerarşik yapı gösteren verilerin varyans-kovaryans matrislerini modelleyebilmesi olarak açıklamıştır. Bu nedenle *NLME* yaklaşımı, bireyler arası ve birey içi değişkenliği daha iyi açıklayarak sabit etkili parametrelerin eğilimsiz ve doğru tahmin edilmesini sağlar (Calama ve Montero, 2004; Jiang vd., 2007). Jiang vd. (2007)'nin çalışmasında, *OLS*, *SUR* ve *NLME* teknikleri kullanılarak *Liriodendron tulipifera* için gövde çapı modelleri geliştirilmiş ve *NLME*'nin daha başarılı ve doğru çap tahminleri sağladığı görülmüştür. Sharma ve Parton (2009), Sharma ve Zhang (2004) tarafından geliştirilen gövde çapı denkleminin



değiştirilmiş bir formunu *NLME* tekniği ile birleştirerek gövde çapı modeli geliştirmiştir. Bu araştırmada, en optimal tesadüfi ve sabit etkili parametre kombinasyonu belirlenmiş, gövde çapı tahminlerindeki hata varyansı homojen bir yapıya kavuşturularak veri yapısındaki ilişkili hata yapısı büyük ölçüde elimine edilmiştir. De-Miguel vd. (2012), *NLME* yaklaşımını kullanarak geliştirdikleri gövde çapı modellerinin tahmin başarılarını karşılaştırdıkları çalışmalarında, kalibrasyon işlemi olmaksızın da *NLME* modelinin sadece sabit etkili parametreleri kullanarak başarılı çap tahminleri yapabildiğini ortaya koymuşlar ve *NLME* yaklaşımıyla gövde çapı modellerinin geliştirilmesinde model başarısının genellikle modeldeki parametre sayısı ile doğru orantılı olduğunu belirlemişlerdir. Gómez-García vd. (2013), *NLME* modellerinde farklı tesadüfi değişken alternatiflerini (tek, iki ve üç parametresi tesadüfi etkili) test etmiştir. Bu kombinasyonlar için parametre tahminleri yapılmış ve her bir alternatif için modelin kalibrasyonu gerçekleştirilmiştir. Ancak elde edilen bulgular, en başarılı tesadüfi değişken alternatifinin her zaman en iyi kalibrasyon yanıtlarını vermediğini ortaya koymuştur.

Arias-Rodil vd. (2015), gövde çapı modellerinin *NLME* yaklaşımı ile geliştirilmesinin üç adımda gerçekleştirilebileceğini ifade etmiştir. Bunlar;

- *Model parametrelerinin niteliğinin belirlenmesi*: Bu aşamada modeldeki parametrelerden hangilerinin sabit etkili ve hangilerinin tesadüfi etkili olması gerektiğinin belirlenmesi gerekmekte olup, bu aşamanın çözümü için iki farklı öneri bulunmaktadır. İlk yöntem, denklemleri her fert için bağımsız olarak çözmektir; ancak bu yaklaşım, her bireyden yeterli sayıda ölçüm



bulunmasını gerektirir. İkinci yöntem ise, tesadüfi ve sabit etkili parametrelerin farklı alternatiflerini denemek ve en uygun kombinasyonu seçmektir. Bu seçim sürecinde, model performansını değerlendirmek için genellikle Akaike Bilgi Kriteri (AIC) ve iki kat negatif logaritmik olabilirlik fonksiyonu (-2LL) gibi istatistiksel ölçütler kullanılmaktadır.

- *Ağaçlar arası varyans-kovaryans matrisinin yapısının kararlaştırılması:* Gövde çapı modellerinin oluşturulmasında yararlanılan çap ölçümleri ağaç gövdeleri boyunca alınan tekrarlı ölçümlerle elde edildiğinden model yapısında bir otokorelasyon problemi olması beklenir. Ancak, modele tesadüfi etkili parametrelerin eklenmesi ile bu problemin önemli ölçüde önüne geçilebilmektedir. Bu durumda da varyans-kovaryans matrisi için genel bir yapının kabul edilmesi yeterli olmaktadır.
- *Hata terimi (R_i) matrisi için uygun birey içi varyans-kovaryans yapısının belirlenmesi:* Bu amaçla, ilişkili hata yapısı (otokorelasyon) ve değişen varyans sorunlarının tanımlanması zorunludur. Yang vd. (2009) ve Sharma ve Parton (2009) gibi bazı çalışmalar, gövde çapı modeline tesadüfi değişken eklenerek birey içi ilişkili hata yapısının hemen hemen ortadan kaldırılabileceğini göstermiştir. Ancak, bu her durumda mümkün olmayabilmektedir (Trincado ve Burkhart, 2006; Gómez-García vd., 2013; Gómez-García vd., 2016). Bu durumda, modele sürekli otoregresif hata yapısının (CAR(1)) eklenmesi önerilebilir. Gövde çapı ölçümlerinin sabit aralıklarla gerçekleştirilmediği durumlarda, bu yaklaşımın karışık etkili model formu için uygun bir çözüm sunduğu belirtilmiştir.

NLME modelleme yaklaşımının teorik temelleri ve hesaplama yöntemleri, Pinheiro ve Bates (2000) tarafından ayrıntılı olarak ele



alınmıştır. Gövde çapı modellerinin *NLME* yöntemiyle geliştirilmesinde, birey içi ve bireyler arası değişkenliği açıklamak için iki aşamalı bir yaklaşım benimsenmektedir. Bu yaklaşım, Davidian ve Giltinan (1995) tarafından önerilmiş olup, aşağıda açıklanmıştır:

1. aşama: Bireyler içi varyasyon

NLME modelinin genel yapısı, birey ölçümleri ile ilişkili tesadüfi ve sistematik değişkenliği ifade etmek amacıyla şu şekilde yazılabilir:

$$y_{ij} = f(\beta_i, x_{ij}) + \varepsilon_{ij} \quad i = 1, \dots, n; \quad j = 1, \dots, n_i$$

Bu denklemde;

y_{ij} : i . ağaç için j . gözlemin ölçülen gövde çapı değerini,

x_{ij} : i . ağaç için j . gözleme ait tahmin vektörünü (örneğin, ağaç boyu, göğüs çapı veya yükseklik gibi bağımsız değişkenler),

$f(\beta_i, x_{ij})$: parametre vektörü (β_i) ve tahmin vektörü (x_{ij}) arasındaki doğrusal olmayan fonksiyonu,

ε_{ij} : ortalaması sıfır, sabit varyansa sahip ve normal dağılım gösteren hata terimini,

n : toplam ağaç sayısını,

n_i : i . ağaç için gövde boyunca ölçülen çap gözlemlerinin sayısını göstermektedir.

Bu denklem, bir ağacın gövdesi boyunca düzensiz aralıklarla yapılan tekrarlı ölçümlerin bir örneğini temsil etmektedir. Özel bir fert veya i . grup için y_{ij} yanıtları $[y_{i1}, y_{i2}, \dots \dots \dots, y_{in}]^T$ vektörü ile kombine edilerek genel formu aşağıdaki gibi yazılabilmektedir:



$$y_i = f(\beta_i, x_i) + e_i \quad e_i | \beta_i \sim N(0, R_i(\beta_i, \xi)), \quad \xi = [\sigma, \theta', \rho']^T$$

Burada; $R_i(\beta_i, \xi)$, hata terimlerinin varyans-kovaryans yapısını temsil ederken; ξ , tüm bireyler için bilinmeyen parametreler vektörünü $[\sigma, \theta', \rho']^T$ şeklinde göstermektedir. Ağaç içi sistematik değişkenlik, hata terimlerinin tesadüfi dağılımı varsayımı ve doğrusal olmayan fonksiyon yardımıyla yukarıdaki yapı ile ifade edilebilir.

Hata terimlerinin varyans-kovaryans matrisi, ağaç içi varyansı ve otokorelasyonu hesaplamak için daha genel bir yapı olarak şu şekilde yazılabilir:

$$R_i(\beta_i, \xi) = \sigma^2 G_i^{1/2}(\beta_i, \theta) \Gamma_i(\rho) G_i^{1/2}$$

Burada; $G_i^{1/2}(\beta_i, \theta)$, ağaç içi değişkenliği tanımlayan $(n_i \times n_i)$ boyutlarındaki bir çapraz matristir. $\Gamma_i(\rho)$, i . ağaç üzerindeki ölçümler arasındaki korelasyon yapısını belirten $(n_i \times n_i)$ boyutunda bir matristir. σ^2 ise modelin artıklarıyla ilişkili varyansı ifade etmektedir.

Eğer birey içi değişkenlik homojen ve hata terimleri birbiriyle ilişkili değilse, varyans-kovaryans matrisi daha basit bir forma indirgenerek şu şekilde ifade edilebilir:

$$R_i = \sigma^2 \Gamma_i(\rho)$$

2. aşama: Bireyler arası varyasyon

Ağaçlar arası varyasyonun hesaplanmasında, β_i parametresi bireyden bireye farklılık göstermektedir. Parametre vektörü β_i , hem



sistematik hem de tesadüfi varyasyonları dikkate alarak aşağıdaki genel formda ifade edilebilir:

$$\beta_i = A_i\beta + B_ib_i \quad b_i \sim N(0, D)$$

Bu denklemde;

A_i ve B_i : sabit ve tesadüfi etkili parametreler için tasarım matrislerini;

β : ($r \times p$) boyutunda sabit etkili parametre vektörünü,

b_i : ($q \times 1$) boyutunda i . ağaç için tesadüfi etkiler vektörünü,

D : tesadüfi etkili parametreler için varyans-kovaryans matrisini,

q ve p : sırasıyla denklemdeki tesadüfi ve sabit etkili parametrelerin sayısını göstermektedir.

Modeldeki tasarım matrisleri (A_i ve B_i), sabit ve tesadüfi etkili parametreleri tahmin etmek için genellikle 0 ve 1 değerlerini içermektedir.

NLME tekniğinde önemli bir konu da modelin kalibrasyon sonuçlarını değerlendirmektir. Kalibrasyon; daha doğru, tutarlı ve güvenilir tahminler elde edilmesine olanak tanır (Trincado ve Burkhart, 2006; Yang vd., 2009; Cao ve Wang, 2011). Gövde çapı denklemlerinin amacı, ölçülmemiş bir birey için ağaç gövdesi üzerindeki farklı çap değerlerini tahmin etmektir. *NLME* tekniği, geleneksel regresyon modellerine kıyasla hem popülasyon düzeyinde (ortalama yanıt) hem de birey düzeyinde (kalibrasyon yanıtı) tahminler sunabilmesi ile öne çıkmaktadır. Bu özellik, birey düzeyinde ön bilgilere sahip olduğunda, yeni bir ağaç için daha hassas ve güvenilir tahminler yapılmasını sağlar. Bu da karışık etkili



modelleme yaklaşımını tahmin doğruluğu açısından daha etkili kılmaktadır.

Ortalama ve kalibrasyon yanıt tahminleri şu şekilde açıklanabilir (Vonesh ve Chinchilli, 1997):

- *Popülasyona Özgü (Ortalama) Tahminler*: Bir bireye ilişkin ön ölçümler mevcut değilse, o ağaç için tesadüfi etkili parametreler tahmin edilemez. Bu durumda, tesadüfi etkilerin beklenen değeri ($E(b_k)=0$) kullanılarak, sadece sabit etkili parametrelerle tahmin yapılabilir. Böylece, sadece sabit etkili parametreler kullanılarak o ağaç için gövde üzerindeki çap değerleri tahmin edilir.
- *Bireye Özgü (Kalibrasyon) Tahminler*: Bu durumda, bir ağacın gövdesi üzerindeki çap değerleri hakkında daha önceden elde edilmiş bilgilere ihtiyaç bulunur. Bu bilgiler sayesinde tesadüfi etkiler vektörü tahmin edilebilir. Bu amaçla, tahmin yapılacak ağacın gövdesi üzerinde bir veya birkaç ek çap ölçümünün yapılması gereklidir. Ancak literatürdeki çalışmalar genel olarak, bir veya daha fazla ek çap ölçümü ile yapılan kalibrasyonlar arasında anlamlı bir fark olmadığını göstermektedir (Trincado ve Burkhart, 2006; Yang vd., 2009; Lejeune vd., 2009; Gómez-García vd., 2013; Arias-Rodil vd., 2015; Gómez-García vd., 2016).

NLME yaklaşımı ile ilgili olarak yukarıda verilen açıklamaların ışığında Max ve Burkhart (1976) tarafından *OLS* yaklaşımı ile geliştirilen parçalı gövde çapı modeli için *NLME* tekniğinin uygulanabilirliği aşağıda açıklanmaya çalışılmıştır. Max ve Burkhart (1976) tarafından geliştirilen gövde çapı modelinin temel formu aşağıdaki gibidir:

$$y = b_1(Z - 1) + b_2(Z^2 - 1) + b_3(a_1 - Z)^2 I_1 + b_4(a_2 - Z)^2 I_2$$



$$y = d^2/D^2, \quad Z = h/H, \quad I_i = \begin{cases} 1 & Z \leq a_i \\ 0 & Z > a_i \end{cases} \quad i = 1, 2$$

Bu denklemde; h , ölçüm noktasının yerden yüksekliğini (m); H , ağaç boyunu (m); D , kabuklu göğüs çapını (cm); d , h yüksekliğinde ölçülen kabuklu gövde çapını (cm); a_i , örneklerden tahmin edilen katılma noktalarını ve b_i , regresyon katsayılarını ifade etmektedir.

Max ve Burkhart (1976) gövde çapı modeli *NLME* tekniği ile aşağıdaki formda yazılabilmektedir:

$$y_{ij} = \beta_{1i}(x_{ij} - 1) + \beta_{2i}(x_{ij}^2 - 1) + \beta_{3i}(\alpha_{1i} - x_{ij})^2 I_1 \\ + \beta_{4i}(\alpha_{2i} - x_{ij})^2 I_2 + e_{ij}$$

$$y_{ij} = d_{ij}^2/D_i^2, \quad x_{ij} = h_{ij}/H_i, \quad I_k = \begin{cases} 1 & x_{ij} \leq \alpha_{ki} \\ 0 & x_{ij} > \alpha_{ki} \end{cases} \quad k = 1, 2$$

Bu denklemde; h_{ij} , i . ağaç için ölçüm noktasının yerden yüksekliğini (m); H_i , i . ağacın boyunu (m); D_i , i . ağacın kabuklu göğüs çapını (cm); d_{ij} , i . ağaç için h_{ij} yüksekliğinde ölçülen kabuklu gövde çapını (cm); $\beta_{1i}, \beta_{2i}, \beta_{3i}, \beta_{4i}, \alpha_{1i}, \alpha_{2i}$ tahmin edilen parametreleri ve e_{ij} , hata terimini ifade etmektedir.

NLME yaklaşımı ile yukarıdaki fonksiyon formunda yazılan bir gövde çapı modeli, SAS yazılımında bulunan “*NLMIXED*” ya da “*%NLINMIX*” prosedürleri kullanılarak kolayca çözülebilmektedir (SAS Institute Inc., 2010).

2. Kantil Regresyon (QR)

Gövde çapı modellerinin geliştirilmesinde *OLS* yönteminin uygulanabilmesi için temel istatistiksel varsayımların sağlanması gereklidir. Ancak, bu varsayımlar yerine getirilemediğinde ve veri



setinde ekstrem değerler bulunduğunda, *OLS* yaklaşımının etkinliği düşmekte ve parametre tahminlerinin varyansında tutarsızlıklar ortaya çıkabilmektedir (West, 1984; Huang vd., 2017). Ayrıca, birçok veri seti normal dağılım göstermediği gibi, önemli ölçüde farklılık gösteren aykırı değerlere de sahip olabilmektedir. Gövde çapı ölçümleri düzenli veya düzensiz aralıklarla aynı ağaç üzerinde yapıldığından, ölçümler arasında ilişki ortaya çıkar ve bu durum, hataların bağımsız olması varsayımını ihlal eder.

Son yıllardaki çalışmalar, hem yeni denklem yapılarının (parçalı veya değişken şekil gövde çapı modelleri gibi) geliştirilmesine hem de gövde formundaki ağaçlar arası değişkenliğin ortaya konulmasına odaklanmıştır. Bu bağlamda kullanılan yeni yaklaşımlardan biri de Kantil Regresyon (Quantile Regression, *QR*) tekniğidir (Cao ve Wang, 2015). Koenker ve Bassett (1978) tarafından geliştirilen *QR*, bağımlı değişkenin herhangi bir kantilinde bağımsız değişkenlerle olan ilişkisini tahmin etmeye yönelik bir yöntemdir. *QR*, özellikle koşullu kantillerin değişkenlik gösterdiği durumlarda daha başarılıdır ve kantillere göre farklı regresyon katsayıları belirlemektedir (Chen ve Wei, 2005).

QR ormancılıkta, hata değerlendirmeleri (Mäkinen vd., 2008), doğal dal budanma sınırlarının belirlenmesi (Zhang vd., 2005; Ducey ve Knapp, 2010), böcek yayılımı (Evans ve Gregoire, 2007) ve hastalık oranlarının (Evans ve Finkral, 2010) belirlenmesi gibi çeşitli uygulamalarda kullanılmıştır. Ayrıca, çap dağılımlarının belirlenmesi (Mehtätalo vd., 2008), çap gelişiminin tahmini (Bohora ve Cao, 2014) ve gövde çapı modellerinin (Cao ve Wang, 2015; Özçelik vd., 2019; He vd., 2021) ve çap-boy modellerinin (Zang vd.,



2016; Özçelik vd., 2018; Xie vd., 2022) geliştirilmesinde de yaygın olarak uygulanmaktadır.

QR yaklaşımı kullanılarak ilk gövde çapı modeli, Cao ve Wang (2015) tarafından geliştirilmiştir. Bu çalışmada, Max ve Burkhart (1976) tarafından geliştirilen gövde çapı denkleminin değiştirilmiş bir formu kullanılarak, iki kantil seti (*3QR* ve *5QR*) yardımıyla gövde çapı tahminleri yapılmıştır. Sonuçlar, *5QR* setini temel alan denklemin daha başarılı olduğunu göstermiştir. Benzer şekilde, Ma ve Jiang (2019), huş ağaçları için *QR* ile farklı kantil setlerini karşılaştırmış ve en iyi sonuçların *5QR* ile elde edildiğini bulmuştur. He vd. (2021) ise dört farklı regresyon tekniğini (*OLS*, *FE*, *QR* ve *GAM*) karşılaştırmış ve *GAM* tekniğinin diğerlerine göre daha başarılı olduğunu, *QR* tekniğinin ise üçüncü sırada yer aldığını rapor etmiştir.

Türkiye’de *QR* yöntemi ormancılık alanında ilk kez Özçelik vd. (2018) tarafından çap-boy modellerinin geliştirilmesinde kullanılmıştır. Özçelik vd. (2019)’nin bir başka çalışmasında ise sabit etkili (*FE*), karışık etkili (*NLME*), kantil regresyon (*3QR* ve *5QR*) ve yapay sinir ağları (*ANN*) yöntemleri karşılaştırılmış ve *NLME*, *3QR* ve *5QR* yaklaşımlarının *FE* yöntemine göre daha iyi sonuçlar ürettiği görülmüştür. İki farklı kantil seti arasında ise *5QR* setinin nispeten daha iyi performans gösterdiği belirtilmiştir.

Kantil regresyon ile gövde çapı modelinin geliştirilmesine ilişkin ayrıntılı bilgiler için Cao ve Wang (2015) ile Özçelik vd. (2019)’a başvurulabilir. Bir önceki bölümde temel formu verilen Max ve Burkhart (1976) gövde çapı modelinin *QR* tekniği ile çözümlenmesine ilişkin bir örnek aşağıda verilmiştir. İlgili gövde



çapı modeli, τ . gövde çapı kantilini tahmin etmek amacıyla *QR* tekniği yardımıyla şu şekilde yazılabilir:

$$\hat{y}_\tau(x_{ij}) = \beta_{1\tau}(x_{ij} - 1) + \beta_{2\tau}(x_{ij}^2 - 1) + \beta_{3\tau}(\alpha_{1\tau} - x_{ij})^2 I_1 \\ + \beta_{4\tau}(\alpha_{2\tau} - x_{ij})^2 I_2$$

Bu denklemde; $\hat{y}_\tau(x_{ij})$, verilen x_{ij} için y 'nin τ . kantilinin tahmin edilen değeri olup, diğer semboller bir önceki bölümde açıklanmıştır.

QR tekniği ile yukarıdaki fonksiyon formunda yazılan bir gövde çapı modeli SAS yazılımında bulunan “*NLP*” prosedürü kullanılarak farklı kantil regresyon setleri için çözülebilmektedir (SAS Institute Inc., 2010).

3. Yapay Sinir Ağları (ANN)

Gövde çapı modellerinin *OLS* yöntemiyle geliştirilebilmesi için gerekli istatistiksel varsayımların karşılanamaması durumuna çözüm olarak yapay zeka teknikleri de kullanılabilir ve alternatif yöntemler arasında en çok tercih edileni Yapay Sinir Ağları (ANN) yöntemidir. ANN, insan beyninin mimarisinden esinlenen bir modelleme tekniğidir ve bu mimarideki sinir hücrelerinin (nöron) sayısal olarak modellenmesi yaklaşımıyla çalışmaktadır (Haykin, 1999; Öztemel, 2006; Elmas, 2007). Yukarıdaki açıklamalarda da değinildiği gibi, canlı popülasyonlardan elde edilen çeşitli biyolojik veriler yardımıyla geliştirilen regresyon modellerinin genellikle otokorelasyon ve çoklu bağlantı problemlerine sahip olduğu bilinmektedir. Son yıllarda, bu sorunları içeren verilere ilişkin modelleme çalışmalarında oldukça esnek bir yapıya sahip olan ANN tekniğinin



kullanımı öne çıkmıştır. Ormancılık literatürüne son yıllarda yapılan çeşitli çalışmalarla (Guan vd., 1997; Liao vd., 1998; Jensen vd., 1999; Zhang vd., 2000; Hasenauer vd., 2001; Corne vd., 2004; Diamantopoulou, 2005; Diamantopoulou ve Milios, 2010; Diamantopoulou ve Özçelik, 2012; Ashraf vd., 2013; Özçelik vd., 2013; Vahedi, 2016; Ercanlı vd., 2018; Günlü ve Ercanlı, 2020; Şenyurt vd., 2020; Skudnik ve Jevšenak, 2022; Costa vd., 2022; Şahin, 2024) girmiş olan ANN tekniğinin gövde çapı modellemesi üzerinde kullanıldığı çalışmalar da bulunmaktadır (Diamantopoulou, 2010; Özçelik vd., 2010; Leite vd., 2011; Özçelik vd., 2014; Nunes ve Görgens, 2016; Sakıcı ve Özdemir, 2018; Socha vd., 2020; Sandoval ve Acuña, 2022; Seki, 2023).

ANN tekniği ile gövde çapı modellerinin geliştirilmesi 3 temel aşamada gerçekleştirilmektedir:

- *Girdi ve çıktılarının tanımlanması:* Gövde çapı modelleri ile bir ağacın göğüs çapı, boyu ve gövde çapı tahmin edilmek istenen gövde yüksekliklerine bağlı olarak ilgili yüksekliklerdeki gövde çapları tahmin edilmek istendiğinden, göğüs çapı, ağaç boyu ve gövde yüksekliği değerleri girdileri oluştururken, gövde çapı değerleri de çıktıyı oluşturmaktadır.
- *Ağ yapısının tasarlanması:* ANN uygulamalarında ağ yapısı tasarlanırken ağ tipinin, ağdaki katman sayısının, katmanlardaki nöron sayılarının, kullanılacak birleştirme ve aktivasyon fonksiyonlarının, ağın eğitiminde kullanılacak öğrenme ve test verilerinin dağılımının ve eğitime ilişkin yineleme sayısının kararlaştırılması gerekmektedir. ANN tekniğinde kullanılacak çeşitli ağ tipleri bulunmakla birlikte çoğunlukla İleri Beslemeli Geri Yayılımlı Ağ tercih edilmekte ve bu ağ tipi de genellikle bir



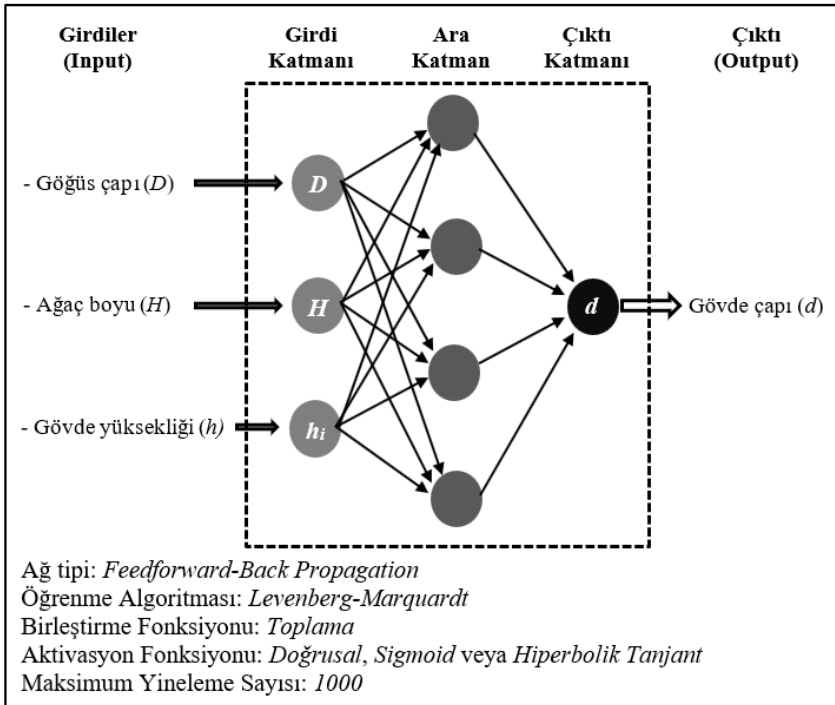
girdi katmanı, bir ara katman ve bir çıktı katmanı ile tasarlanmaktadır. Girdi katmanı girdi verilerini (göğüs çapı, ağaç boyu ve gövde yüksekliği değerleri) temsil eden 3 nöron ve çıktı katmanı da tahmin edilmek istenen gövde çapını temsil eden 1 nöron içermekle birlikte, ara katmandaki nöron sayısı için kesin bir kural bulunmamaktadır. Ancak, n girdi katmanındaki nöron sayısını ve m çıktı katmanındaki nöron sayısını ifade etmek üzere, ara katmanda; Lippmann (1987) $2n+1$ adet, Bailey ve Thompson (1990) $0,75n$ adet, Wong (1991) $2n$ adet, Masters (1993) $(n*m)^{0,5}$ adet ve Tang ve Fishwick (1993) ise n adet nöron kullanılabileceğini ifade etmişlerdir. Bunun yanında, ara katmanda sabit bir sayıda nöron kullanmak yerine alternatif nöron sayılarının karşılaştırılarak en uygun nöron sayısının belirlenmesi de mümkündür. Katmanlar arası bilgi aktarımı için gerekli birleştirme fonksiyonu olarak genellikle toplama fonksiyonu tercih edilmekle birlikte, aktivasyon fonksiyonu olarak da doğrusal, sigmoid ve hiperbolik tanjant fonksiyonlarından biri seçilmektedir. ANN tekniğinde, çalışmaya konu veri setinin öğrenme ve test verileri olarak iki gruba ayrılması gerekmektedir. Bu amaçla, genellikle verilerin %70-80'i öğrenme ve %20-30'u da test verisi olarak değerlendirilmektedir. ANN modellerinde en uygun sonucun (nihai ağırlık değerinin) belirlenebilmesi için ağırlık öğrenme işlemi belirli sayıda yinelemeye tabi tutulmaktadır ve bu amaçla kullanılan birçok yazılımda da bu sayı 1000 yineleme şeklindedir.

- *Ağın eğitilmesi ve çıktılarının elde edilmesi:* Bu aşamada tasarlanan ağ yapısına bağlı olarak çeşitli yazılımlar yardımıyla ağ eğitilmekte ve nihai ağ yapısı kararlaştırılmaktadır. ANN tekniği ile modelleme çalışmalarında genellikle R yazılımının “H2O” prosedürü (R Development Core Team, 2017) ve Matlab



yazılımının “*nntool*” prosedürü (The Math Works Inc., 2017) tercih edilmektedir.

ANN tekniği ile gövde çapı modellerinin geliştirilmesine örnek olarak Özdemir (2018) tarafından Karabük yöresinde yayılış gösteren kayın-gökmar karışık meşcerelerindeki ağaçların gövde çaplarının tahmin edilmesi amacıyla tasarlanan ağ yapısı Şekil 1’de verilmiştir (Şekil 1).



Şekil 1: ANN tasarım örneği (Özdemir, 2018)

Kaynaklar

Adame, P., del Río, M. & Canellas, I. (2008). A mixed nonlinear height–diameter model for pyrenean oak (*Quercus pyrenaica* Willd.). *Forest Ecology and Management*, 256, 88-98.

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

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

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

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

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

Ashraf, M. I., Zhao, Z., Bourque, A., MacLean, D. A. & Meng, F. (2013). Integrating biophysical controls in forest growth and yield predictions generated with artificial intelligence technology. *Canadian Journal of Forest Research*, 43, 1162–1171.

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

Baynazoğlu, F. (2014). Mudurnu-Sırçalı Orman İşletme Şefliğinde yayılış gösteren Anadolu karaçamı [*Pinus nigra* Arnold. subsp. *pallasiana* (Lamb.) Holmboe] meşcereleri için tek ve çift girişli ağaç hacim denklemlerinin geliştirilmesi [Yüksek Lisans Tezi, Çankırı Karatekin Üniversitesi].

Baytaş, S. & Seki, M. (2023). Safranbolu yöresi Kazdağı göknarı (*Abies nordmanniana* subsp. *equi-trojani*) meşcereleri için ağaç hacim tabloları. *Turkish Journal of Forestry*, 24(2), 61-68.

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

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

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

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

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

Bohora, S. B. & Cao, Q. V. (2014). Prediction of tree diameter growth using quantile regression and mixed-effects models. *Forest Ecology and Management*, 319, 62-66.

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

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

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

Byrne, J. C. & Reed, D. D. (1986). Complex compatible taper and volume estimation systems for red and loblolly pine. *Forest Science*, 32(2), 423-443.

Burkhart, H. E. & Tome, M. (2012). *Modeling forest trees and stands*. Dordrecht: Springer.

Calama, R. & Montero, G. (2004). Interregional nonlinear height diameter model with random coefficients for stone pine in Spain. *Canadian Journal of Forest Research*, 34(1), 150-163.

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

Cao, Q. V. & Wang, J. (2011). Calibrating fixed-and mixed-effects taper equations. *Forest Ecology and Management*, 262, 671-673.

Cao, Q. V. & Wang, J. (2015). Evaluation of methods for calibrating a tree taper equation. *Forest Science*, 61(2), 213-219.

Carus, S. & Su, Y. (2014). Antalya–Korkuteli yöresi kızılçam ağaçlandırmaları için tek ve çift girişli ağaç hacim tablosunun düzenlenmesi ve mevcut tablolar ile kıyaslanması. *II. Ulusal Akdeniz Orman ve Çevre Sempozyumu*, 22-24 Ekim 2014, Isparta, (pp. 574-584).

Chen, C. & Wei, Y. (2005). Computational issues for quantile regression. *Sankhyā: The Indian Journal of Statistics*, 67(2), 399-417.

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

Coble, D. W. & Hilpp, K. (2006). Compatible cubic-foot stem volume and upper-stem diameter equations for semi-intensive plantation grown loblolly pine trees in East Texas. *Southern Journal of Applied Forestry*, 30(3), 132-141.

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

Costa, E. A., Hess, A. F., Finger, C. A. G., Schons, C. T., Klein, D. R., Barbosa, L. O., Borsoi, G. A., Liesenberg, V. & Bispo,

P. D. C. (2022). Enhancing height predictions of Brazilian pine for mixed, uneven-aged forests using artificial neural networks. *Forests*, 13(8): 1284.

Crecente-Campo, F., Tomé, M., Soares, P. & Diéguez-Aranda, U. (2010). A generalized nonlinear mixed-effects height–diameter model for *Eucalyptus globulus* L. in northwestern Spain. *Forest Ecology and Management*, 259, 943-952.

Czaplewski, R. L. & McClure, J. P. (1988). Conditioning a segmented stem profile model for two diameter measurements. *Forest Science*, 34(2), 512-522.

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

Çatal, Y. & Güneş, A. (2018). Antalya yöresi ormanları için titrek kavak ağaç hacim tablolarının düzenlenmesi. *Turkish Journal of Forestry*, 19(1), 30-39.

Davidian, M. & Giltinan, D. M. (1995). Nonlinear models for repeated measurement data. *Journal of Agricultural, Biological, and Environmental Statistics*, 8(4), 387-419.

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

Demaerschalk, J. P. & Kozak, A. (1977). The whole-bole system: A conditioned dual-equation system for precise prediction

of tree profiles. *Canadian Journal of Forest Research*, 7(3), 488-497.

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

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

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

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

Diamantopoulou, M. J. & Özçelik, R. (2012). Evaluation of different modeling approaches for total tree-height estimation in Mediterranean region of Turkey. *Forest Systems*, 21(3), 383-397.

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

Ducey, M. J. & Knapp, R. A. (2010). A stand density index for complex mixed species forests in the northeastern United States. *Forest Ecology and Management*, 260(9), 1613-1622.

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

Eraslan, İ. (1954). *Trakya ve bilhassa Demirköy muntikası meşe ormanlarının amenajman esasları hakkında araştırmalar*. Ankara: Orman Genel Müdürlüğü Yayınları.

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

Ercanlı, İ., Kurt, A. K. & Bolat, F. (2014). Adana-Feke kızılçam (*Pinus brutia* Ten.) meşcereleri için gövde çapı ve gövde hacim denklemlerinin karışık etkili modelleme ile geliştirilmesinde bazı varyans yapılarının karşılaştırılması. *II. Ulusal Akdeniz Orman ve Çevre Sempozyumu*, 22-24 Ekim 2014, Isparta, (pp. 585-591).

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

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

Ercanlı, İ., Günlü, A., Şenyurt, M. & Keleş, S. (2018). Artificial neural network models predicting the leaf area index: A case study in pure even-aged Crimean pine forests from Turkey. *Forest Ecosystems*, 5, 1-12.

Evans, A. M. & Gregoire, T. G. (2007). A geographically variable model of hemlock woolly adelgid spread. *Biological Invasions*, 9, 369-382.

Evans, A. M. & Finkral, A. J. (2010). A new look at spread rates of exotic diseases in North American forests. *Forest Science*, 56(5), 453-459.

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

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

Fang, Z. & Bailey, R. L. (2001). Nonlinear mixed effects modeling for slash pine dominant height growth following intensive silvicultural treatments. *Forest Science*, 47(3), 287-300.

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

FAO (2020). *Global Forest Resources Assessment 2020: Main report*. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations.

Figueiredo-Filho, A. & Schaaf, L. B. (1999). Comparison between predicted volumes estimated by taper equations and true volumes obtained by the water displacement technique (xylometer). *Canadian Journal of Forest Research*, 29(4), 451-461.

Flewelling, J. W. & Raynes, L. M. (1993). Variable-shape stem-profile predictions for western hemlock. Part I. Predictions from DBH and total height. *Canadian Journal of Forest Research*, 23(3), 520-536.

Garber, S. M. & Maguire, D. A. (2003). Modeling stem taper of three central Oregon species using nonlinear mixed effects models and autoregressive error structures. *Forest Ecology and Management*, 179(1-3), 507-522.

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

Gómez-García, E., Diéguez-Aranda, U., Özçelik, R., Sal-Cando, M., Castedo-Dorado, F., Crecente-Campo, F., Corral-Rivas, J. J. & Arias-Rodil, M. (2016). Development of a stem taper function using mixed-effects models for *Pinus sylvestris* in Turkey: Selection of fixed parameters to expand. *Revista Bosque*, 37(1), 159-167.

Gray, H. R. (1958). The form and taper of forest-tree stems. *Empire Forestry Review*, 37(1), 119-119.

Gregoire, T. G. & Schabenberger, O. (1996). A non-linear mixed-effects model to predict cumulative bole volume of standing trees. *Journal of Applied Statistics*, 23(2-3), 257-272.

Green, E. J. & Reed, D. D. (1985). Compatible tree volume and taper functions for pitch pine. *Northern Journal of Applied Forestry*, 2(1), 14-16.

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

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

Günlü, A. & Ercanlı, İ. (2020). Artificial neural network models by ALOS PALSAR data for aboveground stand carbon predictions of pure beech stands: A case study from northern of Turkey. *Geocarto International*, 35(1), 17-28.

Hall, D. B. & Bailey, R. L. (2001). Modeling and prediction of forest growth variables based on multilevel nonlinear mixed models. *Forest Science*, 47(3), 311-321.

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

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

He, P., Hussain, A., Shahzad, M. K., Jiang, L. & Li, F. (2021). Evaluation of four regression techniques for stem taper modeling of Dahurian larch (*Larix gmelinii*) in Northeastern China. *Forest Ecology and Management*, 494, 119336.

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

Huang, Q., Zhang, H., Chen, J. & He, M. (2017). Quantile regression models and their applications: A review. *Journal of Biometrics & Biostatistics*, 8(3), 1-6.

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

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

Jiang, L., Brooks, J. R. & Hobbs, G. R. (2007). Using crown ratio in yellow-poplar compatible taper and volume equations. *Northern Journal of Applied Forestry*, 24(4), 271-275.

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

Kahriman, A., Çakır, C. Y. & Şahin, A. (2023). Artvin Ardanuç yöresi Doğu Karadeniz göknarı-Doğu ladini karışık meşcereleri için hacim denklemleri. *Turkish Journal of Forestry*, 24(1), 1-10.

Kalıpsız, A. (1962). *Doğu kayınında artım büyüme araştırmaları*. Ankara: Orman Genel Müdürlüğü Yayınları.

Kapucu, F. (1987). *Ormancılık bilgisi*. Trabzon: KTÜ Orman Fakültesi Yayınları.

Kapucu, F., Yavuz, H., Gül, A. U. & Mısır, N. (2002). *Kestane meşcerelerinin hasılatı ve amenajman esasları*. Trabzon: TÜBİTAK Proje Sonuç Raporu (TOGTAG/TARP-2229).

Koenker, R., & Bassett, G. (1978). Regression quantiles. *Econometrica*, 46, 33-50.

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

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

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

Lappi, J. (1991). Calibration of height and volume equations with random parameters. *Forest Science*, 37(3), 781-801.

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

Lejeune, G., Ung, C. H., Fortin, M., Guo, X. J., Lambert, M. C. & Ruel, J. C. (2009). A simple stem taper model with mixed effects for boreal black spruce. *European Journal of Forest Research*, 128, 505-513.

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

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

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

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

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

Ma, Y. Y. & Jiang, L. C. (2019). Stem taper function for *Larix gmelinii* based on nonlinear quantile regression. *Scientia Silvae Sinicae*, 55(10), 68-75.

Mäkinen, A., Kangas, A., Kalliovirta, J., Rasinmäki, J. & Välimäki, E. (2008). Comparison of treewise and standwise forest simulators by means of quantile regression. *Forest Ecology and Management*, 255(7), 2709-2717.

Martin, A. J. (1981). Taper and volume equations for selected Appalachian hardwood species. *USDA Forest Service, Research Paper NE-490*.

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

Math Works Inc. (2017). Matlab R2017a. The Math Works Inc., Natick, MA, USA.

Matney, T. G. & Sullivan, A. D. (1982). Variable top volume and height prediction for slash pine trees. *Forest Science*, 28, 274-282.

Matney, T. G., Hodges, J. D., Sullivan, A. D. & Ledbetter, J. R. (1985). Tree profile and volume ratio equations for sweetgum and cherrybark oak trees. *Southern Journal of Applied Forestry*, 9, 222-226.

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

Mehtätalo, L. (2004). A longitudinal height–diameter model for Norway spruce in Finland. *Canadian Journal of Forest Research*, 34(1), 131-140.

Mehtätalo, L., Gregoire, T. G. & Burkhart, H. E. (2008). Comparing strategies for modeling tree diameter percentiles from remeasured plots. *Environmetrics*, 19(5), 529-548.

Mısır, N. & Mısır, M. (2004). Developing double-entry tree volume table for Ash in Turkey. *Artvin Orman Fakültesi Dergisi*, 3(4), 135-144.

Miraboğlu, M. (1955). *Göknarlarda şekil ve hacim araştırmaları*. İstanbul: Orman Genel Müdürlüğü Yayınları.

Muhairwe, C. K. (1999). Taper equations for *Eucalyptus pilularis* and *Eucalyptus grandis* for The North Coast in New South Wales, Australia. *Forest Ecology and Management*, 113, 251-269.

Muhairwe, C. K., LeMay, V. M. & Kozak, A. (1994). Effects of adding tree, stand, and site variables to Kozak's variable-exponent taper equation. *Canadian Journal of Forest Research*, 24(2), 252-259.

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

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

Nunes, M. H. & G6rgens, E. B. (2016). Artificial intelligence procedures for tree taper estimation within a complex vegetation mosaic in Brazil. *PloS One*, 11(5), e0154738.

OGM (2020). *T6rkiye orman varlığı*. Ankara: Orman Genel M6d6rl6đ6 Yayınları.

Ormerod, D. W. (1973). A simple bole model. *The Forestry Chronicle*, 49(3), 136-138.

6lmez, K. & Şenyurt, M. (2022). Sarıçam ağağları (*Pinus sylvestris* L.) i7in tek ve 7ift girişli ağağ hacim denklemlerinin geliştirilmesi (Bozalan ve 7ubuk y6resi 6rneği). *Anadolu Orman Araştırmaları Dergisi*, 8(1), 73-82.

6z7elik, R. (2010). Sarıçam i7in uyumlu g6vde 7apı ve g6vde hacim modeli. III. *Ulusal Karadeniz Ormancılık Kongresi*, 20-22 Mayıs 2010, Artvin, (pp. 358-366).

6z7elik, R., Diamantopoulou, M. J. Brooks, J. R. & Wiant Jr, H. V. (2010). Estimating tree bole volume using artificial neural

network models for four species in Turkey. *Journal of Environmental Management*, 91(3), 742-753.

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

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

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

Özçelik, R., Diamantopoulou, M. J., Crecente-Campo, F. & Eler, Ü. (2013). Estimating Crimean juniper tree height using nonlinear regression and artificial neural network models. *Forest Ecology and Management*, 306, 52-60.

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

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

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

Özçelik, R. & Kalkanlı, Ş. (2018). Kaş yöresi doğal kızılçam (*Pinus brutia* Ten.) meşçereleri için ağaç hacim denklemlerinin geliştirilmesi. *Turkish Journal of Forestry*, 19(1), 9-19.

Özçelik, R., Cao, Q. V., Trincado, G. & Göçer, N. (2018). Predicting tree height from tree diameter and dominant height using mixed-effects and quantile regression models for two species in Turkey. *Forest Ecology and Management*, 419, 240-248.

Özçelik, R., Diamantopoulou, M. J. & Trincado, G. (2019). Evaluation of potential modeling approaches for Scots pine stem diameter prediction in north-eastern Turkey. *Computers and Electronics in Agriculture*, 162, 773-782.

Özdemir, G. (2018). Karabük yöresi kayın-gökmar karışık meşçerelerinde gövde çaplarının yapay sinir ağları ile tahmin edilmesi [Yüksek Lisans Tezi, Kastamonu Üniversitesi].

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

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

Petersson, H. (1999). A segmented stem profile model for *Pinus sylvestris*. *Forest Ecology and Management*, 124(1), 13-26.

Pinheiro J. C. & Bates D. M. (2000). *Mixed-effects models in S and S-Plus*. New York: Springer Verlag.

R Development Core Team (2018). R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria.

Real, P. L., Moore, J. A. & Newberry, J. D. (1989). Principal components analysis of tree stem profiles. *Canadian Journal of Forest Research*, 19(12), 1538-1542.

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

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

Sakıcı, O. E. (2002). Kastamonu yöresi Uludağ göknarı (*Abies nordmanniana* (Stev.) Spach. subsp. *bornmulleriana* (Mattf.)) meşcerelerinde gövde profili, hacim ve hacim oran denklem sistemlerinin geliştirilmesi [Yüksek Lisans Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi].

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

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

Sakıcı, O. E. & Özdemir, G. (2018). Stem taper estimations with artificial neural networks for mixed Oriental beech and Kazdağı fir stands in Karabük region, Turkey. *Cerne*, 24(4), 439-451.

Sakıcı, O. E., Sağlam, F. & Seki, M. (2018). Kastamonu Orman Bölge Müdürlüğü karaçam meşcereleri için tek ve çift girişli ağaç hacim denklemleri. *Turkish Journal of Forestry*, 19(1), 20-29.

Sandoval, S. & Acuña, E. (2022). Stem taper estimation using artificial neural networks for Nothofagus trees in natural forest. *Forests*, 13(12), 2143.

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

SAS Institute Inc. (2010). Statistical Analysis Software, Version 9.3. SAS Institute Inc., Cary, NC, USA.

Seki, M. (2023). Predicting stem taper using artificial neural network and regression models for Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) in northwestern Türkiye. *Scandinavian Journal of Forest Research*, 38(1-2), 97-104.

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

Sharma, M. & Parton, J. (2007). Height–diameter equations for boreal tree species in Ontario using a mixed-effects modeling approach. *Forest Ecology and Management*, 249(3), 187-198.

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

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

Skudnik, M. & Jevšenak, J. (2022). Artificial neural networks as an alternative method to nonlinear mixed-effects models for tree height predictions. *Forest Ecology and Management*, 507, 120017.

Socha, J., Netzel, P. & Cywicka, D. (2020). Stem taper approximation by artificial neural network and a regression set models. *Forests*, 11(1), 79.

Sönmez, T., Gencal, B. & Çankaya, E. Ç. (2023). Single- and double-entry volume equations for Turkey oak (*Quercus cerris* L.) stands in Bursa Regional Directorate of Forestry. *Forestist*, 73(1), 51-62.

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

Şahin, A. (2024). Analyzing regression models and multi-layer artificial neural network models for estimating taper and tree volume in Crimean pine forests. *iForest-Biogeosciences and Forestry*, 17(1), 36.

Şahin, A. & Ercanlı, İ. (2023). An evaluation of various probability density functions for predicting diameter distributions in pure and mixed-species stands in Türkiye. *Forest Systems*, 32(3), e016.

Şentürk, N. (1997). Dişbudak (*Fraxinus angustifolia* Wahl. subsp. *oxycarpa* (Bieb. Ex Willd) Fanco & Rocha Afonso) gövde

hacim ve ağaç hacim tablolarının düzenlenmesi [Yüksek Lisans Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi].

Şenyurt, M., Ercanlı, İ., Günlü, A., Bolat, F. & Bulut, S. (2020). Artificial neural network models for predicting relationships between diameter at breast height and stump diameter: Crimean pine stands at ÇAKÜ Forest. *Bosque*, 41(1), 25-34.

Şenyurt, M. & Ümit, M. (2019). Asarkaya kızılçam meşcereleri için tek ve çift girişli ağaç hacim denklemlerinin geliştirilmesi. *Anadolu Orman Araştırmaları Dergisi*, 5(2), 108-116.

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

Tatsuo, S. (1988). A theoretical stem taper curve (II). *Journal of Japan Forest Society*, 70, 199-205.

Therien, G. & Camire, C. (1986). Use of taper curve solved by an algebraic method in silvicultural research. *The Forestry Chronicle*, 62, 529-532.

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

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

Vahedi, A. A. (2016). Artificial neural networks application in comparison with modeling allometric equations for predicting

above-ground biomass in the Hyrcanian mixed-beech forests of Iran. *Biomass and Bioenergy*, 88, 66-76.

Vonesh, E. & Chinchilli, V. M. (1997). *Linear and nonlinear models for the analysis of repeated measurements*. Boca Raton: CRC press.

West, P. W., Ratkowsky, D. A. & Davis, A. W. (1984). Problems of hypothesis testing of regressions with multiple measurements from individual sampling units. *Forest Ecology and Management*, 7(3), 207-224.

Williams, M. S. & Reich, R. M. (1997). Exploring the error structure of taper equations. *Forest Science*, 43(3), 378-386.

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

Xie, L., Widagdo, F. R. A., Miao, Z., Dong, L. & Li, F. (2022). Evaluation of the mixed-effects model and quantile regression approaches for predicting tree height in larch (*Larix olgensis*) plantations in northeastern China. *Canadian Journal of Forest Research*, 52(3), 309-319.

Yang, Y., Huang, S., Trincado, G. & Meng, S. X. (2009). Nonlinear mixed-effects modeling of variable-exponent taper equations for lodgepole pine in Alberta, Canada. *European Journal of Forest Research*, 128, 415-429.

Yavuz, H. (1995). *Uyumlu ve uyumsuz gövde çapı modelleri*. Trabzon: KTÜ Orman Fakültesi Yayınları.

Yavuz, H. (1999). Taşköprü yöresinde karaçam için hacim fonksiyonları ve hacim tabloları. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*, 23(5), 1181-118.

Yavuz, H. & Sakıcı, O. E. (2002). Gövde profili modellerinin bilimsel ve pratik açıdan irdelenmesi. *Orman Amenajmanında Kavramsal Açılımlar ve Yeni Hedefler Sempozyumu*, 18-19 Nisan 2002, İstanbul, (pp. 233-241).

Zang, H., Lei, X. & Zeng, W. (2016). Height–diameter equations for larch plantations in northern and northeastern China: A comparison of the mixed-effects, quantile regression and generalized additive models. *Forestry: An International Journal of Forest Research*, 89(4), 434-445.

Zhang, L., Bi, H., Gove, J. H. & Heath, L. S. (2005). A comparison of alternative methods for estimating the self-thinning boundary line. *Canadian Journal of Forest Research*, 35(6), 1507-1514.

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

BÖLÜM III

Genç Karaçam Meşcerelerinde Hacim Denklemlerinin Kullanılabilirliği ve Eskişehir-Çifteler Yöresine Ait Hacim Denklemleri

Abdurrahman ŞAHİN¹
Faruk EKİCİ²
İlker ERCANLI³

Giriş

Ağaç servetine bağlı olan odun üretimi, Orman İşletmelerde sermayeyi oluşturan en büyük kısımdır (Kalıpsız, 1984; Yeşil, 1992; Yavuz, 1999; Kapucu, 2004). Dolayısıyla, ormanlar planlanırken üretime ilişkin işlerin düzenlenebilmesi (Fırat, 1973; Kalıpsız, 1984; Carus & ark., 2016), toplam ağaç hacminin (Diéguez-Aranda & ark., 2006) ve bu hacimden elde edilebilecek oduna dayalı ürün çeşidi

¹ Doç. Dr., Artvin Çoruh Üniversitesi, Orman Fakültesi, Orman Mühendisliği Bölümü, Artvin/Türkiye, Orcid: 0000-0002-9435-9844, asahin@artvin.edu.tr

² Orman Mühendisliği Bölümü Öğrencisi, Artvin Çoruh Üniversitesi, Orman Fakültesi, Orman Mühendisliği Bölümü, Artvin/Türkiye, Orcid: 0009-0009-7914-0527, f32908615@gmail.com

³ Prof. Dr., Çankırı Karatekin Üniversitesi, Orman Fakültesi, Orman Mühendisliği Bölümü, Çankırı/Türkiye, Orcid: 0000-0003-4250-7371, ilkerercanli@karatekin.edu.tr



oranlarının belirlenebilmesi (de-Miguel & ark., 2012) için hacim miktarlarının (tek ağaçta ve meşcerede) en doğru şekilde hesaplanması gerekmektedir (Kalıpsız, 1984; Yavuz, 1999; Kapucu, 2004; Crecente-Campo, Alboreca, & Diéguez-Aranda, 2009; Castedo-Dorado & ark., 2012; Özçelik & Çevlik, 2017; Özçelik & Kalkanlı, 2018; Sakıcı, Sağlam, & Seki, 2018).

Ağaçları gerçek değerlerini hiç kesmeden belirleyebilmek; yalnızca istatistiksel denklemler aracılığıyla sağlanabilmektedir (Carus & Su, 2014). Ancak, ağaç gövde formlarının bilindik geometrik şekillerden (nayoit, silindir, parabolit ve koni gibi) farklı olması nedeniyle; hacimlerini hesaplamak için geleneksel yöntemlerden çok farklı olan yöntem ve yaklaşımlar geliştirilmiştir (Yavuz, Gül, Mısır, Özçelik, & Sakıcı, 2002; Şenyurt & Ümit, 2019). Geliştirilmelerinin ve kullanımlarının daha pratik olmaları nedeniyle, ağaç hacim denklem (Model ya da tabloları, dikili bir ağacın gövde hacmini tahmin etmek amacıyla en çok kullanılan yöntemlerden birisidir (Kalıpsız, 1984; 1999).

Bu tablolar, göğüs yüksekliğindeki çap ($d_{1,30}$) ile ağacın toplam boyu gibi kolay ölçülebilen ağaç parametrelerinin kullanılmasıyla, ölçümü oldukça zor olan ağaç hacmini tahmin eden tablolar olup; çap ve boy ile hacim arasındaki korelasyon katsayısı yüksek olan ilişkinin, regresyon denklemleriyle üretildiği modeller ve bu modellerden oluşturulan tablolarıdır (Bozkuş & Carus, 1997). Bu nedenle hacim denklemleri/tablolari geliştirilirken, çoğunlukla bağımsız değişken olarak sadece çapın kullanıldığı (tek girişli) veya çapla birlikte boyun da kullanıldığı (çift girişli) denklemler yaygın olarak türetilmekte; bunlardan ayrı olarak çap ile boyun yanı sıra



gövde şekil katsayısı, ağacın tepe başlangıç yüksekliği/uzunluğu gibi çeşitli değişkenlerin kullanıldığı çok girişli denklemler de geliştirilmektedir (Loetsch, Zöhrer, & Haller, 1973; Philip, 1994; Mısır & Mısır, 2004; Laar & Akça, 2007; Burkhart & Tomé, 2012) geliştirilmektedir.

Orman Amenajman planları kullanılarak yönetilen ormanlarımızda, yöresel ya da bölgesel olarak hazırlanan ağaç hacim tablo veya denklemlerinin, farklı planlama birimlerinde ve hatta daha geniş coğrafyalarda da kullanılabilirdiği görülmektedir. Bu nedenle, ağaç hacimleri belirlenirken de istenmeyen derecede büyük hatalar tespit edildiği (Brooks, Jiang, & Özçelik, 2008; Özçelik, 2008); hatta Pillsbury McDonald ve Simon (1995)'e göre %40'a kadar yükselebilen derecede hatalı tahminlerle karşılaşılabilirdiği ifade edilmiştir. Brooks ve Wiant (2008)'e göre; hacim çalışması yapılacak ağacın türüne ve önemine göre, farklı bonitetlerdeki meşcereler için özel ağaç hacim çalışmaları yapılması önerilmiştir (Sakıcı vd., 2018). Bu nedenle de kapsadıkları alanın büyüklüğüne göre ağaç hacim tabloları; sadece düzenlendikleri yöreyi temsil eden tek girişli (çap) "yöresel", tüm ülkeyi temsil eden genellikle çift girişli (çap ve boy) olan "bölgesel" ve belli türleri veya bütün ağaç türlerini içeren ve hemen her yerde geçerli şekilde kullanılabilecek bir dizi şeklinde olan "genel ve tek girişli olan hacim tabloları" olmak üzere üç farklı şekildedir (Loetsch vd., 1973; Laar & Akça, 1997; Kapucu & ark., 2002).

Ülkemizde grafik yöntemle (Eraslan, 1954; Kalıpsız, 1962; Evcimen, 1963) ve istatistik metotlarla (Miraboğlu, 1955; Alemdağ, 1962; Alemdağ, 1967; Akalp, 1978; Sun vd., 1978; Asan, 1984;



Bozkuş & Carus, 1997; Mısır & Mısır, 2004) türetilmiş birçok ağaç türümüz için hacim denklemleri mevcuttur. Ayrıca, yöresel ve bölgesel ağaç hacim denklem ve tabloları (Saraçoğlu, 1988; Saraçoğlu, 1991; Çalışkan & Yeşil, 1996; Bozkuş & Carus, 1997; Yavuz, 1999; Özkurt, 2000; Sakıcı & Yavuz, 2003; Özçelik, 2010; Özçelik & Çevlik, 2017; Kahrıman, Sönmez, & Şahin, 2017; Sakıcı vd., 2018; Şahin & Ercanlı, 2023) ile ağaçlandırma alanları için geliştirilmiş ağaç hacim denklem ve tablolarımız (Ercanlı & ark., 2008; Carus & Su, 2014; Carus & ark., 2016) mevcuttur. Bunlardan ayrı olarak ülkemizde, yapay sinir ağlarıyla (YSA) da ağaç hacmini belirleyen bilimsel çalışmalar yapılmıştır (Ercanlı & ark., 2018; Şenyurt & Ercanlı, 2019).

Türkiye’de kanaatkâr yapısı sayesinde, çeşitli yetiştirme ortamlarında yayılış gösteren karaçam, ülke ormanlarının yaklaşık %17,5’ini kaplamakta (4,08 milyon ha yayılışa sahip) olup alansal dağılım açısından kızılçam ve meşeden sonra üçüncü sırada gelen asli türümüzdür (OGM, 2022). Diğer taraftan OGM, 2006 ve OGM, 2015’e göre karaçam, 297 milyon m³ servet ve 8,3 milyon m³ artım miktarıyla da ülkemizde ilk sıradaki ağaç türümüzdür. Geniş yayılış alanı, artım ve üretim miktarlarının fazla olması hususları dikkate alındığında, karaçamın her gelişim çağında doğru şekilde hacim hesaplaması oldukça önemlidir.

Karaçam türümüz için bugüne kadar, Gülen (1959) ile Sun vd. (1978) tarafından ülke geneli; Yavuz (1999) tarafından Taşköprü yöresi; Baynazoğlu (2014) Mudurnu-Sırçalı OİŞ; Özdal (2014) tarafından Yozgat OİM için, Carus vd. (2016) tarafından Şehit Ali İhsan Kalmaz Ormanı (ağaçlandırma); Sakıcı vd. (2018) tarafından



Kastamonu OBM ve Şahin & Ercanlı (2023) tarafından İç Anadolu ve Akdeniz Bölgesi için farklı ağaç hacim denklem ve tabloları geliştirilmiştir. Ancak aralama müdahalelerinin uygulandığı, genç (sıklık ve sııklık çağındaki, ince çaplı) meşcerelerde, hali hazırdaki bu ağaç hacim denklemleri ya da tablolarının, ne kadar başarılı hacim tahmini yapabildikleri konusu çok az araştırmaya konu olmuştur.

Bu araştırma kapsamında, araştırma alanı olan Eskişehir Orman Bölge Müdürlüğü (OBM) Seyitgazi Orman İşletme Müdürlüğü (OİM)'ne bağlı Çifteler Orman İşletme Şefliği (OİŞ)'ndeki genç karaçam meşcereleri (sıklık ve sııklık çağındaki) için tek (çap) ve çift (çap ve boy) girişli ağaç hacim denklemleri üretilmiş ve hali hazırdaki karaçam denklemleriyle kıyaslaması yapılmıştır. Ayrıca çalışma kapsamında bugüne kadar geliştirilmiş olan karaçam ağaç hacim denklemlerinin, genç karaçam meşcerelerindeki hacim hesabında başarılı olup olmadıklarını test etmek ve mevcut denklemlerin bu meşcerelerdeki ince çaplı karaçamların hacim hesabındaki hata oranlarını karşılaştırmak amaçlanmıştır. Bu şekilde, genç karaçam meşcereleri için yeni bir ağaç hacim denklemine ihtiyaç olup olmadığı konusu da araştırılmıştır.

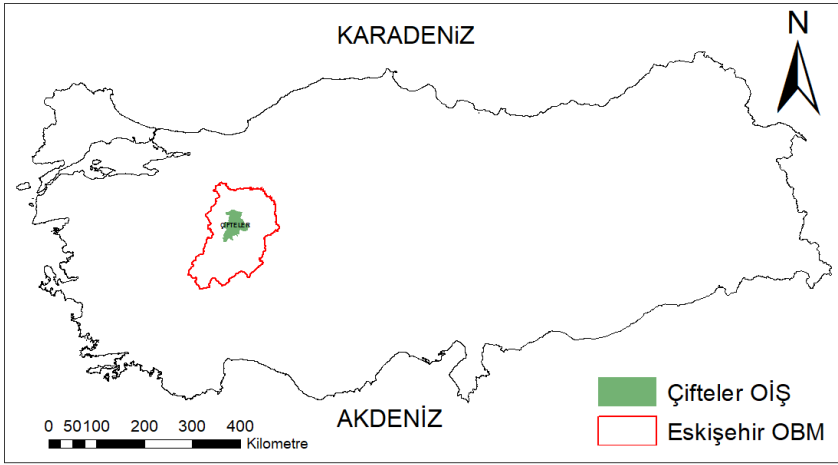
Materyal ve Yöntem

Materyal

Araştırma alanı Eskişehir OBM Seyitgazi OİM sınırlarında bulunan Çifteler OİŞ'dir. Çifteler OİŞ'nin batısında ise Seyitgazi ve Büyükyayla OİŞ'ler; kuzeyinde Eskişehir (Eskişehir OİM), Alpu



(Çatacak OİM) ve Beşpınar (Mihalıççık OİM) OİŞ'ler; doğusunda Mihalıççık OİŞ (Mihalıççık OİM) ile güneyinde Afyon ve Emirdağ OİŞ'ler (Afyon OİM) bulunmaktadır (Şekil 1). Araştırma alanının hâkim ağaç türü karaçam olup, alanda karaçamla karışık olan veya yer yer saf olarak yayılış gösteren Ardıç meşcereleri de bulunmaktadır.



Şekil 1: Araştırma Alanı: Çifteler Orman İşletme Şefliği

Çifteler Bölgesi çeşitli yükseklik sınıfları içermesine rağmen genellikle düz ve sade yüzey şekillerinden oluşmaktadır ve alanın ortalama rakımı 850-900 m arasında değişmektedir. En önemli akarsularımızdan biri olan Sakarya Nehri, Çifteler ilçesindeki Sakaryabaşı mevkiinden kaynağını almaktadır (Şahbaz, 2007).

Araştırma alanında kesilen bu genç karaçam ağaçlarından tomruk sınıfına giren odun ürünleri de Aslanoğlu Kereste Fabrikasına pazarlanmakta, ayrıca yöredeki orman köylülerinin yakacak vb. ihtiyaçlarını gidermektedir.



Çalışma kapsamında, bakım kesimi yapılan farklı yetiştirme alanlarındaki meşcereler belirlenmiş ve bu alanların her birinde farklı çap ve boylarda olan sağlıklı ağaçlardan kesilen sağlam tepe yapısında, düzgün ve tek gövdeli 203 örnek ağaç kesilmiş ve budanmıştır. Kesilen örnek ağaçların, dip kütük yüksekliğinden (0,30 m) başlanmak üzere tepeye kadar 1'er m arıklarla (1,30 m, 2,30 m, 3,30 m, ... şeklinde) kabuklu gövde çapları ve toplam gövde boyları (cm hassasiyetinde) ölçülmüştür. Bu çalışmada elde edilen veri setine (örnek ağaçlara) ait tanımlayıcı istatistikler Tablo 1'de verilmiştir.

Tablo 1: Örnek ağaçlara ilişkin çeşitli tanımlayıcı istatistikler

Değişkenler	N (adet)	Min.	Maks.	Aritmetik ortalama	Standart sapma
d (cm)	173 denklem verisi	3,0	36,0	14,94	6,981
h (m)		3,3	15,0	6,976	2,082
V (dm ³)		1,9	922,6	117,405	142,07
d (cm)	30 kontrol verisi	4,0	28,5	14,26	6,721
h (m)		3,5	11,9	6,87	2,024
V (dm ³)		4,4	460,2	103,66	117,188

Yöntem

Örnek ağaçların gövde boyunca ölçülmüş olan çap değerleri kullanılarak bölümleme (seksiyon) yöntemi ile kabuklu gövde hacimleri hesaplanmıştır. Bu aşamada bölümleme yönteminin tercih edilmesinin nedeni, ağaç gövdesinin kısa parçalara ayrılarak daha doğru şekilde hacim hesaplanabilmesidir. Zira, ağaç gövdesi kısa parçalara bölündüklerinde, daha düzgün şekil oluşturmakta ve dönele



cisimlere daha fazla oranda benzerlik göstermektedirler (Carus, 2002). Kısa parçalara ayrılan bu gövde parçalarından dip kütüklerin hacmi silindir formülüyle (1); seksiyonların (ara gövde parçaları) hacmi Smalian formülüyle (2) ve uçta kalan parçaların hacmi de koni formülüyle (3) hesaplanmış, ardından tüm parça hacimleri toplanarak örnek karaçam ağaçlarının toplam gövde hacimleri bulunmuştur. Araştırma kapsamında ölçülen 203 örnek ağaç verisinden 173 adedi (%85'i) karaçam hacim denklemlerinin geliştirilmesi amacıyla model veri grubu olarak kullanılmış; geriye kalan 30 adedi (yaklaşık %15'i) ise geliştirilen hacim modellerinin uygunluklarının denetlenmesi amacıyla kontrol veri grubu olarak ayrılmıştır (Tablo 2'de).

$$V_{\text{dip kütük}} = \frac{\pi}{4} \cdot d_{0,3}^2 \cdot l \quad (1)$$

$$V_{\text{smalian}} = \frac{\pi}{4} \cdot \left(\frac{d_0^2 + d_n^2}{2} \right) \cdot l \quad (2)$$

$$V_{\text{uç}} = \frac{1}{3} \cdot \frac{\pi}{4} \cdot d_n^2 \cdot l \quad (3)$$

Burada; V : Kabuklu hacim-gövde (m^3), $d_{0,3}$: gövdenin dipteki (0,3 metredeki) çapı (cm), d_0 - d_n : bölünmüş gövde kesitinin ince ve kalın ucundaki çaplar (cm) ve l : kesit uzunluğu (m) anlamında kullanılmıştır.



Tablo 2: Örnek ağaçların çap ve boy basamaklarına dağılımı

Çap basamakları (cm)	Boy basamakları (m)							Toplam
	2,0-3,9	4,0-5,9	6,0-7,9	8,0-9,9	10,0-11,9	12,0-13,9	14,0-15,9	
0,0-3,9	3							3
4,0-7,9	8 (2)	22 (3)						25 (5)
8,0-11,9		26 (4)	17 (3)					36 (7)
12,0-15,9		8 (1)	34 (5)	4				40 (6)
16,0-19,9		2	23 (3)	10 (2)				30 (5)
20,0-23,9			9 (2)	12 (2)	1			18 (4)
24,0-27,9			2	8 (1)	4 (1)		1	13 (2)
28,0-31,9					6 (1)			5 (1)
32,0-35,9					1	1	1	3
Toplam	9 (2)	50 (8)	72 (13)	29 (5)	10 (2)	1	2	203

* Bu tabloda parantez içindeki sayılar, seçilen kontrol ağaçlarını ifade etmektedir.

Çalışma kapsamında, bölümlene yöntemiyle model veri grubundaki 173 örnek ağacın hesaplanan hacimleri kullanılarak; Çifteler OİŞ genç karaçam meşcereleri için yeni, yöresel tek ve çift girişli hacim denklemleri geliştirilmiştir. Ağaç hacim denklemleri geliştirme aşamasında; ulusal ve uluslararası literatürde yaygın olarak kullanılan beş adet tek girişli (4-8) ve yedi adet çift girişli ağaç hacim denklemleri (9-15) test edilmiştir. Çeşitli başarı ölçütlerine göre (hata oranları en düşük ve belirtme katsayıları en yüksek olan) tek ve çift girişli karaçam hacim denklemleri belirlenmiştir.



Tek Girişli Ağaç Hacim Denklemleri

$$\text{Kopezky - Gehrhardt} \quad V = b_0 + b_1 \cdot d^2 \quad (4)$$

$$\text{Dissescu - Meyer} \quad V = b_1 \cdot d + b_2 \cdot d^2 \quad (5)$$

$$\text{Hohenadl - Krenn} \quad V = b_0 + b_1 \cdot d + b_2 \cdot d^2 \quad (6)$$

$$\text{Berkhout} \quad V = b_0 \cdot d^{b_1} \quad (7)$$

$$\text{Yöresel Hacim T. (Husch,1963)} \quad \log V = b_0 + b_1 \cdot \log d \quad (8)$$

Çift Girişli Ağaç Hacim Denklemleri

$$\text{Schumacher - Hall} \quad V = b_0 \cdot d^{b_1} \cdot h^{b_2} \quad (9)$$

$$\text{Schumacher - Hall} \quad \log V = b_0 + b_1 \cdot \log d + b_2 \cdot \log h \quad (10)$$

$$\log V = b_0 + b_1 \cdot \log d + b_2 \cdot (\log h)^2 \quad (11)$$

$$\log V = b_0 + b_1 \cdot \log d + b_2 \cdot (\log h)^4 \quad (12)$$

$$\log V = b_0 + b_1 \cdot (\log d)^2 + b_2 \cdot \log h \quad (13)$$

$$\log V = b_0 + b_1 \cdot (\log d)^2 + b_2 \cdot (\log h)^2 \quad (14)$$

$$\text{Orman Araştırma Enstitüsü
Baden - Wuerttemberg -
Düzelme} \quad \log V = b_0 + b_1 \log \cdot d^2 + b_2 \cdot \log d^2 \quad (15)$$

*4-15 nolu denklemler için, V : gövdenin kabuklu hacmi (dm^3), d : göğüs yüksekliğindeki kabuklu çapı (cm) ve h : ağacın toplam boyu (m) anlamında kullanılmıştır.

Çalışma kapsamında geliştirilen denklemler arasında en başarılı olanların belirlenmesi için $R^2_{\text{düz.}}$, OH, OMH, OMHY, THY ve HKOK (16-21) gibi çeşitli başarı ölçütleri kullanılmıştır.



$$\text{Ortalama Hata (OH)} \quad OH = \frac{\sum_{i=1}^n (V_i - \hat{V}_i)}{n} \quad (16)$$

$$\text{Ortalama Mutlak Hata (OMH)} \quad OMH = \frac{\sum_{i=1}^n |V_i - \hat{V}_i|}{n} \quad (17)$$

$$\text{Toplam Hata Yüzdesi (%TH)} \quad \%TH = \frac{\sum (V_i - \hat{V}_i)}{\sum V_i} \cdot 100 \quad (18)$$

$$\text{Ortalama Mutlak Hata Yüzdesi (%OMH)} \quad \%OMH|\%D| = \left(\frac{\sum |V_i - \hat{V}_i|}{\sum V_i} \right) \cdot 100 \quad (19)$$

$$\text{HKOK (Hata Kareler Ortalamasının Karekökü)} \quad HKOK = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (V_i - \hat{V}_i)^2}{n - p}} \quad (20)$$

$$\text{R}^2_{\text{düz.}} \text{ (Düzeltilmiş Belirtme Katsayısı)} \quad R^2_{\text{düz.}} = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (V_i - \hat{V}_i)^2 \cdot (n - 1)}{\sum_{i=1}^n (V_i - \bar{V})^2 \cdot (n - p)} \quad (21)$$

*Bu eşitliklerde V_i : Ölçümle hesaplanmış olan gövde hacmi; \hat{V}_i : Tahminle bulunan gövde hacmi; \bar{V} : Ortalama gövde hacmi; n : Örneklenen ağaç sayısı; p : Denklemden kullanılan parametre sayısı anlamında kullanılmıştır.

Uygun hacim denklemleri arasında en başarılı olana karar verebilmek için kullanılan başarı ölçütlerinden $R^2_{\text{düz.}}$ yüksek, diğer hata ölçütlerinin ise düşük olması beklenmektedir. Bu aşamada geliştirilen denklemlerin başarı sıralaması için Poudel & Cao (2013)'ün önerdiği rölatif sıralamaları kullanılmıştır (22).

$$R_i = 1 + \frac{(k - 1) \cdot (S_i - S_{\min.})}{S_{\max.} - S_{\min.}} \quad (22)$$

*Bu denklemden, R_i : i . ilgili denklemin rölatif sırası ($i = 1, 2, 3, \dots, k$), k : çalışma kapsamında test edilen denklem sayısı, S_i : i . denklemle üretilen uyum istatistiği, $S_{\min.}$: S_i 'nin minimum değeri, $S_{\max.}$: S_i 'nin maksimum değeri anlamında kullanılmıştır.

Burada, kullanılan bütün hacim denklemlerine başarı durumuna göre 1'den başlanarak puan verilirken, aynı derecede başarıya sahip olanlara ise sıra sayılarının aritmetik ortalaması



verilmiş, ardından her bir hacim denkleminin toplam başarı puanı (Rank) hesaplanmıştır. Bu aşamada uygulanan puanlama veya sıralama sisteminde en yüksek başarıya sahip olan denklemlerden başarısızca doğru, 1'den k'ya kadar puan verilmektedir (Alkan & Özçelik, 2020; Ercanlı, 2020a; b). Bu puanlama sonucunda, toplam puanı en düşük olan denklem, ağaç hacmini en başarılı olarak tahmin edebilen denklem olarak kabul edilmiştir.

Çalışma kapsamında geliştirilen kabuklu ağaç hacim denklemlerinin ve bunun yanı sıra hali hazırdaki (yukarıda bahsedilen) karaçam hacim denklemlerinin Çifteler OİŞ'deki karaçam meşcerelerine uygunluğu ise kontrol veri grubu olan 30 ağaç kullanılarak "bağımsız örneklem t-testi" aracılığıyla denetlenmiştir. Bunun için hali hazırda kullanılmakta olan karaçam ağaç hacim denklem ve tablolarına göre yeniden hesaplanmıştır. Ardından, bölümlenme yöntemiyle hesaplanan hacim değerleri (gerçek hacim: $V_{gerçek}$) ile her bir denkleme göre hesaplanan hacim değerleri (V_{model}) arasında uygunluk analizleri ve karşılaştırmalar yapılmıştır. Son aşamada ise tüm hacim denklemlerine göre hesaplanan sonuçları kıyaslanarak yorumlanmış ve Çifteler yöresi genç karaçam meşcereleri ilgili (tek ve çift girişli) ağaç hacim tabloları üretilmiştir.

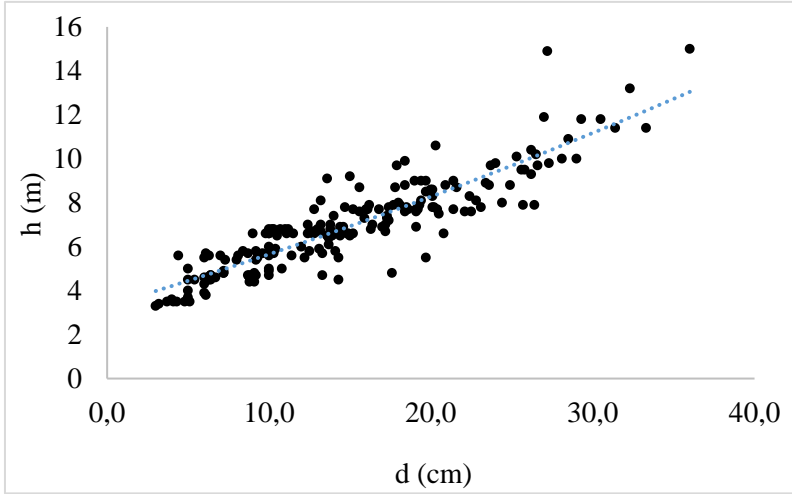
Bulgular

Çalışma kapsamında, ölçümü yapılan 203 örnek (tüm veri) genç karaçam ağacının ilgili parametreleri arasındaki ilişkileri ön değerlendirme olarak ortaya koyabilmek amacıyla çap-boy ilişkisi

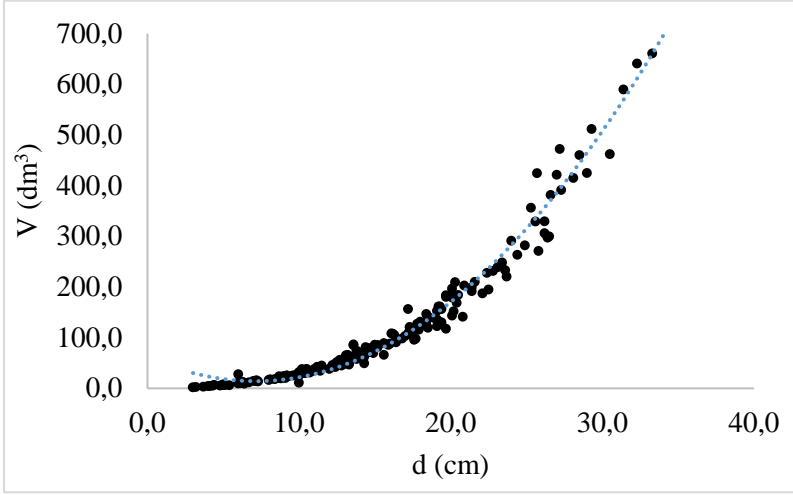


Şekil 2’de; çap hacim ilişkisi Şekil 3’te ve boy-hacim ilişkisi de Şekil 4’te verilmiştir.

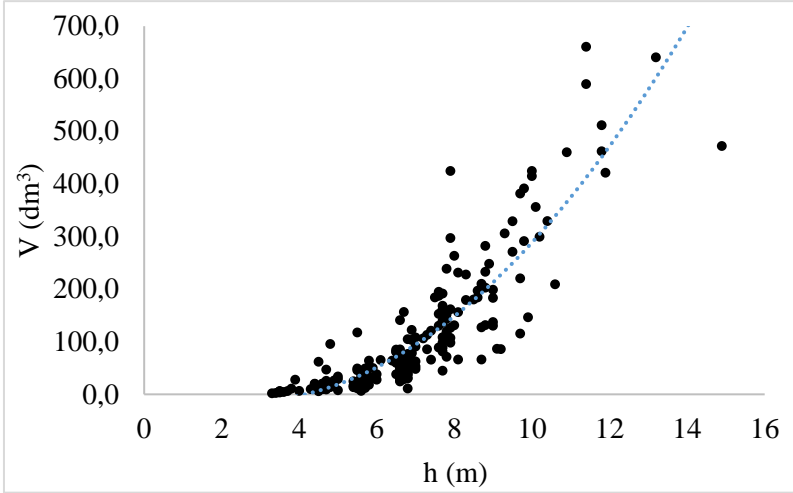
Çifteler Yöresindeki genç karaçam meşcerelerinden ölçülmüş olan örnek ağaç verileri (173 ağaç, model verisi) kullanılarak, daha önceki bölümde verilen ve yaygın olarak kullanılan ağaç hacim denklemleri (4-15) denenmek suretiyle ağaç hacim denklemleri (tek ve çift girişli) geliştirilmiştir. Test edilen 5 farklı tek girişli ve 7 farklı çift girişli ağaç hacim denkleminin model sonuçlarına göre başarı ölçütleri hesaplanmıştır. Ardından, 22 nolu denklemde belirtilen formülle, test edilen denklemlerinin başarı puanları hesaplanmış ve (tek ve çift girişli denklemler ayrı olmak üzere) rölatif sıralamaları yapılmıştır (Tablo 3’te).



Şekil 2: Kabuklu göğüs çapı- ağaç boyu ilişkisi



Şekil 3: Kabuklu göğüs çapı-kabuklu gövde hacmi ilişkisi



Şekil 4: Ağaç boyu-kabuklu gövde hacmi ilişkisi



Tablo 3: Ağaç hacim denklemlerine (tek ve çift girişli) ilişkin başarı ölçütleri ile rölatif sıralamaları

Denklem	No	OMH (R)	HKOK (R)	%HKOK (R)	Bias (R)	%Bias (R)	R ² _{düz} (R)	AIC(R)	BIC(R)	ΣR
Tek Girişli	4	19,251 (5,0)	30,074 (5,0)	26,067 (5,0)	0,003 (1,0)	0,002 (1,0)	0,944 (3,7)	692,942 (5,0)	690,942 (3,0)	28,7
	5	15,671 (3,4)	24,665 (3,1)	21,379 (3,1)	2,609 (3,5)	2,262 (3,5)	0,965 (2,2)	654,697 (3,4)	791,406 (5,0)	27,3
	6	12,162 (1,8)	20,902 (1,8)	18,117 (1,8)	0,003 (1,0)	0,002 (1,0)	0,974 (1,5)	621,086 (2,1)	757,794 (4,3)	15,3
	7	10,396 (1,0)	18,546 (1,0)	16,075 (1,0)	2,054 (3,0)	1,780 (3,0)	0,980 (1,0)	594,811 (1,0)	592,811 (1,0)	12,0
	8	12,385 (1,9)	29,713 (4,9)	25,754 (4,9)	4,101 (5,0)	3,555 (5,0)	0,928 (5,0)	690,491 (4,9)	688,491 (2,9)	34,5
Çift Girişli	9	7,853 (1,0)	15,827 (1,0)	13,718 (1,0)	0,804 (1,0)	0,697 (1,0)	0,985 (1,0)	562,625 (1,0)	560,625 (1,0)	8,0
	10	10,467 (4,4)	23,481 (3,9)	20,353 (3,9)	3,357 (4,2)	2,910 (4,2)	0,959 (4,5)	644,709 (4,5)	781,417 (5,7)	37,6
	11	9,376 (3,0)	19,464 (2,4)	16,871 (2,4)	2,420 (3,0)	2,098 (3,0)	0,974 (3,5)	606,618 (2,8)	743,327 (4,9)	25,0
	12	8,864 (1,8)	17,888 (1,8)	15,505 (1,8)	0,922 (1,1)	0,799 (1,1)	0,981 (2,0)	589,482 (2,1)	726,191 (4,5)	16,8
	13	11,792 (6,1)	29,896 (6,3)	25,913 (6,3)	5,186 (6,4)	4,495 (6,4)	0,962 (6,2)	693,739 (6,5)	830,448 (6,8)	51,1
	14	12,458 (7,0)	31,650 (7,0)	27,433 (7,0)	5,642 (7,0)	4,890 (7,0)	0,958 (7,0)	705,313 (7,0)	842,022 (7,0)	56,0
	15	10,467 (4,4)	23,481 (3,9)	20,353 (3,9)	3,357 (4,2)	2,910 (4,2)	0,959 (4,5)	644,709 (4,5)	781,417 (5,7)	37,6

Elde edilen sonuçlara göre, 173 adet model verisi kullanılarak geliştirilen tüm ağaç gövde hacim denklemlerin başarı ölçütleri ile rölatif sıralama puanları Tablo 3'te ve bu denklemlere ilişkin hesaplanan katsayılar da Tablo 4'te verilmiştir.



Tablo 4: Ağaç hacim denklemlerine (tek ve çift girişli) ilişkin katsayılar

Denklem	No	R ² _{düz}	p	b ₀	b ₁	b ₂
Tek Girişli	4	0,968	0,000	-36,958	0,568	-
	5	0,979	0,000	-	-5,940	0,748
	6	0,985	0,000	65,017	-13,810	0,952
	7	0,988	0,000	0,038	2,795	-
	8	0,980	0,000	-	0,049	-
Çift Girişli	9	0,991	0,000	0,048	2,390	0,465
	10	0,977	0,000	-0,994	2,182	0,399
	11	0,985	0,000	-0,827	2,151	0,283
	12	0,989	0,000	-0,753	2,175	0,182
	13	0,975	0,000	0,145	1,023	0,364
	14	0,973	0,000	0,304	1,051	0,150
	15	0,977	0,000	-0,994	1,091	0,200

Tablo 3 detaylı incelendiğinde, en düşük hata değerleri ile en yüksek R²_{düz} değerine sahip olan ve tüm parametreleri anlamlı olan (p<0,05); 7 nolu denklem en başarılı tek girişli ve 9 nolu denklem de en başarılı çift girişli denklem olarak belirlenmiştir. Başarılı olan bu denklemlerden, tek (23) ve çift girişli (24) denklemlerin katsayılarıyla yazılmış şekilde gösterimi aşağıda verilmiştir.

$$V = 0,38.d^{2,795} \quad (23)$$

$$V = 0,048.d^{2,39}.h^{0,465} \quad (24)$$

Tartışma

Çalışma kapsamında kontrol veri grubu olarak ayrılan ağaçların hacim hesapları, ülkemizde hali hazırda kullanılan sekiz farklı ağaç hacim denklemine (Gülen (1959); Sun vd. (1978); Yavuz, (1999); Baynazoğlu (2014); Özdal, (2014); Carus vd. (2016); Sakıcı vd, (2018); Şahin & Ercanlı, (2023)) göre tekrar yapılarak,



istatistiksel testler yardımıyla bu denklemlerin, proje araştırma alanı olan Çifteler Yöresindeki genç karaçam ağaçlarındaki başarıları analiz edilmiştir (Tablo 5'te ve 6'da).

Tablo 5'de, mevcut karaçam ağaç hacim denklemleriyle hesaplanan örnek ağaç hacimlerinin, gerçek hacim değerlerinden hangi oranda farklı oldukları tüm ağaçlarda ayrı ayrı hesaplanarak hangi oranda hatalı hacim hesapladıklarının ortalaması verilmiştir. Tablo detaylı incelendiğinde, hali hazırda bulunan karaçam çift girişli ağaç hacim denklemlerinin, tek girişli denklemlere göre daha az hatalı (Çifteler yöresinde hesaplanan gerçek hacim değerlerine daha yakın) hacim hesaplamaları yaptığı ama tüm denklemlerin, gerçek hacim değerlerinden oldukça farklı sonuçlar verdiği görülmektedir.

Tablo 3: Karaçam Ağaç hacim denklemlerinin hacim hesabındaki ortalama farkları

Karaçam ağaç hacim denklemi	Tek Girişli - Fark	Çift Girişli - Fark
$V_{\text{gerçek}}$ - Gülen (1959)	-%47,0	-%3,1
$V_{\text{gerçek}}$ - Sun vd. (1978)	%428,2	-%12,3
$V_{\text{gerçek}}$ - Yavuz (1999)	%169,3	%31,7
$V_{\text{gerçek}}$ - Baynazoğlu (2014)	%336,3	-%24,5
$V_{\text{gerçek}}$ - Özdal (2014)	%20,3	%7,6
$V_{\text{gerçek}}$ - Carus vd. (2016)	-%51,4	-%57,3
$V_{\text{gerçek}}$ - Sakıcı vd. (2018)	%15,5	-%26,7
$V_{\text{gerçek}}$ - Şahin & Ercanlı (2023)	-%291,9	%2,9



Tablo 6’da ise hali hazırdaki tek ve çift girişli karaçam ağaç hacim denklemlerinin tümünde $p < 0,05$ çıkmıştır. Bu sonuç, mevcut karaçam ağaç hacim denklemlerinden hiçbirinin istatistiksek olarak, Çifteler Yöresindeki genç karaçam meşcerelerindeki hacim hesabında güvenle kullanılamayacakları (yöreye uygun olup olmadıkları) anlamına gelmektedir. Tablo 5’te görülen oransal hacim farklarının yüksek oluşu, yapılan bağımsız örneklem t-testlerinin sonuçlarıyla da desteklenmiştir (Tablo 6). Ancak, çalışma kapsamında geliştirilen tek ve çift girişli denklemlerin ise Çifteler Yöresindeki genç karaçam meşcerelerinin hacim hesabında güvenle kullanılabileceği sonucuna ulaşılmıştır.

Tablo 4: Karaçam ağaç hacim denklemleri için yapılan bağımsız örneklem t-testi sonuçları

Karaçam ağaç hacim denklemi	Tek Girişli Kıyaslama		Çift Girişli Kıyaslama	
	t	p	t	p
$V_{\text{gerçek}}$ – Bu çalışma	1,475	0,151	0,564	0,577
$V_{\text{gerçek}}$ - Gülen (1959)	11,003	$2,29 \cdot 10^{-22}$	5,295	$3,09 \cdot 10^{-7}$
$V_{\text{gerçek}}$ - Sun vd. (1978)	-17,673	$7,26 \cdot 10^{-43}$	8,408	$7,46 \cdot 10^{-15}$
$V_{\text{gerçek}}$ - Yavuz (1999)	-20,824	$3,53 \cdot 10^{-52}$	-6,042	$7,21 \cdot 10^{-9}$
$V_{\text{gerçek}}$ - Baynazoğlu (2014)	-18,216	$1,67 \cdot 10^{-434}$	10,865	$5,98 \cdot 10^{-22}$
$V_{\text{gerçek}}$ - Özdal (2014)	-11,207	$5,57 \cdot 10^{-23}$	-7,484	$2,19 \cdot 10^{-12}$
$V_{\text{gerçek}}$ - Carus vd. (2016)	10,151	$7,93 \cdot 10^{-20}$	9,131	$7,17 \cdot 10^{-17}$
$V_{\text{gerçek}}$ - Sakıcı vd. (2018)	-10,423	$1,25 \cdot 10^{-20}$	11,115	$1,05 \cdot 10^{-22}$
$V_{\text{gerçek}}$ - Şahin & Ercanlı (2023)	11,836	$6,77 \cdot 10^{-25}$	4,027	$8,01 \cdot 10^{-5}$



Sonuçlar

Çalışma kapsamında, Eskişehir OBM Seyitgazi OİM'deki Çifteler OİŞ'deki karaçam meşcerelerinden, 203 afet genç (gençlik, sıklık ve sııklık ile ince ağaçlık) karaçam ağacı kesilmiştir. Söz konusu örnek ağaçlar üzerinde birer metre aralıklarla gövdenin dibinden uç kısma kadar kabuklu gövde çapları ve toplam ağaç boyları ölçülerek, bölümlene yöntemiyle, toplam gövde hacimleri hesaplanmıştır. Ardından literatürde yaygın olarak kullanılan 5 farklı tek ve 7 farklı çift girişli ağaç hacim denklemi kullanılarak, araştırma alanı için yeni kabuklu gövde hacim (tek ve çift girişli) denklemleri geliştirilmiştir.

Çifteler Yöresindeki genç karaçam meşcerelerinin hacim hesabı için, mevcut ağaç hacim denklemlerinin geçerliliği istatistiksel olarak anlamsız bulunurken; bu çalışmada geliştirilen tek (23) ve çift girişli (24) denklemlerinin, Çifteler Yöresindeki genç karaçam ağaçlarının hacim hesabında güvenle kullanılabileceği sonucu elde edilmiştir (Tablo 6). Son olarak Çalışma kapsamında geliştirilen tek ve çift girişli ağaç hacim denklemleri kullanılarak, Çifteler Yöresindeki karaçam ağaçlarının hacim hesabında, istatistiksel olarak güvenle kullanılabilecek, tek girişli (Tablo 7'de) ve çift girişli (Tablo 8'de) ağaç hacim tabloları üretilmiştir.



Tablo 5: Karaçam tek girişli kabuklu gövde hacim tablosu (V , dm^3)
(Çifteler Yöresi)

d (cm)	V (dm^3)	d (cm)	V (dm^3)	d (cm)	V (dm^3)	d (cm)	V (dm^3)
3	0,819	12	39,481	21	188,677	30	511,321
4	1,831	13	49,381	22	214,877	31	560,399
5	3,417	14	60,746	23	243,305	32	612,404
6	5,688	15	73,666	24	274,041	33	667,409
7	8,752	16	88,230	25	307,164	34	725,489
8	12,711	17	104,522	26	342,753	35	786,719
9	17,667	18	122,629	27	380,885	36	851,171
10	23,717	19	142,635	28	421,640		
11	30,958	20	164,624	29	465,093		

Çalışma kapsamında, geliştirilen denklemler ile üretilen hacim tabloları (tek ve çift girişli), Çifteler Yöresindeki 3-36 cm göğüs çapı ile 3,3-15 m ağaç boyu aralığında bulunan genç karaçam meşcerelerinde geçerli olup başarıyla kullanılacaktır. Bu denklem ve tablolar, farklı yörelerde kullanılacaksa istatistiksel olarak uygunluk testlerinin yapılması gerektiği dikkatlerden kaçmamalıdır.



Tablo 6: Karaçam çift girişli kabuklu gövde hacim (V, dm^3) tablosu
(Çifteler Yöresi)

Göğüs çapı, d (cm)	Ağaç boyu, h (m)						
	3	5	7	9	11	13	15
2	0,424	0,537	0,628	0,706	0,775	0,837	0,895
4	2,221	2,816	3,293	3,701	4,062	4,391	4,693
6	5,853	7,422	8,679	9,755	10,709	11,573	12,369
8	11,643	14,764	17,264	19,403	21,301	23,021	24,604
10	19,848	25,169	29,430	33,078	36,312	39,244	41,944
12	30,691	38,917	45,507	51,146	56,147	60,682	64,856
14	44,365	56,257	65,782	73,935	81,164	87,719	93,753
16	61,047	77,411	90,518	101,736	111,684	120,703	129,006
18	80,899	102,584	119,954	134,820	148,002	159,955	170,958
20	104,070	131,966	154,310	173,434	190,393	205,768	219,923
22	130,699	165,733	193,795	217,812	239,110	258,420	276,196
24	160,918	204,052	238,602	268,173	294,395	318,169	340,056
26	194,851	247,080	288,916	324,722	356,473	385,261	411,763
28	232,616	294,967	344,912	387,657	425,562	459,930	491,568
30	274,324	347,856	406,756	457,166	501,868	542,397	579,708
32	320,086	405,884	474,608	533,428	585,586	632,876	676,411
34	370,002	469,180	548,622	616,614	676,907	731,572	781,896
36	424,174	537,873	628,946	706,893	776,013	838,681	896,373

Bilindiği gibi, ormanların devamlılığının korunabilmesi, sürdürülebilir bir şekilde işletilebilmesi ve ekonomiye katkı sağlayabilmesi için ormanları oluşturan ağaç servetlerinin ve



hacimlerinin en doğru şekilde belirlenebilmesi gerekmektedir. Ayrıca hali hazırdaki ağaç hacim denklemleri ya ülke geneli için ya da yöresel olarak geçerli olup aynı zamanda genç ağaçların hacim hesaplamasında yetersiz kalabilmektedirler. Bunun sebepleri olarak, genel hacim denklemlerinde çok fazla yöreden alınan örneklerin temsil konusunda yetersiz kalabilmeleri; yöresel çalışmalarda ise örneklerin sadece geçerli oldukları yetiştirme ortamını temsil eden yerlerden alınmış olmaları; ayrıca hacim denklemlerinin küçük çaplı bireylerde başarısız olmalarının ise bu denklemler için seçilen örneklerin çoğunlukla üretime ve ekonomiye daha çok katkı sağladığı bilinen büyük çaplı ağaçlardan seçilmiş olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir.

Yapılan bu çalışma ile ülkemizde yayılış bakımından üçüncü (ibreliler arasında ikinci), artım bakımından ilk sırada ve ayrıca üretimi en çok yapılan türlerimizden olan karaçam türümüzün genç meşcereleri için yöresel ve güncel hacim denklemleri geliştirilmiş ve bu düşünceye katkı sağlanmaya çalışılmıştır. Çalışma sonuçları, araştırma alanı olan Çifteler Yöresindeki genç karaçam meşcereleri için yöresel ve yeni bir hacim hesabına ihtiyaç duyulduğu ve hatta yapılacak olan araştırma ve planlama çalışmalarında da mevcut hacim denklemleri ve tablolarının geçerliliklerinin istatistiksel olarak test edilmesi gerekliliğini ve ayrıca yöresel tablolarının da önemini açığa çıkarmıştır.

Ağaç hacim çalışmalarında yöresel ve bölgesel denklemlerin, genel denklemlerden daha tutarlı ve güvenilir sonuçlar verdiği (Şahin vd., 2018) düşüncesi bu çalışmayla da desteklenmiştir. Benzer araştırmaların yöresel ve bölgesel bazda, çeşitli yetiştirme



ortamlarında yapılmasının, ormancılık camiası açısından bir olduğu düşünülmektedir.

Teşekkür

Bu araştırma, “TÜBİTAK 2209-A - Üniversite Öğrencileri Araştırma Projeleri” kapsamında desteklenmiş olup Artvin Çoruh Üniversitesi Orman Fakültesi Orman Mühendisliği 3. Sınıf öğrencisi Faruk EKİCİ tarafından tamamlanan 1919B012303107 nolu projenin bir özeti olarak sunulmuştur. Desteklerinden dolayı TÜBİTAK’a, Artvin Çoruh Üniversitesi’ne ve Eskişehir OBM, Seyitgazi OİM ile Çifteler OİŞ’deki tüm yönetici ve çalışanlara teşekkür ederiz.

Kaynaklar

Akalp, T. (1978). *Türkiye'deki Doğu ladini (Picea orientalis Lk. Carr.) ormanlarında hasılat araştırmaları*. 145s., İstanbul: İ. Ü. Orman Fakültesi Yayın No: 2483/261.

Alemdağ, Ş. (1962). *Türkiye'deki kızılçam ormanlarının gelişimi, hasılat ve amenajman esasları*. Ankara: Ormancılık Araştırma Enstitüsü, Teknik Bülten No: 11.

Alemdağ, Ş. (1967). *Türkiye'deki sarıçam ormanlarının kuruluğu, verim gücü ve bu ormanların işletilmesinde takip edilecek esaslar*. Ankara: Ormancılık Araştırma Enstitüsü, Teknik Bülten No: 20.

Alkan, O. & Özçelik, R. (2020). Stem taper equations for diameter and volume predictions of *Abies cilicica* Carr. in the Taurus Mountains, Turkey. *Journal of Mountain Science*, 17 (12), 3054–3069. DOI: 10.1007/s11629-020-6071-x

Asan, Ü. (1984). *Kazdağı göknarı (Abies equi-trojani Aschers, Et Sinten.) ormanlarının hasılat ve amenajman esasları üzerine araştırmalar*. 207 s., İstanbul: İ. Ü. Orman Fakültesi, İ. Ü. Yayın no, 3205, O. F. Yayın No, 365, Taş Matbaası.

Baynazoğlu, F. (2014). Mudurnu-Sırçalı Orman İşletme Şefliğinde yayılış gösteren anadolu karaçamı (*Pinus nigra* Arnold. subsp. *pallasiana* (Lamb.) Holmboe) meşcereleri için tek ve çift girişli ağaç hacim denklemlerinin geliştirilmesi. Yüksek Lisans Tezi, 55s. Çankırı: Ç.K.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü.

Bozkuş, H. F. & Carus, S. (1997). Toros göknarı (*Abies cilicica* Carr.) Sedir (*Cedrus libani* Link.)'in çift girişli gövde hacmi tabloları

ve mevcut tablolarla karşılaştırılması. *Journal of the Faculty of Forestry İstanbul University (JFFIU)*, 47 (1), 51-70.

Brooks, J. R. & Wiant Jr, H. V. (2008). Ecoregion-based local volume equations for appalachian hardwoods. *Northern Journal of Applied Forestry*, 25 (2), 87-92. DOI: 10.1093/njaf/25.2.87

Brooks, J. R., Jiang, L. & Özçelik, R. (2008). Compatible stem volume and taper equations for Brutian pine, Cedar of Lebanon, and Cilicica fir in Turkey. *Forest Ecology and Management*, 256. 147–151. DOI: 10.1016/j.foreco.2008.04.018

Burkhart, H. E. & Tomé, M. (2012). *Modeling forest trees and stands*. 457p., Netherlands: Dordrecht: Springer. ISBN: 9789048131709

Carus, S. (2002). Bazı hacim formüllerinin seksiyon, gövde ve bağıl uzunluklara göre kıyaslanması. *Süleyman Demirel Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi*, Seri: A (1), 101-114.

Carus, S. & Su, Y. (2014). Antalya–Korkuteli yöresi kızılçam ağaçlandırmaları için tek ve çift girişli ağaç hacim tablosunun düzenlenmesi ve mevcut tablolar ile kıyaslanması. *II. Ulusal Akdeniz Orman ve Çevre Sempozyumu*, 22-24 Ekim 2014, Isparta, Türkiye, (ss. 22-24).

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

Castedo-Dorado, F., Gómez-García, E., Diéguez-Aranda, U., Barrio-Anta, M. & Crecente-Campo, F. (2012). Aboveground stand-

level biomass estimation: a comparison of two methods for major forest species in northwest Spain. *Annals of Forest Science*, 69, 735-746. DOI: 10.1007/s13595-012-0191-6

Crecente-Campo, F., Alboreca, A. R. & Diéguez-Aranda, U. (2009). A merchantable volume system for *Pinus sylvestris* L. in the major mountain ranges of Spain. *Annals of Forest Science*, 66 (8), 808, 1-12.

Çalışkan, A. & Yeşil, A. (1996). Büyükdüz Araştırma Ormanı Sarıçam-Göknar-Kayın karışık meşcerelerinde bulunan sarıçam için tek ve çift girişli hacim tablosu. *İ. Ü. Orman Fakültesi Dergisi*, 46 (1), 39-50.

de-Miguel, S., Mehtätalo, L., Shater, Z., Kraid, B. & Pukkala, T. (2012). Evaluating marginal and conditional predictions of taper models in the absence of calibration data. *Canadian Journal of Forest Research*, 42, 1383-1394. DOI: 10.1139/x2012-090

Diéguez-Aranda, U., Castedo-Dorado, F., Álvarez-González, J. G. ve Rojo, A. (2006). Compatible taper function for scots pine plantations in northwestern Spain. *Canadian Journal of Forest Research*, 36 (5), 1190-1205.

Eraslan, Ü. (1954). *Trakya ve bilhassa Demirköy muntkası meşe ormanlarının amenajman esasları hakkında araştırmalar*. Ankara: O. G. M. Yayımları.

Ercanlı, İ. (2020a). Innovative deep learning artificial intelligence applications for predicting relationships between individual tree height and diameter at breast height. *Forest Ecosystems*, 7, 12. DOI: 10.1186/s40663-020-00226-3

Ercanlı, İ. (2020b). Artificial intelligence with deep learning algorithms to model relationships between total tree height and diameter at breast height. *Forest Systems*, 29 (2), e013. DOI: 10.5424/fs/2020292-16393

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

Ercanlı, İ., Kurt, A. K., Şenyurt, M., Günlü, A., Bolat, F. & Keleş, S. (2018). Tarsus Yöresi Anadolu karaçamı ağaçlarında hacim tahminlerinin yapay sinir ağları ile elde edilmesi. *Anadolu Orman Araştırmaları Dergisi*, 4 (1), 24-35.

Evcimen, B. S. (1963). *Türkiye sedir ormanlarının ekonomik önemi, hasılatı ve amenajman esasları*. Ankara: O. G. M. Yayınları, 355, 16.

Fırat, F. (1973). *Dendrometri*. 359s., İstanbul: İ. Ü. Orman Fakültesi Yayın No: 93.

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

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

Kalıpsız, A. (1962). *Değişik yaşlı Doğu Kayınında artım ve büyüme araştırmaları*. 112 s, İstanbul: O. G. M. Yayın No: 339/7.

Kalıpsız, A. (1984). *Dendrometri*. 407 s., İstanbul: İ. Ü. Orman Fakültesi Yayın No: 354.

Kalıpsız, A. (1999). *Dendrometri*. İstanbul: İ. Ü. Orman Fakültesi Yayın No: 3194/354.

Kapucu, F. (2004). *Orman Amenajmanı*, 515 s., Trabzon: Karadeniz Teknik Üniversitesi (K. T. Ü.) Yayın No: 215.

Kapucu, F., Yavuz, H., Gül, A. U. & Mısıır, N. (2002). Kestane meşcerelerinin hasılatı ve amenajman esasları. Ankara: (TÜBİTAK TOGTAG-TARP 2229 nolu Proje, Sonuç Raporu.)

Laar, A. V. & Akça, A. (2007). *Forest Mensuration*. 390 p., Netherlands: Springer, ISBN:1402059906.

Loetsch, F., Zöhrer, F. & Haller, K. E. (1973). *Forest Inventory (2 ed., Vol. II)*. 905 p., Munich: BLV Verlagsgesellschaft, ISBN: 3405108128.

Mısıır, N. & Mısıır, M. (2004). Developing double-entry tree volume table for ash in Turkey. *Artvin Orman Fakültesi Dergisi*, 3 (4), 135-144.

Miraboğlu, M. (1959). Orta yüzey formülünün sıhhati ve devlet orman işletmelerimizdeki tatbikatı. *İ. Ü. Orman Fakültesi Dergisi*, A (1), 31-47.

OGM, (2006). *Orman Varlığımız*. Ankara: Çevre ve Orman Bakanlığı, Orman Genel Müdürlüğü Yayını.

OGM, (2015). *Türkiye Orman Varlığı*. Ankara: Orman Genel Müdürlüğü Yayını.

OGM, (2022). *Ormancılık istatistikleri 2022*. Ankara: Orman Genel Müdürlüğü Yayınları.

Özçelik, R. (2008). Comparison of formulae for estimating tree bole volumes of *Pinus sylvestris*. *Scandinavian Journal of Forest Research*, 23, 412-418.

Özçelik, R. (2010). Bucak yöresi kızılçam, sedir ve Toros göknarı türleri için hacim denklemleri. *Süleyman Demirel Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi*, Seri A (2), 1-15.

Özçelik, R. & Çevlik, M. (2017). Batı Akdeniz Yöresi doğal sedir meşcereleri için hacim denklemleri. *Turkish Journal of Forestry*, 18 (1), 37-48. DOI: 10.18182/tjf.270694

Özçelik, R. & Kalkanlı, Ş. (2018). Kaş Yöresi doğal kızılçam (*Pinus brutia* Ten.) meşcereleri için ağaç hacim denklemlerinin geliştirilmesi. *Turkish Journal of Forestry*, 19 (1), 9-19.

Özdal, T. (2014). Yozgat Orman İşletme Müdürlüğü sınırları içerisinde yayılış gösteren Karaçam (*Pinus nigra* Arnold. subsp. *pallasiana* (Lamb.) Holmboe) meşcereleri için tek ve çift girişli ağaç hacim denklemlerinin geliştirilmesi. Yüksek Lisans Tezi, 49 s., Çankırı: Ç. K. Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü.

Özkurt, A. (2000). Okaliptüs (*Eucalyptus grandis* W. Hill ex. Maiden) için hacim tablosu. *Doğu Akdeniz Ormancılık Araştırma Enstitüsü Dergisi*, 6, 87-106.

Philip, M. S. (1994). *Measuring Trees and Forests*. Wallingford, U. K.: CAB International. ISBN: 0851988830.

Pillsbury, N. H., McDonald, P.M. & Simon, V. (1995). Reliability of tanoak volume equations when applied to different areas. *Western Journal of Applied Forestry*, 10 (2), 72-78.

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

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

Sakıcı, O. E., Sağlam, F. & Seki, M. (2018). Kastamonu Orman Bölge Müdürlüğü karaçam meşcereleri için tek ve çift girişli ağaç hacim denklemleri. *Turkish Journal of Forestry*, 19 (1), 20-29.

Saraçoğlu, Ö. (1988). Karadeniz Yöresi göknar meşcerelerinde artım ve büyüme. Doktora Tezi, İstanbul: İ. Ü. Orman Fakültesi.

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

Sun, O., Eren, M. E. & Orpak, M. (1978). Temel ağaç türlerimizde tek ağaç ve birim alandaki odun çeşidi oranlarının saptanması. Ankara: (TÜBİTAK, Proje no: TOAG-288), Tarım ve Ormancılık Araştırma Grubu Yayını.

Şahbaz, H. (2007). Çifteler İlçesinin coğrafi etüdü. Yüksek Lisans tezi. 192 s. Afyon: Afyon Kocatepe Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü.

Şahin, A. Kahrıman, A. & Yüksel, Y. B. (2018). Artvin Yöresindeki Doğu Karadeniz Göknarlarının ağaç hacmini tahmin etmek için mevcut denklemlerin karşılaştırılması. *Uluslararası Artvin Sempozyumu (International Artvin Symposium - IAS 2018)*, 18-20 Ekim 2018. Artvin, Türkiye, (ss. 671-684).

Şahin A. & Ercanlı, İ. (2023). Karışık etkili modelleme yaklaşımıyla karaçam hacim denklemlerinin geliştirilmesi. *Ormanlık Araştırma Dergisi*, 10 (1), 32-44.

Şenyurt, M. & Ercanlı, İ. (2019). A comparison of artificial neural network models and regression models to predict tree volumes for crimean black pine trees in Çankırı Forests. *Şumarski list*, 9–10, 413-423. DOI: 10.31298/sl.143.9-10.3

Şenyurt, M. & Ümit, M. (2019). Asarkaya kızılçam meşcereleri için tek ve çift girişli ağaç hacim denklemlerinin geliştirilmesi. *Anadolu Orman Araştırmaları Dergisi*, 5 (2), 108-116.

Yavuz, H. (1999). Taşköprü Yöresinde karaçam için hacim fonksiyonları ve hacim tabloları, *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*, 23, 1181-118.

Yavuz, H., Gül, A. U., Mısır, N., Özçelik, R., & Sakıcı, O. E. (2002). Meşcerelerde çap dağılımlarının düzenlenmesi ve bu dağılımlara ilişkin parametreler ile çeşitli meşcere öğeleri arasındaki ilişkilerin belirlenmesi. *Orman Amenajmanında Yeni Kavramsal Açılımlar ve Yeni Hedefler Sempozyumu*, 18-19 Nisan 2002, İ. Ü. Orman Fakültesi, İstanbul, Türkiye, (ss. 203-212).

Yeşil, A. (1992). Değişik sıklık ve bonitetlerdeki kızılçam meşcerelerinin yaşa göre gelişimi. Doktora Tezi, İstanbul: İ. Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü.

BÖLÜM IV

Kürtün-Baraj Orman Deposundaki Tomruk Türlerinde Çeşitli Hacim Formüllerinin Uygulanabilirliği

Abdurrahman ŞAHİN¹
Çiğse Ilgın AKIN²
Durmuş Ali ÇELİK³

Giriş

Ormanların en önde gelen fonksiyonu; ekonomik fonksiyondur. Çünkü, ormanın ana ham maddesi olup işletmelerin sermayesini de büyük bir oranda kapsayan ağaç serveti, bir Orman İşletme Müdürlüğü (OİM)'nün temel girdisi ve var oluş kaynağıdır

¹* Doç. Dr., Artvin Çoruh Üniversitesi, Orman Fakültesi, Orman Mühendisliği Bölümü, Artvin/Türkiye, Orcid: 0000-0002-9435-9844, asahin@artvin.edu.tr

² Orman Mühendisliği Bölümü Öğrencisi, Artvin Çoruh Üniversitesi, Orman Fakültesi, Orman Mühendisliği Bölümü, Artvin/Türkiye, Orcid: 0009-0006-5536-3230, cigseilgin.akin@gmail.com

³ Dr. Öğr. Üyesi, Kastamonu Üniversitesi, Araç Rafet Vergili Meslek Yüksekokulu, Ormancılık Bölümü/Ormancılık ve Orman Ürünleri Bölümü, Kastamonu/Türkiye, Orcid: 0000-0002-8568-4303, dcelik@kastamonu.edu.tr



(Yeşil, 1992; Yavuz, 1999a; Kapucu, 2004, Kahrıman, Sönmez, & Şahin, 2017).

Ormancılıkta yapılan üretimle, ekonomik değeri yüksek olan odun ürünleri üretilerek, toplumun ve toplama hizmet eden endüstrilerin hammadde talepleri karşılanmaktadır. Odun üretimi hususu; ormanlardan yararlanma konusunda en önde gelmekte olup, bu husus ham madde ve doğal kaynak sağlamak bakımından önemini her zaman koruyacaktır. Tüm dünyada işletilmekte olan özel ve devlet ormanlarında, işletmelerin ana sermayesinin en büyük kısmı ağaç serveti kaynaklıdır (Türker, 2013). Sürdürülebilir orman yönetimi (SOY) planlarının hazırlanıp, uygulanabilmesi için ormanların sahip oldukları mevcut ağaç servetinin gerek toplam olarak gerekse odun ürün çeşitlerine dağılacak şekilde hacimlerinin ve değerlerinin güvenilir şekilde belirlenmesi gerekmektedir (Kapucu, 2004). Bu değerler belirlenirken hem güvenilirlik hem de uygulama açısından kolay bir yol izlenmelidir. OGM (2022)'ye göre ülkemizde, 2022 yılında yaklaşık 25,5 milyon m³ endüstriyel odunun üretildiği düşünülünce ağaç ve/veya meşcere kapsamında hacmin ve üretilen odun ürünlerinin en doğru şekilde belirlenmesinin önemi aşikardır.

Dolayısıyla, ormanların ekonomik değerlerinin belirlenebilmesi için; sunduğu odun ve odun dışı orman ürünleri ile hizmetlerini en doğru şekilde hesaplayabilmek gerekir (Şahin, 2015). Özellikle, maddi değerleri ve kullanım alanları çok çeşitli olan oduna dayalı ürünlerinin, tek ağaç olarak ve hatta hektarda nasıl dağıldıklarının bilinmesiyle birbirinin yerine ikame edilmesinden



doğabilecek önemli zararların önüne geçilebilecektir (Sun, Eren, & Orpak, 1978).

Oduna dayalı orman ürünleri; kütle olarak ağır olmasına rağmen eder olarak düşük değerlidir. Ayrıca taşınmaları ve depolanmaları oldukça zor olmasına rağmen, kullanım alanları oldukça çeşitlidir. Ormanlardan elde edilecek ürünleri, ana ürün olarak odun ve odun dışı orman ürünleri olarak iki ana gruba ayırmak mümkündür (Bozkurt & Erdin, 2000). Diğer taraftan orman ürünleri, nüfus artışına benzer şekilde bir artış sağlayamayacağından dolayı; bu ürünlerin fiyatları türe, yöreye ve önemine göre farklılık göstermektedir (Kalıpsız, 1984; Şahin, Sönmez & Kahrıman, 2017). Bu sebeple, oduna dayalı ürünlerinin doğru saptanması; ayrıca orman işletmelerin pazarladığı büyük çaplı tomruklara ait hacimlerin de (Kahrıman & ark., 2016) en az hatayla tespit edilmesi ormancılık açısından oldukça önemlidir. Odunlar kullanım durumlarına göre; ‘Yapacak’ ve ‘Yakacak’ şeklinde ikiye ayrılırlar. Yapacak odun kısmı yuvarlak odunlardan oluşmakta olup çeşitleri ise tomruk, direk, yuvarlak sanayi odunu, sırik ve çubuk şeklindedir (Günay & Çancı, 1982). Ayrıca, yapacak olarak satılan odunlar, orman işletme ekonomisine en çok katkı sağlayan ürünlerdir. Bu yüzden, yapacak odunların hacimlerini en az hatayla (gerçeğe en yakın olacak şekilde) hesaplamak, oluşacak ekonomik zararları da önleyebilecektir.

Orman İşletme Şeflikleri (OİŞ)’nin sınırları içinde zamanla büyüyen orman ağaçları yapılan bakım ya da gençleştirme çalışmalarıyla kesilmekte ve kesilen bu ağaçlar çeşitli ihtiyaçlara veya talep edilen odun ürün çeşitlerine göre; ayrıca da kesilen



ağaçların düzgün, hastalısız ve kusursuz oluşuna göre çeşitli şekillerde bölümlere ayrılarak, kabuklu veya kabuğu da soyulduktan sonra en yakın Orman Deposuna götürülmektedirler.

Ülkemizde orman teşkilatımız, tomruk hacim hesabı için orta yüzey (Huber) formülünü kullanmaktadır. Bu formülde seksiyon uzunluğu veya iki uçtaki çapların arasındaki fark büyüdükçe, formül hatası da büyümekte olup silindir, paraboloid veya kesik paraboloid benzeyen odun ürünlerinde doğru hacim vermesine karşın; koni nayloid ve bu şekillerin kesik parçaları için eksik (-%3-5) sonuç verebilmektedir (Carus, 2002). Ayrıca, istif halinde bulunan tomrukların hacim hesabı için, “Smalian Formülü” kullanılabilen olup bu formül ise silindir ve paraboloid gibi şekiller için doğru sonuç vermekte iken, diğer dönel şekillere yakın olan yuvarlak odun ürünlerinde ise gerçek hacme göre daha fazla sonuçlar vermektedir. Bu formül, gövdenin orta bölümlerinde doğru; uç ve dip bölümlerinde ise yüksek hacim değerleri hesaplamaktadır (Barnes, 1945; Young, 1966; Brickell, 1981; Philip, 1994; Carus, 2002). Bunlardan ayrı olarak, ölçümlerin en detaylı şekilde yapıldığı formül ise Newton-Riecke’dir. Bu formül silindir, koni, paraboloid ve nayloid dönel cisimleri için doğru sonuç verdiği için diğer formüllerden daha duyarlıdır (OGM, 1991; Diker, 1946; Kalıpsız, 1984). Newton-Riecke formülü, bir Smalian ile iki Huber formülü toplamının, 1/3’üne eşittir. Dolayısıyla, Huber’in iki katı alındığı için oluşan negatif yöndeki hata, Smalian’ın pozitif yönde oluşan hatası sayesinde karşılanmakta olup Newton-Riecke formülünü doğru sonuca ulaştırmaktadır (Carus, 2002). Bunlardan ayrı şekilde, ağaç kesitini (gövdesini) eşit uzunluklarda seksiyonlara (bölümlere)



ayırp toplam hacmi hesaplamak da mümkündür. Bilimsel araştırmalar ve meşcere hacim belirleme çalışmalarında ya da ekonomik değeri yüksek olup uzun şekilde bölümlenmiş ağaç gövdelerindeki hacim hesabında da bu yöntem yaygın olarak kullanılmaktadır (Diker, 1946; Miraboğlu, 1959; Fırat, 1973; Akgür, 1982; Kalıpsız, 1984; Carus, 2002).

Daha önce ülkemizde yapılan tomruk hacim formüllerinin karşılaştırması çalışmalarında; Yavuz (1999b), doğu ladini ile doğu kayını tomruklarına ilişkin hacim hesabında Huber, Newton-Riecke, Smalian ile Hossfeld yerine Centroid formülünü; Carus (2002), doğu kayını tomruklarının hacim hesabında Huber ve Smalian yerine Newton-Riecke formülünü; Özçelik (2002), Anamur OİM'deki çalışmasında Centroid Sampling'in standart tomruk hacim formüllerine bir alternatif olduğunu; Özçelik (2006), Mersin Orman Bölge Müdürlüğü (OBM) Mut OİM'deki çalışmasında istiflenmiş tomrukların hacim hesabında veya tomruk uçlarındaki çaplar ile tomruk uzunluklarının belirli olduğu koşullarda hacim hesabı için Smalian ve Bruce formüllerini önermiş, ayrıca tomruk orta çapı ölçümünün imkansız olduğu koşullarda ise alternatif olarak Patterson Doruska formülünün bir alternatif olabileceğini; yine Özçelik, Wiant, ve Brooks (2008) ksilometre yöntemini kullanarak gerçekteşirdiği çalışmasında, Toros göknarı ve kızılçam tomruklarında Centroid ve Center of gravity formüllerinin diğer tomruk hacim yöntemlerine göre daha az hatalı ve daha iyi tahmin yaptıklarını belirtmiş; Durkaya ve Durkaya (2011) ise doğu kayını ve Uludağ göknarı, tomruklarının hacimleri hesaplanırken Huber, Newton-Riecke, Hossfeld, Bruce, Patterson Doruska, Smalian ve



Centroid formülleri arasında, tüm türlerde Newton-Riecke'nin, ayrıca göknar ve kayın türlerinde ortalama hatalarının sıfırdan farksız çıktığı Smalian ve Huber formüllerinin de başarılı olabildiğini; Güney (2017) Isparta OBM Bucak OİM Uğurlu OİŞ'deki çalışmasında Huber ve Smalian formüllerine alternatif olarak, Gravity veya Centroid ya da Newton-Riecke formüllerini önermiş; Şahin ve Korkmaz (2021) Adana OBM, Pos OİM'deki Değirmendere Orman Deposunda kızılçamda Newton-Riecke; karaçamda Centroid ve sedir tomruklarında ise Uçlardaki çaplar ortalamasının hacim hesabını minimize eden formüller olduğunu; Şahin ve Çomak (2023) da Artvin OBM Ardanuç OİM Ferhatlı Orman Deposu'ndaki doğu ladini tomruklarının hacim hesabında Smalian formülünün Newton-Riecke, Uçlardaki çaplar ortalaması, Huber ve Centroid'den daha başarılı olduğunu bildirmişlerdir.

Farklı ağaç türlerinde, çeşitli formüllerin kıyaslandığı uluslararası bazı çalışmalarda da Williams (1991), Bruce formülünün kısa-kalın tomruklarda daha başarılı olduğunu; Wiant ve ark. (1996), Bruce'un, Smalian formülünden daha başarılı olduğunu; Filho, Machado ve Carneiro (2000), kilometre formülüyle hacmi hesapladıkları çalışmada Huber'in, Centroid ve N. Riecke formüllerinden daha az hata verdiğini belirtmişlerdir. Ayrıca, Wood ve Wiant (1990); Wood ve ark. (1990) ile Wiant ve ark. (1993) çalışmalarında Centroid ile diğer formülleri karşılaştırmış; Patterson ve Doruska (2004) da Bruce'un kısa tomruklarda eksik, uzun tomruklarda ise daha fazla hacim hesapladığını; Tewari ve Singh (2005) de, birçok formül arasında en iyi sonucu Bruce'un verdiğini vurgulamışlardır.



Ayrıca Özçelik (2006), “tomruklar kısaltıldıkça çap düşüşünün azalmakta olduğunu ve her iki uçta bulunan yüzey alanlarının birbirine yaklaştığını” ifade etmiştir. Buradan hareketle, tomruk boyu uzayınca da uçlar arasındaki çap düşüşü farkına bağlı olarak hata miktarının da artabileceği düşünülmektedir. Güney (2007)’de bu durumu, “tomruk uzunluğu arttıkça birlikte Patterson-Doruska ve Bruce formüllerindeki güvenilirliğin azaldığı” şeklinde belirtmiştir.

Bu çalışma kapsamında, Trabzon OBM Kürtün OİM Kürtün OİŞ içindeki Baraj Orman Deposuna getirilen ve en önemli ağaç türlerimizden olan, sarıçam (*Pinus sylvestris* L.), doğu karadeniz göknarı (*Abies nordmanniana* (Stev.) Spach subsp. *nordmanniana* (Stev.) Spach), doğu kayını (*Fagus orientalis* Lipsky) ve doğu ladini (*Picea orientalis* (L.) Link) tomruklarına ait hacimler, 12 farklı formüle göre bulunarak, formüllerin arasındaki farklar incelenmiş ve ilgili tomrukların hacimleri hesaplanırken hangi formüllerin kullanılabilecekleri araştırılmıştır.

Materyal ve Yöntem

Araştırma alanı olan Kürtün OİM sınırlarında sarıçam, doğu kayını, d. ladini ve d. karadeniz göknarı ağaç türleri hâkim ağaç türü konumundadır. Yöredeki Ormanımız olan Gümüşhane Kürtün Örümcek Ormanları (Şekil 1’de) Avrupa ve Kafkasların en boylu ve çaplı D. ladini ve D. Karadeniz göknarlarının bulunduğu, benzersiz ve olağanüstü doğa güzelliklerini barındırdığı bilimsel verilerle kanıtlanmış Tabiatı Koruma Alanı (TKA) statüsü ile yasal koruma altına alınmıştır.



Şekil 1: Gümüşhane Kürtün Örümcek Ormanları

Kürtün Baraj Orman Deposu (Şekil 2’de) 2001 yılında kurulmuş olup Özkürtün OİŞ sınırlarındadır. Bu depo yeni gelen eski adı ile Kürtün OİŞ’ye; şu anda ise Kürtün OİM’ye bağlı olup depoda bir adet orman işçisi ve Depo Şefi konumunda bir Orman Mühendisi görevlidir. Depoya, Kürtün OİM sınırlarındaki Alacadağ, Günyüzü, Örümcek, Kabaktepe ve Kürtün OİŞ’lerden getirilen odun ürünleri her dönem emval olmaktadır. Bölgede en fazla talep alan D. kayını, D. ladini ve Gökmar tomruklarının ihale usulü müteahhitlere ve ayrıca Çamsan ile İran, Irak ve diğer yurt dışı ülkelere talepler doğrultusunda satılabilmektedir.



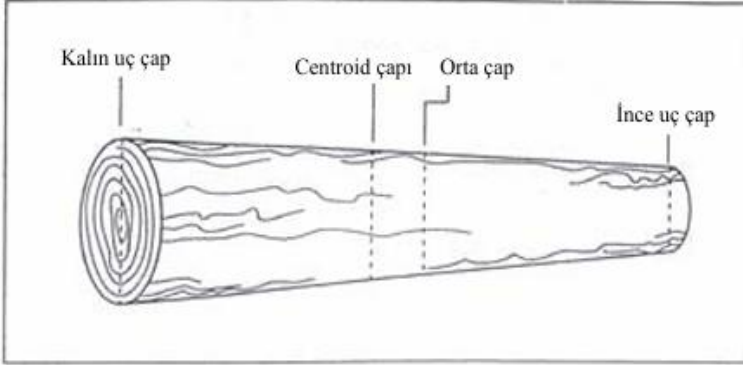
Şekil 2: Kürtün Baraj Orman Deposu

Çalışma kapsamında ekonomik olarak en değerli ağaç türlerimizin, Kürtün OİŞ Baraj Orman Deposuna (Şekil 2’de), beş farklı (Alacadağ, Günyüzü, Örümcek, Kabaktepe ve Kürtün) QİŞ’lerden getirilen 31 adet sarıçam, 40 adet D. Karadeniz göknarı, 40 adet D. kayını ve 40 adet de D. ladini türlerine ait olmak üzere toplam 151 adet tomruk, detaylı olarak ölçülmüş ve bu örnek tomruklara ilişkin tanımlayıcı istatistikler Tablo 1’de verilmiştir. Bu ölçümlerde, her bir tomruğun;

- 0,5 m aralıklarla kabuksuz çapı (ayrıca Centroid formülü için, kalın çapından itibaren C mesafesindeki ve Hossfeld formülü için de kalın çaptan itibaren tomruğun 1/3’ündeki çapları) çap ölçerle, mm. hassasiyetinde ve çift taraflı olarak (Şekil 3’te ve 4’te);



- orta uzunluğuna denk gelen mesafedeki kabuksuz çapı da mezura ile mm hassasiyetinde ve
- uzunlukları ise çelik şerit metre kullanılarak, cm. hassasiyetiyle ölçülmüştür. (Şekil 4'te).



Şekil 3: Tomruk hacim hesaplamaları için yapılan ölçüm noktaları



Şekil 4: Örnek tomrukların çap ölçer ile ölçümü



Tablo 7: Örnek tomruklara ilişkin tanımlayıcı istatistikler

Tomruk türü	N (adet)	Uzunluk (m)	Kalın uç çapı (d_0)		
			(cm)'den küçük	Ort.	Std. sapma
Sarıçam	31	2,0-8,0	$\leq 60,0$	33,87	7,99
D. Karadeniz Göknarı	40	2,0-4,0	$\leq 80,1$	50,96	13,38
D. Kayını	40	2,0-5,0	$\leq 74,4$	48,93	11,97
D. Ladini	40	2,0-6,0	$\leq 53,0$	34,94	9,19

Daha sonra ölçülen değerler yardımıyla, her bir 0,5 m'lik her seksiyonun hacmi, Smalian kullanılarak ayrı ayrı hesaplanmış ve tomrukların toplam (gerçek) hacimleri bulunmuştur. Ardından aynı tomrukların hacimleri, alternatif ve daha az ölçüm gerektiren ya da gerçek hacmi daha pratik şekilde hesaplayabileceği belirlenmiş olan, on iki farklı hacim formülüne göre tek tek yeniden hesaplanacaktır. Literatürde kullanılan bazı formüller aşağıda sırasıyla aşağıda verilmiştir (1-12) (Carus, 2002; Özçelik, 2006; Güney, 2007; Durkaya & Durkaya, 2011; Şahin & Korkmaz, 2021; Şahin & Çomak, 2023).



$$\text{Huber} \quad V = M \cdot L \quad (1)$$

$$\text{Smalian} \quad V = ((B + S)/2) \cdot L \quad (2)$$

$$\text{Newton-Riecke} \quad V = ((B + 4 \cdot M + S)/6) \cdot L \quad (3)$$

$$\text{Uçlardaki Çaplar Ortalaması} \quad V = \frac{\pi}{4} \cdot \left(\frac{d_0 + d_n}{2} \right)^2 \cdot L \quad (4)$$

$$\text{Hossfeld} \quad V = ((3G + S)/4) \cdot L \quad (5)$$

$$\text{Fransız Metodu} \quad V = \left(\frac{u}{5} \right)^2 \cdot 2 \cdot L \quad (6)$$

$$\text{Bruce (1982)} \quad V = (0,25 \cdot B + 0,25 \cdot S) \cdot L \quad (7)$$

$$\text{Patterson-Doruska (2004)} \quad V = ((P \cdot B) + ((1 - P) \cdot S)) \cdot L \quad (8)$$

Centroid

$$\text{(Wiant, Wood, \& Furnival, 1992)} \quad V = S \cdot L + (1/2) \cdot b_1 \cdot L^2 + (1/3) \cdot b_2 \cdot L^2 \quad (9)$$

Subneiloid

$$\text{(Tewari \& Singh, 2005)} \quad V = \frac{\pi}{4} \cdot \left(\frac{d_n + d_{0,5}}{2} \right)^2 \cdot L \quad (10)$$

Two-end conic

$$\text{(Tewari \& Singh, 2005)} \quad V = \frac{\pi}{4} \cdot (d_0^2 + d_0 \cdot d_n + d_n^2) \cdot \frac{L}{3} \quad (11)$$

Sorenson (Tewari & Singh, 2005)

$$V = \frac{\pi}{4} \cdot (d_0 + 0,05 \cdot L)^2 \cdot L \quad (12)$$

***Burada;**

$d_0, d_n, d_{0,5}$: Tomruğun kalın, ince ve orta çapı (cm),

V: Tomruk hacmi (dm³),

L: Tomruk uzunluğu (m),



$M = \pi/4.(d_{0,5})^2$ [Tomruk uzunluğunun ortasındaki göğüs yüzeyini (m^2)]

$B = \pi/4.(d_0)^2$ [Tomruğun kalın ucundaki göğüs yüzeyini (m^2)]

$S = \pi/4.(d_n)^2$ [Tomruğun ince ucundaki göğüs yüzeyini (m^2)]

$P = 0,15 + 136 / (0,394. d_0)^3 + 0,002. (3,289. L)$ formülünden elde edilen değeri,

$b_1 = (B - S - b_2.L^2) / L$ formülünden elde edilen değeri,

$b_2 = (B - C.(L/e) - S.(1 - L/e)) / (L^2 - L.e)$

$e = L - q$ formülünden elde edilen değeri,

$q = L - ((((((D/d)^4 + 1)^{0,5} - 2^{0,5}) / (2^{0,5} . ((D/d)^2 - 1))))).L)$

C: Tomruğun kalın ucundan itibaren olmak üzere, tomruk uzunluğunun q mesafesinde olup tomruk hacmini iki eş parçaya bölen noktada bulunan göğüs yüzeyini ifade etmektedir.

Çalışma kapsamında, gerçek hacim değerleri ile her bir formüle (1-12) göre hesaplanan hacim değerleri arasında varyansların homojenliği kontrol edilmiş ve ilgili formüllerin kullanılmasının anlamlılığını test etmek için de “Bağımsız Örneklem T-testi” yapılmıştır. Bu test sonuçlarına göre, Kürtün Orman Deposundaki tomrukların hacim hesaplamasında, hangi formüllerin kullanılabilecekleri istatistiksel olarak belirlenmiştir.

Son aşamada, Kürtün Orman Deposundaki tomrukların hacim hesaplamasında başarılı olarak kullanılabilecek olan formüllerin ayrı ayrı ortalama hata (OH, 13), ortalama mutlak hata yüzdesi (OMHY, 14) ve toplam hata yüzdesi (THY, 15) değerleri hesaplanmıştır. Bu



değerler bulunduktan sonra da hangi hacim formülünün, hangi ağaç türüne ait tomruğu gerçek hacme daha yakın şekilde hesapladığını belirleyebilmek amacıyla, Poudel ve Cao (2013)'in önerdiği rölatif sıralama dikkate alınarak ilgili denklemlerin başarı sıralaması yapılmıştır (16).

$$\text{Ortalama hata (OH)} \quad OH = \frac{\sum(V_g - V_t)}{n} \quad (13)$$

$$\text{Ortalama mutlak hata yüzdesi} \\ (\%OMH, OMHY) \quad \%OMH = \left(\frac{\sum|V_g - V_t|}{\sum V_g} \right) \cdot 100 \quad (14)$$

$$\text{Toplam hata yüzdesi (\%TH, THY)} \quad \%TH = \frac{\sum(V_g - V_t)}{\sum V_g} \cdot 100 \quad (15)$$

$$R_i = 1 + \frac{(k - 1) \cdot (S_i - S_{min.})}{S_{maks.} - S_{min.}} \quad (16)$$

*Bu eşitliklerde V_g : Ölçümle hesaplanan tomruk gerçek hacmini ve V_t : Tahmin edilen tomruk hacmini ifade etmektedir.

Bulgular

Çalışma kapsamında ölçülen örnek tomrukların seksiyon formülü yardımıyla hesaplanan gerçek ve belirtilen formüllere (1-12) göre hesaplanan hacim değerleri Tablo 2'de verilmiştir.

Ayrıca çalışma kapsamındaki diğer formüllere göre hesaplanan hacim tahmin değerlerinin, gerçek hacim değerlerine göre farkları da Tablo 3'de verilmiştir. Bu tabloda, her ağaç türü için ayrı olmak üzere, her bir formülün hesaplama hata değerine göre başarı sıralama puanları verilmiştir. Burada, kullanılan bütün hacim formüllerinin başarı durumuna göre (hatası en düşük olana) 1'den başlanarak k'ya kadar puan verilirken, aynı derecede başarıya sahip



olanlara aynı puan verilmiş ve ardından her bir hacim formülünün toplam başarı puanı (sıra/rank) hesaplanmıştır (Alkan & Özçelik, 2020; Ercanlı, 2020a; b). Bu sıralamaya göre, toplam sıralama puanı en düşük olan formül, ilgili ağaç türü tomruğunun hacim hesabında en başarılı formül olarak kabul edilmiştir. Ayrıca hacim hesabında anlamlı olarak kullanılacak hacim formüllerinin, hacim hesaplamasında sahip oldukları hata oranları da hesaplanmıştır (Tablo 3'te).



Tablo 8: Örnek tomrukların hacim (dm³) hesaplamalarına ilişkin bazı istatistikler

Method	Tür	Hesaplanan hacim (dm ³)					Tür	Hesaplanan hacim (dm ³)				
		N	Min.	Maks.	Ort.	Std. Sapma		N	Min.	Maks.	Ort.	Std. Sapma
Gerçek			80,48	1355,34	350,16	285,29			160,51	1983,31	708,51	404,76
Huber			76,03	1323,71	346,91	285,72			174,97	2071,39	707,78	410,28
Smalian			86,76	1437,28	366,21	304,88			160,56	1936,73	726,94	410,44
N.Riecke			79,60	1361,57	353,34	291,85			170,17	2026,50	714,17	409,04
Uçlardaki Ç. O.			86,38	1425,50	361,00	299,42			159,04	1935,93	723,40	409,48
Hossfeld			79,36	1344,30	349,80	284,02			163,60	1990,06	719,16	415,92
Fransız	Sançam	31	76,43	1330,74	348,75	287,24	D. Karadeniz Gökknar	40	175,90	2082,39	711,54	412,45
Bruce			81,05	1307,47	330,63	270,60			144,99	1897,02	682,70	394,42
P. Doruska			82,31	1281,65	328,29	265,23			149,61	1886,33	672,72	389,03
Centroid			79,30	1375,35	351,12	293,57			166,06	2034,37	699,71	406,78
Subneilid			86,38	1425,50	361,00	299,42			159,04	1935,93	723,40	409,48
Two-end conic			86,50	1429,42	362,74	301,21			159,55	1936,20	724,58	409,80
Sorenson			76,03	1192,28	299,86	244,63			132,03	1867,50	643,71	382,21
Gerçek			176,97	1225,32	588,54	303,73			89,70	651,73	316,96	162,32
Huber			174,18	1180,51	582,34	303,85			92,75	637,11	315,55	158,27
Smalian			193,05	1249,16	594,75	309,88			87,10	824,86	329,26	182,52
N.Riecke			183,56	1203,40	586,48	302,72			90,87	652,99	320,12	165,13
Uçlardaki Ç. O.			190,71	1248,88	590,39	306,32			86,75	812,99	326,16	180,76
Hossfeld			172,32	1222,56	589,82	314,42			90,11	678,10	316,49	164,04
Fransız	D. Kayın	40	175,11	1186,78	585,44	305,47	D. Ladini	40	93,25	640,50	317,22	159,11
Bruce			171,93	1267,83	557,18	289,86			81,56	726,46	302,20	167,86
P. Doruska			171,11	1272,83	548,53	284,81			82,79	706,80	299,88	164,09
Centroid			173,78	1197,69	563,95	302,21			32,72	619,93	215,60	173,34
Subneilid			190,71	1248,88	590,39	306,32			86,75	812,99	326,16	180,76
Two-end conic			191,49	1248,97	591,84	307,48			86,87	816,94	327,19	181,33
Sorenson			152,61	1294,85	523,58	278,22			76,72	636,20	278,72	157,07



Tablo 3: Tomruk hacim formüllerinin hata oranları ve başarı sıralamaları

Tür	Hata	Formül											
		Huber	Smalian	N. Riecke	Uçcardaki Ç.O.	Hosfield	Fransız	Bruce	P. Doruska	Centroid	Subnelid	Two-end conic	Sorenson
Sarıçam	OH	3,3	-16,1	-3,2	-10,8	0,4	1,4	19,5	21,9	-1,0	10,8	-12,6	50,3
	(sıra)	(5)	(8)	(4)	(6)	(1)	(3)	(9)	(10)	(2)	(6)	(7)	(11)
	%OMH	2,8	5,3	2,3	6,8	2,4	2,7	6,7	7,3	2,5	5,3	5,2	15,6
	(sıra)	(5)	(7)	(1)	(10)	(2)	(4)	(9)	(11)	(3)	(8)	(6)	(12)
	%TH	0,9	-4,6	-0,9	-3,1	0,1	0,4	5,6	6,3	-0,3	-3,1	-3,6	14,4
(sıra)	(5)	(9)	(4)	(7)	(1)	(3)	(10)	(11)	(2)	(6)	(8)	(12)	
	ΣSıra	(15)	(24)	(9)	(23)	(4)	(10)	(28)	(32)	(7)	(20)	(21)	(35)
D. K. Göknarı	OH	0,7	-18,4	-5,7	-15,6	-10,7	-3,0	25,8	35,8	8,8	-14,9	-16,1	64,8
	(sıra)	(1)	(8)	(3)	(6)	(5)	(2)	(9)	(10)	(4)	(6)	(7)	(11)
	%OMH	3,1	5,2	2,2	7,1	3,1	3,1	5,8	6,9	2,1	4,9	5,0	10,5
	(sıra)	(3)	(8)	(2)	(11)	(5)	(4)	(9)	(10)	(1)	(6)	(7)	(12)
	%TH	0,1	-2,6	-0,8	-2,1	-1,5	-0,4	3,6	5,1	1,2	-2,1	-2,3	9,2
(Sıra)	(1)	(9)	(3)	(7)	(5)	(2)	(10)	(11)	(4)	(6)	(8)	(12)	
	ΣSıra	(5)	(25)	(8)	(24)	(15)	(8)	(28)	(31)	(9)	(18)	(22)	(35)
D. Kayını	OH	6,2	-6,2	2,1	-1,8	-1,3	3,1	31,4	40,0	24,6	-1,8	-3,3	65,0
	(sıra)	(6)	(7)	(3)	(2)	(1)	(4)	(9)	(10)	(8)	(2)	(5)	(11)
	%OMH	4,3	5,3	2,5	8,1	3,6	4,3	7,0	7,9	4,9	5,0	5,1	12,0
	(sıra)	(3)	(8)	(1)	(11)	(2)	(4)	(9)	(10)	(5)	(6)	(7)	(12)
	%TH	1,1	-1,1	0,4	-0,3	-0,2	0,5	5,3	6,8	4,2	-0,3	-0,6	11,0
(sıra)	(7)	(8)	(4)	(3)	(1)	(5)	(10)	(11)	(9)	(2)	(6)	(12)	
	ΣSıra	(16)	(23)	(8)	(16)	(4)	(13)	(28)	(31)	(21)	(10)	(18)	(35)
D. Ladini	OH	1,4	-12,3	-3,2	-9,2	0,5	-0,3	14,8	17,1	101,4	-9,2	-10,2	38,2
	(sıra)	(3)	(7)	(4)	(5)	(2)	(1)	(8)	(9)	(11)	(5)	(6)	(10)
	%OMH	3,0	6,2	2,3	7,8	3,0	3,1	6,8	6,9	32,8	5,8	5,9	12,4
	(sıra)	(2)	(7)	(1)	(10)	(3)	(4)	(8)	(9)	(12)	(5)	(6)	(11)
	%TH	0,5	-3,9	-1,0	-2,9	0,2	-0,1	4,7	5,4	32,0	-2,9	-3,2	12,1
(sıra)	(3)	(8)	(4)	(6)	(2)	(1)	(9)	(10)	(12)	(5)	(7)	(11)	
	ΣSıra	(8)	(22)	(9)	(21)	(7)	(6)	(25)	(28)	(35)	(15)	(19)	(32)

(*) parantez içinde her bir yöntemin başarı sırası verilmiştir.

Çalışma kapsamında yapılan, varyansların homojenliği ve Bağımsız Örneklem T-Testi sonuçları ise Tablo 4'te verilmiştir.



Tablo 4'e bakıldığında; Bruce, Patterson Doruska ve Sorenson tomruk formüllerinin Kürtün Orman Deposuna getirilen hiçbir ağaç türüne ait tomrukların hacim hesabında; ayrıca Smalian tomruk hacim formülünün sarıçam ve göknar; Two-end conic tomruk hacim formülünün yine sarıçam; Hossfeld ve Centroid tomruk hacim formüllerinin de göknar tomruklarının hacim hesaplamasında kullanılmayacağı istatistiksel olarak ($p < 0,05$) belirlenmiştir.

Tablo 4: Çeşitli formüllerin hacim hesaplarına göre yapılmış varyansların homojenliği ve Bağımsız Örneklem T-Testi sonuçları

Formüller	Sarıçam				D. Karadeniz Göknarı				D. Kayın				D. Ladini			
	Levene	p	t	p	Levene	p	t	p	Levene	p	t	p	Levene	p	t	P
Huber	0,017	0,89	1,332	0,19	0,001	0,97	0,154	0,88	0,003	0,95	-4,889	0,33	0,013	0,91	0,988	0,33
Smalian	0,019	0,78	-3,031	0,01	0,022	0,88	-2,358	0,02	0,045	0,83	0,844	0,40	0,494	0,48	-0,629	0,53
N. Riecke	0,021	0,88	-1,317	0,12	0,000	0,99	-1,926	0,06	0,000	0,99	0,631	0,53	0,020	0,89	0,631	0,53
Uçlardaki Ç.O.	0,042	0,84	-1,995	0,06	0,021	0,89	-1,972	0,06	0,014	0,91	-0,212	0,83	0,375	0,54	-0,212	0,83
Hossfeld	0,000	0,99	0,180	0,86	0,043	0,84	-2,288	0,03	0,077	0,78	-0,204	0,84	0,000	0,98	-0,204	0,84
Fransız	0,010	0,92	0,570	0,57	0,000	0,99	-0,632	0,53	0,010	0,92	0,493	0,63	0,018	0,90	0,493	0,63
Bruce	0,049	0,83	2,521	0,02	0,001	0,98	3,567	0,00	0,149	0,70	4,111	0,00	0,000	0,98	4,111	0,00
P. Doruska	0,089	0,77	2,596	0,01	0,008	0,93	4,646	0,00	0,328	0,57	-4,484	0,00	0,026	0,87	4,928	0,00
Centroid	0,009	0,93	-0,316	0,75	0,000	0,98	3,078	0,00	0,008	0,93	1,712	0,10	0,218	0,64	1,712	0,10
Subneilid	0,042	0,84	-1,995	0,06	0,021	0,89	-1,972	0,06	0,014	0,91	-0,212	0,84	0,375	0,54	-0,212	0,83
Two-end conic	0,053	0,82	-2,372	0,02	0,021	0,89	-2,104	0,04	0,220	0,88	-0,363	0,72	0,413	0,52	-0,363	0,72
Sorenson	0,441	0,51	3,387	0,00	0,032	0,86	6,720	0,00	0,776	0,38	5,736	0,00	0,204	0,65	5,736	0,00

* Tablo 4'te turuncu renkle belirtilen satır, ilgili tomruk hacim formülünün başarı sırasını; sarı renkle belirtilen sütundaki formüller, ilgili ağaç türünün tomruk hacmi hesaplamasında



en az hataya sahip olan formülü, gri renkle belirtilenler sütündeki formüller ise ilgili ağaç türünün tomruk hacmi hesaplamasında istatistiksel olarak anlamlı bulunmayan formülü ifade etmektedir.

Tartışma

Tablo 5’te, her bir hacim tomruk hacim formülünün gerçek tomruk hacmini hesaplarken ne oranda fark içerdiği, türlere göre ayrı ayrı hesaplanarak ortalama şeklinde verilmiştir.

Bu tabloda da görüldüğü gibi, hacim hesaplaması yapılan tüm tomrukların ortalama hataları birlikte değerlendirildiğinde sarıçam ve D. kayını tomruklarında Hossfeld, D. Karadeniz göknarı tomruklarında Huber ve D. ladini tomruklarında ise Fransız metodu en az hata içermektedir.

Tablo 5: Farklı formüllerle hesaplanan tomruk hacimlerindeki ortalama fark oranları

Formüller	Gerçek hacme göre ortalama farklar (%)			
	Sarıçam	D. Karadeniz Göknarı	D. Kayını	D. Ladini
Huber	-1,598	-0,009	-1,118	0,162
Smalian	3,565	2,831	1,771	2,315
N. Riecke	0,123	0,937	-0,155	0,879
Uçlardaki Ç.O.	2,436	2,239	1,045	1,398
Hossfeld	-0,119	1,361	-0,561	-0,305
Fransız	-1,076	0,522	-0,593	0,694
Bruce	-5,309	-4,077	-4,755	-5,955
P. Doruska	-5,320	-5,381	-6,050	-6,160
Centroid	-0,621	-1,396	-3,570	-36,714
Subneilid	2,436	2,239	1,045	1,398
Two-end conic	2,813	2,436	1,287	1,704
Sorenson	-12,933	-10,146	-10,549	-13,070



Sonuçlar

Çalışma sonuçlarına genel olarak değerlendirildiğinde, Kürtün OİŞ'deki Baraj Orman Deposuna getirilen tomrukların hacim hesaplamasında başarı sırasına göre;

- Sarıçamda Hossfeld, Centroid, Newton-Riecke, Fransız, Huber, Subneilid ve Uçlardaki Çaplar Ortalaması;
- D. Karadeniz göknarında Huber, Newton-Riecke ve Fransız, Subneilid, Two-end conic ve Uçlardaki Çaplar Ortalaması;
- D. kayınında Hossfeld, Newton-Riecke, Subneilid, Fransız, Uçlardaki Çaplar Ortalaması ve Huber, Two-end conic ve Smalian,
- D. ladininde ise Fransız, Hossfeld, Huber, Newton-Riecke, Subneilid, Two-end conic, Uçlardaki Çaplar Ortalaması, Smalian ve Centroid formüllerinin kullanılabilceği sonucuna ulaşmıştır.

Sonuç olarak; önerilen formül veya formüllerle, tomruk hacim hesaplaması için çok detaylı ölçüm gerektirmeden, en doğru tomruk hacmini pratik ve en doğru şekilde tayin edebilen; ayrıca tomruk türlerine göre en başarılı olan formül ya da alternatif formüller belirlenmeye çalışılmıştır. Bu sonuçlar, Kürtün OİŞ Baraj Orman Deposundaki tomruk satışlarında yaşanabilen ekonomik kayıpların giderilmesi veya azaltılması) sağlanabilecektir. Ayrıca proje çıktıları, yeni yapılabilecek planlama ve bilimsel çalışmalara da bir altlık oluşturabilecektir.



Teşekkür

Bu araştırma, TÜBİTAK 2209-A – Üniversite Öğrencileri Araştırma Projeleri kapsamında desteklenmiş olup Artvin Çoruh Üniversitesi Orman Fakültesi Orman Mühendisliği 3. Sınıf öğrencisi Çiğşe Ilgın AKIN tarafından tamamlanan 1919B012305238 nolu projenin bir özeti olarak sunulmuştur. Desteklerinden dolayı TÜBİTAK'a, Artvin Çoruh Üniversitesi'ne ve Trabzon OBM Kürtün OİM Kürtün OİŞ ile Baraj Orman Deposu çalışanlarına teşekkür ederiz.

Kaynaklar

Akgür, N. (1982). Gövde hacminin tayininde kullanılan formüllerin incelenmesi. *İstanbul Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi*, A (2), 301-365.

Alkan, O. & Özçelik, R. (2020). Stem taper equations for diameter and volume predictions of *Abies cilicica* Carr. in the Taurus Mountains, Turkey. *Journal of Mountain Science*, 17 (12), 3054–3069. DOI: 10.1007/s11629-020-6071-x

Barnes, G. H. (1945). Cubic foot scaling and utilization of logging waste. *The Timberman*, 46, 66-72.

Bozkurt, A. Y. & Erdin, N. (2000). *Odun Anatomisi*. İstanbul: İ.Ü. Orman Fakültesi, Dilek Matbaası, Yayın No: 4263/466.

Brickell, J. E. (1981). Stem analysis: A conventional approach to volume determination., 61-67 pp, Utah-USA: GTR INT-193.

Bruce, D. (1982). Butt log volume estimators. *Forest Science*, 28, 489-503.

Carus, S. (2002). Bazı hacim formüllerinin seksiyon, gövde ve bağıl uzunluklara göre kıyaslanması. *Süleyman Demirel Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi*, Seri: A(1), 101-114.

Diker, M. (1946). *Ağaç ve Odun Ölçme Bilgisi*. 230 s., Ankara: Tarım Bakanlığı Orman Genel Müdürlüğü.

Durkaya, B. & Durkaya, A. (2011). Tomruk hacminin hesaplanmasında kullanılan çeşitli hacim formüllerinin karşılaştırılması. *Bartın Orman Fakültesi Dergisi*, 13 (20), 18-22.

Ercanlı, İ. (2020a). Innovative deep learning artificial intelligence applications for predicting relationships between individual tree height and diameter at breast height. *Forest Ecosystems*, 7, 12. DOI: 10.1186/s40663-020-00226-3

Ercanlı, İ. (2020b). Artificial intelligence with deep learning algorithms to model relationships between total tree height and diameter at breast height. *Forest Systems*, 29 (2), e013. DOI: 10.5424/fs/2020292-16393

Fırat, F. (1973). *Dendrometri*. 359 s., İstanbul: İ. Ü. Orman Fakültesi Yayın No: 93.

Filho, A. F., Machado, S. A. & Carneiro, M. R. A. (2000). Testing accuracy of log volume calculation procedures against water displacement techniques (xylometer). *Canadian Journal of Forest Research*, 30 (6), 990-997. DOI:10.1139/cjfr-30-6-990.

Günay Z. & Çancı F. (1982). *Orman Ürünleri Standardizasyonu ve Kübaj*. Ankara: Saydam Matbaası.

Güney, İ. H. (2007). Ağaç ve tomruk hacimlerinin tahmininde kullanılan bazı yöntemlerin karşılaştırılması. Yüksek Lisans Tezi, Isparta: S. D. Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü.

Kahriman, A., Sönmez, T., Şahin, A. & Yavuz, M. (2016). A bark thickness model for Calabrian pine in Turkey. *2nd International Conference on Science, Ecology and Technology*, 23-25 August 2016, Barcelona, Spain, (pp. 661-670).

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

Kalıpsız, A. (1984). *Dendrometri*. 407 s., İstanbul: İ. Ü. Orman Fakültesi Yayın No: 354.

Kapucu, F. (2004). *Orman Amenajmanı*. 515 s., Trabzon: Karadeniz Teknik Üniversitesi Yayın No: 215.

Miraboğlu, M. (1959). Orta Yüzey Formülünün sıhhati ve devlet orman işletmelerimizdeki tatbikatı. *İstanbul Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi*, A (1), 31-47.

O.G.M. (1991). *Orman Amenajman Planlarının Düzenlenmesine, Uygulanmasına ve Yenilenmesine Dair Yönetmelik*. Ankara.

OGM, (2022). *Ormanlık istatistikleri 2022*. Ankara: Orman Genel Müdürlüğü Yayınları.

Özçelik, R. (2002). Tomruk hacminin tahmininde kullanılan Centroid Metod ve dört standart formülün karşılaştırılması, *Süleyman Demirel University Journal of Forestry Faculty*, A (1), 115-120.

Özçelik, R. (2006). İstiflenmiş tomruklarda kullanılan hacim formüllerinin karşılaştırılması. *Süleyman Demirel Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi*, A (1), 26-32, Isparta.

Özçelik, R., Wiant, Jr. H. V. & Brooks, J. R. (2008). Accuracy using xylometry of log volume estimates for two tree species in Turkey, *Scandinavian Journal of Forest Research*, 23 (3), 272-277. DOI: 10.1080/02827580801995323

Patterson, D. W. & Doruska, P. F. (2004). A new and improved modification to Smalian's equation for butt logs. *Forest Products Journal*, 54, 69-72.

Philip, M. S. (1994). *Measuring Trees and Forests*. 310 pp., Aberdeen, UK: Cab. International.

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

Sun O., Eren M. E. & Orpak, M. (1978). *Temel ağaç türlerimizde tek ağaç ve birim alandaki odun çeşidi oranlarının saptanması*. Ankara: (TÜBİTAK, proje no: TOAG-288), Tarım ve Ormancılık Araştırma Grubu Yayını.

Şahin, A. (2015). Mersin Yöresi saf kızılçam (*Pinus brutia* Ten.) meşcerelerinde hasılat araştırmaları, Doktora Tezi, 331 s., Artvin: Artvin Çoruh Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.

Şahin, A., Sönmez, T. & Kahrıman, A. (2017). Single entry raw wood products table construction for Calabrian Pine (*Pinus brutia* Ten.) in Mersin Region. *Kastamonu Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi*, 17 (1), 23-35.

Şahin, A. & Korkmaz, S. S. (2021). Farklı ağaç türlerinde çeşitli tomruk hacim formüllerinin karşılaştırılması. *Ormancılık Araştırma Dergisi*, 8 (2), 171-179. DOI: 10.17568/ogmoad.888129

Şahin, A. & Çomak, A. (2023). Suitability of various volume equations for logs volume calculation. *Forestist*, 73 (2), 138-144.

Tewari, V. P. & Singh, B. (2005). Comparison of Bruce's Formula and other methods for log volume estimation. *Indian Forester*, 131 (7), 917-924.

Türker, M. F. (2013). *Ormancılık İşletme Ekonomisi*. Güncellenmiş ve Genişletilmiş 2. Baskı. 76 s., Trabzon: Ormancılık ve Tabiatı Koruma Vakfı Yayın No:5, ISBN:978-605-85748-0-9.

Wood, G. B. & Furnival, G. M. (1992). Estimating log volume using the Centroid position. *Forest Science*. 38 (1), 187-191.

Wiant Jr, H. V., Patterson, D. W., Hassler, C. C. & Rennie, J. C. (1993). Comparison of Bruce's Formula and other methods for estimating the volume of butt logs. *Modern Methods of Estimating Tree and Log Volume Proc. IUFRO Conf.*, 14-16 June 1993, Div. For. W. Va. Univ., Morgantown. pp. 79-85),

Wiant Jr, H. V., Patterson, D. W., Hassler, C. C., Wood, G. B. & Rennie, J. C. (1996). Comparison of formulas for estimating volumes of butt logs of Appalachian Hardwoods. *Northern Journal of Applied Forestry*, 13 (1),5-7.

Williams, J. G. (1991). *Volume estimators for Pondcypress butt logs* (Vol. 361). US Department of Agriculture, Forest Service, Southeastern Forest Experiment Station.

Wood, G.B. & Wiant Jr, H. V. (1990). Estimating the volume of Australian Hardwoods using Centroid sampling. *Australian Journal of Forestry*: 53 (4), 271-274.

Wood, G. B., Wiant Jr, H. V., Loy, R. J. & Miles, J. A. (1990). Centroid Sampling: A variant of importance sampling for estimating the volume of sample trees of Radiata pine. *Forest Ecology and Management*, 36 (2-4), 233-243.

Yavuz, H. (1999a). Taşkpr Yresinde karaçam için hacim fonksiyonları ve hacim tabloları, *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*, 23, 1181-118.

Yavuz. H. (1999b). Comparison of the Centroid Method and four standard formulas for estimating log volumes. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*, 23, 597- 602.

Yeşil, A. (1992). Değişik sıklık ve bonitetlerdeki kızılçam meşcerelerinin yaşa göre gelişimi. Doktora Tezi, 179 s., İstanbul: İstanbul Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.

Young, H. E. (1966) Forest measurement accuracy. *The Forestry Chronicle*, 42(4), 438-443.

BÖLÜM V

Orman Alanlarında Yaşanan Zamansal ve Konumsal Değişimlerin Tespiti ve Yorumlanması: Türkiye’den Örnek Çalışmalar

Sinan KAPTAN¹
Ali DURKAYA²
Birsen DURKAYA³

Giriş

Karasal ekosistemler içerisinde en geniş yayılış alanına sahip olan orman ekosistemleri odun hammaddesi üretimi, biyolojik çeşitlilik, karbon tutma, oksijen üretme, yağış rejimini düzenleme, erozyonu önleme gibi ekolojik, ekonomik ve sosyokültürel açıdan kritik bir rol oynamaktadır. Türkiye, bulunduğu coğrafi konumu ve

¹ Doç. Dr. Sinan KAPTAN, Bartın Üniversitesi, Bartın Orman Fakültesi, Orman Mühendisliği Bölümü, Ağdacı Kampüsü, Bartın/Türkiye, Orcid: 0000-0001-6059-5163, skaptan@bartin.edu.tr

² Prof. Dr. Ali DURKAYA, Bartın Üniversitesi, Bartın Orman Fakültesi, Orman Mühendisliği Bölümü, Ağdacı Kampüsü, Bartın/Türkiye, Orcid: 0000-0002-9672-3996, adurkaya@bartin.edu.tr

³ Prof. Dr. Birsen DURKAYA, Bartın Üniversitesi, Bartın Orman Fakültesi, Orman Mühendisliği Bölümü, Ağdacı Kampüsü, Bartın/Türkiye, Orcid: 0000-0002-3132-7044, bdurkaya@bartin.edu.tr



sahip olduğu farklı iklim kuşakları sebebiyle fauna ve flora açısından oldukça zengin bir ülke konumundadır. Tükenmez bir kaynakmış gibi görünen ormanlar hızla artan sanayileşme, kırdan kente doğru yaşanan yoğun göç, hızlı şehirleşme, küresel iklim değişimi gibi doğal ve antropojenik etkilere bağlı olarak zamansal ve konumsal açıdan değişim yaşamaktadır.

Son yıllarda düzensiz yağışlar, sıcaklıklarda yaşanan ani artış ve düşüşler olarak yerkürenin hemen hemen her yerinde farklı şekilde ve şiddette etkisini gösteren küresel iklim değişimi dünyada endişe ile takip edilen ciddi bir sorun olarak karşımızda durmaktadır. İklim değişikliği, İklim Değişikliği Paneli (IPCC) tarafından dünyanın önem vermesi gereken en büyük çevresel problem olarak görülmektedir (IPCC, 2014a; IPCC, 2014b; Durkaya, Kaptan & Durkaya, 2019). Ağırlıklı olarak insan etkilerinin sonucunda ortaya çıkan küresel ısınmanın en önemli ana kaynağının CO₂ emisyonları olduğu kabul edilmektedir (Prada & ark., 2020; Wang & ark., 2019; Wang & ark., 2021; Kaptan, 2021a). Küresel ısınmanın azaltılması ve yavaşlatılmasında ormanlar, fotosentez yoluyla karbondioksiti uzun yıllar bünyesinde depolama özelliğine sahip olmaları nedeniyle aktif ve kritik bir rol oynamaktadır. Dünya karasal ekosistemleri tarafından tutulan karbonun 2/3'ü orman ekosistemlerinde depolanmaktadır (Saraçoğlu, 2018).

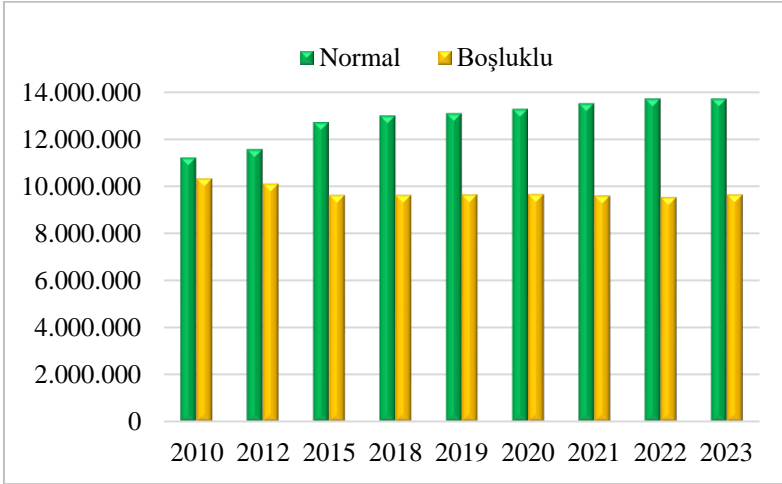
Birden fazla fonksiyona sahip orman alanlarında yaşanan değişimlerin küresel, bölgesel ve yerel ölçekte ekonomik, ekolojik ve sosyo-kültürel etkileri söz konusudur. Orman alanlarında yaşanan değişimlerin etkileri uzun yıllar boyunca etkisini hissettirdiği gibi orman dinamiği göz önüne alındığında da telafisi için uzun yıllar ve



yoğun bir emek sarf edilmesi gerekmektedir. Sürdürülebilir kaynak yönetiminde, küresel karbon bütçesinin dengelenmesi, ormanların iklim değişikliği üzerindeki rolünün anlaşılması, habitatların korunması göz önüne alındığında yaşanan değişimlerin izlenmesi oldukça önemlidir (Hayes & John, 2007). Bu sebeple doğal kaynak yöneticileri, politikacılar ve araştırmacılar, küresel iklim değişikliği, karbon bütçeleri ve biyoçeşitlilik gibi birçok acil meseleyi ele almak için arazi örtüsü değişimleri hakkında bilgi talep etmektedirler (Dixon & ark., 1994; DeFries & ark., 1999, Verbesselt, 2010). Bu bilgiler, son yıllarda belirli bir hata payı ile coğrafi bilgi sistemleri (CBS) ve uzaktan algılama teknikleriyle elde edilebilmektedir (Kaptan & Durkaya, 2019).

Türkiye Orman Varlığı

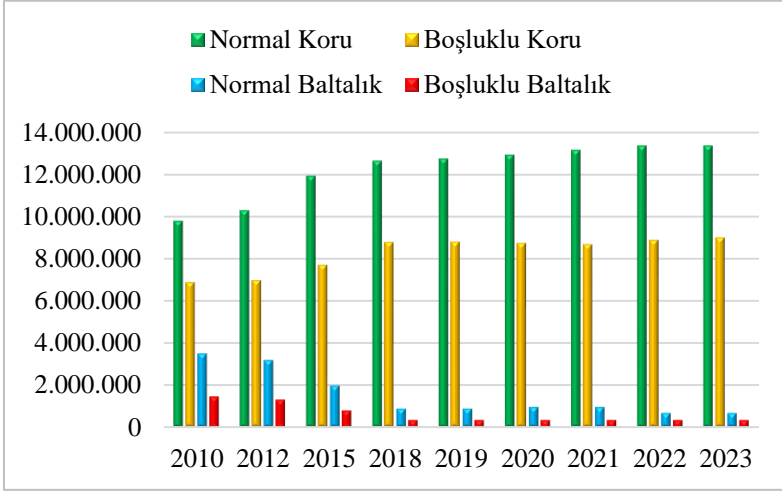
Türkiye'de ormanların yaklaşık %99'unun mülki ve idari hakkı devlet ait olup Orman Genel Müdürlüğü (OGM) tarafından planlanmakta, işletilmekte ve yönetilmektedir. Türkiye, 2023 yılı ormancılık istatistiklerine göre %59'u normal (verimli) orman, %41'i ise boşluklu kapalı orman olmak üzere toplamda 23.363.071 ha orman alanına sahiptir (OGM, 2023). Türkiye ormanlarının 2010-2023 yılları arasındaki alansal değişimleri Grafik 1'de gösterilmiştir.



Grafik 1: Türkiye orman alanı dağılımı (2010-2023).

Kaynak: OGM 2023

2023 yılı verilerine göre; 13.708.972 hektarlık normal orman alanının %57'si koru ve %2'si baltalık ormanlardan oluşmaktadır. Toplam 9.654.099 ha boşluklu orman alanının ise %38'i koru, %3'ü boşluklu orman alanıdır (Grafik 2). 2010 yılından 2023 yılına kadar boşluklu orman alanlarında yaklaşık 680.155 ha azalma yaşanırken, normal orman alanı ise 2.506.135 ha kadar artmıştır. Türkiye ulusal ormancılığının mevcut ormanların korunması, geliştirilmesi ve orman kaynaklarından çok yönlü faydalanılmasını içeren üç ana amacı vardır. OGM, bir yandan tüm ülke genelinde ağaçlandırma çalışmalarıyla yeni orman alanları kurarken, 2006 yılında başlayan rehabilitasyon çalışmalarıyla da boşluklu orman alanlarını iyileştirmeye devam etmektedir.



Grafik 2: Koru ve baltalık ormanların alansal olarak dağılımları (2010-2023).

Kaynak: OGM 2023

Rehabilitasyon çalışmaları kapsamında 2022 yılında; 30.183 ha alanda ağaçlandırma, 55.107 ha alanda rehabilitasyon, 6.537 ha alanda özel ağaçlandırma, 27.800 ha alanda suni tensil çalışması, 19.850 ha alanda erozyon kontrolü, 12.893 ha alanda mera ıslahı, 16.238 ha alanda sel kontrolü çalışması olmak üzere toplam 168.608 ha alanda orman tesis çalışması yapılmıştır (OGM, 2022). Ormanlarını düzenli bir şekilde arttırmayı başaran Türkiye, Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO)'ın 2020 raporuna göre 2010-2020 döneminde yıllık net orman kazancı en yüksek 10 ülke arasında 6. sırada yer almaktadır (FAO, 2020).

Ulusal ve uluslararası kurum ve kuruluşların ormancılık sektöründen beklediği raporların hazırlanması için gerekli olan



İstatistiksel veriler orman amenajman planlarından temin edilmektedir. Sürdürülebilir ormancılığın sigortası olarak kabul edilen ve periyodik olarak (ilgili plan ünitesi için 10 yılda bir) yapılan orman amenajman planlarının yapımı için çeşitli konularda envanter çalışmaları yapılmaktadır. Bunlar;

- Alan envanteri
- Ağaç serveti ve artım envanter
- Yetiştirme ortamı envanteri
- Biyoçeşitlilik envanteri
- Odundışı orman ürünleri envanteri
- Sosyo-ekonomik durum envanteri
- Sağlık durumu envanteri
- Ormanın ürün dışı (hizmet) fonksiyonları envanteridir (Asan, 2017).

Orman alanlarına yönelik bilgilerin toplandığı alan envanteri ile orman ve orman dışı alanlar ayrılmaktadır. Hava fotoğrafları ve yersel ölçümlerin birlikte kullanılmasına dayanan kombine envanter yönteminin kullanıldığı alan envanteri ile orman ve orman dışı alanların sınırları belirlenerek meşcere tipleri haritaları oluşturulmaktadır. Böylece orman alanları ağaç türü, karışım şekli ve oranı, gelişim çağı, kapalılık, yaş, çap, bonitete göre sınıflandırılıp her birinin alanları tespit edilmekte ve tablolar halinde raporlanmaktadır. Özellikle orman alanlarında yaşanan değişimleri ile arazi kullanımı ve örtüsünde yaşanan değişimlerin incelendiği



çalışmalarda meşcere tipleri haritalarından sıklıkla yararlanılmaktadır.

Arazi Kullanımı/Arazi Örtüsü Değişimleri ve Metodolojisi

Arazi kullanımı değişikliği insanların araziyi kullanma şeklinde yapılan değişiklikleri, arazi örtüsü değişikliği ise bir alanın fiziksel veya biyotopik doğasının dönüşümünü kapsar. Ormanlık alanların tarım arazilerine dönüştürülmesi arazi kullanımı değişikliğine, mera alanının çalıya dönüşmesi ise arazi örtüsünde yaşanan değişikliğe birer örnektir (Guida-Johnson & Zuleta, 2013). Bu konuda yapılan çalışmaların tamamında coğrafi bilgi sistemleri (CBS) ve uzaktan algılama teknikleri kullanılmaktadır.

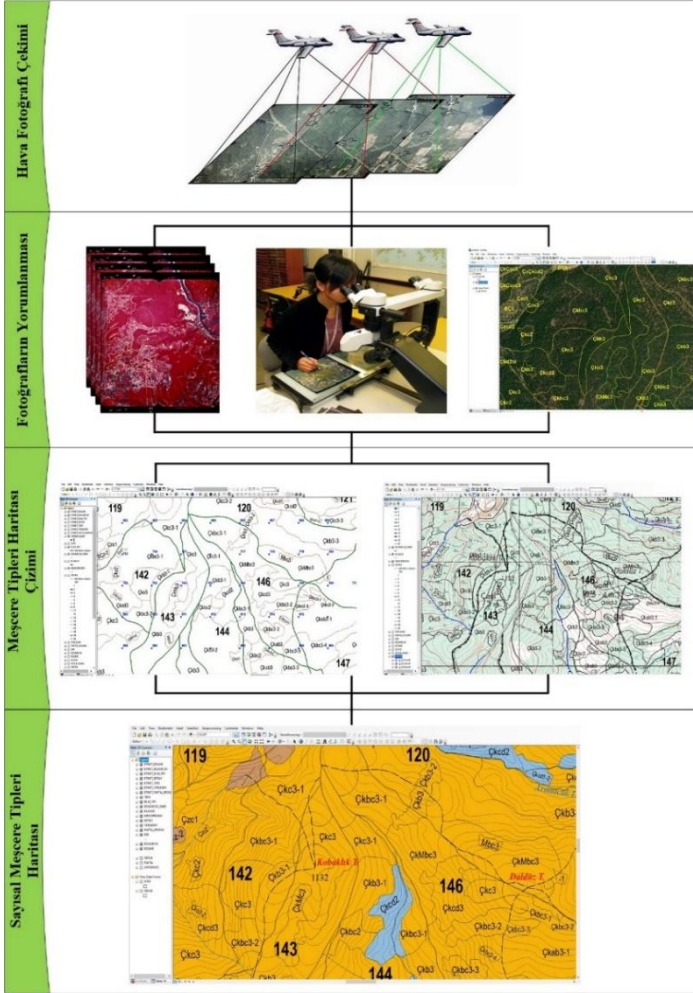
CBS, iki veya daha fazla zaman periyodu arasında yaşanan değişimleri tespit etmek için kullanışlı bir araçtır. CBS, mevcut verileri modelleyebilme, istatistiksel ve analitik işlevlerinin de kullanılarak mevcut değişimlerdeki eğilimlerin yönü ve şiddetini ölçebilir. CBS kullanıcının talebi doğrultusunda gerekli çıktılar haritalar ya da tablolar şeklinde farklı formatlarda üretebilir.

Arazi kullanımı/arazi örtüsü değişimlerini ortaya koyabilmek için değişimin inceleneceği çalışma alanına ait farklı zamanlardaki görüntülere ya da haritalara ihtiyaç vardır. Arazi kullanımı/arazi örtüsü değişimi çalışmalarında uydu görüntüleri yaygın şekilde ve aktif olarak kullanılmaktadır. Özellikle Landsat uydu görüntüleri geniş yeryüzü alanlarının farklı zaman aralıklarına ait görüntülerini ücretsiz sunması ve kolay ulaşılabilir olması avantajlarından dolayı sıklıkla tercih edilmektedir.



Uydu görüntüleri üzerinde açıklık, orman, su, tarım, kent gibi alanları ayırmak ve kategorize mümkündür. Ancak ormancılık açısından ağaç türüne, gelişim çağına, kapalılık sınıfına göre yaşanan değişimleri tespit etmek ve izlemek oldukça zordur. Özellikle Türkiye'de bu konuda yapılan çalışmalarda çoğunlukla meşcere tipleri haritalarından yararlanılmaktadır. Bu haritalar uzaktan algılama (uydu görüntüleri veya hava fotoğrafları) yöntemleri ve saha ölçümlerinin birlikte kullanımına dayanan kombine envanter yöntemiyle üretilirler.

Meşcere tipleri haritalarının üretimi Şekil 1'de görüldüğü gibi Orman Genel Müdürlüğü ile Harita Genel Komutanlığı arasında yapılan protokollere göre yapılır. Üretim süreci planı yapılacak alanın uygun ölçekte ve yükseklikte hava fotoğraflarının çekilmesiyle başlar. İlk olarak, planlamaya konu alanın uygun ölçek ve yükseklikte hava fotoğrafları çekilir. Alınan hava fotoğrafları konusunda uzman olan ekip tarafından yorumlanarak yol, sırt, dere gibi doğal ve yapay hatlara göre hücreler oluşturulur. Uzman yorumlarına göre meşcere tipleri ayrılarak taslak sayısal (vektör) meşcere tipleri haritaları üretilir.



Şekil 1: Meşcere tipi haritalarının üretimi.

Kaynak: Kaptan, 2021b

Kesin olmayan bu taslak meşcere tipleri haritaları orman envanteri için sahadaki örnek alanlarda ölçüm yapacak ilgili ekibe bir yıl önceden verilir. Sahada yapılan ölçümlerden elde edilen sonuçlara göre taslak haritalardaki belirsiz noktalar giderilir, orman



ve orman dışı alanların her birine uygun renk ve sembol verilerek üretimleri tamamlanır (Kaptan, 2021b). Plan ünitesinin genel alanı, orman/orman dışı alanları, meşcere tiplerinin (ibrelili, yapraklı ve karışık) alansal ve mekânsal bilgileri gibi ulusal orman envanterine konu olan veriler bu haritalar yardımıyla üretilmektedir.

Zamansal ve mekânsal değişim analizleri CBS ortamında gerçekleştirebilmek için öncelikle ilgili alana ait uyu görüntüleri ya da haritalara ihtiyaç vardır. Bu haritalar üzerinde CBS programında arazi sınıfları/kategorileri oluşturulmalı, ilgili sınıflar/kategoriler için yıllar itibariyle sahip oldukları alanlar hesaplanmalıdır. Zaman içerisinde her bir kategoride gerçekleşen değişimleri tespit etmek amacıyla arazi değişim matrisi tablolarını üretmek gerekir. Bu amaçla 1. zaman aralığı (T_1) ve 2. zaman aralığına (T_2) ait haritalar karşılaştırılır. Kategoriler arası geçişleri gösteren matris tablolarında satırlar 1. zamana ait (T_1) kategorilerin alanlarını, sütunları ise 2. zamana ait (T_2) kategorilerin alanlarını gösterir (Tablo 1). Tablodaki çapraz girişler (P_{11} , P_{22} , P_{ii} , ...) her bir kategori için zaman aralığındaki sabit kalan kısmını yani kalıcılık miktarını gösterirken, köşegen dışında kalan kısımlar ise “ i ” kategorisinden farklı bir “ j ” kategorisine geçiş miktarını göstermektedir (Pontius, Shusas & McEachern 2004). Toplam sütunundaki P_{i+} , tüm i satırındaki P_{ij} 'nin toplamı olan T_1 yılındaki i kategorisine ait alan miktarını gösterir. Toplam satırındaki P_{+j} , tüm j sütunundaki P_{ij} 'nin toplamı olan T_2 yılındaki j kategorisinin alanını gösterir. Tablonun kayıp (L) sütunu, T_1 ile T_2 zaman aralığında diğer kategorilere dönüşen i kategorisinin toplam arazi miktarını ifade eder. Kazanç (G) satırı ise T_1 ile T_2 zaman aralığında j kategorisinin diğer kategorilerden kazandığı toplam arazi miktarını gösterir.



Tablo 1: Zaman aralığındaki değişimi gösteren arazi değişim matrisi.

T ₁	T ₂								Toplam T ₁	Kayıp (L)
	Kategori 1	Kategori 2	...	Kategori i	...	Kategori j	...	Kategori J		
Kategori 1	P_{11}	P_{12}	...	P_{1i}	...	P_{1j}	...	P_{1J}	P_{1+}	$P_{1+} - P_{11}$
Kategori 2	P_{21}	P_{22}	...	P_{2i}	...	...	...	P_{2J}	P_{2+}	$P_{2+} - P_{22}$
...
Kategori i	P_{i1}	P_{i2}	...	P_{ii}	...	P_{ij}	...	P_{iJ}	P_{i+}	$P_{i+} - P_{ii}$
...
Kategori j	P_{j1}	P_{j2}	...	P_{ji}	...	P_{jj}	...	P_{jJ}	P_{j+}	$P_{j+} - P_{jj}$
...
Kategori J	P_{J1}	P_{J2}	...	P_{Ji}	...	P_{Jj}	...	P_{JJ}	P_{J+}	$P_{J+} - P_{JJ}$
Toplam T ₂	P_{+1}	P_{+2}	...	P_{+i}	...	P_{+j}	...	P_{+J}	I	
Kazanç (G)	$P_{+1} - P_{11}$	$P_{+2} - P_{22}$	...	$P_{+i} - P_{ii}$	...	$P_{+j} - P_{jj}$	...	$P_{+J} - P_{JJ}$		

T₁: Çalışma döneminin ilk zamanı; T₂: Çalışma döneminin son zamanı; J: Arazi örtüsü kategorilerinin sayısı; i, j: Bir arazi örtüsü kategorisi için 1'den J'ye kadar değer aralığı indeksi; P_{ij}: Kategori i'den kategori j'ye geçen alan miktarı; P_{ii}: Kategori i'nin değişmeden kalan alan miktarı; P_{i+}: P_{ij}'nin tüm j üzerindeki toplamı olan T₁'deki i kategorisindeki alan; P_{+j}: P_{ij}'nin tüm i üzerindeki toplamı olan T₂'deki j kategorisindeki alan; P_{ij}'nin tüm i üzerindeki toplamı olan T₂'deki j kategorisindeki alan; G_{ij}: j kategorisinin rastgele değişim durumu altında i kategorisinden kazandığı alan; L_{ij}: i kategorisinin rastgele değişim durumunda kategori j'ye kaybettiği alan.



Türkiye Orman Alanları Değişimlerini Konu Alan Çalışmalardan Farklı Örnekler

Arazi kullanımı/arazi örtüsü değişimi çalışmalarında değişime konu olan arazi sınıfları genellikle orman, tarım, yerleşim, su gibi kategorilere ayrılmaktadır. Bu sayede çalışma zaman aralığında her bir arazi sınıfının kendi içerisinde ve sınıfların birbiri arasında karşılıklı yaşadığı alansal değişimleri haritalamak, izlemek ve raporlamak mümkün hale gelmektedir. Bu tip çalışmalarda her ne kadar orman ve orman dışı alanlar ayrılmış olsa da orman alanları kendi içerisinde ayrıca sınıflandırılmamaktadır. Orman alanlarını ağaç türü, saf ya da karışık halde oluşu, gelişim çağı, kapalılık sınıfları açısından durumlarının incelenmesi ormanların sürdürülebilir bir şekilde yönetilmesi ve işletilmesi açısından oldukça önemlidir.

Dünya ölçeğine kıyasla Türkiye'de arazi kullanımı değişimine ve özellikle orman dinamiklerini anlamaya yönelik araştırmalar az sayıdadır. Başkent & Kadioğulları (2007), İnegöl şehrinin arazi örtüsü ile orman alanlarında yaşanan değişimleri uydu görüntüleri ve meşcere tipleri haritalarını (stand-type maps) kullanarak incelemiş, sonuç olarak orman alanlarında artış olduğunu tespit etmişlerdir. Çakır & ark. (2008), 1971 yılından 2002 yılına kadar İstanbul'da yaşanan değişimi inceleyerek ormanlık alanlarda artış olduğunu belirlemişlerdir. Kaya & Görgün (2020), Balıkesir ili Bandırma ilçesinin 30 yıllık değişimi inceledikleri çalışmalarında orman alanlarında artış sulak alanlarda ise azalış yaşandığını ortaya koymuşlardır. Özdemir & Özkan (2003), Keleş & ark. (2008), Günlü & ark. (2009), Karahalil & ark. (2009), Terzioğlu & ark. (2010), Yavuz & Vatandaşlar (2018), Kaptan & Durkaya (2019), Ketin &



Zengin (2020) de yaptıkları çalışmalarda zamansal ve mekânsal değişimleri konu edinmişlerdir. Ancak bu çalışmalarda arazi kullanımı ve örtüsünde yaşanan değişimler incelenirken geçiş matrisi tablolarında yer alan veriler herhangi bir hesaplama dahil edilmeden doğrudan değerlendirilmiştir.

Kaptan (2021a), 1995-2018 zaman aralığı için Karabiga Orman İşletme Şefliğinde yaşanan arazi örtüsü değişikliklerini ele aldığı çalışmada Pontius, Shusas & McEachern (2004) tarafından geliştirilen hesaplama yöntemini kullanmıştır. Bu yöntemde, klasik arazi değişim matrisi tablosundaki girdilere ek olarak net değişim ve takas değişim (swap change) hesaplaması yer almaktadır (Tablo 2). Pontius, Shusas & McEachern (2004) ve Teferi & ark. (2013) arazi kullanımı/arazi örtüsü kategorileri arasında yaşanan eşzamanlı kazanç ve kayıplar olarak ifade ettikleri takas değişiminin (S_j), toplam değişimin açıklanmasında net değişiklikten daha önemli olduğunu ortaya koymuşlardır (Gebremicael & ark., 2018). Burada net değişiklik bir kategorinin kazancı ile kaybı arasındaki farkın mutlak değerini ifade etmektedir. Kategorinin minimum kazancının ya da kaybının iki katı olarak hesaplanan takas değişimi aynı zamanda toplam değişim (C_j) ile net değişiklik (N_j) arasındaki farka eşittir. Takas ve net değişikliklerin bir arada ele alınması bir alandaki toplam değişimi anlamak için oldukça önemlidir. Pontius, Shusas & McEachern (2004), yalnızca net değişimi dikkate alınarak yapılacak analizlerin ve değerlendirmelerin, takas değişimlerini hesaba katmakta yetersiz kalacağını, bu nedenle de toplam değişikliklerin olduğundan daha az tahmin edileceğini ifade etmişlerdir.



Çalışmadan elde edilen bulgulara göre; genel orman alanında azalma yaşandığı tespit edilirken, orman alanları içerisinde en fazla kazanç elde eden kategorinin karışık orman alanları olduğu, en fazla kayıp yaşayan orman alanlarının ise yapraklı ormanlar olduğu görülmüştür. Net değişim miktarları açısından 23 yıllık dönem sonunda yapraklı ormanlar ile ağaçsız orman alanlarının azaldığı tespit edilmiştir. Özellikle yapraklı orman alanları kayıplarının karışık ve ibrelili ormanlarla birlikte ziraat alanları arasında paylaşıldığı görülmüştür. Karışık orman, orman dışı alan, maki ve özel ağaçlandırma alanlarında yaşanan değişimlerin tümüyle net değişimden, diğer kategorilerde yaşananların ise net ve takas değişiminden kaynaklandığı tespit edilmiştir. Bu kategoriler aynı zamanda alansal kayıp yaşamadan diğer kategorilerden kazanç elde ederken, takas değişiminin temel mantığı kapsamında eş zamanlı olarak kazanç ve kayıp yaşamamışlardır. Bu sebeple kazançları tamamen net değişimden kaynaklıdır. Takas değişimi ibrelili, ağaçsız, yerleşim, su ve ziraat alanların için net değişimden büyüktür. Takas değişiminin net değişimden büyük olması, kategoriler arasında yoğun bir şekilde kazanç ve kayıplar yaşandığını ortaya koymaktadır. Ziraat ve ibreliler için takas değişim miktarının diğer kategorilere nazaran yüksek olması, bunların kategoriler içerisinde en dinamik kategoriler olduklarını, takas dinamiğini tüm çalışma dönemi boyunca yaşadıklarını ifade etmektedir.

Gelişim çağı açısından en yüksek kazancı “b” gelişim çağı sağlarken, bu kazancını sırası ile “a” ve “boşluklu” ormanın kayıplarından elde ettiği tespit edilmiştir. Bu durum çalışma alanında yapılan ağaçlandırma ve rehabilitasyon çalışmalarının kısmen de olsa başarılı olduğunu, ormanların gerek kalite gerekse



çap açısından iyiye gittiğini göstermektedir. Gelişim çağları arasında “d” kategorisi dışında gerçekleşen değişimlerin tamamı net ve takas değişimden kaynaklıdır. “Boşluklu” ve “c” gelişim çağında takas değişim miktarı net değişimden fazladır.

Kapalılık açısından bakıldığında, 1995-2018 yılları arasında en büyük kaybın “1” kapalı, en büyük kazancın ise “3” kapalı ormanlarda olduğu görülmüştür. Net değişim miktarı en yüksek olan kategoriler “1” ve “3” kapalı ormanlara aittir. Alansal kaybı kazancından fazla olan “1” kapalı ormanlardan en fazla kayıplar “3” kapalı ormanlara doğru gerçekleşmiştir. Benzer şekilde kaybı kazancından yüksek “boşluklu” orman kategorisinin kayıpları “3” kapalı orman tarafından kazanılmıştır. “Boşluklu” ve “1” kapalı orman kayıplarının “3” kapalı ormanlara kaymış olmasının ormanlarda yapısal olarak kalitenin arttığı yönünde yorumlamak mümkündür.



Tablo 2: Takas değişim ve net değişim hesabını içeren arazi değişim matrisi tablosu.

T ₁	T ₂						Toplam T ₁	Kayıp (L)		
	Kategori 1	Kategori 2	...	Kategori i	...	Kategori j			...	Kategori J
Kategori 1	P_{11}	P_{12}	...	P_{1i}	...	P_{1j}	...	P_{1J}	P_{1+}	$P_{1+} - P_{11}$
Kategori 2	P_{21}	P_{22}	...	P_{2i}	...		...	P_{2J}	P_{2+}	$P_{2+} - P_{22}$
...
Kategori i	P_{i1}	P_{i2}	...	P_{ii}	...	P_{ij}	...	P_{iJ}	P_{i+}	$P_{i+} - P_{ii}$
...
Kategori j	P_{j1}	P_{j2}	...	P_{ji}	...	P_{jj}	...	P_{jJ}	P_{j+}	$P_{j+} - P_{jj}$
...
Kategori J	P_{J1}	P_{J2}	...	P_{Ji}	...	P_{Jj}	...	P_{JJ}	P_{J+}	$P_{J+} - P_{JJ}$
Toplam T ₂	P_{+1}	P_{+2}	...	P_{+i}	...	P_{+j}	...	P_{+J}	I	
Kazanç (G)	$P_{+1} - P_{11}$	$P_{+2} - P_{22}$	...	$P_{+i} - P_{ii}$	...	$P_{+j} - P_{jj}$	...	$P_{+J} - P_{JJ}$		
Net Değişim (N_j)	$ G_1 - L_1|$	$|G_2 - L_2|$	...	$|G_i - L_i|$	...	$|G_j - L_j|$	...	$|G_J - L_J|$		
Takas (S_j)	$2 \times \min(G_1; L_1)$	$2 \times \min(G_2; L_2)$	...	$2 \times \min(G_i; L_i)$	...	$2 \times \min(G_j; L_j)$	...	$2 \times \min(G_J; L_J)$		
Toplam Değişim (C_j)	$N_1 + S_1$	$N_2 + S_2$	...	$N_i + S_i$	...	$N_j + S_j$	...	$N_J + S_J$		



Yukarıda da belirtildiği üzere, arazi değişimlerinin incelendiği diğer yaklaşım olan ve Aldwaik ve Pontius (2013) tarafından geliştirilen yoğunluk analizi yöntemi, Zaman Aralığı (Interval Level), Kategori Düzeyi (Category Level) ve Geçiş Düzeyi (Transition Level) olmak üzere üç ana düzeyi kapsamaktadır. Bunlardan ilki olan zaman aralığı düzeyi, her bir zaman aralığındaki yıllık genel değişim hızını hesaplayarak dönemler arasında kıyaslama yapar. Arazi kullanım değişim yoğunluğunun zaman içindeki değişimini analiz etmek için, her bir zaman aralığındaki yıllık değişim oranı (S_t), tüm çalışma sürecine göre varsayılan tekdüze bir yıllık değişim oranı (U) ile karşılaştırılması prensibi ile çalışmaktadır. Eğer gözlemlenen yıllık değişim oranı, tekdüze çizginin üzerinde kalıyorsa, o zaman diliminde değişim hızının daha fazla olduğu sonucuna ulaşılır.

İkinci ana aşama olan kategori düzeyi, her bir kategori için brüt kazançlar ve kayıplar detaylı olarak analiz edilmiştir. Bu analiz, her bir kategori için yıllık kazanç (G_{ij}) ve kayıp yoğunluklarını (L_{ti}) hesaplar ve genel değişim yoğunluğuyla kıyaslayarak hangi kategorilerin daha aktif veya durağan olduğunu belirler. Arazi kategorilerinde yapılan bu karşılaştırma, bir kategorinin aktif (değişim yaşanan) ya da hareketsiz (dormant) olup olmadığını tespit etmeyi amaçlayan bir yaklaşıma dayanmaktadır.

Son olarak geçiş düzeyi analizi ise, her bir kategori için yaşanan kayıp ve kazanç geçişlerinin diğer kategorilerle olan ilişkisini inceler. Bu düzeyde, belirli bir kategoride yaşanan kazançların hangi kayıpları hedef aldığı belirlenir. Örneğin, Kaptan (2021) tarafından yoğunluk analizi ile orman alanları ve arazi



kullanımları değişimlerinin yoğunluk analizi ile araştırıldığı bir çalışmada, “Verimli orman alanları” kategorisi 1993-2004 yılları arasında “Ağaçsız alanlar” ve “Tarım alanları” kategorilerindeki kayıpları hedeflerken, 2004-2015 döneminde daha çok “Bozuk orman alanları” ve “Diğer” kategorisindeki kayıpları hedeflemiştir. Bu tür geçiş yoğunlukları, belirli kategoriler arasındaki dinamik ilişkileri ortaya koymakta ve özellikle belirli kategorilerin diğer kategorilerle olan etkileşimleri hakkında daha detaylı bilgi sunmaktadır (Aldwaik & Pontius, 2013).

Kaptan (2021b), tarafından Alabarda planlama birimi için gerçekleştirilen yoğunluk analiz sonuçlarını aşağıdaki gibi değerlendirmek mümkündür. İlk zaman aralığında, verimli orman alanları ve tarım alanları en fazla kayıp yaşanan kategoriler olmuştur, ancak ikinci zaman aralığında verimli orman alanları en büyük kazancı sağlamıştır. Ayrıca, bozuk orman alanları ilk zaman aralığında kazanç göstermişken, ikinci zaman aralığında en fazla kayıp veren kategori olarak öne çıkmıştır (Huang & ark., 2012). Alabarda yöresinde yapılan bu yoğunluk analizi çalışması, 1993-2015 yılları arasında orman alanlarında meydana gelen dönüşümleri, özellikle verimli ve bozuk orman alanları gibi kategoriler üzerinden değerlendirmiştir.

Çalışma alanında 1993-2015 arasında verimli orman alanları ve ağaçsız alanların arttığı, bozuk orman alanlarının ise azaldığı görülmüştür. Türkiye Orman Genel Müdürlüğü (OGM) 2017 raporlarına göre, ülke genelinde 1973-2015 yılları arasında verimli orman alanları %43 oranında artmış, bozuk orman alanları ise %15 azalmıştır (GDF, 2017). Çalışma bulguları, bu tür rehabilitasyon ve



ağaçlandırma çalışmalarının etkili olduğunu desteklemektedir. Ayrıca, yerleşim ve tarım alanları kategorilerinde kayıplar yaşanırken, diğer kategorisinde (maden alanları, mezarlık vb.) artış gözlenmiştir. Bu durum, özellikle kırsaldan kente göçlerin ormanlık alanlar üzerindeki baskıyı azalttığı ve tarım alanlarının zamanla orman alanlarına dönüştüğü şeklinde yorumlanmıştır (Rudel & ark., 2005). Zaman aralığı düzeyi bulguları incelendiğinde, 2004-2015 dönemindeki arazi kullanım değişim hızının 1993-2004 dönemine göre daha yüksek olduğu tespit edilmiştir. Bu fark, özellikle 2006 yılından sonra hız kazanan ormancılık faaliyetlerine (ağaçlandırma ve rehabilitasyon) ve kırsaldan kente göç hareketlerinin hızlanmasına bağlanmıştır. Böylece, ikinci zaman diliminde ağaçlandırma faaliyetleri ve boş kalan tarım alanlarının ormanlaşması, orman alanlarının artmasında etkili olmuştur (Gürsoy 2018; Başkent & Kadıoğulları, 2007; Sivrikaya & ark., 2007; Kaptan, 2021b).

Kategori düzeyi bulguları ise ilk zaman aralığında aktif kazanç gösteren bozuk orman alanları, ikinci zaman diliminde yoğun kayıplar yaşamıştır. Tarım alanları her iki zaman diliminde de aktif kaybeden bir kategori olarak dikkat çekmiştir. Verimli orman alanları kategorisi ise, en geniş alana sahip olmasına rağmen durağan kalmıştır; bunun nedeni yüksek kalıcılık oranıdır. Göçlerle azalan nüfus, orman alanları üzerindeki sosyal baskıyı azaltarak ormanların genişlemesine olanak tanımıştır (Pontius & ark., 2013; Sivrikaya & ark., 2007; Cakir & ark., 2008; Kaptan, 2021b).

Son olarak çalışmanın geçiş düzeyi bulguları da "Verimli orman alanları" orman kategorisi, 1993-2004 yılları arasında ağaçsız



ve tarım alanları kayıplarını hedeflemişken, 2004-2015 döneminde bozuk orman kayıplarını hedeflemiştir. Bu geçişler, orman alanlarının verimliliğinin arttığını göstermektedir. Tarım alanları kategorisinin, orman dışı alanlardan kazanç sağlaması, 6831 sayılı Orman Kanunu'nun 2/B uygulamalarının etkisiyle ilgilidir. Orman sınırlarının yeniden belirlenmesi çalışmaları sonucunda bazı tarım alanları orman alanlarına dâhil edilmiş veya orman dışı alan olarak sınırlandırılmıştır (Gençay, Birben & Durkaya, 2018). Ormanlık alanlarda yaşanan değişimlere dair yapılan çalışmalarda geçmiş yıllarda daralan orman alanlarının tekrar genişlemesini tetikleyen iki ana gücün olduğu öne sürülmüştür. Bunlardan ilki; tarımdan elde edilen kârın düşmesi ve kırsal nüfusun azalmasına bağlı olarak tarım alanlarının terk edilmesi ile bu alanların tekrar ormana dönüşmesidir. İkincisi ise; üretim gücü düşük orman alanlarındaki ürün açığının kapatılması amacıyla gerçekleştirilen, açık alanların ağaçlandırılmasını içeren plantasyon ormancılığı politikalarının geliştirilmesidir (Mather, 1992; Grainger, 1995; Rudel & ark., 2005; Kozak, Estreguil & Troll, 2007, Kaptan, Durkaya & Durkaya, 2020).

Sonuç olarak, Türkiye'deki orman alanları göç ve ormancılık faaliyetleri ile artmış, bu süreçte sosyal ve yasal dinamikler büyük rol oynadığını göstermiştir. Bununla beraber sonuçlar, Türkiye'de orman alanlarının korunması ve genişletilmesine yönelik faaliyetlerin sonuç verdiğini, buna ek olarak göçlerin arazi kullanım dinamiklerine olan etkisinin önemli olduğunu göstermiştir.

Kaynaklar

Aldwaik, S. Z. & Pontius Jr, R. G. (2012). Intensity analysis to unify measurements of size and stationarity of land changes by interval, category, and transition. *Landscape and Urban Planning*, 106 (1), 103-114.

Asan, Ü. (2017). *Orman Amenajmanı (Planlama Sistemleri)*. İstanbul: Kültür Sanat Basım Evi

Başkent, E. Z. & Kadioğullari, A. I. (2007). Spatial and temporal dynamics of land use pattern in Turkey: a case study in İnegöl. *Landscape and Urban Planning*, 81 (4), 316-327.

Cakir, G., Ün, C., Baskent E. Z., Köse, S., Sivrikaya, F. & Keleş, S. (2008). Evaluating urbanization, fragmentation and land use/land cover change pattern in Istanbul city, Turkey from 1971 to 2002. *Land Degradation & Development*, 19 (6), 663-675.

DeFries R. S., Field C. B., Fung I., Collatz G. J. & Bounoua L. (1999). Combining satellite data and biogeochemical models to estimate global effects of human-induced land cover change on carbon emissions and primary productivity. *Global Biogeochemical Cycles*, 13 (3), 803-815.

Dixon, R. K., Solomon A. M., Brown, S., Houghton, R. A., Trexler, M. C. & Wisniewski, J. (1994). Carbon pools and flux of global forest ecosystems. *Science*, 263 (5144), 185-190.

Durkaya, B., Kaptan, S. & Durkaya, A. (2019). Zamansal olarak karbon stok değişiminin incelenmesi; Alabarda örneği. *International Congress on Agriculture and Forestry Research*.

FAO (2020). *Global Forest Resources Assessment 2020, Key findings*. (07/10/2024 tarihinde <https://doi.org/10.4060/ca8753en> adresinden ulaşılmıştır).

Gebremicael, T. G., Mohamed, Y. A., van Der Zaag, P. & Hagos, E. Y. (2018). Quantifying longitudinal land use change from land degradation to rehabilitation in the headwaters of Tekeze-Atbara Basin, Ethiopia. *Science of the Total Environment*, 622, 1581-1589.

Gençay, G., Birben, Ü. & Durkaya, B. (2018). Effects of legal regulations on land use change: 2/B applications in Turkish forest law. *Journal of Sustainable Forestry*, 37 (8), 804-819.

Grainger, A. (1995). The forest transition: an alternative approach. *Area*, 27 (3), 242-251

Guida-Johnson, B. & Zuleta, G. A. (2013). Land-use land-cover change and ecosystem loss in the Espinal ecoregion, Argentina. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 181, 31-40.

Gürsoy, A. (2018). Local Knowledge on Tree Health in Forest Villages in Turkey. In: Urquhart J., Marzano M., Potter C. (eds) *The Human Dimensions of Forest and Tree Health*. *Palgrave Macmillan*, Cham.

Hayes D. J. & Cohen, W. B. (2007). Spatial, spectral and temporal patterns of tropical forest cover change as observed with multiple scales of optical satellite data. *Remote Sensing of Environment*, 106 (1), 1-16.

Huang, J., Pontius Jr, R. G., Li, Q. & Zhang, Y. (2012). Use of intensity analysis to link patterns with processes of land change from

1986 to 2007 in a coastal watershed of southeast China. *Applied Geography*, 34, 371-384.

IPCC (2014a). Intergovernmental Panel on Climate Change. 2014a. Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Intergovernmental Panel on Climate Change. Geneva

IPCC (2014b). Intergovernmental Panel on Climate Change. 2014b. Climate Change 2014: Mitigation of Climate Change. Contribution of Working Group III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press. Cambridge. New York.

Kaptan, S. (2021a). Arazi örtüsü ile meşcere gelişim çağı ve kapallılığı kategorilerindeki zamansal değişimlerin incelenmesi: Karabiga Orman İşletme Şefliği örneği. *Turkish Journal of Forestry*, 22 (2), 97-104.

Kaptan, S. (2021b). Changes in forest areas and land cover and their causes using intensity analysis: the case of Alabarda forest planning unit. *Environmental Monitoring and Assessment*, 193 (7), 387.

Kaptan, S. & Durkaya, A. (2019). Analysing temporal and spatial changes in land cover: The case of Drahn Forest Subdistrict Directorate. *Kastamonu University Journal of Forestry Faculty*, 19 (1), 47-56.

Kaptan, S., Durkaya, A. & Durkaya, B. (2021). Investigation of land cover changes and social pressures in forest areas in Turkey:

the case of Drahna Forest Planning Unit. *Arabian Journal of Geosciences*, 14 (23), 2647.

Karahalil, U., Kadioğulları, A. İ., Başkent, E. Z. & Köse, S. (2009). The spatiotemporal forest cover changes in Köprölü Canyon National Park (1965-2008) in Turkey. *African Journal of Biotechnology*, 8 (18), 4495-4507.

Kaya, İ. A. & Görgün, E. K. (2020). Land use and land cover change monitoring in Bandırma (Turkey) using remote sensing and geographic information systems. *Environmental Monitoring and Assessment*, 192 (7), 1-18.

Keleş, S., Sivrikaya, F., Çakir, G., Başkent, E. Z. & Köse, S. (2008). Spatial and temporal changes in forest cover in Turkey's Artvin forest, 1972-2002. *Polish Journal of Environmental Studies*, 17 (4).

Keten, S. & Zengin, H. (2020). Düzce Asar Orman İşletme şefliğinde arazi metriklerindeki zamansal değişimler. *Düzce Üniversitesi Orman Fakültesi Ormancılık Dergisi*, 16 (1), 31-48.

Kozak, J., Estreguil, C. & Troll, M. (2007). Forest cover changes in the northern Carpathians in the 20th century: a slow transition. *Journal of Land Use Science*, 2 (2), 127-146.

Mather, A. S. (1992). The forest transition. *Area*, 24 (4), 367-379

OGM (2017). *Orman İstatistikleri 2017*, (20/10/2017 tarihinde <https://www.ogm.gov.tr/e-kutuphane/resmi-istatistikler> adresinden ulaşılmıştır).

OGM (2022). *Orman İstatistikleri 2022*, (09/10/2024 tarihinde <https://www.ogm.gov.tr/tr/e-kutuphane/resmi-istatistikler> adresinden ulaşılmıştır).

OGM (2023). *Orman İstatistikleri 2023*, (03/10/2024 tarihinde <https://www.ogm.gov.tr/tr/e-kutuphane/resmi-istatistikler> adresinden ulaşılmıştır).

Özdemir, İ. & Özkan, Y. U. (2003). Armutlu Orman İşletme Şefliğindeki orman alanlarındaki değişimlerin Landsat uydu görüntüleri kullanılarak izlenmesi. *Turkish Journal of Forestry*, 1, 55-66. ISSN: 1302-7085.

Pontius Jr, R. G., Shusas, E. & McEachern, M. (2004). Detecting important categorical land changes while accounting for persistence. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 101 (2-3), 251-268.

Pontius, R. G., Gao, Y., Giner, N. M., Kohyama, T., Osaki, M. & Hirose, K. (2013). Design and interpretation of intensity analysis illustrated by land change in Central Kalimantan, Indonesia. *Land*, 2 (3), 351-369.

Prada, M., Prada I. F., Cristea, M., Popescu, D. E., Bungău, C., Aleya, L. & Bungău, C. C. (2020). New solutions to reduce greenhouse gas emissions through energy efficiency of buildings of special importance–Hospitals. *Science of the Total Environment*, 718, 137446.

Rudel, T. K., Coomes, O. T., Moran, E., Achard, F., Angelsen, A., Xu, J. & Lambin, E. (2005). Forest transitions: towards a global understanding of land use change. *Global Environmental Change*, 15 (1), 23-31.

Saraçoğlu, N. (2018). *Küresel iklim değişimi, biyoenerji, enerji ormancılığı ve yenilenebilir enerji kaynakları* (2. Baskı), Ankara: Efil Yayınevi.

Sivrikaya, F., akır, G., Kadioğulları, A., Keleş, S., Başkent, E. Z. & Terzioğlu, S. (2007). Evaluating land use/land cover changes and fragmentation in the Camili forest planning unit of northeastern Turkey from 1972 to 2005. *Land Degradation & Development*, 18 (4), 383-396.

Teferi, E., Bewket, W., Uhlenbrook, S. & Wenninger, J. (2013). Understanding recent land use and land cover dynamics in the source region of the Upper Blue Nile, Ethiopia: Spatially explicit statistical modeling of systematic transitions. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 165, 98-117.

Terzioğlu, S., Başkent, E. Z., Sivrikaya, F., akır, G., Kadioğulları, A. I., Başkaya, ř. & Keleş, S. (2010). Monitoring forest plant biodiversity changes and developing conservation strategies: a study from Camili Biosphere Reserve Area in NE Turkey. *Biologia*, 65 (5), 843-852.

Verbesselt, J., Hyndman, R., Newnham, G. & Culvenor, D. (2010). Detecting trend and seasonal changes in satellite image time series. *Remote Sensing of Environment*, 114 (1), 106-115.

Wang, C., Zhan, J., Zhang, F., Liu, W. & Twumasi-Ankrah, M. J. (2021). Analysis of urban carbon balance based on land use dynamics in the Beijing-Tianjin-Hebei region, China. *Journal of Cleaner Production*, 281, 125138.

Wang, Z., Xue, M., Wang, Y., Song, M., Li, S., Daziano, R. A, & Zhang, B. (2019) Big data: New tend to sustainable consumption research. *Journal of Cleaner Production*, 236, 117499.

Yavuz, M. & Vatandaşlar, C. (2018). Korunan alanlardaki zamansal ve ekolojik değişimin parçalılık analizi yardımıyla izlenmesi: Karagöl-Sahara Milli Parkı örneği. *Turkish Journal of Forestry Research*, 5 (1), 82-96.

BÖLÜM VI

Orman Ekosistem Hizmetlerinin Belirlenmesinde Yeni Yaklaşımlar

Nuri BOZALI¹

Giriş

20. yüzyılın ikinci yarısından itibaren ormanlara bakış açısının artık odun eksenli olmadığı ve planlama anlayışının değişmiş olduğu Helsinki konferansında vurgulanmıştır (UNCED, 1992). Ormanların planlanmasına yönelik yaklaşımlarda odun üretimimin sürekliliğinden daha fazla işlevlerin sürdürülebilir olması gerektiği ifade edilmiştir. Odun üretiminin sürekliliğini sağlamaya yönelik bir yaklaşım ve uygulama olmasına rağmen, çok amaçlı orman planlaması, sürdürülebilir orman işletmeciliği, ekosistem yönetimi ve ekosistem hizmetlerinin sürdürülebilir olması orman planlamasının temeli haline gelmiştir (Raum, 2017).

¹ Doç. Dr., Karadeniz Teknik Üniversitesi, Orman Fakültesi, Orman Mühendisliği Bölümü, Trabzon/Türkiye, Orcid: <https://orcid.org/0000-0001-5735-3649>, nuribozali@ktu.edu.tr



Ekosistem hizmetleri teriminin bilimsel olarak literatüre katılması 1997 yılında gerçekleşmiştir (Costanza vd., 1997). Bu makalede ekosistem hizmetleri; ekosistem fonksiyonlarından toplumların doğrudan ya da dolaylı olarak elde etmiş oldukları faydalar olarak tanımlanmıştır. Doğal kaynaklar üzerindeki baskı küresel olarak artmaya devam ettiğinden dolayı ekosistem hizmetleri kavramı arazi korumada ve politika yapımında önemli bir yere sahip olmaktadır (Schirpke vd., 2020). Hızla büyümeye devam eden insan nüfusu, ekonomik gelişmeler ve doğal kaynaklara olan talebin artması ekosistem hizmetlerinin önündeki en büyük tehditler olarak görülmektedir (Song, 2018). Küresel iklim değişikliği, arazi kullanımı/arazi örtüsündeki değişiklikler, çevresel bozulmalar ve doğal kaynak tüketimi gibi faktörler ekosistemlerin yapısı ve işlevselliğinin yanında topluma sunmuş oldukları hizmetleri de önemli ölçüde etkilemektedir (Rather vd., 2022).

Türkiye, 2008 yılından itibaren orman alanlarının planlanmasına yönelik felsefesinde değişikliğe giderek ekonomik, ekolojik ve sosyo-kültürel hizmetlerin sürdürülebilir bir temelde devam ettirilebilmesi için ekosistem tabanlı fonksiyonel planlama yaklaşımını (ETFOP) benimsemiştir. Günümüzde orman ekosistemleri odun üretimi, biyolojik çeşitliliğin korunması, karbon tutulması, rekreasyonel faaliyetler, iklimi düzenleme, toprak erozyonu kontrolü gibi birçok hizmetlerin bir arada yöneltmesini gerektirmektedir (Başkent & Balci, 2024). MEA (2005), ekosistemde var olan ve insanlar tarafından faydalanılan orman ekosistem hizmetlerini kaynak sağlama, düzenleme, kültürel ve destekleyici hizmetler olarak dört ana fonksiyon grubuna ve 30 kategoriye ayırmaktadır (Maes vd., 2012; Bozali vd., 2024). Tedarik



ve kültürel hizmetlerden insanlar doğrudan yararlanır iken düzenleyici ve destekleyici hizmetlerden dolayı olarak faydalanmaktadırlar. Orman ekosisteminin topluma sunmuş olduğu ürün ve hizmetlerin ormanların planlanması aşamasında dikkate alınması uluslararası alanda da gerçekleştirilmekte ve önemsenmektedir (Lise vd., 2020). Orman ekosistem hizmetlerine olan küresel talebin hızla artması sebebiyle, ekosistem bütünlüğünden ödün vermeden çeşitli ekosistem hizmetlerinin yerine getirilebilmesi garanti altına alınarak çok işlevli yönetim stratejilerinin uygulanması gerekmektedir (Eyvindson vd., 2021).

Türkiye ormancılığı planlama felsefesi olarak ETFOP yaklaşımını benimsemiştir. Bu sistemde orman fonksiyonları terimi kullanılmaktadır. Orman fonksiyonları ormanın kendi yapı ve potansiyelini temsil ederken, ekosistem hizmetleri ise toplumun refah düzeyini artırmak için ormanlardan elde ettiği maddi ve manevi faydalar ile ilgilenmektedir (Vatandaşlar, 2021). Ekosistem hizmetleri insan toplumunun ekonomik faaliyetleri ile doğal kaynakların ekolojik süreçlerini birbirine bağlamaktadır. Ekosistem hizmetleri kavramı dünya genelinde oldukça hızlı bir şekilde benimsenmiş ve ülkemizde de kendine yer bulmaya başlamıştır. Modern ormancılığa daha uygun olacağı için ekosistem hizmetleri yaklaşımının benimsenmesi yerinde olacaktır. Bu yeni yaklaşımı desteklemek, orman ekosistem hizmetlerinin uzun süreli olarak sağlığının ve sürdürülebilirliğinin sağlanması için ülke çapında kapsamlı düzenlemeler yapılmıştır. Bu doğrultuda Ekosistem Hizmetleri Daire Başkanlığı Orman Genel Müdürlüğü bünyesinde 2022 yılında kurulmuştur. Bu yeni yaklaşımla planlama süreci içerisinde katılımcı yaklaşım ile ekosistem hizmetlerinin



tanımlanması, haritalanması, planlamada dikkate alınması ve uygun bir karar verme tekniği kullanılması gerekmektedir.

Toprak Koruma Hizmetine Ayrılacak Alanların Belirlenmesi

Binlerce yıldır karasal ekosistemde yaşayan insanlar arazi örtüsünü değiştirerek toprağın yapısını bozmuşlardır. Toprak erozyonu arazi bozulmasının en yaygın şeklidir. Tarımsal faaliyetler ve arazi kullanımında meydana gelen değişiklikler toprak erozyonuna neden olmakta ve erozyon sürecini hızlandırmaktadır (Mechri vd., 2023). Toprak erozyonu, doğal kaynakları, tarımsal üretimi ve ekolojik çevreyi önemli ölçüde etkileyen küresel ekolojik ve çevre sorundur (Wittwer vd., 2021; Jin vd., 2021). Küresel ölçekte her yıl 75 milyar ton toprak erozyona uğramakta ve bunun da her yıl 400 milyar USD'lik bir mali kayba yol açtığı ifade edilmektedir (GSP, 2017). Toprak erozyonunu kontrol etmek için kapsamlı bir şekilde ekolojik restorasyon yapılmaktadır. Bu da bitki örtüsü ve arazi yapısının iyileşmesine, ormanlık alanların artmasına ve toprak reformuna yol açmakta olup bunların hepsi ekosistem hizmetlerinin temelini oluşturmaktadır (MEA, 2005).

Toprak koruma hizmetine ayrılacak alanların belirlenmesi aşamasında arazi üzerinde fiili olarak var olan erozyonun belirlenmesinin yanı sıra gizli risk taşıyan erozyon alanları da tespit edilmektedir (Bozali, 2021). Toprak koruma hizmetine ayrılacak alanlar belirlenirken çok farklı kriterler kullanılmaktadır.

Toprak bozulmasının en tipik nedenlerinden biri su kaynaklı toprak erozyonudur. Toprak erozyonu potansiyel riski, başlıca iklim faktörü olarak kabul edilen artan yağış olaylarıyla yakından ilişkilidir (Zhao vd., 2019). Toprak yapısı ve geçirgenliği, toprak özellikleri (silt, kum ve organik madde yüzdesi) ile birlikte toprak



erozyon yeteneğini yansıtan önemli toprak parametreleridir (Zhao vd., 2009).

Eğim diğer önemli parametredir. Eğimi, dik zeminlerde yüzey suyunun kinetik enerjisi ve taşıma kapasitesi artırarak toprak erozyon miktarını artıran temel topografik faktördür. Eğim kritik bir değeri aştığında, toprak erozyonu şiddetli hale gelir ve logaritmik olarak artar (Kosmas vd., 1999). Bitki örtüsü, toprak kaybı oranını doğrudan etkileyen bir diğer ana faktördür. Erozyon kontrolü, orman ekosistemlerinin en önemli işlevlerinden biri olarak kabul edilmektedir (Harmel vd., 2006). Ağaç gövdelerinin, dallarının ve yapraklarının mekanik etkileri ormanlık alanlarda erozyonu azaltmada önemli rol oynamaktadır. Bu nedenle ormanlardaki yüzeysel akış hızı ve su miktarı açık alandaki topraklardan çok daha azdır.

Tairi ve ark. (2019) beş parametre (eğim, drenaj yoğunluğu, arazi kullanımı, toprak erozyon kabiliyeti ve yağış erozivitesi) kullanarak AHP'ye dayalı toprak erozyonu risk alanlarını değerlendirdi. Çalışma sonucuna göre eğimin en etkili faktör olduğunu, ardından yağmurların ve bitki örtüsünün erozivitesinin diğer önemli faktörler olduğunu tespit etmişlerdir. Kachouri ve diğerleri (2015), altı parametre (eğim, yıllık yağış, litofasiyes, bitki örtüsü indeksi, drenaj yoğunluğu ve arazi kullanımı) kullanarak AHP metoduna göre toprak erozyonu tehlikesini belirlediler. Elde edilen sonuçlara göre toprak erozyonunu etkileyen en önemli parametrenin eğim olduğunu belirlemişlerdir. Vulevic ve diğerleri (2015) benzer parametreler kullanarak MCDA tekniğini kullanarak toprak erozyonuna karşı hassas alanları önceliklendirdi. Eğim, bitki



örtüsü, toprak özellikleri ve yağışın, azalan önceliklerde, toprak erozyonu sınıflandırmasının ana faktörleri olduğunu buldular.

Eğimin artması toprak erozyonu hassasiyeti ve yoğunluğu arasındaki pozitif korelasyonu artırmaktadır (Yang vd., 2024). Arazi yüzeyindeki eğiminin %30'u aştığı kısımlar toprak koruma hizmeti olarak ayrılması gereken yerler olarak belirlenmiştir.

Tablo 1: Eğim gruplarına göre erozyon riskinin değişimi (Bozali, 2013)

Eğim Grupları (%)	Risk Grubu	Açıklama
0-30	III	Erozyona hassas alanlar
31-60	II	Erozyona orta derecede hassas
61+	I	Erozyona çok hassas alanlar

Anakaya gruplarına göre erozyonda meydana gelen değişim, büyük oranda kayaç türünün fiziksel ve kimyasal özelliklerine, bulunduğu iklim koşullarına ve çevresel faktörlere bağlı olmaktadır. Bu nedenle farklı anakaya gruplarında erozyon hızı ve şekli belirgin farklılıklar gösterebilmektedir. Topraklar, meydana geldikleri anamateryaller dikkate alınarak erozyon eğilimlerine göre aşağıdaki şekilde ayrılabilir (Balcı ve Öztan, 1987).



Tablo 2: Erozyon hassasiyetine göre anakaya grupları (Balcı ve Öztan, 1987).

Anakaya	Risk Grubu	Açıklama
Granit, kuvarslı diyorit, genç sedimentler ve şistleri, siyenit, trakit, asit volkanik kayalar, kumlu-killi quaterner depoları, volkanik tüfler, marn, neojen tozu, kum taşları ve toz taşları	I	Erozyona çok hassas
Metamorfik kayaların bir kısmı, diorit, çatlaklı kireç taşları ve kalker	II	Erozyona orta derecede hassas
Bazı deniz sedimentleri, bazalt, andezit, gabro, peridotit, serpantin, mikaşistler, gnays ve konglomera	III	Erozyona az hassas

Arazi yüzeyinin ölü örtü ve vejetasyonla kaplı olması ormanlık alanların toprak koruma üzerindeki etkisini artırmaktadır. Vejetasyon kökleri sayesinde toprakta iyi bir yapı oluşturmakta, permeabilite ve infiltrasyonun artmasını sağlayarak yüzeysel akışı azaltmakta ve erozyon etkisini en aza indirgemektedir (Balcı, 1978). Köklerini derinlere ulaştırabilen ağaçlar, üzerinde bulunduğu yamaçları sağlamlaştırmakta toprağın yüzeysel olarak kaymasını engellemektedirler. Ağaç türlerinin kök yapısı, topraktaki derinliği, köklerin sıklığı ve ağaca sağlandığı direnci eğim ve toprak dayanıklılığının artması bakımından önemli bir etkidir (Ji et al., 2012). Bu çerçevede meşcere yapısına (kapalılık ve kök sistemi) göre erozyon hassasiyetleri oluşturulmuştur (Tablo 3).



Tablo 3: Meşcere yapısına (kapalılık ve kök sistemi) göre erozyon risk grupları (Bozali, 2013)

Meşcere Kapalılık	Kök sistemi		
	Kazık	Yürek	Saçak
Açık Alanlar (OT, Z, Me vb.)	-	-	-
Boşluklu Kapalı (%0-10)	II	II	I
Seyrek ya da Gevşek Kapalı (%11- 40)	II	II	II
Orta Kapalı (%41-70)	III	III	II
Normal Kapalı (%71-100)	III	III	II

(I: Erozyona çok hassas, II: Erozyona orta derecede hassas, III: Erozyona az hassas).

Arazi eğim sınıfı (ES), anakaya yapısı (AK) ve meşcere yapısına (MY) göre plan ünitesinin erozyon riski taşıyan alanlarının birbirinden bağımsız haritaları oluşturulduktan sonra üst üste çakıştırılarak I. II. ve III. derecede erozyon riski taşıyan alanlar belirlenir. Bu şekilde nihai olarak toprak koruma hizmetine ayrılacak alanların haritası oluşturulur.

Toprak koruma hizmetinde (TKH), I. II. ve III. derecede erozyona hassas alanlar belirlenirken; $TKH=3ES+2AK+1MY$ denkleminde kullanılır (Bozali, 2013). Denklemindeki 1, 2 ve 3 rakamları ağırlık oranlarını temsil etmektedir. Toprak koruma hizmeti görece alanlar ayrılırken eğim değerinin önemi, anakaya ve meşcere yapısından daha çok olacaktır ve bu nedenle en fazla ağırlık oranına sahip olacaktır öngörüldüğünden; eğim (3) > anakaya yapısı (2) > meşcere yapısı (kapalılık ve kök sistemi) (1) şeklinde bir sıralama yapılmıştır.



$TKH=3ES+2AK+1MY=3 \times 100+2 \times 100+1 \times 100=600$ üst sınır değeri

$TKH=3ES+2AK+1MY=3 \times 33+2 \times 33+1 \times 33=198$ alt sınır değeri

Denkleimde minimum değer için 33, maksimum değer için ise 100 kullanılmıştır. Üst ve alt sınır değerleri arasındaki fark 3 kategoriye ayrılarak TKH için sınır aralık değerleri oluşturulmuştur (Tablo 4).

Tablo 4. Toprak koruma hizmeti için risk gruplarının sınır aralıkları (Bozali, 2013)

TKH Sınır Aralık Değerleri	Risk Grubu	Açıklama
198-332	III	Erozyona az hassas
333-466	II	Erozyona orta derecede hassas
467-600	I	Erozyona çok hassas

Sonuç ve Öneriler

Erozyon süreçleri, kıymetli kaynakların israf edilmesine (toprak kaybı) ve kirliliğe neden olan en önemli bozulma sorunlarından birini temsil etmektedir. İnsan faaliyetleri özellikle verimli topraklara sahip ekili alanlarda toprak erozyonunun hızlanmasına neden olmaktadır. Ülkemizde toprak koruma hizmetine ayrılacak alanlar için yalnızca eğim parametresi kullanılmaktadır. Bu yeni yaklaşımla birlikte eğimin yanında anakaya grupları ve meşrece yapısını da dikkate alan kriterler geliştirilerek erozyona hassas olan alanlar risk gruplarına göre tespit edilerek toprak koruma hizmetine ayrılması gereken alanlar belirlenmektedir.



Toprak koruma hizmeti toprak erozyonunu hafifleterek toprak kaybının azalmasını sağlamaktadır. Orman ekosistem hizmetleri mekânsal olarak haritalandırılmalı, ekonomik değerlendirilmesi yapılmalı ve orman amenajman planlarına entegrasyonu gerçekleştirilmelidir. Orman ekosistem hizmetlerinin sürdürülebilir olması için bu hizmetleri sağlayıcılara ödemelerin yapıldığı bir sistem kurulmalıdır. Eğimli tarım arazileri ormanlık alanlara ya da meralara dönüştürülmelidir.

Kaynaklar

Balcı, A.N., Öztan, Y. (1987). *Sel Kontrolü*. K.T.Ü., Orman Fakültesi Yayın No: 12. Trabzon.

Balci, N., 1978, Kurak ve Nemli İklim Koşulları Altında Gelişmiş Bazı Orman Topraklarının Erodibilite Karakteristikleri. İ.Ü. Yayın No: 2402, *Orman Fakültesi Yayın No: 248*

Başkent, E. Z., & Balci, H. (2024). A priory allocation of ecosystem services to forest stands in a forest management context considering scientific suitability, stakeholder engagement and sustainability concept with multi-criteria decision analysis (MCDA) technique: A case study in Turkey. *Journal of Environmental Management*, 369, 122230.

Bozali, N. (2013). Koruma ve hizmet amaçlı işletilen ormanların optimal kuruluşunun belirlenmesi: odayeri planlama ünitesi örneği (Yayımlanmamış doktora tezi). İstanbul Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, Türkiye.

Bozali, N. (2021). Orman Fonksiyon Önceliklerinin Belirlenmesi: Çelikhhan Plan Ünitesi Örneği. *Bartın Orman Fakültesi Dergisi*, 23(1), 202-216.

Bozali, N., Sivrikaya, F., & Çakır, G. (2024). Orman Ekosisteminin Su Üretim Değerinin Galyan Su Üretim Havzasında Değerlendirilmesi (Atasu Barajı). *Bartın Orman Fakültesi Dergisi*, 26(1), 64-71.

Costanza, R., d'Arge, R., de Groot, R., Stephen F., Grasso, M., Hannon, B., Limburg, K., Naeem, S., O'Neill, R.,V., Paruelo, J., Raskin, R.G., Sutton, P., van den Belt, M., 1997. The value of the

world's ecosystem services and natural capital. *Nature*, 387: 253-260.

Eyvindson, K., Duflot, R., Triviño, M., Blattert, C., Potterf, M., & Mönkkönen, M. (2021). High boreal forest multifunctionality requires continuous cover forestry as a dominant management. *Land Use Policy*, 100, 104918.

GSP (2017) Global Soil Partnership Endorses Guidelines on Sustainable Management. <https://www.fao.org/global-soilpartnership/resources/highlights/detail/en/c/416516/>

Harmel, R.D., Richardson, C.W., King, K.W., Allen, P.M. 2006. Runoff and soil loss relationships for the Texas Blackland Prairies ecoregion. *J Hydrol.* 331(3–4):471–483.

Ji, J., Kokutse, N., Genet, M., Fourcaud, T., Zhang, Z., 2012, Effect of spatial variation of tree root characteristics on slope stability: A case study on Black Locust (*Robinia pseudoacacia*) and *Arborvitae* (*Platycladus orientalis*) stands on the Loess Plateau, China. *Catena*, 92, 139–154.

Jin FM, Yang WC, Fu JX, et al. (2021) Effects of vegetation and climate on the changes of soil erosion in the Loess Plateau of China. *Sci Total Environ* 773: 145514.

Kachouri, S., Achour, H., Abida, H., & Bouaziz, S. (2015). Soil erosion hazard mapping using Analytic Hierarchy Process and logistic regression: a case study of Haffouz watershed, central Tunisia. *Arabian Journal of Geosciences*, 8, 4257-4268.

Kosmas, C., Kirkby, M. and Geeson, N. 1999. Manual on: Key indicators of desertification and mapping environmentally sensitive

areas to desertification. European Commission, Energy, Environment and Sustainable Development, EUR 18882, 87 p.

Lise, Y., Albers, P.P., Balkız, Ö. (2020). Orman ve Biyolojik Çeşitlilik, Orman Ekosistem Hizmetleri, Bölüm 7.

Maes, J., Egoh, B., Willemsen, L., Liqueste, C., Vihervaara, P., Schragner, J.P., Grizzetti, B., Drakou, E.G., Notte, A.L., Zulian, G., Bouraoui, F., Paracchini, L., Braat, L., Bidoglio, G. (2012). Mapping ES for policy support and decision making in the EU. *Ecosystem Services*, 1, 31–39. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2212041612000058>

Mechri, M., Bouajila, K., Ziadi, N., Raza, T., Beltayef, H., Eash, N. S., & Abd_Allah, E. F. (2023). Soil aggregation and associated organic carbon and total nitrogen in a sandy loam soil under long-term tillage effects. *Agronomy*, 13(10), 2520.

Millennium Ecosystem Assessment, (2005). *Ecosystems and human well-being: synthesis*. Washington, DC: Island Press.

Rather, M. A., Meraj, G., Farooq, M., Shiekh, B. A., Kumar, P., Kanga, S., & Tiwari, S. P. (2022). Identifying the potential dam sites to avert the risk of catastrophic floods in the Jhelum Basin, Kashmir, NW Himalaya, India. *Remote Sensing*, 14(7), 1538.

Raum, S. (2017). The ecosystem approach, ecosystem services and established forestry policy approaches in the United Kingdom. *Land Use Policy*, 64, 282-291.

Schirpke, U., Tscholl, S., & Tasser, E. (2020). Spatio-temporal changes in ecosystem service values: Effects of land-use changes

from past to future (1860–2100). *Journal of Environmental Management*, 272, 111068.

Song, X. P. (2018). Global estimates of ecosystem service value and change: taking into account uncertainties in satellite-based land cover data. *Ecological Economics*, 143, 227-235.

Tairi, A., Elmouden, A., & Aboulouafa, M. (2019). Soil erosion risk mapping using the analytical hierarchy process (AHP) and geographic information system in the tifnout-askaoun watershed, southern Morocco. *European Scientific Journal*, 15(30), 1857-7881.

UNCED, (1992). Birleşmiş Milletler Çevre ve Kalkınma Konferansı Raporu. Ek 3: Ormancılık İlkeleri, Birleşmiş Milletler, New York.

Vatandaşlar, C. (2021). Orman fonksiyonu mu ekosistem hizmeti mi? *Turkish Journal of Forestry*, 22(2): 171-185.

Vulević, T., Dragović, N., Kostadinov, S., Simić, S. B., & Milovanović, I. (2015). Prioritization of Soil Erosion Vulnerable Areas Using Multi-Criteria Analysis Methods. *Polish Journal of Environmental Studies*, 24(1).

Wittwer RA, Bender SF, Hartman K, et al. (2021) Organic and conservation agriculture promote ecosystem multifunctionality. *Sci Adv* 7(34): eabg6995.

Yang, Y., Tian, P., Jia, T., Wang, F., Yang, Y., & Huang, J. (2024). Evaluation of soil erosion vulnerability in Hubei Province of China using RUSLE model and combination weighting method. *Journal of Mountain Science*, 1-19.

Zhao, T., Yang, B., Zheng, H. 2009. Assessment of the erosion control function of forest ecosystems based on GIS: a case study in Zhangjiajie National Forest Park, China. *International Journal of Sustainable Development & World Ecology*. 16(5): 356-361.

Zhao, J., Yang, Z., Govers, G., 2019. Soil and water conservation measures reduce soil and water losses in China but not down to background levels: evidence from erosion plot data. *Geoderma* 337:729–741.

BÖLÜM VII

Meşe Meşceresinde Odun Üretim Faaliyetlerinin Toprağa Verdiği Bazı Zararların İncelenmesi: Kastamonu / Çöme Yöresi Örneği

Korhan ENEZ¹
Metehan IŞIK²
Gamze SAVACI SELAMET³

Giriş

Ormancılık üç temel prensip üzerine tesis edilmiştir. Bu üç ana prensip bilindiği gibi yetiştirme, koruma ve faydalanmadır. İşte üretim, bu üç temel prensipten üçüncüsü olan faydalanmanın içerisinde değerlendirilmektedir (Erdaş, Acar & Eker, 2014). Üretim, en genel hali ile sonsuz insan ihtiyaçlarını kıt kaynaklarla

¹ Prof. Dr., Kastamonu Üniversitesi, Orman Fakültesi, Orman Mühendisliği Bölümü, Kastamonu/Türkiye, Orcid: 0000-0001-7526-0032, korhanenez@kastamonu.edu.tr

² Orman Yüksek Mühendisi, Kastamonu Üniversitesi, Orman Fakültesi, Orman Mühendisliği Bölümü, Kastamonu/Türkiye, Orcid: 0009-0001-5906-3028, mete9196@gmail.com

³ Doç. Dr. Orman Mühendisi, Kastamonu Üniversitesi, Orman Fakültesi, Orman Mühendisliği Bölümü, Kastamonu/Türkiye, Orcid: 000-0003-4685-2797, gsavaci@kastamonu.edu.tr



karşılama için kullanılan mal ve hizmetleri meydana getirmek, bir fayda oluşturmak veya var olan faydanın katma değerini artırmak amacıyla yapılan her türlü faaliyeti ifade eder (URL-1, 2021). Ormancılıkta üretim işleri, amenajman planına bağlı olarak yapılan damgalama ile başlamakta, kesim, tomruklama, bölmeden çıkarma, yükleme ve taşıma ile devam edip depoda boşaltma ile sona ermektedir. Ormancılıkta üretim safhasında en çok problem olan kısımlar sürtme ve nakliyat işleridir (Erdaş, Acar & Eker, 2014).

Orman ekosistemi, dünya üzerindeki doğal sistemler arasında en karmaşık ve dikkat çekici olanıdır. Ormanlık alanlarda, iklim, toprak, topografya, su ve canlılar arasında çok çeşitli ve karmaşık bir ilişki ağı bulunmaktadır. Ormanların doğal dengeyi koruyarak işletmeye açıldığında üretim hedeflerinin gerçekleştirilmesi, yapılan düzenlemelerin orman yapısına zarar vermemesi amacıyla öncelikli olarak ele alınmalıdır. Bu nedenle, günümüzde insanlar, orman sistemini oluşturan unsurların doğal denge ve sürekliliğini korumaya yönelik dikkatli ve planlı bir şekilde faydalanmaya odaklanmalıdır. Bu yaklaşım, orman kaynaklarından rasyonel, sürdürülebilir ve istikrarlı bir şekilde yararlanmayı gerektirmektedir (Karaman, 2001).

Ormancılığın ana amaçlarından biri olan sürdürülebilir orman yönetimi anlayışı (Higman & ark., 2005) ile çevreye zararlı herhangi bir olumsuz etkinin en aza indirgenmesini sağlamaktır (Heinimann, 2007). Orman kaynaklarının ekolojik, çevresel ve estetik değerlerini korumak ve bunları iyileştirmek için çevresel faydaları arttırmayı ve orman sağlığını iyileştirmeyi hedefleyen en iyi yönetim uygulamalarının geliştirilmesi önemli olmaktadır (Goychuk & ark.,



2011). Dünya genelinde ormancılıkta üretim faaliyetlerinin orman toprağı ve suyu üzerindeki etkileri endişe verici olarak değerlendirilmektedir (McFero Grace III, Skaggs & Cassel, 2006).

Bu kapsamda ormancılıkta üretim faaliyetleri sırasında yüksek üretim elde edilmesi, çevreye olan olumsuz etkilerin azaltılması ve çalışma koşullarının güvenli olmasının sağlanmasına dikkat edilmesi gerekmektedir (Schweier & ark., 2019). Ancak aşırı üretim uzun vadede ormanların verimliliğini ve sürdürülebilirliğini tehdit edebildiğı gibi (Zhou & ark., 2015) istenmeyen ekolojik sonuçlara da neden olabilir (Zaman, Osman & Haque, 2010). Türkiye’de ormanların genellikle dağlık ve eğimli arazilerde bulunması nedeniyle ormancılıkta üretim faaliyetlerinde bölmeden çıkarma insan gücü, hayvan gücü, traktör gücü ve kablo hatlar yoluyla gerçekleştirilmektedir (Erdaş, Acar & Eker, 2014). Bu uygulamalar, meşçerede kalan ağaçlara, orman toprağına ve ana odun materyaline bazı zararlara neden olmaktadır (Buğday & Menemencioğlu, 2013). Orman ve sürütme yollarındaki toprak zararı toprakta bulunan organik tabakanın ve üst tabakanın kaldırılmasını, toprak sıkışmasını ve dolayısıyla bu alanlarda meydana gelen erozyonu ifade etmektedir (Demir & ark., 2010).

Ağır ve zorlu koşullarda yapılan bölmeden çıkarma işlemlerinde, insan gücünün yetersiz kalması nedeniyle makine gücünden faydalanılmaktadır. Günümüzde, ormancılık amaçlarına yönelik olarak düzenlenmiş orman traktörleri ve hava hatları gibi araçların yanı sıra tarım traktörleri de önemli bir rol oynamaktadır. Bu araçlar, bölmeden çıkarma işlemlerinde kullanılan makine



gücünün sağlanmasında ve etkin bir şekilde kullanılmasında büyük öneme sahiptir.

Odun hammaddesi üretimi, uygun planlanma ve teknikler kullanılarak yapılmazsa, orman toprağı (Gümüş & Türk, 2016; Türk & Gümüş, 2015; Croke, Hairsine & Fogarty, 2001; Demir, Makineci, & Yılmaz, 2007a,b; Marshall, 2000; Makineci, Demir & Yılmaz, 2007; Pinard, Barker & Tay, 2000; Quesnel & Curan, 2000), meşçerede kalan dikili ağaçlar (Ünver, 2008; Baumgras, Herar & LeDoux, 1995; Erdaş, 1986; Froehlich, Aulerich & Curtis, 1981; Krzic, Newman & Broersma, 2003), gençlik (Rushton, Brown & McGrath, 2003; Sancal, 2010; Steege, Welch & Zagt, 2002; Türk & Gümüş, 2015), yaban hayatı (Mangan & Bertolo, 2003; Sancal, 2010; Scrimgeour & ark, 2000) ve taşınan ürünler (Ünver, 2008; Holmes & ark., 2002; Sancal, 2010) üzerindeki etkiler olumsuz olabilmektedir. Bu zararlar ormanlık alanlarda ve özellikle orman toprağında erozyon ve su kaynaklarında bozulmalar gibi çevresel tahriplere sebep olur (FAO, 1997; Sancal, 2010). Bu sebeple, sürdürülebilir ormancılık açısından, özellikle dağlık alanlarda en uygun bölmeden çıkarma tekniğinin kullanılması önem kazanmaktadır (Dykstra & Heinrich, 1992; Sancal, 2010).

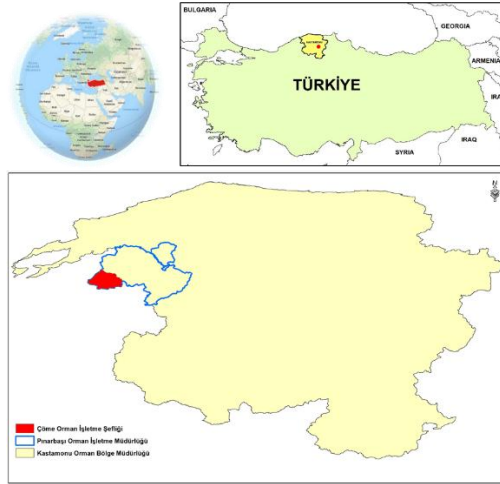
Bu çalışma, tarım traktörü ile sürütme şeritlerinden ve selelerle bölmeden çıkarma tekniğinin uygulandığı meşe ağaçlarından kurulu bölmelerde yürütülmüştür. Kontrol sahasından ve sürütme şeritlerinden alınan toprak örnekleri laboratuvar ortamında incelenmiş ve incelenen bu toprak örnekleri kimyasal ve fiziksel özelliklerine göre sınıflandırılmıştır. Böylece bu yöntemin toprağa olan etkisinin toprağın bazı fiziksel özellikleri (maksimum su tutma



kapasitesi, permeabilite, hacim ağırlığı, toprak tekstürü) ile bazı kimyasal özelliklerindeki (organik madde, pH, elektriksel iletkenlik) değişimlerden yola çıkarak muhtemel zarar durumu ortaya konulmaya çalışılmıştır.

Materyal

Bu çalışma, Türkiye'nin Batı Karadeniz Bölgesinde yer alan Kastamonu Orman Bölge Müdürlüğü (OBM), Pınarbaşı Orman İşletme Müdürlüğüne (OİM) bağlı Çöme Orman İşletme Şefliği (OİŞ) 100 ve 101 nolu bölmeler örnek alanlar olarak seçilmiştir (Şekil 1).



Şekil 1. Kastamonu Orman Bölge Müdürlüğü sınırları

100 ve 101 nolu bölmelerin bakıları kuzeybatı yönüdür. 100 nolu bölme 82 hektar olup ortalama yükseltisi ise 952 metredir. Çalışma alanlarında hâkim olan ağaç türü meşe (M) ağaçlarıdır. Örnek alan olarak kullanılan içerisindeki meşçere tipi ise Mbc3-



1'dir. 101 nolu bölme ise 84,6 hektar büyüklüğünde olup, ortalama yükseltisi 963 metredir. Örnek alan meşçere tipi ise Mbc3'tür.

Yöntem

Bu çalışmada sadece tarım traktörüyle sürütme yönteminin toprağa olan zararları incelenmiştir.

Arazi Çalışmaları

Aynı yetiştirme koşullarına sahip, 100 ve 101 nolu bölmelerde meşe türünün hakim olduğu kontrol ve üretim sahaları altındaki toprakların bazı fiziksel ve kimyasal özelliklerine (maksimum su tutma kapasitesi, permeabilite, hacim ağırlığı, toprak tekstürü, organik madde, pH, elektriksel iletkenlik) bakılması için toprak örnekleme yapılmıştır. Kontrol ve üretim sahaları altındaki topraklardan 10 cm yüksekliğinde, 100 cm³ hacminde silindirler yardımıyla 2 farklı toprak derinlik kademesinden (0-10 cm ve 10-20 cm), 2 tekerrür olmak üzere toplamda 20 farklı noktadan 80 adet toprak örneği alınmıştır (2 farklı alan × 2 farklı toprak derinliği × 2 tekrar × 10 deneme alanı = 80 toprak örnekleme). Ayrıca toprak tekstürü (kum, toz, kil) analizleri için fazla toprak örneği gerektiğinden her toprak derinlik kademesinden 1 kg'lık doğal yapısı bozulmuş toprak örneği alınmıştır. Alınan toprak örnekleri kilitli naylon torbalara konulmuş ve analiz yapılmak üzere laboratuvara getirilmiştir. Örneklerin alındığı noktalar not edilerek arazi çalışması tamamlanmıştır.

Laboratuvar Çalışmaları

Çelik silindirler ile alınan üst toprak örnekleri, topraklarda sıkışma olup olmadığı konusunda belirleyici önemli bir unsurdur. Araziden alınan toprak örnekleri Kastamonu Üniversitesi Orman



Fakültesi Toprak İlimi ve Ekoloji Laboratuvarına getirilmiştir. Toprakların bazı fiziksel ve kimyasal özelliklerini saptamak için alınan silindirik toprak örneklerinde permeabilite (geçirgenlik) tayini ve hacim ağırlığı analizlerinden sonra silindirik içerisindeki topraklar porselen havanlarda dövülerek iki milimetrelik elekten geçirilip numaralanmış ve naylon torbalara konularak analize hazır hale getirilmiştir.

Toprak örneklerinin permeabilitesi, Darcy Kanunu'na göre hesaplanmıştır (Öztan, 1980). Su tutma kapasitesi ağırlık yüzdesi olarak hesaplanmıştır (Özyuvacı, 1975). Hacim ağırlığı gr/cm^3 olarak hesaplanmıştır (Özyuvacı, 1976). Tekstür tayini, 2 mm'lik elekten geçirilmiş hava kurusu bozulmuş toprak örnekleri üzerinden Bouyoucos'un hidrometre yöntemine göre yapılmıştır (Bouyoucos, 1936). Toprak örneklerinin pH değerleri, toprak ile saf su karışımının 1/2,5 oranında olduğu koşullarda LaMotte Serisi pH metresi ile ölçülmüştür (Özyuvacı, 1971). Örneklerin elektriksel iletkenliği, toprak ile saf su karışımının 1/2,5 oranında olduğu koşullarda LaMotte Serisi TDS metre ile ölçülmüştür (Rhoades, 1982). Organik madde miktarı, ateşte yakma yöntemine göre ağırlık yüzdesi olarak belirlenmiştir (Gülçur, 1974).

İstatistiksel Analizler

Örnek alanlara ait pH, elektriksel iletkenlik, organik madde, kum, toz, kil, hacim ağırlığı, maksimum su tutma kapasitesi, permeabilite değişkenlerine ait verilerin değerlendirilmesinde normallik kontrolü Kolmogorov-Smirnov testi ile gerçekleştirilmiştir (Tablo 1). Verileri normal dağılım gösteren değişkenlerde alanlardaki toprak derinliği ve üretim sahaları ile



kontrol sahaları arasındaki farklılıklar parametrik testlerden Independent t testi ile normal dağılım göstermeyen verilere ln, sinüs, cosinüs ve arctanjant dönüşümleri uygulanarak normallik testi yapılmış, ancak buna rağmen verilerin normal dağılmadığı görülmüştür. Bu nedenle normal dağılmayan veriler de non-parametrik testlerden Mann-Whitney U test ile kıyaslanarak yorumlanmıştır.

Tablo 1: Kolmogorov-Smirnov^a testi ile Normallik kontrolü

Özellik	İstatistik	df	P*
pH	0,095	80	0,464*
Elektriksel İletkenlik /EC) (dS/m)	0,087	80	0,574*
Organik Madde (%)	0,206	80	0,985*
Kum (%)	0,185	80	0,009
Toz(%)	0,248	80	0,000
Kil(%)	0,144	80	0,071
Hacim Ağırlığı (gr/cm ³)	0,063	80	0,995*
Su Tutma Kapasitesi (%)	0,075	80	0,765*
Permeabilite (cm/saat)	0,323	80	0,000

*P>0,05

Bulgular

Bu çalışmada tarım traktörü ile sürütme şeridinde sürütmenin toprağa verdiği zarar diğer bir ifade ile toprağın bazı özellikleri üzerine olan etkilerinin incelenmesi amaçlandığından, üretim ve kontrol sahalarında toprağın bazı fiziksel ve kimyasal özellikleri toprak derinlikleri de dikkate alınarak elde edilen bulgular bu kısımda paylaşılmıştır.

Üretim Sahasında Elde Edilen Bulgular

Üretim sahasında alınan toprak örneklerine ait toprak pH'sı, elektriksel iletkenlik, organik madde miktarı, kum, toz, kil, hacim ağırlığı, su tutma kapasitesi, permeabilite oranı özelliklerine ait



tanımlayıcı istatistik bilgileri aşağıda tablo halinde verilmiştir (Tablo 2).

Tablo 2: Üretim sahasındaki bazı toprak özelliklerinin derinliklerine göre tanımlayıcı istatistik değerleri

Toprak Özellikleri	0-10 cm toprak derinliği				10-20 cm toprak derinliği			
	Min.	Mak.	Ortalama	Sd.	Min.	Mak.	Ortalama	Sd.
pH	5,28	6,14	5,73 ^a	0,28	5,31	7,15	5,97 ^a	0,47
Elektriksel İletkenlik (EC) (dS/m)	0,00	0,65	0,26 ^a	0,17	0,00	0,59	0,22 ^a	0,14
Organik madde (%)	6,04	15,44	11,73 ^a	2,93	4,00	12,42	7,29 ^b	1,96
Kum (%)	42,20	71,60	62,77 ^a	8,31	42,20	71,60	62,77 ^a	8,31
Toz (%)	11,10	34,50	15,99 ^a	6,63	11,10	34,50	15,99 ^a	6,63
Kil (%)	16,40	26,40	21,04 ^a	3,27	16,40	26,40	21,04 ^a	3,27
Hacim Ağırlığı (gr/cm ³)	0,79	1,92	1,39 ^a	0,30	0,60	1,68	1,25 ^a	0,35
Max. Su Tutma Kapasitesi (%)	4,75	31,45	19,09 ^a	7,62	12,25	30,50	22,22 ^a	5,03
Permeabilite	0,00	67,37	16,65 ^a	22,63	0,59	133,74	9,04 ^a	29,47

Çalışmanın amacına uygun olarak aynı sahadaki toprak derinlikleri arasındaki değişimler istatistiksel tablolarla ortaya konulmamıştır. Bununla birlikte aynı yerdeki farklı derinlikteki toprak özelliklerinin istatistiksel farklılıkları tanımlayıcı istatistik tablosunda gösterilmiştir. Normallik kontrolü yapıldığından normal dağılım gösteren ve göstermeyen özelliklerde farklı istatistik



yöntemlere göre benzerlik veya farklılıklar ifade edilmiştir. Testlerin benzerlikleri ortalamalar üzerindeki Latin alfabesi küçük harfleri ile benzer olanlar aynı, farklı olanlar farklı harf kullanmak sureti ile üst olarak tabloda gösterilmiştir (Tablo 2). Anlaşılmaktadır ki üretim sahasındaki üst ve alt toprak örneklerinde sadece organik madde istatistiksel olarak farklıdır. Bu durum bize üretim faaliyetlerinin toprağı 20 cm derinliğe kadar aynı oranda etkilediğini göstermektedir. Organik madde miktarının toprak derinliğine göre farklı olması ekolojik sebeplerden ötürü beklenen bir durumdur.

Kontrol Sahasından Elde Edilen Bulgular

Kontrol sahası toprak örneklerine ait toprak pH'sı, elektriksel iletkenlik, organik madde miktarı, kum, toz, kil, hacim ağırlığı, su tutma kapasitesi ve permeabilite özelliklerine ait tanımlayıcı istatistik bilgileri aşağıda tablo halinde verilmiştir (Tablo 3).



Tablo 0: Kontrol Sahasındaki bazı toprak özelliklerinin derinlik kademelerine göre tanımlayıcı istatistik değerleri

Toprak Özellikleri	0-10 cm toprak derinliği				10-20 cm toprak derinliği			
	Min.	Mak.	Ortalama	Sd.	Min.	Mak.	Ortalama	Sd.
pH	5,21	7,73	6,09 ^a	0,74	4,41	6,52	5,48 ^b	0,60
EC (dS/m)	,01	0,42	0,19 ^a	0,12	0,00	0,32	0,15 ^a	0,09
Organik madde (%)	9,32	16,03	12,18 ^a	2,17	8,20	15,39	10,79 ^b	1,80
Kum (%)	45,40	78,40	63,15 ^x	11,82	40,45	78,40	63,15 ^x	11,82
Toz (%)	11,00	24,30	16,20 ^x	4,65	11,00	24,30	16,20 ^x	4,65
Kil (%)	10,00	35,40	20,65 ^a	7,66	10,00	35,40	20,65 ^a	7,66
Hacim Ağırlığı (gr/cm ³)	0,88	1,53	1,19 ^a	0,16	0,83	1,44	1,13 ^a	0,19
Max. Su Tutma Kapasitesi (%)	7,04	24,84	15,81 ^a	4,86	12,42	30,14	19,92 ^b	4,82
Permeabilite	0,00	324,80	42,43 ^x	83,38	0,00	267,48	35,80 ^x	65,13

Kontrol sahasındaki toprak derinlikleri arasındaki değişimlerin istatistiksel anlamlılığını ifade edecek olursak, Tablo 3'de ortalama üstündeki küçük harflerle kodlanmış toprak özelliklerine baktığımızda bunların pH, organik madde ve su tutma kapasitesi olduğunu görmekteyiz. Bu durum müdahale görmemiş (kontrol) bir sahada alt ve üst toprak özelliklerinin birbiri ile farklılık gösterdiğini ifade etmektedir. Ancak anlaşılmaktadır ki, toprak maruz kaldığı müdahaleden sonra bozulmakta ve derinlikler arasındaki farklılık aynı değerleri almaktadır.



Toprak Derinliklerine Göre Üretim ve Kontrol Sahalarından Elde Edilen Bulgular

Farklı toprak derinliklerinden alınan örneklerin bazı toprak özelliklerine göre üretim ve kontrol saharındaki elde edilen bulguların istatistiksel olarak farklı olup olmadığının belirlenebilmesine yönelik elde edilen bulgular tablolar halinde aşağıda sunulmuştur. İlk olarak 0 – 10 cm derinlikteki toprak örneklerine ait t testi sonuçları Tablo 4’te verilmiştir. Üretim Sahası ile Kontrol Sahası örneklerinin varyansların homojenliğine göre levne testine göre pH, kil ve su tutma kapasitesinin homojen varyanslara sahip olduğu ve bununla beraber pH ve hacim ağırlığı değerlerinin farklı olduğu görülmektedir. Diğer bir ifade ile üretim ve kontrol saharlarından pH ve hacim ağırlığı değerleri istatistiksel olarak birbirinden farklı iken elektriksel iletkenlik, organik madde, kil ve su tutma kapasitesi istatistiksel olarak birbirinden farklı olmadığı görülmüştür (Tablo 4).

Tablo 4: 0-10 cm derinlik kademesinde bazı toprak özelliklerinin değerlendirilmesi

Toprak Özellikleri	Levene Testi		t-testi		
	F	P	t	df	P
pH	11,093	0,002	-2,082	24,491	0,044*
EC (dS/m)	1,820	0,185	1,625	38	0,114
Organik Madde (%)	1,655	0,205	-0,552	38	0,584
Kil (%)	12,912	0,001	0,209	25,691	0,836
Hacim Ağırlığı (gr/cm ³)	6,069	0,018	2,563	29,250	0,016*
Su Tutma Kapasitesi (%)	4,467	0,041	1,628	38	0,112

*P<0,05

Ayrıca, 0-10 cm derinlik kademesinde toprak özelliklerine ait elde edilen bulgular şu ifade edilmiştir. Çalışma alanına ait 0-10 cm derinlikteki toprakların ortalama pH’sı üretim saharlarında 5,73 ve



kontrol sahalarında 6,09 olarak tespit edilmiştir. Üretim sahalarının toprakları genellikle orta derecede asit ile hafif asitli topraklar arasında değişim gösterirken, kontrol sahalarının toprakları orta derecede asit ile nötr topraklar arasında değişmektedir. En yüksek pH değeri 10. noktadaki kontrol sahaları altındaki topraklarda (7,05) iken en düşük pH değeri 2. noktadaki kontrol sahaları altında topraklarda (5,27) gözlemlenmiştir.

Çalışma alanına ait 0-10 cm derinlikteki toprakların ortalama elektriksel iletkenlik değeri üretim sahalarında 0,26 dS/m ve kontrol sahalarında 0,19 dS/m olarak tespit edilmiştir. Üretim ve kontrol sahalarının toprakları genellikle tuzsuz topraklardır. En yüksek elektriksel iletkenlik değeri 9. noktadaki üretim sahaları altındaki topraklarda (0,54 dS/m) iken en düşük elektriksel iletkenlik değeri 1. noktadaki üretim sahaları altında topraklarda (<0,01 dS/m) gözlemlenmiştir.

Çalışma alanına ait 0-10 cm derinlikteki toprakların ortalama organik madde miktarı üretim sahalarında %11,73 ve kontrol sahalarında %12,18 olarak tespit edilmiştir. Üretim sahalarının toprakları genellikle çok ve pek çok humuslu arasında değişirken, kontrol sahalarının toprakları pek çok humusludur. En yüksek organik madde miktarı 9. noktadaki kontrol sahaları altındaki topraklarda (%15,49) iken en düşük organik madde miktarı 7. noktadaki üretim sahaları altında topraklarda (%6,51) gözlemlenmiştir.

Çalışma alanına ait 0-10 cm derinlikteki toprakların ortalama kil miktarı üretim sahalarında %21,04 ve kontrol sahalarında %20,65 olarak tespit edilmiştir. En yüksek kil miktarı 4. noktadaki kontrol



sahaları altındaki topraklarda (%35,40) iken en düşük kil miktarı 6. noktadaki kontrol sahaları altında topraklarda (%10) gözlemlenmiştir.

Çalışma alanına ait 0-10 cm derinlikteki toprakların ortalama hacim ağırlığı üretim sahalarında $1,38 \text{ gr/cm}^3$ ve kontrol sahalarında $1,19 \text{ gr/cm}^3$ olarak tespit edilmiştir. Üretim ve kontrol sahalarının toprakları genellikle düşük hacim ağırlığına sahip topraklardır. Üretim sahasındaki sıkışmadan dolayı hacim ağırlığı daha fazla çıkmış olabilir. En yüksek hacim ağırlığı 10. noktadaki üretim sahaları altındaki topraklarda ($1,92 \text{ gr/cm}^3$) iken en düşük hacim ağırlığı 3. noktadaki üretim sahaları altında topraklarda ($0,87 \text{ gr/cm}^3$) gözlemlenmiştir.

Çalışma alanına ait 0-10 cm derinlikteki toprakların ortalama maksimum su tutma kapasitesi üretim sahalarında %19,09 ve kontrol sahalarında %15,80 olarak tespit edilmiştir. En yüksek su tutma kapasitesi 9. noktadaki üretim sahaları altındaki topraklarda (%27,84) iken en düşük su tutma kapasitesi 2. noktadaki üretim sahaları altında topraklarda (%5,69) gözlemlenmiştir.

Normal dağılım göstermeyen diğer toprak özelliklerinin (organik madde miktarı, kum, toz, kil ve permeabilite) Mann-Whitney U testine göre üretim ve kontrol sahalarındaki üst toprak (0-10 cm derinlikte) özelliklerine ait ortalama değerler arasında fark görülmemektedir. Diğer bir ifade ile istatistiksel olarak organik madde, kum, toz ve permeabilite değerleri birbirinden farklı değildir (Tablo 5).



Tablo 5: 0-10 cm derinlik kademesinde bazı toprak özelliklerinin değerlendirilmesi

Toprak Özellikleri	Saha	Min.	Mak.	Ortalama	Sıra Ortalaması	Sıra Toplamı	P
Kum (%)	Üretim	42,20	71,60	62,77	19,50	390	0,588
	Kontrol	45,40	78,40	63,15	21,50	430	
Toz (%)	Üretim	11,10	34,50	15,99	19,80	396	0,704
	Kontrol	11,00	24,30	16,20	21,20	424	
Permeabilite (cm/saat)	Üretim	0,59	133,74	9,04	17,30	346	0,083
	Kontrol	0,00	267,48	35,80	23,70	474	

*P<0,05

Çalışma alanına ait 0-10 cm derinlikteki toprakların ortalama kum miktarı üretim sahalarında % 62,77 ve kontrol sahalarında % 63,15 olarak tespit edilmiştir. En yüksek kum miktarı 6. noktadaki kontrol sahaları altındaki topraklarda (% 78,40) iken en düşük kum miktarı 7. noktadaki üretim sahaları altında topraklarda (% 42,20) gözlemlenmiştir.

Çalışma alanına ait 0-10 cm derinlikteki toprakların ortalama toz miktarı üretim sahalarında % 15,99 ve kontrol sahalarında % 16,20 olarak tespit edilmiştir. En yüksek toz miktarı 7. noktadaki üretim sahaları altındaki topraklarda (% 34,5) iken en düşük kum miktarı 7. noktadaki kontrol sahaları altında topraklarda (% 11) gözlemlenmiştir.

Çalışma alanına ait 0-10 cm derinlikteki toprakların ortalama permeabilite miktarı üretim sahalarında 18,65 cm/saat ve kontrol sahalarında 42,43 cm/saat olarak tespit edilmiştir. En yüksek permeabilite 5. noktadaki kontrol sahaları altındaki topraklarda (162,75 cm/saat) iken en düşük permeabilite 6., 8. ve 10. noktadaki kontrol sahaları altında topraklarda (<0,8 cm/saat) gözlemlenmiştir.



Farklı toprak derinliklerinden alınan örneklerin bazı toprak özelliklerine göre üretim ve kontrol sahalarındaki elde edilen bulguların istatistiksel olarak farklı olup olmadığının belirlenebilmesine yönelik elde edilen bulgular tablolar halinde aşağıda sunulmuştur. İlk olarak 10 – 20 cm derinlikteki toprak örneklerine ait t testi sonuçları Tablo 6’da verilmiştir. Üretim Sahası ile Kontrol Sahası örneklerinin varyansların homojenliğine göre levne testine için pH, elektrik iletkenliği, Organik madde, su tutma kapasitesinin homojen varyanslara sahip olmadığı görülmektedir. Bunun yanında pH ve Hacim ağırlığı değerleri birbirinden farklıdır. Diğer bir ifade ile üretim ve kontrol sahalarında pH ve organik madde değerleri istatistiksel olarak birbirinden farklı iken elektrik iletkenlik, kil, hacim ağırlığı ve su tutma kapasitesi istatistiksel olarak birbirinden farklı değildir (Tablo 6).

Tablo 6: 10-20 cm derinlik kademesinde bazı toprak özelliklerinin değerlendirilmesi

Toprak Özellikleri	Levene Testi		t Testi		
	F	P	t	df	P
pH	1,975	0,168	2,905	38	0,006*
EC (dS/m)	2,074	0,158	2,012	38	0,051
Organik Madde (%)	0,033	0,857	-5,877	38	0,000*
Kil (%)	12,912	0,001	0,209	25,691	0,836
Hacim Ağırlığı (gr/cm ³)	11,229	0,002	1,388	29,812	0,175
Maksimum Su Tutma Kapasitesi (%)	0,021	0,886	1,480	38	0,147

*P<0,05

Çalışma alanına ait 10-20 cm derinlikteki toprakların ortalama pH’sı üretim sahalarında 5,97 ve kontrol sahalarında 5,47 olarak



tespit edilmiştir. Üretim sahalarının toprakları genellikle hafif asit ile nötr topraklar arasında değişim gösterirken, kontrol sahalarının toprakları orta derecede asit ile hafif asit topraklar arasında değişmektedir. En yüksek pH değeri 1. noktadaki üretim sahaları altındaki topraklarda (7,11) iken, en düşük pH değeri 2. noktadaki kontrol sahaları altında topraklarda (4,47) gözlemlenmiştir.

Çalışma alanına ait 10-20 cm derinlikteki toprakların ortalama elektriksel iletkenlik değeri üretim sahalarında 0,22 dS/m ve kontrol sahalarında 0,14 dS/m olarak tespit edilmiştir. Üretim ve kontrol sahalarının toprakları genellikle tuzsuz topraklardır. En yüksek elektriksel iletkenlik değeri 4. noktadaki üretim sahaları altındaki topraklarda (0,31 dS/m) iken, en düşük elektriksel iletkenlik değeri 3. ve 9. noktadaki kontrol sahaları altında topraklarda (0,11 dS/m) gözlemlenmiştir.

Çalışma alanına ait 10-20 cm derinlikteki toprakların ortalama organik madde miktarı üretim sahalarında % 7,29 ve kontrol sahalarında % 10,79 olarak tespit edilmiştir. Üretim sahalarının toprakları genellikle orta derecede humuslu ve çok humuslu arasında değişirken, kontrol sahalarının toprakları çok humus ile pek çok humus arasında değişmektedir. En yüksek organik madde miktarı 5. noktadaki kontrol sahaları altındaki topraklarda (% 13,61) iken, en düşük organik madde miktarı 7. noktadaki kontrol sahaları altında topraklarda (% 4,56) gözlemlenmiştir.

Çalışma alanına ait 10-20 cm derinlikteki toprakların ortalama kil miktarı üretim sahalarında %21,04 ve kontrol sahalarında %20,65 olarak tespit edilmiştir. En yüksek kil miktarı 4. noktadaki kontrol sahaları altındaki topraklarda (%35,40) iken, en düşük kil miktarı 6.



noktadaki kontrol sahaları altında topraklarda (%10) gözlemlenmiştir.

Çalışma alanına ait 10-20 cm derinlikteki toprakların ortalama hacim ağırlığı üretim sahalarında $1,25 \text{ gr/cm}^3$ ve kontrol sahalarında $1,12 \text{ gr/cm}^3$ olarak tespit edilmiştir. Üretim ve kontrol sahalarının toprakları genellikle düşük hacim ağırlığına sahip topraklardır. En yüksek hacim ağırlığı 9. noktadaki üretim sahaları altındaki topraklarda ($1,63 \text{ gr/cm}^3$) iken en düşük hacim ağırlığı 3. noktadaki üretim sahaları altında topraklarda ($0,78 \text{ gr/cm}^3$) gözlemlenmiştir.

Çalışma alanına ait 10-20 cm derinlikteki toprakların ortalama maksimum su tutma kapasitesi üretim sahalarında %22,22 ve kontrol sahalarında %19,92 olarak tespit edilmiştir. En yüksek maksimum su tutma kapasitesi 8. noktadaki üretim sahaları altındaki topraklarda (%27,69) iken, en düşük su tutma kapasitesi 8. noktadaki kontrol sahaları altında topraklarda (%13,93) gözlemlenmiştir.

Mann-Whitney U testine göre üretim ve kontrol sahalarındaki üst toprak olarak ifade edebileceğimiz 10-20 cm derinlikteki toprak özelliklerine ait ortalama değerler arasında fark görülmemektedir. Yani istatistiksel olarak kum, toz ve permeabilite değerleri birbirinden farklı değildir (Tablo 7).



Tablo 7: 10-20 cm derinlik kademesinde bazı toprak özelliklerinin değerlendirilmesi

Toprak Özellikleri	Saha	Min	Mak.	Ortalama	Sıra Ortalaması	Sıra Toplamı	P*
Kum (%)	Üretim	42,20	71,60	62,77	19,50	390	0,588
	Kontrol	45,40	78,40	63,15	21,50	430	
Toz (%)	Üretim	11,10	34,50	15,99	19,80	396	0,704
	Kontrol	11,00	24,30	16,20	21,20	424	
Permeabilite (cm/saat)	Üretim	0,00	324,80	42,43	17,30	346	0,083
	Kontrol	0,00	67,37	16,65	23,70	474	

*P<0,05

10-20 cm derinlikteki dağılımlara ait bulgular şu şekildedir. Çalışma alanına ait 10-20 cm derinlikteki toprakların ortalama kum miktarı üretim sahalarında %62,77 ve kontrol sahalarında %63,15 olarak tespit edilmiştir. En yüksek kum miktarı 6. noktadaki kontrol sahaları altındaki topraklarda (%78,40) iken, en düşük kum miktarı 7. noktadaki üretim sahaları altında topraklarda (%42,20) gözlemlenmiştir.

Çalışma alanına ait 10-20 cm derinlikteki toprakların ortalama toz miktarı üretim sahalarında %15,99 ve kontrol sahalarında %16,20 olarak tespit edilmiştir. En yüksek toz miktarı 7. noktadaki üretim sahaları altındaki topraklarda (%34,5) iken, en düşük kum miktarı 7. noktadaki kontrol sahaları altında topraklarda (%11) gözlemlenmiştir.

Çalışma alanına ait 10-20 cm derinlikteki toprakların ortalama permeabilite üretim sahalarında 9,05 cm/saat ve kontrol sahalarında 35,80 cm/saat olarak tespit edilmiştir. En yüksek permeabilite 7. noktadaki kontrol sahaları altındaki topraklarda (207,1 cm/ saat) iken, en düşük permeabilite 2. noktadaki kontrol sahaları altındaki topraklarda (0,0 cm/saat) gözlemlenmiştir.



Tartışma ve Sonuç

Toprağın fiziksel, kimyasal veya biyolojik özelliklerinde meydana gelen herhangi bir ani değişiklik olarak tanımlanan toprak bozulmaları (Lousier, 1990) ormancılıkta üretim faaliyetleri sırasında meydana gelen önemli ekolojik problemlerden biri olarak görülmektedir (Edlund, Keramati & Servin, 2013). Üretim faaliyetleri toprağın hem fiziksel hem de kimyasal özelliklerini önemli ölçüde etkilemektedir (Jurgensen, 1979; Molong, 1995). Bu çalışmada her iki derinlik kademesi için pH ve hacim ağırlığı değerlerinin üretim sahası ile kontrol sahasından alınan toprak örneklerinde istatistiksel olarak farklılık gösterdiği, bunun yanında elektriksel iletkenlik ve su tutma kapasitesi, organik madde, kum, toz, kil ve permeabilite de ise farklılık göstermediği görülmüştür. Bolat, Melemez & Özer (2015)'de meşe (*Quercus robur* L) ormanlarında yaptıkları çalışmada üretim alanından, sürütme yolundan, traktör yolundan ve kontrol alanından alınan toprak örneklerinde kum, toz, elektriksel iletkenlik değerleri arasında istatistiksel olarak anlamlı farklılıklar bulamamışlardır. Savacı & Sarıyıldız (2015) karaçam (*Pinus nigra* Arnold. subsp. *pallasiana* (Lamb.) Holmboe.) ormanlarında yaptıkları çalışmada üretim faaliyetlerinin yapıldığı alanların üst topraklarının (0-10 cm) kum, kil, iskelet miktarı değerlerinin önemli derecede değiştiğini, alt topraklarında (10-20 cm) ise bu değişikliğin sadece kum ve toz miktarlarında olduğunu belirlemişlerdir. Bununla birlikte mikroekolojik alanlarda üretim faaliyetleri nedeniyle toprak üzerindeki etkileri önemli olmaktadır (Enez & ark., 2016).

Bu çalışma için toprak özelliklerinin üretim faaliyetlerinden en fazla hacim ağırlığı ve pH değerlerinin etkilendiği söylenebilir.



Bolat vd (2015)'de de benzer şekilde dört farklı alanda yapılan değerlendirmelerle paralel olarak hacim ağırlığı ve pH değerlerinin farklılıklar gösterdiği belirtilmiştir. Özellikle üretim faaliyetleri ve saha hazırlığı sırasında ağır makinelerin kullanımı toprak özelliklerini ve dolayısıyla ormanların verimliliğini büyük ölçüde etkilemekte, toprağın bozulmasına ve ağaç büyümesinin azalmasına neden olmaktadır (Ares, 2005). Ekipman türü, üretim faaliyetinin yapıldığı süre ve yapıldığı zaman ile toprak özelliklerine bağlı olarak üretimin toprak üzerindeki etkileri farklılık gösterebilir (Heninger & ark., 2002). Zhou & ark. (2015) tarafından yapılan çalışmada analizlerden elde ettikleri sonuca göre toprak özellikleri üzerinde meydana gelen etkinin üretim miktarı ile doğru orantılı olduğu belirtilmiştir.

Üretim faaliyetleri sırasında yapılan sürütme işlemleri toprak yüzeyinde önemli bir sıkışmaya neden olduğu için toprak bozulmakta ve toprağın verimliliğini azalmaktadır (Soltanpour & Jourgholami 2013). Bu çalışmada her iki derinlik kademesi içinde hacim ağırlığının fazla olduğu görülmektedir (Tablo 2; 3). Benzer şekilde üretim faaliyetleri sonucunda toprak hacim ağırlığının arttığını belirten farklı birçok çalışma bulunmaktadır (Crumsey & ark., 2014; You & ark., 2013). Savacı & Sarıyıldız (2015) çalışmalarında sürütme yolunda traktörlerinin geçişi; toprak yapısında önemli değişikliklere yol açarak, toprağın sıkışmasına neden olduğunu ve toprağın sıkışma dereceleri derinlik katmanlarına göre artış gösterdiğini ifade etmişlerdir. Toprak sıkışması su tutma kapasitesini artırabilir (Gomez & ark., 2002). Göknar ormanlarında ağır iş makinelerinin kullanıldığı sahada yapılan çalışmada üretim faaliyetleri sonunda hem toprak hacim ağırlığının hem de toprak



mukavemetinin arttığı belirlenmiştir (Ares & ark., 2005). Üretim işlemleri sonucunda toprakta meydana gelen sıkışmaya bağlı olarak hacim ağırlığı yükselirken, hidrolik iletkenlik azalmıştır (McFero Grace III, Skaggs & Cassel, 2006).

Uygulanan basınç toprak yüzeyinde en yüksek seviyede gerçekleşeceği için hacim ağırlığındaki artış üst toprakta (0-20 cm) daha belirgin olarak ortaya çıkar (Ampoorter & ark., 2007). Greacen & Sands (1980)'de de üretim sahalarında hacim ağırlığının %20-30 oranında arttığını belirtmişlerdir. Meşe (*Quercus petrae*) meşçerelerinde yapılan çalışmada sürütme yolunda üst toprakta (0-5 cm derinlik için) hacim ağırlığı ve kum oranı kontrol alanına göre yüksek, kil oranı ise düşük bulunmuştur (Demir, Makineci & Yılmaz, 2007a). Toprak sıkışmasındaki artışla birlikte toprak hacim ağırlığı da paralel olarak artmaktadır (Landsberg & Miller, 2003). *Pinus kesia* ormanlarında yapılan benzer bir çalışmada da üretim faaliyetleri sonucunda toprakta meydana gelen sıkışmanın toprağın fiziksel özelliklerini, bilhassa toprağın hacim ağırlığını, toprak mukavemetini, toprak gözenekliliğini önemli derece etkilediği belirtilmiştir (Missanjo & Kamanga-Thole 2014).

Bu çalışmada 0-10 cm derinlik kademesinde üretim sahasındaki topraklarda pH değeri kontrol sahasına göre bir miktar düşük iken, 10-20 cm derinlik kademesinde daha yüksek bulunmuştur. Demir, Majineci & Yılmaz, (2007a)'de toprak asitliğinin (pH) sürütme yolunda bulunan toprakta daha yüksek olduğunu belirtmişlerdir. Bu çalışmayla benzer olarak Demir, Majineci & Yılmaz, (2007a)'da elektriksel iletkenlik, toprak fraksiyonu, toz oranı, organik karbon ve nem oranları gibi diğer



toprak özelliklerinde ise sürütme yolu ve kontrol sahaları arasında önemli farklılıklar tespit edilmemiştir.

Bu çalışmada üretim faaliyetlerinin gerçekleştiği topraklarda derinlik kademelerinde sadece organik maddenin farklılık gösterdiği belirlenmiştir. Üst topraktaki organik madde miktarı alt toprağa göre daha fazla olmuştur. Topraktaki organik madde ayrışmanın çeşitli aşamalarındaki bitki ve hayvan kalıntılarının, toprak organizmalarının ve iyi ayrışmış maddelerin toplamı olarak tanımlanmaktadır (Brady & Weil, 1999).

Bölmeden çıkarmanın toprağa verdiği zararlar, yamaçlı arazide üst tabakanın parçalanması ve erozyona neden olurken, düz arazide sıkıştırma sorunlarına yol açabilir. İnce taneli ve nemli topraklar, sıkışmaya daha duyarlıdır. Makineli nakliyat sırasında oluşan derin tekerlek izlerinin olduğu bölgelerde (%5-20 eğimlerde) ağaçlarda artış kayıpları gözlemlenmiştir. Toprak zararını önlemek ve azaltmak için uygun mevsim seçimi (toprağın kuru veya donmuş olması), tekerlek yapısı uygun traktörlerin seçilmesi ve yeterli yardımcı ekipman ve donanımın kullanılması, fazla yükleme yapmak yerine sefer sayısının artırılması, gidiş-gelişlerde sürütme yollarının kullanılması, gerektiğinde tarım traktörünün geçeceği alanlara ince dallar serilmesi ve sürütme sırasında oluşan olukların hemen kapatılması gerekmektedir (Karaman, 2001; Türk & Yıldız, 2019; Türk & Yıldız, 2018). Beraberinde traktörle bölmeden çıkarma işlemi sırasında zararları önlemek için sürütme şeritleri dikkatli bir şekilde seçilmeli, sürütme mesafesi kısa tutulmalı ve mümkünse her seferde tek parça halinde kablo çekimi yapılmalıdır (Öztürk, 2009). Donmuş zemin veya kalın kar tabakası üzerinde



gerçekleştirilen bölmeden çıkarma çalışmaları, toprakta oluşacak zararı azaltabilir hatta ortadan kaldıracaktır. Birçok alanda bu tür koruyucu önlemleri sağlamak her zaman mümkün olmayabilir ve zeminde sürütme yapılan bölgelerde orman toprağının zarar görmesi kaçınılmaz olabilir (Froehlich, Aulerich & Curtis, 1981).

Odun hammaddesinin kesildiği yerden en yakın orman yoluna taşınmasını içeren operasyonun etkili bir şekilde gerçekleştirilmesi için yapılacak iyi bir planlama, zaman kaybını önlemek, çevreye ve hammaddeye verilen zararları minimize etmek ve bu sayede ekonomik amaçlara ulaşmak açısından son derece önemlidir. Bu işin başarıyla gerçekleştirilmesi için arazi koşullarına bağlı olarak uygun olan farklı yöntemler ve araçların seçilmesi gerekmektedir.

Sonuç olarak üretim faaliyetlerinin sürdürülebilir yönetim anlayışına da uygun olarak, verimli bir şekilde gerçekleştirilebilmesi için toprak özelliklerinde meydana getirebilecekleri olumsuzlukları dikkate alarak planlamaların yapılması orman ekosistemleri için oldukça önemli olacaktır.

Kaynaklar

Ampoorter, E., Goris, R., Cornelis, WM. & Verheyen, K. (2007). Impact of mechanized logging on compaction status of sandy forest soils. *Forest Ecology and Management* 241, 162-174.

Ares, A., Terry, T. A., Miller, R. E., Anderson, HW. & Flaming, B. L. (2005). Ground-based forest harvesting effects on soil physical properties and Douglas-fir growth. *Soil Science Society of America Journal*, 69 (6), 1822-1832.

Baumgras, JE., Herar, JR. & LeDoux, CB. (1995). Environmental impacts from skyline yarding partial cuts in an appalachian hardwood stand: a case study. *Council On Forest Engineering 18th Annual Meeting, Sustainability, Forest Health & Meeting The Nation's Needs for Wood Products*. North Carolina, (pp. 413-419).

Bouyoucos, GJ. (1936). Direction for making mechanical analysis of soils by the hydrometer method. *Soil Science*, 42, 225-229.

Bolat, İ., Melemez, K., & Özer, D. (2015). The influence of skidding operations on forest soil properties and soil compaction in Bartın, Turkey. *European Journal of Forest Engineering*, 1 (1), 1-8.

Brady, NC. & Weil, RR. (1999). *The nature and properties of soils*. (12th edition). NJ: Prentice-Hall, Inc.

Buğday, E. & Menemencioğlu, K. (2013). *Forest harvesting damages to residual trees and saplings in mixed forests (A case study: Ilgaz Forests, Turkey)*. *International Caucasian Forestry Symposium*. 24-26 October 2013. Artvin, Türkiye, (pp. 265-270).

Croke, J., Hairsine, P. & Fogarty, P. (2001). Soil recovery from track construction and harvesting changes in surface infiltration, erosion and delivery rates with time. *Forest Ecology and Management*, 143, 3-12.

Crumsey, J.M., Monie, J.L., Vogel, C.S. & Nadelhoffer, K.J. (2014). Historical patterns of exotic earthworm distributions inform contemporary associations with soil physical and chemical factors across a northern temperate forest. *Soil Biology and Biochemistry*, 68, 503-514.

Demir, M., Makineci, E. & Yılmaz, E. (2007a). Harvesting impacts on herbaceous understory, forest floor and top soil properties on skid road in a beech. *Journal of Environmental Biology*, 28, 427-432.

Demir, M., Makineci, E. & Yılmaz, E. (2007b). Investigation of timber harvesting impacts on herbaceous cover, forest floor and surface soil properties on skid road in oak (*Quercus petraea* L.) stand. *Building and Environment*, 42, 1194-1199.

Demir, M., Makineci, E., Comez, A., Yılmaz, E., 2010. Impacts of repeated timber skidding on the chemical properties of topsoil, herbaceous cover and forest floor in an eastern beech (*Fagus orientalis* Lipsky) stand. *Journal of Environmental Biology*, 31, 477-482.

Dykstra, D. & Heinrich, R. (1992). Sustaining tropical forests through environmentally sound harvesting practices. *Unasylva*, 43, 9-15.

Edlund, J., Keramati, E., Servin, M.A. (2013). A long-tracked bogie design for forestry machines on soft and rough terrain. *Journal of Terramechanics*, 50 (2), 73–83.

Enez, K., Sariyildiz, T., Savaci, G. & Aricak, B. (2016). Variation in some soil properties, organic matter and soil compaction after logging activities. *European Journal of Forest Engineering*, 2 (2), 82-88.

Erdaş, O., Acar, HH. & Eker, M. (2014). *Orman ürünleri transport teknikleri*. Karadeniz Teknik Üniversitesi, Orman Fakültesi: Trabzon.

Erdaş, O. (1986). Odun hammaddesi üretimi, bölmeden çıkarma ve taşıma safhalarında sistem seçimi. *Karadeniz Teknik Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi*, 9 (1-2), 91-113.

FAO. (1997). *Forest harvesting in natural forests of the republic of the congo*. Forest Harvesting Case-Study 7: Rome.

Froehlich, HA., Aulerich, DE. & Curtis, R. (1981). *Designing skid trail systems to reduce soil impacts from tractive logging machines*. Oregon State University.

Goychuk, D., Kilgore, M. A., Blinn, C. R., Coggins, J. & Kolka, R. K. (2011). The effect of timber harvesting guidelines on felling and skidding productivity in northern Minnesota. *Forest Science*, 57 (5), 393-407.

Greacan, E.L. & Sands, R. (1980). Compaction of forest soils. A review. *Australian Journal of Soil Research*, 18 (2), 163-189.

Gülçur, F. (1974). *Toprağın fiziksel ve kimyasal analiz metodları*. İstanbul Üniversitesi Orman Fakültesi Yayınları: İstanbul.

Gümüş, S. & Türk, Y. (2016). A new skid trail pattern design for farm tractors using linear programming and geographical information systems, *Forests*, 7, 306.

Heinimann, H. (2007). Forest operations engineering and management – the ways behind and ahead of a scientific discipline. *Croatian Journal of Forest Engineering*, 28, 107–121.

Heninger, R., Scott, W., Dobkowski, A., Miller, R., Anderson, H., & Duke, S. (2002). Soil disturbance and 10-year growth response of coast Douglas-fir on nontilled and tilled skid trails in the Oregon Cascades. *Canadian Journal of Forest Research*, 32 (2), 233-246.

Higman, S., Mayers, J., Bass, S., Judd, N. & Nassbaum, R. (2005). *The sustainable forestry handbook: a practical guide for tropical forest managers on implementing new standards*. London: Earthscan.

Holmes, TP., Blate, GM., Zweede, JC., Pereira, R., Barreto, P., Boltz, F. & Bauch, R. (2002). Financial and ecological indicators of reduced impact logging performance in the eastern Amazon. *Forest Ecology and Management*, 63, 93-110.

Gomez, A., Powers, RF., Singer, MJ., & Horwath, WR. (2002). Soil compaction effects on growth of young ponderosa pine following litter removal in California's Sierra Nevada. *Soil Science Society of America Journal*, 66 (4), 1334-1343.

Jurgensen, MF. (1979). *Forest soil biology: timber harvesting relationships: a perspective*. Intermountain Forest and Range Experiment Station, Forest Service: US Department of Agriculture.

Karaman, A. (2001). *Odun hammaddesi kesim ve nakliyatı*. Kafkas Üniversitesi Orman Fakültesi Ders Notları: Artvin.

Krzic, M., Newman, R. F. & Broersma, K. (2003). Plant species diversity and soil quality in harvested and grazed boreal aspen stands of northeastern British Columbia. *Forest Ecology and Management*, 182, 315-325.

Landsberg, JD. & Miller, RE. (2003). *Bulk density and soil resistance to penetration as affected by commercial thinning in north eastern Washington*. USDA Forest Service: Pacific Northwest Research Station,

Lousier, JD. (1990). *Impacts of forest harvesting and regeneration on forest sites*. Province of British Columbia: Ministry of Forests.

Makineci, E., Demir, M. & Yılmaz, E. (2007). Long-term harvesting effects on skid trail road in a fir (*Abies bornmulleriana* Mattf.) plantation forest. *Building and Environment*, 42, 1538-1543.

Mangan, P. & Bertolo, A. (2003). *Impact of logging on yellow perch recruitment in boreal shield lakes*. Sustainable Forest Management Network.

Marshall, VG. (2000). Impacts of forest harvesting on biological processes in northern forest soils. *Forest Ecology and Management*, 133, 43-60.

McFero Grace III, J., Skaggs, RW., & Cassel, DK. (2006). Soil physical changes associated with forest harvesting operations on an organic soil. *Soil Science Society of America Journal*, 70 (2), 503-509.

Missanjo, E., Kamanga-Thole, G. (2014). Impact of site disturbances from harvesting and logging on soil physical properties

and *Pinus kesiya* tree growth. *International Scholarly Research Notices*,1, 7.

Molong, S. (1995). Effects of harvesting on soil properties and regeneration quality in larch-birch forest in China. *Journal of Northeast Forestry University*, 6 (4), 32-35.

Öztan, Y. (1980). Meryemana deresi havzasında değişik bakıldaki orman ve mera arazileri topraklarının erozyon eğilimi (Erodibility) değerlerindeki farklılıklarının araştırılması. *Karadeniz Teknik Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi*, 3, 185-213.

Öztürk, UÖ. (2009). *Dağlık arazideki ladin meşcerelerinde farklı bölmeden çıkarma yöntemlerinin çevresel açıdan irdelenmesi üzerine bir araştırma*, Yüksek Lisans Tezi, Artvin Çoruh Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Artvin.

Özyuvacı, N. (1971). Topraklarda erozyon eğiliminin tesbitinde kullanılan bazı önemli indeksler. *İstanbul Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi*, B, 21,1, 190-207.

Özyuvacı, N. (1975). Topraklarda erozyon eğiliminin tahmini açısından yapılan bazı değerlendirmeler. *TÜBİTAK V. Bilim Kongresi, Tarım ve Ormancılık Araştırma Grubu Tebliği Ormancılık Sektörünü*, 29 Eylül-2 Ekim 1975, İzmir, Türkiye, (pp. 123-134).

Özyuvacı, N. (1976). *Arnavutköy deresi yağış havzasında hidrolojik durumu etkileyen bazı bitki-toprak-su ilişkileri*. İstanbul Üniversitesi Orman Fakültesi Yayınları: İstanbul.

Pinard, MA., Barker, MG. & Tay, J. (2000). Soil disturbance and post-logging forest recovery on bulldozer paths In sabah, Malaysia. *Forest Ecology and Management*, 130, 213-225.

Quesnel, HJ. & Curan, MP. (2000). Shelterwood harvesting in root-disease infected stands-post-harvest soil disturbance and compaction. *Forest Ecology and Management*, 133, 89-113.

Rhoades, JD. (1982). Soluble salts, methods of soil analysis. In: Page, AL (Eds.), *American Society of Agronomy, Inc., Madison*, (2nd ed., pp. 167-179). Madison, WI, USA.

Rushton, T., Brown, S. & McGrath, T. (2003). Impact of tree length versus shortwood harvesting systems on natural regeneration. Forest Research Report: Nova Scotia Department of Natural Resources.

Sancal, E. (2010). Artvin yöresindeki bölmeden çıkarma çalışmalarının orman toprağının bazı özellikleri üzerine etkilerinin belirlenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Artvin Çoruh Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Artvin.

Savacı, G. & Sarıyıldız, T. (2015). Bölmeden çıkarma işlemlerinin orman toprağının sıkışması üzerine etkisi: Kastamonu ili Daday üretim ormanı örneği. *Üretim İşlerinde Hassas Ormanlık Sempozyumu*, 4-6 Haziran 2015, Ilgaz, Kastamonu, Türkiye, (pp. 379-390).

Schweier, J., Magagnotti, N., Labelle, E.R., Athanassiadis, D. (2019). Sustainability impact assessment of forest operations: a review. *Current Forestry Reports*, 5 (3), 101–13.

Scrimgeour, GJ., Tonn, WM., Paszkowski, CA. & Aku, PMK. (2000). Evaluating the effects of forest harvesting on littoral benthic communities within a natural disturbance-based management model. *Forest Ecology and Management*, 126, 77-86.

Soltanpour, S., & Jourgholami, M. (2013). Soil bulk density and porosity changes due to ground-based timber extraction in the Hyrcanian forest. *Notulae Scientia Biologicae*, 5 (2), 263-269.

Steege, HT., Welch, I. & Zagt, R. (2002). Long-term effect of timber harvesting in the bartica triangle, Central Guyana. *Forest Ecology and Management*, 170, 127-144.

Türk, Y. & Yıldız, M., (2019). the effects of wood chips and slash usage on skid trail sheet erosion caused by log skidding using a farm tractor. *Sumarski List*, 143 (5-6), 241-249.

Türk, Y. & Yıldız, M. (2018). Sürütme şeritlerinde bitki besin elementleri kaybının onarılmasında yonga ile dal-yaprak kullanımı, *Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 6, 4, 941-952,.

Türk, Y. & Gümüş, S. (2015). Tarım traktörleriyle bölmeden çıkarmada meydana gelen toprak ve fidan zararlarının araştırılması, *Artvin Çoruh Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi*, 16, 1, 55-64.

URL-1. <https://www.fikir.gen.tr/uretim-nedir-uretim-faktorleri-nelerdir/> Erişim Tarihi; 17/03/2021

Ünver, S. (2008). *Endüstriyel odun hammaddesinin insan gücüyle sürütülmesi sırasında ortaya çıkan ürün kayıpları ile çevresel zararların belirlenmesi üzerine bir araştırma*. Doktora Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.

You, HM., He, DJ., Liu, JS., Cai, CT., You, WB. & Xiao, SH. (2013). Effect of covering with fallen logs on soil physicochemical property of *Tsuga longibracteata* forest in Tianbaoyan national nature reserve. *Journal of Plant Resources and Environment*, 22 (3), 18-24

Zaman, MA., Osman, KT. & Haque, SS. (2010). Comparative study of some soil properties in forested and deforested areas in Cox's Bazar and Rangamati Districts, Bangladesh. *Journal of Forestry Research*, 21, 319–322.

Zhou, X., Zhou, Y., Zhou, C., Wu, Z., Zheng, L., Hu, X., Chen, H. & Gan, J. (2015). Effects of cutting intensity on soil physical and chemical properties in a mixed natural forest in southeastern China. *Forests*, 6(12), 4495-4509.

BÖLÜM VIII

Türkiye’deki Bazı İstilacı Yabancı Bitkilerin Biyolojik ve Ekolojik Özellikleri

Sefa AKBULUT¹

Giriş

Biyolojik çeşitlilik çok sayıda etmen tarafından tehdit edilmektedir. Bu tehditler arasında habitat kayıpları, ekosistemlerin insanlar tarafından tahrip edilmesi, dinamiklerinin yıpratılması yer almaktadır. Bunların yanı sıra, en önemli tehditler olarak alan kullanımındaki hatalar sonucu popülasyonu artan istilacı bitkilerin alansal üstünlük kazanarak doğal ekosistemleri tehlike altına sokmaları, bitkisel kaynaklardan aşırı derecede faydalanmalar, küresel ısınma ve çevre kirliliği yer almaktadır (Chevalier & ark., 1997; Işık, Yaltırık & Akesen, 1997). Örneğin habitatlarda meydana gelen parçalanmaların artışı direkt olarak ekosistemin yapısında bir bozulma yaratmakta, bu da yaşam alanlarının birbirlerinden ayrılarak izole olmaları ve deformasyonu ile sonlanmaktadır.

¹ Prof. Dr., Karadeniz Teknik Üniversitesi, Orman Fakültesi, Orman Mühendisliği Bölümü, Trabzon/Türkiye, Orcid:0000-0001-6540-2965, sakbulut@ktu.edu.tr



Parçalanma ve ayrışmanın arttığı yaşam alanlarında ise flora ve fauna hareketliliği sınırlanır (Collins, 2005).

Yaşam alanlarındaki bozulmanın biyolojik çeşitlilik üzerindeki etkileri habitatların tamamen yok olması, alansal boyutlarının daralması ya da bu alanların izolasyonlarının giderek artması şeklinde kendisini gösterebilmektedir (Honnay & ark., 2004). Bu nedenle tahribatın üç ögesi özellikle önemlidir; çekirdek alan, şekil ve orman parçasının yalıtımı.

Bitki örtüsünün bileşimi ve yapısı, ekosistem değişikliklerini izlemek için doğal bir göstergedir. Bitki örtüsündeki ve onun altındaki çevresel faktörlerdeki değişiklikler, bildiğimiz birçok türün ekolojik nişine ve buna bağımlı diğer organizmaların durumuna bir rehber niteliğindedir. Bu nedenle, belirli bir bölgede bitki örtüsü dinamiklerini incelemek, ekosistemin diğer değişkenleri hakkında önemli bilgiler sağlar (örneğin; toprak, mikroiklim) (UNECE, 2007).

Vejetasyon süreçlerini değerlendirmek için bir alandaki bitki birliklerinin tam ve detaylı olarak ortaya konması gerekmektedir. Vejetasyon, herhangi bir coğrafi bölgenin bir kesimi üzerinde, yaşama koşulları birbirine benzeyen bitkilerin bir arada toplanma şeklidir (Akman, Ketenoğlu & Geven, 2001). Ancak bir alanda bitki çeşitliliğini belirlemeden vejetasyon çalışması yapmak imkansızdır. Flora ise bir ülke, bir bölge ya da belirli bir yörenin bitkilerinin tümüne verilen bir ad olup, florayı oluşturan bitki elementleri arasında karşılıklı bir floristik ilişki bulunması koşulu yoktur (Anşin, 1983). Doğal yaşam alanları ve yayılma alanları içinde bulunan türlere doğal türler denirken, egzotik türler ise doğal yaşam alanları ve potansiyel yayılma alanları dışında getirilen, doğrudan veya



dolaylı tanıtım veya insan bakımı olmadan işgal edemeyecekleri türlere denir. Ekosistemlerde bulunabilen tüm egzotik türler arasında, yalnızca çok düşük bir yüzdesi uzun vadede yerleşik hale gelir ve sabitlenir (yerleşik türler) ve bunların yalnızca küçük bir yüzdesi istilacı hale gelir. Bu nedenle, *istilacı bir yabancı tür*, bir ekosisteme tanıtılan veya yerleşen ve doğal biyolojik çeşitliliğe yönelik bir değişim ve tehdit aracı olan bir türdür (Navarro, 2021).

İstilacı yabancı türler, dünya çapında biyolojik çeşitlilik, ekosistemler ve insan refahı için önemli bir tehdit oluşturmaktadır. Küreselleşmenin artışı, artan ticaret ve insan hareketliliği, istilacı yabancı türlerin yayılmasını daha da artırmış ve acil ilgi ve kapsamlı yönetim stratejileri gerektiren kritik bir sorun haline getirmiştir.

İstilacı türler, yeni bir ortama getirildiğinde ekosisteme, ekonomiye veya insan sağlığına zarar verebilecek yerli olmayan türlere atıfta bulunur. Bu türler genellikle yerli türlerle rekabet eder veya onlarla olumsuz etkileşime girer, doğal süreçleri bozar ve önemli ekolojik dengesizliklere yol açabilir. Bunlar bitkiler, hayvanlar, mantarlar veya hatta mikroplar olabilir.

İstilacı yabancı türlerin temel özellikleri şunlardır (URL-1, 2024):

- Belirli bir yere özgü veya doğal değildirler, bu nedenle doğal olmayan türler olarak bilinirler.
- İstilacı türler genellikle yüksek üreme oranlarına sahiptir. Bu da yeni ortamlarında hızla yayılmalarına olanak tanır.



- Doğal avcıları olmadan doğal yaşam alanlarından getirildiklerinde, rekabetin ve yırtıcı hayvan baskısının azalması nedeniyle gelişirler.
- Geniş bir çevresel uyum yeteneği olup, aşırı sıcaklıklarda, pH seviyelerinde, yangın, sel gibi olumsuz koşullarda gelişmelerini sağlar ve bu da hayatta kalmalarını artırır.
- İstilacı türler, besin döngüsü ve yangın rejimleri gibi ekosistem süreçlerini değiştirebilir, habitat yapısında ve biyolojik çeşitlilikte değişikliklere yol açabilir.

İstilacı yabancı türlerin yayılmasını teşvik eden faktörleri birkaç başlık altında toplamak gerekirse (URL-1, 2024):

Küreselleşme ve Artan Ticaret: Küreselleşme, malların ve insanların dünya çapında hareketinde bir artışa yol açar ve bu da istilacı türlerin yeni ekosistemlere kolayca sızmasına olanak tanır. Örneğin, emiler okyanuslar boyunca suda yaşayan organizmaları, uçaklar ve arabalar böcekleri, tohumları ve diğer bitki materyallerini bilmeden taşımaktadır.

İklim Değişikliği: Artan sıcaklıklar ve değişen hava düzenleri, istilacı türler için uygun yeni yaşam alanları yaratır.

Habitat Bozulması: İnşaat projeleri, ormansızlaşma ve sürdürülemez arazi kullanımı değişiklikleri, insan yerleşimlerinin ve kentsel alanların genişlemesine yol açar. Bu, yerel ekosistemleri bozar ve istilacı türlerin bozulmuş yaşam alanlarına kolayca yerleşmelerine olanak tanır.



Ekonomik Amaçlı Tanıtımlar: Bazı istilacı türler, tarım, su ürünleri yetiştiriciliği veya süs bitkileri gibi ekonomik nedenlerle kasıtlı olarak tanıtılmıştır. Tanıtılan türler yerel organizmalarla rekabet ettiğinde veya olumsuz etkileşime girdiğinde istenmeyen ekolojik sonuçlara yol açar.

Yetersiz Biyogüvenlik Önlemleri: İthal mallar için yetersiz denetim protokolleri, etkisiz karantina uygulamaları ve potansiyel olarak istilacı türlerin hareketine ilişkin yetersiz düzenlemeler gibi zayıf biyogüvenlik önlemleri, bunların yayılmasına yardımcı olur.

Bilinç Eksikliği: Kamuoyunun bilgisizliği, yetersiz yönetim stratejileri ve araştırma, izleme ve yok etme programları için yetersiz fon ve kaynaklar, istilacı yabancı türlerin yayılmasını daha da kötüleştirir.

İstilacı yabancı bitkiler ise, doğal yaşam alanlarının dengesini bozan, doğal bitki türlerini tehdit eden ve biyolojik çeşitliliği azaltan bitkilerdir. Bu bitkiler, genellikle insanlar tarafından kasıtlı veya kazara yeni bölgelere taşınırlar ve burada hızla yayılıp kontrol altına alınması zor hale gelebilirler. Farklı coğrafik alanlardan taşınan, yeni yerleştiği alanda hâkimiyet kazanan ve önemli sorunlara yol açan istilacı bitkiler, ekosistemin fonksiyon ve ilerleyişini, besin elementi döngülerini olumsuz etkiler, doğal türlerin popülasyonunda ve yoğunluğunda azalmaya neden olurlar. Bundan ötürü bütün halinde ekosisteminin çeşitliliğini olumsuz etkilerler. İstilacı yabancı bitkilerin oluşturduğu zararlar biyolojik çeşitlilikle kalmaz, küresel ölçekte insan sağlığı, ormancılık, tarım, hayvancılık, balıkçılık, yangın riski, altyapı sorunları, rekreasyon alanları gibi konularda da ciddi ekonomik kayıplara sebebiyet verirler (Önen, 2015).



Yabancı ve istilacı karakterde olan egzotik türler doğal habitatlar için önemli bir tehdittir. Doğallaşma eğilimi gösterebilen bu türler doğal besin zincirini yıkıcı etki gösterirler. İstilacı türler çoğunlukla bir bölgedeki doğal bitkilerden farklı gelişim safhalarına sahiptir. Tomurcukların patlaması doğal türlere göre daha önce olup, daha sonra faaliyetten kesilirler. Yani, vejetasyon süreleri daha uzundur. Bu da ekolojik toleranslarının yüksek olmasından kaynaklanmaktadır. Bu türler yaşamsal faaliyetlerini sürdürebilmek için farklı farklı yöntemler geliştirirler. Erken yaşlarda tohum tutarak hızlı bir gelişim gösterirler. Bu türlerin birçoğu köklenebilen sürgünleri, stolonları ve rizomları sayesinde yüksek vejetatif üreme kabiliyetine sahiptirler. Ayrıca çoğunlukla rüzgârla tozlaşma eğilimindedirler. Meyveler, dolayısıyla tohumlar rüzgâr, su ve kuşlar başta olmak üzere hayvanlar aracılığıyla çok geniş alanlara taşınabilirler. Böylelikle doğal yaşam alanlarının dışında çok uzak ve farklı habitatlarda topluluklar oluşturabilirler. Gerçek mesele küresel biyoçeşitlilikte kendini gösterir. Biyoçeşitlilik, bakteri, mantar, bitki ve tek hücreli organizmaların kusursuz bir karışımından meydana gelen kompleks bir yapıdır. Bu çeşitliliği oluşturan tüm organizmalar ekosistemlerin yaşayan unsurlarıdır ve dünyadaki yaşamın sürekliliğini sağlar. Bu doğallaşmış ve istilacı türler, bölgede bulunan doğal türleri ortadan kaldırır. Sadece belirli türlerin yerine yerleşmekle kalmaz, aynı zamanda tüm organizma topluluğunu da ortadan kaldırabilirler. Doğallaşmış istilacı türler, yerleştikleri ekosistemdeki normal süksesyon evrelerini değiştirme eğilimindedir ve ekosistemi uzun vadede etkiler. (Sakai & ark., 2001). Birçoğu ruderal karakterde olan bu tür bitkilerin hayat döngüleri kısa olsa da esnek fenotipik özellikleri ile hızlı gelişim



göstermeleri, vejetasyon dönemi içerisinde en üst seviyede üreme kapasitesine sahip olmaları, tohumlarının yüksek hayatıyeti ve uzak bölgelere dağılabilmesi ile süksesyonun erken dönemlerinde doğal vejetasyon alanlarında yayılma ve çoğalma fırsatı bulabilirler (Karaköse, Akbulut & Bayramoğlu, 2018).

Bu türlerle mücadele etmek için genellikle biyolojik kontrol, kimyasal ilaçlar ya da mekanik yöntemler kullanılır. Ancak en etkili yol, bu bitkilerin yayılmasını önceden engellemektir. Bilinçli toplum davranışları ve biyolojik çeşitliliğin korunmasına yönelik politikalar bu konuda önemli rol oynar.

İstilacı yabancı bitkilerle mekanik mücadele, bu türlerin çevreye, tarıma ve yerel ekosistemlere olan zararlarını azaltmak amacıyla fiziksel yöntemlerle kontrol edilmesi sürecini ifade eder. Mekanik mücadele yöntemleri, bitkilerin fiziksel olarak ortadan kaldırılmasını veya yayılmasının engellenmesini hedefler. İşte bu süreçte kullanılabilecek bazı yaygın yöntemler (Jabran & Doğan, 2015):

Elle Çekme: Küçük miktarda veya yeni çıkan istilacı bitkiler elle çekilebilir. Bu yöntem, kök sistemini de çıkararak bitkinin tekrar büyümesini engelleme açısından etkilidir.

Biçme ve Kesme: İstilacı bitkilerin üst kısmını biçmek veya kesmek, tohum üretimini engelleyebilir ve bitkinin büyümesini kontrol altına alabilir. Ancak kök sistemini etkilemediği için uzun vadeli etkili olmayabilir.



Kök Çıkarma: Özellikle kalıcı kök sistemine sahip bitkiler için kökleri tamamen çıkarmak önemlidir. Bu işlem, özel donanım veya makinelerle yapılabilir.

Malçlama: Bitkilerin etrafını malçla kaplayarak güneş ışığını engelleyip büyümelerini durdurmak mümkündür.

Yakma: Kontrollü yakma işlemi, tohumları ve genç bitkileri yok etmek için kullanılır, ancak dikkatli bir şekilde yapılmalı ve yerel düzenlemelere uyulmalıdır.

Tarla Sürme: Tarla sürme, özellikle geniş alanlarda istilacı bitki tohumlarını toprağın derinlerine gömerek çimlenmelerini engellemek için kullanılır.

Mekanik mücadele yöntemlerinin etkinliği, istilacı bitki türüne, büyüme aşamasına ve çevresel koşullara bağlı olarak değişiklik gösterebilir. Bu yöntemler genellikle kimyasal veya biyolojik kontrol yöntemleriyle birleştirilerek daha etkili sonuçlar elde edilir. Ayrıca, bu müdahalelerin, doğal ekosistemin korunması ve doğal türlerin zarar görmemesi için dikkatle planlanması gerekir.

İstilacı bitkilere karşı mücadelede kimyasal yöntemler, genellikle herbisitler kullanılarak gerçekleştirilir. Bu yöntem, istilacı bitkilerin kontrol altına alınması için etkili olabilir, ancak dikkatli bir uygulama gerektirir. İşte bu süreçte dikkate alınması gereken temel adımlar (Jabran & Doğan, 2015; van Wilgen, Richardson & Higgins, 2001):

Bitki Türünün Tanımlanması: Müdahale etmeyi planladığınız istilacı bitki türünü doğru bir şekilde tanımlayın. Herbisit seçimi için



bu bilgi önemlidir, çünkü farklı bitkiler farklı kimyasallara farklı tepkiler verebilir.

Herbisit Seçimi: Etkili ve hedef bitkiye uygun herbisit seçimi yapın. Bazı herbisitler geniş spektrumlu olup birçok bitkiye etkili olabilirken, bazıları belirli türler için daha uygundur.

Uygulama Zamanı: Genel olarak, bitkilerin aktif büyüme döneminde yapılan uygulamalar daha etkili olur. Erken ilkbahar veya geç sonbahar gibi dönemler genellikle idealdir. Rüzgârsız ve yağışsız günlerde uygulama en iyi sonuçları verir ve kimyasalın istem dışı yayılmasını önler.

İstilacı yabancı bitkilere karşı biyolojik mücadele, bu bitkilerin yayılmasını kontrol altına almak için doğal düşmanlarının, yani onları hedef alan diğer organizmaların kullanılmasıdır. Bu yöntem, kimyasal veya mekanik yöntemlere alternatif olarak daha çevre dostu bir mücadele şeklidir. Biyolojik kontrolün dört ana yöntemi vardır (Waterhouse, 1992):

Klasik Kontrol: Yeni bir alana girip orada zararlı hale gelen bir yabancı otun doğal düşmanlarını ithal etmek ve bunları söz konusu alana yerleştirmek.

Artırma: Doğal düşmanın kitlesel üretimi ve bunun biyolojik bir pestisitmiş gibi serbest bırakılması.

Takviye: Şu anda mevcut olan ancak popülasyonu düşük olan ve bazen beklenen etkiyi göstermeyen bir doğal düşmanın kitlesel üretimi ve belirli dönemlerde serbest bırakılarak popülasyonunun artırılması.



Koruma: Mevcut doğal düşmanların çeşitli yollarla korunması ve pestisit kullanımının zararlarından mümkün olduğunca kaçınmak.

Biyolojik mücadele uzun vadeli bir strateji olduğundan, sonuçlar zaman içinde ortaya çıkabilir. Bu süreç, çevreye daha az zarar verir ve çeşitli organizmaların doğal dengesine katkıda bulunabilir. Ancak, başarılı bir uygulama için yerel uzmanlar ve bilim insanları ile iş birliği yapmak önemlidir.

İstilacı bitkilerle mücadele ederken, kimyasal yöntemlerin yanı sıra mekanik, biyolojik ve kültürel yöntemlerin kombinasyonunu içeren bütünleşmiş bir mücadele stratejisi benimsemek genellikle daha sürdürülebilir ve çevre dostu bir yaklaşımdır.

Bir diğer konu ise iklim değişikliği ve istilacı bitkiler arasındaki dinamik ilişkidir. İklim değişikliği, sıcaklık ve yağış rejimlerinde değişikliklere neden olarak bazı istilacı bitkilerin yeni alanlara yayılma potansiyelini artırabilir. Daha sıcak iklim koşulları, birçok istilacı türün üst enlemlere veya yüksek rakımlara taşınmasına olanak tanıyabilir. Ilık geçen kış ayları, bazı istilacı bitki türlerinin yıl boyunca aktif kalmasına veya daha uzun büyüme mevsimlerine sahip olmasına izin verebilir. Daha öncede bahsedildiği üzere istilacı türler, doğal bitki türleriyle rekabet ederek onların yaşam alanlarını daraltabilir ve ekosistemlerde biyoçeşitlilik kaybına yol açabilirler. Aynı zamanda toprak yapısını ve su döngülerini değiştirerek ekosistem fonksiyonlarını olumsuz etkileyebilirler. Küresel iklim değişikliği kaynaklı kasırga, sel ve kuraklık gibi afetler, istilacı yabancı bitkilerin yeni alanlara



taşınmasına ve yaşam alanlarının sahip olduğu istila direncinin azaltılmasına sebebiyet vermektedir (IUCN, 2017).

Dünyada 370.000 civarında bitki olup (Christenhusz & Byng, 2016) bunun 12.000 kadarı da Türkiye florasında yer almaktadır (Güner & ark., 2012). Bu sayı içerisinde doğal bitkilerle birlikte yabancı ve tarım bitkileri de bulunmaktadır. Her geçen gün güncellenen bu listede 4.000 kadar endemik bitki (Özhatay, Kültür & Gürdal, 2013; 2015; 2017; 2019), 340 adet (321 açık tohumlu, 17 kapalı tohumlu ve iki eğrelti otu) kültüre alınmış, doğallaşmış ya da farklı yollarla floraya dahil olmuş yabancı bitki bulunmaktadır (Uludağ & ark., 2017) (Şekil 1, 2). İstilacı yabancı bitki türlerinin ise Türkiye'de 45 adet olduğu belirtilmiştir (Karaköse, Akbulut & Bayramoğlu, 2018).



Şekil 1: a. Clematis vitalba, b. Phytolacca americana, c. Tradescantia fluminensis, d. Xanthium strumarium, e. Erigeron annuus, f. Commelina communis



Şekil 2: g. *Microstegium vimineum*, h. *Amaranthus retroflexus*, i. *Ailanthus altissima*, j. *Robinia pseudoacacia*, k. *Conyza canadensis*, l. *Echinochloa crus-galli*



Türkiye'deki istilacı yabancı bitkiler, doğal ekosistemler üzerinde çeşitli olumsuz etkiler yapabilen ve genellikle doğal yayılım alanları dışında başarıyla yayılan türlerdir. Bu bitkiler, biyolojik çeşitliliği tehdit etmekle kalmaz, aynı zamanda ekonomik faaliyetleri, tarımı ve insan sağlığını da etkileyebilir. İşte Türkiye'de yaygın olarak rastlanılan bazı istilacı yabancı bitkilerin biyolojik ve ekolojik özellikleri:

***Ailanthus altissima* (Mill.) Swingle (Kokarağaç):** Cennet ağacı olarak bilinen bu tür, Çin'e özgüdür ancak Avrupa ve Kuzey Amerika'daki birçok ülkede bulunabilir. Cennet Ağacı, bozulmuş alanlara veya parçalanmış manzaralara hızla yayılabilen istilacı bir tür olarak bilinir (Enescu, Houston Durrant & Caudullo, 2016). Kısa ömürlü, hızlı büyüyen, 30 m kadar boy yapabilen bir bitkidir (Kowarik & Samumel, 2007). Bileşik yapraklar 10-40 adet mızrak şeklinde yaprakçıktan oluşur (Hu, 1979). Çiçekler ilkbaharın sonlarında ortaya çıkar, ağaçlar genellikle iki evciklidir, ancak bazı durumlarda her iki cinsiyet de aynı bireyde bulunur. Erkek bitkiler çiçek açarken kötü bir kokuya sahiptir. Kanatlı meyveler üstte bükülmüş, zarımsı, morumsu sarı ve 5 cm uzunluktadır (Kowarik & Samumel, 2007). *A. altissima* hem tohumlardan hem de kök sürgünlerinden çoğalır. Çiçeklenme olgunluğu genellikle 3-5 yıl sonra gerçekleşir, ancak en iyi tohum üretimi 12-20 yaşlarında elde edilir (Miller 1990; Kowarik & Samumel 2007). Tohum üretimi yüksektir, ancak ağacın yaşı ve yüksekliğine göre değişir. 8 yaşındaki bir ağaçta 500 küme halinde düzenlenmiş 325.000 samaraya kadar ulaşabilir (Bory & Clair-Maczulajtyts 1980). *A. altissima* birçok ekolojik etmene karşı oldukça dayanıklıdır. Ilıman bölgelerde oluşan düşük sıcaklıklardan daha çok yüksek sıcaklıklara



çok daha iyi uyum sağlar ve geniş bir sıcaklık toleransına sahiptir (Hildebrand, 2006). Çorak kayalık zeminler, kil, kum, kireçli ve çakıl substratlar; tuzlu ve alkali toprakları, besin açısından zengin ve fakir, kuru ve ıslak topraklar ile deniz suyunun bulunduğu yerler gibi çok çeşitli topraklarda yetişebilirler. Çok çeşitli ekolojik faktörlere karşı toleransı, *A. altissima*'nın taşlı ve steril topraklardan zengin alüvyonlu tabanlara kadar birçok habitat türünde yaşamasına imkan tanır. Kirliliğe karşı toleransı, şehir duvarlarında, kaldırım çatlaklarında, yol ve tren yolu kenarlarında, terk edilmiş arsalarda ve parklarda büyümesini sağlar (Kowarik & Samumel, 2007). Bitki, otçullara ve patojenlere karşı dirençli hale getiren ve ayrıca diğer bitki türleri üzerinde allopatik bir etki yaratan çok çeşitli aktif bileşikler üretir (Mergen, 1959).

***Amaranthus retroflexus* L. (Tilkikuyruğu):** Doğu ve Orta Kuzey Amerika'ya özgüdür. Pakistan, Rusya, Çin, Kanada ve Amerika'da dâhil olmak üzere 70 ülkede yetişen istilacı yabancı bir türdür (Costea, Weaver & Tardif, 2004). Bitki 20 ile 150 cm yüksekliğe kadar büyüyen yıllık bir bitkidir. Kazık kökler 1 m derinliğe kadar nüfuz edebilir. Bitkiler yoğun ile orta derecede tüylüdür. Gövdeler yuvarlak ila açılı, dik, tek veya dallı ve tabana yakın kırmızımsıdır. Yapraklar gri-yeşil, saplı, oval ila eşkenar dörtgen-ovlat, uçları sivri ve tüylüdür. Çiçekler küçüktür ve kısa dallı, koltuk altı ve terminal salkım şeklindedir. Kapsül meyve ters yumurta şeklinden neredeyse küresele kadar değişir ve her biri tek bir tohum taşır (Hultén, 1968; Mosyakin & Robertson 2003). *A. retroflexus* yalnızca tohumla çoğalır. Kendi kendine döllenabilir ve tohum üretimi verimlidir; her bir bireyi canlı kaldığı sürece 1.900.000'e kadar tohum verebildiği bildirilmiştir. Büyüme



mevsiminin sonlarında ortaya çıkan bireylerin dahi tohum üretebildiği gözlemlenmiştir. Tohumlar genellikle toprakta 6 ile 10 yıl canlı kalabilir. Tozlaşma çoğunlukla rüzgârla olur. Çok çeşitli toprak tiplerine, tekstür ve pH seviyelerine dayanıklıdır. Öncü bir türdür ve bozulmuş alanlardaki besinleri ve nemi de azaltır. Bozulmuş alanlarda hızla kolonileşir ve tarım alanlarında yüksek yoğunluklarda büyüyebilir, bu da ürün verimini önemli ölçüde azaltır (Costea, Weaver & Tardif, 2004).

***Ambrosia artemisiifolia* L. (Arsızzaylan):** Amerika'ya özgüdür ancak 20. yüzyılın ikinci yarısında Orta Avrupa'da yayılmaya başlamıştır ve 1990'larda artış göstermiştir (Rybnicek & Jäger, 2001). 120-140 cm boyunda, yoğun tüylü, dik gövdelere ve kısa saplı yapraklara sahip, yıllık otsu bitkilerdir. Eğrelti otu benzeri yaprakları olan dik bir bitkidir. Yapraklar derin bir şekilde bölünmüştür ve alt kısımları tüylüdür. Çiçekler belirgin değildir. Küçük, yeşilimsi ve bitkinin üst kısmında 20 cm'ye kadar uzunlukta başaklardır. Çiçek başakları, polen üretimi nedeniyle olgunlaştıklarında sarı görünür. Erkek çiçekler başakların tepesinde ve dişiler diptedir. Tohumlar siyah, küçük, tepesi şekilli ve pürüzlüdür (URL-2, 2024). Tohumla çoğalır ve bol miktarda tohum üretimi vardır. Bir bitki ortalama 1.000-4.000 tohum üretir. Tohumlar toprakta 35 yıl ve hatta daha uzun süre canlı kalabilir (Ostojic & ark., 1992; Ostojic, 2005). *A. artemisiifolia*, tarım alanları, inşaat sahaları, yol kenarları ve bahçeler gibi bozulmuş alanları en kolay istila eden türlerdendir. Ancak seller gibi doğal afetler ile boz ulan nehir yatakları gibi doğal yaşam alanları da risk altındadır (Holst, 2008). İnsan sağlığı üzerinde ciddi etkileri olan



büyük miktarda alerjenik polen ürettiği için, Avrupa'daki en zararlı istilacı bitki türlerinden biridir (Skálová & ark., 2019).

***Arundo donax* L. (Kargı):** Eski dünya'ya özgü olan bu tür, muhtemelen Avrupa'nın İber Yarımadası'ndan, Kuzey Afrika, Orta Doğu, Arap Yarımadası ve Basra Körfezi bölgeleri de dahil olmak üzere Güney Asya'ya kadar uzanır (Hardion & ark., 2017; Tarin & ark., 2013). Sağlam yapılı, çok yıllık, rizomlu çalimsı ot formunda, 2-6 m boyunda, 2-3 cm çapında, dallanmamış veya düğümlerden bambu benzeri ince dal kümeleriyle şekillenmiş bitkilerdir (Sankaran & Suresh, 2013). Yapraklar aynı düzlemde iki sıralı, gövde uzunluğu boyunca oldukça eşit aralıklarla yer alır. Yaprak kenarları düzdür, çoğunlukla tabanda 2 ile 6 cm genişliğindedir (Kui, Moore & West, 2013). Çiçek salkımları terminaldir, yoğun, dik ve tüy benzeridir, çoğunlukla 30 ile 60 cm uzunluğunda ve 5 ila 10 cm genişliğindedir, gümüşü krem renginden morumsu veya kahverengiye kadar değişen renklere sahiptir (Hardion & ark., 2015). *Arundo donax*, gevşek ve kumlu çakıllı topraklardan ağır killi topraklara ve nehir tortularına kadar çeşitli toprak tiplerinde yetişir (Goolsby & ark., 2013; Jiménez-Ruiz & ark., 2021). Optimum büyüme, haliçlerin kenarlarında, tatlı veya yarı tuzlu su bulunan bol neme sahip iyi drene edilmiş topraklarda gerçekleşir (Perdue, 1958). Su tüketim gereksinimleri nedeniyle kıyı ve sulak alan habitatlarını istila eder (Jiménez-Ruiz & ark., 2021; Quinn & Holt, 2008; Watts & Moore, 2011). Dikim ve sulama sistemlerinin varlığı gibi antropojenik faktörler, dikilmiş çit sıraları, yol kenarları, kanal kıyıları gibi alanlardaki oluşumlarını kolaylaştırır (Goolsby & ark., 2023).



***Bidens frondosa* L. (Yaprak Suketeni):** Kuzey Amerika'ya özgü otsu bir yıllık bitkidir. Avrupa'da ve dünyanın diğer bölgelerine yaygın olarak getirilmiştir ve çoğunlukla ılıman iklimlerde bulunur (Popay, 2014). Gövde 0.5-1.5 (-2.0) m uzunluğunda, tüylü veya neredeyse tüysüz, dik, karşılıklı dallanma yapar. Yapraklar karşılıklı, saplı, tüylü, 1 (-2) çift yaprakçıklıdır. Çiçekler tüp şeklinde, turuncudur. Akenler kama şeklinde, 5-7 mm uzunluğundadır (Moradi & Hamzehee, 2021). *B. frondosa* nemli toprağın öncü bir türü olarak tanımlanmakta, nehir kıyılarını, çamur düzlüklerini, hendekleri, göletleri ve diğer açık alüvyonlu habitatları kolonize etmektedir. *B. frondosa* nerede olursa olsun nemli habitatlarla ilişkili olma eğilimindedir (Invasive Species in Belgium, 2014). Hem doğal ortamında hem de istilacı olduğu yerde doğal türleri yok ederek popülasyonlarının yok olmasına neden olur (Vasilyeva & Papchenkov, 2011).

***Buddleja davidii* Franchet (Kelebekçalısı):** Orta ve güneybatı Çine'e özgü, çalı veya küçük çok gövdeli ağaçlardır (Miller, 1984; Shi & ark., 2006). Yarı yaprak döken bir bitkidir. Yapraklar sonbaharda dökülür ve hemen yerine bir sonraki bahara kadar varlığını sürdüren yeni, daha küçük yapraklar gelir (Miller, 1984). Yapraklar kama şeklindedir, bir noktaya kadar daralır ve boyutları 5–20 cm uzunluğunda ve 1–7 cm genişliğindedir (Tallent-Halsell & Watt, 2009). Çiçek renkleri beyazdan sarıya ve kırmızıya kadar değişir, ancak vahşi doğada yaygın olan leylak ve mor çeşitleridir (Stuart, 2006). Çiçek salkımları, 30 cm uzunluğa kadar uzayabilen belirsiz corymbose-salkımlardır (Findley & ark., 1997). Tohumlar orta kahverengi, iplik benzeri ve uzun kanatlıdır ve silindirik iki kapaklı bir kapsülde taşınır (Norman, 2000). Dünya



genelinde, yerli ve yabancı *B. davidii* doğal ve bozulmuş alanlara kolayca yerleşebilen ve çok çeşitli fiziksel koşullara dayanabilen bir fırsattır (Reinhardt & ark., 2003; Bellingham, Peltzer & Walker, 2005; Godefroid, Monbaliu & Koedam, 2007). *B. davidii* hem doğal hem de yerleştiği alanlarda doğal olarak veya antropojenik olarak bozulmuş alanlarda, örneğin taş ocakları, kentsel atık alanları, terk edilmiş ekili alanlar, kesilmiş ormanlar, ulaşım koridorları boyunca (Godefroid, Monbaliu & Koedam, 2007) ve hem de duvarlar ve kaya yüzeylerinde yetişir (Owen & Whiteway, 1980; Miller, 1984). Çok çeşitli toprak tiplerinde gelişir. Bu tür, kalsiyum bazlı inşaat molozu yığınları ve duvar örgüsü üzerinde yerleşebilmektedir (Miller, 1984; Godefroid, Monbaliu & Koedam, 2007).

***Clematis vitalba* L. (Akasma):** Orta ve Güney Avrupa'ya özgü istilacı yaprak döken çok yıllık bitkidir (West, 1991). Tırmanıcı bir bitki olan *C. vitalba* 10 m'den fazla boy, 15-20 cm çap yapabilirler. Yapraklar, boyut ve şekil bakımından farklı 3-5 adet yaprakçıktan oluşur. Çiçekler beyaz küme halinde, aken meyveler sonbahardan kışa kadar beyaz - gri tüylü bir görünüme sahiptir (CABI, 2021). Orman kenarlarındaki ağaç ve çalılardan çit sıralarına, çit hatlarına, kumullara, nehir kıyılarına ve çayırlara kadar çeşitli substratlarda, çeşitli habitatlarda yetişebilen çok yönlü bir bitkidir. Genellikle bozulmuş ve bozulmuş alanlarla ilişkilendirilir ve bu nedenle doğal yaşam alanında istilacı olabilir (Beekman, 1984). 25 m boyundaki ağaçlara tırmanabilen ve hızlı büyüyen bir asma olan bu tür, bu eklenen ağırlık sonunda destekleyici bitkinin çökmesine neden olabilir. Geçilmez bir bitki örtüsü bariyeri oluşturarak erişimi engelleyici bir durum oluşturur. Bu yoğun çalılıklar, yerel bitkilerle rekabet ederek biyolojik çeşitliliği azaltırlar (CABI, 2021). Gövdeler



tek bir sezonda birkaç metre uzayabilir. Altındaki tüm bitki örtüsünü bastıran yoğun, ışığı emen bir örtü oluşturabilir. Bir bitki 180 metrekarelik bir alanı örtebilir. *C. vitalba* soğuğa, orta şiddette gölgeye, neme, rüzgâra, tuza ve çoğu toprak tipine dayanıklıdır. Türün verdiği zarar ayrıca diğer istilacı bitkilerin doğal yaşam alanlarını kolonize etmesini de artırır. Türün istilası sonucunda insanların ve hayvanların alanlara erişimi kısıtlanabilir. Bitki ile temas, insanlarda tahriş edici deri iltihabına neden olabilir. Ayrıca bu türü otlayan hayvanlar için de zehirlidir (CABI, 2021; West, 1991).

***Commelina communis* Walter (Mahmuza):** Ilıman kuzeydoğu Asya'ya özgü yıllık, tek evcikli bir bitkidir (Ushimaru, Itagaki & Ishii, 2003). Dipte yatay konumda olan ancak uçlara doğru dikleşen gövdelere sahip yıllık bir bitkidir. Yapraklar sarmal dizili, oval ile mızrak şeklindedir. 3-12 cm uzunluğunda ve 16 ile 40 mm genişliğindedir. Yaprakların sapları yoktur ve gövdeyi kavrır. Çiçeğin üstünde iki büyük mavi taç yaprağı ve altında bir küçük beyaz taç yaprağı vardır. Meyveler, genellikle hücre başına iki tohum bulunan 2 hücreli kapsüllerdir (URL-3, 2024). Nemli, gölgeli orman kenarlarını tercih eder. Ekin tarlalarının, meyve bahçelerinin, hendeklerin ve yol kenarlarının ıslak alanlarında yaygındır. Vejetatif ve generatif yollarla üreyebilen, yüksek gelişim potansiyeline sahip bir türdür. Tohumları uzun süre çimlenmeden toprakta kalabilir. Vejetasyon dönemi boyunca da çimlenme yeteneği gösterebilir (Deyuan, 1997).

***Conyza canadensis* (L.) Cronquist (Selviotu):** Kuzey Amerika'nın büyük bir bölümünde doğal olarak yetişen yıllık otsu



bitkidir. Bitkiler diktir ve 30 ile 150 cm yüksekliğe ulaşan bir veya birkaç gövdeye sahiptir. Yapraklar doğrusal ile oblanseolattır, 2 ile 8 cm uzunluğunda ve 2 ile 8 mm genişliğindedir. Çiçek salkımı gevşek bir salkımdır (Welsh & ark., 2003). Meyve, beyaz kıllı bir pappusu olan bir akendir ve bitki bir dönemde yaklaşık 700.000 tohum üretebilmektedir (USDA, 2024). Yeterli nem ve sıcaklıkla yaz ve kış mevsimlerinde her an tohumları çimlenen bitkilerdir (Waggoner & ark., 2011). Bitki verimli bir tohum üreticisidir. Rüzgârda büyük mesafeler kat edebilen küçük, hafif tohumları vardır (Tilley, 2012). *C. canadensis* en yaygın olarak kaba, iyi drene edilmiş topraklarda bulunur (Frankton & Mulligan 1987). Kaba, taşlı, kumlu veya verimli tınlı toprakları tercih eder ve kuraklığa iyi dayanır (Hanf, 1983). Bazen taşkın yataklarını kolonize etse de taşkınlara karşı toleranssızdır (Stoecker & ark., 1995). Ayrıca organik topraklarda (Leroux, Benoit & Banville, 1996), çakıl ocaklarında ve uçurum kenarlarında ve kayalık kıyılarda da bulunur. *C. canadensis* çayırlarda ve nehir kıyısı ve sulak alanlar dâhil nemli bozulmuş alanlarda yaygındır. Son yıllarda, tüm menzili boyunca tarımsal alanlarda yaygın bir zararlı haline gelmiştir (USDA, 2024). *C. canadensis*, birçok ürüne zarar veren *Lygus lineolaris* adlı solgun bitki böceğinin yabancı bir konakçısı olarak hizmet eder (Latson & ark. 1977).

***Echinochloa crus-galli* (L.) P. Beauv. (Darıcan):** Avrupa kökenli olan bitki, Asya'da da yayılış gösterdiği tespit edilmiştir (Dore & McNeill, 1980). *E. crus-galli* dünyada 61 ülkeye yayılmış olup 36 üründe yabancı ot olarak yetişmektedir (Michael, 2003). Yıllık, uzun boylu, 30-200 cm uzunluğunda, yayılan, yatay veya sert bir şekilde dik duran gövdelere sahip bir bitkidir. Yapraklar 5-20 mm



genişliğinde, 8-60 cm uzunluğunda, beyaz bir orta damara sahiptir. Başakçıklar 3-4 mm uzunluğunda, her iki tarafta 2-4 sıra halinde toplanmıştır (Rao, Sreenath & Juraimi, 2019). *E. crusgalli*'nin istilacı yönü morfolojisine ve fenolojisine, çok sayıda kolayca dağılan tohum üretmesine ve çok çeşitli fotoperiyotlarda çiçek açabilme yeteneğine bağlıdır (Maun & Barrett, 1986). Birey başına da 40.000 kadar tohum üretebilmektedir (Rao, Sreenath & Juraimi, 2019). Önemli fizyolojik özellikler geliştirerek çok çeşitli çevre koşullarına uyum sağlar. Islak topraklarda iyi büyür ve kısmen su altında kalan koşullarda bile büyümeye devam eder (Chauhan & Johnson, 2009). *Echinochloa crus-galli*, üstün biyolojisi ve muazzam ekolojik adaptasyonları nedeniyle dünyadaki en zararlı yabancı otlar arasındadır. Özellikle pirinç olmak üzere farklı tarla ürünlerinde önemli verim kayıplarına neden olur. İstilacı doğası nedeniyle farklı ülkelerde yaygın olarak bulunur ve çok sayıda ekim sistemini istila eder (Bajwa & ark., 2015).

***Euphorbia esula* L. (Eşek Sütleğeni):** Avrupa ve Asya'ya özgüdür. 4.5 m derinliğe kadar güçlü kök yapabilen, 30-70 cm boyunda, çok yıllık otsu bitkilerdir (Gucker, 2010). Yapraklar karşılıklı dizili, oval ya da mızrak şeklinde, 3-9 cm uzunluğunda ve 3-8 mm genişliğinde ve esasen bir damarlıdır. Çiçeklerin hemen altındaki yapraklar kalp şeklindedir. Çiçek salkımı, her iki tarafında boynuz benzeri şekilde açılmış gösterişli sarımsı-yeşil renkli braktelere sahip bir şemsiye şeklindedir. Çiçekler büyük ölçüde küçülmüştür ve hem çanak yaprakları hem de taç yaprakları yoktur. Meyve, 3-3.5 mm uzunluğunda küçük, 3 odacıklı bir kapsüldür (Cronquist, Holmgren & Holmgren, 1997; Gucker, 2010). Tohum olgunlaştığında kapsüller patlayarak tohumları bitkiden 500 m uzağa



fırlatabilir. Tohumlarda, bazı karıncalar tarafından dağılmaya yardımcı olan elaisomlar (tohuma bağlı etli yapılar) bulunur (Gucker, 2010). Yapraklı sütleğen, dere kıyılarından kurak, yüksek alanlara kadar birçok farklı yaşam alanında bulunur ve meralar, terk edilmiş tarım arazileri, yol kenarları, ormanlık alanlar, nehir kıyısı toplulukları, çayırlar ve dağ sırtları gibi bozulmuş ve bozulmamış alanları istila eder (USDA, 2012). *E. esula* gölgeleme yoluyla mevcut su ve besinleri gasp ederek ve altındaki diğer bitkilerin büyümesini engelleyen bitki toksinleri yoluyla çayır habitatlarındaki ve tarlalardaki doğal bitki örtüsünü yerinden eder. Yapraklı sütleğen saldırgan bir istilacıdır ve bir kez ortaya çıktığında geniş açık arazi alanlarını tamamen ele geçirebilir (PCA, 2005).

***Lythrum salicaria* L. (Hevhulma):** Afrika ve Avrasya'ya özgü çok yıllık bir bitkidir. 10 cm uzunluğundaki yaprakları sapsız, mızrak şeklinde olup, karşılıklı veya çevrel bir düzende dizilmiştir. Çiçekler başak şeklinde, 30 cm boyundadır. Temmuz ayının başlarında ortaya çıkan ve çok sayıda küçük tohum içeren kahverengi kapsül meyveler bu bitkinin hızlı bir şekilde yayılmasına yardımcı olur. Kum büyüklüğündeki tohumlar rüzgâr, su, insanlar ve hayvanlar tarafından yayılır (URL-4, 2024). *L. salicaria*, genellikle Haziran'dan Eylül'e kadar süren uzun bir çiçeklenme mevsimine sahiptir ve bu da çok miktarda tohum üretmesine olanak tanır. Çiçekler böcekler tarafından tozlaşma gerektirir ve bunun için bol miktarda nektar kaynağı sağlar. Olgun bir bitki, yılda tahmini iki ila üç milyon tohum üretebilen otuz kadar çiçekli gövdeye sahip olabilir (OIPC, 2024).



***Sicyos angulatus* L. (İtdolanbacı):** doğal yaşam alanı Kuzey Amerika'dır (Larche', 2004). Otsu, tek yıllık, 6 m boylanabilen, sarmaşık formunda bitkilerdir. Yapraklar basit, palmat damarlı ve sarmal olarak dizlidir. Yaprak şekli, yaklaşık 8 cm uzunluğunda ve genişliğinde derin bir bazal sinüs ile dairesel-açısaldır. Bitki, gövdede ve yaprak sapı boyunca yaprağın alt tarafında tüylüdür (Radford, Ahles & Bell, 1968). Yaprak sapı genellikle 5 cm uzunluğundadır. Bitki 3 veya 4 dal taşıyan koltuk altı sülükleriyle tırmanır. Kök sistemi, sığ dallı bir kazık kökten oluşur (Hilty, 2006). Çiçekler monoiktir (Radford, Ahles & Bell, 1968). Meyveler, merkezi bir noktadan yayılan, geniş sivri uçlu tek bir meyve gibi görünen kümeler halindedir. Gerçekte, her "sivri uç" olgunlaştığında kuru ve açılmayan, içinde bir tohum ve ucunda tek bir stil bulunan tek bir etli meyvedir (Fernald, 1950; Voss, 1996; Radford, Ahles & Bell, 1968). Yaprak döken bataklıklar, orman taşkın yatakları ve nehir taşkın yatakları gibi ıslak yaşam alanlarına adapte olmuştur. Ayrıca çit sıraları, yol kenarları ve orman sınırları boyunca açık yaşam alanlarına da yerleşir (Voss, 1996).

Kaynaklar

Akman, Y., Ketenoğlu, O. & Geven, F. (2001). *Vejetasyon Ekolojisi ve Araştırma Metodları*. Ankara: Palme.

Anşın, R. (1983). Türkiye'nin Flora Bölgeleri ve Bu Bölgelerde Yayılan Asal Vejetasyon Tipleri. *Karadeniz Teknik Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi*, 6, 318-339.

Bajwa, A. A., Jabran, K., Shahid, M., Ali, H. H., Chauhan, B. S. & Eshanullah. (2015). Eco-biology and management of *Echinochloa crus-galli*. *Crop Protection*, 75, 151-162. Doi:10.1016/j.cropro.2015.06.001

Beekman, F. (1984). La dynamique d'une forêt alluviale rhénane et le rôle des lianes. In J. Cramer (Ed.), *Colloques phytosociologiques: forets alluviales europeennes* (pp. 475-501). Strasbourg: CRAMER.

Bellingham, P. J., Peltzer, D. A. & Walker, L. R. (2005). Contrasting impacts of a native and an invasive exotic shrub on flood-plain succession. *Journal of Vegetation Science*, 16, 135-142.

Bory, G. & Clair-Maczulajtys, D. (1980). Production, dissemination et polyphormisme des semences d'*Ailanthus altissima* (Mill.) Swingle, Simaroubace'es. *Revue Generale de Botanique*, 88, 297-311.

CABI (2021). *Clematis vitalba (old man's beard)*. *CABI Compendium*, 14280. (15/10/2024 tarihinde <https://doi.org/10.1079/cabicompendium.14280> adresinden ulaşılmıştır).

Chauhan, B. S. & Johnson, D. E. (2009). Seed germination ecology of junglerice (*Echinochloa colona*): a major weed of rice. *Weed Science*. 57, 235-240.

Chevalier, J., Cracraft, J., Grifo, F. & Meine, C. (1997). *Biodiversity, Science and the Human Prospect*. Center for Biodiversity and Conservation. New York: American Museum of Natural History.

Christenhusz, M. J. & Byng, J. W. (2016). The number of known plants species in the world and its annual increase. *Phytotaxa*, 261 (3), 201-217.

Collins, M.G. (2005). *A Passive adaptive management approach for grassland loss and fragmentation on the U.S. army garrison fort huachuca, Arizona*. PhD Thesis, Arizona State University.

Costea, M., Ever, S. & Tardif, F. (2004). The Biology of Canadian Weeds. 130. *Amaranthus retroflexus* L., *A. powellii* S. Watson, and *A. hybridus* L. (update). *Canadian Journal of Plant Science*. 84 (2), 631-668.

Cronquist, A., Holmgren, N. & Holmgren, P. (1997). *Intermountain Flora. Volume Three, Part A. Subclass Rosidae (except Fabales)*. New York: The New York Botanical Garden.

Deyuan, H. (1997). *Commelina* Linn. Wu Kuofang (Ed.), *Flora Reipublicae Popularis Sinicae* içinde (125-133). Beijing: Science Press.

Dore, W. G. & McNeill, J. F. (1980). *Grasses of Ontario*. Ottawa: Research Branch, Agriculture Canada; Hull, Que: Available from Canadian Govt. Pub. Centre Supply and Service.

Enescu, C. M., Houston Durrant, T. & Caudullo, G. (2016). *Ailanthus altissima* in Europe: distribution, habitat, usage and threats. J. San-Miguel-Ayanz, D. de Rigo, G. Caudullo, T. Houston Durrant, A. Mauri (Eds.). *European Atlas of Forest Tree Species* içinde (1-33). Luxembourg: Publ. Off. EU.

Fernald, M. L. (1950). *Gray s Manual of Botany*. (8th edition). New York: America Book Company.

Findley, D. A., Keever, G. J., Chappelka, A. H., Eakes, D. J. & C. H. Gilliman, C. H. (1997). Differential response of *Buddleia* (*Buddleja davidii* Franch.) to ozone. *Environmental Pollution*, 98, 105-111.

Frankton, C. and Mulligan, G. A. (1987). *Weeds of Canada* (revised). Toronto: NC Press Limited.

Godefroid, S., Monbaliu, D. & Koedam, N. (2007). The role of soil and microclimatic variables in the distribution patterns of urban wasteland flora in Brussels, Belgium. *Landscape and Urban Planning*, 80, 45-55.

Goolsby, J. A., Moran, P. J., Martínez Jiménez, M., Yang, C., Canavan, K., Paynter, Q., Ota, N. & Kriticos, D. J. (2023). Biology of Invasive Plants 4. *Arundo donax* L. *Invasive Plant Science and Management*, 16, 81-109. Doi:10.1017/ inp.2023.17,

Goolsby, J. A., Racelis, A E., Goolsby, J. B., Kirk, A. A., Cristofaro, M., Grusak, M. & Perezde Leon, A. A. (2013). Evaluation of biogeographical factors in the native range to improve the success of biological control agents in the introduced range. *Biocontrol Science and Technology*, 23, 1213-1230.

Gucker, C. L. (2010). *Euphorbia esula*. *Fire Effects Information System*, [Online]. U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Rocky Mountain Research Station, Fire Sciences Laboratory (Producer). (15/10/2024 tarihinde: <https://www.fs.usda.gov/database/feis/plants/forb/eupesu/all.html> adresinden ulaşılmıştır).

Güner, A., Aslan, S., Ekim, T., Vural, M. & Babaç, M. T. (Eds.) (2012). *Türkiye bitkileri listesi (Damarlı Bitkiler)*. İstanbul: Nezahat Gökyiğit Botanik Bahçesi ve Flora Araştırmaları Derneğİ Yayını.

Hanf, M. (1983). *The arable weeds of Europe with their seedlings and seeds*. Ludwigshafen: BASF Aktiengesellschaft.

Hardion, L., Verlaque, R., Haan-Archipoff, G., Cahen, D., Hoff, M. & Vila, B. (2017). Cleaning up the grasses dustbin: systematics of the Arundinoideae subfamily (Poaceae). *Plant Systematics and Evolution*, 303, 1331-1339.

Hardion, L., Verlaque, R., Rosato, M., Rossello, J. R. & Vila, B. (2015). Impact of polyploidy on fertility variation of Mediterranean *Arundo donax* L. (Poaceae). *Comptes Rendus Biologies*, 338, 298-306. Doi:10.1016/j.crvi.2015.03.013

Hildebrand, N. (2006). *Temperature and substrate effects on the juvenile establishment of the species Ailanthus altissima (Mill.) Swingle and Acer negundo LM Sc* (Doctoral dissertation, Thesis, University of Greenwich).

Hilty, J. (2006). *Wildflowers of Illinois in Savannas and Thickets*. (07/09/2024 tarihinde

http://www.illinoiswildflowers.info/savanna/plants/bur_cuke.htm
adresinden ulaşılmıştır).

Holst, N. (2008). *Strategies for Ambrosia control. Euphresco project AMBROSIA 2008-09 Scientific Report*. (14/09/2024 tarihinde chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://www.euphresco.net/media/project_reports/ambrosia_report.pdf adresinden ulaşılmıştır).

Honnay, O., Jacquemyn, H., Bossuyt, B. & Hermy, M. (2004). Forest fragmentation effects on patch occupancy and population viability of herbaceous plant species. *New Phytologist*, 166, 723-736.

Hu, S-Y. (1979). *Ailanthus*. *Arnoldia*, 39 (2), 29-50.

Hultén, E. (1968). *Flora of Alaska and neighboring territories*. Stanford: Stanford University Press.

IUCN (2017). *Invasive alien species and climate change. IUCN issues brief, November (2017)*. (04/10/2024 tarihinde <chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://www.istilacilar.org/wp-content/uploads/2020/06/Istilaci-Yabanci-Turler-ve-Iklim-Degisikligi.pdf> adresinden ulaşılmıştır).

Invasive Species in Belgium (2014). *Invasive species in Belgium. Belgium: Belgian Biodiversity Platform*. (22/09/2024 tarihinde <http://ias.biodiversity.be/> adresinde ulaşılmıştır).

Işık, K., Yaltrık, F. & Akesen, A. (1997). Ormanlar, Biyolojik Çeşitlilik ve Doğal Mirasın Korunması. *XI Dünya Ormanlık Kongresi*, 13-22 Ekim 1997, Antalya, (s. 3-27).

Jabran, K. & Doğan, M. N. (2015). İstilacı Bitkilerin Mücadelesi. Hüseyin ÖNEN (Ed.), *Türkiye İstilacı Bitkiler Kataloğu içinde* (s. 68-81). Ankara: T.C. Gıda, Tarım ve Hayvancılık Bakanlığı.

Jiménez-Ruiz, J., Hardion, L., Del Monte, J. P., Vila, B. & Santín-Montanyá, M. I. (2021). *Monographs on invasive plants in Europe, no. 4: Arundo donax L. Botany Letters, 168*, 131-151. Doi:10.1080/23818107.2020.1864470

Karaköse, M., Akbulut, S. & Bayramoğlu, M. (2018). Espiye (Giresun) Orman Planlama Birimi'nin istilacı yabancı türleri. *Turkish Journal of Forestry, 19* (2), 120-129. Doi:10.18182/tjf.349894

Kowarik, I. & Samumel, I. (2007). Biological flora of Central Europe: *Ailanthus altissima* (Mill.) Swingle. *Perspectives in Plant Ecology Evolution and Systematics, 8*, 207-237. Doi:10.1016/j.ppees.2007.03.002

Kui, L., Li, F., Moore, G. W. & West, J. (2013). Can the riparian invader, *Arundo donax*, benefit from clonal integration? *Weed Research, 53*, 370-377. Doi:10.1111/wre.12036

Larche', J. F. (2004.) *Sicyos angulatus*, nouvelle adventice du mai's dans le Sud-Ouest de la France. *Phytoma. La Défense des Végétaux, 571*, 19-22.

Latson, L. N., Jenkins, J. N., Parrott, W. L. & Maxwell, F. G. (1977). Behavior of the tarnished plant bug, *Lygus lineolaris* on cotton, *Gossypium hirsutum* L. and horseweed, *Erigeron canadensis*. *Mississippi Agricultural & Forestry Experiment Station Technical bulletin 85*, 1-5.

Leroux, G. D., Benoit, D. L. & Banville, S. (1996). Effect of crop rotations on weed control, *Bidens cernua* and *Erigeron canadensis* populations, and carrot yields in organic soils. *Crop Protection*, 15, 171-178.

Maun M.A., & Barrett S.C.H. (1986). The biology of Canadian weeds. 77. *Echinochloa crus-galli* (L.) Beauv. *Canadian Journal of Plant Science*, 66 (3), 739-759.

Mergen, F. (1959). A toxic principle in the leaves of *Ailanthus*. *Botanical Gazette*, 121 (1), 32-36.

Michael, P.W. (2003). *Echinochloa* P beauv. In Mary E. Barkworth, Kathleen M. Capels, Sandy Long & Michael B. Piep (Eds.), *Flora of North America North of Mexico*, vol. 25 (pp. 390-403). New York: Oxford University Press.

Miller, A. (1984). *The distribution and ecology of Buddleja davidii Franch in Britain, with particular reference to conditions supporting germination and the establishment of seedlings*. Ph.D. Dissertation, CNAAC, Oxford Polytechnic.

Miller, J. (1990). *Ailanthus altissima* (Mill.) Swingle. *Ailanthus*. In R. M. Burns & B. H. Honkala (Eds.), *Silvics of North America*, vol 2 (pp 101-104). Washington: Hardwoods. US Department of Agriculture, Forest service.

Moradi, A. & Hamzehee, B. (2021). *Bidens frondosa* L. (Asteraceae), a new record for the flora of Iran. *Iranian Journal of Botany*, 27 (2), 106-108.

Mosyakin, S. L. & Robertson, K. R. (2003). *Amaranthus*. In Flora of North America Editorial Committee (Eds.), *Flora of North*

America: North of Mexico, Volume 4 (pp. 405-410). New York: Oxford University Press.

Norman, E. M. (2000). Buddlejaceae. *Flora Neotropica Monograph*, 81, 1-225.

Navarro, N. (2021). *Invasive alien species, what are they and how do they do it?* (03/10/2024 tarihinde <https://www.submon.org/en/invasive-alien-species-what-are-they-and-how-do-they-do-it/> adresinden ulaşılmıştır).

OIPC (2024). *Invasive plants of Ohio: Purple Loosestrife (Lythrum salicaria)*. Ohio Invasive Plants Council. (15/10/2024 tarihinde [chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://www.oipc.info/uploads/5/8/6/5/58652481/4factsheetpurpleloosestrife.pdf](https://www.oipc.info/uploads/5/8/6/5/58652481/4factsheetpurpleloosestrife.pdf) adresinden ulaşılmıştır).

Ostojić, Z. (2005). Limundžik (Ambrozija)-kako suzbiti opasnu pridořlicu. *Gospodarski list*, 8, 57.

Ostojić, Z., Zadro, J. & Radiković, Đ. (1992). Naři napasni korovi. Limundik - *Ambrosia artemisiifolia* L. *Glasnik zaštite bilja* 9-10, 259-265.

Owen, D. F. & Whiteway, W. R. (1980). *Buddleja davidii* in Britain: History and development of an associated species. *Biological Conservation*, 17, 149-155.

Önen, H. (2015). İstilacı Yabancı Türler ve İstila Süreçleri. Hüseyin ÖNEN (Ed.), *Türkiye İstilacı Bitkiler Kataloğu* içinde (s. 1-13). Ankara: T.C. Gıda, Tarım ve Hayvancılık Bakanlığı.

Özhatay, N., Kültür, Ş. & Gürdal, B. (2019). Check-list of additional taxa to the supplement flora of Turkey IX. *Journal of the*

Faculty of Pharmacy of Istanbul University, 49 (2), 105-120.
Doi:10.26650/IstanbulJPharm.2019.19037

Özhatay, N., Kültür, Ş. & Gürdal, B. (2017). Check-list of additional taxa to the supplement flora of Turkey VIII. *Journal of the Faculty of Pharmacy of Istanbul University*, 47 (1), 31-47.
Doi:10.5152/IstanbulJPharm.2017.006

Özhatay, N., Kültür, Ş. & Gürdal, B. (2015). Check-list of additional taxa to the Supplement Flora of Turkey VII. *Journal of the Faculty of Pharmacy of İstanbul University*, 45 (1), 61-86.

Özhatay, N., Kültür, Ş. & Gürdal, B. (2013). Check-list of additional taxa to the Supplement Flora of Turkey VI. *Journal of the Faculty of Pharmacy of Istanbul University*, 43 (1), 33-83.

PCA (2005). *Fact Sheet: Leafy Spurge. Plant Conservation Alliance's Alien Plant Working Group*. (10/10/2024 tarihinde chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://www.invasive.org/alien/fact/pdf/eues1.pdf adresinden ulaşılmıştır).

Perdue, R. E. (1958). *Arundo donax*—source of musical reeds and industrial cellulose. *Economic Botany*, 12, 368-404.

Popay, I. (2014). *Bidens frondosa* (beggarticks). *CABI Compendium*, 108916. Doi:10.1079/cabicompendium.108916

Quinn, L. D. & Holt, J. S. (2008). Ecological correlates of invasion by *Arundo donax* in three southern California riparian habitats. *Biological Invasions*, 10, 591-601.

Radford, A. E., Ahles, H. E. & Bell, C. R. (1968). *Manual of the Vascular Flora of the Carolinas*. North Carolina: University of North Carolina Press.

Rao, A. N., Dixit, S. & Juraimi, A. S. (2019). *Echinochloa crus-galli* (L.) P. Beauv. In, *Invasive Weeds of Malaysia and Their Sustainable Management* (pp. 153-181). Malaysia: Universiti Putra Malaysia Publisher.

Reinhardt, F., Herle, M., Bastiansen, F. & Streit, B. (2003). *Economic impact of the spread of alien species in Germany*. Berlin: Federal Environmental Agency.

Rybnicek, O. & Jäger, S. (2001). *Ambrosia* (Ragweed) in Europe. *Allergy and Clinical Immunology International*, 13, 60-66.

Sakai, A. K., Allendorf, F. W., Holt, J. S., Lodge, D. M., Molofsky, J., With, K. A., Baughman, S., Cabin, R. J., Cohen, J. E., Ellstrand, N. C., McCauley, D. E., O'Neil, P., Parker, I. M., Thompson, J. N. & Weller, S. G. (2001). The population biology of invasive species. *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics*, 32, 305-332.

Sankaran, K. V. & Suresh, T. A. (2013). *Invasive alien plants in the forests of Asia and the Pacific*. Bangkok: Food and Agriculture Organization of the United Nations.

Shi, Z., Liu, S., Liu, X. & Centritto, M. (2006). Altitudinal variation in photosynthetic capacity, diffusional conductance, and $\delta^{13}\text{C}$ of butterfly bush (*Buddleja davidii*). *Physiologia Plantarum*, 128, 772-731.

Skálová, H., Guo, W-Y., Moravcová, L. & Pyšek, P. (2019). Performance of *Ambrosia artemisiifolia* and its potential competitors in an experimental temperature and salinity gradient and implications for management. *Management of Biological Invasions*, 10 (2), 359–376. Doi:10.3391/mbi.2019.10.2.10

Stoecker, M. A., Smith, M. & Melton, E. D. (1995). Survival and aerenchyma development under flooded conditions of *Boltonia decurrens*, a threatened floodplain species and *Conyza canadensis*, a widely distributed competitor. *The American Midland Naturalist*, 134, 117-126. Doi:10.2307/2426489

Stuart, D. D. (2006). *Royal Horticultural Society Plant Collector Guide - Buddlejias*. Plant Collect Guide Buddlejias. Portland: Timber Press.

Tallent-Halsell, N. G. & Watt, M. S. (2009). The Invasive *Buddleja davidii* (Butterfly Bush). *The Botanical Review*, 75, 292-325. Doi:10.1007/s12229-009-9033-0

Tarin, D., Manhart, J., Pepper, A., Goolsby, J., Moran, P., Contreras Arqueta, B. & Kirk, A. (2013). Microsatellite markers indicate multiple origins of *Arundo donax* L. in North America. *Invasive Plant Science and Management*, 6, 328-338.

Tilley, D. (2012). Technical Note: *Ecology and management of Canadian Horseweed (Conyza canadensis)*. Idaho: USDA-Natural Resources Conservation Service.

Uludağ, A., Aksoy, N., Yazlık, A., Arslan, Z. F., Yazmış, E., Üremiş, I., Cossu, T. A., Groom, Q., Pergl, J., Pysek, P. & Brundu, G. (2017). Alien flora of Turkey: checklist, taxonomic composition and ecological attributes. *NeoBiota*, 35, 61-85. Doi:10.3897/neobiota.35.12460

UNECE (2007). *Assessment of Ground Vegetation. International Co-operative Programme on Assessment and Monitoring of Air Pollution Effects on Forests, United Nations Economic Commission for Europe, Convention of Long-Range*

Transboundary Air Pollution, Part VIII. (01/09/2007 tarihinde chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://www.icp-forests.org/pdf/manual/2000/manual8.pdf adresinden ulaşılmıştır).

URL-1 (2024). *Invasive Alien Species: Characteristics, Promoting Factors, Impacts & Measures Taken*. (03/10/2024 tarihinde <https://www.nextias.com/blog/invasive-alien-species/> adresinden ulaşılmıştır).

URL-2 (2024). *Annual ragweed (Ambrosia artemisiifolia)*. (10/10/2024 tarihinde chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://www.daf.qld.gov.au/__data/assets/pdf_file/0006/60666/annual-ragweed.pdf adresinden ulaşılmıştır).

URL-3 2024. *Asiatic dayflower*. (04/10/2024 tarihinde <https://weedid.cals.vt.edu/profile/162> adresinden ulaşılmıştır).

URL-4 2024. *Lythrum salicaria*. (11/10/2024 tarihinde <https://plants.ces.ncsu.edu/plants/lythrum-salicaria/> adresinden ulaşılmıştır).

USDA 2024. *The PLANTS Database. Natural Resources Conservation Service. Baton Rouge (LA): National Plant Data Center*. (18/09/2024 tarihinde <http://plants.usda.gov> adresinden ulaşılmıştır).

USDA 2012. *Field Guide for Managing Leafy Spurge in the Southwest*. Southwestern Region: U.S. Department of Agriculture, Forest Service.

Ushimaru, A., Itagaki, T. & Ishii, H. S. (2003). Variation in floral organ size depends on function: a test with *Commelina*

communis, an andromonoecious species. *Evolutionary Ecology Research*, 5 (4), 615-622.

Van Wilgen, B., Richardson, D. & Higgins, S. (2001). Integrated control of invasive alien plants in terrestrial ecosystems. *Land Use and Water Resources Research*, 1, 1-8. Doi:10.22004/ag.econ.47853

Vasilyeva, N. V. & Papchenkov, V. G. (2011). Mechanisms of influence of invasive *Bidens frondosa* L. on indigenous *Bidens* species. *Russian Journal of Biological Invasions*, 2 (2/3), 81-85.

Voss, E. G. (1996). *Michigan Flora, Part III Dicots. Bloomfield Hills*. Michigan: Cranbrook Institute of Science.

Waggoner, B. S., Mueller, T. C., Bond, J.A. & Steckel, L. E. (2011). Control of glyphosate-resistant horseweed (*Conyza canadensis*) with saflufenacil tank mixtures in no-till cotton. *Weed Technology*. 25, 310-315.

Waterhouse, D. F. (1992). Biological Control: a viable strategy for the tropics. *3rd International Conference on Plant Protection in the Tropics held in Genting Highlands*, 20-23 March, 1990, Malaysia, (pp. 1-13).

Watts, D. A. & Moore, G. W. (2011). Water-use Dynamics of an invasive reed, *Arundo donax*, from leaf to stand. *Wetlands*, 31, 725-734.

Welsh, S. L., Atwood, N. D., Goodrich, S. & Higgins, L. C. (2003). *A Utah Flora*. Provo: Brigham Young University.

West, C. J. (1991). *Literature review of the biology of Clematis vitalba (old man's beard)*. DSIR Land Resources Vegetation Report No. 725. (04/10/2024 tarihinde

<https://digitallibrary.landcareresearch.co.nz/digital/collection/p20022coll13/id/778/rec/2> adresinden ulaşılmıştır).

