



**T.C.  
DÜZCE ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**SANAL ORMAN GÖRSELLEŞTİRME SİSTEMİNİN  
GELİŞTİRİLMESİ**

**BURAK TÜRKAY**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ  
ORMAN MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**DANIŞMAN  
PROF. DR. ABDURRAHİM AYDIN**

**DÜZCE, 2021**

**T.C.**  
**DÜZCE ÜNİVERSİTESİ**  
**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**SANAL ORMAN GÖRSELLEŞTİRME SİSTEMİNİN**  
**GELİŞTİRİLMESİ**

Burak Türkay tarafından hazırlanan tez çalışması aşağıdaki jüri tarafından Düzce Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Orman Mühendisliği Anabilim Dalı'nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

**Tez Danışmanı**

Prof. Dr. Abdurrahim AYDIN  
Düzce Üniversitesi

**Jüri Üyeleri**

Prof. Dr. Abdurrahim AYDIN  
Düzce Üniversitesi

Doç. Dr. Yılmaz TÜRK  
Düzce Üniversitesi

Dr. Öğr. Üyesi Remzi EKER  
İzmir Kâtip Çelebi Üniversitesi

Tez Savunma Tarihi: 09/08/2021

## BEYAN

Bu tez çalışmasının kendi çalışmam olduğunu, tezin planlanmasından yazımına kadar bütün aşamalarda etik dışı davranışımın olmadığını, bu tezdeki bütün bilgileri akademik ve etik kurallar içinde elde ettiğimi, bu tez çalışmasıyla elde edilmeyen bütün bilgi ve yorumlara kaynak gösterdiğimi ve bu kaynakları da kaynaklar listesine aldığımı, yine bu tezin çalışılması ve yazımı sırasında patent ve telif haklarını ihlal edici bir davranışımın olmadığını beyan ederim.

08 Ağustos 2021

Burak Türkay



## TEŐEKKÖR

Yüksek lisans öğrenimimde ve bu tezin hazırlanmasında gösterdiği her türlü destek ve yardımdan dolayı çok değerli hocam Prof. Dr. Abdurrahim Aydın'a en içten dileklerimle teşekkür ederim.

Öğrenim hayatım boyunca yardım ve desteklerini esirgemeyen çok kıymetli anneme sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

**8 Ağustos 2021**

**Burak Türkay**



# İÇİNDEKİLER

## Sayfa No

|                                                                                                             |     |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| ŞEKİL LİSTESİ .....                                                                                         | vii |
| ÇİZELGE LİSTESİ .....                                                                                       | ix  |
| KISALTMALAR.....                                                                                            | x   |
| ÖZET .....                                                                                                  | xi  |
| ABSTRACT .....                                                                                              | xii |
| 1. GİRİŞ .....                                                                                              | 1   |
| 1.1. DÜNYADA ORMAN VARLIĞININ DEĞİŞİMİ.....                                                                 | 1   |
| 1.2. TÜRKİYE ORMANLARININ GEÇMİŞTEN GÜNÜMÜZE DEĞİŞİMİ.....                                                  | 6   |
| 1.3. YAPILAN ORMANCILIK UYGULAMALARININ TÜRKİYE’NİN<br>ORMAN SERVETİ, ARTIM VE ETA DEĞERLERİNE ETKİSİ ..... | 10  |
| 1.4. VERİMLİ ORMANCILIK İÇİN GEREKLİ TEKNİK VE YÖNTEMLER                                                    | 13  |
| 1.5. GELENEKSEL PLANLAMA YÖNTEMLERİNDEN İLERİ SEVİYE<br>GÖRSELLEŞTİRMEYE OLAN SÜREÇ .....                   | 14  |
| 1.6. YAPILAN ÇALIŞMALAR VE GELİŞTİRİLEN YAZILIMLAR .....                                                    | 17  |
| 1.7. ORMANCILIKTA BAKIM VE DEVİRME UYGULAMALARI .....                                                       | 25  |
| 1.8. ORMANCILIK OPERASYONLARININ GÖRSELLEŞTİRİLMESİ.....                                                    | 26  |
| 2. MATERYAL VE YÖNTEM.....                                                                                  | 30  |
| 2.1. “FORSiM” SİMÜLASYONUNUN TANITIMI.....                                                                  | 30  |
| 2.1.1. Bakım Aracının Tanıtımı.....                                                                         | 36  |
| 2.1.2. Devirme Aracının Tanıtımı .....                                                                      | 37  |
| 2.1.3. EnKesit Aracının Tanıtımı .....                                                                      | 41  |
| 2.2. 3B ARAZİ MODELLEME VE MEŞCERE GÖRSELLEŞTİRME .....                                                     | 44  |
| 2.3. AĞAÇLARIN SEÇİMİ.....                                                                                  | 45  |
| 2.4. BAKIM ARACI .....                                                                                      | 46  |
| 2.4.1. İşlem Yapılacak Ağaçların Elle Seçilmesi .....                                                       | 47  |
| 2.4.2. İşlem Yapılacak Ağaçların Bilgisayar Desteği İle Seçilmesi .....                                     | 47  |
| 2.4.3. İşlem Yapılacak Ağaçların Karma Yöntem İle Seçimi .....                                              | 49  |
| 2.5. DEVİRME MODLARINDA VE EN KESİT ARACINDA KULLANILAN<br>ÖZEL ALANLAR İÇİN ÇİZİM ARACI .....              | 50  |
| 2.6. DEVİRME ARACI.....                                                                                     | 51  |
| 2.6.1. Basit Devirme Modu .....                                                                             | 51  |
| 2.6.2. Gelişmiş Devirme Modu .....                                                                          | 51  |
| 2.6.3. Ağaç Devirme Simülasyonu (“DEVİR”) .....                                                             | 55  |
| 2.7. ENKESİT ARACI .....                                                                                    | 58  |
| 3. BULGULAR VE TARTIŞMA.....                                                                                | 59  |
| 3.1. BULGULAR .....                                                                                         | 59  |
| 3.2. TARTIŞMA .....                                                                                         | 60  |
| 4. SONUÇLAR VE ÖNERİLER .....                                                                               | 63  |
| 5. KAYNAKLAR .....                                                                                          | 65  |

|                      |           |
|----------------------|-----------|
| <b>ÖZGEÇMİŞ.....</b> | <b>72</b> |
|----------------------|-----------|



## ŞEKİL LİSTESİ

### Sayfa No

|                                                                                                                                                        |    |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Şekil 1.1. Bölgelere göre, 1990–2010 yılları arasında orman alanlarındaki yıllık değişim (FAO, 2010). ....                                             | 2  |
| Şekil 1.2. 2015 yılında toplam karasal arazideki ormanlık alan miktarı (FAO, 2015). ....                                                               | 3  |
| Şekil 1.3. İklim bölgelerine göre orman alanlarının oranı ve dağılımı (FAO, 2020). ....                                                                | 3  |
| Şekil 1.4. 2001-2015 dönemi için başlıca orman örtüsü kaybının nedenleri (Curtis vd., 2018). ....                                                      | 4  |
| Şekil 1.5. Aynı bölge için farklı orman örtüsü verileri (Ridder, 2007). ....                                                                           | 5  |
| Şekil 1.6. 2000-2017 yılları arasında Türkiye orman alanlarının yüzölçümü değişimleri (Yılmaz & Öztürk, 2018). ....                                    | 6  |
| Şekil 1.7. a) 2019 yılı orman alanlarındaki dağılım b) İbrelî, yapraklı, karışık ormanların dağılımı (OGM, 2019). ....                                 | 7  |
| Şekil 1.8. 2012-2015 yılları arasında verilen orman izinleri (Aktan vd., 2017). ....                                                                   | 8  |
| Şekil 1.9. Yakacak ve endüstriyel odun üretiminin değişimi (Atmış, 2017). ....                                                                         | 9  |
| Şekil 1.10. Türkiye’de orman alanlarının dağılımı ve yapısı (OGM, 2015). ....                                                                          | 10 |
| Şekil 1.11. Yıllara göre orman alanındaki (ha) değişim (OGM, 2019). ....                                                                               | 11 |
| Şekil 1.12. Yapılan rehabilitasyon ve ağaçlandırma çalışmalarının yıllara dağılımı (Atmış, 2017). ....                                                 | 13 |
| Şekil 1.13. Örnek alan döküm tablosu. ....                                                                                                             | 15 |
| Şekil 1.14. a) Planimetrik harita b) Hava fotoğrafı (Foresttech, 2021). ....                                                                           | 15 |
| Şekil 1.15. 3D arazi modeli. ....                                                                                                                      | 16 |
| Şekil 1.16. Stand visualization system yazılımından bir ekran görüntüsü. ....                                                                          | 18 |
| Şekil 1.17. Uview yazılımından bir görüntü (Utools, 2021). ....                                                                                        | 20 |
| Şekil 1.18. IDRISI yazılımı için bir görüntü (IDRISI, 2021). ....                                                                                      | 21 |
| Şekil 1.19. Truflite yazılımı için bir görüntü (TruFlite, 2021). ....                                                                                  | 22 |
| Şekil 1.20. a) Smart Forest b) Vantage point görselleştirme sistemlerinden bir görüntü. ....                                                           | 23 |
| Şekil 1.21. Envision uygulamasıyla ilgili görüntü. ....                                                                                                | 24 |
| Şekil 1.22. Sylview yazılımından bir ekran görüntüsü (Scott, 2006). ....                                                                               | 25 |
| Şekil 2.1. GUI aracılığıyla gerçekleştirilen iş akış şeması. ....                                                                                      | 31 |
| Şekil 2.2. GUI ana ekranı. ....                                                                                                                        | 32 |
| Şekil 2.3. Tanıtımda kullanılan a) Ortomozaik ve b) SAM verisi. ....                                                                                   | 33 |
| Şekil 2.4. Özel ayarlar ekranı. ....                                                                                                                   | 34 |
| Şekil 2.5. Ana simülasyon ekranı ve ağaç bilgi ekranı (seçilen ağaç bordo renktedir). ....                                                             | 35 |
| Şekil 2.6. Bütün ağaç ve yaprak grafik kalitesi (uzak görünüş). ....                                                                                   | 36 |
| Şekil 2.7. Bütün ağaç ve yaprak grafik kalitesi (yakın görünüş). ....                                                                                  | 36 |
| Şekil 2.8. Silvikültürel müdahale için; ayarlanan parametrelere göre bilgisayar desteği (koyu mavi) ve kullanıcı tercihi (bordo) ile ağaç seçimi. .... | 37 |
| Şekil 2.9. Basit devirme aracı. ....                                                                                                                   | 38 |
| Şekil 2.10. Ağaçların devrilmemesinin istendiği alanların çizimi. ....                                                                                 | 39 |
| Şekil 2.11. Risk analizleri ile gerçekleştirilmiş gelişmiş devirme işlemi. ....                                                                        | 40 |
| Şekil 2.12. a) Devrilecek ağaçla alakalı yönlerin risk analizi b) İki ağaç boyu kuralına göre sahada risk alanı analizi. ....                          | 40 |
| Şekil 2.13. Kaçış yönü ve devrilen ağacın görselleştirilmesi. ....                                                                                     | 41 |
| Şekil 2.14. Kesit alanının tepeden görünüşü. ....                                                                                                      | 41 |
| Şekil 2.15. a) Sınır çizgisinin çizildiği yer b) Enkesit. ....                                                                                         | 42 |

|                                                                                          |    |
|------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Şekil 2.16. Enkesit ekranında transparan ağaçlar. ....                                   | 43 |
| Şekil 2.17. Farklı bakış açıları ile ormana bakış. ....                                  | 43 |
| Şekil 2.18. Kesit görünüş. ....                                                          | 44 |
| Şekil 2.19. Ağaç bilgilerini içeren veri tablosu. ....                                   | 45 |
| Şekil 2.20. Seçime bağlı olarak renk verilerinin yeniden düzenlenmesi. ....              | 46 |
| Şekil 2.21. Eğim kırıklıklarının devrilen ağaca etkisi ('a' eğimi tanımlamaktadır). .... | 53 |
| Şekil 2.22. Güvenli tampon bölge oluşturmak için taç sınırını 1.5 kat genişletme. ....   | 56 |
| Şekil 2.23. Kaçış yönü (Anonim, 2016). ....                                              | 57 |
| Şekil 2.24. İki ağaç kuralı (Anonim, 2016). ....                                         | 57 |





## ÇİZELGE LİSTESİ

### Sayfa No

|                                                                                                          |    |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Çizelge 1.1. Orman alanı ve nüfus ilişkisinin 1963-2012 yıllarındaki değişimi (Köse<br>vd., 2013). ..... | 12 |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|



## KISALTMALAR

|     |                                          |
|-----|------------------------------------------|
| 2B  | İki boyutlu                              |
| 3B  | Üç boyutlu                               |
| FAO | Birleşmiş milletler gıda ve tarım örgütü |
| GUI | Grafiksel kullanıcı arayüzü              |
| Ha  | Hektar                                   |
| OGM | Orman genel müdürlüğü                    |
| SAM | Sayısal arazi modeli                     |
| TIN | Düzensiz üçgen ağı                       |
| TOD | Türkiye ormancılar derneği               |



## ÖZET

### SANAL ORMAN GÖRSELLEŞTİRME SİSTEMİNİN GELİŞTİRİLMESİ

Burak TÜRKAY

Düzce Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü, Orman Mühendisliği Anabilim Dalı

Yüksek Lisans Tezi

Danışman: Prof. Dr. Abdurrahim AYDIN

Ağustos 2021, 71 sayfa

Ormancılık faaliyetlerinin temelini; gençlik, sıklık, ışıklandırma ve aralama gibi bakım faaliyetleri ve ağaç kesme-devirme işlemleri oluşturmaktadır. Bu işlemler; daha fazla ürün elde etme, ormanda verimi artırma, ormanların kapladığı alanları artırma amaçlarıyla yapılmaktadır. Yapılan bu faaliyetlerin yüksek maliyetli olması ve orman çalışanlarına, kalan ormana veya çıkarılan ürüne zarar verme potansiyelinin bulunması nedeniyle dikkatli bir şekilde yapılması gerekmektedir. Dolayısıyla, hem planlama hem de yapma aşamasında bilgisayar teknolojilerinden daha etkin yararlanılması, bu faaliyetlere olumlu yönde katkı sağlayacağı kuşkusuzdur. Günümüzde artan teknolojik imkânlar sayesinde, en hassas hesaplamalar bilgisayarlar aracılığıyla yapılmakta ve eğitim ise etkin bir şekilde 3B (üç boyutlu) görsel materyallerle sağlanmaktadır. Bu nedenle; birden fazla parametreyi (çap, boy, yaş, mesafe, tepe tacı) bir arada kullanarak detaylı hesaplamalara imkân veren 3B karar destek sistemlerinin ormancılığın eğitim ve uygulama alanlarında kullanılması önem arz etmektedir. Bu tez çalışmasında; bu ihtiyaçtan yola çıkılarak gerçek arazi yüzeyini koordinatlı bir şekilde 3B ortamda modelleyen, orman yapısını arazide gerçekleştirilen etüt çalışması ile veya uzaktan algılama teknikleriyle toplanan verilere göre arazi modelinin üzerinde görselleştiren, 3B simülasyon yazılımı ("ForSim") geliştirilmiştir. Yazılım Python programlama dili ve temel numpy, pandas gibi kütüphaneler kullanılarak üretilmiştir. "ForSim" yazılımı gençlik, sıklık, ışıklandırma ve aralama gibi bakım faaliyetlerini ve ağaç kesme-devirme işlemlerini 3B ortamda gerçekleştirebilmekte, devirme işlemleri sırasında personelin kaçış yönünü ve iki ağaç boyu kuralına göre tehlikeli alanları belirleyebilmekte ve personelin en uygun devirme yönüne karar vermesine yardımcı olabilmektedir.

**Anahtar sözcükler:** Devirme simülasyonu, ForSim, Görselleştirme, Sanal orman

# **ABSTRACT**

## **DEVELOPMENT OF VIRTUAL FOREST VISUALIZATION SYSTEM**

Burak TÜRKAY

Düzce University

Graduate School of Natural and Applied Sciences, Department of Forest Engineering

Master’s Thesis

Supervisor: Prof. Dr. Abdurrahim AYDIN

August 2021, 71 pages

The basis of forestry activities is maintenance activities such as growth, density, lighting and thinning, and tree felling operations. These transactions are; it is done for the purposes of obtaining more products, increasing the efficiency in the forest, and increasing the areas covered by the forests. These activities need to be done with care, as they are costly and have the potential to harm forest workers, remaining forest or the extracted product. Therefore, more effective use of computer technologies in both planning and construction phases will undoubtedly contribute positively to these activities. Thanks to the increasing technological opportunities today, the most precise calculations are made through computers and education is effectively provided with 3D visual materials. For this reason, it is important to use 3D decision support systems that allow detailed calculations by using more than one parameter (diameter, height, age, distance, crown) in the education and application areas of forestry. In this thesis study; based on this need, 3D simulation software (“ForSim”) was developed, which models the real land surface in a coordinated 3D environment and visualizes the forest structure on the terrain model according to the data collected by field surveys or remote sensing techniques. The software is produced using Python programming language and basic libraries such as numpy and pandas. “ForSim” can perform maintenance activities such as growth, density, lighting and thinning, and tree felling operations in 3D environment, presenting the results in shapes and animated form. At the same time, “ForSim” can determine the escape route of the personnel and dangerous areas according to the two tree height rule during the felling operations for personnel safety, and can help the personnel who will perform the felling operation to decide on the most appropriate felling direction.

**Keywords:** Felling simulation, ForSim, Virtual forest, Visualization

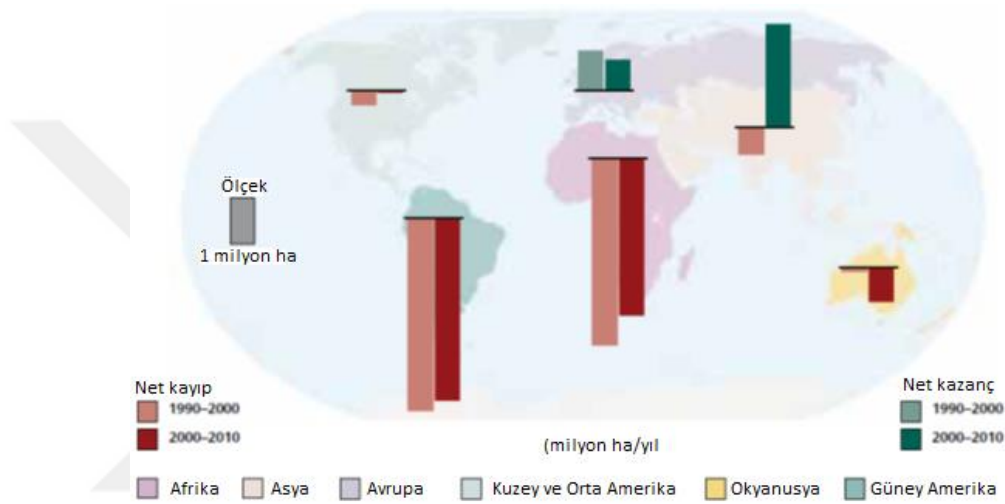
# 1. GİRİŞ

Ormanlar, yeryüzüne sosyo-ekonomik, kültürel, ekoloji, su üretimi-kalitesi, toprak koruma ve rekreasyon gibi konularda katkıda bulunan (Tuncer & Kaya, 2010; Ünal & Birben, 2017; Yılmaz & Öztürk, 2018), canlılığın devamı için gerekli elementlerin (oksijen, karbon, azot vs.) üretilmesinde kritik rol oynayan, yaşamın bağımlı olduğu (Akin, 2006) canlı bir varlıktır. İnsanlara çalışma olanakları sağlaması, başka sektörlerle kaynak (hammadde gibi) oluşturması, kırsal bölgelerdeki yaşam için imkânlar oluşturması gibi maddi ve maddi olmayan birçok faydası ile ormanlar, hayatımızda çok önemli rol oynamaktadır (Önder & Önder, 2009; Doğan & Tüzer, 2011). Ancak dünyada, her yıl Hollanda yüzölçümünün üç-dört katı büyüklüğünde (yaklaşık 13 milyon hektar) ormanlık alan yok olarak ormansızlaşma devam etmektedir (Arts vd., 2012). Ormansızlaşmanın etkisi ya da nedenleri benzer olsa da, farklı iklim bölgelerine göre değişik etkiler ya da nedenler görmek mümkündür. Örneğin; dünya üzerindeki en fazla orman değişimine (ağaç türü kompozisyonunda ve ormanların kapladığı alanda olan değişimler) neden olan etmen subtropikal ormanlarda gerçekleştirilen ormancılık çalışmalarıdır. Boreal ormanlardaki kayıp ta benzer şekilde ormancılık çalışmaları ve yangından kaynaklanmıştır. Bununla birlikte tropik orman alanlarında, her yıl 2101 km<sup>2</sup> daha fazla orman kaybı görülerek ormansızlaşma hızı giderek artmıştır (Hansen vd., 2013). Bunun sonucu olarak; iklim değişikliği, genetik kaynak kaybı, kırsal yoksulluk gibi sayısız sorun ortaya çıkmaktadır.

## 1.1. DÜNYADA ORMAN VARLIĞININ DEĞİŞİMİ

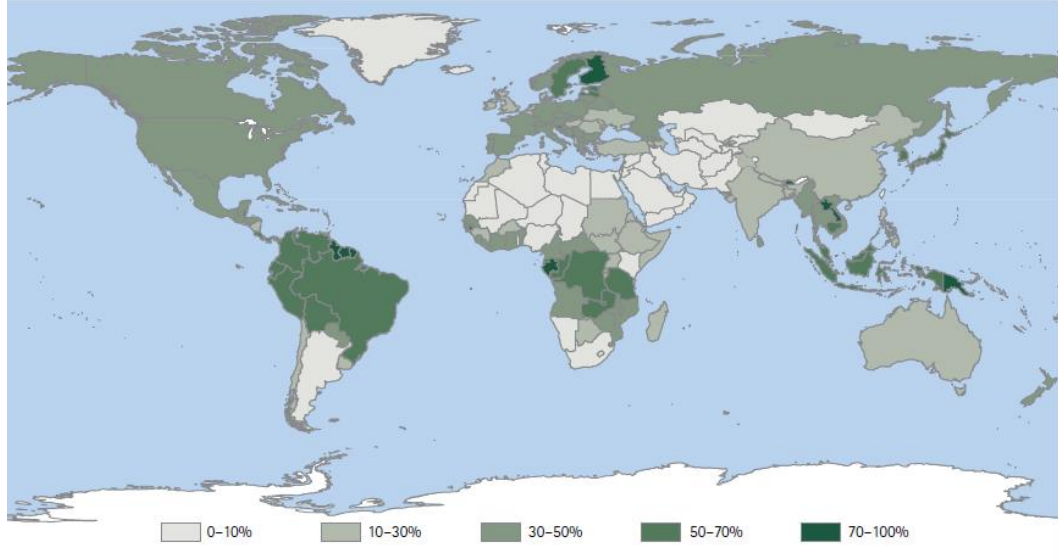
Son 8000 yılda yiyecek, ürün, enerji ihtiyaçları ya da nüfus artışından kaynaklı ortaya çıkan (barınacak yer vs.) ihtiyaçlar nedeniyle dünya ormanlarının yarısından fazlasının kaybedildiği bilinmektedir (Shimada vd., 2014). Birleşmiş Milletler Gıda ve Tarım Örgütü'nün (FAO) dünya orman alanlarının arttığına yönelik açıklamasının aksine Hansen & DeFries (2004) çalışmalarında 1980'lerden 90'lı yıllara kadar orman alanlarının azaldığını vurgulamaktadır. Önceleri çok daha fazla alana sahip olan dünya ormanları, 1990 yılında 4,128 milyar ha'a daha sonra ise, 2015 yılına kadar %3 azalma

daha göstererek, 3,999 milyar ha'a gerilemiştir. Bu miktar değerlendirildiğinde gezegendeki her insan için 0,6 ha orman alanı düştüğü görülmektedir. 1990 yılından 2015 yılına kadar, başlı başına doğal orman alanları ise, 3,961 milyar ha'dan 3,721 milyar ha'a düşmüştür. Orman gelişimi için çok verimli olan tropikal orman alanlarında dahi, 2010-2015 yılları arasında yılda 5,5 milyon ha azalma görülmüştür (FAO, 2015; Keenan vd., 2015). Sonuç olarak; dünya ormanlarında 1990-2000 yılları arasında, yıllık 8,327 milyon ha orman alanı, 2000-2010 yılları arasında ise, 5,211 milyon ha orman alanı kaybı yaşanmıştır (Şekil 1.1) (FAO, 2010).

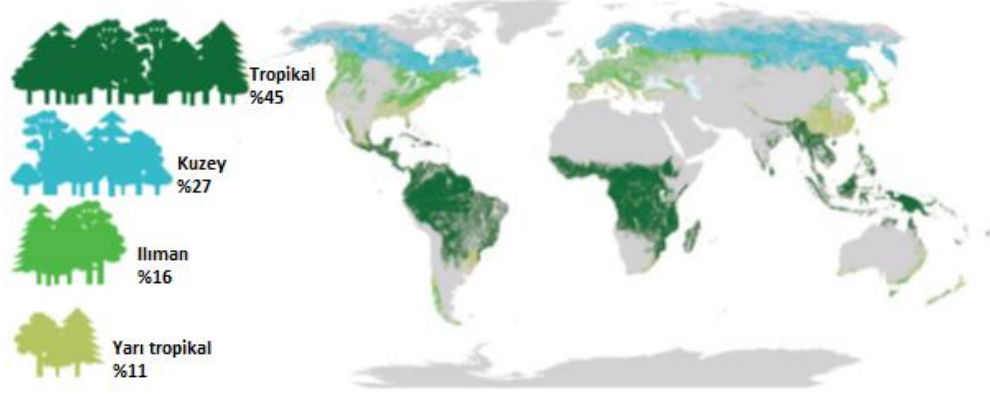


Şekil 1.1. Bölgelere göre, 1990–2010 yılları arasında orman alanlarındaki yıllık değişim (FAO, 2010).

Son on yıl (2010-2020) içerisinde, yılda net 4,7 milyon ha azalan dünya orman alanı, 2020 yılında dünya yüzeyinin %31'ini kaplamaktadır (Şekil 1.2). Bu ormanlar bütün dünyaya homojen dağılmamakta, %45'lik büyük bir bölümü tropikal bölgede (Şekil 1.3) yer almaktadır ve bu dağılımdaki ormanların nüfusa göre durumu incelendiğinde ise, kişi başına düşen orman alanının 0,08 ha daha azalarak 0,52 ha olduğu görülmektedir (FAO, 2020). Nüfus ve orman alanı arasındaki bir diğer etkileşim de Morales-Hidalgo vd. (2015) yaptığı çalışmada ortaya konmuştur. Bu çalışmada, bir ülkedeki %1'lik nüfus artışının, ormanlık alanlarda toplamda %0,12'lik bir azalmaya neden olduğu bulunmuştur. Dolayısıyla, ormanların eşit dağılmaması ve nüfus gibi etkenler nedeniyle, bazı ülkelerin orman hizmetleri ve ürünleri konusunda dezavantajlı olduğunu, gelişmekte olan ülkeler ağırlıkta olmak üzere birçok ülkede orman alanının azaldığını (Kök, 2009) ve yetersiz gelen kaynaklar nedeniyle ormansızlaşmanın artacağını söylemek mümkündür.

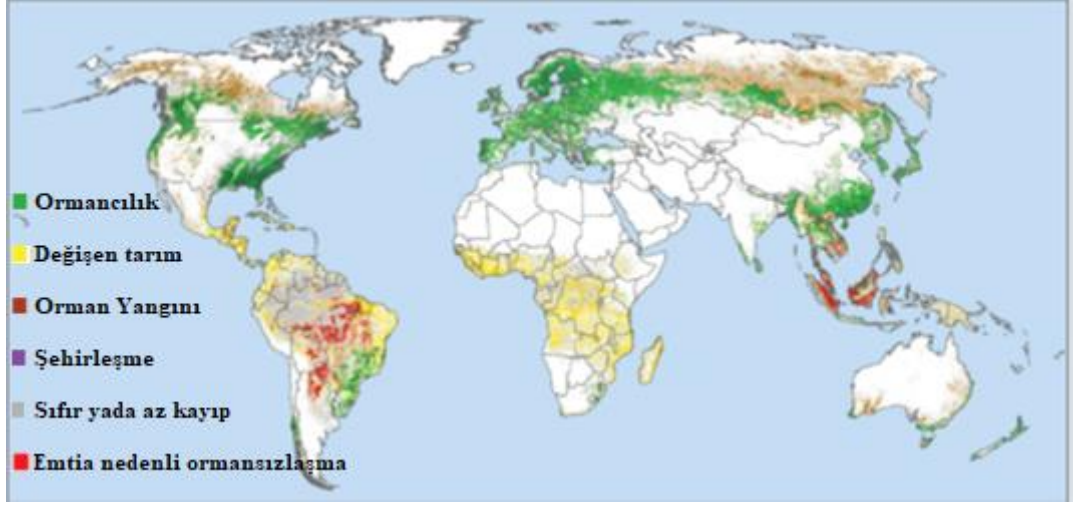


Şekil 1.2. 2015 yılında toplam karasal arazideki ormanlık alan miktarı (FAO, 2015).



Şekil 1.3. İklim bölgelerine göre orman alanlarının oranı ve dağılımı (FAO, 2020).

Dünya genelindeki ormansızlaşma; kesim, plantasyon gibi insan temelli ve arazi kullanımıyla ilgili sebeplerden kaynaklanmakta ve 2001-2015 yılları arasında yaşanan ormansızlaşmanın nedenleri (Şekil 1.4) bu duruma örnek olarak verilebilmektedir. Bahsi geçen ormansızlaşmanın %27'si hammadde odaklı arazi kullanım değişikliği nedeniyle, %26'sı ise ormancılık faaliyetleri (plantasyon ormancılığı, tıraşlama kesimi, tarımsal ormancılık, seçme kesimi gibi) nedeniyle oluşmuştur (Curtis vd., 2018).

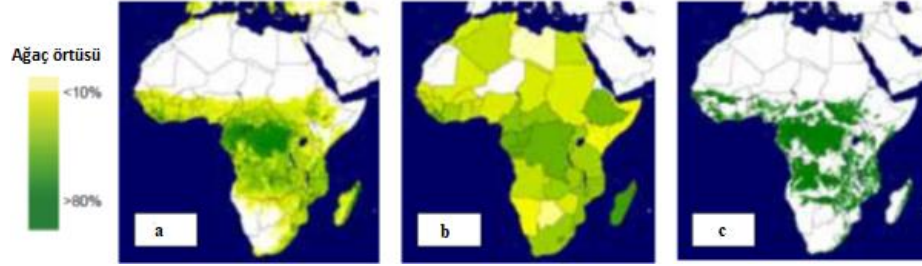


Şekil 1.4. 2001-2015 dönemi için başlıca orman örtüsü kaybının nedenleri (Curtis vd., 2018).

Plantasyon sahalarının (%48'i endüstriyel amaçlı olup, %26'sının ise kullanım amacı belli değildir) ürün üretimi açısından faydası olsa da, kurulumu için doğal ormanların yok edildiği birçok kez görülmüş ve buna rağmen, plantasyon alanları her yıl 4,5 milyon ha artmakta (Carle vd., 2002) ve ormansızlaşma devam etmektedir. Ormansızlaşma büyük sorun teşkil etmektedir bu nedenle devlet ilgisini sadece ormansızlaşmaya yöneltmiştir ve orman gelişimi söz konusu olunca çoğunlukla ormanların kapladığı alanın önemi abartılarak göz önüne alınmıştır. Hâlbuki dünya ormanlarında tür kompozisyonu, çap dağılımı, karbon depolama gibi diğer değişkenlerde aynı seviyede değerlidir ve bu konularda da önemli değişiklikleri olmuştur ancak yeterince fark edilmemiştir (Kindermann vd., 2008; MacDicken, 2015). Hansen & DeFries (2004)'a göre; ormanlardaki değişiklikler (ormansızlaşma, arazi örtüsü değişikliği), atmosfere bırakılan insan kaynaklı karbonun  $\frac{1}{4}$  inden sorumludur ve dolayısıyla bu değişiklikler, 2021'in önemli bir problemi olan iklim sorunlarını da beraberinde getirmektedir. İklim değişikliği; su kaynakları, çölleşme, kuraklık, orman yapısı ve ekosistem gibi pek çok konuya negatif yönde etki etmektedir (Demir, 2009) ve toprak kaybı, yangın gibi problemleri ortaya çıkarmaktadır (Canlı, 2010). Bu durum, kendi içinde sürekli birbirini kötüleştiren bir kısır döngü oluştuğunu göstermektedir. Bu durum, ormandaki bütün değişkenlerin (karbon depolama, tür kompozisyonu vs.) ayrı bir önemi olduğunu ve mutlaka dikkate alınması gerektiğini göstermektedir.



Yetersiz veya hatalı orman yönetiminin ormanların verimsizleşmesine neden olduğu gibi, ormanlar hakkındaki verilerin kalitesiz olması da verimsiz ormancılığa sebep olmaktadır. Bu duruma örnek olarak Şekil 1.5 verilebilmektedir.



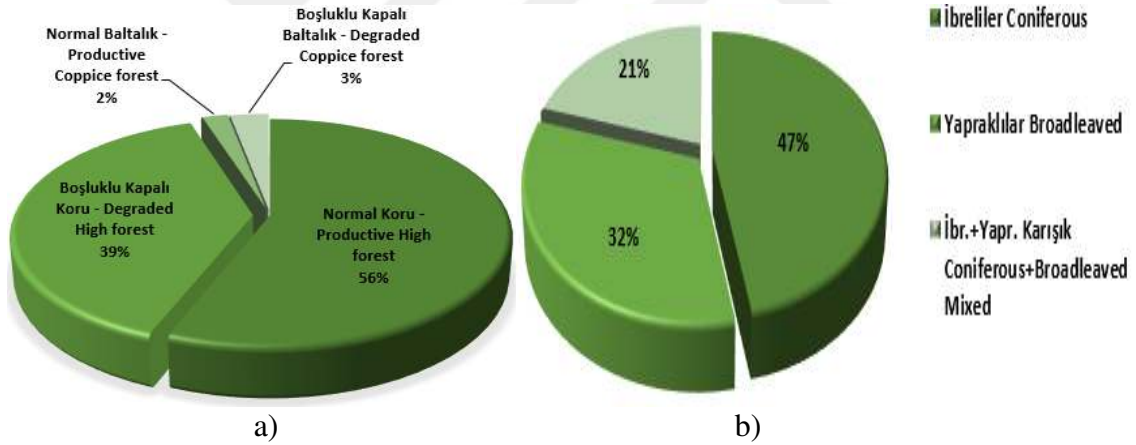
Şekil 1.5. Aynı bölge için farklı orman örtüsü verileri (Ridder, 2007).

Şekil 1.5 a'da, Afrika'nın 1997 yılındaki orman örtüsünün sınıflandırılması gösterilmektedir. Şekil 1.5 b'de, küresel orman kaynakları değerlendirme çalışmasında (FAO, 2000) bildirilen orman alanları, değerlendirmeye alınacak minimum orman alanı olarak ele alınmış ve en yoğun bitki örtüsünün bulunduğu noktadan itibaren, ilgili minimum orman alanına kadar olan ağaç örtüsü yüzdelik olarak gösterilmiştir. Şekil 1.5 c'de, FAO (2000)'da bildirilen, ülke bazındaki ormanlık alanların toplamalarına göre düzenlenmiş, orman haritası gösterilmektedir (Ridder, 2007). Yeşil alanlar ormanları, beyaz alanlar ise orman olmayan alanları temsil etmektedir. Bu üç şekil, üretim yöntemine ya da kaynağına bağlı olarak verilerin küresel ölçekte dahi farklı/hatalı olabileceğini göstermektedir. Ormansızlaşma, yetersiz-yanlış orman yönetimi ve hatalı-kalitesiz veri, iklim yapısı ve ormanların geleceği gibi birçok konuda dünyayı kötü yönde etkilemektedir. Bu nedenle bilgisayar teknolojisi odaklı çözümlerin kullanılması ve yaygınlaştırılması gerekmektedir. Günümüze kadar olan bilgisayar teknolojisindeki gelişmeler; daha farklı niteliklerde veri üretilmesine, büyük boyutlu verilerin depolanabilmesine, işlenebilmesi, analiz edilebilmesi ve görselleştirilebilmesine imkân vererek, daha detaylı/doğru ve hızlı değerlendirme yapılmasını sağlamış, yüksek hesaplama gücü sunmuştur. Buna rağmen veri standardizasyonunun sağlanamaması, hatalı/eksik verilerle çalışılması ya da karar alma ve hesap işlemleri için uygun yazılım ve yöntemlerin bulunamaması gibi nedenlerden ötürü istenmeyen durumların (hatalı silvikültürel faaliyetler, eksik bakım planları, yanlış ağaç devirme uygulamaları) ortaya çıkması da söz konusu olabilmektedir. Bu gibi olumsuzlukların ortadan kaldırılması veya en aza indirilmesinde, ormancılık çalışmalarında, ormanlara ilişkin ihtiyaç duyulan yüksek doğruluk ve hassasiyetli verilerin modern uzaktan algılama

## 1.2. TÜRKİYE ORMANLARININ GEÇMİŞTEN GÜNÜMÜZE DEĞİŞİMİ

1990 yılından önce, ormanların sadece en fazla odunu hasat etme amacıyla işletilmesi (Köse vd., 2013) orman alanlarının hızla azalmasına sebep olmuştur. Türkiye'nin orman alanı önceleri 50 milyon ha iken (Boydak & Çalışkan, 2014), Ok'un (2017) çalışmasına

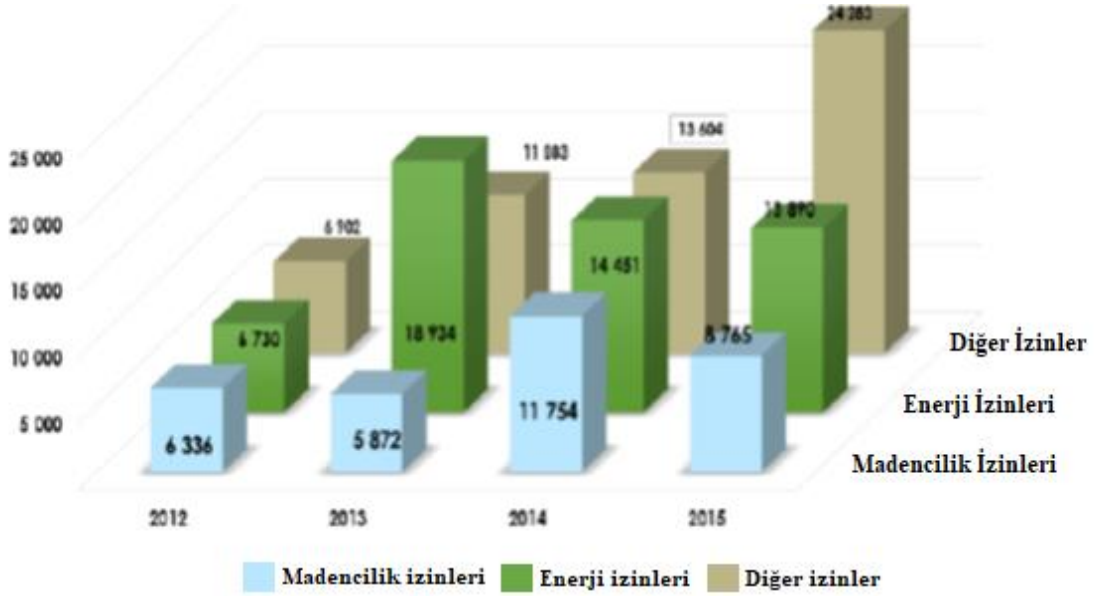
göre 1963 yılındaki güncel orman alanı; amenajman ve istikşaf planlarında 10,6 milyon ha, hava fotoğraflarından üretilen amenajman planında ise 18,273 milyon ha olarak aktarılmaktadır. Bu durum, Bölüm 1.1 de bahsedilen veri kalitesindeki sıkıntıların, Türkiye için de geçerli olduğunu göstermektedir. Bununla birlikte, 50 milyon ha olan orman alanının yaklaşık olarak 30 milyon hektarının kaybedilmesi, orman alanlarında büyük azalmaların yaşandığını göstermektedir. Günümüzde ise, OGM'nin (2019) resmi istatistiklerine göre; baltalık ormanlar 1973-2019 yılları arasında alansal olarak her yıl azalma göstererek, 8 milyon ha dan fazla alan kaybetmiştir. Bahsi geçen ormanlar; 1973 yılında 9,264 milyon ha alana sahip iken, 2019 yılında sahip oldukları alan 1,2 milyon ha'a düşmüştür. Sonuç itibari ile orman formunun 2019 yılında Türkiye'de aldığı son durum ise; %95 koru ormanı, %5 baltalık orman şeklindedir (Şekil 1.7). Ayrıca toplam orman alanı içerisinde; 2019 yılında; 10.729.195 ha (verimli 6.825.672 ha) ibrelî, 7.364.851 ha (verimli 3.810.220 ha) yapraklı, 4.646.251 ha karışık orman bulunmaktadır (Şekil 1.7).



Şekil 1.7. a) 2019 yılı orman alanlarındaki dağılım b) İbrelî, yapraklı, karışık ormanların dağılımı (OGM, 2019).

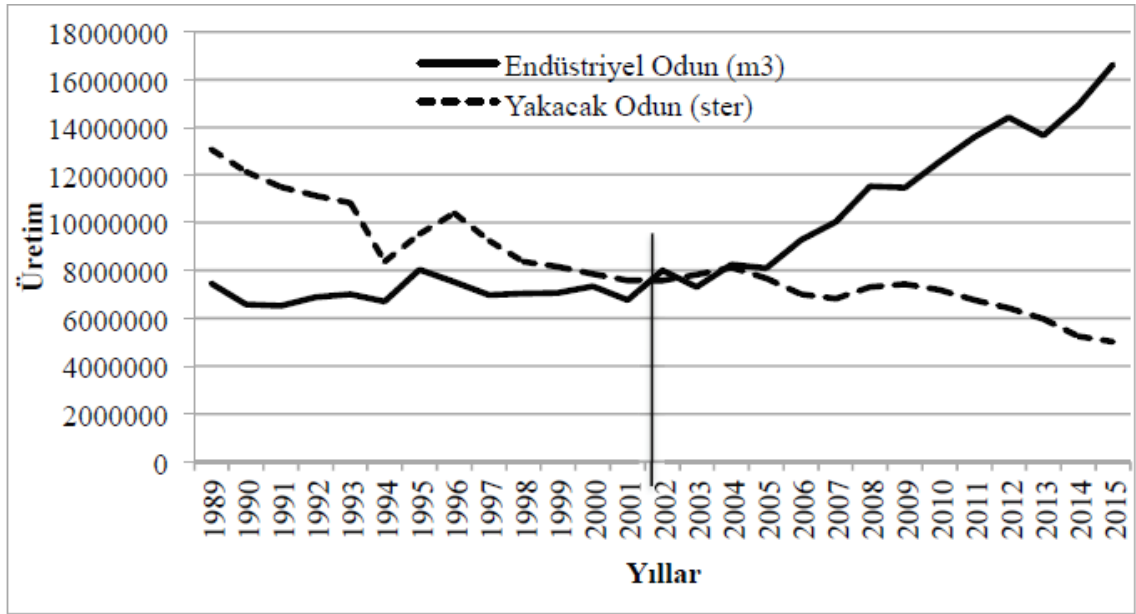
Orman alanlarının artırılması, niteliğinin iyileştirilmesi her ne kadar istenilen hedef olsa da, orman yapısını bozucu, orman alanlarını azaltıcı, yasal (maden, enerji, 2b vs.) ya da yasal olmayan faaliyetler sürekli görülmektedir (Günşen & Atmış, 2019). Örnek olarak, yasal faaliyet kapsamında olan madencilik çalışmalarının izinleri değerlendirildiğinde, madencilikte çok ileri seviyede olan Kanada, Avustralya, ABD gibi ülkelere kıyasla bile, Türkiye'de verilen orman izinleri daha fazla sayıdadır (Aktan vd., 2017) ve daha da artmaktadır (Şekil 1.8). Ormanlarda yapılan faaliyetlerin yanı sıra, yangın gibi afetlerde orman alanlarını ve verimlerini azaltmaktadır. Afetlerin etkisine

örnek olarak, yangın vakaları nedeniyle 1988-2019 yılları arasında yanan toplam 324.831 ha orman alanı verilebilmektedir (OGM, 2019). Dolayısıyla bu gibi durumlar, orman yapısına büyük zararlar verebilmektedir.



Şekil 1.8. 2012-2015 yılları arasında verilen orman izinleri (Aktan vd., 2017).

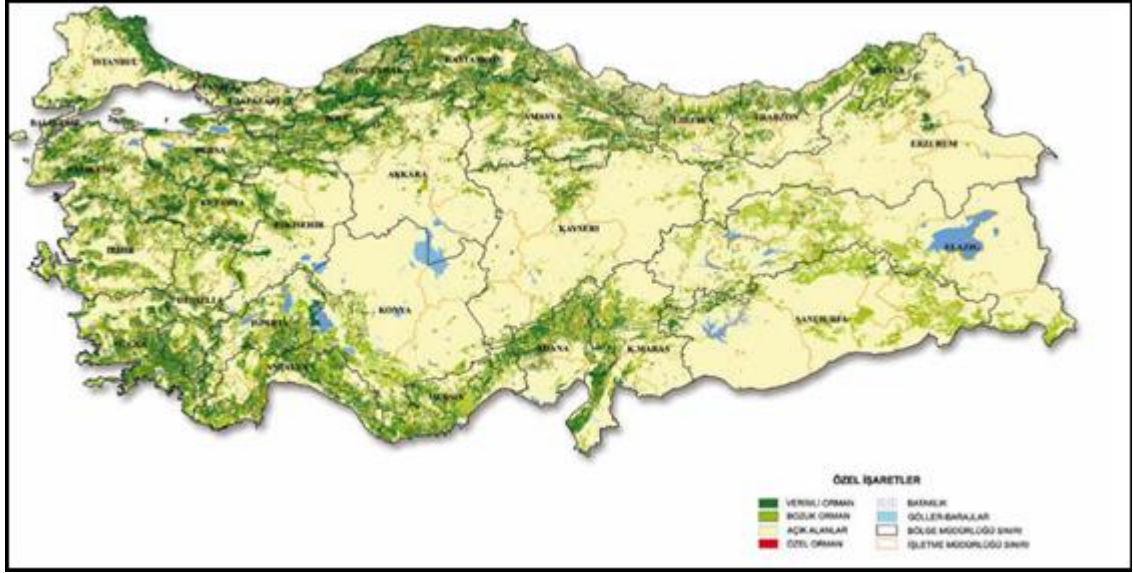
Şekil 1.7'e göre ormanların yapısal durumu değerlendirildiğinde; 2019 yılında toplam orman alanının, %58'i normal yapıda iken, %42'sinin boşluklu yapıda olduğu görülmektedir. 2015 yılında ise, boşluklu yapıdaki orman miktarının %43 (TOD, 2019) - %44'lük bir dilimde olması (Duyar, 2018) ve 1973-2011 yılları arasında orman varlığının yılda ortalama 35,2 bin ha artış göstermesi (Ok, 2017) ormancılık sektörü için faydalı bir gelişme gibi görülebilir. Ancak orman alanlarında genel olarak artış ve orman yapısında iyileşme görülse de, silvikültürel faaliyetler ormanların geleceğini düşünerek yapılmamaktadır. Mevcut orman yönetimi ekonomik büyümeyi baz alarak hareket etmekte (Atmış, 2020), bu da uzun vade de sürdürülebilir ormancılığı, orman miktarını, yapısal dağılımını tehdit etmektedir. Türkiye'nin orman alanı ve yapısal dağılımı bahsedilen şekilde iken, odun hammadde ihtiyacı nüfusla birlikte sürekli artmaktadır. Hammadde üretimi hakkında analiz yapıldığında; 2019 yılında 22,1 milyon m<sup>3</sup> endüstriyel, 5.589.798 ster (3.9 milyon m<sup>3</sup>) yakacak olmak üzere, toplamda 26 milyon m<sup>3</sup> (yakacak odun 5.589.798 \* 0.7 m<sup>3</sup> şeklinde hesaplanmıştır) odun üretildiği görülmektedir (OGM, 2019). Güncel odun üretim miktarı ve endüstriyel odun üretimindeki hızlı artış (Şekil 1.9), ormanlara olan baskıyı artırıcı şekilde bir ihtiyaç söz konusu olduğunu göstermektedir.



Şekil 1.9. Yakacak ve endüstriyel odun üretiminin değişimi (Atmı, 2017).

Üretim ile yeterli hammaddenin sağlanamaması veya satış için hammaddenin fazla üretilmesi durumlarında, orman ürünleri dış ticarete konu olmaktadır. Türkiye'nin orman ürünleri ihracatı; 1996 yılında 5 milyar 153 milyon \$ iken, 2007 yılında ihracat miktarı 15 milyar 766 milyon \$ değerine çıkmıştır (Önder & Önder, 2009) . Bu durum, yaklaşık 10 sene içerisinde ülkenin sadece ihracat nedenli orman baskısının üç kattan fazla arttığını göstermektedir. Türkiye'nin ormana dayalı ticari hareketliliği ve odun taleplerinin sadece %65'inin OGM tarafından karşılanabilmesi (OGM, 2016) ayrıca, orman miktarında/yapısında (Şekil 1.10) görülen azalmalar/bozulmalar; hammadde gereksiniminin çok fazla olduğunu, üretimin / bakımın arttırılması gerektiğini ve mevcut kaynakların sanayinin isteklerini karşılamada yetersiz kaldığını (Kök, 2009) göstermektedir.





Şekil 1.10. Türkiye’de orman alanlarının dağılımı ve yapısı (OGM, 2015).

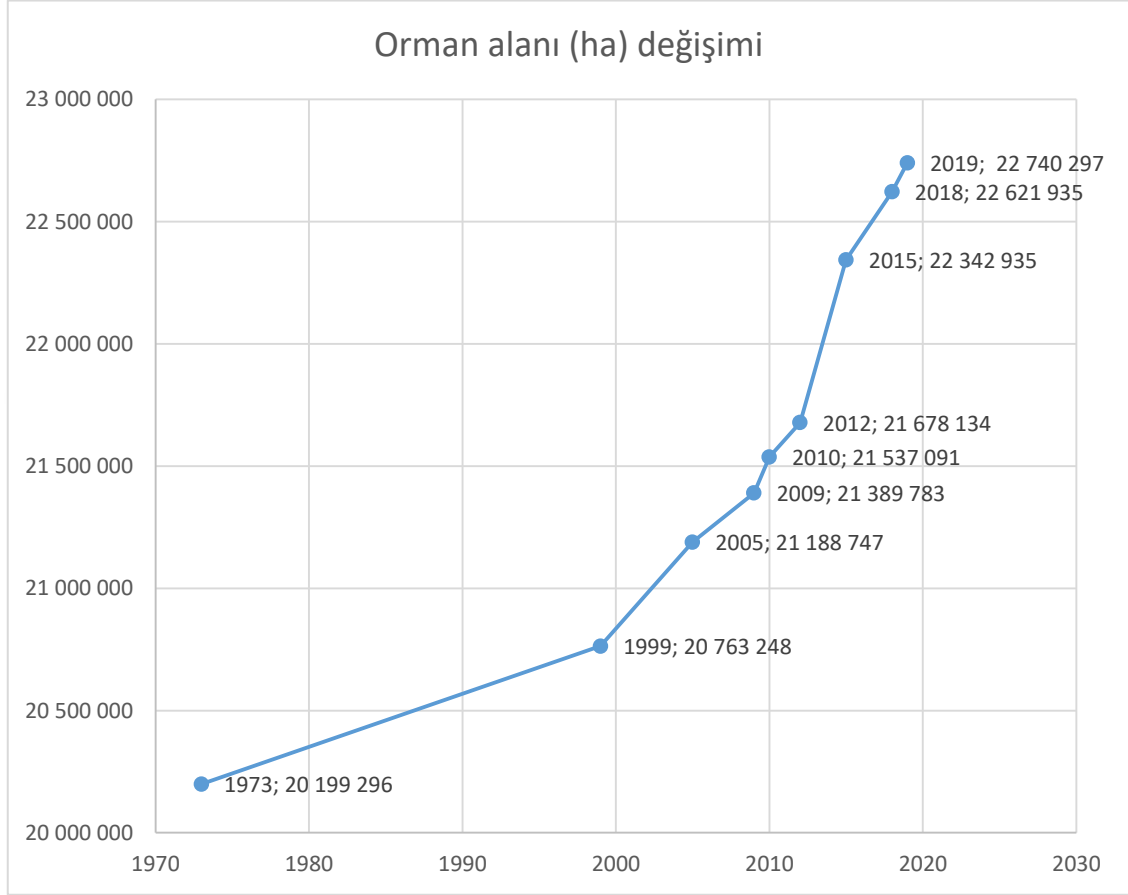
Toplumun bugün ve gelecekte ormanlardan beklediği mal ve hizmetlerden sürekli bir şekilde faydalanmasını sağlamak için orman alanlarının artırılması, mevcut ormanların korunması ve niteliklerinin iyileştirilmesi ve buna bağlı olarak servet, artım ve etanın da artırılması gerekmektedir. Güvenilir ve verimli bir şekilde bunu sağlamak için; yüksek çözünürlüklü sayısal veriler ile birlikte kaliteli 3B (üç boyutlu) görselleştirme yeteneğine sahip, karar vermeye yardımcı teknolojik sistemler kullanılmalıdır.

Orman servetinin, artımın ve etanın artırılması için yapılması gerekenler, izlenmesi gereken yollar ve Türkiye’de bu amaç için yapılan çalışmalar, Bölüm 1.3 de ayrıntılı açıklanmıştır.

### 1.3. YAPILAN ORMANCILIK UYGULAMALARININ TÜRKİYE’NİN ORMAN SERVETİ, ARTIM VE ETA DEĞERLERİNE ETKİSİ

Arazinin ağaçlar ile örtülü olma miktarı, çevresel koşullar hakkında önemli bilgiler vermektedir (Keenan vd., 2015). Bu nedenle, orman alanlarının azalmasına ve açıklıkların oluşmasına sebep olacağından, hızlı ve yanlış tüketimin ciddi çevresel sorunları beraberinde getireceğini söylemek mümkündür. Bu sorunların önlenmesi, ormanların korunabilmesi ve orman yapısının iyileştirilebilmesi için; yapılacak ormancılık faaliyetlerinin yüksek hassasiyetle ve eksiksiz bir şekilde planlanması gerekmektedir. Örnek olarak 1973 yılından sonraki süreçte; katı kamu incelemeleri, yönergeler ve kurallar nedeniyle, ormancılık uygulayıcıları daha kaliteli planlamaya

zorlanmış (Buckley vd., 1998) ve ormancılık operasyonlarının, uygulanan tekniklerin ve teknolojinin gelişmesi gibi nedenler ile ormanların kapladığı alanlarda (Şekil 1.11), servet, artım ve eta miktarlarında genel olarak artışlar başlamıştır.



Şekil 1.11. Yıllara göre orman alanındaki (ha) değişim (OGM, 2019).

Orman serveti, artım ve eta miktarı gibi bilgiler OGM (2019) tarafından yayınlanmaktadır. Buna göre, 2019 yılında; Türkiye orman serveti 1 milyar 679 milyon m<sup>3</sup>, eta miktarı 38 milyon 964 bin m<sup>3</sup>, yıllık cari artım ise 47 milyon 200 bin m<sup>3</sup>'tür. 2019 yılında, 552.864 ha'ı bakım olmak üzere 661.949 ha alanda silvikültürel faaliyetler uygulanmıştır. Yapılan faaliyetlere rağmen, genel olarak göç alan illerde orman servetinin azaldığı, korunan ormanların yapısında-özelliklerinde bozulmaların olduğu, artışı etkileyen ana etmenin yapılan ormancılık çalışmalarının olmadığı, cari odun artımının tehlikeli sınırlarda seyrettiği, orman ekosistemlerinin kurtarılamayacak zararlar aldığı bildirilmektedir (Günşen & Atmış, 2019; Atmış, 2020). Ayrıca, 1960'lar dan sonraki 50 yıl içinde, hektardaki ağaç serveti %44, artım %36, eta %100 artmıştır ancak hesaplamaya nüfus parametresi dâhil edildiğinde kişi başına düşen orman alanı %50, ağaç serveti ise %25 azalmış ve eta neredeyse değişmemiştir (Çizelge 1.1) (Köse

vd., 2013). Bu durum, orman alanlarının (ayrıca eta, servet ve artım) genel olarak artmasına rağmen, ormanların ilerleyen yıllarda artan nüfusun ihtiyaçlarını karşılayamayacağını göstermektedir.

Çizelge 1.1. Orman alanı ve nüfus ilişkisinin 1963-2012 yıllarındaki değişimi (Köse vd., 2013).

|                              | 1963       | 1973       | 1999       | 2004       | 2012       |
|------------------------------|------------|------------|------------|------------|------------|
| Orman Alanı                  | 17.097.558 | 20.199.296 | 20.763.248 | 21.188.747 | 21.678.134 |
| Hektardaki Servet (m/ha)     | 48         | 46         | 58         | 61         | 69         |
| Hektardaki Artım (m/ha)      | 0,8        | 1,4        | 1,7        | 1,7        | 1,9        |
| Hektardaki Eta (m/ha)        | 0,4        | 1,1        | 0,9        | 0,8        | 0,8        |
| Nüfus                        | 29.936.780 | 38.450.701 | 67.803.927 | 69.393.827 | 75.627.384 |
| Kişi Başına Orman Alanı (ha) | 0,57       | 0,56       | 0,3        | 0,3        | 0,28       |
| Kişi Başına Ağaç Serveti (m) | 27         | 24         | 17,7       | 18,6       | 19,8       |
| Kişi Başına Yıllık Artım (m) | 0,46       | 0,7        | 0,5        | 0,5        | 0,55       |
| Kişi Başına Yıllık Eta (m)   | 0,21       | 0,58       | 0,26       | 0,23       | 0,22       |

Farklı açılardan ve detaylı analiz yapıldığında, yapılan ormancılık uygulamalarına rağmen aslında ormanlarda kullanışlı bir gelişmenin olmadığı ve kişi başına düşen orman alanlarının azalması ya da servetinin düşmesiyle de, orman ürünlerine bağımlı yaşayan insanların, gereksinimlerini karşılamakta güçlükler çektiği ortaya çıkmaktadır (Açıkgöz Altunel, 2011). Kişi başına düşen orman alanı, serveti, artım ve etayı arttırmak ise bu duruma engel olabilmek için yapılabilecek işlemlerden birkaçıdır. Bahsi geçen işlemlerin verimli bir şekilde yapılabilmesi için, ormancılık faaliyetlerinin teknolojik imkânlardan (karar destek sistemleri gibi) faydalanarak detaylı hesaplamalar ve görsel değerlendirmeler ile yapılması gerekmektedir. Görsel bir karar destek sisteminin yardımı ile faaliyet planlarını oluşturmak, hesaplamalarda bilgisayar gücünü kullanmak; birden fazla parametreyi (çap, boy, mesafe vs.) aynı anda değerlendirmeye, karmaşık ilişkileri (ağaçların birbirleriyle veya çevresiyle olan ilişkileri) analiz etmeye ve faaliyet sonucunu görebilmeye imkân vermektedir. Dolayısıyla bu teknolojik imkânların kullanılması; doğru planlama, sahada oluşabilecek sorunları (örneğin, sıklığın planlanan

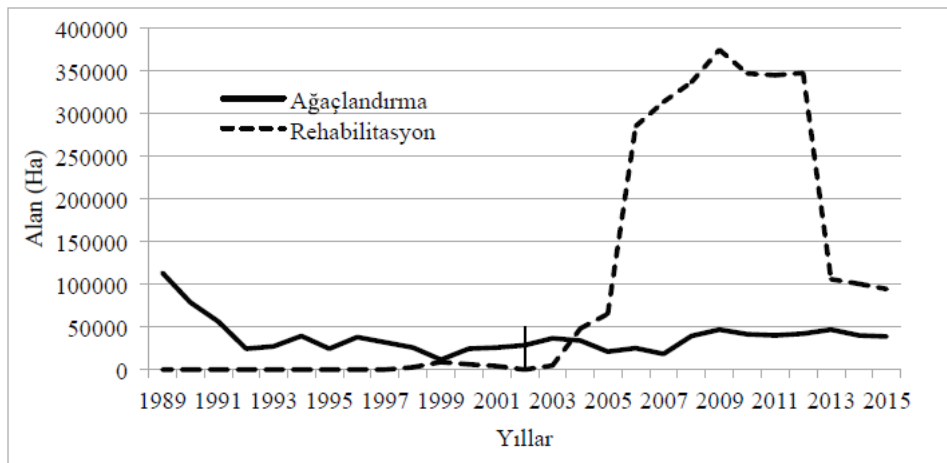


seviyeye getirilememesi) fark edebilme ve yetkililere faaliyetleri açıklama gibi farklı açılardan fayda sağlayacaktır.

#### 1.4. VERİMLİ ORMANCILIK İÇİN GEREKLİ TEKNİK VE YÖNTEMLER

Türkiye'nin en önemli doğal kaynaklarından biri ormanlar olsa da (Koç & Yeşil, 1996), ülke orman varlığı açısından zengin değildir. Ayrıca, bozuk veya boşluklu yapıdaki ormanların büyük bir bölümü, doğru müdahaleler ile onarılabilecek kapasitede iken, geçmişten beri verilen hasarın tümünün onarılması henüz gerçekleştirilememiştir (Duyar, 2018). Buna rağmen, barındırabildiği farklı ağaç türleriyle orman ürünleri sanayisinde ve ülke kalkınmasında önemli bir konumda olan Türkiye ormanları (Önder & Önder, 2009); doğru silvikültürel müdahalelerin/bakımların ve doğru yönetimin uygulanması durumunda, dünyaya sürekli bir şekilde yarar sağlayabilecek (Ünal & Birben, 2017) ve tam verimli kapasitede olması durumunda ise ihracat yapabilecek potansiyeldedir (Boydak & Çalışkan, 2014).

Ormanda verimi artırmak için temelde; güneş ışını ve besin (kalsiyum, potasyum, azot, su) kaynakları gibi ağaçlar için önemli hususların paylaşımını ve yönetimini iyi planlamak ve ağaçlar arasındaki rekabeti azaltmak gerekmektedir. Bunun için yapılabilecek en temel yöntem; aralama ve kesim gibi silvikültürel faaliyetler ile fidan aralığının kontrol edilmesidir. Silvikültürel faaliyetler; uygulama sıklığına, türüne ve boyutuna (Şekil 1.12) bağlı olmak kaydı ile maliyetli olabilmekte ve yanlış yapılan faaliyetlerin düzeltilmesi mümkün olmayabilmektedir.



Şekil 1.12. Yapılan rehabilitasyon ve ağaçlandırma çalışmalarının yıllara dağılımı (Atmış, 2017).

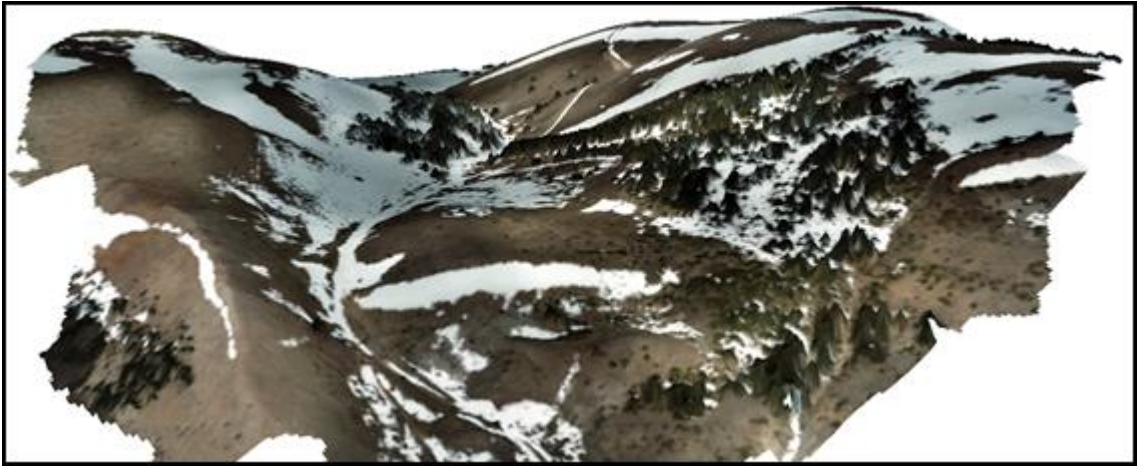
Yanlış yapılan ormancılık faaliyetleri, artım, eta ve verimin azalması ya da ormanlarda kuruma gibi birçok konuda soruna neden olabilmektedir. Bunlarla birlikte, orman varlığının artmasını yavaşlatarak, insan nüfusunun ihtiyaçlarını karşılamak için gerekli olan eta, alan ve verim değerlerine ulaşılmasına engel olabilmektedir. Orman varlığı, artan nüfusun ihtiyaçlarına sürekli bir şekilde yetebilecek seviyede olmalıdır aksi takdirde, gelecek nesillerin ormana bağlı ihtiyaçlarını gidermekte önemli sorunlar ortaya çıkacaktır (Köse vd., 2013). Gelecek neslin ihtiyaçlarını karşılayabilmek için çalışmaların yüksek hassasiyetle ve her ihtimali göz önünde bulundurarak modern yöntemler ile yapılması, kayıplara engel olunması, ormanların doğru değerlendirilmesi için tedbirler alınması gerekmektedir (Yılmaz & Öztürk, 2018). Dolayısıyla, yapılan çalışma sadece üretime ya da verime yönelik olmamalı, yapılan masraf ile mümkünse tek seferde birçok olası sorun (ör: yangın, yolun konumu, kalan meşcerenin durumu, böcek zararı, çevredeki tabii ya da yapay bileşenler vs.) ve durum (eğim, sıklık, yaş, arazi yüzeyinin şekil yapısı, tepe tacı genişliği vs.) hesaba katılmalı ve birden çok parametreyle detaylı bir analiz gerçekleştirilmelidir. Bu seviyedeki detaylı ve teknik bir analizin doğru bir şekilde gerçekleştirilmesi için teknolojiden, karar destek sistemlerinden faydalanılması gerekmektedir. Çünkü birden çok parametre ile çalışan karar destek sistemleri, sorunları daha gerçekçi bir şekilde işleyebilmesi nedeniyle, ormancılıkta çok faydalı olmaktadır (Leskinen vd., 2006). Ancak insan beyni, sınırlı dikkat ve hesap gücü nedeniyle hata yapabilmektedir. Bu nedenle analizlerde; karmaşık hesapları daha hızlı ve doğru biçimde yapabilen bilgisayar teknolojilerinden yararlanılmalı ve analiz sonuçlarının anlaşılabilirliğini arttırması nedeniyle 3B görselleştirme teknikleri kullanılmalıdır.

### **1.5. GELENEKSEL PLANLAMA YÖNTEMLERİNDEN İLERİ SEVİYE GÖRSELLEŞTİRMEYE OLAN SÜREÇ**

Ormanda uygulanacak faaliyetlerin planlanabilmesi için, detaylı analizlere (sıklık, kapalılık, tür dağılımı, yaş-çap-boy değerlendirmesi vs.) ihtiyaç duyulmaktadır. Yapılan analizlerde ağaçların bireysel özelliklerine ve birbirleri ile olan etkileşimine dikkat edilmeli, çevresel şartlar göz önünde bulundurulmalı ve uygulayıcının imkânları değerlendirilmelidir. Dolayısıyla bakım-kesim-ekim-dikim gibi faaliyetler, en baştan doğru teknik ve değerlendirmeler ile tasarlanmalıdır. Güncel olarak; bakım, kesim, ekim, dikim gibi ormancılık uygulamaları; arazi çalışması sonrası elde edilen,



Görselleştirme araçları ise; karmaşık ya da değerlendirmesi zor olabilecek bu veri yığınlarının, incelenmesi ve değerlendirilmesine yardımcı olmak için, sıkça kullanılan bilgisayar tabanlı araçlardan biridir (Scott, 2006). Karmaşık veri tablosu incelendiğinde insan beyni küçük detayları kaçırıp hata yapabilir, olayın bütünü veya bir işlem sonrası doğabilecek sonuçları algılayamayabilir. Bu nedenle verinin sade metin şeklinde olmayıp 3B görselleştirilmesi (Şekil 1.15), interaktif biçimde incelenebilmesi, veriyi anlama ve plan oluşturma açısından çok avantajlı olacaktır. Ayrıca, ormancılık faaliyetlerinin 3B bilgisayar teknolojileriyle birleştirilmesi, ormancılık çalışmalarının başarısını çok daha fazla arttıracaktır.



Şekil 1.15. 3D arazi modeli.

Genel olarak verilerin analizine yardımcı olmak için, görselleştirme araçlarının da içinde bulunduğu farklı çeşitlerdeki bilgisayar tabanlı araçlar, birçok farklı sektörde yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu sektörlerden biri olan ormancılıkta da, görselleştirme araçları uzmanlar tarafından orman yönetiminde kullanılmıştır (McGaughey, 1998; Karjalainen & Tyrväinen, 2002; Stoltman vd., 2004). Bahsi geçen bu araçlar, anlaşılması zor, karmaşık verilerden üretilen bilgilere daha kolay hâkim olma ve yönetme imkânı sağlar (Scott, 2006). Bu nedenle günümüzde, orman araştırmalarının ve orman yapısının daha iyi anlaşılmasının anahtar noktalarından biri de orman yapısının görselleştirilmesidir (Karjalainen & Tyrväinen, 2002). Orman varlığı ve arazi bilgileri gibi detayların elde edilmesinde ve bu verilerin; tablo, 3B grafik, harita olarak sunulmasında CBS'nin kullanılabileceğini (Koç & Yeşil, 1996), CBS ve orman envanter verilerine dayanarak orman sorunlarının (yangın) görselleştirilebileceğini çalışmalarıyla ortaya koyan araştırmacılardan biride Williams

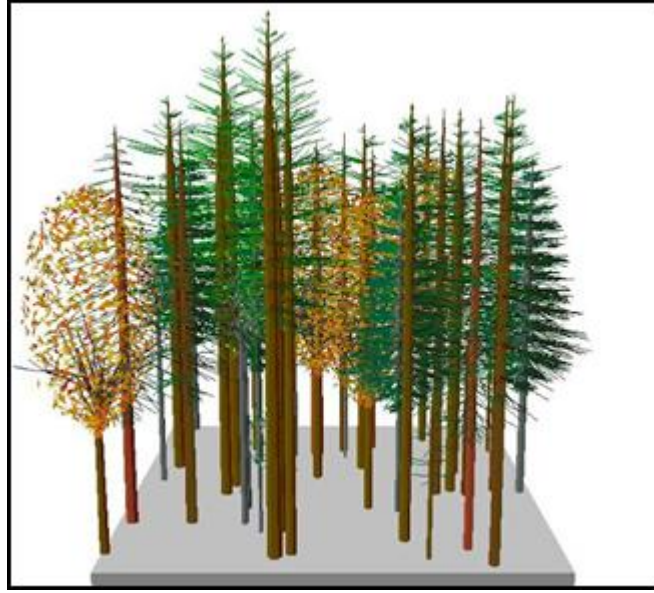
vd. (2008)'dir. Bu sayede tabii kaynakların değerlendirilmesi, yönetilmesi konularında artan araştırmalar ile görsel olarak değerlendirme, mekânsal analiz yapabilme, karar verme ve planlamada yardım alabilmek için, CBS ve CBS ile 3B görselleştirme yöntemleri kullanılmıştır (Koç & Yeşil, 1996; Buckley vd., 1998; Wu, 2020).

Yıllar içerisinde ormansızlaşmayı ortaya koymak, anlayabilmek için sürekli daha fazla veri ve araçlara yönelim olmuştur (Curtis vd., 2018). Ancak, verilerin görselleştirilmesi yüksek donanımlı bilgisayarlar gerektirmiş, donanım kapasitesi çoğu zaman büyük sorun teşkil etmiştir. Bilgisayar teknolojisi ve görselleştirme teknikleri üzerine yapılan araştırmalar günümüzde ise, çok büyük bir gelişme göstermiştir ancak buna rağmen çok az sayıda araştırma gerçek veriler kullanarak orman yapısının görselleştirilmesi ya da ormancılık işlemlerinin uygulanması için, 3B görselleştirme tekniklerini araştırmıştır (Buckley vd., 1998; Kantartzis, 2018). Bununla birlikte ormanların gerçek veriler ile görselleştirilmesi, büyük orman görselleştirmedeki geometrik karmaşıklık, büyük boyutlardaki sahalarda ve karmaşık bitki yapılarında ya da bitki örtüsü ile kaplı arazilerde gerçekçilik; bilgisayar grafiği-grafik donanımları, sanal gerçeklik için çok önemli ve zorlu bir sorun olmuştur (Chen vd., 2005; Bao vd., 2009, 2011; Kantartzis, 2018). Ayrıca ormanı görselleştirebilme-modelleyebilmenin yanı sıra, büyük boyutlarda veri olduğu zamanlarda gerçekçilik ve modelleme hızı da; sanal ormancılık, internet grafik uygulamaları, arazi ve şehir yapısı görselleştirme ve sanal gerçeklik gibi farklı alanlarda çok önemli olmaktadır (Bao vd., 2011). Görselleştirme konularının yaygınlaşmasıyla artan çalışmalar, gelişmeler ve üretilen yazılımlar detaylı biçimde Bölüm 1.6. da anlatılmıştır.

## **1.6. YAPILAN ÇALIŞMALAR VE GELİŞTİRİLEN YAZILIMLAR**

Ormancılık üzerine yapılan çalışmalar sonucunda “Stand visualization System (SVS)” (Şekil 1.16) ve “Sylvview” gibi hayata geçirilebilen çok az sayıda yazılım olmakla beraber, bu sistemler orman alanını sadece temsili gösterecek tasarımlar sunmakta olup, 3B gerçek koordinatlı arazi ve gerçek orman verisi ile birebir, yüksek kaliteli görselleştirme sunmamaktadır.





Şekil 1.16. Stand visualization system yazılımından bir ekran görüntüsü.

Ormanlık alan görselleştirmesi veya temel arazi analizleri gibi genel amaçlar için temsili orman görüntüleri üretebilen, ticari olan, yazılımlar da bulunmaktadır. Genel amaçlar için, temel seviye görselleştirme işlemlerini yapabilecek ticari yazılımlara örnek olarak, CBS yazılımları verilebilir. Ancak, ticari CBS yazılımlarının çok az miktarı akademide ki görselleştirme teknikleri ile birleştirilmiş, güçlendirilmiş iken, ticari sistemler; yüksek maliyetli olabilmekte, başarılı-doğru analiz sonuçları elde etmek için iyi yetiştirilmiş bir uzmana gereksinim duymakta ve araziden toplandığı haldeki ham veriler ile çalışamamakta, birçok ön işleme tabii tutulması gerekmektedir. Gerçekçi görselleştirme işlemleri, ormancılık operasyonlarının tasarlanmasında ve sorumlulara iletilmesinde önemli katkı sağlasa da, görselleştirme için alternatif olarak düşünülebilecek CBS ve görüntü işleme sistemleri, grafik tasarlama-oluşturmada sınırlı beceriye sahip olması gibi nedenlerle ağaçlar üzerinde işlem yapamaz, gerçekçi kalite sunamaz ve bu yönü de meşcere görselleştirme çalışmalarında başarısız olmasına neden olur (Buckley vd., 1998; McGaughey, 1998). Üretilen verilerin kamu otoritelerine doğru aktarılması ve planlanan operasyonun doğru kritiğinin yapılabilmesi için, daha kaliteli ve hassas, gerçeğiyle olabildiğince benzer görselleştirme sağlayan, koordinatlı arazi ve ağaç verileri ile çalışan araçlar ve teknikler geliştirilmelidir.

Ormancılık operasyonlarının tasarlanması ve ormanların yönetiminin daha kolay ve doğru yapılması için ormanların 3B görselleştirilmesi, bu ormanlarda var olan kaynakların tahmini, ilgili verilerin analizi ile karbon tahmini (ör; Brown vd. (2005)) ve ormanların yönetimi gibi birçok alanda çalışılmıştır. Bitkilerin büyüme davranışı ve

ormanların simülasyonun yoğun rağbet görmesiyle de, ormanların bilgisayarlı görselleştirilmesi popüler bir çalışma konusu olmuştur (Chen vd., 2005; Kantartzis, 2018). Meşcere dinamiğini etkileyen, temsil eden en büyük etken olan bitki büyümesi gibi canlı faktörler için uzun zamandır araştırmalar yapılmaktadır. Son 40 yıl içerisinde; Oppenheimer (1986), De Reffye vd. (1988), De Reffye vd. (1991), Prusinkiewicz vd. (1988), Deussen vd. (2002), Hu vd. (2018), Crimaldi vd. (2021) gibi birçok araştırmacı, bitkilerin modellenmesi-görselleştirilebilmesi için algoritmalar üretmiş ya da üretilmesine katkıda bulunacak çalışmaları literatüre kazandırmıştır. Bu konudaki (bitki-orman görselleştirme/inceleme) bilinen araştırmalara genel olarak bakıldığında, yapılan çalışmalar şu şekilde özetlenebilmektedir (Kantartzis, 2018):

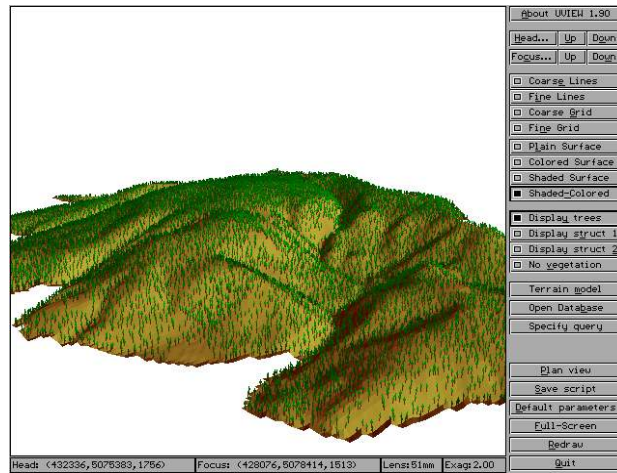
- Zhang vd. (2006), büyük ölçekteki orman yapısının görselleştirilmesi için yapılmış çalışmaları araştırmıştır ve neticesinde iyi performans ile makul görüntü kalitesi ve düşük depolama alanı ile orman modelinin görüntüsünü sağlayan bir sistem geliştirmişlerdir.
- Bao vd. (2011) sanal ortamda etkileşim, hareket olmadığı stabil anlarda kaliteli gölge etkisi ile ağaç yapısının gerçekçi gösterimini büyük boyutlarda yapabilecek teknoloji geliştirerek, gerçekçiliği arttırmaya ve performansa odaklanmışlardır.
- Honjo & Lim (2001) sanal gerçeklik modelleme tekniği ile peyzaj yapısının üretilmesi için bir sistem oluşturmuşlardır. Bu sistem ile binlerce bitkinin bulunduğu bahçeler, gerçek zamanlı olarak görüntülenebilmektedir. Lakin orman verisi bireysel ağaçlar halinde değil meşcere yapısı halinde olduğu ve yönetildiği için orman yapısının doğru görüntülenmesi ve yönetilmesi konusunda sistem yetersiz kalmıştır.
- Pratihast vd. (2016) ise, ormanları izleme, takip ve ormanlardaki değişimler hakkında doğru bilgi edinmek için sosyal medyayı ve uyduyu kullanan gerçek zamanlıya yakın web-gis tabanlı orman takip sistemi oluşturmuşlardır.

Bu çalışmaların da yardımıyla öncelikle tekil ağaçların görselleştirilmesi, daha sonra ise meşcere ve orman ölçeğinde ağaç toplulukların görselleştirilmesinin önü açılmıştır. Bu sayede zaman içerisinde birkaç farklı uygulama geliştirilmiş, bu alana kapı aralanmıştır. Basit 2B (iki boyutlu) harita ya da düz metin şeklindeki platformlardan 3B görselleştirme, analiz teknolojilerinin yolu açılmış ve bu teknolojilerin faydaları daha somut bir şekilde görülmüştür. Bu nedenle ormancılıkta olduğu gibi farklı bilim

dallarında ve farklı amaçlarda da görüntüleme konusu birçok kez çalışılmıştır. Ancak uygulamalar genel olarak ormancılık ve silvikültürel müdahale amacıyla, gerçek veri için ya da yüksek grafik kalitesi ile tasarlanmayıp, çoğunluğu manzara görselleştirme amacı ve kapasitesiyle geliştirilmiştir.

Buckley vd. (1998) ile McGaughey (1997)'in yaptığı çalışmaya göre, 1997 den itibaren geliştirilmiş olan görselleştirmeye alakalı bilinen uygulamalar şunlardır;

- Stand Visualization System (SVS): arazi yüzeyi ve ağaçlar gibi bileşenleri oluşturan gerekli çokgenlerin çizilmesi ve bunların birleştirilmesi ile görselleştirmenin sağlandığı geometrik modelleme tekniği kullanılmıştır. 2 ha' dan küçük alanlar ve PC-DOS sistem için tasarlanmıştır. Ücretsiz yazılımdır. Robert J. McGaughey tarafından üretilmiştir. SVS ağaç yapısını basit bir biçimde görselleştirme kapasitesine sahip iken, arazi yapısını 3B ve koordinatlı bir biçimde görselleştirememektedir. Sistem aralama gibi temel ormancılık faaliyetlerini uygulama amacıyla geliştirilmiştir.
- Utools ve Uview: geometrik modelleme tekniği kullanılmıştır. 2 ha' dan büyük alanlar ve PC-DOS sistem için tasarlanmıştır. Ücretsiz yazılımdır. Yazılım görsel kalite açısından günümüz şartları için düşük seviyede olan ağaç modelleri ile orman yapısını ve 3B arazi yüzeyini görselleştirebilmektedir (Şekil 1.17).



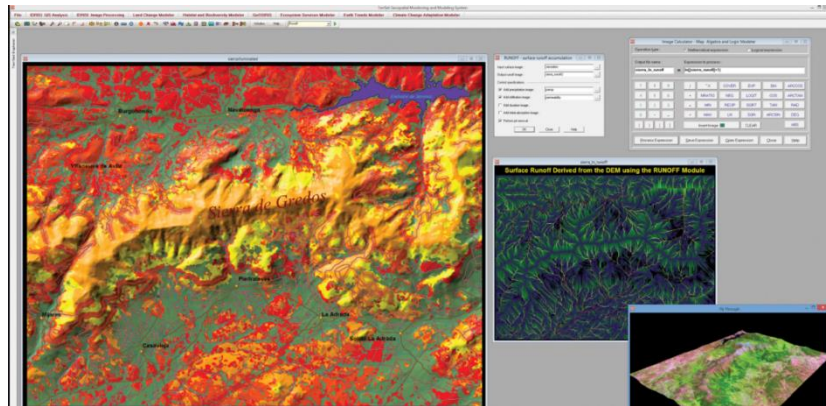
Şekil 1.17. Uview yazılımından bir görüntü (Utools, 2021).

- Smart forest: geometrik modelleme tekniği kullanılmıştır. 2 ha'dan büyük alanlar ve UNIX sistem için tasarlanmıştır. Ücretsiz yazılımdır. Yazılım, basit ağaç yapısı (düşük görsel kalitede olan, az sayıda veri içeren) ile orman alanını



ve 3B arazi yapısını görselleştirebilmektedir. Meşcere kapasitesinde görselleştirme amaçlanmış bir çalışmadır.

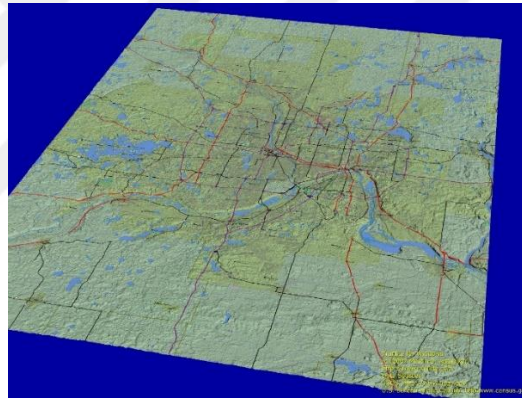
- Landscape management system (LMS): geometrik modelleme tekniği kullanılmıştır. Tüm boyutlardaki alanlar ile çalışmaya uyumlu olarak ve PC-Windows sistem için tasarlanmıştır. Ücretsiz yazılımdır. Meşcere görselleştirmesi için SVS'yi kullanmaktadır.
- USFS, Southern Research Station Visualization System: geometrik modelleme tekniği kullanılmıştır. 2 ha' dan büyük alanlar ve UNIX sistem için tasarlanmıştır. Ücretsiz yazılımdır.
- VistaPro3: geometrik modelleme ve resimlerin SAM üzerine matematiksel olarak örtülmesi ile görüntünün işlendiği görüntü örtme tekniği kullanılmıştır. 200 ha' dan büyük alanlar ve PC-DOS/PC-Windows/Macintosh sistem için tasarlanmıştır. Ücretli yazılımdır. Bireysel ağaçların konumuna atanması ve özelliklerinin ayarlanmasını yapamadığından meşcere durumlarının temsili zorlaştırır.
- IDRISI: görüntü örtme ve perspektif görüntü teknikleri kullanılmıştır. 200 ha' dan büyük alanlar ve PC-DOS, PC-Windows sistem için tasarlanmıştır. Ücretli yazılımdır (Şekil 1.18). CBS analizleri yapma amacıyla geliştirilmiştir. Yer yüzeyini görselleştirebilmektedir. Ancak meşcere yapısını, silvikültür faaliyetleri yapabilecek ve meşcere içinde 3B gezebilecek şekilde görselleştirememektedir.



Şekil 1.18. IDRISI yazılımı için bir görüntü (IDRISI, 2021).

- Persistence of vision raytracer (POV-Ray): geometrik modelleme tekniği kullanılmıştır. Bütün ölçekteki alanlar ve işletim sistemleri için tasarlanmıştır. Ücretsiz yazılımdır. Geometrik modellerden detaylı resimler üretebilir.

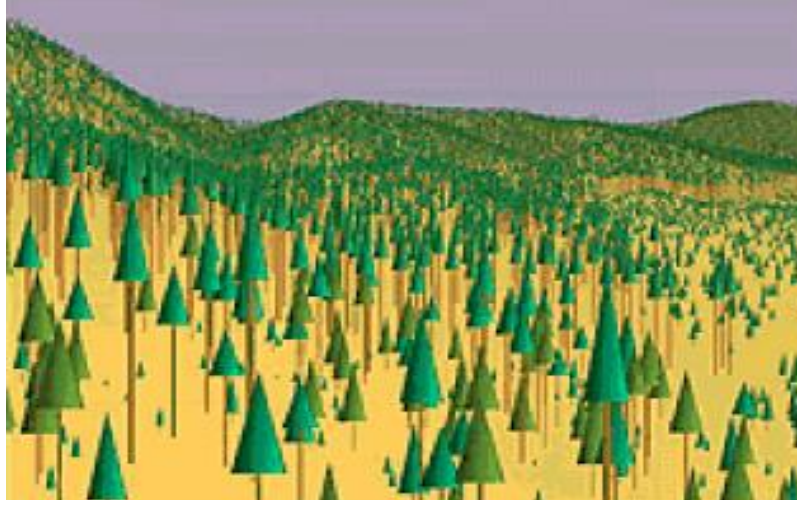
- VisualFX: geometrik modelleme tekniği kullanılmıştır. 2 ha' dan büyük alanlar ve PC-DOS sistem için tasarlanmıştır. Ücretli yazılımdır.
- CLRview geometrik modelleme tekniği kullanılmıştır. 2 ha' dan büyük alanlar ve Silicon Graphics IRIX HW için tasarlanmıştır. Ücretsiz yazılımdır.
- Visual Explorer: görüntü örtme ve geometrik modelleme tekniği kullanılmıştır. 200 ha' dan büyük alanlar ve PC-Windows sistem için tasarlanmıştır. Ücretsiz deneme sürümü ve ücretli sürümü olan bir yazılımdır.
- TruFlite: görüntü örtme tekniği kullanılmıştır. 200 ha' dan büyük alanlar ve PC-Windows sistem için tasarlanmıştır. Ücretsiz deneme sürümü ve ücretli sürümü olan bir yazılımdır. 3B arazi görselleştirme amacıyla geliştirilmiştir. Arazi yapısını görselleştirebilirken, meşcere yapısını silvikültür faaliyetleri yapabilecek ve meşcere içinde 3B gezebilecek şekilde görselleştirememektedir (Şekil 1.19).



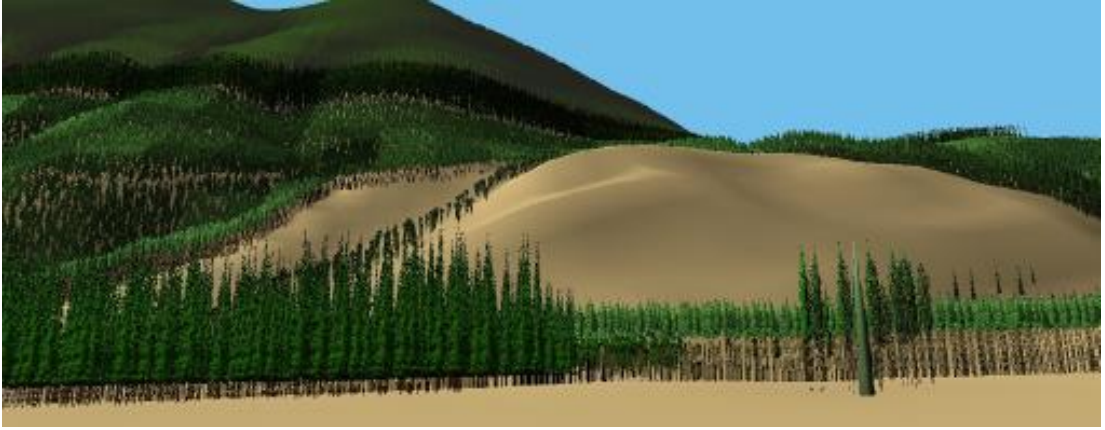
Şekil 1.19. Truflite yazılımı için bir görüntü (TruFlite, 2021).

- World Construction Set: geometrik modelleme tekniği kullanılmıştır. Bütün ölçekteki alanlar ve PC-Windows, Amiga, Windows NT işletim sistemleri için tasarlanmıştır. Ücretli yazılımdır.

Geçmişte birçok araştırmacının ilgi alanı olan 3B bitki görselleştirme algoritmalarının kullanılması ve yaygınlaşması, orman yapısını görselleştirmek için yazılımların üretilmesine imkân sağlamış ve Vantage Point, Smart Forest gibi görselleştirme yazılımları bu algoritmalar kullanılarak geliştirilmiştir (Kantartzis, 2018). Ancak günümüz grafik kalitesi açısından çok yetersiz kalan bu sistemler işlevsel olmamaktadır (Şekil 1.20).



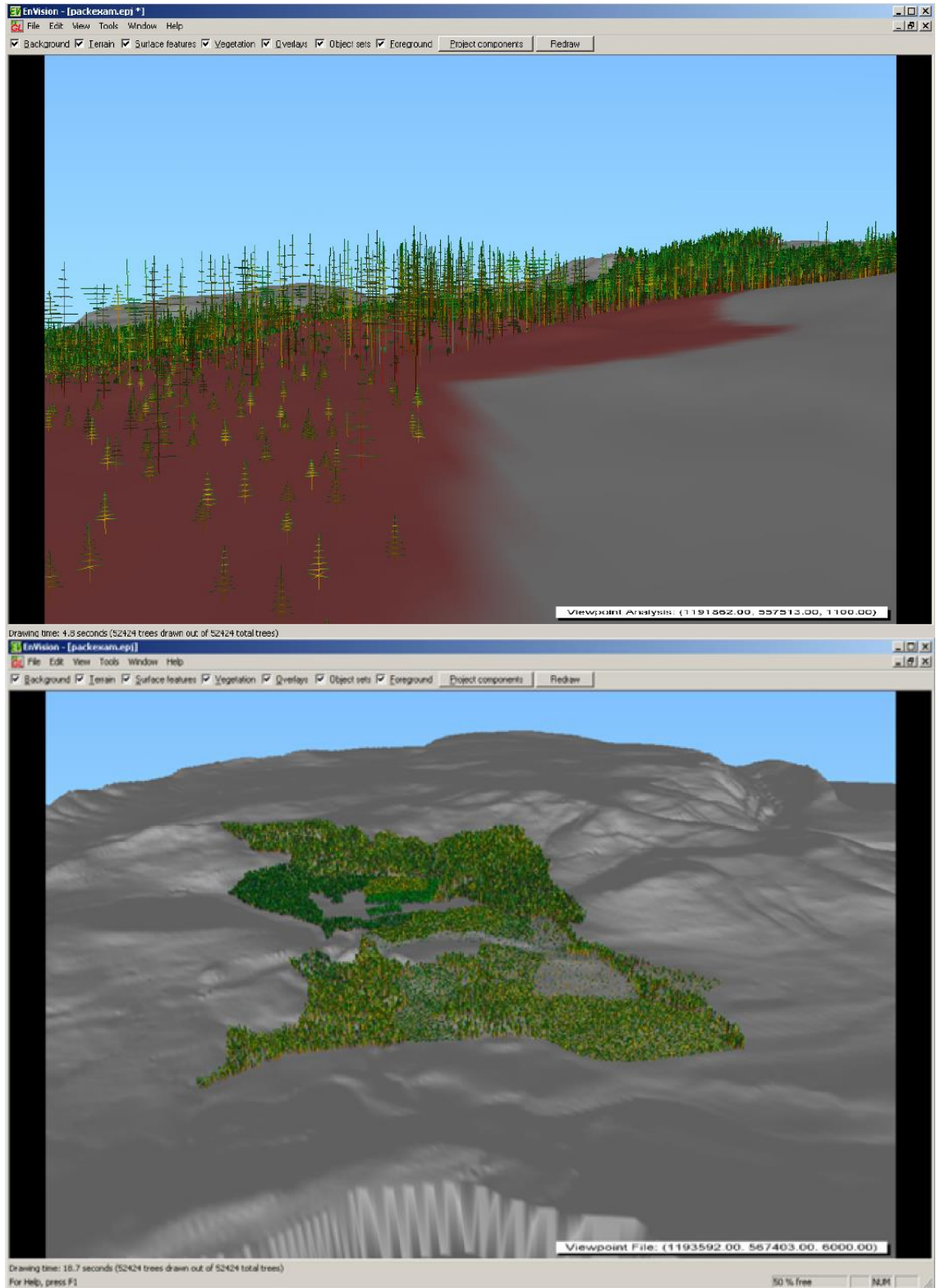
a)



b)

Şekil 1.20. a) Smart Forest b) Vantage point görselleştirme sistemlerinden bir görüntü.

Bunların yanı sıra Envision (Şekil 1.21) ve ESRI uygulamaları da görselleştirme yapabilecek kapasitededir ve ESRI yazılımları, 3B görselleştirme imkânı vermektedir.

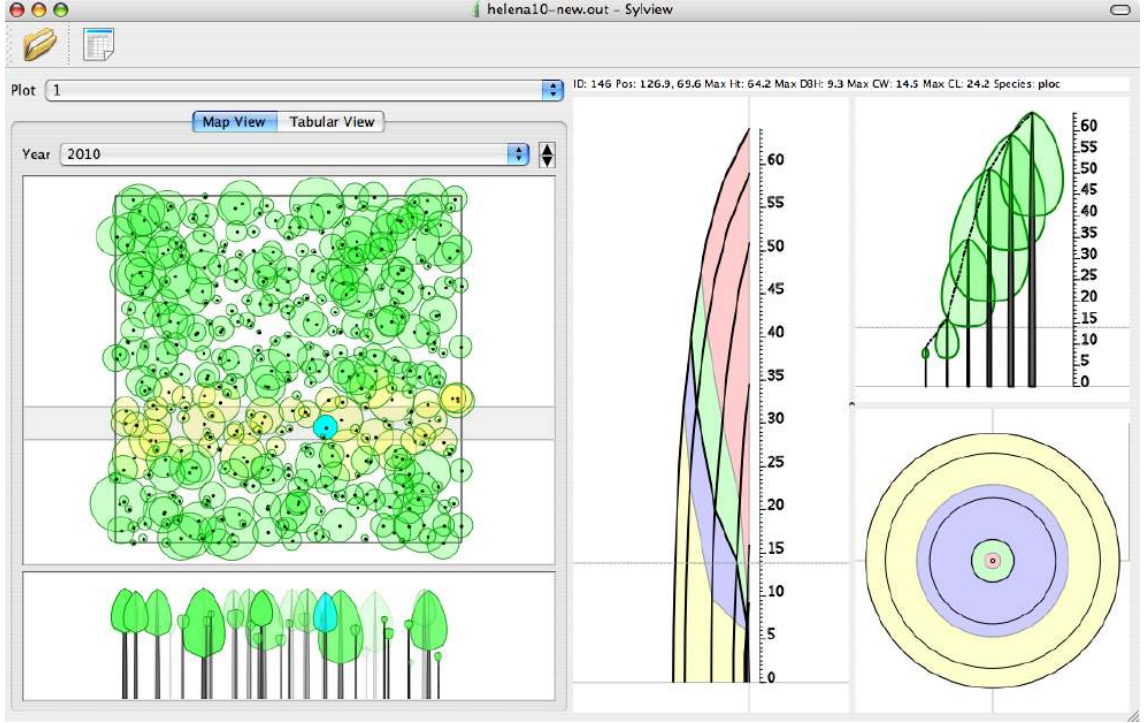


Şekil 1.21. Envision uygulamasıyla ilgili görüntü.

Başka bir çalışmada Scott (2006) ise, çok platformlu bir yazılım olan Sylvview yazılımını geliştirmiştir. Bu yazılımın temelinde, adını da aldığı Sylvan büyüme modeli yer almaktadır ve asıl amacı arazideki ağaç verilerini incelemek, büyümelerini



değerlendirmektir. Yazılım; ağacın gövde formu (yaş halkaları), tek ağaç halinde ağaçların büyüme şekli ve meşcere ölçeğinde inceleme gibi konularda değerlendirme yapmaya elverişli olacak şekilde tasarlanmıştır. Ancak, koordinatlı 3D arazi yüzeyi ve bunun üzerinde yer alan orman yapısını, 3D ortamda görselleştirerek, gezinmeye elverişli, interaktif bir yüksek görsel kaliteli sanal ortam sunmamakta ve gerçekçi canlandırma efektleri ile silvikültürel işlemler yapamamaktadır (Şekil 1.22).



Şekil 1.22. Sylview yazılımından bir ekran görüntüsü (Scott, 2006).

## 1.7. ORMANCILIKTA BAKIM VE DEVİRME UYGULAMALARI

Bakım uygulamaları, ormanın birbirinden farklı karakteristiklerine ve yönetim hedeflerine göre kararlaştırılan karışık bir faaliyettir. Bu faaliyetler ormanların koru, baltalık ve korulu baltalık olmasına göre farklı şekilde gerçekleştirilmektedir. Koru ormanlarında, farklı yaşlı ormanlarda ağaçların görevlerine bağlı olarak kesme faaliyetleri gerçekleştirilirken aynı yaşlı meşcerelerde kesim alanları oluşturularak gelişme çağlarına bağlı olarak işlemler yapılmaktadır. Bununla birlikte baltalık ormanlarda, çap odaklı uygulama planı gerçekleştirilmektedir. Meşcerenin her bir özelliği (çap, boy, yaş vs.) gerçekleştirilecek silvikültürel uygulamanın belirlenmesinde önem arz etmekte ancak, meşcere özellikleri içerisinde yaş en büyük öneme sahip olmaktadır. Baltalık ormanlarda da genel olarak öne çıkan kriter yaş olmakta, aynı yaşlı

ve farklı yaşı olma durumuna göre planlama yapılmaktadır. Korulu baltalıklarda ise, baltalığın idare süresi kadarlık aralıklar ile kesimler yapılmaktadır ancak, baltalık kesimi baltalık tabakasında yapılırken koru tabakasında istenilen çapa ulaşan ağaçlar kesilmektedir (Odabaşı vd., 2004).

Devirme uygulamaları, kazaya açık olması nedeniyle dikkatle planlanması gereken bir uygulamadır. Bu planlamada kesim öncesi sahanın eğimine bakılmalı, etraftaki kaya, ağaç devrikleri, gençlik gibi engellerin tespiti, etraftaki ağaçlar ile temas, arazi yüzeyinin şekli, araziden çıkarma yönü gibi parametreler göz önünde bulundurulmalıdır. Devirme faaliyetlerinde yön mümkün mertebe doğru belirlenmeli ve imkan varsa ağacın doğal devrilme yönüne doğru işlem yapılmalıdır aksi durumda fazladan ekipman, bilgi, yetenek ve tecrübe gerekmektedir. Sonuç olarak en ideal devirme faaliyeti, ağaçta minimum hasar bırakandır. Ağaç devirme işlemlerinde ağacın hasar almaması büyük öncelik olduğu gibi personelin korunması da yüksek önem arz etmektedir. Bu nedenle devirme esnasında personele güvenli bir kaçış yolu belirlemek gerekmektedir. Bu bağlamda, devrilen ağaçtan minimum 6 m uzaklaşılmalı ve ağacın arka kısmından 45 derecelik açıyla kaçış yolu izlenmeli, mümkünse bu yol temizlenmelidir (Engür, 2014).

## **1.8. ORMANCILIK OPERASYONLARININ GÖRSELLEŞTİRİLMESİ**

Ormancılık operasyonları, birçok farklı bilginin (çap, boy, yaş, tür, sıklık, eğim, yüzey şekli) yer aldığı detaylı verilerin ve bunlar arasındaki ilişkilerin incelenmesinin sonucunda gerçekleştirilmektedir. Bu verilerin toplanması ve değerlendirilmesi ormancılığın temel ancak zorlu işleri arasında yer almaktadır. Ormanlar hakkındaki veriler farklı şekillerde ve hızla toplanıyor olsa da, toplanan verilerin, planlanması gereken ormancılık operasyonlarının, ormanların yapısındaki değişimlerin ve bunları etkileyen etkenlerin anlaşılması halen zor gelmektedir. Bu verilerin ekolojik bilgilerle entegre şekilde kullanılmasında uzun bir geçmişi olan orman modelleri ise, birçok ampirik araştırmanın yapamadığı şekilde orman değişimlerini simüle edebilmektedir (Maréchaux vd., 2021). Gençleştirme, ölüm, ağaç büyümesi gibi durumları temsil etme açısından ve orman yönetim faaliyetlerinin, gelecekteki orman durumuna etkisini değerlendirme açısından çok önemli olan modellerin (Bugmann vd., 2019), etkili ve anlaşılır bir şekilde sunulması gerekmektedir. Çünkü insan beyni karmaşık analiz sonuçlarını kolay algılayamaz ve bu durum; personelin/öğrencilerin yetersiz

eğitilmesine, planların hatalı tasarlanmasına, yapılacak faaliyetlerde kazalar oluşmasına neden olur. Dolayısı ile ormancılık operasyonları için yapılan bütün analizlerin; metin ya da tablo formatında sunulması yerine, 3B kaliteli grafiklere sahip simölasyonlarla sunulması gerekmektedir. Ormancılıkta düşük maliyetli ölçme mantığının yatkın olması nedeniyle, güvenilir ve kolay kullanılabilir orman simölatorlerinin geliştirilmesi, ekonomik açıdan da önemli bir konumda yer aldığı (Muys vd., 2010) gibi silvikölterel faaliyetlerin hassas bir şekilde gerçekleştirilmesi açısından da önemli bir pozisyonadadır. Çünkü birçok farklı amaçta ve özellikle ormanlar olduğu düşünölldüğu zaman silvikölterel problemler aşırı karmaşık yapıda olabilmektedir bu nedenle sezgisel ya da şematik çözümler, yapılacak faaliyetleri tasarlamak için yeterli değildir (Vacik & Lexer, 2001). Birçok ekolojik ve ekonomik yönü olan ormanların yönetilmesi için alınan kararlar, büyük alanları uzunca bir süre etkileyebilmekte ve bir alanda yapılan ormancılık uygulamaları, ilerleyen zamanlarda diğer bölümlerde yapılanlara tesir edebilmektedir. Bu yüzden faaliyetler yapılırken, eş zamanlı olarak birçok değişken dikkate alınmalıdır (Eriksson & Borges, 2014). Bu kapsamdaki hesaplamalar yüksek bilgisayar gücü gerektirebildiği için geçmişte simölasyon teknikleri çok popüler olmamıştır. Ancak bilgisayar teknolojisinde artan gelişmeler nedeniyle gerçekçi işlemler, kaliteli kullanıcı ara yüzleri ve hassas-güçlü hesaplama kapasitesine sahip araçlar imkânlı hale gelmiş, ormancılık faaliyetlerinde kullanılabilecek, karar vermeye yardımcı simölasyonların üretilmesine yönelim oluşmuştur (Muys vd., 2010).

Silvikölterel faaliyetlerin doğru planlanabilmesi için işlem yapılacak ağaçların detaylı ve yüksek hassasiyet ile seçilmesi gerekmektedir. Bu yüzden ağaçların seçim işlemi, içinde bulunduğu alanın sıklığı, etraftaki engel olabilecek yapay ya da doğal engeller/objeler dikkate alınarak yapılmalıdır. Ormanda bulunan her bir ağaç bu analizlere tabi tutulmalı, ağaçların çap, boy, yaş değerleri ve ağaçların birbirleri ile olan ilişkileri incelenmeli, ağaç seçimi bu sonuçlara göre yapılmalıdır. Dolayısıyla, bu detaydaki bir analizin hatasız yapılması ve sonuçlarının anlaşılır olabilmesi için, bilgisayar destekli hesaplama tekniklerinden yararlanılmalı, 3B görsel sonuçlar veren karar destek sistemleri kullanılmalıdır. Bu sayede, sonuçların daha iyi anlaşılması, detayların görölmesi ve konunun ilgililere daha iyi aktarılması sağlanmış olacaktır.

Silvikölterel faaliyetler için işlem yapılacak ağaçların belirlenmesini, ağaç devirme uygulamaları takip etmektedir. Kazaya oldukça açık doğası nedeniyle, ağaç devirme uygulamalarının büyük bir dikkatle yapılması gerekmektedir. Çünkü ormancılık

işlerinde, engebeli arazi ve zor koşullar nedeniyle diğer sektörlerle göre daha fazla kazaya maruz kalınmaktadır (Garland, 2018). Ağaç devirme uygulamaları kalan ormana zarar verebilmekte, çıkarılan ürünün değerini azaltabilmekte ayrıca, oluşan kaza ve yaralanmalar ile orman işçilerinin güvenliğini etkileyebilmektedir. Ormancılık faaliyetlerinde meydana gelen kaza ve yaralanmaların çoğunun ağaçların istenilen yöne devrilmemesinden kaynaklandığı düşünüldüğü zaman, devirme yönünün belirlenmesinin kalan meşcere de ağaç hasarını azaltma (Naghdi vd., 2016) ve beklenmedik kazalardan kaçınma (Blombäck, 2002; Tavankar vd., 2013; Newman vd., 2018; Nagao & Yamada, 2019) adına çok önemli bir karar olduğu görülmektedir. Ağacın hangi yöne düşeceğini kestirememek, ormancılıkta meydana gelen birçok ölümlü kazada önemli rol oynamasına rağmen, ağaç kesimine olan gereksinimin artması ve personelin yaşlanmasına bağlı olarak eğitilmiş ekip sayısının azalması, orman yöneticilerinin kısa sürede yeni ekipler yetiştirmesini gerektirmekte ve bu durum personellerin eğitiminde ve tecrübe kazandırılmasında yetersizlikler doğurmaktadır. Böylelikle, ölümlü kazaların ve ağaç hasarlarının çoğu, ağaçların hasadı/devrilmesi sırasında meydana gelmektedir (Nagao & Yamada, 2019; Suhurtana & Yuniawati, 2019; Tobita vd., 2019). Devirme operasyonlarında meydana gelen önemli sayıdaki ölümlü kazanın ana nedeni, operasyonun büyüklüğü fark etmeksizin devirme yönlerine ilişkin yanlış kararlardır (Lindroos, 2006). Ormancılık faaliyetlerinde güvenlik her geçen gün artsa da kazaların sıklığı sabit kalmaktadır. Örneğin, gelişmekte olan ülkelerde ağaç devirme, tüm orman kazalarının neredeyse yarısı kadarken (Blombäck, 2002), ABD'de bu durum, 2016 yılında tomruk işçileri için ölümcül yaralanma oranı 100.000 işçide 136'dır (Newman vd., 2018). Ayrıca ağaç devirmenin diğer birçok ölümcül olmayan kazayla da yakından ilişkili olduğu bildirilmiştir (Lindroos, 2006). Nagao ve Yamada (2019) tarafından 1000 orman işçisi ile yapılan bir araştırma, kaza sıklığının %30 olduğunu ve diğer tüm sektörlerden 12,5 kat daha fazla olduğunu göstermiştir. Ayrıca ölümlü ağaç kazalarının %33'ünün öngörülemeyen devirme yönü nedeniyle meydana geldiğine dikkat çekilmiştir.

Ağaç devirme faaliyetlerinin çevresine ve çıkarılacak ağacın kendisine zarar vermemesi için, çok parametrelili ve karmaşık olan değerlendirmeler ile planlanması gerekmektedir. Bu planlamalarda ağacın devrilme yönü analiz edildiği gibi, devirme esnasında riskli olan sahanın ve personelin kaçması için güvenli olan güzergâhında belirlenmesi gerekmektedir. Bu hesaplamaları en iyi şekilde yapabilmek için; ağaçların çap ve boyu,



ormanın sıklığı, eğim, yeryüzü şekli, yakında engel-obje olma durumu gibi farklı parametreler değerlendirmeye alınmalıdır (Engür, 2014). Dolayısıyla, oldukça karmaşık bir analizin başarılı bir şekilde yapılması ve çıktılarının algılanabilir olması için, bilgisayar destekli hesaplama tekniklerinden faydalanılmalı, 3B görsel sonuçlar veren kadar destek sistemleri geliştirilmelidir.

Bu tezde bilinen diğer çalışmaların aksine; SAM verisindeki bilgilere tamamen bağlı olarak, koordinatlı, 3B, gerçeğiyle aynı olacak şekilde yüzey modelini oluşturacak ve üzerinde gerçek konumları - özellikleri ile ağaçları konumlandırarak, yüksek grafik kalitesi ile görselleştirebilecek “ForSim” adında bir yazılım geliştirilmiştir. Ağaçların, karakteristik detaylarıyla birlikte gerçek konumlarına atanması için, arazi etüdü sonrası elde edilen veri tablosu (konum, tür, boy, yaş, taç genişliği ve çap) modelleme aşamasında işlenmektedir. Bu sayede, tamamen gerçek ve koordinatlı bir 3B sanal orman ortamı oluşturulmuştur. Bu ortam içerisinde silvikültür faaliyetlerinin yanı sıra, devirme uygulamalarını da gerçekleştirebilmek için, “ForSim yazılımından bağımsız olarak ta çalışabilen “DEVİR” adında bir araç geliştirilmiştir. “ForSim” ve “DEVİR”; sıklık bakımı, gençlik bakımı, aralama ve ağaç devirme gibi faaliyetleri interaktif biçimde canlandırma ve uygulama imkânı veren, kullanıcı merkezli, ormanda gezinmeye ve incelemeye elverişli simülasyonlar olarak geliştirilmiştir. Bu program; öğrencilerin eğitilmesi, uygulayıcıların daha sağlıklı plan yapması, insan gözüyle fark edilemeyecek detayların görülmesi ve sonuçlarının öğrenilmesi ya da her ihtimalin zarar verilmeden denenerek tecrübe edilmesi gibi açılardan önemli faydalar sağlayacaktır. Eğitimde uygulama açığı azaltılacak, görerek tecrübe edilmesi sağlanacaktır. Faaliyetlerin paydaşlara açıklanması aşamasında daha etkili ve akılda kalıcı bir sunum yöntemi oluşturulmuş olacaktır.

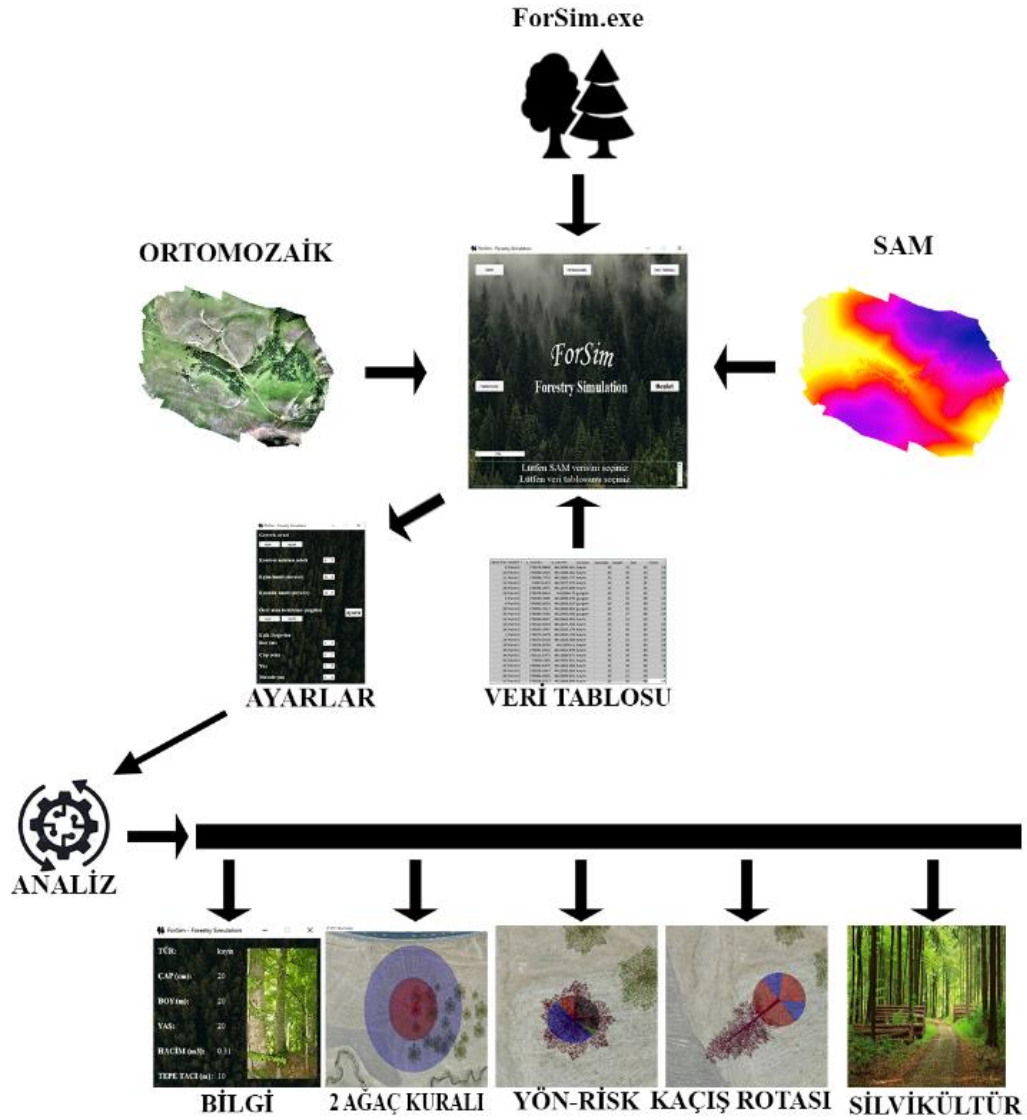
## 2. MATERYAL VE YÖNTEM

Bu tez çalışmasında; Intel i5-7400 3.0 GHz (4 çekirdek) işlemci, 8GB ram, Intel HD graphics 630 128 MB (VRAM) dâhili ekran kartı ve Windows 10 işletim sistemine sahip bilgisayar kullanılmıştır. Tanıtım bölümünde kullanılan verinin temin edilmesi için DJI Mavic Pro model İHA ile Türkiye'nin Erzurum ilinde uçuş yapılmış, sayısal ortomozaik ve SAM verileri üretilmiştir. Tanıtım bölümünde; "ForSim" ve "DEVİR" gerçek dünya koordinatlarına sahip ancak yapay olarak tanımlanmış ağaçlardan oluşan bir veri seti ile çalıştırılmıştır. Örnek alanda gerçek dünyada karşılaşılan detayların bulunmasına dikkat edilmiştir. Bu nedenle ağaçların devrilmesinin tercih edilmediği yol ağı (otoyol) ve dere gibi detayların olduğu saha seçilmiştir. Bu çalışmada geliştirilen yazılım, altı alt aşamada detaylarıyla tanıtılmıştır. Bölüm 2.1 de "ForSim" simülasyonunun tanıtımı, bölüm 2.2 de 3B arazi modelleme ve meşcere görselleştirme, bölüm 2.3 de ağaçların seçimi, bölüm 2.4 de silvikültür aracı anlatılmıştır. Bölüm 2.5 de özel alanlar için çizim aracı anlatılmış, bölüm 2.6 de ise devirme aracı anlatılmıştır.

### 2.1. "ForSim" SİMÜLASYONUNUN TANITIMI

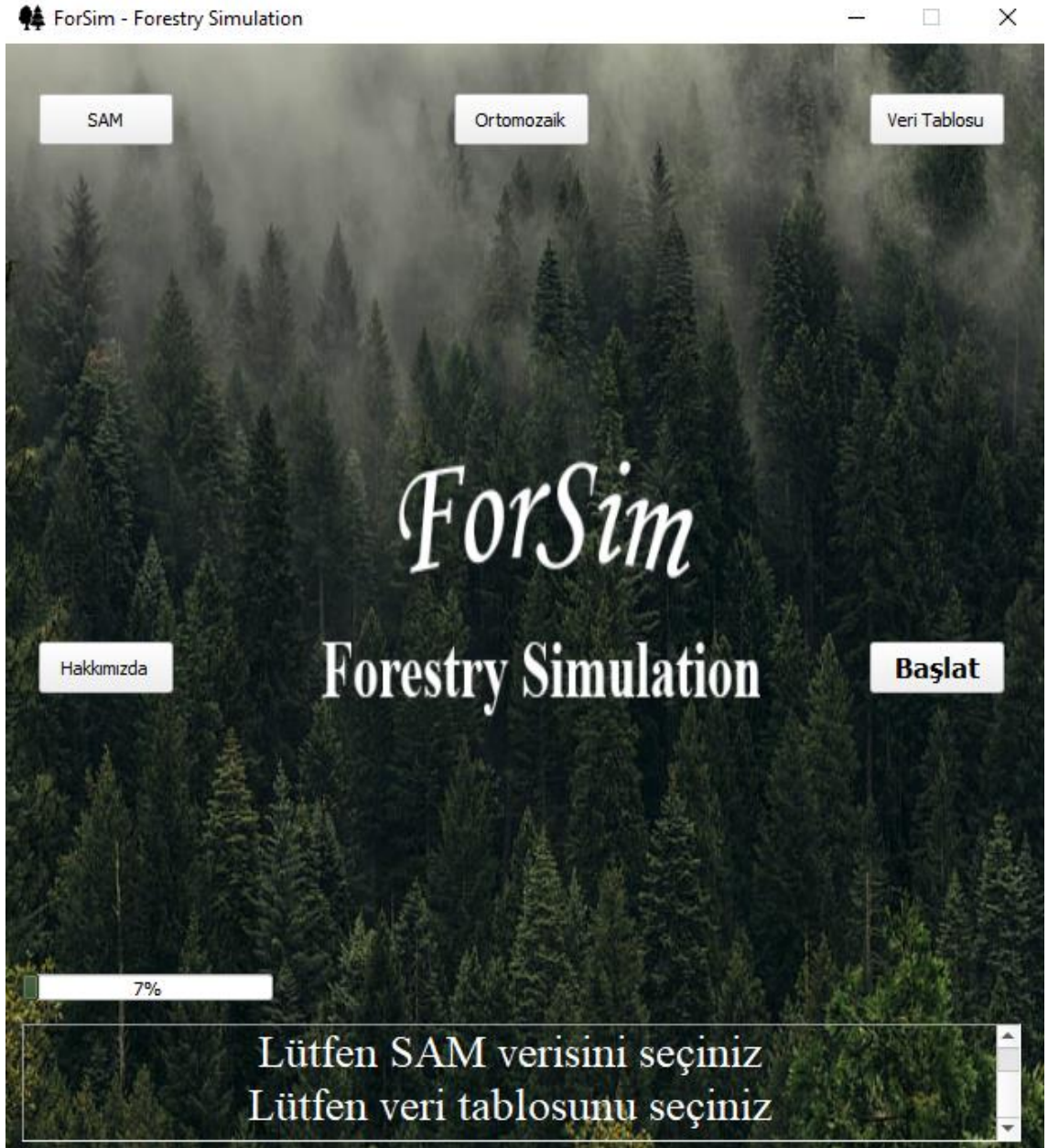
"ForSim", ormancılık öğrencilerini ve personellerini eğitme, ormancılık faaliyetlerini doğru ve hassas bir şekilde planlama, tehlike unsurlarını belirleyerek önlemler tasarlama ve yapılacak faaliyetlerin bilgisayar grafikleri ile simüle edilmesi amacıyla geliştirilmiştir. "ForSim"; gençlik bakımı, sıklık bakımı, ışıklandırma, aralama gibi faaliyetlerin gerçekleştirilebilmesi, ormanda etkileşimli şekilde gezinme-inceleme yapılabilmesi ve seçilen ağaçlar hakkında detaylı bilgi alınabilmesi amacıyla özel olarak tasarlanmıştır. Silvikültürel müdahalelerin yapılacağı ağaçların belirlenmesini takiben, kesim ve devirme işlemlerini animasyonlu şekilde gerçekleştirebilecek araçlar, yazılıma dâhil edilmiştir. Bu araçlar; optimal devirme yönünü bulmak için ağacın düşebileceği tüm yönleri analiz edebilmekte, ağacı kesen ekibin kaçış yolunu belirleyebilmekte ve devirme işlemi sırasında tehlikede olan alanı hesaplayabilmektedir. Ayrıca mevcut ve çıkan emvalin hacim bilgisini de sağlamaktadır. Hesaplamaların sonuçları 3B Sanal ortam içerisinde görsel bir şekilde sunulmaktadır.

"ForSim", herhangi bir ücretli API, kütüphane, program veya lisans gerektiren araçlar kullanılmadan, açık kaynak kodlu "numpy, pandas" gibi temel kütüphaneler kullanılarak Python programlama dilinde geliştirilmiştir. Windows işletim sistemi için geliştirilmiş, birbirine bağlı birçok komut dosyası, işlev ve farklı veriden (ağaçlar için depolanan veriler, renk ayarları ve düzensiz üçgenler ağı verileri vs.) oluşan bağımsız bir yazılımdır. Programda dışardan müdahaleler kullanıcının sadece temel özelleştirmeleri yapabileceği şekilde sınırlandırılmış, böylelikle program mümkün olduğunca basitleştirilerek kullanımı ve anlaşılması kolaylaştırılmıştır. Bu amaçla arka planda çalışan birçok hesaplama/işlem (önceki bölümlerde arka plan işlemleri ile ilgili açıklamalar yapılmıştır) kullanıcı için otomatikleştirilmiştir. Basit bir iş akışı (Şekil 2.1) ile birlikte, yalın bir GUI son kullanıcıya sunulmuştur.



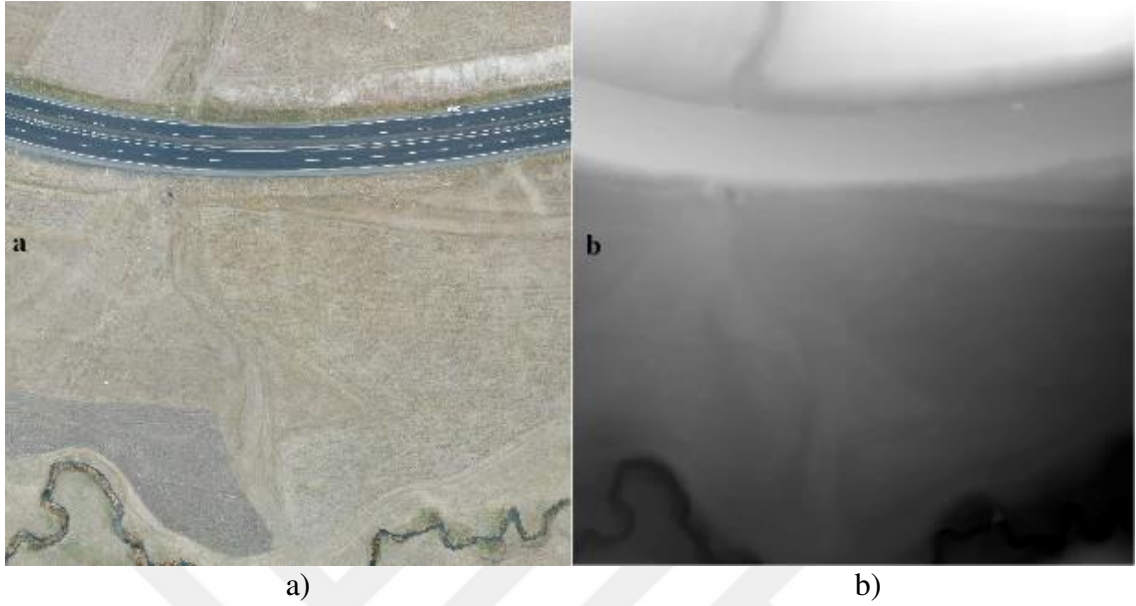
Şekil 2.1. GUI aracılığıyla gerçekleştirilen iş akış şeması.

Yazılım kurulumdan sonra çalışmaya hazır duruma gelmektedir. "ForSim.exe" ile yazılımın çalıştırılmasını takiben, gerekli tüm öncü modüller (örn. analiz, dosya okuma, içe aktarma araçları) etkinleştirilmekte ve GUI başlatılmaktadır. Programın ilk aşamasında GUI'de; veri girişi ve analizini başlatmak için düğmeler, uyarılar-hatırlatıcı notlar için bilgilendirici metin bölümü (bilgi paneli) ve işlem durumu için bir gösterge çubuğu bulunmaktadır. Sade ve kullanıcı dostu olan GUI (Şekil 2.2), mümkün olduğunca kullanıcı hatasına izin vermeyecek şekilde (örn. işlemlerin sıralı olarak yapılması) tasarlanmıştır.



Şekil 2.2. GUI ana ekranı.

GUI'deki veri seçme butonları ve araçlarının yardımıyla; gerekli ağaç bilgisini içeren veri tablosu, SAM ve ortomozaik (Şekil 2.3) verileri kolayca seçilebilmektedir.



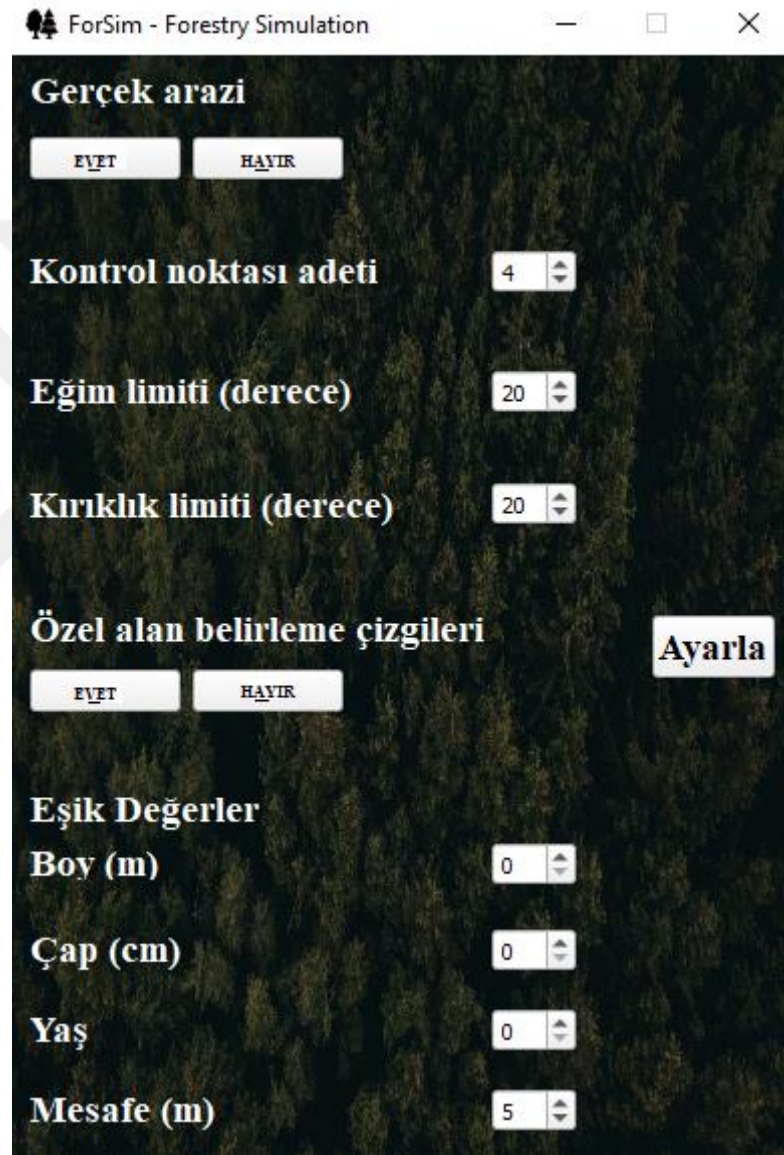
Şekil 2.3. Tanıtımda kullanılan a) Ortomozaik ve b) SAM verisi.

Seçilen SAM ve ortomozaik verilerinin ".tif" uzantılı, ağaç bilgilerini içeren tablonun ise ".csv" uzantılı olması gerekmektedir. Ortomozaik ve SAM verileri; sayısal ve aynı projeksiyon sisteminde olmalıdır. Yazılım, ortomozaik yerine herhangi bir formattaki (jpg, png, vb.) resim verilerinin kullanılmasını da desteklemekte, ancak araziyle aynı görünümü modellemek için ilgili alanı gösteren yüksek çözünürlüklü veri kullanılması önerilmektedir. Bununla birlikte, kullanılan SAM/ortomozaik'in kalitesi, yüzey görünümünü/kalitesini ve işleme/hesaplama hassasiyetini doğrudan etkilemektedir. Bu nedenle SAM çözünürlüğünün bilgisayar donanımına da bağlı olmak kaydıyla olabildiğince yüksek olması önerilmektedir.

“Başlat” butonu ile başlayan analiz süreci boyunca; veriler ve hesaplamalar ile ilgili bilgiler, bilgi panelinde kullanıcıya sunulmaktadır. İşlemin tamamlanmasını takiben, özel ayarlar ekranı (Şekil 2.4) açılmaktadır. Bu ekranda çalışılacak alanın gerçek mi yapay mı olduğu, devrilecek ağacın kaç noktasından çarpışma analizlerinin yapılacağı (kontrol noktası adeti), eğim limiti ve riskli yüzey kırıklığı seviyesi (kırıklık limiti), ÖABC çizme isteği, bakım seçimleri için boy-çap-yaş-mesafe eşik değerleri ayarlanabilmektedir. Bu eşik değerler “.csv” formatındaki veri tablosundan bağımsız seçilmekte, seçilen eşik değerlere göre değerlendirme işlemi daha sonradan yapılmaktadır. Sadece belirli bir değer üstündeki yaşa ya da çapa sahip ağaç varsa



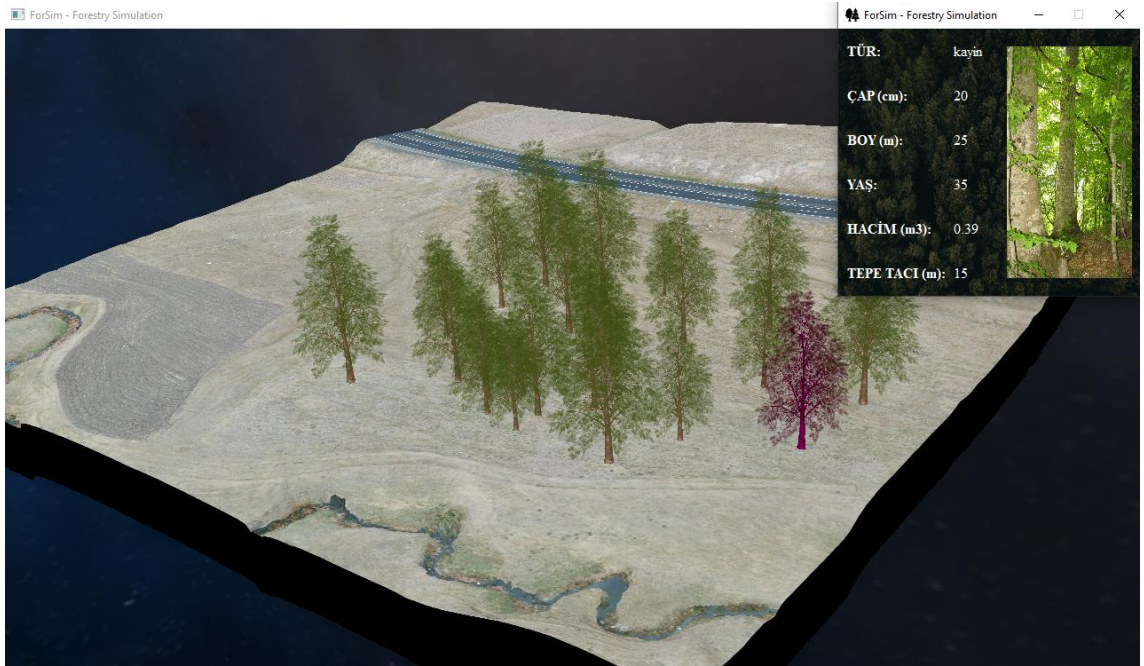
ıkarılması istenebilmekte aksi halde işlem yapmak istenmeyebilmektedir. Bu nedenle boy-çap-yaş-mesafe eşik değerlerinin belirlenmesi aşamasında, arazide bulunan ağaçların özelliklerinin dışındaki değerlerde dâhil olmak üzere istenilen değerler seçilebilmektedir. Ancak bu aşamada verilen “0” değeri özel olarak tanımlanmıştır ve ilgili parametreyi kapatmak (böyle bir çap, boy ve yaş olamayacağı için) için kullanılmaktadır, bu sayede ilgili parametre analize dâhil edilmemektedir.



şekil 2.4. Özel ayarlar ekranı.

Ayarların kaydedilmesinden (geçici olarak RAM'de) sonraki işlem, yüzey ve ağaç modellerinin oluşturulması ve 3D ortamın görselleştirilmesidir. Bu aşamada kullanıcının karşısına; simlasyon ekranı ve ağaç bilgi ekranı olarak tanımlanan iki ekran (şekil 2.5) ıkmaktadır. Simülasyon ekranının açılması ile analizler

başlatılabilmekte ve bakım müdahaleleri gerçekleştirilebilmekte, ormanda gezinme ve ağaçlar hakkında bilgi alma işlemleri yapılabilmekte, akış şemasında (Şekil 2.1) gösterilen ve ağaç devirme simülasyonu ("DEVİR") başlığı altında anlatılan 2 ağaç kuralı (devirme nedeniyle bulunmanın tehlikeli olduğu alan), yön-risk ve kaçış rotası (personel) sonuçları elde edilebilmektedir. Akış şemasındaki "Yön-risk", devrilecek ağaç ile ilgili yönlerin risk tehlike düzeyini göstermektedir. Ağaç bilgi ekranında, seçilen ağaç hakkında tür adı, çap, boy, yaş, hacim, tepe tacı bilgileri ve türe ait sembolik resim verilirken (ağaç seçildikten sonra ekranda bordo olarak görülmektedir), simülasyon ekranında ise iyi bir grafik kalitesi (Şekil 2.6, Şekil 2.7) ile bütün işlemler (devirme, inceleme, bakım) yapılmaktadır.



Şekil 2.5. Ana simülasyon ekranı ve ağaç bilgi ekranı (seçilen ağaç bordo renktedir).





Şekil 2.6. Bütün ağaç ve yaprak grafik kalitesi (uzak görünüş).



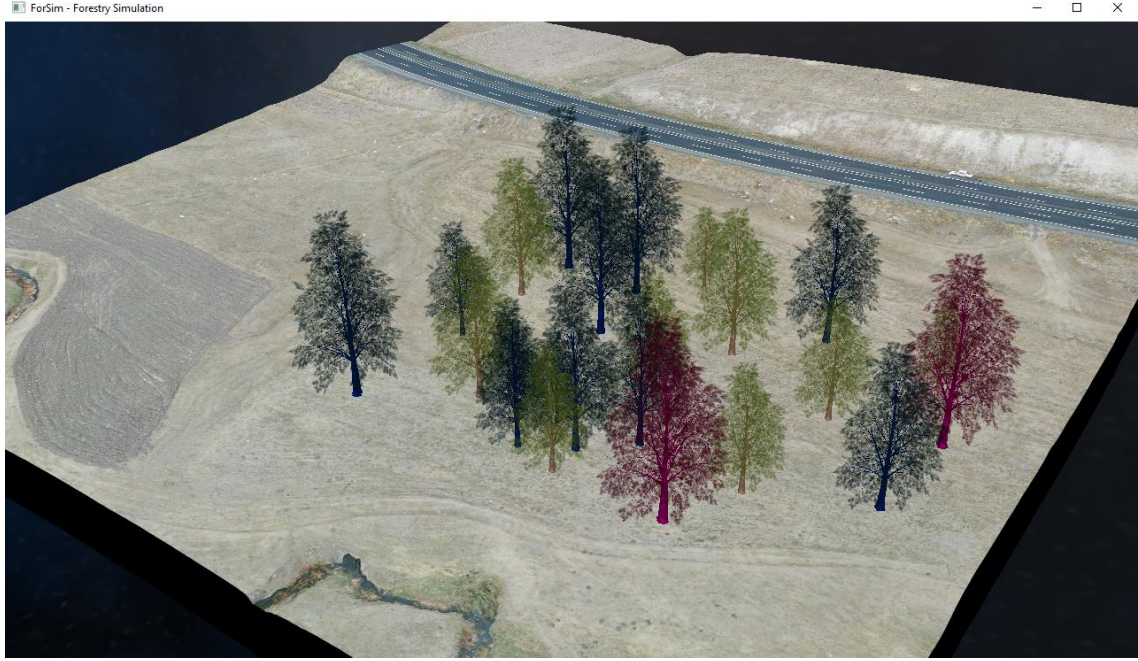
Şekil 2.7. Bütün ağaç ve yaprak grafik kalitesi (yakın görünüş).

### 2.1.1. Bakım Aracının Tanıtımı

Simülasyon ekranında bakım faaliyetlerinin gerçekleştirilmesi için, bilgisayar destekli ve/veya kullanıcının elle seçim yapması için imkânlar bulunmaktadır. Bu aşamada, kullanıcının seçtiği kombinasyon ve değerdeki parametrelere bağlı kalmak kaydıyla, yazılım işlem yapılacak uygun ağaçları seçebilmektedir. Ardından kullanıcı eğer isterse, seçili ağaçları değiştirebilmekte, kendisi de ekleme çıkarma yapabilmektedir. Bunların



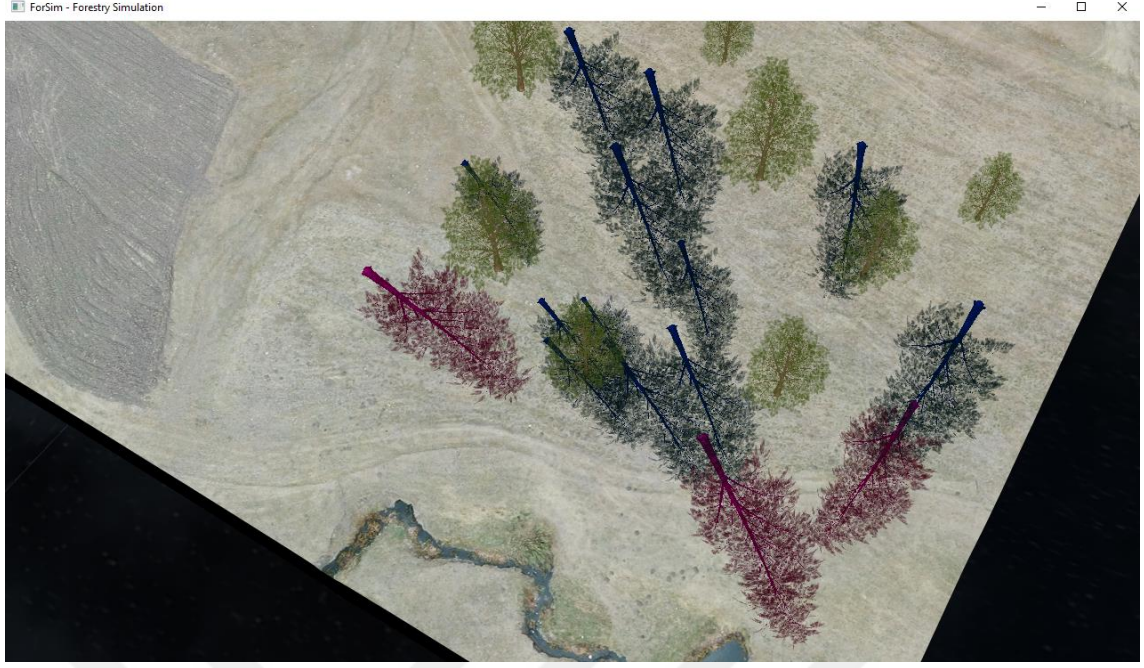
yanı sıra kullanıcı, bilgisayar desteği almadan seçimlerini kendisi de yapabilmektedir. Seçilen ağaçların detaylı bilgileri (hacim, çap, boy, vs.), her seçim ile birlikte ormandan çıkarılacak ve ormanda kalacak güncel emval bilgileri, kullanıcıya sürekli sunulmaktadır. Algılama kolaylığı açısından, bilgisayar hesabı ile seçilen ağaçlar koyu mavi, kullanıcının seçtiği ağaçlar ise bordo olarak simülasyon ekranında görselleştirilmektedir (Şekil 2.8).



Şekil 2.8. Silvikültürel müdahale için; ayarlanan parametrelere göre bilgisayar desteği (koyu mavi) ve kullanıcı tercihi (bordo) ile ağaç seçimi.

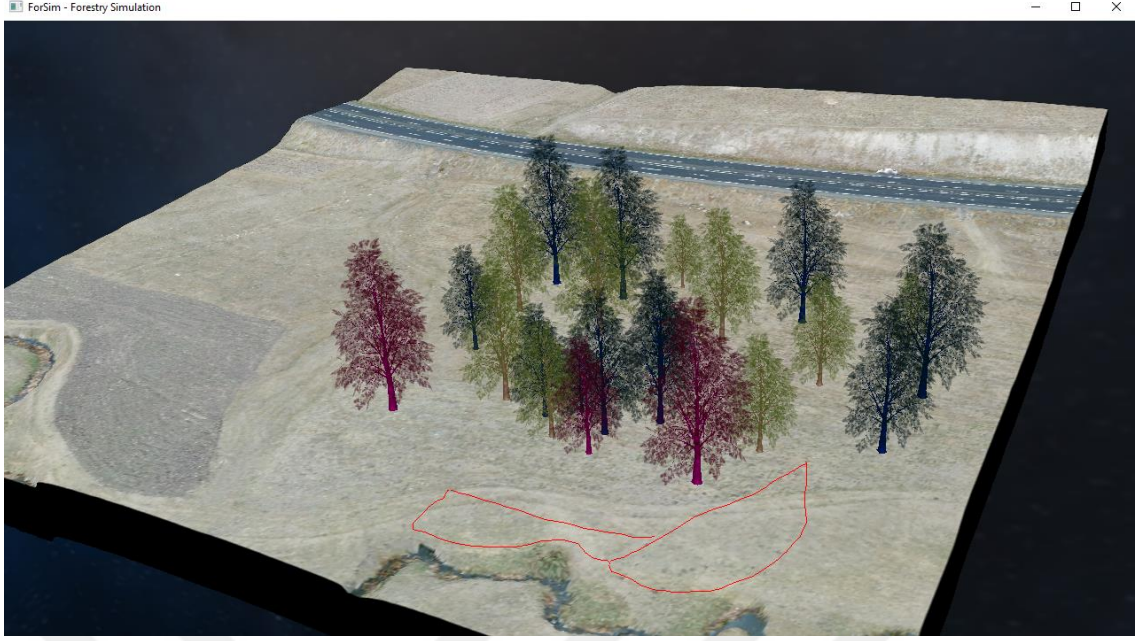
### 2.1.2. Devirme Aracının Tanıtımı

Ağaçların seçim işlemini kesme ve devirme faaliyetleri takip etmektedir. Bu işlem için basit devirme, gelişmiş devirme ve devirme simülasyonu (DEVİR) olmak üzere üç ayrı araç tasarlanmıştır. Bunlardan ilki olan basit devirme (Şekil 2.9) işleminde detaylı risk analizi yapmadan, ağaçlar seçilen yöne devrilmektedir.



Şekil 2.9. Basit devirme aracı.

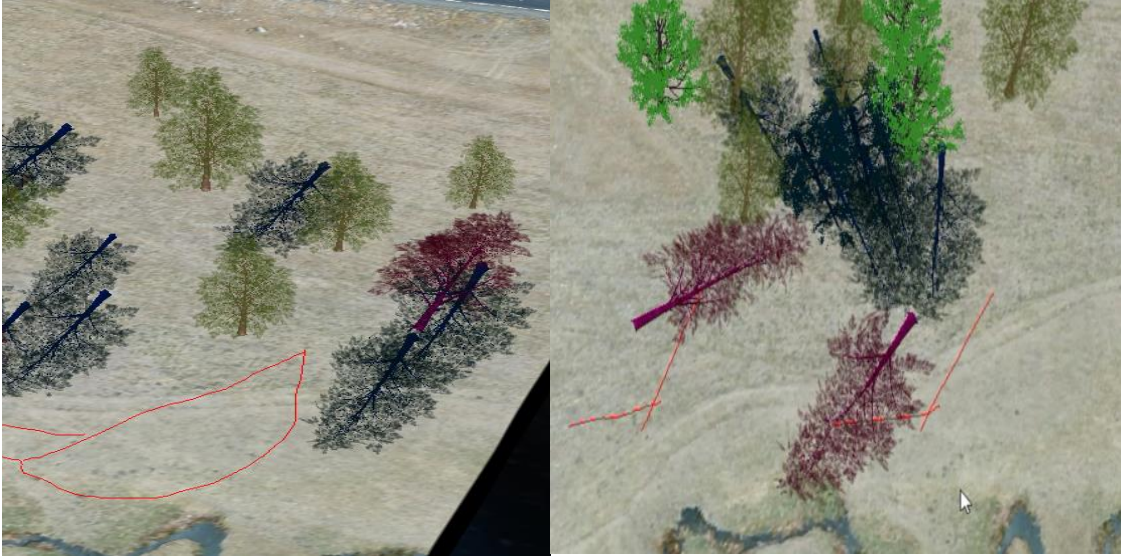
İkinci araç olan gelişmiş devirme işleminde, önceki bölümlerde anlatılan detaylı risk analizleri yapılmaktadır. Bu araçta, kullanıcının talebine göre belirli özelleştirmeler yapılabilmektedir. Örnek olarak, çeşitli nedenlerle (gençlik, beşeri yapı, kaya bulunması vs.) ağacın devrilmesinin istenmediği alanlar olabilir. Bu nedenle, devirme analizine başlamadan önce, geliştirilen çizim aracıyla (ÖABC - önceki bölümlerde çalışma tekniği anlatılmıştır) ilgili bölgeler belirtilmelidir. Devirme işlemi için birden fazla istenmeyen alan varsa ya da devrilmemesi çok daha önemli olan alanlar varsa kullanıcı çoklu çizimler yaparak ilgili alanların yerlerini (Şekil 2.10) belirleyebilmektedir.



Şekil 2.10. Ağaçların devrilmemesinin istendiği alanların çizimi.

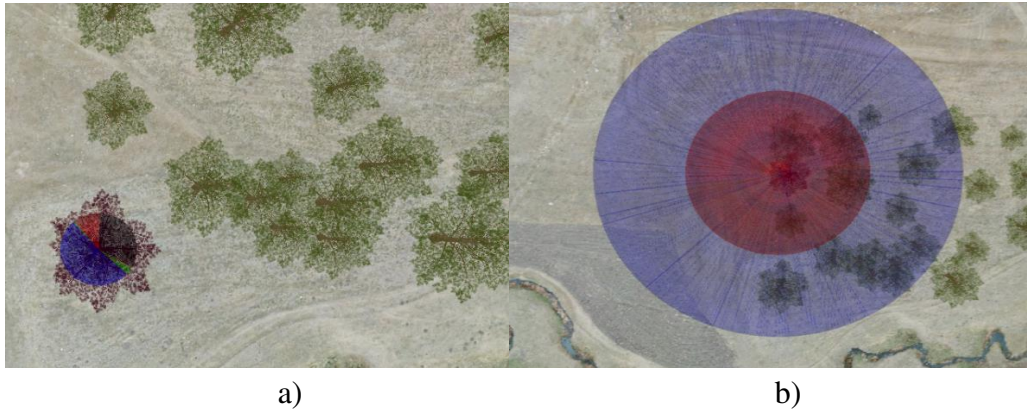
Risk analizlerinin tamamlanmasını takiben, devrilecek ağaç ile ilgili bütün yönler değerlendirilir ve başlangıçta kullanıcının seçtiği yöne en yakın ve en güvenli olan yön devirme işlemi için seçilir. “Space” tuşuna tıklanmasıyla birlikte, başta yavaş bir şekilde başlayıp gittikçe hızlanan bir hareket biçimiyle yani yer çekimi etkisi katılarak ağacın animasyonlu biçimde devrilmesi sağlanır. Devirme işlemi gerçekleştirilmiş ağaçlar Şekil 2.11 da gösterilmektedir. Şekil 2.11 da, kalabalık ağaçlık ortam olduğu ve her yönde de çarpışma durumunun olduğu görülmektedir. Dolayısıyla yazılım, yaprakları-dalları korumayı dikkate almamıştır ancak, gövde ile çarpışma gibi diğer parametreleri dikkate alarak olabilecek en az zarar için gövdeleri korumuştur. Yazılım, ağaçların gövdelerinin birbirine ve devirmenin istenmeyeceği alana temas etmemesi için gereken yönleri tespit ederek devirme işlemi için seçmiştir. Soldaki şekilde bordo işaretli ağacın, altındaki koyu mavi işaretli ağaca devirme esnasında çarpmaması için tersi yönde ve yanındaki ağacın gövdesine paralel gelecek şekilde devrildiği dikkat çekmektedir.





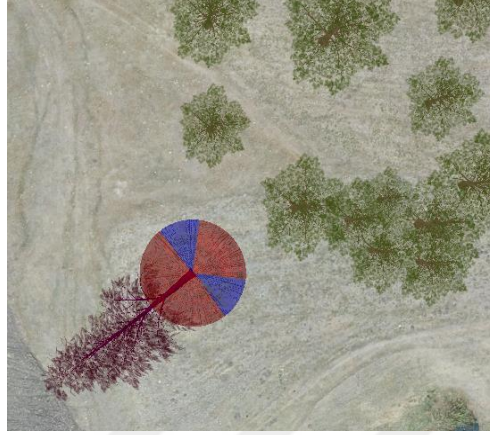
Şekil 2.11. Risk analizleri ile gerçekleştirilmiş gelişmiş devirme işlemi.

Üçüncü araç olan devirme simülasyonunda (DEVİR), gelişmiş devirme aracında olduğu gibi detaylı risk analizleri yapılmaktadır. Ancak bu araçta; iki ağaç boyu kuralı ve kaçış rotası değerlendirmelerinin yapılması, ağaca ait yönlerin risklerinin listelenmesi gibi özellikler olması nedeniyle, bu araç tek ağaç üzerinde çalışmaktadır. İşlem akışı şu şekilde ilerlemektedir; devrilmesi istenen ağaç seçilir, önceki bölümlerde anlatılan risk değerlendirmeleri yapılır, ardından sonuçlar görselleştirilir. Bu aşamada, kullanıcı hem optimum devirme yönünü hem de en elverişsiz devirme yönünü görebilmekte, görsel olarak sunulan yönlerin risk değerlerine (Şekil 2.12 a) bakarak, uygulanacak devirme yönünü seçebilmektedir. Kullanıcı tercih ederse; bu seçme işlemi, en uygun yön olacak şekilde yazılım tarafından da yapılabilir. İki ağaç boyu güvenlik kuralına dayalı, risk alanı analizinin sonucu Şekil 2.12 b’de gösterilmektedir.



Şekil 2.12. a) Devrilecek ağaçla alakalı yönlerin risk analizi b) İki ağaç boyu kuralına göre sahada risk alanı analizi.

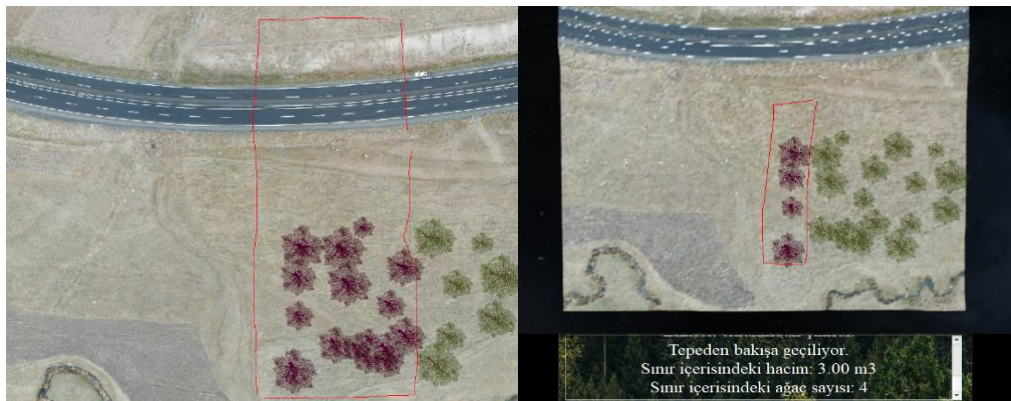
Ağacın devrilme anında, çalışanların sahadan en az riskle kaçmaları için tasarlanan kaçış yönü analizi ve devrilen ağacın görünümü Şekil 2.13 da gösterilmiştir. Şekilde kaçış yönleri mavi, riskli bölge ise kırmızı renk ile gösterilmiştir.



Şekil 2.13. Kaçış yönü ve devrilen ağacın görselleştirilmesi.

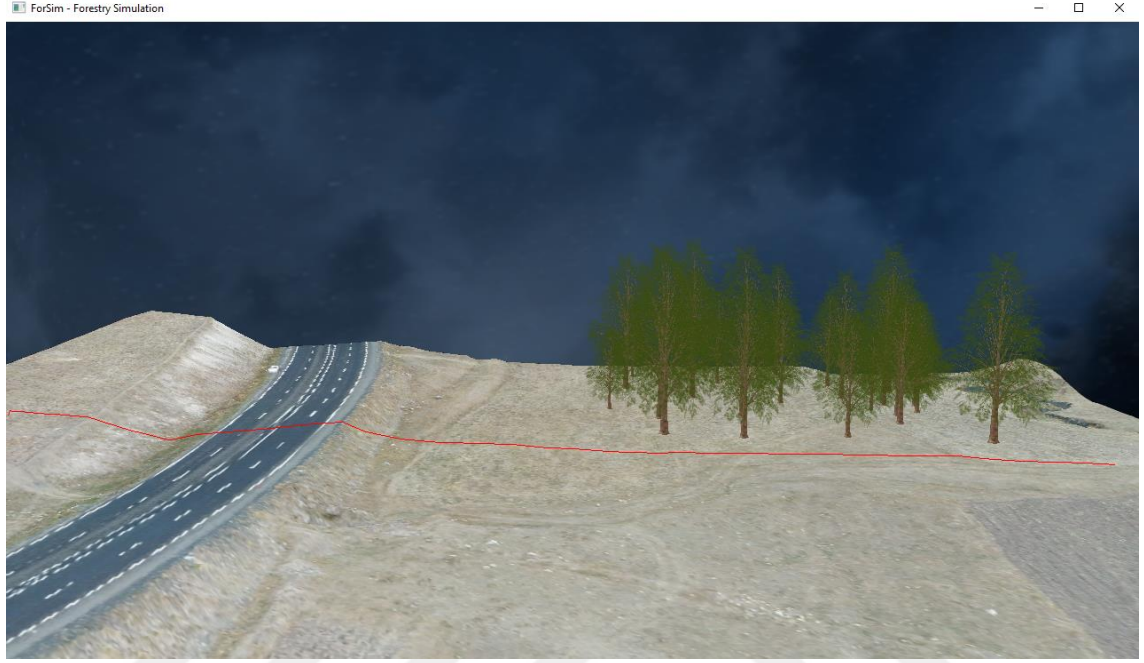
### 2.1.3. EnKesit Aracının Tanıtımı

Ormanın katmanlı yapısını anlamak, yaşlı ve genç birey dağılımını öğrenmek; ormancılık faaliyetlerini planlama sürecinde yardımcı olabilmekte ve elde edilecek ürün hakkında bilgi verebilmektedir. Bu nedenle, istenilen yerden ormanın enkesitinin alınması önem arz etmektedir. “ForSim” yazılımında, enkesit alma ihtiyacını gidermek için geliştirilen aracın ilk aşamasında; kullanıcı fare etkileşimi ile kesit alanını belirlemekte ve kesitinin alınması istenen bölgenin tepeden görünüşü gösterilmektedir (Şekil 2.14). Bu aşamada; kesit alanı içerisindeki toplam ağaç sayısı ve toplam hacim ( $m^3$ ) bilgisi (Şekil 2.14) verilmekte, kesit alanı içerisine giren ağaçlar bordo renkte gösterilmektedir.



Şekil 2.14. Kesit alanının tepeden görünüşü.

Enkesit aracının ikinci aşamasında; kullanıcının belirttiği sınırdaki, arazinin şekline (yükseklik bilgisine) bağlı kalacak biçimde bir çizgi oluşturulmaktadır. Ardından, bu çizgi doğrultusunda bakıldığında görülebilecek ağaçlar, taç ebatları ve boyları dikkate alınarak görselleştirilmektedir (Şekil 2.15).



a)



b)

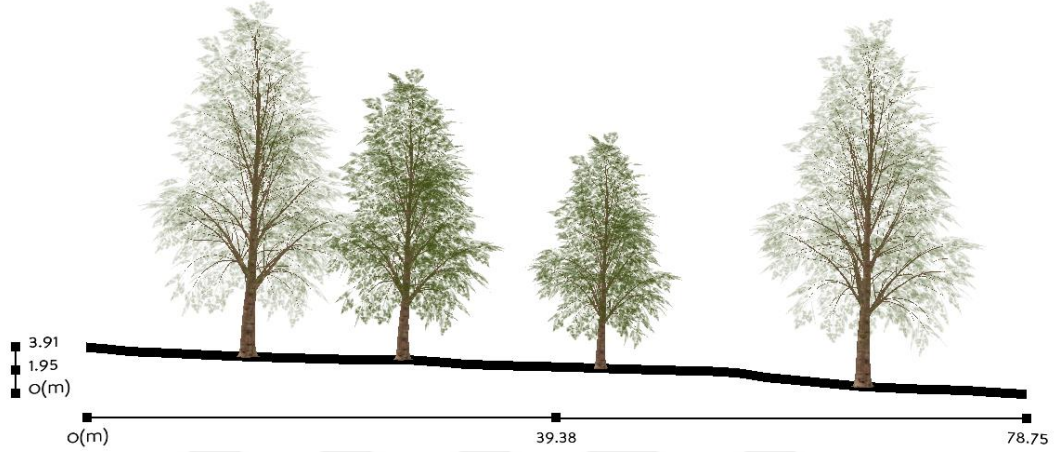
Şekil 2.15. a) Sınır çizgisinin çizildiği yer b) Enkesit.

Enkesit çıktısı, temelde 3B sanal ortamın 2B düzleme indirgenmesiyle sağlanmaktadır. Bu işlemin gerçekleştirilmesiyle derinlik algısı kaybolmakta, en uzaktaki ağaç ile en yakındaki ağaç arasında ki mesafe farkı anlaşılamamaktadır. Derinlik algısına katkıda



bulunmak için enkesit ekranında gösterilen ağaçların, bakılan yere göre mesafeleri hesaplanmaktadır. Bu hesap sonucunda en arkada kalan ağaçlar transparanlaştırılarak görselleştirilmektedir. Bu sayede, net görülen ağaçların yakında olduğu, saydam görülenlerin (Şekil 2.16) ise uzakta olduğu anlaşılmaktadır.

ForSim - Forestry Simulation

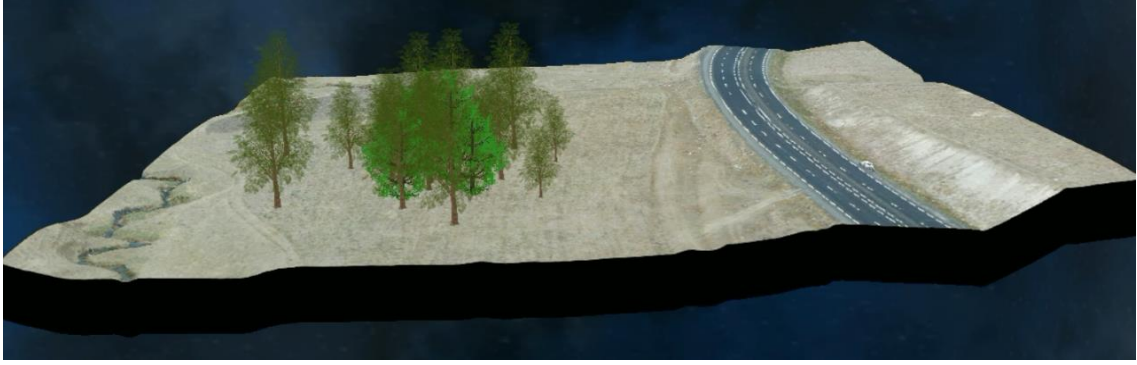


Şekil 2.16. Enkesit ekranında transparan ağaçlar.

Anlatılan araçların yanı sıra, “ForSim” yazılımında; fare ve klavye etkileşimi ile yazılım içerisinde; meşcerede istenildiği gibi dolaşılmasına, istenilen açıdan veya istenilen yerden bakılmasına (Şekil 2.17, Şekil 2.18), “jpg” formatında ekran görüntüsü alınmasına ve alanda kesilen ağacın çıkarılmasını takiben kalan orman görüntüsünün sunulmasına imkân verilmektedir.



Şekil 2.17. Farklı bakış açıları ile ormana bakış.



Şekil 2.18. Kesit görünüşü.

## 2.2. 3B ARAZİ MODELLEME VE MEŞCERE GÖRSELLEŞTİRME

Orman içerisinde gezinilebilmesi ve ormancılık faaliyetlerinin gerçekleştirilebilmesi için orman ve arazi modelinin bilgisayar ortamında 3B şekilde oluşturulması önem arz etmektedir. Bu işlemin gerçekleştirilmesi ve gerekli bilgilerin çıkarılması için, program bir takım veriye ihtiyaç duymaktadır. Bu nedenle, geliştirilen yazılım çalışma alanının ortomozaik ve SAM verilerine ihtiyaç duymaktadır. Yazılımın ilk aşamasında, SAM ve ortomozaik verileri “.tif” formatında ve projeksiyon ayarlamaları yapılmış olarak talep edilmektedir. Geliştirilen program ortomozaik verisi yerine herhangi bir resim formatında (png, jpg vs.) veri de kabul etmektedir.

İlk aşamada, alınan SAM verisinden bütün arazinin yükseklik bilgisi çıkarılmaktadır. Ardından yükseklik bilgisine SAM verileri aracılığıyla X ve Y konum bilgileri eklenmekte ve 3B uzayda konumlanabilecek noktalar olarak ön bellekte (ram=rastgele erişimli hafıza) matris şeklinde saklanmaktadır. Bu şekilde SAM'in boyutuna bağlı olarak büyük bir nokta matrisi (nokta bulutu) üretilmektedir. Sonraki aşamada, noktalar üçgen şeklinde birleştirilerek düzensiz üçgen ağı (Triangulated Irregular Network: TIN) üretilmektedir. Ortomozaik verisinin üretilen TIN üzerine yerleştirilmesiyle gerçek arazi yüzeyindeki doku TIN e aktarılmakta ve gerçeğe benzer arazi yüzeyi oluşturulmaktadır. Farklı çözünürlükteki sayısal veriler (SAM, ortomozaik) kullanılarak modelleme işleminin başlangıcından, modelleme sürecinin bitimine kadar olan zaman aralığında yürütme süresi ölçülerek performans değerlendirmesi yapılmış, sonuçlar bulgular bölümünde açıklanmıştır.

SAM ve ortomozaik verisi ile 3B arazi yüzeyi modeli üretildikten sonra orman yapısının üretilmesi ve arazinin üzerine konumlandırılması gerekmektedir. Bu amaç için gerekli ağaç modellerinin temel yapısı (gövde, dal, yaprak formu, tekstür), açık kaynak kodlu

olması nedeniyle tercih edilen “Blender” adlı yazılımda, bu tez kapsamında çizilerek modellenmiştir. Sadece algoritma geliştirilerek ağaç modeli tasarlama tekniği, zaman kaybı olması ve günümüz imkânlarının sağladığı grafik kalitesine yetişememesi nedeniyle bu çalışma için gereksiz bulunmaktadır. Sonraki aşamada ormanın oluşturulabilmesi için ağaçların bilgilerini içeren ".csv" formatındaki veri tablosunun (Şekil 2.19) kullanıcı tarafından verilmesi gerekmektedir. Bu bilgiler yapılacak bir keşif çalışması ile araziden toplanabilmekte ya da ortomozaik ve SAM verilerinden uzaktan algılama yöntemleriyle çıkarılabilmektedir. Veri tablosunda istenen bilgiler aşağıdaki gibidir; “x, y” (m-float, ağaçların koordinatlarını ifade eder), “tür” (string), “çap” (cm-int, göğüs yüksekliğinde), “yükseklik” (m-int), “yaş”( int), “taç genişliği”(m-float). Ardından yazılım tabloyu okuyarak analiz etmekte, temel yapısı tasarlanmış olan ağaç modelini tablodaki tür ve özelliklere (çap, boy vs.) göre özelleştirmekte ve veri tablosundaki konum bilgisine göre 3B arazi yüzeyinde karşılık gelen alana yerleştirmektedir. Grafik kartı yardımı ile arazi yüzeyi ve ağaçların ekrana çizdirilerek görselleştirilmesi sağlanmakta ve bu aşamada arka plan ise; orman yapısına rahat bir şekilde odaklanılması için, karanlık sade bir sanal uzay olacak şekilde üretilmektedir.

| OBJECTID | SHAPE * | x_coords    | y_coords    | species | diameter | height | age | crown |
|----------|---------|-------------|-------------|---------|----------|--------|-----|-------|
| 9        | Point Z | 278078.9804 | 4412893.361 | kayın   | 30       | 25     | 25  | 13    |
| 10       | Point Z | 278099.1083 | 4412886.062 | kayın   | 40       | 20     | 15  | 10    |
| 11       | Point Z | 278096.7718 | 4412863.777 | kayın   | 20       | 20     | 20  | 10    |
| 12       | Point Z | 278074.423  | 4412877.373 | kayın   | 20       | 20     | 15  | 11    |
| 28       | Point Z | 278040.2471 | 4412872.899 | kayın   | 25       | 20     | 25  | 10    |
| 19       | Point Z | 278079.8416 | 4412864.75  | gürgen  | 30       | 25     | 15  | 7     |
| 2        | Point Z | 278039.7885 | 4412889.374 | gürgen  | 20       | 25     | 30  | 12    |
| 6        | Point Z | 278062.0039 | 4412859.137 | gürgen  | 50       | 20     | 20  | 11    |
| 20       | Point Z | 278053.7317 | 4412860.862 | gürgen  | 20       | 25     | 22  | 14    |
| 45       | Point Z | 278089.7185 | 4412905.442 | gürgen  | 25       | 27     | 28  | 14    |
| 13       | Point Z | 278066.9647 | 4412862.405 | kayın   | 25       | 15     | 10  | 9     |
| 15       | Point Z | 278113.4224 | 4412871.434 | kayın   | 20       | 25     | 35  | 15    |
| 16       | Point Z | 278055.7907 | 4412901.276 | kayın   | 30       | 30     | 35  | 18    |
| 1        | Point Z | 278073.1878 | 4412852.728 | kayın   | 30       | 20     | 35  | 11    |
| 18       | Point Z | 278073.0238 | 4412858.568 | kayın   | 30       | 25     | 25  | 14    |
| 29       | Point Z | 278038.0026 | 4412850.61  | kayın   | 30       | 30     | 45  | 18    |
| 30       | Point Z | 278091.0542 | 4412852.878 | kayın   | 30       | 30     | 40  | 15    |
| 34       | Point Z | 278115.0773 | 4412889.671 | kayın   | 30       | 30     | 40  | 15    |
| 35       | Point Z | 278041.003  | 4412901.831 | kayın   | 30       | 30     | 40  | 15    |
| 37       | Point Z | 278065.8275 | 4412854.406 | kayın   | 25       | 20     | 30  | 9     |
| 39       | Point Z | 278109.3347 | 4412903.064 | kayın   | 15       | 15     | 10  | 7     |
| 40       | Point Z | 278064.4635 | 4412909.631 | kayın   | 25       | 15     | 10  | 7     |
| 17       | Point Z | 278058.0717 | 4412886.899 | kayın   | 25       | 30     | 40  | 19    |

Şekil 2.19. Ağaç bilgilerini içeren veri tablosu.

## 2.3. AĞAÇLARIN SEÇİMİ

3B arazide, her bir ağacın bilgisine ulaşabilmek veya bir ağaç üzerinde işlem yapabilmek için öncelikle ağacın seçilmesi gerekmektedir. Ağaç seçim süreci temelde bir fare (mouse) etkileşimi olduğundan, 3B nesne etkileşimi yöntemlerinin kullanılması uygun olmaktadır. Ağaç seçme işleminde, kullanıcı fare imlecini kullanarak ve sol fare tıklaması ile istenilen ağacı seçmektedir. Seçilen ağacı ayırt etmek için, ağacın renk

matrisi Şekil 2.20 deki gibi [0.9, 0.0, 1, 1] değerlerini içeren 1×4 boyutundaki matris ile dönüştürülmektedir. Şekilde "B" maviyi, "G" yeşili, "R" kırmızıyı, "A" ise alfa değerini ifade etmektedir. Alfa değeri saydamlık seviyesini ayarlamak için kullanılmaktadır. Alfa, kırmızı, yeşil ve mavi bant değerleri 0-1 değer aralığındadır ve ağacın rengi, bu bantların bileşimine göre ortaya çıkmaktadır. Bu işlemden sonra sadece seçilen ağacın rengi değiştirilmekte (bordo), bu da seçim sürecini daha anlaşılır hale getirmektedir. Ancak, bilgi alma amacı ile başka bir ağacın seçilmesi durumunda, önceki seçilen ağaç otomatik olarak eski rengine döndürülmekte ve yeni seçilen ağaç da seçimi belirgin hale getirmek için renk dönüştürme işlemi (bordo) gerçekleştirilmektedir.

| R   | G   | B   | A |
|-----|-----|-----|---|
| 0.5 | 0.9 | 0.1 | 1 |
| 0.5 | 0.9 | 0.9 | 1 |
| 0.1 | 0.6 | 0.7 | 1 |
| 0.9 | 0.5 | 0.5 | 1 |
| 0.3 | 0.8 | 0.5 | 1 |
| 1   | 0.9 | 0.4 | 1 |
| 1   | 1   | 0.3 | 1 |

X

| R   | G   | B | A |
|-----|-----|---|---|
| 0.9 | 0.0 | 1 | 1 |

Şekil 2.20. Seçime bağlı olarak renk verilerinin yeniden düzenlenmesi.

Ağacın seçimi ile birlikte; veri tablosundan alınan ilgili ağacın bilgileri (Şekil 2.19), hesaplamalar sonucunda belirlenen hacim bilgisi ve tür (tür bilgisi veri tablosu aracılığıyla kullanıcı tarafından verilmektedir) ait resim yeni açılan ekranda (bilgi ekranı) basitçe görüntülenmektedir. Bu bilgi ekranı çap (göğüs yüksekliğinde), boy, yaş, hacim, taç genişliği, tür adı ve örnek bir resimden oluşmaktadır. Seçilen ağacın hacmi ( $V_{tree}$ ) Denklem 2.1'e göre hesaplanmaktadır.

$$V_{tree} = \pi \left( \frac{R/100}{2} \right)^2 H * f \quad (2.1)$$

Burada R, kullanıcı tarafından sağlanan cm cinsinden göğüs yüzey çapı, H, kullanıcı tarafından sağlanan metre cinsinden ağaç boyu ve "f" şekil katsayısını (0,5 olarak alınır) temsil etmektedir.

## 2.4. BAKIM ARACI

Silvikültürel işlemlerde ve uygulanan tekniklerde (bakım, gençleştirme, ağaçlandırma) amaç; günümüzde ve ilerleyen yıllarda insanlığın orman odaklı ihtiyaçlarının daimi şekilde karşılanması ve ormanın görevlerinin devamlılığının sağlanmasıdır (Odabaşı vd., 2007). Bu nedenle, ormanlarda ağaçlar arasındaki rekabeti azaltmak, ağaçlara

gelişme imkânı sağlamak için ormanlarda sıklık bakımı, gençlik bakımı, aralama gibi faaliyetler yapılması gerekmektedir. Bu faaliyetler, ormanlık alan içerisindeki sıkışıklığı azaltarak besin kaynaklarının daha verimli ve ışığın da daha etkili kullanılmasını sağlamaktadır.

Ormanlarda sıkça yapılan; gençlik bakımı, sıklık bakımı, ışıklandırma, aralama gibi bakım faaliyetlerinin uygulanabilmesi için geliştirilen bu araçta, ilk aşama olarak işlem yapılacak ağaçların seçilmesi gerekmektedir. Bu seçim işlemi için, üç farklı yöntem bulunmaktadır. Bunlar; işlem yapılacak ağaçların elle tek tek seçilmesi, işlem yapılacak ağaçların bilgisayar desteği ile seçilmesi ve iki yöntemin bir arada kullanıldığı karma yöntemdir.

#### **2.4.1. İşlem Yapılacak Ağaçların Elle Seçilmesi**

Bu işlemde, kullanıcı kendi aldığı kararlar ile önceki bölümde anlatılan yöntemde göre farenin sol tuşu ile ağacı seçmektedir ve seçime göre renklendirme (bordo) işlemi uygulanmaktadır. Bu işlemde fark; birden fazla ağaç seçimi yapılacağı için, seçilen her ağacın rengi bordo rengine dönüştürülmekte ancak seçimin iptal edilmesi istenmekteyse, gene sol fare tuşu ile seçilmiş olan bir ağaca tıklanarak seçim iptal edilebilmekte ve ağaç asıl rengine dönüştürülebilmektedir.

#### **2.4.2. İşlem Yapılacak Ağaçların Bilgisayar Desteği İle Seçilmesi**

Bu yöntemde; kesilecek veya meşcereden çıkarılacak ağaçların daha hassas bir şekilde belirlenebilmesi için, bilgisayar gücünden faydalanılmakta, birden fazla parametre değerlendirmeye alınmaktadır. Ancak bu seçim yönteminde hastalık, çürüklük gibi parametreler dikkate alınmamış, normal sağlıklıdaki ağaçlar üzerinde işlem yapılması sağlanmıştır. Değerlendirmeye alınan parametreler; mesafe, çap, boy ve yaş olup şu şekilde çalışmaktadır:

- Mesafe: arazideki bütün ağaçların birbirleri ile olan uzaklıkları hesaplanarak kullanıcının seçtiği mesafeden (eşik değer) daha yakın durumda olan ağaçlar içerisinde bir ağaç, çıkarılacak ağaç olarak belirlenmektedir. Her bir çıkacak ağacın belirlenmesinden sonra, sıklıktaki değişim analize dâhil edilmekte ve kalan orman içerisinde ki, diğer yakın olan ağaçlar aynı yöntemle analiz edilmektedir. Bu sayede, arazide aşırı sıklıkta olan alanların sıklığı azaltılmakta ve ağaçlar arasındaki mesafe istenilen seviyeye getirilmektedir.



- Çap: arazideki bütün ağaçlar üzerinde göğüs çapı değerlendirmesi yapılabilmektedir. Kullanıcının belirlediği miktardan daha kalın çapa sahip olan ağaçlar, çıkarılacak ağaç olarak seçilmektedir. Kullanıcının belirlediği değerden daha ince çapta olan ağaçlar ise; genç olarak düşünülmesi veya kullanıcının göz önünde bulundurduğu başka nedenlerden dolayı çıkarılacak ağaç olarak seçilmemektedir.
- Boy: arazideki bütün ağaçlar üzerinde boy değerlendirmesi yapılabilmektedir. Kullanıcının belirlediği miktardan daha uzun boya sahip olan ağaçlar, çıkarılacak ağaç olarak seçilmektedir. Kullanıcının belirlediği değerden daha kısa boyu olan ağaçlar ise; genç olarak düşünüldüğünden veya kullanıcının göz önünde bulundurduğu başka nedenlerden dolayı çıkarılacak ağaç olarak seçilmemektedir.
- Yaş: arazideki bütün ağaçlar üzerinde yaş değerlendirmesi yapılabilmektedir. Kullanıcının belirlediği değerden daha yaşlı olan ağaçlar, çıkarılacak ağaç olarak seçilmektedir. Kullanıcının belirlediği yaştan daha genç olan ağaçlar ise; gençlik olarak düşünüldüğünden veya kullanıcının göz önünde bulundurduğu başka nedenlerden dolayı çıkarılacak ağaç olarak seçilmemektedir.

Açıklaması yapılan bu parametrelerin (mesafe, çap, boy ve yaş) değerleri ve nasıl bir kombinasyonla (birinin kullanılması, birkaçının seçilerek istenilen değerler ile kullanılması ya da hepsinin bir arada kullanılması) kullanılacağı tamamen kullanıcının tercihinine bırakılmaktadır. Örneğin; sadece çap değerlendirilmeye alınabilmekte ve kullanıcının istediği çaptan daha kalın olan ağaçlar kesilmek için işaretlenebilmektedir ya da sadece yaş değerlendirmeye alınarak yine kullanıcının belirlediğinden daha yaşlı olan ağaçlar kesime alınabilmektedir. Tek bir parametre kullanmanın yanı sıra, birden fazla parametrenin kullanılmasına örnek ise şu şekilde verilebilmektedir; kullanıcının yaş ve boy seçimi yaptığı düşünülür ve 70 ile 40 m seçimi yapılırsa, bu durumda arazideki 70 yaşından büyük ve 40m den fazla boyu olan bütün ağaçlar kesilmek için seçilmektedir. Bütün parametrelerin seçilmesine örnek ise şu şekildedir; kullanıcı 50 cm çap, 30 m boy, 50 yaş ve 5 m mesafe seçer ise; yazılım, arazideki bütün ağaçların birbirlerine olan mesafelerini değerlendirmekte ve birbirine 5 m mesafeden daha yakın olan ağaçları ele almaktadır. Yazılım, bu ağaçlar içerisinde; çap kalınlığı 50 cm den fazla olan, 30 m den uzun boya sahip ve 50 yaşından fazla yaşa sahip olan bütün ağaçları çıkarılacak ağaç olarak seçmektedir.

Çap, boy, yaş ve mesafe parametrelerine göre ağaç seçme işlemi “and” ve “if” koşulları ile sağlanmaktadır. Birden fazla parametrelerin seçilmesi durumunda parametreler “and” ile birbirine bağlanmakta ve parametrelerin aldığı değerlerin kıyaslanması ise “if” koşulu yardımı ile gerçekleştirilmektedir. Bu durum ile alakalı iki örnek aşağıda yer almaktadır;

1- if cap >= 50 and boy >= 40:

select(related\_tree)

2- if yas >= 40 and cap >= 45:

select(related\_tree)

Ormandan çıkarılması gereken ağaçların istenilen kriterlere göre belirlenmesinden sonra ağaçlar koyu mavi renkle işaretlenmektedir. Burada bordo rengin seçilmemesindeki amaç, elle yapılan seçim ile bilgisayar seçimini birbirinden ayırmaktır.

#### 2.4.3. İşlem Yapılacak Ağaçların Karma Yöntem İle Seçimi

Ormandan çıkarılması gereken ağaçların bilgisayar desteği ile belirlenmesi, özelleştirilen parametrelere bağlı olarak bazen düşünülen sonucu vermeyebilir ya da sonuç üzerinde özelleştirmeler yapmak istenebilir, bu durumlar için önceki bölümlerde anlatılan iki yöntem bir arada kullanılarak karma bir işlem yapılmasına imkân verilmektedir. Bilgisayarın çap, boy, yaş, mesafe parametrelerine bağlı olarak seçtiği ağaçlar gösterildikten sonra, kullanıcı fare imleci yardımı ile kendi istediği ağaçları da seçebilmekte ya da bilgisayarın seçtiği ağaçların seçimini iptal edebilmektedir. Bu sayede hastalık, böcek ve kurumuş olma gibi farklı nedenlerle çıkarılması özellikle istenen ya da istikbal ağacı vs. gibi nedenler ile kalması özellikle istenen ağaçlar var ise, bunları kullanıcının kendi tercihleri ile belirlemesi için imkân sağlanmaktadır. Karma yöntemin kolay kullanılabilmesi ve bilgisayar kararının daha iyi algılanabilmesi için, elle yapılan seçim (bordo) ve bilgisayar seçimi (koyu mavi) farklı renkler ile gösterilmektedir.

Üç ayrı yöntemde de, seçilen ağaçların hacmi göz önünde bulundurularak ormandan çıkacak ve ormanda kalacak emvalin hesabı yapılmaktadır. Bu işlem için denklem 2.1’in çıktısı olan  $V_{tree}$  (ağaç hacmi) hesaplamada kullanılmaktadır.

$$V_{extracted} = \sum_{n=1}^{\infty} (V_{tree}) \quad (2.2)$$

Denklem 2.2 ye göre; elle ve/veya bilgisayar analiziyle, seçilen bütün ağaçların hacimlerinin toplanmasıyla ormandan çıkarılacak toplam emval miktarı ( $V_{extracted}$ ) hesaplanmaktadır. Meşcere de kalan toplam hacim ( $V_{remain}$ ) ise, Denklem 2.3' deki formül kullanılarak hesaplanmaktadır. Bu formülde, meşceredeki her bir ağacın hacmi tek tek alınmakta ( $V_{alive}$ ) ve hepsi toplanmaktadır. Bu şekilde meşceredeki toplam emval hesaplanmış olmakta ve bu emvalden  $V_{extracted}$ 'ın (çıkarılacak emvalin) çıkarılmasıyla, işlem sonrası ormanda kalacak emval miktarı bulunmaktadır.

$$V_{remain} = (\sum_{n=1}^{\infty} (V_{alive})) - V_{extracted} \quad (2.3)$$

Değişen her seçimin, ormanda kalacak ve ormandan çıkacak emval sonucuna interaktif biçimde yansıtılmasıyla, materyal takibi anlık olarak yapılabilmekte ve bu sayede, alınacak kararda faydalı olunabilmektedir.

## 2.5. DEVİRME MODLARINDA VE EN KESİT ARACINDA KULLANILAN ÖZEL ALANLAR İÇİN ÇİZİM ARACI

İşlem yapılacak ağaçların belirlenmesinden sonra, varsa özel alanlar da belirlenmelidir. Burada özel alanlar kavramı; ağaca yapılacak işlem sırasında ağaca, çalışanlara, işlemin gerçekleştirilmesine, ürünlerin taşınmasına vs. kötü etki etmekte olan ya da, işlem sırasında zarar görebilecek unsurlar barındıran alanları kapsamaktadır. Ormanda işlem yapılmasına sorun teşkil eden alanlar (özel alanlar) genellikle; orman gençliği barındıran alanlar, deneme alanı ya da endemik tür olması gibi nedenlerle korunan alanlar, büyük kayalık, dere ya da uçurumların olduğu alanlar, beşeri yapıların (orman ve sürütme yolları vb.) olduğu alanlar ve enerji iletim hatlarının bulunduğu alanlar gibi doğal ya da yapay alanlardır. Geliştirilen çizim aracı özel alanların bulunduğu yerleri işaretlemeye izin vermektedir. Bu sayede, ilgili alanlar yapılacak işlemlerde değerlendirmeye alınmaktadır. Ancak bunun yanı sıra, çizim aracı enkesit işlemlerinde kesit alanını ve kesit hattını belirlemek için de kullanılmaktadır. Çizim aracının çalışma prensibi şu şekildedir; fare etkileşimi ile seçilen iki nokta bir listeye kaydedilmekte ve bu iki nokta arasına "sınır çizgisi" adı verilen bir çizgi çizilmektedir. Bu çizgi, özel alanların bulunduğu yer ve yönleri işaret etmektedir. Çizgiler kullanılarak kapalı bir poligon oluşturulur (az miktarda açıklıklar kalması nedeniyle tam kapalı çizilmeyen poligonlar, yazılım tarafından tamamlanmaktadır) ise, ilgili bölge özel alan olarak nitelendirilmekte ancak, kapalı poligon yerine sadece çizgi çizilir ise, çizginin olduğu

yer özel alanların bulunduğu yön olarak değerlendirilmektedir.

## 2.6. DEVİRME ARACI

Ağaçların seçilmesi ve varsa özel alanların belirlenmesinden sonra, yapılacak faaliyete göre kesim ve devirme işlemleri başlamaktadır. Ancak, ağaç devirme işlemleri çok tehlikeli olduğu için azami dikkatle yapılması gerekmektedir. Devirme faaliyetlerinin daha iyi planlanması için tasarlanan bu araç, kapasitesine göre üç bölümde incelenebilmektedir.

### 2.6.1. Basit Devirme Modu

Bu mod aktif hale getirildikten sonra, farenin sol tuşu ile ağaçların (önceki bölümlerde seçilen ağaçlar) devrilmesinin istendiği yön (nokta) seçilmektedir. Daha sonra, seçili olan bütün ağaçların istenilen yöne (noktaya) göre doğrultulması gerekmektedir. Bu işlem Denklem 2.4 e göre yapılmaktadır.

$$H = \arctan(x^-, y^-) * \left(\frac{180}{\pi}\right) \quad (2.4)$$

Denklem 2.4 de, " $x^-$ " değişkeni; ağacın x eksenindeki konum değeri ile seçilen noktanın x eksenindeki değerinin farkını temsil etmektedir. " $y^-$ " değişkeni ise; ağacın y eksenindeki konum değeri ile seçilen noktanın y eksenindeki konum değerinin farkını temsil etmektedir. Devrilecek her ağaç için özel olarak hesaplanan " $H$ " açısına doğru, ilgili ağaçlar yönlendirilmekte ve ağaç devirme işlemi başlatılmaktadır. Bu işlem, başta yavaş bir şekilde başlayıp gittikçe hızlanan bir hareket biçimiyle yani yer çekimi efekti ile animasyonlu halde gerçekleştirilmekte ve bu sayede kullanıcı için daha gerçekçi bir izlenim yaratılmaktadır.

### 2.6.2. Gelişmiş Devirme Modu

Bu modun amacı; sadece ağaçların istenilen yöne devrilmesini canlandırmak değil, aynı zamanda daha hassas ve doğru devirme yönünü belirlemektir. Bu nedenle, etraftaki ağaçlar, arazi eğimi, arazi eğimindeki kırıklıklar ve etraftaki engeller gibi çevresel faktörler kontrol edilmekte en doğru devirme yönü hesaplanarak ilgili yöne devirme işlemi canlandırılmaktadır.

Eğer varsa, özel alanları belirten çizimler (ÖABC) oluşturulduktan sonra, devrilecek ağacın ÖABC'lerden en az biri ile devirme işlemi sırasında temas edip etmeyeceği

hesaplanarak kontrol edilmektedir. Ayrıca devrilecek ağacın, düşme yönünde bulunabilecek meşcerede kalan ağaçların gövde ve taç yapısına temas etmemesi gerekmektedir. Bu durum, çıkarılacak ürünün kalitesi, meşcerede kalan ağaçların zarar görmemesi ve personel güvenliği açısından önemli bir işçi sağlığı ve iş güvenliği sorunu teşkil edebilmektedir. Bu nedenle, devrilecek ağacın etrafındaki ağaçlar belirlenerek çarpma ihtimalleri hesaplanmakta ve bu ihtimaller devirme yönü seçiminde değerlendirmeye dâhil edilmektedir. Devrilen ağacın, kalan ağaçlara çarpmasını önlemek için bir "Çarpışma Tespit Sistemi" (ÇTS) tasarlanmıştır.

ÇTS, fizik simülasyonlarından bilgisayar tabanlı tasarımlara kadar birçok konu için, bilgisayar grafiklerinde kullanılan bir sistemdir (Jiménez vd., 2001). Çarpışma tespitinde, devrilecek ağaç ile kalan ağaç arasındaki mesafe kontrol edilerek belirlenmektedir (Denklem 2.5). Mesafe kontrol formülünde (Denklem 2.5)  $\vec{x}$ ,  $\vec{y}$  ve  $\vec{z}$ , iki ağacın x, y ve z koordinat değerleri arasındaki farkı temsil etmektedir. Kesilecek ağaç ve ÖABC'ler için de, aynı formüle göre mesafe kontrolü yapılmaktadır.

$$x = \sqrt{x^2 + y^2 + z^2} \quad (2.5)$$

Mesafe belirlendikten sonra, eğer devrilecek ağacın boyu hesaplanan mesafeye eşit veya daha uzun ise kalan ağaç ile çarpışma meydana gelmektedir. Aksi takdirde devrilecek ağaç ile kalan ağaç arasında bir çarpışma meydana gelmemektedir. Bu analiz,  $T_{height}$ 'in ağaç boyunu temsil ettiği ve  $px_w$  'nin yatay piksel çözünürlüğünü gösterdiği "Denklem 2.6" ile yapılmaktadır.

$$x \leq T_{height} + \left(\frac{px_w}{2}\right) \quad (2.6)$$

Denklem 2.6 çıktısına uyan ağaçların (kontrol amacına göre engel ya da özel alan da olabilir) devrilecek ağaca göre bulunduğu yön, sorunlu yön (ağacın düşmesinin istenmediği yön) olarak tanımlanmaktadır. Bu nedenle, bahsi geçen meşcerede kalan ağacın bulunduğu (kontrol amacına göre engel ya da özel alan da olabilir) alanın/noktanın, devrilecek ağaca göre açısal yönü belirlenmektedir. Bu işlem Denklem 2.7'e göre hesaplanmaktadır.

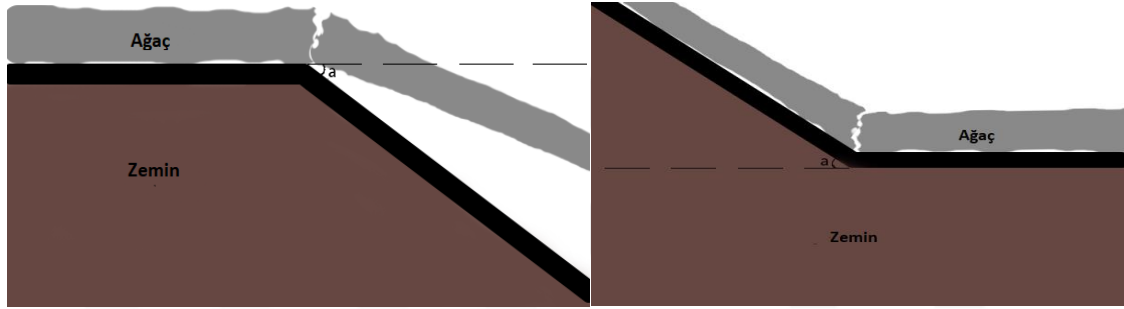
$$H = \arctan(\vec{x}, \vec{y}) * \left(\frac{180}{\pi}\right) \quad (2.7)$$

Bu modda, seçilen birden fazla ağacın toplu olarak devrilmesi gerçekleştirildiği için, kalan ağaç ile çarpışma hesaplamasına dallar (sadece gövde) dâhil edilmemektedir. Çünkü bu işlem, toplu ağaç devirme hesaplamasında bilgisayar için fazlaca işlem yükü



oluşturmaktadır. Bunun yanı sıra, bu moddaki devirme aracı sıkışık orman içindeki bakım faaliyetleri için tasarlandığından, dallar ile çarpışma neredeyse her durumda görülecektir. Dolayısı ile dalların çarpışma tespiti için hesaplanması, bu mod için gereksiz görülmektedir ancak, sonraki bölümde anlatılacak olan simülasyonda hesaplama dâhil edilmiştir.

Ağacın devrilme yönünde, kırılmasına neden olabilecek ani eğim değişiklikleri olmamalıdır. Ağacın kırılmasına neden olmayacak, maksimum kabul edilebilir eğim sınırı (eşik değeri) kullanıcıdan alınmaktadır. Kullanıcı kabul edilebilir bir maksimum eğim sınırı belirlemez ise, bu değer  $20^\circ$  derece olarak hesaplamalara alınmaktadır (Şekil 2.21).  $20^\circ$  derece, bu eğim değişikliklerinin hesaplanması için programda tanımlanan varsayılan değerdir.



Şekil 2.21. Eğim kırılıklarının devrilen ağaca etkisi ('a' eğimi tanımlamaktadır).

Ani eğim değişiminin tespiti; Denklem 2.8'e göre, kesilecek ağacın gövdesinde yere değebilecek noktaların (ağaç yüzeye bir yönde birden fazla noktada yere temas ettiği için "nokta" olarak alınmıştır) belirlenmesi ile başlamaktadır. Ağaç, kullanıcı tarafından belirlenen miktarda bölüme ayrılmakta böylece, devirme sonunda her bölümün ilgili yönde yere temas edip etmediği tespit edilmektedir. Kullanıcının bölüm sayısını belirlemesindeki ana kriter bilgisayar gücü ve kapasitesidir. Kullanıcı bilgisayar gücü ve kapasitesine göre istediği kadar bölüm belirleyebilmektedir. Bu bölümler ağacın yüksekliğine göre eşit aralıklarla konumlandırılmaktadır. Denklem 2.8'de " $H$ ", ağacın toplam uzunluğunu (".csv" formatındaki veri tablosundan alınır), " $K_{test}$ " kaç testin (bölüm sayısı) yapılacağını ve " $k$ ", o anda kaçınıcı testin gerçekleştirileceğini temsil etmektedir. " $I_{height}$ " ise ağacın ilgili bölümünün uzunluğunu/yüksekliğini göstermektedir. Daha sonra, denklem 2.5 kullanılarak yüzey noktası ile ağaç arasındaki mesafe (" $x$ ") hesaplanmaktadır. Bu değer denklem 2.9'da değerlendirilmektedir. Denklem 2.9, bir eğim bilgisi ya da eğim ile ilgili bir yüzey noktası ile ağacın ilgili

bölümü arasında temas olabilme durumunu belirlemek için kullanılmaktadır.

$$I_{height} = \frac{k}{K_{test}} * H \quad (2.8)$$

$$I_{height} + \left(\frac{px_w}{2}\right) \geq x \geq I_{height} - \left(\frac{px_w}{2}\right) \quad (2.9)$$

Denklem 2.9’da ağaç bölümlerinin bir yönde temas edebileceği noktalar belirlendikten sonra, denklem 2.10’a göre; bu noktaların dikili haldeki ağaç bölümlerine göre olan eğimleri hesaplanmakta ve elde edilen sonuçlar bir arada değerlendirilmektedir. Bu sonuçlar içerisinde bölümler arası eşik değeri (eğim kırıklığı için olan) aşılsa, ilgili yerin ağaca göre olan yönü denklem 2.7 ile hesaplanmakta ve bu yön “sorunlu devirme yönü” olarak tanımlanmaktadır. Ağaç bölümlere ayrıldığında, her bölümün üst sınırının zeminde kesiştiği nokta ile eğimi denklem 2.10’daki formülle hesaplanmaktadır. Bu formülde öncelikle, işlem yapılan ağaç bölümünün üst sınırının deniz seviyesinden olan yüksekliğinin bulunması gerekmektedir. Bunun için; ağaç bölümünün boyuna, ağacın bulunduğu konumun deniz seviyesinden olan yüksekliği eklenmektedir. Daha sonra, ağaç bölümünün üst yüksekliğinden eğimi hesaplanacak zeminin yüksekliği çıkarılarak denklemde söz konusu olan " $z^-$ " değeri bulunmaktadır. Aynı formülde " $x^-$ ", eğimi hesaplanacak zemin ile ağaç arasındaki mesafeyi tanımlar.

Eğimdeki ani değişimin (eğim kırıklıkları) yanı sıra, ağacın devrilebileceği her bir yönün eğimini bütün olarak hesaplamak için, yüzeyin genel eğimi de analiz edilmektedir. Bir yöndeki yüzey için hesaplanan genel eğim, kullanıcı tarafından seçilen eğim eşik değerinin üzerinde ise, bu yüzeyin olduğu yön sorunlu olarak tanımlanmaktadır (Bkz. Şekil 2.21).

$$slope = \arctan(z^-, x^-) * \left(\frac{180}{\pi}\right) \quad (2.10)$$

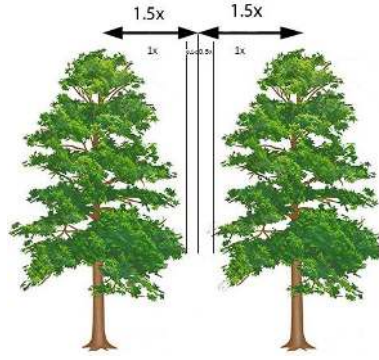
Analiz tamamlandıktan sonra bütün sorunlu yön verileri birleştirilmekte ve bütün yönler puanlanmaktadır. Her sorun durumu ayrı ayrı puanlanmaktadır. Örneğin, hesaplanan olası devirme yönünde devrilecek ağaç, üç farklı ağaca çarpacaksa, her üç ağaç için ayrı ayrı sorun puanı dikkate alınmaktadır. Dolayısıyla bir yönde birden fazla sorunun bulunması ilgili yönün puanını artırmaktadır. Devirme yönünde karşılaşılan herhangi bir tipteki (eğim, ağaç, eğim kırıklığı, ÖABÇ) her bir sorun için ilgili yöne bir puan verilmektedir. En yüksek toplam puana sahip yön, ağacın devrilmesi için en elverişsiz yönü belirtmektedir.

Yazılım, bu puanlamaya göre yönlerin sorun seviyesini analiz etmekte ve en düşük sorun seviyesine sahip olan, aynı zamanda kullanıcının en başta devirmeyi istediği yöne en yakın olan yönü ilgili ağaç için devirme yönü olarak belirlemektedir. Ardından, önceki bölümde anlatıldığı şekilde, ilgili ağaçların doğrultulması gerçekleştirilmekte ve “Space” tuşuna tıklanmasıyla birlikte ağaç devirme işlemi başlatılmaktadır. Bu işlem basit devirme modunda olduğu gibi yer çekimi efekti ile animasyonlu halde gerçekleştirilmekte ve bu sayede kullanıcı için daha gerçekçi bir izlenim yaratılmaktadır.

### **2.6.3. Ağaç Devirme Simülasyonu (“DEVİR”)**

Bu modun genel çalışma tekniği, değerlendirmeye aldığı kriterler (eğim, ağaç, eğim kırıklığı, ÖABC) ve formüller önceki bölümde anlatılan gelişmiş devirme modununki ile aynıdır. Ancak, devirme işlemi tek ağaç ile yapılmaktadır ve sorun analizine dallara çarpma detayı da eklendiğinden hesaplama daha hassas bir hale getirilmiştir.

Devrilen ağacın kalan ağaçların dallarına çarpıp çarpmadığının tespitinde, gövdeye çarpma durumunun tespiti için kullanılan yaklaşım uygulanmaktadır. Bu analizdeki (devrilen ağacın kalan ağaçların dallarına çarpıp çarpmadığının analizi) " $H$ " açısı, devrilen ağacın kalan ağaçların gövdesine çarptığını tespit etmek için kullanılan yaklaşımdaki " $H$ " açısından farklı hesaplanmaktadır. Bu açıyı hesaplamak için tepeden görünümdeki dal sınırları veya taç sınırı hesaplamalarda kullanılmaktadır. Böylelikle tepe tacı ile çarpışmanın gerçekleşebileceği bölge, tehlike/sorun bölgesi olarak belirlenmektedir. Güvenli tampon bölge oluşturmak için tepe tacının bulunduğu yerlerle birlikte, taç yapısının kapladığı alanın 1,5 katı kadar uzaklıktaki alanda dikkate alınmakta ve daha sonra bu alanın sınırının konum değerleri hesaplanmaktadır. Burada 1.5 değişkeni güvenli bir tampon bölge oluşturmak için kullanılan katsayıdır (Şekil 2.22).



Şekil 2.22. Güvenli tampon bölge oluşturmak için taç sınırını 1.5 kat genişletme.

Bu modda, yönlerin puanlanmasında da bazı değişiklikler yer almaktadır. Gövde ana faktör olduğundan ve gövdeye verilen hasar tepeye de zarar vereceğinden gövdeye temas noktasına iki puan verilmekte, kalan her soruna ise bir puan verilmektedir.

Bütün hesaplamalar bittikten ve devirme yönü uygunluğuna göre puanlandıktan sonra bu modun sunduğu çıktılarda da, kullanıcıya daha kaliteli eğitim verilebilmesi ya da yapılacak faaliyetlerin daha iyi planlanabilmesi için önemli değişiklikler yer almaktadır.

Yönlerin sorun puanı, devirme işlemi başlatılmadan önce görselleştirilmektedir. Bu görselleştirme de, devrilecek yönde bir sorun (tehlike) olmadığında ve sorun puanı "0" olduğunda ilgili yön mavi ile gösterilir. Tehlike (sorun) puanı 1 olduğunda yeşil, 2 olduğunda kırmızı, 3 ve üzeri olduğunda ise varsayılan olarak siyah olarak gösterilmektedir. Bu gösterimde dairesel bir grafik oluşturulmakta ve kullanıcının karar verme süreci desteklenmektedir. Kullanıcı, göstergeden faydalanarak sol fare tıklamasıyla ağacın devrileceği yönü kendisi seçebilmekte ya da hesaplanan puanlara bakarak en sorunsuz olan ve aynı zamanda kullanıcının en başta tercih ettiği yöne en yakın olan yönü bilgisayar seçebilmektedir. Kullanıcının tercihiyle ilgili herhangi bir tehlike (sorun) puanına sahip olan yönü, devirme yönü olarak seçmek mümkündür.

Bu modda, personelin ağaç devirme esnasında güvenliği için, kaçış rotası tespiti ve hem personelin hem de çevrenin güvenliği için ise iki ağaç boyu kuralına göre riskli alan tespiti için analizler yer almaktadır.

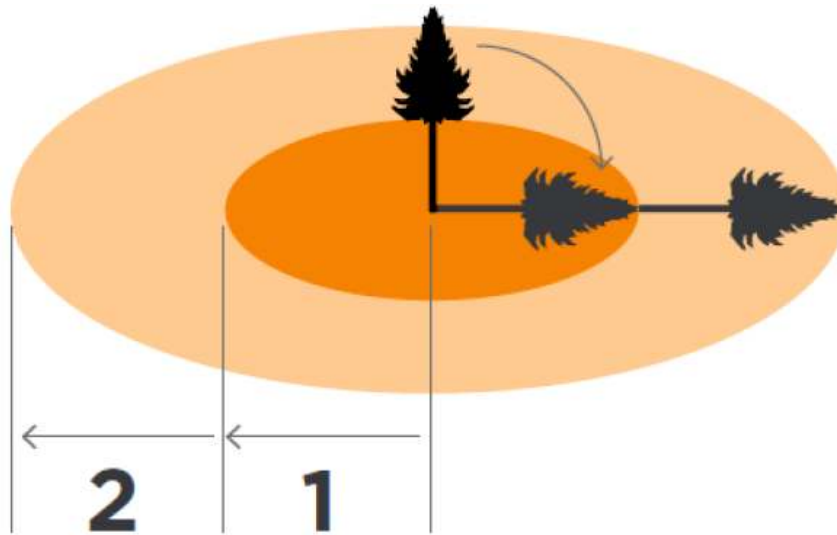
Devirme aşamasında olası bir tehlikeyi önlemek için personelin kaçış yollarının planlanması önem arz etmektedir. Ağacın planlanan (belirlenen) devirme yönünün 90° sağ ve solu ve devirme yönüne zıt açının 45° sağ ve solu yüksek riskli bölge olarak tanımlanmaktadır (Anonim, 2016). Devrilen ağaç tabanından en az 6 m uzakta olmakla beraber, kalan yönler kaçış yolu olarak planlanmaktadır (Şekil 2.23). Analiz sonucunda

kaçış rotaları mavi, riskli yönler ise kırmızı renkle gösterilmektedir.



Şekil 2.23. Kaçış yönü (Anonim, 2016).

Güvenlik nedeniyle iki ağaç boyu alanda, ağacı devirecek ekip (personel) dışında kimse bulunmamalıdır (Anonim, 2016). Kural olarak, kesilecek ağaç merkez olarak kabul edilmekte ve ağaç yüksekliği mesafesindeki alan yüksek riskli bölge olarak tanımlanmaktadır (Şekil 2.24). Kesilecek ağacın yüksekliğinin iki katı mesafede olan alan ise, orta-yüksek riskli bölgedir ancak mümkünse kimsenin bulunmaması gerekmektedir. Bu mod ile bir ağaç yüksekliği mesafesindeki tüm alan kırmızı, iki ağaç yüksekliği mesafesindeki alan ise, mavi renkle gösterilerek risk alanı görselleştirilmektedir.



Şekil 2.24. İki ağaç kuralı (Anonim, 2016).

## 2.7. ENKESİT ARACI

Çalışılacak arazideki ormanın katmanlı yapısını analiz etmek, yaş dağılımını görmek çıkarılacak emval hakkında bilgi verdiği için ormancılık faaliyetlerini planlama sürecinde yardımcı olabilmektedir. Bu nedenle “ForSim” yazılımında, enkesit alma ihtiyacını gidermek için bir araç geliştirilmiştir. Geliştirilen aracın ilk aşamasında; kullanıcı fare yardımı ve özel alanlar için olan çizim aracı ile poligon oluşturarak kesit alanını belirlemektedir. Bu alan enkesit işlemine dâhil edilecek yani enkesit ekranında görülecek ağaçların belirlenmesini sağlamaktadır. Alanın çizilmesini takiben kesitin alınması istenen bölgenin tepeden görünüşü, kesit alanı içerisindeki toplam ağaç sayısı (alan içerisindeki ağaçlar bordo renkte gösterilmektedir) ve toplam hacim ( $m^3$ ) bilgisi gösterilmektedir. Enkesit alanı içerisindeki toplam ağaç sayısı, çizilen kesit alanı sınırlarının içerisinde kalan bütün ağaçların sayılması ile bulunmaktadır, ardından bu ağaçların kolay anlaşılması için rengi bordoya dönüştürülmektedir. Renk dönüştürme işlemi ağaç seçimindeki teknikle aynı şekilde yapılmakta yani; ağacın renk matrisi, [0.9, 0.0, 1, 1] değerlerini içeren  $1 \times 4$  boyutundaki matris ile dönüştürülmektedir. Enkesit alanı içerisindeki her bir ağacın hacmi Denklem 2.1'e göre hesaplanmakta daha sonra bu değerlerin toplanmasıyla alan içerisindeki toplam hacim elde edilmektedir.

Fare tıklamasıyla birlikte enkesit alanının tepe görünüşünden enkesit ekranına geçilmektedir. Seçilen alanın enkesiti ekrana ortalı ve koordinatlı arazi modelindeki yüzey şekli ile aynı olacak şekilde bu aşamada gösterilmektedir. Enkesite bakış açısı, çizilen poligondaki ilk çizgiye karşıdan dik açıyla (enkesit için çizilen poligonun diğer çizgileri bakış noktasının tersi istikametinde kalacak şekilde) bakılacak şekilde ayarlanmaktadır. Enkesit ekranında, ağaçların bakılan noktaya olan uzaklığının daha iyi anlaşılması için ağaçlara saydamlık katılmıştır. Bu işlem için öncelikle ağacın, enkesite bakılan yere olan uzaklığı Denklem 2.5'e göre hesaplanmaktadır. Ardından bu sonuca göre en arkada kalan ağaçlar %40 saydamlaştırılmaktadır



### 3. BULGULAR VE TARTIŞMA

#### 3.1. BULGULAR

Bu çalışmada, SAM ve ortomozaik verisinin; 3B arazi modelinin görsel kalitesinde olduğu gibi hesaplama hassasiyetinde ve modelleme süresinde de etkili olduğu bulunmuştur. SAM ve ortomozaik verisinin çözünürlüğü arttıkça görüntü ve hesaplama kalitesinin fark edilebilir şekilde arttığı ancak bilgisayar performansına da aynı ölçüde negatif olarak etki ettiği görülmüştür. Yapılan performans değerlendirmesinde; 1 m çözünürlüğe sahip verinin işlenerek modelinin oluşturulması için geçen süre 3,27 sn iken, 10 cm çözünürlüğe sahip bir veri kullanıldığı zaman bu sürenin 3 dk 24 sn'ye (çalışılan bilgisayara bağlı) çıktığı yani 62 kat arttığı görülmüştür. Bunun neticesinde; çözünürlüğün artmasının arazi modelinin oluşturulma hızında ve analizlerin yapılma hızında etkisinin (negatif yönde) çok büyük olduğu ayrıca, donanım gereksiniminin de kayda değer şekilde artmasına neden olduğu anlaşılmaktadır. Ancak simülasyon ekranında, kullanıcının yazılımı kullanma esnasında yazılımın performans seviyesinde ve akıcılığında önemli bir değişim gözlenmemiştir. Çalışmanın sonuçlarına göre; bilgisayar performansına bağlı olmak kaydıyla veri kalitesi tercih edildiği gibi arttırılabilir ancak, 2 m'den daha düşük çözünürlüğe sahip verilerin kullanılması önerilmemektedir. Yapılan analizlerde kullanılması istenen parametreler seçilebilmekte, kullanılması istenmeyen parametreler hesaplamaadan çıkarılabilmektedir. Bu işlem değerlendirmeden ilgili fonksiyonun çıkarılmasıyla sağlanmaktadır. Kullanmak için seçilen parametre sayısının artmasının da performansa etki ettiği görülmüştür. Bu bağlamda, silvikültürel operasyonlar için hesaplama yapılırken çap-boy-yaş-mesafe parametreleri için kullanılan kombinasyona göre hesap süresinin değiştiği tüm parametrelerin birlikte kullanıldığı anda hesaplama süresinin dört kata çıktığı görülmüştür. Benzer şekilde çarpışma tespitlerinin yapılacağı nokta sayısının her bir adet artışı, hesaplama süresini de bir kat arttırdığı dolayısı ile donanım gereksinimini de yükselttiği tespit edilmiştir. Ancak bu incelemeler, 23 ağacın bulunduğu bir veri setiyle gerçekleştirilmiştir. Ağaç sayısının yüzölçü ya da binli rakamlara çıkması, çarpışma tespiti ve ağaç seçimi için yapılan hesaplamaların süresini arttıracaktır. Dolayısıyla kullanıcı sahip olduğu bilgisayar donanımını ya da sonuç almak istediği süreyi göz önünde

bulundurarak veri boyutu seçmelidir.

### 3.2. TARTIŞMA

Ormancılık faaliyetlerini ve orman dinamiklerini algılamak ve iyi bir şekilde faaliyet planları oluşturmak için gerçekçi görselleştirme teknikleri ve karar destek sistemleri faydalı olmaktadır. Ancak gerçekçiliğin ve doğru karar almanın yanı sıra, çalışılan verinin boyutu arttığı zamanlarda modelleme hızı da, birçok farklı alan için çok önemli olmaktadır (Bao vd., 2011). Bu nedenle bu tez kapsamında üretilen yazılımda; modelleme hızını azaltmaması için, kullanıldıktan sonra bir daha gerekmeyen verilerin (ÖABÇ ile alınan konum listesi, mesafe ve çarpışma analizlerinin sonuçları, SAM ve ortomozaik verileri, vs.) bellekte tutulmaması sağlanmıştır. 3B görselleştirme alanında, CBS tabanlı yazılımlardan biri olan Arcgis Pro programı kullanılabilmektedir (Esri, 2021). Bu program, ağaçları 3B objeler olarak istenilen konumlara yerleştirebilmektedir. Ancak bu ağaçlar üzerinde bakım faaliyetleri ve devirme analizleri yapılamamaktadır. Görselleştirme alanında yapılan yazılımlardan biri de Yu vd. (2004) çalışmasıdır. Bu yazılım; CBS tabanlı, gerçekçi ve gerçek zamanlı modellemeyi desteklemekte, ağaçların otomatik olarak üretilmesi için önceden hazırlanmış modelleri ve içerisinde barındırdığı veri tabanını kaynak olarak kullanmaktadır. Bununla birlikte çalışmalarında, ekran yenilenme hızının gerçek zamanlı performansa getirilmesi için işlemler yapmışlardır. Ancak günümüz grafik kalitesi göz önüne alındığında, gelişen teknoloji ve 3B grafik programlama kapasitesindeki artış nedeniyle ürettikleri yazılım gerçekçilik ve yüksek çözünürlük açısından grafik konusunda yetersiz kalmaktadır. Crimaldi vd. (2021); ışığın geldiği yönde ve ışık seviyesinde meydana gelen değişikliklere tepki veren, biyolojik kurallara (formüllere) göre gelişen, 3B ortamda gerçek zamanlı sentetik bir ağaç oluşturmak için çalışma yapmışlardır. Akıllı tarım sektörünü odak noktasına alarak yapılan bu çalışma, tarım açısından faydalı olan bir çalışma olmasına karşılık, ormancılık faaliyetlerini-koşullarını içermemesi nedeniyle ormancılığın ihtiyaçlarını tam olarak karşılayamamaktadır. Duessen vd. (2002), büyük dış mekân görüntülerinin etkileşimli şekilde oluşturulması için yöntem geliştirmişlerdir. Yöntemlerinde; karmaşık ve çok sayıda çokgenlerden oluşan bitki modellerini az nokta ve ilkel çizimlerle sunma üzerine odaklanmışlardır. Bu çalışma, günümüzde önemli bir sorun olarak görülen modelleme hızı (görsel modellerin oluşturulma hızı) ve donanım gereksinimi konularına iyi yönde

etki etmektedir. Zhang vd. (2006), büyük ölçekteki orman yapısının iyi performans ve makul görüntü kalitesi ile görselleştirilmesi için bir sistem geliştirdiği gibi, Bao vd. (2011) da gerçekçiliği arttırmaya ve performansa odaklanmışlardır. Başka bir çalışmada Scott (2006) ise, temelinde Sylvan büyüme modelinin yer aldığı Sylview yazılımını geliştirmiştir. Yazılım; ağacın gövde formu (yaş halkaları), tek ağaç halinde ağaçların büyüme şekli ve meşcere ölçeğinde inceleme gibi konularda değerlendirme yapmaya elverişli olacak şekilde tasarlanmıştır. Ancak bu sistem gerçek şekline sadık olacak şekilde koordinatlı 3B arazi yüzeyi üretme ve gerçekçi grafikler ile ormanı bu arazi üzerinde görselleştirme fonksiyonu sağlamamaktadır. Bu konuda, araziye ait gerçek resim (görüntü) verisiyle 3B görselleştirme tekniğinin en etkili yöntem olduğu düşünülmektedir çünkü; bilgisayarların görselleştirme dünyasına yeni bir boyut kazandırmasıyla (Strong & Smith, 2001), 3B görselleştirme hızla yayılmaya başlamış ve daha gerçekçi ve gelişmiş görüntü sentezi sağladığı için bilgisayar grafiklerinde gerçek resimlerin kullanımı büyük ilgi görmüştür (Yoshida vd., 2001). Bir araştırmaya göre, görselleştirme desteğiyle mühendislik eğitimi alan sınıfta ortalama bilgi artışı düz metinle mühendislik eğitimi alan sınıfa göre %40 daha fazla olmuştur (Lis, 2014). Dolayısıyla bu çalışmadaki gerçekçi görselin, algılamayı kolaylaştıracağı ve daha doğru planlar oluşturulmasını sağlayacağı düşünülmektedir. Teknolojinin ilerlemesine rağmen, orman yapısını gerçek verilerle temsil etmek için 3B görselleştirme tekniklerini kullanma olasılığını araştıran çok az sayıda çalışma bulunmaktadır (Kantartzis, 2018). Önceki çalışmalar, "Stand Visualization System" (McGaughey, 1997) gibi çok az sayıda yazılımın, ormanların görselleştirilmesinde ve ormancılık faaliyetlerinin gerçekleştirilmesinde kullanılabileceğini göstermiştir. Bahsi geçen yazılım, silvikültürel faaliyetlerin uygulanmasına ve ağaç formlarının özelleştirilmesine imkân sağlasa da, bu sistem koordinatlı 3B arazi yüzeyi üzerinde, gerçekçi grafikler ile ormanı görselleştirememektedir. Genel olarak, literatürde geçen programların çoğuna günümüzde ulaşamamaktadır. Üretildikten bir süre sonra yayınlanması ve/veya geliştirilmesi durdurulmuştur. Bahsi geçen çalışmalar genel de arazinin temsilini oluşturmaktadır. Ancak, koordinatlı ve gerçekçiyle aynı 3B arazi yüzeyi ve bunun üzerinde yer alan orman yapısını, 3B ortamda görselleştirerek; gezinmeye elverişli, interaktif bir yüksek görsel kaliteli sanal ortam sunmamakta ve gerçekçi canlandırma efektleri ile silvikültürel işlemler yapamamaktadır.

Bu çalışmada aynı zamanda, ağaç devirme uygulamalarının ve analizlerinin 3B ortamda

yapılmasını sağlayan “DEVİR” aracıda geliştirilmiştir. Cedergren vd. (2002), dik eğimli tropik yağmur ormanlarında bile, ağaçların devirme kaynaklı hasarlardan korunması için yönlü devirmenin kullanılabileceğini göstermiş dolayısıyla, bu tez kapsamında aynı zamanda; yönlü kesimin (optimal olarak belirlenen yöne doğru ağacın devrilmesini sağlayacak şekilde yapılan kesim çalışması) faydasını en üst düzeye çıkarmak, bu işlemin analizini ve sunumunu en etkili şekilde yapmak için “DEVİR” aracı dâhilinde çalışmalar yapılmıştır. “DEVİR” aracı, “ForSim” yazılımından bağımsız olarak ta çalışabilmekte dolayısıyla, SAM ve ortomozaik kalitesine bağlı olarak yüksek grafik kalitesinde görüntüler üretebilmekte ve ağaç kesme işlemlerinde önemli bir başarı elde edebilmektedir. Ancak bu araç, ideal formdaki ağaç üzerinde çalışmak için tasarlanmıştır bu nedenle anormal eğrilikler ya da çürüklükler barındıran ağaçlarda kesin sonuç verememektedir. Tecrübeli personeller dahi planlanan yönden bir miktar sapma ile devirme işlemlerini gerçekleştirmekte ve eğimi, kalan ağaçlara hasarı ve olası etkilerini görmezden gelebilmektedir. Genelde işlemler temel mantık ve varsayımlarla veya tecrübeye dayalı olarak yapılsa da bunlar hatalı olabilmektedir. Ağaç kesiminde yapılan hataların çoğu, eğitim ve planlamanın yetersiz/kalitesiz olmasından kaynaklanmaktadır. Cedergren vd. (2002) göre, devirme operasyonlarının planlanan yönden sapması büyük bir güvenlik sorunu olsa da, eğitim yoluyla iş güvenliğinin geliştirilmesi mümkündür. Bu amaçla geliştirilen "DEVİR" yazılımı, kullanım için görsel malzeme sağlaması, kesme işlemlerini interaktif olarak gerçekleştirmesi ve her kararın sonucunu kullanıcıya yansıtması bakımından iyi bir eğitim aracıdır. Bu tür 3B sanal eğitim veya planlama yazılımlarının geliştirilmesi ve kullanılması, ormancılık uygulamalarında ilgi gruplarının bilgi ve becerilerinin artırılması için önemlidir. Çünkü silvikültürel operasyonların görselleştirilmesi; ormancılık operasyonlarında önemli geri bildirimler sağlamakta ve uygulanan işlemlerin yetkili kişilere iletilmesine yardımcı olmaktadır (McGaughey, 1998).

#### 4. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Ormancılık çalışmalarının merkezinde; gençlik bakımı, sıklık bakımı, ışıklandırma, aralama, kesim gibi faaliyetler yer almaktadır. Üretim ve bakım amaçlı yapılan bu faaliyetlerin; verim, can ve mal güvenliği açısından kaliteli bir şekilde uygulanması, planlanması ve ilgili personele/öğrencilere öğretilmesi gerekmektedir. Ormanın incelenebilmesi, ormancılık faaliyetlerin planlanabilmesi ve gözlemlenebilmesi için, bu çalışmanın birincil sonucu; orman yapısının, koordinatlı gerçek arazi modeli üzerinde 3D görselleştirilmesidir. Bu amaçla geliştirilen bir yazılım olan "ForSim", talep ettiği SAM, ortomozaik ve ağaç bilgileri (koordinat, tür, çap, boy, yaş, taç genişliği) ile 3D bir sanal orman ortamı oluşturmaktadır. Oluşturulan sanal orman ortamında; ağaçlar hakkında detaylı bilgi almak, meşcere yapısını incelemek, etkileşimli bir şekilde gezinmek mümkündür. "ForSim", ormanları görselleştirmenin yanı sıra, bakım-kesim faaliyetlerini planlamak ve izlemek için, Python dilinde özel olarak geliştirilmiş bir yazılımdır. "ForSim" yazılımında işlem yapılacak ağaçlar; mesafe, çap, boy ve yaş parametrelerinin istenilen kombinasyon ve değerler ile kullanılmasıyla ve kullanıcı tercihleriyle, seçilmektedir. Bu sayede, yapılacak bakım/kesim/üretim faaliyetleri için bir karar destek mekanizması geliştirilmiştir. Çalışma yapılması planlanan ağacın seçimini, kesim işlemleri takip etmektedir. Yazılım, ÖABC'i ve önceki bölümlerde anlatılan çevresel şartları değerlendirir, tehlike/risk içeren yönleri belirleyerek ve puanlayarak, kesilecek ağaç için geçerli olan tüm yönlerin sorun seviyesini hesaplar. Bu sayede kullanıcı, devirme sonrası olası sonuçları tahmin ederek karar alabilmektedir. Ardından kullanıcı, bilgisayar desteği ile ya da sonuçlara bakarak kendi tercihi ile devirme yönünü seçebilmektedir. Bu yazılımın bir aracı olan "DEVİR", ağacın kesileceği alandaki birey ve nesneler için, tehlikeli alanları belirleyebilir ve görselleştirebilir. Bu işlemin gerçekleştirilmesi için iki ağaç boyu kuralı kullanılmaktadır. Kurala göre; ağacın boyu kadar mesafedeki alan yüksek riskli bölge, ağacın boyunun iki katı kadar mesafedeki alan ise orta-yüksek riskli bölge olarak tanımlanmıştır. Tehlikeli alanlar belirlendikten sonra, ağacın devrilme anında personelin kaçması için kaçış yolunun belirlenmesi de önemlidir. Kaçış yolu, ağacın devrilme yönü için 180°, ters yön için 90° lik aralık tehlikeli olacak şekilde belirlenir. Kalan saha ise

bu yazılım tarafından, kaçış rotası olarak belirlenir ve görselleştirilir.

Bu çalışmanın sonuçları incelendiğinde; plan/uygulama ve eğitimlerin bu yazılım ile yapılmasıyla iş ve personel güvenliğinin, ormanda verimin arttığı, kalan/kesilen ağaçların zarar görmesinin engellendiği, daha başarılı ormancılık operasyonlarının gerçekleştirildiği gözlemlenmiştir. Ayrıca yazılım, eğitimdeki teorik bilgiler ile uygulamayı birleştirmek için önemli bir kaynak olarak görülmektedir. Bu nedenle “ForSim” yazılımının gelecek vaat eden sonuçlarına göre eğitim, teorik ve uygulama aşamalarında kullanılması önerilmektedir. Bunun yanı sıra, bulunduğumuz çağın bilgisayar çağı olduğu ve birçok işlemin bilgisayarlarla daha doğru/detaylı yapılabildiği düşünülecek olursa, ormancılıkta programlama ve bilgisayar derslerinin verilmesi gerekli görülmekte ve tavsiye edilmektedir.

Gelecek çalışmalarda; yazılımın görselleştirebildiği tür sayısını arttırma, ağaçlandırma faaliyetlerini gerçekleştirmek ve ormandan çıkarma yöntemlerini değerlendirmek için araçların eklenmesi planlanmaktadır. Yapay zekâ desteği eklenerek ormancılık işlemlerinin ve veri tablosundaki ağaç bilgilerinin çıkarılmasının makine öğrenmesi, derin öğrenme metotları ile yapılması için geliştirmeler eklenmesi düşünülmektedir. Yangın ve böcek afetlerini analiz etmek için özellikler eklenmesi planlanmaktadır.



## 5. KAYNAKLAR

- Açıkgöz Altunel, T. (2011). 'Odun dışı orman ürünlerinin dünyada ve Türkiye’de sosyo ekonomik boyutu', Doktora Tezi, İstanbul Üniversitesi, İstanbul, Türkiye.
- Akın, G. (2006). Geçmişten günümüze anadolu ormanları ve insan. İçinde *Kırsal Çevre Yıllığı* (ss. 19–31). Ankara: Kırsal Çevre ve Ormancılık Sorunları Araştırma Derneği.
- Aktan, M., Çimen, N., & Özçelik, Y. (2017). Madencilik amaçlı orman izinlerinin Türkiye ve dünyadaki mevzuat uygulamalarının karşılaştırılması. *Türkiye*, 25, 11–14.
- Anonim. (2016). *Treefelling Best Practice Guide*. Yeni Zelanda: Forest Owners Association.
- Arts, B., Behagel, J., van Bommel, S., de Koning, J., & Turnhout, E. (2012). Prelude to practice: introducing a practice based approach to forest and nature governance. İçinde *Forest and Nature Governance* (ss. 3–21). Dordrecht: Springer. [https://doi.org/10.1007/978-94-007-5113-2\\_1](https://doi.org/10.1007/978-94-007-5113-2_1)
- Atmış, E. (2020). Türkiye orman varlığıyla ilgili değişimler ve nedenleri. İçinde *Türkiye Ormancılar Derneği'nin 95. Kuruluş Yıldönümünde: Orman Varlığımız ve Ormancılık Üretim Faaliyetleri* (ss. 9-25). Ankara: Kuban Matbaacılık Yayıncılık.
- Atmış, E. (2017). Türkiye’de politika, toplum ve ormancılık. İçinde *Ormancılık Politikaları ve Orman Köylülerinin Durumu* (ss. 41–68). Ankara: Başkent Kلیşe Matbaacılık.
- Bao, G., Li, H., Zhang, X., Che, W., & Jaeger, M. (2011). Realistic real-time rendering for large-scale forest scenes. İçinde *2011 - IEEE International Symposium on Virtual Reality Innovations* (ss. 217–223). <https://doi.org/10.1109/ISVRI.2011.5759637>
- Bao, G., Zhang, X., Che, W., & Jaeger, M. (2009). Billboards for tree simplification and real-time forest rendering. İçinde *2009 Third International Symposium on Plant Growth Modeling, Simulation, Visualization and Applications* (ss. 433–440). <https://doi.org/10.1109/PMA.2009.38>
- Blombäck, P 2002, *Improving occupational safety and health: the international labour organization's contribution*, RAP publication (FAO), Erişildi 01 Ağustos 2021, <<http://www.fao.org/3/ac805e/ac805e0l.htm>>.
- Boydak, M., & Çalışkan, S. (2014). *Ağaçlandırma*. İstanbul: CTA Ltd. Yayıncılık.
- Brown, S., Pearson, T., Slaymaker, D., Ambagis, S., Moore, N., Novelo, D., & Sabido, W. (2005). Creating a virtual tropical forest from three-dimensional aerial imagery to estimate carbon stocks. *Ecological Applications*, 15(3), 1083–1095. <https://doi.org/10.1890/04-0829>
- Buckley, D. J., Ulbricht, C., & Berry, J. (1998). The virtual forest: advanced 3-D visualization techniques for forest management and research. İçinde ESRI 1998

User Conference (ss. 27-31).

- Bugmann, H., Seidl, R., Hartig, F., Bohn, F., Bruna, J., Cailleret, M., François, L., Heinke, J., Henrot, A. J., Hickler, T., Hülsmann, L., Huth, A., Jacquemin, I., Kollas, C., Lasch-Born, P., Lexer, M. J., Merganic, J., Merganicova, K., Mette, T., Miranda, B. R., Nadal-Sala, D., Rammer, W., Ramming, A., Reineking, B., Roedig, E., Sabate, S., Steinkamp, J., Suckow, F., Vacchiano, G., Wild, J., Xu, C., & Reyer, C. P. O. (2019). Tree mortality submodels drive simulated long-term forest dynamics: Assessing 15 models from the stand to global scale. *Ecosphere*, 10(2). <https://doi.org/10.1002/ecs2.2616>
- Canlı, K. (2010). Küresel ısınmanın orman ekosistemine etkisi. *Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 1(2), 86–96.
- Carle, J., Vuorinen, P., & Del Lungo, A. (2002). Status and trends in global forest plantation development. *Forest Products Journal*, 52(7/8), 12-23.
- Cedergren, J., Falck, J., Garcia, A., Goh, F., & Hagner, M. (2002). Feasibility and usefulness of directional felling in a tropical rain forest. *Journal of Tropical Forest Science*, 14(2), 179–190.
- Chen, C., Tang, L., & Huang, H. (2005). Information management oriented virtual forest landscape construction and its applications. İçinde *2005 IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS'05)* (ss. 3637–3640). <https://doi.org/10.1109/igarss.2005.1526636>
- Crimaldi, M., Carteni, F., & Giannino, F. (2021). VISmaF: Synthetic tree for immersive virtual visualization in smart farming. İçinde *Presented at the 1st International Electronic Conference on Agronomy* (ss. 17).
- Curtis, P. G., Slay, C. M., Harris, N. L., Tyukavina, A., & Hansen, M. C. (2018). Classifying drivers of global forest loss. *Science*, 361(6407), 1108–1111. <https://doi.org/10.1126/science.aau3445>
- De Reffye, P., Edelin, C., Francon, J., Jaeger, M., & Puech, C. (1988). Plant models faithful to botanical structure and development. *Computer Graphics*, 22(4), 151–158.
- De Reffye, P., Elguero, E., & Costes, E. (1991). Growth construction in trees: a stochastic approach. *Acta Biotheoretica*, 39(1965), 325–342.
- Demir, A. (2009). Küresel iklim değişikliğinin biyolojik çeşitlilik ve ekosistem kaynakları üzerine etkisi. *Ankara Üniversitesi Çevre Bilimleri Dergisi*, 1(2), 37–54.
- Deussen, O., Colditz, C., Stamminger, M., & Drettakis, G. (2002). Interactive visualization of complex plant ecosystems. İçinde *IEEE Visualization (VIS 2002)* (ss. 219–226). <https://doi.org/10.1109/visual.2002.1183778>
- Doğan, S., & Tüzer, M. (2011). Küresel iklim değişikliği ve potansiyel etkileri. *C.Ü. İktisadi ve İdari Bilimler Dergisi*, 12(1), 21–34.
- Duyar, A. (2018). Türkiye ormanlarındaki rehabilitasyon çalışmalarının orman varlığı ve karbon birikimine katkısına ilişkin bir öngörü. *Bartın Orman Fakültesi Dergisi*, 20(2), 373–381. <https://doi.org/10.24011/barofd.426501>
- Engür, M. O. (2014). *Odun Üretiminde Çalışanların Eğitimi Ağaç Kesme ve Boylama Operatörü*. Ankara: CTA Ltd Yayıncılık.
- Eriksson, L. O., & Borges, J. G. (2014). Computerized decision support tools to address

- forest management planning problems: history and approach for assessing the state of art world-wide. İçinde *Computer-Based Tools for Supporting Forest Management: The Experience and the Expertise World-wide* (ss. 3–15).
- Esri 2021, *3D GIS - ArcGIS capabilities*, Erişildi 15 Mayıs 2021, <<https://www.esri.com/en-us/arcgis/3d-gis/overview>>.
- FAO 2000, *Global forest resources assessment 2000*, Erişildi 16 Mayıs 2021, <<http://www.fao.org/forest-resources-assessment/past-assessments/fra-2000/en/>>
- FAO 2010, *Global forest resources assessment 2010-main report*, Erişildi 15 Mayıs 2021, <<http://www.fao.org/forest-resources-assessment/past-assessments/fra-2010/en/>>
- FAO. (2015). *Global forest resources assessment 2015*. Rome: FAO.
- FAO. (2020). *Global forest resources assessment 2020 - key findings*. Rome: FAO. <https://doi.org/https://doi.org/10.4060/ca8753en>
- Foresttech, 2021, *Using satellite photogrammetry for forest inventory*, Erişildi 10 Haziran 2021, <<https://foresttech.events/using-satellite-photogrammetry-for-forest-inventory/>>
- Garland, J. J 2018, *Accident reporting and analysis in forestry: guidance on increasing the safety of forest work*, Forestry Working Paper No 2, FAO, Rome.
- Günşen, H. B., & Atmış, E. (2019). Analysis of forest change and deforestation in Turkey. *International Forestry Review*, 21(2), 182–194. <https://doi.org/10.1505/146554819826606577>
- Hanjo, T., & Lim, E-M. (2001). Visualization of landscape by VRML system. *Landscape and Urban Planning*, 55(3), 175–183.
- Hansen, M. C., & DeFries, R. S. (2004). Detecting long-term global forest change using continuous fields of tree-cover maps from 8-km advanced very high resolution radiometer (AVHRR) data for the years 1982-99. *Ecosystems*, 7(7), 695–716. <https://doi.org/10.1007/s10021-004-0243-3>
- Hansen, M. C., Potapov, P. V., Moore, R., Hancher, M., Turubanova, S. A., Tyukavina, A., Thau, D., Stehman, S. V., Goetz, S. J., Loveland, T. R., Kommareddy, A., Egorov, A., Chini, L., Justice, C. O., & Townshend, J. R. G. (2013). High-resolution global maps of 21st-century forest cover change. *Science*, 342, 850–853. <https://doi.org/10.1126/science.1244693>
- Hu, C., Li, P., & Pan, Z. (2018). Phenotyping of poplar seedling leaves based on a 3D visualization method. *International Journal of Agricultural and Biological Engineering*, 11(6), 145–151. <https://doi.org/10.25165/j.ijabe.20181106.4110>
- Idrisi 2021, *IDRISI GIS analysis in terrset 2020*, Erişildi 10 Haziran 2021, <[https://clarklabs.org/wp-content/uploads/2015/10/gis-analysis-terrset\\_large.png](https://clarklabs.org/wp-content/uploads/2015/10/gis-analysis-terrset_large.png)>.
- Jiménez, P., Thomas, F., & Torras, C. (2001). 3D collision detection: a survey. *Computers and Graphics (Pergamon)*, 25(2), 269–285. [https://doi.org/10.1016/S0097-8493\(00\)00130-8](https://doi.org/10.1016/S0097-8493(00)00130-8)
- Kantartzis, A. (2018). A visualization tool for forest landscape using open software. *International Journal of Engineering Research and Development*, 14(07), 23-40.
- Karjalainen, E., & Tyrväinen, L. (2002). Visualization in forest landscape preference

- research: a finnish perspective. *Landscape and Urban Planning*, 59(1), 13–28. [https://doi.org/10.1016/S0169-2046\(01\)00244-4](https://doi.org/10.1016/S0169-2046(01)00244-4)
- Keenan, R. J., Reams, G. A., Achard, F., de Freitas, J. V., Grainger, A., & Lindquist, E. (2015). Dynamics of global forest area: results from the fao global forest resources assessment 2015. *Forest Ecology and Management*, 352, 9–20. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2015.06.014>
- Kindermann, G. E., McCallum, I., Fritz, S., & Obersteiner, M. (2008). A global forest growing stock, biomass and carbon map based on FAO statistics. *Silva Fennica*, 42(3), 387–396. <https://doi.org/10.14214/sf.244>
- Koç, A., & Yeşil, A. (1996). Orman alanlarının envanterinde coğrafi bilgi sistemlerinden yararlanma olanakları. *İstanbul Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi*, 46(1), 83–101.
- Kök, G. (2009). Dünyada ve Türkiye’de orman ürünleri arz talep ilişkileri. İçinde *II. Ormancılıkta Sosyo-Ekonomik Sorunlar Kongresi* (ss. 19–21).
- Köse, S., Mumcu Küçüker, D., & Çelik, D. A. (2013). Amenajman planlarına göre orman alanı, ağaç serveti, artım ve etanın 50 yıllık gelişimi. İçinde *Ormancılıkta Sektörel Planlamanın 50. Yılı Uluslararası Sempozyumu Bildiriler Kitabı* (ss. 62–68). Ankara: CTA Ltd. Yayıncılık.
- Leskinen, P., Viitanen, J., Kangas, A., & Kangas, J. (2006). Multicriteria evaluation of forest plans. *Forest Science*, 52(3), 304–312.
- Lindroos, O. (2006). 'Efficiency and safety in self-employed family forestry', Doktora Tezi, Swedish University of Agricultural Sciences, Umea, İsveç.
- Lis, R. (2014). Role of visualization in engineering education. *Advances in Science and Technology Research Journal*, 8(24), 111–118. <https://doi.org/10.12913/22998624/579>
- MacDicken, K. G. (2015). Global forest resources assessment 2015: What, why and how? *Forest Ecology and Management*, 352, 3–8. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2015.02.006>
- Maréchaux, I., Langerwisch, F., Huth, A., Bugmann, H., Morin, X., Reyer, C. P. O., Seidl, R., Collalti, A., Dantas de Paula, M., Fischer, R., Gutsch, M., Lexer, M. J., Lischke, H., Rammig, A., Rödig, E., Sakschewski, B., Taubert, F., Thonicke, K., Vacchiano, G., & Bohn, F. J. (2021). Tackling unresolved questions in forest ecology: The past and future role of simulation models. *Ecology and Evolution*, 11(9), 3746–3770. <https://doi.org/10.1002/ece3.7391>
- McGaughey, R. J. (1997). Visualizing forest stand dynamics using the stand visualization system. İçinde *Proceedings of the 1997 ACSM/ASPRS Annual Convention and Exposition* (ss. 248–257).
- McGaughey, R. J. (1998). Techniques for visualizing the appearance of forestry operations. *Journal of Forestry*, 96(6), 9–14. <https://doi.org/10.1093/jof/96.6.9>
- Morales-Hidalgo, D., Oswalt, S. N., & Somanathan, E. (2015). Status and trends in global primary forest, protected areas, and areas designated for conservation of biodiversity from the global forest resources assessment 2015. *Forest Ecology and Management*, 352, 68–77. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2015.06.011>
- Muys, B., Hynynen, J., Palahi, M., Lexer, M. J., Fabrika, M., Pretzsch, H., Gillet, F.,

- Briceño, E., Nabuurs, G.-J., & Kint, V. (2010). Simulation tools for decision support to adaptive forest management in Europe. *Forest Systems*, 19(SI), 86-99. <https://doi.org/10.5424/fs/201019s-9310>
- Nagao, M., & Yamada, Y. (2019). Physical effects of hinges shape on chainsaw felling direction in Japanese Cypress. *International Journal of Forest Engineering*, 30(3), 182–189. <https://doi.org/10.1080/14942119.2019.1613611>
- Naghdi, R., Nikooy, M., Ghajar, I., & Ershadifar, M. (2016). A practical linear model for estimation of tree falling direction error in mountainous forests of northern Iran. *Ecopersia*, 4(3), 1505–1516. <https://doi.org/10.18869/modares.ecopersia.4.3.1505>
- Newman, S. M., Keefe, R. F., Brooks, R. H., Ahonen, E. Q., & Wempe, A. M. (2018). Human factors affecting logging injury incidents in Idaho and the potential for real-time location-sharing technology to improve safety. *Safety*, 4(4), 1–18. <https://doi.org/10.3390/safety4040043>
- Odabaşı, T., Çalışkan, A., & Bozkuş, H. F. (2004). *Orman Bakımı*. İstanbul: İstanbul Üniversitesi Basın ve Yayın Müdürlüğü.
- Odabaşı, T., Çalışkan, A., & Bozkuş, H. F. (2007). *Silvikültür Tekniği (Silvikültür 2)*. İstanbul: İstanbul Üniversitesi Basın ve Yayınevi Müdürlüğü.
- Orman Genel Müdürlüğü (OGM). (2015). *Türkiye Orman Varlığı 2015*. Ankara: CTA Ltd. Yayıncılık.
- Orman Genel Müdürlüğü (OGM). (2016). *Oduna Dayalı Orman Ürünlerinin Üretim ve Pazarlama Faaliyetleri*. Ankara: Orman Genel Müdürlüğü.
- Orman Genel Müdürlüğü (OGM) 2019, *Ormancılık istatistikleri 2019*, Erişildi 12 Haziran 2021, <<https://web.ogm.gov.tr/ekutuphane/Istatistikler/Forms/DispForm.aspx?ID=93>>.
- Ok, K. (2017). Türkiye’de ormancılığın yapısı ve sosyal hayata yansımaları. İçinde *Ormancılık Politikaları ve Orman Köylülerinin Durumu* (ss. 69-152). Ankara: Başkent Klişe Matbaacılık.
- Önder, K., & Önder, E. (2009). Ormancılık sektörünün ekonomik büyüme üzerine etkisi: Türkiye örneği. İçinde *II. Ormancılıkta Sosyo-Ekonomik Sorunlar Kongresi* (ss. 444–450).
- Oppenheimer, P. E. (1986). Real time design and animation of fractal plants and trees. *Computer Graphics*, 20(4), 55–64.
- Pratihast, A. K., DeVries, B., Avitabile, V., de Bruin, S., Herold, M., & Bergsma, A. (2016). Design and implementation of an interactive web-based near real-time forest monitoring system. *Plos One*, 11(3), 1–18. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0150935>
- Prusinkiewicz, P., Lindenmayer, A., & Hanan, J. (1988). Development models of herbaceous plants for computer imagery purposes. İçinde *Proceedings of the 15th Annual Conference on Computer Graphics and Interactive Techniques* (ss. 141-150). <https://doi.org/10.1145/378456.378503>
- Ridder, R. M 2007, *Options and recommendations for a global remote sensing survey of forests*, Forest Resources Assessment Programme. Working Paper 141, FAO, Rome.

- Scott, I. R. (2006). 'Sylvview: A visualization system for forest management', Doktora Tezi, University of Missouri, Columbia, ABD.
- Shimada, M., Itoh, T., Motooka, T., Watanabe, M., Shiraishi, T., Thapa, R., & Lucas, R. (2014). New global forest/non-forest maps from ALOS PALSAR data (2007-2010). *Remote Sensing of Environment*, 155, 13–31. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2014.04.014>
- Stoltman, A. M., Radeloff, V. C., & Mladenoff, D. J. (2004). Forest visualization for management and planning in wisconsin. *Journal of Forestry*, 102(4), 7-13.
- Strong, S., & Smith, R. (2001). Spatial visualization: fundamentals and trends in engineering graphics. *Journal of Industrial Technology*, 18(1), 1–6.
- Suhurtana, S., & Yuniawati. (2019). The economic and environmentally friendly tree felling techniques in natural forest. İçinde *IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science* (ss. 012007). doi:10.1088/1755-1315/359/1/012007
- T.C. Kalkınma Bakanlığı 2018, *On birinci kalkınma planı (2019-2023)*, Ormancılık ve Orman Ürünleri Çalışma Grubu Raporu, T.C. Kalkınma Bakanlığı, Ankara.
- Tavankar, F., Majnounian, B., & Bonyad, A. E. (2013). Felling and skidding damage to residual trees following selection cutting in Caspian forests of Iran. *Journal of Forest Science*, 59(5), 196–203.
- Tobita, K., Nitami, T., & Yoshioka, T. (2019). Factors associated with injuries related to chainsaw tree felling in Japan. *International Journal of Forest Engineering*, 30(3), 190–194. <https://doi.org/10.1080/14942119.2018.1555966>
- Türkiye Ormancılar Derneği (TOD). (2019). *Türkiye Ormancılığı: 2019*. Ankara: Kuban Matbaacılık Yayıncılık.
- TruFlite 2021, *Martin D. Adamiker's TruFlite*, Erişildi 10 Haziran 2021, <<http://www.truflite.com/images/Minneapolis-2007.jpg>>.
- Tuncer, M., & Kaya, N. (2010). Orman ve su kaynakları orman ve su ekosistem ilişkisi. İçinde *III. Ulusal Karadeniz Ormancılık Kongresi* (ss. 625–640).
- Ünal, H. E., & Birben, Ü. (2017). Küresel orman kaynaklarının durumu odun üretim / tüketim ve ticaretindeki değişimler: 1990 - 2015 dönemi üzerine bir değerlendirme. *Anadolu Orman Araştırmaları Dergisi*, 3(2), 167–182.
- Utools 2021, *Utools - landscape analysis software*, Erişildi 10 Haziran 2021, <<http://forsys.cfr.washington.edu/Utools/utools.html>>.
- Vacik, H., & Lexer, M. J. (2001). Application of a spatial decision support system in managing the protection forests of Vienna for sustained yield of water resources. *Forest Ecology and Management*, 143(1–3), 65–76. [https://doi.org/10.1016/S0378-1127\(00\)00506-5](https://doi.org/10.1016/S0378-1127(00)00506-5)
- Williams, B. J., Song, B., Hom, J., & Duveneck, M. (2008). Wildfire visualization using GIS and forest inventory data. İçinde *Proceedings of the 6th Southern Forestry and Natural Resources GIS Conference* (ss. 24–26).
- Wu, H. (2020). 'Technologies for silviculture activities: understanding of the practicality of GIS and remote sensing, smartphone, and UAV Lidar', Doktora Tezi, Lakehead University faculty of natural resources management, Ontario, Kanada.
- Yılmaz, İ., & Öztürk, D. (2018). Türkiye orman alanlarının 2000 - 2017 periyodunda



- mekânsal -zamansal değişim analizi. İçinde ISAS 2018-Winter (ss. 386-389).
- Naemura, T., Yoshida, T., & Harashima, H. (2001). 3-D computer graphics based on integral photography. *Optics Express*, 8(4), 255-262.
- Yu, Q., Chen, C., Pan, Z., & Li, J. (2004). A GIS-based forest visual simulation system. İçinde *Proceedings - Third International Conference on Image and Graphics* (ss. 410–413). <https://doi.org/10.1109/icig.2004.5>
- Zhang, H., Hua, W., Wang, Q., & Bao, H. (2006). Fast display of large-scale forest with fidelity. *Computer Animation and Virtual Worlds*, 17(2), 83–97. <https://doi.org/10.1002/cav.69>



# ÖZGEÇMİŞ

## KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı :Burak Türkay

Yabancı Dili :İngilizce

## ÖĞRENİM DURUMU

| Derece    | Alan               | Okul/Üniversite                                                     | Mezuniyet Yılı |
|-----------|--------------------|---------------------------------------------------------------------|----------------|
| Y. Lisans | Orman Mühendisliği | Düzce Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü (G. Ortalama: 4.0 / 4.0) | 2019 – devam   |
| Lisans    | Orman Mühendisliği | Düzce Üniversitesi Orman Fakültesi (Diploma Notu: 3.01 / 4.0)       | 2014 – 2018    |
| Lise      |                    | Mehmet Edip-Fatma Yüksel Anadolu Lisesi (Mardin-Artuklu)            | 2009 – 2013    |

## YAYINLAR

Türkay, B., & Aydın, A., (2021). “DEVİR”: A software for determining and visualizing optimal tree felling direction in three-dimensional terrain. *European Journal of Forest Engineering*, 7(1), 1- 11.