

Yersel Lidar Verisinden 3DFin Yazılımı ile Ağaçların Göğüs Çapının Belirlenmesi

Determination of Diameter at Breast Height of Trees from Terrestrial Lidar Data with 3DFin Software

 Hayati Zengin¹

Özet

Göğüs çapı, orman envanterinde ölçülen en yaygın ve en önemli meşcere parametrelerinden birisidir. Orman envanterinde örnek alan içerisindeki tüm ağaçların ölçümü gereklidir. Zor arazi koşullarında envanterin en basit bu işlemi bile zor hale gelmektedir. Bu nedenle gelişen teknolojinin takip edilmesi ve orman envanterine entegrasyonu önemlidir. Yersel lidar tarama ile sağlanan üç boyutlu nokta bulutu verilerinden çeşitli ölçümler yapmak ve göğüs çapı gibi ağaç veya meşcereye ait bazı parametreleri bu verilerden sağlamak mümkün hale gelmektedir. Bu çalışmada Düzce Üniversitesi Yerleşkesi'nde yer alan meşe meşceresinden alınan örnek alan içerisine giren ağaçların çapları önce klasik yöntemle çapölçer vasıtasıyla ölçülmüş ve bulunan değerler daha sonra lidar verisinden hesaplanmış değerlerle karşılaştırılmıştır. Lidar verisinde tek ağaç bazında manuel ölçümler kolayca yapılabilmeyle birlikte örnek alan bazındaki çalışmalarda süreci otomatik hale getiren araçlar kullanmak verimliliği artırmaktadır. Bu çalışmada da nokta bulutundan ağaçların göğüs çaplarının belirlenmesi 3DFin yazılımı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Yapılan analizler sonucunda çap ölçer ve lidar ölçümleri arasında %95 güven düzeyinde anlamlı farklar bulunmadığı doğrulanmıştır.

Anahtar Kelimeler: Göğüs çapı, Nokta bulutu, Orman envanteri, Yersel lidar.

Abstract

Diameter at breast height is one of the most common and important stand parameters measured in forest inventory. In forest inventory, it is necessary to measure all trees within the sample area. In difficult terrain conditions, even this simple process of inventory becomes difficult. Therefore, it is important to follow the developing technology and integrate it into forest inventory. It is becoming possible to make various measurements from three-dimensional point cloud data provided by terrestrial lidar scanning and to provide some parameters of the tree or stand such as diameter at breast height from these data. In this study, the diameters of the trees within the sample area taken from the oak stand located in Düzce University Campus were first measured with a compass using the classical method and the values found were then compared with the values calculated from the lidar data. Although manual measurements can easily be made on a single tree basis in lidar data, using tools that automate the process in sample area-based studies increases efficiency. In this study, the determination of the diameter at breast height of trees from the point cloud was performed using 3DFin software. As a result of the analysis, it was confirmed that there were no significant differences between compass and lidar measurements at 95% confidence level.

Keywords: Diameter at breast height, Point cloud, Forest inventory, Terrestrial lidar.

1. Giriş

Ormanlar, ağaç türleri ile alt tabaka yanında çeşitli biyolojik bileşenler ve aralarındaki ekolojik ilişkiler ile karakterize edilen karmaşık ekosistemlerdir. Bu ekosistemlerde yapılacak olan envanter, orman kaynaklarının doğru bir şekilde ölçülmesini zorlaştıran çeşitli faktörler nedeniyle karmaşık ve zorlu bir süreçtir. Ayrıca, ormanın sürdürülebilirliği ile ilişkili sosyal ve ekonomik faktörler de ölçülmesi ve envanter değerlendirmelerine dahil edilmesi zor olan diğer karmaşık katmanlar ekleyerek süreci daha zor hale getirmektedir (Straka ve Layton, 2010). Bunun yanında, iklim değişikliği bağlamında orman ekosistemlerinin sürekli izlenmesi ihtiyacı, orman envanteri çalışmalarına bir başka katman daha eklemektedir. Ormanlar çevresel değişimler nedeniyle dönüşüm geçirdikçe, doğru ve güncel envanterlerin tutulması etkili yönetim ve politika formülasyonu için kritik hale gelmektedir (Ivanova vd., 2022). Orman ekosistemlerinin dinamik yapısını anlayabilmek ve yönetebilmek için karar verme süreçlerine zamanında veri sağlayabilen metodolojiler geliştirilmesi gerektirmektedir (Fitts vd., 2020).

Bir orman işletmesinin planlanması için gerekli zamanın ve giderlerin büyük kısmı envanter ve bilgi toplama çalışmaları için harcanmaktadır. Orman envanteri, sürdürülebilir orman yönetiminin kritik bir bileşeni olup ekolojik, ekonomik ve sosyal amaçlar için gerekli verileri sağlar. Ülkemizde orman envanterinin önemli bileşenlerinden bir tanesi de ağaç serveti ve artımı envanteridir. Geniş ormanlık alanlarda bu envanteri yürütmek geleneksel yöntemlerle oldukça zor ve zaman alıcıdır. Özellikle eğimli ve diri örtünün yoğun olduğu alanlarda örneklemenin lojistik zorlukları ve kapsamlı incelemeler için gereken yoğun iş yükü, genellikle kapsamlı veri toplanmasını engellemektedir.

Göğüs çapı, orman envanterinde ölçülen en yaygın ve en önemli meşcere parametrelerinden birisidir. Ağaç boyutunu, sağlığını ve genel orman yapısını değerlendirmek için temel bir parametre olarak hizmet etmenin yanı sıra meşcere hacmini, verimliliğini ve karbon depolama potansiyelini anlamak için büyük önem taşır. Göğüs çapının güvenilir bir şekilde ölçülmesi, orman yönetimi ve ekolojik değerlendirmeler için çok önemli olan ağaç boyu ve odun hacminin güvenilir bir şekilde tahmin edilmesini sağlar (Ravaglia vd., 2019; Hui, 2024). Ağaç serveti envanterinde bir örnek alandaki 8 cm den daha kalın tüm ağaçların göğüs çapı ($d_{1.3}$) ölçülmektedir. Göğüs çapı ve ağaç boyu arasındaki ilişki, bu ölçümleri yaprak alanı ve biyokütle gibi diğer önemli değişkenlere bağlayan alometrik modeller geliştirmek için sıklıkla kullanılır (Ravaglia vd., 2019; Özçelik vd., 2009). Bu ilişki, ağaç boyunun kolayca ölçülemediği durumlarda özellikle önemlidir (Ige

vd., 2013). Çap ölçümleri orman yapısını ve tür çeşitliliğini anlamının ayrılmaz bir parçası olarak ekolojik bir öneme sahip olduğu gibi ağaçlardan elde edilecek çeşitli yuvarlak odun çeşitlerinin (tomruk, direk vb.) hacimlerinin hesaplanması ve orman kaynaklarının ekonomik değerinin analiz edilmesi için gerekli bir araç olarak da kullanılır (Räty vd., 2023).

Uzaktan algılama alanındaki teknolojik gelişmeler, orman envanteri süreçlerini iyileştirilmesinde yeni yollar sağlayarak örnekleme verimliliğinin ve doğruluğunun artırılmasına yardımcı olmaktadır. Bu kapsamda Lidar (Light Detection and Ranging) teknolojisi, ormancılık uygulamalarında önemli bir araç olarak ortaya çıkmıştır. Lidar'ın çoklu geri dönüş özelliği, yoğun tepe yapısına nüfuz etmesini, tepe taçları ve gövdeleri de dahil olmak üzere ağaçlar hakkında ayrıntılı yapısal bilgileri yakalamasını sağlamaktadır. Bu özellik, geleneksel ölçüm tekniklerinin kullanımının zor olduğu veya erişilemezlik nedeniyle zorlanılan orman alanlarında özellikle faydalıdır (Chang vd., 2015). Lidarla sağlanan 3D nokta bulutu verilerinde boy ölçümleri yanında, ağaç gövdelerine geometrik modeller uyduran gelişmiş algoritmalar aracılığıyla göğüs çapının doğrudan ölçümü kolaylaşmaktadır. Örneğin, lidar verilerinden göğüs çapını doğru bir şekilde tahmin etmek için silindir uydurma (circle fitting) teknikleri uygulanarak geleneksel manuel ölçümlerle karşılaştırılabilir yüksek hassasiyet seviyelerine ulaşıldığı belirtilmektedir. (Wieser vd., 2017; Feng vd., 2022).

Lidar teknolojisi farklı platformlarda kullanılabilir. Lidar teknolojisi önemli ölçüde gelişmiş ve bu da kullanımı için çeşitli platformların geliştirilmesine yol açmıştır. Bu platformlar, her biri belirli kullanım durumları ve ortamlar için uygun olan hava sistemlerinden karasal ve mobil uygulamalara kadar uzanmaktadır. Havadan lidar sistemleri, genellikle büyük ölçekli topografik haritalama ve bitki örtüsü analizi için uygundur. Bu sistemler geniş alanları hızlı ve verimli bir şekilde yakalayabilmekte, bu da onları orman envanteri ve biyokütle tahmini gibi uygulamalar için ideal hale getirmektedir. Havadaki sistemlere ek olarak, karasal lidar platformları da özellikle şehir ve ormancılık uygulamalarında ilgi görmeye başlamıştır. Sabit konumlu veya mobil olabilen bu sistemler, yapıların ve peyzajların ayrıntılı taranmasına olanak tanımaktadır. Lidar ölçümlerinin bir diğer avantajı da ağaçta veya çevresinde fiziksel değişiklikler gerektirebilecek geleneksel yöntemlerin aksine, ağaçların kendilerine etki etmeden veri toplanmasına ve tahribatsız ölçümler yapılmasına olanak tanınmasıdır (Burt vd., 2021; Delagrance vd., 2014). Bu şekilde ağaçları kesmeye gerek kalmadan gövdenin üst kısımlarındaki çapları ölçmek mümkün olabilir.

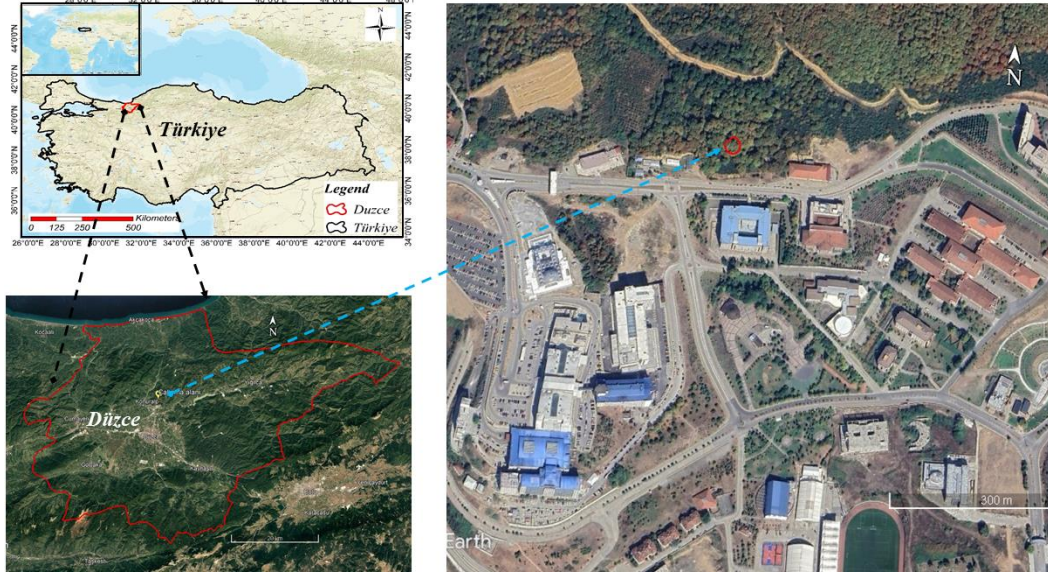
Farklı platformlardan sağlanan lidar verilerinin farklı avantajları vardır. Yersel Lidar ağaç yapılarının ayrıntılı üç boyutlu (3D) gösterimlerini sağlayarak, ağaç yüksekliği, taç boyutları ve diğer kritik parametrelerin doğru ölçümlerine olanak tanır. Bu alanda yapılan çalışmalar, yersel lidarın mesafe ölçümlerinde yüksek bir çözünürlük elde edebildiğini ve bu sayede gövde ve dal yapıları gibi ağaç mimarisinin karmaşık ayrıntılarını yakalamak için özellikle etkili olduğunu göstermiştir (Kuo vd., 2019; Zhao vd., 2015; Wang vd., 2020). Ayrıca, havadan lidara kıyasla karasal lidar tarafından üretilen daha yoğun nokta bulutları, araştırmacıların özellikle havadan yapılan araştırmalarda genellikle gizlenen alt tabakadaki ağaçlar için daha hassas veriler elde etmelerini sağlamaktadır (Bazezew vd., 2021).

Bununla birlikte, lidarla ilgili en büyük kısıtlardan birisi lazer darbeleri ile ağaç gölgelikleri arasındaki karmaşık etkileşimler nedeniyle ölçüm hatalarının ortaya çıkma potansiyelidir. Örneğin, yoğun ormanlık alanlarda lazer darbeleri yapraklar ve dallar tarafından engellenebilir, bu da yanlış ölçümlere yol açabilir (Calders vd., 2014; Bazezew vd., 2021). Bir diğer zorluk da karasal lidar sistemlerini etkin bir şekilde çalıştırmak için özel ekipman ve uzmanlık gerekliliğidir. Veri işleme ve analizinin karmaşıklığı, bazı araştırma ekipleri veya kuruluşlar için engel teşkil edebilecek gelişmiş yazılım ve kalifiye personel gerektirmektedir (Dassot vd., 2011). Ayrıca, lidar ekipmanı edinme ve bakım maliyeti, özellikle daha küçük araştırma girişimleri veya kurumları için engelleyici olabilmektedir. (Dassot vd., 2011).

Bu çalışmada Düzce Üniversitesi Konuralp Yerleşkesi'nde yer alan meşe meşceresinde örnekleme yapılarak yersel lidarla elde edilen göğüs çapı değerleri ile klasik yöntemle elde edilen çap değerleri karşılaştırılmış ve aralarında anlamlı fark olup olmadığı incelenmiştir. Bu şekilde yersel lidar ile çap ölçümlerinin tutarlılığı anlaşılmasına çalışılmıştır.

2. Materyal ve Yöntem

Çalışma Düzce Üniversitesi Yerleşkesi'nde gerçekleştirilmiştir (Şekil 1). Yerleşke içerisinde bulunan meşe meşceresinde alınan 800 m² büyüklüğündeki örnek alanda 29 adet ağaçta ölçüm yapılmıştır.



Şekil 1. Çalışma alanının konumu.

Çalışma alanındaki ağaçların yaşı 80-100 arasında değişmekte olup meşcere tipi Mc2' dir. Yamaç eğimi ortalama %20 dir. Alanda meşe ağaçları dışında funda ve akçakesmeler ile göğüs çapı 8 cm den düşük meşe gençlikleri de alt tabaka olarak yer almaktadır. Çalışmada ağaçlara ait 3D nokta bulutu verisinin elde edilmesinde Geoslam Zeb-Horizon yersel lidar tarayıcısı kullanılmıştır. Nokta bulutunun ön işleminde Faro Connect viewer, diğer analizlerde ise CloudCompare ve 3DFin yazılımından faydalanılmıştır.

2.1. Veri Toplama

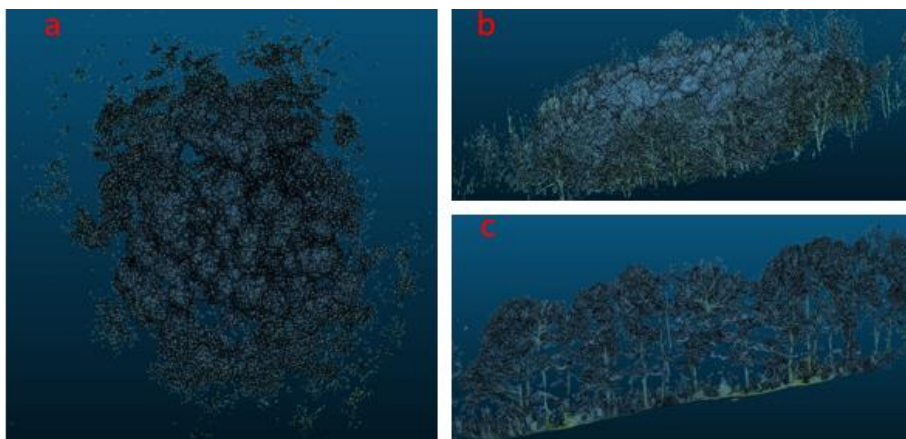
Örnek alan içerisine giren tüm ağaçlara numara verilmiş, bu numaraların lidar verilerinde algılanabilmesi için üç boyutlu rakamlar ağaçların göğüs yüksekliklerinin hemen üzerine asılmıştır (Şekil 2). Bu şekilde lidar verileri ile arazideki ağaçların eşleştirilmesi kolaylaşmıştır. Ağaçlara numaralar asıldıktan sonra her bir ağacın göğüs çapı ölçüm ilkelerine dikkat edilerek ölçülmüş ve örnek alan karnesine kaydedilmiştir. Klasik yöntemle göğüs çapı ölçümünden sonra yersel lidar ile tarama yapılmıştır. Bu tarama işleminde örnek alandaki ağaçların hepsini farklı yönlerden göreceğ şekilde örnek alan içerisinde ve etrafında gezilmiştir. Lidar tarama ile sağlanan veriler analiz edilmek ve klasik yöntemle ölçülen çap değerleri ile karşılaştırılmak üzere USB bellek ile bilgisayar ortamına taşınmıştır.



Şekil 2. Üç boyutlu rakamlar ile ağaçlara numara verilmesi.

2.2. Lidar verilerinin Ön İşlemesi ve Analizi

Ham lidar verileri Faro Connect viewer programında açılarak gürültüler (çalışma alanına ait olmayan noktalar) giderilmek üzere filtrelenmiş ve laz formatında kaydedilerek diğer programlarda analiz edilmek üzere dışa aktarılmıştır. Bu veriler CloudCompare programında açılarak analiz edilmiştir (Şekil 3). Öncelikle örnek alan içerisindeki ağaçların kalmasını sağlayacak şekilde veri kesilmiş ve küçültülmüştür. Bu işlem, örnek alan etrafında izlenen rota kullanılarak ve bu rotayı içine alacak şekilde gerçekleştirilmiştir (Şekil 4). Veride hala örnek alan dışındaki ağaçlar yer alsada örnek alan içerisindeki ağaçlar örnek alan sınırı ve üzerlerine asılan numaralar incelenerek lidar görüntüsünde ayırt edilmiştir.



Şekil 3. Çalışma alanının a) üstten b) yandan c) enine kesit görünümü.



Şekil 4. Lidarla taramada kullanılan rota ile örnek alan içerisine giren ağaçların üstten ve yandan görünümü.

2.3. Göğüs Çaplarının 3DFin Yazılımı ile Belirlenmesi

CloudCompare programında ağaç boyu ve çapı gibi uzunluk ölçüleri veya iki nokta arasındaki uzunluk bilgisi programın araçları vasıtasıyla manuel olarak sağlanabilmektedir. Bununla yanında daireye uydurma (circle fitting) yaklaşımlarıyla daireye benzer (gövde kesiti gibi) şekiller en uygun daireye dönüştürülerek çapları ölçülebilmektedir. Bu işlemler tek ağaç bazında kolay ve kısa zamanda yapılabilmeyle birlikte bir veya daha fazla örnek alanı kapsayacak şekilde çok sayıda ağaçta ölçüm gerektiğinde zorlaşmakta ve bunu otomatik şekilde gerçekleştiren araçlara ihtiyaç duyulmaktadır.

3DFin yersel nokta bulutlarında ağaçları algılamak ve bu ağaçlara ait envanter verisi sağlamak amacıyla geliştirilmiş kullanıcı dostu bir yazılımdır (Leino et al. 2024). Ağaç boyu, göğüs çapı ve ağaç konumu gibi temel envanter parametrelerinin otomatik olarak hesaplanmasında kullanıcılara yardımcı olmaktadır. Bu çalışmada da örnek alan içerisindeki göğüs çapları 3DFin yazılımı ile elde edilmiştir. Bu yazılım CloudCompare programına entegre edilebilmekte veya bağımsız olarak çalıştırılabilmektedir. Bu programda öncelikle nokta bulutu normalize edilmiş gerekli parametreler ayarlanarak lidar görüntüsündeki ağaçlara ait envanter verileri MS-Excel dosyası olarak kaydedilmiştir. Program, ağaç gövdelerinin bitişiğinde diri örtü gibi görünümünü çok kısıtlayan etkenlerin bulunması durumunda ağaçları algılamasına rağmen güvenilir veri oluşturamamakta ve bunu raporlamaktadır. Bazen de ölçüm çapına ulaşmamış genç bireyleri ağaç olarak algılayarak örnek alanda olandan daha fazla ağaç belirlemesine rağmen bunlar için de güvenilir veri oluşturamamaktadır. Ağaçlara asılan rakamlardan faydalanılarak bu durumun bir karışıklığa yol açmaması sağlanmıştır. 3DFin yazılımı ile ağaç boyu ve konumu gibi bilgiler de sağlanabilmekle birlikte bu çalışma kapsamında değerlendirilmemiştir.

3. Bulgular ve Tartışma

Klasik yöntemle örnek alanda 30 adet ağaçta göğüs çapı ölçülmesine rağmen 3DFin yazılımıyla bazı ince ağaçların da algılanması ile bu sayı artmış, bunun yanında bir ağaçta, ağacın dip tarafında yoğun diri örtü bulunması nedeniyle güvenilir bir çap verisi oluşturamadığından bu ağaç analizlerden çıkarılmıştır. Toplam 29 adet ağaçta klasik yöntem ve Lidar verisinden elde edilen göğüs çapı değerleri Eşleştirilmiş Örnekler t Testi ile karşılaştırılmıştır. 3DFin yazılımı ile analiz edilen lidar görüntüsünde 45 adet ağaç algılanmıştır. Bu ağaçlardan 13 adeti örnek alan dışında, iki tanesi örnek alan içerisinde olup 8 cm den daha küçük çapa sahiptir (Şekil 5).



Şekil 5. 3DFin yazılımı ile lidar verilerinden elde edilen ağaçların göğüs çapı ve konumları.

Çapölçer ile elde edilen göğüs çapları 21.2 cm ile 33.1 cm arasında değişmekte olup, ortalama çap 27.33 cm dir. Bu ölçümlerin standart sapması 3.43 dür. Lidar ile elde edilen veriler ise daha geniş bir aralıkta değişmiş ve 17.8 cm ile 38.4 cm arasında değerler ölçülmüş olup, standart sapması 4.42 dir. Bu ölçümlerin ortalaması klasik yöntemle yakın bir değer olarak 27.23 cm dir. Farklı yöntemlerle elde edilen çap değerleri Çizelge 1' de, bunlara ilişkin tanımlayıcı istatistikler de Çizelge 2 de verilmiştir.

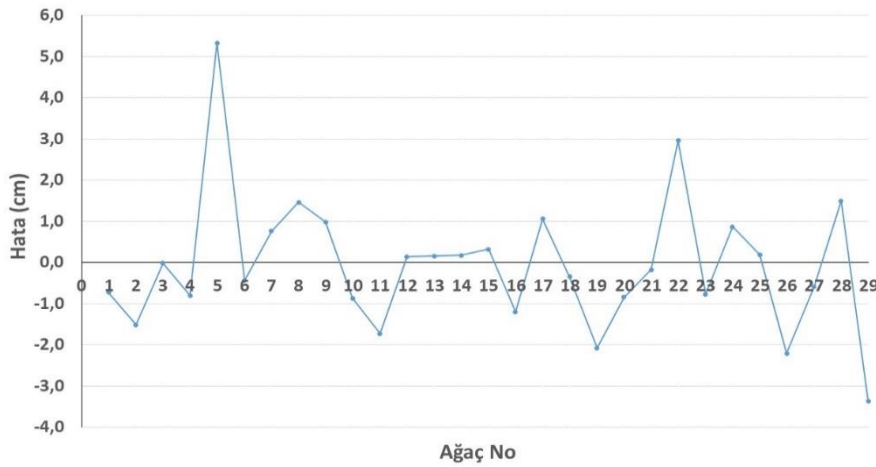
Çizelge 1. Farklı yöntemlerle elde edilen göğüs çapı değerleri.

Ağaç No	Lidar No	Göğüs Çap (cm)		Ağaç No	Lidar No	Göğüs Çap (cm)	
		Çapölçer	Lidar			Çapölçer	Lidar
1	T25	31.5	30.8	16	T17	30.0	28.8
2	T27	27.3	25.8	17	T26	23.0	24.1
3	T32	25.9	25.9	18	T13	26.0	25.7
4	T33	31.0	30.2	19	T14	25.0	22.9
5	T36	33.1	38.4	20	T12	26.6	25.8
6	T35	24	23.6	21	T5	28.0	27.8
7	T34	22.6	23.4	22	T3	28.1	31.1
8	T39	32.5	34.0	23	T30	29.4	28.6
9	T42	29.9	30.9	24	T4	28.2	29.1
10	T37	24.5	23.6	25	T20	23.4	23.6
11	T29	21.5	19.8	26	T19	23.8	21.6
12	T18	28.4	28.5	27	T21	31.3	30.7
13	T2	31.8	32.0	28	T7	27.2	27.4
14	T11	31.0	31.2	29	T9	21.2	17.8
15	T28	26.5	26.8				

Çizelge 2. Farklı yöntemlerle elde edilen göğüs çapı verilerine ilişkin tanımlayıcı istatistikler.

Yöntem	N	Minimum	Makimum	Ortalama	Std. Sapma
Çapölçer	29	21.20	33.10	27.3345	3.43940
Lidar	29	17.80	38.40	27.2828	4.43195

Çapölçer ile yapılan ölçümler gerçek kabul edilerek, lidar ölçümlerinin bu ölçümlerden farkı olarak hata miktarları değerlendirildiğinde pozitif en yüksek hata 5.3 cm olarak 5 nolu ağaçta ortaya çıkmıştır. Negatif en yüksek hata ise 29 nolu ağaçta oluşmuş ve lidarla göğüs çapı 3.6cm daha düşük ölçülmüştür (Şekil 6).

**Şekil 6.** Ağaç bazında lidarla ölçülen çapların çapölçer ölçümlerinden farkları.

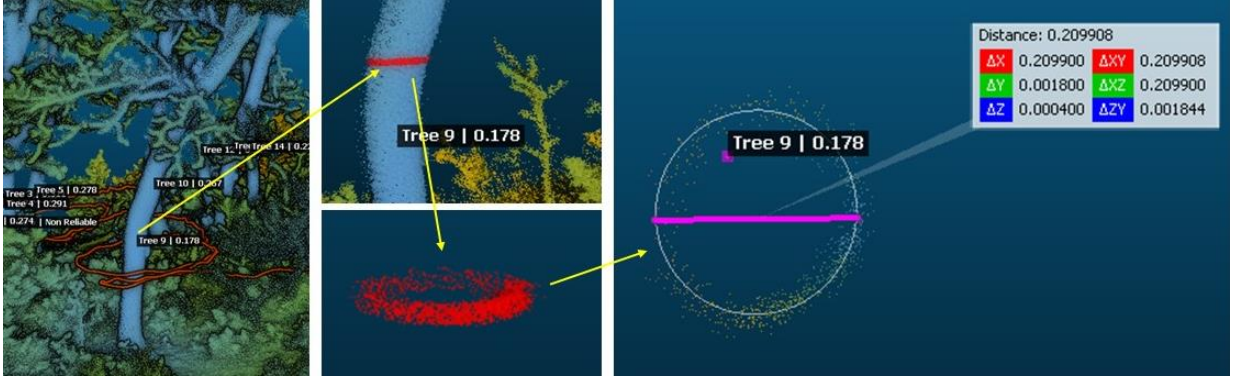
15 adet ağaçta negatif hata oluşurken, 13 ağaçta pozitif hata oluşmuş, bir adet ağaçta ise her iki yöntemle de aynı değerler ölçülmüştür. Çalışmada ortalama mutlak hata (Mean Absolute Error) 1.16 cm, Ortalama karekök hatası (RMSE) 2.63 cm ve Bağıl ortalama karekök hatası (RRMSE) 0.332 bulunmuştur. RMSE'nin MAE'den daha büyük olması ve RRMSE'nin %30'un üzerinde olması, modelin zaman zaman büyük hatalar yaptığını ve tahmin doğruluğunun iyileştirilebileceğini göstermektedir.

Çap ölçer ve Lidar verilerinden belirlenen göğüs çapı değerleri arasında fark olup olmadığı Eşleştirilmiş Örnekler t Testi ile analiz edilmiş ve bu analize ilişkin bulgular Çizelge 3 de verilmiştir. %95 güven aralığında sig (2 tailed) değeri 0.05 den büyük çıkmıştır ($p=0.868$). Bu durum çap ölçer ve lidar ölçümleri ortalamaları arasında önemli fark olmadığını göstermektedir. Vatandaşlar ve Zeybek (2020) de yaptıkları çalışmada tek ağaçlarda yersel lidar ve çap ölçerle elde ettikleri veriler arasında anlamlı bir bulamadıklarını belirtmişlerdir.

Çizelge 3. Eşleştirilmiş Örnekler t Testi sonuçları.

Paired Samples Test									
		Paired Differences					t	df	Sig. (2-tailed)
		Mean	Std. Deviation	Std. Error	95% Confidence Interval of the Difference				
					Lower	Upper			
Pair 1	Lidar-Çapölçer	-.05172	1.65457	.30725	-.68109	.57764	-.168	28	.868

Lidarla ölçülen değerlerin çapölçer değerlerine göre en farklı olduğu ağaçlar (5 ve 29) bireysel olarak incelenmiş göğüs çapları lidar verisinden manuel olarak belirlenmiştir. Bu amaçla ağaçların göğüs yüksekliğinden ince (2cm) bir görüntü dilimi alınmıştır. Gövdeyi çevreleyen bu nokta bulutuna silindire uydurma algoritması uygulanarak en uygun silindir ve bunun çapı belirlenmiştir. Bu işlemin aşamaları da Şekil 7 de gösterilmiştir. Manuel şekilde uygulanan bu yaklaşımla çap ölçer verilerine yakın değerler bulunmuştur. Şekil 7 de gösterildiği gibi lidar görüntüsünde Tree 9, yersel ölçümlerde ise 29 numara ile gösterilen ağacın çapı 20.99cm olarak ölçülmüştür. Bu farklılık 3DFin algoritmasından kaynaklanmaktadır. Eğer ağaçların etrafında nokta bulutu oluşturmayı engelleyen diri örtü veya gençlik varsa veya 29 nolu ağaçta olduğu gibi gövdenin ölçüm yerine yakın bir yerden itibaren eğrilik bulunması ve düz bir hat boyunca ilerlememesi silindir oluşturmayı güçleştirmekte ve hatalara yol açabilmektedir.



Şekil 7. Lidar verisinde göğüs çapının manuel olarak ölçülmesi.

4. Sonuçlar

Yersel lidar detay, doğruluk ve tahribatsız ölçüm yetenekleri açısından önemli avantajlar sunarken, çevresel koşullar, işlem karmaşıklığı ve maliyetle ilgili zorlukları da beraberinde getirmektedir. Bu faktörlerin anlaşılması, bu teknolojiyi ağaç ölçümlerinde etkin bir şekilde kullanmayı amaçlayan araştırmacılar ve uygulayıcılar için önemlidir. Ağaç boyu bilgisi sağlama, yoğun tepe yapılarına nüfuz etme ve gelişmiş algoritmalar aracılığıyla doğrudan ölçümleri kolaylaştırma yeteneği, lidar teknolojisini çağdaş ormancılık araştırma ve yönetiminde vazgeçilmez bir araç haline getirmektedir. Lidar verilerinden birçok metrikler elde etmek mümkün olmakla birlikte bu çalışmada sadece göğüs çaplarını yeterli doğrulukta ölçme potansiyeli üzerine odaklanılmıştır. Göğüs çapı; ağaç hacmi, biyokütle ve orman yapısının tahmin edilmesindeki kritik rolü nedeniyle orman envanterinde ölçümü gereken temel bir parametredir. Lidar teknolojisi, orman envanter süreçlerini geliştiren doğru, yüksek çözünürlüklü veriler sağlayarak göğüs çapı ölçümünde de çok önemli bir rol oynamaktadır. Bu çalışmada meşe ağaçlarında yapılan ölçümlerde lidar ve çapölçer verileri aralarında anlamlı bir fark olmadığı görülmüştür. Bu çalışmada kullanılan 3DFin yazılımının da orman yapısına ait nokta bulutu verilerini değerlendirmede oldukça etkin olduğu görülmüştür. Bununla birlikte farklı yapıya sahip meşcereler için araştırmalara devam edilmesi gerekir. Nokta bulutunda belirli iki nokta arasını kolayca ölçmek mümkün olmakla birlikte orman envanteri amacıyla süreçleri otomatik hale getirecek yazılımlar lidar verilerinin potansiyel kullanımını daha da artıracaktır.

Kaynaklar

- Bazezew, M., Hussin, Y., Kloosterman, E., Ismail, M., Soromessa, T., and Adan, M. (2021). Factual approach for tropical forest parameters measurement and monitoring: future option with a focus on synergetic use of airborne and terrestrial lidar technologies. *International Journal of Remote Sensing*, 42(9), 3219-3230.
- Burt, A., Vicari, M., Costa, A., Coughlin, I., Meir, P., Rowland, L., and Disney, M. (2021). New insights into large tropical tree mass and structure from direct harvest and terrestrial lidar. *Royal Society Open Science*, 8(2). <https://doi.org/10.1098/rsos.201458>
- Calders, K., Newnham, G., Burt, A., Murphy, S., Raumonon, P., Herold, M., and Kaasalainen, M. (2014). Nondestructive estimates of above-ground biomass using terrestrial laser scanning. *Methods in Ecology and Evolution*, 6(2), 198-208.
- Chang, A., Jung, J., & Kim, Y. (2015). Estimation of forest stand diameter class using airborne lidar and field data. *Remote Sensing Letters*, 6(6), 419-428.
- CloudCompare. (2024). *CloudCompare (Sürüm V2.13.1)* [GPL lisanslı bilgisayar yazılımı]. <https://www.cloudcompare.org>
- Dassot, M., Constant, T., & Fournier, M. (2011). The use of terrestrial lidar technology in forest science: application fields, benefits and challenges. *Annals of Forest Science*, 68(5), 959-974.
- Delagrangé, S., Jauvin, C., & Rochon, P. (2014). Pypetree: a tool for reconstructing tree perennial tissues from point clouds. *Sensors*, 14(3), 4271-4289.
- Laino, D., Cabo, C., Prendes, C., Janvier, R., Ordonez, C., Nikonovas, T., Doerr, S., & Santin, C. (2024). 3DFin: A software for automated 3D forest inventories from terrestrial point clouds. *Forestry: An International Journal of Forest Research*, 97(4), 479–496.
- Feng, B., Nie, S., Wang, C., Xi, X., Wang, J., Zhou, G. and Wang, H. (2022). Exploring the potential of uav lidar data for trunk point extraction and direct dbh measurement. *Remote Sensing*, 14(12), 2753.
- Fitts, L., Russell, M., Domke, G., & Knight, J. (2020). Modeling land use change and forest carbon stock changes in temperate forests in the United States. *Carbon Balance Management*, 16(20).
- Hui, Z. (2024). A reliable dbh estimation method using terrestrial lidar points through polar coordinate transformation and progressive outlier removal. *Forests*, 15(6), 1031.

- Ige, P., Akinyemi, G., and Smith, A. (2013). Nonlinear growth functions for modeling tree height–diameter relationships for *Formelina arborea* (roxb.) in south-west nigeria. *Forest Science and Technology*, 9(1), 20-24.
- Ivanova, N., Fomin, V., Kusbach, A. (2022). Experience of Forest Ecological Classification in Assessment of Vegetation Dynamics. *Sustainability*, 14(6), 1-11.
- Kuo, K., Itakura, K., & Hosoi, F. (2019). Leaf segmentation based on k-means algorithm to obtain leaf angle distribution using terrestrial lidar. *Remote Sensing*, 11(21), 2536.
- Özçelik, R., Brooks, J., Diamantopoulou, M., & Wiant, H. (2009). Estimating breast height diameter and volume from stump diameter for three economically important species in Turkey. *Scandinavian Journal of Forest Research*, 25(1), 32-45.
- Räty, J., Hietala, A., Breidenbach, J., & Astrup, R. (2023). An analysis of stand-level size distributions of decay-affected norway spruce trees based on harvester data. *Annals of Forest Science*, 80(1).
- Ravaglia, J., Fournier, R., Bac, A., Vega, C., Côté, J., Piboule, A., Rémillard, U. (2019). Comparison of three algorithms to estimate tree stem diameter from terrestrial laser scanner data. *Forests*, 10(7), 599.
- Straka, T. and Layton, P. (2010). Natural resources management: life cycle assessment and forest certification and sustainability issues. *Sustainability*, 2(2), 604-623.
- Vatandaşlar, C., Zeybek, M. (2020). Application of handheld laser scanning technology for forest inventory purposes in the NE Turkey. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*, 44(3), 229-242.
- Wang, D., Takoudjou, S., & Casella, E. (2020). Lewos: a universal leaf-wood classification method to facilitate the 3d modelling of large tropical trees using terrestrial lidar. *Methods in Ecology and Evolution*, 11(3), 376-389.
- Wieser, M., Mandlbürger, G., Hollaus, M., Otepka, J., Glira, P., & Pfeifer, N. (2017). A case study of uas borne laser scanning for measurement of tree stem diameter. *Remote Sensing*, 9(11), 1154.
- Zhao, K., García, M., Liu, S., Guo, Q., Chen, G., Zhang, X., and Meng, X. (2015). Terrestrial lidar remote sensing of forests: maximum likelihood estimates of canopy profile, leaf area index, and leaf angle distribution. *Agricultural and Forest Meteorology*, 209-210, 100-113.