

FARKLI UYDU GÖRÜNTÜLER NDEN YI IN GÖRÜNTÜ E LEME YÖNTEM YLE YÜKSEK ÇÖZÜNÜRLÜKTE SAYISAL YÜZEY MODEL VER S ÜRET M : SPOT6 VE PLÉIADES UYGULAMASI

O. Eker^{a,*}, B. Bayram^b, M. Erdoğan^a, T. Durut^a, A. Kayı^a, D. Z. Eker^c

^a Harita Genel Komutanlığı, Tıp Fakültesi Caddesi, 06590 Cebeci Çankaya Ankara, Türkiye - (oktay.eker, mustafa.erdogan, temel.durgut, abduallah.kayi)@hgk.msb.gov.tr

^b YTÜ, İnşaat Fakültesi, Harita Mühendisliği Bölümü, Davutpaşa Kampüsü, 34220 Esenler İstanbul, Türkiye - bayram@yildiz.edu.tr

^c TÜ, İnşaat Fakültesi, Geomatik Mühendisliği Bölümü, 80626 Maslak İstanbul, Türkiye - seker@itu.edu.tr

ANAHTAR KELİMELER: Sayısal Yüzey Modeli, Yı ın Görüntü E leme, Uydu Görüntüsü, SPOT6, PLÉIADES

ÖZET:

Yüksek çözünürlüklü uydu görüntülerinden sayısal yüzey modeli üretimi konusu ara tırmacılar açısından güncel bir konu olma özelli ini hala sürdürmektedir. Sayısal yüzey modelleri birçok farklı uygulama için temel olu turmaktadır. Özellikle üç boyutlu kent modellerinin üretimi, zamansal de ği şim analizleri, afet kestirimi gibi konularda gereksinim duyulan bir veridir. Günümüzde uydu görüntüleri yüksek zamansal ve mekânsal çözünürlükte elde edilebilmektedir. Ayrıca SPOT ve PLÉIADES gibi uydular tri-stereo olana ı da sunmaktadır. Tri-stereo görüntülerinden görüntü e leme yöntemleriyle yüksek çözünürlük ve do rulukta sayısal yüzey modeli verilerinin elde edilebilirli ine ili kin literatürde birçok çalı ma bulunmaktadır. Bunun yanı sıra LIDAR verileri de yüksek çözünürlük ve do rulukta sayısal yüzey modeli üretimi amaçlı kullanılan yeni teknolojilerden birisidir. Otomatik görüntü e leme üç boyutlu veri üretimi sürecinde vazgeçilmez bir öneme sahiptir. Yı ın görüntü e leme ile otomatik görüntü e leme yöntemi son yıllarda önem kazanmı ve uygulama alanı bulmu tur. Yüksek çözünürlükte sayısal yükseklik modeli üretiminde L DAR ile kar ıla tırılmaktadır. Özellikle multi-stereo görüntüler otomatik nokta bulutu üretim sürecinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu çalı mada Bergama/ ZM R'deki L DAR test alanında farklı geçi lerde ve zamanlarda alınmı SPOT6 ve PLÉIADES uydu görüntülerinden yı ın görüntü e leme yöntemiyle yüksek çözünürlükte (1.5 m) sayısal yüzey modeli üretimi gerçekleştirilmi tir. Üretilen sayısal yüzey modelleri bölgede TUSAGA-Aktif uyumlu RTK GNSS alıcısı kullanılarak ölçülen 99 adet yer kontrol noktası ve 2015 yılında Harita Genel Komutanlığı önderli inde BH KPK BARKOK tarafından gerçekleştirilen L DAR test verilerinden elde edilen sayısal yüzey modelleri ile kar ıla tırılarak ürünlerin do rulukları analiz edilmi tir.

DIGITAL SURFACE MODEL GENERATION IN HIGH RESOLUTION FROM SATELLITE IMAGERY BY THE HELP OF DENSE MATCHING:SPOT6 AND PLEIDAS IMPLEMENTATION

KEYWORDS: Digital Surface Model, Dense Image Matching, Satellite Image, SPOT6, PLÉIADES

ABSTRACT:

Digital surface modeling from high resolution satellite imagery continues to be an up-to-date issue in terms of researchers. Digital surface models are the basis for many different applications. In particular, production of three-dimensional city models, temporal change analysis, disaster prediction, etc. are required. Nowadays satellite images can be obtained in high temporal and spatial resolution. It also offers tri-stereo satellite capability such as SPOT and PLÉIADES. There are many studies in the literature about the availability of digital surface model data with high resolution and accuracy by image matching methods from tri-stereo images. In addition, LIDAR data is one of the new technologies used for digital surface model production in high resolution and accuracy. Automatic image matching has an indispensable preset in the three-dimensional data generation process. The automatic image matching method has been gaining importance and application area in recent years. It is compared with L DAR in the production of high resolution digital elevation model. Especially multi-stereo images are widely used in automatic point cloud production process. In this study, a high resolution (1.5 m) digital surface model was produced from SPOT6 and PLÉIADES satellite images taken at different passes and times in Bergama / ZM R L DAR test area. The accuracy of the products was analyzed by comparing with the 99 ground control points measured using the TUSAGA-Active compatible RTK GNSS receiver and the digital surface models obtained from the LIDAR test data conducted by BHIKPK BARKOK under the leadership of General Command of Mapping in 2015.

1. G R

Co rafi veri denildi i zaman arazi yüzey yükseklikleri en çok aranan veri kümesidir. Bu veriler genel olarak Sayısal Yükseklik Modeli (SYM) ekinde adlandırılmakta ve ortofoto üretimi, 3B ehir modelleri, hidrolojik modelleme, görünürlük, ta kın, su baskını analizleri gibi çok geni bir yelpazede kullanılmaktadır (Fisher ve Tate, 2006).

SYM verisi birçok de i ik formatta sunulmasına ra men genel olarak her biri uzayda bir noktanın yüksekli ini temsil eden çok sayıda kayıttan olu maktaki ve birçok farklı kaynaktan üretilebilmektedir. Arazi ölçmeleri, e yükseklik e rileri, vektör veriler, hava foto rafları ve uydu görüntüleri, hava ve uzay radar verilerinden (yapay açıklıklı) ve lazer tarama (LIDAR) belli ba lı üretim kaynakları arasında yer almaktadır.

SYM üretildi i kayna a, yöntemine göre hatalar içermektedir. Kullanılan SYM'de bu hataların biliniyor olması SYM kullanımından kaynaklanan hataların tanımlanabilmesi açısından önem arz etmektedir.

Sayısal Yükseklik Modeli (Digital Elevation Models (DEM)), genellikle karesel istisnai durumlarda üçgensel ve dikdörtgensel formda ve düzenli bir grid yapıdaki veri kümesinden olu maktadır. Yükseklik de erleri arasındaki kesin olmayan konumsal ili ki gridin boyutları ve her bir satırdaki gözlem sayısı bilindi inden dolayı kolayca kurulabilir. Sayısal Yükseklik Modeli denildi inde genellikle grid yapıdaki yükseklik modelleri ifade edilmektedir (Fisher ve Tate, 2006).

Arazi ve su altı yüksekliklerini modellemede kullanılan en yaygın co rafi veri modeli gridleme metodudur. Bu yöntemde arazi yüzeyi e it da ılımlı ve belirli aralıklı nokta kümeleri ile temsil edilmektedir. Gridleme yöntemiyle yüksekliklerin düzenli aralıklarla olmasından dolayı sadece bir noktanın yatay bir koordinata dayandırılmasıyla di er noktaların yatay konumu belirlenebilir. Bu ise, her bir noktanın yatay geometri koordinat çiftinin açıkça belirlenmesi ihtiyacını ortadan kaldırır ve böylelikle dosya boyutları daha küçük olur. Grid, ayrıca veri i leme için oldukça kolay bir yapıdır. Grid içindeki aralıklar, modellenecek arazi topo rafyasına göre en etkin olacak ekilde seçilir. Örnek olarak, engebeli ve kesintisi fazla olan bir arazi küçük, dar bir grid aralı ma ihtiyaç duyarken yumu ak bir röllyefe sahip olan arazi ise oldukça geni bir grid aralı ma ihtiyaç duyacaktır (Federal Geographic Data Committee, 2008).

Sayısal Yükseklik Modeli, Sayısal Yüzey Modeli ve Sayısal Arazi Modeli olarak ayrılmaktadır.

Sayısal Yüzey Modeli (SYM) (Digital Surface Model - DSM), yeryüzünün herhangi bir bölümüne ili kin topo rafyayı tüm arazi detaylarıyla yansıtan 3 boyutlu bir sayısal yükseklik modelidir. Bitki örtüsü ve insan yapımı tüm detayların tepesinden geçen yüksekli i temsil eder (ekil-1 (b)).



(a) Sayısal Arazi Modeli (b) Sayısal Yüzey Modeli
ekil-1 Sayısal Yükseklik Modelleri

Sayısal Arazi Modeli (SAM) (Digital Terrain Models - DTM), SYM'den farklı olarak, çıplak arazi yüzeyindeki yükseklik de erlerini ifade eden sayısal yükseklik modelidir. Arazinin sadece çıplak topo rafyasını yansıtır (ekil-1 (a)).

2. YI IN GÖRÜNTÜ E LEME TEKN YE SAYISAL YÜKSEKL K MODEL ÜRET M

Otomatik görüntü e leme üç boyutlu veri üretimi sürecinde vazgeçilmez bir öneme sahiptir. Yı n görüntü e leme yöntemi son yıllarda önem kazanmakta ve uygulama alanı bulmakta ve yüksek çözünürlük ve do rulukta sayısal yüzey modeli üretimi amaçlı kullanılan L DAR ile kar ıla tılmaktadır. Geleneksel stereo görüntü e leme algoritmaları obje tabanlı sınıflandırmaya dayanmakta ve görüntü üzerinde buldu u detayı di er görüntü çiftinde aramaktadır (Heipke, 1993). Buna kar ın piksel tabanlı sınıflandırma algoritmalarında ya anan geli meler (Hirschmüller,2008) sayesinde ikiden fazla görüntüden sayısal yüzey modelleri yüksek do ruluklarla üretilebilmektedir. Özellikle multi-stereo görüntüler otomatik nokta bulutu üretim sürecinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Fakat görüntülerin semantik içeri i, radyometrik ve mekânsal çözünürlü ü, dönüklükler gibi parametreler nokta bulutu üretimini do rudan etkilemektedir. Bu nedenle üretilen nokta bulutu verisinin test edilerek uyu umsuz ölçülerin ayıklanması gerekmektedir. Otomatik sayısal yüzey modeli üretimine yönelik farklı yakla ımlar söz konusu olmakla birlikte henüz farklı görüntülerden do ru, güvenilir veri üretimine yönelik geli tirilmi bütünlü ik bir yöntem söz konusu de ildir. Görüntü e leme yöntemlerini (i) lokal ve (ii) global olmak üzere iki temel grupta toplamak mümkündür. Lokal yöntemler genel olarak tanımlanan bir pencere için fark görüntülerini hesaplar. Doku bilgisinin eksikli i lokal yöntemler için ana zorluklardan birisidir.

Yüksek çözünürlüklü uydu görüntülerinden sayısal yüzey modeli üretimi konusu ara tirmacılar açısından öncel bir konu olma özelli ini hala sürdürmektedir. Sayısal yüzey modelleri birçok farklı uygulama için temel olu turmaktadır. Özellikle üç boyutlu kent modellerinin üretimi, zamansal de i im analizleri, afet kestirimi gibi konularda gereksinim duyulan bir veridir. Günümüzde uydu görüntüleri yüksek zamansal ve mekânsal çözünürlükte elde edilebilmektedir. Ayrıca SPOT ve PLÉIADES gibi uydular tri-stereo olana ı da sunmaktadır. Tri-stereo görüntülerinden görüntü e leme yöntemleriyle yüksek çözünürlük ve do rulukta sayısal yüzey modeli verilerinin elde edilebilirli ine ili kin literatürde çalı malar bulunmaktadır.

Bu çalı mada tri-stereo özelli inde olmayan ve farklı tarihlerde alınmı ve aynı bölgeyi kapsayan çok sayıda SPOT6 ve PLÉIADES uydu görüntülerinden yı n görüntü e leme yöntemiyle otomatik olarak yüksek çözünürlükte sayısal yüzey modelleri üretilerek aynı bölgedeki Yer Kontrol Noktaları ve L DAR verileriyle kar ıla tılarak do rulukları analiz edilmi tir.

SPOT6 ve PLÉIADES görüntülerinin çözünürlükleri farklı oldu undan her iki uydu görüntü demetleri için iki farklı blok

olu turulmu ve bu blokların her biri için farklı çözünürlükte sayısal yüzey modelleri üretilmiştir.

a. SPOT6 UYDU GÖRÜNTÜLER KULLANILARAK YER KONTROL NOKTASINI SEÇİM YAPILAN ALANIN SAYISAL YÜZEY MODEL ÜRETİMİ



ekil-2 Yer kontrol noktası örneği

Bergama ilçesini merkeze alacak şekilde planlanan test bölgesinin alanı yaklaşık 156 km²'dir. Bölgede 99 adet yer kontrol noktası TUSAGA-Aktif uyumlu RTK GNSS alıcısı kullanılarak ölçülmüştür. Yer kontrol noktalarının seçiminde arazide herhangi bir işaretleme yapılmamış, sert ve emin azdu düz zeminlerde ölçüm yapılmıştır. ekil-1'de görülen daire ve yeşil nokta temsili olup arazide gerçekte mevcut değildir.

Test verisinin yükseklik hassasiyetini ölçmek amaçlandı için ölçüm yapılan bölgelerde düz ve emimsiz alanlar seçilmiştir. Çalınma bölgesi Bergama'yı (ekil-3) kapatacak şekilde farklı tarihlerde alınan 5 adet SPOT6 uydu görüntüsü seçilmiştir. Görüntülerin teknik özellikleri Tablo-1'de verilmiştir, görüntü alım geometrileri ise ekil-4'de gösterilmiştir.

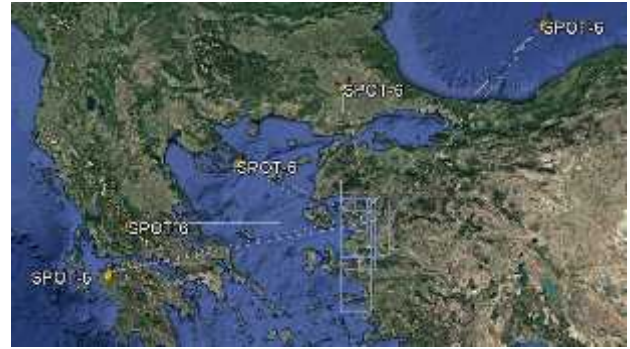
2014 yılına ait 5 adet SPOT6 uydu görüntüsü arasındaki zamansal fark nisan ayı ile ağustos ayı içerisinde de bulunmaktadır. 4 aylık mevsimsel geçişi olan zamansal fark özellikle yeşil alanlarda otların büyümesi neticesinde hatalı emelere neden olabileceğinden, bu süreçte yapılmaması veya bu yapılmaması nedeniyle verinin bütünlüğünün bozulması üretim öncesi öngörülmüştür. Uydu görüntülerinin Bergama test alanını tamamen kapatması emelenin her bölgede 5 uydu görüntüsünde yapılması ve homojen bir yapıda olmasını göstermiştir. Görüntüler, dikey doğruluklarını arttırmak ve emelenin daha düzgün çalınmasını sağlamak amacıyla Match-AT yazılımı ile dengelenmiştir. Dengeleme için bölgeye ait 2013 tarihli, 30 cm çözünürlüklü stereo hava foto raflarından 4 adet yer kontrol noktası ölçülmüştür. Match-T yazılımı ile yılın görüntü emeleme tekniği kullanılarak 1.5 m aralıklı sayısal yüzey modeli üretilmiştir.



ekil-3 Bergama çalınma bölgesi

S_Nu	Goruntu Adı	Tarihi	Çekim Açısı (derece)	Yer Örnekleme Aralığı (m)
1	201404030833069	03.04.2014	18.02	1.5
2	201404080844499	08.04.2014	10.72	1.5
3	201405230849071	23.05.2014	17.41	1.5
4	201406180849374	18.06.2014	18.35	1.5
5	201408230841400	23.08.2014	10.85	1.5

Tablo-1 SPOT6 uydu görüntüsü teknik özellikleri

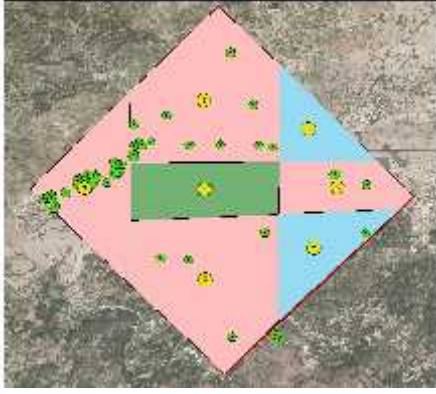


ekil-4 SPOT6 uydu görüntülerinin alım açıları

Uydu görüntülerinden üretilen SYM verisi öncelikle LIDAR nokta bulutundan 0.5m aralıklı üretilmiş sayısal yüzey modeli (SYML) verisi ile farkları alınarak karışılabilirdir. Sonuçlar incelendiğinden hesaplanan farkın karesel ortalama hatası beklenildiği gibi 1-3 piksel aralığında çıkmıştır. Bölgede TUSAGA-Aktif uyumlu RTK GNSS alıcısı ile düz ve emimsiz zeminlerde ölçülmüş 99 adet yer kontrol noktasına gelen artık hatalar da hesaplanmıştır. YKN noktasına gelen artık hataların karesel ortalama hatası LIDAR-SYM'e göre daha düşüktür. Bunun başlıca sebebi YKN düz ve emimsiz alanlarda olmasına rağmen LIDAR-SYM'e verisinin tüm arazi özelliklerini barındırmasıdır. ki ayrı kontrol veri setine ait hatalar Tablo-2'de sunulmuştur.

Referans Veri	K.O.H (metre)	O.H (metre)	Maksimum Hata (metre)
YKN	2.11	1.40	-2.74/+4.71
LIDAR SYM	4.55	-1.03	-335.29/+320.30

Tablo-2 SPOT6 görüntülerinden üretilen SYM'nin geometrik doğruluk parametreleri



ekil-5 Bergama çalı ma bölgesi PLÉIADES görüntü kapsama grafi i

b. PLÉIADES UYDU GÖRÜNT LER KULLANILARAK YI IN GÖRÜNTÜ E LEME TEKN İYLE SAYISAL YÜZEY MODEL ÜRET M

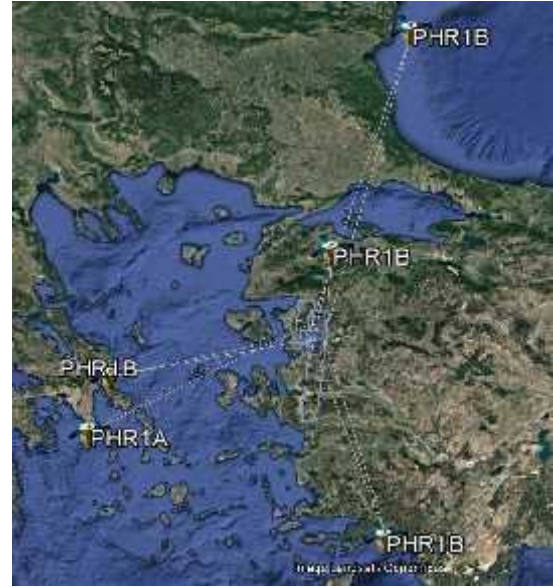
Aynı bölgenin SPOT6 uydu görüntüsünden daha yüksek çözünürlü e sahip PLÉIADES uydu görüntülerinden de SYM' si üretilmi tir. 5 adet PLÉIADES uydu görüntüsünün test bölgesini kapattı ı bölgeler ekil-5'de gösterilmi tir. Ço unlukla 3 uydu görüntüsü ortak alanları kapatmakta, geri kalan bölgeler ise iki veya 4 uydu görüntüsüyle kapatılmı tir.

ekil 5'de gösterilen ye il noktalar yer kontrol noktalarının konumlarını ifade etmektedir. 4 uydu görüntüsünün kapattı ı ye il renkli alanda hiçbir YKN'nın dü memesi ve büyük ço unlu unun 3 uydu görüntüsü ile üretilen bölgede olması bu noktalara gelecek artık hataların beklenenden fazla çıkmasına neden olmu tur. Ayrıca 5 uydu görüntüsünün gördü ü ortak bir alanın mevcut olmaması üretilcek verinin hassasiyetini de etkileyece i ön görülmü tür.

PLÉIADES uydu görüntüleri arasındaki zaman farkı incelendi inde, 2014 yılında A ustos ve Eylül ayında, 2015 yılı içerisinde ise A ustos ve Aralık ayında oldu u görülmü tür. Mevsimsel farktan ziyade zamansal farkın çok olması üretilcek verinin bütünlü ünün güvenilirli i konusunda soru i aretlerine neden olmu tur. PLÉIADES uydu görüntülerine ait teknik özellikler Tablo-3'de, görüntüleme geometrisi ekil-6'da sunulmu tur.

S_Nu	Goruntu Adı	Tarihi	Çekim Açısı (derece)	Yer Örnekleme Aralığı (m)
1	201408290912110	29.08.2014	4.05	0.5
2	201409110912144	11.09.2014	4.79	0.5
3	201508030904123	03.08.2015	7.92	0.5
4	201512040907121	04.12.2015	17.64	0.5
5	201512040907335	04.12.2015	9.07	0.5

Tablo-3 PLÉIADES uydu görüntüsü teknik özellikleri



ekil-6 PLÉIADES uydu görüntülerinin alım açıları

Görüntüler, dı do ruluklarını arttırmak ve e lemenin daha düzgün çalı masını sa lamak amacıyla Match-AT yazılımı ile dengelenmi tir. Dengeleme için bölgeye ait 2013 tarihli, 30 cm çözünürlüklü stereo hava foto raflarından SPOT uydu görüntülerinin dengelemesinde kullanılan aynı 4 yer kontrol noktası ölçülmü tür. Match-T yazılımı ile yı n görüntü e leme tekni i kullanılarak 1.5 m aralıklı sayısal yüzey modeli üretilmi tir. Görüntü örtü alanlarının az olması ve görüntü alım tarihleri arasındaki farklılıklar daha yüksek çözünürlükte kaliteli SYM üretimine olanak tanınamı tir.

Uydu görüntülerinden üretilen SYM verisi öncelikle LIDAR nokta bulutundan 0.5m aralıklı üretilmi sayısal yüzey modeli (SYML) verisi ile farkları alınarak kar ıla tırılmı tir. Sonuçlar incelendi ine hesaplanan farkın karesel ortalama hatası (KOH) 5 piksel aralı nda çıkmı tir. KOH'ın beklenenden yüksek çıkmasının sebebinin uygun olmayan alım açısı, görüntü da ılımı ve görüntüler arasındaki zamansal farkın oldu u de erlendirilmektedir. Bölgede TUSAGA-Aktif uyumlu RTK GNSS alıcısı ile dü z ve e imsiz zeminlerde ölçülmü 99 adet yer kontrol noktasına gelen artık hataların karesel ortalama hatası SYML göre daha dü ük çıkmı tir. Bunun ba lıca sebebi SPOT6 Uydu görüntüsünden üretilen SYM'de de kar ıla ıldı ı gibi YKN'larının dü z ve e imsiz alanlarda olmasına ra men SYML verisinin tüm arazi özelliklerini barındırmasıdır. ki ayrı kontrol veri setine ait artık hatalar Tablo-4'de sunulmu tur.

Referans Veri	K.O.H (metre)	O.H (metre)	Maksimum Hata (metre)
YKN	2.53	-0.28	-12.09/+11.9
LIDAR SYM	2.88	-1.71	-309.07/+377.57

Tablo-4 PLÉIADES görüntülerinden üretilen SYM'nin geometrik do ruluk parametreleri

3. SONUÇ VE DE ERLEND RME

Bu çalı mada Bergama/ ZM R'de yer alan test alanının farklı tarihlerde ve özelliklerde alınan ve Tri-Stereo özelli inde olmayan SPOT6 ve PLÉIADES uydu görüntülerinden yı ın görüntü e leme yöntemi kullanılarak otomatik olarak 1.5 metre aralıklı sayısal yüzey modelleri üretilmi tir.

Elde edilen sayısal yüzey modelleri; TUSAGA-Aktif uyumlu RTK GNSS alıcısı kullanılarak ölçülen 99 adet yer kontrol noktası ve 2015 yılında Harita Genel Komutanlı ı önderli inde BH KPK BARKOK tarafından gerçekleştirilen L DAR testlerinden elde edilen nokta bulutu verilerinden olu turulan 0.5 metre aralıklı sayısal yüzey modelleri ile karşılaştırılarak doğrulukları analiz edilmi tir.

SPOT6 görüntülerinden elde edilen sayısal yüzey modellerinin karesel ortalama hataları $\pm 2-5$ metre, PLÉIADES uydu görüntülerinden elde edilenlerin ise $\pm 2-3$ metre civarında belirlenmi tir.

Elde edilen verilerin özellikle L DAR verisi ve hava foto rafı alımı yapılamadı ı durumlarda sayısal yüzey modeli verisi olarak uygulamalarda kullanılabilce i de erlendirilmektedir.

Sayısal yüzey modeli üretiminde kullanılacak uydu görüntülerinin seçiminde, görüntü alım tarihleri arasındaki farkın fazla olmamasına ve aynı mevsim artlarında alınmasına dikkat edilmesi durumunda görüntü e lemenin kalitesinin artacağı sonucuna varılmış tir.

Bu çalı manın bir sonraki a masında farklı çözünürlüklerdeki SPOT6 ve PLÉIADES uydu görüntüleri birlikte kullanılarak sayısal yüzey modeli üretilcek ve elde edilecek sonuçlar de erlendirilecektir.

TE EKKÜR

Bu çalı mada kullanılan SPOT6 ve PLÉIADES uydu görüntülerini sağlayan İstanbul Teknik Üniversitesi Uydu Haberleşme ve Uzaktan Algılama Merkezi (UHUZAM)'ne teşekkürü bir borç biliriz.

KAYNAKLAR

Fisher, P. F., & Tate, N. J. (2006). Causes and consequences of error in digital elevation models. *Progress in Physical Geography*, 30(4), 467-489.

Federal Geographic Data Committee, 2008

Heipke, C. (1993): Performance and State-of-the-art-of Digital Stereo Processing. *Proceeding of the Photogrammetric Week, Stuttgart*, pp.173-183.

Hirschmüller, H. (2008), Stereo Processing by Semi-Global Matching and Mutual Information *IEEE Transaction on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 30(2), pp.328-341

Norbert H., (2011) Multiray Photogrammetry and Dense Image Matching, *In Photogrammetry Week*, 185-195