

KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ORMAN MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

SAF VEYA KARIŞIK KAYIN VE LADİN MEŞCERELERİNDE MEŞCERE HACMİNİN  
SENTINEL-2 UYDU GÖRÜNTÜLERİ VE LİDAR VERİLERİ İLE TAHMİN EDİLMESİ  
(AKILBABA VE HARŞİT PLANLAMA BİRİMLERİ ÖRNEĞİ)

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Halil DAĞDELEN

NİSAN 2024  
TRABZON



**KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ**  
**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**ORMAN MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**SAF VEYA KARIŞIK KAYIN VE LADİN MEŞCERELERİNDE MEŞCERE HACMİNİN  
SENTINEL-2 UYDU GÖRÜNTÜLERİ VE LİDAR VERİLERİ İLE TAHMİN EDİLMESİ  
(AKILBABA VE HARŞİT PLANLAMA BİRİMLERİ ÖRNEĞİ)**

**Halil DAĞDELEN**

**ORCID : 0009-0000-8925-3845**

**Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsünde  
"ORMAN YÜKSEK MÜHENDİSİ"  
Unvanı Verilmesi İçin Kabul Edilen Tezdir.**

**Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 16 / 02 / 2024**

**Tezin Savunma Tarihi : 24 / 04 / 2024**

**Tez Danışmanı : Doç. Dr. Uzay KARAHALİL**

**ORCID : 0000-0002-3032-6461**

**Trabzon 2024**

## ÖNSÖZ

“Saf veya Karışık Kayın ve Ladin Meşcerelerinde Meşcere Hacminin Sentinel-2 Uydu Görüntüleri ve LiDAR Verileri ile Tahmin Edilmesi (Akılbaba ve Harşit Planlama Birimleri Örneği)” isimli bu tez Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Orman Mühendisliği Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Programı’nda hazırlanmıştır. Ayrıca bu çalışma Tarım ve Orman Bakanlığı Orman Genel Müdürlüğü Doğu Karadeniz Ormancılık Araştırma Enstitüsü Müdürlüğü’nün 03.3201 (2022-2025) Proje Nolu araştırma projesinin bir parçasıdır.

Bu emek yoğun çalışmamın her aşamasında yönlendiren ve değerli bilgileriyle çözümler sunan danışman hocam Doç. Dr. Uzay KARAHALİL’e şükranlarımı sunarım. Bu eğitim sürecinde Orman Genel Müdürlüğü ve Doğu Karadeniz Ormancılık Araştırma Enstitüsündeki amirlerime verdikleri destekten dolayı teşekkürü bir borç bilirim. Sağladıkları kaynaklar ve gösterdikleri anlayış, bu çalışmamın başarıya ulaşmasında büyük rol oynamıştır.

Aldığım tüm kararlarda beni destekleyen, yorulduğumda teşvik eden, her daim yanımda olan annem babam ve kardeşlerime minnettarlığımı ifade etmek istiyorum.

Bu tez çalışmasının gelecekte yapılacak çalışmalara katkı sağlamasını temenni ederim.

Halil DAĞDELEN

Trabzon 2024

## **TEZ ETİK BEYANNAMESİ**

Yüksek Lisans Tezi olarak sunduğum “Saf veya Karışık Kayın ve Ladin Meşcerelerinde Hacmin Sentinel-2 Uydu Görüntüleri ve LiDAR Verileri ile Tahmin Edilmesi (Akılbaba ve Harşit Planlama Birimleri Örneği)” başlıklı bu çalışmayı baştan sona kadar tez danışmanım Doç. Dr. Uzey KARAHALİL’in sorumluluğunda tamamladığımı, verileri, örnekleri kendim topladığımı, analizleri ilgili laboratuvarlarda yaptığımı, başka kaynaklardan aldığım bilgileri metinde ve kaynakçada eksiksiz olarak gösterdiğimi, çalışma sürecinde bilimsel araştırma ve etik kurallara uygun olarak davrandığımı ve aksinin ortaya çıkması durumunda her türlü yasal sonucu kabul ettiğimi beyan ederim. 24/04/2024

Halil DAĞDELEN

## İÇİNDEKİLER

|                                                                                                     | <b><u>Sayfa No</u></b> |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------|
| ÖNSÖZ.....                                                                                          | III                    |
| TEZ ETİK BEYANNAMESİ.....                                                                           | IV                     |
| İÇİNDEKİLER.....                                                                                    | V                      |
| ÖZET .....                                                                                          | VII                    |
| SUMMARY.....                                                                                        | VII                    |
| ŞEKİLLER DİZİNİ.....                                                                                | VIII                   |
| TABLolar DİZİNİ.....                                                                                | X                      |
| SEMBOLLER VE KISALTMALAR DİZİNİ .....                                                               | XII                    |
| 1. GENEL BİLGİLER .....                                                                             | 1                      |
| 1.1. Doğal Kaynak İzleyen Uydular ve Sentinel Programı .....                                        | 19                     |
| 1.2. LiDAR (Light Detection and Ranging).....                                                       | 22                     |
| 2. YAPILAN ÇALIŞMALAR.....                                                                          | 25                     |
| 2.1. Materyal ve Kullanılan Yazılımlar.....                                                         | 25                     |
| 2.2. Çalışma Alanı .....                                                                            | 25                     |
| 2.3. Yaklaşım Tarzı .....                                                                           | 27                     |
| 2.3.1. Uçuş Güzergahının Belirlenmesi için Ön Keşif Yapılması .....                                 | 28                     |
| 2.3.2. LiDAR Verilerinin Drone Uçuşu ile Elde Edilmesi .....                                        | 30                     |
| 2.3.3. LiDAR Verilerinden Ham Nokta Bulutunun Elde Edilmesi .....                                   | 37                     |
| 2.3.4. Nokta Bulutu Elde Edilen Zonlarda Örnek Alanların Belirlenmesi .....                         | 39                     |
| 2.3.5. Uçuş Zonlarında Belirlenen Örnek Alanlarda Yersel Ölçüm<br>Yapılması .....                   | 43                     |
| 2.3.6. Meşcere Hacminin Örnek Alan Verileri Yardımıyla Ortaya<br>Konması .....                      | 50                     |
| 2.3.7. Sentinel-2 Verilerinin İşlenmesi ve Analizi.....                                             | 53                     |
| 2.3.8. Lidar Verilerinin Analizi.....                                                               | 56                     |
| 2.3.9. Örnek Alan Verileri İle Uzaktan Algılama Verileri Arasındaki<br>İlişkinin Belirlenmesi ..... | 58                     |
| 3. BULGULAR.....                                                                                    | 59                     |
| 4. TARTIŞMA .....                                                                                   | 82                     |
| 5. SONUÇLAR.....                                                                                    | 84                     |
| 6. ÖNERİLER.....                                                                                    | 86                     |
| 7. KAYNAKLAR .....                                                                                  | 87                     |
| ÖZGEÇMİŞ                                                                                            |                        |

**ÖZET**

**SAF VEYA KARIŞIK KAYIN VE LADİN MEŞCERELERİNDE MEŞCERE HACMİNİN  
SENTINEL-2 UYDU GÖRÜNTÜLERİ VE LİDAR VERİLERİ İLE TAHMİN EDİLMESİ  
(AKILBABA VE HARŞİT PLANLAMA BİRİMLERİ ÖRNEĞİ)**

Halil DAĞDELEN

Karadeniz Teknik Üniversitesi  
Fen Bilimleri Enstitüsü  
Orman Mühendisliği Anabilim Dalı  
Danışman: Doç. Dr. Uzay KARAHALİL  
2024, 95 Sayfa

Planın en fazla maliyet ve iş gücü gerektiren kısmı envanterinin yapılmasıdır. Bu çalışmada yersel veriler ile uzaktan algılama yöntemlerinin yardımıyla geliştirilecek regresyon denklemleri kullanılarak, daha az arazi ölçümü ile meşcere hacminin tahmini gerçekleştirilecektir. Böylece ulaşımı mümkün olmayan ya da zor şartlarda çalışılması gereken emek-yoğun arazilerde meşcere hacminin tahminine olanak sağlanacaktır. 44 adet örnek alandaki yersel veriler ile Sentinel-2 görüntülerinden elde edilen band değerleri, vejetasyon indeks değerleri ve LiDAR nokta bulutuna ait boy değerleri ile hesaplanan hacim değerleri arasında Regresyon Analizi yapılmıştır. Tek girişli hacim değerlerinin tahmin edildiği modellerde yalnızca band değerlerini içeren model (B6-B7)  $R^2_{düz.}=0,663$  değerini verirken, çift girişli hacim değerlerinin tahmin edildiği modellerde (B6-B7) ise  $R^2_{düz.}=0,607$ 'dir. Vejetasyon indekslerinde tek girişli hacim için en yüksek değer (SAVI-RVI)  $R^2_{düz.}=0,611$  ile çift girişlide ise (SAVI-RVI)  $R^2_{düz.}=0,561$  olarak elde edilmiştir. LiDAR verilerinin işlenmesi ile elde edilen meşcere hakim boy için tek girişli hacim için  $R^2_{düz.}=0,482$  çift girişli hacim için  $R^2_{düz.}=0,534$  meşcere orta boy için ise  $R^2_{düz.}=0,540$  ve  $R^2_{düz.}=0,568$  değerleri ortaya konmuştur. Tüm değerler dahil edilerek yapılan analizde tek girişli hacim  $R^2_{düz.}=0,719$  çift girişli hacim değer  $R^2_{düz.}=0,652$  'dur. Elde edilen sonuçlarda en yüksek  $R^2$  ile yüksek güven düzeyi ile tahminlerin yapılabileceği anlaşılmaktadır.

**Anahtar Kelimeler:** Meşcere Hacmi, Uzaktan Algılama, Sentinel 2, LiDAR, Regresyon Denklemi

Master Thesis

## SUMMARY

### ESTIMATING STAND VOLUME IN PURE OR MIXED BEECH AND SPRUCE STANDS USING SENTINEL-2 SATELLITE IMAGES AND LiDAR DATA

Halil DAĞDELEN

Karadeniz Technical University  
The Graduate School of Natural and Applied Sciences  
Forest Engineering Graduate Program  
Supervisor: Assoc. Prof. Uzay KARAHALİL  
2024, 95 Pages

The most costly and labor-intensive part of the plan is the inventory. In this study, stand volume will be estimated with fewer land measurements by using regression equations developed with the help of terrestrial data and remote sensing methods. Thus, it will be possible to estimate the stand volume in labor-intensive lands which are not accessible or require hardwork under difficult conditions. Regression Analysis was performed between the terrestrial data in 44 sample areas and the band values obtained from Sentinel-2 images, vegetation index values and height values of the LiDAR point cloud and the calculated volume values. Considering the volume values calculated separately as Single and Double Input after the analysis; in the models where single input volume values are estimated, the model including only band values (B6-B7) gives an  $R^2_{adj.}=0,663$  value, while in the models where double input volume values are estimated (B6-B7),  $R^2_{adj.}=0,607$ . In vegetation indices, the highest value for single entry volume (SAVI-RVI) was obtained as  $R^2_{adj.}=0,611$  and for double entry volume (SAVI-RVI)  $R^2_{adj.}=0,561$ . The values obtained by processing the LiDAR data were  $R^2_{adj.}=0,482$  for single-entry volume,  $R^2_{adj.}=0,534$  for double-entry volume,  $R^2_{adj.}=0,540$  and  $R^2_{adj.}=0,568$  for stand top height. In the analysis including all values, the single-entry volume  $R^2_{adj.}=0,719$  and the double-entry volume value  $R^2_{adj.}=0,652$ . It is understood that predictions can be made with high confidence level with the highest  $R^2$  results.

**Key Words:** Stand Volume, Remote Sensing, Sentinel 2, LiDAR, Regression Models

## ŞEKİLLER DİZİNİ

|                                                                                           | <b><u>Sayfa No</u></b> |
|-------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------|
| Şekil 1. Orman envanter süreci .....                                                      | 4                      |
| Şekil 2. Sentinel-2'nin 13 Spektral Band .....                                            | 20                     |
| Şekil 3. Sentinel-2 uydusunun çalışma şeması.....                                         | 21                     |
| Şekil 4. LiDAR çalışma şeması.....                                                        | 23                     |
| Şekil 5. Çalışma alanının konumsal gösterimi .....                                        | 25                     |
| Şekil 6. Örnek alanların konumsal gösterimi .....                                         | 27                     |
| Şekil 7. Çalışmanın kavramsal çerçevesi .....                                             | 28                     |
| Şekil 8. Drone kalkış noktalarının Google Earth haritasında gösterimi .....               | 29                     |
| Şekil 9. Drone kalkış noktalarının Google Earth haritasında gösterimi .....               | 29                     |
| Şekil 10. Kalibrasyon uçuşu öncesi ilk kalkış görünümü.....                               | 33                     |
| Şekil 11. Kalibrasyon uçuşu öncesi ilk kalkış diğer görünüm .....                         | 33                     |
| Şekil 12. Drone Kontrol Ünitesinin güzergah kontrol ekranı.....                           | 34                     |
| Şekil 13. Matrice 300 RTK Drone ve Z1 Lenmuse Kamera arazide taşınması .....              | 34                     |
| Şekil 14. Drone yazılımı ile ham verinin görüntülenmesi .....                             | 35                     |
| Şekil 15. Nokta Bulutunun ölçüm sonrası görüntüsü .....                                   | 36                     |
| Şekil 16. 27 adet Drone Uçuş güzergahının yazılım ile oluşturulan ölçeksiz haritası ..... | 36                     |
| Şekil 17. Uçuşların nokta bulutlarının Google Earth haritası üzerinde gösterimi.....      | 37                     |
| Şekil 18. Nokta bulutunun ArcGIS'de yükseklik değerlerine göre görüntüsü.....             | 38                     |
| Şekil 19. Nokta bulutunun Las to Multipoint işlemi sonrası görüntüsü .....                | 39                     |
| Şekil 20. Akılbaba-1 zonu örnek alanları .....                                            | 40                     |
| Şekil 21. Akılbaba-2 zonu örnek alanları .....                                            | 40                     |
| Şekil 22. Harşit zonu örnek alanları .....                                                | 41                     |
| Şekil 23. Akılbaba-1 zonu örnek alanlarının topoğrafik haritada gösterimi .....           | 41                     |
| Şekil 24. Akılbaba-2 zonu örnek alanlarının topoğrafik haritada gösterimi .....           | 42                     |
| Şekil 25. Harşit zonu örnek alanlarının topoğrafik haritada gösterimi .....               | 42                     |
| Şekil 26. Arazide örnek alan tespiti.....                                                 | 44                     |
| Şekil 27. Örnek alan büyüklüğüne karar verilmesi .....                                    | 45                     |
| Şekil 28. Örnek alan sınırlarının belirlenmesi .....                                      | 45                     |
| Şekil 29. Örnek alanın güvenlik şeridi ile çevrelenmesi .....                             | 46                     |
| Şekil 30. Örnek alan içinde ve dışında kalan ağaçlar .....                                | 46                     |
| Şekil 31. Örnek alanlar ölçümleri yapan arazi ekibi .....                                 | 47                     |

|                                                                                        |    |
|----------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Şekil 32. Arazi Çalışmaları.....                                                       | 47 |
| Şekil 33. A-1-16 kodlu örnek alanın envanter karnesi .....                             | 49 |
| Şekil 34. Lbc3 için meşcere boy eğrisi.....                                            | 52 |
| Şekil 35. KnLd2 için meşcere boy eğrisi.....                                           | 52 |
| Şekil 36. Sentinel 2 görüntüsünün SNAP uygulamasında “subset” işlemi .....             | 53 |
| Şekil 37. Sentinel 2 görüntüsüne SNAP uygulamasında örnek alanların entegrasyonu ..... | 54 |
| Şekil 38. Örnek alanların maskelenmesi .....                                           | 54 |
| Şekil 39. Multipoint verilerin boy değerlerinin hesaplanması .....                     | 57 |
| Şekil 40. Örnek alan A-1-1’de hesaplanan boy değerlerinin görüntüsü .....              | 57 |
| Şekil 41. Piksellerdeki bant değerlerinin elde edilmesi.....                           | 63 |
| Şekil 42. Vegetasyon İndeks hesaplamaları .....                                        | 68 |
| Şekil 43. Eşyüksekti eğrileri haritasından TIN verisi oluşturma.....                   | 70 |
| Şekil 44. TIN verisinden bakı açıları haritasının oluşturulması .....                  | 70 |
| Şekil 45. Bakı aç değeri haritası ve örnek alana düşen değeri .....                    | 71 |
| Şekil 46. Tek Girişli Hacimlerin Saplı Kutu Grafikleri.....                            | 74 |
| Şekil 47. Çift Girişli Hacimlerin Saplı Kutu Grafikleri.....                           | 74 |
| Şekil 48. Tek Girişli Hacimler için Histogram Grafiği .....                            | 75 |
| Şekil 49. Çift Girişli Hacim için Histogram grafiği .....                              | 75 |

## TABLÖLAR DİZİNİ

### Sayfa No

|                                                                                                                                                       |    |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Tablo 1. Sentinel 2 Uydusu Band Değerleri.....                                                                                                        | 20 |
| Tablo 2. Çalışma alanının ağaç türü karışımlarına dağılımı.....                                                                                       | 26 |
| Tablo 3. Çalışma alanının kapalılık derecelerine dağılımı .....                                                                                       | 26 |
| Tablo 4. Çalışma alanının gelişim çağlarına dağılımı .....                                                                                            | 26 |
| Tablo 5. Çalışma alanının eğim gruplarına dağılımı .....                                                                                              | 27 |
| Tablo 6. Zenmuse L1 özellikleri.....                                                                                                                  | 30 |
| Tablo 7. DJI Matrice 300 RTK özellikleri .....                                                                                                        | 31 |
| Tablo 8. Kullanılan drone ve LiDAR sensörü ile test uçuşu esnasında farklı<br>yüksekliklerden elde edilen nokta bulutu yoğunluğu .....                | 32 |
| Tablo 9. Örnek alanların merkezlerine ait koordinat Listesi .....                                                                                     | 43 |
| Tablo 10. Akılbaba Orman İşletme Şefliği Dikili Kabuklu Gövde Hacmi ve Hacim<br>Artımı Tablosu (1. Sütun hacim 2. Sütun artımı göstermektedir.) ..... | 50 |
| Tablo 11. Harşit Orman İşletme Şefliği Dikili Kabuklu Gövde Hacmi ve Hacim<br>Artımı Tablosu (1. Sütun hacim 2. Sütun artımı göstermektedir.) .....   | 51 |
| Tablo 12. Çalışmada kullanılan vejetasyon indeksleri .....                                                                                            | 56 |
| Tablo 13. Örnek alan kodları, büyüklükleri ve meşcere tipleri listesi.....                                                                            | 60 |
| Tablo 14. Örnek alan Tek ve Çift Girişli Hacim Hesapları.....                                                                                         | 61 |
| Tablo 15. Örnek alanların band yansıma (Reflectance) değerleri .....                                                                                  | 64 |
| Tablo 16. Örnek alanların vejetasyon indeks değerleri .....                                                                                           | 66 |
| Tablo 17. Örnek alanların yükselti, eğim ve boy değerleri .....                                                                                       | 69 |
| Tablo 18. Örnek alanların Bakı açısı değerleri ve Bakı indeksi.....                                                                                   | 72 |
| Tablo 19. Normal Dağılım Testi sonuçları.....                                                                                                         | 73 |
| Tablo 20. Levene Testi ve Independent Samples Test .....                                                                                              | 76 |
| Tablo 21. Tek girişli hacim- band değerleri regresyon analizi.....                                                                                    | 77 |
| Tablo 22. Çift girişli hacim- band değerleri regresyon analizi.....                                                                                   | 77 |
| Tablo 23. Tek girişli hacim- vejetasyon indeks değerleri regresyon analizi .....                                                                      | 77 |
| Tablo 24. Çift girişli hacim- vejetasyon indeks değerleri regresyon analizi .....                                                                     | 78 |
| Tablo 25. Tek girişli hacim- band + vejetasyon indeks değerleri regresyon analizi .....                                                               | 78 |
| Tablo 26. Çift girişli hacim- band + vejetasyon indeks değerleri regresyon analizi .....                                                              | 78 |
| Tablo 27. Tek girişli hacim- meşcere hakim boy değerleri regresyon analizi .....                                                                      | 79 |
| Tablo 28. Çift girişli hacim- meşcere hakim boy değerleri regresyon analizi .....                                                                     | 79 |
| Tablo 29. Tek girişli hacim- meşcere orta boy değerleri regresyon analizi .....                                                                       | 79 |

|                                                                                              |    |
|----------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Tablo 30. Çift girişli hacim- meşcere orta boy değerleri regresyon analizi .....             | 79 |
| Tablo 31. Tek girişli hacim eğim, bakı indeksi ve yükselti değerleri regresyon analizi.....  | 80 |
| Tablo 32. Çift girişli hacim eğim, bakı indeksi ve yükselti değerleri regresyon analizi..... | 80 |
| Tablo 33. Tek girişli hacim- tüm veriler ile regresyon analizi .....                         | 80 |
| Tablo 34. Çift girişli hacim- tüm veriler ile regresyon analizi .....                        | 80 |
| Tablo 35. Regresyan analizi değerleri tablosu.....                                           | 85 |



## SEMBOLLER VE KISALTMALAR DİZİNİ

|            |                                              |
|------------|----------------------------------------------|
| GPS        | : Global Positioning System                  |
| RTK        | : Real Time Kinematic                        |
| NDVI       | : Normalized Difference Vegetation Index     |
| RVI        | : Ratio Vegetation Index                     |
| SAVI       | : Soil Adjusted Vegetation Index             |
| ARVI       | : Atmospherically Resistant Vegetation Index |
| PVI        | : Percentage Vegetation Index                |
| EVI        | : Enhanced Vegetation Index                  |
| DVI        | : Difference Vegetation Index                |
| NDMI       | : Normalized Difference Moisture Index       |
| IRECI      | : Inverted Red Edge Chlorophyll Index        |
| SWIR       | : Short Wave Infrared                        |
| SNAP       | : Sentinel Application Platform              |
| VNIR       | : Visible and Near Infrared                  |
| $R^2$      | : Belirtme Katsayısı                         |
| KS         | : Kolmogorov-Smirnov testi                   |
| V          | : Hacim                                      |
| $d_{1,30}$ | : Ağaç çapı                                  |
| h          | : Ağaç boyu                                  |

## 1. GENEL BİLGİLER

Uzun yıllar boyunca insanlar ormanları bilinçli olarak ihtiyaçlarına göre şekillendirmiş ve yönetmişlerdir. Düzensiz, plansız ve sürekli olarak çoğalan insan ihtiyaçlarının karşılanması ile oluşan bu durum, uzun vadede erozyon nedeniyle toprak kaybı, çevre kirliliği, orman sağlığının bozulması, ekosistem süreçlerinin devamlılığının sağlanamaması gibi birçok soruna yol açmaktadır. Milenyum Ekosistem Değerlendirmesine (MEA, 2005) göre orman planlaması ve yönetimi; ekosistem hizmetlerinin sürekli akışının sürdürülmesi, su üretimi, iklim düzenlemesi, kültürel değerler, toprak oluşumu, besin döngüsü ve kendi kendine yeterlilik gibi "ekosistemlerin insan refahına faydaları" göz önüne alındığında kritik öneme sahiptir. Ekosistem devamlılığını destekleyen hizmetler yanında ormancılıkta odun üretimin işlevselliği ise tüm hızıyla devam etmektedir. Artan nüfus artışı ve yaklaşmakta olan iklim değişikliği, orman kaynaklarının başarılı ve sürdürülebilir yönetimini zorunlu hale getirmekte ve bu süreç gelecekte meşcere bileşenlerine ilişkin güvenilir, doğru ve kolay bulunabilen bilgilere ihtiyaç duymaktadır.

Türkiye ormanlarının tamamına yakını devletin hüküm ve tasarrufu altında olup, Orman Genel Müdürlüğü tarafından sürdürülebilirlik ilkesi esas alınarak işletilmektedir. 6831 sayılı Orman Kanunu'nun 6. maddesinde yer alan "...Devlet ormanlarından yapılacak istihsal, Orman ve Su İşleri Bakanlığınca tespit olunacak esaslar dairesinde ve amenajman planlarına göre Devlet tarafından yapılır..." hükmünün bir uygulaması olarak ülke ormanlarının tamamı orman amenajman planları ile işletilmektedir. Bu planlar Orman Genel Müdürlüğü Orman İdaresi ve Planlama Dairesi Başkanlığı tarafından 10 veya 20 yıllık süreler için orman işletme şefliği bazında yapılmaktadır.

Plan ünitesi orman amenajman planlarını düzenlemek amacıyla, orman ekosistemini meydana getiren bitkisel, hayvansal ve mineral kökenli tüm varlıklar, bu ekosistem içinde kendiliğinden oluşan hizmetlerden öne çıkanlar, ürün ve hizmetlerin miktarı üzerinde etkili olan doğal ve sosyo-ekonomik faktörler, orman zarar ve hastalıkları hakkında bilgi toplama ve değerlendirme yoluyla orman envanteri yapılmaktadır. Buna göre orman envanteri aşağıdaki bölümlerden oluşur (OGM, 2008);

- ❖ Alan envanteri,
- ❖ Yetiştirme ortamı envanteri,
- ❖ Biyolojik çeşitlilik envanteri,

- ❖ Ağaç serveti ve artım envanteri,
- ❖ Odun dışı orman ürünleri envanteri,
- ❖ Ormanın ürün dışı fonksiyonlarının envanteri,
- ❖ Sosyo-ekonomik durum envanteri,
- ❖ Sağlık durumu envanteri.

Yapılacak üretim çalışmaları veya orman ekosisteminin sağlayacağı diğer fonksiyonlardan yararlanma işlemlerinin tümü amenajman planları doğrultusunda yürütülmekte, bu planlar orman ekosistemlerinden yararlanmanın düzenlenmesinin temel dayanağı olmaktadır (OGM, 2008). Dolayısıyla, orman amenajman planları, orman ekosistemlerinin gerek odun hammaddesi ve odun dışı ürünler üretimi ve gerekse üretim dışı diğer hizmetlerden sürdürülebilirlik ilkesi çerçevesinde yararlanmayı düzenleyen temel araçlardır. Bununla birlikte, orman kaynaklarının planlanmasında başarılı olabilmek için güncel ve güvenilir bilgiye ihtiyaç duyulmaktadır (Schreuder vd., 1993; Köhl, 2004; Kangas vd., 2006; Çil, 2014). Orman ekosistemlerinde sözü edilen bilgi orman envanteri ile sağlanmaktadır.

Orman envanteri, planlama sürecinin ilk kritik adımıdır. Envanterin hazırlanmasında geleneksel olarak arazi etütleri ve hava fotoğrafları kullanılmıştır. Bu yöntemde meşcerelerin çizimleri hava fotoğraflarına dayanılarak yapılır ve örnek alanlardan yapılan ölçümler sonrası meşcere parametreleri (hacim, göğüs yüzeyi, ağaç sayısı gibi) bazı ampirik formüller kullanılarak hesaplanır (Özkan ve Demirel, 2018). Ölçümlerin örnek alanlardan toplanması pahalı, emek yoğun ve zaman alıcı bir süreçtir (Trotter vd., 1997; Hyyppä vd., 2000; Gonzalez-Benecke vd., 2014). Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS), Küresel Konumlandırma Sistemleri (GPS) ve uzaktan algılama dahil olmak üzere teknolojiye ileriye doğru ilerlemeler, çeşitli meşcere bileşenlerini ölçmek için yeni ve daha verimli yollar sağlar. Bu nedenle uzaktan algılama verileri, orman yapısal değişkenlerinin değerlendirilmesinde yardımcı veri kaynağı olarak büyük bir potansiyele sahiptir (Kayitakire vd., 2006). Yeterli ölçüde ayrıntıya, doğruluğa ve güven düzeyine sahip bir orman envanteri iyi ve doğru bir planlamanın ön koşulu olduğu için orman amenajmanı açısından orman envanterinin büyük önemi bulunmaktadır. Orman envanterinin amacı, öngörülen doğruluk ve maliyet kısıtları çerçevesinde ve belirlenen zaman dilimi içerisinde orman kaynakları ve bu kaynakların fiziksel çevreleri hakkındaki mevcut nitel ve nicel bilgileri elde etmektir. Ana amaç,

ormanların mevcut durumunun (alan, servet, vb.) ve zamana bağılı olarak meydana gelen değişimlerin (büyüme ve artım gibi) ortaya konulmasıdır. Son yıllarda ormanlardan çok amaçlı faydalanmanın giderek artması ve yaygınlaşmasına bağılı olarak orman envanterinin kapsamı da genişlemektedir (Laar ve Akça, 1997; Köhl, 2004; Çil, 2014).

Orman envanterinde, para, zaman ve emek olarak, giderleri en fazla etkileyen konu, birim alanda hacim ve hacim artımının belirlenmesidir. Günümüzde modern envanter yöntemleri uygulanarak, hangi hata miktarının uygun olacağını işin başlangıcında belirlenebilmekte ve sonuçta da, bu hata sınırı içerisinde bir değer elde edilmesi denetlenebilmektedir. Tüm alan hacmi ancak, var olan ağaçların tek tek hacimlerinin belirlenerek, bunların toplanması ile bulunabilir. Fakat böyle bir çalışma göze alınamaz, buna kalkışılrsa, orman canlı varlık olup, sürekli değiştiği için, envanterin belli zaman içerisinde bitirilmesi zorunluluğu bulunduğundan, zamanında bitirilemez ve böylesine güç bir çalışma başarılabilirse dahi, ekonomik olmaz. Zaman ve ekonomik kısıtlardan dolayı tüm alan yerine, örnek alan alınması, bunlarda yapılacak ölçülerle, meşcere hacminin tahmin edilmesi yoluna gidilmektedir.

Orman envanterinde 4 temel ilkedden bahsedilmektedir (Kapucu, 2004). Bunlar;

- ❖ Ölçme ve gözlemleri sadece envanter konularıyla sınırlı tutmak ve gerekli olmayan bilgi ve dokümanları dikkate almamak,
- ❖ Amaca en uygun doğruluk, güven düzeyi ve hata yüzdesi ile yetinmek,
- ❖ Amaca en uygun araç ve yöntemi seçmek,
- ❖ Ölçme ve gözlemleri tam alan yerine örnekler üzerinde yapmak ve toplanan bilgilerin bilgisayar ortamında, istatistik yöntemlerle değerlendirmektir.

Yapılan araştırma açısından önemli olan ağaç serveti envanteri; ormanın ölçüldüğü anda dikili ağaç servetinin ağaç türü, ağaç adedi, çap sınıfı ve yaş sınıfı, kalitesi ve artım gücü itibarıyla miktarlarının hacim ve ağırlık olarak tespiti olarak tanımlanmaktadır. Ağaç serveti ve artımı envanteri ile ilgili olarak verilen değerler kesin matematik veriler olmayıp, sadece istatistiksel olarak yaklaşık değerler olup, daima sınırı belirli bir güvenle önceden tahmin edilebilen bir hata (temsil hatası) gösterirler. Mevcut yönetmeliğimize göre, örnek alanların büyüklüğü meşcere kapalılıklarına göre 400, 600 ve 800 m<sup>2</sup> olarak alınmaktadır. Şekli ise, alanına göre çevresinin küçük olması sebebiyle daire şeklinde olmaktadır. Ağaç serveti envanteri ise sistematik şekilde alınan örnekleme alanlarında tam ölçme yapmak

sureti ile tespit edilmektedir. Alınan örnek alandaki ağaç çapı hacimleri tek girişli ağaç hacim tablosundaki değerlere göre hesaplanmaktadır. Ağaç sayısı örnekleme alanına giren ağaçların sayısını ifade etmektedir. Örnekleme alanları için bulunan bu değerler örnekleme alanları büyüklüğüne göre hektara çevirme katsayısı ile çarpılarak hektara çevrilmektedir.

Envanter sırasında ölçülecek ögenin yerine ve içeriğine göre, gerekli doğruluğu sağlayan ve envanter maliyetini düşüren en ucuz bilgi kaynağına ve ölçme yöntemine başvurulmaktadır. Ağaç servetinin tahmininde yersel ölçümler yerine hava fotoğrafları ve uydu görüntülerinin kullanılması buna örnek olarak verilebilir. Kısacası; orman ekosistemlerinin gerek üretim ve gerekse diğer hizmetlerinden sürdürülebilirlik ilkesi çerçevesinde yararlanmayı düzenleyen temel araç olan amenajman planlarının hazırlanması aşamasında; güncel, güvenilir, hızlı ve en az maliyetle elde edilmiş bilgiye ihtiyaç duyulmaktadır. Bu nedenle, planlamaya temel oluşturan envanter aşamasında uzaktan algılama tekniklerinin kullanılması, sağladığı avantajlar nedeniyle neredeyse bir zorunluluk haline gelmiştir (Karahalil, 2020). (Şekil 1)



Şekil 1. Orman envanter süreci

1972 yılında “Landsat-1”in dünya yörüngesine oturtulması ve başarı ile çalışması, uzaktan algılamayı ve kullanılan teknikleri tümüyle gözden geçirmeye neden olmuştur.

Okyanusun diğer yakasından karşılık gecikmemiş ve Avrupa’da geliştirilen “SPOT” isimli ikinci doğal kaynak uydusu 1984 yılında Fransızlar tarafından kullanıma alınmıştır. Yüksek yersel çözünürlüklü uydu görüntülerinin 1990’larda ticari olarak sağlanabilir hale gelmesiyle de, ormancılık alanında ve özellikle orman envanterinde uyduların kullanılmasına yönelik gerçekleştirilen çalışmalar hız kazanmıştır (NASA, 2023). Son yıllarda uydu teknolojilerinin gelişimine bağlı olarak, uydu görüntülerinin ve dijital kamera ile çekilmiş yüksek çözünürlüklü hava fotoğraflarının, hem meşcere ayırımında, hem de bilimsel çalışmalarda çeşitli meşcere bileşenlerinin tahmin edilmesinde kullanılmaya başlandığı görülmektedir. Dünya’da yapılan çalışmalara benzer şekilde, ülkemizde ERDAS, ENVI gibi hazır programlar kullanılarak gerçekleştirilen çok sayıda çalışma bulunmaktadır (Özkan, 2003; İnan 2004; Özkan, 2006; Özdemir ve Mert, 2007; Kandemir, 2010; Özdemir ve Karnieli, 2011; Ateşoğlu, 2009; İnce, 2011; Günlü vd., 2011; Mısır, 2013; Şenyurt vd., 2013; Günlü vd., 2013; Özgün, 2014; Kahrıman vd., 2014; Uça Avcı vd., 2014; Çil, 2014; Bulut vd., 2016, Göğçerçin ve Günlü, 2017; Günlü vd., 2019; Bıyıklı ve Marangoz, 2023; Bulut vd., 2023, Günlü, 2024).

Günümüzde ülkemizde yapılan çalışmalarda ağırlıklı olarak piksel yani yansıma (reflectance) değerleri yardımıyla hesaplanan vejetasyon indeksleri ve tekstür bilgileri kullanılarak meşcere bileşenlerinin tahmin edilmeye çalışıldığı görülmektedir. Bununla birlikte, tahmin başarısının istenilen seviyede olmadığı genel kabul görmektedir. Bunun asıl nedenin bu çalışmalarda uydu görüntüleri yardımıyla ağaçların sadece tepelerinin renk tonunun dikkate alınması, meşcerenin tepe çatısının altında kalan ve bu nedenle dikkate alınamayan ya da algılanamayan gövdelerin tespit edilememesidir. Göğüs yüzeyi ve hacme ilişkin tahmin değerleri, her iki bileşenin ilişkili olması nedeniyle birbirlerine yakın çıkmakta ve en ancak %60-80 oranında tahmin edilebilmektedir. Elde edilen bu başarı düzeyi, şu anda orman amenajman planlarının düzenlenmesinde kullanılmak üzere umut verse de, karışık meşcerelerde, eğimli alanlarda, yapraklı ormanlarda başarı düşmektedir. Kullanılan platformların yüksek spektral çözünürlüğe sahip olması, üçüncü boyutun entegre edilebileceği LiDAR verilerinin kullanılması, hazır yazılımların alt programları dışında farklı coğrafi bölge ve türleri dikkate alınarak bizzat araştırmacı ve kullanıcıların kodlama yaparak modeller geliştirmesi başarıyı arttıracaktır. Özetle sadece renk yardımıyla denklem geliştirmenin ötesinde, ağaç boyu ya da dikey yönde veri sağlayan sistemler ile, diğer bileşenlerin modellere entegre edilmesi gerekmektedir (Karahalil, 2020).

Son dönemde ülkemizde LiDAR verilerinin kullanıldığı çalışmalar da bulunmaktadır. Dünya’da 1960’lı yıllardan itibaren kullanılan LiDAR, orman envanterinde özellikle uydu görüntüleri ile birlikte kullanılmaktadır. Ülkemizde sınırlı sayıda LiDAR kamerasının olması, geçmişte bu verilerin orman envanterinde kullanılmasına imkan vermemiştir (Özdemir vd., 2013). Adana’da kaçak yapılaşmayı tespit etmek amacıyla bazı yaylalara komşu orman alanlarında OGM’nin, tüm İstanbul ilini kapsayacak şekilde İstanbul Büyükşehir Belediyesi’nin söz konusu verilere sahip olduğu biliniyordu ve bunun dışında orman ekosistemlerini kapsayan veri bilindiği kadarıyla mevcut değildi. Bununla birlikte 2014 yılında bir gelişme yaşanmış ve LiDAR sistemlerinin ülkeye kazandırılması amacıyla, HGK’nın başkanlığını yürüttüğü “Bakanlıklararası Harita İşlerini Koordinasyon ve Planlama Kurulu” LiDAR test uçuşunun gerçekleştirilmesine karar vermiştir. Bu kapsamda 23 Ekim – 06 Kasım 2014 tarihleri arasında Bergama test bölgesinde iki ayrı yükseklikten (1200m ve 2600m) “Optech” firmasının “Pegasus HA-500” ve “Riegl” firmasının “LMS-Q1560” LiDAR sistemlerinin havadan “LiDAR Test Uçuşları” gerçekleştirilmiştir (Kayı vd., 2015). Bu veriler yardımıyla 58 adet örnekleme alanı alınmış ve LiDAR verileri yanında yine ilk kez WorldView-3 uydu görüntüsü kullanılarak meşcere bileşenleri tahmin edilmiştir. Sonuçta meşcere üst boyu ve meşcere orta boyunda %83, ağaç sayısında %73 ve hacimde ise %66 olmak üzere R<sup>2</sup> değerlerine ulaşılmıştır. Uydu görüntülerinin LiDAR verileri ile birlikte kullanılması sonucunda ise, hacim tahmini veren modelin R<sup>2</sup>’si %70’e yükselmiştir (Kanja, 2016, Kanja vd., 2019; Karahalil, 2020).

Orman envanteri, orman planlama sürecinde kritik ilk adımdır. Envanter geleneksel olarak hem saha ölçümlerine hem de hava fotoğraflarına dayanmaktadır. Bu yöntemde, meşcereler hava fotoğraflarından yola çıkılarak ayrılmakta ve örnek alanlar üzerinde gerekli ölçümler yapıldıktan sonra bazı ampirik formüller kullanılarak meşcere bileşenleri (örn. hacim, taban alanı, yoğunluk) hesaplanmaktadır (Özkan ve Demirel, 2018). Geleneksel olarak orman envanteri; pahalı ve zaman alıcı olan örnek alanlarda yapılan ölçümler yoluyla gerçekleştirilmiştir (Trotter vd., 1997; Hyypä vd., 2000; Gonzalez-Benecke vd., 2014). Uzaktan algılama dahil olmak üzere teknolojiye gelişmeler, çeşitli meşcere bileşenlerinin ölçülmesi için yeni, daha verimli fırsatlar sağlamıştır. Uzaktan algılama verileri, orman yapısal değişkenlerini tahmin etmede yardımcı veri kaynağı olarak büyük potansiyele sahiptir (Kayı vd., 2006). Artık meşcere bileşenlerinin tahmin doğruluğunu geliştirmeye devam etmek, geleneksel ve modern yöntemleri birleştirerek mümkündür.

Meşcere bileşenlerini tahmin etmek için 1970'lerden beri Landsat ve 1980'lerden beri SPOT uydu görüntüleri (Stellingwerf ve Hussin, 1997; Holmgren vd., 2000; Franco-Lopez vd., 2001; Özkan ve Demirel, 2018) geniş çapta çalışılmıştır. Teknolojik gelişmeler yüksek çözünürlüklü ve multispektral görüntü sağlayan gelişmiş sensörlerin üretilmesine yol açmış ve konuya olan ilgiyi arttırmıştır (Franco-Lopez vd., 2001). Son yıllarda, meşcere bileşenlerini tahmin etmek için IKONOS, QuickBird, WorldView ve Sentinel uydu görüntüleri kullanmaya odaklanan ilgili çalışmalar devam etmiştir. Bu uydu görüntüleri, meşcere bileşenlerinin tahmini için uzaktan algılama görüntülerinin en önemli özellikleri olan hem dokusal hem de spektral özellikleri içermektedir (Zhou ve Sun, 1995; Özdemir ve Karnieli, 2011). Çalışmalar, uydu verileri kullanılarak meşcere bileşenlerinin tahmin edilmesi için bantlar ve bitki örtüsü indeksleri gibi yer ve uydu verileri arasındaki ampirik ilişkiye ihtiyaç olduğunu göstermiştir (Günlü vd., 2014).

Hyypä vd. (2000), SPOT XS, SPOT PAN ve Landsat TM arasında meşcere hacmi, meşcere orta boyu ve göğüs yüksekliği tahminlerinin doğruluğunu karşılaştırmıştır. Kayitakire et al. (2006), baskın Ladin meşcerelerinde IKONOS çok yüksek çözünürlüklü uydu görüntüleri ile yaş, meşcere üst boyu, ağaç sayısı ve göğüs yüzeyini tahmin etmişlerdir. Özdemir ve Mert (2007), Kızılçam meşcerelerinde meşcere hacmini tahmin etmek için pansharpen QuickBird uydu görüntüsü verileri ile yersel veriler arasında bir regresyon analizi yapmışlardır. Özdemir ve Karnieli (2011), WorldView-2 uydu görüntüsünden elde edilen görüntü dokusal özelliklerini kullanarak meşcere bileşenlerini incelemişlerdir. Noorian et al. (2016), Kuzey İran'ın Hyrcanian ormanlarındaki ormanın yapısal özelliklerini tahmin etmek için Landsat TM, ASTER ve QuickBird gibi farklı uzamsal çözünürlüklere sahip uydu görüntülerini karşılaştırmışlardır. Meşcere hacmi, göğüs yüzeyi ve ağaç sayısı için QuickBird verilerini kullanan modelin hem ASTER hem de Landsat TM'den daha iyi performans gösterdiği ve böylece yüksek çözünürlüklü uydu verilerinin meşcere bileşen tahmini için daha faydalı olduğu sonucuna varmışlardır.

Hall vd. (2006), meşcere yapısı özelliklerinden biyokütle ve hacmi tahmin etmek için yeni bir yöntem sunmuştur. Landsat ETM+ ve yersel ölçümler, boy, toprak üstü biyokütle ve meşcere hacmini tahmin etmek için kullanılmıştır. En iyi boy modeli,  $0,65 R^2$  ile 3, 4 ve 5 ETM+ bantlarını; en iyi kapalılık modeli ise,  $0,57 R^2$  ile 3, 4 ve 7 ETM+ bantlarını içermektedir. Meşcere hacim tahmini arazi ölçümleri ile karşılaştırıldığında,  $4 m^3 ha^{-1}$  civarında sapma bulunmuştur.

Hirata (2008), QuickBird-2 kullanarak iğne yapraklı plantasyonlarda ağaç sayısını ve meşcere hacmini tahmin etmeyi amaçlamıştır. Yalnızca 41 yaşın üzerindeki meşcerelerde gözlemlenen ve ölçülen bileşen tahminleri arasında pozitif korelasyon bulunmuştur. Uydu verilerinden elde edilen ağaç sayısı yüksek oranda ( $R^2=0,82$ ) tahmin edilmiştir. Elde edilen ağaç tepe alanı ölçümleri, meşcere hacimlerini ( $R^2=0,78$ ) ile ortaya koymuştur.

Mohammadi vd. (2010), meşcere kapallılığı, ağaç sayısı ve meşcere hacmini tahmin etmek için Landsat görüntülerinden yararlanarak bitki örtüsü indeksleri hesaplamışlardır. Meşcere hacmini en iyi tahmin eden indeksler olarak; “Yeşillik Farkı Bitki Örtüsü İndeksi” (GDVI) ve “Fark Bitki Örtüsü İndeksinin” (DVI) doğrusal bir kombinasyonunun, düzeltilmiş  $R^2$ 'sini %43 ve hatasını da  $97.4 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$  olarak bulmuşlardır. Ayrıca, ağaç sayısı dikkate alındığında; bağımsız değişkenler olarak ETM bantları 4 ve 5 olan regresyon modelinin, düzeltilmiş  $R^2$ 'sini %73.4 ve hatasını  $170.13 \text{ ha}^{-1}$  olarak oraya koymuşlardır.

Günlü vd. (2012), yaptıkları çalışmada, saf Doğu Kayını meşcerelerinde hacmi Quickbird ve Landsat 7 ETM+ uydu görüntüleri yardımı ile incelemişlerdir. Meşcere hacmi, toplam 70 adet geçici örnekleme alanında saha ölçümleri ile belirlenmiştir. Yansıma değerleri, örnek alanlara karşılık gelen Quickbird ve Landsat 7 ETM+ uydu verilerine dayalı olarak hesaplanmıştır. Yansıma değerleri ile meşcere hacmi arasındaki ilişkileri incelemek için regresyon analizleri yapılmıştır. Sonuçlar meşcere hacminin tahmininde, Quickbird için bağımsız değişkenler olarak bant 1, bant 2, bant 3 ve bant 4'nin ve Landsat 7 ETM+ için ise bant 2, bant 3 ve bant 4'ün kullanıldığını göstermiştir ( $R^2 = 0.70$ ,  $\text{RMSE}=28.56 \text{ m}^3/\text{ha}^{-1}$ ;  $R^2=0.545$ ,  $\text{RMSE}=53.13 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ ).

Şenyurt vd., (2013), yaptıkları çalışmada, Amasya Orman Bölge Müdürlüğü, Niksar Orman İşletme Müdürlüğü, Karşıkent Orman İşletme şefliği sınırları içerisinde yer alan meşcerelerden alınan örnek alanların çeşitli meşcere özellikleri (meşcere hacmi, göğüs yüzeyi ve ağaç sayısı) ile Landsat 8 uydu görüntüsünden elde edilen bant parlaklık değerleri arasındaki istatistiki ilişkileri, çoğul regresyon analizi ile modellemişlerdir. Meşcere göğüs yüzeyine ve ağaç sayısına ilişkin modellerde, Bant 2 ve Bant 4 bağımsız değişken olarak yer almış olup, model açıklayıcılığı ise sırasıyla; % 65.45 ve % 58.33 olarak bulmuşlardır. Meşcere orta çapına ilişkin modelde ise, sadece Bant 2 bağımsız değişken olarak yer almış olup, model belirtme katsayısı ise; % 49.25 olarak bulunmuştur.

Mısır (2013) tarafından yürütülen bir başka çalışmada, meşcere hacmini tahmin etmek için Karadeniz Teknik Üniversitesi eğitim ve araştırma ormanındaki 120 örnek alan verisi Landsat 7 ETM+ verileri ile ilişkiye getirilmiştir. Açıklayıcı değişkenler olarak çeşitli

bitki örtüsü indeksleri ve 1-5 ve 7 spektral bantlarının yansımaya değerleri kullanılmıştır. Regresyon modelleri, 0.60'lık orta düzeyde  $R^2$  değeriyle sonuçlanmıştır.

IKONOS görüntüsünün meşcere bileşenlerini ölçmek için bir araç olarak kullanılması da bazı çalışmalarda kabul görmüştür. Örneğin, Günlü vd. (2014), bazı meşcere bileşenleri ile spektral özellikler ile bitki örtüsü indeksleri arasındaki ilişkiyi Pan-Sharpned IKONOS uydu görüntüsü kullanılarak modellemişlerdir. Çok aşamalı regresyon analizi gerçekleştirilmiş ve spektral yansımaya değerleri kullanan modeller için en iyi sonuçlar, meşcere hacmi için 0.41'lik  $R^2$ , göğüs yüzeyi için 0.43 ve üst boy için 0.45 olarak bulunmuştur. Bitki örtüsü indekslerinin meşcere bileşenlerini bant yansımaya değişkenlerinden daha iyi tahmin edebildiği belirlenmiş ve geliştirilen modellerde meşcere hacmi için 0,55, göğüs yüzeyi için 0,59 ve üst boy için 0,57 olan daha yüksek  $R^2$  değerleri elde edilmiştir.

Çil, (2014), göğüs yüzeyi, ağaç sayısı ve meşcere hacmini tahmin etmek için dört farklı uzaktan algılama veri kaynağını karşılaştırmıştır. Dört kaynaktan, Landsat 8 uydu görüntüsünden türetilen piksel değerleri ve bitki örtüsü indeksleri kullanılarak geliştirilen modeller saf Karaçam meşcereleri için hacim ve göğüs yüzeyinde sırasıyla 0,59 ve 0,67 olan en yüksek düzeltilmiş  $R^2$  değerleri vermiştir.

Günlü vd. (2015), çoklu doğrusal regresyon analizi yoluyla yansımaya değerlerini ve sekiz bitki örtüsü indeksini kullanarak meşcere hacmini ve sayısını tahmin etmek için SPOT-4 uydu görüntülerinin kullanımı imkanını araştırmışlardır. Sonuçlar, Bant 1 ve 3, SR, DVI, SAVI, EVI ve IPVI kombinasyonunun, düzeltilmiş  $R^2 = \%67$  ve  $RMSE = 8.93 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$  ile meşcere hacmini en iyi tahmin eden değişkenler olduğunu göstermiştir. Ağaç sayısında ise bağımsız değişkenler olarak Bant 1 ve 3, SR, DVI, NLI ve IPVI içeren regresyon modeli düzeltilmiş  $R^2 = \%62$  ve  $RMSE = 6.03 \text{ n ha}^{-1}$  vermiştir.

Meng vd. (2016), göğüs yüzeyi, meşcere hacmi ve çapların standart sapması gibi özellikler de dahil olmak üzere meşcere bileşenlerinin özelliklerini tahmin etmek için SPOT-5 uydu görüntülerinin dokusal ve spektral özelliklerini kullanmıştır. Yersel ölçümler ile görüntüden türetilen dokusal ve spektral ölçümler arasındaki ilişkiyi araştırmak için Pearson korelasyon analizi ve çoklu doğrusal regresyon yapılmıştır. Sonuçlar, SPOT-5 uydu görüntülerinden çıkarılan spektral veya dokusal ölçümler kullanılarak göğüs yüzeyi, meşcere hacmi, çapların standart sapması ve Shannon ve Simpson dahil çeşitli indekslerin güvenilir bir şekilde tahmin edilebileceğini göstermiştir.

Noorian vd. (2016), İran'ın kuzeyindeki Golestan eyaletindeki Hyrcanian ormanlarının yapısal özelliklerini tahmin etmek için Landsat-TM, ASTER ve Quickbird verilerini içeren optik uydu görüntülerini çeşitli konumsal çözünürlüklerini dikkate alarak karşılaştırmalı olarak değerlendirilmiştir. 0.09 ha alana sahip 112 m<sup>2</sup> örnek alanlar, rastgele küme örnekleme yöntemi kullanılarak ölçülmüş ve ardından ölçülen veriler kullanılarak meşcere hacmi, göğüs yüzeyi ve ağaç sayısı hesaplanmıştır. Görüntülerin geometrik ve atmosferik düzeltmelerinden sonra, modelleme için orijinal ve farklı sentetik bantlardan spektral öznelilikler çıkarılmıştır. İstatistiksel modelleme, CART algoritması kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Modellerin performans değerlendirmesi, RMSE tarafından kullanılmayan doğrulama grafikleri ve yanlılık ölçümleri kullanılarak incelenmiştir. Sonuçlar, Quickbird verilerinin meşcere hacmi, göğüs yüzeyi ve ağaç sayısında ASTER ve TM verilerine kıyasla daha iyi performans gösterdiğini göstermiştir. Ancak, ASTER ve TM görüntüleri tarafından yapılan tahminler, her üç bileşen için benzer sonuçlara sahip olmuştur.

Reuveni vd. (2018), Kuzey Negev çölünün iki ormanında çap, meşcere orta boyu ve meşcere hacmini tahmin etmek için Landsat-7 ETM+'dan türetilen spektral bilginin potansiyelini araştırmıştır. Envanter ölçümleri ve Landsat-7 ETM+ spektral bantlarının doğrusal kombinasyonları kullanılarak, ölçülen ve tahmin edilen değerler arasında elde edilen fark; ilk orman için hata, orta çap, meşcere orta boyu ve meşcere hacmi için sırasıyla 0.70 cm, 0.29 m ve 1.48 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup>; ikinci orman için ise sırasıyla 0.61 cm, 0.70 m ve 6.31 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> olmuştur.

Nouri vd. (2020), meşcere kapalılığı, ağaç sayısı ve meşcere hacmini tahmin etmek için Landsat görüntülerinden yararlanarak bitki örtüsü indeksleri hesaplamışlardır. Nouri vd. (2020), doğrusal ve doğrusal olmayan regresyon modellerinin daha iyi sonuçlar sağlayıp sağlamayacağına odaklanmıştır. Sonuçlar; NDVI, Dönüştürülmüş NDVI ve SRVI'nin en iyi tahmin eden indeksler olduğunu ve varyasyonların %91'e kadarını yüksek hassasiyetle açıkladığını göstermiştir. NDVI, SAVI2 ve SRVI için kübik model en uygun bulunmuştur. İkinci dereceden bir model, "Kızılötesi Yüzde Bitki İndeksi" (IPVI) için en iyisi olarak bulunmuştur.

Xie vd. (2020), göğüs yüzeyi, kapalılık ve meşcere hacmini tahmin etmek için topografik bilgilerle birlikte SPOT-5 uydu görüntülerinin dokusal ve spektral özelliklerini kullanmıştır. Biri yalnızca dokusal özelliklere sahip, diğeri hem dokusal hem de spektral özelliklere sahip ve son olarak topografik bilgilerle birlikte hem dokusal hem de spektral özelliklere sahip olan üç tür model oluşturulmuştur. Tek başına dokusal özellikler en zayıf

sonuçları sağlamış, ardından dokusal ve spektral özelliklere sahip modeller gelmiştir. Topografik bilgilerin sunulmasının tüm modeller üzerinde olumlu bir etkisi olduğunu, düzeltilmiş  $R^2$ 'yi meşcere hacmini tahmin etmede 0,658'den 0,820'ye ve göğüs yüzeyi tahmininde 0,732'den 0,778'e çıkardığını gözlemlemişlerdir. Topografik bilgilerin yer aldığı modellerde, yükseklik ve eğim yönü en fazla dahil olan değişkenler olmuştur.

Meşcere bileşenlerini tahmin etmek için Sentinel-2 görüntülerini kullanan çalışma sayısı sınırlıdır. Örneğin; Chrysafis vd., (2017), gerçekleştirdikleri çalışmada, Kuzeydoğu Yunanistan'da heterojen bir Akdeniz ormanında, spektral bantlar ve bitki örtüsü indeksleri kullanılarak meşcere hacmi tahmini için Sentinel-2 görüntülerinin değerlendirilmesi amacıyla bir ön test gerçekleştirmiştir. Elde edilen sonuçlar Landsat-8 görüntüsü ile karşılaştırılmıştır. Sensör tarafından kaydedilen spektrumun mavi ve kırmızı bantları hariç tüm Sentinel-2 MSI bantları, meşcere hacmi ile negatif ancak anlamlı korelasyon sonuçları vermiştir. Geleneksel bitki örtüsü indekslerinin kullanılması, korelasyonun gücünü arttırmamıştır. Fark Bitki Örtüsü İndeksi (DVI), Gelişmiş Bitki Örtüsü İndeksi (EVI) ve Dikey Bitki Örtüsü İndeksinin (PVI), meşcere hacmi ile en güçlü korelasyona sahip olduğu bulunmuştur. İndeks formülündeki yakın kızılötesi (NIR) bandının ilk kırmızı kenar bandı ile değiştirilmesi, ilişkinin büyüklüğünü önemli ölçüde iyileştirmiştir. Her iki sensörde bulunan spektral bilgiler arasındaki ilişkiyi modellemek için kullanılan Rastgele Orman regresyon algoritmasının sonuçları, Sentinel-2 görüntülerinin bilgi içeriğinin, Landsat-8 görüntülerine kıyasla biraz daha yüksek olduğunu ortaya koymuştur.

Hawrylo ve Wezyk (2018), tek tabakalı Sarıçam (*Pinus sylvestris* L.) meşcerelerinin Sentinel-2 kullanılarak meşcere hacminin tahmin doğruluğunu değerlendirmişlerdir. Tahmine dayalı modeller oluşturmak için çoklu doğrusal regresyon (LM) ve rastgele orman (RF) yöntemleri test edilmiştir. 94 dairesel örnek alandan ( $400 \text{ m}^2$ ) alınan ölçümler referans veri olarak kullanılmıştır. Genel olarak, LM yöntemi, RF yönteminden daha doğru modeller sağlamıştır. Yalnızca Sentinel-2 görüntüleri kullanılarak oluşturulan modeller düşük tahmin doğruluğuna sahip olmuş ve %35,14'lük yüksek bir hata (%RMSE) ve 0,24'lük düşük bir belirtme katsayısı ( $R^2$ ) ile karakterize edilmiştir. IPC verilerinin Sentinel-2 yansıma değerleriyle birleştirilmesi en doğru modeli sağlamıştır (RMSE% = %16,95 ve  $R^2 = 0,82$ ). Sonuçlar, tek tabakalı meşcereler için, Sarıçamın egemen olduğu meşcereler için, Sentinel-2 uydu görüntülerinin IPC tabanlı meşcere hacmi tahmin modellerine dahil edilmesinin, model doğruluğunu önemli ölçüde iyileştirmede göstermiştir. Operasyonel bir bakış açısından, Sentinel-2 verilerinin ek kullanımı bu bağlamda doğrulanmamıştır.

Askar vd. (2018) Endonezyada karbon emisyonun azaltılması için yapılan biyokütle izlemesi çalışmalarının bir getirisi olarak özel ormanlarda 45 örnek alanda 7 meşcere hacim tahmini yapmışlardır. Bu çalışma sonucunda ( $r=0,89$  ve  $R^2 = 0,79$ ) değerleri ile güçlü bir korelasyon yakalamışlardır.

Örneğin, Astola vd. (2019), güney Finlandiya'nın Boreal ormanında meşcere bileşenlerinin tahmini için Sentinel-2 ve Landsat 8 verilerinin karşılaştırmalı bir analizini gerçekleştirmişlerdir. Çam, Ladin ve geniş yapraklı ağaçlar için gövde hacmini, meşcere orta çapını, ağaç yüksekliğini ve göğüs yüzeyini tahmin etmişlerdir. Modellerdeki en iyi ortalama performans, tüm Sentinel-2 bantları kullanılarak elde edilmiştir. Örnekleme alanı bazında nisbi hata; ortalama gövde çapı %38,4, göğüs yüzeyi %42,5, meşcere boyu %30,4 ve meşcere hacmi %59,3 oranında elde edilmiştir. Kırmızı kenar 1 bandı en yüksek ve sonrasında ise kısa dalga kıızılötesi ve görünür yeşil bant en iyi sonucu veren Sentinel-2 bantları olarak tespit edilmiştir.

Terekhin (2023) yaptığı çalışmada Orta Rusya'nın bozkırlarındaki Meşe ormanlarında Sentinel 2 görüntüleri yardımı ile meşcere bileşenleri (yaş, boy ve hacim) tahmini için bir ilişki aramıştır. SWIR yani Kısa Dalga Kıızılötesi ile en güçlü ilişkiyi bulmuş ve yaş ile band değerlerinin de ters bir ilişkinin olduğunu ortaya koymuştur. Aynı çalışmanın Dişbudak türünde de belirgin biçimde benzer sonuçlar elde edilmiştir.

Mechergui vd., (2023) 20x20 boyutlarındaki 49 adet örnek alanda Akçaağaç türü için Sentinel 2 uydu görüntülerinden hesapladığı NDVI değerleri ile tahmin etmeye çalışmıştır. %70 rastgele ölçüm %30 kontrol olarak 2 grupta yapılan ölçümlerde ağaçların boyları 2,2 ile 10,8 m arasında, göğüs çağı ise 0,15 ile 1,2 m arasında değişmiştir. Bu veriler ile oluşturulan tahmin denkleminde  $R^2 = 0,997$  gibi çok güçlü bir ilişkiyi ortaya koymuştur.

Yukarıdaki çalışmalara ek olarak uydu görüntülerinin LiDAR verileri ile entegre edilmesi konusunda çok sayıda araştırmacı önerilerde bulunmuşlardır.

Dubayah vd., (2000); LiDAR sensörlerinin, orman kapalılığının yanı sıra alt kapalılık opografisinin üç boyutlu dağılımını doğrudan ölçtüğünü, bu nedenle yüksek çözünürlüklü topografik haritalar ve ağaç yüksekliği, örtü ve kapalılık yapısının son derece hassas tahmin ettiğini belirtmiştir. Ek olarak, pasif optik ve aktif radar sensörlerinin tipik olarak bunu yapamadığı yüksek biyokütleyle sahip ekosistemlerde bile, LiDAR'ın LAI ve yer üstü biyokütlesini doğru bir şekilde tahmin ettiğini göstermiştir.

Lim vd. (2003) LiDAR teknolojisinin, yüksek mekansal çözünürlüklerde ve dikey doğruluklarda yatay ve dikey bilgi sağladığını belirtmiştir. Meşcere boyu gibi orman

bileşenlerin, doğrudan LiDAR verilerinden alınabileceğini ifade etmişlerdir. Meşcere boyunun doğrudan alınmasının, yerüstü biyokütle ve meşcere hacmini modellemek için fırsatlar sağladığını ortaya koymuşlardır. Orman ekosistemlerinin dikey doğasına erişimin, gelişmiş orman izleme, yönetimi ve planlaması için yeni fırsatlar da sunduğu sonucuna varmışlardır.

Akay vd. (2008) yaptıkları çalışmada geniş ölçekli alanlarda doğal kaynakların yönetiminin, arazide önemli miktarda veri toplama ve gerekli bilgileri sağlamak için ofisteki verilerin azaltılmasını gerektiren oldukça zaman ve kaynak tüketen bir görev olduğunu belirtmişlerdir. Bu nedenle yüksek performanslı LiDAR uzaktan algılama teknolojisinin, son zamanlarda doğal kaynakların uygulamalarında kullanım için etkili bir araç haline geldiğini savunmuşlardır. Ormanlık alanlardaki LiDAR ölçümlerinin, orman yapılarının üç boyutlu özellikleri hakkında yüksek kaliteli veriler sağlayabileceğini ifade etmişlerdir.

Falkowski vd. (2009), LiDAR verilerinin, meşcere boyu, göğüs yüzeyi ve LAI gibi bir dizi orman yapısal özelliğinin tahmin edilmesi için yararlı olduğunu kanıtlamışlardır. Çalışmada, Kuzey Idaho'daki yapısal olarak çeşitli, karışık türe sahip ormanlarda LiDAR verilerinin kullanımını değerlendirmişlerdir. Üç boyutlu orman süksesyonunun altı aşamasını sınıflandırmak için bir algoritmik modelleme prosedürü (Rastgele Ormanlar) ile bağlantılı olarak LiDAR'dan türetilen çeşitli metrikler kullanarak %95'lik bir genel doğruluk elde etmişlerdir. Burada sunulan algoritmik model, diğer bileşenlerin yanı sıra meşcere orta boyu ve ekolojik olarak anlamlı sınıflandırmalar geliştirmişlerdir. Bu çalışma, karışık ve iğne yapraklı ormanlarda orman süksesyonunu doğru bir şekilde sınıflandırmak için LiDAR verilerinin faydasını vurgulamıştır.

Uydu görüntülerinin LiDAR verileri ile somut olarak entegre edildiği çalışmalar da oldukça yaygınlaşmıştır. Örneğin;

Naesset (1997), 36 Avrupa Ladini (*Picea abies* Karst.) ve Sarıçam (*Pinus sylvestris* L.) meşcerelerinin meşcere hacimi, kapalılık ve meşcere boyunu tahmin etmiştir. Ortalama olarak, meşcere başına 1350–1910 nokta bulutu elde edilmiş ve karşılık gelen 505–1070 ağaç boyu nokta bulutu sağlanmıştır. Meşcere hacmi, meşcere boyu ve lazer verilerinden belirlenen kapalılık yoğunluğunun belirtme katsayıları 0,456 ile 0,887 arasında gerçekleşmiş, varyasyon katsayıları %17,2 ile %43,3 arasında değişmiştir.

Naesset (2002), meşcere orta boyu, üst boy, ortalama çap, gövde sayısı, göğüs yüzeyi ve meşcere hacmini 144 örnek alan verisi ve LiDAR'dan elde edilen çeşitli kapalılık indeksleri ve kapalılık yoğunluğu metrikleri ile regresyon analizi kullanarak tahmin etmiştir.

Örnek alanlar 1000 hektarlık bir çalışma alanına sistematik olarak dağıtılmış ve her bir örnek alanın büyüklüğü 200 m<sup>2</sup> olarak alınmıştır. İletilen lazer darbeleri arasındaki mesafe yerde ortalama olarak, 0,9 m olarak hesaplanmıştır. Örnek alanlar yaş sınıfına ve arazi verimine göre üç katmana ayrılmıştır. Katmana özgü regresyonlar, meşcere orta boyu, üst boy, çap, gövde sayısı, göğüs yüzeyi ve meşcere hacmindeki ortalamadaki değişkenliği %82-95, %74-93, %39-78, %50-68, %69-89 ve %80-93'ünü açıklamıştır. Tüm meşcerelerin özelliklerinin tahmini için önerilen pratik iki aşamalı bir prosedür test edilmiştir. Çalışma alanı içerisinde yer alan ve her biri ortalama 1,6 ha büyüklüğünde olan 61 adet meşcere, 200 m<sup>2</sup>'lik düzenli grid hücrelere bölünmüştür. İncelenen altı özellik, tahmin edilen regresyon denklemleri kullanılarak karşılık gelen lazer verilerinden her ızgara hücresi için tahmin edilmiştir. Her bir meşcere için ortalama değerler hesaplanmıştır. Çoğu meşcere seviyesi tahminleri anlamlı bulunmuştur ( $P>0.05$ ). Meşcere orta boyu için 0,61-1,17 m, üst boy için 0,70-1,33 m, orta çap için 1,37-1,61 cm, ağaç sayısı için hektarda 128–400 (%16,9-22,2) adet, göğüs yüzeyi için 2,33–2,54 m<sup>2</sup>/ha ve meşcere hacminde de 18,3–31,9 m<sup>3</sup>/ha tahmin edilen ve ölçüm değerleri arasındaki farkların standart sapmaları olarak hesaplanmıştır.

Ioki vd. (2010), yaptıkları çalışmada, geniş yapraklı ormanlarda meşcere hacmini tahmin etmek için LiDAR'ın kullanımını araştırmışlardır. Batı Japonya'daki çalışma alanındaki ılıman geniş yapraklı ağaçlardan oluşan 20 örnek alanda arazi ölçümleri yapılmıştır. LiDAR verilerinden beş yükseklik değişkeni ve iki yoğunluk değişkeni yanında çok sayıda türetilmiş indeks değerleri (NDVI, alternatif bir yoğunluk değişkeni; d NDVI) türetilmiştir. Çapraz doğrulama analizi ile doğrusal olmayan en küçük kareler regresyonu, tek değişkenler ve kombinasyonlar kullanılarak toplam 23 model geliştirilmiştir. En iyi tahmin, bağımsız değişkenler h 75 ve d OVF tarafından elde edilmiş ve düzeltilmiş R<sup>2</sup>'nin 0,755 ve ortalama meşcere hacminin %16,4'üne karşılık gelen 41,90 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup>'lik hata ile sonuçlanmıştır.

Gonzalez-Ferreiro vd. (2012), yaptıkları çalışmada *Pinus radiata* D. Don'un Galiçya Atlantik ormanlarındaki meşcere bileşenlerini LiDAR kullanarak tahmin etmek için doğrusal, güç fonksiyonu ve üstel modellerin geçerliliğini doğrulamayı amaçlamışlardır. Bu ormanlar, metodolojinin geliştirildiği boreal ormanlardan yapı ve tür kompozisyonu bakımından farklılık göstermektedir. Test edilen modeller, LiDAR'dan türetilen boy ve yoğunluk dağılım metriklerini kullanarak; meşcere orta boyu, üst boy, meşcere göğüs yüzeyi, meşcere hacmi, meşcere biyokütlesini tahmin etmek için geliştirilmişlerdir. Üstel modeller çoğu durumda en iyi performansı göstermişlerdir. Belirtme katsayıları ise 0,44

(meşcere biyokütlesi), 0,87 (üst boy) arasında hata ise %8,2 (üst boy) ile %31,6 (meşcere biyokütlesi) olarak bulunmuştur.

Wallece vd. (2012), düşük maliyetli bir İHA-LiDAR sisteminin geliştirilmesi ve 3D nokta bulutları üretmek için buna eşlik eden bir iş akışı sunmuşlardır. TerraLuma UAV-LiDAR sistemi, bir GPS alıcısı, bir IMU ve bir yüksek çözünürlüklü video kameradan gelen gözlemleri birleştiren yeni bir yörünge belirleme algoritması içeren değiştirilmiş iş akışı sunmaktadır. UAV-LiDAR sistemi tarafından üretilen çok yüksek yoğunluklu nokta bulutlarının ( $m^2$  başına 62 noktaya kadar) ağaç konumu, yüksekliği ve taç genişliğinin ölçümü üzerindeki etkisi, ayrı ayrı izole edilmiş ağaçlar üzerinde tekrar anketleri yapılarak da değerlendirilmiştir. Ağaç yüksekliğinin standart sapmasının,  $m^2$  başına 8 nokta yoğunluğu olan veriler kullanıldığında 0,26 m'den, daha yüksek yoğunluklu veriler kullanıldığında 0,15 m'ye düştüğü gösterilmiştir. 0,80 m ile 0,53 m ağaç konumu ve 0,69 m ile 0,61 m taç genişliği ölçüm belirsizliğindeki iyileştirmeler de gösterilmiştir.

Özdemir (2013) LiDAR verilerinin bazı meşcere bileşenlerinin tahmininde potansiyelini incelemek amacıyla göğüs yüzeyi (BA), ağaç sayısı (N), Reineke Sıklık İndeksi (RDI) ve ortalama çap (MDBH) gibi meşcere bileşenleri, farklı özelliklere sahip meşcerelerden 30 örnekleme alanında arazi ölçümü ile tahmin edilmiştir. Boy yüzdelerinin (50., 90., 95. ve 99.) ve yer dışı noktaların (NGP) oranını içeren LIDAR metrikleri, örnek alanlara karşılık gelen LIDAR noktalarına dayalı olarak hesaplanmıştır. LIDAR metrikleri ile meşcere bileşenleri arasındaki ilişkileri araştırmak için korelasyon analizi yapılmıştır. LIDAR metrikleri ile meşcere bileşenleri BA ve RDI arasında ilişki bulunamamıştır. Öte yandan, LIDAR metrikleri ile meşcere bileşenleri, N ve MDBH arasında istatistiksel olarak anlamlı ( $p < 0,01$ ) korelasyonlar belirlenmiştir (en yüksek korelasyon katsayıları ( $r$ ) sırasıyla 0,70 ve 0,72 olarak bulunmuştur). Aynı analizler, ibreli meşcerelerden alınan örnek alanlar (19 parsel) için de yapılmıştır. LIDAR metrikleri ile meşcere bileşenleri arasındaki ilişkilerin korelasyon katsayılarında belirgin bir artış gözlemlenmiştir. N ve MDBH için hesaplanan en yüksek korelasyon katsayıları sırasıyla 0,82 ve 0,84 olarak tespit edilmiştir. Ek olarak, ibreli türlerden alınan 19 örnek alan kullanıldığında NGP ile meşcere bileşenleri BA ve RDI arasında istatistiksel olarak anlamlı ancak zayıf ilişkiler bulunmuştur ( $r$  sırasıyla 0,46 ve 0,58'dir). Bu nedenle, karışık orman ekosistemlerinde meşcere bileşenleri LIDAR verileri ile tahmin ediliyorsa, meşcerelerinin belirli kriterlere göre önceden alt sınıflara ayrılması gerektiği sonucuna varmışlardır. Adım adım prosedürle geliştirilen regresyon modelleri, N ve MDBH'deki varyasyonun sırasıyla %0,82 ve %0,70'sini açıklamıştır. Sonuç olarak, N ve

MDBH, havadan lazer tarama verileri kullanılarak ibreli ağaçların hakim olduğu meşcereler tahmin edilebilir olduğunu belirlemişlerdir.

Gonzalez-Benecke vd. (2014), arazi ölçümlerinden elde edilen verileri kullanarak çap (dbh) ve hacmi (V) tahmin etmek için modeller geliştirmişlerdir. Meşcere boyunun (H) ve taç alanının (CA) fonksiyonları olarak dbh ve V'yi tahmin etmek için denklemleri geliştirmek için ABD Körfez Kıyı Ovası bölgesinde bulunan 127 örnek alanda 3.376 adet dikilmiş Çam türüne ilişkin veriler kullanılmıştır. CA ek bir bağımsız değişken olarak eklendiğinde, H'nin bir fonksiyonu olarak dbh'nin tahmini iyileşmiştir. Benzer şekilde, H'ye dayalı V tahminleri, CA dahil edildiğinde iyileşme göstermiştir. Yaş, alan indeksi, üst boy ve ağaç sayısı gibi ek meşcere değişkenlerinin dahil edilmesi de değerlendirilmiş, ancak model performansında sadece küçük iyileştirmelerle sonuçlanmıştır. Model testi için, model geliştirme için kullanılan coğrafi alanın içinde ve dışında bulunan dikilmiş ve doğal olarak yenilenmiş ağaçlardan alınan veriler kullanılmıştır. Sonuçlar, geniş bir yaş aralığında doğal olarak gençleştirilen ve dikilmiş meşcerelerde H ve CA bilindiğinde, modellerin dbh ve V tahminleri için sağlam bir alternatif olduğunu göstermiştir.

Cao vd. (2019), dikimle getirilmiş ormanlardaki orman yapısal özelliklerinin tahmin edilmesinin, ormanların sürdürülebilir yönetimi için çok önemli olduğunu ve ormanların küresel karbon depolamasına katkılarının anlaşılmasına yardımcı olacağını ifade etmişlerdir. İHA-LiDAR sistemlerinin, üç boyutlu (3B) orman yapısal bilgilerinin yüksek doğrulukta tahminlerini sağlama kapasitesi nedeniyle umut verici bir teknoloji haline geldiğini ve orman planlama için kullanılmaya başlandığını belirtmişlerdir. Bu sistemlerin uçağa takılan LiDAR'a göre maliyet, daha yüksek esneklik ve daha iyi çözünürlük sunduğunu ifade etmişlerdir. Yaptıkları çalışmada, örnek alan düzeyinde metriklerin (dağılım, meşcere hacmi ve Weibull'a uygun metrikler) ve bireysel ağaç metriklerinin (ağaçların maksimum, minimum ve ortalama yüksekliği ve ağaç sayısı) etkinliği incelenmiştir. UAV-LiDAR nokta bulutlarından elde edilen ağaç tespit (ITD) sonuçları değerlendirilmiş, daha sonra bu metrikler, altı orman yapısal özelliğinin tahmin modellerine parametrik (kısmi en küçük kareler (PLS)) ve parametrik olmayan (Doğu Çin'de bir Ginkgo plantasyonu içinde k-En Yakın Komşuluk (k-NN) ve Rastgele Orman (RF)) yaklaşımları ile ortaya konmuştur. Ek olarak, UAV-LiDAR nokta bulutu yoğunluğunun türetilen metrikler ve bireysel ağaç segmentasyon sonuçları üzerindeki etkileri değerlendirilmiş ve bu metriklerin topraküstü biyokütle (AGB) ile olan korelasyonlarını bir duyarlılık analizi ile değerlendirmişlerdir. Sonuçlar, genel olarak, hem meşcere düzeyinde hem de bireysel ağaç özetli metriklere (CV-

$R^2 = 0,66-0,97$ ,  $rRMSE = \%2,83-23,35$ ) dayalı modellerin, yalnızca meşcere düzeyinde metriklere dayalı modellerden daha iyi performans gösterdiğini göstermiştir. ( $CV-R^2 = 0,62-0,97$ ,  $rRMSE = \%3,81-27,64$ ). PLS, Lorey'nin ortalama yüksekliği ( $CV-R^2 = 0,97$ ,  $rRMSE = \%2,83$ ) için nispeten yüksek bir tahmin doğruluğuna sahipken, k-NN, hacmi ( $CV-R^2 = 0,94$ ,  $rRMSE = \%8,95$ ) ve AGB'yi tahmin etmek için iyi performans göstermiştir ( $R^2 = 0,95$ ).

Kanja vd. (2019), yaptıkları çalışmada, LiDAR verileri ve WorldView-3 görüntülerinden elde edilen piksel değerleri, doku özellikleri ve bitki örtüsü indeksleri kullanılarak meşcere hacmi, meşcere orta boyu, üst boy ve ağaç sayısını tahmin etmişlerdir. Kızılcım meşcerelerinden alınan toplam 58 örnek alan verisinin değerlendirildiği çalışmada,  $R^2$  değerleri yalnızca LiDAR'dan türetilen metrikleri kullanan regresyon modelleri, sırasıyla hacim, ağaç sayısı ve meşcere orta boyu ve üst boy için 0.66, 0.73, 0.83 ve 0.83 olarak tespit edilmiştir. LiDAR'dan türetilen metrikleri önce WorldView-3 bant ve sonrasında vejetasyon indeks değerleri entegre edildikten sonra sırasıyla meşcere hacminde 0,70 ve 0,77  $R^2$  değerlerine ulaşılmıştır. Buna karşılık, diğer özelliklerin yanı sıra doku özelliklerini içeren bileşenlerin tahmin doğruluğu üzerinde olumlu bir etkisi olmamıştır.

Özkan vd., (2020) yaptıkları çalışmada, bir orman amenajman planı için kullanılabilecek ayrıntılı bir orman meşcere haritasının otomatik olarak üretilmesi için LiDAR – WorldView-3 veri sinerjisinin potansiyelini araştırmışlardır. İlk olarak, tek başına LiDAR verilerine ve LiDAR/WorldView-3 veri setine görüntü bölütleme uygulanmıştır. Segmentasyon sonuçlarının görsel olarak incelenmesi, LiDAR/WorldView-3 veri setine dayalı görüntü nesnelerinin referans orman meşcere sınırları ile daha uyumlu olduğunu göstermiştir. Segmentasyon işleminden sonra, LiDAR ve LiDAR/WorldView-3 veri setleri nesne tabanlı sınıflandırma yöntemi kullanılarak bağımsız olarak sınıflandırılmıştır. İki sınıflandırma seviyesi test edilmiştir. İlki, referans meşcere türleri dikkate alınarak 14 sınıflı detaylı bir sınıflandırmadır. İkincisi, bazı meşcere türlerinin birleştirildiği 9 sınıflı kaba sınıflandırmadır. Sınıflandırmada LiDAR metriklerinin ortalama, standart sapma ve doku özellikleri ve spektral bilgileri kullanılmıştır. LiDAR verilerinin doğruluk değerlendirme sonuçları, ayrıntılı ve kaba sınıflandırmalar için Genel Doğruluk (OA) 0.31 ve 0.43, Kappa İndeksi (KIA) 0,26 ve 0,32 olarak hesaplandığını göstermiştir. LiDAR/WorldView-3 veri seti için OA değerleri sırasıyla 0,50 ve 0,61, KIA ise detaylı ve kaba sınıflandırmalar için 0,46 ve 0,55 olarak hesaplanmıştır. Bu sonuçlar, LiDAR/WorldView-3 veri sinerjisinden türetilen orman meşcere haritasının, referans orman meşcere haritası ile daha uyumlu olduğunu göstermiştir. Sonuç olarak, bu çalışmada üretilen orman meşcere haritalarının

stratejik orman planlama ihtiyaçlarını karşılayabileceği ancak taktik orman amenajman planları için yeterli olmadığı ortaya konmuştur. Meşcere bileşenlerinin tahmininin doğruluğunu artırmak için geleneksel ve modern yöntemleri birleştirmenin mümkün olduğu sonucuna varılmıştır.

Li, vd. (2020) yılında orman karbon depolamasının tepe çatısı kapalılığına bağlı olduğundan yola çıkarak Sentinel-1, Sentinel 2 ve LiDAR verileri ile tepe çatısının tahmin edilmesi çalışması yapılmıştır. Bu çalışmada  $R^2$  değeri olarak 0,78 ve 0,68 gibi tatmin edici yüksek güvenilirlik değerleri elde edilmiştir.

2022 yılına gelindiğinde yaptığı çalışma da yine karbon stoğu konusunda ormanın toprak üstü biyokütlesinin doğrudan etkisi bilinerek Sentinel ve LiDAR verilerinin ışığında tahmin edilmesiyle yapılmıştır. Bu çalışmada R değeri olarak 0,71 değeriyle düşük hata seviyesinde bir tahmin yapılmıştır (Jiang, vd., 2022).

Heidi vd., (2023) Lower Mississippi Alluvial Valley (LMAV) korunan alanında LiDAR ile elde edilen veriler ile yer üstü biokütlesi, özellikle ortalama çap, tepe çatısı büyüklüğü, hektardaki ağaç sayısı gibi bileşenlere ilişki kurmuştur. Elde edilen  $R^2$  değerleri 0,34 ile 0,82 aralığında değerler olması sebebiyle faydalı bir çalışma olmuştur.

Gelinen noktada; meşcere hacminin gelişen teknolojik imkanlara göre ve daha önce denenmemiş meşcere yapılarında tahmin edilmesine ihtiyaç bulunmaktadır. Tahmin edilecek meşcere bileşenlerinin yersel ölçümleri için harcanan zaman, emek ve maliyetin de göz önünde bulundurulması, bunun tahmin maliyetlerinin azlığı ile karşılaştırılması sonucunda konunun ciddiyeti daha da artmaktadır. Bu konuda yapılan çalışmaların birçoğunun elde ettiği R değerlerinin istenilen güven düzeyinde olması çalışmaların sonuçlarının umut verici olması için bir etkidir. Ayrıca, ormanların ormanların sürdürülebilirlik, iktisadilik, verimlilik, çok amaçlı faydalanma, sosyo-kültürel geleneklerin yansıtılması, sektörler arası eşgüdüm, uluslararası sorumluluk, biyolojik çeşitliliği koruma, estetik ve diğer değerleri koruma, karbon dengesi, ormancılık ana planı, imzalanan uluslararası sözleşmelerde belirlenen gösterge ve ölçütler, beş yıllık kalkınma planları, stratejik bölgesel planlar, ulusal ormancılık programı (Orman Amenajman Yönetmeliği – OGM 2008) kriterleri ışığında planlara ihtiyaç duymaktadır. Bütün bunların yanında bu çalışmanın bir diğer gerekçesi;

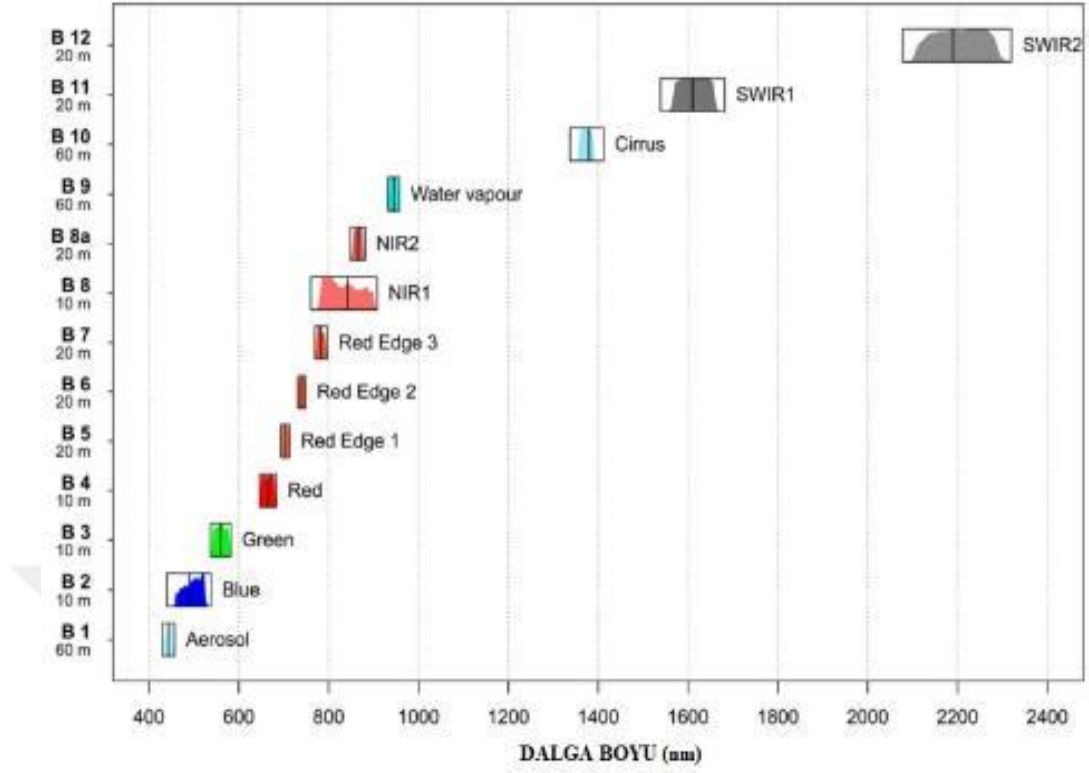
- ✓ Lisansüstü öğrencinin çalıştığı kuruma yapılan “Bilgi Sistemleri Daire Başkanlığının 02.04.2019 Tarih ve E.638097 sayılı talep yazısı”dır.

### 1.1. Doğal Kaynak İzleyen Uydular ve Sentinel Programı

Uydular, kullandıkları enerji kaynaklarına göre aktif ve pasif olmak üzere ikiye ayrılmaktadır. Pasif algılamada güneş gibi başka bir kaynaktan elen ışınların cisimlere çarptıktan sonra uyduya ulaşarak elde edilen algılama yöntemidir. Bu yöntemde gece ve gündüz olması başarımı direk etkileyeceği gibi meteorolojik etmenler de etkilidir. Bu tip algılama yapan platformalar, güneşin gönderdiği ve yansıyan ışınları ölçerler. Aktif algılama ise, uydunun kendi kaynakları ile yaptığı algılamadır. Bu yöntemde gece gündüz olması veya meteorolojik etmenler çok etkili değildir. Bu tip algılayıcılar güneş enerjisine ihtiyaç duymazlar, kendi ışınlarını kendileri gönderir ve tekrar geri almak suretiyle görüntü elde ederler (Wallace vd., 2012).

Ormanların yapısal özelliklerinin tahmin edilmesi, ormanların sürdürülebilir yönetimi için vazgeçilmezdir. İnsansız Hava Araçları ile (UAV-LiDAR), üç boyutlu (3B) orman yapısal bilgilerinin yüksek doğrulukta tahminlerini sağlama kapasitesi olması bu teknolojinin ormancılığın geleceğinde önemli bir yere getirmektedir.

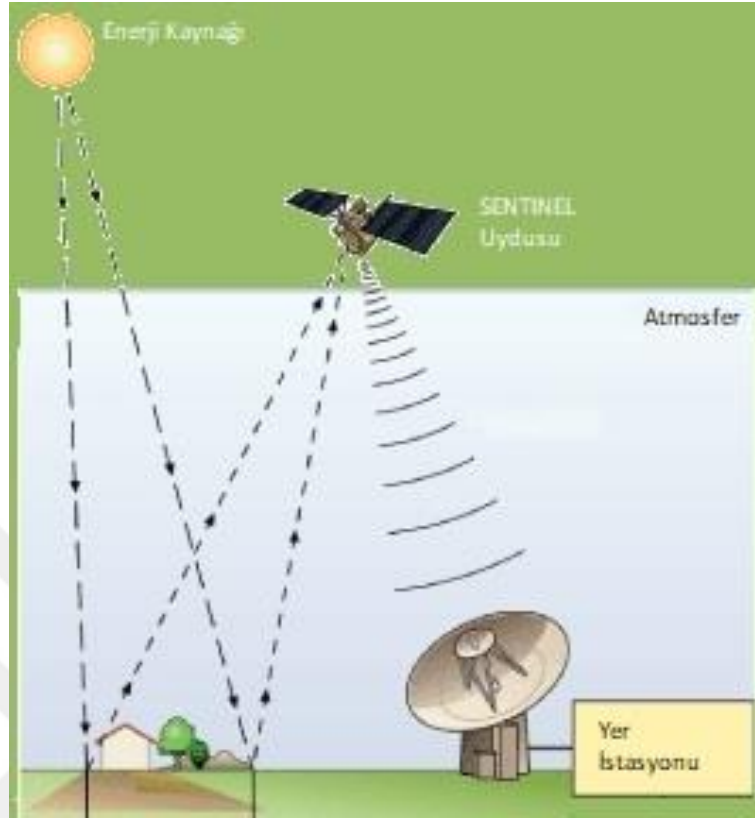
Sentinel-2 uydu görüntüleri ise; Avrupa Uzay Ajansı (European Space Agency, ESA) tarafından geliştirilmiş olan 10 m, 20 m ve 60 m çözünürlükte optik veri sağlayan sensörlerden sağlanmaktadır. Bu uydunun görüntüleri 13 spektral banda (Yansıyan dalga boyları değerlerine göre) sahip olan optik görüntülerdir (Şekil 2; Tablo 1). Çalışma prensibi güneş ışınlarının cisimlerden yansıması ile yakaladığı dalga boylarına göre haritalama yapmaktadır. LiDAR'dan farkı sadece güneş ışınlarından faydalanarak çalışabilmesidir (Şekil 3).



Şekil 2. Sentinel-2'nin 13 Spektral Band

Tablo 1. Sentinel 2 Uydusu Band Değerleri

| Band | Çözünürlük | Dalga Boyu | Açıklama        |
|------|------------|------------|-----------------|
| B1   | 60 m       | 443 nm     | Ultra Mavi      |
| B2   | 10 m       | 490 nm     | Mavi            |
| B3   | 10 m       | 560 nm     | Yeşil           |
| B4   | 10 m       | 665 nm     | Kırmızı         |
| B5   | 20 m       | 705 nm     | Kırmızı Kenar 1 |
| B6   | 20 m       | 740 nm     | Kırmızı Kenar 2 |
| B7   | 20 m       | 783 nm     | Kırmızı Kenar 3 |
| B8   | 10 m       | 842 nm     | NIR             |
| B8a  | 20 m       | 865 nm     | Dar NIR         |
| B9   | 60 m       | 945 nm     | Su buharı       |
| B10  | 60 m       | 1375 nm    | SWIR - Cirrus   |
| B11  | 20 m       | 1610 nm    | SWIR 1          |
| B12  | 20 m       | 2190 nm    | SWIR 2          |



Şekil 3. Sentinel-2 uydusunun çalışma şeması

Sentinel uyduları çeşitli uygulamalar için kapsamlı Dünya gözlem verileri sağlamayı amaçlayan Avrupa Uzay Ajansı'nın (ESA) Copernicus programının bir parçasıdır. Sentinel-2, yüksek çözünürlüklü optik görüntüler sağlamak üzere tasarlanmış çok bantlı bir görüntüleme görevidir. Sentinel-2A'daki "2A", Sentinel-2 serisindeki ilk uyduyu belirtmektedir. Arazi örtüsünün, bitki örtüsünün ve Dünya yüzeyindeki değişikliklerin izlenmesine olanak tanıyan, çoklu spektral bantlara sahip yüksek çözünürlüklü bir optik yük taşımaktadır. Özellikle tarımsal izleme, ormancılık ve çevre yönetimi açısından değerli olmaktadır. Sentinel-2, Copernicus programının bir parçası olup Dünya gözlemine katkı sağlarken, farklı sensör teknolojileri nedeniyle farklı amaçlara hizmet etmektedirler. Sentinel-2 uyduları optik görüntülemeye odaklanmaktadır. Farklı sensörlerin bu kombinasyonu, Dünya yüzeyinin daha kapsamlı anlaşılmasına olanak tanır ve çevresel izleme, afet müdahalesi ve kaynak yönetimi dahil olmak üzere çok çeşitli uygulamaları kolaylaştırır.

Dünya yüzeyinin yüksek çözünürlüklü optik görüntülerini sağlamak üzere tasarlanmıştır. Sentinel-2A'nın temel özellikleri:

Multispektral Görüntüleme: Sentinel-2A, 13 spektral banttandır oluşan multispektral görüntüleme yükü taşımaktadır. Bu bantlar görünürden kısa dalga kırmızıya kadar bir dizi dalga boyunu kapsayarak bitki örtüsü sağlığı, arazi örtüsü değişiklikleri ve daha fazlası dahil olmak üzere Dünya yüzeyinin çeşitli yönlerinin izlenmesine olanak tanımaktadır.

Çözünürlük: Uydu, spektral banda bağlı olarak 10 metre, 20 metre ve 60 metre olmak üzere farklı konumsal çözünürlüklerde yüksek çözünürlüklü görüntüler sağlar. Tekrar Ziyaret Süresi: Sentinel-2A, Sentinel-2B ile birlikte her 5 günde bir küresel kapsama alanı sağlar ve bu da onu zaman içindeki değişikliklerin izlenmesi açısından değerli kılar. Uygulamalar: Sentinel-2'den elde edilen veriler tarım, ormancılık, arazi kullanım planlaması, afet izleme ve çevresel izleme dahil olmak üzere çeşitli uygulamalar için kullanılır.

## 1.2. LiDAR (Light Detection and Ranging)

İlk lazer aletleri 1960'larda geliştirilmiştir (Maiman, 1960). 1962-1968 arasındaki dönem, 1966'da ilk lazer mesafe ölçüm cihazının ortaya çıkmasıyla birlikte lazer teknolojisinin temel gelişimine tanık olmuştur (Price ve Uren, 1989). 1970'ler, inşaat endüstrisinde ve mühendislik araştırmalarında lazerlerin kullanımında hızlı bir yükseliş göstermiştir. Bu erken sistemler, daha zorlu durumlar için tasarlanmış hava koşullarına dayanıklı makinelerle uyarlandıktan sonra, çevre bilimcileri yeni teknolojiye ilgi duymaya başlamış ve 1980'ler ve 1990'lar, çok çeşitli çevresel sistemlerde (Heritage ve Large, 2009) geniş bir uygulama yelpazesine ulaşmıştır. Örneğin, lazer tarama sistemlerinin kullanımı batimetride (su basıncı ölçümü) (Penny vd., 1989; LaRocque ve West, 1999), atmosferik çalışmalarda (Sharp, 1982) ve ormancılıkta (Sharp vd., 1982; Nelson vd., 1984; Schreier vd., 1985) bu süre zarfında, lazerlerin çevresel uzaktan algılama amaçları için kullanılmasına ilişkin temel ilkeleri ortaya koymuştur. Modern lazer tarayıcı cihazlarıyla ilk deneyler 1990'ların başında yapılmış ve topografik haritalamaya adanmış ticari bir havadan lazer tarama (ALS) sisteminin ilk prototipi 1993'te tanıtılmıştır (Hohenthal, 2011).

Işık Algılama ve Uzaklık Belirleme anlamına gelen LiDAR, mesafeleri ölçmek ve Dünya yüzeyinin veya diğer nesnelerin ayrıntılı, üç boyutlu haritalarını oluşturmak için lazer ışığını kullanan bir uzaktan algılama teknolojisidir. LiDAR sistemleri, hedefe lazer darbeleri göndererek ve ışığın hedefi vurduktan sonra geri dönmesi için geçen süreyi ölçerek çalışır.

LiDAR lazer kullanılarak bir nesne veya bir yüzeyin uzaklığını anlamaya yarayan teknolojidir (Şekil 4). Radar teknolojisine temelde benzemekle birlikte radyo dalgaları yerine ışık, yani lazer darbeleri kullanılır.



Şekil 4. LiDAR çalışma şeması

Drone ile lazer ışığı gönderilir (ışık hızı saniyede yaklaşık olarak 300,000 kilometre), nesnelere çarpan lazer ışınları geri yansır ve sinyal olarak alınır. Bu işlemin süresi basitçe hesaplanır ( $\text{Mesafe} = (\text{Işık hızı} \times \text{Geçen süre}) / 2$  formülü kullanılır). Bu işlem LiDAR cihazları tarafından milyonlarca kez tekrarlanır ve 3D nokta bulutu olarak bilinen incelenen alanın karmaşık bir haritası çıkarılır.

#### LiDAR Çeşitleri:

**Havadan LiDAR:** Uçaklara monte edilen havadan LiDAR, büyük ölçekli haritalama projeleri için kullanılır.

**Karasal LiDAR:** Yer tabanlı LiDAR sistemleri, bina veya arkeolojik alan araştırmaları gibi daha küçük ölçekli, yüksek hassasiyetli haritalama için kullanılır.

**Spaceborne (Uydu) LiDAR:** Uydulara monte edilen LiDAR sistemleri, küresel ölçekte haritalama yetenekleri sağlayabilir. LiDAR teknolojisi ilerlemeye devam ediyor ve uygulamaları çeşitli alanlara yayılarak Dünya yüzeyinin ve üzerindeki değişikliklerin daha iyi anlaşılmasına ve izlenmesine katkıda bulunmaktadır.

Bu bilgiler mesafeleri hesaplamak ve hassas, yüksek çözünürlüklü haritalar oluşturmak için kullanılır. LiDAR'ın temel bileşenleri ve özellikleri şunları içerir:

**Lazer Emisyonu:** LiDAR sistemleri, kısa lazer ışığı darbeleri yaymak için lazerleri kullanır. Lazer ışını hedef alana doğru yönlendirilir. **Tarayıcı veya Alıcı:** LiDAR sistemlerinde yansıyan lazer darbelerini algılayan bir tarayıcı veya alıcı bulunur. Lazer darbelerinin geri dönmesi için geçen süre, hedefe olan mesafe hakkında bilgi sağlar. **GPS (Küresel Konumlandırma Sistemi):** LiDAR verileri, lazer darbeleriyle ölçülen noktaların coğrafi konumunu doğru bir şekilde belirlemek için genellikle GPS teknolojisiyle entegre edilir. Bu, coğrafi referanslı haritaların oluşturulmasına olanak tanır.

Son zamanlarda LiDAR uzaktan algılama teknolojisi ile çeşitli ormancılık faaliyetlerinde kullanılan verilerin eldesinde hızlı ve verimli bir şekilde gerçekleştirilebilmektedir. Bu nedenle, ormanların ayrıntılı haritalanması için operasyonel, doğru ve güvenilir bir araç haline gelmiştir. Şu anda lazer tarayıcılar, Küresel Konumlandırma Sistemleri (GPS), ölçüm birimi (IMU) ve hava araçları olmak üzere dört bileşenindeki teknolojik ilerlemenin bir sonucu olarak topografik veri toplama için standart araçlardan biri haline gelmiştir (Ullrich vd., 2008; Kelly ve Di Tommaso, 2015). Bir uçağa veya insansız hava aracına (İHA) monte edildiğinde, araştırma yöntemi hızlıdır, nispeten ekonomiktir ve zorlu arazilerin ve geniş alanların araştırılmasına olanak tanır. Bu avantajlar nedeniyle LiDAR, geniş bir uygulama yelpazesi için geniş alanlar için hassas ve yoğun DEM'ler (Dijital Yükseklik Modeli) için topografik bilgi toplamak için birincil seçim haline gelmiştir (Heritage ve Large, 2009; Hohenthal, 2011).

Örneğin orman alanlarında LiDAR verilerindeki gürültüyü gidermek, genellikle diğer nokta bulutlarına göre (bina, yol vb) hassas bir işlemdir. Ormanlık alanlarda LiDAR verileri, bitki örtüsü, ağaç dalları ve diğer özellikler nedeniyle gürültülü olabilir. Gürültünün giderilmesi işleminde düşük geçiren filtreler veya medyan filtreleme gibi teknikleri kullanılmalıdır. Sınıflandırma konusunda vejetasyon dikkate alınmalı ve özel filtreleme ihtiyaç duyulmaktadır. Ölçüm içerisindeki aykırı değerlerin filtrelenmesi mutlaka yapılmalıdır.

## 2. YAPILAN ÇALIŞMALAR

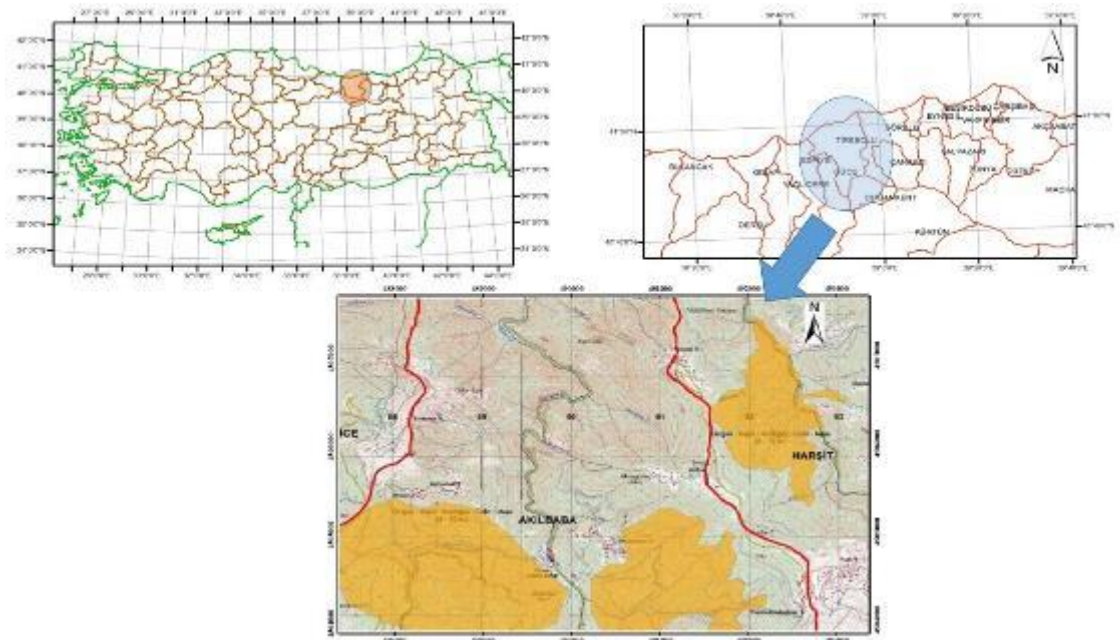
### 2.1. Materyal ve Kullanılan Yazılımlar

LiDAR kamerası ile uçuş yapabilecek insansız hava aracı (drone), çap ölçer, boy ölçer, Sentinel-2 uydu görüntüleri, LiDAR verilerinden elde edilen nokta bulutu, sarf malzemeler, 1/25.000'lik jeolojik haritalar, Harşit ve Akılbaba Orman İşletme Şefliği Amenajman Planları, çift girişli hacim denklemleri, GPS, MATLAB, SNAP, Agisoft Global Mapper, Excel ve SPSS istatistik paket programı oluşturmaktadır.

### 2.2. Çalışma Alanı

Bu çalışma kapsamında Orman Genel Müdürlüğü Giresun Orman Bölge Müdürlüğü Tirebolu Orman İşletme Müdürlüğü Akılbaba ve Harşit Planlama Birimleri içerisinde bulunan Kayın ve Ladin hakimiyetindeki karışık meşcereler tez kapsamında araştırma alanı olarak seçilmiştir.

Akılbaba Orman İşletme Şefliği sınırlarında 2 adet zon Harşit Orman İşletme sınırlarında 1 adet zon belirlenmiştir. Belirlenen zonlar Giresun ili Doğakent İlçesi sınırları içerisinde kalmaktadır.



Şekil 5. Çalışma alanının konumsal gösterimi

Akıl Baba ve Harşit Orman İşletme Şeflikleri içinde Kayın-Ladin ve Ladin-Kayın saf ve karışık meşcereleri içerisinde seçilen araştırma alanı yaklaşık 700 ha'dır. Birbirine yakın 3 farklı bölgeden oluşan araştırma alanına ilişkin bilgiler Tablo 2-5 ve Şekil 6'da verilmiştir.

Tablo 2. Çalışma alanının ağaç türü karışımlarına dağılımı

| Meşcere Türü | Alan (ha) |
|--------------|-----------|
| KnL          | 448,2     |
| LKn          | 248,3     |
| Toplam       | 696,5     |

Tablo 3. Çalışma alanının kapalılık derecelerine dağılımı

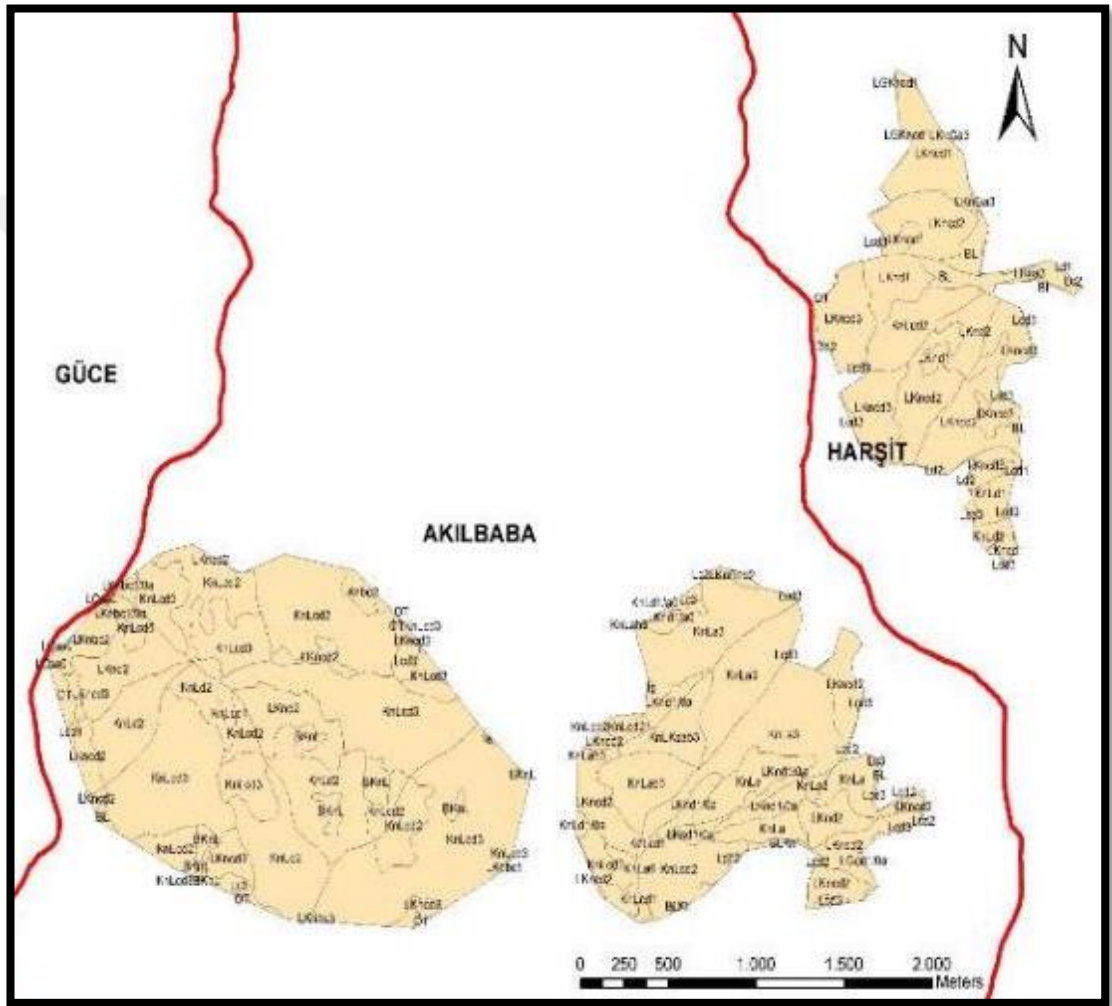
| Kapalılık derecesi | %        | Alan (ha) |
|--------------------|----------|-----------|
| Boşluklu           | < %10    | 17,8      |
| 1                  | %11- %40 | 83,9      |
| 2                  | %41-%70  | 262,4     |
| 3                  | > %70    | 332,4     |
| Toplam             |          | 696,5     |

Tablo 4. Çalışma alanının gelişim çağlarına dağılımı

| Gelişim çağları | Alan (ha) |
|-----------------|-----------|
| Boşluklu        | 17,8      |
| a               | 121,8     |
| b               | 10,9      |
| c               | 413,8     |
| d               | 132,2     |
| Toplam          | 696,5     |

Tablo 5. Çalışma alanının eğim gruplarına dağılımı

| Eğim grubu (%) | Alan (ha) |
|----------------|-----------|
| 0-50           | 403,1     |
| > 50           | 293,4     |
| Toplam         | 696,5     |



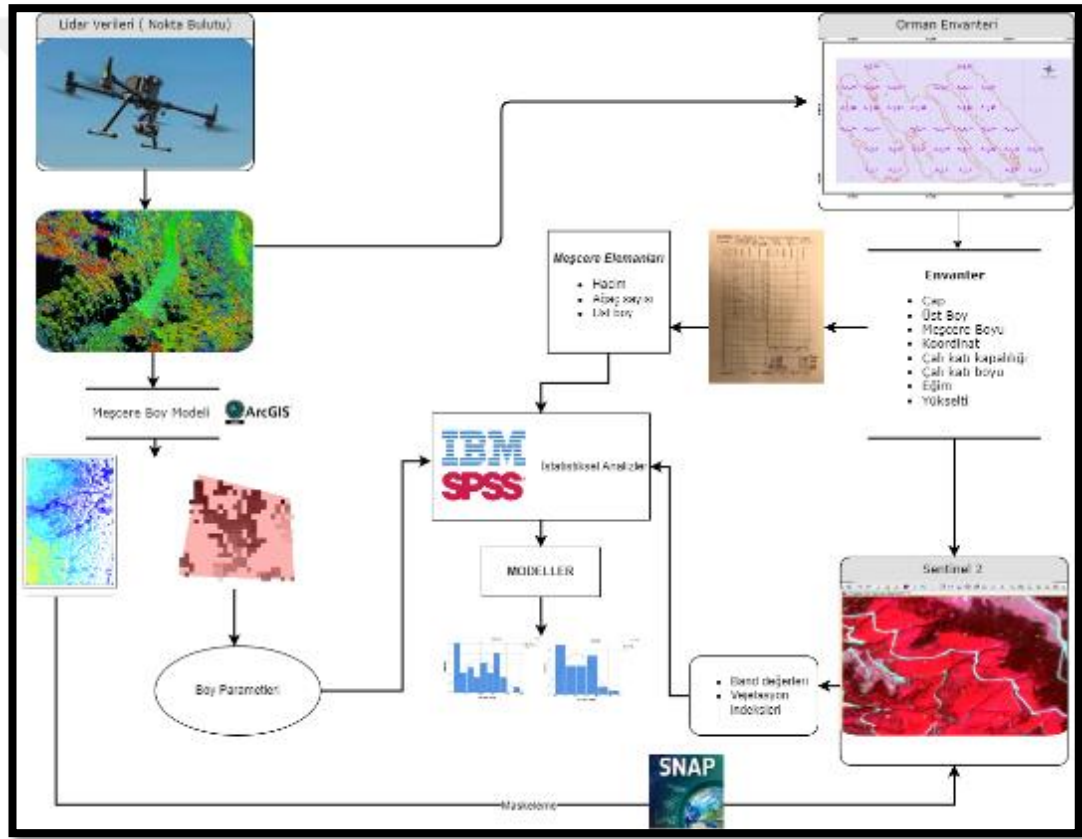
Şekil 6. Örnek alanların konumsal gösterimi

### 2.3. Yaklaşım Tarzı

Bu çalışma 8 aşamada gerçekleştirilmiştir.

1. Aşamada; Drone uçuş güzergahlarının belirlenebilmesi için ön keşif yapılmıştır.

2. Aşamada; LiDAR verilerinin Drone Uçuşu ile elde edilmesi,
3. Aşamada; LiDAR verilerinden ham nokta bulutunun elde edilmesi, verilerin işlenmesi ve analizi
4. Aşama; Nokta bulutu elde edilen zonlarda örnek alan noktalarının belirlenmesi
5. Aşama; Drone uçuş alanlarında belirlenen örnek alanlarda yersel ölçüm yapılması,
6. Aşama; Meşcere hacminin örnek alan verileri yardımıyla ortaya konması
7. Aşama; Sentinel-2 verilerinin işlenmesi ve analizi
8. Aşama; Yersel elde edilen meşcere hacmi ile uzaktan algılama verilerinin ilişkiye getirilmesi şeklindedir (Şekil 4).

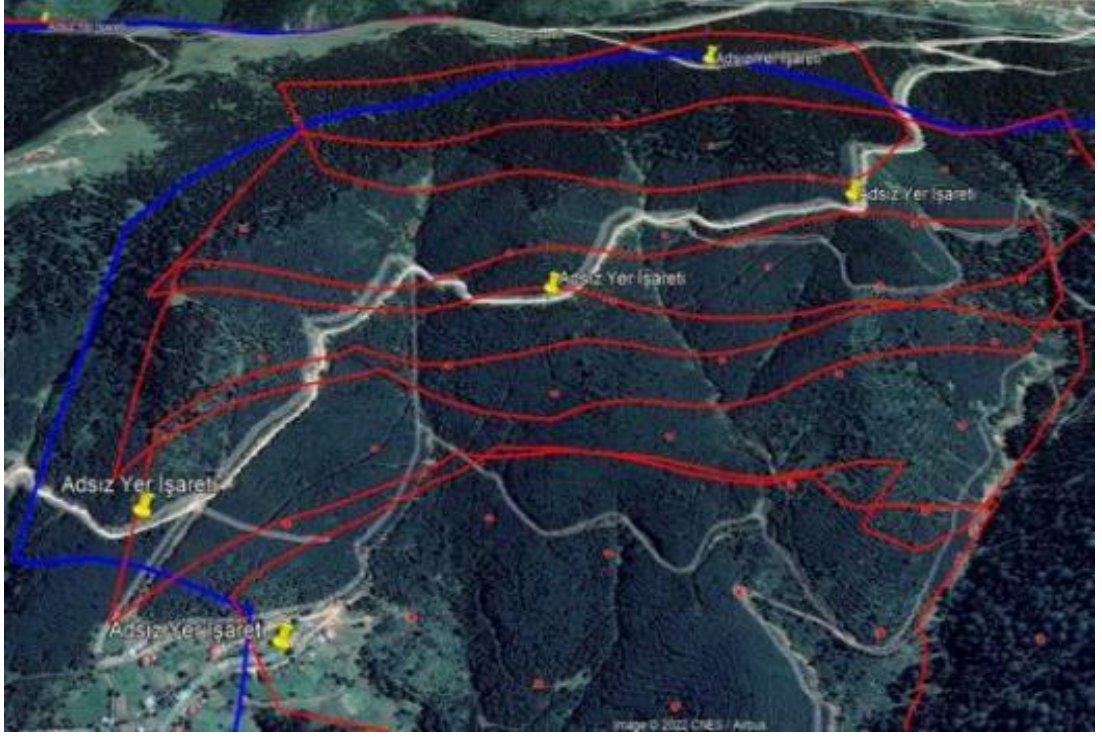


Şekil 7. Çalışmanın kavramsal çerçevesi

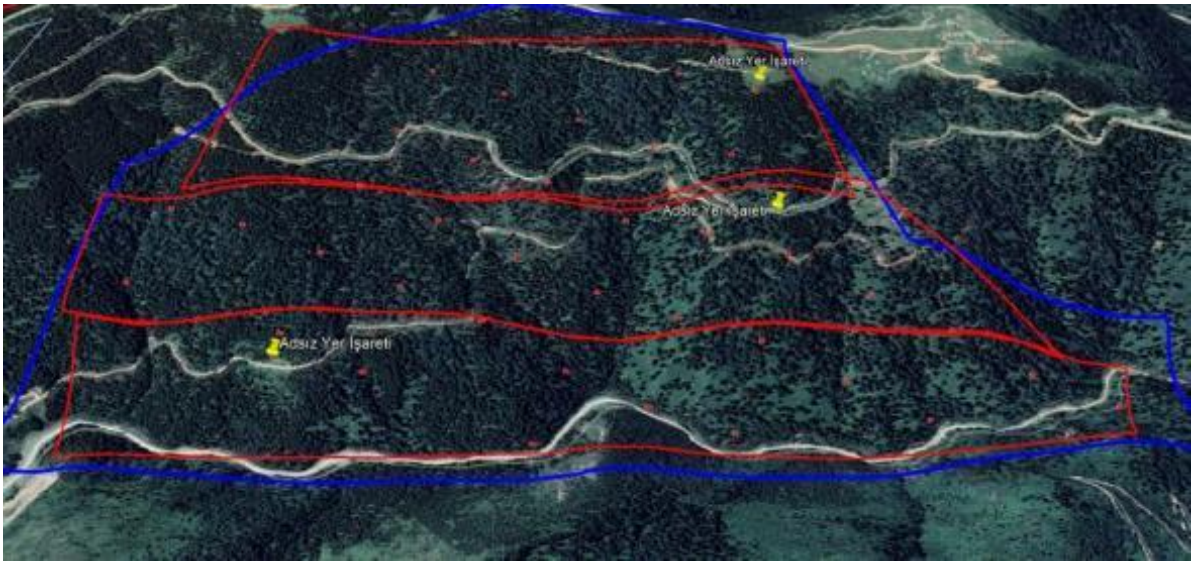
### 2.3.1. Uçuş Güzergahının Belirlenmesi için Ön Keşif Yapılması

LiDAR verilerinin elde edilmesi için yapılacak insansız hava aracı uçuş güzergahlarının belirlenebilmesi, mevcut drone için kalkış ve iniş noktalarının işaretlenmesi, yüksek gerilim hattı, telekominikasyon ve karasal yayın işlevli kuleler, meteoroloji ölçüm

kuleleri gibi uçuşu tehlikeye düşürecek noktaların belirlenmesi için ilgili Orman İşletme Şefliklerinin yol ağı haritasını altlık olarak kullanarak sahada GPS ile noktalar belirlenmiş ve ön keşif yapılmıştır (Şekil 8 ve Şekil 9).



Şekil 8. Drone kalkış noktalarının Google Earth haritasında gösterimi



Şekil 9. Drone kalkış noktalarının Google Earth haritasında gösterimi

### 2.3.2. LiDAR Verilerinin Drone Uçuşu ile Elde Edilmesi

Ön keşif sonrasında 3 adet zonda LiDAR kamerasına sahip drone için uçuş güzergahları oluşturulmuştur. Mevcut sahanın konumu sebebiyle hava muhalefeti de göz önünde bulundurularak meteorolojik tahmin yardımıyla uçuş için gün aralığı belirlenmiştir. Uçuşa uygun gün aralığı için Doğankent Kaymakamlığına resmi yazı ile bilgi verilmiştir. Bu resmi yazışma sonrası İlçe Jandarma Komutanlığından durum teyidi yapılmış ve başlangıç günü mevki, koordinat bilgisi iletilmiştir.

Gerçekleştirilecek çalışmada LiDAR verileri drone ile temin edilecek olması ve kiralama maliyetinin yüksekliği, istenilen özellikteki sahaların parçalı olmasına imkan tanımamıştır.

Uçuşa Tirebolu Orman İşletme Müdürlüğü Akılbaba Orman İşletme Şefliğindeki zonlardan başlanmıştır. Uçuş DJI Matrice 300 RTK Drone ile gerçekleştirilmiş olup Zenmuse L1 kamera ile LiDAR görüntülemesi yapılmıştır (Tablo 6 ve Tablo 7).

Tablo 6. Zenmuse L1 özellikleri

|                                   |                                                                          |
|-----------------------------------|--------------------------------------------------------------------------|
| Boyutlar                          | 152×110×169 mm                                                           |
| Ağırlık                           | 930±10 g                                                                 |
| Desteklenen Uçuş Aracı            | Matrice 300 RTK- Matrice 350 RTK                                         |
| Algılama Aralığı                  | 450 m @ %80 yansıtma, 0 klx<br>190 m @ %10 yansıtma, 100 klx             |
| Nokta Aralığı                     | Tek dönüş: maks. 240.000 nokta/sn<br>Çoklu dönüş: maks. 480.000 nokta/sn |
| Sistem Doğruluğu(RMS 1σ)          | Yatay: 10 cm @ 50 m<br>Dikey: 5 cm @ 50 m                                |
| Aralık Doğruluğu (RMS 1σ)         | 3 cm @ 100 m                                                             |
| Desteklenen Maksimum Sönüş Sayısı | 3                                                                        |

Tablo 7. DJI Matrice 300 RTK özellikleri

|                                     |                                                                                                                                                                              |
|-------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Ağırlık (tek aşağı gimbal ile)      | 3,6 kg (pilsiz)<br>6,3 kg (iki TB60 pil ile)                                                                                                                                 |
| Tek Gimbal Damper'ın Maksimum Yüğü  | 930 g                                                                                                                                                                        |
| Max. Kalkış Ağırlığı                | 9 kg                                                                                                                                                                         |
| Çalışma Frekansı                    | 2.4000-2.4835 GHz<br>5.725-5.850 GHz                                                                                                                                         |
| Gezinme Doğruluğı (GPS'li P modu)   | Dikey:<br>±0,1 m (Görüntü sistemi etkin)<br>±0.5 m (GPS etkin)<br>±0,1 m (RTK etkin)<br>Yatay:<br>±0,3 m (Görüntü sistemi etkin)<br>±1.5 m (GPS etkin)<br>±0,1 m (RTK etkin) |
| RTK Konumlandırma Doğruluğı         | RTK etkinleştirildiğinde ve sabitlendiğinde:<br>1 cm+1 ppm (Yatay)<br>1,5 cm + 1 ppm (Dikey)                                                                                 |
| Max hız                             | S modu: 23 m/s<br>P modu : 17 m/s                                                                                                                                            |
| Maksimum Çıkış Hızı                 | S mod: 6 m/s<br>P mod : 5 m/s                                                                                                                                                |
| Maksimum İniş Hızı (dikey)          | S mod: 5 m/s<br>P mod 4 m/s                                                                                                                                                  |
| Max Wind Resistance                 | 15 m/s (kalkış veya iniş sırasında 12 m/s)                                                                                                                                   |
| Max Flight Time                     | 55 dakika                                                                                                                                                                    |
| Desteklenen DJI Gimballeri          | Zenmuse XT2/XT S/Z30/H20/H20T/DJI P1/DJI L1                                                                                                                                  |
| Desteklenen Gimbal Yapılandırmaları | Tek Aşağı Gimbal, Çift Aşağı Gimbal, Tek Yukarı Gimbal, Yukarı ve Aşağı Gimbal, Üçlü Gimbal                                                                                  |

Drone uçuşu yapılacak meşcereler için uygun zaman belirlenip plan dahilinde görüntüleme yapılmıştır. Araştırma sırasında/sonrasında multispektral kamera ile de alanın uçulabileceği düşünülerek; veri temininin, 120 m yükseklikten yapılması hedeflenmiştir ancak arazi koşulları, yüksek gerilim hattı ve yamaçta bulunan ortalama boyun üzerindeki kimi ağaçlar (yüksek şev yapısı olan arazilerde) sebebiyle yer yer 130 metre yüksekliğe çıkmıştır. Literatür irdelendiğinde m<sup>2</sup>'ye yeterli sayıda noktanın düşeceği düşünülerek karar verilmiştir. (Urban vd., 2021). Bu çalışmada, toplamda üç test uçuşu gerçekleştirilmiştir. İki farklı veri toplama ayarlarıyla 50 m yükseklikte, üçüncüsü 70 m yükseklikte olmuştur. İlk uçuş (50\_1 olarak belirlenmiş), ölçüm tipi “normal” olarak ayarlanmış ve 90° dikey tarama açısı ile gerçekleştirilmiş; kalan iki uçuşun ayarları (50 m\_2 ve 70 m olarak belirlenmiştir) 60° tarama aralığı ile (yani, aşağı dikey çizgiden 30° sapma) eğik olmuştur. Kalan ayarlar aynıdır (kalibrasyon uçuşunun kullanımı—“evet”; uçuş hızı—5 m/s; yan örtüşme %50; yankı modu—üçlü; LiDAR örnekleme hızı—160kHz; tarama modu—tekrar; rgb boyama-evet) (Tablo 8).

Tablo 8. Kullanılan drone ve LiDAR sensörü ile test uçuşu esnasında farklı yüksekliklerden elde edilen nokta bulutu yoğunluğu

| Uçuş   | Nokta Sayısı<br>(toplam) | Nokta Sayısı<br>(kırılmış) | Ortalama Nokta<br>Yoğunluğu (/m <sup>2</sup> ) | Çözünürlük<br>(mm) |
|--------|--------------------------|----------------------------|------------------------------------------------|--------------------|
| 50 m_1 | 85,362,025               | 21,940,068                 | 1846                                           | 23                 |
| 50 m_2 | 129,145,833              | 34,263,928                 | 2882                                           | 19                 |
| 70 m   | 214,350,916              | 40,576,864                 | 3413                                           | 17                 |

Daha önceden belirlenen kalkış noktalarına koruma kutusunda, araç ile taşınan Matrice 300 K drone ilk olarak RTK (Real Time Kinematic) özelliği sebebiyle kalibrasyon ayarı ve yükseklik tespit uçuşu yaptırılarak tekrar dönüş noktasına iniş yapmıştır (şekil 10 ve 11). GPS arızası ve batarya problemi gibi uçuşun yarıda kesilmesine sebep olacak durumlar göz önünde bulundurularak drone yazılımına acil dönüş istasyon noktası tanımlanmıştır. (şekil 12). Drone için 8 çift yedek batarya uçuş alanında hazır bulundurulmuştur (şekil 13). Ölçümler sırasında bir çift batarya ile yaklaşık 40 dakika uçuş gerçekleştirilmiştir. Uçuş günü içinde yapılan LiDAR ölçümlerinde yedek bataryaların

yetersiz kalabileceği durumlar için (hava muhalefedinin olmadığı süreler için planlanandan fazla uçuş yapılabilmesi) araç içi şarj kiti de hazır bulundurulmuştur.



Şekil 10. Kalibrasyon uçuşu öncesi ilk kalkış görünümü



Şekil 11. Kalibrasyon uçuşu öncesi ilk kalkış diğeri görünüm

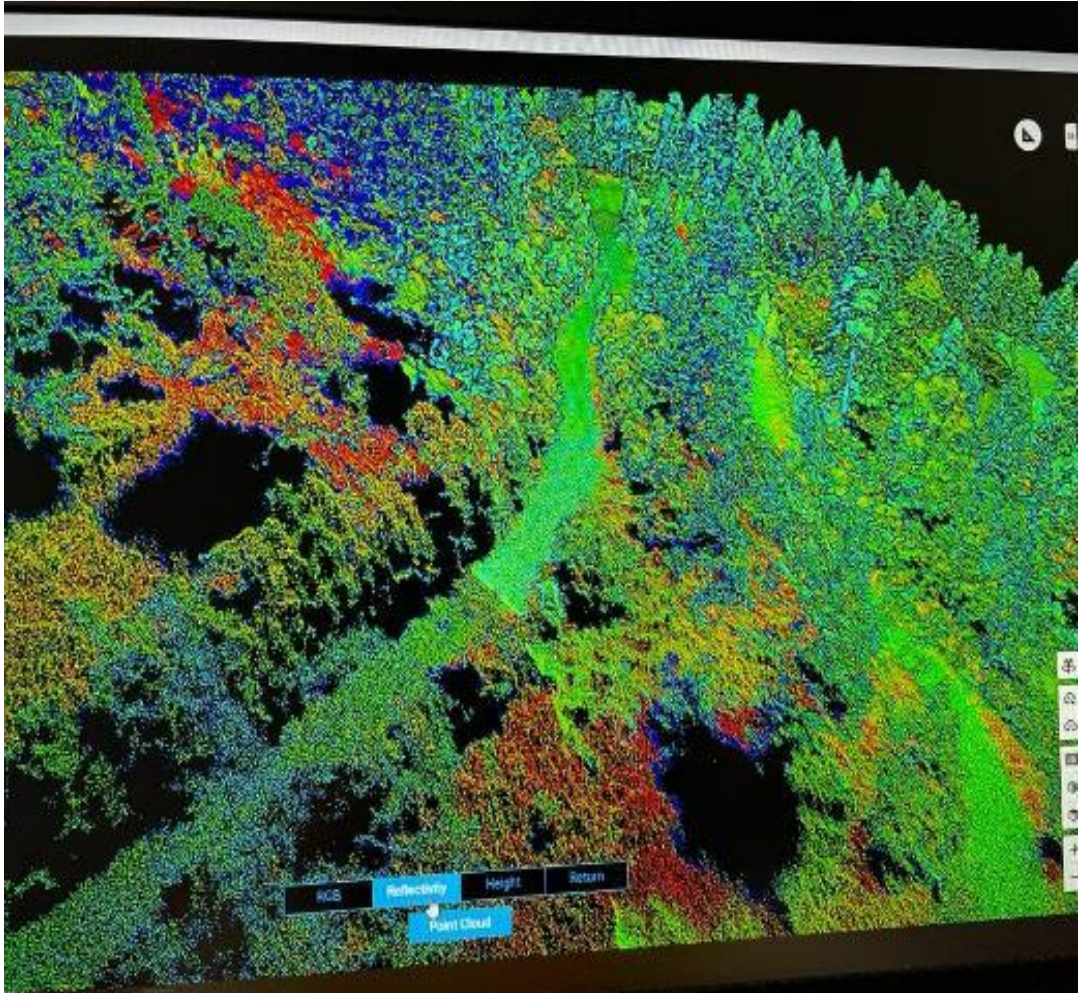


Şekil 12. Drone Kontrol Ünitesinin güzergah kontrol ekranı

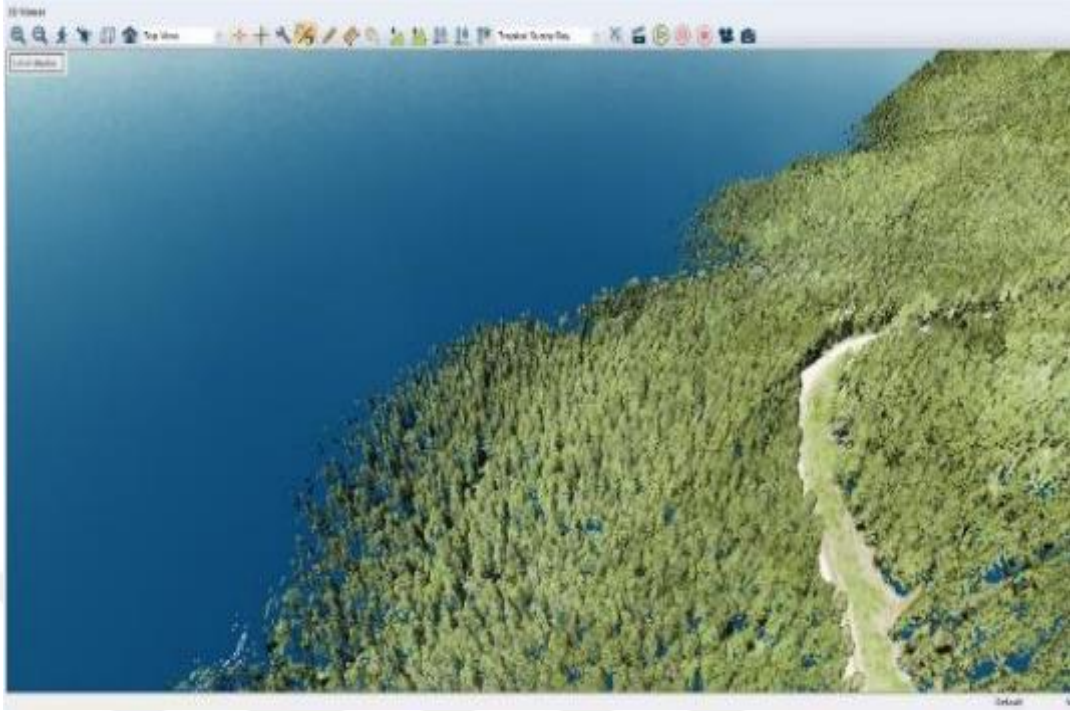


Şekil 13. Matrice 300 RTK Drone ve Z1 Lens Kamera arazide taşınması

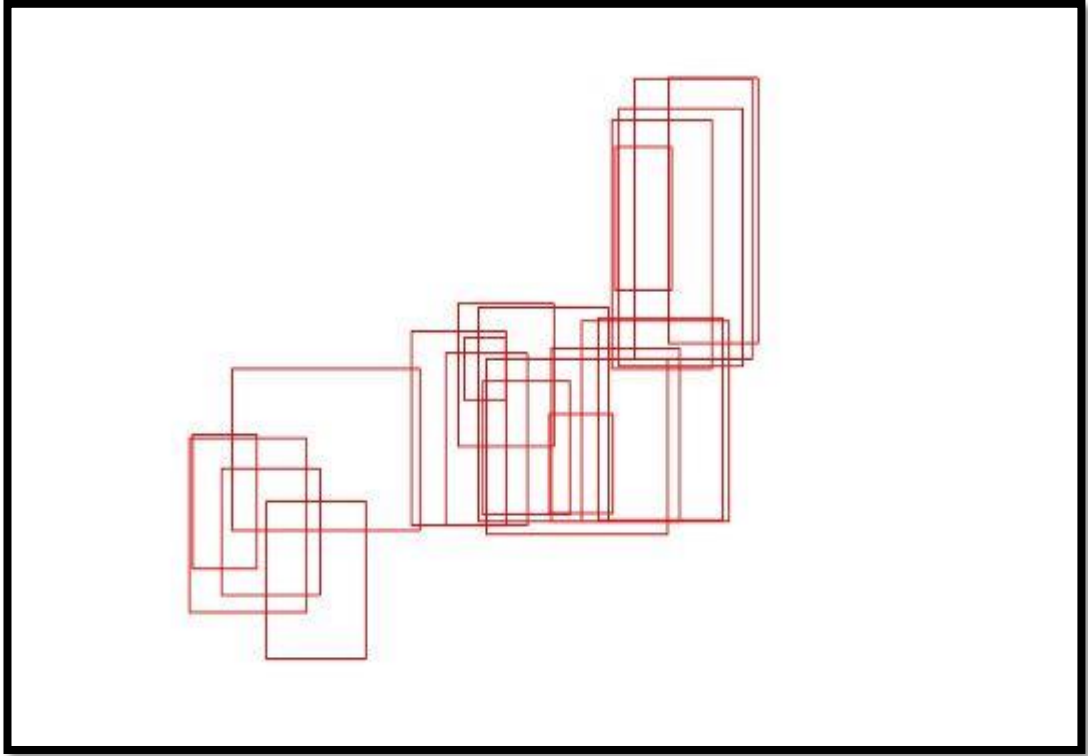
Tirebolu Orman İşletme Müdürlüğü Akılbaba Orman İşletme Şefliği için 2 farklı zonda toplam 20 adet Harşit Orman İşletme Şefliğindeki zon için de 7 adet olmak üzere toplam 27 adet (kesişen uçuşlar dahil) uçuş gerçekleştirilmiştir (şekil 14 ve 15). Bu uçuşların zonları Akılbaba-1, Akılbaba-2 ve Harşit olarak adlandırılmıştır. 27 adet uçuşun 11 tanesi Akılbaba-1 zonunda olup 2 adet uçuş Akılbaba-2 zonuyla 2 adet de Harşit zonuyla kesişmektedir. Harşit zonunda 9 adet uçuş gerçekleştirilmiştir. Bu uçuşlarla ilgili olarak Drone yazılımından alınan ve işlem uçuş zon haritası (şekil 16 ve 17) 16 nolu şekilde gösterilmiştir.



Şekil 14. Drone yazılımı ile ham verinin görüntülenmesi



Şekil 15. Nokta Bulutunun ölçüm sonrası görüntüsü



Şekil 16. 27 adet Drone Uçuş güzergahının yazılım ile oluşturulan ölçeksiz haritası



Şekil 17. Uçuşların nokta bulutlarının Google Earth haritası üzerinde gösterimi

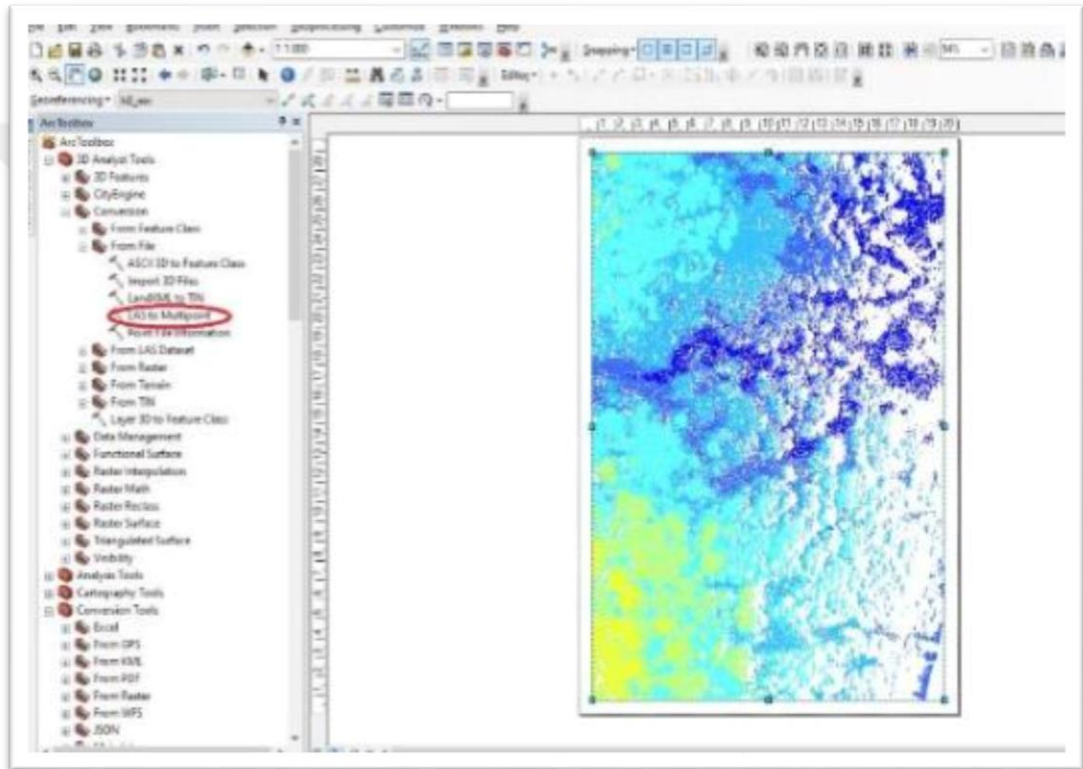
### 2.3.3. LiDAR Verilerinden Ham Nokta Bulutunun Elde Edilmesi

LiDAR ile elde edilen nokta bulutu içerisinde yer alan ve analizi yapılacak olan veriler haricinde kalan verilerin çıkarılması işlemi “gürültünün giderilmesi” işlemidir. Gürültü noktaların elde edilen düzlemden kaldırılması için, MATLAB programında bölümlenmeli kümeleme algoritması K-Means’ten daha üstün küme oluşturma özelliğine sahip yoğunluk tabanlı kümeleme algoritmalarından DBSCAN algoritmasından faydalanılmıştır. DBSCAN, nokta bulutundaki nesnelerin komşuları ile uzaklıklarına göre hesaplayarak, zonlarda belirlenen eşik değerden daha fazla nesne bulunan alanları gruplandırarak kümeleme işlemini gerçekleştirmektedir. Dolayısıyla, çalışmanın bu safhasında DBSCAN algoritması ile LiDAR düzlem noktalarının birbirleri ile olan komşulukları ortaya çıkarılmıştır. Ancak yapılan işlemlerde elde edilen sonuçlar anlamlı olmaması sebebiyle (işleme tabi tutulan nokta bulutu ile işlem sonrası nokta bulutu nokta sayısı ve büyüklük olarak çok yakın olması) bulgular kısmında değerlendirilmeyecektir.

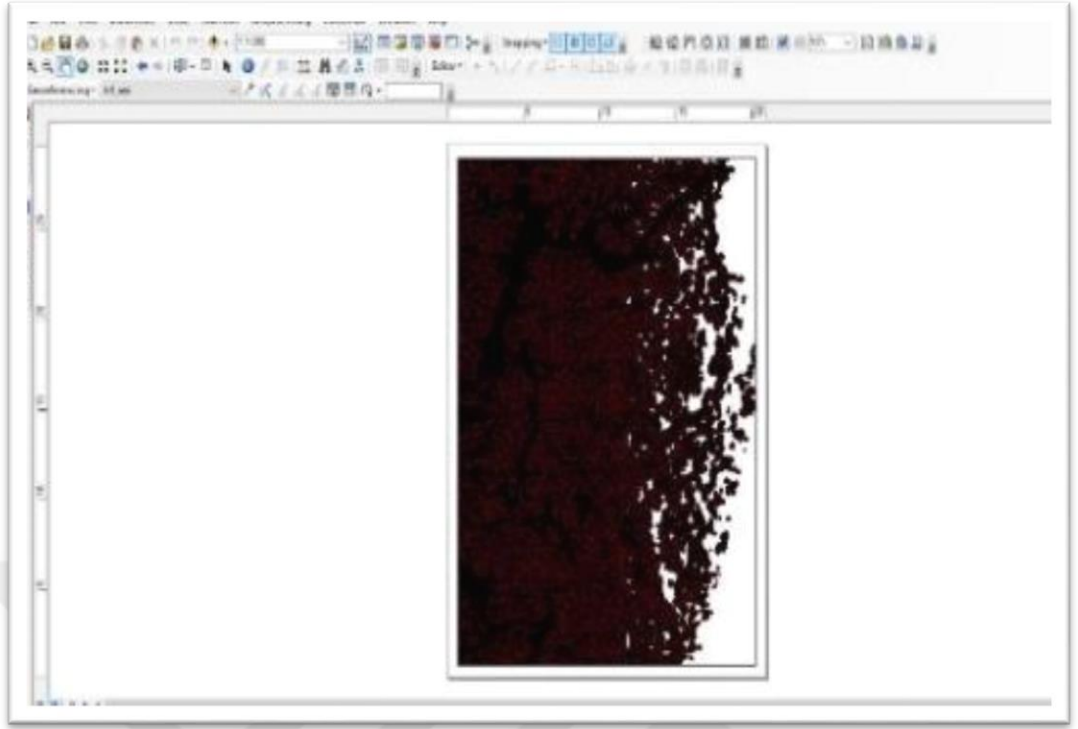
Elde edilen verilerin arazideki kapsadığı alanın büyüklüğünün hesaplanabilmesi için ArcGIS 10.8<sup>TM</sup> programında nokta bulutunun kenar noktalarındaki noktalar dikkate alınarak poligonlar oluşturulmuştur. Drone uçuşunun yapıldığı zonlardan Akılbaba-1 zonu 373,6 ha, Akılbaba-2 zonu 281 ha ve Harşit zonu 237,9 ha büyüklüğündedir. Yapılan karşılaştırma

sonrası; ön keşifte olması düşünülen ve istenilen büyüklükten daha fazla bir alanda LiDAR verisi elde edildiği tespit edilmiştir.

LiDAR verilerinin (nokta bulutunun) ArcGIS programında işlem görebilmesi için Las uzantılı dosyaların “Add Data” fonksiyonu ile çalışma sayfasına eklenmesi ve bu las dosyalarının “multi point” olarak kullanılmasına gerek vardır. Bunun yapılabilmesi için Toolbox \ 3D Analyst Tools \ Conversion \ From File \ Las to Multipoint komutu ile işlemi gerçekleştirilmiştir. (Şekil 18 -19)



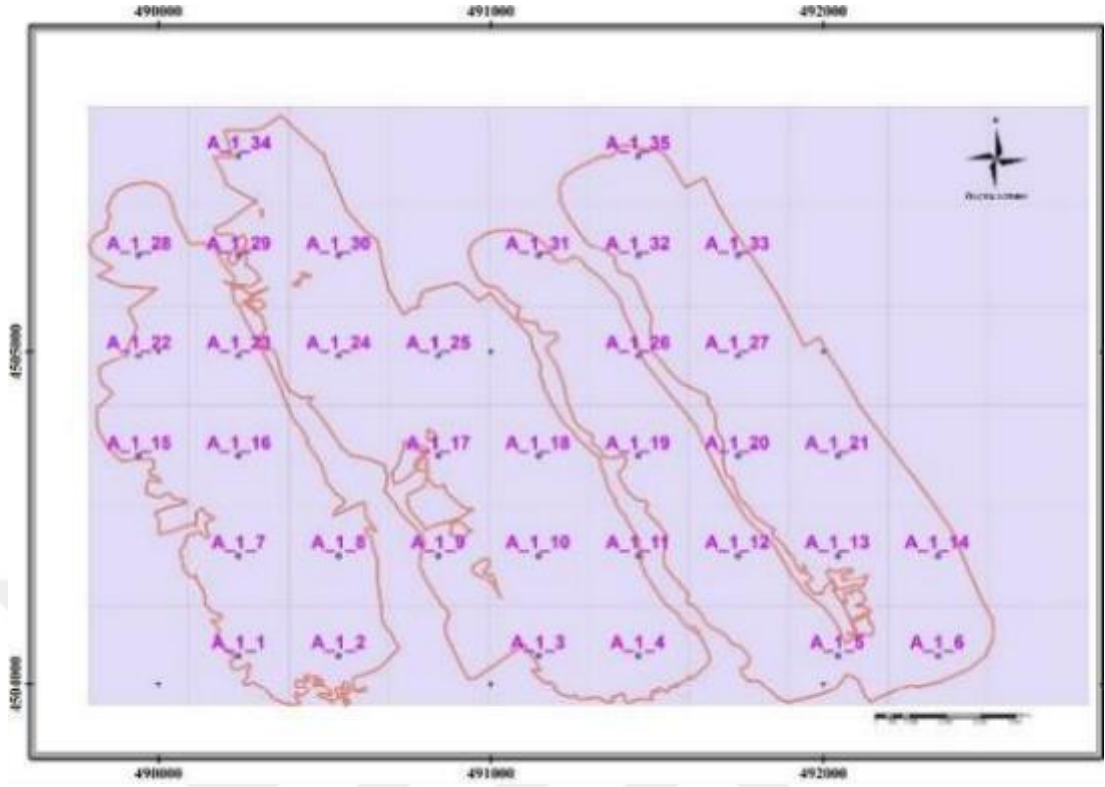
Şekil 18. Nokta bulutunun ArcGIS’de yükseklik değerlerine göre görüntüsü



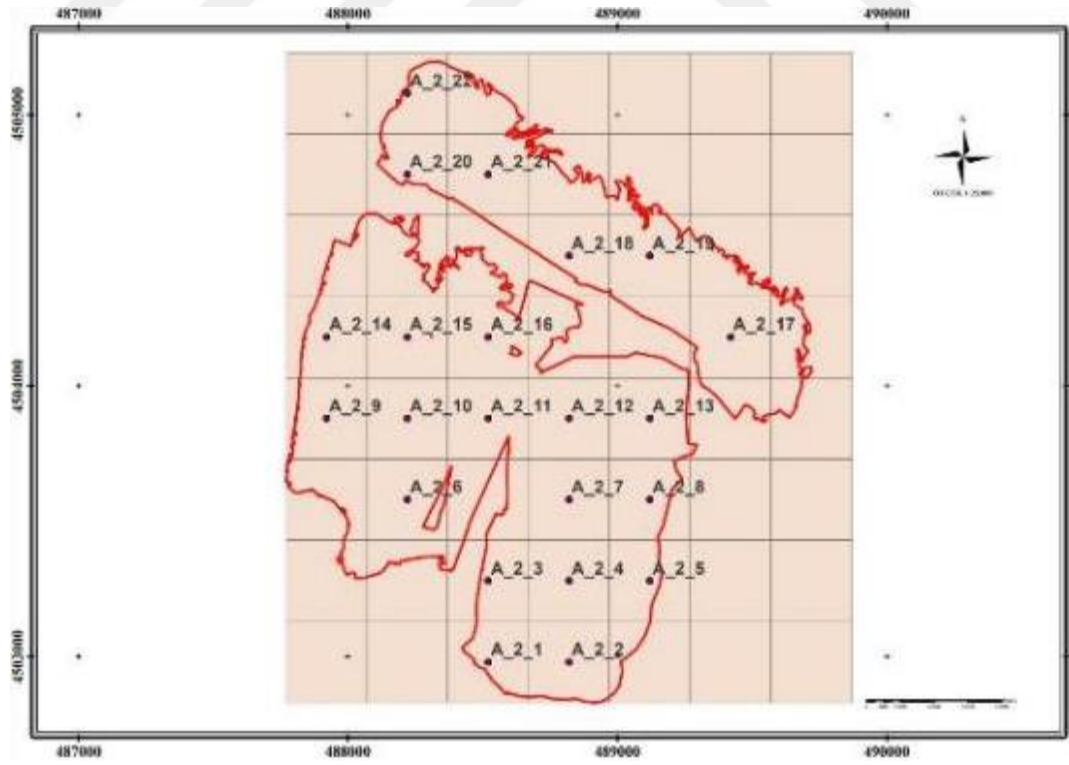
Şekil 19. Nokta bulutunun Las to Multipoint işlemi sonrası görüntüsü

#### 2.3.4. Nokta Bulutu Elde Edilen Zonlarda Örnek Alanların Belirlenmesi

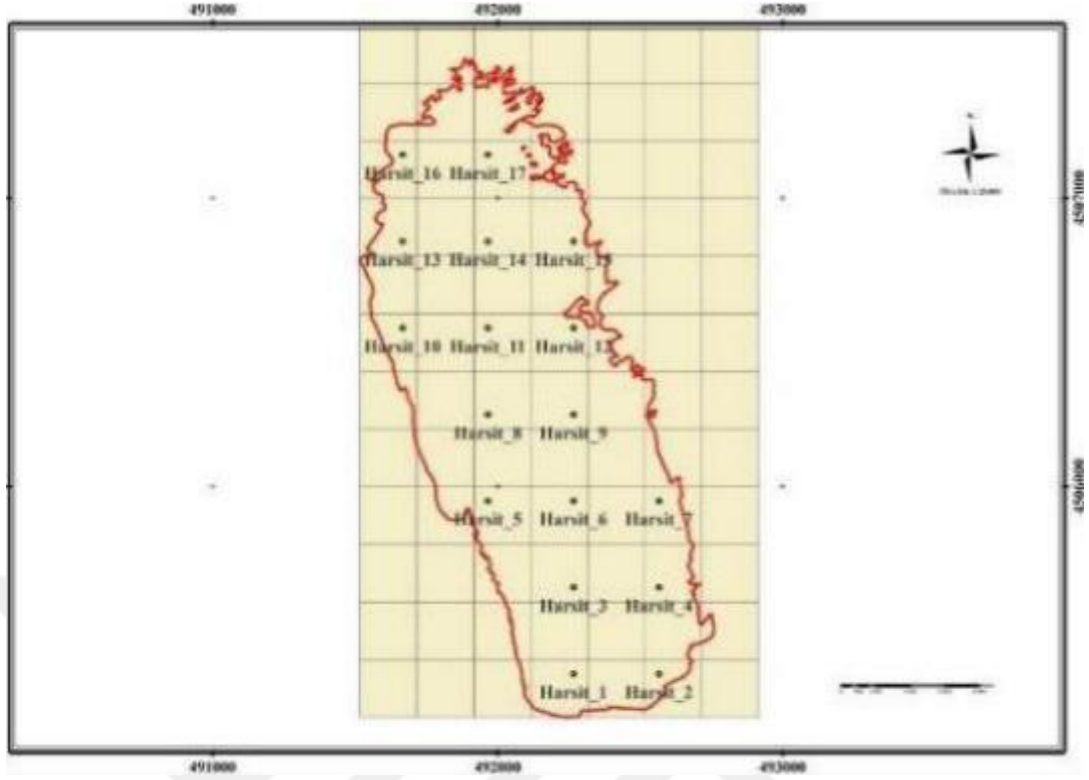
Çalışma alanlarındaki uçuş alan büyüklüklerinin hesaplamasının ardından örnek alanlarının belirlenmesi işlemi yapılmıştır. Bunun için her zon için ayrı olmak koşulu ile Arc- GIS programının araç kutusundaki (ArcToolbox\Data Management Tools\Feature Class\Create Fishnet) kullanılarak rastgele bir başlangıçla çalışma alanı sınırları içerisinde 300x300 metre eşit mesafede toplam 74 örnek alan noktası oluşturulmuştur. Bu örnek alanlar Akılbaba -1 zonunda 35 adet, Akılbaba -2 zonunda 22 adet ve Harsit zonunda 17 adet olarak belirlenmiştir (Şekil 20-25). Akılbaba –1 zonundaki örnek alanlar için “A-1” kısaltması, Akılbaba -2 zonundaki örnek alanlar için “A-2” kısaltması ve Harşit için de Harşit rumuzu kullanılmıştır.



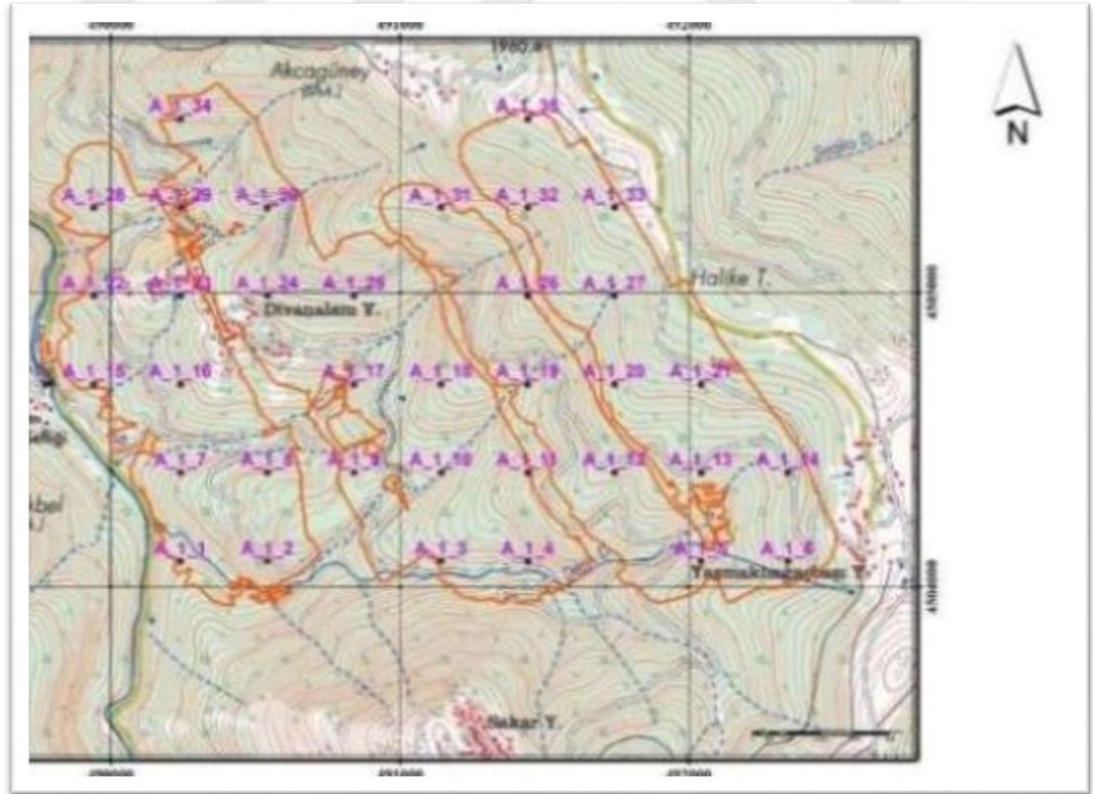
Şekil 20. Akılbaba-1 zonu örnek alanları



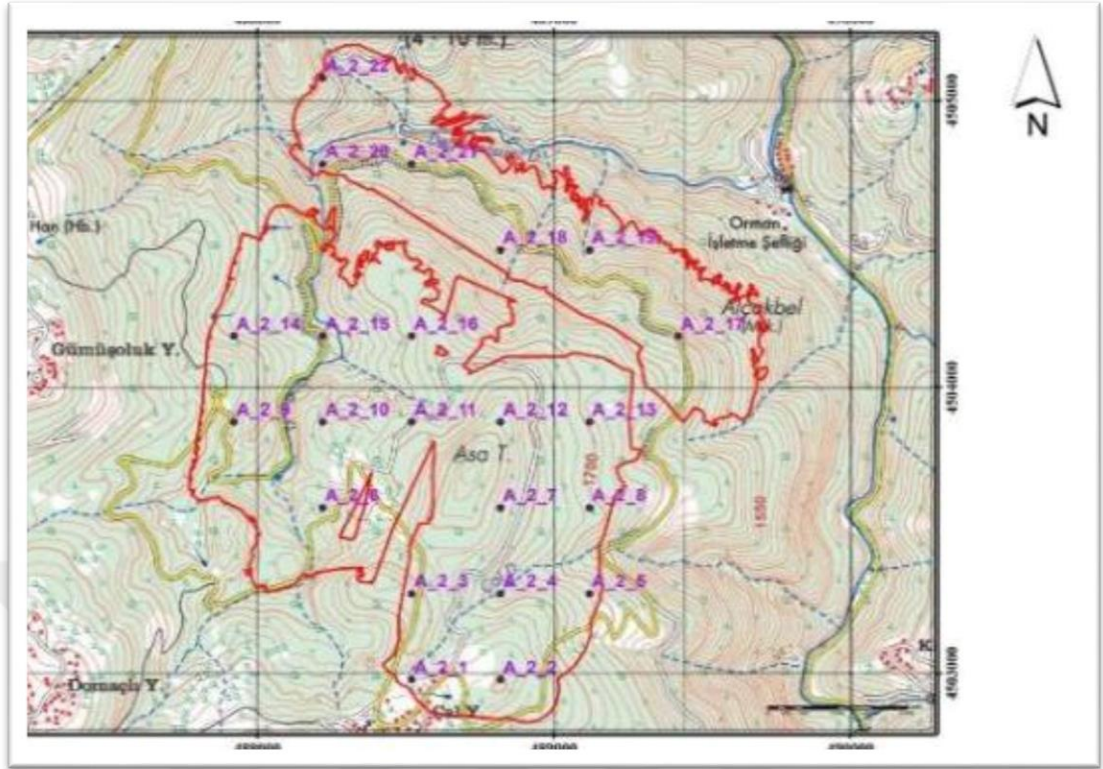
Şekil 21. Akılbaba-2 zonu örnek alanları



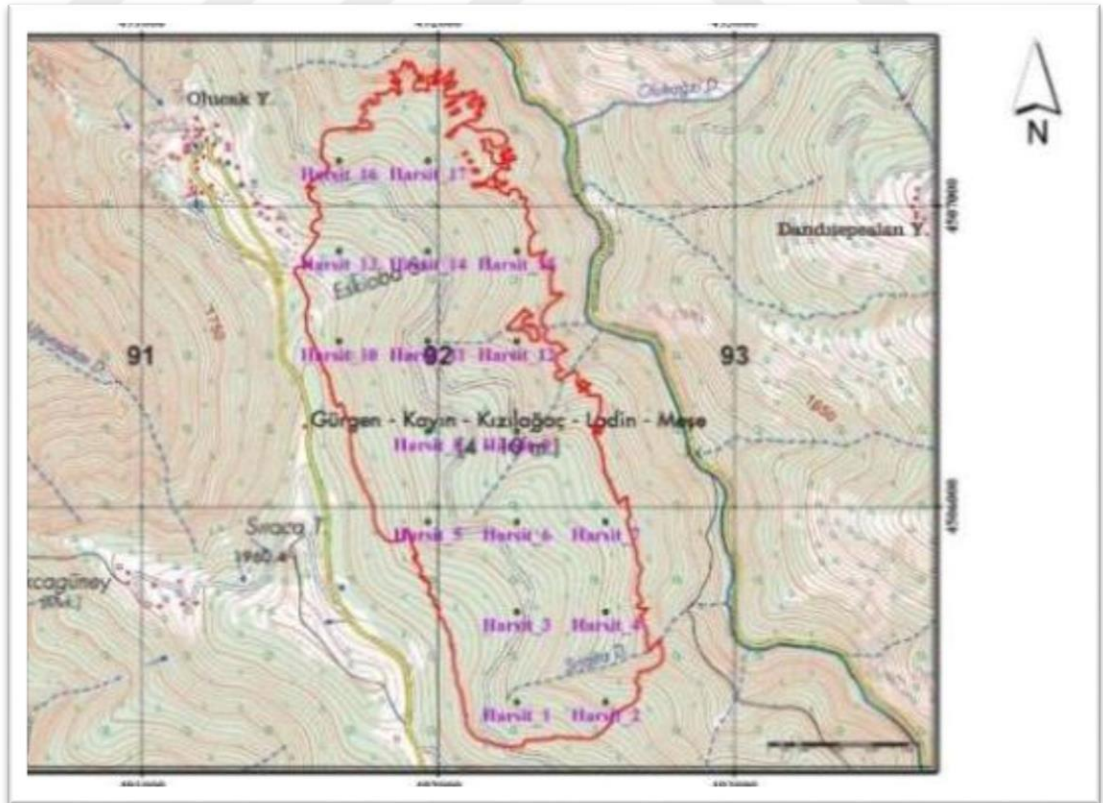
Şekil 22. Harşit zonu örnek alanları



Şekil 23. Akılbaba-1 zonu örnek alanlarının topoğrafik haritada gösterimi



Şekil 24. Akılbaba-2 zonu örnek alanlarının topoğrafik haritada gösterimi



Şekil 25. Harşit zonu örnek alanlarının topoğrafik haritada gösterimi

### 2.3.5. Uçuş Zonlarında Belirlenen Örnek Alanlarda Yersel Ölçüm Yapılması

Yersel ölçümlere başlarken ilk olarak büro çalışmalarında LiDAR verilerinin ArcGIS’de oluşturulan sistematik aralıklı örnek alanlarının koordinatları GARMIN Hassas GPS cihazına yüklenmiştir (Tablo 9). Arazide GPS yardımı ve harita yardımı ile örnek alanların koordinatlarına gidilmiştir (Şekil 26).

Tablo 9. Örnek alanların merkezlerine ait koordiat Listesi

(UTM Zone 35- DATUM WGS 84)

| Alan Kodu | X      | Y       | Alan Kodu | X      | Y       |
|-----------|--------|---------|-----------|--------|---------|
| A_1_1     | 490241 | 4504087 | A_2_3     | 488520 | 4503279 |
| A_1_2     | 490541 | 4504087 | A_2_4     | 488820 | 4503279 |
| A_1_3     | 491141 | 4504087 | A_2_5     | 489120 | 4503279 |
| A_1_4     | 491441 | 4504087 | A_2_6     | 488220 | 4503579 |
| A_1_5     | 492041 | 4504087 | A_2_7     | 488820 | 4503579 |
| A_1_6     | 492341 | 4504087 | A_2_8     | 489120 | 4503579 |
| A_1_7     | 490241 | 4504387 | A_2_9     | 487920 | 4503879 |
| A_1_8     | 490541 | 4504387 | A_2_10    | 488220 | 4503879 |
| A_1_9     | 490841 | 4504387 | A_2_11    | 488520 | 4503879 |
| A_1_10    | 491141 | 4504387 | A_2_12    | 488820 | 4503879 |
| A_1_11    | 491441 | 4504387 | A_2_13    | 489120 | 4503879 |
| A_1_12    | 491741 | 4504387 | A_2_14    | 487920 | 4504179 |
| A_1_13    | 492041 | 4504387 | A_2_15    | 488220 | 4504179 |
| A_1_14    | 492341 | 4504387 | A_2_16    | 488520 | 4504179 |
| A_1_15    | 489941 | 4504687 | A_2_17    | 489420 | 4504179 |
| A_1_16    | 490241 | 4504687 | A_2_18    | 488820 | 4504479 |
| A_1_17    | 490841 | 4504687 | A_2_19    | 489120 | 4504479 |
| A_1_18    | 491141 | 4504687 | A_2_20    | 488220 | 4504779 |
| A_1_19    | 491441 | 4504687 | A_2_21    | 488520 | 4504779 |
| A_1_20    | 491741 | 4504687 | A_2_22    | 488220 | 4505079 |
| A_1_21    | 492041 | 4504687 | Harsit_1  | 492266 | 4505349 |
| A_1_22    | 489941 | 4504987 | Harsit_2  | 492566 | 4505349 |
| A_1_23    | 490241 | 4504987 | Harsit_3  | 492266 | 4505649 |
| A_1_24    | 490541 | 4504987 | Harsit_4  | 492566 | 4505649 |
| A_1_25    | 490841 | 4504987 | Harsit_5  | 491966 | 4505949 |
| A_1_26    | 491441 | 4504987 | Harsit_6  | 492266 | 4505949 |
| A_1_27    | 491741 | 4504987 | Harsit_7  | 492566 | 4505949 |
| A_1_28    | 489941 | 4505287 | Harsit_8  | 491966 | 4506249 |
| A_1_29    | 490241 | 4505287 | Harsit_9  | 492266 | 4506249 |
| A_1_30    | 490541 | 4505287 | Harsit_10 | 491666 | 4506549 |
| A_1_31    | 491141 | 4505287 | Harsit_11 | 491966 | 4506549 |
| A_1_32    | 491441 | 4505287 | Harsit_12 | 492266 | 4506549 |
| A_1_33    | 491741 | 4505287 | Harsit_13 | 491666 | 4506849 |
| A_1_34    | 490241 | 4505587 | Harsit_14 | 491966 | 4506849 |
| A_1_35    | 491441 | 4505587 | Harsit_15 | 492266 | 4506849 |
| A_2_1     | 488520 | 4502979 | Harsit_16 | 491666 | 4507149 |
| A_2_2     | 488820 | 4502979 | Harsit_17 | 491966 | 4507149 |



Şekil 26. Arazide örnek alan tespiti

Ulaşılan örnek alanda önce çevre dikkatlice incelenmiş, meşcere kapalılığı göz önüne alarak 3 kapalı meşcere için 20x20 2 kapalı meşcere için 20x30 ve 1 kapalı ve boşluklu meşcereler için 40x20 m<sup>2</sup> olacak şekilde dörtgen örnek alanları belirlenmiştir. Envanter karnesine ilk olarak tarih, İşletme Müdürlüğü, İşletme Şefliği Rakımı, Örnek Alan Kodu ve meşcere tipi bilgileri yazılarak örnek alan çevirme işlemine başlanmıştır. GPS ile gidilen ilk noktadan sonra Pusula ile Kuzey yönünde alan büyüklüğüne göre şerit metre ile 20, 30 veya 40 metre ile mesafe ölçülerek 2. Noktaya ulaşarak envanter karnesine işlenmiştir. 2. Noktanın ardından pusula ile bakılarak batı yönünde yine örnek alan büyüklüğüne göre 20 veya 40 metre şerit metre çekilip 3. Noktaya işaret konulmuştur. 3. Noktadan güney istikametine doğru pusula hizalaması ile aynı işlem yapılmış ve 4. Nokta belirlenmiştir. Aynı zamanda bu alan kırmızı beyaz uyarı şeridi ile 4 noktasından çevrilmiştir. Örnek alan içerisinde kalan 8 cm'den büyük tüm ağaçlara 1 numaralı köşe koordinat noktasından başlayarak kırmızı sprey boya ile numara verilmiştir. Bu işlem ilk noktadan 2. Noktaya doğru başlayarak devamında örnek alanı kapsayacak şekilde yapılmıştır (Şekil 27- 31).



Şekil 27. Örnek alan büyüklüğüne karar verilmesi



Şekil 28. Örnek alan sınırlarının belirlenmesi



Şekil 29. Örnek alanın güvenlik şeridi ile çevrelenmesi



Şekil 30. Örnek alan içinde ve dışında kalan ağaçlar



Şekil 31. Örnek alanlar ölçümleri yapan arazi ekibi



Şekil 32. Arazi Çalışmaları

Toplam 74 adet örnek alandan;

A-1-1, A-1-29, A-2-9, A-2-14, A-2-14, A-2-15, A-2-17, A-2-21, Harşit-9 ve Harşit-10 kodlu örnek alanların orman yolu içinde kalması, A-1-19 ve Harşit-11 kodlu örnek alanların dere içine rast gelmesi sebebiyle dere içi ve yol şevlerinde üst boy için ölçümler gerçekleştirilmiş ve koordinatları ölçülerek envanter karnesine kayıt edilmiştir.

A-1-14, A-2-13, Harşit-14 ve Harşit 17 kodlu örnek alanlar gençleştirme alanlarında yer almakta; tohumlama ve boşaltma kesimleri sonrası dönemdeki bölmecikler içinde kalmaktadır. A-1-35 kodlu örnek alan ise gençleştirme alanında ancak orman içi açıklık kısmındadır.

A-1-5 ve A-1-13 kodlu örnek alanlara yüksek şev nedeni ile ayrıca Harşit -15 kodlu alanında yoğun diri örtü sebebiyle ölçüm yapılma imkanı vermemesi nedenleriyle herhangi bir ağaç boy ve koordinat ölçümü gerçekleştirilememiştir.

A-1-7, A-2-11 ve A-2-16 kodlu örnek alanlar yoğun gençliğe sahip 8 cm ve üzeri birey olmaması nedeniyle ölçüm kriterlerini karşılamamıştır.

A-1-23, A-2-1 kodlu örnek alanlar İskan yakınındaki açıklık ve çalı formundaki birkaç bireyden oluşan ağaççıkların olduğu kümelere denk gelmiştir. Bu örnek alanlarda da sadece üst boy için ölçümler gerçekleştirilmiş ve koordinatları ölçülmüştür.

A-1-17 kodlu örnek alan saf Kızılağaç meşceresine denk gelmiş olup ölçümleri yapılmış ancak hacim hesaplarına dahil edilmemiştir.

Toplam 74 örnek alandan yersel ölçümlere dahil edilemeyen 24 örnek alanın çıkarılmasıyla geriye kalan 50 adet örnek alanda; 8 cm'den büyük tüm ağaçlarda çap, hektarda 100 ağaç yöntemine göre üst boy, bazı ağaçlarda boy (meşcere hacmi ve meşcere orta boyu için), x-y koordinatları, çalı katı kapalılık, çalı katı boy ölçümleri yapılmıştır. Elde edilen veriler, envanter karnesine işlenmiştir (Şekil 33). Bu veriler yardımıyla meşcere hacmi, ağaç sayısı ve üst boy hesaplanmıştır.

|                    |          |           |          |         |                      |                      |       |
|--------------------|----------|-----------|----------|---------|----------------------|----------------------|-------|
| Bölge Müdürlüğü    | Giresun  | Ör. Alan  | Ör. Alan | Mescere | Çalı Katı yada Fidan | Çalı Katı yada Fidan | Rakım |
| Orman İşletme Müd. | T.C. 601 | Büyüklüğü | Alan     | Tipi    | Kapalılığı (%)       | Boyu (m)             |       |
| Orm. İşl. Şefliği  | Akılboz  | 600       | A-1      | Lcd2    | 9050                 | 0.4                  | 1455  |

| Ağaç No | Ağaç Türü | d <sub>1.30</sub> (cm) | Boy (m) | X Koordinat | y Koordinat | Ağaç No | Ağaç Türü | d <sub>1.30</sub> (cm) | Boy (m) | X Koordinat | y Koordinat |
|---------|-----------|------------------------|---------|-------------|-------------|---------|-----------|------------------------|---------|-------------|-------------|
| 1       | C         | 41                     |         | 190 200     | 4504 672    | 38      |           |                        |         |             |             |
| 2       | 7         | 29.1                   | 18.8    | 242         | 666         | 40      |           |                        |         |             |             |
| 3       |           | 40                     | 20.2    | 243         | 670         | 41      |           |                        |         |             |             |
| 4       |           | 16.5                   |         | 242         | 669         | 42      |           |                        |         |             |             |
| 5       |           | 21.6                   |         | 242         | 662         | 43      |           |                        |         |             |             |
| 6       |           | 12.2                   |         | 243         | 666         | 44      |           |                        |         |             |             |
| 7       |           | 26.5                   | 23.5    | 246         | 668         | 45      |           |                        |         |             |             |
| 8       |           | 2.4                    |         | 244         | 664         | 46      |           |                        |         |             |             |
| 9       |           | 11.6                   | 12.1    | 242         | 667         | 47      |           |                        |         |             |             |
| 10      |           | 24.3                   |         | 290         | 678         | 48      |           |                        |         |             |             |
| 11      |           | 30.3                   | 23      | 272         | 667         | 49      |           |                        |         |             |             |
| 12      |           | 22.2                   | 20.6    | 201         | 692         | 50      |           |                        |         |             |             |
| 13      |           | 21.5                   | 14.2    | 231         | 667         | 51      |           |                        |         |             |             |
| 14      |           | 18                     |         | 229         | 675         | 52      |           |                        |         |             |             |
| 15      |           | 10                     | 2.8     | 218         | 668         | 53      |           |                        |         |             |             |
| 16      |           | 38                     |         | 221         | 679         | 54      |           |                        |         |             |             |
| 17      |           | 22                     |         | 239         | 672         | 55      |           |                        |         |             |             |
| 18      |           | 40.5                   | 24.1    | 242         | 674         | 56      |           |                        |         |             |             |
| 19      |           | 23.1                   | 14.0    | 233         | 672         | 59      |           |                        |         |             |             |
| 20      |           | 30.4                   |         | 231         | 672         | 60      |           |                        |         |             |             |
| 21      |           | 31.1                   | 23.1    | 242         | 675         | 61      |           |                        |         |             |             |
| 22      |           |                        |         |             |             | 62      |           |                        |         |             |             |
| 23      |           |                        |         |             |             | 63      |           |                        |         |             |             |
| 24      |           |                        |         |             |             | 64      |           |                        |         |             |             |
| 25      |           |                        |         |             |             | 65      |           |                        |         |             |             |
| 26      |           |                        |         |             |             | 66      |           |                        |         |             |             |
| 27      |           |                        |         |             |             | 67      |           |                        |         |             |             |
| 28      |           |                        |         |             |             | 68      |           |                        |         |             |             |
| 29      |           |                        |         |             |             | 69      |           |                        |         |             |             |
| 30      |           |                        |         |             |             | 70      |           |                        |         |             |             |
| 31      |           |                        |         |             |             |         |           |                        |         |             |             |
| 32      |           |                        |         |             |             |         |           |                        |         |             |             |
| 33      |           |                        |         |             |             |         |           |                        |         |             |             |
| 34      |           |                        |         |             |             |         |           |                        |         |             |             |
| 35      |           |                        |         |             |             |         |           |                        |         |             |             |
| 36      |           |                        |         |             |             |         |           |                        |         |             |             |
| 37      |           |                        |         |             |             |         |           |                        |         |             |             |
| 38      |           |                        |         |             |             |         |           |                        |         |             |             |

Sahada kısa boylu genelde  
var. Yer yer azaltılıp var.

X1: 490 286  
Y1: 4504 668  
X2: 490 282  
Y2: 4504 668.135

X3: 490 219  
Y3: 4504 679  
X4: 490 219  
Y4: 4504 668

Taksitör / İmza:

Hali Dargıca

Tarih: 09 / 09 / 2023

Şekil 33. A-1-16 kodlu örnek alanın envanter karnesi

### 2.3.6. Meşcere Hacminin Örnek Alan Verileri Yardımıyla Ortaya Konması

Çalışma kapsamında örnek alanların hacmi 2 farklı yöntemle göre hesaplanmıştır. Bunlardan birincisi orman amenajman planlarındaki ağaç hacim tablolarının kullanılmasıdır. Diğer yöntemde ise örnek alanlarda ölçülen boy değerleri yardımıyla her bir meşcere tipi için meşcere boy eğrisi çizilmiş ve elde edilen denklem yardımıyla boylar tahmin edilmiş buna bağlı olarak hacim denklemleri yardımıyla örnek alan hacimleri hesaplanmıştır.

Çalışmada Kayın ve Ladin ağaç türleri için A kodu ile başlayan örnek alanlarda Tirebolu Orman İşletme Müdürlüğü Akılbaba Orman İşletme Şefliği orman amenajman planındaki tek girişli ağaç hacim tablosundan (Tablo 10) Harşit kodu ile başlayan örnek alanlarda ise Harşit Orman İşletme Şefliği tek girişli ağaç hacim tablosu (Tablo 11) kullanılmıştır.

Tablo 10. Akılbaba Orman İşletme Şefliği Dikili Kabuklu Gövde Hacmi ve Hacim Artımı Tablosu (1. Sütun hacim 2. Sütun artımı göstermektedir.)

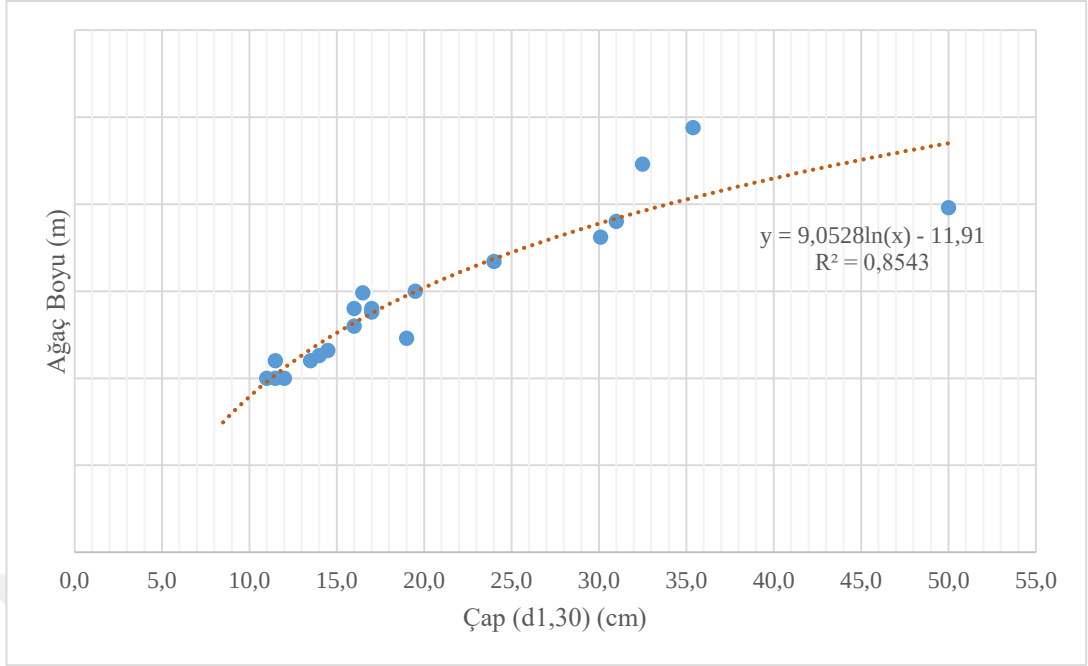
| Çap Kademesi |     | Ağaç Türleri   |                |                |                |                |                |                |                |                |                |
|--------------|-----|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| Genişlik     | Ort | Sarıçam        |                | Göknaar        |                | Ladin          |                | Kayın          |                | Gürgen         |                |
|              |     | m <sup>3</sup> | m <sup>3</sup> | m <sup>3</sup> | m <sup>3</sup> | m <sup>3</sup> | m <sup>3</sup> | m <sup>3</sup> | m <sup>3</sup> | m <sup>3</sup> | m <sup>3</sup> |
| 8-11.9       | 10  | 0,04           | 0,003          | 0,035          | 0,002          | 0,051          | 0,004          | 0,037          | 0,003          | 0,010          | 0,001          |
| 12-15.9      | 14  | 0,07           | 0,005          | 0,088          | 0,004          | 0,112          | 0,007          | 0,094          | 0,005          | 0,020          | 0,001          |
| 16-19.9      | 18  | 0,13           | 0,007          | 0,184          | 0,006          | 0,203          | 0,011          | 0,193          | 0,008          | 0,045          | 0,002          |
| 20-23.9      | 22  | 0,21           | 0,009          | 0,327          | 0,008          | 0,329          | 0,014          | 0,326          | 0,011          | 0,082          | 0,002          |
| 24-27.9      | 26  | 0,33           | 0,011          | 0,515          | 0,010          | 0,489          | 0,018          | 0,504          | 0,015          | 0,132          | 0,003          |
| 28-31.9      | 30  | 0,47           | 0,013          | 0,745          | 0,011          | 0,687          | 0,023          | 0,720          | 0,018          | 0,195          | 0,003          |
| 32-35.9      | 34  | 0,65           | 0,015          | 1,006          | 0,012          | 0,920          | 0,027          | 0,975          | 0,023          | 0,272          | 0,004          |
| 36-39.9      | 38  | 0,86           | 0,017          | 1,306          | 0,014          | 1,190          | 0,032          | 1,272          | 0,027          | 0,375          | 0,005          |
| 40-43.9      | 42  | 1,10           | 0,018          | 1,656          | 0,015          | 1,499          | 0,037          | 1,607          | 0,030          | 0,500          | 0,005          |
| 44-47.9      | 46  | 1,39           | 0,020          | 2,033          | 0,017          | 1,846          | 0,042          | 1,961          | 0,032          | 0,637          | 0,006          |
| 48-51.9      | 50  | 1,72           | 0,020          | 2,476          | 0,018          | 2,226          | 0,047          | 2,339          | 0,034          | 0,740          | 0,006          |
| 52-55.9      | 54  | 2,05           | 0,020          | 2,943          | 0,018          | 2,643          | 0,052          | 2,726          | 0,036          | 0,960          | 0,007          |
| 56-59.9      | 58  | 2,42           | 0,021          | 3,428          | 0,019          | 3,090          | 0,054          | 3,156          | 0,041          | 1,145          | 0,007          |
| 60-63.9      | 62  | 2,83           | 0,021          | 3,925          | 0,018          | 3,558          | 0,054          | 3,633          | 0,046          | 1,360          | 0,008          |
| 64-67.9      | 66  | 3,25           | 0,021          | 4,430          | 0,018          | 4,062          | 0,055          | 4,150          | 0,047          | 1,590          | 0,008          |
| 68-71.9      | 70  | 3,69           | 0,020          | 4,942          | 0,018          | 4,604          | 0,055          | 4,708          | 0,048          | 1,837          | 0,009          |
| 72-75.9      | 74  | 4,14           | 0,020          | 5,462          | 0,018          | 5,182          | 0,054          | 5,328          | 0,048          | 2,105          | 0,009          |
| 76-79.9      | 78  | 4,61           | 0,020          | 5,989          | 0,017          | 5,801          | 0,054          | 5,954          | 0,046          | 2,395          | 0,009          |
| 80-83.9      | 82  | 5,10           | 0,019          | 6,524          | 0,017          | 6,458          | 0,052          | 6,602          | 0,044          | 2,695          | 0,008          |
| 84-87.9      | 86  | 5,63           | 0,019          | 7,066          | 0,017          | 7,155          | 0,051          | 7,266          | 0,043          | 3,000          | 0,008          |
| 88-91.9      | 90  | 6,18           | 0,018          | 7,616          | 0,017          | 7,893          | 0,048          | 7,968          | 0,042          | 3,300          | 0,008          |
| 92-95.9      | 94  | 6,76           | 0,018          | 8,174          | 0,016          | 8,671          | 0,047          | 8,709          | 0,039          | 3,605          | 0,007          |
| 96-99.9      | 98  | 7,40           | 0,018          | 8,739          | 0,016          | 9,526          | 0,045          | 9,430          | 0,037          | 3,810          | 0,007          |
| 100-103.9    | 102 | 8,09           | 0,017          | 9,305          | 0,016          | 10,46          | 0,041          | 10,27          | 0,035          |                |                |
| 104-107.9    | 106 | 8,79           | 0,017          | 9,862          | 0,016          | 11,40          | 0,039          | 11,10          | 0,035          |                |                |
| 108-111.9    | 110 | 9,38           | 0,016          | 10,42          | 0,015          | 12,24          | 0,037          | 11,84          | 0,035          |                |                |
| 112-115.9    | 114 | 9,99           | 0,016          | 10,96          | 0,015          | 12,98          | 0,035          | 12,48          | 0,029          |                |                |
| 116- 119.9   | 118 | 10,4           | 0,015          | 11,51          | 0,015          | 13,72          | 0,033          | 13,12          | 0,027          |                |                |

Tablo 11. Harşit Orman İşletme Şefliği Dikili Kabuklu Gövde Hacmi ve Hacim Artımı Tablosu (1. Sütun hacim 2. Sütun artımı göstermektedir.)

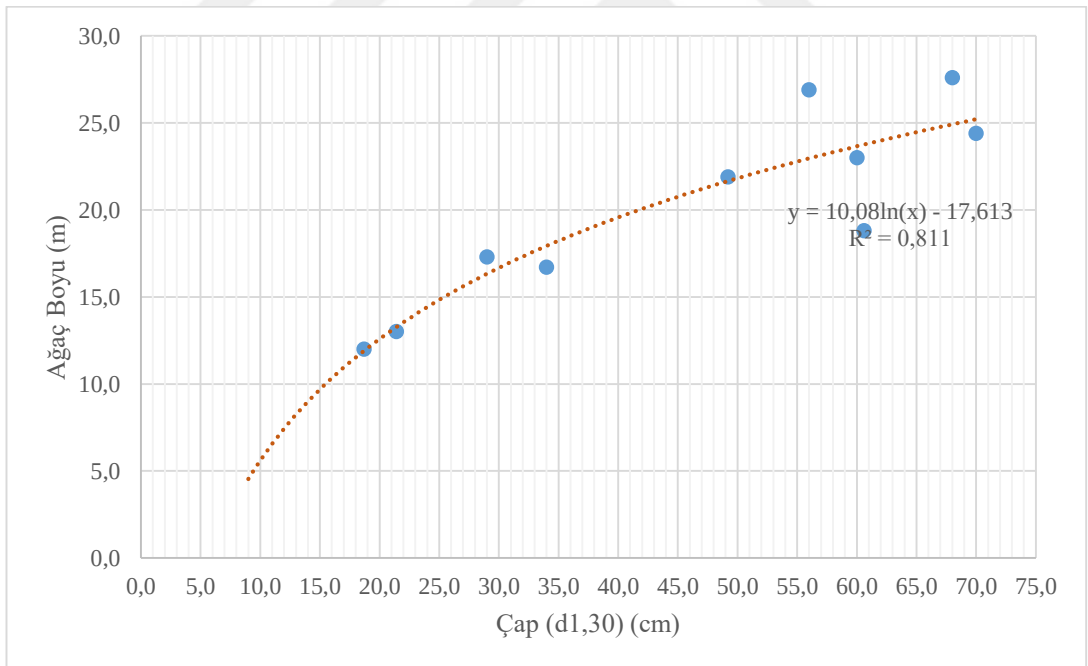
| Çap Kademesi |     | Ağaç Türleri   |                |                |                |                |                |                |                |                |                |
|--------------|-----|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| Genişlik     | Ort | Sarıçam        |                | Gökmar         |                | Ladin          |                | Kayın          |                | Gürgen         |                |
|              |     | m <sup>3</sup> | m <sup>3</sup> | m <sup>3</sup> | m <sup>3</sup> | m <sup>3</sup> | m <sup>3</sup> | m <sup>3</sup> | m <sup>3</sup> | m <sup>3</sup> | m <sup>3</sup> |
| 8-11.9       | 10  | 0,0            | 0,00           | 0,035          | 0,00           | 0,052          | 0,00           | 0,033          | 0,00           | 0,02           | 0,00           |
| 12-15.9      | 14  | 0,0            | 0,00           | 0,088          | 0,00           | 0,117          | 0,00           | 0,085          | 0,00           | 0,08           | 0,01           |
| 16-19.9      | 18  | 0,1            | 0,00           | 0,184          | 0,00           | 0,211          | 0,01           | 0,174          | 0,00           | 0,15           | 0,01           |
| 20-23.9      | 22  | 0,2            | 0,01           | 0,327          | 0,00           | 0,337          | 0,01           | 0,295          | 0,00           | 0,25           | 0,01           |
| 24-27.9      | 26  | 0,4            | 0,01           | 0,515          | 0,01           | 0,500          | 0,01           | 0,465          | 0,01           | 0,36           | 0,01           |
| 28-31.9      | 30  | 0,5            | 0,01           | 0,745          | 0,01           | 0,700          | 0,01           | 0,675          | 0,01           | 0,50           | 0,01           |
| 32-35.9      | 34  | 0,7            | 0,01           | 1,006          | 0,01           | 0,933          | 0,02           | 0,927          | 0,01           | 0,65           | 0,02           |
| 36-39.9      | 38  | 1,0            | 0,02           | 1,306          | 0,01           | 1,204          | 0,02           | 1,225          | 0,01           | 0,82           | 0,02           |
| 40-43.9      | 42  | 1,3            | 0,02           | 1,656          | 0,01           | 1,514          | 0,02           | 1,565          | 0,02           | 1,01           | 0,02           |
| 44-47.9      | 46  | 1,6            | 0,02           | 2,033          | 0,01           | 1,864          | 0,02           | 1,938          | 0,02           | 1,22           | 0,02           |
| 48-51.9      | 50  | 2,0            | 0,02           | 2,476          | 0,01           | 2,250          | 0,02           | 2,339          | 0,02           | 1,45           | 0,02           |
| 52-55.9      | 54  | 2,4            | 0,02           | 2,943          | 0,01           | 2,676          | 0,02           | 2,772          | 0,02           | 1,70           | 0,02           |
| 56-59.9      | 58  | 2,9            | 0,02           | 3,428          | 0,01           | 3,140          | 0,02           | 3,242          | 0,02           | 1,97           | 0,02           |
| 60-63.9      | 62  | 3,3            | 0,02           | 3,925          | 0,01           | 3,640          | 0,03           | 3,761          | 0,02           | 2,27           | 0,02           |
| 64-67.9      | 66  | 3,8            | 0,02           | 4,430          | 0,01           | 4,178          | 0,03           | 4,312          | 0,02           | 2,60           | 0,02           |
| 68-71.9      | 70  | 4,4            | 0,02           | 4,896          | 0,01           | 4,754          | 0,03           | 4,888          | 0,02           | 2,96           | 0,02           |
| 72-75.9      | 74  | 5,0            | 0,02           | 5,462          | 0,01           | 5,373          | 0,03           | 5,494          | 0,02           | 3,35           | 0,02           |
| 76-79.9      | 78  | 5,6            | 0,02           | 5,989          | 0,01           | 6,015          | 0,02           | 6,113          | 0,02           | 3,77           | 0,02           |
| 80-83.9      | 82  | 6,2            | 0,02           | 6,524          | 0,01           | 6,677          | 0,02           | 6,733          | 0,02           | 4,24           | 0,03           |
| 84-87.9      | 86  | 6,8            | 0,02           | 7,066          | 0,01           | 7,300          | 0,02           | 7,354          | 0,02           | 4,75           | 0,03           |
| 88-91.9      | 90  | 7,5            | 0,01           | 7,616          | 0,01           | 7,800          | 0,01           | 7,983          | 0,02           | 5,20           | 0,03           |
| 92-95.9      | 94  | 8,2            | 0,01           | 8,174          | 0,01           | 8,250          | 0,01           | 8,461          | 0,02           | 5,50           | 0,02           |
| 96-99.9      | 98  | 9,0            | 0,01           | 8,739          | 0,01           | 8,600          | 0,01           | 8,890          | 0,02           | 5,75           | 0,02           |
| 100-103.9    | 102 | 9,1            | 0,01           | 9,308          | 0,01           | 8,800          | 0,00           | 9,300          | 0,02           | 6,00           | 0,02           |
| 104-107.9    | 106 | 10,            | 0,01           | 9,888          | 0,01           | 8,900          | 0,00           | 9,650          | 0,02           | 6,05           | 0,02           |

Daha sonra, meşcere hacminin hesaplanmasında çift girişli hacim denklemleri yardımıyla ikinci bir hacim hesabı gerçekleştirilmiştir.

Örnek alanlardaki hacmin çift girişli olarak hesaplanabilmesi için çapı ölçülen tüm bireylerin boy değerlerine ihtiyaç vardır. Her meşcere tipi için ayrı olmak üzere 8 cm üzerindeki ağaçlarda ölçülen boy değerleri Excel programına girilerek örnek alandaki geri kalan bireyler için bir boy denklemi oluşturulmuş böylece her örnek alanda ikinci bir hacim hesabı yapılmıştır. (Şekil 34-35)



Şekil 34. Lbc3 için meşcere boy eğrisi



Şekil 35. KnLd2 için meşcere boy eğrisi

Çift girişli hacim hesabında yöreye uygun çift girişli ağaç hacim denklemleri yardımıyla her örnekleme alanının hacmi ortaya konulmuştur.

Kayın için Carus (1998)

$$V = d_{1,30}^2 \times ((-1,16988 \times 10^{-4}) + (3,97641 \times 10^{-5} \times h))$$

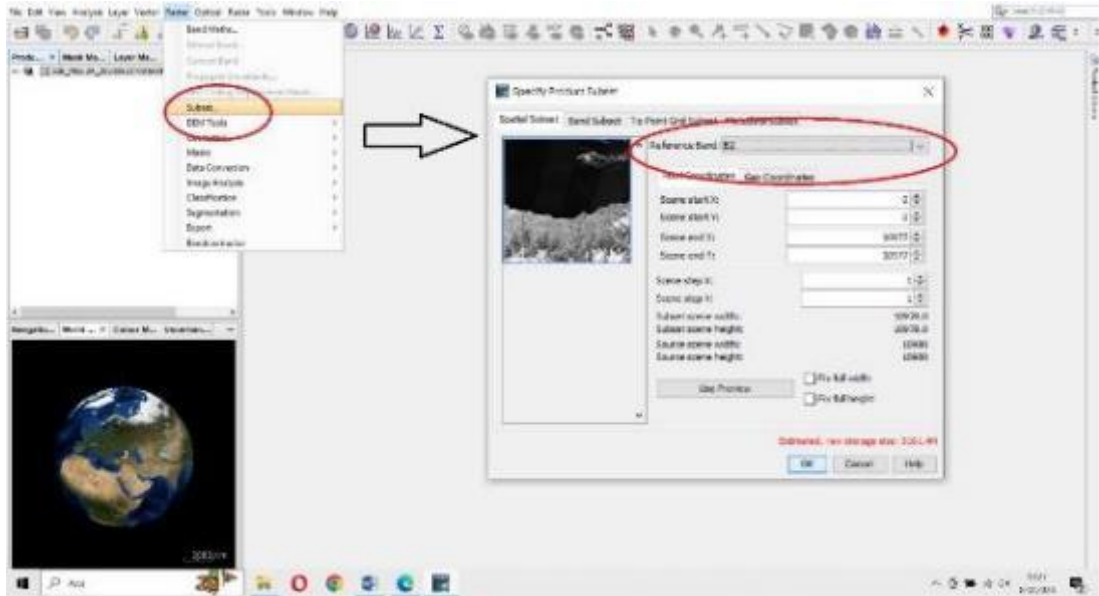
Ladin için Akalp (1978)

$$V = d_{1,30}^2 \times ((32506 \times 10^{-8}) + (2453 \times 10^{-8} \times h))$$

Formülleri kullanılmıştır.

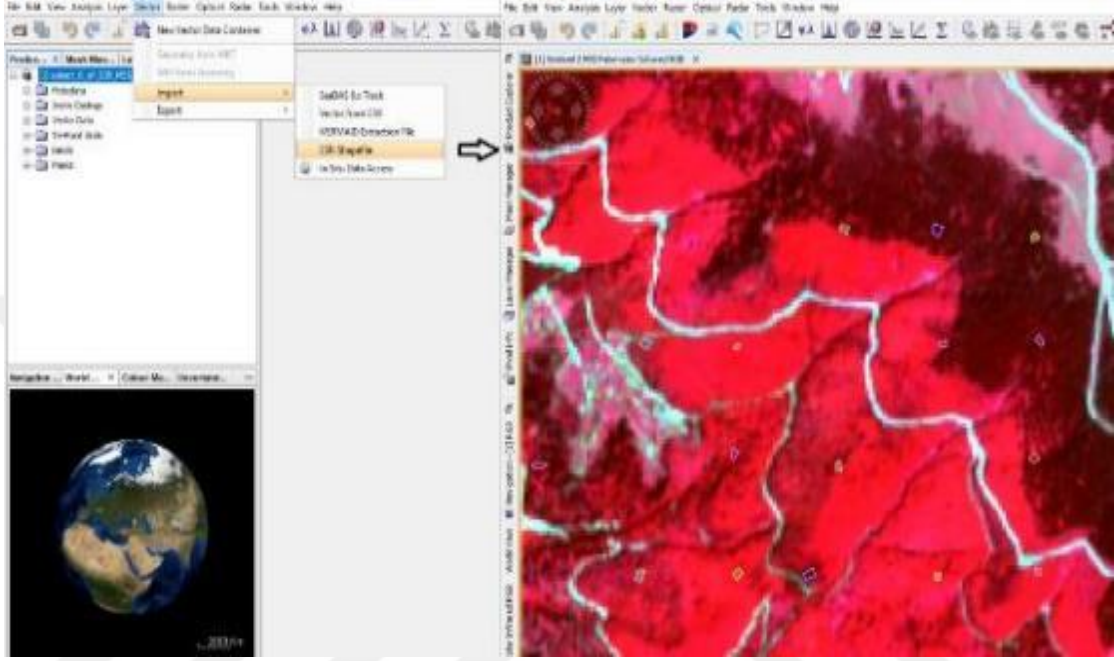
### 2.3.7. Sentinel-2 Verilerinin İşlenmesi ve Analizi

Sentinel-2 görüntüsü için bulutsuz bir günün kullanılması önemlidir. Bu sebeple en az bulutlu dönem olan Ağustos ayı tercih edilmiştir. Yersel ölçüm tarihinin Eylülün ilk haftasında olması sebebiyle de Ağustos ayının uygun olduğuna kanaat getirilmiştir. Tercih edilen görüntü 23.08.2023 tarihli olup bulutsuzdur. Veriler, Copernicus Açık Erişim Merkezinden (<https://scihub.copernicus.eu/dhus/#/home>) Seviye-2 Atmosfer Altı (BOA) yansımaları olarak alınmıştır. Seviye-2 görüntüleri, atmosfer üstü (TOA) Seviye-1C ortogörüntü ürünlerine uygulanan bir atmosferik düzeltme içermektedir. Dolayısıyla, indirilen görüntülerde bir ön işlem gerçekleştirilmemiştir. ESA tarafından sağlanan SNAP (Sentinel Application Platform) yazılımındaki “subset” komutu kullanılarak, daha büyük görüntü yalnızca çalışma alanını yansıtacak şekilde küçültülmüştür (Şekil 36). Elde edilen görüntü daha sonra yine SNAP yazılımı kullanılarak 10 metre (<https://gisgeography.com/sentinel-2-bands-combinations/>) konumsal çözünürlüğe yeniden örneklenmiştir (resampling yapılmıştır). Tüm spektral bantlar, tahmin modellerini oluşturmak için kullanılmıştır.

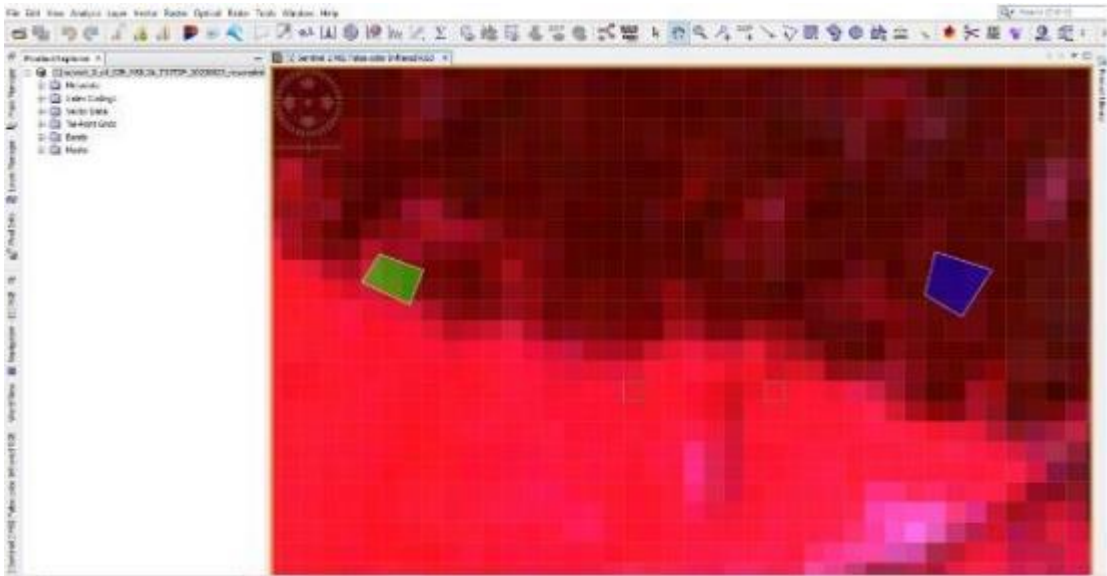


Şekil 36. Sentinel 2 görüntüsünün SNAP uygulamasında “subset” işlemi

Yersel ölçümü yapılan ve köşe koordinatları belirli olan örnek alanlar ArcGIS programına aktarılarak nokta katmanı oluşturulmuştur. Oluşturulan nokta katmanı referans alınarak köşe noktaları birleştirilmek suretiyle örnek alan poligon katmanı hazırlanmıştır. Bu katman “Resampled” yapılan haritaya SNAP programının Vector \ Import \ ESRI Shape File menü komutu ile entegre edilmiştir (Şekil 37).



Şekil 37. Sentinel 2 görüntüsüne SNAP uygulamasında örnek alanların entegrasyonu



Şekil 38. Örnek alanların maskelenmesi

Bu alandaki yansıma (reflectance) değerlerinin çıkarımında sırasıyla şu işlemler uygulanmıştır:

- Her örnek alanın x ve y koordinatları, ArcGIS'e aktarılmadan ve nokta katmanı olarak kaydedilmeden önce Excel'de düzenlenmiş, sonrasında, “Minimum Sınırlama Geometrisi” aracı (ArcToolbox\Data Management Tools\Features\Minimum Bounding Geometry) kullanarak her bir örnek alan için dört köşe noktasına dayalı çokgenler oluşturulmuş ve bu bir vektör dosyası olarak kaydedilmiştir. Katmanı WGS84'e dönüştürdükten sonra (ArcToolbox\Data Management Tools\Projection and Transformations\Feature\Project), katman daha sonra uydu görüntüsüyle örtüşecek şekilde SNAP yazılımına aktarılmıştır.
- Maske katmanı yaptıktan sonra, örnek alana giren piksellerin her birine karşılık gelen maske piksel değerlerinin çıkarılması mümkün olmuş ve böylece bant yansıma değeri elde edilmiştir.
- Yersel ölçüm yapılan 50 örnek alan için Raster\ Export\ Mask Pixels menü komu ile maskelenen katman olarak her örnek alan tek tek seçilerek gerçekleştirilmiştir.
- Örnek alanları temsil etmek üzere, kapsadığı piksellerin aritmetik ortalaması hesaplanmıştır.

SNAP yazılımı içerisinde çeşitli bitki örtüsü indekslerini (Vegetation Index=VI'lar) otomatik olarak hesaplamak için menüler mevcuttur. Bu çalışmada, meşcere bileşenlerinin tahmin edilmesi için 9 vejetasyon indeksi hesaplanmıştır. Dokuz indeksin sekizi, SNAP yazılımındaki komutlar yardımıyla hesaplanmıştır. EVI, otomatik hesaplama komutu olmayan tek indekstir. Bu nedenle indeks değerleri, ‘band matematiği’ komutu kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

Tablo 12. Çalışmada kullanılan vejetasyon indeksleri

| Vejetasyon İndeksi                                  | Açıklama                                   | Formül                                                                                          |                                                                                                                 | Kaynak                                        |
|-----------------------------------------------------|--------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------|
| NDVI                                                | Normalized Difference Vegetation Index     | $(\text{NIR} - \text{Red}) / (\text{NIR} + \text{Red})$                                         | $(\text{Band 8} - \text{Band 4}) / (\text{Band 8} + \text{Band 4})$                                             | Rouse et al. (1973)                           |
| RVI (aka SR)                                        | Ratio Vegetation Index                     | $(\text{NIR}) / (\text{Red})$                                                                   | $\text{Band 8} / \text{Band 4}$                                                                                 | Jordan (1969)                                 |
| SAVI                                                | Soil Adjusted Vegetation Index             | $(\text{NIR} - \text{Red}) * (1 + L) / (\text{NIR} + \text{Red} + L)$                           | $(\text{Band 8} - \text{Band 4}) * 2 / (\text{Band 8} + \text{Band 4} + 1)$                                     | Huete (1988)                                  |
| ARVI                                                | Atmospherically Resistant Vegetation Index | $(\text{NIR} - (2 * \text{Red} - \text{Blue})) / (\text{NIR} + (2 * \text{Red} - \text{Blue}))$ | $(\text{Band 8} - (2 * \text{Band 4} - \text{Band 2})) / (\text{Band 8} + (2 * \text{Band 4} - \text{Band 2}))$ | Kaufman and Tanré (1992)                      |
| PVI                                                 | Percentage Vegetation Index                | $(\text{NIR}) / (\text{NIR} + \text{Red})$                                                      | $\text{Band 8} / (\text{Band 8} + \text{Band 4})$                                                               | Crippen (1990)                                |
| EVI                                                 | Enhanced Vegetation Index                  | $G * (\text{NIR} - \text{Red}) / ((\text{NIR} + C1 * \text{Red}) - (C2 * \text{Blue}) + 1)$     | $2,5 * ((\text{Band 8} - \text{Band 4}) / (\text{Band 8} + 6 * \text{Band 4} - 7,5 * \text{Band 2} + 1))$       | Liu and Heute (1995)                          |
| DVI                                                 | Difference Vegetation Index                | $(\text{NIR}) - (\text{Red})$                                                                   | $\text{Band 8} - \text{Band 4}$                                                                                 | Richardson and Weigand (1977);                |
| NDMI                                                | Normalized Difference Moisture Index       | $(\text{NIR} - \text{SWIR}) / (\text{NIR} + \text{SWIR})$                                       | $(\text{Band 8} - \text{Band 11}) / (\text{Band 8} + \text{Band 11})$                                           | Xiao et al. (2019); Gao (1996)                |
| IRECI                                               | Inverted Red Edge Chlorophyll Index        | $(\text{NIR} - \text{Red}) / (\text{Red Edge 2} / \text{Red Edge 1})$                           | $(\text{Band 7} - \text{Band 4}) / (\text{Band 5} / \text{Band 6})$                                             | Frampton et al. (2013); Clevers et al. [2000] |
| $G = 2.5$<br>$C1 = 6.0$ and $C2 = 7.5$<br>$L = 1.0$ |                                            |                                                                                                 |                                                                                                                 |                                               |

### 2.3.8. Lidar Verilerinin Analizi

Nokta bulutları multipointe çevrildikten sonra verilerin yükseklik değerleri baz alınarak maximum, minimum ve ortalama değerlerinin hesaplanması ile meşcere hakim boyu ve meşcere orta boyu değerlerine ulaşılmıştır. (Şekil 39)

Bu işlem ArcGIS programının Arc Tool Box seçenekleri altındaki “Conversion Tools” başlığının altında “To Raster” işlemlerinde “Point to Raster” ile yapılmıştır. (ArcToolbox\ Conversion Tools\ To Raster\Point to Raster) (Şekil 40)



### **2.3.9. Örnek Alan Verileri ile Uzaktan Algılama Verileri Arasındaki İlişkinin Belirlenmesi**

Proje sonunda elde edilen tüm veriler IBM SPSS (26.0) paket programına girilerek analizler gerçekleştirilmiştir. İlk aşamada tek girişli ve çift girişli hacim değerleri Regresyon Analizinin şartı olan Normal Dağılım Testine tabi tutulmuştur.

Veri tablosunda tek girişli ve çift girişli meşcere hacmi bağımlı değişken, bağımsız değişkenler olarak da, Sentinel-2 görüntüsünden çıkarılan yansıma bant değerleri ve vejetasyon indeksleri ile LiDAR verilerinden elde edilen bileşenler arasındaki ilişkiyi modellemek için çoklu aşamalı regresyon analizi kullanılmıştır. Çalışmada, 0,05'e eşit veya daha küçük p değerlerine ve en yüksek düzeltilmiş  $R^2$  değerlerine sahip modelleri seçmek için kademeli değişken seçim tekniği (stepwise selection) kullanılmıştır.

### 3. BULGULAR

Giresun Orman Bölge Müdürlüğü Tirebolu Orman İşletme Müdürlüğü Akılbaba ve Harşit Orman İşletme Şefliklerinde kalan araştırma alanında; belirlenen 3 zonda gerçekleştirilen drone uçuşları sonucunda Akılbaba Orman İşletme Şefliğinde 20 adet, Harşit Orman İşletme Şefliğinde 7 adet uçuş gerçekleştirilmiştir. Uçuş yapılan zonlar; Akılbaba-1 373,6 ha, Akılbaba-2 281 ha ve Harşit 237,9 ha büyüklüğünde olup öngörülen araştırma alanı büyüklüğüne ulaşılmıştır. Toplam veri büyüklüğü (gürültü giderme işlemi yapılmamış nokta bulutu) 485 GB'dır.

Ön keşif sırasında alanda yapılan GPS ölçümleriyle 1400 ile 2000 m arasında yükseltiyeye sahip olacağı öngörülen araştırma alanında alınan örnek alanların en düşük yükseltisi A-1-15 kodlu örnek alanda 1380 m en yüksek yükselti A-1-33 kodlu örnek alanda ise 1946 m olarak ölçülmüştür.

Toplamda oluşturulan 74 örnek alandan; Akılbaba -1 zonunda 35 adet, Akılbaba -2 zonunda 22 adet ve Harşit zonunda 17 adet kalmaktadır. Arazide toplam 24 adet örnek alanda yol, şev, dere içi, kayalık vb. alanlara denk gelmesi nedeniyle yersel ölçüm yapılamamıştır. Kalan 50 adet örnek alanın meşçere tipleri, Tablo 13'de gösterilmiştir.

Örnek alanlarda gerçekleştirilen ölçümler sonucunda 33 farklı meşçere tipi belirlenmiştir. Bu meşçere tiplerinden Lcd3 meşçere tipi 8 adet, Lcd2 meşçere tipi 5 adet, Knab3 meşçere tipi 3 adet ve Knb3, KnLbc2, KnLbc3, Lcd1, LKncd2 meşçere tipleri de 2 adet bulunmaktadır (Tablo 13).

Tablo 13. Örnek alan kodları, büyüklükleri ve meşcere tipleri listesi

|    | Ö. Alan<br>Kodu | Bulunduğu<br>Zon | İşletme<br>Şefliği | Ö.Alan<br>(m <sup>2</sup> ) | Meşcere<br>Tipi |    | Ö. Alan<br>Kodu | Bulunduğu<br>Zon | İşletme<br>Şefliği | Ö.Alan<br>(m2) | Meşcere<br>Tipi |
|----|-----------------|------------------|--------------------|-----------------------------|-----------------|----|-----------------|------------------|--------------------|----------------|-----------------|
| 1  | A-1-1           | Akıl Baba -1     | Akıl Baba          | 400                         | Lbc3            | 26 | A-1-9           | Akıl Baba -1     | Akıl Baba          | 400            | KnLbc3          |
| 2  | A-1-10          | Akıl Baba -1     | Akıl Baba          | 600                         | Lçd2            | 27 | A-2-10          | Akıl Baba-2      | Akıl Baba          | 400            | LKnd3           |
| 3  | A-1-11          | Akıl Baba -1     | Akıl Baba          | 400                         | Knab3           | 28 | A-2-12          | Akıl Baba-2      | Akıl Baba          | 600            | Lde2            |
| 4  | A-1-12          | Akıl Baba -1     | Akıl Baba          | 400                         | Knab3           | 29 | A-2-18          | Akıl Baba-2      | Akıl Baba          | 600            | LKncd2          |
| 5  | A-1-15          | Akıl Baba -1     | Akıl Baba          | 600                         | LKncd2          | 30 | A-2-19          | Akıl Baba-2      | Akıl Baba          | 600            | LKne2           |
| 6  | A-1-16          | Akıl Baba -1     | Akıl Baba          | 600                         | Lcd2            | 31 | A-2-2           | Akıl Baba-2      | Akıl Baba          | 400            | Lcd3            |
| 7  | A-1-17          | Akıl Baba -1     | Akıl Baba          | 400                         | Kzbc3           | 32 | A-2-20          | Akıl Baba-2      | Akıl Baba          | 400            | LGcd3           |
| 8  | A-1-18          | Akıl Baba -1     | Akıl Baba          | 400                         | KnGLb3          | 33 | A-2-22          | Akıl Baba-2      | Akıl Baba          | 600            | LKnbc2          |
| 9  | A-1-20          | Akıl Baba -1     | Akıl Baba          | 400                         | GLKnd3          | 34 | A-2-3           | Akıl Baba-2      | Akıl Baba          | 400            | Lcd3            |
| 10 | A-1-21          | Akıl Baba -1     | Akıl Baba          | 400                         | Lcd3            | 35 | A-2-4           | Akıl Baba-2      | Akıl Baba          | 400            | LKnde3          |
| 11 | A-1-22          | Akıl Baba -1     | Akıl Baba          | 600                         | KnLbc2          | 36 | A-2-5           | Akıl Baba-2      | Akıl Baba          | 600            | Lcd2            |
| 12 | A-1-24          | Akıl Baba -1     | Akıl Baba          | 600                         | KnLb2           | 37 | A-2-6           | Akıl Baba-2      | Akıl Baba          | 400            | Lcd3            |
| 13 | A-1-25          | Akıl Baba -1     | Akıl Baba          | 400                         | Knab3           | 38 | A-2-7           | Akıl Baba-2      | Akıl Baba          | 800            | LKncd1          |
| 14 | A-1-26          | Akıl Baba -1     | Akıl Baba          | 400                         | LGb3            | 39 | A-2-8           | Akıl Baba-2      | Akıl Baba          | 800            | Lcd1            |
| 15 | A-1-27          | Akıl Baba -1     | Akıl Baba          | 400                         | Lcd3            | 40 | Harsit-1        | Harşit           | Harşit             | 800            | Lcd1            |
| 16 | A-1-28          | Akıl Baba -1     | Akıl Baba          | 400                         | KnLbc3          | 41 | Harsit-12       | Harşit           | Harşit             | 400            | LKnGde3         |
| 17 | A-1-3           | Akıl Baba -1     | Akıl Baba          | 400                         | KnLb3           | 42 | Harsit-13       | Harşit           | Harşit             | 600            | Lcd2            |
| 18 | A-1-30          | Akıl Baba -1     | Akıl Baba          | 120                         | Knab3           | 43 | Harsit-16       | Harşit           | Harşit             | 800            | KnLde1          |
| 19 | A-1-31          | Akıl Baba -1     | Akıl Baba          | 600                         | KnLd2           | 44 | Harsit-2        | Harşit           | Harşit             | 400            | LKncd3          |
| 20 | A-1-32          | Akıl Baba -1     | Akıl Baba          | 400                         | Lde3            | 45 | Harsit-3        | Harşit           | Harşit             | 600            | LGcd2           |
| 21 | A-1-33          | Akıl Baba -1     | Akıl Baba          | 400                         | Lcd3            | 46 | Harsit-4        | Harşit           | Harşit             | 600            | KnLde2          |
| 22 | A-1-34          | Akıl Baba -1     | Akıl Baba          | 400                         | Lcd3            | 47 | Harsit-5        | Harşit           | Harşit             | 600            | Lcd2            |
| 23 | A-1-4           | Akıl Baba -1     | Akıl Baba          | 200                         | Knab3           | 48 | Harsit-6        | Harşit           | Harşit             | 600            | LKnde2          |
| 24 | A-1-6           | Akıl Baba -1     | Akıl Baba          | 400                         | Lcd3            | 49 | Harsit-7        | Harşit           | Harşit             | 600            | LGKnde2         |
| 25 | A-1-8           | Akıl Baba -1     | Akıl Baba          | 600                         | KnLbc2          | 50 | Harsit-8        | Harşit           | Harşit             | 600            | GKnLde3         |

Akıl Baba ve Harşit Orman İşletme Şefliklerinin amenajman planlarındaki ağaç hacim tabloları kullanılarak örnek alanların hacimleri hesaplanmıştır. Yine tüm ağaçları temsil edecek şekilde ölçülmüş olan boy değerleri ile ilgili oluşturulan boy eğrisi denklemi ile ölçülmeyen ağaçların boy değerleri elde edilmiş, bu değerler ile ölçülen çaplar çift girişli hacim denkleminde kullanılarak ikinci kez hacimleri hesaplanmıştır. Sadece A-1-17 Kodlu örnek alanın saf Kızılağaç meşceresi olması sebebiyle hacim hesabına dahil edilmemiştir.

Yapılan hacim hesaplarının karşılaştırılmasında en fazla farkın Gökmar bulunan örnek alanlarda olduğu görülmektedir. Tek girişli hacim tablosuna göre hesaplanan hacim değeri ile çift girişli hacim denklemi ile hesaplanan hacimler arasındaki bu rakamsal değişim kullanılan denklemin yöresel olmaması ile açıklanabilir.

Tablo 14. Örnek alan Tek ve Çift Girişli Hacim Hesapları

|    | Ö. Alan Kodu | Meşcere Tipi | Ö.Alan (m <sup>2</sup> ) | ÖA Tek Girişli (m <sup>3</sup> ) | ÖA Çift Girişli (m <sup>3</sup> ) | Tek Girişli (m <sup>3</sup> )/ha | Çift Girişli (m <sup>3</sup> )/ha |
|----|--------------|--------------|--------------------------|----------------------------------|-----------------------------------|----------------------------------|-----------------------------------|
| 1  | A-1-1        | Lbc3         | 400                      | 11,315                           | 11,463                            | 282,875                          | 286,565                           |
| 2  | A-1-10       | Lcd2         | 600                      | 36,267                           | 36,975                            | 604,450                          | 616,252                           |
| 3  | A-1-11       | Knab3        | 400                      | 0,649                            | 0,366                             | 16,225                           | 9,152                             |
| 4  | A-1-12       | Knab3        | 400                      | 1,381                            | 0,671                             | 34,525                           | 16,784                            |
| 5  | A-1-15       | LKncd2       | 600                      | 25,367                           | 31,353                            | 422,783                          | 522,554                           |
| 6  | A-1-16       | Lcd2         | 600                      | 16,012                           | 16,236                            | 266,867                          | 270,593                           |
| 7  | A-1-18       | KnGLb3       | 400                      | 4,011                            | 3,135                             | 100,275                          | 78,380                            |
| 8  | A-1-20       | GLKnd3       | 400                      | 25,941                           | 31,081                            | 648,525                          | 777,031                           |
| 9  | A-1-21       | Lcd3         | 400                      | 24,842                           | 25,586                            | 621,050                          | 639,653                           |
| 10 | A-1-22       | KnLbc2       | 600                      | 8,149                            | 5,553                             | 135,817                          | 92,554                            |
| 11 | A-1-24       | KnLb2        | 600                      | 1,906                            | 1,417                             | 31,767                           | 23,619                            |
| 12 | A-1-25       | Knab3        | 400                      | 1,750                            | 1,124                             | 43,750                           | 28,102                            |
| 13 | A-1-26       | LGb3         | 400                      | 2,255                            | 1,547                             | 56,375                           | 38,665                            |
| 14 | A-1-27       | Lcd3         | 400                      | 23,169                           | 24,264                            | 579,225                          | 606,607                           |
| 15 | A-1-28       | KnLbc3       | 400                      | 7,646                            | 5,215                             | 191,150                          | 130,381                           |
| 16 | A-1-3        | KnLb3        | 400                      | 1,822                            | 1,144                             | 45,550                           | 28,595                            |
| 17 | A-1-30       | Knab3        | 120                      | 1,486                            | 1,083                             | 37,150                           | 27,064                            |
| 18 | A-1-31       | KnLd2        | 600                      | 28,925                           | 25,959                            | 482,083                          | 432,643                           |
| 19 | A-1-32       | Lde3         | 400                      | 27,973                           | 26,070                            | 699,325                          | 651,761                           |
| 20 | A-1-33       | Lcd3         | 400                      | 31,013                           | 31,794                            | 775,325                          | 794,841                           |
| 21 | A-1-34       | Lcd3         | 400                      | 24,768                           | 25,370                            | 619,200                          | 634,250                           |
| 22 | A-1-4        | Knab3        | 200                      | 0,592                            | 0,335                             | 14,800                           | 8,380                             |
| 23 | A-1-6        | Lcd3         | 400                      | 23,225                           | 23,873                            | 580,625                          | 596,819                           |

Tablo 14'ün devamı

|    |           |        |     |        |        |         |          |
|----|-----------|--------|-----|--------|--------|---------|----------|
| 24 | A-1-8     | KnLbc2 | 600 | 5,530  | 4,383  | 92,167  | 73,046   |
| 25 | A-1-9     | KnLbc3 | 400 | 8,855  | 5,885  | 221,375 | 147,133  |
| 26 | A-2-10    | LKnd3  | 400 | 32,346 | 36,093 | 808,650 | 902,333  |
| 27 | A-2-12    | Lde2   | 600 | 20,710 | 21,690 | 341,186 | 357,336  |
| 28 | A-2-18    | LKncd2 | 600 | 15,059 | 15,765 | 250,983 | 262,754  |
| 29 | A-2-19    | LKne2  | 600 | 36,171 | 41,969 | 602,850 | 699,490  |
| 30 | A-2-2     | Lcd3   | 400 | 33,589 | 32,839 | 839,725 | 820,963  |
| 31 | A-2-20    | LGcd3  | 400 | 20,184 | 21,694 | 504,600 | 542,343  |
| 32 | A-2-22    | LKnbc2 | 600 | 10,928 | 11,549 | 174,848 | 184,782  |
| 33 | A-2-3     | Lcd3   | 400 | 28,688 | 30,171 | 717,200 | 754,279  |
| 34 | A-2-4     | LKnde3 | 400 | 28,036 | 30,662 | 700,900 | 766,547  |
| 35 | A-2-5     | Lcd2   | 600 | 41,632 | 49,709 | 582,266 | 695,235  |
| 36 | A-2-6     | Lcd3   | 400 | 18,329 | 19,375 | 458,225 | 484,382  |
| 37 | A-2-7     | LKncd1 | 800 | 22,227 | 23,175 | 277,838 | 289,684  |
| 38 | A-2-8     | Lcd1   | 800 | 13,943 | 14,856 | 171,712 | 182,951  |
| 39 | Harsit-1  | Lcd1   | 800 | 7,050  | 7,123  | 88,125  | 89,037   |
| 40 | Harsit-12 | LKnGde | 400 | 23,782 | 26,258 | 570,312 | 629,677  |
| 41 | Harsit-13 | Lcd2   | 600 | 21,963 | 21,282 | 366,050 | 354,708  |
| 42 | Harsit-16 | KnLde1 | 800 | 21,095 | 20,270 | 263,688 | 253,372  |
| 43 | Harsit-2  | LKncd3 | 400 | 38,026 | 43,904 | 950,650 | 1097,597 |
| 44 | Harsit-3  | LGcd2  | 600 | 20,164 | 19,322 | 336,067 | 322,033  |
| 45 | Harsit-4  | KnLde2 | 600 | 40,797 | 54,532 | 679,950 | 908,861  |
| 46 | Harsit-5  | Lcd2   | 600 | 12,541 | 12,844 | 209,017 | 214,070  |
| 47 | Harsit-6  | LKnde2 | 600 | 30,451 | 32,158 | 507,517 | 535,969  |
| 48 | Harsit-7  | LGKnde | 600 | 52,909 | 68,876 | 881,817 | 1147,937 |
| 49 | Harsit-8  | GKnLde | 600 | 24,821 | 26,267 | 620,525 | 656,674  |

SNAP programında subset ve resampled işlemi gerçekleştirilen Sentinel 2 görüntülerinin örnek alan ile maskelendiği işlemlerin ardından, arazide ölçümü yapılan 49 adet örnek alan için Raster\ Export\ Mask Pixels komutu yardımı ile her örnek alan ayrı katman olarak seçilmiş ve maskelenmiştir. Örnek alanların, kapsadığı piksellerin aritmetik ortalaması hesaplanmıştır. (Şekil 41)

SNAP programı yardımı ile örnek alanlara düşen band (reflektans) ve indeks değerleri aşağıda verilmiştir (Tablo 15, Tablo 16).



Tablo 15. Örnek alanların band yansıma (Reflectance) değerleri

| Ö. Alan Kodu | Meşcere Tipi | B1    | B2    | B3    | B4    | B5    | B6    | B7    | B8    | B8A   | B9    | B11   | B12   |
|--------------|--------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| A-1-1        | Lbc3         | 0,029 | 0,074 | 0,097 | 0,086 | 0,123 | 0,272 | 0,335 | 0,357 | 0,341 | 0,308 | 0,180 | 0,094 |
| A-1-10       | Lçd2         | 0,011 | 0,016 | 0,023 | 0,011 | 0,040 | 0,160 | 0,209 | 0,218 | 0,219 | 0,310 | 0,081 | 0,036 |
| A-1-11       | Knab3        | 0,018 | 0,023 | 0,035 | 0,021 | 0,065 | 0,343 | 0,465 | 0,470 | 0,502 | 0,480 | 0,205 | 0,089 |
| A-1-12       | Knab3        | 0,023 | 0,020 | 0,034 | 0,019 | 0,064 | 0,328 | 0,443 | 0,462 | 0,486 | 0,388 | 0,201 | 0,086 |
| A-1-15       | LKncd2       | 0,023 | 0,016 | 0,030 | 0,021 | 0,066 | 0,213 | 0,266 | 0,245 | 0,284 | 0,309 | 0,140 | 0,071 |
| A-1-16       | Lcd2         | 0,013 | 0,014 | 0,024 | 0,012 | 0,036 | 0,133 | 0,164 | 0,163 | 0,179 | 0,233 | 0,066 | 0,033 |
| A-1-18       | KnGLb3       | 0,013 | 0,017 | 0,030 | 0,016 | 0,053 | 0,229 | 0,305 | 0,323 | 0,322 | 0,360 | 0,128 | 0,058 |
| A-1-20       | GLKnd3       | 0,014 | 0,016 | 0,029 | 0,013 | 0,049 | 0,179 | 0,253 | 0,227 | 0,246 | 0,272 | 0,094 | 0,039 |
| A-1-21       | Lcd3         | 0,013 | 0,013 | 0,021 | 0,010 | 0,035 | 0,109 | 0,136 | 0,125 | 0,136 | 0,155 | 0,054 | 0,029 |
| A-1-22       | KnLbc2       | 0,025 | 0,022 | 0,035 | 0,021 | 0,058 | 0,264 | 0,354 | 0,394 | 0,390 | 0,360 | 0,152 | 0,069 |
| A-1-24       | KnLb2        | 0,018 | 0,022 | 0,038 | 0,030 | 0,074 | 0,228 | 0,278 | 0,290 | 0,308 | 0,331 | 0,170 | 0,090 |
| A-1-25       | Knab3        | 0,018 | 0,020 | 0,033 | 0,017 | 0,067 | 0,316 | 0,412 | 0,450 | 0,445 | 0,408 | 0,188 | 0,082 |
| A-1-26       | LGb3         | 0,011 | 0,017 | 0,033 | 0,014 | 0,053 | 0,208 | 0,251 | 0,265 | 0,258 | 0,331 | 0,097 | 0,043 |
| A-1-27       | Lcd3         | 0,009 | 0,013 | 0,021 | 0,011 | 0,037 | 0,129 | 0,162 | 0,164 | 0,175 | 0,177 | 0,062 | 0,029 |
| A-1-28       | KnLbc3       | 0,016 | 0,023 | 0,036 | 0,026 | 0,069 | 0,293 | 0,399 | 0,427 | 0,437 | 0,455 | 0,191 | 0,090 |
| A-1-3        | KnLb3        | 0,017 | 0,023 | 0,043 | 0,023 | 0,095 | 0,363 | 0,474 | 0,516 | 0,515 | 0,419 | 0,229 | 0,112 |
| A-1-30       | Knab3        | 0,022 | 0,023 | 0,043 | 0,024 | 0,076 | 0,378 | 0,514 | 0,561 | 0,548 | 0,453 | 0,222 | 0,099 |
| A-1-31       | KnLd2        | 0,012 | 0,016 | 0,031 | 0,015 | 0,055 | 0,215 | 0,274 | 0,282 | 0,301 | 0,260 | 0,123 | 0,056 |
| A-1-32       | Lde3         | 0,008 | 0,012 | 0,020 | 0,011 | 0,037 | 0,120 | 0,149 | 0,150 | 0,161 | 0,167 | 0,053 | 0,027 |
| A-1-33       | Lcd3         | 0,011 | 0,014 | 0,022 | 0,012 | 0,035 | 0,096 | 0,123 | 0,133 | 0,137 | 0,148 | 0,051 | 0,024 |
| A-1-34       | Lcd3         | 0,011 | 0,018 | 0,030 | 0,015 | 0,052 | 0,193 | 0,250 | 0,271 | 0,261 | 0,193 | 0,105 | 0,049 |
| A-1-4        | Knab3        | 0,016 | 0,024 | 0,047 | 0,024 | 0,090 | 0,332 | 0,436 | 0,515 | 0,472 | 0,397 | 0,222 | 0,104 |
| A-1-6        | Lcd3         | 0,009 | 0,012 | 0,019 | 0,011 | 0,036 | 0,119 | 0,153 | 0,142 | 0,156 | 0,166 | 0,057 | 0,028 |
| A-1-8        | KnLbc2       | 0,014 | 0,021 | 0,034 | 0,018 | 0,062 | 0,261 | 0,340 | 0,360 | 0,372 | 0,331 | 0,143 | 0,065 |
| A-1-9        | KnLbc3       | 0,014 | 0,020 | 0,030 | 0,017 | 0,058 | 0,292 | 0,408 | 0,422 | 0,443 | 0,426 | 0,173 | 0,076 |

Tablo 15'in devamı

|                  |         |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |
|------------------|---------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| <b>A-2-10</b>    | LKnd3   | 0,009 | 0,013 | 0,019 | 0,011 | 0,033 | 0,117 | 0,155 | 0,154 | 0,159 | 0,181 | 0,062 | 0,030 |
| <b>A-2-12</b>    | Lde2    | 0,011 | 0,017 | 0,028 | 0,019 | 0,049 | 0,168 | 0,212 | 0,210 | 0,233 | 0,239 | 0,115 | 0,059 |
| <b>A-2-18</b>    | LKncd2  | 0,014 | 0,018 | 0,029 | 0,016 | 0,052 | 0,232 | 0,307 | 0,323 | 0,332 | 0,331 | 0,141 | 0,063 |
| <b>A-2-19</b>    | LKne2   | 0,012 | 0,015 | 0,023 | 0,012 | 0,035 | 0,153 | 0,197 | 0,201 | 0,221 | 0,266 | 0,096 | 0,046 |
| <b>A-2-2</b>     | Lcd3    | 0,014 | 0,016 | 0,027 | 0,020 | 0,051 | 0,127 | 0,156 | 0,160 | 0,174 | 0,225 | 0,101 | 0,058 |
| <b>A-2-20</b>    | LGcd3   | 0,028 | 0,027 | 0,041 | 0,033 | 0,060 | 0,151 | 0,185 | 0,203 | 0,194 | 0,217 | 0,105 | 0,064 |
| <b>A-2-22</b>    | LKnbc2  | 0,011 | 0,014 | 0,026 | 0,013 | 0,044 | 0,197 | 0,260 | 0,282 | 0,274 | 0,293 | 0,116 | 0,053 |
| <b>A-2-3</b>     | Lcd3    | 0,011 | 0,012 | 0,022 | 0,012 | 0,039 | 0,117 | 0,142 | 0,142 | 0,159 | 0,168 | 0,066 | 0,034 |
| <b>A-2-4</b>     | LKnde3  | 0,009 | 0,013 | 0,021 | 0,012 | 0,042 | 0,164 | 0,212 | 0,195 | 0,217 | 0,219 | 0,087 | 0,041 |
| <b>A-2-5</b>     | Lcd2    | 0,008 | 0,015 | 0,025 | 0,013 | 0,042 | 0,155 | 0,193 | 0,217 | 0,208 | 0,188 | 0,072 | 0,036 |
| <b>A-2-6</b>     | Lcd3    | 0,012 | 0,014 | 0,024 | 0,014 | 0,035 | 0,110 | 0,133 | 0,154 | 0,155 | 0,187 | 0,058 | 0,029 |
| <b>A-2-7</b>     | LKncd1  | 0,012 | 0,016 | 0,029 | 0,016 | 0,052 | 0,174 | 0,211 | 0,228 | 0,238 | 0,248 | 0,112 | 0,056 |
| <b>A-2-8</b>     | Lcd1    | 0,011 | 0,014 | 0,023 | 0,014 | 0,040 | 0,119 | 0,146 | 0,154 | 0,158 | 0,164 | 0,076 | 0,040 |
| <b>Harsit-1</b>  | Lcd1    | 0,016 | 0,021 | 0,039 | 0,024 | 0,067 | 0,189 | 0,224 | 0,253 | 0,247 | 0,199 | 0,123 | 0,062 |
| <b>Harsit-12</b> | LKnGde3 | 0,012 | 0,016 | 0,025 | 0,013 | 0,044 | 0,151 | 0,185 | 0,200 | 0,206 | 0,194 | 0,075 | 0,033 |
| <b>Harsit-13</b> | Lcd2    | 0,010 | 0,014 | 0,022 | 0,011 | 0,035 | 0,119 | 0,146 | 0,152 | 0,152 | 0,161 | 0,056 | 0,029 |
| <b>Harsit-16</b> | KnLde1  | 0,018 | 0,020 | 0,035 | 0,018 | 0,068 | 0,240 | 0,293 | 0,305 | 0,317 | 0,326 | 0,137 | 0,061 |
| <b>Harsit-2</b>  | LKncd3  | 0,012 | 0,014 | 0,022 | 0,012 | 0,038 | 0,140 | 0,175 | 0,164 | 0,190 | 0,206 | 0,069 | 0,031 |
| <b>Harsit-3</b>  | LGcd2   | 0,018 | 0,015 | 0,028 | 0,018 | 0,056 | 0,160 | 0,193 | 0,195 | 0,206 | 0,218 | 0,104 | 0,060 |
| <b>Harsit-4</b>  | KnLde2  | 0,013 | 0,015 | 0,024 | 0,014 | 0,044 | 0,185 | 0,236 | 0,251 | 0,254 | 0,269 | 0,104 | 0,047 |
| <b>Harsit-5</b>  | Lcd2    | 0,014 | 0,017 | 0,033 | 0,015 | 0,057 | 0,209 | 0,262 | 0,290 | 0,282 | 0,284 | 0,118 | 0,052 |
| <b>Harsit-6</b>  | LKnde2  | 0,014 | 0,018 | 0,031 | 0,017 | 0,049 | 0,205 | 0,258 | 0,247 | 0,272 | 0,256 | 0,113 | 0,049 |
| <b>Harsit-7</b>  | LGKnde2 | 0,011 | 0,016 | 0,025 | 0,013 | 0,037 | 0,140 | 0,183 | 0,209 | 0,190 | 0,211 | 0,077 | 0,038 |
| <b>Harsit-8</b>  | GKnLde3 | 0,012 | 0,013 | 0,022 | 0,012 | 0,039 | 0,167 | 0,216 | 0,222 | 0,236 | 0,248 | 0,095 | 0,043 |

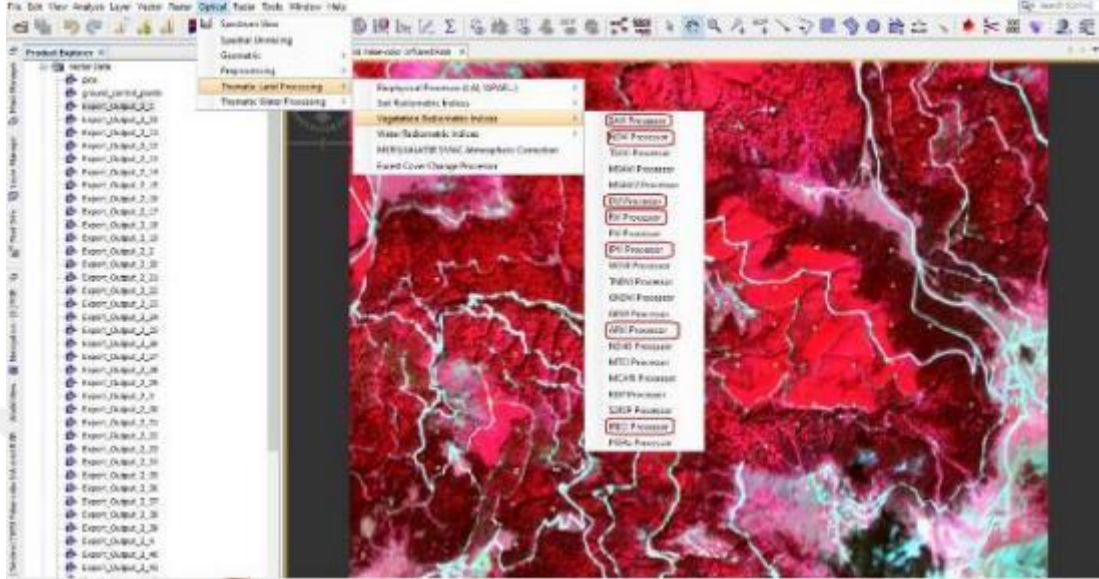
Tablo 16. Örnek alanların vejetasyon indeks değerleri

| Ö. Alan Kodu | Meşcere Tipi | ndvi    | savi    | arvi    | ipvi    | dvi     | rvi      | ireci   | evi     | ndmi    |
|--------------|--------------|---------|---------|---------|---------|---------|----------|---------|---------|---------|
| A-1-1        | Lbc3         | 0,61106 | 0,37564 | 0,56807 | 0,80553 | 0,27117 | 4,14214  | 0,54773 | 0,51386 | 0,33044 |
| A-1-10       | Lçd2         | 0,90298 | 0,33710 | 0,94666 | 0,95149 | 0,20723 | 19,61377 | 0,78592 | 0,44546 | 0,46032 |
| A-1-11       | Knab3        | 0,91547 | 0,60290 | 0,92331 | 0,95774 | 0,44945 | 22,66024 | 2,34480 | 0,78902 | 0,39308 |
| A-1-12       | Knab3        | 0,92196 | 0,59849 | 0,92778 | 0,96098 | 0,44305 | 24,62933 | 2,19346 | 0,77848 | 0,39317 |
| A-1-15       | LKncd2       | 0,83977 | 0,35302 | 0,80678 | 0,91989 | 0,22348 | 11,48218 | 0,78530 | 0,44722 | 0,27215 |
| A-1-16       | Lcd2         | 0,86369 | 0,25708 | 0,88308 | 0,93185 | 0,15102 | 13,67273 | 0,56066 | 0,33365 | 0,42466 |
| A-1-18       | KnGLb3       | 0,90364 | 0,45756 | 0,90984 | 0,95182 | 0,30633 | 19,75510 | 1,24154 | 0,59371 | 0,43132 |
| A-1-20       | GLKnd3       | 0,89090 | 0,34503 | 0,91401 | 0,94545 | 0,21394 | 17,33130 | 0,88133 | 0,45111 | 0,41555 |
| A-1-21       | Lcd3         | 0,84744 | 0,20221 | 0,88076 | 0,92372 | 0,11480 | 12,10968 | 0,39056 | 0,26291 | 0,39606 |
| A-1-22       | KnLbc2       | 0,89990 | 0,52798 | 0,90658 | 0,94995 | 0,37358 | 18,97968 | 1,51999 | 0,69065 | 0,44253 |
| A-1-24       | KnLb2        | 0,81384 | 0,39474 | 0,77060 | 0,90692 | 0,26056 | 9,74362  | 0,76517 | 0,49942 | 0,26057 |
| A-1-25       | Knab3        | 0,92637 | 0,58997 | 0,93882 | 0,96318 | 0,43280 | 26,16279 | 1,86534 | 0,77192 | 0,41110 |
| A-1-26       | LGb3         | 0,89671 | 0,39209 | 0,91519 | 0,94836 | 0,25090 | 18,36332 | 0,93228 | 0,51270 | 0,46420 |
| A-1-27       | Lcd3         | 0,87477 | 0,26092 | 0,89750 | 0,93738 | 0,15333 | 14,97039 | 0,52213 | 0,33859 | 0,45414 |
| A-1-28       | KnLbc3       | 0,88672 | 0,55235 | 0,87512 | 0,94336 | 0,40110 | 16,65574 | 1,58262 | 0,71153 | 0,38146 |
| A-1-3        | KnLb3        | 0,91385 | 0,64039 | 0,91190 | 0,95692 | 0,49290 | 22,21521 | 1,72962 | 0,82957 | 0,38562 |
| A-1-30       | Knab3        | 0,91874 | 0,67786 | 0,91645 | 0,95937 | 0,53705 | 23,61263 | 2,42153 | 0,87729 | 0,43226 |
| A-1-31       | KnLd2        | 0,90164 | 0,41235 | 0,91352 | 0,95082 | 0,26730 | 19,33333 | 1,00695 | 0,53623 | 0,39173 |
| A-1-32       | Lde3         | 0,86393 | 0,24021 | 0,87705 | 0,93196 | 0,13950 | 13,69831 | 0,44899 | 0,30985 | 0,48199 |
| A-1-33       | Lcd3         | 0,83007 | 0,21068 | 0,85011 | 0,91503 | 0,12065 | 10,76923 | 0,30714 | 0,27354 | 0,44252 |
| A-1-34       | Lcd3         | 0,89340 | 0,39799 | 0,91040 | 0,94670 | 0,25603 | 17,76105 | 0,86401 | 0,52069 | 0,44232 |
| A-1-4        | Knab3        | 0,90956 | 0,63757 | 0,90762 | 0,95478 | 0,49080 | 21,11475 | 1,51837 | 0,82753 | 0,39829 |
| A-1-6        | Lcd3         | 0,85995 | 0,22761 | 0,87694 | 0,92998 | 0,13116 | 13,28090 | 0,47492 | 0,29396 | 0,42538 |
| A-1-8        | KnLbc2       | 0,90520 | 0,49693 | 0,91830 | 0,95260 | 0,34247 | 20,09665 | 1,36184 | 0,65151 | 0,43220 |

Tablo 16'nın devamı

|           |         |         |         |         |         |         |          |         |         |         |
|-----------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|----------|---------|---------|---------|
| A-1-9     | KnLbc3  | 0,92052 | 0,56199 | 0,93098 | 0,96026 | 0,40446 | 24,16495 | 1,95650 | 0,73384 | 0,41884 |
| A-2-10    | LKnd3   | 0,86297 | 0,24436 | 0,88122 | 0,93149 | 0,14233 | 13,59587 | 0,51555 | 0,31639 | 0,42605 |
| A-2-12    | Lde2    | 0,83242 | 0,31060 | 0,81149 | 0,91621 | 0,19092 | 10,93495 | 0,65636 | 0,39735 | 0,29101 |
| A-2-18    | LKncd2  | 0,90721 | 0,45950 | 0,92100 | 0,95361 | 0,30767 | 20,55508 | 1,30342 | 0,60018 | 0,39306 |
| A-2-19    | LKne2   | 0,88583 | 0,31105 | 0,91225 | 0,94291 | 0,18864 | 16,51704 | 0,79919 | 0,40639 | 0,35388 |
| A-2-2     | Lcd3    | 0,77876 | 0,23798 | 0,74159 | 0,88938 | 0,14045 | 8,04010  | 0,33783 | 0,30286 | 0,22900 |
| A-2-20    | LGcd3   | 0,72095 | 0,27513 | 0,67877 | 0,86047 | 0,17000 | 6,16717  | 0,37877 | 0,35476 | 0,31903 |
| A-2-22    | LKnbc2  | 0,91058 | 0,41482 | 0,91896 | 0,95529 | 0,26859 | 21,36682 | 1,11248 | 0,53617 | 0,41604 |
| A-2-3     | Lcd3    | 0,84856 | 0,22601 | 0,84936 | 0,92428 | 0,13037 | 12,20630 | 0,39384 | 0,28995 | 0,36692 |
| A-2-4     | LKnde3  | 0,88178 | 0,30224 | 0,88429 | 0,94089 | 0,18238 | 15,91820 | 0,77617 | 0,38830 | 0,38382 |
| A-2-5     | Lcd2    | 0,88452 | 0,33118 | 0,89563 | 0,94226 | 0,20373 | 16,31830 | 0,66389 | 0,42911 | 0,50032 |
| A-2-6     | Lcd3    | 0,83609 | 0,24061 | 0,84019 | 0,91804 | 0,14053 | 11,20145 | 0,38049 | 0,31067 | 0,45104 |
| A-2-7     | LKncd1  | 0,86783 | 0,34063 | 0,86720 | 0,93391 | 0,21190 | 14,13183 | 0,64545 | 0,43983 | 0,34082 |
| A-2-8     | Lcd1    | 0,83618 | 0,24019 | 0,83755 | 0,91809 | 0,14024 | 11,20837 | 0,39700 | 0,30959 | 0,33920 |
| Harsit-1  | Lcd1    | 0,82386 | 0,35798 | 0,79972 | 0,91193 | 0,22867 | 10,35455 | 0,56591 | 0,45941 | 0,34709 |
| Harsit-12 | LKnGde3 | 0,87981 | 0,30899 | 0,91167 | 0,93991 | 0,18740 | 15,64063 | 0,58563 | 0,40585 | 0,45243 |
| Harsit-13 | Lcd2    | 0,86221 | 0,24237 | 0,88916 | 0,93110 | 0,14100 | 13,51479 | 0,45751 | 0,31533 | 0,46059 |
| Harsit-16 | KnLde1  | 0,88876 | 0,43419 | 0,90124 | 0,94438 | 0,28727 | 16,97899 | 0,97579 | 0,56891 | 0,37984 |
| Harsit-2  | LKncd3  | 0,86880 | 0,25917 | 0,90023 | 0,93440 | 0,15230 | 14,24348 | 0,60248 | 0,33850 | 0,40934 |
| Harsit-3  | LGcd2   | 0,83332 | 0,29173 | 0,80762 | 0,91666 | 0,17682 | 10,99906 | 0,49658 | 0,37128 | 0,30537 |
| Harsit-4  | KnLde2  | 0,89643 | 0,37510 | 0,90737 | 0,94822 | 0,23717 | 18,31144 | 0,94371 | 0,48642 | 0,41320 |
| Harsit-5  | Lcd2    | 0,90323 | 0,42139 | 0,91875 | 0,95162 | 0,27480 | 19,66848 | 0,89962 | 0,55004 | 0,42235 |
| Harsit-6  | LKnde2  | 0,87404 | 0,36494 | 0,88237 | 0,93702 | 0,23062 | 14,87864 | 0,99749 | 0,47508 | 0,37206 |
| Harsit-7  | LGKnde2 | 0,87963 | 0,32009 | 0,89853 | 0,93982 | 0,19564 | 15,61580 | 0,65097 | 0,41720 | 0,46379 |
| Harsit-8  | GKnLde3 | 0,89539 | 0,34030 | 0,90467 | 0,94770 | 0,21007 | 18,11874 | 0,87338 | 0,43935 | 0,40021 |

Sentinel 2 görüntülerinin band değerleri hesaplandıktan sonra yapılan vejetasyon indeksi hesapları SNAP yazılımı ile hesaplanmış ve Excel ortamına da aktarılarak formül yardımıyla hesaplanarak kontrolleri gerçekleştirilmiştir. (Şekil 42)



Şekil 42. Vejetasyon İndeks hesaplamaları

Oluşturulan nokta bulutunun Multipointe çevrilmesiyle elde edilen verilerin örnek alanlara düşen kısmında işlemler gerçekleştirilmiştir. Bu örnek alanlardan A-1-17 (Saf Kızılağaç Meşceresi), A-2-5, A-2-8, A-2-12, A-2-22 ve Harşit-12 Kodlu örnek alanlara yeterli sayıda nokta bulutu verisi olmadığından hesaplamalara dahil edilmemiştir. Hesaplanan 44 adet örnek alana ilişkin maksimum minimum, ortalama, yükseklik, eğim ve Lidar yardımı ile hesaplanan boy değerleri aşağıdaki tabloda verilmiştir. (Tablo 17)

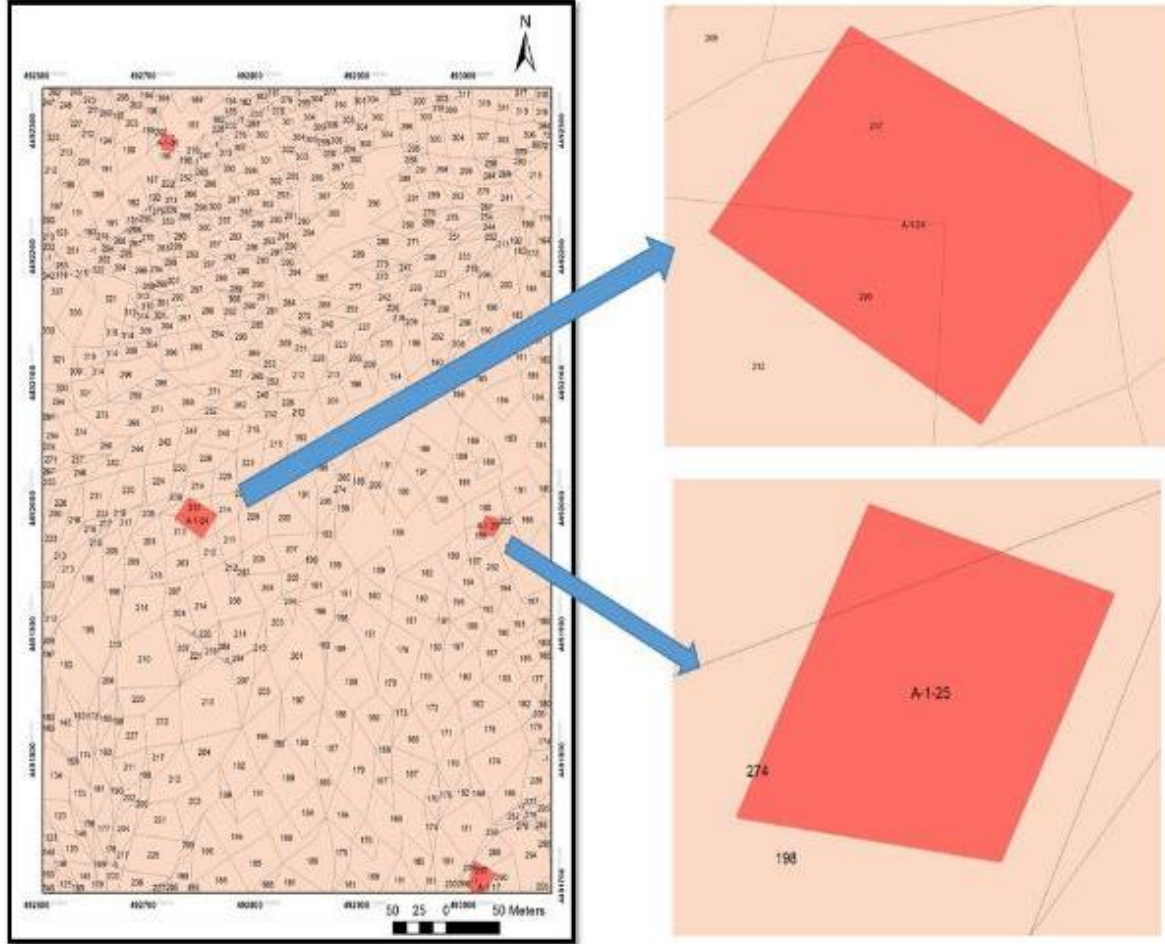
Çalışmanın topoğrafik özelliklerinden bir diğeri olan bakının belirlenmesi için yine Arc-GIS programını kullanarak açı değerlerinin hesaplanması gerekmektedir. Mevcut çalışma sahasının içerisinde bulunduğu Harşit ve Akılbaba Orman İşletme Şefliklerinin eş yükseli eğrisi haritalarından ArcToolbox\3D Analyst Tools\Data Management\TIN\Create TIN arayüzü ile TIN verisi oluşturulmuştur (şekil 43). Daha sonra yine Toolbox'da 3D Analyst Tools ara yüzünde bulunan Triangulated Surface altındaki Surface Aspect komutu ile işletme şefliğinin bakı açıları elde edilmiştir (şekil 44).

Tablo 17. Örnek alanların yükselti, eğim ve boy değerleri

|    | Ö. Alan Kodu | Meşcere Tipi | Yükselti (m) | Eğim (%) | LiDAR Verileri ile elde edilen |         |              |                  |
|----|--------------|--------------|--------------|----------|--------------------------------|---------|--------------|------------------|
|    |              |              |              |          | Max.                           | Min.    | M. hakim boy | Meşcere orta boy |
| 1  | A-1-1        | Lbc3         | 1397         | 29       | 1415,83                        | 1400,33 | 15,50        | 12,5             |
| 2  | A-1-10       | Lçd2         | 1579         | 40       | 1597,24                        | 1574,54 | 22,70        | 19,2             |
| 3  | A-1-11       | Knab3        | 1699         | 39       | 1754,37                        | 1738,98 | 15,39        | 9,4              |
| 4  | A-1-12       | Knab3        | 1782         | 36       | 1802,48                        | 1790,22 | 12,26        | 8,7              |
| 5  | A-1-15       | LKncd2       | 1380         | 41       | 1425,58                        | 1388,80 | 36,78        | 27,6             |
| 6  | A-1-16       | Lcd2         | 1455         | 39       | 1472,73                        | 1444,30 | 28,43        | 18,9             |
| 7  | A-1-18       | KnGLb3       | 1670         | 46       | 1713,61                        | 1696,42 | 17,19        | 10,1             |
| 8  | A-1-20       | GLKnd3       | 1844         | 41       | 1871,43                        | 1839,96 | 31,47        | 22,7             |
| 9  | A-1-21       | Lcd3         | 1907         | 32       | 1933,92                        | 1907,03 | 26,89        | 20,6             |
| 10 | A-1-22       | KnLbc2       | 1429         | 52       | 1468,25                        | 1440,55 | 27,70        | 13,1             |
| 11 | A-1-24       | KnLb2        | 1608         | 49       | 1632,70                        | 1615,70 | 17,00        | 9,3              |
| 12 | A-1-25       | Knab3        | 1651         | 45       | 1672,95                        | 1655,83 | 17,12        | 11,4             |
| 13 | A-1-26       | LGb3         | 1816         | 43       | 1839,22                        | 1829,77 | 9,45         | 5,9              |
| 14 | A-1-27       | Lcd3         | 1882         | 34       | 1909,91                        | 1881,04 | 28,87        | 17,8             |
| 15 | A-1-28       | KnLbc3       | 1455         | 40       | 1483,94                        | 1469,38 | 14,56        | 12,6             |
| 16 | A-1-3        | KnLb3        | 1600         | 36       | 1615,68                        | 1599,94 | 15,74        | 9,7              |
| 17 | A-1-30       | Knab3        | 1608         | 52       | 1621,13                        | 1612,54 | 8,59         | 6,1              |
| 18 | A-1-31       | KnLd2        | 1787         | 38       | 1831,69                        | 1797,57 | 34,12        | 15,7             |
| 19 | A-1-32       | Lde3         | 1844         | 53       | 1877,60                        | 1851,08 | 26,52        | 16,5             |
| 20 | A-1-33       | Lcd3         | 1946         | 43       | 1981,09                        | 1953,45 | 27,64        | 19               |
| 21 | A-1-34       | Lcd3         | 1614         | 55       | 1646,44                        | 1613,84 | 32,60        | 16,6             |
| 22 | A-1-4        | Knab3        | 1655         | 36       | 1676,69                        | 1662,48 | 14,21        | 8,7              |
| 23 | A-1-6        | Lcd3         | 1843         | 36       | 1884,11                        | 1850,80 | 33,31        | 19,4             |
| 24 | A-1-8        | KnLbc2       | 1467         | 39       | 1512,38                        | 1497,87 | 14,51        | 12,7             |
| 25 | A-1-9        | KnLbc3       | 1541         | 46       | 1575,98                        | 1557,88 | 18,10        | 11,6             |
| 26 | A-2-10       | LKnd3        | 1746         | 28       | 1784,74                        | 1751,30 | 33,44        | 20,4             |
| 27 | A-2-18       | LKncd2       | 1609         | 42       | 1650,46                        | 1613,27 | 37,19        | 18,7             |
| 28 | A-2-19       | LKne2        | 1550         | 49       | 1599,15                        | 1562,40 | 36,75        | 25,8             |
| 29 | A-2-2        | Lcd3         | 1818         | 15       | 1851,19                        | 1826,95 | 24,24        | 19,3             |
| 30 | A-2-20       | LKcd3        | 1581         | 54       | 1620,72                        | 1585,01 | 35,71        | 20               |
| 31 | A-2-3        | Lcd3         | 1830         | 16       | 1868,11                        | 1836,95 | 31,16        | 21               |
| 32 | A-2-4        | LKnde3       | 1768         | 29       | 1804,86                        | 1774,88 | 29,98        | 22,4             |
| 33 | A-2-6        | Lcd3         | 1752         | 26       | 1794,79                        | 1765,21 | 29,58        | 17,7             |
| 34 | A-2-7        | LKncd1       | 1791         | 28       | 1821,55                        | 1796,80 | 24,75        | 15,8             |
| 35 | Harsit-1     | Lcd1         | 1821         | 42       | 1842,22                        | 1815,19 | 27,03        | 17               |
| 36 | Harsit-13    | Lcd2         | 1837         | 36       | 1880,21                        | 1848,42 | 31,79        | 20,2             |
| 37 | Harsit-16    | KnLde1       | 1717         | 45       | 1749,15                        | 1720,30 | 28,85        | 22,8             |
| 38 | Harsit-2     | LKncd3       | 1762         | 47       | 1799,56                        | 1767,50 | 32,06        | 19,5             |
| 39 | Harsit-3     | LKcd2        | 1831         | 35       | 1860,16                        | 1834,31 | 25,85        | 16               |
| 40 | Harsit-4     | KnLde2       | 1720         | 40       | 1766,76                        | 1723,79 | 42,97        | 22,2             |
| 41 | Harsit-5     | Lcd2         | 1810         | 38       | 1843,28                        | 1810,68 | 32,60        | 16,5             |
| 42 | Harsit-6     | LKnde2       | 1768         | 34       | 1808,08                        | 1772,75 | 35,33        | 19,4             |
| 43 | Harsit-7     | LKnde2       | 1697         | 33       | 1745,08                        | 1701,75 | 43,33        | 21,5             |
| 44 | Harsit-8     | GKnLde3      | 1801         | 41       | 1846,50                        | 1811,45 | 35,05        | 16,9             |



Elde edilen değerlerin örnek alanlar ile maskelenmesiyle alana düşen bakı açıları, kapladığı alan da hesaba katılarak ağırlıklı bir açı değeri ortalaması hesaplanmıştır (şekil 45)



Şekil 45. Bakı açı değerleri haritası ve örnek alana düşen değerler

Bakı değerleri, Topografik Güneş Radyasyonu Bakı İndeksini (Topographic Solar Radiation Aspect Index-TRASP) (Roberts ve Cooper, 1989) baz alarak;

$$TRASP = [1 - \cos((\pi/180) \times (a - 30))]/2$$

formülü ile değerlere ulaşılmıştır. Formüldeki "π" 3,14 olarak alınmıştır. Ayrıca "a" değeri elde ettiğimiz derece cinsinden olan bakı açı değerleridir. Bakı dairesel bir ölçü olduğundan, 0'dan 1'e kadar sürekli bir ölçüm elde etmek için doğrusal bir dönüşüm gerçekleştirilmektedir. Sonuçta bulunan '0' kuzeyli bakılar olarak, '1' değeri de güneyli bakılar olarak kabul edilmiştir (tablo 18).

Tablo 18. Örnek alanların Bakı açısı değerleri ve Bakı indeksi

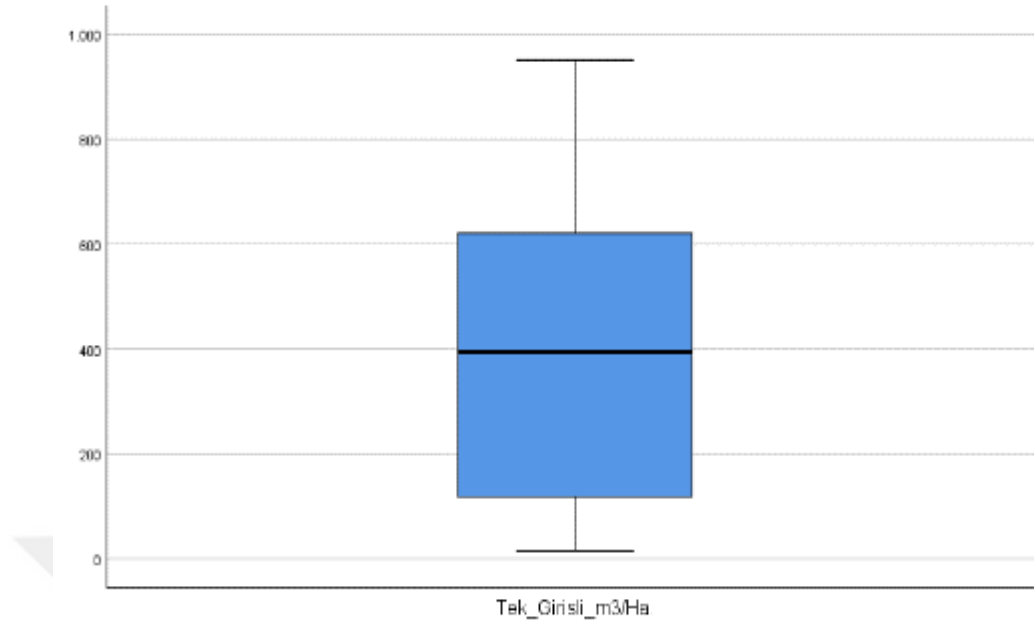
|    | Örnek Alan Kodu | Yükselti (m) | Bakı Açısı Değeri (Derece) | Bakı İndeksi |    | Örnek Alan Kodu | Yükselti (m) | Bakı Açısı Değeri (Derece) | Bakı İndeksi |
|----|-----------------|--------------|----------------------------|--------------|----|-----------------|--------------|----------------------------|--------------|
| 1  | A-1-1           | 1397         | 290                        | 1            | 23 | A-1-6           | 1843         | 252                        | 1            |
| 2  | A-1-10          | 1579         | 267                        | 1            | 24 | A-1-8           | 1467         | 290                        | 1            |
| 3  | A-1-11          | 1699         | 65                         | 0            | 25 | A-1-9           | 1541         | 274                        | 1            |
| 4  | A-1-12          | 1782         | 66                         | 0            | 26 | A-2-10          | 1746         | 323                        | 0            |
| 5  | A-1-15          | 1380         | 317                        | 0            | 27 | A-2-18          | 1609         | 77                         | 0            |
| 6  | A-1-16          | 1455         | 290                        | 1            | 28 | A-2-19          | 1550         | 339                        | 0            |
| 7  | A-1-18          | 1670         | 267                        | 1            | 29 | A-2-2           | 1818         | 348                        | 0            |
| 8  | A-1-20          | 1844         | 265                        | 1            | 30 | A-2-20          | 1581         | 319                        | 0            |
| 9  | A-1-21          | 1907         | 190                        | 1            | 31 | A-2-3           | 1830         | 99                         | 0            |
| 10 | A-1-22          | 1429         | 317                        | 0            | 32 | A-2-4           | 1768         | 110                        | 0            |
| 11 | A-1-24          | 1608         | 290                        | 1            | 33 | A-2-6           | 1752         | 234                        | 1            |
| 12 | A-1-25          | 1651         | 274                        | 1            | 34 | A-2-7           | 1791         | 99                         | 0            |
| 13 | A-1-26          | 1816         | 266                        | 1            | 35 | Harsit-1        | 1821         | 44                         | 0            |
| 14 | A-1-27          | 1882         | 235                        | 1            | 36 | Harsit-13       | 1837         | 22                         | 0            |
| 15 | A-1-28          | 1455         | 317                        | 0            | 37 | Harsit-16       | 1717         | 30                         | 0            |
| 16 | A-1-3           | 1600         | 267                        | 1            | 38 | Harsit-2        | 1762         | 12                         | 0            |
| 17 | A-1-30          | 1608         | 290                        | 1            | 39 | Harsit-3        | 1831         | 80                         | 0            |
| 18 | A-1-31          | 1787         | 71                         | 0            | 40 | Harsit-4        | 1720         | 83                         | 0            |
| 19 | A-1-32          | 1844         | 208                        | 1            | 41 | Harsit-5        | 1810         | 85                         | 0            |
| 20 | A-1-33          | 1946         | 240                        | 1            | 42 | Harsit-6        | 1768         | 44                         | 0            |
| 21 | A-1-34          | 1614         | 290                        | 1            | 43 | Harsit-7        | 1697         | 50                         | 0            |
| 22 | A-1-4           | 1655         | 43                         | 0            | 44 | Harsit-8        | 1801         | 72                         | 0            |

Bu veriler SPSS 26.0 programında veri tablosu olarak birleştirilmiştir. Tek girişli ve Çift girişli hacimlerin normal dağıldığını ve bu durumun histogram grafiklerinde de belirgin olduğu görülmüştür (Şekil 46-49). Yapılan test sonucunda elde edilen çarpıklık ve basıklık değerleri +2 ile -2 değerleri arasında olması (Byrne B.M. 2010) (George and Mallery, 2019) (Hair J. vd 2022) ve Kolmogrov-Smirnov test sonucu yorumlandığında normal dağılım göstermesi yani p değeri 0,05’den büyük olması sebebiyle verilerin normal dağıldığı ve Regresyon analizinin yapılabileceği ortaya konmuştur. (Tablo 19) Ancak veri sayısının 50’in altında olması sebebiyle Kolmogrov-Smirnov testinin sonuçları değerlendirme dışı bırakılmıştır.

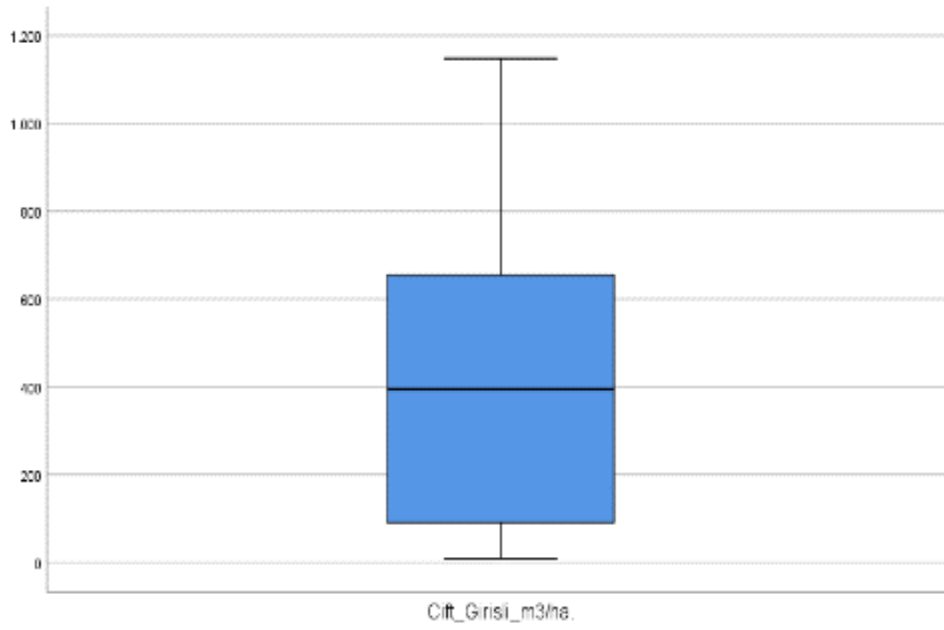
Tablo 19. Normal Dağılım Testi sonuçları

| Descriptives        |                                  |             |               |            |
|---------------------|----------------------------------|-------------|---------------|------------|
|                     |                                  |             | Statistic     | Std. Error |
| Tek_Girisli_m3/ha   | Mean                             |             | 401,53712     | 42,4346345 |
|                     | 95% Confidence Interval for Mean | Lower Bound | 315,95952     |            |
|                     |                                  | Upper Bound | 487,11472     |            |
|                     | 5% Trimmed Mean                  |             | 394,69301     |            |
|                     | Median                           |             | 394,41667     |            |
|                     | Variance                         |             | 79230,721     |            |
|                     | Std. Deviation                   |             | 281,479522    |            |
|                     | Minimum                          |             | 14,800        |            |
|                     | Maximum                          |             | 950,650       |            |
|                     | Range                            |             | 935,850       |            |
|                     | Interquartile Range              |             | 511,758       |            |
|                     | Skewness                         |             | <b>,139</b>   | ,357       |
|                     | Kurtosis                         |             | <b>-1,263</b> | ,702       |
| Cift_Girisli_m3/ha. | Mean                             |             | 423,51030     | 49,271138  |
|                     | 95% Confidence Interval for Mean | Lower Bound | 324,14558     |            |
|                     |                                  | Upper Bound | 522,87502     |            |
|                     | 5% Trimmed Mean                  |             | 408,74391     |            |
|                     | Median                           |             | 393,67538     |            |
|                     | Variance                         |             | 106816,381    |            |
|                     | Std. Deviation                   |             | 326,827754    |            |
|                     | Minimum                          |             | 8,380         |            |
|                     | Maximum                          |             | 1147,937      |            |
|                     | Range                            |             | 1139,557      |            |
|                     | Interquartile Range              |             | 565,529       |            |
|                     | Skewness                         |             | <b>,338</b>   | ,357       |
|                     | Kurtosis                         |             | <b>-,938</b>  | ,702       |

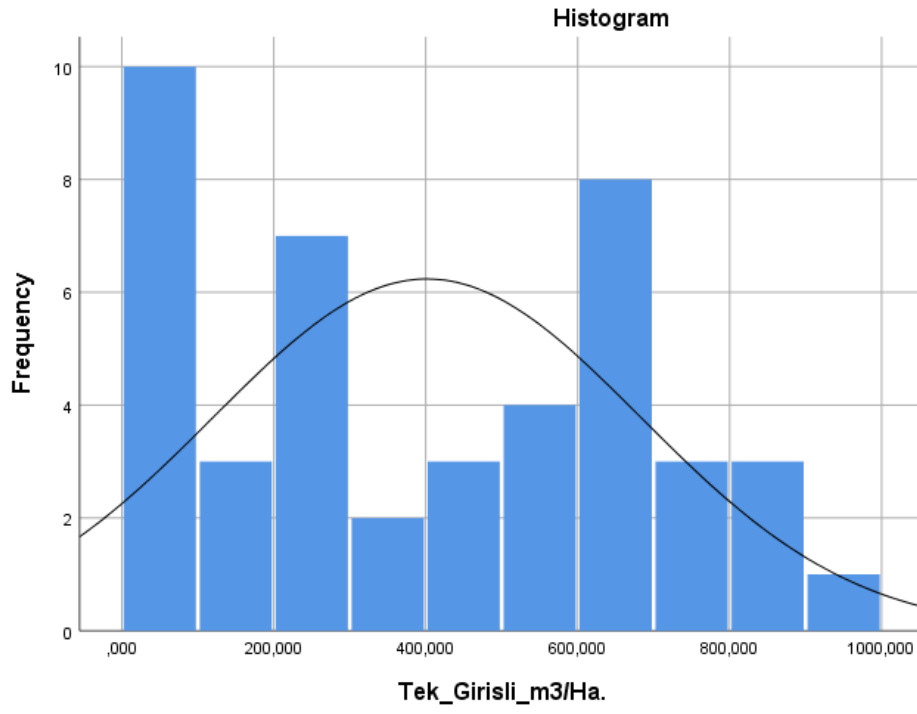
| Tests of Normality                    |                                 |    |             |              |    |      |
|---------------------------------------|---------------------------------|----|-------------|--------------|----|------|
|                                       | Kolmogorov-Smirnov <sup>a</sup> |    |             | Shapiro-Wilk |    |      |
|                                       | Statistic                       | df | Sig.        | Statistic    | df | Sig. |
| Tek_Girisli_m3/ha                     | ,122                            | 44 | <u>,096</u> | ,932         | 44 | ,012 |
| Cift_Girisli_m3/ha.                   | ,119                            | 44 | <u>,126</u> | ,929         | 44 | ,010 |
| a. Lilliefors Significance Correction |                                 |    |             |              |    |      |



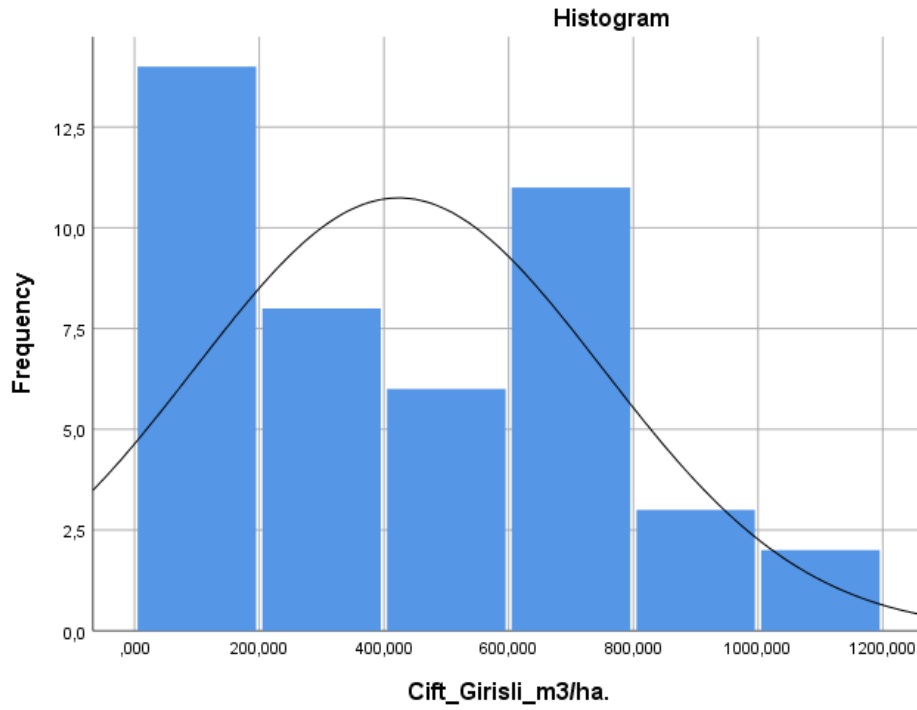
Şekil 46. Tek Girişli Hacimlerin Saplı Kutu Grafikleri



Şekil 47. Çift Girişli Hacimlerin Saplı Kutu Grafikleri



Şekil 48. Tek Girişli Hacimler için Histogram Grafiği



Şekil 49. Çift Girişli Hacim için Histogram grafiği

Tek girişli ve Çift girişli hacim değerlerinin normal dağılım testlerinde Çarpıklık-Basıklık değerlerine göre normal dağılım gösterdiği tespitinin ardından karşılaştırılacak olan Tek girişli hacimler ile çift girişli hacimlerin farksızlık testinin yapılması gereklidir. Bu test için oluşturulan hipotezler;

$H_0$  = Tek ve Çift girişli hacimler arasında anlamlı bir fark yoktur

$H_1$  = Tek ve Çift girişli hacimler arasında anlamlı bir fark vardır.

Bunun için SPSS programında Independent Samples T Test ara yüzü kullanılarak yapılan test sonuçları Tablo 20 de gösterilmiştir. Bu sonuçlarda öncelikli olarak varyansların homojenliğini belirlenmesi için yapılan Levene testinin  $p > 0.05$  şartını sağladığını görülmektedir. Varyansların eşit olduğu satırdaki Sig. değerine baktığımızda da 0,736 değerinin  $p > 0.05$  şartını sağlaması sebebiyle  $H_0$  hipotezi kabul edilir yani Tek ve Çift girişli hacimler arasında anlamlı bir fark yoktur.

Tablo 20. Levene Testi ve Independent Samples Test

| Independent Samples Test |                                |                                               |      |                              |       |                    |                    |                          |                                              |          |
|--------------------------|--------------------------------|-----------------------------------------------|------|------------------------------|-------|--------------------|--------------------|--------------------------|----------------------------------------------|----------|
|                          |                                | Levene's Test<br>for Equality<br>of Variances |      | t-test for Equality of Means |       |                    |                    |                          |                                              |          |
|                          |                                | F                                             | Sig. | t                            | df    | Sig.<br>(2-tailed) | Mean<br>Difference | Std. Error<br>Difference | 95% Confidence Interval<br>of the Difference |          |
|                          |                                |                                               |      |                              |       |                    |                    |                          | Lower                                        | Upper    |
| Hacimler                 | Equal variances<br>assumed     | 1,474                                         | ,228 | -,338                        | 86    | ,736               | -21,97317          | 65,02571                 | -151,2400                                    | 107,2936 |
|                          | Equal variances<br>not assumed |                                               |      | -,338                        | 84,15 | ,736               | -21,973177         | 65,02571                 | -151,280569                                  | 107,3342 |

Bu sonuçlara göre hacimlerin Regresyon Analizinin yapılması için ilk aşamada gerekli şartlar sağlanmıştır.

Ayrı ayrı olmak üzere tek girişli ve çift girişli hacim değerleri ile; Sentinel 2 band değerleri, vejetasyon indeksleri, LiDAR ile elde edilen boy değerleri, yükselti ve eğim değerleri arasındaki ilişkiyi modellemek için çoklu aşamalı regresyon analizi kullanılmıştır.  $R^2$  değerlerine sahip modelleri seçmek için kademeli değişken seçim tekniği (stepwise selection) kullanılmıştır. (Tablo 20-33)

Tablo 21. Tek girişli hacim- band değerleri regresyon analizi

| Model Summary                     |       |          |                   |                            |
|-----------------------------------|-------|----------|-------------------|----------------------------|
| Model                             | R     | R Square | Adjusted R Square | Std. Error of the Estimate |
| 1                                 | ,782a | ,612     | ,602              | 177,508891                 |
| 2                                 | ,824b | ,679     | ,663              | 163,445677                 |
| a. Predictors: (Constant), B6     |       |          |                   |                            |
| b. Predictors: (Constant), B6, B7 |       |          |                   |                            |

Tablo 22. Çift girişli hacim- band değerleri regresyon analizi

| Model Summary                     |       |          |                   |                            |
|-----------------------------------|-------|----------|-------------------|----------------------------|
| Model                             | R     | R Square | Adjusted R Square | Std. Error of the Estimate |
| 1                                 | ,751a | ,564     | ,554              | 218,286234                 |
| 2                                 | ,791b | ,625     | ,607              | 204,865802                 |
| a. Predictors: (Constant), B6     |       |          |                   |                            |
| b. Predictors: (Constant), B6, B7 |       |          |                   |                            |

Yapılan analiz sonrasında Tek Girişli ve Çift Girişli olarak ayrı hesaplanan hacim değerleri dikkate alındığında; tek girişli hacim tablosu yardımı ile elde edilen hacim değerlerinin tahmin edildiği modellerde yalnızca band değerlerini içeren model (B6-B7)  $R^2_{düz.}=0,663$  değerini verirken, çift girişli hacim denklemi ile hesaplanan hacim değerlerinin tahmin edildiği modellerde (B6-B7) ise  $R^2_{düz.}=0,607$ 'dir. (Tablo 21-22)

Tablo 23. Tek girişli hacim- vejetasyon indeks değerleri regresyon analizi

| Model Summary                        |       |          |                   |                            |
|--------------------------------------|-------|----------|-------------------|----------------------------|
| Model                                | R     | R Square | Adjusted R Square | Std. Error of the Estimate |
| 1                                    | ,766a | ,586     | ,576              | 183,216603                 |
| 2                                    | ,793b | ,629     | ,611              | 175,511942                 |
| a. Predictors: (Constant), savi      |       |          |                   |                            |
| b. Predictors: (Constant), savi, rvi |       |          |                   |                            |

Tablo 24. Çift girişli hacim- vejetasyon indeks değerleri regresyon analizi

| Model Summary                        |       |          |                   |                            |
|--------------------------------------|-------|----------|-------------------|----------------------------|
| Model                                | R     | R Square | Adjusted R Square | Std. Error of the Estimate |
| 1                                    | ,733a | ,537     | ,526              | 225,048793                 |
| 2                                    | ,762b | ,581     | ,561              | 216,664941                 |
| a. Predictors: (Constant), savi      |       |          |                   |                            |
| b. Predictors: (Constant), savi, rvi |       |          |                   |                            |

Regresyon analizinde hesaplanan hacim değerleriyle sadece vejetasyon indekslerinin dahil edildiğinde tek girişli hacim değerleri için en yüksek değer (SAVI-RVI)  $R^2_{düz.}=0,611$  ile çift girişli hacim değerlerinde ise (SAVI-RVI)  $R^2_{düz.}=0,561$  olarak elde edilmiştir. (Tablo 23-24)

Tablo 25. Tek girişli hacim- band + vejetasyon indeks değerleri regresyon analizi

| Model Summary                                                                                                   |       |          |                   |                            |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------|----------|-------------------|----------------------------|
| Model                                                                                                           | R     | R Square | Adjusted R Square | Std. Error of the Estimate |
| 1                                                                                                               | ,909a | ,826     | ,701              | 154,040052                 |
| a. Predictors: (Constant), ndmi, B8, B2, B1, rvi, B9, B5, arvi, ireci, B3, B12, ipvi, evi, B11, B8A, B6, B7, B4 |       |          |                   |                            |

Tablo 26. Çift girişli hacim- band + vejetasyon indeks değerleri regresyon analizi

| Model Summary                                                                                                   |       |          |                   |                            |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------|----------|-------------------|----------------------------|
| Model                                                                                                           | R     | R Square | Adjusted R Square | Std. Error of the Estimate |
| 1                                                                                                               | ,886a | ,785     | ,631              | 198,554040                 |
| a. Predictors: (Constant), ndmi, B8, B2, B1, rvi, B9, B5, arvi, ireci, B3, B12, ipvi, evi, B11, B8A, B6, B7, B4 |       |          |                   |                            |

Band değerleri ile birlikte vejetasyon indeksi değerlerinin birlikte yapılan analizinde tek girişli hacim değerleri için  $R^2_{düz.}=0,701$ , çift girişli hacim değerlerinde ise  $R^2_{düz.}=0,631$  olarak elde edilmiştir. (Tablo 25-26)

Tablo 27. Tek girişli hacim- meşcere hakim boy değerleri regresyon analizi

| Model Summary                        |       |          |                   |                            |
|--------------------------------------|-------|----------|-------------------|----------------------------|
| Model                                | R     | R Square | Adjusted R Square | Std. Error of the Estimate |
| 1                                    | ,703a | ,494     | ,482              | 202,6242071                |
| a. Predictors: (Constant), Hakim_boy |       |          |                   |                            |

Tablo 28. Çift girişli hacim- meşcere hakim boy değerleri regresyon analizi

| Model Summary                        |       |          |                   |                            |
|--------------------------------------|-------|----------|-------------------|----------------------------|
| Model                                | R     | R Square | Adjusted R Square | Std. Error of the Estimate |
| 1                                    | ,738a | ,545     | ,534              | 223,033981                 |
| a. Predictors: (Constant), Hakim_boy |       |          |                   |                            |

Tablo 29. Tek girişli hacim- meşcere orta boy değerleri regresyon analizi

| Model Summary                        |       |          |                   |                            |
|--------------------------------------|-------|----------|-------------------|----------------------------|
| Model                                | R     | R Square | Adjusted R Square | Std. Error of the Estimate |
| 1                                    | ,742a | ,551     | ,540              | 190,88861                  |
| a. Predictors: (Constant), M_ort_boy |       |          |                   |                            |

Tablo 30. Çift girişli hacim- meşcere orta boy değerleri regresyon analizi

| Model Summary                        |       |          |                   |                            |
|--------------------------------------|-------|----------|-------------------|----------------------------|
| Model                                | R     | R Square | Adjusted R Square | Std. Error of the Estimate |
| 1                                    | ,761a | ,578     | ,568              | 214,718404                 |
| a. Predictors: (Constant), M_ort_boy |       |          |                   |                            |

Nokta bulutundan elde edilen meşcere hakim boyu değerlerinde tek girişli hacim değerlerinde  $R^2_{düz.}=0,482$  ile çift girişli hacim değerlerinde ise  $R^2_{düz.}=0,534$  tespit edilmiş ayrıca meşcere orta boyu içinde yine tek girişli hacim için değer  $R^2_{düz.}=0,540$  ile çift girişli hacim değerlerinde ise  $R^2_{düz.}=0,568$  değerlerine ulaşılmıştır. (Tablo 27-30)

Tablo 31. Tek girişli hacim eğim, bakı indeksi ve yükselti değerleri regresyon analizi

| Model Summary                                           |       |          |                   |                            |
|---------------------------------------------------------|-------|----------|-------------------|----------------------------|
| Model                                                   | R     | R Square | Adjusted R Square | Std. Error of the Estimate |
| 1                                                       | ,425a | ,181     | ,119              | 264,179672                 |
| a. Predictors: (Constant), eğim, bakı indeksi ve rakım, |       |          |                   |                            |

Tablo 32. Çift girişli hacim eğim, bakı indeksi ve yükselti değerleri regresyon analizi

| Model Summary                                          |       |          |                   |                            |
|--------------------------------------------------------|-------|----------|-------------------|----------------------------|
| Model                                                  | R     | R Square | Adjusted R Square | Std. Error of the Estimate |
| 1                                                      | ,404a | ,163     | ,101              | 309,948192                 |
| a. Predictors: (Constant), eğim, bakı indeksi ve rakım |       |          |                   |                            |

Arazide ölçülerek envanter karnesine kayıt edilen yükselti değerleri için tek girişli hacim değerlerinde  $R^2_{düz.}=0,119$  ile çift girişli hacim değerlerinde ise  $R^2_{düz.}=0,101$ 'dir. (Tablo 31-32)

Tablo 33. Tek girişli hacim- tüm veriler ile regresyon analizi

| Model Summary                                                                                                                                              |       |          |                   |                            |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------|----------|-------------------|----------------------------|
| Model                                                                                                                                                      | R     | R Square | Adjusted R Square | Std. Error of the Estimate |
| 1                                                                                                                                                          | ,932a | ,869     | ,719              | 149,133702                 |
| a. Predictors: (Constant), M_ort_boy, arvi, B1, ndmi, Hakim_boy, B2, B9, B5, ireci, rvi, B12, B3, evi, B4, B8A, B11, B6, dvi, B7, ipvi, eğim, bakı indeksi |       |          |                   |                            |

Tablo 34. Çift girişli hacim- tüm veriler ile regresyon analizi

| Model Summary                                                                                                                                              |       |          |                   |                            |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------|----------|-------------------|----------------------------|
| Model                                                                                                                                                      | R     | R Square | Adjusted R Square | Std. Error of the Estimate |
| 1                                                                                                                                                          | ,916a | ,838     | ,652              | 192,721552                 |
| a. Predictors: (Constant), M_ort_boy, arvi, B1, ndmi, Hakim_boy, B2, B9, B5, ireci, rvi, B12, B3, evi, B4, B8A, B11, B6, dvi, B7, ipvi, eğim, bakı indeksi |       |          |                   |                            |

Çalışma kapsamında ölçülen ve hesaplanan tüm değerlerin dahil edilmesiyle yapılan analizde tek girişli hacim değerlerinin  $R^2_{\text{düz.}}=0,719$  ile çift girişli hacim değerlerinde ise  $R^2_{\text{düz.}}=0,652$  olarak elde edilmiştir. (Tablo 33-34)



#### 4. TARTIŞMA

Tek Girişli Hacim değerlerine göre Sentinel 2 görüntülerinin band değerleri için  $R^2_{düz.}$  değeri B6 için 0,602 ve B6-B7 için 0,663 bulunmuştur. Çift Girişli hacim değerlerine göre ise  $R^2_{düz.}$  değeri B6 için 0,554 ve B6-B7 için 0,607'dir. Schumacher vd. (2019) yaptıkları çalışmada band değerleri ile tepe çatısı kapalılığı modeli ile meşcere hacmini 0,64  $R^2$  değeri ile tahmin etmişlerdir. Wojcik (2022) yüksek lisans tezinde band değerleri ile meşcere hacmi arasında 0,628'lik bir  $R^2$  değeri elde etmiştir. Bulunan değerler açısından Çift Girişli hacim değerlerine oldukça yakındır.

Band değerlerine göre hesaplanan Vejetasyon indekslerini incelediğimizde Tek Girişli Hacim için en yüksek değer SAVI ile  $R^2_{düz.} = 0,576$ , SAVI-RVI ile  $R^2_{düz.} = 0,611$  olurken Çift Girişli hacim için SAVI-RVI değeri  $R^2_{düz.} = 0,526$  ve SAVI-RVI değeri  $R^2_{düz.} = 0,561$  olmuştur. Bu konuda Ma vd. 2023 yılında yaptıkları çalışmada Random Forest algoritması yardımıyla NDVI için yapılan hesaplamalar ile meşcere hacminin tahmini konusunda  $R^2 = 0,60$  değerini elde etmişlerdir. Yine bu konuda tamamlanan Chrysafis vd. (2017) vejetasyon indeksleri ile hacim tahminine yönelik çalışmasından elde edilen  $R^2$  değeri de çalışmamızla benzer sonuçlar vermiştir. Bir diğer çalışmada Mohammadi vd. (2009) Landsat uydularının band değerlerinin de faydalanarak kısmen düşük  $R^2 = 0,43$ 'lük bir değerle tahminde bulunmuşlardır.

LiDAR verilerinin işlenmesi sonucu elde edilen meşcere boy değerlerinin meşcere hacminin tahmini ile ilişkisine bakıldığında Tek Girişli hacim için meşcere hakim boy değerinde en yüksek sonuç  $R^2_{düz.} = 0,482$  Çift Girişli hacim için  $R^2_{düz.} = 0,534$  değerini elde ediyoruz. Ayrıca meşcere orta boyu için de Tek Girişli hacim için  $R^2_{düz.} = 0,540$  Çift Girişli hacim için  $R^2_{düz.} = 0,568$  değerini görmekteyiz. Hyde vd. (2006) tek sensörlü LiDAR ölçümlerinde Amerika Birleşik Devletleri Nevada'da tepe çatısı yükseklik modeli ile (CHM)  $R^2 = 0,76$  değeri Quickbird entegresi ile  $R^2 = 0,79$  değerini belirlemişlerdir. Maselli vd. (2011) İtalyada Arno Nehri deltasında 798 hektar alanda 2001 yılında yapılan envanter baz alınarak yaptığı çalışmada dijital yüzey modeli kullanarak  $R^2 = 0,68$  değerine tespit edilmiştir. Sun vd. (2011) Lazer Bitki Örtüsü Görüntüleme Sensörü (LVIS) kullanılarak Amerika Birleşik Devletleri Maine'de tepe çatısı dikey yükseklik modeli ile  $R^2 = 0,71$  hesaplanmıştır. Sheridan vd. (2014) yılındaki çalışmada Malheur National Forest'de hava LiDAR'ı ile edilen veriler ile bir modelleme yaparak  $R^2 = 0,87$  ve  $R^2 = 0,88$  gibi yüksek değerler elde etmişlerdir. Badreldin vd. (2016) çalışmasında Kanadada tepe çatısı yükseklik

modeli ile (CHM) 700 adet ağaçta yüksek çözünürlüklü LiDAR verileri ile biyokütle tahmini yapmış ve  $R^2 = 0,78$  ve  $R^2 = 0,67$  değerlerine ulaşmıştır. Bu çalışma sonrasında yapılan bir diğer çalışmada Gionnico vd. (2016) İtalyanın kuzeyinde Milano yakınlarındaki arazide yaptıkları çalışma ile  $p < 0,001$  güven düzeyine göre  $R^2 = 0,78$  gibi tahmin değeri bulunmuştur. Urbazaev vd. (2018) Meksika ormanlarında yaptıkları ölçümler ve Meksika Ulusal Orman Kurumu (CONAFOR) verileri ile LiDAR ve uydu görüntülerinin entegre olarak değerlendirmesiyle  $R^2 = 0,68$  değerini belirlemişlerdir.

Genel olarak hava fotoğrafı ve hava fotoğrafından elde edilen nokta bulutu verisi kullanılarak yapılan çalışmalarda elde edilen sonuçlar, bu çalışmaya göre daha yüksek sonuçlar vermektedir. Fakat yapılan çalışmaların çoğu plantasyon, 1 kapalı lokal sahalarda ve drone ile çekilmiş daha yüksek çözünürlüklü veriler ile elde edilmiştir. Çalışmanın sonuçlarının düşük çıkmasının ana etkeni alanın büyük, örnekleme verisinin fazla ve 3 kapalı ormanlarda sayısal arazi modeline ait yeteri kadar nokta bulutu verisi elde edilememesi olmasıdır.

Hacimlerin son olarak ilişkisine bakıldığı ölçüm değerleri topoğrafik değerler yani eğim, bakı indeksi ve yükseltilidir. Bu değerlerin Tek Girişli hacim için  $R^2 = 0,119$  ve Çift Girişli hacim için  $R^2 = 0,101$  olduğu görülmüştür.

## 5. SONUÇLAR

Meşcere hacminin Sentinel 2 ve LiDAR verileri ile tahmin edilmesini amaçlayan bu çalışmada Tirebolu Orman İşletme Müdürlüğü'nün Akılbaba ve Harşit Orman İşletme Şeflikleri alanı içerisinde ön keşfi yapılan toplam 3 zonda 27 adet drone uçuşu gerçekleştirilmiştir. Araştırma alanı; Akılbaba-1 zonu 373,6 ha, Akılbaba-2 zonu 281 ha ve Harşit zonu 237,9 ha büyüklüğünde olmak üzere toplam 892,5 ha'dır. Bu alanlarda öncelikle 300x300 m mesafede sistematik 74 adet örnek alan belirlenmiştir. Sonrasında bu örnek alanlardan orman yoluna, yüksek yol şevine ve dere içine denk gelmesi sebebiyle 50 adet örnek alanda yersel ölçümler gerçekleştirilmiştir.

Araştırma alanına ait Sentinel 2 uydu görüntüsü (23.08.2023 tarihli bulutsuz gün görüntüsü) Copernicus.Eu sitesinden temin edilmiş ve örnek alanlar bu görüntüye maskeleme suretiyle entegre edilmiştir. Bu maskeleme ile örnek alanda kalan piksellerin band değerlerinin ortalaması, bununla birlikte vejetasyon indeksleri de hesaplanmıştır.

LiDAR verilerinin ArcGIS programı yardımıyla analizi sonrasında meşcere boy değerleri elde edilmiş, bazı örnek alanlarda yeterli nokta bulutu yoğunluğu olmaması sebebiyle 44 adet örnek alanda elde edilen boy değerleri kullanılarak hesaplamalar gerçekleştirilmiştir.

Sonuçta band değerleri, vejetasyon indeksleri, eğim ve yükselti gibi topoğrafik indeksler ve LiDAR verileri yardımı ile regresyon analizleri gerçekleştirilmiş ve tek girişli ve çift girişli olarak 2 farklı hacim değeri; dikkate alınan değişkenler yardımıyla tahmin edilmeye çalışılmıştır. (Tablo 35)

Tek girişli hacim değerlerine göre band değerleri Regresyon Analizinde en yüksek  $R^2$  değeri B6 için 0,602 ve B6-B7 için 0,663 bulunmuştur. Çift girişli hacim değerlerine göre  $R^2$  ise B6 için 0,554 ve B6-B7 için 0,607'dir.

Vejetasyon İndekslerine baktığımızda Tek Girişli Hacim için en yüksek değer SAVI ile  $R^2 = 0,576$  ve SAVI-RVI için 0,611 olurken Çift Girişli hacim için SAVI 0,526, SAVI-RVI değeri  $R^2 = 0,561$  olmuştur.

Band ve vejetasyon indeksi değerlerinin birlikte değerlendirildiği analiz de tek girişli için 0, 701 çift girişli hacim için 0,631 değerleri belirlenmiştir.

Meşcere hakim boy değerlerinin hacim ile Regrasyon analizinde ise Tek Girişli hacim için  $R^2_{düz.}$  0,482 Çift Girişli hacim için meşcere hakim boy değerinde  $R^2_{düz.}$  0,534, meşcere

orta boy da ise Tek Girişli hacim için  $R^2_{\text{düz.}}=0,540$  Çift Girişli hacim için değerinde  $R^2_{\text{düz.}}=0,568$  değerini elde ediyoruz.

Topografik değişkenler yani eğim, bakı ve yükselti değerlerinin de tek girişli hacim için  $R^2_{\text{düz.}}=0,119$  ve çift girişli hacim değerleri için  $R^2_{\text{düz.}}=0,101$  olduğu görülmektedir.

Hacimler için tüm verilerin birlikte analizinde Tek girişli hacim değerlerine göre  $R^2_{\text{düz.}}$  0,719 ve çift girişli için de  $R^2_{\text{düz.}}$  0,652'dir.

Tablo 35. Regresyan analizi değerleri tablosu

| Hacim        | Model                                         | $R^2_{\text{düz.}}$ |
|--------------|-----------------------------------------------|---------------------|
| Tek Girişli  | Band değerleri                                | 0,663 (B6,B7)       |
| Çift Girişli | Band değerleri                                | 0,607 (B6,B7)       |
| Tek Girişli  | Vejetasyon indeksleri                         | 0,611 (savi,rvi)    |
| Çift Girişli | Vejetasyon indeksleri                         | 0,561 (savi,rvi)    |
| Tek Girişli  | Band + V. indeksleri                          | 0,701               |
| Çift Girişli | Band + V. indeksleri                          | 0,631               |
| Tek Girişli  | Meşcere hakim boyu (LiDAR)                    | 0,482               |
| Çift Girişli | Meşcere hakim boyu (LiDAR)                    | 0,534               |
| Tek Girişli  | Meşcere orta boyu (LiDAR)                     | 0,540               |
| Çift Girişli | Meşcere orta boyu (LiDAR)                     | 0,568               |
| Tek Girişli  | Topografik değişkenler (Eğim, bakı, yükselti) | 0,119               |
| Çift Girişli | Topografik değişkenler (Eğim, bakı, yükselti) | 0,101               |
| Tek Girişli  | Band+V.i.+M_ust+M_ort                         | 0,719               |
| Çift Girişli | Band+V.i.+M_ust+M_ort                         | 0,652               |

## 6. ÖNERİLER

İlerleyen zaman ile uzaktan algılama teknolojileri, orman envanter çıkarma amacıyla giderek daha fazla kullanılacak ve ağaçların hacmi, geleneksel yöntem ile yalnızca çapa değil, çap ve ağaç boyu ile daha doğru bir şekilde hesaplanacaktır. Ancak bu yöntemler her örneklem alanına uygulanamaz. Örneğin tabakalı meşcereler, yoğun tepe çatısı olan, çalı katı örtüsüne sahip alanlar ve daha önce müdahale görmemiş alanlarda hava fotoğrafları, uydu görüntüleri ve LiDAR verileri hatalı tahminler sağlayabilir, bu nedenle yersel ölçümler de gereklidir. Envanterde yersel ölçümler örnek alan büyüklüğü ve hektardaki meşcere bileşenleri hakkında bilgi verecektir ancak teknoloji kullanımını da daha fazla daha güvenilir olarak bu ölçümleri destekleyecektir.

Son yıllarda pahalı olmasına rağmen araştırma amaçlı kullanılan LiDAR hava verilerinin meşcere bileşenlerinin tahmin edilmesinde ve model geliştirilmesinde kullanımının yaygınlaştırılmasına ihtiyaç duyulmaktadır. Havadan LiDAR teknolojisinin yaygın olarak kullanıldığı gelişmiş ülkelerde, ülkenin birçok bölgesine ait sayısal arazi modelleri internetten indirilebilmektedir. Yakın gelecekte ülkemiz bu aşamaya geldiğinde envanter bileşenlerini tahmin etmek ve envanter eğilimlerini takip etmek için dijital yüzey modelinin oluşturulması yeterli olacaktır.

Orman Genel Müdürlüğü teşkilatı içerisindeki kullanılan bilgisayarın kapasitesi genel olarak tüm sahada veri işlemesi için yeterli gelmemektedir. Bu sebeple mevcut bilgisayarın kararlı (stabil) çalışması için ya nokta bulutu veri boyutu azaltılmalı ya da şefliğin alanı işlenebilir büyüklüklerde ayrılmalıdır. Bunun mümkün olmaması durumunda da Orman Bölge Müdürlüklerinde veri işlemesi, analizi yapılacak iş istasyonları ve uzman personel istihdamı sağlanmalıdır.

Literatüre bakıldığında derin öğrenme, yapay sinir ağları ve destek vektör makine teknikleriyle regresyon modellerine göre daha yüksek belirtme katsayıları elde edilmekte olup gelecek süreçte bunların daha yoğun kullanılması önem arz etmektedir.

Sonuç olarak, uzaktan algılama teknikleri ve verileri kombine şekilde kullanılarak farklı meşcere bileşenlerinin tahmin edilmesinde daha fazla sayıda araştırma yapılmalı ve ilerleme kaydedilmelidir.

## 7. KAYNAKLAR

- Akalp, T. (1978). Türkiye'deki doğu ladini (*Picea orientalis* Lk. Carr) ormanlarında hasılat araştırmaları. Journal of the Faculty of Forestry Istanbul University, 26(1).
- Akay, A. E., Ođuz, H., Karas, I. R., Aruga, K., 2008. Using LiDAR technology in forestry activities. Environmental Monitoring and Assessment, 151(1-4), 117–125.
- Askar, Narissara Nuthammachot, Worradorn Phairuang, Pramaditya Wicaksono, Tri Sayektiningsih (2018) "Estimating Aboveground Biomass on Private Forest Using Sentinel-2 Imagery", Journal of Sensors, vol. 2018, Article ID 6745629, 11 pages, 2018. <https://doi.org/10.1155/2018/6745629>
- Astola, H., Häme, T., Sirro, L., Molinier, M., & Kilpi, J., 2019. Comparison of Sentinel-2 and Landsat 8 imagery for forest variable prediction in boreal region. Remote Sensing of Environment, 223, 257-273. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2019.01.019>
- Ateşoğlu, A., 2009. Farklı Uydu Görüntü Verileri İle Meşcere Parametreleri Arasındaki İlişkilerin Araştırılması (Bartın-Mugada Örneği), Doktora Tezi, Bartın Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 111 s.
- Badreldin N, Sanchez-Azofeifa A. (2015) Estimating Forest Biomass Dynamics by Integrating Multi-Temporal Landsat Satellite Images with Ground and Airborne LiDAR Data in the Coal Valley Mine, Alberta, Canada. Remote Sensing.; 7(3):2832-2849. <https://doi.org/10.3390/rs70302832>
- Bıyıklı, D., & Marangoz, A. M. (2023). GeoEye-1 Uydu Görüntüsü Kullanarak Ormanlık Alanların Nesne Tabanlı Sınıflandırma Yöntemi ile Analizi: Kastamonu İli Örneği. Karadeniz Fen Bilimleri Dergisi, 13(3), 894-925. <https://doi.org/10.31466/kfbd.1268512>
- Bulut. S., Günlü, A., Keleş, S., 2016. Estimation of some stand parameters using Göktürk-2 satellite image, Forest Engineering and Technologies FETEC 2016, Proceedings, 118. Bursa TÜRKİYE
- Byrne, B. M. (2010). Structural equation modeling with AMOS: Basic concepts, applications, and programming. 2nd Edition. Routledge Taylor & Francis Group.
- Cao, L., Liu, K., Shen, X., Wu, X., Liu, H., 2019. Estimation of Forest Structural Parameters Using UAV-LiDAR Data and a Process-Based Model in Ginkgo Planted Forests. IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing, 12(11), 4175–4190. <https://doi.org/10.1109/JSTARS.2019.2918572>
- Carus, S., 1998. Aynı Yaşlı Doğu Kayını (*Fagus orientalis* Lipsky) Ormanlarında Artım ve Büyüme. İ.Ü.Fen Bilimleri Enstitüsü. Doktora tezi,
- Chrysafis, I., Mallinis, G., Siachalou, S., Patias, P., 2017. Assessing the relationships between growing stock volume and SENTINEL-2 imagery in a Mediterranean forest

- ecosystem. Remote Sensing Letters, 8(6), 508–517.  
<https://doi:10.1080/2150704x.2017.1295479>.
- Clevers, J. G. P. W., Jong, S. M. De, Epema, G. F., Addink, E. A., and Box, P. O., 2000. Meris and the Red-Edge Index. In 2nd EARSeL workshop, Enschede, 1-16.
- Clevers, J.G.P.W., Gitelson, A.A., 2013. Remote estimation of crop and grass chlorophyll and nitrogen content using red-edge bands on SENTINEL-2 and -3, International J. Appl. Earth Obs. Geoinf. 23, 344-351.
- Crippen, R. E., 1990. Calculating the vegetation index faster, Remote Sensing of Environment, 34, 1, 71-73
- Çil, B., 2014. Bazı meşcere parametrelerinin farklı uydu görüntüleri yardımıyla tahmin edilmesi: Kelkit ve Iğdır planlama birimi örneği, KTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 86 s.
- Dubayah, R. O., Knox, R. G. Hofton, M. A. Blair, J. B. Drake. J. B., 2000. Land surface characterization using LiDAR remote sensing. in M. Hill and R. Aspinall, eds. Spatial Information for Land Use Management. International 5 Publishers Direct, Singapore.
- Dubayah, R., Drake, J., 2000. LiDAR remote sensing for forestry. Journal of Forestry. 98: 44-46.
- Falkowski, M. J., Evans, J. S., Martinuzzi, S., Gessler, P. E., & Hudak, A. T. (2009). Characterizing forest succession with LiDAR data: An evaluation for the Inland Northwest, USA. Remote Sensing of Environment, 113(5), 946–956.
- Fragoso-Campón, L., Quirós, E., Mora, J., Gutiérrez J.A., Durán-Barroso, P., 2018. Accuracy Enhancement for Land Cover Classification Using LiDAR and Multitemporal SENTINEL 2 Images in a Forested Watershed. Proceedings. 2018; 2(20):1280.
- Frampton, W. J., Dash, J., Watmough, G., and Milton, E. J., 2013. Evaluating the capabilities of Sentinel-2 for quantitative estimation of biophysical variables in vegetation, ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, 82, 83-92.
- Franco-Lopez, A.R., Ek, M.E., 2001. Estimation and mapping of forest stand density, volume, and cover type using the k-nearest-neighbours method, Remote Sens. Environ., 77, pp. 251-274.
- Gao, B., 1996. NDWI – A normalized difference water index for remote sensing of vegetation liquid water from space, Remote Sensing of Environment, 58, 3, 257-266.
- George, D., & Mallery, P. (2019). IBM SPSS Statistics 26 Step by Step: A Simple Guide and Reference (14th ed.). New York: Routledge.
- Giannico, V., Laforteza, R., John, R., Sanesi, G., Pesola, L., & Chen, J. (2016). Estimating stand volume and above-ground biomass of urban forests using LiDAR. Remote Sensing, 8(4), 339.

- Gonzalez-Benecke, C.A., Gezan, S.A., Samuelson, L.J., Cropper, W. P., Leduc, D. J., Martin, T.A., 2014. Estimating *Pinus palustris* tree diameter and stem volume from tree height, crown area and stand-level parameters. – Journal of Forestry Research 25(1): 43-52.
- González-Ferreiro, E., Diéguez-Aranda, U., Miranda, D., 2012. Estimation of stand variables in *Pinus radiata* D. Don plantations using different LiDAR pulse densities. Forestry, 85(2), 281–292.
- Göğërçin, R., Günlü A., 2017. Çankırı Karatekin Üniversitesi Orman Fakültesi Araştırma Ormanında Göktürk-2 Uydu Görüntüsü Kullanılarak Bazı Meşcere Parametrelerinin Tahmin Edilmesi, Anadolu Orman Araştırmaları Dergisi, 3(1), 1-13.
- Günlü, A., Keleş, S., Kadioğulları, A.İ., Başkent, E. Z., 2011. Landsat 7 ETM+ Uydu Görüntüsü Yardımıyla Arazi Kullanımı, Meşcere Gelişim Çağı ve Meşcere Kapalılığının Tahmin Edilmesi; Kastamonu-Kızılcaasu İşletme Şefliği Örneği, I. Ulusal Akdeniz Orman ve Çevre Sempozyumu, 26-28 Ekim 2011, Kahramanmaraş.
- Günlü, A., Ercanlı İ, Şenyurt M., Tezcan Yayla, A., 2012. Modeling stand volume using Landsat TM data for fir stands (*Abies bornmuelleriana*) located in Büyükdüz planning unit, Turkey. J Kast For 65–71.
- Günlü, A., Ercanlı, I., Başkent, E.Z., Şenyurt, M., 2013. Predicting stand volume using Quickbird and Landsat 7 ETM+ satellite images for stands of oriental beech (*Fagus orientalis* Lipsky): a case study in Ayancık-Göldağ, SDU Faculty of Forestry Journal , 14: 24-30.
- Günlü, A., Ercanlı, I., Keles, S., & Anlar, H. C., 2015. Modelling of stand volume and tree density using Spot-4 satellite image: A case study in Devrez planning unit. International Journal of Global Warming, 7(4), 454–465. <https://doi.org/10.1504/IJGW.2015.070047>
- Günlü, A., Ercanlı, İ., Şenyurt, M., Keleş, S., 2019. Estimation of Some Stand Parameters from Textural Features from Worldview-2 Satellite Image Using the Artificial Neural Network and Multiple Regression Methods: A Case Study From Turkey, Geocarto International, doi: 0.1080/10106049.2019.1629644.
- Hair, J. F., Black, W. C., Babin, B. J., Anderson, R. E., & Tatham, R. L. (2006). Multivariate data analysis (6th ed.). Upper Saddle River, NJ: Pearson University Press.
- Hall, R. J., Skakun, R. S., Arsenault, E. J., & Case, B. S., 2006. Modeling forest stand structure attributes using Landsat ETM+ data: Application to mapping of above-ground biomass and stand volume. Forest Ecology and Management, 225, 378-309.
- Hawryło, P., Wężyk, P., 2018. Predicting Growing Stock Volume of Scots Pine Stands Using SENTINEL-2 Satellite Imagery and Airborne Image-Derived Point Clouds. Forests, 9(5), 274.
- Heidi J Renninger, Brent R Frey, Madelyn P Anderson, David L Evans, 2023, Using LiDAR Data to Estimate Biomass in Afforested Bottomland Oak Sites in the Southern United

- States, Forest Science, Volume 69, Issue 5, October 2023, Pages 551–562, <https://doi.org/10.1093/forsci/fxad028>
- Heritage, G.L., 2009. Laser scanning for the environmental sciences. Hoboken, NJ: Wiley-Blackwell.
- Hirata, Y. (2008). Estimation of stand attributes in *Cryptomeria japonica* and *Chamaecyparis obtusa* stands using QuickBird panchromatic data. Journal of Forest Research, 13(3), 147-154. doi:10.1007/s10310-008-0059-7
- Hohenthal, J., Alho, P., Hyypä, J., Hyypä, H., 2011. Laser scanning applications in fluvial studies. Progress in Physical Geography, 35(6), 782–809.
- Holmgren J., Joyce, S., Nilsson, M., Olsson H., 2000. Estimating stem volume and basal area in forest compartments by combining satellite image data with field data Scand. J. For. Res., 15 pp. 103-111
- Huete, A. R., 1988. A soil-adjusted vegetation index (SAVI), Remote Sensing of Environment, 25, 3, 295-309.
- Hyde, P., Dubayah, R., Walker, W., Blair, J. B., Hofton, M., & Hunsaker, C. (2006). Mapping forest structure for wildlife habitat analysis using multi-sensor (LiDAR, SAR/InSAR, ETM+, Quickbird) synergy. Remote Sensing of Environment, 102(1-2), 63–73. doi:10.1016/j.rse.2006.01.021
- Hyypä J., Hyypä H., Inkinen M., Engdahl M., Linko S., Zhu Y., 2000. Accuracy comparison of various remote sensing data sources in the retrieval of forest stand attributes. For. Ecol. Manage. 128:109–120.
- Ioki, K., Imanishi, J., Sasaki, T., Morimoto, Y., Kitada, K., 2010. Estimating stand volume in broad-leaved forest using discrete-return LiDAR: Plot-based approach. Landscape and Ecological Engineering, 6(1), 29–36.
- İnan, M., 2004. Orman Varlığının Saptanmasında Uzaktan Algılama Verileri, Doktora Tezi, İstanbul Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Jordan, C. F., 1969. Derivation of leaf area index from quality of light on the forest floor, Ecology, 50, 663-666.
- Kahriman, A., Günlü, A., Karahalil, U. 2014. Estimation of Crown Closure and Tree Density Using Landsat TM Satellite Images in Mixed Forest Stands. J Indian Soc Remote Sensing, 42(3):559–567
- Kanja, K., 2016. Modelling timber volume and other forest parameters using LiDAR and field data: A case study in Bergama State Forest Enterprise. MSc, Karadeniz Technical University, Trabzon, Turkey.
- Kanja, K., Karahalil, U., Çil, B., 2019. “Modeling stand parameters for *Pinus brutia* (Ten.) using airborne LiDAR data: a case study in Bergama,” J. Appl. Remote Sens. 14(2), 022205.

- Kapucu, F., 2004. Orman Amenajmanı, KTÜ Matbaası, KTÜ Yayın No: 215, Orman Fakültesi Yayın No: 33, Trabzon, 515 s.
- Karahalil, U., 2020. Orman Amenajmanında Uzaktan Algılamanın Dünü, Bugünü ve Geleceği. Mısır, N., Mısır, M., (Ed.), Türkiye’de Orman Amenajmanının 100 Yıllık Gelişimi, (s. 236-269). Ankara: Gece Kitaplığı, 345 s., ISBN: 978-625-7702-29-4.
- Kandemir, E., 2010. Uzaktan Algılama Tekniğinde NDVI Değerleri ile Doğal Bitki Örtüsü Tür Dağılımı Arasındaki İlişkilerin Belirlenmesi Üzerine Araştırma), Yüksek Lisans Tezi, Ege Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir.
- Kaufman, Y. J. and Tanré, D., 1992. Atmospherically resistant vegetation index (ARVI) for EOS-MODIS, IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, 30, 261-270.
- Kayı, A., Erdoğan, M., Eker, O., 2015. Results of LiDAR test performed by Optech-HA 500 and REIGL LMS-Q 1560, Harita Dergisi, 153, 42-46.
- Kayitakire, F., Hamel, C., Defourny, P., 2006. Retrieving forest structure variables based on image texture analysis and IKONOS-2 imagery. – Remote Sensing of Environment, 102(3-4): 390-401.
- Kelly, M., Di Tommaso, S., 2015. Mapping forests with LiDAR provides flexible, accurate data with many uses. California Agriculture. University of California, Oakland.
- Köhl, M., 2004. New Approaches for Multi Resource Forest Inventories. – Advances in Forest Inventory for Sustainable Forest Management and Biodiversity Monitoring, : 1-16.
- Laar A. ve Akça (1997) Forest Mensuration Indiana University 418 S.
- LaRocque, P.E., West, G.R., 1999. Airborne laser hydrography: an introduction. In Proc. ROPME/PERSGA/IHB Workshop on Hydrographic Activities in the ROPME sea area and Red Sea, October, 4–27.
- Lim, K., Treitz, P., Wulder, M., St-Onge, B., Flood, M., 2003. LiDAR remote sensing of forest structure. Progress in Physical Geography 27, 1 (2003) pp. 88–106.
- Liu, H., and Huete, A., 1995. Feedback based modification of the NDVI to minimize canopy background and atmospheric noise, IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, 33, 2, 457-465.
- Ma, T., Hu, Y., Wang, J., Beckline, M., Pang, D., Chen, L., ... & Li, X. (2023). A novel vegetation index approach using sentinel-2 data and random forest algorithm for estimating forest stock volume in the Helan mountains, Ningxia, China. Remote Sensing, 15(7), 1853.
- Maiman, T. H., 1960. Stimulated optical radiation in Ruby, Nature, 187, 493-494.
- Maselli, F., Chiesi, M., Montaghi, A., & Pranzini, E. (2011). Use of ETM+ images to extend stem volume estimates obtained from LiDAR data. ISPRS journal of photogrammetry and remote sensing, 66(5), 662-671.

- Means, J.E., Acker, S.A., Harding, D.J., Blair, B.J., Lefsky, M.A., Cohen, W.B., Harmon, M.E., McKee, W.A., 1999. Use of Large Footprint Scanning Airborne LiDAR to Estimate Forest Stand Characteristics in the Western Cascades of Oregon. *Remote Sensing of Environment* 67: 298–308.
- Mechergui, K., & Jaouadi, W. (2023). Allometric relationships for predicting the stem volume of *Acer monspessulanum* and evaluation of NDVI values to estimate some stand parameters using Sentinel-2 satellite image. *Moroccan Journal of Agricultural Sciences*, 4(2), 68-75.
- Meng, J., Li, S., Wang, W., Liu, Q., Xie, S., & Ma, W. (2016). Estimation of forest structural diversity using the spectral and textural information derived from SPOT-5 satellite images. *Remote Sensing*, 8(2). p.125 <https://doi.org/10.3390/rs8020125>
- Mısır, M., 2013. Estimation of stand parameters using Landsat 7 ETM+. *Proceedings of the International Symposium for the 50th Anniversary of the forestry Sector planning in Turkey*. 2013. 26-28 November. Antalya, Turkey.
- Mohammadi, J., Shataei, J. S., Yaghmaei, F., & Salman, M. A. 2009. Forest stand age classification using Landsat ETM+ data.
- Mohammadi, J., Joibary, S. S., Yaghmaei, F., & Mahiny, A. S., 2010. Modelling forest stand volume and tree density using landsat ETM+ data. *International Journal of Remote Sensing*, 31(11), 2959–2975. <https://doi.org/10.1080/01431160903140811>
- Næsset, E., 1997. Estimating timber volume of forest stands using airborne laser scanner data, *Remote Sensing of Environment*, 61(2):246-253.
- NASA, 2023. [https://www.nasa.gov/multimedia/imagegallery/image\\_feature\\_1076.html](https://www.nasa.gov/multimedia/imagegallery/image_feature_1076.html). 14.10.2023 tarihinde ziyaret edildi.
- Nelson, R., Krabill, W. Maclean, G., 1984. Determining forest canopy characteristics using airborne laser data. *Remote Sensing of Environment* 15, 201–12.
- Noorian, N., Shataei-Joibary, S., Mohammadi, J., 2016. Assessment of different remote sensing data for forest structural attributes estimation in the Hyrcanian forests. *Forest Systems*, 25(3) p.11. <https://doi.org/10.5424/fs/2016253-08682>
- Nouri, A., Kiani, B., Hakimi, M. H., & Mokhtari, M. H., 2020. Estimating oak forest parameters in the western mountains of Iran using satellite-based vegetation indices. *Journal of Forestry Research*, 31(2), 541-552. <https://doi.org/10.1007/s11676-018-0821-4>
- OGM, 2008. *Orman Amenajman Yönetmeliği* (2008), Ankara, 61 s
- Özdemir, İ., 2013. Estimation of forest stand parameters using airborne LIDAR data. *Turkish Journal of Forestry*; 14(1); 31-39
- Özdemir, İ., Mert, A., 2007. Estimating forest volume of red pine using Quickbird satellite image. *Süleyman Demirel University Faculty of Forestry Journal, Series A, No.: 2*, ISSN: 1302-7085, 107-118.

- Özdemir, İ., & Karnieli, A. (2011). Predicting forest structural parameters using the image texture derived from WorldView-2 multispectral imagery in a dryland forest, Israel. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 13(5), 701-710. doi:10.1016/j.jag.2011.05.006
- Özdemir vd., 2013. Havasal Lidar Verileri Kullanılarak Meşcere Tipi Ayrımı, Ormancılıkta Sektörel Planlamanın 50. Yılı Uluslararası Sempozyumu, Bildiriler Kitabı, 26-28 Kasım, Antalya, s. 654-664.
- Özgün, M., 2014. Landsat TM uydu görüntüsü yardımıyla bazı meşcere parametrelerinin tahmin edilmesi. Yüksek lisans tezi. Çankırı Karatekin Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Çankırı.
- Özkan, U.Y., 2003. Uydu Görüntüleri Yardımıyla Meşcere Parametrelerinin Kestirilmesi Ve Orman Amenajmanında Kullanılması Olanakları, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Özkan, U., 2006. Uydu Görüntüleri Yardımıyla Meşcere Parametrelerinin Kestirilmesi Ve Orman Amenajmanında Kullanılması Olanakları. *Journal of the Faculty of Forestry Istanbul University*, 56(2), 191-217.
- Ozkan, U. Y., & Demirel, T., 2018. Estimation of forest stand parameters by using the spectral and textural features derived from digital aerial images. *Applied Ecology and Environmental Research*, 16(3), 3043–3060.
- Ozkan, U. Y., Demirel, T., Ozdemir, I., Saglam, S., Mert, A., 2020. Examining LIDAR – WorldView-3 data synergy to generate a detailed stand map in a mixed forest in the north-west of Turkey. *Advances in Space Research*, 65(11), 2608–2621. <https://doi.org/10.1016/j.asr.2020.02.020>
- Penny, M.F., Billard, B., Abbot, R.H., 1989. LADS - the Australian laser airborne depth sounder. *Int. J. Rem. Sens.* 10, 1463-1479.
- Price W.F., Uren J., 1989. *Laser Surveying*. London: Van Nostrand Reinhold (International)
- Reutebuch, S.E., McGauhey, R.J., Andersen, H.E., Carson, W.W., 2003. Accuracy of high-resolution LIDAR terrain model under a conifer forest canopy. *Canadian J. of Remote Sensing*, 29, 527–535.
- Reuveni, Y., Dahan, E., Anker, Y., & Sprintsin, M. 2018. Estimating forest parameters using Landsat ETM+ spectral responses and monocultured plantation fieldwork measurements data. *International Journal of Remote Sensing*, 39(8), 2620–2636. <https://doi.org/10.1080/01431161.2018.1430400>
- Richardson, A. J. and Weigand, C., 1977. Distinguishing vegetation from soil background information, *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 43, 12, 1541-1552.
- Rouse, J. W., Haas, R. H., Schell, J. A., and Deering, D. W., 1973. Monitoring the vernal advancement and retrogradation (green wave effect) of natural vegetation, *Progress Report RSC* 1978-1.

- Schreier, H., Loughheed, J., Tucker, C., Leckie, D., 1985. Automated measurement of terrain reflection and height variations using an airborne infrared laser system. *International Journal of Remote Sensing* 6: 101-113.
- Schreuder, H.T., Gregoire, T.G. ve Wood, G.B., 1993. *Sampling Methods for Multiresource Forest Inventory*, John Wiley & Sons Inc., USA, 446 s.
- Schumacher, J., Rattay, M., Kirchhöfer, M., Adler, P., & Kändler, G. 2019. Combination of multi-temporal sentinel 2 images and aerial image based canopy height models for timber volume modelling. *Forests*, 10(9), 746.
- Sharp, B.L., 1982. Laser remote sensing of atmospheric pollutants. *Chemistry in Britain May 1982*, 342-348.
- Sheridan, R. D., Popescu, S. C., Gatzolis, D., Morgan, C. L., & Ku, N. W. 2014. Modeling forest aboveground biomass and volume using airborne LiDAR metrics and forest inventory and analysis data in the Pacific Northwest. *Remote Sensing*, 7(1), 229-255.
- Sun, G., Ranson, K. J., Guo, Z., Zhang, Z., Montesano, P., & Kimes, D. 2011. Forest biomass mapping from lidar and radar synergies. *Remote Sensing of Environment*, 115(11), 2906-2916.
- Şenyurt, M., Günlü, A., Ercanlı, İ. Yılmaz, C., 2013. Using Landast 8 satelite image to estimate forest stand parameters for Karşıkent state forest enterprise, Forest sector planning 50th international symposium, November, Antalya, *Proceedings Book*: 497-503.
- Terekhin, E.A. 2023. Relationships between Forest-Stand Parameters and Sentinel-2 Spectral Reflectance in the Central Russian Forest–Steppe. *Cosmic Res* 61 (Suppl 1), S60–S70. <https://doi.org/10.1134/S0010952523700661>
- Torres, F.M., Tommaselli, A.M.G., 2018. A Lightweight Uav-Based Laser Scanning System For Forest Application. *Boletim de Ciências Geodésicas*, 24(3), 318–334.
- Trotter, C. M., Dymond, J.R., & Goulding, C.J. (1997). Estimation of timber volume in a coniferous plantation forest using Landsat TM. *Int. J. Remote Sens.*, 18 (10), 2209-2232
- Uça Avcı Z. D., Kuşak B., Kuşak L., 2014. Meşcere Tiplerinin Uydu Verileri ile Belirlenmesinde Farklı Doku Ölçütlerinin Değerlendirilmesi, *Akademik Bilişim'14 - XVI. Akademik Bilişim Konferansı Bildirileri* 5 - 7 Şubat 2014 Mersin Üniversitesi, Mersin, Türkiye.
- Ullrich, A., Studnicka, N., Hollaus, M., Briese, C., Wagner, W., Doneus, M., Mucke, W., 2008. Improvements in DTM generation by using full-waveform airborne laser scanning data. In *Proceedings of the 7th annual conference and exposition “laser scanning and digital aerial photography. Today and tomorrow”*, 2008 Moscow, Russia.

- Urban, R., Stroner, M., Línkova, L.A., 2021. New Method for UAV Lidar Precision Testing Used for the Evaluation of an Affordable DJI ZENMUSE L1 Scanner. *Remote Sensing*, 13, 4811. <https://doi.org/10.3390/rs13234811>
- Urbazaev, M., Thiel, C., Cremer, F., Dubayah, R., Migliavacca, M., Reichstein, M., & Schmullius, C. 2018. Estimation of forest aboveground biomass and uncertainties by integration of field measurements, airborne LiDAR, and SAR and optical satellite data in Mexico. *Carbon balance and management*, 13, 1-20.
- URL-1. (2023, Mart 11). <https://eos.com/find-satellite/sentinel-2/> adresinden alınmıştır.
- URL-2. (2023, Ekim 18) <https://sentinels.copernicus.eu/web/sentinel/user-guides/sentinel-2-msi/product-types/level-2a>. adresinden girış yapılmış ve veri alınmıştır.
- Wallace, L. 2013. Assessing the stability of canopy maps produced from UAV-LiDAR data. 2013 IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium - IGARSS, pp. 3879–3882
- Wallace, L., Lucieer, A., Watson, C., Turner, D., 2012. Development of a UAV-LiDAR System with Application to Forest Inventory. *Remote Sensing*, 4(6), pp. 1519-1543. <https://doi.org/10.3390/rs4061519>.
- Wojcik A., 2022 Estimating stand volume and stand density using sentinel-2 satellite imagery and ICESat-2 LiDAR data: A case study in kocayaren planning unit (Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi
- Xiao, V., Li, P., and Feng, Z., 2019. Monitoring annual dynamics of mature rubber plantations in Xishuangbanna during 1987-2018 using Landsat time series data: A multiple normalization approach, *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 77, 30-41.
- Xie, S., Wang, W., Wang, Z., & Huang, G. 2020. Modeling forest stand parameters using remote sensing images and topographic information. In *PervasiveHealth: Pervasive Computing Technologies for Healthcare* (pp. 109–114). ICST. <https://doi.org/10.1145/3381271.3381283>
- Zhou, J. H., Sun, T.Z., 1995. Study on remote sensing model of three dimensional green biomass and the estimation of environmental benefits of greenery. – *Remote Sensing of Environment China* 10(3): 162-174.

## ÖZGEÇMİŞ

Halil DAĞDELEN, ilk ve Orta öğrenimini Sümer İlköğretim Okulu'nda bitirdikten sonra lise eğitimini 2000 yılında Malatya Hacı Ahmet Akıncı Yabancı Dil Ağırlıklı (YDA) Lisesi'nde tamamladı. 2000 öğretim yılında Karadeniz Teknik Üniversitesi Orman Fakültesi Orman Mühendisliği bölümünde lisans eğitimine başladı. 2006 yılında bu bölümden mezun oldu. 2020 yılında Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Orman Mühendisliği Anabilim dalında tezli yüksek lisans programına başladı. 2009-2019 yılları arasında Orman Genel Müdürlüğü'nün taşra teşkilatında İşletme Şefliği yapmıştır. 2019 yılından itibaren Doğu Karadeniz Ormancılık Araştırma Enstitüsü Müdürlüğü'nde Araştırmacı Mühendis olarak görev yapmaktadır. Evli ve 1 çocuk babasıdır.

ENEZ, K., ARICAK, B., ACAR, H. H. , DAĞDELEN, H., (2015). El Vincinin Bölmeden Çıkarma Faaliyetlerinde Kullanılmasının Değerlendirilmesi Üretim İşlerinde Hassas Ormancılık Sempozyumu, Çankırı