

AKÜ FEMÜBİD 21 (2021) 015504 (167-178)

AKU J. Sci. Eng. 21 (2021) 015504 (167-178)

DOI: 10.35414/akufemubid.823165

Araştırma Makalesi / Research Article

Küçük Ölçekli Fotogrametrik Haritalarda Nokta Bulutu Filtreleme Yöntemleri ile Eşyükseklik Eğrisi Üretimi

Çağrı KILINÇ^{1*}, Murat UYSAL²¹Afyon Kocatepe Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Harita Mühendisliği Bölümü, Afyonkarahisar²Afyon Kocatepe Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Harita Mühendisliği Bölümü, Afyonkarahisar

Sorumlu yazar e-posta: cklnc@hotmail.com

ORCID ID: http://orcid.org/ 0000-0001-8980-0239

e-posta: muysal@aku.edu.tr

ORCID ID: http://orcid.org/ 0000-0001-5202-4387

Geliş Tarihi: 08.11.2020

Kabul Tarihi: 18.02.2021

Öz

Bu çalışmada küçük ölçekli fotogrametrik haritalar için ormanlık alanlarda, üç boyutlu (3B) nokta bulutu filtreleme yöntemleri ile eşyükseklik eğrisi üretilmiştir. Bunun için az, orta ve çok yoğunluklu ağaçlık ve orta engebeli alanlar üzere seçilen üç farklı alanda 3B boyutlu nokta bulutu verisi, sayısal hava kamerası ile çekilmiş kızılötesi bant değerlerine sahip hava fotoğraflarından Semi Global Matching (SGM) algoritması ile üretilmiş ve bu alanlardaki ağaçlık alanlar; noktaların spektral değerleri ve açık kaynak kodlu bir yazılımda bulunan Cloth Simulation Filter (CSF) algoritması ile filtrelenmiştir. Daha sonra bu verilerden Triangular Irregular Network (TIN), Inverse Distance Weighting (IDW) ve Kriging yöntemleri ile Sayısal Arazi Modeli (SAM) oluşturularak bu yüzeylerden eşyükseklik eğrileri üretilmiştir. Elde edilen sonuçlara bakıldığında, nokta bulutu verisindeki ağaçlık alanları noktaların spektral değerlerinden faydalanarak filtrelemek, CSF algoritması ile filtreleme yöntemine göre daha başarılı olmuştur. TIN enterpolasyonu ile üretilen Sayısal Arazi Modelinden oluşturulan eşyükseklik eğrilerinin yatay ve düşey Karesel Ortalama Hataları (KOH), IDW ve Kriging yöntemleri ile üretilen SAM dan oluşturulan eşyükseklik eğrilerin KOH larına göre daha küçük olmuştur. Çalışma alanlarından az ve orta yoğunluklu ağaçlık alanlarda eşyükseklik eğrilerin yatay ve düşey olarak karesel ortalama hatalarının, arazinin eğim değerlerine göre belirlenen tecviz sınırları içerisinde kaldığı görülmüştür.

Anahtar kelimeler

Hava Fotoğrafı;
Filtreleme; Nokta
Bulut; Sayısal Arazi
Modeli; Eşyükseklik
Eğrisi

Contour Generation with Point Cloud Filtering Methods in Small Scale Photogrammetric Maps

Abstract

In this study, contour lines for small-scale photogrammetric maps are produced by 3D point cloud filtering methods in forest areas. For this purpose, 3D point cloud data were generated by Semi Global Matching (SGM) algorithm from aerial photographs with infrared band values taken with a digital aerial camera in three different areas selected as low, medium and high density woodland and medium hilly areas. Wooded areas; It is filtered by the spectral values of the points and the Cloth Simulation Filter (CSF) algorithm available in an open source software. Then, from these data, Triangular Irregular Network (TIN), Inverse Distance Weighting (IDW) and Digital Terrain Model (SAM) were created using Kriging methods and contour lines were generated from these surfaces. Looking at the results obtained, filtering the wooded areas in the point cloud data by using the spectral values of the points was more successful than filtering with the CSF algorithm. The horizontal and vertical squared average errors of the contour lines created from the digital terrain model produced by TIN interpolation were smaller than the squared average errors of the contour lines produced by IDW and Kriging methods. It has been observed that the horizontal and vertical squared average errors of the contour lines in the wooded areas with low and medium density areas remain within the limits determined according to the slope values of the land.

Keywords

Aerial photographs;
Filtering; Point Cloud;
Dijital Terrain Model;
Contour Line

1. Giriş

Günümüzde sayısal fotogrametri ile kullanımı oldukça yaygınlaşan sayısal hava kamerası ile elde edilen ham görüntülerin işlenerek 8 bit ve 16 bit RGB (Red Green Blue), RGBI (Red Green Blue Infrared), PAN (Pankromatik), CIR (Colour Infrared) ve NIR (Near Infrared) görüntüler elde edilebilmektedir. Bu görüntülerin fotogrametrik yazılımlarda birlikte değerlendirilmesi ile üç boyutlu (3B) nokta bulutu üretilebilmesi sonucunda oldukça maliyetli olan Light Detection and Ranging (LiDAR) sistemleri ile üretilen nokta bulutu üretimine alternatif olmuştur. Fotogrametrik yöntemle üretilen nokta bulutlarının doğrulukları ve sıklıkları LiDAR ile üretilmiş nokta bulutları kadar olmakla birlikte LiDAR'a göre daha az maliyetlidir (Leberl vd. 2010).

Nokta bulutu kullanım alanlardan biriside arazi topografyasını yansıtan Sayısal Arazi Modeli (SAM) üretmektir. SAM kullanılarak otomatik olarak eşyükseklik eğrileri de üretilebilmektedir (Riegler vd. 2006).

Fotogrametrik harita yapımında eşyükseklik eğrisi üretiminin ağaçlık alanlarda zahmetli olduğu bilinmektedir. Çünkü ağaçlık alanlarda otomatik üretilen eşyükseklik eğrileri topografyayı yansıtmayacak ve bunun için operatör desteği ile editlemek gerekecektir. Yine fotogrametrik iş istasyonunda eşyükseklik eğrilerini manuel olarak üretmekte ciddi bir işgücü gerektirecektir. Bütün işlemler ise oldukça zahmetli, zaman alıcı ve maliyetlidir. Bu sorunları ortadan kaldırmak amacıyla öncelikle çıplak arazi yüzeyini yansıtan doğru bir yüzey oluşturmak gerekmektedir. Bu amaç doğrultusunda genellikle hava fotoğrafları kullanılarak çeşitli fotogrametrik yazılımlar ile otomatik görüntü eşleme yöntemiyle SAM üretme yoluna gidilmiştir. Fakat bu yöntemlerde de üretilen Sayısal Arazi Modelinde zemin üstü objeler tam olarak elimine edilememiş ve bu modelin editlenmesi ihtiyacı doğmuştur. Ayrıca bu tür yazılımların da temin edilebilmesi ise ayrı bir maliyet gerektirmektedir. Bu nedenle küçük ölçekli fotogrametrik haritalar için ormanlık alanlarda;

üretimi maliyet bakımından daha az, üretim yöntemi daha pratik ve topografyayı iyi yansıtan eşyükseklik eğrisi üretimini, görüntü tabanlı nokta bulutu filtrelenmesi ile yapılması amaçlanmıştır.

2. Materyal ve Metot

Fotogrametrik harita üretiminde, ormanlık alanlarda eşyükseklik eğrisi üretimi ciddi bir sorundur. Bunun için öncelikle çıplak topografyayı yansıtan bir Sayısal Arazi Modeli (SAM) üretilmelidir. Eğer SAM da ağaçlık alanlar tam olarak yok edilememiş ise oluşturulan eşyükseklik eğrileri ağaçların üzerinden geçer ve araziye doğru olarak yansıtamaz. Ağaçlık alanların elimine edilmesi ise manuel olarak veya çeşitli yazılımlar ile otomatik yapılmaya çalışılmaktadır. Bunlardan manuel olarak yapılması ciddi bir zaman ve işgücü gerektirmektedir. SAM'ı otomatik olarak üretmek için kullanılan yazılımlar ise çok başarılı sonuçlar vermemektedir. Ayrıca bu işlem için satılan ticari program ve yazılımlarında maliyeti ayrı bir sorun olmuştur. Bu nedenle bu çalışmada görüntü tabanlı üretilen kızılötesi bant değerine sahip nokta bulutundan ağaçlık alanların otomatik olarak filtrelenip piyasada yaygın olarak kullanılan programlar yardımıyla arazi modeli üretilerek yüzeyden eşyükseklik eğrisi oluşturulmuştur. Filtreleme yöntemi olarak piksellerin spektral özellikleri ile hesaplanan Normalleştirilmiş Fark Bitki Örtüsü İndeksi (NDVI) değerleri ile ve Cloth Simulation Filtering (CSF) yöntemiyle yapılmıştır. CSF algoritmasının kullanılmasının nedeni, açık kod kaynaklı bir yazılımın içinde bulunmasıdır. Daha sonra filtrelenen nokta bulutundan ArcGIS programı yardımı ile TIN enterpolasyonu, IDW ve Kriging yöntemleri ile arazi modeli oluşturulmuştur. Oluşturulan yüzeylerden eşyükseklik eğrisi üretilerek doğruluk analizleri yapılmıştır. Doğruluk analizi için eşyükseklik eğrilerin karesel ortalama hataları hesaplanmıştır. Bu amaç için kullanılan referans eşyüksekti eğrileri, fotogrametrik iş istasyonunda manuel olarak çizilmiştir. Tecviz hata değerleri için; yükseklik hatalarının eğimle ilişkili olarak değiştiğini ifade eden Koppe bağıntıları kullanılmıştır (Imhof 1965). Çalışma kapsamında nokta bulutu üretimi için INPHO Match-AT v8.0

programı, noktaların NDVI hesabı ve filtrenmesi ile SAM'lardan otomatik eşyükseklik eğrisi üretimi için Global Mapper v20.0 programı, CSF algoritması ile filtrelemek için Cloud Compare programı kullanılmıştır. Farklı enterpolasyon yöntemleri ile Sayısal Arazi Modeli üretimi için ise ArcGIS (v10.6.1) programı kullanılmıştır.

2.1 Çalışma Alanları

Çalışma bölgesi olarak İzmir Bergama yöresinde kırsala ait üç farklı alan seçilmiştir. Çalışma alanlarına ait renkli ve kızılötesi bantlı hava fotoğrafları 2019 yılında Harita Genel Müdürlüğü tarafından Microsoft Eagle M3 sayısal hava kamerası ile 30 cm yer örnekleme aralığı ile çekilmiştir. Hava fotoğrafı 1/60000 ölçekli ve % 75 ileri bindirme oranına sahiptir.

Seçilen birinci çalışma alanı; az yoğunluklu, seyrek ağaçlık alan, ağaç boyları kısa ve orta engebeli alan olarak seçilmiştir. Seçilen alanda nokta sayısı; 2 407 293 adettir. Birinci çalışma alanı Şekil 1'de gösterilmiştir.



Şekil 1. Birinci çalışma alanı.

İkinci çalışma alanı; orta yoğun ağaçlık alan ve orta engebelidir. Ağaçlık alanların içinden orman içi yol geçmektedir. Bu alanda nokta sayısı; 1 374 267 adettir. İkinci çalışma alanı Şekil 2'de gösterilmiştir.



Şekil 2. İkinci çalışma alanı.

Üçüncü çalışma alanı ise çok yoğun ağaçlık alanların yani zeminin çoğunlukla görülemediği alandır. Diğer seçilen iki alana göre daha engebelidir. Seçilen alanda nokta sayısı; 1 823 420 adettir. Seçilen alan Şekil 3'te gösterilmiştir.



Şekil 3. Üçüncü çalışma alanı.

2.2 Nokta Bulutu Üretimi

Nokta bulutu verisi lazer tarayıcılar yardımıyla ya da görüntü tabanlı olarak elde edilebilir. Hava fotoğraflarından elde edilen nokta bulutu, stereo görüntülerden derinlik bilgisinin elde edilmesi temeline dayanmaktadır. Bu işleme Structure From Motion (SFM) tekniği denir. SFM, Sayısal Yüzey Modeli (SYM) ve ortofoto harita yapımında kullanılmaktadır (Isawi 2016). SFM, Türkçeye Hareket Tabanlı Yapısal Algılama olarak çevrilmektedir. Burada stereo görüntüde eşlenik pikseller bulunur ve fotoğraf çekimi sırasında kullanılan kameranın iç ve dış yöneltme elemanları kullanılarak eşlenen piksellerin 3B (XYZ) koordinatları hesaplanır. Nokta bulutu üretimi için günümüzde birçok yazılım bulunmaktadır. Bunlar Local Matching (LM), Region Growing (RG) veya Semi Global Matching (SGM) algoritmalarını kullanmaktadır. Bu çalışmada nokta bulutu üretimi için SGM algoritması kullanılmıştır.

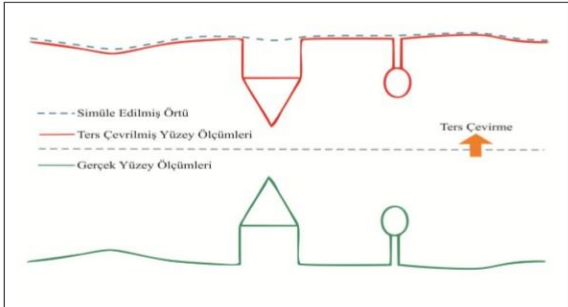
2.3 Nokta Bulutu Filtreleme

Nokta bulutu filtreleme diğer bir anlamıyla zemine ait noktalar ile zemine ait olmayan noktaların ayırt edilmesidir. Bu işlem obje tabanlı veya piksel tabanlı olarak yapılabilir. Bu çalışmada ise nokta bulutunu

filtrelemek amacıyla Cloth Simulation Filter (CSF) algoritması ve noktaların spektral değerleri yardımıyla hesaplanmış Normalize Difference Vegetation Index (NDVI) değerleri kullanılmıştır.

CSF algoritmasında arazinin üzerine bir örtü serildiği düşünülür ve örtünün aldığı şekil Sayısal Yüzey Modeli (SYM) dir. Daha sonra nokta bulutu ters çevrilir ve ters yüzeye bir örtü serildiği düşünülür. Örtünün temas ettiği yüzey ise Sayısal Arazi Modeli (SAM) dir (Zhang vd. 2016). CSF algoritmasının genel ifadesi Şekil 4'te gösterilmiştir.

CSF algoritmasının matematik modelinde örtü yüzeyi olarak tanımlanan yüzey, kütle yay modeli gibi bir grid yüzey olarak modellenir. Parçacıkların 3B uzaydaki konumları örtü yüzeyin şeklini belirler. Örtü yüzeyindeki parçacıkların arasındaki ilişki Hooke yasası olan sanal yay tanımına uymaktadır. Bu parçacıklar üç farklı yay tipi ile etkileşim hareket ederler (Zhang vd. 2016). Bunlar kesme yayı (shear spring), taşıma yayı (traction spring), esneme yayı (flection spring) dir. Parçacıkların 3B uzaydaki konumları hesaplanarak örtü yüzeyin şekli belirli bir anda simüle edilir. Bir parçacığın konum ve hızları Newtonun ikinci yasasına göre hesaplanır (Zhang vd.2016).



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

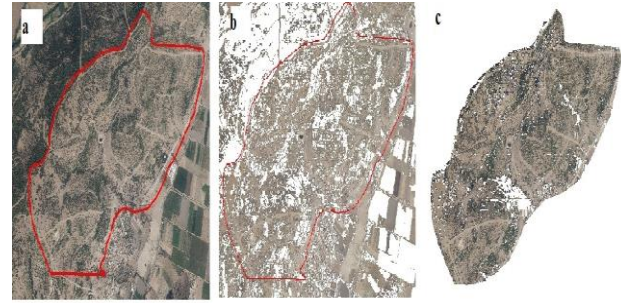
Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) yani Türkçe karşılığı Normalleştirilmiş Bitki Örtüsü Farkı İndeksi ise kısaca belirli bir alandaki canlı bitki örtüsü miktarının ölçümüdür. Uzaktan algılama teknolojilerinin tarımsal uygulamalarda kullanımı ve Coğrafi Bilgi Sistemleri ile uyumu, bitki örtüsünün durumu ve ilgili karmaşık analizlerin yapılarak ülkelerin tarımsal ürün miktarını ile orman alanların belirlenmesinde NDVI sıklıkla kullanılmaktadır. NDVI basitçe yakın kızılötesi bant (NIR) – kırmızı bant

(RED) değerleriyle eşitlik (1) ile hesaplanabilir. Elde edilen sonuçlara göre belirlenen bir eşik değeri ile toprak ve bitki örtüsü birbirinden ayrılmaktadır (Justice vd. 1998).

$$NDVI = \frac{NIR - RED}{NIR + RED} \quad (1)$$

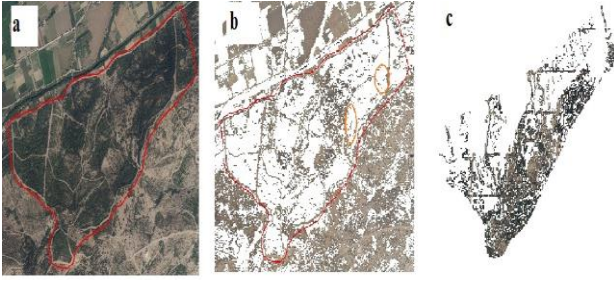
Eşitlik 1 'e göre elde edilen yeşil alanlar için yaygın değerler 0.2 ile 0.8 arasındadır (Rouse vd. 1973).

Çalışma alanlarının NDVI değerleri ile filtrelenmesi Global Mapper programında yapılmıştır. Noktaların Eşitlik 1 'e göre hesaplanan NDVI değerlerinden 0.20 değerinden büyük olan değerler ağaçlık alanlar olarak tespit edilmiş ve nokta bulutundan silinmiştir. CSF algoritması ile filtreleme için ise açık kod kaynaklı Cloud Compare programı kullanılmıştır. Nokta bulutlarının filtrelenmiş görüntüleri aşağıdaki Şekil 5, Şekil 6 ve Şekil 7 de gösterilmiştir.



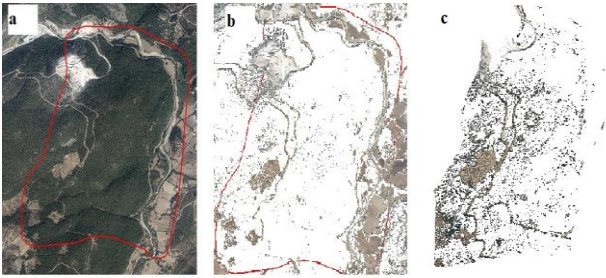
Şekil 5. a) Birinci çalışma alanı nokta bulutu, b) NDVI değerleri ile filtrelenmiş görünümü, c) CSF algoritması ile filtrelenmiş görünümü.

Şekil 5 incelendiğinde; bitki örtüsünün NDVI değerleri ile filtrelemede tamamen silindiği (Şekil 5b) fakat CSF yöntemi ile filtrelemede silinemediği (Şekil 5c) görülmüştür. Bu alanda noktaların NDVI değerleri ile filtrelenmesi, CSF algoritması ile filtrelemeye göre daha başarılı olmuştur.



Şekil 6. a) İkinci çalışma alanı nokta bulutu, b) NDVI değerleri ile filtrelenmiş görünümü, c) CSF algoritması ile filtrelenmiş görünümü.

Şekil 6 incelendiğinde objelerin NDVI değerlerine göre filtrelendiğinde sadece ağaçlık alanların silindiği fakat CSF algoritmasında zemine ait noktalarında silindiği görülmüştür. Şekil 6.b de zemine ait noktalar ve orman içi yollarda NDVI değerlerinin belirlenen eşik değerinin 0.20 altında kaldığı için silinmemiştir. Fakat CSF algoritmasında ile yapılan filtrelemede yolların ve zemin noktalarının silinip büyük boşluklar oluştuğu ve veri kaybı olduğu görülmüştür (Şekil 6c).



Şekil 7. a) Üçüncü çalışma alanı nokta bulutu, b) NDVI değerleri ile filtrelenmiş görünümü, c) CSF algoritması ile filtrelenmiş görünümü.

Şekil 7 de gösterilen üçüncü çalışma alanındaki filtreleme sonuçları karşılaştırıldığında ise NDVI değerleri ile yapılan filtreleme de zemine ait noktaların korunmuştur (Şekil 7b). Fakat CSF yöntemi ile yapılan filtrelemede, zeminin görülemediği sürekli ağaçlık alanlardaki noktalar zemin noktaları olarak algılanıp silinememiştir (Şekil 7c).

2.4 SAM Üretimi

3B nokta bulutu filtrelendikten sonra ArcGIS programı ile üç farklı çalışma alanına ait Sayısal Arazi

Modelleri; Düzensiz Üçgen Ağı (TIN) enterpolasyonu, Ters Mesafe Ağırlıklı (IDW) ve Kriging yöntemleri ile üretilmiştir.

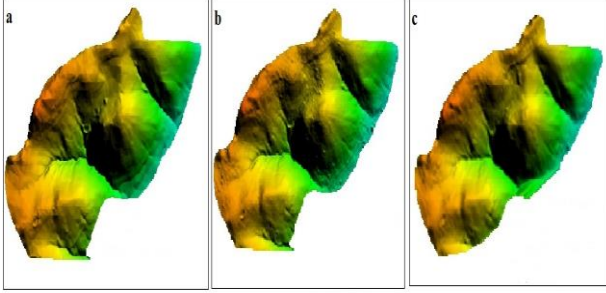
Düzensiz Üçgen Ağı (TIN) yani üçgenleme yöntemi yüzey modellemede yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu yöntemde temel amaç yüzeyi üçgenlere ayırarak üçgen elemanlarından oluşmuş bir bütün yüzey halinde göstermektir. Üçgenlerin birbirleriyle çakışmaması gerekmektedir. Üçgenleme yöntemi enterpolasyon olarak lineer enterpolasyondur. Burada modellenmesi istenen yüzey üçgenlerle temsil edilir ve üçgenlerin köşe noktaları dayanak noktaları olarak kullanıldığından oluşturulan yüzey bu dayanak noktalarından geçer.

Inverse Distance Weighting (Ters mesafe ağırlıklı) (IDW) yöntemi belirli bir bölgede bulunan örnek noktaların değerlerinden yararlanarak bilinmeyen noktalara sahip hücre değerlerinin hesaplanması için kullanılan bir enterpolasyon yöntemidir. Bu metotta, belirli bir yarıçapın içindeki bilinen değerlerin ortalamasını alarak bilinmeyen değerleri, bu değerlerin uzaklıkları ile ters orantılı olarak hesaplayıp grid yüzey oluşturulur. Bu yöntemin dezavantajı ise nokta sayısı arttıkça mesafelerin hesaplanması için çok fazla zamana gerek olmasıdır.

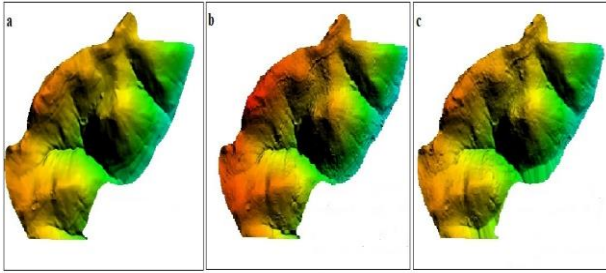
Kriging yöntemi ise temel olarak noktaların bilinen değerlerini kullanarak, bu noktalara yakın olan bilinmeyen noktaların değerini kestiren bir enterpolasyon yöntemidir. Kriging yöntemini diğer yöntemlerden ayıran en önemli özellik, kestirilen her bir nokta için bir varyans değeri hesaplanır ve bu değer güven derecesinin bir ölçüsüdür (Başkan 2004).

Doğruluk analizi için kullanılan referans SAM ise fotogrametrik iş istasyonunda yapılan 3B kıymetlendirme ile çizilen 5 m lik eşyükseklik eğrileri, dere, yol, araziye ait kırık hatlar ve gerekli yerlere atılan yükseklik noktaları yardımıyla oluşturulmuştur.

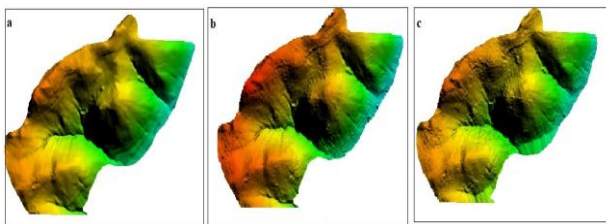
Çalışma alanlarına ait SAM lar ve referans SAM lar aşağıdaki şekillerde gösterilmiştir (Şekil 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15 ve 16).



Şekil 8. a) Birinci çalışma alanına ait referans SAM. b) NDVI-TIN ile üretilen SAM. c) CSF-TIN yöntemi ile üretilen SAM.

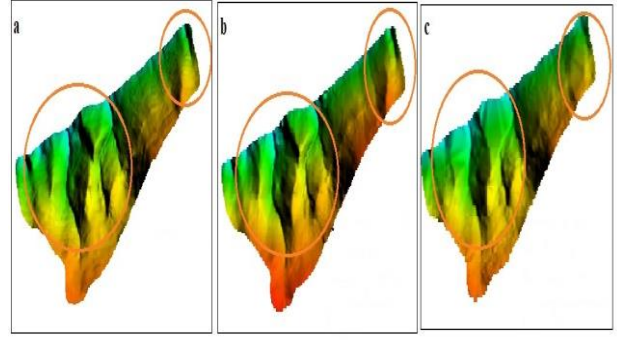


Şekil 9. a) Birinci çalışma alanına ait referans SAM. b) NDVI-IDW ile üretilen SAM. c) CSF-IDW yöntemi ile üretilen SAM.



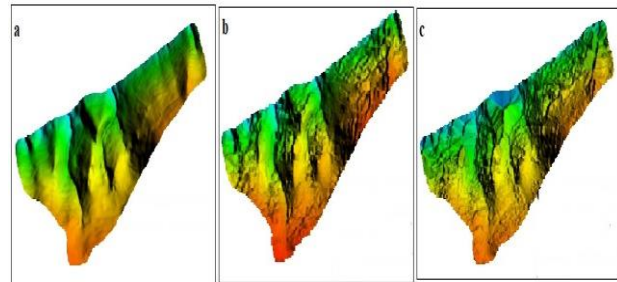
Şekil 10. a) Birinci çalışma alanına ait referans SAM. b) NDVI-Kriging yöntemi ile üretilen SAM. c) CSF-Kriging yöntemi ile üretilen SAM.

Şekil 8, 9 ve 10 incelendiğinde, ağaçların yoğunluğu az ve ağaç boylarının kısa olduğu bölgede üç enterpolasyon yöntemi üretilen Sayısal Arazi Modelleri referans arazi modeline benzerdir. Çünkü enterpolasyonda kullanılan zemine ait noktalar çoğunluktadır.



Şekil 11. a) İkinci çalışma alanına ait referans SAM. b) NDVI-TIN ile üretilen SAM. c) CSF-TIN yöntemi ile üretilen SAM.

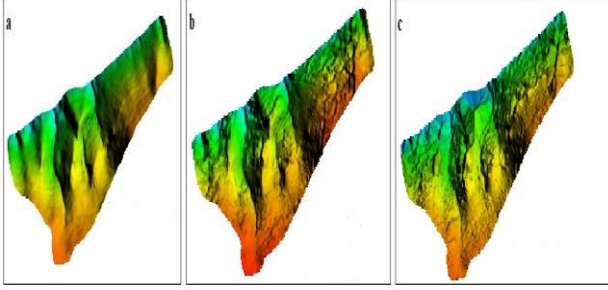
İkinci çalışma alanına ait Şekil 11'de CSF yöntemi ile filtrelenmiş nokta bulutundan TIN yöntemi ile oluşturulan arazi modeli (Şekil 11c) referans SAM (Şekil 11a) ile karşılaştırıldığında; referans modelde işaretlenmiş alanda görülen dik yamaçlar, Şekil 12.c de işaretli alanda törpülenmiş ve arazi karakteristiğini kaybettiği görülmüştür. Çünkü CSF yöntemi ile filtreleme sonucunda, nokta bulutunda zemine ait olan verilerde silinmiş (Şekil 7c) ve büyük boşluklar oluşmuştur. Buna bağlı nokta sayısı enterpolasyon için yeterli olmamış oluşan arazi modeli referans SAM dan farklı olmuştur. Ancak NDVI değerleri ile filtrelenen nokta bulutundan oluşturulan arazi modelinde (Şekil 11b) dik yamaçlar korunmuş ve arazi karakteristiğini bozmamıştır. Çünkü Şekil 6b de filtreleme sonucu zemine ait noktalar korunarak enterpolasyon ile üretilen SAM referans modeli yansıtmıştır.



Şekil 12. a) İkinci çalışma alanına ait referans SAM. b) NDVI-IDW ile üretilen SAM. c) CSF-IDW yöntemi ile üretilen SAM.

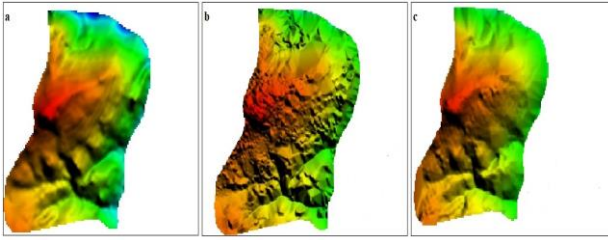
Şekil 12'de referans araziye tam olarak yansıtamayarak yüzeyde bozulmalar olmuştur. Çünkü filtrelenen alanlardaki büyük boşluklar IDW

yönteminde SAM oluşturmada sorun yaratmıştır. CSF filtrelemesi sonucu oluşturulan arazi modeli (Şekil 12c) ise referans SAM dan farklılık göstermektedir.



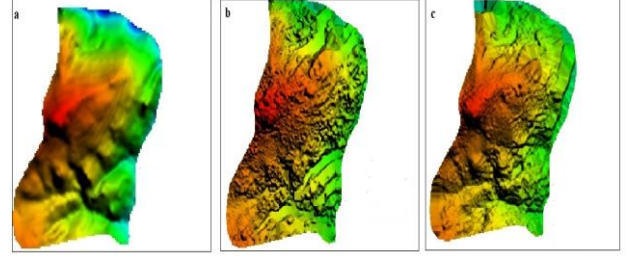
Şekil 13. a)İkinci çalışma alanına ait referans SAM. b) NDVI-Kriging ile üretilen SAM. c) CSF-Kriging yöntemi ile üretilen SAM.

Şekil 13'te görüldüğü üzere Kriging yöntemi oluşturulan SAM referans araziyi tam olarak yansıtamamıştır. Kriging yöntemi ile IDW yöntemi sonucu oluşturulan arazi modelleri benzerdir.

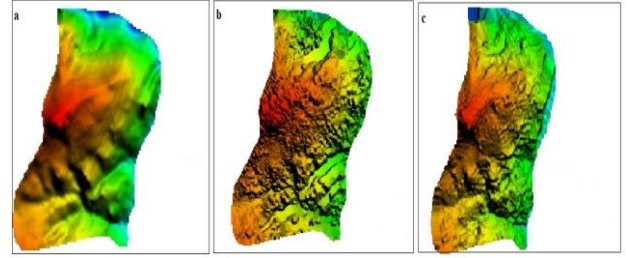


Şekil 14. a)Üçüncü çalışma alanına ait referans SAM. b) NDVI-TIN ile üretilen SAM. c) CSF-TIN yöntemi ile üretilen SAM.

Üçüncü çalışma alanında ağaçlık alanların çok sık olduğu zeminin görülemediği alanlar olduğu için oluşturulan arazi modellerinde bozulmalar olmuştur. NDVI değerleri ile filtreleme iyi sonuç verdiği halde (Şekil 14b), silinen ağaçlık alanlarda zemine ait noktaların olmayışı ve enterpolasyon yapılırken zemine ait dere veya kırık hatlar kullanılmadığı için başarılı bir enterpolasyon gerçekleştirilmemiştir. CSF algoritması ile filtreleme sonucu oluşturulan arazi modeli (Şekil 14c) de ise sırt kısmın çok yumuşatıldığı ve yamaç yüzeyinde ise ağaç noktaların kaldığı görülmüştür.



Şekil 15. a)Üçüncü çalışma alanında referans SAM. b) NDVI-IDW ile üretilen SAM. c) CSF-IDW yöntemi ile üretilen SAM.



Şekil 16. a)Üçüncü çalışma alanında referans SAM. b) NDVI-Kriging ile üretilen SAM. c) CSF-Kriging yöntemi ile üretilen SAM.

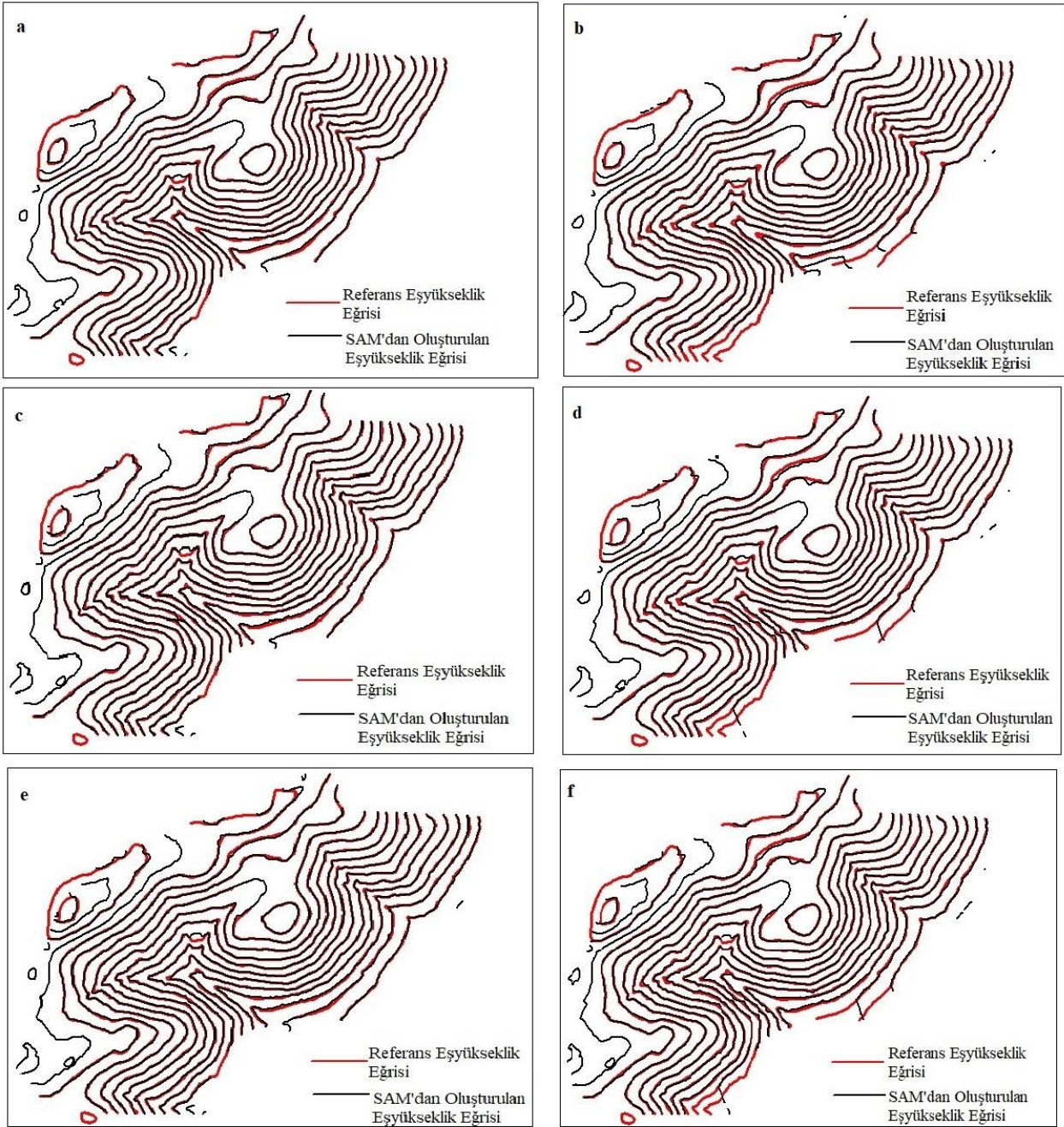
Şekil 15 ve 16'da IDW ve Kriging yöntemiyle oluşturulan sayısal arazi modelleri incelendiğinde, her iki yöntemle oluşan modellerin birbirine benzer olduğu ve referans araziyi tam olarak yansıtmadığı görülmüştür. Üçüncü çalışma alanı gibi zeminin görülemediği sürekli ağaçlık alanların bulunduğu arazilerde arazi modeli oluştururken yersel ölçmelerle veya fotogrametrik iş istasyonunda zemine ait yükseklik noktaları veya hatları oluşturularak kullanılması gerekmektedir.

2.5 Eşyükseklik Eğrisi Üretimi

Enterpolasyon yöntemleri ile üretilen sayısal arazi modelleri kullanılarak Global Mapper programı ile otomatik eşyükseklik eğrileri üretilmiştir. Eşyükseklik eğrileri 1/25000 ölçekli haritaya uygun olarak 10 m aralıklı olarak geçirilmiştir.

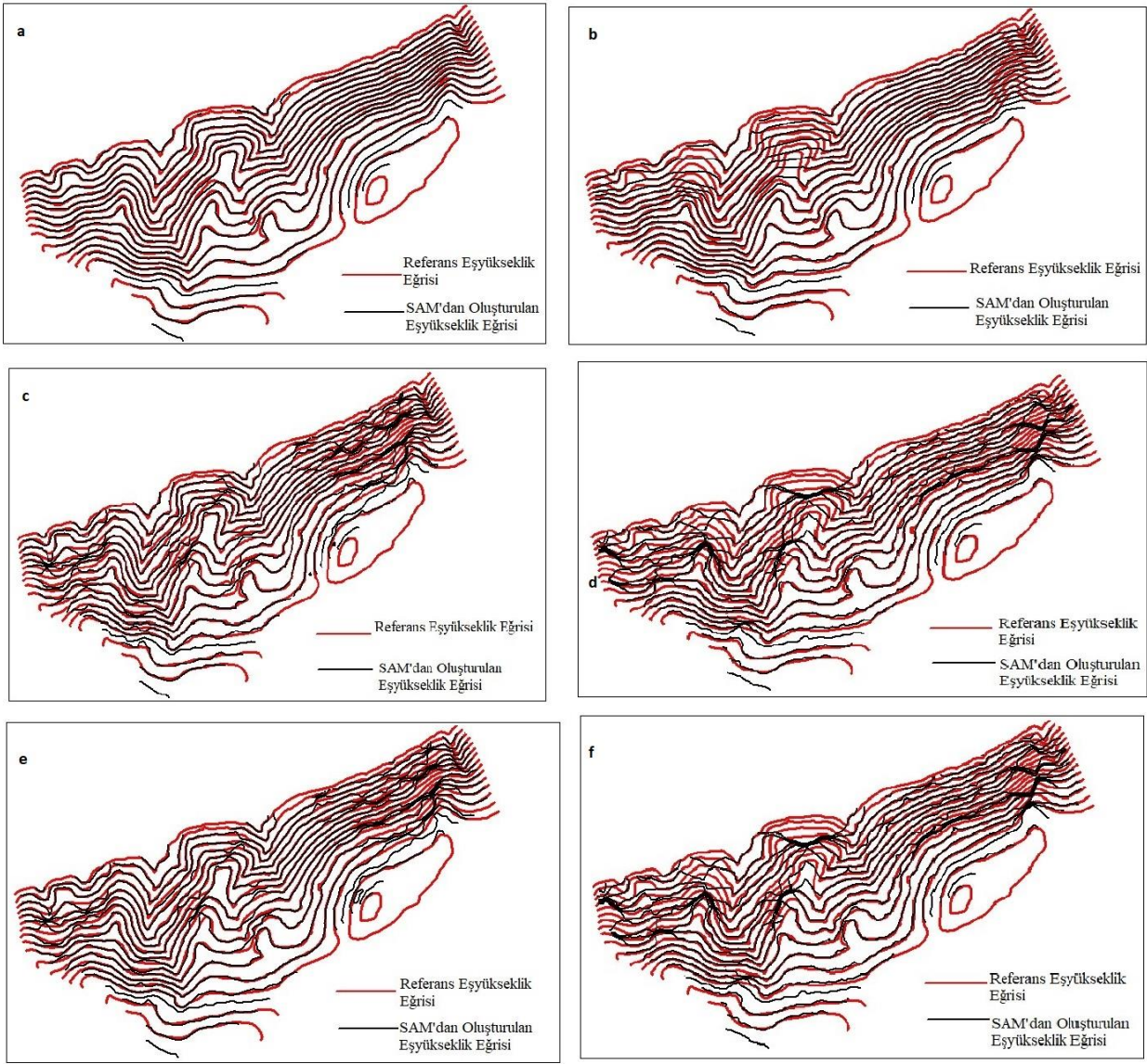
Referans eşyükseklik eğrileri ise fotogrametrik iş istasyonunda 3B kıymetlendirme ile manuel olarak çizilmiştir.

Çalışma alanlarına ait eşyükseklik eğrileri aşağıda gösterilmiştir (Şekil 17, Şekil 18 ve Şekil 19).



Şekil 17. Birinci çalışma alanında yapılan üretilen eşyükseklik eğrileri: **a)** NDVI - TIN yöntemi ile üretilen SAM dan oluşturulan eşyükseklik eğrisi. **b)** CSF - TIN yöntemi ile üretilen SAM dan oluşturulan eşyükseklik eğrisi. **c)** NDVI - IDW yöntemi ile üretilen SAM dan oluşturulan eşyükseklik eğrisi. **d)** CSF - IDW yöntemi ile üretilen SAM dan oluşturulan eşyükseklik eğrisi. **e)** NDVI - Kriging yöntemi ile üretilen SAM dan oluşturulan eşyükseklik eğrisi. **f)** CSF - Kriging yöntemi ile üretilen SAM dan oluşturulan eşyükseklik eğrisi.

Birinci çalışma alanındaki eşyükseklik eğrileri incelendiğinde referans eşyükseklik eğrileri ile SAM'lardan oluşturulan eşyükseklik eğrilerinin geometrilerinin aynı olduğu görülmüştür. Çünkü bu alanda zemin noktası yeterli olduğundan ve oluşturulan arazi modelleri, referans araziyi yansıttığı için üretilen eşyükseklik eğrileri topografyayı yansıtmaktadır (Şekil 17).

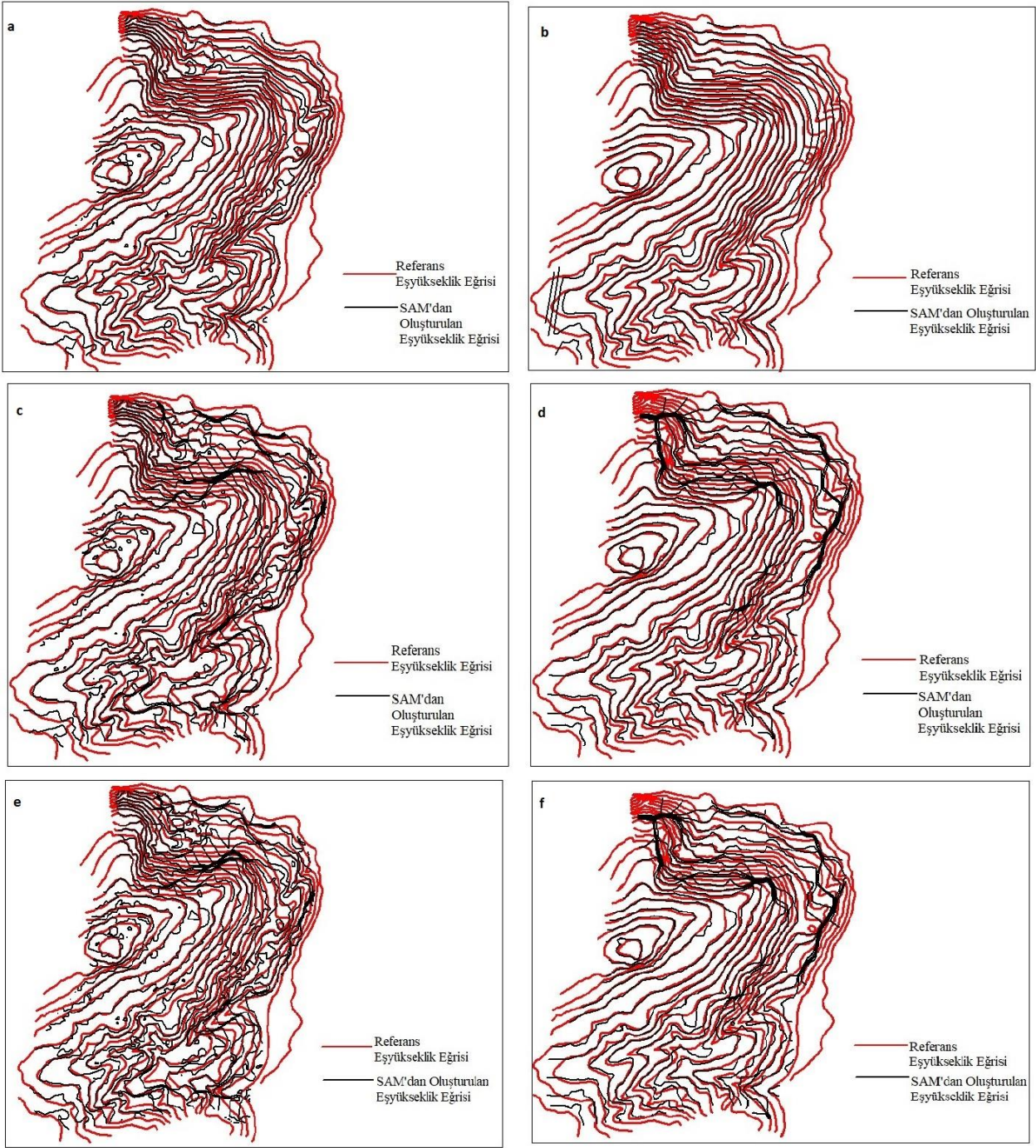


Şekil 18. İkinci çalışma alanında yapılan üretilen eşyükseklik eğrileri: **a)** NDVI - TIN yöntemi ile üretilen SAM dan oluşturulan eşyükseklik eğrisi. **b)** CSF - TIN yöntemi ile üretilen SAM dan oluşturulan eşyükseklik eğrisi. **c)** NDVI - IDW yöntemi ile üretilen SAM dan oluşturulan eşyükseklik eğrisi. **d)** CSF - IDW yöntemi ile üretilen SAM dan oluşturulan eşyükseklik eğrisi. **e)** NDVI - Kriging yöntemi ile üretilen SAM dan oluşturulan eşyükseklik eğrisi. **f)** CSF - Kriging yöntemi ile üretilen SAM dan oluşturulan eşyükseklik eğrisi.

Şekil 19'da görüldüğü üzere ikinci çalışma alanında NDVI değerleri ile filtrelenmiş nokta bulutundan TIN enterpolasyonu ile üretilmiş SAM'dan oluşturulan eşyükseklik eğrisi referans eşyükseklik eğrileri ile benzerdir. Fakat CSF yöntemi ile filtrelenmiş nokta bulutundan üretilmiş SAM'dan oluşturulan eşyükseklik eğrisi bozulmuştur (Şekil 18b).

Şekil 18c ve Şekil 18d de gösterilen IDW yöntemiyle oluşturulan SAM'lardan üretilen eşyükseklik eğrileri referans eşyükseklik eğrilerinden farklı olmuştur.

Şekil 18e ve Şekil 18f de gösterilen Kriging yöntemiyle oluşturulan SAM'lardan üretilen eşyükseklik eğrileri referans eşyükseklik eğrilerinden farklı olmuştur. IDW ve Kriging sonuçları benzer çıkmıştır.



Şekil 19. Üçüncü çalışma alanında yapılan üretilen eşyükseklik eğrileri: **a)** NDVI - TIN yöntemi ile üretilen SAM dan oluşturulan eşyükseklik eğrisi. **b)** CSF - TIN yöntemi ile üretilen SAM dan oluşturulan eşyükseklik eğrisi. **c)** NDVI - IDW yöntemi ile üretilen SAM dan oluşturulan eşyükseklik eğrisi. **d)** CSF - IDW yöntemi ile üretilen SAM dan oluşturulan eşyükseklik eğrisi. **e)** NDVI - Kriging yöntemi ile üretilen SAM dan oluşturulan eşyükseklik eğrisi. **f)** CSF - Kriging yöntemi ile üretilen SAM dan oluşturulan eşyükseklik eğrisi.

Üçüncü çalışma alanında üretilen bütün SAM lar gerçek araziye tam olarak yansımadığı için bu modellerden üretilen eşyükseklik eğrileri, referans eşyükseklik eğrilerinden farklı olmuştur (Şekil 19). Topografyayı doğru olarak yansıtan bir eşyükseklik eğrisi üretimi için doğru bir sayısal arazi modeli

gereklidir. Bunun için bitki örtüsünün iyi filtrenmesi, doğru bir enterpolasyon yönteminin seçilmesi ve ihtiyaç halinde zemine ait kırık hatların kullanılması gereklidir.

Şekil 17, Şekil 18 ve Şekil 19 genel olarak incelendiğinde filtrelemede NDVI değerleri ile filtrelemenin ve SAM üretme yöntemi olarak da TIN enterpolasyonu kullanımının, CSF yöntemi ile filtrelemeye ve IDW ile Kriging yöntemine göre daha iyi sonuçlar verdiği görülmektedir.

3. Bulgular

Çalışma kapsamında üretilen nokta bulutunu spektral özelliklerinden yararlanarak ve CSF yöntemi ile filtreleyerek farklı enterpolasyon yöntemleri ile sayısal arazi modeli oluşturulmuş ve bunlardan eşyükseklik eğrisi üretilmiştir. Bu yöntemlerle üretilen eşyükseklik eğrilerin karesel ortalamaları hesaplanarak karşılaştırılmıştır. Karesel ortalama hatalar (KOH) hesaplanırken yatay konum (xy) koordinatları için harita değerleri, arazide ölçme yapma olanağı olmadığı için DAT/EM Summit Evolution programı kullanılarak çalışma bölgesinin havafotoğraflardan oluşturulan stereo model üzerinden 3B gözlük ile okunmuştur. Düşey konum (z) değerleri ise referans SAM dan okunmuştur. Kontrol noktaları seçilirken noktaların homojen dağılmasına dikkat edilmiş ve ağaçlık alan, boş alan ve dere geçişlerinden referans noktalar seçilmiştir. Hataların tecviz değerleri, yükseklik hatalarının eğimle ilişkili olarak değiştiğini ifade eden Koppe bağıntıları (Eşitlik 2 ve 3) kullanılarak belirlenmiştir (Imhof 1965).

$$KOH \text{ yükseklikte } M_h = \pm(A + B \tan \alpha) \quad (2)$$

$$KOH \text{ planimetrik } M_p = \pm(B + A \tan \alpha) \quad (3)$$

Burada; α eğim açısı olup, A ve B ise haritanın ölçeğine göre belirlenmiş sabitlerdir. Bu değerler 1/25000 ölçekli fotogrametrik haritalar için;

$$M_h = \pm(1 + 7 \tan \alpha)$$

$$M_p = \pm(0.3 + 1 \cot \alpha)$$

Değerlerini alır (Shearer 1994).

α eğim değerleri ise çalışma alanlarına ait ortalama eğim değerleridir. Bu değerler ArcGIS programı yardımıyla referans SAM kullanılarak bulunmuştur (Çizelge 1).

Çizelge 1 Çalışma alanlarının ortalama eğim değerleri.

Çalışma Alanı	Ortalama Eğim Değeri
1	11°
2	17°
3	14°

Yukarıdaki değerlere göre hesaplanmış KOH'lar aşağıdaki Çizelge 2 'de gösterilmiştir.

Çizelge 2. Eşyükseklik eğrilerinin üretim yöntemlerine göre karesel ortalama hataları.

		NDVI		CSF		Tecziz	
		KOH_{xy} (m)	KOH_z (m)	KOH_{xy} (m)	KOH_z (m)	KOH_{xy} (m)	KOH_z (m)
ALAN_1	TIN	7.08	0.93	9.01	1.02	12.15	2.36
	IDW	10.91	1.08	12.55	1.33		
	KRIGING	10.21	1.12	10.94	1.41		
ALAN_2	TIN	6.07	1.51	24.25	7.4	10.27	3.14
	IDW	13.89	5.37	43.01	15.66		
	KRIGING	13.61	5.12	39.82	14.39		
ALAN_3	TIN	34.07	5.67	34.79	6.59	11.01	2.75
	IDW	34.33	6.16	32.05	8.09		
	KRIGING	41.70	7.81	30.59	8.31		

Çizelge 2 de görüldüğü gibi, yükseklikte karesel ortalama hatası en az olan yöntem; noktaların NDVI değerlerine göre yapılan filtreleme sonucunda TIN enterpolasyonu ile oluşturulan SAM yüzeyinden üretilen eşyükseklik eğrileridir. IDW ve Kriging yöntemleri kullanılarak üretilen arazi modellerinden oluşturulan eşyükseklik eğrilerinin karesel ortalama hataları ise birbirine yakındır. Alan 1 ve Alan 2 de TIN enterpolasyonu kullanılarak üretilen arazi modelinden oluşturulan eşyükseklik eğrilerinin hem yükseklik hemde konum olarak karesel ortalama hataları tecviz değerler içerisinde kalmaktadır. Alan 3 de ise ağaçlık alanlar çok sık olduğu için her durumda karesel ortalama hataları tecviz değerleri sınırlarını geçmiştir. CSF algoritması ile filtrelenen nokta bulutundan üretilen eşyükseklik eğrilerinden ise sadece birinci çalışma alanında olanlar tecviz değerleri içindedir. Çünkü bu bölgede ağaçlar hem çok seyrek hem de boyları kısadır. Diğer alanlarda iyi sonuç vermediği görülmektedir.

4. Sonuç

Küçük ölçekli fotogrametrik haritalar için ormanlık alanlarda görüntü tabanlı nokta bulutunun filtreleme yöntemleri ile eşyükseklik eğrisi üretimini incelemek için seçilmiş her üç çalışma bölgesinde nokta bulutunun filtreleme yöntemi olarak; NDVI değerleri ile yapılan filtrelenenin CSF algoritması ile yapılabildiği göre daha iyi sonuç verdiği görülmüş ve düzensiz dağılmış nokta bulutlarında enterpolasyon yöntemi olarakta TIN enterpolasyonu yönteminin kullanılmasının uygun olduğu görülmüştür. Böylelikle nokta bulutunda ağaçlık alanların temizlenmesi için ve oluşturulan eşyükseklik eğrilerini zemine indirmek için yapılan editleme işlemleri daha az zahmetle ve daha az operatör desteği ile yapılabilir. Çünkü nokta bulutunda ormanlık alanların manuel olarak temizlenmesi ve ağaçların üzerinden geçen eşyükseklik eğrilerin editlenmesi oldukça zaman alıcı ve çok sayıda operatör desteği gerektirecektir. Ancak filtreleme yöntemi olarak sadece NDVI değerleri ile yeşil renkli ağaçlık ve bitki örtüsünün tespit edilebildiğini unutmamak gerekir. Bu nedenle filtrelenenin NDVI değerleri ile birlikte

yükseklik farkına dayalı filtreleme algoritmalarının birlikte kullanılmasının daha uygun olacağı düşünülmektedir.

5. Kaynaklar

- Başkan O, 2004, Gölbaşı Yöresi Topraklarının Mühendislik, Fiziksel Özellik İlişkilerinde Jeostatistik Uygulaması, Doktora Tezi, Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 188.
- Imhof E, 1965, Kartographische Geländedarstellung, Berlin: Walter de Gruyter & Co. 200-202
- Isawı M Y N, 2016, Structure from Motion Using a Single Camera, Master Thesis, Çankaya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 74.
- Justice D H, Salomonson V, Privette J, Riggs G, Strahler A, Lucht W, Knjazihhin Y R, Runnig S, Nemani R, Vermote E, Townshend J, Defries R, Roy D, Wan Z, Huete A, Leeuwen V M, Volfe R, Giglio L, Muller J P, Lewis P, Barnsley M, 1998, The Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS), Land Remote Sensing for Global Change Research, *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, **36**, 1228-1249.
- Leberl F, Irshara A, Pock T, Meixner P, Gruber M, Scholz S, Wiechert A, 2010, "Point Clouds: Lidar versus 3D Vision", *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, **76**, 1123-1134.
- Riegler G, Hoepfner E, Li X, 2006, Automatic Contour Line Generation Using Intermap's Digital Terrain Model, *ASPRS 2006 Annual Conference*, Reno, Nevada **(1-11)**.
- Rouse J, Haas R, Schell J, Deering D, 1973, Monitoring Vegetation Systems in The Great Plains with ERTS, *Third ERTS Symposium*, **NASA SP-351**, 309-317.
- Shearer J W, 1994, The Accuracy of Digital Terrain Models, *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, **60(24)**, 315-336.
- Zhang W, Qi, J, Wan P, Wang H, Xie D, Wang X, Yan G, 2016, An Easy to Use Airbone LiDAR Data Filtering Method Based on Cloth Simulation, *Remote Sensing*, **8(6)**, 501.