TAM DALGA BOYU LIDAR VERİLERİ İLE BİTKİ ÖRTÜSÜ SINIFLANDIRMA OLANAKLARININ ARAŞTIRILMASI

Ayşe Buşra KURTAK¹, Naci YASTIKLI²

¹Müh., Yıldız Teknik Üniversitesi, İnşaat Fakültesi, Harita Mühendisliği Bölümü, 34220, İstanbul, aysebusrakurtak@gmail.com

²Prof. Dr., Yıldız Teknik Üniversitesi, İnşaat Fakültesi, Harita Mühendisliği Bölümü, 34220, İstanbul, ynaci@yildiz.edu.tr

ÖZET

Gelişmekte olan teknolojiyle birlikte hava LiDAR sistemleri 3-boyutlu veri elde etme konusunda etkili bir kullanım alanı bulmuştur. Yapılan çalışmalar ışığında, hava LiDAR sistemleri kullanılarak obje ve objeden geri yansıyan sinyal hakkında bilgi elde edilebilmektedir. Hedeften algılayıcıya dönen sinyalin çoklu yansıma olarak kaydedilebilmesi tam dalga formu olan LiDAR sistemlerinin en önemli özelliğidir. Bu özelliği sebebiyle tam dalga formu LiDAR sistemleri orman altı topoğrafyasının belirlenmesinde etkili bir rol oynamakta ve çoğunlukla ormancılık çalışmalarında kullanılmaktadır. Günümüzde geri yansıyan sinyalin karakteristiğine göre hedef objenin sınıflandırılması konusundaki çalışmalar önem kazanmaktadır. Hava LiDAR verileri ve yüksek çözünürlüklü uydü görüntüleri kullanılarak sürdürülebilir bir orman yönetimi için orman envanterinin ağaç boyu, hacmi, türleri, yaşı, tür grupları ve orman alan sınırları vb. parametreleri belirlenebilmektedir.

Bu çalışmada; tam dalga formu LiDAR verileriyle geri dönen sinyalin farklı yansıma değerleri kullanılarak bitki örtüsünün sınıflandırma olanaklarının incelenmesi temel amacı oluşturmaktadır. Çalışma alanı olarak İstanbul ilinin kuzey bölgesinde Sarıyer ilçesi sınırları içerisinde yer alan 500 m-700 m'lik bir alan seçilmiştir. Bu çalışmada 2012 yılı ekim ayında 400 kHz Riegl LMS Q680i tarayıcı kullanılarak ortalama 500 m uçuş yüksekliğinde 80 knot uçuş hızında veri alımı yapılarak m²'de 16 nokta ve 30 cm tarama izi olan LiDAR nokta bulutu verileri İstanbul Büyükşehir Belediyesi BİMTAŞ'dan temin edilmiştir. Elde edilen ham LiDAR nokta bulutu TerraSolid'in TerraScan yazılımı kullanılarak dönüş genişliğine (echo length) göre filtrelenerek sınıflandırılmıştır.

Anahtar Sözcükler: airborne lidar system (ALS), bitki örtüsü, ormancılık, sınıflandırma, tam dalga boyu

ABSTRACT

RESEARCH ON POSSIBILITIES OF VEGETATION CLASSIFICATION BY USING FULL WAVEFORM LIDAR DATA

The airborne LiDAR systems have been considered an effective technique for obtaining 3D data with the technological advancements. In the light of the research studies, the information about the objects and the backscattered signal from objects can be obtain by using airborne LiDAR systems. The multi-reflection of the returning signals from the target to sensor is the most important feature of the full waveform LiDAR systems. Because of this feature, full waveform LiDAR systems play an effective role in determining the subfloor topography and are mostly used in forestry studies. Nowadays, the study about the classification of the target object according to the characteristic of the reflected signal is getting more and more important. The forest inventory parameters like tree height, timber volume, tree species, tree age, stand boundary and basal area are determined for a sustainable forest management using the LiDAR data and high resolution imagery.

In this study; it is aimed to investigate the possibility of classification of vegetation by using different reflection values of returned signal of full waveform LiDAR data. The study area is approximately 500 m-700 m located in Sarıyer district in the northern part of Istanbul province. In this study, 400 kHz Riegl Q680i scanner were used to obtain data at an average flight height of 500 m and 80 knot flight speeds in October 2012, resulting in a 16 point/m² and 30 cm footprint LiDAR point cloud data which was provided from İstanbul Metropolitan Municipality BİMTAŞ. The obtained raw point cloud was classified by filtering based on the echo length using TerraSolid's TerraScan software.

Keywords: airborne lidar system (ALS), classification, forestry, full waveform, vegetation

1. GİRİŞ

LiDAR (Light Detection and Ranging) olarak adlandırılan Havadan Lazer Tarama (ALS) aktif bir uzaktan algılama tekniğidir (Doneus ve Briese, 2006). LiDAR, yer yüzeyini yüksek hassasiyetli ve yoğun bir şekilde ölçerek konumsal veri üretilmesini sağlamaktadır. Hava LiDAR sistemleri; yeryüzü topoğrafyasının çok hızlı ve ayrıntılı bir şekilde belirlenmesi, 3-Boyutlu şehir modellerinin oluşturulması, kentsel alanlarda değişimlerin izlenmesi, ormanlık alanlar sınıflandırılması, ağaç yüksekliklerinin belirlenmesi, enerji nakil hatlarının modellenmesi, kıyı kenar çizgisinin belirlenmesi, yersel yöntemlerle ölçülmesi zor alanların (örn bataklık vb.) ölçülmesi, görünürlük analizleri vb. birçok çalışmada başarı ile kullanılmaktadır.

Hava LiDAR Sistemi, algılayıcı platformu helikopter veya uçak olan hava aracına entegre edilen lazer tarayıcı, inersiyal ölçme sistemi (Inertial Measurement Unit (IMU)), global konumlama sistemi (Global Positioning System (GPS)) ve çalışmanın amacına göre hava kamerasından oluşmaktadır. Hava LiDAR ile 3-Boyutlu nokta bulutunun elde edilebilmesi için, lazer tarayıcı uçuş doğrultusu yönünde yer yüzeyine kısa kızlötesi dalga boyunda lazer ışını yayımlamakta ve geri yansıyan sinyal bir fotodiyot ile kaydedilmektedir (Wagner vd., 2006). Lazer tarayıcı ile obje arasındaki 3-Boyutlu mesafe, yayımlanan lazer ışını ile obje yüzeyinden geri yansıyan sinyal arasındaki gidiş-dönüş süresinden hesaplanmaktadır. Bu ölçülen 3-Boyutlu mesafeler ve GPS/IMU sistemi ile kaydedilen dönüklük verileri yardımıyla yeryüzü nesnesine ait 3-Boyutlu nokta bulutu oluşturulmaktadır (Mallet ve Bretar, 2009).

Ticari olarak piyasaya sürülen ilk havadan lazer tarayıcılar, hedefe gönderilen lazer sinyali başına yalnızca bir adet geri dönüş (backscattered echo) sağlamaktaydı. Tek bir dönüş (echo) kaydı, kırınım konisi içerisinde yalnızca bir hedef varsa yeterli olmaktadır. Bu nedenle çoklu dönüş veya çoklu lazer tarama sistemleri (Multi-echo or multiple pulse laser scanning systems), birden fazla dönüşü kaydetmek için tasarlanmıştır. Bu özelliği sebebiyle, gönderilen tek bir lazer ışını çoklu geri dönüş yapabilmektedir. Son yıllarda piyasaya sürülen ticari hava LiDAR sistemlerinde 6'ya kadar çoklu dönüş sinyali kaydedilebilmektedir (Mallet ve Bretar, 2009). Yer yüzeyine algılayıcı platformundan gönderilen lazer sinyalleri yeryüzü objelerinin farklı katmanlarına çarpıp geri yansımaktadır. Hedeften geri yansıyan dönüş sinyalinin özelliği hedefin büyüklüğüne, tarayıcı ile hedef arasındaki 3-Boyutlu mesafeye, hedefin pürüzlülüğüne ve gönderilen sinyalin saçılma yönüne bağlıdır (Doneus ve Briese, 2006). Çoklu dönüş kaydedebilen ticari LiDAR sistemleri ile elde edilen 3-Boyutlu nokta bulutunda dönüşler; seviyesine göre tekli dönüş (single return), ilk dönüş (first return), orta dönüş (intermediate) ve son dönüş (last return) olarak tanımlanmaktadır. Ormanlık alanlarda, lazer tarayıcıdan gönderilen lazer enerjisinin bir kısmı ağaç tepeliklerinden geri dönerken, enerjinin kalanı dallara, gövdeye, çalılara en son orman altı topografyasına ulaşarak geri yansımaktadır (Doneus ve Briese, 2006). Ormanlık alanlarda bitki örtüsünün çeşitli katmanlarından geri dönen lazer sinyallerinden ilk olarak algılayıcıya geri dönen dönüş ağaç tepelerinden dönmektedir ve ilk dönüşler filtrelenerek Meşçere Çatısı Yükseklik Modeli oluşturulmaktadır (Canopy Height Model(CHM)). İkincil ve onu takip eden dönüşler ise doğrudan veya modelleme yoluyla kullanıcıya ağacın boyunu, çapını, hacmini, tepe çatısının genişliğini vb. orman envanterlerinin hesaplanmasını sağlamaktadır. Ancak buradaki kritik husus, LiDAR nokta bulutu içerisinde ağaç gövdesine ait yeterli yoğunlukta noktanın var olmasıdır. Algılayıcıya dönen son dönüş ise yeryüzü topoğrafyasından geri dönen sinyal olduğu için Sayısal Arazi Modeli (SAM) üretiminde kullanılmaktadır.

Bu çalışmada İstanbul ili, Sarıyer ilçesinde yer alan farklı ağaç türlerini içeren Atatürk Arboretumu'nun 7 Ekim 2012 tarihinde Riegl LMS Q680i lazer tarama cihazıyla elde edilen 3-Boyutlu LiDAR nokta bulutu verisi kullanılmıştır. Tam dalga formu LiDAR verileri ile bitki örtüsü sınıflandırma yaklaşımı 3 temel işlem adımından oluşmaktadır. İlk işlem adımında çalışma alanında kaydedilen lazer sinyalinin farklı yeryüzü nesnelerinden geri yansımalarının dönüş genişlikleri (echo width), ikinci işlem adımında geri yansımaların çoklu dönüş seviyelerinin farklı bitki örtüsü katmanlarına etkisi incelenmiş ve üçüncü ve son işlem adımında ilk iki işlem adımında elde edilen sinyalin öznitelikleri yardımıyla bitki örtüsü sınıflandırma işlemi gerçekleştirilmiştir.

2. TAM DALGA FORMU LİDAR

LiDAR teknolojisi ile teorik olarak lazer tarayıcı ile yeryüzü topoğrafyası arasında lazer sinyalinin gidiş-dönüş süresiyle 3-Boyutlu mesafe ölçülmektedir. Lazer ile 3-Boyutlu mesafe ölçümü, puls ve faz farkı ile mesafe ölçümü olmak üzere iki temel ölçme prensibi ile gerçekleştirilmektedir (Wehr ve Lohr, 1999). Puls ile mesafe ölçümünde; lazer tarayıcıdan hedefe, hedeften lazer tarayıcıya olan lazer sinyalinin gidiş-dönüş süresinden mesafe ölçülmekte, faz farkıyla mesafe ölçümünde ise yayılan ve yansıyan sinyaller arasındaki faz farkından yararlanılarak mesafe ölçülmektedir (Mallet ve Bretar, 2009). Tam dalga formu (full-waveform) kaydeden LiDAR sistemlerinde puls ile mesafe ölçme yöntemi kullanılmaktadır.

Algılayıcı platformundan gönderilen ve yeryüzü topoğrafyasından geri yansıyan lazer sinyallerinin (N adet geri yansıma) konumu (x_i, y_i, z_i), dönüş genişliği (W_i , echo width) ve dönüş genliği/yoğunluğu (I_i , echo amplitude) olmak üzere geri yansıyan sinyalin öznitelikleri $X_i^T = (x_i, y_i, z_i, W_i, I_i)$ ($i=1, \dots, N$) olarak tanımlanmaktadır. X_i noktasının dönüş genişliği $W_i=2\sigma_i$ ve dönüş genliği $I_i=\sqrt{2\pi} \cdot \sigma_i \cdot A_i$ dir. Burada, σ_i dönüş genişliğinin standart sapması ve A_i dönüş genliğinin yansımaları ifade etmektedir (Reitberger vd., 2009, Jutzi ve Stilla 2005). Algılayıcı verisi W_i ve I_i referans alınarak kalibre edilmektedir (Eşitlik 1 ve 2). Lazer ışınının seyahat yolu s_i ve nominal mesafe s_0 'ye göre W^e kalibre edilmektedir (Yao vd., 2013).

$$W_i^c = W_i / W^e \quad (1)$$

$$I_i^c = (I_i \cdot s_i^k) / (I_e \cdot s_0^k) \quad (2)$$

LiDAR teknolojisinin iki ana yaklaşımı olan ayrık dönüşlü LiDAR (discrete return LiDAR) ve tam dalga boyu kaydeden LiDAR (full-waveform LiDAR) sistemlerinden ayrık dönüşlü LiDAR sistemleri (geleneksel LiDAR sistemi) geri dönen lazer sinyalinin konumlarını (x_i , y_i , z_i) ve yoğunluk bilgilerini sağlamaktadır. Bu LiDAR sistemleri lazer sinyalinin seyahat yolu üzerinde çoklu yansıma yaratacak aynı objeye ait farklı dönüşler arasındaki mesafe 3 m ve üzeri ise, bu dönen sinyalleri farklı iki dönüş olarak kaydetmektedir (Reitberger vd., 2006). Tam dalga formu kaydeden LiDAR sistemleri ise, hedeften yansıyan lazer sinyallerin tüm dönüş dalga biçimlerini sayısal olarak ölçme ve kaydetme yeteneğine sahip olmaktadır. Bu sistemler, dönüşlerin konumlarıyla birlikte geri dönen sinyalin enerjisini de kaydetmektedir. Kaydedilen dalga formu genel olarak, iletilen sinyal, atmosfer, nesne ve alıcı tarafından etkilenmektedir (Reitberger vd., 2008a).

3. MATERYAL VE YÖNTEM

3.1 Çalışma Alanı ve Veri Seti

İstanbul ili Avrupa yakası Sarıyer ilçesinde, Kemerburgaz-Bahçeköy yolu üzerinde yer alan Atatürk Arboretumu ve çevresi çalışma alanı olarak seçilmiştir. Çalışma alanı olarak seçilen bölgeye ait BİMTAŞ tarafından ‘Hava Lidar Teknolojisiyle Sayısal Yüzey Modeli ve 3 Boyutlu Kent Modeli Projesi’ kapsamında 7 Ekim 2012 tarihinde 400khz Riegl LMS Q680i lazer tarama cihazıyla 500 m uçuş yüksekliğinde 80 knot uçuş hızında alımı gerçekleştirilen LiDAR verileri kullanılmıştır (Çizelge 1). Lazer tarama cihazı Riegl LMS Q680i, hedeften yansıyan lazer sinyallerinin tüm dönüş dalga biçimlerini sayısal olarak ölçme ve kaydetme yeteneğine sahip olmaktadır.

Çizelge 1. Uçuş Parametreleri ve Lazer Tarama Sistemi Teknik Özellikleri.

Lazer tarayıcı	Riegl LMS-Q680i
Uçuş yüksekliği	~500m = ~ 1500feet
Lazer dalga boyu (Wave Length)	1500 (1.5 μ m)
Uçuş hızı	~80knot = 148km/sa = 41m/sn
Yansıyan Işının Iraksaması (Beam Divergence)	0.5mrad
Tarama izi (Size of footprint)	30 cm
Tarama açısı (Scan angle)	+/-22,5°
Puls enerjisi	8 mJ
Digitizer	1 ns

Bitki örtüsü olan ve olmayan alanları analiz edebilmek için çalışma alanı temelde 2 gruba ayrılmıştır. İlk veri seti oluşturulurken, doğal olmayan hedeflerin belirlenmesi için bina ve asfalt yoldan 25 m x 25 m boyutlarında alanlar seçilmiştir (Şekil 1). İkinci veri seti oluşturulurken ise bitki örtüsünün yoğunluğuna göre seyrek, orta yoğunluk ve yoğun bitki örtüsü olacak şekilde 50 m x 50 m boyutlarında üç alan belirlenmiştir.

Şekil 1. 25 m x 25 m boyutlarında bina içeren (1A), asfalt yol içeren (1B) ve 50 m x 50 m boyutlarında seyrek bitki örtüsü içeren (2A), orta yoğunlukta bitki örtüsü içeren (2B) ve yoğun bitki örtüsü içeren (2C) çalışma alanları.

3.2 Tam Dalga Formu Lidar Verisi

Daha önce de ifade edildiği üzere bu çalışmada, herhangi bir geometrik bilgi olmaksızın bitki örtüsünü tam dalga formu analizi sonucu elde edilen dönüş genişliği (echo width) ve dönüş genliği (echo amplitude) ile çoklu geri dönüş sayıları kullanılarak sınıflandırma yapılması amaçlanmıştır. Bu amaçla, 7 Ekim 2012’de veri alımı yapılan çalışma alanına ait uçuş kolonunun tam dalga formu kaydı olan Las 1.4 formatı kullanılmıştır. Las 1.4 formatındaki 3B nokta bulutu, TerraSolid’in TerraScan yazılımı kullanılarak GPS/IMU verileri ile ilişkilendirilmiştir.

Bu çalışmada tam dalga formu verileriyle bitki örtüsü sınıflandırma olanaklarını 3 temel işlem adımından oluşan yaklaşım izlenerek gerçekleştirilmiştir. İlk işlem adımında, yayılan lazer sinyalinin farklı yeryüzü nesnelerinden geri yansımalarının dönüş genişliği (echo width) üzerindeki etkisi incelenmiştir. Bu amaçla öncelikle; çatı, bina ve yoğunluğa göre seçilen bitki örtüsü alanlarının LiDAR verileri dönüş genişliğine göre Çizelge 2’deki aralıklarda gruplandırılmıştır. İkinci işlem adımında, geri yansımaların çoklu dönüş seviyelerinin farklı bitki örtüsü katmanlarına etkisi incelenmiştir. Üçüncü ve son işlem adımında ise ilk iki işlem adımında elde edilen sinyalin öznitelikleri yardımıyla bitki örtüsü sınıflandırma işlemi gerçekleştirilmiştir. Ayrıca lazer sinyalinin son dönüşleri kullanılarak Meşçere Çatısı Yükseklik Modeli (Canopy Height Model (CHM)) üretilmiştir.

Birinci işlem adımında tüm veri setleri için tam dalga formu LiDAR verilerinin dönüş genişliğine göre gruplandırılması yapılmış ve her bir veri seti için farklı sonuçlar analiz edilmiştir (Şekil 2). Bina çatısı (1A) ve asfalt yollarda (1B) geri dönen sinyallerin dönüş genişliği çoğunlukla 0.041 m ile 0.045 m arasında yer almaktadır. Şekil 3’te her bir çalışma alanında Çizelge 2’de verilen her bir gruba ait dönüş genişliği aralığına düşen nokta sayıları grafik olarak verilmiştir. Çizelge 2 ve Şekil 2 birlikte incelendiğinde Çalışma Alanı 1A ve 1B’deki bina ve asfalt yolların sadece dönüş genişliği değerleri ile ayırt edilmesi ve kendi sınıflarına atanmasının mümkün olmadığı görülmüştür. Bitki örtüsünü içeren çalışma alanında; seyrek (2A), orta yoğun (2B) ve yoğun (2C) bitki örtüsü alanları sırasıyla dönüş genişliğine göre Çizelge 2’de verilen her bir gruba ait dönüş genişliği aralığı esas alınarak gruplandırma işlemine tabi tutulmuştur. Genel olarak bitki örtüsü noktalarının dönüş genişliğinin doğal olmayan nesneler grubundaki bina ve asfalt yol noktalarının dönüş genişliğinden daha büyük olduğu gözlemlenmiştir. Bu sonuçlara göre bitki örtüsünü diğer yeryüzü nesnelerinden ayırmak için dönüş genişliği kullanmanın faydalı olacağı görülmüştür. Ancak yoğunluğa göre seçilen bu üç bitki örtüsü alanı tek tek incelendiğinde, dönüş genişliği kullanılarak seyrek, orta yoğun ve yoğun bitki örtüsü alanlarının birbirinden sağlıklı bir şekilde ayırt edilmesinin mümkün olmadığı tespit edilmiştir (Şekil 2).

Çizelge 2. Dönüş genişliğinin (echo width) 0.005 m aralıklı gruplandırması.

GRUP KODU	DÖNÜŞ GENİŞLİĞİ (m)	
	min. değer	max. değer
● Grup 1	-9999	0.030
● Grup 2	0.030	0.035
● Grup 3	0.036	0.040
● Grup 4	0.041	0.045
● Grup 5	0.046	0.050
● Grup 6	0.051	0.055
● Grup 7	0.056	0.060
● Grup 8	0.061	0.065
● Grup 9	0.066	0.070
● Grup 10	0.071	0.075
● Grup 11	0.076	0.080
● Grup 12	0.081	9999

Şekil 2. Her bir çalışma alanına ait hava fotoğrafı (a), dönüş genişliği gruplandırmasına göre renklendirilmiş nokta bulutu (b) , çalışma alanına ilişkin kesit (c).

Şekil 3. Çalışma Alanı 1A'nın dönüş genişliğine göre toplam nokta sayısı dağılımı(a), Çalışma Alanı 1B'nin dönüş genişliğine göre toplam nokta sayısı dağılımı (b).

Şekil 4. Çalışma Alanı 2A'nın dönüş genişliğine göre toplam nokta sayısı dağılımı (a), Çalışma Alanı 2B'nin dönüş genişliğine göre toplam nokta sayısı dağılımı (b) ve Çalışma Alanı 2C'nin dönüş genişliğine göre toplam nokta sayısı dağılımı (c).

Algılayıcı platformundan gönderilen tek bir lazer sinyalinin bitki örtüsünün farklı katmanlarına nüfuz ederek geri yansımalarıyla oluşan çoklu dönüşlerle bu çalışmadaki ikinci işlem adımı oluşturulmuştur. Orta yoğunlukta bitki örtüsüne sahip çalışma alanı 2B, çoklu dönüş seviyelerine ayrılmıştır (Şekil 5).

Şekil 5. Orta yoğunlukta bitki örtüsünü temsil eden Çalışma Alanı 2B için dönüş seviyelerine ayrılan nokta bulutu; çoklu dönüşlerin bir arada gösterimi (a), tekli dönüş (single return) (b), ilk dönüş (first return) (c), orta dönüş (intermediate return) (d), son dönüş (last return) (e).

Çoklu geri dönüşlerden ilk olarak algılayıcıya dönen lazer sinyali, ağaçların taç tepelerinden yansımaktadır. Bu sebeple ilk dönüşler kullanılarak Meşçere Çatısı Yükseklik Modeli oluşturulabilmektedir. LiDAR nokta bulutu verisinin yüksekliği deniz seviyesinden olan yüksekliktir. Çoklu geri dönüşlerden en sonuncusunun orman altı topoğrafyasından geldiği kabul edip, son dönüşlerden (last return) büyük dönüş genişlikleri (echo width) çıkarılarak yeryüzü topoğrafyası sınıfı oluşturulmuştur. Meşçere Çatısı Yükseklik Modeli oluşturulmadan önce lazer noktalarının yüksekliğini zeminden olan yüksekliğe göre düzenlemek üzere ilk dönüşlerin yükseklikleri yeryüzü topoğrafyası sınıfına ait nokta yüksekliklerine göre düzenlenmiştir. Elde edilen lazer noktaları zemin yüksekliğinde ilk dönüşler olmuştur. Bu lazer noktaları ile Düzensiz Üçgenler Ağı (Triangulated Irregular Network (TIN)) yöntemiyle Meşçere Çatısı Yükseklik Modeli (MÇYM) oluşturulmuştur (Şekil 6).

Seyrek (2A), orta yoğun (2B) ve yoğun (2C) bitki örtüsüne sahip Çalışma Alanlarının birbirlerinden ayırt edilebilmesi amacıyla her bir çalışma alanı için oluşturulan Meşçere Çatısı Yükseklik Modelindeki ağaçların zeminden yüksekliğini ifade eden yükseklik farkları (DZ) hesaplanmıştır. Bu sonuçlara göre seyrek, orta yoğun ve yoğun bitki örtüsüne sahip çalışma alanlarında maksimum yükseklik farkları sırasıyla 13.83 m, 28.36 m ve 22.68 m olarak belirlenmiştir (Çizelge 3). Seyrek bitki örtüsüne sahip çalışma alanında (2A) ağaçların seyrek olmasından dolayı dönen sinyaller çoğunlukla zemine ait olup, ağaçların taç tepelerinden dönen yansıma sayısı oldukça az olmuş ve Meşçere Çatısı Yükseklik Modelindeki ortalama yükseklik farkı değeri 1.47 m olarak hesaplanmıştır. Benzer yaklaşımla orta yoğunlukta bitki örtüsü (2B) ve yoğun bitki örtüsü (2C) Meşçere Çatısı Yükseklik Modelindeki ortalama yükseklik farkları değerleri sırasıyla 9.89 m ve 16.22 m olarak hesaplanmıştır. Elde edilen bu sonuçlar ışığında tam dalga boyuna sahip LiDAR verileri ile bitki örtüsünün yoğunluğa göre sınıflandırılmasının Meşçere Çatısı Yükseklik Modeli yardımıyla olanaklı olduğu görülmüştür.

Çizelge 3. Çalışma alanı 2A, 2B ve 2C için yükseklik farkları ve farkların ortalaması.

Çalışma Alanı	Maksimum DZ (m)	Ortalama DZ (m)
Seyrek bitki örtüsü (2A)	13.83	1.47
Orta yoğun bitki örtüsü (2B)	28.36	9.89
Yoğun bitki örtüsü (2C)	22.68	16.22

Şekil 6. Meşçere Çatısı Yükseklik Modeli (MÇYM) ve Ortalama Yükseklik Farkları (DZ) Dağılımı; seyrek bitki örtüsü(a), orta yoğunlukta bitki örtüsü(b), yoğun bitki örtüsü (c).

4. SONUÇLAR

Bu çalışmada; tam dalga formu LiDAR verileriyle geri dönen sinyalin farklı yansıma değerleri kullanılarak bitki örtüsünün sınıflandırması gerçekleştirilmiştir. Bitki örtüsünün sınıflandırılması için; ilk işlem adımında yayılan lazer sinyalinin farklı yeryüzü nesnelerinden geri yansımalarının dönüş genişliği (echo width) üzerindeki etkisi, ikinci işlem adımında geri yansımaların çoklu dönüş seviyelerinin farklı bitki örtüsü katmanlarına etkisi incelenmiş ve son işlem adımında ilk iki işlem adımında elde edilen sinyalin öznelikleri yardımıyla bitki örtüsü sınıflandırma işlemi gerçekleştirilmiştir. Ayrıca lazer sinyalinin ilk dönüşleri kullanılarak Meşçere Çatısı Yükseklik Modeli (Canopy Height Model (CHM)) üretilmiştir.

Çalışma alanı olarak İstanbul ilinin kuzey bölgesinde Sarıyer ilçesi sınırları içerisinde Kemerburgaz-Bahçeköy yolu üzerinde yer alan Atatürk Arboretumu ve çevresini kapsayan 500m-700m'lik bir alan seçilmiştir. Çalışma alanında doğal olmayan objelerin belirlenmesi için bina ve asfalt yolları içeren 25m x 25m boyutlarında bölgeler

ve bitki örtüsünün yoğunluğuna göre seyrek, orta yoğun ve yoğun bitki örtüsü içeren 50m x 50m boyutlarında bölgeler belirlenmiştir.

Çalışma alanında belirlenen bölgelerde yapılan değerlendirme ve analizler sonucunda tam dalga formu LiDAR verilerinin dönüş genişliğine göre yapılan sınıflandırmada bina çatısı ve asfalt yollarda bitki örtüsünden farklı olarak geri dönen sinyallerin dönüş genişliği çoğunlukla 0.041 m ile 0.045 m arasında yer aldığı tespit edilmiştir. Tam dalga formu LiDAR verilerinin dönüş genişliğine yapılan sınıflandırmada bitki örtüsü ayrı bir sınıfa atanabilmiş bina çatısı ve asfalt yollardan ayrılmıştır. Bununla birlikte bina ve asfalt yolların sadece dönüş genişliği değerleri ile ayırt edilmesi ve kendi sınıflarına atanmasının mümkün olmadığı görülmüştür. Çalışma alanında belirlenen bölgelerde tam dalga formu LiDAR verilerinin çoklu geri dönüşleri yardımıyla Meşçere Çatısı Yükseklik Modeli oluşturulmuştur. Meşçere Çatısı Yükseklik Modelindeki ağaçların zeminden yüksekliğini ifade eden yükseklik farkları (DZ) yardımıyla bitki örtüsünün seyrek, orta yoğun ve yoğun bitki örtüsü olarak sınıflandırılmasının mümkün olduğu belirlenmiştir. Bu çalışmada önerilen yaklaşımla çalışma alanında tam dalga LiDAR verileriyle bitki örtüsünün sınıflandırılması başarıyla gerçekleştirilmiştir.

Teşekkür

Çalışma alanına ait LiDAR verilerini sağladığı için İstanbul Büyükşehir Belediyesi BİMTAŞ'a teşekkürlerimizi sunarız.

KAYNAKLAR

Doneus, M. ve Briese, C., 2006, Digital terrain modelling for archaeological interpretation within forested areas using full-waveform laser scanning. *The 7th International Symposium on Virtual Reality, Archaeology and Cultural Heritage VAST*, Zypern.

Hassani P., 2017. Research Analyst, Systweak Softwares. <https://blogs.systweak.com/2017/03/a-guide-to-what-is-actually-lidar-technology/> [Erişim Tarihi: 25.05.2017].

Jutzi B., Stilla U. 2005. Waveform processing of laser pulses for reconstruction of surfaces in urban areas. In: Moeller M, Wentz E (eds) 3th International Symposium: Remote sensing and data fusion on urban areas, URBAN 2005. *International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing*. Vol 36, Part 8 W27.

Mallet, C., Bretar, F., 2009: Full-waveform topografic lidar: State-of-the-art. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 64, 1-16. doi:10.1016/j.isprsjprs.2008.09.007.

Reitberger, J., Krzystek, P., Stilla, U. 2006, Analysis of Full Waveform Lidar Data for Tree Species classification. *Symposium ISPRS Commission III "Photogrammetric Computer Vision"* PCV06, 20 – 22th September, Bonn, Germany.

Reitberger, J., Krzystek, P. And Stilla, U., 2008a. Analysis of full waveform lidar data for tree species classification. *International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 36, pp. 228–233.

Reitberger, J., Schnörr, Cl., Krzystek, P., Stilla U., 2008b. 3D Segmentation of Full Waveform LIDAR data for Single Tree Detection using Normalized Cut. *ISPRS 21th Congress*, Peking, China, 3 – 11th July 2008.

Reitberger, J., Schnörr, Cl., Heurich, M., Krzystek, P., Stilla, U., 2008c. Towards 3D mapping of forests: A comparative study with first/last pulse and full waveform Lidar data. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, XXXVII. Part B8. Beijing.

Roncat, A., Morsdorf, F., Briese, C., Wagner, W. and Pfeifer, N., 2014. Laser Pulse Interaction with Forest Canopy: Geometric and Radiometric Issues. *Managing Forest Ecosystems*, Vol. 27, Springer Netherlands, Dordrecht, The Netherlands, chapter 2, pp. 19–41.

Wagner, W., Ullrich, A., Ducic, V., Melzer, T., and Studnicka, N., 2006. Gaussian decomposition and calibration of a novel small-footprint full-waveform digitising airborne laser scanner. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 60(2), pp. 100-112.

Wehr, A., ve Lohr, U., 1999, Airborne laser scanning – an introduction and overview, *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 54, pp. 68-82.

Wulder M.A., Bater C.W., Coops N.C., Hilker T., White J.C., 2008: The role of LiDAR in sustainable forest management, *The Forestry Chronicle*, Vol. 84, No.6.

Yao, W., Krzystek, P., Heurich, M., 2013. Enhanced detection of 3D individual trees in forested areas using airborne full-waveform LiDAR data by combining normalized cuts with spatial density clustering. *ISPRS Ann. Photogrammetry., Remote Sensing and Spatial Information Sciences*. 1, 349–354.