

Determination of some tree parameters using terrestrial laser scanner in urban green areas

Mustafa Akgül^{1*}, Hüseyin Yurtseven², Serdar Akburak³, Süleyman Çoban⁴

¹ Istanbul University, Faculty of Forestry, Department of Forest Construction and Transportation, Istanbul, Turkey

² Istanbul University, Faculty of Forestry, Department of Surveying and Cadastre, Istanbul, Turkey

³ Istanbul University, Faculty of Forestry, Department of Soil Science and Ecology, Istanbul, Turkey

⁴ Istanbul University, Faculty of Forestry, Department of Silviculture, Istanbul, Turkey

* Corresponding author e-mail (İletişim yazarı e-posta): makgul@istanbul.edu.tr

Received (Geliş): 29.09.2015 Revised (Düzelme): 19.10.2015 Accepted (Kabul): 19.10.2015

Abstract: The aim of this study is to measure the parameters for modelling individual and street trees in urban areas using Terrestrial Laser Scanner (TLS) data. Breast height diameter ($d_{1.30}$), tree height, crown base height, distance between trees were measured in the roadside trees which are composed of Narrow-leaved ash (*Fraxinus angustifolia* Vahl.) in Istanbul University Faculty of Forestry Campus. In addition, tree zone models of the trees were formed in order to express development process of trees with time in an integrated way and to make connections among different parts of trees. As a result of measurements, $d_{1.30}$ values varied between 24 cm and 45,6 cm both from ground measurement and TLS. Statistically there were not a significant difference between $d_{1.30}$ values, even though ground measurement values were higher than TLS measurements. According to regression analysis, a significant correlation was found between ground and TLS measurements ($R^2=0,971$, $p<0,05$). Objective values were derived from TLS data related to tree crown forms, tree zone model and tree architecture. The ratio of static and dynamic mass of trees and their relations were showed on 3D tree models. 3D tree models and measurements on this models, which were carried out in this study, can be used in maintenance and pruning application of individual and forests of Urban areas.

Keywords: Terrestrial laser scanner, individual tree parameters, tree model

Yersel lazer tarayıcı sistemler ile kentsel yeşil alanlarda bazı ağaç parametrelerinin belirlenmesi

Özet: Bu çalışmada, Yersel Lazer Tarayıcı (YLT) kullanarak kentsel ortamlardaki bireysel ve alle şeklinde ağaçların modellenmesine yönelik parametrelerin ölçülmesi amaçlanmıştır. Çalışma alanı olarak İstanbul Üniversitesi Orman Fakültesi kampüsü içerisinde yer alan Dar yapraklı dişbudak (*Fraxinus angustifolia* Vahl.) yol bölümü seçilmiştir. Çalışma kapsamında ağaçların göğüs yüksekliği çapı ($d_{1.30}$), boyu, yaş dal yüksekliği, ağaçlar arasındaki aralık ve mesafe ölçümleri gerçekleştirilmiştir. Bununla birlikte ağaçların zamana göre değişimlerini bir bütün olarak açıklamak ve farklı bölümleri arasında bağlantılar kurmak amacıyla ağaç zonları modeli oluşturulmuştur. Ölçümler sonucunda ağaçların $d_{1.30}$ çap değerleri hem YLT hemde yersel ölçüm tekniğine göre 24 cm ile 45,6 cm arasında değişim göstermiştir. İstatistikî analiz sonucunda yersel ölçüm ile elde edilen $d_{1.30}$ çap ortalaması YLT ölçüm değerlerinden yüksek olmasına rağmen ölçümler arasında anlamlı fark bulunamamıştır. Regresyon analizi sonucuna göre Yersel ölçüm ile YLT ölçümleri arasında anlamlı doğrusal ilişki olduğu ortaya çıkmıştır ($R^2=0,971$, $p<0,05$). YLT sistemle yapılan taramalardan elde edilen verilerden ağaçların tepe formları, ağaç zonları modeli ve ağaç mimarisine ilgili objektif veriler türetilmiştir. Statik ve dinamik kitle oranları ve bunların ilişkileri 3 boyutlu (3B) ağaç modeli üzerinde ortaya konmuştur.

Anahtar Kelimeler: Yersel lazer tarayıcı, bireysel ağaç parametreleri, ağaç modeli

1. GİRİŞ

Lazer tarama yöntemi 2000'li yılların başında geliştirilmiş olup, arazi ölçmelerinde ve mimari röleve çalışmalarında yaygın olarak kullanılmaya başlanmıştır. Geleneksel ölçme tekniklerine göre çok daha hızlı

Cite (Atf) : Akgül, M., Yurtseven, H., Akburak, S., Çoban S., 2016. Determination of some tree parameters using terrestrial laser scanner in urban green areas. *Journal of the Faculty of Forestry Istanbul University* 66(2): 445-458. DOI: [10.17099/jffiu.96359](https://doi.org/10.17099/jffiu.96359)



ve kapsamlı veri sunan lazer tarama sisteminden elde edilen 3B nokta bulutu bilgileri ile yüksek doğrulukta sonuçlar elde edilebilmektedir. Obje ile temas kurmadan ölçme, aynı ölçme alanı için daha fazla veri toplama, lazer ölçülerinin var olan başka ölçülerle kolayca entegrasyonu, daha güvenilir ve hızlı veri toplama, yüksek doğrulukta sayısal arazi modeli üretebilme, gerçek renkli görüntü üretme ve ölçme alanının belirli periyotlarda tamamen ölçülebilmesi gibi çok sayıda avantajlara sahiptir (Mrics ve ark., 2005). Ayrıca, CBS-CAD yazılımları ile entegre bir şekilde çalışabilmektedir (Slob ve Hack,2004).

Yersel Lazer Tarayıcılarda (YLT) kısa zaman aralıklarıyla lazer pulslarının gönderilmesi ve ölçülmesi esasına dayanan puls metodu kullanılmaktadır (Lichti ve Gordon, 2004). Bir lazer tarayıcı motorize bir total station olarak tanımlanabilir (Bornaz ve Rinaudo, 2004) ve taranacak nesnenin yüzey verisini, 3 boyutlu koordinat olarak elde etmektedir. YLT ile tarama işlemi otomatik ve sistematik olarak yapılmakta, aynı zamanda saniyede binlerce noktanın x,y,z koordinatları elde edilmektedir.. Yersel lazer taramalarından elde edilen yüksek yoğunluklu noktalar kümesi, tarama süresince genellikle nokta bulutu olarak toplanır. Toplanan bu nokta bulutu, taramayla eş zamanlı olarak, tarama programında görülebilmektedir. (Barber ve Mills, 2003). Teknolojinin gelişmesine paralel olarak YLT teknolojisi de gelişmiş ve farklı spesifikasyonlara sahip tarayıcılar ortaya çıkmıştır.

YLT teknolojileri, sahip olduğu özelliklerden dolayı kendisine birçok kullanım alanı bulmuştur (Lichti ve Gordon, 2004) . Genel olarak lazer tarama teknolojilerinin kullanıldığı alanlar incelendiğinde; tersine mühendislik uygulamaları (Larsson ve Kjellander, 2006) yapılarıdaki değişimin incelenmesi (Riveiro ve ark, 2011), deformasyon ölçmeleri (Abellán ve ark, 2010), kültürel mirasın belgelenmesi (Lichti ve Gordon, 2004; Yastikli, 2007; Ergincan ve ark, 2010), jeolojik uygulamalar (Dunning ve ark, 2009) vb. alanlar karşımıza çıkmaktadır.

Ormancılık uygulamalarında ise son yıllarda orman envanter çalışmalarında (Maas ve ark, 2008) (Bienert ve ark,2006), meşcere kapalılığının belirlenmesi (Danson ve ark., 2007), bireysel ağaç özelliklerinin tanımlanması (Huang ve Hans, 2010)(Kiralı ve Broly, 2007), haritalandırılması (Holopainen ve ark., 2013) ve biyokütle tahminlerinin yapılması (Kankare ve ark., 2013), erozyon çalışmalarında sediment toplanma alanların belirlenmesi (Milan ve ark, 2007) gibi konularda YLT'lerin kullanımı yoğunlaşmıştır.

Örneğin Moskal ve Zheng (2011), YLT ile Washinton Park Arboretumu'ndaki ağaçların boyu, göğüs yüksekliği çapı (d1,30) ve hacminin % 91,17 oranında ölçülebildiğini belirtmiştir. Hackenberg ve ark. (2014), Güney Almanya'da yaptığı bir çalışmada geliştirdikleri bir modelle bireysel ağaç morfolojisinin % 99 oranında tespit edilebileceğini belirtmiştir. Aschoff ve Spiecker (2004) ise ağaçların göğüs yüksekliği çaplarının belirlenmesi üzerine yaptığı bir çalışmada, YLT sistemlerini ormancılık çalışmalarının temelini değiştirebilecek yeni yöntem olarak tanımlamıştır. Yine Aschoff ve ark. (2004), Almanyada yaptığı bir başka çalışmada YLT sistemlerle elde edilen 3 boyutlu (3B) nokta bulutları sayesinde bazı ağaç parametrelerinin yanı sıra, sayısal arazi modeli ve ağaçların koordinatları gibi ek bilgilerin elde edilebildiği ve dolayısıyla söz konusu sistemlerin amenajman çalışmalarında ve hasılat çalışmalarında kullanılmasının faydalı olacağı belirtilmiştir. Thies ve Spiecker (2004), ağaç boyu üzerine yaptığı bir çalışmada yüksek hassasiyette veri elde etmenin önemini, Pfeifer ve ark. (2004) ve Schütt ve ark. (2004) ise YLT teknolojisi (yöntemiyle) elde edilen veri kalitesi sayesinde, meşcerenin yüksek hassasiyette odun kalitesinin belirlenebileceği belirtilmiştir.

Bununla birlikte; gövde hacmi ve dal yoğunluğu (Raumonen, 2011), yaprak yüzeyi yoğunluğunun değerlendirilmesi (leaf area density evaluation) (Hosoi, 2006), gövde eğikliği (Liang, 2014) biyokütle tahmini (Kankare, 2013 and Yu, 2013) gibi farklı çalışmalar bulunmaktadır. YLT verilerinin işlenmesiyle ormanla ilgili elde edilebilecek bilgiler, bu teknolojiyi orman amenajmanı ve yetiştirme ortamının değerlendirilmesi gibi konularda son derece kullanışlı yapmaktadır. Son zamanlarda yapılan çalışmalarda, lazer tarayıcılar kullanarak meşcere, deneme alanı ve tek ağaç bazında spesifik orman özelliklerinin ortaya konulabildiği belirtilmektedir. Dolayısıyla, bu sistemin doğru olarak kullanılması durumunda genellikle yersel ölçmelerle elde edilen birçok parametre belirlenmektedir (Pirotti ve ark., 2012). Ormancılık çalışmalarında veri elde etmek için seçilen örnek alanlar ve bu örnek alanlarda gerçekleştirilen ölçümler planlama çalışmalarının temelini oluşturmaktadır. Dolayısıyla, başarılı ormancılık uygulamaları ancak

ormanlarla ilgili kaliteli verilere dayanan planlarla mümkündür. Meşcere bazında yapılan ölçümlerin yanı sıra tek ağaç bazında yapılan ölçümler ve bunlardan elde edilen 3B modeller kentsel alanlardaki ağaçların budanması ve bakım çalışmalarına temel oluşturabilecektir.

Bu çalışmada, İÜ orman Fakültesi Yerleşkesi'ndeki allede YLT ile alım gerçekleştirilmiştir. Çalışmanın ana amacı, yersel lazer tarayıcı sistemle elde edilen verilerin işlenmesiyle ormancılığa yönelik veriler üretmek elde edilen verileri yersel ölçümlerle karşılaştırmak ve bu teknolojinin ormancılık alanındaki kullanım olanaklarını ve avantajlarını ortaya koymaktır.

2. MATERYAL VE YÖNTEM

2.1 Araştırma Alanının Tanıtımı

YLT cihazlarının kentsel doku içerisinde bulunan ağaçlık alanlarda kullanım olanaklarını incelemek amacıyla İstanbul Üniversitesi Orman Fakültesi kampüsü içerisinde yer alan Dişbudaklı (*Fraxinus angustifolia* Vahl.) yol üzerinde 2014 yılı Ocak ayında örnek alım gerçekleştirilmiştir (Şekil / Figure 1). Söz konusu allenin genişliği 130 m x 5 m'dir.

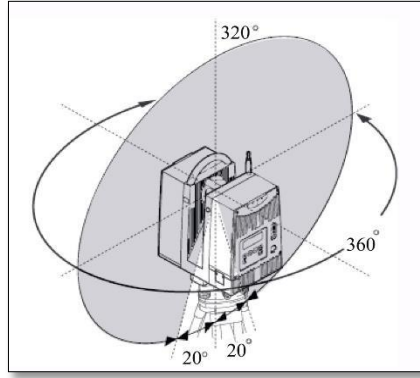


Şekil 1. Araştırma alanının genel konumu
Figure 1. General location of research area

2.2 Yöntem

2.2.1 Yersel Lazer Tarayıcı Sistemi Özellikleri ve Verilerin İşlenmesi

Kullanım hassasiyetine göre günümüz YLT cihazların ölçme mesafesi (m) 1 m ile 6000 m arasında, ölçme hızı nokta/saniye cinsinden 2500 ile 1 200 000 değerleri arasında, tarama açısı ise genel olarak yatayda 360°, düşeyde ise 320° (Şekil 1) ye kadar olup, mesafe doğruluğu ise 100 m ile 0,1 mm arasında değişen hata payı göstermektedir.



Şekil 2. YLT cihazının yatay ve düşey tarama açıları
Figure 2. Horizontal and vertical scanning angle of terrestrial laser scanner

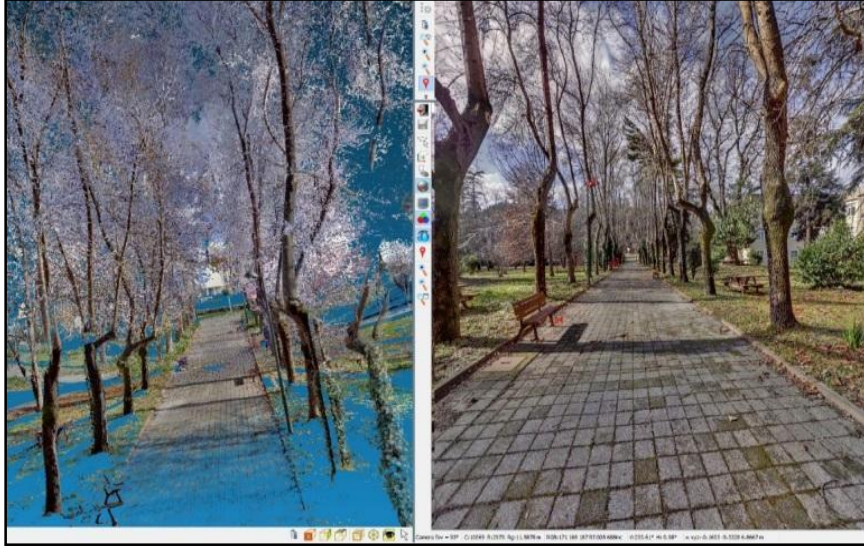
Çalışmada Zoller Fröhlich 5010C marka faz bazlı yersel lazer tarayıcı sistem kullanılmıştır. Minimum tarama tarama yarıçapı 0.3 m, maksimum tarama mesafesi ise 187 m dir. Söz konusu tarayıcı sistem yatayda 360°, düşeyde ise 320° tarama yapabilmektedir. Işın çapı 0.1 m yaklaşık 3.5 mm dir. Tarama moduna bağlı olarak maksimum tarama gerçekleştirildiğinde saniyede 1.016 milyon nokta türetilebilmektedir (Şekil / Figure 3).



5010C	
Laser sınıfı	1
Işın farkı	<0.3 mrad
Işın çapı	yak. 3.5 mm
Maks.Tarama mesafesi	187.3 m
Min.tarama mesafesi	0.3 m
Çözünürlük	0.1 mm
Veri toplama oranı	maks. 1.016 milyon/san

Şekil 3. Yersel lazer tarama cihazının teknik özellikleri
Figure 3. Technical specification of terrestrial laser scanner

Yersel lazer tarayıcıların hassasiyeti tarama yoğunluğuna bağlı olarak değişmekte olup, strüktürel materyaller üzerinde yapılan çalışmada maksimum hata 1-10 mm arasında (Park ve ark, 2007) bulunmuştur. Bu nedenle, çalışmada tarama hassasiyeti yüksek tutulmuş, 130 x 5 m'lik örnek alan içerisine kurulan 2 adet tarama noktasında superhigh modunda 35 ağaç için alımlar gerçekleştirilmiştir. Her bir tarama 6.44 dakika sürmüştür. Tarama esnasında alım yapılacak alanının tamamının temsil edilmesi için yatayda ve düşeyde alım açıları değiştirilmemiştir. Tarama noktalarından elde edilen nokta bulutları Z+F Lasercontrol yazılımı ile kayıt edilmiştir (Şekil / Figure 4). Mevcut nokta bulutu, koordinatlı sistemde arazinin mevcut topoğrafyasını yansıtabilecek şekilde batı doğu yönünde alle sisteminin bulunduğu alanı eğimli bir şekilde temsil etmektedir. Ancak ağaç parametrelerinin daha rahat hesaplanabilmesi için alım sonrası birleştirilen nokta bulutları X düzlemine paralel olacak şekilde düzlemsel hale getirilmiştir.



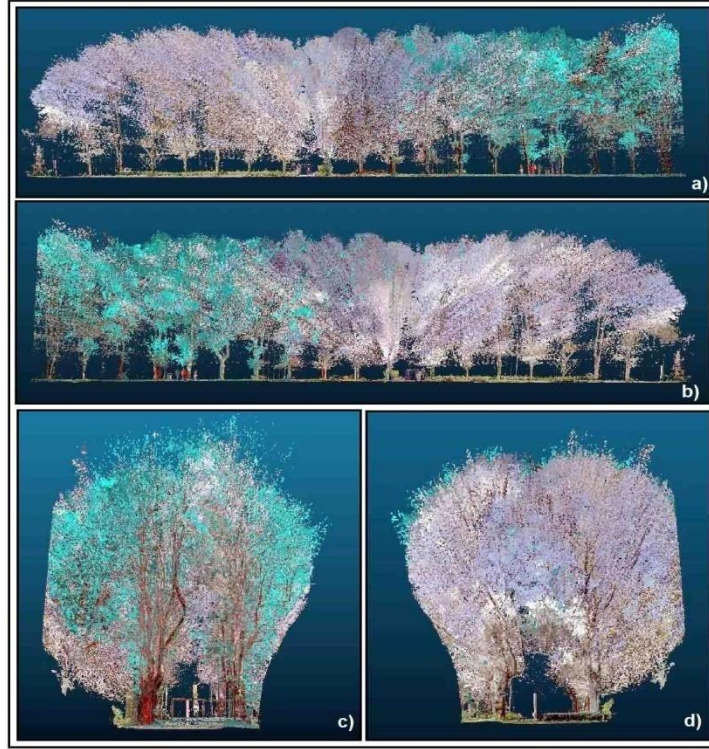
Şekil 4. Nokta bulutlarının birleştirilmesi ve filtrelenmesi
Figure 4. Point clouds registration and filtered

Ayrıca, sahada 3 farklı noktadan Pentax SMT888 marka GNSS ile referans noktaları alınarak, bu noktaların koordinatları baz alınarak kaydıyla elde edilen tüm nokta bulutları UTM ED1950 35N ülke koordinatlarına getirilmiştir. Çalışmada ayrıca SLR Canon 50D marka fotoğraf makinesi ile ağaçlarla ilgili parametrelerin anlaşılabilirliğini sağlamak için her bir tarama noktasından tarayıcı ile 42'şer fotoğraf olmak üzere toplamda 84 adet fotoğraf alınmıştır (Şekil / Figure 5).



Şekil 5. Tarama noktalarının panoramik fotoğrafı
Figure 5. Panoramic photo of scanned points

İki adet YLT noktasından elde edilen nokta bulutları üzerinden 35 adet ağaç incelenmiştir. Birleştirilmiş nokta bulutlarında üst üste binmiş anlamsız noktalar (noise points-kirli noktalar) temizlenerek allenin yaklaşık 141 milyon noktadan oluşan 3 boyutlu nokta bulutu verisi elde edilmiştir. Şekil 6'da görüldüğü üzere farklı bakılardan alım yapılan alana ait düşey profil elde edilmiştir.



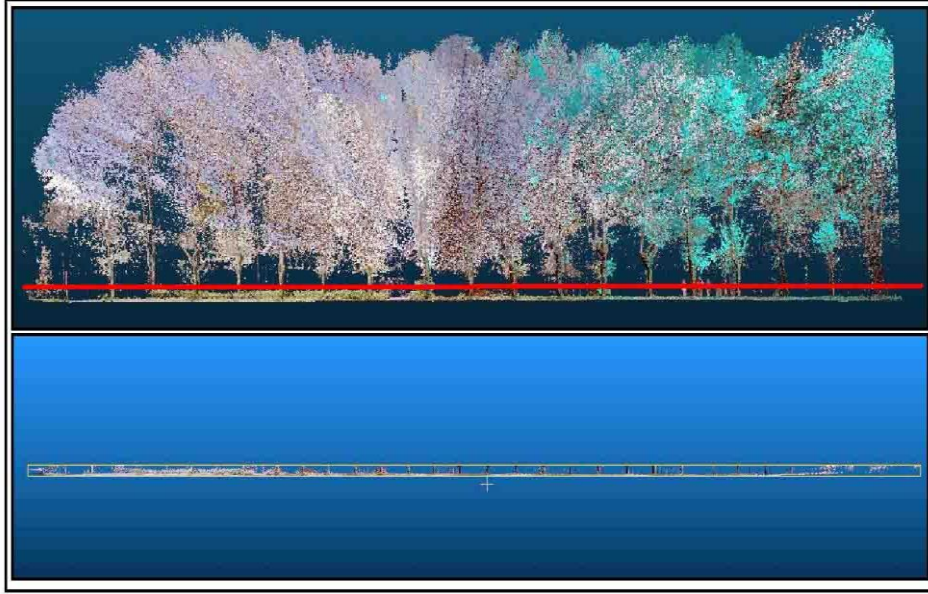
Şekil 6. 3 boyutlu nokta bulutu düşey profili a)Kuzey bakı b) Güney Bakı C)Batı bakı d)Doğu bakı
Figure 6. Vertical profile of 3D point cloud a)North aspect b)South aspect c)West aspect d)East aspect

2.2.2 Ağaçların morfolojik özelliklerinin belirlenmesi

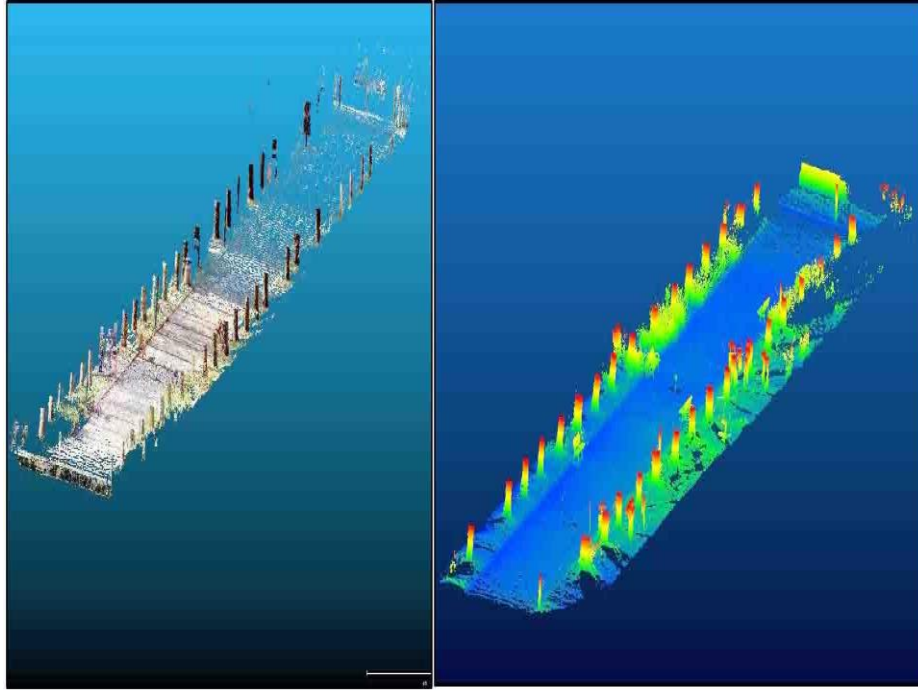
YLT verilerinin işlenmesiyle ağaçların göğüs yüksekliği çapı ($d_{1.30}$), boyu, yaş dal yüksekliği, ağaçlar arasındaki aralık ve mesafeler ölçülmüştür. Göğüs çapının bulunmasında iki temel yaklaşım bulunmaktadır. Bunlardan biri 3B nokta bulutunun 2 boyutlu (2B) belirlenen yükseklikten kesilmesi ve 2B raster üzerinden çap bilgilerinin elde edilmesidir (Mass, 2008 ve Tansey ve ark., 2009). Bu yaklaşımda zemin kotunun düz olduğu kabul edilerek, en düşük kottan itibaren belli bir yükseklikte kesit alınmak kaydıyla yapılmaktadır. Ancak, bu durum eğimli yüzeylerde doğru sonuçları verememektedir.

Nokta bulutlarından silindirik gövde modeli oluşturularak bireysel çap hesaplama yöntemi farklı bir yaklaşımdır. (Liang, 2012 ve 2013). Bu yöntemde ise zemin yüzeyi hakkında herhangi bir veriye gerek duyulmamaktadır. Ancak, birbirine çok yakın ağaçlarda bu yöntemin kullanılmasıyla olumlu sonuçlar elde edilememiştir.

Elde edilen birleştirilmiş nokta bulutları CloudCompare v2.6.1 yazılımında değerlendirilmiştir. Söz konusu yazılım ile nokta bulutları zemin kotları baz alınarak 1.30 m yükseklikten kesilmiştir (Şekil / Figure 7). Böylece alım yapılan alandaki ağaçların $d_{1.30}$ göğüs çapını gösteren yüksek çözünürlüklü raster veriler elde edilmiştir. Elde edilen verilerde kesim hattı yeşil renkte gösterilmiştir. Daha sonra ağaçların bu yükseklikte gövde çevresiyasallaştırılarak alandaki birey sayısı ve göğüs yüksekliğindeki gövde çevresi elde edilmiştir (Şekil / Figure 8).

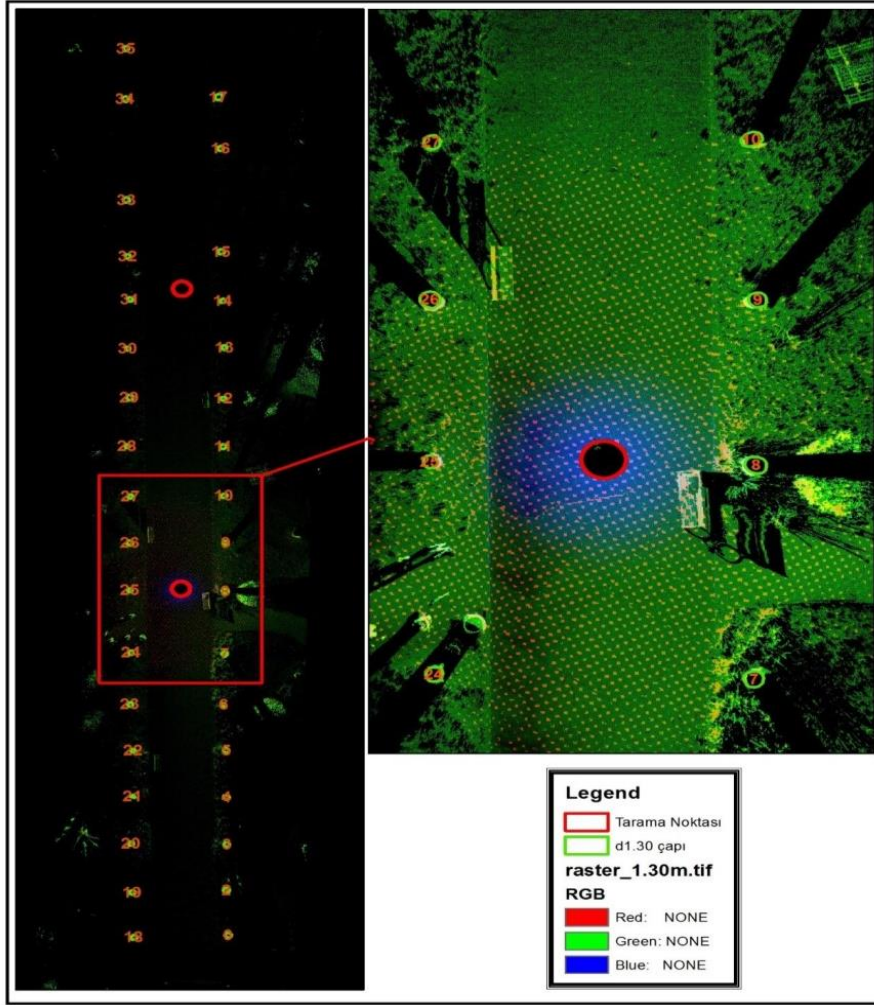


Şekil 7. Tarama yapılan sahanın kesit alım yüksekliği
Figure 7. Section height of scan area



Şekil 8. Ağaç gövdelerinin $d_{1.30}$ yüksekliğinden elde edilen kesiti
Figure 8. Section acquired from $d_{1.30}$ height

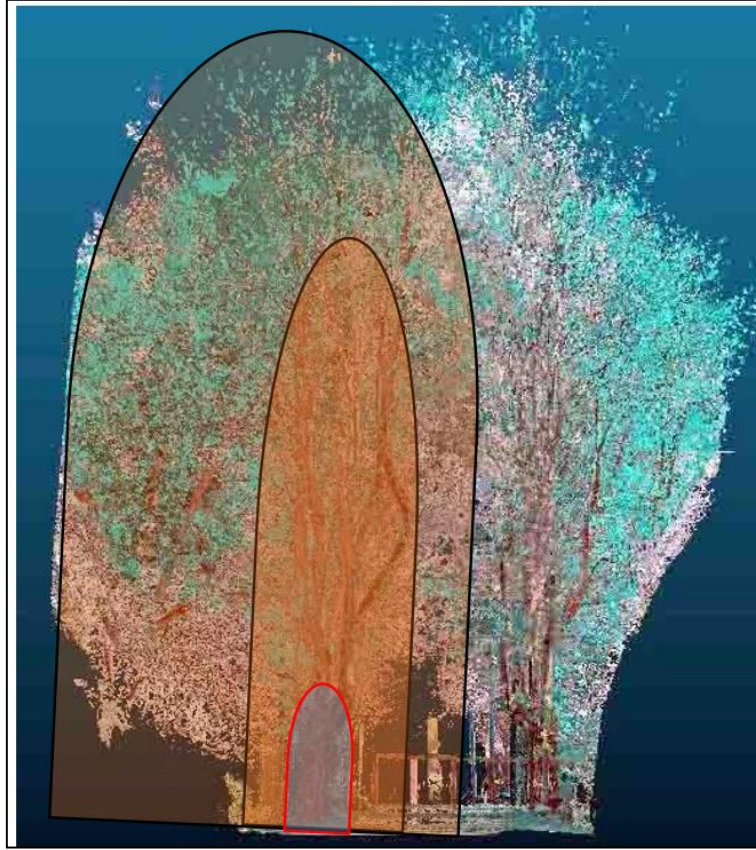
Elde edilen yüksek çözünürlüklü $d_{1.30}$ kesiti ile elde edilen raster veri seti üzerinden her bir ağacın göğüs çapı ArcGIS 10.0 yazılımı üzerinde koordinatlı bir şekilde sayısallaştırılmıştır. Ağaçların numaraları doğu-batı yönünde verilmiştir (Şekil / Figure 9).



Şekil 9. d_{1.30} yüksekliğinden alınan kesite ait yüksek çözünürlük ortofoto
Figure 9. High resolution orthophotograph of section acquired from d_{1.30} height

2.2.3 Ağaç zonları modeli

Ağaç zonları modeli, ağaçların zamana göre değişimlerini bir bütün içinde açıklamak ve farklı bölümleri arasında bağlantılar kurmak amacıyla geliştirilmiş bir kavramdır. Bu model yardımıyla ağacın fizyolojik durumu, sağlığı ve mekanik direncini dikkate alan doğru arborikültürel işlemler uygulanabilir. Ağaçlar; toprak üstü (I, II, III), toprak altı ile üstünü ayıran kök boğazı (IV) ve toprak altında (V, VI, VII) olmak üzere 3 zona ayrılmaktadır. Toprak üstü organları; gövde (Zon III), çatal ve taşıyıcı nitelikli ana dallar (Zon II) ve ince dal, sürgün ve yapraklardan oluşan kısımlardan (Zon I) oluşmaktadır (Dirik, 2014). Bu çalışmada 3 boyutlu olarak elde edilen ağaç görüntüleri üzerinde söz konusu ağaç zonları gösterilmiştir (Şekil / Figure 10). Nokta bulutları ve fotoğrafların birlikte değerlendirildiği bu aşamada ağaçların toprak üstü, toprak altı ve kök boğazı kısımları vektörel olarak zonlanmıştır.



Şekil 10. Ağaç zonlama modeli
Figure 10. Model of tree zone

2.3 İstatistiksel Değerlendirme

Çalışmada nokta bulutlarından elde edilen göğüs yüksekliği çaplarının ($d_{1.30}$) doğruluğunu test etmek amacıyla alım yapılan sahadaki 35 adet ağaç için kumpas ile çift taraflı çap ölçümü yapılmıştır. Yersel ölçümle yapılan çap ölçümleri ile YLT den elde edilen çap ölçümleri arasındaki farklılığı ortaya koymak için $\alpha:0.05$ güven düzeyinde t-testi uygulanmıştır. Ayrıca, yersel ölçüm ile YLT ölçümleri arasındaki ilişkiyi belirlemek için basit regresyon analizi gerçekleştirilmiştir. Söz konusu değerlendirme için Minitab-17 istatistik yazılımı kullanılmıştır.

3. BULGULAR

3.1. Ağaçların morfolojik özellikleri

YLT tarayıcı verilerinin işlenmesiyle ağacın ortalama 22,50 m boya sahip olduğu belirlenmiştir. Ayrıca, ağacın her bir ağacın tepe çatısının başladığı yaş dal yükseklikleri ise 1,8 m ile 4,1 m arasında değişim göstermektedir. Bu durumda, ağaçların tepe çatısı yüksekliği 13,017 m ile 20,74 m arasında değişmektedir (Tablo / Table 1).

Yapılan ölçümler sonucu Yersel ölçüm ile YLT ölçümleri arasında farklar her bir ağaç için Tablo 1 de verilmiştir. Buna göre ağaçların $d_{1.30}$ çap değerleri her iki ölçüme tekniğine göre 24 cm ile 45,6 cm arasında değişim göstermiştir. Çap ortalaması yersel ölçüm ile 38,69 cm tespit edilirken YLT ölçümleri ile 38,81 cm olarak belirlenmiştir. Ölçüm tekniğine göre çaplar arasındaki fark -1,45 ile +3,10 arasında değişmiştir. Genel olarak yersel ölçüm ile belirlenen çaplar YLT ile elde edilen çaplardan ortalama 0,12 cm daha

yüksektir. Ortaya çıkan bu farklılığın ağaç kabuklarında yer alan çatlakların ve girintilerin YLT ile 3B modellemesinden kaynaklandığı yorumlanmıştır.

Tablo 1. Yersel alımla ve Yersel Lazer Tarayıcıdan elde edilen ölçüm verileri
Table 1. Characteristics acquired from TLS and terrestrial observation

Ağaç No	Yaş dal yüksekliği (m)	Ortalama ağaç boyu (m)	Ortalama Tepe tacı yüksekliği (m)	Yersel ölçüm d _{1.30} çap (cm)	YLT d _{1.30} çap (cm)	Çap ölçümleri arasındaki farklar (cm)
1	1,843	22,50	20,657	45,6	45	0,6
2	9,483	22,50	13,017	48,5	48,9	-0,4
3	2,622	22,50	19,878	39,95	41,08	-1,13
4	3,032	22,50	19,468	45	45,6	-0,6
5	3,623	22,50	18,877	44,35	44,3	0,05
6	2,220	22,50	20,280	30,95	31,26	-0,31
7	2,062	22,50	20,438	43,65	42,93	0,72
8	3,790	22,50	18,710	39,65	40	-0,35
9	3,372	22,50	19,128	40	41,17	-1,17
10	2,180	22,50	20,320	38,3	39	-0,7
11	3,462	22,50	19,038	40,4	40	0,4
12	3,457	22,50	19,043	36,05	37,17	-1,12
13	2,897	22,50	19,603	33,1	32,1	1
14	3,140	22,50	19,360	33,7	33	0,7
15	3,072	22,50	19,428	38,65	39,5	-0,85
16	5,172	22,50	17,328	33,05	33,6	-0,55
17	3,452	22,50	19,048	48,2	48	0,2
18	3,364	22,50	19,136	46,4	45,9	0,5
19	2,255	22,50	20,245	33,55	35	-1,45
20	4,154	22,50	18,346	37,75	36,82	0,93
21	1,760	22,50	20,740	33,95	35,22	-1,27
22	3,851	22,50	18,649	39,6	36,5	3,1
23	1,893	22,50	20,607	36,1	37,45	-1,35
24	2,170	22,50	20,330	33,6	34,6	-1
25	2,649	22,50	19,851	37,85	36,64	1,21
26	1,890	22,50	20,610	43,9	43,98	-0,08
27	1,832	22,50	20,668	36,05	36,4	-0,35
28	2,388	22,50	20,112	33,3	33,7	-0,4
29	2,242	22,50	20,258	40,6	40	0,6
30	3,956	22,50	18,544	24,6	24,2	0,4
31	2,611	22,50	19,889	30,3	31	-0,7
32	2,500	22,50	20,000	41,85	42,1	-0,25
33	3,280	22,50	19,220	45,4	45,6	-0,2
34	3,360	22,50	19,140	43,45	44,51	-1,06
35	2,980	22,50	19,520	36,75	36,09	0,66

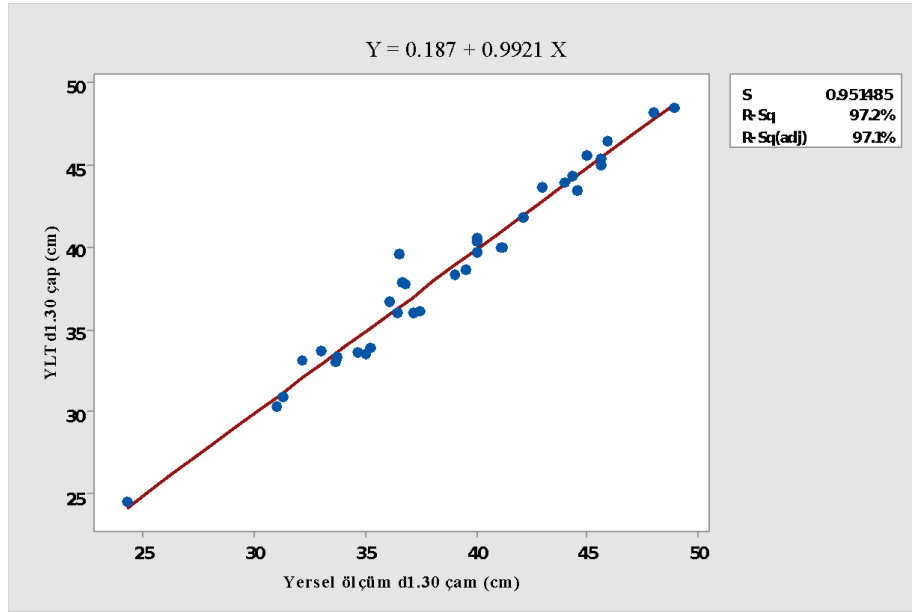
3.2. YLT ölçümlerinin yersel ölçümlerle karşılaştırılması

Deneme alanına ait çap tahminini için toplamda 35 örnek üzerinde yapılan istatistik analiz sonucunda yersel ölçüm ile elde edilen d_{1.30} çap ortalaması YLT ölçümlerinden elde edilen çap değerlerinden yüksek olmasına rağmen ölçümler arasında anlamlı fark bulunamamıştır. ($p < 0,05$) (Tablo / Table 2).

Tablo 2. $d_{1.30}$ göğüs çapları için eşleştirilmiş t-testi sonuçları
Table 2. t-test results of breast diameters

	N(örnek sayısı)	Ortalama	Standart Sapma	Standart Hata Ortalaması
Yersel ölçüm	35	38,809	$\pm 5,531$	0,935
YLT $d_{1.30}$	35	38,689	$\pm 5,567$	0,941
Fark	35	0,120	$\pm 0,938$	0,159
% 95 güven aralığında ortalama fark			-0.202; 0.443	
T testi ortalama farkı=0			P değeri	0.454

Basit regresyon analizi sonuçlarına göre yersel ölçüm ile YLT ölçümleri arasında anlamlı doğrusal ilişki olduğu ortaya çıkmıştır ($R^2=0,971$, $p<0,05$) (Şekil / Figure 11).



Şekil 11. Yersel ölçüm ile YLT ölçümü arasında regresyon analizi sonucu
Figure 11. Regression analysis result between TLS and terrestrial observation values

3.3. Ağaç zonları modelinin çıkarılması

YLT sistemle elde edilen 3B ağaç modeli üzerinde; her bir ağacın ana gövde (Zon III), çatal ve taşıyıcı nitelikli ana dallar (Zon II) ile tepenin dış kısmında kalan ince dal, sürgün ve yapraklardan oluşan bölge (Zon I) belirgin olarak ayırt edilebilmektedir. Ayrıca, toprak altı ve üstü bölgeleri ayıran kök boğazı zonu da (Zon IV) 3B ağaç modelinde kolaylıkla gösterilebilmektedir. YLT verilerinden elde edilen 3 boyutlu ağaç modellerinde görüldüğü üzere, olgun ağaçlarda görülen Zon I, Zon II ve Zon III oluşumları tamamlanmıştır. Işığa yönelme nedeniyle ana çatal dallar (Zon II) dikey bir gelişme göstermiş olup, iki sıralı allenin dış kısımlarındaki Zon I gelişiminin daha fazla olduğu görülmektedir. Bununla birlikte, büyük miktarda statik kitleden oluşan ve Zon I ile Zon II'yi taşıyan ana gövdenin (Zon III) kitle içindeki oranı oldukça düşüktür.

4. TARTIŞMA VE SONUÇ

Çalışmada Yersel Lazer Tarayıcı (YLT) sistemlerinin kentsel alanlardaki ağaçların yapısal özelliklerinin yüksek hassasiyette belirlenmesinde son derece kullanışlı olduğu belirlenmiştir. Bu kapsamda, öncelikle ağaçların konumları ve $d_{1.30}$ çapları belirlenmiştir. Elde edilen çap değerleri, yersel ölçümlerle karşılaştırılarak doğrulukları denetlenmiştir. Toplamada 35 ağaç üzerinde yapılan çalışmada geleneksel ölçüm yoluyla elde edilen $d_{1.30}$ göğüs çapı ile yersel lazer tarayıcı sistemle belirlenen göğüs çapı arasında

yüksek oranda ($R^2=0,971$, $p<0,05$) ilişki bulunmuştur. Çalışmamıza benzer olarak Moskal ve Zheng (2011), YLT ile Washinton Park Arboretumu'ndaki ağaçların boyu, göğüs yüksekliği çapı ($d_{1,30}$) ve hacminin % 91,17 oranında ölçülebildiğini belirtmiştir. Ayrıca, Hackenberg ve ark. (2014), Güney Almanya'da yaptığı bir çalışmada geliştirdikleri bir modelle bireysel ağaç morfolojisinin % 99 oranında tespit edilebileceğini belirtmiştir. YLT verilerinden türetilen 3B modellere göre gerek tek ağaç gerekse meşcere bazında ormancılığa yönelik çok değerli veriler üretilebileceği görülmektedir. Bilimsel ya da uygulamaya dönük ormancılık çalışmalarında seçilen deneme/örnek alanlarında; ağaçların göğüs yüksekliği çapı ($d_{1,30}$), boyu (h), yaş dal yüksekliği, tepe çatısı yüksekliği, mekansal dağılımları gibi belli başlı parametreler YLT sistemlerinden elde edilen verilerden kolaylıkla ölçülebilmektedir. Ayrıca, meşcerelerin katlılığı, kapalılığı ve gövde kalitesi gibi özellikler de tespit edilebilmektedir. Bununla birlikte Seidel (2011); maksimum tepe projeksiyon alanının yüksekliği, maksimum tepe projeksiyon alanı, toprak seviyesindeki gövde merkezinin koordinatları, tepe projeksiyon alanlarının merkezi, ağaç asimetrisinin derecesi ve vektörel olarak doğrultusu, ağaçlar arasındaki mesafeler gibi tepe çatısının yapısal özellikleriyle ilgili parametrelerin ölçülebileceğini bildirmektedir. Nitekim, klasik silvikültürel araştırmalarda da meşcerelerin kuruluş özelliklerini ayrıntılı ve görsel olarak ortaya koymak için yatay ve dikey meşcere izdüşümleri (meşcere profilleri) alınmaktadır. YLT sistemleriyle elde edilen veriler bu yönde daha hassas ve ayrıntılı veriler sunmaktadır.

Gerçekleştirilmiş olan bu çalışma ile YLT sistemleri kullanılarak elde edilen veri setleri üzerinden ormancılık envanter ve hasılat çalışmalarında büyük önem taşıyan değişkenlerden biri olan $d_{1,30}$ çapları hassas bir şekilde saptanmıştır. Lokal olarak gerçekleştirilen bu çalışma ile elde edilen sonuçlara dayanılarak çalışma alanında bulunan tür için hazırlanmış tek girişli ($d_{1,30}$ çapı) hacim tabloları kullanılarak tek ağaç hacmi gibi türetilmiş verilerin elde edilmesi söz konusu olabilecektir. Oluşturulan veri setleri üzerinden ağaç boylarının da çap ölçümlerinde ulaşılan hassasiyet ile tespit edilmesi sözkonusudur. Bu kapsamda, yine çalışma alanında yer alan tür için hazırlanmış çift girişli ($d_{1,30}$ çapı ve ağaç boyu) hacim tabloları kullanılarak daha hassas bir şekilde tek ağaç için gövde hacim hesapları gerçekleştirilebilecektir. Bir ağacın gövde hacminin hesaplanmasında veya hacim tablolarının hazırlanmasında birçok yöntem kullanılmakla birlikte en doğru sonucu bölümlenme yöntemi vermektedir. Fakat en doğru ölçümü elde edebilmek için ağacı kesmek gerekmektedir. Dal hacmi tayininde ise ksilometre (su ölçeği) kullanımı önerilmektedir (Kalıpsız, 1999). Çalışma sonucunda elde edilen sonuçlara dayanılarak YLT kullanılarak arazide toplanacak veriler üzerinden ofis ortamında çeşitli seksiyon yüksekliklerinden ölçülecek çap değerleri ile ağaç kesilmesine gereksinim duyulmaksızın gövde hacminin tayininin yapılabileceği ortaya çıkmaktadır. Ayrıca nokta bulutu verilerinin bilgisayar ortamında 3B olarak katı modellenmesi ile (mesh model) ağaç gövde ve dal hacimlerinin ksilometre kullanılmaksızın elde edilmesi sözkonusu olabilecektir. Bu aşamadaki en önemli nokta ise hacim tablolarının sağlıklı bir şekilde oluşturulması aşamasında ağacın kesilmeden dikili hacminin hesaplanabileceği olmasıdır. Gelecek dönemde plot olarak gerçekleştirilecek çalışmalar ile doğruluk oranlarının ortaya konulmasından sonra bireysel ağaç gövde ve dal hacimlerinin tayin edilebilmesi için tamamıyla YLT verilerinin kullanılması sözkonusu olabilecektir. Periyodik ve sistematik olarak gerçekleştirilecek çalışmalar ile çeşitli yetiştirme ortamları ve farklı türler için dönemsel hasılanın hesaplanmasında da YLT sistemlerinin kullanılması çevreye en az zararı verecek yöntem – sistem kombinasyonu olarak değerlendirilmiştir.

YLT sistemlerle elde edilen 3B görüntüler hem tek ağaç hem de ağaç grupları hakkında detaylı bilgiler sunmaktadır. Ancak, alt tabaka vejetasyonuna sahip sık orman alanlarında yapılan alımlarda çok sayıda alım gerçekleştirilmesi gerekmektedir. Bununla birlikte, yılın farklı dönemlerinde yapılan alımlar da alım sayısını etkilemektedir. Seidel (2011)'e göre yaz aylarında ağaçların yaprakları tepe çatısının üst kısmında daha fazla engel oluşturduğu için yapraksız döneme göre çok daha fazla alıma ihtiyaç duyulmaktadır. Bununla birlikte, çalışmanın amacına göre tek bir alımla bile YLT sistemiyle çok değerli bilgiler elde edilebilir.

Tek ağaç bazında gerçekleştirilen alımlar, kentsel alanlarda gerçekleştirilecek arborikültürel çalışmalara temel oluşturacak veriler sunmaktadır. Özellikle 3B olarak elde edilen ağaç modelleri yardımıyla ağaçların statik ve dinamik kitle oranları, simetrik yapısına uygun budama ve güçlendirme uygulamaları açısından doğru değerlendirmeler yapılabilir.

Sonuç olarak, YLT sistemlerinin ormancılık faaliyetlerindeki kullanım alanları erozyon kontrol çalışmaları (Sediment birikim miktarlarının hesaplanması), Orman Amenajmanı (envanter çalışmaları, servet miktarının belirlenmesi), Hasılat bilgisi (Artım ve büyüme miktarı, karşılıklı büyüme özelliklerinin belirlenmesi), Silvikültür (Meşcere kuruluş özelliklerinin belirlenmesi, ağaçlar arasındaki rekabet ilişkilerinin belirlenmesi, aralama şiddetinin ayarlanması), Yetiştirme ortamının analizi (Yetiştirme ortamı özellikleriyle büyüme özelliklerinin karşılaştırılması), Kent ormancılığı 3Bağaç modellerinden yararlanarak budama, güçlendirme, tedavi gibi uygulamaların belirlenmesi), Orman ekosistemlerindeki değişimlerin izlenmesi, deformasyon analizleri, hacim hesapları, sabit deneme alanlarından objektif veri temini şeklinde özetlenebilir.

KAYNAKLAR (REFERENCES)

- Abellán, A., Calvet, J., Vilaplana, J. M., Blanchard, J., 2010. Detection and spatial prediction of rockfalls by means of terrestrial laser scanner monitoring. *Geomorphology* 119 (3-4): 162-171.
- Aschoff, T., Spiecker, H., 2004. Algorithms for the automatic detection of trees in laser scanner data. *International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences* 36(Part 8), W2.
- Aschoff, T., Thies, M., Spiecker, H., 2004. Describing forest stands using terrestrial laser-scanning. *International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences* 35(5): 237-241.
- Barber, D., Mills, J., Bryan, P., 2003. Towards a standard specification for terrestrial laser scanning of cultural heritage. *CIPA International Archives for Documentation of Cultural Heritage* 19: 619-624.
- Bienert, A., Scheller, S., Keane, E., Mullooly, G., Mohan, F., 2006. Application of terrestrial laser scanners for the determination of forest inventory parameters. *International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences* 36(5).
- Bornaz, L., Rinaudo, F., 2004. Terrestrial laser scanner data processing, XXth ISPRS Congress Istanbul, 2004, Citeseer.
- Danson, F. M., Hetherington, D., Morsdorf, F., Koetz, B., Allgower, B., 2007. Forest canopy gap fraction from terrestrial laser scanning. *IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters* 4(1): 157-160.
- Dirik, H., 2014. Arborikültür (Kentsel Ağaç Kültürü), İstanbul Üniversitesi Yayın no: 5200, Orman Fakültesi Yayın no: 509, ISBN: 978-975-404-956-5, İstanbul.
- Dunning, S. A., Massey, C. I., Rosser, N. J., 2009. Structural and geomorphological features of landslides in the Bhutan Himalaya derived from Terrestrial Laser Scanning. *Geomorphology* 103(1): 17-29.
- Ergincan, F., Cabuk, A., Avdan, U., Tün, M., 2010. Advanced technologies for archaeological documentation: Patara case. *Scientific Research and Essays* 5(18): 2615-2629.
- Holopainen, M., Kankare, V., Vastaranta, M., Liang, X., Lin, Y., Vaaja, M., Yu, X., Hyypä, J., Hyypä, H., Kaartinen, H., 2013. Tree mapping using airborne, terrestrial and mobile laser scanning—A case study in a heterogeneous urban forest. *Urban Forestry and Urban Greening* 12(4): 546-553.
- Hosoi, F. and Omasa, K., 2006. Voxel-Based 3-D Modeling of Individual Trees for Estimating Leaf Area Density Using High-Resolution Portable Scanning Lidar. *IEEE Transaction on Geoscience and Remote Sensing*, 44(12), pp.3610-3618.
- Huang, P., Pretzsch, H. 2010. Using terrestrial laser scanner for estimating leaf areas of individual trees in a conifer forest. *Trees* 24(4): 609-619.
- Kalipsız, A., 1999. Dendrometri, İstanbul Üniversitesi Orman Fakültesi Yayınları 3194-354, İstanbul.
- Kankare, V., Holopainen, M., Vastaranta, M., Puttonen, E., Yu, X., Hyypä, J., Vaaja, M., Hyypä, H., Alho, P., 2013. Individual tree biomass estimation using terrestrial laser scanning, *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing* 75: 64-75.
- Király, G., Brolly, G., 2007. Tree height estimation methods for terrestrial laser scanning in a forest reserve. *International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences* 36(3): 211-215.
- Larsson, S., Kjellander, J.A.P., 2006. Motion control and data capturing for laser scanning with an industrial robot. *Robotics and Autonomous Systems* 54(6): 453-460.

- Liang, X., Litkey, P., Hyyppä, J., Kaartinen, H., Vastaranta, M. and Holopainen, M., 2012. Automatic Stem Mapping Using Single-Scan Terrestrial Laser Scanning. *IEEE Transaction on Geoscience and Remote Sensing* 50(2): 661-670.
- Liang, X. and Hyyppä, J., 2013. Automatic stem mapping by merging several terrestrial laser scans at the feature and decision levels. *Sensors* 13(2): 614-1634.
- Liang, X., Kankare, V., Yu, X., Hyyppä, J., Holopainen, M., 2014. Automated stem curve measurement using terrestrial laser scanning. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing* 52(3): 1739-1748.
- Lichti, D., Gordon, S., and Tipdecho, T. 2005. Error models and propagation in directly georeferenced terrestrial laser scanner networks. *Journal of Surveying Engineering* 131(4): 135–142.
- Hackenberg, J., Morhart, C., Sheppard, J., Spiecker, H., Disney, M., 2014. Highly accurate tree models derived from terrestrial laser scan data: A method description. *Forests* 5(5): 1069-1105.
- Maas, H. G., Bienert, A., Scheller, S., Keane, E., 2008. Automatic Forest Inventory Parameter Determination from Terrestrial Laser Scanner Data. *International Journal of Remote Sensing* 29(5): 1579-1593
- Milan, D. J., Heritage, G. L., Hetherington, D., 2007. Application of a 3D laser scanner in the assessment of erosion and deposition volumes and channel change in a proglacial river.”, *Earth Surface Processes and Landforms* 32(11): 1657-1674.
- Moskal, L. M., Zheng, G., 2011. Retrieving forest inventory variables with terrestrial laser scanning (TLS) in urban heterogeneous forest. *Remote Sensing* 4(1): 1-20.
- MRICS, S. W., Clegg, P., Jones, R., 2005. Combining terrestrial laser scanning, RTK GPS and 3D Visualisation: Application of optical 3D measurement in geological exploration. In 7th Conference on Optical 3D Measurement Techniques, Vienna, 3-5.
- Park, H. S., Lee, H. M., Adeli, H., Lee, I. 2007. A new approach for health monitoring of structures: terrestrial laser scanning. *Computer-Aided Civil and Infrastructure Engineering* 22(1): 19-30.
- Pfeifer, N., Gorte, B., Winterhalder, D., 2004. Automatic reconstruction of single trees from terrestrial laser scanner data. *International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences* 35(B5): 114-119.
- Pirotti, F., Grigolato, S., Lingua, E., Sitzia, T., Tarolli, P. 2012. Laser scanner applications in forest and environmental sciences. *Italian Journal of Remote Sensing* 44(1): 109-123.
- Pratihast, A. K., 2010. 3D tree modelling using mobile laser scanning data. University of Twente, Faculty of Geo-Information and Earth Observation ITC, Enschede.
- Riveiro, B., Morer, P., Arias, P., De Arteaga, I., 2011. Terrestrial laser scanning and limit analysis of masonry arch bridges. *Construction and Building Materials* 25(4): 1726-1735.
- Slob, S., Hack, R., 2004. 3D terrestrial laser scanning as a new field measurement and monitoring technique. In *Engineering Geology for Infrastructure Planning in Europe*, 179-189.
- Schütt, C., Aschoff, T., Winterhalder, D., Thies, M., Kretschmer, U., Spiecker, H., 2004. Approaches for recognition of wood quality of standing trees based on terrestrial laserscanner data. In: Thies, M.; Koch, B.; Spiecker, H.; Weinacker, H. (ed.), *Laser-Scanners for Forest and Landscape Assessment*. International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences Vol. XXXVI- /W2.
- Seidel, D., 2011. Terrestrial laser scanning - Applications in forest ecological research. PhD thesis, Georg-August-Universität Göttingen, Göttingen.
- Tansley, K., Selmes, N., Anstee, A., Tate, N. J., Denniss, A., 2009. Estimating Tree and Stand Variables in a Coesican Pine Woodland from Terrestrial Laser Scanner Data. *International Journal of Remote Sensing* 30(19): 5195-5209.
- Thies, M., Spiecker, H., 2004. Evaluation and future prospects of terrestrial laser scanning for standardized forest inventories. In *Proceedings of the ISPRS working group VIII/2 Laser-Scanners for Forest and Landscape Assessment, Germany*.
- Yastikli, N., 2007. Documentation of cultural heritage using digital photogrammetry and laser scanning.”, *Journal of Cultural Heritage* 8(4): 423-427.