 <p>INTERNATIONAL ENGINEERING, SCIENCE AND EDUCATION GROUP</p>	<p>Middle East Journal of Science (2017) 3(1): 9-19 Published online August 28, 2017 (http://dergipark.gov.tr/mejs) doi: 10.23884/mejs.2017.3.1.02 ISSN: 2536-5312</p>
---	--

ELEVATION ERROR COMPARISON OF COMMONLY USED DIGITAL ELEVATION MODELS (DEM) FOR NATURAL RESOURCE MANAGEMENT WITH GROUND CONTROL POINTS

*Sercan Gülci**¹, *Kıvanç Yüksel*², *Neşe Gülci*³

¹Kahramanmaraş Sütçü İmam University, Faculty of Forestry, 46100, Kahramanmaraş, Türkiye

²Kahramanmaraş Sütçü İmam University, Faculty of Forestry, 46100, Kahramanmaraş, Türkiye

³Kahramanmaraş Sütçü İmam University, Faculty of Forestry, 46100, Kahramanmaraş, Türkiye

* sgulci@ksu.edu.tr

Abstracts: *Land surveying has importance in monitoring, planning and detailed mapping for natural resources in lands. Consider the success in management plans, especially in area of engineering, more precious data employed to promote high-efficiency and cost optimization of projects. Engineering projects require more precision and attention in forest lands having huge part of natural resources. Otherwise engineers may cause irreversible damage to nature in addition to wasting money and time. Field oriented engineering works, especially, digital terrain models (DTM) are one of the most important data. Thus, this study examines vertical accuracies of open-source DEMs. Thus, this study primarily evaluates the DEMs mentioned in many research papers. Within the scope of this study, Advanced Spaceborne Thermal Emission Reflectometer Global DEM (ASTER GDEM 2), Shuttle Radar Topography Mission (SRTM (1) V3) at 30 m resolution, and DEMs derived from orthophotos, which are commonly used by researchers, were compared. The validation of DEMs investigated by using standard deviation (STD), mean error (ME) and the root mean square error (RMSE) to investigate errors in elevation data. Surveying for 116 reference points in the test-site, which has barren and poorly vegetated (Grass/Shrub) land surfaces, was carried out by using total station. The precision of the orthophoto-derived DEM's error, is better and more reliable than that of other DEMs in bare lands, such as forest openings. The investigated RMSE values were 1.62 m for the orthophoto-based DEM, 2.68 m for SRTM 1 V3 and 11.79 m for ASTER GDEM 2. The orthophoto-based DEM showed higher accuracy than satellite-based models.*

Key words: Vertical error, Total station, Open access DEMs, Openings, Kahramanmaraş

DOĞAL KAYNAKLARIN YÖNETİMİNDE YAYGIN OLARAK KULLANILAN SAYISAL YÜKSEKLİK MODELLERİNDE YÜKSEKLİK HATALARININ DEĞERLENDİRİLMESİ

Arazi ölçümlerinden elde edilen değerler doğal kaynakların görüntülenmesi, planlanması ve detaylı bir şekilde haritalanması için önemli kaynaklardandır. Yönetim planlarındaki başarı dikkate alındığında özellikle mühendislik alanında, proje maliyetlerini azaltmak için hassasiyeti yüksek veriler kullanılmaktadır. Doğal kaynakların başında gelen ormanlarda mühendislik uygulamaları hassasiyet ve dikkat gerektirir. Aksi halde, para ve zaman kayıplarının yanında doğaya geri dönüşü olmayan zararlar da verebilmektedir. Özellikle sayısal arazi modelleri (SAM) arazi tabanlı mühendislik çalışmaları için önemli verilerdir. Bu nedenle, bu çalışma kapsamında açık kaynak olarak sunulan ve geniş alanlarda uygulama alanı bulan SYM'ler için yükselti hataları değerlendirilmiştir. Araştırmacılar tarafından yaygın olarak kullanılan yaklaşık 30 m çözünürlükteki ASTER GDEM 2 (Advanced Spaceborne Thermal Emission Reflectometer Global DEM), SRTM (1) V3 (Shuttle Radar Topography Mission) ve ortofotolardan üretilmiş SYM'ler, karşılaştırılmıştır. Yükseklik verilerinin değerlendirilmesinde standart sapma (STD), ortalama hata (OH) ve karesel ortalama hata (KOH) yöntemleri kullanılmıştır. Arazi ölçümü için çorak ve zayıf vejetasyondaki arazi yüzeyine sahip test alanından Total station (TS) kullanılarak toplam 116 referans noktası ölçülmüştür. Test alanı içerisinde elde edilen KOH değerleri ortofotolardan üretilen SYM için 1.62 m, SRTM için 2,68 m ve ASTER GDEM 2 için ise 11.79 m'dir. Hava fotoğrafları ile üretilen SYM'ler orman açıklıkları gibi çıplak arazilerde diğer uydu tabanlı SYM'lerden daha güvenilir ve iyi sonuç vermiştir.

Anahtar Kelimeler: Düşey hata, Total station, Açık erişimli SYM, Açıklıklar, Kahramanmaraş

1. Giriş

Sayısal yükseklik modelleri (SYM), yeryüzü şekillerine ve yüksekliklerine ait temel bilgilerin elde edilmesini sağlamaktadır. Arazi çalışmalarının yoğun olduğu mühendislik alanında faaliyet gösteren birçok planlama çalışmalarında SYM kullanılmaktadır. SYM; Sayısal arazi modeli (SAM) ve sayısal yüzey modelleri (SYÜM) kavramlarını kapsamaktadır. SAM'ler yalnızca yeryüzünün yapısını ifade ederken, SYÜM'ler yeryüzünü kaplayan objelere (ağaç, bina ve diğer) ait yükseklik bilgilerini de kapsayan modellerdir[1]. SYM'ler ormancılık, topografya, jeomorfoloji, bitki örtüsü ve kentsel çalışmalar gibi farklı disiplinlerde kullanım imkanına sahiptir [2,3].

SYM üretimi, yer ölçüm teknikleri, topografik haritalar, hava ve uzay platformlarından elde edilen sayısal görüntülerden olmak üzere üç farklı şekilde gerçekleştirilmektedir[4,5]. SYM'lerin üretilmesinde eş yükselti eğrileri, topografik haritalar, arazi etüdü, Total station (TS) ve Küresel konumlama sistemi (KKS-GPS) gibi fotogrametri tekniklerine ek olarak; radar ve lazer sistemleri gibi yöntemlerle de üretilmektedir. Elde edilmiş şekillerine göre doğruluk ve çözünürlükleri değişiklik göstermektedir. Teknoloji ve coğrafi bilgi sistemlerindeki gelişmelerle birlikte SYM'nin farklı alanlardaki kullanım olanakları önemini arttırmakta ve dolayısıyla elde edilen verilerin kalitesi üzerine değerlendirmeleri zorunlu kılmaktadır[6].

Yüksek çözünürlüğe ve doğruluğa sahip SYM oluşturmak araştırmacılar için vazgeçilmez bir ihtiyaç haline dönüşmüştür. Uzaktan algılama teknolojileri ile elde edilen uydu görüntülerinden bindirme ile farklı çözünürlük ve hassasiyete sahip SYM üretilmektedir[7]. Ayrıca yüksek ölçüm hassasiyetine sahip yersel araçlar ile Yer kontrol noktaları (YKN) kullanılarak SYM üretimi gerçekleştirilmektedir. SYM doğrulukları arazi şekli, SYM'yi oluşturma yöntemi, kullanılan YKN sayısı ve hassasiyetine göre farklılık göstermektedir. Yine, SYM üretim tekniği ile elde edilen veriye ait hassasiyet üzerinde oldukça etkilidir. Uydular yardımıyla elde edilen SYM'ler (SPOT, ASTER gibi) kullanıcılara oldukça uygun maliyetlerde veri sunarken hava fotogrametrisi ve yersel ölçümlere göre kalitesi ve hassasiyeti düşük ürünler oluşturulmaktadır[8].

Doğal kaynakların büyük bir kısmının elde edildiği ormanlık alanların değerlendirilmesinde SYM'ler yoğun olarak kullanılmaktadır. Ormanlık alanlarda yürütülen planlama ve değerlendirme çalışmaları açısından oldukça önemli bir yere sahip olan topografya; gelişen uzaktan algılama teknolojileri ve uydu görüntüleri ile daha kolay ve güvenilir bir şekilde temsil edilmektedir. Türkiye'de ormanlık alanlar genellikle sarp, dağlık ve engebeli araziler üzerinde bulunmaktadır. En önemli sürdürülebilir doğal kaynaklardan olan ormanların planlanması ve yönetilmesi ile arazi şeklinin (topografya) bilinmesi doğrudan ilişkilidir. Konum, yükseklik, eğim ve bakı gibi mevki özellikleri, orman ekosisteminin iklimi, bitki örtüsü ve toprak özelliklerini belirlemede etkili faktörlerdir[9]. Bu faktörlerin bilinmesi orman ekosisteminin daha iyi planlanmasını ve daha doğru yönetilmesini sağlamaktadır. Aksi halde, para ve zamanın harap edilmesine ek olarak doğaya geri dönüşü olmayan zararlar verilebilmektedir.

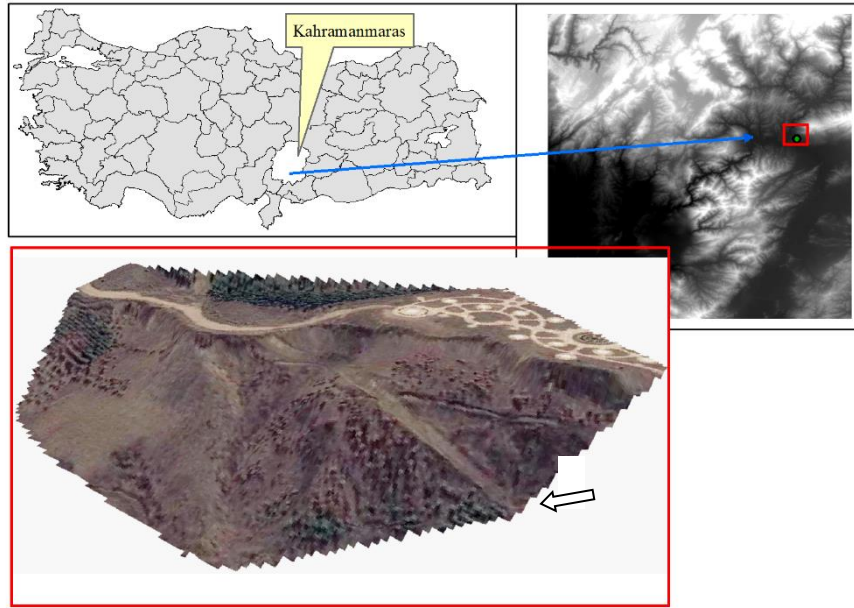
Bu sebeple, yüksek doğruluk ve hassasiyete sahip SYM üretimi doğal yaşam alanlarının sürdürülebilir yönetimi ve yaşam alanlarının korunması açısından önem taşımaktadır. Birçok disiplinde SYM kullanımının artması ve giderek önem kazanması SYM doğruluklarının analiz edilmesini ve geliştirilerek yüksek doğruluğa sahip SYM üretilmesine gerek duyulmaktadır[10]. SYM doğruluğu, SYM gridi içerisinde elde edilen tüm noktadaki düşey hatanın karesel ortalamasıdır (KOH/RMSE). Coğrafi bilgi sistemlerinde KOH tahmin edilen ve ölçülen değerler arasında ortaya çıkan hata miktarını hesaplamak için kullanılmaktadır. KOH, SYM verilerinde düşey hataların tespitinde yöntem olarak tercih edilen en yaygın ve kolay istatistiksel analizlerdendir[11].

2. Yöntem

2.1. Çalışma Alanı

Çalışma alanı olarak, Türkiye'nin Doğu Akdeniz Bölgesi'nde yer alan, Güneydoğu Anadolu Bölgesi'ne komşu Kahramanmaraş ili sınırları seçilmiştir. Arazi ölçümleri, Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi (KSÜ) Avşar Yerleşkesi sınırları içerisinde belirlenen test alanında gerçekleştirilmiştir (Şekil 1). KSÜ Ziraat Fakültesi eğitim binası arka kısmında bulunan çevresinde Karaçam türleri ve tarımsal faaliyetler bulunan arazi uzun yıllardır toprak işleme işi yapılmayan boş/açık arazi araştırma alanı olarak tespit edilmiştir. Arazi ölçümleri yapılan test alanı, kısmen çorak ve çalı formda vejetasyona sahiptir. Sahada uzun yıllardır toprak işleme (kazı, dolgu) gerçekleştirilmemiştir. Saha içerisinden 2016 yılında toprak yol inşa edilmiştir.

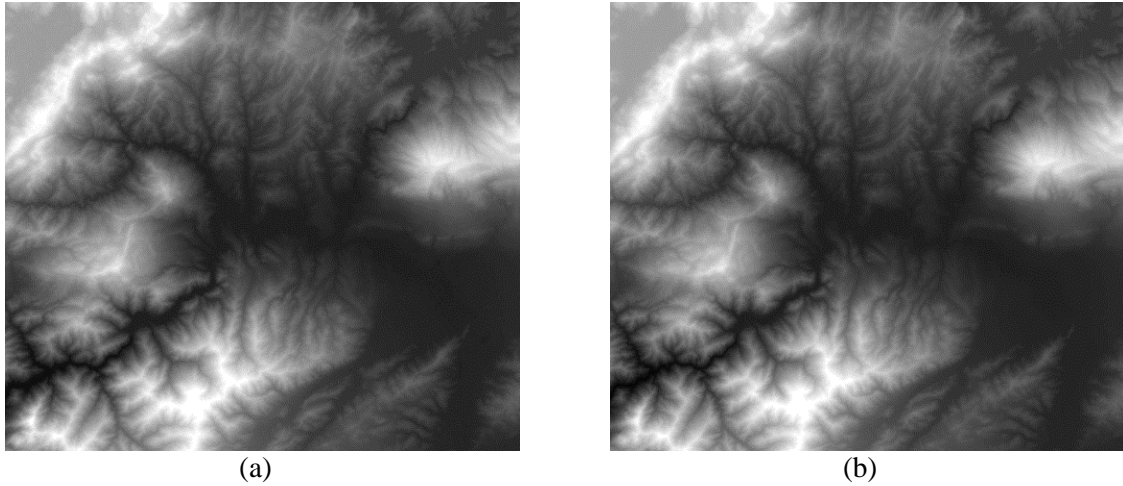
Çalışma alanı olarak, Türkiye'nin Doğu Akdeniz Bölgesi'nde yer alan, Güneydoğu Anadolu Bölgesi'ne komşu Kahramanmaraş ili sınırları seçilmiştir. Arazi ölçümleri, Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi (KSÜ) Avşar Yerleşkesi sınırları içerisinde belirlenen test alanında gerçekleştirilmiştir (Şekil 1). KSÜ Ziraat Fakültesi eğitim binası arka kısmında bulunan çevresinde Karaçam türleri ve tarımsal faaliyetler bulunan arazi uzun yıllardır toprak işleme işi yapılmayan boş/açık arazi araştırma alanı olarak tespit edilmiştir. Arazi ölçümleri yapılan test alanı, kısmen çorak ve çalı formda vejetasyona sahiptir. Sahada uzun yıllardır toprak işleme (kazı, dolgu) gerçekleştirilmemiştir. Saha içerisinden 2016 yılında toprak yol inşa edilmiştir.



Şekil 1. Çalışma Alanı Konumu ve Test Alanından Genel Görünüm

2.2. Kullanılan Veriler

Doğal kaynakların yönetiminde araştırmacılar tarafından yaygın olarak kullanılan açık erişime sahip 30 m çözünürlükte ASTER GDEM 2 (Advanced Spaceborne Thermal Emission Reflectometer Global DEM) ve SRTM 1 Versiyon 3 (Shuttle Radar Topography Mission) uydu verileri kullanılmıştır (Şekil 2; Tablo 1). Uydu verilerinin isimleri makale içerisinde kısaltılarak ASTER ve SRTM olarak kullanılmıştır.



Şekil 2. (a) ASTER ve (b) SRTM Yükseklik Modelleri örnek görüntüsü

Tablo 1. Uydu Verilerinin Özet Bilgileri

Veri Kaynağı*	Algılayıcı türü	Alım Tarihi	Çözünürlük	Üretici tarafından öngörülen yükseklik hatası	Veri formatı
ASTER GDEM Ver. 2	Uydu görüntüsü	2011	30 m	~15 m (%95 güven aralığında)	GeoTIFF
SRTM (1) V3	C band ve IFSAR**	2000 (2015 revize)	30 m	~16 m (%90 güven aralığında)	GeoTIFF

*<http://earthexplorer.usgs.gov/> üzerinden veriler temin edilmiştir.

**IFSAR: X-band interferometric synthetic aperture radar

ASTER GDEM 2; Terra uydusunun beş farklı modülünden en iyi çözünürlük ve bindirmeli görüntü alabilme kabiliyetine sahip olanıdır. ASTER GDEM 2; görünür ve yakın kızıl ötesi (VNIR), kısa dalga kızıl ötesi (SWIR) ve termal kızıl ötesi (TIR) olmak üzere üç çeşit algılayıcıya sahiptir. Bu algılayıcılardan bindirmeli görüntü alımları VNIR alıcı ile sağlanmaktadır[12,13]. ASTER GDEM ürünleri METI ve NASA tarafından üretilmektedir.

SRTM; dünyanın ihtiyaç duyduğu radar verisinin yaklaşık olarak %80'ini toplamayı hedefleyen ABD, Almanya ve İtalya arasındaki ortak bir projenin ürünüdür. SRTM, interferometri ile yüksek kalitede üç boyutlu topografik veri üreten aktif bir radar sistemidir. SRTM'nin en önemli özelliklerinden biri elde edilen 3" çözünürlüğe sahip sayısal yükseklik modeli verilerinin açık erişime sahip olmasıdır.

SRTM verileri üzerinde iyileştirme ve güncelleme çalışmaları gerçekleştirilerek 30 m çözünürlükte hassasiyetleri artırılmış olarak sunulmaktadır[14,15].

Bu verilere ait düşey hata durumunun ortaya konması amacıyla Leica TC407 marka Total Station (TS) ile doğrudan arazi ölçümlerine ait 116 referans YKN kullanılmıştır (Şekil 3). Konumsal veri kontrolü ve düzeltmelerinde 1/25000 ölçekli memleket haritasından faydalanılmıştır. Verilerin işlenmesi ve analizlerinde ArcGIS 9.x ve Ms-Excel yazılımları tercih edilmiştir. Ayrıca, araştırma alanına ait 2010 yılı hava fotoğraflarından üretilmiş güncel SAM'de kullanılmıştır. TKGM (Tapu ve Kadastro Genel Müdürlüğü), 2010 yılında 1/5000 ölçekli 30 cm çözünürlüğe sahip hava fotoğrafını özel sektörden hizmet alımı yoluyla üretmiştir [16].



Şekil 3. YKN'lerin Test Alanı Üzerindeki Dağılımı

2.3. Metod

Bu çalışmada, geo-istatistiksel bir yaklaşım sergilenerek açık kaynak olarak elde edilen uydu tabanlı ham veriler ve fotogrametrik olarak üretilmiş SYM düşey konum hata ve hassasiyetleri karşılaştırılmıştır. Yükseklik modellerinin hiçbirisinde filtreleme ve enterplasyon işlemi uygulanmamıştır. Referans olarak TS yardımıyla doğrudan ölçüm noktaları ile elde edilen toplam 116 YKN verileri kullanılmıştır. Yatay hataların en aza indirilmesi amacıyla konumsal düzeltmeler ve koordinat sistemleri dönüşümleri ArcGIS ortamında gerçekleştirilmiştir[17]. Tüm modellerin koordinat sistemleri European Datum 1950-UTM olarak dönüştürülmüştür. Veriler arasındaki istatistiksel ilişkilerin anlaşılması amacıyla ortalama hata (OH), standart sapma (STD), maksimum (Maks.) ve minimum (Min.) hataları hesaplanmıştır (Denklem 1; 2). SYM'ler arasındaki düşey hata ve ilişkilerin ortaya konmasında geleneksel olarak kullanılan KOH hesaplanarak yükseklik modellerine ait düşey hata durumları ortaya konmuştur[18] (Denklem 3).

$$OH = \sum \frac{Z_x - Z_y}{n} \quad (1)$$

Z_x : SYM yükseklik (kot) değeri

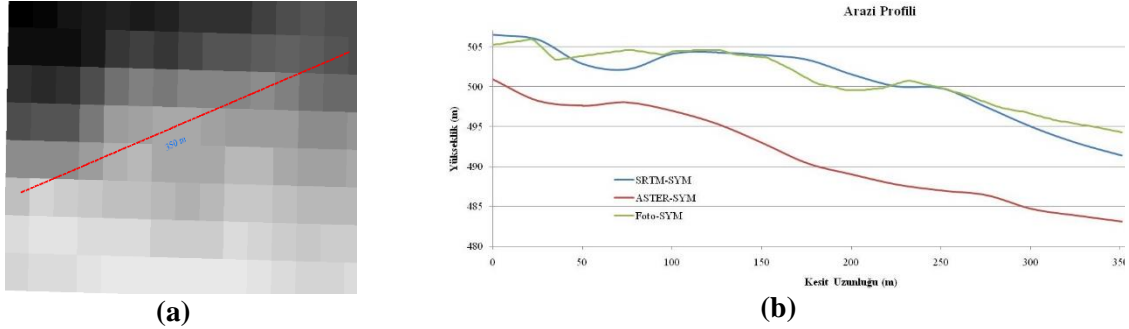
Z_y : Re ferans yükseklik (kot) değeri

$$STD = \pm \sqrt{\frac{(Z_x - Z_y - OH)^2}{n-1}} \quad (2)$$

$$KOH = \sqrt{\frac{\sum_{y=1}^n (Z_x - Z_y)^2}{n}} \quad (3)$$

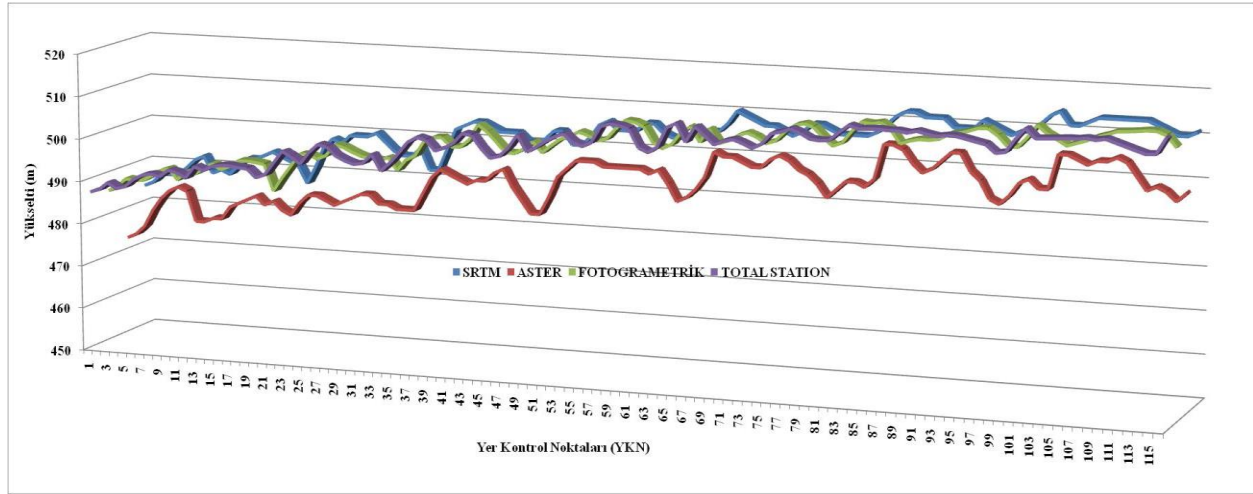
3. Bulgular

Her üç model için test alanı içerisinde alınan 350 m uzunluğunda kesit yardımıyla arazi profili çıkartılmıştır (Şekil 4). SYM'ler üzerinden alınan kesitin arazi yüzey profilinde ASTER veri ile diğer arazi modelleri arasında ki farkın daha belirgin olduğu görülmüştür. Ancak verilere ait yüksekliklerin doğrulukları konusunda yorum yapmak oldukça zordur. Bu nedenle, SYM'lerin düşey hatalarının kontrolünde YKN'lere ihtiyaç duyulmuştur.



Şekil 4. Test Alanı İçerisinden Alınan a) Arazi Kesiti ve b) Arazi Profili

YKN'lerden elde edilen veriler ile ASTER, SRTM ve fotogrametrik yöntemlerle üretilmiş yükseklik modelleri arasındaki düşey farklar Şekil 5'de gösterilmiştir. Yükseklik modelleri arasında en büyük farkın ASTER modeli olduğu tespit edilmiştir. Diğer yükseklik modellerinin TS ile tespit edilmiş yükseklik değerlerine kısmen yakın olduğu anlaşılmıştır. Sayısal verilerin ortaya konularak düşey değerler arasındaki hata ortalamaları; ASTER-YKN için -11.228 m, SRTM-YKN için -2.001 m, Fotogrametrik-YKN için -0.963 m olarak belirlenmiştir (Tablo 2). ASTER yükseklik verisine ait iyileştirilmiş modelin farklı bölgelerden toplanan YKN'ları ile yükseklik hata değeri yaklaşık 17 m olarak tespit edilmiştir[19]. Yine model üreticisi tarafından yaklaşık %95 güven aralığında yaklaşık 15 m'lik düşey hatası ön görülmüştür (Tablo 2).



Şekil 5. Yükseklik Modellerinin YKN'ler ile Karşılaştırılması

Tablo 2. YKN'lerine göre ASTER, SRTM ve Hava Fotoğraflarından Üretilmiş Yükseklik Değerleri İstatistiği

İstatistik	TS- ASTER	TS- SRTM	TS- FOTO
OH	-11.228	+2.001	-0.96
STD	±3.201	±1.784	±1.307
KOH	11.791	2.681	1.619

Bu çalışmanın gerçekleştirildiği açık arazide ise ASTER SYM için yükseklik hata değeri yaklaşık 11 m olarak tespit edilmiştir. ASTER ve SRTM modelleri yükseklik hatası alan örtüsü / kullanım, eğim ve topoğrafya gibi faktörlerden etkileneceğinden hata oranları değişiklik gösterebilir[20]. SRTM ve fotogrametrik yöntemlerle üretilen modeller göz önüne alındığında, ASTER modeli için ortalama hatanın yaklaşık 4 kat fazla olduğu ortaya çıkmıştır. Kolay ve hızlı bir değerlendirme olanağı sağlayan KOH yalnızca yükseklik modelleri arasındaki düşey hataların analizinde yetersiz kalmış olabilir[21]. Ancak, veriler arasındaki farklılıkların ortaya koyulması ve doğal kaynakların planlama aşamasında tercih edilecek SYM için kalite ve uygunluğunun ön değerlendirmesinde yeterli olacaktır.

Araştırma alanı içerisinde ASTER için 11.791 m, SRTM için 2.681 m ve fotogrametrik yöntemle üretilmiş verinin 1.619 m'lik yükseklik hatası olduğu tespit edilmiştir (Tablo 2). Son yıllarda farklı ülkelerde uydu verilerinden elde edilen SYM'lerin düşey doğruluklar üzerine yapılan araştırmalarda, ASTER verilerine ait düşey doğruluk değerleri açık alanlarda 8.442 m, bitki örtüsü ile kaplı alanlarda 18.9 m olarak tespit edilmiştir[26]. Çin'de yapılan beş farklı çalışmada ASTER'in düşey doğruluğunun 19 m olduğunu ASTER GDEM 1'e göre düşey doğruluğun 5 m daha iyi olduğunu tespit etmişlerdir. Yine, SRTM'nin düşey doğruluğunun ASTER'den daha yüksek olduğu ortaya çıkmıştır. Yapılmış olan

çalışmada ise KOH değerleri sırasıyla; ASTER için 6.03 m ve SRTM için 3.72 m olarak hesaplanmıştır[22]. Ayrıca, Avrasya üzerinde üretilen SRTM-SYM'lerin %90 güven aralığında yükseklik hata oranları 2.6 ile 8.7 m aralığında olduğu tespit edilmiştir. Söz konusu test alanımızda elde edilen bulgulara bakıldığında yükseklik hata oranının 2.681 m olması bunun bir örneği olarak değerlendirilmiştir. Fotogrametrik yöntemlerle üretilen SYM düşey hata oranı düşüktür. Modellere ait düşey doğruluk hassasiyetlerindeki başarı sırası; Fotogrametrik-SYM, SRTM ve ASTER olarak tespit edilmiştir.

4. Sonuçlar

Ormancılık faaliyetleri gibi geniş alanlarda gerçekleştirilecek doğal kaynakların yönetiminde uydu verileri ile elde edilen SYM'ler temel analizler (eğim, bakı, yükselti gibi) kullanılabilecek modellerdir. Maliyeti bakımından ve açık alanda elde edilen 2.681 m KOH değere sahip SRTM SYM, doğal kaynakların planlamalarında kullanımı bakımından umut vericidir. ASTER'in sahip olduğu düşey hata değeri SRTM'ye göre yüksektir. ASTER verilerinden elde edilecek bilgiler genel arazi koşullarını yansıtabilir ancak küçük ölçekli ve detaylı projelerde nihai planlamalarda başarısı düşük olacaktır. Fotogrametrik yöntemle elde edilen yüksek çözünürlüklü SYM modeli kullanımı geniş alanlarda veri işleme süresini ve maliyetini arttırmaktadır. Ormancılık faaliyetleri gibi geniş alanlarda arazi yapısının değerlendirilmesi için uydu tabanlı düşük çözünürlüklü SYM'ler tercih edilmelidir. Hem maliyet bakımından avantaj sağlamak hem de verilerin işleme süresinde zaman kaybı yaşatmamaktadır. Çalışma sonuçlarının genelleştirilebilmesi amacıyla test alanlarının farklı arazi örtülerinde değerlendirilerek ortaya konması gerekmektedir. Araştırma kapsamında ele alınan düşey hata tespiti çalışmalarında test saha sayısı artırılarak farklı özellikte alanlarda da test edilmelidir. Çünkü arazi örtüsünün çeşidi SYM oluşturulurken düşey hata oranında değişikliklere neden olmaktadır. YKN noktaları ve yüksek çözünürlüklü hava fotoğraflarından üretilen SYM'ler düşey hata tespitinde kullanılabilir. Aynı zamanda SYM üretim ve iyileştirme zamanları göz önünde bulundurularak test sahasına ait topografik değişikliklerin yaşanıp yaşanmadığı, görüntü alım zamanında test alanı üzerindeki bulutluluk gibi görüntü alımını kirlenici bir koşul olup olmadığına dikkat edilmelidir.

Kaynakça

- [1] Aslan, Ş. T. A. (2005). Coğrafi bilgi sistemi olanakları ile bazı havza özelliklerinin belirlenmesi. KSÜ Fen ve Mühendislik Dergisi, 8(2), 128-134.
- [2] ASTER GDEM, (2009). Validation team: METI/ERSDAC, NASA/LPDAAC, USGS/EROS. ASTER GDEM validation summary report. Retrieved from http://www.ersdac.or.jp/GDEM/E/image/ASTERGDEM_Validation_Summary_Report_Ver1.pdf.
- [3] ASTER GDEM, (2011). Validation Team:METI/ERSDAC, NASA/LPDAAC, USGS/EROS, "Advanced Spaceborne Thermal Emission And Reflection Radiometer (Aster) Global Digital Elevation Model (Gdem) Version 2 " "ASTER GDEM is a product of METI and NASA". Retrieved from <http://www.ersdac.or.jp/GDEM/E/3.html>.

- [4] Chaieb, A., Rebai, N., & Bouaziz, S. (2016). Vertical Accuracy Assessment of SRTM Ver 4.1 and ASTER GDEM Ver 2 Using GPS Measurements in Central West of Tunisia. *Journal of Geographic Information System*, 8(01), 57.
- [5] Çepel, N. (1988). *Orman Ekolojisi*. İÜ Orman Fakültesi Yayınları, 3518/399, ISBN: 975-404-061-3, İstanbul, 536s.
- [6] Çoban, H. O., & Eker, M. (2009). SRTM verileri ile bazı topoğrafik analizler: Isparta Orman Bölge Müdürlüğü örneği. *Turkish Journal of Forestry| Türkiye Ormanlık Dergisi*, 2, 76-91.
- [7] Daniel, C., & Tennant, K. (2001). DEM quality assessment. *Digital elevation model technologies and applications: the DEM users manual*, 395-440.
- [8] El Imrani, M., Darraz, C., Akalai, N., Hlila, R., & El Ouaazani, A. (2016). Vertical accuracy assessment of Open source Digital Elevation Model (a case study from northern Morocco). *International Journal of Innovation and Applied Studies*, 15(3), 618.
- [9] Esri (1996). *Using ArcView GIS: user manual*. Redlands: Environmental Systems Research Institute.
- [10] Farr, T. G., Rosen, P. A., Caro, E., Crippen, R., Duren, R., Hensley, S., ... & Seal, D. (2007). The shuttle radar topography mission. *Reviews of geophysics*, 45(2).
- [11] Fisher, P. F., & Tate, N. J. (2006). Causes and consequences of error in digital elevation models. *Progress in Physical Geography*, 30(4), 467-489
- [12] Guth, P. L. (2010). Geomorphometric comparison of ASTER GDEM and SRTM. In A special joint symposium of ISPRS Technical Commission IV & AutoCarto in conjunction with ASPRS/CaGIS.
- [13] Krzystek, P. (1991). Fully automatic measurement of digital elevation models. *Proceedings of the 43rd Photogrammetric Week, Stuttgart*, pp. 203 – 214
- [14] Li, P., Shi, C., Li, Z., Muller, J. P., Drummond, J., Li, X., ... & Liu, J. (2012). Evaluation of ASTER GDEM ver2 using GPS measurements and SRTM ver4. 1 in China
- [15] Mohd, W., Wan, N., Abdullah, M. A., & Hashim, S. (2014). Evaluation of Vertical Accuracy of Digital Elevation Models Generated from Different Sources: Case Study of Ampang and Hulu Langat.
- [16] Mukherjee, S., Joshi, P. K., Mukherjee, S., Ghosh, A., Garg, R. D., & Mukhopadhyay, A. (2013). Evaluation of vertical accuracy of open source Digital Elevation Model (DEM). *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 21, 205-217.
- [17] Nelson, A., Reuter, H. I., & Gessler, P. (2009). DEM production methods and sources. *Developments in soil science*, 33, 65-85.

- [18] Oflaz, O. E., Bayraktar, H., Köksoy, E., & Ölmez, A. (2013). “Ulusal ortofoto bilgi sisteminin neresindeyiz?” TMMOB Coğrafi Bilgi Sistemleri Kongresi, 11 – 13 Kasım 2013, Ankara.
- [19] Ok, A. Ö., Türker, M., (2005). Stereo Aster uydu görüntülerinden sayısal yükseklik modeli oluşturma ve doğruluk analizleri. Ege Coğrafi Bilgi Sistemleri Sempozyumu, İzmir.
- [20] Patel, A., Katiyar, S. K., & Prasad, V. (2016). Performances evaluation of different open source DEM using Differential Global Positioning System (DGPS). The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Science, 19(1), 7-16.
- [21] Seo J. ve Han S. (2001). Study On Geographic Information Production Using Airborne Laser Scanning International Conference FIG Working Week 2001, Seoul, Korea. Retrieved from 20.10.2016 https://www.fig.net/resources/proceedings/fig_proceedings/korea/full-papers/session14/seo-han.htm.
- [22] USGS-NGA-NASA, (2015). Shuttle Radar Topography Mission 1 Arc-Second Global: SRTM1N37E036V3. U.S. Geological Survey (USGS) Earth Resources Observation and Science (EROS) Center, Sioux Falls, South Dakota. Retrieved from 26.10.2016 <https://lta.cr.usgs.gov/SRTM1Arc>