

AKÜ FEMÜBİD 20 (20) 025502 (267-275)

AKU J. Sci. Eng. 20 (2020) 025502 (267-275)

DOI: 10.35414/akufemubid.660828

Araştırma Makalesi / Research Article

CSF (Cloth simulation filtering) Algoritmasının Zemin Noktalarını Filtrelemedeki Performans Analizi

Lütfiye KARASAKA¹, Sultan Hilal KELEŞ²¹ Konya Teknik Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, Harita Mühendisliği Bölümü, Konya² Konya Teknik Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Harita Mühendisliği ABD., Konya

Sorumlu yazar e-posta: lkarasaka@ktun.edu.tr

ORCID ID: <http://orcid.org/0000-0002-2804-3219>sultanhilalkeless@gmail.com ORCID ID: <http://orcid.org/0000-0001-5262-5238>

Geliş Tarihi: 17.12.2019

Kabul Tarihi: 01.04.2020

Öz

Yeryüzüne ait sayısal modellerin üretilmesinde LiDAR teknolojisi geleneksel yöntemler ile kıyaslandığında emek, zaman ve doğruluk açısından büyük avantajları ile ön plana çıkmaktadır. Düzensiz bir nokta bulutu topluluğundan oluşan LiDAR verilerini işlemek oluşturacağımız sayısal modeller için önemli bir süreçtir. Bu süreç içinde, ham LiDAR verilerinin filtrelenmesi önemli aşamalardandır. LiDAR verilerini filtreleyerek zemin noktalarını belirleyen açık kaynak kodlu ve ticari yazılımlarda birçok farklı filtreleme algoritmaları vardır. Yapılan çalışmalar incelediğinde her algoritmanın farklı arazi yüzeyleri için güçlü ve zayıf yönleri öne çıkmaktadır. Her algoritma içeriğinde farklı parametreleri barındırır. Bu çalışmada büyük çoğunluğunun sık ormanlık alanlardan ve dik yamaçlardan oluşan zorlu bir arazi yüzeyi için açık kaynak kodlu bir yazılımda bulunan CSF (Cloth simulation filter) algoritmasının zemin noktalarını filtrelemedeki performansı test edilmiştir. Farklı parametre değerleri ile yapılan filtrelemeler sonucunda CSF algoritmasındaki grid çözünürlüğü parametresinin zemin noktası belirlemede önemli olduğu, dik ve eğimli bir çalışma alanı için düşük değerlerle daha fazla zemin noktası belirlediği ortaya çıkmıştır. Ayrıca filtreleme sonucu üretilen arazi modelleri incelendiğinde kaldırılmayan objeler için manuel filtreleme gerekliliği sonucuna varılmıştır.

Anahtar kelimeler

Cloth simulation filter;
Filtreleme;
Hava LiDARı;
Sayısal Arazi Modeli

Performance Analysis of CSF (Cloth simulation filtering) Algorithm for Filtering Ground Points

Abstract

In the production of digital models belonging to the earth, LiDAR technology stands out with its great advantages in terms of labor, time and accuracy compared to traditional methods. Processing LiDAR data consisting of an irregular point cloud is an important process for the numerical models we will create. In this process, filtering of raw LiDAR data is an important step. In open source and commercial softwares, there are many different filtering algorithms that determine ground points by filtering LiDAR data. When the studies are examined, the strengths and weaknesses of each algorithm stand out for different land surfaces. Each algorithm has different parameters in its content. In this study, the performance of the CSF (Cloth simulation filter) algorithm, which is available in an open source software that can be easily downloaded by the users for a challenging terrain surface consisting of dense forests and steep slopes, was tested. As a result of filtering with different parameter values, it has been revealed that the grid resolution parameter in the CSF algorithm is important in determining the ground point and determines more ground points with low values for a steep and inclined working area. In addition, when the field models produced as a result of filtering are examined, it is concluded that manual filtering is required for the objects that cannot be removed.

Keywords

Cloth simulation filter;
Airborne LiDAR;
Filtering Algorithms;
Digital Terrain Model

1. Giriş

Üç boyutlu Sayısal Arazi Modelleri yeryüzüne ait detayların belirlenmesinde ve projelendirilmesinde önemli bir kaynaktır. Bu modellerin üretiminde ise jeodezik ve fotogrametrik teknikler oldukça yaygın olarak kullanılmaktadır. Günümüzde yeryüzüne ait sayısal modellerin üretiminde kullanılmaya başlayan yöntemlerden biri de LiDAR teknolojisidir. LiDAR teknolojisi geleneksel yöntemler ile kıyaslandığında emek, hız ve sağladığı nokta sıklığı ile doğruluk açısından büyük avantajları ile ön plana çıkmaktadır. LiDAR teknolojisi uygulamaları hava LiDAR ve yersel LiDAR olarak sınıflandırılır. Son dönemlerde 3B modelleme, haritalama ve farklı amaçlar için geniş bir çalışma yelpazesi sunan yersel mobil lazer tarama ise yersel LiDAR uygulamaları içinde yer almaktadır. Hava platformlu LiDAR teknolojisi 1960'ların sonlarına doğru gelişmeye başlamış olup geniş alanlarda ve zorlu arazi koşullarında üç boyutlu sayısal modellerin üretiminde büyük kolaylıklar sağlamaktadır.

LiDAR teknolojisi, yoğun nokta bulutu verisi sayesinde objeler üzerindeki hassas değişimleri de belirleyebilmektedir. Bu özelliği ile enerji nakil hatları, binalar, bitki örtüsü vb. bölgeler modellenenmektedir. (Varlık vd. 2017).

İşlenmemiş bir LiDAR nokta bütünü yeryüzünde zemin ve obje olarak (bina, ağaç, araç vb.) tüm yansımaları içerir (Doğruluk vd. 2018). LiDAR nokta bütününden üç boyutlu bir SAM (Sayısal Arazi Modeli) oluşturabilmek için zemine ait noktaların belirlenip obje noktalarından ayrılması gerekir. Bu işleme **filtreleme** denilmektedir (Soycan 2011; Süleymanoğlu 2016).

İşlenmemiş LiDAR nokta bulutu verisindeki zemine ait noktalar diğer obje noktalarından daha düşük yüksekliğe sahiptir. Meng vd. (2010), bu ayrımı yapabilmek adına göre zemin noktalarında olması gereken fiziksel özellikleri dört grupta açıklamışlardır:

En düşük yükseklik: Zemin noktaları çalışma alanında en düşük yükseklik değerine sahiptir.

Zemin yüzeyinin dikliği: Yüzey eğimi, komşu zemin noktaları arasında daha düşükken, zemin ve zemine ait olmayan nesnelere arasında daha fazladır.

Zemin noktaları arasındaki yükseklik farkı: Bir zemin noktasından diğerine olan yükseklik farkı düşüktür. Noktalar arasında yükseklik farkının artması ise binalar, ağaçlar gibi nesnelere ait noktaların varlığını gösterir.

Zemin yüzeyinin homojenliği: Çıplak zemin yüzey nispeten pürüzsüz ve süreklidir.

Zemin noktalarını filtreleme algoritmaları bu özellikler temel alınarak geliştirilmiştir. Ancak her algoritma farklı arazi yüzeyinde farklı sonuçlar verebilmektedir. Bu anlamda zemin noktalarını filtrelemede en iyi sonucu verecek algoritma araştırma konusudur. (Süleymanoğlu ve Soycan 2017).

LiDAR nokta bulutlarının filtreleme işlemi, Açık Kaynak Kodlu (OS) yazılımlar veya ticari yazılımlar tarafından sağlanan uygun filtreler kullanılarak yapılabilir. LiDAR verilerinden en iyi verimi almak için, aynı zamanda yüksek yoğunluklu 3B nokta verisini işleyecek güçlü bir yazılıma ihtiyaç vardır. Bu nedenle, nokta bulutu için otomatik ve hızlı filtreleme algoritmasının geliştirilmesi çok önemli bir konudur (Shahida vd. 2010).

Bu çalışmada dik yamaçlardan ve yoğun bitki örtüsünden oluşan zorlu bir arazi tipi için, ham haldeki düzensiz hava LiDAR verilerinin açık kaynak kodlu bir yazılım olan CloudCompare yazılımında bulunan CSF algoritmasındaki parametrelerle zemin noktalarını filtrelemedeki performansı değerlendirilmiştir.

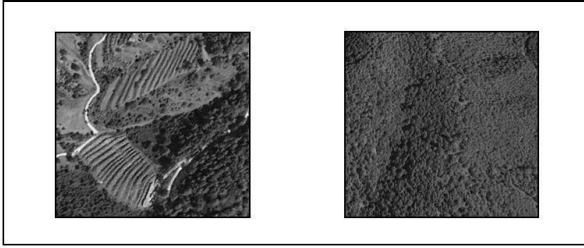
2. Çalışma Alanı

Hava LiDAR uçuşu EMI Grup Bilgi Teknolojileri A.Ş. tarafından gerçekleştirilmiş olup, çalışma alanı Akdeniz Bölgesinde yer alan Antalya İli, Alanya İlçesi, Kocaoğlanlı köyüdür. Topografya dik yamaçlı ve yoğun bitki örtüsünden oluşmaktadır (Şekil 1). Çalışma alanı deniz seviyesinden 181 ile 300 metre aralığında değişen yükseklikte ve yüzölçümü 28 hektardır. Çalışma alanına ait veriler, TM Projeksiyon siteminde ve WGS 84 datumuna göre referanslandırılmıştır.



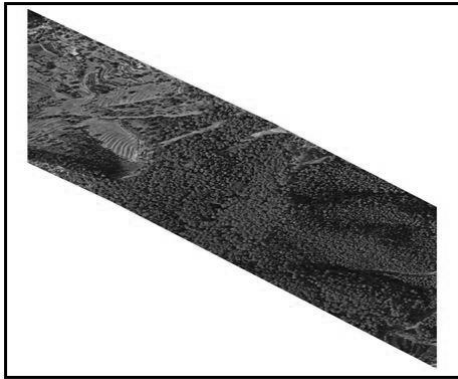
Şekil 1.Çalışma alanı

Bölgedeki dik yamaçlar, erozyondan korunmak önleimiyle merdiven basamağı şeklinde sekileme (teraslama) olarak adlandırılan bir yöntemle korunmaktadır (Şekil 2). Yüksek yerlerde ise makilerden oluşan sık orman bulunmaktadır.



Şekil 2. Çalışma alanı arazi yapısı

Havadan lazer tarama, tarım veya ormancılık alanları, yoğun bitki örtüsünün olduğu dik eğimli yamaçlarda zemin yüzeyine ulaşabilmesi yönünden son derece hızlı, doğru ve verimli bir yöntemdir. Bu çalışmada ormanlık alanlar ve dik yamaçlar bulunması nedeniyle SAM üretiminin hava LiDAR verileri kullanılarak yapılması tercih edilmiştir. Ayrıca uçuşta eş zamanlı olarak elde edilen sayısal görüntülerden üretilen ortofotolar referans veri olarak kullanılmıştır (Şekil 3).



Şekil 3.Çalışma alanı ortofotosu

Çalışmada kullanılan ham LiDAR verileri, 26 Eylül 2018 tarihinde gerçekleşen uçuş ile Avusturya

kökenli Riegl firmasına ait lazer tarayıcı ile 450-500 metre uçuş yüksekliğinde 12.113.500 adet lazer nokta verisi ile gerçekleştirilmiştir. Çalışma bölgesine ait LiDAR verisinin nokta yoğunluğu yaklaşık olarak 45-50 nokta/ m² dir.

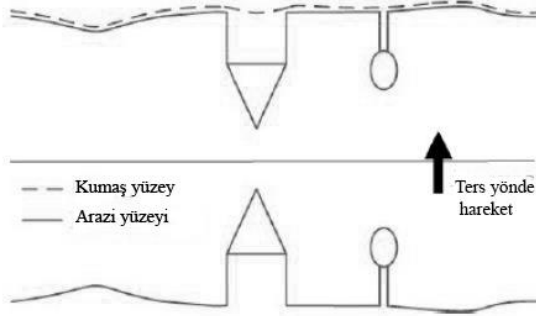
3. Metot

Antalya İli, Alanya İlçesi, Kocaoğlanlı köyünün dik yamaçlı ve yoğun bitki örtüsünü kapsayan çalışma alanı zor bir arazi karakteri göstermesi nedeniyle klasik ölçme yöntemleri ile ölçülmesi zor ve zaman alıcı bir bölgedir. Bu alan için elde edilen ham LiDAR verileri, 12.113.500 adet lazer noktasından oluşan kısmı kesilerek hazırlanmıştır. Projedeki filtreleme işlemi açık kaynak kodlu bir yazılım olan Cloud Compare programında bulunan CSF algoritması ile gerçekleştirilmiştir. Algoritmadaki parametreler zemin noktalarını filtrelemede önemli bir etkidir. Bu parametreleri belirlemek adına, bölgeye ait LiDAR tarama ile eş zamanlı olarak elde edilen sayısal görüntülerden üretilen ortofotolar ile nokta bulutundan alacağımız kesitler referans alınmıştır. Arazi yüzeyi için en doğru filtrelemeyi yapabilmek adına algoritmadaki zemin filtreleme parametreleri değiştirilerek Sayısal Arazi Modelleri oluşturulmuş ve sonuçları karşılaştırılmıştır.

3.1 CSF (Cloth Simulation Filter) filtreleme algoritması

CSF algoritması basit bir fiziksel işlemin mantığına dayanır. Algoritmadaki bu süreç kumaş yüzey ile tasvir edilmiştir. Öncelikle arazinin üstüne bir kumaş parçası düştüğünü hayal edelim. Kumaş parçası yerçekiminin etkisiyle çalışma alanını kapsayacaktır. Kumaşın, tüm yüzeyi saracak şekilde yumuşak bir yapısı olduğu varsayılır. Kumaş yüzeyin aldığı son şekil SYM (Sayısal Yüzey Modeli) olacaktır. Algoritma SAM üretiminde ise farklı bir metot uygular. Öncelikle çalışma alanımızı kapsayan ham haldeki nokta bulutu ters çevrilir ve ters yüzeye yukarıdan kumaş parçası bırakılır. Nokta bulutunu saracak kumaşın sertlik değeri, yapısı parametreler ile belirlenir. Kumaşın aldığı nihai şekil SAM'dır (Zhang vd. 2016). Algoritmaya genel bakış Şekil 4'te ifade edilmiştir. Bu algorithmada kumaş olarak betimlenen yüzeyin düğüm noktalarına karşılık gelen LiDAR noktaları

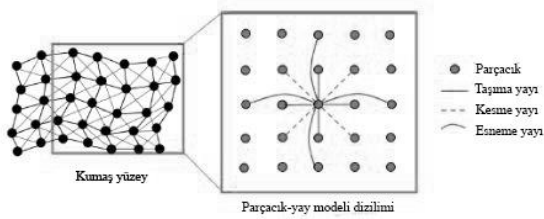
arasındaki etkileşim analiz edilerek işlenmemiş nokta verileri zemin ve zemin olmayan olarak filtrelenir.



Şekil 4. CSF algoritmasına genel bakış (Zhang vd. 2016)

3.2 CSF (Cloth simulation filter) filtreleme algoritmasının matematiksel temeli

Kumaş yüzey olarak adlandırılan bu yüzey ara bağlantılara sahip ve sabit bir kütle taşıyan parçacıklardan oluşan (kütle-yay modeli gibi) bir grid yüzey olarak modellenir (Provot 1995). Bu parçacıkların üç boyutlu uzaydaki konumları kumaş yüzeyin şeklini belirler. Kumaş yüzeydeki parçacıkların aralarındaki ilişki ise Hooke yasalarından "sanal yay" tanımına uymaktadır. Bu yüzey üzerindeki parçacıklar üç tür yay tipi ile etkileşirler ve hareket ederler (Zhang vd. 2016). Bunlar; kesme yayı (shear spring), taşıma yayı (traction spring) ve esneme yayı (flexion spring) olarak adlandırılmıştır (Şekil 5).

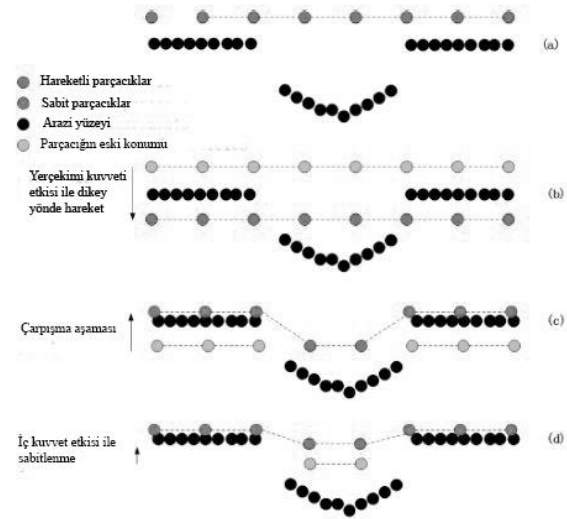


Şekil 5. Kütle yay modelinin şematik gösterimi (Zhang vd. 2016)

Kumaşın şeklini belirli bir zamanda simüle etmek için, 3B uzaydaki tüm parçacıkların konumları hesaplanır. Bir parçacığın konumu ve hızı, üzerine etkiyen kuvvetler tarafından belirlenir. Parçacıkların konum ve hızları, Newton'un ikinci yasasına dayanarak hesaplanır (Zhang vd. 2016).

3.3 CSF (Cloth simulation filter) algoritmasının filtrelemeye uyarlanması

CSF algoritmasının LiDAR nokta bulutunda, nokta filtrelemeye uyarlanabilmesi için birtakım değişiklikler yapılmıştır. Kumaş yüzeydeki bir parçacığın hareketi, arazi yüzeyi ile temas için dikey yönde gerçekleşecektir. Yüzeydeki bir parçacığın konumu, arazi yüzeyinin altında veya eşit olduğunda parçacık ile arazi yüzeyi kesişecektir. Parçacık doğru konuma yani zemine ulaştığında hareketi duracaktır. Bir parçacığın konumu dış ve iç kuvvetlerin net kuvveti ile belirlenir. Bu fiziksel süreçte öncelikle her bir parçanın yer çekimi kuvvetinden yer değiştirmesi hesaplanır. Parçacığın nihai konumu ise iç kuvvetlere, birbirleri ile olan hareketleri sonucu değişecektir (Şekil 6) (Zhang vd.2016).



Şekil 6. CSF filtreleme algoritmasının fiziksel adımları (Zhang vd.2016)

Şekil 6. da CSF filtreleme algoritmasının fiziksel süreçteki ana adımlarını göstermektedir. (a) başlangıç adımında algoritmanın kumaş yüzey olarak adlandırdığı belirli aralıklardaki parçacıklardan (düğüm noktaları) oluşan yüzeyi görmekteyiz. Bu yüzeydeki hareketli parçacıklar, işlenmemiş ve ters çevrilmiş orijinal nokta bulutu üzerine gelecek şekilde konumlanmıştır. (b) adımında yüzey üzerindeki parçacıklar üzerine etkiyecek kuvvetlerin (dış kuvvet) etkisiyle dikey yönde harekete başlayacaktır. Öncelikle yerçekimi kuvveti etkisiyle orijinal nokta bulutuna doğru

hareket edeceklerdir. (c) çarpışma aşaması olarak da adlandıracağımız bu adımda, zemin noktaları ile kesişen parçacıklar kontrollü olarak zemin üzerine taşınır ve konumları sabit kalır.(d) aşamasında parçacıklar, birbirleri ile etkileşimleri sonucu ortaya çıkan kuvvetlerin (iç kuvvet) etkisiyle, son konumlarına sabitlenirler. Kumaş yüzey üzerindeki parçacıklar zemin sınıfına ayrılır.

3.4 CSF (Cloth simulation filter) filtreleme algoritması parametreleri

CloudCompare programı CSF algoritması zemin noktaları filtreleme parametrelerini sağlamaktadır. Bu aşamada kullanıcı tarafından ayarlanması gereken parametreler genel ve gelişmiş olmak üzere iki başlığa ayrılmıştır. Genel parametreler çalıştığımız bölgenin arazi karakteristiğine göre belirlenir. Bu algoritmada genel parametrelerdeki arazi tipleri; dik yamaç, hafif eğimli ve düz olmak üzere üç grupta sunulmuştur. Gelişmiş parametreler ise; grid çözünürlüğü (cloth resolution), yineleme süresi (max iterations), (classification threshold) sınıflandırma eşiği olmak üzere sayısal değerlerden oluşan parametrelerdir.

Bu parametreler sırasıyla;

Grid çözünürlüğü (Cloth resolution): Arazi yüzeyini saracak örtü ile tasvir edilen yüzeyin grid boyutlarıdır. Örtü yüzeyde bulunan komşu iki parçacık arasındaki yatay mesafeyi temsil eder.

Yineleme süresi (Max iterations): Simülasyonun maksimum tekrarlanma süresidir.

Sınıflandırma eşiği (Classification threshold): Noktaların, simülasyon ile oluşturulmuş arazi örtüsü ile arasındaki mesafeye bağlı olarak zemin ve obje olarak sınıflandırıldığı bir eşik değeridir.

3.5 Üretilen modellerin doğruluk analizleri

CSF algoritması ile farklı filtreleme parametreleri ile oluşturduğumuz SAM'ların doğrulukları referans olarak kullandığımız yatayda 5-10 cm düşeyde 10 cm doğruluğa sahip arazi modeli ile karşılaştırılmıştır. Bu işlem için 277547 adet nokta ile modeller arasında yükseklik farklarından Karesel

Ortalama Hataları (KOH) Formül 1'den yararlanarak hesaplanmıştır.

$$KOH_z = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (Z - \bar{Z}_i)^2}{n}} \quad (1)$$

Formül 1 de Z referans verideki noktaların yüksek değerleri, \bar{Z}_i modeldeki noktaların yükseklik değerleri, n toplam nokta sayısı olarak ifade edilmiştir.

4. Uygulama

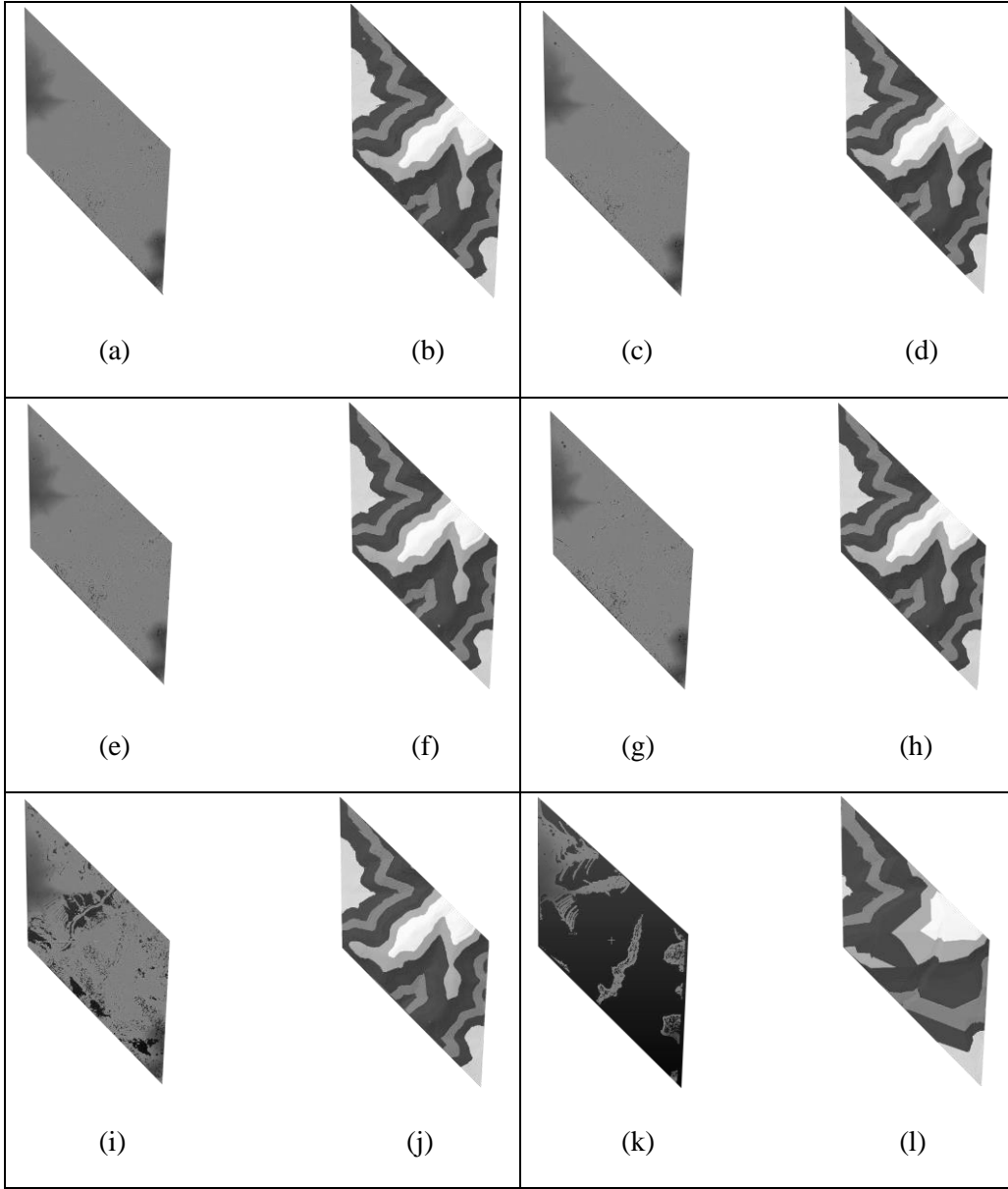
Çalışma alanımızı kapsayan ham 12.113.500 adet LİDAR nokta verileri Cloud Compare yazılımında, CSF algoritması ile filtreleme işlemi gerçekleştirilmiştir. Çalışma alanı dik yamaçlar ve eğimli bölgelerden oluştuğu için algoritma parametrelerinde arazi tipi, dik yamaçlı arazi olarak belirlenmiştir. Gelişmiş parametrelerde ise; sınıflandırma eşiği 0.5, yineleme süresi 1000 alınarak farklı grid çözünürlüğü (0.2, 0.3, 0.4, 0.5, 1, 2) değerleri ile filtreleme işlemi gerçekleştirilmiştir.

4.1 Filtreleme Sonuçları ve Analizi

CSF algoritması ile farklı grid çözünürlük değeri ile farklı sayıda zemin noktaları filtrelenmiştir (Çizelge 1). Şekil 7'de farklı parametre değerleri ile yapılan filtreleme sonuçlarında belirlenen zemin noktaları ve bu noktalardan üretilen SAM'lar bulunmaktadır. Bu sonuçlar incelendiğinde grid çözünürlüğü değeri arttıkça daha az zemin noktası belirlenmiş ve oluşturulan SAM'da bozulmalar meydana gelmiştir.

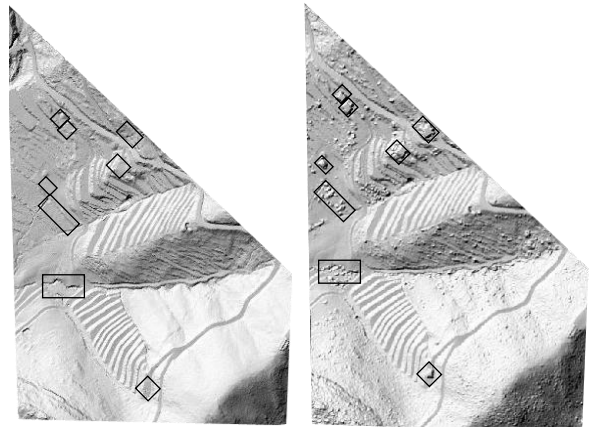
Çizelge 1. CSF algoritması zemin filtreleme sonuçları.

Grid çözünürlüğü	Filtrelenen Zemin Nokta Sayısı
0.2	5 529 470
0.3	5 419 973
0.4	5 328 275
0.5	5 218 743
1	4 152 422
2	1 368 301



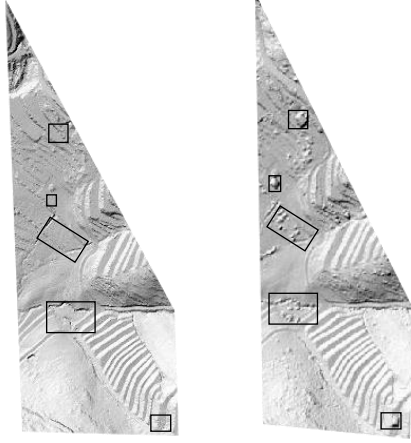
Şekil 7. (a) ve (b) 0.2 grid çözünürlüğü; (c) ve (d) 0.3 grid çözünürlüğü; (e) ve (f) 0.4 grid çözünürlüğü; (g) ve (h) 0.5 grid çözünürlüğü; (i) ve (j) 1 grid çözünürlüğü; (k) ve (l) 2 grid çözünürlüğü parametre değeri ile filtrelenen nokta bulutu ve oluşturulan SAM' lerinin ardışık gösterimi

0.2 grid çözünürlüğü değeri ile filtrelenerek üretilen SAM'ı incelediğimizde dik yamaçların bulunduğu yoğun bitki örtüsüne sahip alanlarda genel olarak iyi bir filtreleme göstermiş ve arazi yüzeyini başarılı biçimde ortaya çıkarmıştır. Ancak çalışma alanında bulunan binaları ve yamaç başlangıcındaki ağaç topluluğunu tespit edememiş ve filtreleyememiştir. Üretilen SAM'ın karesel ortalama hatası ise ± 0.46 m'dir.(Şekil 8).



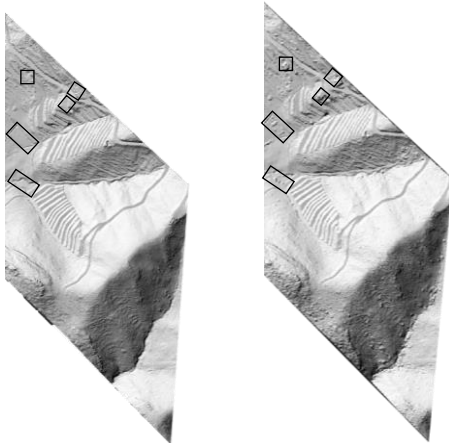
Şekil 8. 0.2 grid çözünürlüğü parametre değeri ile üretilen SAM

0.3 grid çözünürlüğü değeri ile filtrelenerek üretilen modele genel olarak baktığımızda 0.2 grid değeri ile benzer sonuçlar vermiştir. Yamaç başlangıcındaki binayı ve çalışma alanının batısında bulunan ağaçları kaldıramamıştır (Şekil 9). Üretilen SAM'ın karesel ortalama hatası ise ± 0.52 m'dir.



Şekil 9. 0.3 grid çözünürlüğü parametre değeri ile üretilen SAM

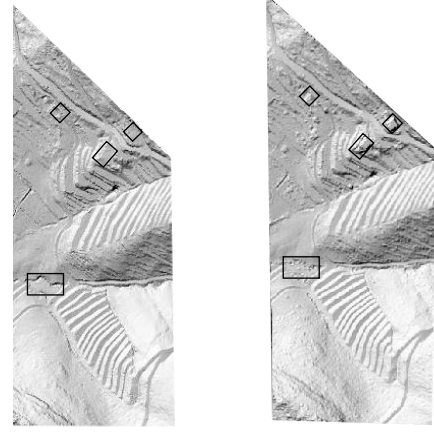
0.4 grid çözünürlüğü filtreleme değeri ile üretilen SAM'ı incelediğimizde, kuzeybatı yönündeki binaları filtreleyemediği ancak 0.3 grid değerine göre yamaç başında kaldıramayan binayı filtrelediği ve ağaçların bir kısmını daha iyi filtrelediği görülmektedir. Bu bağlamda 0.4 grid çözünürlüğü değeri daha iyi bir filtreleme yapmıştır (Şekil 10). Üretilen SAM'ın karesel ortalama hatası ise ± 0.44 m'dir.



Şekil 10. 0.4 grid çözünürlüğü parametre değeri ile üretilen SAM

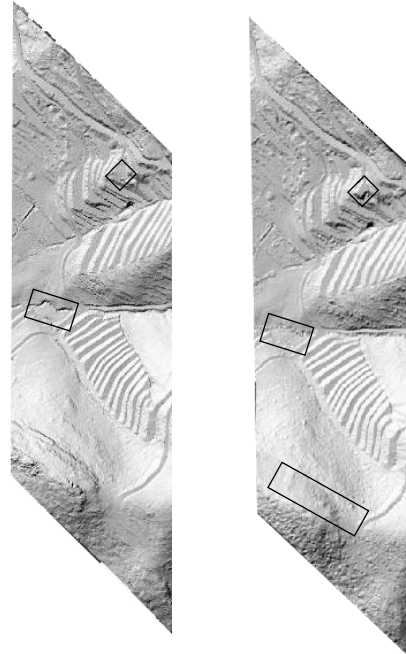
0.5 grid çözünürlüğü değeri filtrelemede benzer sonuçlar vermiştir. Bölgenin kuzeyinde eğimin

arttığı alandaki binaları kaldıramamıştır. Çalışma alanının altında bulunan ağaç topluluğu altındaki zemin karakteristiğini belirleyememiştir (Şekil 11). Bu grid değeri ile üretilen SAM'ın karesel ortalama hatası ± 0.34 m'dir.



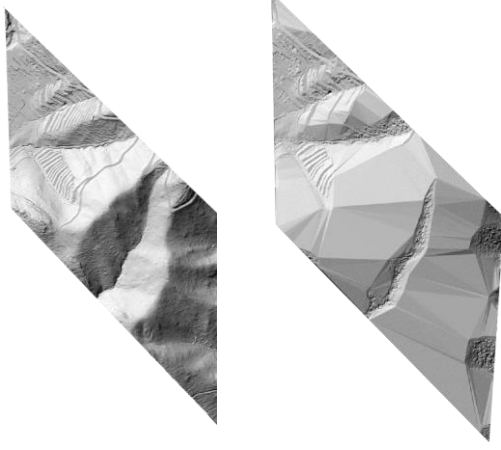
Şekil 11. 0.5 grid çözünürlüğü parametre değeri ile üretilen SAM

1 grid çözünürlüğü değeri ile yapılan filtreleme sonucu üretilen SAM'ı incelediğimizde çalışma alanının kuzey bölgesindeki bina haricinde diğer binaları filtrelemede genel olarak en başarılı sonucu vermiştir. Ancak bölgenin güney kısmında araziye tam olarak tespit edememiş ve yüzeyi törpülemiştir. (Şekil 12). Üretilen SAM'ın karesel ortalama hatası ise ± 0.68 m'dir.



Şekil 12. 1 grid çözünürlüğü parametre değeri ile üretilen SAM

2 grid çözünürlüğü değeri filtreleme sonucunda çalışma alanı genelinde en kötü performansı göstermiştir. Özellikle dik yamaçlar fazlasıyla yumuşatılmış ve arazi gerçek karakteristiğini kaybetmiştir (Şekil 13).



Şekil 13. 2 grid çözünürlüğü parametre değeri ile üretilen SAM

5. Tartışma ve Sonuç

LiDAR teknolojisinden yararlanılarak SAM'ın elde edilmesi birçok avantajı ile ön plandadır. Özellikle ülkemizdeki gibi yoğun bitki örtüsüne sahip eğimin yüksek olduğu alanlarda ya da bölgeye ulaşma riskinin bulunduğu bölgelerde klasik yöntemlerle yapılan çalışmalar, hız, zaman ve güvenlik yönünden olumsuz etkilenmektedir. Ayrıca yoğun bitki örtüsünün olduğu alanlarda doğru bir zemin yapısına ulaşabilmek her zaman mümkün olmayabilir. LiDAR teknolojisi yüksek nokta sıklığı sağladığından bu tür arazilerde yapılan çalışmalarda nadir görülebilen yüzey şekilleri yüksek doğrulukla belirlenebilmektedir.

LiDAR nokta verilerinin işlenmesi süreci üretilen bir SAM için önemlidir. Bu süreç içerisinde işlenmemiş LiDAR verilerinden zemin noktalarını ayırmada birçok filtreleme algoritması geliştirilmiştir. Yoğun bitki örtüsünden ve dik yamaçlardan oluşan bir çalışma alanında filtrelemedeki performansını araştırdığımız CSF algoritması ile farklı grid çözünürlüğü değerleri ile filtreleme yapılmıştır. Genel olarak 2 grid çözünürlüğü haricindeki tüm değerler çalışma alanının orta bölümünde yer alan yoğun bitki örtüsünü kaldırmada iyi bir sonuç göstermiştir.

Ancak çalışma alanının kuzey bölümünde yer alan binaları filtrelemede tüm değerler için yüzde yüz bir verimden bahsetmek yanlış olacaktır. Bu değerler arasında binaları filtrelemede 1 grid çözünürlüğü değeri en iyi sonucu göstermiştir.

CSF algoritması ile farklı grid çözünürlüğü parametresi değerleri ile yaptığımız filtrelemeler sonucunda farklı sayılarda zemin noktası belirlenmiştir. Bu parametre değeri ardışık olarak arttığında daha az zemin noktası belirlenmekte ve daha hatalı bir arazi modeli oluşmaktadır. Özellikle 2 grid çözünürlüğü değeri ile yapılan filtreleme sonucunda az sayıda zemin noktası belirlenmiş ve üretilen SAM genelinde bozulmalar meydana gelmiştir. Filtreleme sonucu üretilen Sayısal Arazi Modelleri incelendiğinde en iyi sonuçta bile kaldırılamayan objelerin var olduğu gözlemlenmektedir. Bu objelerin tespiti manuel filtrelemenin de gerekliliğini desteklemektedir.

Teşekkür

Çalışma kapsamında kullandığımız LiDAR verisini temin ettiğimiz EMI Grup Bilgi Teknolojileri A.Ş.'ye desteklerinden dolayı teşekkürlerimizi sunarız.

6. Kaynaklar

- Doğruluk M., Aydın C., Yanalak M., 2018. Kırsal Alanlarda SYM Üretiminde Filtreleme Yöntemlerinin Performans Analizi: Hava LiDAR Uygulaması; İstanbul Örneği. *Geomatik Dergisi*, **3(3)**; 242-253
- Meng, X., Nate C., and Kaiguang Z., 2010. Ground filtering algorithms for airborne LiDAR data: A review of critical issues. *Remote Sensing* **2(3)**, 833-860.
- Soycan, M., Tunalıoğlu, N., Öcalan, T., Soycan, A., & Gümüş, K. (2011). Three Dimensional Modeling of a Forested Area Using an Airborne Light Detection and Ranging Method. *Arabian Journal for Science and Engineering*, **36(4)**, 581-595.
- Süleymanoğlu B, Soycan M., 2017. Hava LiDAR Verilerinde Kullanılan Filtreleme Algoritmalarının İncelenmesi" TMMOB Harita ve Kadastro Mühendisleri Odası, 16. Türkiye Harita Bilimsel ve Teknik Kurultayı, 3-6 Mayıs, Ankara.

Sulaiman, N. S., Majid, Z., & Setan, H., 2010. DTM generation from LiDAR data by using different filters in open-source software. *Geoinformation Science Journal*, **10(2)**, 89-109.

Süleymanoğlu, B., 2016. LiDAR Tekniği ile Elde Edilen Nokta Bulutların Sınıflandırılması ve Filtreleme Algoritmalarının İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul, Türkiye, 120.

Varlık, A., & Uray, F. Üçgenleme ve Enterpolasyon Temelli Lidar Filtreleme Algoritmalarının Performans Analizi. *Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, **17(4)**, 156-165.

Zhang, W., Qi, J., Wan, P., Wang, H., Xie, D., Wang, X., & Yan, G., 2016. An easy-to-use airborne LiDAR data filtering method based on cloth simulation. *Remote Sensing*, **8(6)**, 501.