

# SAYISAL YÜKSEKLİK MODELLERİNDE KALİTE DEĞERLENDİRME VE DOĞRULUK ANALİZİ

Naci Yastıklı<sup>1</sup>, Fatih Esirtgen<sup>2</sup>

<sup>1</sup>YTÜ, Yıldız Teknik Üniversitesi, Harita Müh.Bölümü, Esenler, İstanbul, ynaci@yildiz.edu.tr  
<sup>2</sup>Mescioğlu Mühendislik ve Müşavirlik A.Ş. , Ankara, YTÜ FBE, fesirtgen@mescioglu.com.tr

## ÖZET

*Sayısal Yükseklik Modeli (SYM), doğal kaynakların yönetimi, yer bilimleri, askeri uygulamalar, mühendislik projeleri, kent yönetimi, üç boyutlu görselleştirme gibi birçok uygulama alanında başarı ile kullanılmaktadır. Günümüzde farklı veri toplama yöntemleri ile üretilen Sayısal Yükseklik Modeli kentsel planlama ve kente ait problemlerin çözümünde kilit rol oynayan Coğrafi Bilgi Sistemlerinin vazgeçilmez bir veri kaynağı haline gelmiştir. Üretilen Sayısal Yükseklik Modelinin doğruluğu ve kalitesi de farklı uygulamalar için hayati derecede önemlidir. Bu nedenle üretilen Sayısal Yükseklik Modellerinin doğruluklarının ve kalitelerinin araştırılması güncel bir çalışma alanı olarak önemini korumaktadır. Ülkemizde SYM üretiminde, uluslar arası 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 Sayısal Fotogrametri, Uzaktan Algılama yöntemi kullanılarak toplanan verilerle üretilen SYM'lerin doğruluk analizi ve kalite değerlendirmesi gerçekleştirilmiştir. 10x10 km' lik bir alanı kapsayan çalışma alanı, açık alan, orman, yerleşim, çalılık ve bozuk yüzey olmak üzere 5 arazi sınıfını içeren bir bölgeyi kapsamaktadır. 1/1000 ölçekli sayısal fotogrametrik haritalardan üretilen 3 m örneklenmiş SYM referans veri olarak kullanılmış ve 94 adet YKN ile test edilmiştir. 1/5000 ölçekli sayısal fotogrametrik haritalardan üretilen 5m ve 30m olmak üzere 2 farklı çözünürlüğe sahip SYM, 20 m çözünürlüklü SPOT ve 80 m çözünürlüklü ASTER uydu görüntüleriyle üretilmiş SYM test verisi olarak kullanılmıştır. Ayrıca SRTM uydusundan InSAR algılama tekniğiyle üretilen 90 m çözünürlüğe sahip SYM 'de test verisi olarak kullanılmış ve tüm SYM'lerin dikey doğrulukları analiz edilmiş ve çıkan sonuçlara göre kaliteleri değerlendirilmiştir. Çalışma bölgesi arazi yapısına göre sınıflara ayrılmış ve her bir sınıf için ayrı ayrı doğruluk analizi yapılmıştır. Yapılan analizler sonucunda test edilen SYM'lerin KOHZ değerleri bulunmuş, uluslararası standartlar göz önünde bulundurularak doğruluk analizi yapılmıştır. Elde edilen sonuçlarda beklendiği üzere, fotogrametrik yöntemle üretilmiş SYM'lerin SPOT, ASTER, SRTM uydu görüntüleri ile elde edilen SYM'lere göre daha doğru olduğu belirlenmiştir. Aynı zamanda fotogrametrik yöntemle üretilmiş 1/5000 ölçekli sayısal haritalardan üretilmiş 5m ve 30 m ye örneklenmiş SYM'lerin sonuçları karşılaştırılmış ve 30m ye örneklenmiş SYM'nin daha iyi sonuçlar verdiği görülmüştür. Aynı kaynaktan benzer veri türleri ile üretilen SYM'lerde enterpole edilerek çözünürlük değeri artırılan SYM'lerin iyi sonuçlar vermediği belirlenmiştir. Her bir arazi sınıfı için bulunan KOHZ değerleri karşılaştırılmış ve farklı kaynaklardan üretilen tüm SYM'lerde beklendiği üzere açık alanları içeren bölgeler, diğer orman, çalılık, yerleşim ve bozuk yüzeylere göre daha iyi sonuç verdiği belirlenmiştir. Yapılan çalışma ile SYM üretiminde veri kaynağı seçimi, çözünürlük, üretim yöntemi ve sonuç ürünün kalitesinin ve üretim standartlarının önemi ortaya konulmuştur. Özellikle çalışma alanındaki arazi sınıflarında hesaplanan KOHZ değerleri, SYM'nin doğruluğunun belirlenmesinde arazi sınıfının göz ardı edilemeyecek bir etken olduğunu bir kez daha vurgulamıştır.*

Anahtar Sözcükler: SYM, Doğruluk analizi, Sayısal Fotogrametri, SPOT, SRTM, InSAR, ASTER

## ABSTRACT

### QUALITY ASSESSMENT AND ACCURACY ANALYSIS OF DIGITAL ELEVATION MODELS

*Digital elevation model is successfully used in many applications such as natural resource management, earth science, military applications, engineering projects, urban management, 3D visualization. Today, DEM produced by different methods has become an indispensable source of data for city's urban planning and geographic information systems. DEMs accuracy and quality are important for different applications. Therefore accuracy assessment and quality evaluation of DEMs 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 km<sup>2</sup>. 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.*

*As a result of the analysis, the RMSEz values of tested DEM's were found and their accuracies were determined based on International Standards. . In obtained results, DEM's produced from photogrammetric methods were more accurate than DEM's produced from SPOT, ASTER and SRTM satellites images as expected. Also, the data produced from 30 m. sampled DEM's from 1/5000 scaled photogrammetric maps were more accurate than 5 m. sampled DEM's. By increasing the resolution with*

*interpolation of the DEM' s from the same source with similar data types, the new DEM' s results were not appeared to be good. RMSEz values were compared for each land class of DEM' s produced from different sources. The flat terrain seemed to have better results than the other classes like forest, scrub, built-up and rough terrain. According to the obtained results, for the desired accuracy, the importance of standards on data source selection and production method was illustrated. Especially, RMSEZ values in the field of land classes showed us that land class is a factor which cannot be ignored in determination of the accuracy of DEM.*

Keywords: DEM, Accuracy analysis, Digital Photogrammetry, SPOT, SRTM, InSAR, ASTER

## 1. GİRİŞ

Sayısal Yükseklik Modeli (SYM) kavramı 1950'li yıllarda ortaya atılmıştır. İlk uygulamalarda veri toplama yöntemi olarak çoğunlukla yersel yöntemler ve fotogrametri kullanılırken günümüzde uydu görüntüleri (İscan, 2005, Kaczynski vd., 2004), Radio Detection and Ranging (RADAR) (Şanlı, 2006, Sefercik, 2010) ve Light Detection and Ranging (LiDAR) (Yastıklı vd., 2007) teknolojileri ile SYM üretimi yaygın bir şekilde gerçekleştirilmektedir.

Farklı veri toplama yöntemleri ile üretilmesi ve farklı formlarda sunulması, SYM' lerin geniş bir uygulama alanına sahip olmasını sağlamış, dahası bu konudaki araştırmalar hala güncelliğini korumaktadır (Maune, 2007, McGlone, 2004, Yastıklı ve Jacobsen 2003, Yastıklı, 2009). SYM' lerin farklı veri toplama yöntemleri kullanılarak üretilmesi standart bir uygulama haline gelmekle birlikte üretilen verilerin doğruluğunun analizi ve kalite değerlendirmesi ülkemizde hala güncel bir araştırma konusudur (Erdoğan, 2007, Esirtgen 2011, Li, 1994, Bolstad vd., 1994). Büyük Ölçekli Harita ve Harita Üretim Yönetmeliği ile sınırlı bir şekilde yer alan SYM kalite değerlendirmesinde ilişkin kapsamlı bir üretim standardı bulunmamaktadır. Amerika Birleşik Devletlerinde NSSDA, FEMA, NDEP idareleri tarafından bu konuda en kapsamlı çalışmalar yapılmış ve üretilen ürünler bu standart ve yönergeler (ASFLSM, 1990, GFDED, 2004, GFAMAS, 2003, NMAS, 1947, NSFSDA, 1998) esas alınarak değerlendirilmektedir.

Bu çalışmada, farklı veri toplama yöntemleri ile üretilen SYM'nin doğruluk analizi ve kalite değerlendirilmesi amaçlanmıştır. Kalite değerlendirme için kullanılan mevcut uluslararası standartlar ve yönergeler araştırılmıştır. 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 uygulama bölümünde yapılmıştır. LANDSAT uydu görüntüleri ile oluşturulan ormanlık alan, yerleşim alanı, açık alan, çalılık ve bozuk yüzey gibi arazi sınıfları kullanılarak değerlendirmeler her bir sınıf için ayrı ayrı yapılmıştır.

## 2. STANDARTLAR

Bu bölümde, SYM lerin kalite değerlendirme ve doğruluk analizlerine ilişkin uluslararası standartlar incelenmiş ve yapılan analizlerin kalitesi ve sonuçlarının değerlendirilmesi amacıyla kullanılmıştır. Yapılan incelemele sonucunda ağırlıklı olarak Amerika Birleşik Devletlerinde kullanılan bu standartlara ilişkin önemli detaylar takibeden bölümlerde verilmiştir. Bu standartlara ilişkin detaylı açıklamalar Esirtgen, 2011' de verilmiştir.

### 2.1 Ulusal Harita Doğruluk Standartları (NMAS-1947)

- Üzerinde yükseklik eğrisi bulunan herhangi bir ölçüğe sahip haritalar da test edilen noktaların maksimum %10 unun hatası eğri aralık değerinin yarısından fazla olamaz.
- SYMnin 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 kata kadar aşanlar 2. sınıf
  - Hata değeri KOH değerini 3 kata kadar aşmış ise 3. sınıf olarak nitelendirilir.
- 1. Sınıf haritalar için yükseklikteki KOH hatası sınırları sadece iyi belirlenmiş noktalar için yükseklik eğrisi aralığının 1/3'ü kadar olacağı belirtilmiştir.

### 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.
- Sistematik 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

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

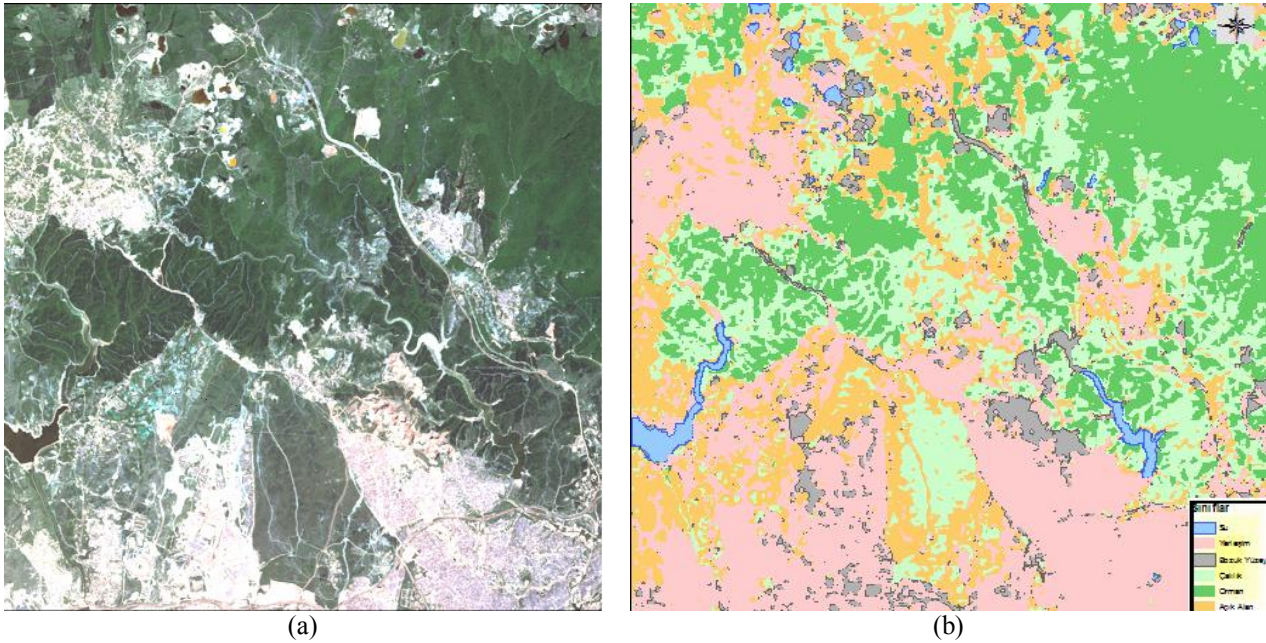
- Doğruluk değerlendirmesinin arazi sınıflarına göre yapılması gerekliliğini getirmiştir.
- Kalite değerlendirme açısından her bir arazi sınıfının en az 20 YKN ile test edilmesi öngörülmüştür.
- Test noktaları açık ve düzgün eğimli arazilerde 5m de bir seçilmelidir.
- Eğim %20'yi aşmamalıdır.

#### 2.5 Sayısal Yükseklik Verisi Yönergesi (NDEP-2004)

- FEMA' nın kriterleri geliştirilmiştir. LiDAR ve IfSAR 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

İstanbul Avrupa yakasında Gaziosmanpaşa, Küçükçekmece, Esenler ve Eyüp ilçe sınırları içeren 10x10 km<sup>2</sup> lik bir alanı kaplayan alan test alanı olarak seçilmiştir. Bu alanın seçilmesindeki temel düşünce tüm arazi sınıflarını içeren bir bölge olmasıdır. Çalışma bölgesinde yaklaşık %32 oranında yerleşim alanı mevcuttur ve Esenler-Başakşehir ve Gaziosmanpaşa- Uğur Mumcu Mahallesini kapsamaktadır. Çalışma alanının %15'i orman, %26'sı çalılık, %19'u açık alan ve % 8'i de bozuk yüzeyden oluşmaktadır. Çalışma bölgesi ve arazi sınıflarına ilişkin tematik harita Şekil 1' de görülebilir.



Şekil 1: Çalışma bölgesi (a) ve arazi sınıflarına ilişkin tematik harita (b)

Çalışma bölgesine ilişkin doğruluk analizi ve kalite değerlendirilmesinde kullanılan veriler aşağıda sıralanmıştır.

Fotogrametrik yöntemle üretilen,

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

Stereo uydu görüntüsü ile üretilen,

- SPOT SYM

- ASTER SYM

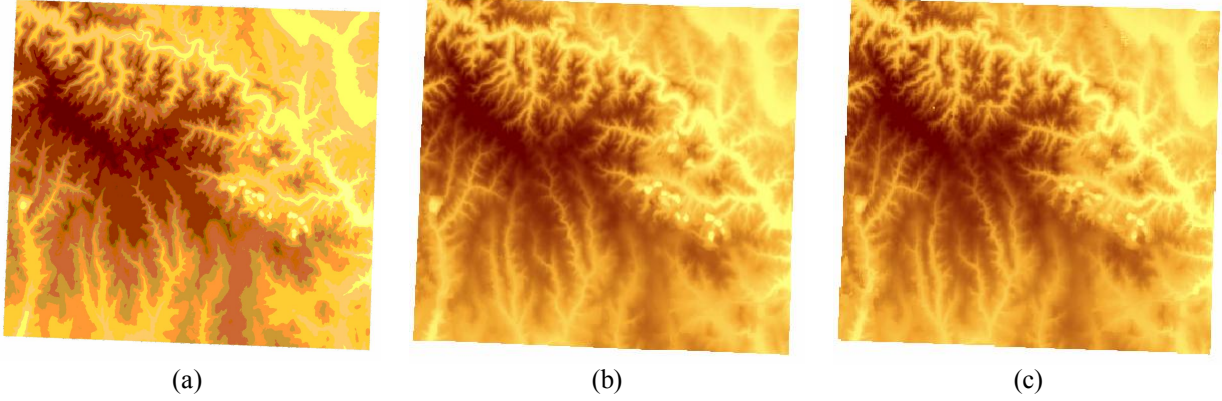
InSAR tekniği ile üretilen

- SRTM C-BAND SYM (2000)

Jeodezik yöntemle,

- C1 / C2 / C3 derece GPS ağı noktaları ve

Landsat uydu görüntüsü yardımıyla yapılan sınıflandırma sonucu oluşturulan arazi sınıflarını içeren veri seti bu çalışmada kullanılmıştır.



Şekil 2: SYM veri seti SYM1000 (a), SYM5000-30 (b), SYM5000-5 (c)

### 3. ANALİZLER

SYM'lerin doğruluk analizi ve kalite değerlendirmesini kapsayan çalışmada verileri test etmeden önce birbiri ile uyumlu olup olmadığı denetlenmiştir. Bu amaçla Dr. Karsten Jacobsen tarafından hazırlanan BLUH programının DEMSHIFT modülü kullanılmış ve SYM'lerin gerekli öteleme yapılmıştır (Tablo1).

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

SYM'lerin doğruluk analizleri için, Dr. Karsten Jacobsen tarafından hazırlanan BLUH programının DEMANAL modülü kullanılmıştır. Analizde referans veri olarak 1/1000 ölçekli sayısal fotogrametrik 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 yüksek doğruluğa sahip bağımsız bir referans veriye ihtiyaç vardır ve referans veri test edilen veriden 3 kat daha doğru ve hassas olmalıdır. Referans veriye ait düşey 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 raporlanacak ve belirtilen standart ve yönergelere uygunluğu test edilmiş olacaktır.

Çalışma bölgesi olarak seçilen 10 km<sup>2</sup>' lik alanda SYM1000' in analizi için yeterli miktarda kontrol noktası bulunmaması nedeniyle çalışma alanı her bir arazi sınıfında en az 20 YKN düşecek şekilde 20km<sup>2</sup>' 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 doğruluk analiz için, kontrol noktalarının yükseklikleri SYM1000 yardımıyla Dr. Karsten Jacobsen tarafından hazırlanan BLUH programının DEMINT modülü kullanılarak enterpole edilmiştir. Kontrol noktalarının gerçek Z değerleri enterpole edilen Z değerleri ile karşılaştırılarak Karesel Ortalama Hata (KOH) değerleri hesaplanmıştır. Referans verinin (SYM1000) KOH değeri 1.45 m olarak bulunmuştur. Daha sonra her bir arazi sınıfı için yer kontrol noktaları kullanılarak ayrı ayrı değerlendirmeler yapılmış ve sonuçlar Tablo 2' de verilmiştir.

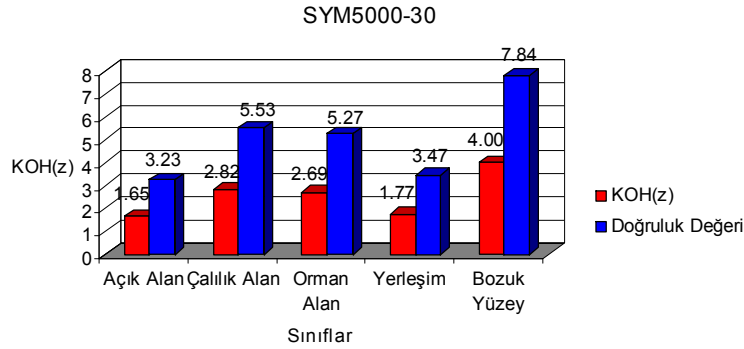


Tablo 2. SYM 1000 doğruluk analizi

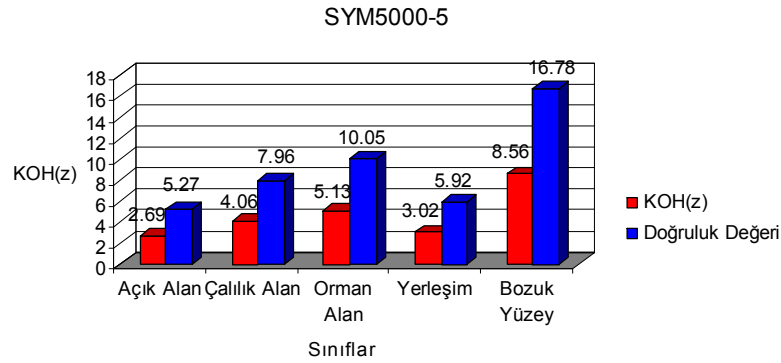
SYM	Arazi Sınıfı	Nokta Sayısı	KOH <sub>Z</sub> (m)
SYM1000	Açık Alan	24	0.85
	Çalılık Alan	20	1.35
	Ormanlık Alanı	24	1.94
	Yerleşim Alanı	24	1.42

Beklendiği üzere en yüksek doğruluk açık alanlarda elde edilmiştir. Bitki örtüsünün en yoğun olduğu ormanlık alanlarda elde edilen doğruluk en düşüktür. Elde edilen sonuçlar, arazi yüzeyindeki çalılık, ormanlık gibi örtüler veya meskûn alanlardaki binalar ve diğer insan yapısı objeler nedeniyle arazi yüzeyinin temsilindeki sınırlamaların SYM'nin KOH değerini artırdığını göstermiştir.

Test verisi olarak seçilen farklı kaynaklardan elde edilen SYM'lerin doğruluk analizleri için 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 tanımlanmış ve LANDSAT uydusu yardımıyla sınıflandırılmış alanlar kullanılarak ayrı ayrı yapılmış ve KOH değerleri bulunmuştur. Yapılan analizlere ilişkin hesaplanan KOH(Z) değerleri ve doğruluk değerleri Şekil 3 ve Şekil 4'de verilmiştir.



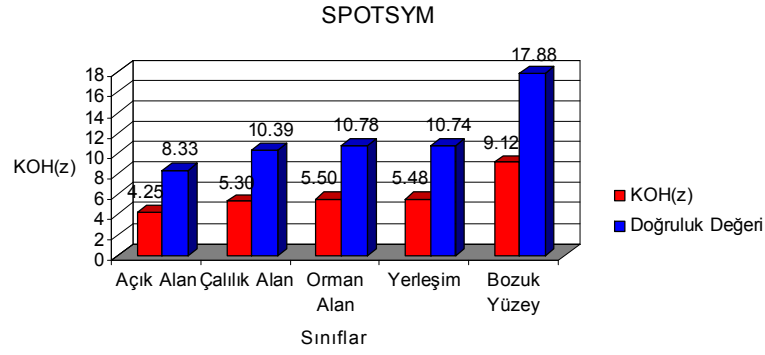
Şekil 3: SYM5000-30 sınıflara göre analizi



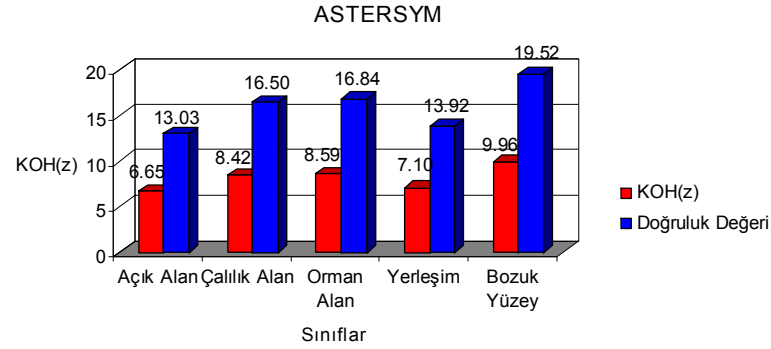
Şekil 4: SYM5000-5 sınıflara göre analizi

Analiz sonuçlarına bakıldığında, 5 m'ye örneklenmiş SYM5000-5'in her bir sınıftaki KOH değerinin SYM5000-30'a göre daha yüksek olduğu görülmektedir. Bunun 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 üretilmesidir. Bozuk yüzeydeki KOH değerine baktığımızda da yüksekliğin ani değişmesi ve topoğrafyanın bozuk olması hatayı artırmaktadır. 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 yansıtamamasıdır.

Stereo uydu görüntüsü ile üretilen SPOT SYM ve ASTER SYM aynı şekilde referans veri olarak kullanılan SYM1000'e göre analiz edilmiştir. Yapılan analizlere ilişkin hesaplanan KOH(Z) değerleri ve doğruluk değerleri Şekil 5 ve Şekil 6'da verilmiştir.

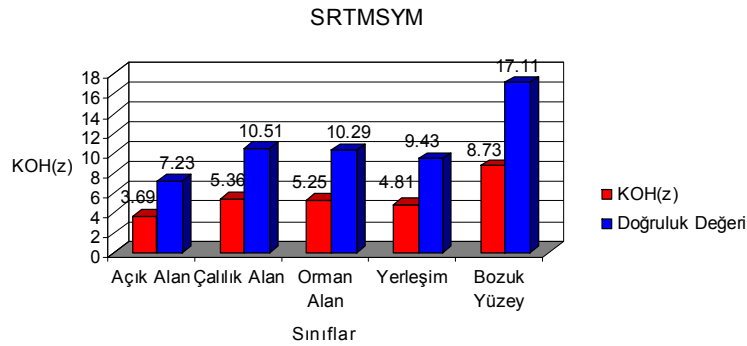


Şekil 5: SPOTSYM sınıflara göre analizi



Şekil 6: ASTERSYM sınıflara göre analizi

20 m' lik çözünürlüğe sahip SPOT SYM'nin doğruluk analizinde beklendiği üzere açık alanlardaki doğruluğun en yüksek olduğu görülmektedir. Doğruluk analizindeki sonuçlara bakılarak en düşük doğruluğa fotogrametrik yöntemlerle üretilen SYM' indeki gibi bozuk yüzeyin sahip olduğu ve sırasıyla yerleşim, çalılık, ormanlık alanların bu sıralamayı takip ettiği görülmektedir. Ayrıca fotogrametrik haritalardan üretilen SYM' lerin, stereo uydu görüntüleri yardımıyla üretilen SYM' lere oranla daha doğru olduğu ve arazi yüzeyini daha iyi yansıtmaktadır. Stereo ASTER uydu görüntüleri yardımıyla üretilen 80 m çözünürlüğe sahip SYM' nin analiz sonuçlarına bakıldığında, en yüksek doğruluğun açık alanlarda elde edildiği ve sınıflara göre hata dağılımının diğer test edilen SYM' lerde ki gibi olduğu görülmektedir. Açık alanlarda hesaplanan yüksek KOH' değerleri test edilen SYM 'nin konumsal çözünürlüğün etkisini olarak ortaya koymaktadır. Son olarak çalışma bölgesine ait InSAR algılama sistemine sahip SRTM misyonu (C-Band) ile üretilen SRTM90 SYM analiz edilmiştir. Yapılan analizlere ilişkin hesaplanan KOH(Z) değerleri ve doğruluk değerleri Şekil 7'de verilmiştir.



Şekil 7: SRTM SYM sınıflara göre analizi

Elde edilen sonuçlar analiz edildiğinde, Interferometrik RADAR teknikleri 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 farklı yörüngelerden elde edilen veriler kullanılarak iyileştirilmiş olması ile açıklanabilir. Çalışma bölgesinde ortalama eğim fazla olmadığı için doğruluk analizinde eğimin çok açık bir etkisi görülmemiştir. SYM' lerin doğruluğu ile KOH arasındaki ilişkisi NSSDA' de belirtildiği üzere "Doğruluk(Z) = KOH(Z) x 1.96" bağıntısı kullanılarak %95 güven aralığında tanımlanmıştır. Buradaki 1.96 sabit değeri, istatistik de %95 güven aralığında çift yönlü test kritik değeridir.

Farklı veri kaynaklarından elde edilen çalışma bölgesine ait SYM'lerin referans veriye göre KOH ve doğruluk değerleri her bir arazi sınıfı için ayrı ayrı yapılmıştır. SYM'nin kalite değerlendirmesindeki en önemli unsur KOH ve doğruluk değerlerinin bulunmasıdır ve sonraki aşama kalite değerlendirme ve doğruluk analizinin raporlanmasıdır. Analiz sonucunda elde edilen doğruluğun raporlanması NSSDA'ya göre iki şekilde gerçekleştirilebilir. Bunlardan ilki temel düşey doğruluktur. Burada test için en az 20 adet YKN varsa "test edildi", eğer YKN sayısı 20 adetten az ise "karşılık için derlendirilmiş" ibaresi kullanılır. Örneğin NSSDA'ya göre SYM5000-30 için temel düşey doğruluk raporlanacak olursa; "test edildi 4.84 m açık alanlardaki temel düşey doğruluk %95 güven aralığında" şeklindedir.

NSSDA'ya 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 kullanılır.

#### 4. SONUÇLAR

Bu çalışmada yapılan analizler sonucunda, 1/1000 ölçekli sayısal fotogrametrik haritalardan üretilmiş SYM'nin doğruluk değeri 1.45 m olarak bulunmuştur. 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 operatör tarafından tam olarak belirlenememesi gösterilebilir. 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.

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.

Farklı veri kaynaklarından elde edilmiş SYM'lere bakıldığında açık alanlarda KOH değerlerinin en düşük olduğu 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. Kullanıcının beklediği doğruluğa göre SYM üretim kaynağı seçmesi ve test alanındaki arazi sınıflarında göz önünde bulundurması gerekliliği elde edilen sonuçlarla birkez daha ortaya konulmuştur. SYM'nin 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.

#### KAYNAKLAR

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

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.

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.

## Sayısal Yükseklik Modellerinde Kalite Değerlendirme ve Doğruluk Analizi

- Esirtgen, E., (2011), “*Farklı Veri Toplama Yöntemleri İle Üretilen SYM’lerin Doğruluk Analizi ve Kalite Değerlendirmesi*”, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, İstanbul.
- GFDED, Guidelines for Digital Elevation Data, (2004), National Digital Elevation Program, U.S.A.
- GFAMAS, 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.
- Maune D. F., (Editör) (2007), *Digital Elevation Model Technologies and Applications: The Dem Users Manual* American Society for Photogrammetry and Remote Sensing, USA
- McGlone J.C. (2004), “*Manuel of Photogrammetry Fift Edition*” American Society for Photogrammetry and Remote Sensing, ASPRS,USA.
- NMAS, National Map Accuracy Standards,(1947) U.S. Bureau Of The Budget, U.S.A
- NSFSDA, 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
- Yastıklı N., Jacobsen K., (2003), “Automatic Digital Elevation Model Generation, Problems and Restrictions in Urban Areas”, YTÜ dergisi, sayı:2003-2, sayfa:38-46
- N. Yastikli, C. Toth, D.A. Grejner-Brzezinska, (2007), “*In-situ Camera and Bore-sight Calibration with LiDAR Data*”, Proc. The Fifth International Symposium on Mobile Mapping Technology(on CD), MMT’07 28-31 May, Padua, 2007.
- Yastıklı, N.. (2009) “*Sayısal Arazi Modeli Ders Notları*”, Yıldız Teknik Üniversitesi, Harita Mühendisliği Bölümü, İstanbul