

BASIT ENTERPOLASYON TEMELLİ LİDAR FİLTRELEME ALGORİTMASI VE PERFORMANS ANALİZİ

A. Varlık^a, F. Uray^a

^a Necmettin Erbakan Üniversitesi, Mühendislik-Mimarlık Fakültesi, Konya (avarlik, furay@konya.edu.tr)

ANAHTAR KELİMELER: LiDAR, Nokta Bulutu Filtreleme, Filtreleme Algoritmaları, Uzaktan Algılama

ÖZET:

Sayısal Arazi Modeli (SAM), ölçme ve planlama uygulamalarının temel bileşeni olduğu düşünüldüğünde daha hızlı şekilde ve daha büyük alanlar için bu modelin üretilmesi amacıyla son teknoloji yöntemleri tercih edilmektedir. Light Detection and Ranging (LiDAR) sistemleri son yirmi yılda bu görevi başarıyla yerine getirmektedir. LiDAR teknolojisi ile elde edilen üç boyutlu nokta bulutundan arazi yüzeyini temsil eden modelin üretilmesi için insan yapımı objelerin ve bitki örtüsünün belirlenip çıkarılması gerekmektedir. Yükseklik farkının değişken ve fazla olduğu bölgelerde ise bu filtreleme işlemi bazılarına bir problem olarak kabul edilmektedir. Bu işlem sürecini otomatik hale getirmek amacıyla ara tirmacılar tarafından farklı yöntemlere dayanan LiDAR filtreleme teknikleri geliştirilmiştir. Filtreleme algoritmalarının performansını iyileştirmek için son yıllarda daha karmaşık işlem adımları iç içe kullanılarak yeni algoritmalar geliştirilmiş ve bu tekniklerden bazıları ticari yazılımlara eklenerek kullanıma sunulmuştur. Bu çalışma kapsamında geliştirilen Kriging enterpolasyon temelli filtre (KRIGF) tekniği ile ticari olarak kullanılan bir LiDAR filtreleme yazılımında kullanılan üçgenleme temelli Adaptive Triangulated Network (ATIN) algoritmasının performansları karşılaştırılmıştır. International Society for Photogrammetry and Remote Sensing (ISPRS) tarafından ara tirmacılara ücretsiz sunulan farklı arazi tiplerine ait LiDAR verileri KRIGF ve ATIN algoritmaları ile filtrelenerek SAM oluşturulmuş ve referans arazi modeline karşı test edilmiştir.

SIMPLE INTERPOLATION BASED LIDAR FILTERING ALGORITHM AND PERFORMANCE ANALYSIS

KEYWORDS: LiDAR, Point Cloud Filtering, Filtering Algorithms, Remote Sensing

ABSTRACT

Digital Terrain Modeling (DTM) is considered to be the main component of survey and planning applications. Technological advances are closely followed to produce this model faster for larger areas. Light Detection and Ranging (LiDAR) systems have successfully accomplished this task in the last two decades. It is necessary to identify and remove the man-made objects and the plant cover from the 3D point cloud obtained by LiDAR technology in order to produce the terrain model representing the surface of the land. In the areas where the elevation differences are variable and too excessive, this filtering process is regarded as a problem in itself. In order to automate this process, LiDAR filtering techniques based on different methods have been developed by the researchers. More sophisticated processing steps have been implemented to improve the performance of filtering algorithms, and new algorithms have been developed and some of these techniques have been added to commercial softwares. The performance of the Kriging interpolation based filter (KRIGF) technique developed in this study and the triangular based Adaptive Triangulated Network (ATIN) algorithm which is used in a commercial LiDAR filtering software are compared. LiDAR dataset that contains various terrain types which are offered by International Society for Photogrammetry and Remote Sensing (ISPRS) were filtered with KRIGF and ATIN algorithms and DTMs were generated from that filtered dataset.

1. GİRİŞ

Fotogrametrik sistemlerle birlikte klasik ölçüm ve haritalama sistemleri ile kıyaslandığında LiDAR teknolojisi, geniş alanlarda yüksek çözünürlüklü harita yapımı için hızlı ve hassas bir alternatif olmayı sağlayan ve Sayısal Yükseklik Modeli (SYM) ve Sayısal Arazi Modeli (SAM) üretimi için öncelikli tercih edilen kabul görmüş bir tekniktir. Günümüzde pek çok Avrupa ülkesi ile Amerika Birleşik Devletleri ulusal SYM ve SAM ürünlerinin üretimi için LiDAR sistemini kullanmaktadır (Meng vd., 2010).

Yükseklik ve arazi modeli üretimi yanında yoğun nokta bulutu verisi içerdiği yükseklik bilgisi sayesinde nokta bulutlarının analizi ile temel yüzey elemanlarının (binalar, bitki örtüsü, elektrik ve boru hatları vb.) haritalanmasında kullanılmaktadır.

Küçük yükseklik değişimlerini saptayabilmesinin yanında LiDAR nokta bulutları bitki örtüsünün üst yüzeyini dâhi belirleyebilmektedir. Bitki örtüsünün yükseklik yapısını ise çoklu sinyal dönüştürme özelliği sayesinde yapabilmektedir. Genel olarak LiDAR teknolojisi bu özellikleri sayesinde SYM üretimi için klasik fotogrametrik metodların yerini almaya başlamıştır.

Ara tirmacılar, yeryüzüne ait noktaların ayırt edilip sınıflandırılabilmesi için birçok LiDAR filtreleme algoritması geliştirmişlerdir. Kısmen düz ve obje yoğunluğu az olan çalışma bölgelerinde bu algoritmalar başarıyla sonuçlar elde etmiştir. Fakat karmaşık ve çeşitli boyutlardaki bina, bitki örtüsü vb. objeleri içeren bölgelerde filtreleme doğruluğu düşmektedir. Doğal karmaşık yapıya sahip LiDAR verilerinin en doğru şekilde filtrelenmesi en önemli ihtiyaçlardan biridir, bu sebeple bahsedilen karmaşık arazi yüzeylerini en hassas şekilde

sınıflandırabilen algoritmalar öncelikli tercih edilmekte ve nispeten pahalı ücretlerle kullanıcılara ula maktadır (Meng vd., 2010).

internet üzerinde ara tırmaçılara sunulan LiDAR veri setleri ile ara tırmaçılar açık kaynak kodlu filtreleme algoritmaları geli tirebilmektedir. Bu çalı mada da enterpolasyon tekni ine dayalı bir LiDAR filtreleme algoritması geli tirilmi olup elde edilen sonuçlar üçgen temelli Adaptive Triangulated Irregular Network (ATIN) (Axelsson, 2000) algoritmasına kar ı test edilmi tir.

2. ÇALI MA BÖLGES

Farklı tipte arazi özelliklerine sahip 5 bölgeye ait LiDAR nokta bulutu veri seti kullanılarak bu bölgelere ait SAM elde edilmi tir. Arazi tipi birbirinden farklı bölgelerin seçim nedeni ise farklı algoritmaların bu çalı ma alanlarında de i ken performans göstermesidir (Meng vd., 2010).

Tablo 1. LiDAR Veri Setlerinin Özellikleri

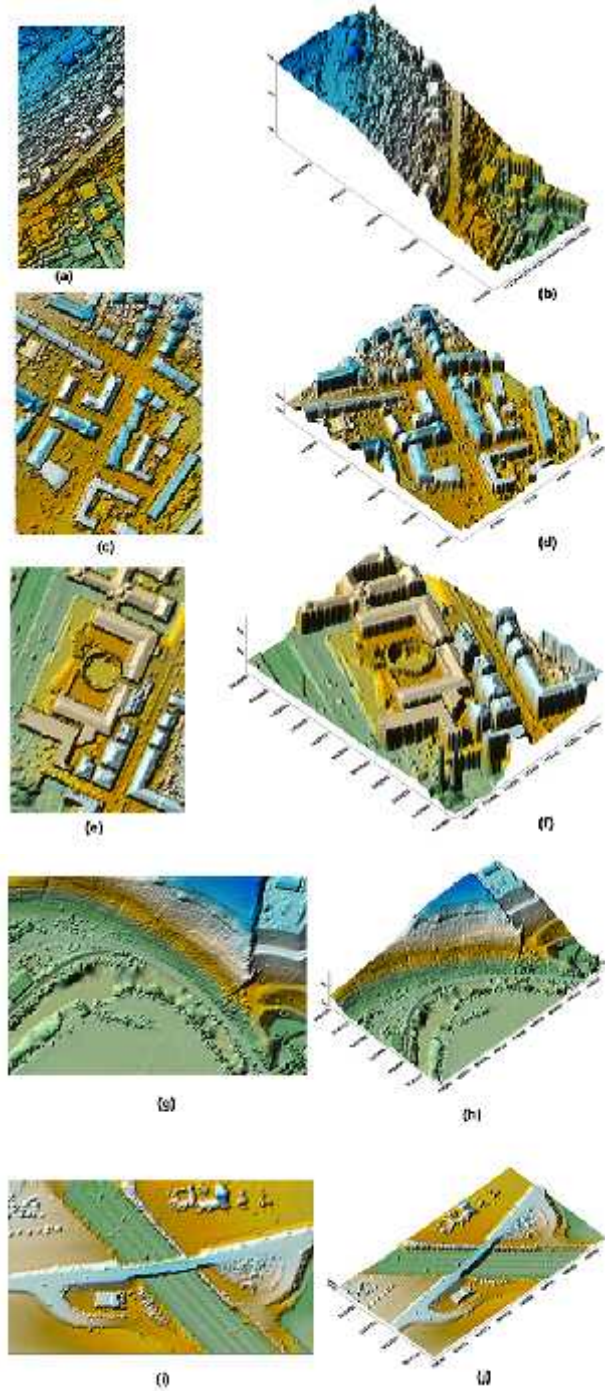
Veri Adı	Boyut	Arazi Tipi	Kot Aralı ı (m)
V11	134 x 303 m	Fazla e imli, tepe üzerinde yapılar ve bitki örtüsü bulunmaktadır.	295 - 404
V12	205 x 270 m	Kısmen düz, bina ve yollar içermektedir.	325 - 357
V23	150 x 206 m	Düz, iç içe büyük boyutlu yapılar içermektedir.	284 - 327
V52	450 x 300 m	Nehir ve düzlükler ile kademeli yamaç içermektedir.	249 - 347
V71	400 x 220 m	Düz arazide köprülü yol içermektedir.	293 - 310

İlk veri seti olan V11, 38010 adet üç boyutlu koordinat verisi içermektedir. Verinin özelli i tepenin yamacında yerle im bölgesi bulunması ve bitki örtüsü ile kar ık bir ekilde yayılmasıdır. İkinci veri seti V12 ise 52119 adet nokta içermekte ve düz bir arazide farklı boyutlarda yapılar bulundurmaktadır. Di er bir veri seti olan V23, 25095 adet nokta verisi ve iç içe geçmi yapılar içermektedir. Dördüncü bölge V52 nehir yata ında bir bölgeye ait olup 22474 adet koordinat verisi bulundurmaktadır. Son veri seti V71 ise 15645 noktadan olu makta ve köprülü bir kav ak bölgesine aittir.

3. METOT

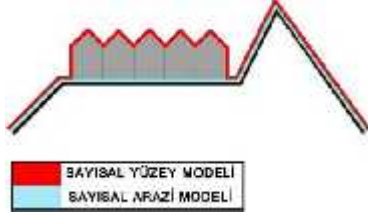
3.1 SYM ve SAM

Topo rafik yüzeyin dijital olarak gösterilmesi için kullanılan Sayısal Yükseklik Modeli (SYM) yeryüzünü bitki örtüsü ve insan yapımı yapılarda dâhil ekleyle üç boyutlu koordinat sisteminde X, Y ve Z yükseklik de erleriyle ifade eden model olarak tanımlanabilir. Bu modeller genellikle raster formatında veya TIN (Triangulated Irregular Network) yani üçgenlenmi düzensiz a modelleri ile gösterilir. Sayısal görüntü ekinde ifade edilen SYM'ler de görüntüde ki her piksel bir yükseklik de eri barındırır (Maune, 2010).



ekil 1. Veri setlerinin 1m çözünürlüklü Sayısal Yükseklik Modeli

Sayısal Arazi Modeli (SAM), genellikle sayısal yükseklik modeliyle aynı anlamda kullanılan fakat insan yapımı tüm objeler ve bitki örtüsü hariç arazi yüzeyini temsil eden, yükseklik de erleri bulunan noktalardan olu an, arazinin gerçek ekinin daha iyi biçimde sunulmu biçimidir (Maune, 2010).



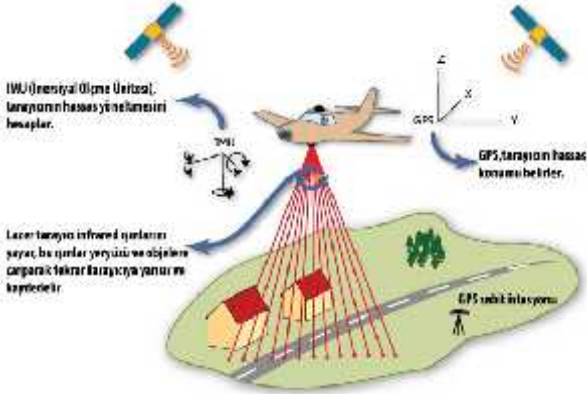
ekil 2. Sayısal Yükseklik ve Arazi Modeli (Uray, 2016)

3.2 LiDAR Sistemleri

LiDAR sistemleri kullanıldıkları amaca ve projeye göre üç ana grup altında toplanmaktadır. Bunlar;

- Hava LiDAR (Airbone Lidar),
- Yersel LiDAR(Terrestrial Lidar),
- Mobil LiDAR(Mobile Lidar)'dır.

Hava Lidar sistemleri, lazer tarayıcı, GPS; Küresel konum belirleme sistemi (Global Positioning System) ve IMU; Dâhili ölçüm ünitesi (Internal Measurement Unit) bütününe sahip sistemlerdir. Bu sistemler lazer ışınlarını elektromanyetik dalgalar halinde göndererek yeryüzü üzerinden veri toplamaktadır. GPS/IMU entegrasyonu sayesinde yeryüzüne ilişkin 3B (üç boyutlu) veri elde edilebilmektedir (Yılmaz vd., 2015).



ekil 3. Hava Lidar Sistemi (Uray, 2016)

LiDAR sadece yüksek çözünürlük ve doğruluk açısından topoğrafik harita yapımı için tercih edilmektedir. Hava fotoğrafları ile birlikte kullanıldığında yol, bina ve bitki örtüsü haritalaması için kullanılabilir. Sunduğu üç boyut özelliğiyle LiDAR'ı özel yapan, karmaşık topoğrafyalar, dağlık arazilerde dâhil yer yüzeyi modellerinin haritalanması için uygun olmasıdır. Yüksek çözünürlüklü ve yükselti haritaları gibi diğer topoğrafik ürünlerde LiDAR verilerinden üretilebilir.

3.3 LiDAR Filtreleme Teknikleri

LiDAR verilerinin filtrelenmesi için birçok teknik araştırma konusu olmuştur (Jenkins, 2006). Morfolojik yaklaşımda 3B nokta bulutu verisi üzerinde ekleme ve biçime dayalı yani morfolojik birçok işlem serisi uygulanır. Üçgenlenmiş düzensiz ağ (TIN) üretim tekniğinde LiDAR noktaları en düşük noktaya dayalı üçgenlenmiş yüzeyden kısıtlı açı ve mesafe altında Delaunay üçgenlenmesi metodu kullanılır. Enterpolasyon tabanlı yaklaşımda iteratif enterpolasyon hesabıyla zemin yaklaşıklık olarak hesaplanır. Bu enterpolasyon algoritması hiyerarşik yaklaşımla genişletilerek filtreleme sonuçlarını ve hesaplama

hızını iyileştirir. Enterpolasyon tabanlı filtreleme tekniğinde ise ayrırt edici derecede farklı olan zemin noktaları ve diğer noktalar arasındaki geçişlerin varsayımı hesaplanarak bir filtreleme yaklaşımı izlenir (Meng vd., 2010).

LiDAR verilerinde zemin noktaları çıplak yeryüzünden genelde ayrırt edilmiş bölge içinde en düşük yüzeyden ölçülerek elde edilir. Zemine ait olmayan noktalar ise çıplak yeryüzünün üzerinde ki ağaçlar, binalar, köprüler gibi objelerden ölçülerek elde edilir. Arazi noktalarının uygun olarak belirlenmesi amacıyla zemin noktalarını objelere ait noktalardan ayrırt edecek fiziksel karakteristiklerini anlamak önemlidir.

Bunlardan ilki en düşük yüksekliğe sahip noktalarlardır. Birçok filtreleme algoritmasının temeli bu noktalara dayalıdır. Yeryüzünün dikliği bir başka karakteristik özelliktir. Zemin noktalarının kendi aralarında ki eğim obje noktaları ile arasındaki eğime kıyasla daha düşüktür. Bu sebepten çoğu filtreleme algoritması belli bir eğim degerinde ki eğim bilgisini kullanarak çalışır. Bir başka fiziksel özellik ise yer yüzeyindeki yükseklik farklarıdır. Zemin noktaları kendi aralarında obje noktalarına kıyasla daha düşük yükseklik farkına sahiptir ve filtreleme algoritmaları için ayrırt edicidir. Yeryüzünün sürekliliği ise bir başka ayrırt edici özellik olabilir. Arazi yüzeyi sürekli ve düzgün bir yapıya sahiptir. Ağaçlar ve binalar gibi obje noktaları ise arazi yüzeyinin sürekliliğini bozan ve filtrelenmesi gereken elemanlardır. Morfolojik temelli filtreleme algoritmaları bu karakteristik özelliklerden yararlanarak çalışır.

3.4 SAM Üretimi ve Doğruluk Değerlendirmesi

Koordinat bilgisi içeren noktaları münden üretilen sürekli yüzeyler SAM olarak adlandırılır. Bu model oluşturulurken verideki boşluklar bütün noktaları menterpole edilerek doldurulur ve belirli bir koordinat degerindeki yükseklikler bu yolla hesaplanır. Bu sayede sürekliliği olan arazi yüzeyi elde edilmiş olur. Enterpolasyon yöntemleri noktaların yüksekliklerini belirleme tekniklerine göre matematiksel farklılıklar gösterebilir. LiDAR verileri filtrelenme ve enterpolasyon işleminden sonra doğruyu en iyi şekilde temsil eden kontrol noktaları ile karesel ortalama hata (KOH) hesaplanarak değerlendirilir (Hodgson ve Bresnahan, 2004).

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

Üretilen modelden elde edilen yükseklik degerleri formül (1) de Z_i , kontrol noktalarının yükseklik degerleri ise \bar{Z}_i olarak gösterilirken çalışma bölgesinde ki toplam nokta sayısı ise n ile ifade edilmiştir.

4. UYGULAMA

4.1 Kriging Enterpolasyon Yöntemi

Kriging enterpolasyon tekniği topoğrafik çalışmalarda kullanılabilirliğini kanıtlanmış ve çok tercih edilen yöntemlerden birisidir. Bu yöntem, matematiksel jeodezide kollokasyon olarak bilinen en iyi lineer yansız tahminci (BLUP [Best Linear Unbiased Predictor]) yada en iyi lineer yansız hesaplayıcı (BLUE [Best Linear Unbiased Estimator]) olarak tanımlanır (Boogaart and Schaeben, 2002). Kriging analizini diğer enterpolasyon yöntemlerinden ayıran en önemli özellik, tahmin edilen her bir nokta veya alan için ayrı bir varyans degerinin hesaplanabilmesidir ki bu, tahmin edilen degerin güven derecesinin bir ölçüsüdür (Bağcıoğlu, 2004). Krigingde kullanılan temel etlik,

$$\bar{Z}(z_0) = \sum_{i=1}^N \lambda_i Z(z_i) \quad (2)$$

dir. Formül (2) de $\bar{Z}(z_0)$ aranılan değer, N modelli olu turan nokta sayısı, z_i aranılan her Z de erine karılıklı olarak z_i de eri, $Z(z_i)$ ise $\bar{Z}(z_0)$ hesabında kullanılan bilinen noktalarıdır.

4.1.1 Kriging Enterpolasyon Temelli Filtre (KRIGF)

Enterpolasyon tabanlı filtreleme tekni nin temeli, nokta bulutu gridlere bölünerek bu gridlerdeki en düşük kotlu noktalar kullanılarak Kriging enterpolasyon tekni i ile yüzey olu turulması ve tüm noktaların bu yüzeye olan yükseklik farkına göre sınıflandırmasına dayanır. Veriyi gridlere bölerken kayan gridler olu turulur. Kayan gridlerin özelli i seçilen grid boyutunun belli bir oranda bindirmeli olarak veriye uygulanması anlamına gelmektedir (Uray, 2016).

Gridler içerisindeki minimum yüksekli e sahip noktalardan polinom yüzey geçirilerek ilk referans yüzeyi hesaplanır. Referans yüzeyi olu turulduktan sonraki adımda ise enterpolasyondan kullanılacak dayanak noktaların bu yüzeye göre yükseklik farkları bulunarak belirlenen e ik de erin altında kalan noktalar dayanak noktası olarak belirlenir. KRIGF yönteminde yükseklik e ik de eri 1m seçilmi tir. Daha sonraki a amada bu dayanak noktalarından Kriging enterpolasyon tekni i ile yüzey geçirilir ve kot farkı e ik de erin altında kalan noktalar zemin noktası olarak sınıflandırılır. Zemin noktası olarak atanan noktalar daha küçük boyutlu gridlere bölünerek noktalar sıkla tırılır ve ikinci kez enterpolasyon ile yüzey geçirilir. Tekrar sınıflandırılmamı noktalar i leme sokulur ve artı sa layan noktalar zemin noktası olarak etiketlenir. Bu çalı mada grid sıkla tırma i lemi grid boyutu 2m olana dek tekrarlanmı tir.

Kriging enterpolasyon temelli filtreleme algoritması Matlab programlama dilinde yazılmı tir. Intel i5 i lemcili 8 GB ram hafızasına sahip AMD Radeon HD5450 grafik i lemcisine sahip bir masaüstü bilgisayarda program çalı tırılmı tir.

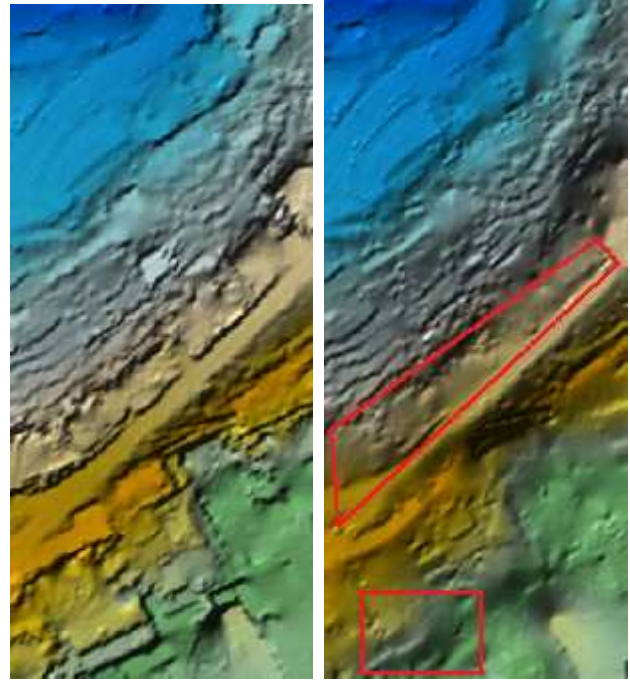
4.2 Üçgenleme Temelli ATIN Filtreleme Algoritması

Üçgen a modeline dayalı bu algoritma TerraScan firması tarafından iyile tirilerek LiDAR verisi i leme yazılımına entegre edilmi tir. Yapılan çalı malarda on be farklı test bölgesinde en iyi filtreleme performansını bu algoritma göstermi tir (Sithole and Vosselman, 2004). Tekni in temeli, nokta bulutunun gridlere bölünerek her bir griddeki en düşük yüksekli e sahip noktaların belirlenerek zemin noktası olarak kabul edilmesi ve daha sonra bu noktalardan delaunay üçgenlemesi yapılmasına dayanır. Veri setindeki tüm noktalar, içinde buldukları yani ait oldukları üçgen yüzeyi ile arasındaki mesafe ve test noktasına en yakın üçgen kö e elemanı ile üçgen yüzeyi arasındaki kalan açı bulunur. Bu de erler belirtilen parametrelerin altında kalıyorsa test noktası zemin noktası olarak, tersi durumda ise obje noktası olarak sınıflandırılır ve sıradaki test noktasına geçerek her bir nokta için bu sinama yapılır. Böylece zemine ait yeni noktalar üçgenlemeye eklenerek bir sonraki iterasyon için üçgenler sıkla tırılmı olur. Her iterasyondan önce parametre de erleri yeniden hesaplanır ve sınıflandırılmamı nokta kalmayana dek iterasyona devam edilir (Uray, 2016).

5. SONUÇLAR

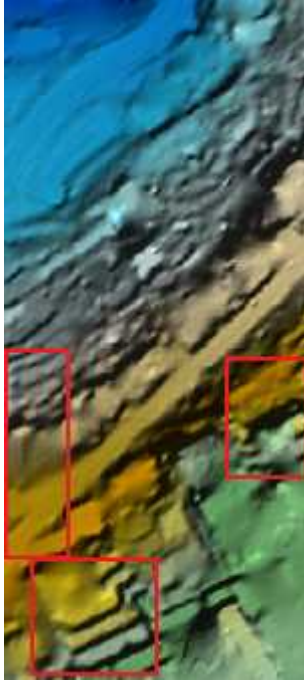
5.1 Veri Seti V11

KRIGF filtreleme algoritması, V11 verisinde ortalama bir performans göstermi tir. Ani yükseklik de i imi olan bölgelerde araziye tam olarak belirleyememi tir. Bunun yanında e imli yerlerde bulunan zemin noktalarını ba arılı ekilde sınıflandırmı tir. Verinin güneyinde bulunan kademeli yapıları ise tam olarak belirleyememi ve o bölgede araziye oldukça yumu atmı tir. Üretilen modelin karesel ortalama hatası ± 1.55 m olmu tur.



ekil 4. V11 veri setinden üretilen referans SAM ve KRIGF algoritması ile üretilen SAM

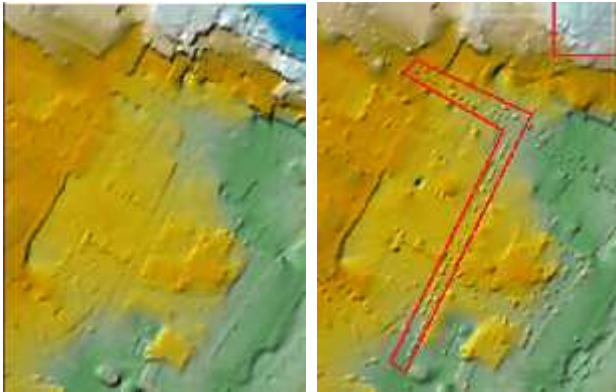
ATIN tekni i, SAMP11 örne inde kısmen iyi bir performans göstermi tir. ekil 5 de görüldü ü üzere e imin fazla oldu u bölgelerde bitki örtüsüne ait noktaları oldukça iyi ekilde tespit ederken yamaçlarla bütünle ik binaların bir kısmını filtrelemede zorlanmı tir. Ayrıca yol kenarındaki dik evlerin sadece bir bölümünü tespit edememi tir. Üretilen modelin karesel ortalama hatası ± 1.10 m olmu tur.



ekil 5. V11 veri setinden ATIN algoritması ile üretilen SAM

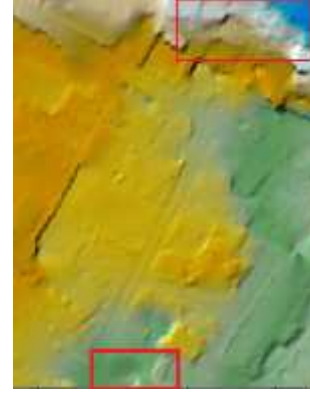
5.2 Veri Seti V12

V12 verisinde ekil 5'de görüldüğü üzere üretilen kısımlardaki yol üzerinde bulunan araçlar KRIGF algoritması tarafından belirlenememi ve sınıflandırılmamıştır. Bölgenin kuzey doğusundaki yükseklik artışı kısmında ise ani yükseklik değişimlerini tespit edemediği için arazi yüzeyini yumuşatmıştır. Bu çalışmada test edilen algoritmalarla kıyaslandığında V12 verisi için en kötü sonucu vermiştir. Üretilen modelin karesel ortalama hatası ± 0.95 m olmuştur.



ekil 6. V12 veri setinden üretilen referans SAM ve KRIGF algoritması ile üretilen SAM

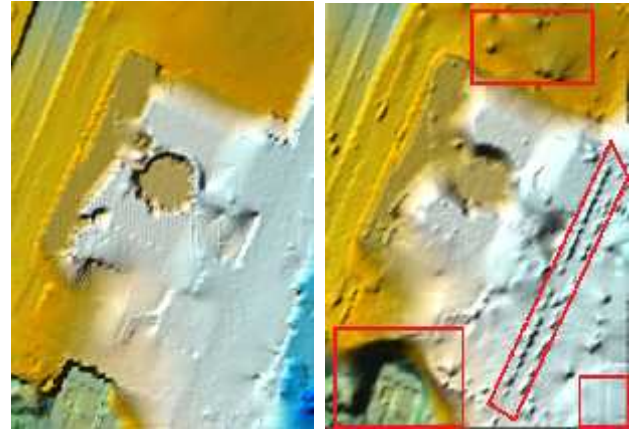
ATIN tekniği, V12 örneğinde oldukça iyi bir performans göstermiştir. ekil 7 de görüldüğü üzere emin fazla olduğu bölgelerde ki binaları filtrelerken ani kot değişiminin olduğu bu bölgedeki araziye tam olarak ortaya çıkaramamıştır. Bahsedilen bölgede ise ki kısımlarda arazi yüzeyini oldukça başarılı şekilde belirlemiştir. Üretilen modelin karesel ortalama hatası ± 0.52 m olmuştur.



ekil 7. V12 veri setinden ATIN algoritması ile üretilen SAM

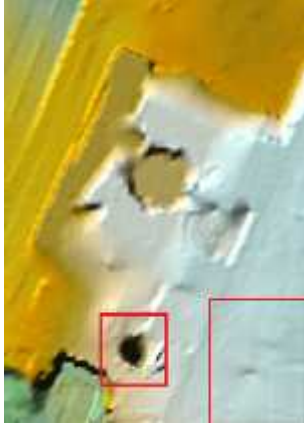
5.3 Veri Seti V23

KRIGF algoritması V23 verisinde yol üzerinde bulunan araçları tespit edememi ve filtreleyememiştir. Bölgenin güney batı kısmında bulunan yükseklik değişimini referansa kıyasla tam olarak belirleyememiştir. Ayrıca güney doğu kısmında ki binaları filtrelerken aynı zamanda binaların altındaki zemini tam olarak tespit edememi ve araziye yumuşatmıştır. Üretilen modelin karesel ortalama hatası ± 1.53 m olmuştur.



ekil 8. V23 veri setinden üretilen referans SAM ve KRIGF algoritması ile üretilen SAM

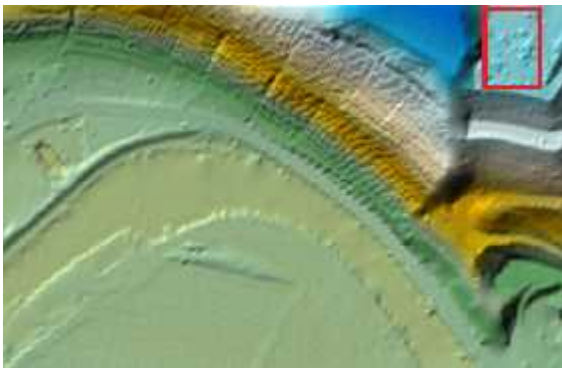
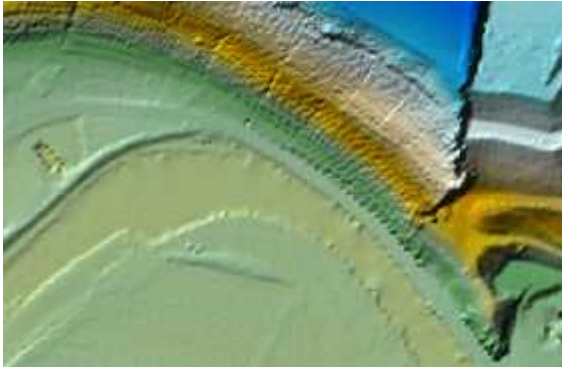
ekil 9 da görüldüğü üzere veri setinin sağ alt köşesinde ki bölgede arazi kotundaki değişimi ATIN filtresi yakalayamamıştır. Ayrıca verideki bazı bölgelerdeki aykırı noktaların ayıklanamamasından dolayı arazi modelinin sürekliliği bozulmuştur. Üretilen modelin karesel ortalama hatası ± 1.42 m olmuştur.



ekil 9. V23 veri setinden ATIN algoritması ile üretilen SAM

5.4 Veri Seti V52

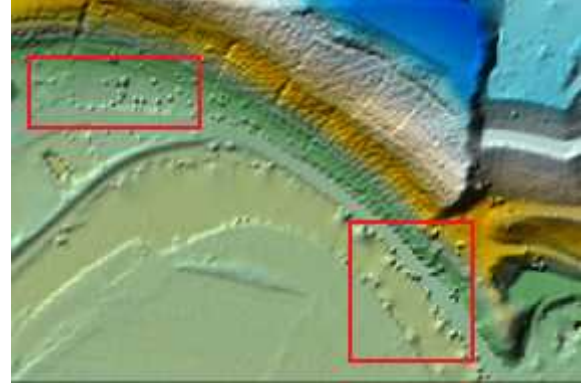
V52 verisinde KRIGF tekni i nehir yata ı kenarında ki bitki örtüsünü ba arılı ekilde filtrelerken kuzey do u kısmında ki yamaçta bulunan binayı da tam olarak kaldırmı tır. Enterpolasyon temelli filtrelerin yükseklik de i imi olan bölgelerde ki yetersiz kalı ı göz önünde bulunduruldu unda KRIGF algoritması bu veride oldukça iyi bir performans göstermi tir. Üretilen modelin karesel ortalama hatası ± 1.29 m olmu tur.



ekil 10. V52 veri setinden üretilen referans SAM ve KRIGF algoritması ile üretilen SAM

ekil 11 de görüldü ü üzere ATIN kademeli yüksekli i artan yamaçlarda veri kaybına sebep olmamı tır. Tepenin üzerindeki binayı filtrelerken ba arılı olmu tur. Ayrıca nehir yata mın kıyısındaki a açları ve yamacın ba langıcındaki bitki örtüsünü

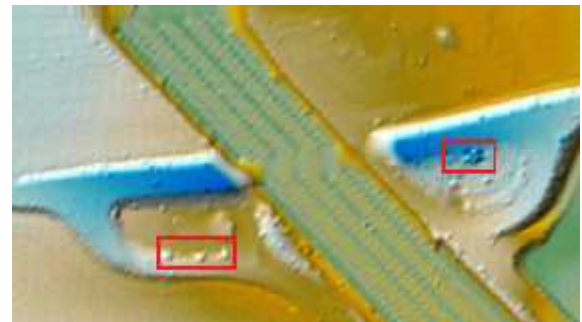
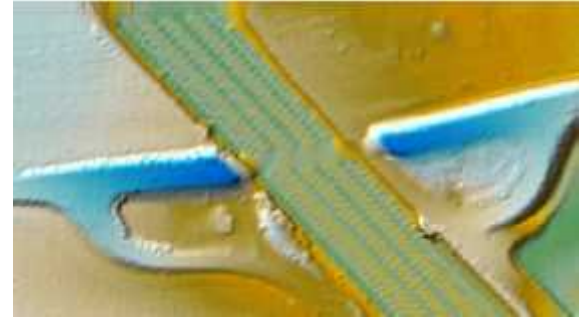
tam olarak kaldıramamı tır. Üretilen modelin karesel ortalama hatası ± 0.73 m olmu tur.



ekil 11. V52 veri setinden ATIN algoritması ile üretilen SAM

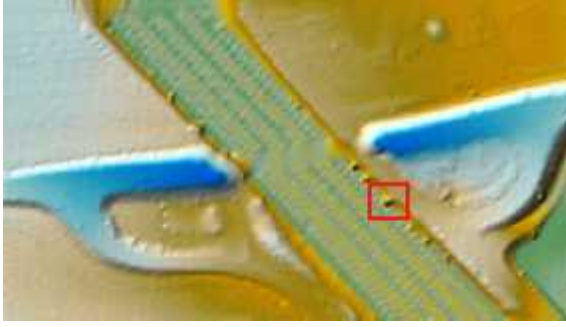
5.5 Veri Seti V71

KRIGF algoritması V71 veri setinde ATIN algoritmasına yakın bir sonuç vermi tir. ekil 12'de i aretlenen kısımlardaki bitki örtüsü hariç veri seti referansa göre oldukça iyi sınıflandırılmı tır. Üretilen modelin karesel ortalama hatası ± 0.19 m olmu tur.



ekil 12. V71 veri setinden üretilen referans SAM ve KRIGF algoritması ile üretilen SAM

ATIN algoritması, V71 örne inde oldukça iyi bir sonuç ortaya koymu tur. ekil 13 de görüldü ü üzere yol kenarında evde bulunan bitki örtüsünün büyük bir kısmını filtrelemi ve fakat ana yol kenarında ufak boyutta ki arazi uzantısını sınıflandıramamı tır. Üretilen modelin karesel ortalama hatası ± 0.20 m olmu tur.



ekil 13. V71 veri setinden ATIN algoritması ile üretilen SAM

5.6 Yorumlar

Çalışma kapsamında ATIN ve KRIGF filtreleme algoritmaları ISPRS referans verilerine karşı test edilmiş ve doğruluk karşılaştırması yapılmıştır. Ticari yazılımla beraber kullanıcılara sunulan ATIN algoritması tepelik ve kısmen yamaç bölgelerde obje noktalarını tespit etmede KRIGF algoritmasına kıyasla daha başarılı olmuştur. Bununla beraber KRIGF yamaçlarda yapıları kaldırmış fakat ani yükseklik değişimi olan bölgelerde bu noktaları yakalayamamış araziye kısmen yumuşatmıştır.

LiDAR filtreleme algoritmaları ile ilgili yapılan çalışmalar incelendiğinde en iyi sonucu veren arazi modellerinde bile hatalar bulunmaktadır. Parametrelerin değiştirilmesi ve belli bir sınır koyulması yorucu bir iş olacaktır bunun yerine filtreleme performansını arttırmak için türetilen yeni fonksiyonlar ve bölgesel yakınlık ile ilgili işlem adımları üzerinde çalışılırsa sonuçlara daha faydalı etki edecektir (Uray, 2016).

6. KAYNAKLAR

- Axelsson, P., 2000. DEM Generation from Laser Scanner Data Using adaptive TIN Models. *Int. Arch. Photogramm. Remote Sens.* 23, 110–117. doi:10.1016/j.isprsjprs.2005.10.005
- Balkan, O., 2004. GÖLBAĞI YÖRESİ TOPRAKLARININ MÜHENDİSLİK-FİZİKSEL ÖZELLİKLERİNDE JEOSTATİSTİK UYGULAMASI. Ankara Üniversitesi.
- Boogaart, K.G., Schaeben, H., 2002. Kriging of Regionalized Directions, Axes, and Orientations I. *Directions and Axes. Math. Geol.* 34, 479–503.
- Hodgson, M.E., Bresnahan, P., 2004. Accuracy of Airborne Lidar-Derived Elevation. *Photogramm. Eng. Remote Sens.* 70, 331–339. doi:10.14358/PERS.70.3.331
- Maune, D.F., 2010. Digital Elevation Model (DEM) Whitepaper NRCS High Resolution Elevation Data.
- Meng, X., Currit, N., Zhao, K., 2010. Ground filtering algorithms for airborne LiDAR data: A review of critical issues. *Remote Sens.* 2, 833–860. doi:10.3390/rs2030833
- Sithole, G., Vosselman, G., 2004. Experimental comparison of filter algorithms for bare-Earth extraction from airborne laser scanning point clouds. *ISPRS J. Photogramm. Remote Sens.* 59, 85–101. doi:10.1016/j.isprsjprs.2004.05.004
- Uray, F., 2016. Hava Lidar Nokta Bulutu Verileri Filtreleme Algoritmalarının Geliştirilmesi Ve Performanslarının Karşılaştırılması, Necmettin Erbakan Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi.

Yılmaz, M., Kocatepe, A., Sistemi, H.L., 2015. Hava LiDAR Nokta Bulutundan Sayısal Yükseklik Modeli Üretiminde Veri Seyrekleştirme Algoritmalarının Karşılaştırılması, in: TMMOB Harita ve Kadastro Mühendisleri Odası, 15. Türkiye Harita Bilimsel ve Teknik Kurultayı.