

Mobil LiDAR ile Orman Envanterlerinde Farklı Örneklem Tasarımlarının Veri Hassasiyeti ve İş Verimliliğine Etkisi: Rize Şenyuva Örneği

Can Vatandaşlar^{1,*}, Mustafa Zeybek², Süleyman Borucu³

^{1,*} Artvin Çoruh Üniversitesi Orman Fakültesi Orman Mühendisliği Bölümü, Artvin, Türkiye
² Selçuk Üniversitesi Güneysinir Meslek Yüksekokulu Tapu ve Kadastro Bölümü, Konya, Türkiye
³ Orman Genel Müdürlüğü Pazar Orman İşletme Müdürlüğü, Rize, Türkiye

Makale Tarihiçesi

Gönderim: 09.02.2022

Kabul: 16.05.2022

Yayın: 15.08.2022

Araştırma Makalesi



Öz – Bu çalışmada, mobil lazer tarama (LiDAR) sistemleriyle gerçekleştirilecek orman envanterleri için optimum örneklem tasarımı ortaya koyulması amaçlanmıştır. Çalışma, Şenyuva Orman İşletme Şefliği'ndeki saf Ladin sahasında, geleneksel envanter yöntemleriyle ölçülen örnek alanlara dayalı olarak yürütülmüştür. Aynı saha, mobil LiDAR ile farklı şekillerde taranmış ve üretilen nokta bulutları farklı büyüklüklerde kesilerek, daha önce ölçülen meşcere parametrelerinin değerleri bu yöntemle de belirlenmiştir. Geleneksel yöntemle (çapölçerle) tam alanda (1.834,4 m²) ölçülen göğüs çapı ile LiDAR verisi üzerinden belirlenen göğüs çapı değerleri arasında önemli bir fark tespit edilmemiştir (p>0.05). İki veri setinin ortalamaları arasındaki fark 1 cm'nin (~%2) altındadır. Birim alandaki ağaç sayıları birbir aynı bulunmuştur. Hâkim ağaç boyu ise 1 m'nin (~%1,5) altında hatayla belirlenebilmiştir. Sonuçta, farklı koşullarda çalışan uygulayıcılar için farklı reçeteler geliştirilmiştir. Genel itibarıyla, örneklemede yaklaşık ±%10'luk hata payı kabul görüyorsa; saha dışarıdan tarandıktan sonra verinin 400 m²'lik daire şeklinde kesilerek analiz edilmesi önerilebilir. Daha hassas araştırmalarda ise saha dışarıdan tarandıktan sonra tam alanda analiz gerçekleştirilmelidir. Eğer 1 ha'dan büyük sahalarda çalışılacaksa, meşcerenin içeriden taranması zorunlu hale gelmektedir.

Anahtar Kelimeler – El tipi mobil lazer tarama (LiDAR), GeoSLAM Zeb Horizon, hassas ormancılık, orman amenajmanı, orman envanteri

The Effect of Sampling Design on Data Precision and Practicality in Mobile-LiDAR-based Forest Inventories: Case Study from Rize Senyuva

¹ Artvin Coruh University, Faculty of Forestry, Department of Forest Engineering, Artvin, Turkey
² Selcuk University Guneysinir Vocational School, Department of Land Registry and Cadastre, Konya, Turkey
³ General Directorate of Forestry, Pazar Forest Enterprise, Rize, Turkey

Article History

Received: 09.02.2022

Accepted: 16.05.2022

Published: 15.08.2022

Research Article

Abstract – This study aims to determine an optimal sampling design for forest inventories performed by mobile laser scanners (LiDAR). To this end, the study area, located in Şenyuva Forest Planning Unit, was first surveyed using the conventional ground measurement method by sample plots. Then, it was scanned by mobile LiDAR with different walking routes. Produced point clouds were clipped with different shapes and sizes for feature extraction. Finally, the two datasets were compared for the same stand parameters. Regarding diameter at breast height (DBH), no significant difference was found between the LiDAR data and ground truth (p>0.05) for the entire area (1,834.4 m²). The difference between the datasets was less than 1 cm (~2%) based on the mean of the two data. The number of trees parameter was completely the same and the deviation in dominant tree height was less than 1 m (~1.5%). In conclusion, specific prescriptions were written out for practitioners, surveying different forest conditions. Accordingly, clipping the LiDAR data by 400-m² circles by scanning the plot from outside is the best option for practitioners who can accept an estimation error of about 10%. The practitioners, who need more precise estimates, should analyze the same data on the entire plot without clipping. If the plot size is greater than 1 ha, scanning within the stand would be necessary.

Keywords – Handheld mobile laser scanning (LiDAR), GeoSLAM Zeb Horizon, forest inventory, forest management, precision forestry

^{1*}  canvatandaslar@artvin.edu.tr

²  mzeybek@selcuk.edu.tr

³  suleymanbr@gmail.com

*Sorumlu Yazar / Corresponding Author: Can VATANDAŞLAR

1. Giriş

Orman kaynaklarının planlanması kapsamında gerçekleştirilen orman envanterlerinde örnek alanlardaki ağaçların sayısı, çapı, boyu gibi meşcere parametreleri ölçülmektedir. Bu ölçümlerin geleneksel arazi çalışmalarıyla gerçekleştirilmesi oldukça zor olmakta ve zaman almaktadır (Eraslan, 1982; Seki ve Sakici, 2021). Arazi çalışmaları, orman amenajman planı yenileme işinin en önemli masraf kalemini oluşturmaktadır. Diğer yandan, arazide meydana gelebilen insan kaynaklı hatalar (örn. ağaç kaçırma, yanlış ölçüm, kayıt hatası vb.) veri güvenilirliğini riske atabilmektedir. Dolayısıyla, orman envanteri çalışmalarında geçmişte olduğu gibi bugün de çeşitli uzaktan algılama kaynak ve yöntemlerinden sıklıkla yararlanılmaktadır (Asan, 2017; Ganivet vd., 2019; Ozkan vd., 2022).

Kızılötesi hava fotoğrafları ve çok bantlı uydu görüntüleri orman envanterlerinde geçmişten beri kullanılagelen optik uzaktan algılama kaynaklarıdır. Bu kaynaklardan genellikle alan envanterinde yararlanılmaktadır. Geniş orman arazileri yukarıdan görüntülenebildiği için özellikle ormanlık/ormansız alan hesabı, ağaç türü tespiti ve taslak meşcere haritalarındaki sınırların çizimi mümkün olmaktadır (OGM, 2017; Yurtseven ve Yener, 2019). Ayrıca, ağaçların tepe tacı genişliği, boyu ve çapı arasındaki allometrik ilişkilerden yararlanarak gövdenin yerden 1,30 m yükseklikteki göğüs çapı da tahmin edilebilmektedir. Ancak, tahmin modellerinin kurulabilmesi için yersel ölçümlere de ihtiyaç duyulmaktadır (Seki ve Sakici, 2021). Ozdemir (2008)'in gerçekleştirdiği çalışma, uydu görüntüleri üzerinden kurulan göğüs çapı tahmin modellerinin orman amenajman pratiğinde ihtiyaç duyulan doğruluk düzeylerine ulaşamadığını göstermektedir. İnsansız Hava Araçları (İHA) ile üretilen daha yüksek çözünürlüklü haritalarla tepe tacı modellerinin doğruluğunu arttırmak mümkünse de (Yılmaz ve Güngör, 2019), İHA uçuşlarıyla kapsanan alan miktarı oldukça sınırlıdır. Diğer yandan, bu uçuşları gerçekleştirecek ve verileri analiz edecek teknik personel eksikliği de ülkemizde önemli bir kısıt oluşturmaktadır. Bu nedenlerle, İHA haritalama tekniği Türkiye'de orman işletme şefliği bazında gerçekleştirilen planlama ve envanter çalışmalarında tercih edilmemektedir.

Uzaktan algılama ve robotik teknolojilerinin hızla gelişmesi sonucunda lazer tarama (LiDAR) sistemleri de küçülmüş ve oldukça yaygınlaşmıştır. Günümüzde havasal, yersel statik, yersel mobil ve hatta akıllı cep telefonlarına entegre edilmiş birçok LiDAR cihazı bulunmaktadır. Havasal LiDAR sistemleri, nokta yoğunluğunun az olması ve lazer sinyallerinin ormanın alt tabakalarına yeterince nüfuz edememesi nedeniyle ağaç sayısı ve göğüs çapı bilgisinin doğrudan çıkarımında yetersiz kalmaktadır. Yersel statik LiDAR sistemleriyle yeterli nokta yoğunluğu oluşturabilmekte fakat bu sistemler, statik doğası gereği, aynı örnek alan içerisinde farklı kurulum noktalarına taşınarak birden çok kez veri alınmasına gereksinim duymaktadır. Tek seferde kesintisiz olarak toplanamayan nokta bulutu verilerinin bilgisayar ortamında birleştirilerek koordinatlandırılması da iş yükünü ve hata miktarını arttırmaktadır. Bu kısıtlılıklarından dolayı yersel statik sistemlerin orman envanteri amacıyla kullanımı pratik bulunmamaktadır. Mobil LiDAR sistemleri ise ormancılık uygulamaları için çok daha kullanışlı görülmektedir (Gollob vd., 2020; Vatandaşlar ve Zeybek, 2020; 2021). Çünkü hafif oluşları sebebiyle ormanda tek operatör tarafından rahatlıkla kullanılabilen ve de orman ağaçlarını yakından ve her yönden tarayabildiği için yeterli yoğunlukta nokta bulutu verisi oluşturabilmektedir. Diğer taraftan, bu cihazlardaki Eşzamanlı Konum Belirleme ve Haritalama (SLAM) algoritması, sistemin Küresel Konumlandırma Sistemi (GPS) sinyaline ihtiyaç duymadan lokal koordinat sisteminde haritalama yapabilmesine olanak tanımaktadır. Nitekim, son yıllarda özellikle el tipi mobil LiDAR'lar ile ülkemizde de araştırma ve uygulama çalışmaları yapılmaya başlanmıştır.

Türkiye'de gerçekleştirilen ilk çalışmada GeoSLAM Zeb-Revo cihazı Artvin-Merkez ormanlarında denenmiştir (Vatandaşlar ve Zeybek, 2020). İbrelili türlerin baskın olduğu dokuz örnek alan OGM (2017)'de belirtilen "ağaç serveti ve artım envanteri" yöntemine göre geleneksel olarak ölçülmüş ve devamında cihazla taranmıştır. Toplam 437 ağacın yersel ölçüm ve LiDAR verisinden üretilen göğüs çapları arasında anlamlı bir fark çıkmamıştır ($p>0.05$). Göğüs çapı değerleri arasında %97 şiddetinde pozitif yönlü korelasyon söz konusudur ($R=0.97$). Bu çalışmada ayrıca ağaç ve fidan sayısı, göğüs yüzeyi, hacim ve boy değerleri de

ölçülmüştür. Ağaç boyu hariç diğer meşcere parametreleri başarılı şekilde hesaplanmıştır. Yine aynı cihazla Trabzon'da gerçekleştirilen bir başka çalışmada yapraklı türlerin de bulunduğu saf ve karışık örnek alanlarda benzer ölçümler gerçekleştirilmiş ancak LiDAR verilerinden türetilen meşcere parametreleri yazılan otomasyon sistemiyle insan müdahalesi olmadan hesaplanmıştır (Vatandaşlar ve Zeybek, 2021). Bu çalışmada ayrıca tepe tacı ve diri örtünün kapalılık dereceleri de saptanmış ve haritalanmıştır. Geleneksel ve LiDAR'a dayalı envanter yöntemleriyle hesaplanan meşcere parametreleri arasındaki ortalama farklar %10'dan daha düşüktür. İki yöntemle ölçülen göğüs çapları arasındaki korelasyon ortalama %99'dur ($R=0.99$). Son olarak, Artvin-Şavşat'ta daha kapsamlı bir çalışma daha gerçekleştirilmiştir (Vatandaşlar vd., 2022). Bu çalışmada öncekilerden farklı olarak Orman Genel Müdürlüğü (OGM) Orman İdaresi ve Planlama Dairesi Başkanlığı'yla (OİPD) ortak çalışılarak Zeb-Horizon cihazı kullanılmıştır. Orman amenajman planları yenilenen bölgenin planlaması kapsamında orman amenajman başmühendisliğinin ormana dağıttığı örnek alanlar birlikte ziyaret edilmiştir. Teknik personelin OGM (2017) uyarınca geleneksel yöntemle ölçtüğü sahalar yeni nesil mobil LiDAR cihazıyla arazide taranmış ve büroda karşılaştırmalar yapılmıştır. Orman amenajman başmühendisliği, Amenajman Rehberlik ve Denetim Başmühendisi ve OİPD mühendis ve yöneticileriyle birlikte gerçekleştirilen ayrıntılı değerlendirmeler sonucunda hazırlanan teknik rapor, çalışma alanının Ekosistem Tabanlı Fonksiyonel Orman Amenajman Planı'nda yer almaktadır (OGM, 2022). Burada, orman amenajman başmühendisliğinin arazi ölçümleri mutlak doğru kabul edilmiş ve buna göre mobil LiDAR cihazıyla; göğüs çapı 0,68 cm (%2,2), ağaç sayısı 14 adet/ha (%2,0), meşcere üst boyu 0,8 m (%3,4) ve meşcere hacmi 15,7 m³/ha (%24,6) ortalama hata değerleriyle hesaplanabilmiştir. Hacimdeki yüksek hata oranı, amenajman planında kullanılan tek girişli hacim tablosuyla hesaplanan gövde hacmi değerlerindeki sapmalara dayandırılmıştır (OGM, 2022).

Yukarıda farklı cihazlarla farklı arazi koşullarında ve onlarca meşcere tipinde gerçekleştirilmiş çalışmalar sonucunda mobil LiDAR ile envanter yönteminin genel olarak uygun olduğu görülmüş ve GeoSLAM Zeb-Horizon cihazının ormancılık uygulamaları için Zeb-Revo'ya nazaran daha kullanışlı olduğu değerlendirilmiştir. Bunun ana nedeni; iki cihazın aktif tarama menzilleri (mesafe) arasındaki önemli farklılıktır. Zeb-Horizon'un döner başlıklı kafasında bulunan sensör 360°'lik açıyla her yöne doğru 100'er m lazer ışını saçarken, Zeb-Revo'da bu değer yalnızca 20 m'dir. Vatandaşlar ve Zeybek (2021) cihazın kullanım kılavuzunda 20 m olarak belirtilen menzilin orman koşullarında aktüelde 12-13 m'ye kadar düştüğünü deneyimlemişlerdir. Dolayısıyla, Zeb-Revo ile ağaçlık çağındaki (≥ 20 cm) bireylerin boyunu başarılı şekilde ölçmek pek mümkün değildir. Zeb-Horizon cihazının kullanılması durumunda ise meşcere üstboyu 1 m'nin altında ortalama hatayla ölçülebilmektedir (Vatandaşlar vd., 2022). Tüm bu deneyim ve karşılaştırmalar sonucunda söz konusu cihaz OGM tarafından satın alınarak OİPD envanterine katılmıştır.

Görüldüğü gibi, mobil LiDAR cihazlarıyla orman envanteri hem dünyada hem de ülkemizde çalışılan güncel bir araştırma konusudur (Del Perugia vd., 2019; Gollob vd., 2020; Hyyppa vd., 2020; Vatandaşlar ve Zeybek, 2021). Ancak, ülkemizde yapılan mobil LiDAR çalışmaları OGM (2017)'de geleneksel yersel ölçümlere dayalı klasik envanter yöntemlerindeki örnekleme tasarımlarına göre planlanmaktadır. Diğer bir ifadeyle, aynı yaşlı meşcerelerde tepe kapallığı uyarınca 400 m², 600 m², 800 m² büyüklüğündeki dairesel örnek alanlar orman fonksiyonuna göre 300×300 m ya da 600×600 m aralık-mesafe ile ormana sistematik olarak dağıtılmaktadır. Bu örnek alanlara gidilerek hem geleneksel ölçüm hem LiDAR taraması gerçekleştirilmekte ve sonuçlar karşılaştırılmaktadır. Halbuki bu örnekleme tasarımı 1955 yılında yayınlanmış "*Orman Amenajman Planlarının Tanzimine ve Tatbikine Ait Talimatname*" (OGM, 1955)'den kalmaz ve klasik yersel envanter yöntemlerinin gereksinimlerine göre belirlenmiştir (Şahin vd., 2021). Mobil LiDAR'a dayalı envanter yöntemi, tamamıyla farklı örnekleme tasarımlarına gereksinim duyabilir. Yurtdışında bu konuyu araştırmak adına aynı ormanda farklı örnekleme tasarımları kurarak çoklu LiDAR taramaları yapıp optimal sonuca ulaşmaya çalışan denemeler mevcuttur (Del Perugia vd., 2019). Fakat ülkemizde bu konuyu araştıran bir çalışmaya henüz rastlanmamıştır. Dolayısıyla, ülkemizin kendine has doğal orman ekosistemlerinde farklı meşcere tipleri için optimal örnekleme tasarımlarının belirlenmesine ihtiyaç vardır. Bu sayede, OGM'nin 299

Mobil LiDAR uygulama çalışması Şenyuva OİŞ'nin 168 numaralı bölmesindeki bir bölmecikte gerçekleştirilmiştir (Şekil 1). Bölmeçiğin meşcere tipi Lcd3 ($\geq 70\%$ kapalılıkta, ince ve orta ağaçlık çağında, saf Ladin), alanı 17 ha, ortalama eğimi 24° 'tür. Aynı yaşlı maktalı orman formunda olan Lcd3 meşceresi VI. yaş sınıfındadır (100-120 yaş aralığında). Meşcerede ortalama 818 adet/ha ağaç bulunmaktadır. Meşcerenin hacmi $483 \text{ m}^3/\text{ha}$ ve hacim artımı ise $12 \text{ m}^3/\text{ha}$ 'dır. Meşcere kesime olgunluk çağına erişmiş olmasına rağmen orman amenajman planında Doğal Sit Alanları İşletme Sınıfı'nda olduğu için bakım blokunda yer almaktadır. Meşcerenin bulunduğu yetişme ortamının verim gücü I. bonitet sınıfı olarak saptanmıştır.

2.2. Mobil LiDAR Cihazının Özellikleri

Bu çalışmada, SLAM algoritmasına sahip bir el tipi mobil LiDAR sistemi olan GeoSLAM Zeb-Horizon cihazı kullanılmıştır (GeoSLAM, 2022). Yeni nesil cihazın veri toplama hızı saniyede 300 bin, tarama menzili ise 100 m'dir. Bu değerler, geçmişte üretilmiş benzer cihazlara (Zeb1, Zeb-Revo, Zeb-Revo-RT) göre yaklaşık beş kat daha fazladır. Cihaz temel olarak iki kısımdan oluşmaktadır: *i*) Elde tutulan döner başlıklı kısım ve *ii*) Veri kaydedici (Şekil 2). Birinci kısım 1,3 kg ağırlığındadır ve üzerinde VLP-16 marka lazer sensörü bulunur (VLP16, 2022). Sensör 16 kanala sahiptir. Tek geri dönüş modunda saniyede 300 bin noktayı ölçmek için uçuş süresi (*time-of-flight*) prensibinden yararlanır. Lazer sinyallerinin dalga boyu 903 nm'dir. Elde tutulan kısımdaki diğer aparat ise atalet ölçme birimidir (*IMU*). Bu kısma tercihe bağlı olarak 4K çözünürlüklü harici kamera da ayrıca entegre edilebilmektedir. Kamera sayesinde, taramayla eşzamanlı olarak video kaydı yapılmaktadır.



Şekil 2. Çalışmada kullanılan mobil LiDAR cihazının görünümü

Cihazın ikinci kısmı veri kaydedicisinden (*data logger*) oluşmaktadır. Veri kaydedici 2,4 kg olup işlem birimi, disk deposu (120 GB SSD) ve bataryadan (aralıksız çalışma süresi 3,5 saat) ibarettir. Aktarım kablosu sayesinde birinci bölümle iletişim sağlanır. Ölçülen ham veriler dakikada ortalama 150 MB boyutunda yer kaplar. Bu verinin aktarımı için USB 3.0 bağlantı noktası kullanılır (GeoSLAM, 2022; Gollob vd., 2020). GeoSLAM Türkiye distribütörü, Zeb-Horizon cihazının 2022 yılı için satış fiyatının 45 bin Avro (+ KDV) olduğunu bildirmektedir.

Zeb-Horizon ile veri alım işlemi atalet ölçme biriminin çalışmasıyla başlar. Bu durumda cihazın ilk çalıştırıldığı noktanın, kartezyen koordinat sistemindeki x , y , z eksen değerlerine 0 atanır. Diğer bir ifadeyle, üç boyutlu (3B) nokta bulutlarının orijin noktası burası olur. Orijin noktası belirlendikten sonra, LiDAR sensörünün bulunduğu döner başlığın harekete geçmesi ile tarama işlemi devam eder. Başlangıç noktasına (orijine) geri dönerek döngü (*loop*) tamamlandığında tarama işlemi de sonlandırılır (GeoSLAM, 2022).

2.3. Arazi Ölçümleri

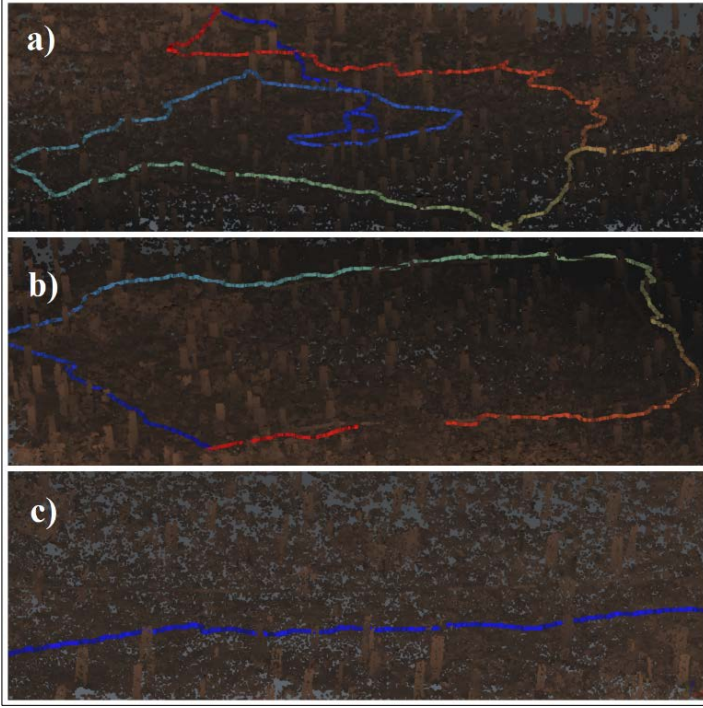
Sahada öncelikle geleneksel ağaç serveti ve artım envanteri (OGM, 2017) gerçekleştirilmiştir. Bu kapsamda $1.834,4 \text{ m}^2$ 'lik alan emniyet şeridiyle çevrilmiş (Şekil 3a) ve içine giren $\geq 8 \text{ cm}$ çapa sahip tüm ağaçlara

tebeşirle numara verilmiştir. Numaralandırılan ağaçların göğüs çapı Haglöf çelik kumpas ile mm hassasiyetinde ve çift taraflı olarak ölçülmüştür. İki ölçümün ortalaması, ağaç türü ve ağaç numarası ile birlikte envanter karnesine kaydedilmiştir. Diğer taraftan, emniyet şeridiyle çevrili sahadaki en boylu ağacın boyu da arazide geleneksel yöntemle ölçülmüştür. Hakim ağaç boyu ölçülürken Vertex IV dijital hipsometre kullanılmıştır. Bunun için, hipsometrenin transponder'ı ağaç gövdesine asılmış ve operatörle ağaç arasındaki mesafe belirlenmiştir. Daha sonra ağacın dibine ve tepe ucuna rasat yapılmıştır. İki ölçüm arasındaki fark cihaz tarafından cm hassasiyetinde hesaplanmakta ve dijital ekrandan okunmaktadır. Tüm ölçümlerde OGM (2017)'de ayrıntılarıyla belirtilen usul ve esaslara uyulmuştur.



Şekil 3. Emniyet şeridiyle çevrilmiş çalışma sahası (a), mobil LiDAR cihazıyla sahanın taranması (b)

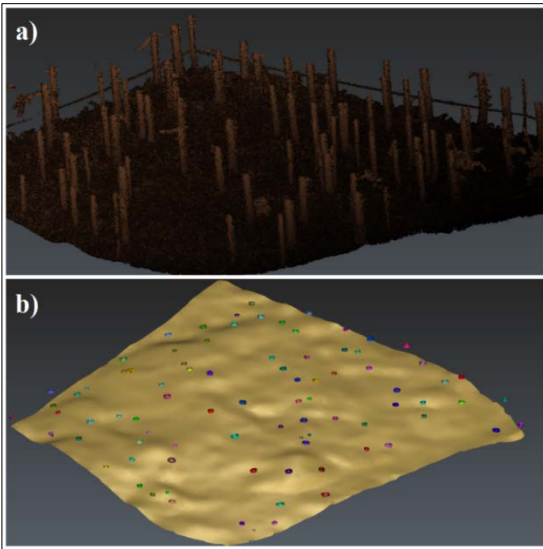
İkinci aşamada, aynı saha GeoSLAM Zeb-Horizon ile üç farklı şekilde taranmıştır (Şekil 3b). Sahanın etrafı emniyet şeridiyle çevrili olduğu için ve bu şeritler LiDAR verisinde belirgin şekilde gözüktüğü için taramalarda ilaveten hedef obje (örn. top, ayna, kazık vb.) kullanılmamıştır. İlk tarama işlemi cihaz çalıştırıldıktan sonra tek operatör ile emniyet şeridiyle sınırlanmış saha içerisinde serbest yürüyüş gerçekleştirilmiştir (Şekil 4a). Operatör saha sınırlarının dışına çıkmamak kaydıyla bölmecik içinde rastgele dolanmış ve taramayı sonlandırmıştır. İkinci taramada, aynı operatör bu sefer sahanın içine girmeden dışarıdan etrafını dolaşmıştır (Şekil 4b). Bu esnada cihazın sensörü saha merkezine bakacak şekilde tutulmuştur. Sahanın dışından tur atılarak yeniden başlangıç noktasına gelindiğinde tarama sonlandırılmıştır. Üçüncü taramada ise, yaklaşık 40 m uzunluğunda bir deneme şeridi boyunca yürünerek veri alımı yapılmıştır (Şekil 4c). Sahanın bir kenarından düz bir hat boyunca ilerleyen operatör 60 sn içinde taramayı sonlandırmıştır. Tüm taramalar tamamlandıktan sonra ham veri setleri USB diske aktarılmıştır.



Şekil 4. Farklı tarama güzergahlarının 3B nokta bulutu üzerinde gösterimi: saha içinden tarama (a), saha dışından tarama (b) ve deneme şeridi taraması (c)

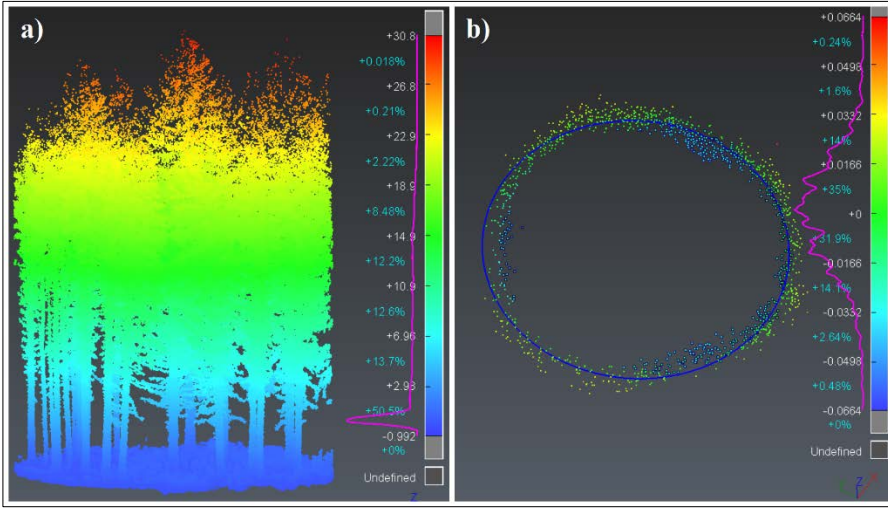
2.4. Veri İşleme

USB diskten bilgisayara aktarılan ham verilerin öncelikle *GeoSLAM Hub* programıyla ön işleme yapılmıştır. “.las” uzantılı 3B nokta bulutu *3DReshaper* programında açılmıştır. Örnek alan sınırlarını oluşturan emniyet şeridi yoğun nokta bulutu üzerinde görülebildiği için veri buradan kesilmiştir (Şekil 5a). Kesilen veride orman tabanına (topografya) ve vejetasyona ait noktalar sınıflandırılarak normalleştirme yapılmıştır. Topografyaya ait noktalarla yüzey (*mesh*) modeli üretilmiştir (Şekil 5b). Daha sonra yüzey modeli referans kabul edilerek, diğer vejetasyon noktalarının yükseklikleri hesaplatılmıştır. Bu sayede arazi eğiminin etkisi ortadan kaldırılarak ağaç boyları ölçülebilmektedir (Şekil 6a).



Şekil 5. 3B nokta bulutu verisinin saha etrafına çevrilmiş emniyet şeritleri üzerinden kesilmesi (a), aynı sahanın topografyası ve üzerindeki ağaçların sınıflandırılmış $d_{1,30}$ kesitleri (b)

Bir sonraki aşamada ağaç konumları ve göğüs çapları belirlenmiştir. Bunun için zeminden 1,27 m ve 1,33 m yükseklikleri (ortalaması göğüs yüksekliğine -1,30 m- denktir) arasında ince bir kesit alınmıştır. Ağaç gövdeleri bu kesitlerde çember şeklinde görünmektedirler (Şekil 5b). Her bir çember segmentasyon yöntemiyle mesafeye bağımlı olarak birbirinden ayrılmış ve gövdeler sınıflandırılmıştır. Her birine ayrı numara verilen gövdelere “en küçük kareler” yöntemiyle daire oturtma işlemi yapılmıştır (Şekil 6b). Daire merkezlerinin ağaç gövdesinin merkezi olduğu düşünülerek ağaçlar haritalanmıştır. Dairenin çapı ise göğüs yüksekliğindeki çap ($d_{1.30}$) değerini vermektedir.



Şekil 6. Hakim ağaç boyunun çıkarımı (a), göğüs yüksekliğinden alınmış gövde enkesitlerine en küçük kareler yöntemiyle otomatik daire oturtma suretiyle çap çıkarımı (b)

2.5. İstatistik Analizler

Akalp (2016) ormancılıkta ölçümle elde edilen verilerin normal dağılıma uyma koşulunu analiz etmek için veri setlerine ayrı ayrı Kolmogorov-Smirnov testinin yapılmasını önermektedir. Bu çalışmada da, saha içindeki tüm ağaçlara ait geleneksel arazi envanteri ölçümü ve mobil LiDAR cihazı ile belirlenen göğüs çapı değerlerinin normal dağılım gösterip göstermediğini anlamak için Kolmogorov-Smirnov testi tercih edilmiştir. Diğer yandan Kalaycı (2009) ise iki grup arasında istatistiki olarak anlamlı bir ilişkinin olup olmadığını saptamak için parametrik testlerden eşleştirilmiş t testinin kullanılmasını önermektedir. Dolayısıyla, normal dağılım gösterdiği saptanan veri setlerine bu test uygulanmıştır. Böylece aynı ağaçlara ait çapların farklı yöntemlerle ölçülmesi ile elde edilen sonuçlar arasında önemli bir fark olup olmadığı ortaya çıkarılmıştır. Tüm testler SPSS programında %95 güven düzeyinde ($p < 0.05$) gerçekleştirilmiştir.

3. Bulgular ve Tartışma

3.1. Göğüs Çapı ($d_{1.30}$)

Farklı envanter yöntemleri ve deneme desenlerinde toplanan verilerden türetilmiş meşcere parametrelerine ilişkin değerler Tablo 1’de karşılaştırmalı olarak gösterilmektedir. Eşleştirilmiş t testi sonucunda, geleneksel arazi ölçmelerine dayalı oluşturulan envanter karnesindeki çap değerleri ile tam alanda (~0,2 ha) sahanın içinden ve dışından yapılan taramalarla çıkarılan çaplar arasında anlamlı bir fark görülmemiştir (sırasıyla $p=0,69$ ve $p=0,89$; $t=-0,406$ ve $t=0,135$; S.H.=1,96 ve S.H.=1,99). Geleneksel yöntemle ölçülen çaplar referans (mutlak doğru) kabul edilirse, içerden ve dışardan taranan LiDAR verilerindeki ortalama çaplardaki sapma maksimum +0,8 cm (~%2) kadardır. Saha dışından yapılan taramayla elde edilmiş ortalama çap değeri referans veriye daha yakın çıkmıştır. Diğer taraftan, içeriden ve dışarıdan yapılan taramalardan elde edilen çap değerleri kendi aralarında da anlamlı bir fark göstermemiştir ($p=0.59$). Dolayısıyla, tam alanın içeriden ya da dışarıdan

taranması ile ulaşılan göğüs çapına ilişkin sonuçlar arasında istatistik olarak önemli bir fark olmadığı tespit edilmiştir ($p>0.05$).

Tablo 1

Farklı veri setlerine göre bazı meşçere parametrelerine ilişkin değerler

Veri kaynağı ve örnekleme tasarımı	Veri kapsamı	Alan büyüklüğü (m ²)	Min. çap (cm)	Maks. çap (cm)	Ort. çap (cm)	Ağaç sayısı (adet)	Birim alandaki ağaç sayısı (adet/ha)	Hakim ağaç boyu (m)
Geleneksel arazi ölçümü *	Tam alan	1.834,4	9,1	66,0	40,1	100	545	34,5
Saha içinden LiDAR ile tarama	Tam alan	1.834,4	10,1	67,4	40,9	100	545	32,6
Saha dışından LiDAR ile tarama	Tam alan	1.834,4	9,0	67,3	39,8	100	545	34,0
Saha içinden LiDAR ile tarama	Kesilmiş veri	400,0	13,1	63,3	40,7	21	525	30,8
Saha içinden LiDAR ile tarama	Kesilmiş veri	600,0	13,3	63,3	37,0	31	516	31,9
Saha içinden LiDAR ile tarama	Kesilmiş veri	800,0	13,4	65,2	39,6	39	487	32,2
Saha dışından LiDAR ile tarama	Kesilmiş veri	400,0	17,2	62,4	41,6	21	525	30,4
Saha dışından LiDAR ile tarama	Kesilmiş veri	600,0	14,2	63,4	39,2	31	516	31,2
Saha dışından LiDAR ile tarama	Kesilmiş veri	800,0	9,8	67,8	39,5	40	500	32,2
Deneme şeridi boyunca LiDAR ile tarama	Kesilmiş veri	420,0	20,2	59,8	43,0	24	571	31,7

* Geleneksel arazi ölçümü; kumpas ve hipsometreyle yersel olarak ölçülüp envanter karnesine kaydedilen kayıtlara dayanmaktadır. Bu ölçüm değerlerinin referans (mutlak doğru) olduğu varsayılmış ve diğer veri setleri referansla karşılaştırılmıştır.

Sahanın içinden taranıp 400 m², 600 m², 800 m²'lik daireler şeklinde kesilmiş verilerden türetilen çap değerleri incelendiğinde, ortalama çaplar arasındaki en büyük sapmanın 600 m²'lik alanda meydana geldiği anlaşılmıştır (Tablo 1). Ortalama çaptaki sapma miktarı -3,1 cm'dir. En küçük sapma ise 800 m²'lik alanda -0,5 cm olarak bulunmuştur.

Sahanın dışından taranıp daire şeklinde kesilen verilerden türetilen ortalama çaplar açısından değerlendirme yapıldığında, benzer bir durumla karşılaşılmıştır. 800 m² büyüklüğünde kesilen verinin ortalama çapı referans veriye en yakın bulunmuştur. Aradaki sapma -0,6 cm kadardır (Tablo 1). Bu sapma miktarı yaklaşık olarak %1,5'lik farka karşılık gelmektedir.

Son olarak, 40 m uzunluğundaki şerit boyunca yapılan taramadan çıkan ortalama çap değeri ile referans veri arasındaki sapma +2,9 cm olarak hesaplanmıştır. Diğer veri setlerine nazaran daha yüksek bulunan sapma miktarı verinin alındığı şerit içerisindeki ağaçların genel sahayı iyi bir şekilde temsil etmemesiyle ilişkilendirilebilir. Diğer bir neden ise; şerit büyüklüğünün (420 m²) yetersizliği olabilir. Bununla birlikte, sapma oranı artı yönde %8 civarındadır. Orman amenajmanı pratiğinde, örnek alan ölçeğinde yapılan ölçümlerde artı ya da eksi yönde %10'un altında kalan hata oranlarının kabul edilebilir nitelikte olduğu bildirilmektedirler (Qiu vd., 2018; Hyyppä vd., 2020; Vatandaşlar ve Zeybek, 2021).

3.2. Ağaç Sayısı (N)

Bu çalışma kapsamında göğüs çapı dışında ölçülen alandaki ağaç sayısı, birim alandaki (ha) ağaç sayısı ve hâkim ağaç boyu parametreleri de tespit edilmiştir (Tablo 1). Birim alandaki ağaç sayısı parametresi, örnek alanlardaki ağaç sayılarının ilgili örnek alanın hektara çevirme katsayısı ile çarpılması suretiyle hesaplanmıştır. Tam alandaki ölçümlerde, ağaç sayısı açısından referans veri ile sahanın içi ve dışından taranan LiDAR verileri arasında fark yoktur. Her bir yöntem de sahada toplam 100 ağacın bulunduğunu tespit etmiştir. Bu sayı hektara çevirme katsayısıyla (5,45) çarpıldığında, birim alanda 545 ağacın bulunduğu hesaplanmıştır.

İçeriden yapılan mobil LiDAR taramalarından farklı büyüklüklerde kesilmiş verilerden belirlenen ağaç sayıları karşılaştırıldığında, referans veriye en yakın sonucun 400 m² daire şeklinde kesilmiş veri ile üretildiği anlaşılmaktadır (Tablo 1). Birim alandaki ağaç sayıları arasındaki sapma -20 edettir. Sapma oranı eksi yönde yaklaşık %4'e tekabül etmektedir.

Dışarıdan yapılan taramalarda ise en başarılı sonuca yine 400 m²'lik alanda ulaşılmıştır. Sapma miktarı ve oranı içten taramayla aynıdır. Bu bulguya ve Tablo 1'deki diğer değerlere dayanarak, birim alandaki ağaç sayısı açısından 400 m² ile 600 m²'lik alanlarda içeriden ya da dışarıdan tarama yapmak arasında bir fark yoktur sonucuna ulaşılabilir. Ancak, 800 m²'lik alanda sonuçlar değişmiştir. Mobil LiDAR verileri görsel olarak incelendiğinde, bunun temel nedeninin alan büyüdükçe şüpheli sınır ağaçlarının sayısının artması olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Sınır ağaçlarının gövdesinin yarısından çoğu kesilmiş veri içerisinde kalsa da segmentasyon esnasında bu gövde kısımlarına ait az sayıdaki nokta silinebilmektedir.

Son olarak, şerit boyunca yapılan mobil LiDAR taraması ile referans veri karşılaştırılmış ve bu sefer sapmanın artı yönlü olduğu tespit edilmiştir (Tablo 1). Referans verideki meşcere sıklığı 545 adet/ha iken bu yöntemde hesaplanan sıklık 571 adet/ha'dır. Buradan, şerit boyunca kesilen LiDAR verisinin genel sahadan ve genel saha merkezi baz alınarak kesilen dairesel örnek alanlardan biraz daha sık bir lokasyona denk geldiği anlaşılmaktadır. Çünkü 3B nokta bulutları üzerinden görsel olarak yapılan değerlendirmede fazladan ağaç tespit etme gibi bir durumun söz konusu olmadığı görülmüştür.

3.3. Hakim Ağaç Boyu (h_{max})

Arazide geleneksel yöntemle ölçülmüş hakim ağaç boyu 34,5 m'dir. Tam alanda mobil LiDAR ile saha içinden ve dışından yapılan ölçümlerde bu parametre sırasıyla 32,6 m ve 34,0 m olarak bulunmuştur (Tablo 1). Dolayısıyla, sahanın dışından yapılan ölçümün sapması 1 m'nin altındadır. Hâkim ağaç boyundaki sapma oranı ise yaklaşık -%1,5'tir. Her iki LiDAR ölçümünde de sapmanın düşük çıkması kullanılan cihazın tarama menziliyle ilişkilidir. Geçmişte maks. 20 m menzilde tarama yapabilen Zeb-Revo cihazıyla gerçekleştirilen boy ölçümlerinde %50'yi aşan sapma oranları (Vatandaşlar ve Zeybek, 2020), Zeb-Horizon'un 100 m'lik menziliyle kabul edilebilir seviyelere inmiştir. Saha dışından yapılan taramanın içeriden yapılan taramaya nazaran daha doğru sonuç üretmesi ise meşcerenin kapalılığı ile ilgilidir. %100 kapalılıktaki Lcd3 meşceresindeki en boylu ağacın tepesinin meşcere içinden görülebilmesi zor olmaktadır. Dolayısıyla, mobil LiDAR cihazından saçılan lazer ışınları diğer ağaçların tepelerine çarparak hakim ağacın tepe ucuna ulaşamamıştır. Dışarıdan yapılan taramada ise sahanın dört bir tarafı dolaşmakta ve lazer ışınları bazı açıklıklardan tepe ucuna mutlaka isabet etmektedir.

İçeriden taranmış ve kesilmiş verilerden türetilen sonuçlar değerlendirildiğinde, en doğru sonucun -2,3 m'lik sapma ile 800 m²'lik alandan elde edildiği görülmüştür (Tablo 1). Bunun nedeninin, mobil LiDAR cihazından ziyade hakim ağacın kesilen alan içerisinde yer almamasından kaynaklandığı düşünülmektedir. Saha dışından taranmış ve aynı büyüklüklerde kesilmiş verilerde de sonuç aynıdır.

Son olarak, şerit boyunca yapılan tarama verisi üzerinden hâkim ağaç boyunun 31,7 m olarak hesaplandığı görülmüştür (Tablo 1). Referans verisinden sapma miktarı -2,8 m'dir. Sapma oranı 800 m²'lik alanlarınkinden biraz daha fazla olsa da (~%8), bu miktarlar orman envanterleri için kabul edilebilir düzeydedir. Qiu vd. (2018)

uzaktan algılamayla tahmin edilen orta çap ve gövde hacmi değerleri için sırasıyla %15 ve %25 hataya izin verilebildiğini belirtmektedir.

3.4. Genel Değerlendirme

Orman amenajmanı ve hasılat çalışmalarında önemli yer tutan meşcere parametrelerinden göğüs çapı, birim alandaki ağaç sayısı ve hakim ağaç boyunun (Seki ve Sakici, 2021) mobil LiDAR yöntemiyle ölçümünde en doğru sonucun tam alanın dışarıdan taranmasıyla elde edildiği değerlendirilmiştir. Ancak, bu çalışmada uygulama gerçekleştirilen tam alanın büyüklüğü yaklaşık 50×40 m kenar uzunluklarına sahip bir yamuk şeklindedir. Dolayısıyla, kullanılan LiDAR cihazının tarama menziline (100 m) aşan büyüklüğe sahip bölmeciklerde yapılacak uygulamalarda dışarıdan tarama yöntemi işe yaramayabilir. Diğer taraftan, taranan meşcere tipinin yapısal özellikleri de sonuçların doğruluğu üzerinde büyük rol oynamaktadır. Örneğin Vatandaşlar vd. (2022) tarafından Şavşat'ta yapılan son çalışmada; gençlik, sıklık, sırkılık çağındaki meşcereler, orman tabanında yoğun diri örtü bulunan sahalar ve baltalık işletmelerindeki gibi ocak şeklinde büyüme gösteren ağaççıkların olduğu yerler “zor örnek alan” olarak tanımlanmakta ve mobil LiDAR ile envanter yönteminin buralarda pek verimli olmadığı belirtilmektedir. Bu çalışmada ise diri örtü probleminin bulunmadığı iyi bonitetli bir sahada, düzgün gövdeli, ince-orta ağaçlık çağındaki saf bir meşcerede çalışılmıştır. Ağaçların nispeten kalın oluşu gövdeye daha fazla LiDAR noktası düşmesine neden olmaktadır. Böylece ağaç formu daha iyi temsil edilmiştir. Düzgün gövdeli ağaçlarda ise 3B nokta bulutu verisinde parazit (gürültü) oluşma ihtimali düşmektedir. O nedenle, dışarıdan taramayla daha doğru ve stabil sonuçlar elde edilmiş olabilir. Diğer bir anlatımla, zor örnek alanlarda ve farklı meşcere tiplerinde sahanın dışından yapılacak bir taramanın bu çalışmadaki gibi en başarılı sonucu üretmesi garanti değildir. Nitekim, birçok ormancılık araştırmasında olduğu gibi mobil LiDAR ile orman envanteri araştırmalarının sonuçları da alana özgüdür. Dolayısıyla, ülkemizin farklı bölgelerindeki ormanlarda benzer çalışmalar yürütülerek sonuçları ayrı ayrı raporlanmalıdır. Bu yolla, araştırmacı kendi çalışacağı meşcere tipi ve yetiştirme ortamı koşullarına göre en uygun örnekleme tasarımını seçebilir.

Diğer yandan, orman amenajmanı ve planlama çalışmaları genellikle çok geniş alanlar üzerinde yapıldığı için verinin doğruluk düzeyinden bir miktar ödün verilerek pratiklik ve hızın artırılması da bir seçenek olarak düşünülmelidir. Bu anlamda, arazideki veri alım süreleri, verinin boyutları ve veri analizi esnasında geçen süreler Tablo 2’de sunulmuştur. Tabloda mobil LiDAR ile yapılan envanter sayesinde arazide geçirilen sürenin en az beş kat kısaldığı görülmektedir. Önemli görülen bir diğer bulgu, kesilmiş LiDAR nokta bulutlarının hem boyutunun hem de analiz süresinin oldukça azalmış olduğudur (Tablo 2). Dolayısıyla, mobil LiDAR ile orman envanteri yapan bir uygulamacı tüm alanı (1.834,4 m²) kapsayan veri yerine daha küçük alanlar (400 m²–800 m²) için kesilmiş veri setleri üzerinde çalışmayı yeğleyebilir. Bu şekilde hem büro çalışmalarının süresi kısaltılmış olacak hem de veri boyutu küçüldüğünden bilgisayarın işlem yapma ve depolama kapasitesi artacaktır. Nitekim, özellikle düşük performanslı dizüstü bilgisayarlarda tam alan verisinin ön işlenmesi ve manuel olarak analiz edilmesi sorunlu olabilmektedir (Vatandaşlar ve Zeybek, 2021).

Tablo 2

Farklı veri setlerine ait işlem süresi ve dosya boyutları

Veri kaynağı ve örnekleme tasarımı	Veri kapsamı	Alan büyüklüğü (m ²)	Veri boyutu (MB)	Veri alım süresi (dk)	Veri ön işleme süresi (dk)	Veri analiz süresi (dk)
Geleneksel arazi ölçümü *	Tam alan	1.834,4	–	50	–	–
Saha içi LiDAR ile tarama	Tam alan	1.834,4	1.342	10	29	30
Saha dışı LiDAR ile tarama	Tam alan	1.834,4	796	6	22	26

Tablo 2

Farklı veri setlerine ait işlem süresi ve dosya boyutları (devam ediyor)

Veri kaynağı ve örnekleme tasarımı	Veri kapsamı	Alan büyüklüğü (m ²)	Veri boyutu (MB)	Veri alım süresi (dk)	Veri ön işleme süresi (dk)	Veri analiz süresi (dk)
Saha içi LiDAR ile tarama	Kesilmiş veri	400,0	156	10	6	10
Saha içi LiDAR ile tarama	Kesilmiş veri	600,0	212	10	8	13
Saha içi LiDAR ile tarama	Kesilmiş veri	800,0	265	10	10	15
Saha dışı LiDAR ile tarama	Kesilmiş veri	400,0	30	6	4	8
Saha dışı LiDAR ile tarama	Kesilmiş veri	600,0	48	6	5	11
Saha dışı LiDAR ile tarama	Kesilmiş veri	800,0	70	6	6	13
Deneme şeridi boyunca LiDAR ile tarama	Kesilmiş veri	420,0	322	1	13	10

* Geleneksel arazi ölçümü; kumpas ve boyölçerle yersel olarak ölçülüp envanter karnesine kaydedilen kayıtlara dayanmaktadır. Bu ölçüm değerlerinin referans (mutlak doğru) olduğu varsayılmış ve diğer veri setleri referansla karşılaştırılmıştır.

Meşcere içerisinden belli uzunluktaki bir deneme şeridi (hat) boyunca yürünerek tarama yapılması da özellikle ekolojik ve sosyokültürel fonksiyonlara ayrılmış eğimli araziler için rasyonel bir seçenek olabilir. Bu durumda, veri alım (tarama) süresi 1 dk'ya inmektedir. Veri boyutu ve analiz süresi ise şerit uzunluğuna ve şeridin bir ya da iki yanından atılacak tampon bölge genişliğine göre değişecektir. Bu çalışmada yaklaşık 40 m uzunluğundaki şeride tek yönlü 10 m genişliğinde tampon atılmıştır. Böylece, ham veri ön işlendikten sonra kesilen nokta bulutu içerisine giren ağaçların çapları, sayısı ve hakim ağacın boyu 10 dk içinde çıkarılabilmektedir (Tablo 2). Şerit boyunca mobil LiDAR envanteri yapmayı tercih eden uygulamacının elde edeceği sonuçlar, diğer envanter seçeneklerine nazaran biraz daha düşük doğruluklu olacaktır (Tablo 1). Ancak, karşılaşılan sapma oranları hiçbir meşcere parametresinde %10'un üzerine çıkmamıştır. Daha önce de belirtildiği gibi, %10'luk hata oranı orman amenajmanı ve planlama çalışmaları için yeterli görülmektedir (Qiu vd., 2018; Hyyppä vd., 2020; Vatandaşlar ve Zeybek, 2021).

4. Sonuç ve Öneriler

Bu çalışmada, mobil LiDAR ile gerçekleştirilen orman envanterlerinde farklı örnekleme tasarımlarından (tam alan, örnek alan ve deneme şeridi) ve farklı alan büyüklüklerinden (400 m²-1.834 m²) elde edilen verilerin doğruluğu ve iş verimliliğine etkisi araştırılmıştır. Verinin hassasiyeti açısından en başarılı sonuçlara, sahanın genelinde (tam alanda) yapılan mobil LiDAR taramalarıyla ulaşılabileceği sonucuna varılmıştır. Tam alanda yapılacak envanterlerde taramanın saha içinden ya da dışından yapılmasının sonucu önemli ölçüde etkilemediği görülmüştür. Ancak, mobil LiDAR ile orman envanterlerinde veri hassasiyeti yanı sıra işin pratik şekilde görülmesi de önem arz etmektedir. O nedenle, farklı koşullarda çalışan uygulamacılara yönelik spesifik reçeteler hazırlanmış ve aşağıda sunulmuştur;

Reçete (1): Uygulamacıların meşcere orta çapı, birim alandaki ağaç sayısı ve meşcere üst boyu parametreleri için yaklaşık $\pm\%10$ 'luk hata payına katlanabildiği durumlarda;

- Örneklenecek meşcere, sahanın dışından (etrafından) merkeze dönük biçimde yürünerek taranmalı,
- Üretilen 3B nokta bulutu verisi meşcereyi temsil ettiği düşünülen lokasyondan 400 m²'lik bir daire şeklinde kesilmeli,
- Manuel analizler kesilmiş veri üzerinden yapılmalıdır.

Böylelikle, hem arazide ve büroda harcanan sürenin kısıllacağı, hem de veri boyutunun önemli ölçüde azalacağı düşünülmektedir.

Reçete (2): Uygulamacıların ulusal orman envanteri, hasılat araştırmaları ya da dikili satış uygulamalarındaki verim yüzdesi hesabı gibi daha hassas ölçümlere ihtiyaç duyduğu ve $\pm 10\%$ 'luk hata payını kabul etmediği durumlarda;

- Örneklenecek meşcere emniyet şeridiyle çevrilmeli (maks. 1 ha),
- Emniyet şeridinin hemen dışından merkeze dönük şekilde tarama yapılmalı,
- 3B nokta bulutu, veride gözüken emniyet şeritleri sınır kabul edilerek kesilmeli,
- Manuel analizler bu veri (tam alan) üzerinden yapılmalıdır.

Böylece, çalışma zamanının artacağı, veri boyutunun büyüyeceği ve fakat veri kalitesinin yükseleceği öngörülmektedir. Bu reçetede, çok büyük veri setleri (*big data*) için çeşitli otomasyon yazılımları ya da hazır kodlardan da yararlanılabilir.

Reçete (3): Uygulamacı hem çok hassas ölçüme ihtiyaç duyuyor hem de 1 ha'dan büyük sahalarda çalışma zorunluluğu var ise; *Reçete (2)*'deki öneriler sahanın içindeki ağaçların arasında dolaşarak tarama yapmak suretiyle gerçekleştirilmelidir.

Sonuç itibarıyla, bu çalışmada önerilen reçeteler ve üretilen diğer bilgiler uygulama gerçekleştirilen sahaya (Şenyuva-Çamlıhemşin) ve ilgili meşcere tipine (Lcd3) özgüdür. Farklı yetiştirme ortamı koşullarına sahip diğer ağaç türlerinde gerçekleştirilecek uygulamalarda daha farklı sonuçlara ulaşılması ihtimali her zaman söz konusudur. O nedenle, araştırmacıların Türkiye'nin diğer bölgelerinde de mobil LiDAR ile benzer uygulamalar yaparak sonuçlarını raporlamaları ulusal orman kaynaklarımızın izlenmesi ve uluslararası "hassas ormancılık" literatürüne katkı sunulması anlamında faydalı olacaktır.

Teşekkür

Mobil LiDAR cihazının deneme amaçlı teminini sağlayan *Geomatics Group*'a ve arazi çalışmalarına katılan Harita Müh. Melih Ergün'e teşekkür ederiz.

Yazar Katkıları

CV: Veri toplama, veri analizi, istatistiksel analiz, analizlerin yorumlanması, makale yazımı.

MZ: Çalışmanın temel tasarımı, veri toplama, veri analizi, makale yazımına katkı.

SB: Çalışma alanının seçimi, arazi çalışmalarının planlanması, veri toplama, makale yazımına katkı.

Çıkar Çatışması

Yazarlar çıkar çatışması bildirmemişlerdir.

Kaynaklar

- Akalp, T. (2016). *İstatistik Yöntemler*. İstanbul Üniversitesi Yayınları: İstanbul, 460 s.
- Asan, Ü. (2017). *Orman Amenajmanı (Planlama Sistemleri)*. İstanbul Üniversitesi Yayınları: İstanbul, 434 s.
- Del Perugia, B., Giannetti, F., Chirici, G., Travaglini, D. (2019). Influence of scan density on the estimation of single-tree attributes by hand-held mobile laser scanning. *Forests*, 10(3), 277.
- Eker, M., Özer, D. (2015). Üretim işlerinde hassas ormancılık yaklaşımı: Kavramsal çerçeve. *Türkiye Ormancılık Dergisi*, 16(2), 184-194.
- Eraslan, İ. (1982). *Orman Amenajmanı*. İstanbul Üniversitesi Yayınları: İstanbul, 581 s.
- Ganivet, E., Bloomberg, M. (2019). Towards rapid assessments of tree species diversity and structure in fragmented tropical forests: A review of perspectives offered by remotely-sensed and field-based data. *Forest Ecol Manag*, 432, 40-53.
- GeoSLAM (2022). GeoSLAM Zeb-Horizon Handheld Mobile LiDAR. GeoSLAM Ltd., Nottingham, Birleşik Krallık, <https://geoslam.com/solutions/zeb-horizon/> (06.02.2022).

- Gollob, C., Ritter, T., Nothdurft, A. (2020). Forest inventory with long range and high-speed personal laser scanning (PLS) and simultaneous localization and mapping (SLAM) technology. *Remote Sensing*, 12(9), 1509.
- Hyypä, E., Kukko, A., Kaijaluoto, R., White, J. C., Wulder, M.A., Pyörälä, J., Liang, X., Yu, X., Wang, Y., Kaartinen, H., Virtanen, J-P., Hyypä, J. (2020). Accurate derivation of stem curve and volume using backpack mobile laser scanning. *ISPRS J. Photogramm. Remote Sens.*, 61, 246-262.
- Kalaycı, Ş. (2009). *SPSS Uygulamalı Çok Değişkenli İstatistik Teknikleri*. Asil Yayınevi: Ankara, 426 s.
- MGM (2015). Ardeşen İklim İstasyonu'na ait 1975-2015 yılları arası meteoroloji verileri. Meteoroloji Genel Müdürlüğü, Ankara.
- OGM (1955). Orman Amenajman Planlarının Tanzimine ve Tatbikine Ait Talimatname. Orman Genel Müdürlüğü, Ankara.
- OGM (2017). Ekosistem Tabanlı Fonksiyonel Orman Amenajman Planlarının Düzenlenmesine Ait Usul ve Esaslar (299 sayılı tebliğ-düzeltilmeli son baskı). Orman Genel Müdürlüğü Orman İdaresi ve Planlama Dairesi Başkanlığı, Ankara.
- OGM (2020). Şenyuva Orman İşletme Şefliği Ekosistem Tabanlı Fonksiyonel Amenajman Planı (2020-2039). Orman Genel Müdürlüğü Orman İdaresi ve Planlama Dairesi Başkanlığı, Ankara.
- OGM (2022). Karagöl-Sahara Milli Parkı Ekosistem Tabanlı Fonksiyonel Orman Amenajman Planı (2022-2041). Orman Genel Müdürlüğü Orman İdaresi ve Planlama Dairesi, Ankara.
- Ozdemir, I. (2008). Estimating stem volume by tree crown area and tree shadow area extracted from pan-sharpened Quickbird imagery in open Crimean juniper forests. *International Journal of Remote Sensing*, 29(19), 5643-5655.
- Ozkan, U. Y., Demirel, T., Ozdemir, I., Saglam, S., Mert, A. (2022). Predicting forest stand attributes using the integration of airborne laser scanning and Worldview-3 data in a mixed forest in Turkey. *Advances in Space Research*, 69, 1146-1158.
- Qiu, Z., Feng, Z., Jiang, J., Lin, Y., Xue, S. (2018). Application of a continuous terrestrial photogrammetric measurement system for plot monitoring in the Beijing Songshan national nature reserve. *Remote Sens.*, 10(7), 2072-4292.
- Seki, M., Sakici, O. E. (2021). Ecoregion-based height-diameter models for Crimean pine. *Journal of Forest Research*, 27(1), 36-44.
- Şahin, A., Çağlayan, İ., Büyük, H., Karademir, H., Aksu, A., Şahin, H. (2021). Türkiye'nin ilk orman planlama ünitesindeki teknik ve yapısal değişimlerin 100 yıllık değerlendirilmesi. *Ormanlık Araştırma Dergisi*, 9(1), 12-34.
- Vatandaşlar, C., Zeybek, M. (2020). Application of handheld laser scanning technology for forest inventory purposes in the NE Turkey. *Turk. J. Agric. For.*, 44(3), 229-242.
- Vatandaşlar, C., Zeybek, M. (2021). Extraction of forest inventory parameters using handheld mobile laser scanning: A case study from Trabzon, Turkey. *Measurement*, 177, 109328.
- Vatandaşlar, C., Zeybek, M., Çankaya, E. Ç., Demiraslan, T., Şahin, C., Gündüz, Y., Korkmaz, Ü., Avcı, M.L. (2022). El tipi mobil LiDAR teknolojisinin orman envanterlerinde kullanımı: Artvin-Şavşat örneği. *Ormanlık Araştırma Dergisi*, 9(1), 81-96.
- VLP16 (2022). VLP16 PuckTM Velodyne LiDAR sensörü. Velodyne LiDAR Inc, Morgan Hill, CA, Amerika Birleşik Devletleri, <https://velodynelidar.com/products/puck/> (06.02.2022).
- Yılmaz, V., Güngör, O. (2019). Estimating crown diameters in urban forests with Unmanned Aerial System-based photogrammetric point clouds. *International Journal of Remote Sensing*, 40(2), 468-505.
- Yurtseven, H., Yener, H. (2019). Using of high-resolution satellite images in object-based image analysis. *Eurasian Journal of Forest Science*, 7(2), 187-204.