

FARKLI VERİ KAYNAKLARI İLE ELDE EDİLEN SAYISAL YÜKSEKLİK MODELLERİNİN DOĞRULUK ANALİZİ VE KALİTE DEĞERLENDİRMESİ

F. Esirtgen^a, N. Yastıklı^b, U. G. Sefercik^c,

^a Mescioğlu Mühendislik ve Müşavirlik A.Ş. , Ankara, Türkiye-fesirtgen@mescioglu.com.tr

^b YTU, İnşaat Fakültesi, Harita Mühendisliği Bölümü, 34210 Davutpaşa İstanbul, Türkiye -ynaci@yildiz.edu.tr

^c ZKÜ, Zonguldak Karaelmas Üniversitesi, Jeodezi ve Fotogrametri Müh. Bölümü Zonguldak- ugsefercik@hotmail.com

ANAHTAR KELİMELER: SYM, Doğruluk analizi, Kalite değerlendirme, Fotogrametri, Uydu verileri, InSAR

ÖZET

Günümüzde farklı veri toplama yöntemleri ile sayısal yükseklik modeli üretimi, üretilen sayısal yükseklik modellerinin doğruluklarının ve kalitelerinin araştırılması güncel bir çalışma alanı olarak önemini korumaktadır. Ülkemizde sayısal yükseklik modeli üretiminde, uluslararası kabul görmüş kurallar ve teknikler kullanılarak belirli standartlara ulaşılmış ancak üretilen SYM'lerin doğrulukları ve kalite değerlendirmesi üzerine yeterli standartlar oluşturulmamıştır.

Bu çalışma, İstanbul bölgesinde fotogrametrik yöntem, uydu teknikleri ve InSAR teknikleri kullanılarak toplanan verilerle üretilen SYM'lerin doğruluk analizi ve kalite değerlendirmesini kapsamaktadır. Çalışma alanı, 10x10 km² lik bir alanı kapsamakta ve açık alan, orman, yerleşim, çalılık ve bozuk yüzey olmak üzere 5 arazi sınıfını içeren bir bölge olacak şekilde seçilmiştir. Referans veri olarak 1/1000 ölçekli sayısal fotogrametrik haritalardan üretilen 3 m örneklenmiş SYM kullanılmış ve 94 adet YKN ile test edilmiştir. Test verisi olarak 1/5000 ölçekli sayısal fotogrametrik haritalardan üretilen 30m ve 5m olmak üzere 2 farklı çözünürlüğe sahip SYM, 20 m çözünürlüklü SPOT ve 80 m çözünürlüklü ASTER uydu görüntüleriyle üretilmiş SYM kullanılmıştır. Ayrıca SRTM misyonu ile InSAR algılama tekniğiyle üretilen 90 m çözünürlüğe sahip SYM test verisi olarak kullanılmış ve tüm SYM'lerin düşey doğrulukları analiz edilmiş ve çıkan sonuçlara göre kaliteleri değerlendirilmiştir. Analiz sonuçlarının gerçeği en iyi şekilde yansıtması için, çalışma bölgesi arazi yapısına göre sınıflara ayrılmış ve her bir sınıf için ayrı ayrı doğruluk analizi yapılmıştır. Elde edilen sonuçlar, ulaşılmak istenilen doğruluk ve kaliteye göre veri kaynağı seçimi, çözünürlük, üretim yöntemi ve üretim standartlarının önemini vurgulamıştır. Özellikle, çalışma alanındaki arazi sınıflarında hesaplanan KOH₂ değerleri, SYM' nin doğruluğunun belirlenmesinde arazi sınıfının göz ardı edilemeyecek bir etken olduğunu ortaya koymuştur.

KEYWORDS: DEM, Accuracy analysis, Quality Assessment, Photogrammetry, Satellite data, InSAR

ABSTRACT

The producing of the digital elevation model with different data collection methods and accuracy assessment and quality evaluation procedure are still hot research topics. The production of digital elevation model has reached certain standards however standards about accuracy assessment and quality evaluation process were not developed sufficiently in Turkey.

This study includes accuracy assessment and quality analysis of the digital elevation models which are produced by photogrammetric methods, satellite imaging and InSAR techniques in Istanbul area. The study area covers 10 x 10 km². The test area is including five land covers including flat terrain, forest, built-up, scrub and rough terrain. As a reference data, 3 m. sampled digital elevation model was used which was produced by 1/1000 scale photogrammetric maps and tested against 94 Ground Control Points (GCPs). The photogrammetric DEMs with 30 m. and 5 m resolution which were derived from 1/5000 scale photogrammetric maps, SPOT DEM with 20 m. resolution, ASTER DEM with 80 m. resolution and of SRTM C band DEM with 90 m resolution were used for accuracy assessment and quality analysis. The test area was classified five terrain classes as flat terrain, forest, scrub, built-up area and rough terrain and accuracy analysis was made for each class. As a result of the analysis, the accuracy assessment and quality analysis tested DEMs have been performed in consideration of International Standards. In obtained results was emphasized the importance of data source, production method, resolution and production standards to achieve accuracy and quality requirement. Especially, computed RMSEz values for each terrain classes, showed that terrain classes cannot be ignored in accuracy assessment and quality analyses of DEMs.

1. GİRİŞ

Sayısal Yükseklik Modeli kavramı 1950'li yıllarda Miller ve Laflamme tarafından ortaya atılmıştır (Alp, 1998). İlk uygulamalarda veri toplama yöntemi olarak çoğunlukla yersel yöntemler ve fotogrametri kullanılırken günümüzde uydu görüntüleri, Radio Detection and Ranging (RADAR) ve Light

Detection and Ranging (LiDAR) teknolojileri ile SYM üretimi yaygın bir şekilde gerçekleştirilmektedir.

SYM'lerin geniş bir uygulama alanına sahip olması, farklı veri toplama yöntemleri ile üretilmesi, ayrıca üretilen verilerin farklı formlarda sunulması, bu konudaki araştırmaların güncelliğini korumasındaki etkenler olarak sıralanabilir. Farklı yöntemler

kullanılarak SYM'lerin üretimi standart bir uygulama haline gelmekle birlikte üretilen verilerin doğruluğunun analizi ve kalite değerlendirmesi ülkemizde hala güncel bir araştırma konusudur. Sayısal yükseklik modelinin kalite değerlendirmesinde kullanılacak standartlar ülkemizde Büyük Ölçekli Harita ve Harita Üretim Yönetmeliği ile sınırlı bir şekilde yer almakla birlikte kapsamlı bir üretim standardı bulunmamaktadır. Bu konuda en kapsamlı çalışmalar Amerika Birleşik Devletlerinde NSSDA, FEMA, NDEP idareleri tarafından hazırlanmıştır ve üretilen ürünler bu standart ve yönergeler esas alınarak değerlendirilmektedir.

Sayısal yükseklik modelinin üretimi ve kullanımının güncel araştırma konusu olması, standartların açıkça ortaya konması ihtiyacı, zaman ve maliyet hesaplarının gerçekçi bir biçimde yapılması ve üretilen SYM'lerin kalite değerlendirmesi bu çalışmanın motivasyon kaynağını oluşturmaktadır. Çalışmada, farklı veri toplama yöntemleri ile üretilen sayısal yükseklik modellerinin doğruluk analizi ve kalite değerlendirilmesi amaçlanmıştır. SYM' de kalite değerlendirme için kullanılan mevcut uluslararası standartlar ve yönergeler araştırılmıştır. Uygulama bölümünde, 1:1000 ve 1:5000 fotogrametrik haritalardan üretilen SYM, SPOT 5, ASTER optik uydu görüntüleri kullanılarak üretilen SYM ve SRTM C-Band SYM'lerin doğruluk analizi ve kalite değerlendirmesi yapılmıştır. Değerlendirmeler LANDSAT uydu görüntüleri ile oluşturulan ormanlık alan, yerleşim alanı, açık alan, çalılık ve bozuk yüzey gibi arazi sınıfları kullanılarak her bir sınıf için ayrı ayrı yapılmıştır.

2. STANDARTLAR

SYM lerin kalite değerlendirme ve doğruluk analizlerine ilişkin uluslararası standartlar incelenmiş ve yapılan analizlerin kalitesi ve sonuçlarının değerlendirilmesi amacıyla dayanak noktası olarak seçilmiştir. Ağırlıklı olarak Amerika Birleşik Devletlerinde kullanılan bu standartlara ilişkin önemli detaylar aşağıdaki bölümlerde verilmiştir.

2.1 Ulusal Harita Doğruluk Standartları (NMA-1947)

- 1947 yılında, yükseklik verileri ile ilgili standartlar Ulusal Harita Doğruluk Standartları ile oluşturulmaya başlanmıştır.
- Üzerinde yükseklik eğrisi bulunan herhangi bir ölçeğe sahip haritalar da test edilen noktaların maksimum %10'unun hatası eğri aralık değerinin yarısından fazla olamaz.
- SYM'nin kullanım alanları ve üretim kaynakları arttıkça bu alandaki ihtiyaçlar doğrultusunda standartlar geliştirilmiştir.

2.2 Büyük Ölçekli Haritaların Doğruluk Standartları (ASPRS-1990)

- Düşey harita doğruluğu sadece iyi tanımlanmış noktaların düşey datumun da ki KOH hatası olarak tanımlanır.
- Haritalar Kalitelerine göre 3 sınıfa ayrılmıştır.
KOH hata sınırı içerisinde kalanlar 1. sınıf
Hata değeri KOH limitini 2 kat aşanlar 2. sınıf
Hata değeri KOH limitinin 3 katı ise 3. sınıf
- 1. Sınıf haritalar için yükseklikteki KOH hatası sınırları sadece iyi belirlenmiş noktalar için yükseklik eğrisi aralığının 1/3'ü kadar olacağı belirlenmiştir.

2.3 Ulusal Mekansal Veri Standartları (FGDC-1998)

- Düşey doğruluğun analizi referans veri ve test verisi arasındaki karşılaştırma ile yapılır.
- Testler çalışma bölgesine dağılmış en az 20 kontrol noktası ile yapılmalıdır.
- Yukarıda belirtilen kriterlere göre bu test noktalarından bir den fazlası hatalı olursa %95 güven aralığında ürün hatalı olur.
- Sistemik hataların en iyi şekilde giderildiği varsayılmıştır. Eğer düşey hata normal dağılımlı ise KOH ile doğruluk arasında %95 güven aralığında 1.96 değerinde bir katsayı belirlenmiştir
- Doğruluk $z = 1,96 \times KOH$

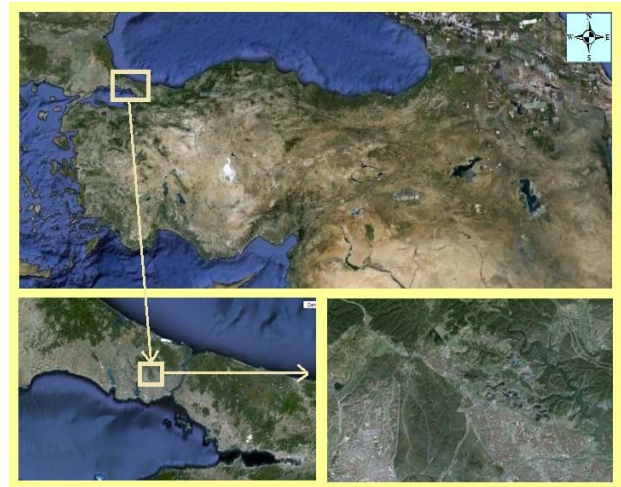
2.4 Uzaktan Algılama ile Harita Üretimi Hakkında Yönetmelik (FEMA-2003)

- Doğruluk değerlendirmesinin arazi sınıflarına göre yapılması gerekliliğini getirmiştir.
- Kalite değerlendirme açısından her bir arazi sınıfının en az 20 YKN ile test edilmesi öngörülmüştür.
- Test noktaları açık ve düzgün eğimli arazilerde 5m de bir seçilmelidir.
- Eğim %20'yi aşmamalıdır.

2.5 Sayısal Yükseklik Verisi Yönergesi (NDEP-2004)

- FEMA'nın kriterleri geliştirilmiştir. LiDAR ve İfSAR ile ilgili bilgiler eklenmiştir.
- Üretilen SYM'nin kalite kontrolünde yüksek doğruluğun elde edilmesi için yüksek doğruluğa sahip bağımsız bir referans veriye ihtiyaç vardır. Referans veri test edilen veriden 3 kat daha doğru ve hassas olmalıdır.
- Her bir arazi sınıfı için en az 20 kontrol noktası gerekmektedir.
- YKN seçiminde ,arazi eğiminin %20 den fazla olmamasına dikkat edilir.
- Kalite değerlendirmede raporlama yöntemi geliştirilmiştir

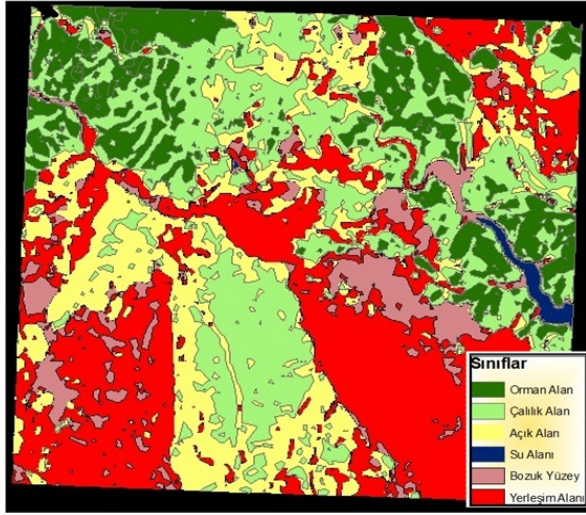
3. ÇALIŞMA ALANI VE YÖNTEM



Şekil 1. Çalışma alanı

Test alanı olarak seçilen tüm İstanbul verisinin analizinde bazı kısıtlamalar olduğu için 10x10 Km² lik tüm arazi sınıflarını içerecek şekilde bir test alanı seçilmiştir. İstanbul ili Avrupa yakasında seçilen bölge, Gaziosmanpaşa, Küçükçekmece, Esenler ve Eyüp ilçe sınırları içerisinde kalmaktadır

Yaklaşık %32 oranında yerleşim alanı mevcuttur. Esenler-Başakşehir ve Gaziosmanpaşa- Uğur Mumcu Mahallesi yerleşim alanını oluşturmaktadır. Çalışma alanının %15'i orman, %26'sı çalılık, %19'u açık alan ve % 8'i de bozuk yüzeyden oluşmaktadır (Şekil 2).



Şekil 2. Test alanı arazi sınıfları

Çalışma bölgesi olarak seçilen İstanbul şehrinin Avrupa yakasında farklı algılama ve ölçme yöntemleri kullanılarak elde edilen verilerden üretilen SYM' ler kullanılmıştır. Bu veriler:

Fotogrametrik yöntemle üretilen,

- 1/1000 ölçekte üretilmiş SYM (2009)
- 1/5000 ölçekte üretilmiş SYM (2008)

Uydu görüntüleri yardımıyla üretilen,

- SPOT SYM
- ASTER SYM

SRTM misyonu ile InSAR tekniği yardımıyla üretilen

- SRTM C-BAND SYM (2000)

den oluşmaktadır.

4. ANALİZLER

Farklı kaynaklardan elde edilen SYM' lerin doğruluk analizi ve kalite değerlendirmesini kapsayan çalışmada verileri test etmeden önce birbiri ile uyumlu olup olmadığına bakılmıştır. Aynı bölgeyi temsil eden SYM' lerin üst üste çakışmaması durumunda yapılacak analiz bir anlam ifade etmemektedir. Bunun için Dr. Karsten Jacobsen tarafından hazırlanan BLUH programının DEMSHIFT modülü kullanılarak SYM' lerin gerekli öteleme yapılmıştır (Tablo 1).

Tablo 1. SYM öteleme değerleri

SYM	Referans SYM	Öteleme	
		X (m)	Y (m)
SYM5000-30	SYM 1000	0.503	17.867
SYM5000-5	SYM 1000	2.95	-5.72
SPOT	SYM1000	-6.17	-4.63
ASTER	SYM1000	19.59	-31.26
SRTM	SYM1000	-0.54	-16.28

Öteleme işlemi sonrası elde edilen SYM' lerin doğruluk analizleri Dr. Karsten Jacobsen tarafından hazırlanan BLUH programının DEMANAL modülü kullanılarak yapılmıştır. Analizde referans veri olarak 1/1000 ölçekli sayısal fotogrametrik hâlihazır haritalardan üretilmiş SYM kullanılmış ve diğer tüm veri kaynaklarından üretilen SYM' ler bu referans veriye göre analiz edilmiştir. NDEP' in yönergesine göre; Üretilen SYM' nin kalite kontrolünde doğru sonuçların elde edilmesi için yüksek doğruluğa sahip bağımsız bir referans veriye ihtiyaç vardır. Referans veri test edilen veriden 3 kat daha doğru ve hassas olmalıdır. Bunun yanı sıra referans veriye ait düşük doğruluğun test edilmesinde her bir arazi sınıfı için en az 20 test noktası gerekliliği NDEP ve FEMA gibi yönergelerde belirlenmiştir. Bu koşullar sağlandığında doğruluk analizi için yapılan analizler %95 güven aralığında raporlanmış ve belirtilen standart ve yönergelere uygunluğu test edilmiş olacaktır.

İlk olarak analizlerde referans veri olarak kullanılan SYM1000 test edilerek referans veri olarak kullanılıp kullanılmayacağına bakılmıştır. Çalışma bölgesi olarak seçilen 10 km² lik alanda SYM1000' in analizi için yeterli miktarda kontrol noktası bulunmamaktadır, bunun için çalışma alanı her bir sınıfa en az 20 YKN düşecek şekilde 20km² lik bir alana genişletilmiştir. Referans veri olarak kullanılan SYM1000' nin doğruluk analizi için 88 adet C1-C2 noktası ve 6 adet C3 nirengi noktası kullanılmıştır. Referans verinin kontrol noktalarına göre enterpole edilmesi için Dr. Karsten Jacobsen tarafından hazırlanan BLUH programının DEMINT modülü kullanılmıştır. DEMINT programının koşturulması sonucu 3 m örnekleme aralığına sahip referans SYM kontrol noktalarına göre enterpole edilmiş ve elde edilen Z değerleri kullanılarak KOH Değerleri hesaplanmıştır. Hesaplanan sonuçlara göre referans verinin KOH değeri 1.45 m olarak bulunmuştur. Genel olarak bulunan sonuçtan sonra daha önce arazi sınıflarına göre seçilmiş yer kontrol noktaları ayrı ayrı değerlendirilmiş ve sonuçlar Tablo 2 'de sunulmuştur.

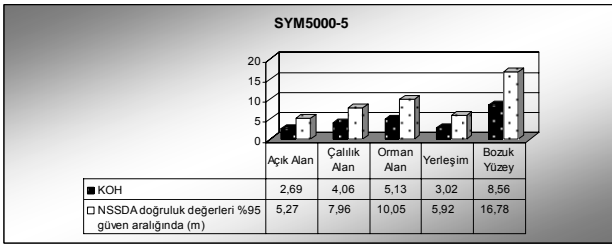
Tablo 2. SYM 1000 doğruluk analizi

SYM	Arazi Sınıfı	Nokta	KOH _Z (m)
SYM1000	Açık Alan	24	0,85
	Çalılık Alan	20	1,35
	Ormanlık Alanı	24	1,94
	Yerleşim Alanı	24	1,42

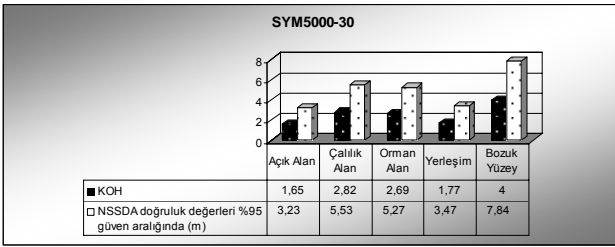
Referans verinin doğruluk değerleri her bir arazi sınıfı için ayrı ayrı ortaya konularak NDEP, FEMA gibi uluslar arası standartlara uygunluğu sağlanmıştır. Elde edilen sonuçlara göre en düşük KOH değeri beklendiği şekilde açık alanlarda elde edilmiştir. Bitki örtüsünün en yoğun olduğu ormanlık alanlarda da en yüksek KOH değeri yani en düşük doğruluk ortaya

çıkıştır. Bu sonuçlar bize göstermektedir ki arazi yüzeyini örten (çalılık, orman), veya meskûn alanların arazi yüzeyini temsildeki düzensiz yapısı SYM hata miktarını artırmaktadır.

Referans veri kontrol noktalarına göre test edilerek sonuçlar bulunduktan sonra, test verisi olarak seçilen farklı kaynaklardan elde edilen SYM'lerin doğruluk analizlerine geçilmiştir. Analizlerde Dr. Karsten Jacobsen tarafından hazırlanan BLUH programının DEMANAL modülü kullanılmıştır. İlk olarak fotogrametrik yöntemle üretilen 5 m çözünürlüğe sahip örneklenmiş SYM5000-5 ile 30 m çözünürlüğe sahip SYM5000-30 analiz edilmiştir. Analizlerde kullanılan DEMANAL programına referans SYM ve test edilen SYM'ler tanıtılmış ve LANDSAT uydusu yardımıyla sınıflandırılmış alanlar kullanılarak ayrı ayrı yapılmış ve KOH değerleri sunulmuştur. (Şeki3, Şekil 4)



Şekil 3. SYM5000-5 arazi sınıflarına göre analizi

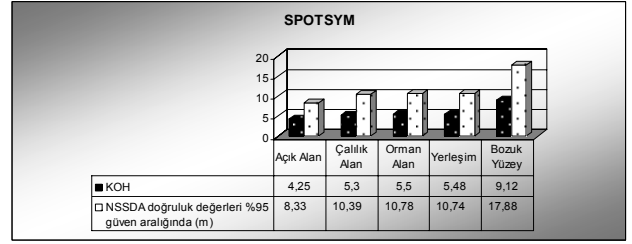


Şekil 4. SYM5000-30 sınıflarına göre analizi

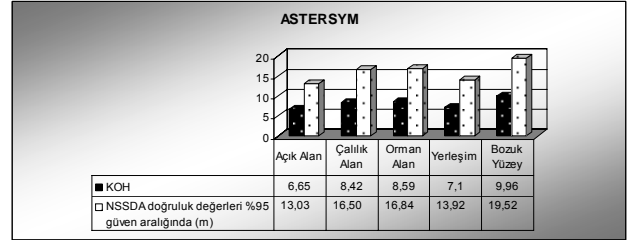
Farklı sınıflar için yapılan analiz sonuçlarına bakıldığında, 5 m'ye örneklenmiş SYM5000-5'in her bir sınıftaki KOH değerinin SYM5000-30'a göre daha yüksek olduğu görülmektedir. KOH değerinin yüksek olmasının nedeni, 1/5000 ölçekli harita üretim kalitesine göre nokta sayısı ve dağılımı içeren bir veri kümesi kullanılarak olması gereken çözünürlükten daha yüksek bir çözünürlüğe enterpole edilerek üretilmesi gösterilebilir. Bu yüzden piksel başına düşen yükseklik bilgisinin yanlış atanması ve KOH değerinin SYM5000-30 göre daha yüksek olması ile açıklanabilir.

Bozuk yüzeydeki KOH değerine baktığımızda da yüksekliğin ani değişmesi ve topoğrafyanın bozuk olması hatayı artırmakta ve doğruluğu azalmakta olduğu görülmektedir. Yerleşim, ormanlık ve çalılık alanlarda SYM'lerin açık alanlara göre doğruluğu düşüktür. Buradaki etken yüzeyi içeren yükseklik noktaları bu sınıflardaki SYM bölgelerinin araziye açık alanlardaki gibi yansıtılamamasıdır.

Stereo Uydü görüntüleri yardımıyla üretilen SYM'lerden Çalışma bölgesinde seçilen SPOT SYM ve ASTER SYM de aynı şekilde referans veri olarak kullanılan SYM1000 ile analiz edilmiştir (Şekil 5, Şekil 6).



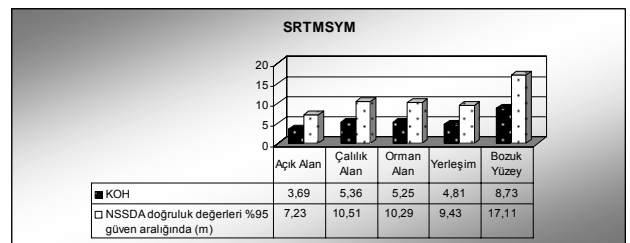
Şekil 5. SPOTSYM sınıflara göre analizi



Şekil 6. ASTERSYM sınıflara göre analizi

20 m'lik çözünürlüğe sahip SPOT SYM'nin doğruluk analizinde beklendiği üzere açık alanlarda ki hata miktarının en düşük olduğu görülmektedir. Doğruluğun analizinde ki sonuçlara bakılarak fotogrametrik yöntemlerle üretilen SYM'lerde ki gibi en düşük doğruluğa bozuk yüzey ve sırasıyla yerleşim, çalılık, ormanlık alanların sahip olduğu söylenebilir. Ayrıca fotogrametrik haritalardan üretilen SYM'lerin, uydü görüntüleri yardımıyla üretilen SYM'lere oranla daha doğru olduğu ve arazi yüzeyini daha iyi yansıttığı söylenebilir.

Stereo ASTER uydü görüntüleri yardımıyla üretilen 80 m çözünürlüğe sahip SYM'nin analiz sonuçlarına bakıldığında; yükseklik değerleri arasındaki KOH' en düşük açık alanlarda olduğu ve sınıflara göre hata dağılımının diğer test edilen SYM'lerde ki gibi olduğu görülmektedir. Hesaplanan KOH' değerleri nin açık alanlarda bile yüksek olması, test edilen SYM'nin konumsal çözünürlüğün etkisi olarak ortaya çıkmaktadır. 80 m çözünürlüğe sahip ASTER SYM'de 80*80 m'lik alan için tek yükseklik değeri mevcuttur. Bu da araziyi temsilinde düşük doğruluğun ortaya çıkmasına sebep olmaktadır. Son olarak çalışma bölgesine ait InSAR algılama sistemine sahip SRTM misyonu (C-Band) ile üretilen SRTM90 SYM analiz edilmiştir (Şekil 7).



Şekil 7. SRTMSYM sınıflara göre analizi

Çalışma bölgesinde ortalama eğim fazla olmadığı için doğruluk analizinde önemli bir etkisi olmamaktadır. Bu yüzden eğim değerleri hesaplamaya katılmamıştır. Buna göre SYM'lerin NSSDA'de belirtilen KOH ile doğruluk arasındaki ilişki

“Doğrulukz = KOH x 1,96” bağıntısı kullanılarak %95 güven aralığında doğruluk değerleri hesaplanmıştır.

Test edilen SYM’ lerin doğruluk değerlerine incelendiğinde; 90m yer örnekleme aralığına sahip InSAR ile üretilen SRTM90 SYM’ nin, uydu teknikleri ile üretilmiş 80m yer örnekleme aralıklı ASTER SYM’ ye göre daha doğru olduğu gözlemlenmiştir. Bunun sebebi SRTM uydusundan elde edilen verilerin doğruluk değerinin artırılması için farklı yörüngeden elde edilen SYM ler kullanılarak doğruluğun iyileştirilmesidir.

Çalışma bölgesine ait farklı veri kaynaklarından elde edilen SYM’ lerin referans veriye göre KOH ve doğruluk değerleri bulunarak analiz sonuçlandırılmıştır. SYM’ nin kalite değerlendirmesindeki en önemli nokta KOH ve doğruluk değerlerinin bulunmasıdır. Buna ek olarak doğruluğun raporlanması da kalite değerlendirmenin tamamlayıcı unsurudur. Doğruluğun raporlanması NSSDA’ e göre iki şekilde gerçekleştirilebilir. Bunlardan ilki temel düşey doğruluktur. Burada test için en az 20 adet YKN varsa “ test edildi” , eğer bu durum sağlanmıyorsa da “karşılık için derlenmiş” ibaresi kullanılır.NSSDA’ e göre SYM5000–30 için temel düşey doğruluğunun raporlanması; “test edildi 4,84 (metre) açık alanlardaki temel düşey doğruluk %95 güven aralığında” şeklindedir.

NSSDA’ e göre ikinci raporlama yöntemi de tamamlayıcı düşey doğruluktur. Tamamlayıcı düşey doğruluğun raporlanmasında her bir sınıf için en az 20 adet YKN gereklidir. Analizler kullanılan referans ve test SYM’ lerin raster formda olmasından dolayı YKN ile değil birbirlerine karşılık gelen piksel ait yükseklik değerlerinin karşılaştırılması ile yapılmıştır. Bu yüzden karşılaştırılan değerlerin sayısı fazlasıyla sağlandığı için “Test edildi ” ibaresi kullanılmıştır.

5. SONUÇLAR

Yapılan analizler sonucunda 1/1000 ölçekli sayısal fotogrametrik haritalardan üretilmiş SYM’ nin doğruluk değeri 1.45 m olarak bulunmuştur. Kendisinden daha düşük çözünürlüğe sahip SYM5000–30, SYM5000–5, SPOTSYM, ASTERSYM ve SRTMSYM’ lere göre 3 kat daha doğru olduğu gözlenmiş ve analizlerde referans veri olarak kullanılabilceği doğrulanmıştır. Referans SYM’ nin analiz sonuçlarına göre, açık alanları içeren bölümü 0.85 m KOH değeriyle en iyi sonucu vermektedir. Bunun nedeni, operatör tarafından arazi yüzeyindeki detayların hassas bir şekilde sayısallaştırılabilmesidir. KOH değerleri 1,35 m olan çalılık alan, 1,42 m olan yerleşim alanı ve 1,94 m orman alanı da doğruluklarına göre sıralanmaktadır. Ormanlık ve çalılık alanlardaki hatanın yüksek olmasının sebebi olarak, arazi yüzeyinde yükseklik detaylarının tam olarak belirlenememesi ve operatör tarafından düşük hassasiyette sayısallaştırılması gösterilebilir.

Farklı veri kaynaklarından elde edilmiş SYM’ lerin analizlerinde; fotogrametrik yöntemle üretilen SYM5000–30’ doğruluğu 4.84 m olarak bulunmuş ve doğruluk değerleri 8.23 m olan SYM5000–5, 11.25 m olan SPOTSYM, 15.84 m olan ASTERSYM ile 10.37 m olarak bulunan SRTM90SYM’ ye göre doğruluğunun daha yüksek olduğu görülmüştür. Aynı kaynak ile üretilen, örneklenmiş SYM5000-5 ile SYM5000-30 ayrıca test edilmiş ve sonuçları irdelenmiştir. Farklı sınıflar için yapılan analiz sonuçlarına bakıldığında, 5 m’ ye örneklenmiş SYM5000–5’ in her bir sınıftaki KOH değerinin SYM5000–30’ a göre daha yüksek olduğu görülmektedir. KOH değerinin

yüksek olmasının nedeni, 1/5000 ölçekli harita üretim kalitesine göre nokta sayısı ve dağılımı içeren bir veri kümesi kullanılarak olması gereken çözünürlükten daha büyük bir çözünürlüğe enterpole edilerek üretilmesidir. Bu sonuçlara göre SYM’ nin doğruluğunu etkileyen en önemli faktörlerin; veri elde etme kaynağı ve SYM’ nin çözünürlüğü olduğu bir kez daha vurgulanmıştır.

Analizlerde farklı sınıflar kullanılmış ve her sınıf için farklı doğruluk değerleri bulunmuştur. Tüm analiz sonuçlarına bakıldığında açık alanlarda KOH değerlerinin en az hatayı içerdiği ve doğruluğun bu bölgelerde diğer sınıflara göre daha yüksek olduğu görülmüştür. Bu sonuç açık alanları içeren SYM’ nin, yüzeyi en iyi şekilde yansıttığı tezini desteklemektedir. Ormanlık, çalılık ve yerleşim alanlarındaki doğruluğun düşük olması; bu alanlarda üretilen SYM’ lerde, arazi örtüsünün, yüksekliğin belirlenmesini zorlaştırması ve yüzeyi içeren nokta sayısının az olması nedeniyle açıklanabilir. Çalışma alanı içerisinde en düşük doğruluk değerine sahip sınıf bozuk yüzeyi içeren sınıftır. Bozuk yüzeylerdeki SYM’ nin doğruluğu tüm farklı veri elde etme yöntemleri göz önünde bulundurulduğunda, açık alanlardaki doğruluk değerlerine göre 2.5-3 kat daha düşüktür.

Bu sonuçlardan yola çıkarak, kullanıcının beklediği doğruluğa göre SYM üretim kaynağı seçmesi ve test alanındaki arazi sınıflarında farklı sonuçları göz önünde bulundurması gerekliliği saptanmıştır. Sayısal yükseklik modelinin kalite değerlendirmesinde kullanılan standartlar ülkemizde Büyük Ölçekli Harita ve Harita Üretim Yönetmeliğinde sınırlı bir şekilde yer almakla birlikte kapsamlı bir üretim standardı bulunmamaktadır. Bu nedenle kullanım alanı gitgide genişleyen SYM’ ler için kapsamlı bir üretim ve kalite değerlendirme standardı oluşturulması ihtiyacı hissedilmektedir.

Teşekkür

Çalışma alanına ilişkin verileri sağlayan İstanbul Büyükşehir Belediyesi Coğrafi Bilgi Sistemleri Müdürlüğü ve Boğaziçi İnşaat Müşavirlik A.Ş.’ ye teşekkürlerimizi sunarız.

Referanslar

Accuracy Standards For Large Scale Map, (1990), The American Society for Photogrammetry and Remote Sensing, U.S.A.

Alp, O. (1998),” Sayısal Arazi Modeli Üzerine Bir İnceleme”, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Doktora Tezi, İstanbul.

ASPRS, American Society for Photogrammetry and Remote Sensing, (2004), “Manuel of Photogrammetry”, USA.

Bolstad, P.V. ve Stowe T., 1994, “An Evaluation of DEM Accuracy: Elevation, Slope and Aspect”, Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, 60(11), s.1327-1332.

David F. Maune (editör), (2001),” Digital Elevation Model Technologies and Applications: The Dem Users Manual” American Society for Photogrammetry and Remote Sensing

Erdoğan, M.. (2007), “Veri Türü, Kalitesi ve Üretim Yöntemine Göre Sayısal Yükseklik Modeli (SYM) Standartlarının Belirlenmesi”, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Doktora Tezi, İstanbul.

Guidelines for Digital Elevation Data (2004), National Digital Elevation Program, U.S.A.

Guidance for Aerial Mapping and Surveying, (2003), Guidance for Flood Hazard Mapping Partners, U.S.A.

İşcan, L., (2005), “İkonos Uydu Görüntüleri İle Ortofoto Yapımının Araştırılması”, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, İstanbul.

Kaczynski, R., Majde, A., Ewiak, I., (2004). “Accuracy of DTM and Ortho Generated from Ikonos Stereo Images”, ISPRS-2004 Congress, İstanbul.

Li Z., (1994), “A Comparative Study of The Accuracy of Digital Terrain Models (DTMs) Based On Various Data Models”, ISPRS Journal Of Photogrammetry And Remote Sensing, 49(1), s.2-11.

National Map Accuracy Standards,(1947) U.S. Bureau Of The Budget, U.S.A

National Standards for Spatial Data Accuracy, (1998), U.S. Federal Geographic Data Commite, U.S.A

Öztürk, E.. (2006) “ Farklı Kaynaklardan Değişik Yöntem ve Ölçeklerde Üretilen Sayısal Yükseklik Modellerinin Doğruluk Araştırması”, Zonguldak Karaelmas Üniversitesi Jeodezi ve Fotogrametri Müh. Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi

Sefercik U.,(2010), “Terresar-X İnSAR Görüntülerinden Sayısal Yükseklik Modellerinin Üretilmesi ve Değerlendirilmesi”, Zonguldak Karaelmas Üniversitesi Jeodezi ve Fotogrametri Müh. Anabilim Dalı DoktoraTezi, Zonguldak

Şanlı, F.. (2006), “Stereoskopik Radarsat F1-F5 Görüntülerinden Üretilen Sayısal Arazi Modellerinin Değerlendirilmesi”, HKM Jeodezi Jeoinformasyon ve Arazi Yönetimi Dergisi, 2006/1 94.sayı

Türk Dil Kurumu Büyük Türkçe Sözlüğü, 2007

Yalanak M., (2002), “Sayısal Arazi Modellerinde Yükseklik Enterpolasyonu” Harita Dergisi, Sayı:128

Yastıklı N., Jacobsen K., (2003), “Automatic Digital Elevation Model Generation, Problems and Restrictions in Urban Areas”, YTÜ dergisi, sayı:2003-2, sayfa:38-46

Yastıklı, N.. (2009) “Sayısal Arazi Modeli Ders Notları”, Yıldız Teknik Üniversitesi, Harita Mühendisliği Bölümü, İstanbul

Yılmaz, M., Yakar, M.. (2006) “LiDAR Tarama Sistemi”, Aksaray Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi,