KENTSEL VE KIRSAL ALANLARDA LİDAR VERİLERİ ÜZERİNDE YER FİLTRELEME YÖNTEMLERİNİN PERFORMANS ANALİZLERİ

Mustafa VARLI¹, Mustafa TÜRKER²

¹ Hacettepe Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Geomatik Mühendisliği Bölümü, 06800, Ankara, mustafav1644@gmail.com

² Prof. Dr., Hacettepe Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Geomatik Mühendisliği Bölümü, 06800, Ankara, mturker@hacettepe.edu.tr

ÖZET

Sayısal Arazi Modeli (SAM) arazi yapısını tanımak için en yaygın kullanılan model türüdür. Son yıllarda gelişen LiDAR (Light Detection and Ranging) sistemleri, SAM'ın oldukça kolay bir şekilde üretilmesine olanak sağlamıştır. Bunun yanında, LiDAR sistemleri mekansal veri elde etmek, tarihi yapıları incelemek, SAM ve SYM üretmek gibi daha bir çok farklı alanda yaygın kullanılmaktadır. LiDAR sistemleri farklı araçlarda (Mobil, Uçak, Helikopter, İHA ve Uydu) yer alarak lazer tarafından taranan nesnelerin üç boyutlu nokta ölçümlerini (X, Y, Z) kaydeder ve kısa sürede nokta bulutu verisi elde edilir. SAM, LiDAR nokta bulutu verisinden yalnız zemin noktaları kullanılarak oluşturulur. Ancak, LiDAR nokta bulutu verisinde zemin verisi ile beraber doğal ve yapay nesnelerden yansıyan nokta verileri de yer almaktadır. Dolayısıyla SAM oluşturmak için LiDAR nokta bulutu verisinden yalnız zemin noktalarının elde edilmesi gerekir. Bu işlem, "yer filtreleme" olarak adlandırılmaktadır. LiDAR nokta bulutu verisinden yer filtreleme için birçok algoritma geliştirilmiştir. Bu algoritmaların bir kısmı açık kaynak kodlu ALDPAT yazılımında mevcuttur. Bu çalışmada, ALDPAT yazılımında bulunan ve yaygın kullanılan dört farklı yer filtreleme algoritmasının (ATIN, ETEW, MLS ve PM) performans testleri gerçekleştirilmiştir. Testler için, İzmir ili Bergama ilçesinde farklı özelliklere sahip üç ayrı alan belirlenmiştir. Elde edilen bulgulara göre, ATIN (Adaptive TIN) ve PM (Progressive Morphological) algoritmaları en doğru sonuçları vermiştir.

Anahtar Sözcükler: LiDAR, ALDPAT, yer filtreleme, sayısal arazi modeli (SAM)

ABSTRACT

Digital Terrain Model (DTM) is the most commonly used model type to recognize land structure. In recent years, Light Detection and Ranging (LiDAR) systems have enabled the DTM to be produced very easily. In addition, LiDAR systems are widely used in many different areas such as obtaining spatial data, examining historical structures, producing DTM and DEM. LiDAR systems record 3D point measurements (X, Y, Z) of objects scanned by the laser in different vehicles (Mobile, Aircraft, Helicopter, UAV and Satellite) and the point cloud data is obtained shortly. The DTM is created using only the ground points from the LiDAR point cloud data. However, in the LiDAR point cloud data, there are point data as well as point data reflected from natural and artificial objects. Therefore, only the ground points need to be obtained from the LiDAR point cloud data to form the DTM. This process is called "ground filtering". Many algorithms have been developed for location filtering from LiDAR point cloud data. Some of these algorithms are available in the open source ALDPAT software. In this study, performance tests of four widely used location filtering algorithms (ATIN, ETEW, MLS and PM) in ALDPAT software have been performed. For the tests, three different areas with different characteristics were determined in the province of Bergama, İzmir. According to the findings obtained, ATIN (Adaptive TIN) and PM (Progressive Morphological) algorithms gave the most accurate results.

Key Words: LiDAR, ALDPAT, ground filtering, digital terrain model (DTM)

1. GİRİŞ

Sayısal Arazi Modeli (SAM), bir alan içinde doğal ya da yapay nesnelerin (bina, ağaç, elektrik teli, araç vb.) kaldırılarak sadece arazinin yapısını gösterir. Yüksek doğrulukta SAM üretimi elde edebilmek için yüksek doğrulukta 3B nokta verisine ihtiyaç duyulmaktadır. Geleneksel yöntemler (Total Station, GPS ve Fotogrametri) kullanılarak SAM üretimi hem zahmetli hem de oldukça maliyetli bir iştir. Özellikle sık ormanlık alanlarda geleneksel yöntemler ile SAM oluşturma işlemi neredeyse imkânsız hâle gelmektedir. Bu nedenle yüksek doğrulukta 3B nokta verisi üreten teknolojilere yön verilmiştir. LiDAR teknolojisi de bu amaçla geliştirilen, çok farklı platforma entegre edilerek (uydu, uçak, helikopter ve İHA) daha geniş alanların kısa süre içinde 3B nokta verisinin elde edilmesini sağlamak için son zamanlarda kullanımı hızla artan bir teknolojidir (Liu 2008). LiDAR sistemleri tarama sonucu araziden ve arazi üzerinde yer alan doğal ve yapay nesnelerden yansıyan nokta verisini kayıt etmektedir. Ancak, SAM üretmek için yalnız zemin verisine gerek duyulmaktadır. Bu nedenle LiDAR nokta bulutu verisinden zemin verisinin zemin üstü veriden ayrılması gerekmektedir. Bu işlem yaygın olarak yer filtreleme olarak adlandırılmaktadır (Soycan vd. 2011, Süleymanoğlu 2016).

Bu amaçla geliştirilmiş bir çok algoritma bulunmaktadır. Algoritmaların çalışma prensiplerinin farklı olmasının yanı sıra, farklı parametrelere de sahip olmalarından dolayı, çalışma alanı yapısına da bağlı olarak, farklı sonuçlar elde edilebilmektedir. Yaygın kullanılan algoritmalar arasında, Uyarlanabilen TIN (Adaptive TIN-ATIN), Genişleyen Pencere ile Yükseklik Eşik Değeri (Elevation Threshold with Expand Window-ETEW), Maksimum Yerel Eğim (Maximum Local Slope-MLS) ve Aşamalı Morfolojik (Progressive Morphological-PM) bulunmaktadır. Bu algoritmalar farklı açık kaynak yazılımlarda kullanılabilmektedir. Bu çalışmada, açık kaynak kodlu ALDPAT yazılımında bulunan ve yaygın kullanılan yukarıdaki dört algoritmanın farklı arazi özelliklerine sahip alanlarda performans testleri yapılmıştır.

2. ÇALIŞMA ALANI ve VERİLER

2.1 Çalışma Alanı

Çalışma alanı olarak İzmir ili Bergama ilçesinden üç farklı alan seçilmiş ve TA1 (Test Alanı 1), TA2 (Test Alanı 2) ve TA3 (Test Alanı 3) şeklinde adlandırılmıştır.

TA1 test alanı (Şekil-1) 62 hektar olup yaklaşık 12 milyon nokta içermektedir. Alanda yükseklik 68 ile 111 metre arasında değişmektedir. Alan içerisinde farklı boyutlarda binalar, sık ve seyrek ağaçlık alanlar, 1.5 hektar genişliğinde Dokuz Eylül Üniversitesi Bergama Meslek Yüksekokuluna ait bina topluluğu ve sağ alt kısımda 50 metre yüksekliğinde bir tepelik alan bulunmaktadır.

Şekil-1. TA1 test alanı LiDAR nokta bulutu verisi.

TA2 test alanı (Şekil-2) 95 hektar olup yaklaşık 16 milyon nokta içermektedir. Bu alanda yükseklik 74 ile 150 metre arasında değişmektedir. Alan içerisinde üç farklı boyutta tepelik alanlar, farklı boyutlarda binalar ve sol alt kısımda sık ağaçlık bir alan bulunmaktadır.

Şekil-2. TA2 test alanı LiDAR nokta bulutu verisi.

TA3 test alanı (Şekil-3) 125 hektar olup yaklaşık 26 milyon nokta içermektedir. Alanda yükseklik 58 ile 140 metre arasında değişmektedir. Bu alan içinde Bakırçay'ın 1.4 km lik bölümü, çayın kenarlarında sık ağaçlık alanlar, tarlalar, sol alt kısımda yüksek gerilim hattı ve bir tepenin eteğinde oluşmuş bir yerleşim bölgesi bulunmaktadır.

Şekil-3. TA3 test alanı LiDAR nokta bulutu verisi.

2.2 Veriler

Çalışmada kullanılan İzmir ili Bergama ilçesine ait hava LiDAR verileri Harita Genel Müdürlüğü (HGM) tarafından temin edilmiştir. LiDAR verisi Optech firması tarafından 25 Ekim 2014 tarihinde 1200 m yükseklikten çekilmiştir. Test alanlarına ait LiDAR verisi, TA1 test alanı için toplam 12.280.897 noktadan, TA2 test alanı için toplam 16.458.904 noktadan ve TA3 test alanı için toplam 26.606.426 noktadan oluşmaktadır. Nokta yoğunlukları TA1 test alanı için 39.6 nokta/m², TA2 test alanı için 15.2 nokta/m² ve TA3 test alanı için 20.5 nokta/m² dir.

3. KULLANILAN YAZILIM VE YER FİLTRELEME ALGORİTMALARI

Çalışmada açık kaynak kodlu ALDPAT (Airborne LiDAR Data Processing and Analysis Tools) yazılımında bulunan Adaptive Triangulated Irregular Network (ATIN), Elevation Threshold with Expand Window (ETEW), Maximum Local Slope (MLS) ve Progressive Morphological (PM) filtreler kullanılmıştır.

ALDPAT, Zhang ve Cui (2007) tarafından geliştirilmiş bir yazılımdır. İçerisinde birçok farklı algoritma yer almaktadır. Bu algoritmalar, 3B LiDAR verileri içerisinde yer alan zemin ve zemine ait olmayan tüm noktaları algılayıp yalnız zemin noktalarının sonuç olarak elde edilmesini sağlamaktadır. Her bir algoritmanın zemin noktalarını belirlemek için farklı matematiksel formülleri ve parametreleri vardır. Bu algoritmalar ve çalışma prensipleri şu şekildedir:

a) ATIN Filtresi: Bu filtre Axelsson (2000) tarafından geliştirilmiştir. LiDAR verisi belirlenen kare hücre boyutuna göre bölünmektedir. Belirlenecek olan hücre boyutu çalışma alanındaki zemin olmayan nesnenin boyutundan daha büyük olacak şekilde belirlenmelidir. Her bir kare içerisinde yer alan minimum yükseklik değerine sahip noktalar belirlenir. Bu noktalar birleştirilir ve Delaunay üçgenleme algoritması ile TIN oluşturulur. Her noktanın, oluşturulan TIN yüzeyine olan uzaklığı ve her iki noktayı birbirine bağlayan çizgiler ile TIN yüzeyi arasındaki üç açının eşik aralık değerleri belirlenir. Eğer noktanın TIN yüzeyine olan uzaklığı ve açı ölçüsü tanımlanmış eşik aralığı değeri altında ise nokta zemin noktası olarak tanımlanır. Ancak, eşik aralığı değerinden yüksek ise nokta atılır ve kalan noktalardan yeniden TIN yüzeyi oluşturulur. Bu işlem hiçbir zemin noktası eklenmeye kadar tekrarlanmaktadır.

ATIN Filtresi Parametreleri:

Tile X Width (Karo X Genişliği): LiDAR verisinin genişliği

Tile Y Height (Karo Y Yüksekliği): LiDAR verisinin yüksekliği

Cell Size (Hücre Boyutu): Ham verileri ayırtmak için belirlenen hücre boyutu

Z Difference (Z farkı): Bir noktadan TIN yüzeyinin altındaki bir noktaya olan mesafeyi karşılaştırmak için kullanılan eşik değeri

Angle Threshold (Açı Eşiği): TIN yüzeyinin altındaki veya üstündeki noktalar ile TIN 'daki noktalar arasındaki açıyı karşılaştırmak için kullanılan eşik değeri

Init TriGrid Size (İlk TriGrid Boyutu): Zemin noktalarını seçmek için kullanılan hücre başlangıç boyutu

Tile Buffer (Karo Tamponu): Bir dikdörtgen için arabellek boyutu. Dikdörtgenin sınırına yakın noktalar için filtreleme sonuçlarının tutarlılığını incelemek için kullanılır

b) ETEW Filtresi: Bu filtre, Zhang ve Whitman (2005) tarafından geliştirilen algoritmayı temel almaktadır. LiDAR verisi önce kare hücrelere bölünmektedir. Her kare hücresindeki minimum yükseklik değerine sahip noktalar tutulur ve diğer tüm noktalar sonraki işleme alınmaması için atılır. Bir sonraki adım için, ilk belirlenen kare hücre boyutu büyütülür ve yeni hücre boyutu içerisindeki minimum yüksekliğe sahip noktalar tutulur ve belirlenen eşik değerinden yüksek değere sahip noktalar atılır. Bu işlem belirlenen tekrarlanma sayısına göre bir önceki tekrarlanmadan atılacak hiçbir nokta kalmayana kadar devam etmektedir.

ETEW Filtresi Parametreleri:

Width (Genişlik): Kare hücre genişliği

Height (Yükseklik): Kare hücre yüksekliği

Max Z (Maksimum Z): Tüm yer noktaları için maksimum yükseklik

Min Z (Minimum Z): Tüm yer noktaları için minimum yükseklik

Slope (Eğim): Yükseklik farklılıklarının eşik değerini belirleyen eğim faktörü

Loop Times (Döngü Zamanları): Filtrenin gerçekleştirdiği maksimum yineleme sayısı

c) MLS Filtresi: Bu filtre, Vosselman (2000) tarafından geliştirilmiştir. LiDAR verisi, boyutuna göre kare ya da dikdörtgen olarak 2B hücrelere bölünür. Her 3B nokta, x ve y koordinatları temel alınarak hücrelere atanır. Eğer belirlenen hücre içerisinde birden fazla nokta yer alırsa minimum yüksekliğe sahip nokta kabul edilir. LiDAR verisinde belirlenen ölçme noktası ile belirlenen yarıçap içerisindeki herhangi bir nokta arasındaki eğim algoritmada belirlenen maksimum eğim değerinden az ise zemin noktası olarak tanımlanır. Ancak, yüksek bir değer ise bu nokta atılır. Bu işlem her defasında minimum yüksekliğe sahip noktayı bulmaya çalışır ve belirlenen eşik değerleri altındaki noktaları bulup bütün zemin noktalarını bulana kadar devam eder.

MLS Filtresi Parametreleri:

Width (Genişlik): Hücre genişliği

Height (Yükseklik): Hücre yüksekliği

Max Z (Maksimum Z): LiDAR noktaları için maksimum yükseklik değeri

Min Z (Minimum Z): LiDAR noktaları için minimum yükseklik değeri

BinSize (Arama Yarıçapı): Arama yarıçapının boyutu

Min Distance (Minimum Mesafe): Bir eğim hesaplamak için izin verilen minimum mesafe

Max Slope (Maksimum Eğim): Eğim eşik değeri

d) PM Filtresi: Bu filtre, Zhang vd. (2003) tarafından geliştirilmiştir. Filtrenin temeli, morfolojik açılma ve kapanma işlemlerini büyüyen hücre boyutuna ve yükseklik farklarına göre incelenerek zemin noktaları elde edilmesi işlemidir. İlk olarak bir hücre boyutu belirlenir ve her hücre içerisinde yer alan minimum yüksekliğe sahip noktalar belirlenir. Ancak, hücre içerisinde nokta yok ise en yakın komşu hücre değeri atanır. Bu noktalarda diğer aşamalarda kullanılacak giriş verisi olarak kullanılır. Daha sonraki aşamalarda, belirlenen hücre boyutu artırılır. Eğim ve mesafe eşik aralık değerlerinden az olan bir nokta belirlenir ise zemin noktası olarak atanır. Bu işlem belirlenen hücre boyutunun artırılacağı seviyeye kadar devam eder.

PM Filtresi Parametreleri:

Cell Size (Hücre boyutu): $N \times N$ boyutunda ızgara yapısını temsil eder

Z Factor (Eğim): Yükseklik farkı eşikini belirler

Init Threshold (İlk Eşik): LiDAR ölçümlerinin hatalarına yaklaşan ilk yükseklik farkı eşik

Max Threshold (Maksimum Eşik): Kentsel bölgelerde binaların kaldırılması için kullanılır. Bu eşik değerini, kullanılmayacağı zaman, test alanında en büyük yükseklik farkı (ör., 9999) olarak belirlemek gerekir

Window Base (Pencere Tabanı): Pencere boyutunu belirlemek için temel değer

Power Increment (Güç Artışı): Bir pencere dizisini artış sayısı

Max Window (Maksimum Pencere): Bir pencere dizisinin uzunluğu

Init Radius (Başlangıç Yarıçapı): En yakın komşu interpolasyonu için başlangıç arama yarıçapı

4. TESTLER

4.1 Gürültünün Temizlenmesi

SAM üretimi için filtre algoritmalarının uygulanmasından önce, işlenmemiş hava LiDAR verileri içerisinde bulunan gürültü noktaları temizlenmiştir. Bu problem iki farklı yöntem ile çözülmüştür. İlk yöntemde LiDAR verisindeki gürültü değerleri MATLAB kodu ile yok edilmiştir. İkinci yöntemde ise *LasTools* programı içerisinde yer alan *Lasnoise* fonksiyonu kullanılarak verideki gürültü temizlenmiştir.

Şekil 4. (a) Gürültü içeren LiDAR verisi.

(b) Gürültü temizlenmiş LiDAR verisi.

4.2 Filtrelerdeki Uygun Parametre Değerlerinin Belirlenmesi

Gürültünün yok edilmesinin ardından filtreler TA1, TA2 ve TA3 test alanlarına uygulanarak zemin noktalarının elde edilmesi sağlanmıştır. Her test alanı için, alanın yapısına göre farklı parametre değerleri belirlenmiştir. Ancak, temel olarak zemin noktalarının elde edilmesinde filtrelerdeki bazı parametreler etkin olmuştur. Çalışmada kullanılan filtreler için belirlenmiş parametre değerleri Tablo 1’de verilmiştir.

ATIN filtresi uygulanırken önce test alanlarının boyutları girilmiştir. Sonra, alan içinde boyutu en büyük olan nesnelerden zemin olmayan noktaları almamak için, hücre başlangıç boyutu bu nesnelere göre belirlenmiştir. Ardından, çalışma prensibine göre zemin noktalarının elde edilmesi için noktalar arasında Z değeri farkı ve açı eşik değeri test alanları üzerinde denenmek suretiyle en uygun değer belirlenmiştir.

ETEW filtresi uygulanırken önce, alan içindeki maksimum ve minimum yükseklik değerleri (MAX Z ve MIN Z) belirlenmiştir. Çünkü, yalnız zemin olan noktaların sahip olduğu Z değerlerinin belirlenebilmesi için alanın yükseklik sınırlarının belirlenmesi gerekir. Bu aşamadan sonra, etkin olan eğim parametresi değerleri, zemin olmayan noktaların alınmamasını sağlayacak şekilde test edilerek, en uygun değerler belirlenmiştir.

MLS filtresi uygulanırken ETEW filtresinde olduğu gibi öncelikle test alanı içindeki maksimum ve minimum yükseklik değerleri (MAX Z ve MIN Z) belirlenmiştir. Sonra, filtrenin çalışma prensibine göre, zemin olmayan noktaların alınmaması için maksimum eğim ve minimum mesafe değerleri birlikte test edilerek en uygun parametre değerleri tespit edilmiştir.

PM filtresi uygulanırken önce ilk ve maksimum eşik değerleri belirlenmiştir. Çünkü, test alanlardaki yalnız zemin noktalarının Z değerleri ile sınırlandırılması gerekmektedir. Ardından, matematiksel morfolojik çalışma prensibine göre pencere tabanı (WINDOW BASE) tespit edilmiştir. Test alanlarının yapısına göre eğim eşik değeri (Z FACTOR), yalnız zemin noktalarının alınmasını sağlamak için, denemeler yapılarak belirlenmiştir. Diğer parametreler için de en uygun parametre değerleri, yapılan denemeler neticesinde tespit edilmiştir.

Tablo 1. Filtreler için belirlenmiş parametre değerleri.

Filtre	Parametre	Parametre Değeri		
		TA1	TA2	TA3
ATIN	CELL SIZE	5	5	5
	Z DIFFERENCE	1	0.3	0.4
	ANGLE THRESHOLD	45	45	45
	INIT. TRIGRID SIZE	75	40	10
	TILE X	500	1200	1300
	TILE Y	620	900	1000
	TILE BUFFER	20	100	20
ETEW	WIDTH	5	5	5
	HEIGHT	5	5	5
	Z FACTOR (SLOPE)	0.05	0.1	0.2
	MAX Z	111	150	140
	MIN Z	68	73	58
	LOOP TIMES	5	2	1
MLS	WIDTH	5	5	5
	HEIGHT	5	5	5
	MAX SLOPE	0.1	0.2	0.2
	MIN DIST.	2	2	1
	MAX Z	111	150	140
	MIN Z	68	73	58
	BINSIZE	65	20	2
PM	CELL SIZE	5	5	5
	WINDOW BASE	3	3	3
	POWER INC.	3	1	1
	MAX WINDOW	4	4	4
	Z FACTOR (SLOPE)	0.2	0.2	0.4
	INIT RADIUS	1	1	1
	INIT THRESHOLD	0.5	0.6	0.5
	MAX THRESHOLD	111	150	100

5. BULGULAR

5.1. Bulguların Nokta Sayılarına Göre Karşılaştırılması

Filtre işlemlerinin ardından elde edilen SAM'ların, algoritma çeşidinin parametrelerine göre, farklı sayıda LiDAR nokta verilerine sahip oldukları görülmüştür (Tablolar 2, 3 ve 4). Bunun temel nedeni, algoritmaların farklılığı ve bu çalışmada her algoritma için belirlenmiş olan en uygun parametre değerleridir. ATIN ve PM filtreleri SAM elde ederken açı, mesafe, yarıçap, pencere genişletme gibi bir çok farklı yönden alandaki zemin noktalarını tayin etmeye çalışmaktadır. Ancak, ETEW ve MLS filtreleri sadece eğim değerine göre işlem yapmak suretiyle SAM elde etmektedir.

Bu nedenle elde edilen SAM nokta sayısı ATIN ve PM filtrelerinde daha fazladır. Bu durum TA1 ve TA2 test alanları nokta sayılarında da görülmektedir Her iki alanda da ATIN ve PM filtre sonucunda elde edilen SAM nokta sayıları ETEW ve MLS filtre sonuçlarına göre daha fazladır. Ancak, TA3 için bu durum geçerli değildir. Çünkü, bu test alanı yapısında düzlemsel bölgeleri daha çok barındırmaktadır. Bir diğer açıdan bakıldığında, ATIN ve PM filtreleri noktasal bazda test edildiğinde, ETEW ve MLS filtrelerine göre daha fazla parametre ile incelemesinin etkisiyle SAM'lar daha düzgün çıkmıştır.

Tablo 2. TA1 test alanında filtreleme sonucu nokta sayıları.

Orijinal Veri Nokta Sayısı	12.280.897 Nokta
ATIN	22.883 Nokta
ETEW	18.698 Nokta
MLS	20.081 Nokta
PM	22.400 Nokta

Tablo 3. TA2 test alanında filtreleme sonucu nokta sayıları.

Orijinal Veri Nokta Sayısı	16.458.904 Nokta
ATIN	33.138 Nokta
ETEW	24.894 Nokta
MLS	26.706 Nokta
PM	34.073 Nokta

Tablo 4. TA3 test alanında filtreleme sonucu nokta sayıları.

Orijinal Veri Nokta Sayısı	26.606.426 Nokta
ATIN	48.475 Nokta
ETEW	47.114 Nokta
MLS	48.931 Nokta
PM	47.970 Nokta

5.2 SAM Üretimi ve Filtre Uygunluk Araştırması

TA1 test alanı ATIN filtre sonucu Şekil 5'te gösterilmiştir. Bu test alanında sonucu en çok etkileyen yapı 1.5 hektar büyüklüğünde olan bina (Şekil 5'te sağ üst kısımda kırmızı dikdörtgen ile gösterilen alan) olmuştur. Algoritmaya göre, yalnız zemin noktalarının alınması gerektiğinden bu yapıdan nokta seçilmemesi gerekmektedir. Ancak, bunun sağlanabilmesi için alanın sol alt kısmında bulunan tepelik alandaki zemin noktalarında (Şekil 5'te sol alt kısımda kırmızı kare ile gösterilen alan) kayıplar olduğu görülmüştür. En uygun SAM'ın elde edilmesi için bu yapıdan nokta alınmamasına dikkat edilerek denemeler yapılmış ve bu test alanında yüzey yapısını en belirgin gösteren filtrelerin ATIN ve PM filtreleri olduğu görülmüştür. TA1 test alanı ETEW filtre sonucu Şekil 6'da gösterilmiştir. ETEW ve MLS filtreleri ile elde edilen SAM'larda alanın sol alt kısmında bulunan tepelik alanın yanında (Şekil 6'da sol alt kısımda kırmızı dikdörtgen ile gösterilen alan) bölgesel veri kayıplarının olduğu belirgin olarak gözlemlenmiştir.

Şekil-5. TA1 test alanı ATIN filtre sonucu.

Şekil-6. TA1 test alanı ETEW filtre sonucu.

TA2 test alanı ATIN filtre sonucu Şekil 7’de gösterilmiştir. TA2 test alanında dikkat edilmesi gereken durum, farklı boyutlarda ve eğimlerde üç tepelik alanın bulunmasıdır. Bu tepelerin üzerinde yer alan zemin noktalarının hepsinin en uygun şekilde çıkarılması için birçok deneme yapılmıştır. Ancak, en uygun olarak belirlenen filtre parametre değerlerinin kullanılması ile elde edilen SAM’da bile tepelerin üst kısımlarında zemin noktalarında veri kaybı olduğu görülmüştür. Veri kaybı olan kısımlar Şekil 7’de kırmızı kareler ile gösterilmiştir. TA2 test alanı ETEW filtre sonucu Şekil 8’de gösterilmiştir. Filtre analizlerinin eğim kriteri tabanlı yapıldığı ETEW ve MLS filtrelerinde ise tepelerin eğim farklılıklarından kaynaklı veri kayıplarının fazla olduğu görülmüştür. Ancak, ATIN ve PM filtrelerinin daha fazla parametreye sahip olması tepelik alanlarda yer alan zemin noktalarında kayıpların minimum düzeyde olmasını sağlamıştır. ATIN ve PM filtreleri, bu test alanında yüzey yapısını en doğru ortaya çıkaran filtreler olmuştur.

Şekil-7. TA2 test alanı ATIN filtre sonucu.

Şekil-8. TA2 test alanı ETEW filtre sonucu.

TA3 test alanı için, ATIN ve ETEW filtre sonuçları sırasıyla Şekiller 9 ve 10'da gösterilmiştir. TA3 test alanında, ATIN, ETEW, MLS ve PM filtreleri ile elde edilen SAM'lar birbirine yakın çıkmıştır. Bunun en önemli nedeni, alan içinde problem çıkarabilecek yapının bulunmayıp genel arazi yapısının tarımsal parsellerden oluşmasıdır. Ancak, Bakırçay'ın (Şekil 9'da sol alttan sağ üste doğru uzanan mavi renkli nokta kümesi) her iki yakasında bulunan sık ağaçlık alanlar, sol üstte yer alan tepenin yapısı ve bu tepenin eteklerinde kurulmuş olan yerleşim bölgesindeki binalar, filtreleme sonuçlarında etkisini göstermiştir. Yapılan analizler neticesinde, yine ETEW ve MLS filtrelerine göre ATIN ve PM filtrelerinin oluşturduğu SAM'ların arazi yüzeyini daha doğru temsil ettiği görülmüştür.

Şekil-9. TA3 test alanı ATIN filtre sonucu.

Şekil-10. TA3 test alanı ETEW filtre sonucu.

6. SONUÇLAR

Bu çalışmada kullanılan üç farklı test alanında elde edilen SAM'lar incelendiklerinde, kentsel ve kırsal alanlarda arazinin yapısına ve belirlenen en uygun parametre değerlerine göre, ETEW ve MLS filtrelerinin eğim etkisinin az olduğu bölgelerde SAM sonuçlarını doğru verdiği gözlemlenmiştir. Ancak, farklı eğim kriterleri ya da nesnelerin yer aldığı alanlarda, ETEW ve MLS filtreleri zemin noktalarını ortaya çıkarma konusunda eksik kalmıştır. Bunun sebebi, algoritma içerisinde yer alan etkin parametre sayısının az olmasıdır. Diğer taraftan, ATIN ve PM filtreleri ile zemin noktaları belirlenirken, bir çok farklı açıdan analiz eden etkin parametreler bulunmaktadır. Bu nedenle bu çalışmadan elde edilen bulgulara göre, arazi yapısı fark etmeden, ATIN ve PM filtrelerinin en etkin şekilde SAM oluşturduğu sonucuna varılmıştır.

KAYNAKLAR

- Liu X.** (2008). Airborne LiDAR for DEM generation: some critical issues. *Progress in Physical Geography*; 32(1): 31-49. **Liu X.** (2008).
- Pfeifer, N.** (2007). Theory and Application of Laser Scanning: DSM and DTM Filtering. ISPRS Summer School 2007, Ljubljana, Solvenia. **Pfeifer, N.** (2007).
- Sithole, G.** (2001). Filtering of Laser Altimetry Data Using a Slope Adaptive Filter. International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing, Volume XXXIV-3/W4 Annapolis. **Sithole, G.** (2001).
- Axelsson, P.** (2000). DEM generation from laser scanner data using adaptive tin models, *International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing*, XXXIII, Part B3, 85-92. **Axelsson, P.** (2000).
- Süleymanoğlu B.** (2016). Lidar tekniği ile elde edilen nokta bulutların sınıflandırılması ve filtreleme algoritmalarının incelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul, Türkiye. **Süleymanoğlu B.** (2016).
- Vosselman, G.** (2000). Slope based filtering of laser altimetry data, *International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing*, XXXIII, Part B4:958–964. **Vosselman, G.** (2000).
- Zhang K. and Cui Z.** (2007). Airborne LIDAR Data Processing and Analysis Tools, *National Center for Airborne Laser Mapping*, 73-80. **Zhang K. and Cui Z.** (2007).
- Zhang, K. and Whitman, D.** (2005). Comparison of three algorithms for filtering airborne LIDAR data., *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 71, 313-324. **Zhang, K. and Whitman, D.** (2005).
- Soycan M., Tunalioglu N. vd.** (2011). Three Dimensional Modeling of a Forested Area Using an Airborne Light Detection and Ranging Method", *Arabian Journal for Science and Engineering*, 36, 581-595. **Soycan M., Tunalioglu N. vd.** (2011).
- Zhang, K., S. Chen, vd.** (2003). A progressive morphological filter for removing nonground measurements from airborne LIDAR data, *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 41(4): 872–882. **Zhang, K., S. Chen, vd.** (2003).