

YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

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

Jeodezi ve Fotogrametri Müh. Fatih ESİRTGEN

**FBE Jeodezi ve Fotogrametri Mühendisliği Anabilim Dalı Uzaktan Algılama ve CBS Programında
Hazırlanan**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Tez Danışmanı : Doç. Dr. Naci YASTIKLI (YTÜ)

İSTANBUL, 2010

İÇİNDEKİLER

Sayfa

KISALTMA LİSTESİ.....	iv
ŞEKİL LİSTESİ	v
ÇİZELGE LİSTESİ	vi
ÖNSÖZ	vii
ÖZET	viii
ABSTRACT	ix
1. GİRİŞ.....	1
2. TANIM VE KAVRAMLAR	3
2.1 Tanımlar.....	3
2.2 Sayısal Yükseklik Modeli Üretimi İşlem Adımları	6
2.2.1 Veri Toplama Yöntemleri.....	6
2.2.1.1 Jeodezik yöntemler	7
2.2.1.2 Mevcut topoğrafik haritalar	7
2.2.1.3 Fotogrametrik yöntemler	8
2.2.1.3.1 Stereo görüntü oluşumu	9
2.2.1.3.2 Stereo Görüntülerle SYM Üretimi.....	9
2.2.1.3.3 Görüntü Eşleme	10
2.2.1.4 Uydu teknikleri	12
2.2.1.5 InSAR	12
2.2.1.6 LiDAR	13
2.2.2 Enterpolasyon Yöntemleri	14
2.2.2.1 Ağırlıklı ortalama ile enterpolasyon	14
2.2.2.2 En Küçük Kareler İle Enterpolasyon	15
2.2.2.3 Polinomlarla enterpolasyon	16
2.2.2.4 En yakın komşu yöntemi ile enterpolasyon.....	17
2.3 Sayısal Yükseklik Modeli Gösterim Yöntemleri.....	17
2.3.1 Düzensiz üçgen ağı (TIN).....	17
2.3.2 Grid yapısı	18
2.3.3 Eş Yükseklik Eğrisi İle Gösterim	19
2.4 Sayısal Yükseklik Modelleri Kullanım Alanları	19
2.4.1 Yer Bilimleri.....	19
2.4.2 Projelendirme ve Mühendislik Alanında	20
3. DOĞRULUK VE KALİTE DEĞERLENDİRME	21

3.1	Genel Tanım	21
3.2	Sayısal Yükseklik Modelinin Doğruluğu	21
3.3	Doğruluğu Etkileyen Faktörler	23
3.4	Hata Tipleri	23
3.5	SYM lerinin Kalite Değerlendirmesi	24
4.	STANDARTLAR	27
4.1.1	Ulusal Harita Doğruluk Standartları (NMAŞ–1947).....	27
4.1.1.1	Konumsal Doğruluk.....	27
4.1.1.2	Düşey doğruluk.....	27
4.1.2	Büyük Ölçekli Haritaların Doğruluk Standartları (ASPRS-1990)	27
4.1.2.1	Konumsal doğruluk	28
4.1.2.2	Düşey doğruluk.....	28
4.1.2.3	Harita sınıfları	29
4.1.2.4	Doğruluk testleri	29
4.1.3	Ulusal Mekansal Veri Standartları (FGDC-1998).....	29
4.1.3.1	Yatay ve düşey doğruluk	30
4.1.3.2	Doğruluğun raporlanması	30
4.1.3.3	Yatay doğruluk	31
4.1.3.4	Düşey Doğruluk.....	31
4.1.3.5	NMAŞ ve NSSDA Arasındaki Düşey Doğruluk Bağlantısı	32
4.1.3.6	NSSDA Standartlarının Ana Başlıkları	32
4.1.4	Uzaktan Algılama ile Harita Üretimi Hakkında Yönetmelik (FEMA-2003)	32
4.1.5	Sayısal Yükseklik Verisi Yönergesi (NDEP-2004).....	34
4.1.5.1	Temel düşey doğruluk	35
4.1.5.2	Tamamlayıcı ya da birleştirilmiş düşey doğruluk	35
4.1.5.3	Ana başlıklar (NDEP).....	35
5.	UYGULAMA	37
5.1	Test Alanı.....	37
5.2	Veri Seti	39
5.2.1	Fotogrametrik Yöntemle Üretilen SYM.....	40
5.2.2	Uydu Görüntüsü Yardımıyla Üretilen SYM.....	41
5.2.3	SRTM Radar Uydusu Yardımıyla Üretilen SYM	41
5.2.4	Jeodezik Yöntemle Elde Edilmiş C1-C2 Derece Noktalar.....	42
5.2.5	Landsat Uydusu Yardımıyla Arazi Sınıflarının Belirlenmesi	44
5.3	Uygulamada Kullanılan Yaklaşım ve Programlar.....	46
5.4	Analizler	49
5.4.1	Öteleme.....	49
5.4.2	Doğruluk Analizi ve Kalite Değerlendirme.....	50
6.	SONUÇ VE ÖNERİLER.....	59
KAYNAKLAR.....		61
Ek 1	SYM1000 Analiz sonucu ormanlık alan	64
Ek 2	SYM1000 Analiz sonucu çalılık alan	65
Ek 3	SYM1000 Analiz sonucu açık alan	66
Ek 4	SYM1000 Analiz sonucu yerleşim alanı	67
ÖZGEÇMİŞ		68

SİMGE LİSTESİ

x,y	Ham görüntü koordinatları
x',y'	Yataylanmış görüntü koordinatları
A,B	Polinomların katsayı matrisi
$a_{rk} \ b_{rk}$	Polinomların katsayılar matrisi elemanları
x_0,y_0	Fotoğraf asal nokta koordinatları
X_0,Y_0,Z_0	İzdüşüm merkezi koordinatları
Σ	Toplam
$g(c, r)$	Piksel gri değeri
(c_1, r_1)	Sol resim piksel koordinatları
(c_2, r_2)	Sağ resim piksel koordinatları
n	Arama penceresindeki toplam piksel sayısı

KISALTMA LİSTESİ

ASPRS	American Society for Photogrammetry and Remote Sensing
ASTER	Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection
CBS	Coğrafi Bilgi Sistemleri
DAT	Digital Audio Tape
DEM	Digital Elevation Models
DTM	Digital Terrain Models
ED50	European Datum 1950
FEMA	Federal Emergency Management Agency
HGK	Harita Genel Komutanlığı
INSAR	Interferometrik Synthetic Aperture Radar
ISPRS	International Society For Photogrammetry And Remote Sensing
LiDAR	Light Detection and Ranging
NDEP	National Digital Elevation Program
NMAS	National Map Accuracy Standard
NSSDA	National Standard for Spatial Data Accuracy
RMSE	Root Mean Square Errors
RADAR	Radio Detection and Ranging
SAM	Sayısal Arazi Modeli
SAR	Sentetik Açıklıklı Radar
SYM	Sayısal Yükseklik Modeli
TIFF	Tagged Image File Format
TIN	Triangulated Irregular Network
TM	Transversal Mercator
USGS	United State Geological Survey
WGS 84	World Geodetic System 84
YKN	Yer Kontrol Noktası
YM	Yüzey Modeli

ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 2.1	Sayısal arazi modeli (David, 2007).....	3
Şekil 2.2	Yüzey Modeli.....	4
Şekil 2.3	Filtreleme sonrası SYM	4
Şekil 2.4	Gri kodlanmış sayısal yükseklik modeli	5
Şekil 2.5	Sayısal yükseklik modeli elemanları (David, 2007).....	5
Şekil 2.6	Topoğrafik harita	7
Şekil 2.7	Epipolar geometri.....	10
Şekil 2.8	Görüntü eşleme	10
Şekil 2.9.	Alana dayalı eşleme	11
Şekil 2.10	Çapraz korelasyon.....	11
Şekil 2.11	SAR sistemi (Sefercik, 2007)	13
Şekil 2.13.	TIN yapı	18
Şekil 2.14.	Grid yapı	18
Şekil 3.1	Eğim-Hata ilişkisi	22
Şekil 3.2	SYM hata tipleri (Erdoğan 2007)	24
Şekil 5.1	Çalışma alanı.....	37
Şekil 5.2	Yükseklik dağılımı.....	38
Şekil 5.3	Arazi yapısı	39
Şekil 5.4	SYM veri seti SYM1000 (a), SYM5000–30 (b), SYM5000–5 (c).....	41
Şekil 5.5	SYM veri seti SPOT (a), ASTER (b), SRTM C-Band (c).....	42
Şekil 5.6	Yer kontrol noktaları dağılımı genel (a), Noktasal (b)	44
Şekil 5.7	Arazi sınıflarının dağılımı.....	45
Şekil 5.8	Çalışma bölgesi (a) ve arazi sınıflarına ilişkin tematik harita (b).....	45
Şekil 5.9	Arazi sınıfları	46
Şekil 5.10	DEMSHIFT ekran görüntüsü.....	48
Şekil 5.11	DEMANAL ana menü	48
Şekil 5.12	DEMANAL yükseklik dağılım.....	49
Şekil 5.13	SYM5000–30 sınıflara göre analizi	52
Şekil 5.14	SYM5000–5 sınıflara göre analizi.....	52
Şekil 5.15	SPOTSYM sınıflara göre analizi	53
Şekil 5.16	ASTERSYM sınıflara göre analizi	53
Şekil 5.17	SRTMSYM sınıflara göre analizi	54

ÇİZELGE LİSTESİ

Çizelge 2.1	Veri kaynakları.....	6
Çizelge 3.1	Eş yükseklik eğrili haritalarda hata (Erdoğan, 2007).....	22
Çizelge 3.2.	Kalite değerlendirme formu	26
Çizelge 4.1	ASPRS göre Ölçek ve konumsal doğruluk.....	28
Çizelge 4.2	NSSDA doğruluk kriterleri	33
Çizelge 4.3	NDEP doğruluk kriterleri.....	34
Çizelge 5.1	Çalışma alanı sınırları	38
Çizelge 5.2	Fotogrametrik yöntemle üretilen SYM' lerin teknik özellikleri.....	40
Çizelge 5.3	Uydu verileri ve Radar teknik özellikleri.....	42
Çizelge 5.4	C1-C2-C3 derece yer kontrol noktaları.....	43
Çizelge 5.5	SYM öteleme ve sonrasındaki KOHz değerleri.....	50
Çizelge 5.6	SYM1000 doğruluk analizi.....	51
Çizelge 5.7	Farklı arazi sınıfları için SYM'nin referans SYM göre analizi	55
Çizelge 5.8	Referans veriye göre genel analiz	55
Çizelge 5.9	Doğruluk analizi sonuçları	56
Çizelge 5.10	Sınıflara göre doğruluk değerleri	57

ÖNSÖZ

“Farklı Veri Toplama Yöntemleri İle Üretilen SYM’lerin Doğruluk Analizi ve Kalite Değerlendirmesi” konulu bu yüksek lisans çalışmasının her aşamasında bana yardımını ve desteğini esirgemeyen, tez yürütücülüğümü üstlenen sayın hocam Doç. Dr. Naci YASTIKLI’ya sonsuz saygı ve teşekkürlerimi sunarım.

Çalışmada verilerinden faydalandığım İstanbul Büyükşehir Belediyesi Coğrafi Bilgi Sistemleri Müdürlüğüne, Boğaziçi İnşaat Müşavirlik A.Ş.’ye teşekkür ederim. Ayrıca bu çalışmaya yardımlarından dolayı Zonguldak Karaelmas Üniversitesinde görevli sayın hocam Arş. Gör. Umut Güneş SEFERCİK’e teşekkürü bir borç bilirim.

Özellikle çalışmam sırasında bana destek olan, her türlü özveriye gösteren sevgili eşim Öngün ESİRTGEN’e ve benim bu günlere gelmemde en büyük pay sahibi olan aileme sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

ÖZET

Günümüzde farklı veri toplama yöntemleri ile Sayısal Yükseklik Modeli üretimi (SYM), 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.

Standartların geliştirilmesi adına farklı kaynaklardan elde edilen SYM'lerin doğrulukları üzerine birçok çalışma yapılmış ancak kalite değerlendirme, üretim süresi, maliyet gibi tamamlayıcı unsurlar göz ardı edilmiştir. Bu durum, ihtiyaçlar ve kaynakları değerlendirmede optimizasyonun gerçekleştirilmesinde bir engel teşkil etmektedir.

Bu çalışma, İstanbul bölgesinde fotogrametrik yöntem, uydu teknikleri ve RADAR teknikleri kullanılarak toplanan verilerle üretilen SYM'lerin doğruluk analizi ve kalite değerlendirmesini kapsamaktadır. Çalışma alanı, 10x10 km'lik bir alanı kapsamakta ve açık, 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 uydusundan InSAR algılama tekniğiyle üretilen 90 m çözünürlüğe sahip SYM' de 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. Doğrulukların araştırılması ve kalite değerlendirme konusunda uluslararası standartlar göz önünde bulundurulmuştur.

Yapılan analizler sonucunda test edilen SYM'lerin KOHz değerleri bulunmuş, uluslararası standartlar göz önünde bulundurularak doğruluk değerleri araştırılmıştır. Elde edilen sonuçlar da 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 açık alanları içeren bölgeler, diğer orman, çalılık, yerleşim ve bozuk yüzeylere göre daha iyi sonuç verdiği belirlenmiştir.

Elde edilen sonuçlar doğrultusunda istenilen doğruluğa göre veri kaynağı seçimi, çözünürlük, üretim yöntemi ve üretim standartlarının önemi görülmüştür. Özellikle çalışma alanındaki arazi sınıflarında bulunan KOHz değerleri, SYM'nin doğruluğunun belirlenmesinde arazi sınıfının göz ardı edilemeyecek bir etken olduğu konusunda yardımcı olmuştur.

Anahtar Kelimeler: SYM, Doğruluk Analizi, Kalite Değerlendirme, Fotogrametri, RADAR, Uzaktan Algılama

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.

On behalf of the development of standards, a lot of researches have been made on the accuracies of digital elevation models which are derived by different sources; however complementary elements like quality assessment, production time and cost have been ignored. This situation prevents the applying optimization on assessment of needs and resources.

This study includes assessment of quality and analysis of accuracy of the digital elevation models which are produced by photogrammetric methods, satellite and radar techniques in Istanbul area. The study area covers $10 \times 10 \text{ km}^2$ and also the area is selected to be a region of five land covers such as, flat terrain, forest, built-up, scrub and rough terrain. As a reference data, 3 m. sampled digital elevation model which was produced by 1/1000 scaled photogrammetric maps was used and tested against the 94 Ground Control Points. As test data, DEM' s were produced in two different resolutions to 30 m. and 5 m. which were derived from 1/5000 scaled photogrammetric maps and DEM' s were produced from 20 m. resolution SPOT, 80 m. resolution ASTER satellite images were used. Besides, a DEM with 90 m. resolution was generated from InSAR technique of SRTM satellite was used as test data and the vertical accuracy of all DEM' s was analyzed and evaluated according to the quality. The test area was classified five terrain classes and accuracy analysis was made for each class. International standards were taken into consideration on assessment of quality and research of accuracies.

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, Quality Assessment, Photogrammetry, RADAR, Remote Sensing

1. GİRİŞ

Sayısal Yükseklik Modeli kavramı 1950'li yıllarda Miller ve Laflamme tarafından ortaya atılmıştır (Alp, 1998). İlk başlarda yersel ve fotogrametrik yöntemlerle üretimine tercih edilirken günümüzde uydu görüntüleri, Radio Detection and Ranging (RADAR) ve Light Detection and Ranging (LiDAR) teknolojileri kullanılarak da SYM üretilebilmektedir. Özellikle LiDAR kullanılarak toplanan noktalardan üretilen SYM' ler avantajları göz önünde bulundurulduğunda önemli ve tercih edilen bir teknik haline gelmiştir.

SYM' lerin geniş bir uygulama alanına sahip olması, farklı kaynak ve yöntemlerle üretilmesi, ayrıca üretilen verilerin farklı formlarda sunulması, bu konudaki araştırmaların güncelliğini korumasında ki önemli etkenlerdir. 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 kullanımı konularının güncel 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. Bu eksikliklerin giderilmesine yardımcı olmak amacıyla doğruluğunun araştırılması ve kalite değerlendirmesi konularında yurtdışında ve ülkemizde çeşitli çalışmalar yapılmıştır.

Farklı kaynaklardan üretilen SYM' ler üzerine Li 1994 yılında bir çalışma yapmış ve SYM' lerin doğruluklarını araştırmıştır. Fotogrametrik yöntemle üretilen eş yükselti eğrilerinden elde edilen SYM ile hava fotoğraflarından grid ağı şeklinde örneklenerek elde edilen SYM karşılaştırılmıştır. Bolstad ve Stowe (1994) tarafından gerçekleştirilen diğer bir çalışmada 1:40.000 ölçekli hava fotoğrafları ve stereo SPOT uydu görüntüleri kullanılarak otomatik yöntemlerle üretilen SYM' ler ve bunların türevsel yüzeyleri (eğim, bakı) test edilmiştir. Kaczynski (2004) tarafından IKONOS uydu görüntüleriyle 25 m çözünürlükte SYM üretilmiş ve 1:26000 ölçekli hava fotoğraflarından üretilen SYM ile karşılaştırılarak doğruluk analizi yapılmıştır.

Ülkemizde ise, Erdoğan (2007) tarafından yapılan doktora çalışmasında 1:16000 ve 1:35000 ölçekli hava fotoğraflarından üretilen SYM ile 10 m çözünürlüklü SPOT ve 1 m çözünürlüklü IKONOS uydularından elde edilen görüntülerle üretilen SYM karşılaştırılmış ve doğruluk analiz yapılmıştır. Yastıklı (2003) kentsel alanlarda otomatik SYM üretiminde karşılaşılan problem sınırlamalara ilişkin bir çalışma yapmıştır. Sefercik (2010) tarafından gerçekleştirilen diğer bir çalışmada fotogrametrik yöntemle üretilen SYM, Uydu görüntüleri yardımıyla üretilen SYM ve InSAR ile üretilen SYM' ler test edilmiş ve doğruluklarına ilişkin sonuçlar ortaya konmuştur.

Bu çalışmada, farklı veri toplama yöntemleri ile üretilen sayısal yükseklik modellerinin doğruluk analizi ve kalite değerlendirilmesi amaçlanmıştır. Bu çalışmada ilk olarak SYM üzerine genel tanım, kavramlar ve sayısal yükseklik modeli üretimi işlem adımları ve gösterim yöntemleri verilmiştir.

Sonraki bölümlerde SYM' de doğruluk ve hata kavramları incelenmiş, kalite değerlendirme için kullanılan mevcut standart ve yönergeler araştırılmıştır.

Bu çalışmanın uygulama bölümünde, 1:1000 ve 1:5000 ölçekli hava fotoğraflarından üretilen SYM, SPOT 5, ASTER optik uydu görüntüleri kullanılarak üretilen SYM ve SRTM C-Band SYM' lerin doğruluk analizi ve kalite değerlendiresi 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.

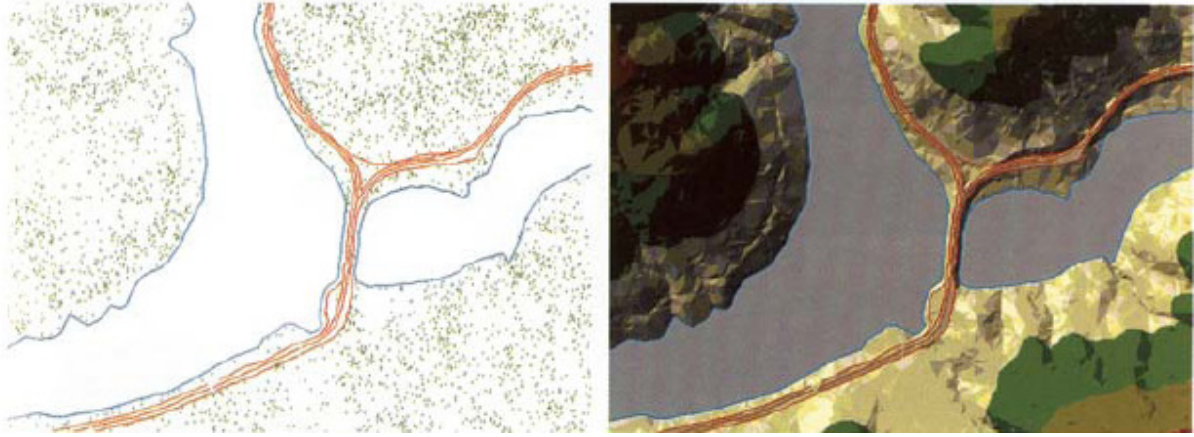
2. TANIM VE KAVRAMLAR

2.1 Tanımlar

Yeryüzü, matematiksel olarak tanımlanması güç üç boyutlu düzensiz bir yüzeydir. Bu yüzeyin tanımlanabilmesi için sonsuz sayıda noktaya gereksinim vardır. Bu da olanaksız olduğundan, belirli sayıdaki nokta kümesi seçilir ve yüzey bu noktalardan yararlanılarak matematiksel olarak temsil edilmeye çalışılır (Alp, 1998) Sayısal Arazi Modeli (SAM) kavramı, kullanımı ve bakımı açısından bazı kaynaklarda SYM ile eş anlamlı olarak kullanılmakta olsa da; veri toplama, üretim ve maliyet açısından farklılıklar içermektedir.

HGK Teknik Terimler Sözlüğünde SAM “bilinen dik koordinatlar ile çok sayıda seçilen noktaları kullanarak arazinin sürekli bir yüzey şeklinde istatistiksel olarak gösterimi” olarak tanımlanmıştır.

Başka bir tanımda ise SAM, “genellikle arazi yüzeyinin belirgin topografik özelliklerinin düzensiz olarak dağılmış noktalar ve arazinin su ayırım ve su toplama çizgilerinin (breaklines), arazinin gerçek şeklinin daha iyi bir biçimde sayısal olarak sunulmuş biçimidir” (Yastıklı, 2009).

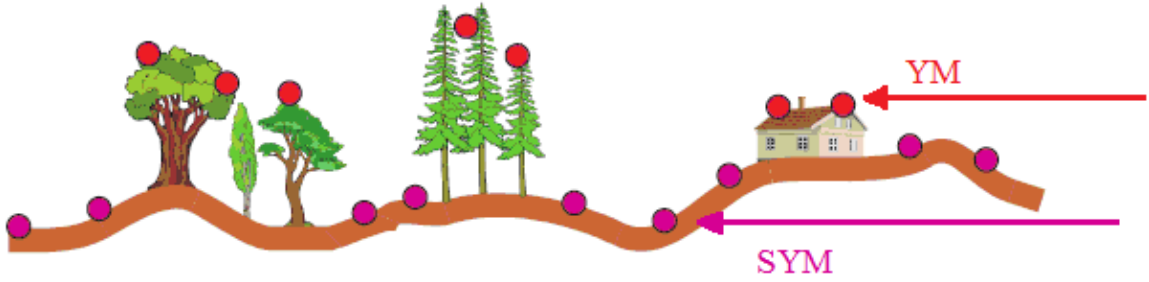


Şekil 2.1 Sayısal arazi modeli (David, 2007)

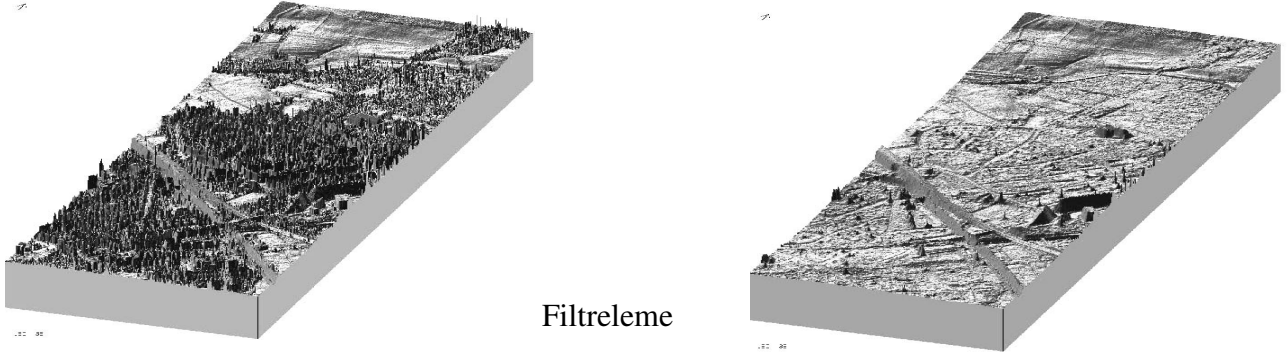
SAM kullanılarak üretilen eş yükseklik eğrileri arazinin gerçek şeklini daha gerçekçi bir biçimde sunmaktadır. Bununla birlikte SAM üretimi SYM üretimine göre daha pahalı ve üretim süreci bakımından daha uzun sürelere ihtiyacı olan bir süreçtir. Sebebi su ayırım ve su toplama çizgilerinin üretiminin otomatik üretim açısından sıkıntılı olmasıdır.

Yüzeye ait yükseklik bilgisi içeren diğer bir model ise Sayısal Yüzey Modelidir (YM).

YM' inde yükseklik bilgilerinin bina, ağaç, kule ve diğer objelerin yüzeyine ilişkindir. (Yastıklı, 2009). Fotogrametrik yöntemle elde edilen stereo görüntü çiftinden otomatik grid yapıda üretilmiş yüzeye ilişkin model ile LiDAR ile toplanan nokta yapıdaki verilerle üretilen model Yüzey Modeline örnek olarak verilebilir. Çıplak yer yüzeyini elde etmek için arazi üzerindeki yapılara ait yükseklik bilgisi filtrelenir ve SYM elde edilir (Şekil 2.2, 2.3).

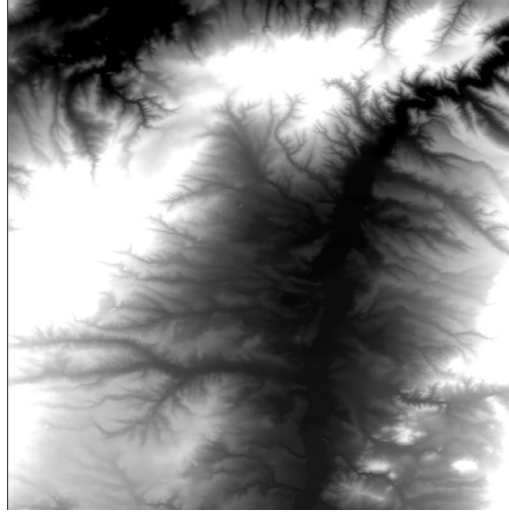


Şekil 2.2 Yüzey Modeli



Şekil 2.3 Filtreleme sonrası SYM

Sayısal Yükseklik Modeli; ABD Jeolojik Ölçmeler Dairesi (USGS) tarafından; “arazinin yükseklik bilgisinin, kullanılan ortak bir dişey datumda X ve Y yönündeki düzenli aralıklarla sayısal gösterimi” olarak tanımlanmıştır. SAM, SYM ve YM' leri üretiminde kullanılan diğerk tanım ve kavramlar bundan sonraki bölümlerde özetlenmiştir.

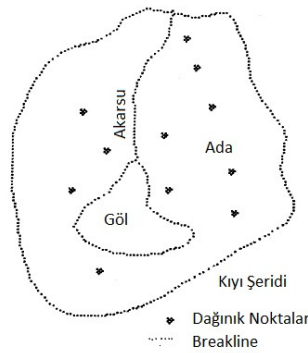


Şekil 2.4 Gri kodlanmış sayısal yükseklik modeli

Nokta Kümesi (Mass Point); Konumsal olarak X ve Y değerleri, yükseklik bilgisi olarak da Z değerini içeren düzensiz dağılmış noktalardan oluşur. Eğer manuel olarak üretilirse arazinin karakteristik özellikleri ince ayrıntılar ile temsil edilmiş olur. LIDAR ya da IFSAR ile otomatik üretilirse de veri elde etmek için kullanılan teknolojiye göre nokta sıklığı ve dağılım yapısı farklılık gösterir (Yastıklı, 2009).

Su toplama ya da su ayırım çizgisi (Breakline); Arazinin topoğrafik yapısını çıkarmak için arazinin düzlemsel bölge sınırları (kıyı, baraj) ya da eğimin ani değiştiği sınırları temsil etmesi amacıyla kullanılır.

“Breakline” Su toplama ya da su ayırım çizgisi yanında arazideki eğimin değiştiği düzensizlikleri ifade eden daha genel bir tanımdır. Uygulamada şev alt ve üst sınırları, toprak ve şose yollar ile kayalık sınırlarının belirlendiği çizgisel detaylarda “breakline” olarak kullanılır.



Şekil 2.5 Sayısal yükseklik modeli elemanları (David, 2007)

2.2 Sayısal Yükseklik Modeli Üretimi İşlem Adımları

Birçok uygulamada yaygın bir şekilde kullanılan SYM üretimi aşağıdaki işlem adımları sonucunda gerçekleştirilir:

- Verilerin toplanması,
- Verilerin İşlenmesi,
- Enterpolasyon Yöntemleri,
- Filtreleme

2.2.1 Veri Toplama Yöntemleri

SYM üretimi hangi yöntemle yapılırsa yapılsın, en çok zaman alıcı bölümünü veri toplama aşaması oluşturmaktadır. SYM üretiminde kullanılan yükseklik verisi kaynağına göre sınıflandırılmaktadır.

Yersel ölçme teknikleri kullanılarak yükseklik verisi toplanması küçük alanlarda tercih edilmekle birlikte üretim hızı ve maliyet açısından büyük alanlar için uygun değildir. Günümüzde SYM üretiminde veri toplama yöntemi olarak fotogrametrik ya da uydu teknikleri ile elde edilen stereo görüntü çifti tercih edilmektedir.

Diğer veri toplama yöntemi ise aktif algılama sistemlerine sahip RADAR ve LiDAR teknolojileridir (Çizelge 2.1). Bu sistemler yardımıyla üretilen model yüzey modelidir ve çeşitli filtreleme işlemlerinden sonra SYM elde edilir.

Çizelge 2.1 Veri kaynakları

Kaynak Grup	Kaynak Cinsi
Mevcut Harita ve Dokümanlar	• Çizgisel Haritalar
	• Raster Haritalar
	• Dokümanlar
Fotoğraflar ve Görüntüler (Pasif Algılayıcılar)	• Hava fotoğrafları
	• Uydu görüntüleri
Aktif Algılayıcılar	• LiDAR
	• Interferometrik SAR verileri
Yersel Ölçme Teknikleri	• Elektronik Takeometre Ölçüleri
	• GPS ölçüleri

2.2.1.1 Jeodezik yöntemler

Yersel tekniklerle SYM üretiminde yersel ölçme aletleri kullanılmak suretiyle SYM' si oluşturulmak istenen topoğrafya üzerinden konum ve yükseklik bilgisi içeren noktalar toplanır. Noktalar genellikle arazinin değişim gösterdiği dere, şev, sırt gibi detayların çıkarımı ve eğimin değiştiği bölgelerde ve rastgele dağılmış olarak seçilir. Düzenli yapıda seçildiği takdirde önceden belirlenerek yapıda ölçümlerin yapılması gerekir ancak bu yol pek tercih edilmez. Düzenli ya da düzensiz aralıklarla toplanan bu verilere dayalı olarak arazinin SYM elde edilebilir. Ancak elektronik ölçme aleti ya da GPS yardımıyla elde edilen yükseklik verisi günümüzde diğer yöntemlerle karşılaştırıldığında küçük alanlarda ki SYM üretimi için uygun olsa da uygulamada zaman maliyet ve arazi koşulları göz önünde bulundurulduğunda pratik olarak kabul görmemektedir.

2.2.1.2 Mevcut topoğrafik haritalar

Topoğrafik haritalar üzerindeki eş yükselti eğrileri sayısallaştırılarak SYM üretimi için gerekli veriler elde edilebilir. Sayısallaştırma işlemi eş yükseklik eğrileri üzerinde nokta ölçü ya da sürekli ölçü şeklinde yapılır.

Bu yöntemle üretilen SYM' nin en geniş kullanım alanı, 1/25000'lik topoğrafik haritalardan sayısallaştırma yapılarak, düşük çözünürlüğe sahip ortofotoların üretiminde yükseklik bilgisi içeren model olarak kullanılması gösterilebilir. Kullanım alanına göre düşük doğruluk gerektiği durumlar da kullanılabilir.



Şekil 2.6 Topoğrafik harita

2.2.1.3 Fotogrametrik yöntemler

En genel anlamıyla fotogrametri ISPRS (International Society for Photogrammetry and Remote Sensing) in tanımına göre ; “fotografik görüntülerin ve elektromanyetik enerjinin kayıt, ölçme ve yorumlanması sonucu fiziksel cisimler ve bunların çevresine ilişkin bilgileri oluşturan ve bu bilgilerin analizini yapan bir bilim dalıdır.”

Fotogrametri yöntemi SYM üretiminde en önemli veri kaynağı olma özelliğini günümüzde de sürdürmektedir. Büyük ve orta ölçekte harita üretim kalitesine sahip bu yöntem, referans olarak kullanılacak kalitede SYM üretimine olanak sağlamaktadır. Bu yöntemle elde edilen 3 boyutlu veri etkileşimli olarak operatör tarafından ölçülebildiği gibi, görüntü eşleme yöntemlerinin gelişmesiyle otomatik ya da yarı otomatik olarak da elde edilebilir. Fotogrametrik veri toplamanın en önemli avantajı, SYM oluşturmak için gerekli minimum sayıda yükseklik noktasının seçilebilmesine olanak vermesidir. Özellikle sayısal aletlerle yapılan uygulamalarda, yüzey değişiminin düzgün olduğu bölgeler için çok az sayıda dayanak noktası seçilmekte, ağırlık daha çok yüzey eğiminin değiştiği kritik noktalara verilmektedir.

Analog ya da sayısal kameralarla alınan görüntülerden stereo görüntü oluşturulması için fotoğraf çiftlerinden modeller oluşturulur. Burada iç yöneltme elemanları sisteme girilir ve görüntülerdeki ortak detaylar bağlama noktaları ile eşlenerek karşılıklı yöneltme yapılır. Son olarak Yer Kontrol Noktaları (YKN) görüntü üzerinde ölçülerek mutlak yöneltmesi yapılır. Bu işlemler sonrası çalışma bölgesine ait stereo model oluşturulmuş olur. Oluşan stereo modellerden iki şekilde SYM çıkarımı yapılmaktadır. Bunlardan birincisi operatör arazi topoğrafyasının ani değişim gösterdiği yerleri düzensiz nokta ya da çizgi (breaklines) detaylarla belirler. Ölçülen bu detaylar üçgenleme yapılarak düzensiz üçgen ağı (Triangulated Irregular Network-TIN) yapıda SYM oluşturulur. Bu yöntemde SYM’ yi oluşturan verilerin çoğunluğu operatör tarafından yapıldığı için zaman alıcı ama araziye doğru bir şekilde yansıtması açısından da bir o kadar önemlidir. Fotogrametrik yöntemle SYM üretiminde ikinci yol ise stereo görüntüden otomatik olarak görüntü eşleme teknikleri kullanılarak grid yapıda nokta üretimidir. Burada örnekleme aralığının önemi artmaktadır. Ne kadar sık veri toplanırsa, oluşan SYM araziye o kadar iyi temsil eder.

Otomatik SYM üretimindeki beklenti, bir operatöre verilen görevin aynısının bilgisayarlar tarafından yapılmasıdır. Bununla birlikte bugünkü sistemlerin tamamında operatör müdahalesi gerekmektedir ve yakın gelecekte de bu problemin aşılabileceği düşünülmemektedir. Bu nedenle sayısal çalışma istasyonlarındaki otomatik SYM üretimi etkileşimli bir ortamda gerçekleştirilmektedir (Erdoğan, 2007).

Fotogrametrik işlem adımlarının pek çoğu bir şekilde görüntü eşlemeye dayanır. Analog fotogrametri de iç yöneltme yapılırken görüntü kenarlarında iki boyutlu eşlenmesi, Mutlak yöneltmede bağlama noktaları ile model ve kolonların bağlanması görüntü eşleme konusuna örnek olarak verilebilir. Görüntü eşleme ve otomatik SYM üretimi başlı başına bir konudur.

2.2.1.3.1 Stereo görüntü oluşumu

Uydu görüntülerinden sayısal yükseklik modeli üretebilmek için stereo görüntü çiftine ihtiyaç vardır. Tek görüntüde yükseklikten kaynaklanan hata oluşmaktadır. Yükseklikten kaynaklanan hatayı gidermek için aynı bölgeye ait bindirilmiş iki görüntüye ihtiyacımız vardır. Stereo görüntü oluşumunda algılayıcı sistemlerinin farklı özellikleri vardır. Aynı yörüngede stereo görüntü elde edilmesi ve farklı yörüngelerden, nadir dışı alımla stereo görüntü elde edilmesi gibi farklı algılama yöntemleri kullanılmaktadır.

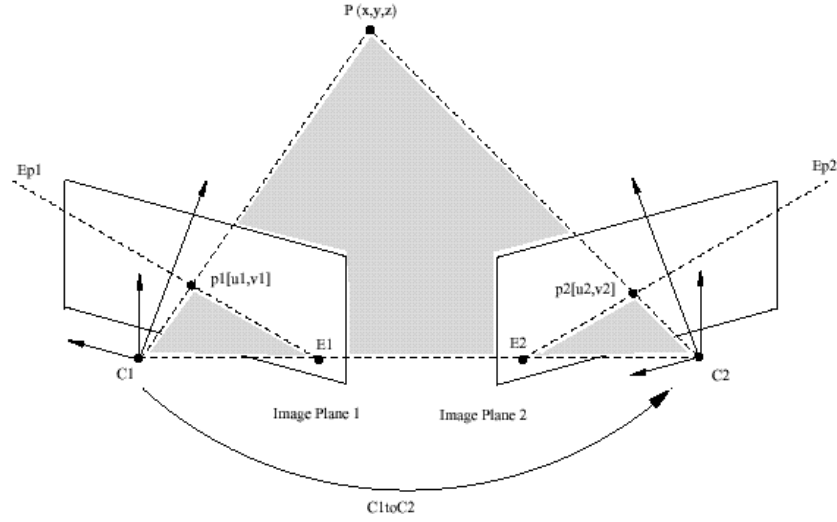
2.2.1.3.2 Stereo Görüntülerle SYM Üretimi

Oluşan stereo görüntülerden otomatik SYM üretimi iki ana başlık altında incelenebilir.

- Karşılıklı noktaların bulunması (Görüntü Eşleme).
- Filtreleme ve enterpolasyon işlemleri

Otomatik görüntü eşleme, bir stereo çiftin aynı anda sayısal analizine dayanır. İşlem, her iki görüntü için algılayıcı konumunu ve dönüklüklerini modelleyerek ve epipolar geometriyi hesaplayarak başlar (İşcan, 2005).

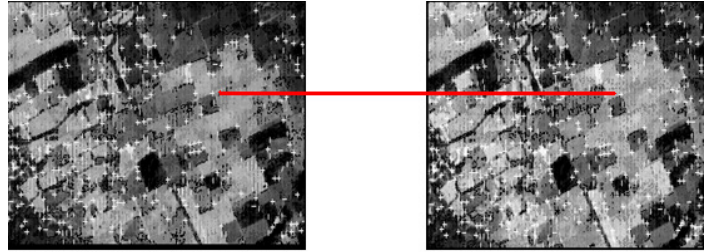
Epipolar geometri, Üç boyutlu uzayda $P(x,y,z)$ obje noktası ile iki görüntünün izdüşüm merkezlerini (C_1, C_2) içeren düzlem olarak tanımlanır (Şekil 2.7). Bu düzlem, her iki görüntüyü epipolar doğru olarak adlandırılan doğrularla keser. Eğer iki görüntünün de mutlak yöneltmesi bilinirse, bir görüntüde verilen bir noktadan diğer görüntüde epipolar doğru hesaplanır ve görüntü eşleme problemi iki boyutlu bir görevden tek boyutlu bir göreve indirgenmiş olur.



Şekil 2.7 Epipolar geometri

2.2.1.3.3 Görüntü Eşleme

Stereo görüntülerden otomatik SYM üretimi görüntü eşlemeye dayanır. Stereo görüntü üzerinde aynı cisme karşılık gelen noktalar otomatik olarak bulunmalıdır. Bu işlemin yapılabilmesi için resimdeki görüntü parçasının diğer resimdeki yerinin araştırılması gerekir. Yapılan bu araştırma işlemine görüntü eşleme adı verilir(Şekil 2.8).



Şekil 2.8 Görüntü eşleme

Görüntü eşleme, alana, detaya veya görüntü ilişkilerine dayanan eşleme olmak üzere üç farklı yöntemle gerçekleştirilmektedir. Bu yöntemleri aşağıdaki gibi sıralayabiliriz;

1) Alana dayalı eşleme

- En küçük kareler yöntemi
- Çapraz korelasyon

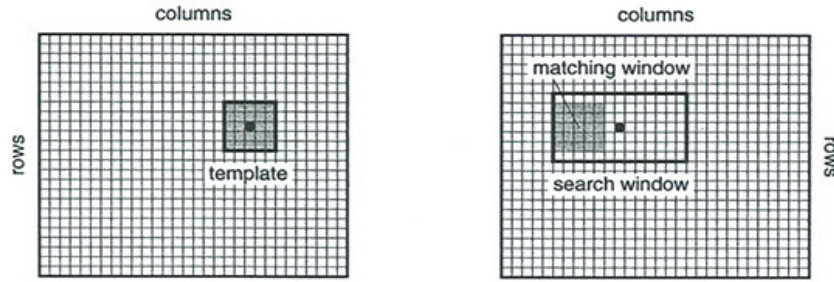
2) Detaylara dayalı eşleme

3) İlişkisel (sembolik) eşleme

Görüntü eşlemede, alana dayalı eşleme metotlarından biri olan çapraz korelasyon metodu diğer metotlara oranla daha fazla tercih edilmektedir.

Alana dayalı eşleme;

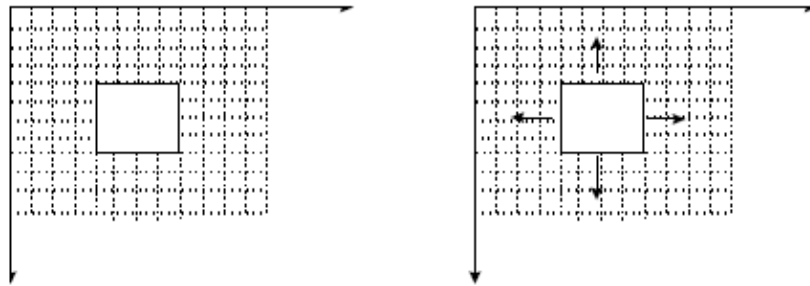
Alana dayalı eşlemede gri değerler eşleme varlıkları olarak kabul edilir. Temel prensip, iki görüntü arasındaki gri değerleri karşılaştırmak ve çapraz korelasyon ya da en küçük kareler yöntemi kullanılarak benzerliklerinin tespitidir (Şekil 2.9).



Şekil 2.9. Alana dayalı eşleme

Çapraz korelasyon;

Çapraz korelasyon yöntemi eşlenen objeleri bulmak için kullanılır. Benzerlik miktarları korelasyon faktörü kullanılarak ölçülür. Çapraz korelasyon faktörü ρ ile gösterilir ve ± 1 aralığındadır. Korelasyon katsayısı ρ değer olarak 1'e ne kadar yakınsa çift görüntü o kadar iyi eşlenmiştir. Kalıp ile eşleme penceresi arasındaki benzerliğin korelasyon faktörünün hesaplanması sonucu yapılan eşlemedir. Buna göre, referans alınan kalıp pencere, bir araştırma penceresi boyunca piksel piksel gezdirilir (Şekil 2.10).



Şekil 2.10 Çapraz korelasyon

$$\rho = \frac{\sum_{i,j} [g_1(c_1, r_1) - \bar{g}_1][g_2(c_2, r_2) - \bar{g}_2]^2}{\sqrt{\sum_{i,j} [g_1(c_1, r_1) - \bar{g}_1]^2 \sum_{i,j} [g_2(c_2, r_2) - \bar{g}_2]^2}} \quad (2.1)$$

$$\bar{g}_1 = \frac{1}{n} \sum_{i,j} g_1(c_1, r_1) \quad \bar{g}_2 = \frac{1}{n} \sum_{i,j} g_2(c_2, r_2) \quad (2.2)$$

P=Korelasyon katsayısı

$g(c, r)$ = Piksel gri değeri

(c_1, r_1) =Sol resim piksel koordinatları

(c_2, r_2) =Sağ resim piksel koordinatları

n =Arama penceresindeki toplam piksel sayısı

2.2.1.4 Uydu teknikleri

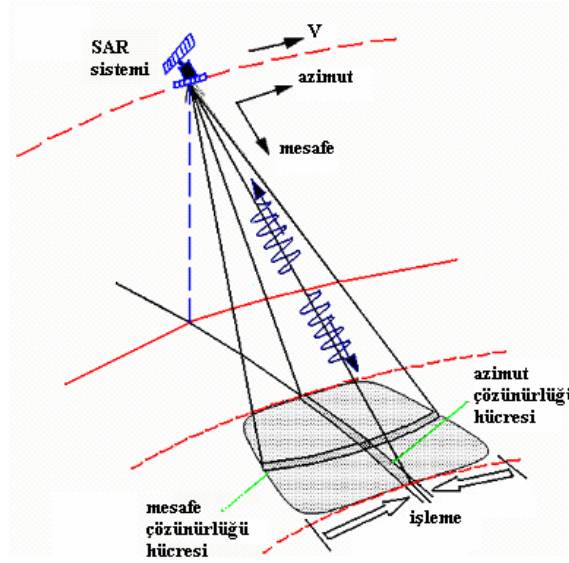
Teknolojinin gelişmesiyle, uyduların geometrik modellerinin her geçen gün geliştiği, görüntü alım özelliklerinin esnekleştiği ve yer ayırma gücü arttığı gözlenmektedir. Burada görüntü alım özelliğinden kastedilen, algılayıcının nadir dışı alım yapabilmesi kabiliyetidir. Nadir dışı alım, yörüngede ya da yörünge dışı alım yaparak stereo görüntü oluşumunda etken bir özelliktir. Ülkemizde en çok tercih edilen IKONOS ve SPOT uydu görüntüleri de bu özelliklere sahip olup aynı yörüngede nadir dışı alım yapabilmektedir. Stereo uydu görüntülerinden SYM üretiminde dikkat edilecek ikinci önemli nokta da yer ayırma gücüdür. Yer örnekleme aralığı, görüntüdeki bir pikselin yerde karşılık geldiği değerdir. Görüntü alım sistemlerine göre değişen bu değer, pankromatik IKONOS uydu görüntüsünde 0.82m, günümüz uydu sistemleri olan Geoeye gibi uydularda ise 0.5m dir. Uydu görüntülerindeki piksel değerlerinin yeryüzü detaylarını temsili arttıkça, sayısal yükseklik modelindeki konumsal doğruluk da aynı orantıda artacaktır. Çalışmada kullanılan SPOT ve ASTER görüntüsünden elde edilmiş SYM' nin detayları ilerleyen bölümlerde verilecektir.

2.2.1.5 InSAR

Radyo sinyallerinin saptanması ve ölçülmesi sistemleri (RADAR), yer yüzeyine gönderilen

elektromanyetik dalgaların geri yansıyan kısmının şiddeti ve sinyal gecikme zamanının hesaplanması prensibine göre çalışır. RADAR ile veri toplamada interferometre tekniğinin gelişimi, İnterferometik Sentetik Açıklıklı Radar (InSAR) sistemleri ile SYM üretimine olanak sağlamıştır. İnterferometre, iki ayrı algılayıcıda ölçülen elektromanyetik dalgaların fazları arasındaki farkların ölçülmesidir. Bu sayede oluşan interferogram görüntülerde faz belirsizliği ortadan kaldırılarak SYM üretimi için gerekli veri elde edilmektedir. Diğer veri kaynaklarına göre avantajı bulut, sis gibi hava koşullarından etkilenmeden gece ve gündüz görüntü alım kabiliyetine sahip olmasıdır.

InSAR ile üretilen SYM lerin Doğruluk analizlerine incelendiğinde eğim ile doğrudan ilişkili olduğu görülmektedir. Radarın görüntüleme geometrisinin bir sonucu olarak yüksek rölyefe sahip engebeli arazilerde büyük hatalar ortaya çıktığı görülmüştür. Radarın görüntü alım açısına ve yüzey geometrisine bağlı olarak gölge, kısa ve ters görüntüleme hataları dik eğimli ve engebeli arazilerde etkili olmaktadır. Bunun sonucu olarak otomatik görüntü eşleme algoritmaları dağlık bölgelerde başarılı olamamakta ve üretilen SYM' ler de hatalar ortaya çıkmaktadır (Şanlı, 2006)

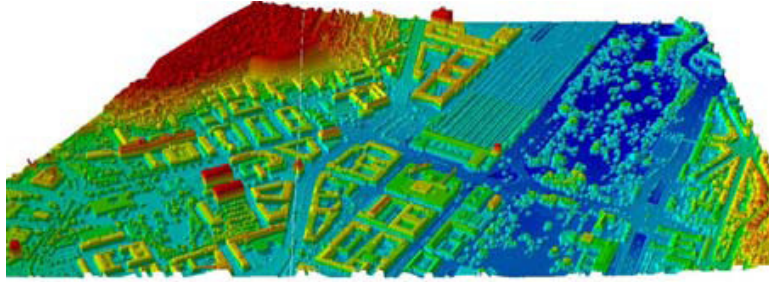


Şekil 2.11 SAR sistemi (Sefercik, 2007)

2.2.1.6 LiDAR

Airborne Laser Scanning (ALS) olarak bilinen LiDAR, RADAR teknolojisine benzer bir şekilde çalışmaktadır. RADAR 'dan farklı olarak radyo dalgaları yerine ışık kullanır. Lazer ışınlarının gönderiliş zamanı ile nesneden yansıyan ışının kaynağa geliş zamanı arasında geçen süre sayesinde uzaklık ölçülür. LiDAR teknolojisi ile birlikte doğrudan ve yüksek

doğrulukta üç boyutlu (3B) nokta bulutu elde edilebilmektedir. LiDAR sisteminin getirmiş olduğu bu avantaj ile birlikte LiDAR verisi, Fotogrametri ve Uzaktan Algılama ile birlikte SYM üretimi için önemli bir kaynak olarak göze çarpmaktadır. LiDAR yükseklik farkının az olduğu yerlerde ve nispeten düşük yoğunluktaki bitki örtüsüne sahip alanlarda daha etkili bir kullanıma sahiptir(Yılmaz ve Yakar, 2006). Yer kontrol noktalarının görülmesinin çok zor olduğu sahil, ormanlık ve yoğun bitki örtüsüne sahip alanlarda LiDAR daha hassas veri toplama imkânına sahiptir(Yılmaz ve Yakar, 2006).



Şekil 2.12 LiDAR nokta bulutu

2.2.2 Enterpolasyon Yöntemleri

Farklı kaynaklarla elde edilen düzenli ya da düzensiz yapıdaki yükseklik verileri enterpolasyon yöntemlerinden biri kullanılarak modelleme yapılır. Enterpolasyon en kısa tanımıyla ara değer kestirimi olarak tanımlanabilir. Enterpolasyon, SYM üretiminde toplanan veriler görüntü eşlemenin başarılı olmadığı yerlerde oluşan boşlukların doldurulması ve ayrıca arazi yüzeyinde toplanan düzensiz yapıdaki noktalardan düzenli yapıdaki grid verilerin üretilmesinde kullanılır. Enterpolasyon ve seçilen yöntem sayısal yükseklik modelinin doğruluğunu etkileyen en önemli faktörlerden biridir.

Lancaster ve Salkauskas enterpolasyonla yüzey oluşturmaya, veri noktaları arasında uyumluluk gösteren ve bazı derecelere göre veri noktalarını kabul eden bir fonksiyon bulma olarak tanımlamışlardır. Enterpolasyon metotları, uygunluğun derecesi, destek derecesi veya matematiksel model tipi kriterlerine göre sınıflandırılabilir (Öztürk, 2006).

2.2.2.1 Ağırlıklı ortalama ile enterpolasyon

Bu yöntemde enterpolasyon noktasının yüksekliği, çevresinde bulunan dayanak noktalarının ağırlıklı ortalaması alınarak hesaplanır. Enterpole edilecek noktaya yakın olan dayanak noktalarının etkisi daha fazla, uzak olanların etkisi daha azdır. Bir başka deyişle dayanak

noktasının ağırlık değeri enterpole edilecek noktaya uzaklığının bir fonksiyonudur (Yalanak, 2002).

Çevresinde bulunan dayanak noktalarının değerlerinden yararlanılarak,

$$Z = \sum_{i=1}^m P_i * Z_i / \sum_{i=1}^m P_i \quad (2.3)$$

eşitliği ile bulunur. Ağırlık fonksiyonu olarak (x_i, y_i) herhangi bir dayanak noktasının, (x_0, y_0) yüksekliği belirlenecek enterpolasyon noktasının koordinatları olduğuna göre;

$$P_i = \left[(x_i - x_0)^2 + (y_i - y_0)^2 \right]^k = (s_i^2)^{-k}, \quad i=1,2,\dots,m \quad 2k=1,2,3 \quad (2.4)$$

eşitliği kullanılabileceği gibi,

$$p_i = e^{(-s_i^2/k^2)}, \quad i=1,2,\dots,m \quad k=3,4,5 \quad (2.5)$$

şeklinde Gauss fonksiyonu kullanılabilir.

2.2.2.2 En Küçük Kareler İle Enterpolasyon

En küçük karelerle kestirimin özü, stokastik büyüklükler arasındaki istatistiksel ilişkilere dayanmaktadır. Söz konusu istatistiksel ilişkiler, dayanak noktalarının yükseklikleri arasındaki korelasyon ve kestirim yapılacak noktanın yüksekliğiyle yine dayanak noktalarının yükseklikleri arasındaki çapraz korelasyonla tanımlanır. En küçük kareler ilkesine göre kestirimde daha önceden yapılmış çalışmalardan elde edilen kovaryans fonksiyonlarından yararlanılabilir (Öztürk, 2006)

$$\Delta z(x, y) = s(x, y) + r(x, y) \quad (2.6)$$

Δz değeri iki bileşenli olarak ele alınır. Bu ifadede $s(x, y)$ sinyali, $r(x, y)$ ölçü hatasını gösterir. Enterpolasyon ayırık, $\Delta z(x_1, y_1), \Delta z(x_2, y_2), \dots, \Delta z(x_n, y_n)$, fonksiyon değerlerinden $x = x_0, y = y_0$ rastgele fonksiyonun $s(x_0, y_0)$ kestirim değerinin bulunması problemidir.

$$\overline{s_0} = \overline{s}(x_0, y_0) = a^T, \quad \Delta z = a_1 \cdot \Delta z_1 + a_2 \cdot \Delta z_2 + a_3 \cdot \Delta z_3 + \dots + a_n \cdot \Delta z_n \quad (2.7)$$

olur.

Ölçü hatası r yok veya ihmal edilebilecek değerde ise,

$$r(x, y) = 0 \text{ veya } \Delta z(x, y) = s(x, y) \quad (2.8)$$

$$s_0 = s_0(x_0, y_0) = \Delta z(x, y) \quad (2.9)$$

olur ki bu bir enterpolasyondur (Öztürk, 2005).

2.2.2.3 Polinomlarla enterpolasyon

Bu yöntemin ana fikri arazi yüzeyini tek bir fonksiyonla ifade etmektir. x, y, z koordinatları ile bilinen dayanak noktalarının oluşturduğu arazi yüzeyinin, n 'inci dereceden bir polinom ile matematiksel ifadesi,

$$z(x, y) = \sum_{k=0}^n \sum_{j=k-i}^k a_{ij} x^i y^j$$

şeklindedir.

İkinci derece polinomun açık ifadesi,

$$z(x, y) = a_{00} + a_{01}y + a_{10}x + a_{20}x^2 + a_{11}xy + a_{02}y^2 \quad (2.10)$$

olur.

(x, y, z) koordinatları bilinen 6 dayanak noktası ile bu problem çözülebilir. 6 dan fazla dayanak noktası olması durumunda, çözüm için yeterli olandan fazla denklem oluşacağı için katsayılar dengelemeyle bulunur. Bu durumda yüzey, dayanak noktalarından değil artık hatalar kadar uzağından geçer.

m , dayanak noktası sayısını göstermek üzere, 2. derece polinomun düzeltme denklemleri;

$L=1,2,\dots,m$ için

$$\Delta z_L = a_{00} + a_{01}y_L + a_{10}x_L + a_{20}x_L^2 + a_{11}x_L y_L + a_{02}y_L^2 - z_L \quad (2.11)$$

olur.

$$\sum_{L=1}^m \Delta z_L^2 = \min. \quad (2.12)$$

koşulundan yararlanarak dengelenmiş yüzeyin katsayıları belirlenir. Yüksekliği istenen bir

noktanın (x_0 , y_0) koordinatları polinomda yerine konulduğunda o noktanın z_0 yüksekliği bulunabilir (Yalanak, 2002).

2.2.2.4 En yakın komşu yöntemi ile enterpolasyon

Bu yöntemde en yakın veri noktasının değeri bir grid noktasına atanmaktadır. Bu şekilde veriler, düzenli x, y, z veri kümelerine dönüştürülür. Bu yöntem bu veri kümelerinden yararlanarak veri olmayan boşlukları doldurmak için kullanılabilir.

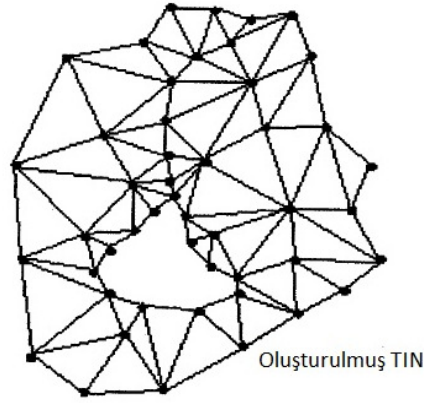
2.3 Sayısal Yükseklik Modeli Gösterim Yöntemleri

SYM verileri farklı formlarda modellenenebilir. Bu yapılar TIN yani düzensiz üçgen ağı, grid yapı ya da yükseklik eğrisi ile temsil edilebilirler.

2.3.1 Düzensiz üçgen ağı (TIN)

Arazinin temsil edilmesinde TIN yapı oldukça sık kullanılmaktadır. Yukarıda belirtilen dağınık noktalar ve su toplama, su ayırım çizgileri üçgenlerin kenarlarını kapsayarak üçgen modeli oluşturur. TIN oluşturulduktan sonra SYM, enterpolasyon yöntemlerinden bir tanesi kullanılarak bilinen düzenli X, Y aralıklı grid noktalarının yüksekliklerinin hesaplanması ile oluşur. Bu enterpolasyon işlemi sonucunda elde edilen SYM doğruluğu bu işlem için kullanılan veri setinin doğruluğundan daha düşüktür.

Topoğrafik yüzeylerin TIN biçiminde saklanması ve gösterimi diğer yöntemlere göre birçok üstünlük sağlamaktadır. Eğer arazinin yapısı basit ise çok az veri saklanır. Ayrıca TIN' in vektör tabanlı yapısı nokta, çizgi ve alan tabanlı nesnelerin gösterimini desteklemektedir. Avantajlarının yanı sıra bazı dezavantajları da mevcuttur. TIN' i oluşturacak veri setinin Fotogrametri ya da lidar gibi kaynaklardan toplanmış yüksek kalitede olması beklenir ve buda maliyet getirmektedir.(Yastıklı, 2009)

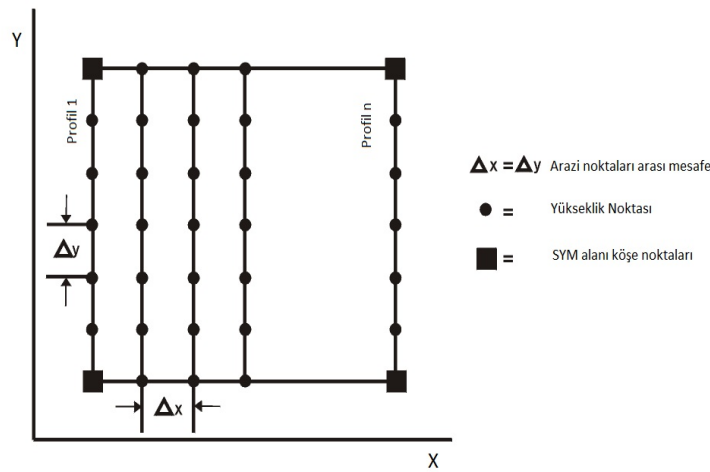


Şekil 2.13 TIN yapı

2.3.2 Grid yapı

SYM 'nin grid yapıda gösterimi; Arazi yüzeyi üzerine örtülü kare ya da dikdörtgen şeklindeki gridlerin yerleştirilmesi ve burada ki düğüm noktalarının yüksekliklerinin belirlenmesi ile yapılır. Grid yapıda SYM oluşturulurken, buradaki düğüm noktalarının yüksekliklerinin kestirim fonksiyonlarının ve grid aralıklarının seçimine dikkat edilmelidir.

Gridler genellikle satır ve sütunlar ile gösterilen kare biçimindedir. Gridler arazi yüzeyinin gösterimi için kullanıldığında, yükseklik grid orta noktası ile ilişkilidir ve orta noktaya ait yükseklik bilgisi grid alanının yüksekliği olarak temsil edilir. Grid alanının tek bir yükseklik değeri ile temsil edilmesi yaklaşımı sayısal görüntü, uydu görüntüsü ve sayısal ortofotoların yapısına benzer olup SYM ile ilişkilendirilmesi bu sayede grid yapıda olur. İki boyutlu grid elemanına piksel, üç boyutlu grid elemanına da voksel ismi verilir.



Şekil 2.14 Grid yapı

Gridlerin çözünürlüğü grid yardımıyla gösterimin hassasiyetini belirler. Gridlerin büyüklüğü gridler ile yapılan detaylı analizler ve gridlerin oluşturulmasında kullanılan verilerin detayına bağlıdır. Gridler gösterilmek istenen en küçük detaya izin verecek kadar küçük, aynı zamanda bilgisayarda uygun bir biçimde depolanacak ve gerekli analizleri gerçekleştirmeye izin verecek kadarda büyük olmalıdır (Yastıklı, 2009). Gridler yardımıyla arazi gösterimi uygulamada çok kullanılan bir yöntemdir. Zaman kaybının az olması ve analiz için yeterli olması nedeniyle kullanım alanı genişlemiştir.

2.3.3 Eş Yükseklik Eğrisi İle Gösterim

Eş yükseklik eğrileri aynı yükseklikteki noktaları birbirine bağlayan eğridir. Yükseklik aralıkları sonuç ürün yani harita ölçeğine bağlı olarak değişir. (Yastıklı, 2009)

2.4 Sayısal Yükseklik Modelleri Kullanım Alanları

Günümüzde Sayısal yükseklik modeli her bilim alanında analiz ve görselleştirme amacıyla sıklıkla kullanılmaktadır ve bu ihtiyaç çerçevesinde gelişimini sürdürmektedir. Kullanılan verinin doğruluğuna ve kalitesine göre kullanım alanı değişmektedir. Mesleğimizde kendi başına bir ürün olmakla beraber kartografik üretim, otomatik münhane çizimi, ortofoto üretimi gibi alanlardaki kullanımı ilk adımda düşünülmektedir. Yaygın olarak kullanım alanları aşağıda özetlenmiştir.

2.4.1 Yer Bilimleri

- Otomatik eş yükseklik haritalarının yapımı,
- Gravimetrik yerey düzeltmesi hesabı,(Yer kabuğunun oluşumu bakımından ele alınan herhangi bir parçası.)
- Gravite, gravite anomalisi, bouguer anomalisi, isostatik anomali, jeoit yüksekliği, çekül sapması kestirimi,
- Doğal afet, erozyon hasar çalışmaları,
- Arazi drenaj ağı analizi,
- Eğim haritalarının yapımı,
- Görünürlük analizi ve profil çizimi,
- Gravite alanının modellendirilmesi ve yoğunluk hesabı,
- Arazi düzenleme çalışmaları,

- Otomatik ortofoto üretimi için veri hazırlama çalışmaları,
- Tek resimlerin sayısal değerlendirilmesi,
- Büyük ölçekli haritaların revizyonu ve ortofoto haritaların yenilenmesi,
- Sayısal bilgi bankalarının oluşturulması,
- Gölge ve kabartma harita yapımı.

2.4.2 Projelendirme ve Mühendislik Alanında

- Kazı-dolgu ile ilgili hacim hesabı,
- Yol güzergâhlarının belirlenmesi,
- Kavsak yerlerinin belirlenmesi, yol geliştirme projelerinin hazırlanması,
- Tren yolları ile hızlı ulaşım sistemlerinin tasarımı,
- Kanal ve nehir sulama sistemlerinin tasarımı,
- Havaalanı, Tünel, Baraj inşaatı tasarımı,
- Arazi düzenleme çalışmaları,
- Su toplama ve su taşıma problemlerine yönelik toprak analizleri.

En genel anlamda planlama, analiz, maliyet gibi konularda arazi hakkında bilgiye ihtiyaç duyulan bütün disiplinlerde kullanılmaktadır.

3. DOĞRULUK VE KALİTE DEĞERLENDİRME

3.1 Genel Tanım

Doğruluk, “bir büyüklüğün, doğru veya doğru olduğu kabul edilen değerle, bir analitik sonuç arasındaki yakınlığın bir ölçüsü” olarak tanımlanır (TDK Sözlüğü). Haritacılıkta da doğruluk kavramı; her hangi bir arazi ölçmelerinin, bu algılama sistemleri ile elde edilen ölçmeler, tamamlanmış bir harita üzerinden yapılan ya da Jeodezik yöntemle olabilir, belli bir doğruluk seviyesine kadar yapılmış ölçülerle karşılaştırılarak elde edilen sonuç olarak tanımlanabilir. Uygulamada mutlak doğru bir harita olmayacağı gibi SYM’ lerde de mutlak doğruluktan bahsedilemez. Mutlak doğruluk kavramı sadece arazinin kendisi olarak tanımlanır.

Bu bilgiler ışığında SYM’ nin doğruluğundan bahsederken; bağımsız yüksek doğruluğa sahip referans veri ile test edilen veri arasındaki hataların bir fonksiyonu olarak doğruluk değeri belirlenir diyebiliriz. Elde edilen doğruluğu da bağıl doğruluk olarak tanımlayabiliriz. Düşey doğruluktan bahsederken; düşey doğruluğun yatay çözünürlüğün bir fonksiyonu olduğu da unutulmamalıdır.

3.2 Sayısal Yükseklik Modelinin Doğruluğu

SYM’ nin bağıl doğruluğu, kendisinden daha doğru bağımsız bir referans veri ile karşılaştırılması sonucu ortaya çıkan Karesel Ortalama Hata (KOH) ile belirlenir. Bu karşılaştırma farklı veri kaynakları ile elde edilen SYM’ ler için noktasal, eğri ve piksel değerlerinin karşılaştırılması ile yapılır. Karşılaştırma sonucunda elde edilen hata değeri doğruluğun istenen düzeyde olup olmadığına karar verilmesine yardımcı olur.

$$KOH_x = \sqrt{\left[\sum (x_{veri,i} - x_{kontrol,i})^2 / n \right]} \quad (3.1)$$

Karesel ortalama hatadan doğruluğun hesaplanması için istatistiksel bağıntılar kurulmaktadır. Hatanın normal dağılımlı olduğu varsayılarak belirli bir güven aralığında doğruluk değeri hesaplanmaktadır. Uluslar arası standartlarda da yer aldığı üzere hata ile doğruluk arasında istatistikte en çok kullanılan %95 güven aralığında 1.96 katsayısı kullanılarak bir bağıntı oluşturulmaktadır. 1.96 değeri istatistik de %95 güven aralığında çift yönlü test kritik değeridir. Bu sabit değer normal dağılım grafiğinden çıkarımı yapılan ve ± 3.49 aralığında değişen bir değerdir. %95 güven aralığında örneklerin ortalaması evren parametresinden 1.96 standart hata uzaklıktadır olarak da açıklanabilir.

Her iki yüzeyin eşlenik noktalarındaki bağıl yüksekliklerine bağlı olarak pozitif veya negatif bir işaret alabilirler. Elde edilen veriler, daha sonra doğruluğun istatistiksel ifadesini elde etmek için kullanılabilir (Erdoğan, 2007).

Düşey doğruluğun belirlenmesi ortalama karesel hatanın (KOH) belirlenmesine ve düşey doğruluğun yatay doğrulukla doğrudan ilişkili olduğu daha önce ifade edilmişti. Bu yüzden düşey doğruluğu analiz ederken sadece düşeydeki hata miktarına değil yataydaki hata miktarına da bakmak gerekir. Haritada yüksekliğin temsili için belirlenmiş doğruluklar çoğunlukla, bu yüzyılın başında Koppe tarafından gerçekleştirilen çalışmalara dayanmaktadır. Koppe yükseklik hatalarının eğimle doğrudan ilişkili olarak arttığını göstermiştir ve aşağıdaki ifadeleri ortaya çıkarmıştır (Şekil 3.1). Burada α , eğim açısıdır.

KOH yükseklikte $M_h = \pm(A + B \tan \alpha)$



Şekil 3.1 Eğim-Hata ilişkisi

Yükseklik hatası M_h , düşük eğimlerde dik eğimlere oranla daha küçüktür. Buna rağmen, planimetrik hata M_p düşük eğimlerde daha büyüktür.

Çizelge 3.1 Eş yükseklik eğrili haritalarda hata (Erdoğan, 2007)

Ölçek	Eş yükseklik eğrisi aralığı (metre)	M_h (metre)	M_p (metre)
1:1000	1	$\pm(0.1+0.3 \tan \alpha)$	$\pm(0.1+0.3 \cot \alpha)$
1:5000	5	$\pm(0.4+3 \tan \alpha)$	$\pm(3+0.4 \cot \alpha)$
1:10 000	10	$\pm(1+5 \tan \alpha)$	$\pm(5+ \cot \alpha)$
1:25 000	10	$\pm(1+7 \tan \alpha)$	$\pm(7+ \cot \alpha)$
1:50 000	20	$\pm(1.5+7 \tan \alpha)$	$\pm(10+1.5 \cot \alpha)$

3.3 Doğruluğu Etkileyen Faktörler

SYM' nin doğruluğunu etkileyen birçok faktör vardır. Bunlardan en önemlileri verinin hangi ölçekte üretildiği, kaynağı ve çözünürlüğüdür. Düşey doğruluk yatay çözünürlüğün bir fonksiyonu olduğu için doğrudan etkilidir. SYM verisi elde etmede kullanılan veri kaynağının bazı teknik kısıtlamaları vardır. Kaynağın, özellikle uydu görüntülerinin algılayıcı sisteminin standart çözünürlüğe ve ölçeğe sahip olması, tek tip veri üretimine imkan sağlamaktadır. Bu yüzden üretim kabiliyeti ve beklenen doğrulukta algılayıcı sistemin teknik özelliklerine göre kısıtlanmaktadır.

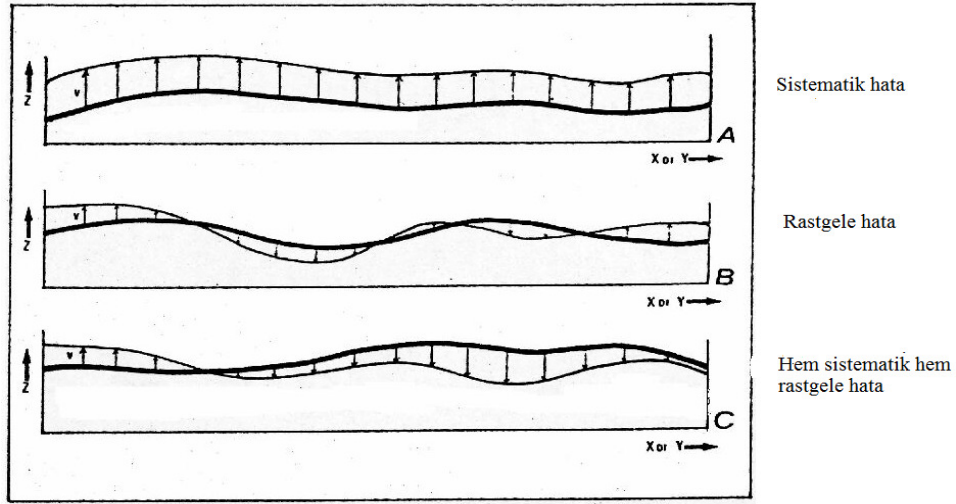
Tüm aktif ve pasif algılama sistemleri ile veri elde etme yöntemlerin de görüntünün alımından başlayarak işlenmesi, veri toplama aralığı, gösterim yapısı, seçilen enterpolasyon yöntemine kadar her aşaması SYM' nin doğruluğunu ve kalitesini doğrudan etkilemektedir.

Bunun yanı sıra bu verinin toplandığı veya toplayan kişi ya da sistemlerinde hataya müsait olması, elde edilecek doğruluğu etkilemektedir. Arazi yapısının bozuk olması, aşırı ormanlık veya eğimin fazla olması hata miktarını artırmakta aynı oranda kaliteyi azaltmaktadır.

Yukarıda bahsedilen faktörlerin yanı sıra verinin analiz yöntemi ve kullanılan yöntem dahi sonucu etkileyen bir faktördür. Anlaşılabacağı üzere SYM üretilecek verinin toplanmasından analize kadar geçen her bir işlem adımı sonrası hata katlanarak gideceği ve doğruluğu etkileyeceği için kaliteli SYM üretimi gerekmektedir. Bunun için de üretimin belirli standartlarda yani istenilen doğruluğu elde etmek için uygun kaynak, işlem adımları, analiz ve raporlanması gibi konuların önceden belirlenmesi uygun olur.

3.4 Hata Tipleri

Görünen hatalar 3 türdür. Kaba hata, Sistemik ve Rastgele hatalardır (Şekil 3.3). Kaba hatalar temel kısımlarda görülen hatalar olup, interaktif editleme sırasında kolayca ortadan kaldırılabilir. Sistemik hatalar sabit bir konum içeren hatalar olup, veri toplama yöntemleri ve sistemlerinden kaynaklanmaktadır. Bu hata çeşitleri şunları içerir: Düşey yükseklik kayıklıkları, ağaçlara, binalara ve gölgelere bağlı arazi yüzeyinin yanlış yorumlanması, hayali kayalıklar, zirveler ve hendekler. Rastgele hatalar, bilinmeyen veya tesadüfî olaylardan kaynaklanırlar. Bu hataların büyüklüğü editleme ile azaltılır. Fakat tamamen ortadan kaldırılamaz



Şekil 3.2 SYM hata tipleri (Erdoğan 2007)

Şekil 3.3-A, bir yüzeyin diğerinden sabit olarak yüksek olduğu durumu göstermektedir. Her noktadaki v değeri sabittir ve verilen datum seviyesine göre pozitif veya negatif olabilir. Bu durum; bir yüzeyin diğerine göre tamamen kayıklığını yansıtmaktadır.

Şekil 3.3-B, hem büyüklük hem de aritmetik işaret olarak v değerinin tamamen rastgele değerlerini göstermektedir. Oldukça büyük bir örnekleme aralığında X 'in değeri sıfıra eşit veya çok yakın olacaktır ve yükseklik farklarının değerlerinin dağılımı ve büyüklüğü karesel ortalama hata ile ifade edilecektir.

Şekil 3.3-C durumunda ise, v 'nin büyüklüğü oldukça fazla değişir, fakat farkların çoğunluğu bir yöndedir. Bu durum hem sistematik hataların, hem de rastgele hataların birlikte bulunduğu durumu göstermektedir. X 'in değeri bu durumda sistematik elemanı belirtecektir ve S de farkların dağılımı ve büyüklüğünü gösterecektir. Burada X değerinin SYM yüzeyindeki sistematik hataları gidermek için her grid noktasındaki yüksekliğe uygun şekilde ekleyerek veya çıkartarak kullanılabileceğini belirtmek yerinde olacaktır. Her noktada kalan farklar, artık bütün doğada rastgele dağılmış olacaktır (Erdoğan, 2007).

3.5 SYM lerinin Kalite Değerlendirmesi

SYM' nin kalitesinin değerlendirilmesinde sonuç ürünün elde edilmesine kadar geçen bütün veri işlemleri, standartlar, kurallar ve teknik özelliklerin belirlenmesinin yanı sıra ürünün sunulması, raporlanması kalite kontrolün kapsamını oluşturur. En temel değerlendirme konusu doğruluğun saptanmasıdır. Üretilen verinin kalitesi kontrol edilirken, doğruluk ya da hatanın saptanmasından sonra kullanıcının isteğine uygun olarak otomatik ya da operatör

tarafından yapılan düzeltmelerde kalite kontrolün bir aşamasıdır. Ayrıca kalite'nin belirlenmesi için yapılan doğruluk analizlerinin sonuçlarının raporlanması da kalite değerlendirme aşaması olarak verilebilir. Kısacası üretilen SYM' nin hem nitel hem nicel özelliklerinin belirlenmesi olarak tanımlanabilir.

Ülkemizde üretilen verilerin kalite standartları açısından Büyük Ölçekli Harita ve Harita Bilgileri Üretim Yönetmeliği ile uluslararası veri üretim ve değerlendirme yönergelerine baktığımızda üretilen verinin bir kimliği oluşturulmakta ve kullanıcı amaca uygun kalitedeki veriyi bu şekilde belirlemektedir.

Bu formlara örnek olarak farklı kaynak ve yapıdaki SYM' nin kalite değerlendirmesine etken olan bütün faktörler ve doğrulukları hakkında NDEP' in hazırladığı form örnek olarak verilebilir (Çizelge 3.2).

Çizelge 3.2. Kalite değerlendirme formu

General Surface Description (choose one or more)	
Elevation Surface (1.2.1)	Elevation Type (choose one) (1.2.2)
☐ Digital surface model (first reflective surface) ☐ Digital terrain model (bare earth) ☐ Bathymetric surface ☐ Point cloud ☐ Mixed surface	☐ Orthometric height ☐ Ellipsoid height ☐ Other _____
Model Types (1.3) (choose one or more) * Designate either feet or meters	
☐ Mass points ☐ Grid (post spacing = _____ feet/meters) * ☐ Breaklines ☐ Grid (post spacing = _____ arc-seconds) ☐ TIN (average point spacing = _____ feet/meters) *	☐ Contour interval = _____ ft / m * ☐ Cross Sections ☐ Other (For example, concurrent image capture)
Source (1.4) (choose one)	
☐ Cartographic ☐ Photographic ☐ IFSAR ☐ LIDAR ☐ Sonar If Multi-return system: ☐ First return ☐ Last return ☐ All returns	
Vertical Accuracy (1.5.1.1) (choose one)	
☐ Fundamental Vertical Accuracy_z = _____ (ft or meters) at 95 percent confidence level in open terrain = $RMSE_z \times 1.9600$ ☐ Supplemental Vertical Accuracy_z = _____ (ft or meters) = 95th percentile in other specified land cover categories ☐ Consolidated Vertical Accuracy_z = _____ (ft or meters) = 95th percentile in all land cover categories combined	
Horizontal Accuracy (1.5.1.2) (choose one)	
☐ Accuracy _r = _____ ft or meters Horizontal accuracy at the 95 percent confidence level ($Accuracy_r$) = $RMSE_r \times 1.7308$	
Surface Treatment Factors (1.5.4) (optional – refer to the text)	
Hydrography	Artifacts
Man-made structures	Special Surfaces
Special earthen surfaces	
Horizontal Datum (1.6.1) (choose one)	Vertical Datum (1.6.2) (choose one)
☐ NAD 83 (default) ☐ WGS 84	☐ NAVD 88 (default) ☐ MSL ☐ MLLW ☐ Other _____
Geoid Model (1.6.3) (choose one)	☐ GEOID03 ☐ Other _____
Coordinate System (1.7)	☐ UTM zone _____ ☐ State Plane zone _____ (choose one) ☐ Geographic ☐ Other _____
Units (1.7) Note: For feet and meters, vertical (V) units may differ from horizontal (H) units	
☐ Feet to _____ decimal places ☐ V ☐ H ☐ Decimal degrees to _____ decimal places ☐ Meters to _____ decimal places ☐ V ☐ H ☐ DDDMMSS to _____ decimal places Feet are assumed to be U.S. Survey Feet unless specified to the contrary	
Data Format (1.8) (Specify desired format(s) for each Product Type. See text for examples.)	
Product 1 _____	Formats _____
Product 2 _____	Formats _____
Product 3 _____	Formats _____
File size (1.9) (specify acceptable range) _____ Mb / Gb / Other _____	
File Extent	
Boundary: _____ Rectangular _____ NonRectangular	
x-dimension _____ m / ft. / degrees / other _____	Bndry name _____
y-dimension _____ m / ft. / degrees / other _____	Coordinate source _____
Over-edge buffer width: _____	
Metadata compliant to the “Content Standards for Digital Geospatial Metadata” is highly recommended.	

4. STANDARTLAR

SYM lerin kalite değerlendirme ve doğruluk analizlerine ilişkin uluslararası standartlar incelenmiş ve özet bilgiler sonraki bölümde verilmiştir.

4.1.1 Ulusal Harita Doğruluk Standartları (NMAS–1947)

NMAS 1947 yılında Amerika Birleşik Devletleri Bütçe Bürosu tarafından üretilen haritaların doğruluklarının belirlenmesi için geliştirilen standartlardır. Kalite standartlarının ilk örneği olarak verilebilir ve daha sonraki standartların geliştirilmesinde de kaynak olarak gösterilmektedir.

4.1.1.1 Konumsal Doğruluk

1/20000 den büyük ölçeğe sahip haritalar için, test edilen noktaların %10 dan fazla olmayan kısmında yani maksimum %10'luk kısmında 1/30 inç=0.8 mm' lik bir hata olabilir. 1/20000 den küçük ölçeğe sahip haritalarda bu hata sınırı 1/50 inç=0.5 mm olarak belirlenmiştir. Bu limitler sadece iyi seçilebilen noktalar(Well-Defined Point) için geçerlidir. İyi seçilebilen noktalardan kasıt yer yüzeyini içeren, yüksek konumsal doğruluğa sahip ve iyi görülüp seçilebilen detaylardır. Bunlara örnek olarak mülkiyet sınırı, demiryolu kesişimleri veya kavşak kenarları verilebilir.

4.1.1.2 Düşey doğruluk

Üzerinde yükseklik eğrisi bulunan herhangi bir ölçeğe sahip haritalar için kabul edilebilir. Test edilen noktaların maksimum %10 unun hatası eğri aralık değerinin yarısından fazla olamaz. Düşey doğruluk yatay doğrulukla doğrudan ilişkili olup doğru orantılı değiştiği kabul edilmektedir. Yapılacak doğruluk analizlerinin üretici firma tarafından ortaya konması ve bunu yaparken de noktaların konumlarının ya da yüksekliklerinin karşılaştırma yöntemiyle yapılması tavsiye edilmiştir.

4.1.2 Büyük Ölçekli Haritaların Doğruluk Standartları (ASPRS-1990)

Bu standartlar Amerika Fotogrametri ve Uzaktan Algılama Birliğinin Teknik Özellikler ve Standartlar komitesi tarafından geliştirilmiştir. Bu standartlar NMAS ı kendisine kaynak alıp revize edilmesi ile oluşturulmuştur. Özel amaçlı ya da mühendislik uygulamaları için hazırlanan büyük ölçekli topoğrafik haritalara ait mekânsal doğruluk tanımlarını da

içermektedir. Düşey doğruluğun yatay doğruluğun bir fonksiyonu olduğu düşünülmektedir bu nedenle hem yatay hem düşey doğruluk standartları aşağıda verilmiştir.

4.1.2.1 Konumsal doğruluk

Yatay harita doğruluğu RMSE (Root Mean Square Error) yani Karesel Ortalama Hata (KOH) ile ifade edilir. KOH hataları; yer kontrol ölçümleri veya referans veri ile üretilen harita ya da SYM' nin arasındaki farkların toplamının ortalamasının kareköküdür. Sınırlayıcı KOH hataları, bu standart tarafından belirlenmiş maksimum kabul edilebilir KOH hatalarıdır. 1. Sınıf haritalar için bu sınırlayıcı KOH hataları ile karakteristik harita ölçekleri birlikte Çizelge 4.1' de verilmiştir. Bu doğruluk limitleri sadece iyi tanımlanmış noktalar üzerine yapılmış testlere uygulanır.

Çizelge 4.1 ASPRS göre ölçek ve konumsal doğruluk

1.Sınıf Haritalar için Konumsal Doğruluk KOH (Metre)	Ölçek
0.0125	1:50
0.025	1:100
0.050	1:200
0.125	1:500
0.25	1:1,000
0.50	1:2,000
1.00	1:4,000
1.25	1:5,000
2.50	1:10,000
5.00	1:20,000

4.1.2.2 Düşey doğruluk

Düşey harita doğruluğu sadece iyi tanımlanmış noktaların düşey datumun da ki KOH hatası olarak tanımlanır. 1. Sınıf haritalar için yükseklikteki KOH hatası sınırları sadece iyi belirlenmiş noktalar için yükseklik eğrisi aralığının 1/3'ü kadar olacağı belirlenmiştir. Yükseklik noktaları için de bu yükseklik eğrisi aralığının 1/6'sı değerinde bir KOH hatası olabileceği söylenmektedir.

4.1.2.3 Harita sınıfları

Üretilen sonuç ürünler doğruluklarına göre şu şekilde sınıflandırılır. KOH hata sınırı içerisinde kalanlar 1. sınıf, hata değeri KOH limitini 2 kata kadar aşanlar 2. sınıf ve aynı mantıkta eğer hata değeri KOH değerini 3 kata kadar aşmış ise 3. sınıf olarak nitelendirilir.

4.1.2.4 Doğruluk testleri

Haritanın uygunluğunun araştırıldığı testler tercihe bağlıdır. Yatay doğruluğun uygunluk testleri; yüksek doğruluğa sahip yatay kontrol noktaları ile aynı koordinattaki iyi seçilmiş test noktalarının planimetrik koordinatlarının karşılaştırılması ile yapılır. Bu düşey doğruluk içinde geçerlidir. Yüksekliği kontrol etme amacıyla noktaların haritadaki konumları sınırlayıcı KOH' nın iki katına eşit derecede herhangi bir yönde ötelenir. Harita ve kontrol yüzeyi üzerindeki noktaların X, Y ya da Z koordinatları arasındaki farklılık KOH limitinin 3 katından fazlaysa kaba hata olarak belirtilmeli ve bu standartları dikkate alınarak düzeltilmelidir. En az 20 kontrol noktası kullanılmalı ve üretilen haritalara ait mekânsal doğruluk standartları bir başlık ile belirtilmelidir. Örneğin; Bu Harita ASPRS' nin 1. sınıf harita doğruluk standartlarına uygun olarak düzenlenmiştir.

ASPRS 90 Standartlarının Ana Başlıkları;

- Haritalar sınıflara ayrılmıştır,
- Yatay ve düşey doğruluk için KOH hata limitleri kullanılır,
- KOH hataları uzunluk ölçüsü ile belirtilir. NMAS' daki gibi feet ya da metre ölçütleri kullanılır,
- Düşey hatalar yatay hataların bir fonksiyonudur,
- Test noktaları iyi seçilmiş olmalıdır.

4.1.3 Ulusal Mekansal Veri Standartları (FGDC-1998)

U.S. deki kamu kuruluşları tarafından oluşturulan Federal Coğrafi Veri Komitesi tarafından mekânsal dataların doğruluğu üzerine hazırlanmış standartlardır. Faaliyet alanı olarak coğrafi olarak referanslandırılmış haritalar, sayısal veriler yani raster, vektör ve nokta detayları kabul eder. Bu standartlar “veri kullanılabilirlik standartları” olarak sınıflandırılmış ve veri kalitesi, değerlendirme, doğruluk araştırması ve raporlama teknikleri olarak sıralanmıştır. Burada

“Mekansal Veri Doğruluğu İçin Standartlar” NSSDA olarak tanımlanmış ve içerik olarak noktaların doğruluğu, uygulanan yöntemleri incelenmiştir.

4.1.3.1 Yatay ve düşey doğruluk

NSSDA konum doğruluğu için KOH değerini kullanır ve doğruluk %95 güven aralığı içerisinde belirlenir. Yatay doğruluk iyi seçilmiş noktaların planimetrik koordinatları (X, Y) karşılaştırılarak test edilir. Bu karşılaştırma yüksek doğruluğa sahip referans veri ile analizi yapılan veri arasında yapılır. Aynı şekilde düşey doğruluğun analizi de 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.

Eğer test bölgesinde 20 den az nokta var ise, doğruluk değerlendirmesi için alternatif metotlar belirlenmiştir. Bu metotlar şunlardır.

- Tümdengelimli Tahmin
- İç delil
- Kaynak Karşılaştırma

4.1.3.2 Doğruluğun raporlanması

Test verisi yükseklik bilgisi içermiyorsa sadece yatay doğruluğa bakılır. Aynı şekilde sadece yükseklik bilgisi varsa düşey doğruluk araştırması yapılır. Örneğin grid yapıda yükseklik verisi varsa, belirgin noktalar (well-define point) olmadığından sadece yüksekliğin doğruluk analizi yapılabilir. Veri kümesinin doğruluk testleri ve doğruluğun raporlanması kullanıcıya farklı kaynak, ölçek ve çözünürlükteki verilerin doğrudan karşılaştırılmasına olanak sağlar.

Bir veri kümesi farklı doğruluklar da sınıflar veya coğrafi alanlar içerebilir. Bu tarz birleşik bir veri kümesinin doğruluk raporlanması için aşağıdaki kurallar kullanılabilir.

- Bir veri kümesindeki farklı doğruluklar ayrı ayrı tanımlanabiliyorsa, doğruluk değerleri her bir sınıf için hesaplanıp ve raporlanmalıdır.
- Veri kümesi birleşik haldeyse yani doğruluklar ayrı ayrı tanımlanamıyorsa ve veri kümesi test edilmişse birleşik olduğunun vurgusu yapılarak raporlama yapılır.
- Eğer birleşik veri test edilmemişse doğruluğu en küçük değere göre raporlama yapılır.

Kullanılan SYM' nin uzunluk ölçü birimi metre ise raporlama metre cinsinde verilir. Doğruluğun raporlanması 2 şekilde sunulur. Eğer referans veri yeterli doğruluğa sahipse ve test bölgesinde 20 ve daha fazla kontrol noktası bulunuyorsa analiz raporu “test edildi” ibaresi ile başlar. Bununla birlikte kontrol noktası yetersiz ise yani farklı bir test metodu kullanılıyorsa ya da referans veri yeterli doğruluğu sağlamıyorsa o zaman test sonucunun raporlanmasında “karşılık için derlenmiş” ibaresi kullanılır.

4.1.3.3 Yatay doğruluk

$$KOH_x = \sqrt{\left[\sum (x_{veri,i} - x_{kontrol,i})^2 / n \right]} \quad (4.1)$$

$$KOH_y = \sqrt{\left[\sum (y_{veri,i} - y_{kontrol,i})^2 / n \right]} \quad (4.2)$$

$x_{veri,i}$ ve $y_{veri,i}$ i test verisine ait i 'inci koordinat değeri, $x_{kontrol,i}$ ve $y_{kontrol,i}$ referans veriye ait i 'inci koordinat değeri, n değeri test edilen nokta sayısı, i 1 ile n arasındaki sayı değerleri

$$KOH_r = \sqrt{KOH_x^2 + KOH_y^2} \quad (4.3)$$

Eğer KOH_x ve KOH_y değerleri birbirine eşit ise

$$KOH_r = 1.4142 \times KOH_x = 1.4142 \times KOH_y \quad (4.4)$$

Hatalar sistematik olarak dağılımlı ise KOH ve doğruluk arasında %95 güven aralığına göre 2,4447 değerinde bir katsayı tanımlanmıştır (Greenwalt ve Schultz, 1968). Buna göre

$$\text{Doğruluk } r = 2.4477 \times KOH_r / 1.4142 \quad (4.5)$$

$$\text{Doğruluk } r = 1.7308 \times KOH_r \quad (4.6)$$

4.1.3.4 Düşey Doğruluk

$$KOH_z = \sqrt{\left[\sum (z_{veri,i} - z_{kontrol,i})^2 / n \right]} \quad (4.7)$$

$z_{veri,i}$ = test verisine ait i 'inci yükseklik değeri, $z_{kontrol,i}$ = referans veriye ait i 'inci yükseklik değeri, n değeri test edilen nokta sayısı, i 1 ile n arasındaki sayı değerleri.

Buradaki 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.(Greenwalt ve Schultz, 1968).

$$\text{Doğruluk } z = 1.96 \times KOH_z$$

olarak hesaplanır. (4.8)

4.1.3.5 NMAŞ ve NSSDA Arasındaki Düşey Doğruluk Bağlantısı

NMAŞ da düşeydeki kontrol; maksimum hata sınırı verilerek eş yükseklik eğrileri için belirlenmiştir. Buradan yola çıkarak, hatanın normal dağılımlı olduğu varsayılırsa %90 güven aralığına göre maksimum hata ile doğruluk arasındaki katsayı 1,6449 olduğu hesaplanmıştır (Greenwalt ve Schultz, 1968).

$$VMAS = 1.6449 \times KOH_z \quad (4.9)$$

Bu değerden yüksekliğe ait doğruluk;

$$\text{Doğruluk } z = 1.96 / 1.6449 \times VMAS = 1.1916 \times VMAS \quad (4.10)$$

olarak hesaplanır.

4.1.3.6 NSSDA Standartlarının Ana Başlıkları

- NMAŞ gibi SYM kavramından önce tanımlanmamış, SYM tanımından sonra geliştirilen ve günümüzde de kabul gören doğruluk standartlarıdır.
- Doğruluk değeri KOH_z ve Doğruluk z olarak tanımlanır.
- KOH_z ve Doğruluk z değerleri metre ya da feet olarak belirtilir. NMAŞ da inch olarak sunulmaktaydı.
- Doğruluğun raporlanması %95 güven aralığında olur.
- Hatalar normal dağılımlı ise NMAŞ Düşey doğruluk için verdiği kriter KOH cinsinde $NMAŞ = 3.2898 \times KOH_z$ olarak hesaplanır.
- Düşey hatalar NMAŞ ve ASPRS' deki gibi ötelenerek giderilemez.

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

Amerika Birleşik Devletleri (ABD)' nde afet yönetimi üzerine kurulmuş bir kurumdur.

FEMA' nın çıkarmış olduğu yönergede kullanılan sayısal yükseklik veri setinin kalitesinin değerlendirilmesi ana konuyu teşkil etmektedir. SYM 'nin doğruluk analizi ve kalite değerlendirme üzerine arazi yapısını sınıflara ayırması ve her biri için ayrı bir değerlendirme yapması, bu konu üzerindeki çalışmalarda ayrı bir değerlendirme kıstası oluşturmuştur. Bu yönergenin dikkat çekici diğer bir tarafı da veri kaynağı olarak günümüz gelişmelerine paralel olarak LiDAR verisi kullanılarak üretilen SYM' ler üzerine de bilgi vermesidir. Yükseklik verisi üzerine geliştirilen standartlara baktığımızda; eş yükseklik eğrisi üzerine konulmuş doğruluk kriterleri zamanla günümüz şartlarına uygunluğunu korumak için birçok yükseklik veri türü için güncel hale getirilmiştir.

FEMA sel taşkınları ile ilgili çalışmasında 2 tip harita kullanmıştır. Açık alanlar için 2-foot(~61 cm) aralığına sahip eş yükseklik eğrili haritalar ve eğimli araziler içinde 4-foot (~122 cm) aralığına sahip eş yükseklik eğrili haritalardır. SYM 'yi açık alanlar ve eğimli araziler olmak üzere iki kısımda incelemiştir. Düşey doğruluk analizi için NSSDA in KOH ve doğruluk standartlarını kullanmaktadır, ancak NMAAS VE ASPRS standartları üzerinde de istatistiksel karşılaştırma, olanağı sunmaktadır.

Çizelge 4.2 NSSDA doğruluk kriterleri

NMAAS Eşyükseklik Eğrisi Aralığı	NMAAS VMAS %90 Güven Aralığı	NSSDA Düşey Doğruluk %95 Güven Aralığı	NSSDA KOH	ASPRS 1990 1., 2., 3., Sınıf KOH Limiti
2 feet	1 foot	1.2 feet	0.6 foot 18.5 cm	0.7 foot(sınıf 1) 1.3 feet(sınıf 2) 2,0 feet (sınıf 3)
4 feet	1 foot	2.4 foot	1.2 feet 27 cm	1.3 foot(sınıf 1) 2.7 feet(sınıf 2) 4.0 feet (sınıf 3)

FEMA' nın önemli noktalarını;

- Genellikle açık, düz sulak alanlar için 2 m nominal aralıklı DEM yada TIN yapıda yükseklik verisi kullanılır. Bu şekilde 2-foot eş yükseklik aralığına sahip haritalar için doğruluk; %95 güven aralığında 36.57 cm maksimum hata ile tanımlanmıştır. Eğimli arazide ise 4 m nominal aralıklı DEM yada TIN ve doğruluk da %95 güven aralığında 73.15 cm hata ile tanımlanmıştır.
- Sulak alanlarda düşey doğruluk farklı arazi sınıfları için ayrı ayrı test edilir ve minimum 3 sınıf altında değerlendirilir.

- Doğruluk testi için her arazi sınıfında minimum 20 adet test noktası gereklidir. Minimum 3 sınıf için bu sayı 60 dır. Test noktasının fazlalığı analiz sonucunda çıkan KOH değerine güveni artırır.
- Test noktaları açık ve düzgün eğimli arazilerde 5m de bir seçilmelidir. Eğim %20'yi aşmamalıdır. Yüzeyin doğruluğunu tanımlarken herhangi bir doğrusal enterpolasyon hatasına neden olmamak için test noktaları breaklinelara yakın seçilmemelidir.

4.1.5 Sayısal Yükseklik Verisi Yönergesi (NDEP-2004)

A.B.D de birçok kamu kuruluşunun katılımıyla 2004 yılında sayısal yükseklik modeli üzerine detaylı bir yönerge hazırlanmıştır. NDEP kendinden önceki standart ve kuralları günümüz şartlarına uygun hale getirmek için amacıyla yapılmıştır. NDEP oluşturulurken FEMA' nın çıkarmış olduğu yönergeyi temel alıp, ilçe ve yerel bazda ki kurumlarından ihtiyaçlarını göz önünde bulundurarak kapsamını genişletmiştir.

Bu yönerge farklı veri kaynaklarından üretilen SYM için, özellikle NSSDA' e ek olarak LiDAR ve İfSAR ile elde edilen veri seti hakkında da bilgi vererek, SYM' nin tüm üretim aşamaları ve kalite değerlendirme kriterlerini belirler.

Düşey Doğruluk ve hata kavramları burada NSSDA' in belirlemiş olduğu kriterlere göre hesaplanır ancak önceki yönergelerde olduğu gibi tüm standartlara bakılarak (NMAS, ASPRS) doğruluk analizleri yorumlanır.

Çizelge 4.3 NDEP doğruluk kriterleri

NMAS Eğri Aralığı	NMAS VMAS %90 Güven Aralığında Maksimum Hata Toleransı	NSSDA KOH _z	NSSDA Doğruluk _z %95 Güven Aralığında
1 ft	0.5 ft	9.25 cm	18.2 cm
2 ft	1 ft	18.5 cm	36.3 cm
4 ft	2 ft	37.0 cm	72.6 cm
5 ft	2.5 ft	46.3 cm	90.8 cm
10 ft	5 ft	92.7 cm	1.816 m
20 ft	10 ft	1.853 m	3.632 m
40 ft	20 ft	3.706 m	7.264 m
80 ft	40 ft	7.412 m	14.53 m

NDEP' de doğruluk farklı bölgelere göre değişmektedir. Hataların büyüklüğü dağılımın farklılığına göre 3 bölümde incelenir.

4.1.5.1 Temel düşey doğruluk

Bir veri kümesinin temel doğruluğu; sadece açık arazide seçili kontrol noktaları ile %95 güven aralığında KOH' in bir fonksiyonu olarak hesaplanır. Hesaplanan değerlerin raporlanması “test edildi__ (metre) Açık alanlarda temel düşey doğruluk %95 güven aralığında” şeklinde sunulur. Test edildi ibaresi Yukarıda NSSDA de raporlama metodu olarak açıklanmıştır.

4.1.5.2 Tamamlayıcı ya da birleştirilmiş düşey doğruluk

Temel doğruluğa ek olarak tamamlayıcı ya da birleştirilmiş doğruluk değerleri tanımlanmıştır. Ek doğruluk; her arazi sınıfı için birbirinden ayrı KOH ve doğruluk değerinin hesaplanmasıdır. Test raporunun sunumunda ek düşey doğruluk olduğu ve arazi sınıfının adı geçmelidir. Birleştirilmiş doğrulukta eğer çalışma alanında iki ya da daha fazla arazi sınıfı için 40 ya da daha fazla kontrol noktası varsa açık ve diğer sınıflarda oluşan birleştirilmiş bir doğruluk değerinden bahsedilebilir. Test raporunun sunumunda %95 güven aralığında birleşik düşey doğruluk olduğu ve hangi sınıfları kapsadığından bahsedilir.

4.1.5.3 Ana başlıklar (NDEP)

- NDEP FEMA' nın çıkarmış olduğu ve doğruluk araştırmasında da NSSDA' in belirlediği standartları baz almıştır. Ek olarak 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. Örneğin test edilen veri 2-foot eş yükseklik eğrisi aralığına sahip ve doğruluğu da 36.3cm (1.2 ft) ise referans veri doğruluğu 12.2cm (0.4ft) ya da daha iyi olmalıdır.
- Kalite kontrol için kontrol noktaları açık araziden seçilmelidir. Eğer arazi eğimli ise SYM' den her “x” metre aralıkla nominal aralıkla seçilir ve arazi eğiminin %20 den fazla olmamasına dikkat edilir.
- Her bir arazi sınıfı için en az 20 kontrol noktası gerekmektedir. Burada analizlerin ayrı sınıflarda yapılmasında ki amaç yükseklik veri setindeki sistematik hataların belirlenmesidir.

- Test edilen alanda ki referans veri eğer gerekli doğruluğu (test edilen veriden 3 kat daha doğru olmalıdır) sağlamıyorsa, analiz raporunda test edildi ibaresi yerine karşılamak için derlenmiş bir veri olduğu belirtilmelidir.

5. UYGULAMA

5.1 Test Alanı

Test alanı olarak seçilen İstanbul ili Türkiye' nin kuzey batısında yer almaktadır. Tüm İstanbul verisinin analizinde bazı kısıtlamalar olduğu için arazi sınıflarını içeren belirli bir bölgede çalışma yapılmıştır. İstanbul ili Avrupa yakasında seçilen bölge, Gaziosmanpaşa, Küçükçekmece, Esenler ve Eyüp ilçe sınırları içerisinde kalmaktadır. Çalışma bölgesi sınırları, ED-50 datumunda, 3 derecelik Tranverse Mercator projeksiyonu ve 30° dilim orta meridyeni esas alınarak Çizelge 5.1'de verilmiştir.

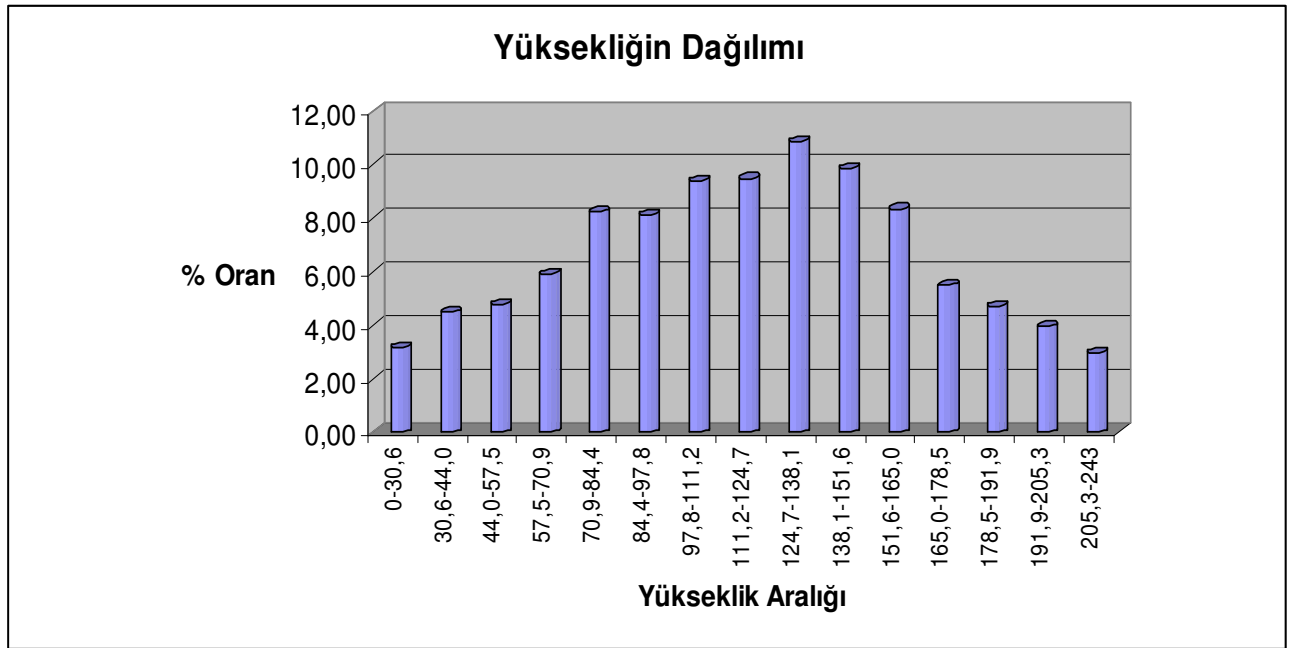


Şekil 5.1 Çalışma alanı

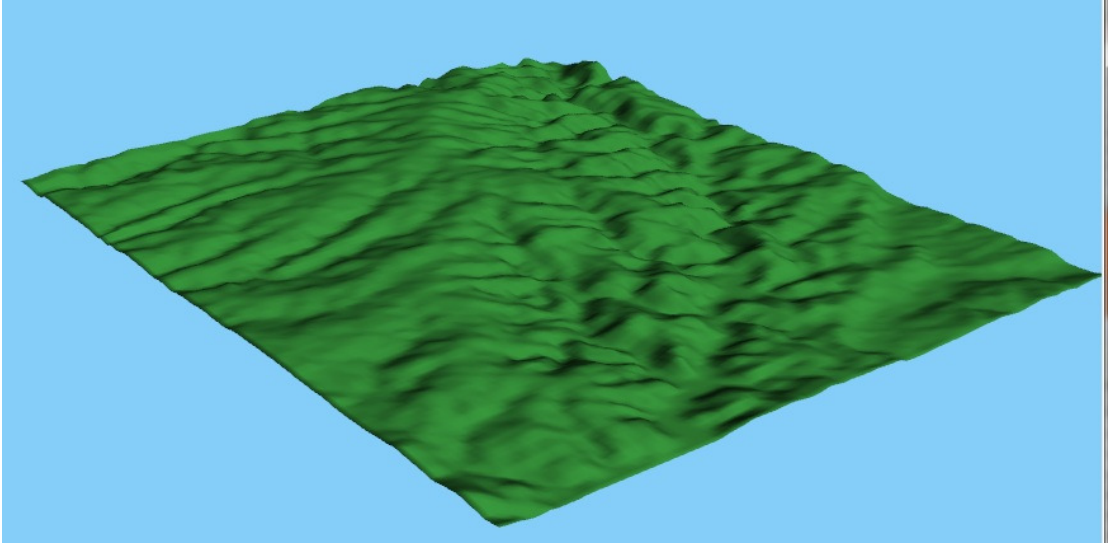
Çizelge 5.1 Çalışma alanı sınırları

	Sağa Değer	Yukarı Değer
Sol Üst Köşe	397071,764	4561648,299
Sağ Üst Köşe	409435,259	4561222,584
Sol Alt Köşe	396620,975	4550168,414
Sağ Alt Köşe	409090,184	4549684,476

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. Arazi topoğrafyası düz olmayan eğimli bir bölge seçilmiştir. Yükseklik dağılımları 0–243 m arasında değişmektedir. Şekil 4.2 de görüldüğü üzere yükseklik değerleri 70–165 m aralığında yoğunluk göstermektedir. Ortalama yükseklik ise 117 m dir.



Şekil 5.2 Yükseklik dağılımı



Şekil 5.3 Arazi yapısı

5.2 Veri Seti

SYM verisinin farklı kaynak ve yapıda elde edilmesi önceki konularda bahsedildiği gibi çeşitlilik göstermektedir. Çalışma bölgesi olarak seçilen İstanbul şehrinin Avrupa yakasında SYM üretimine olanak sağlayan kaynaklar kullanılmıştır.

Fotogrametrik yöntemle,

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

Uydu görüntüsü yardımıyla,

- SPOT SYM
- ASTER SYM

Radar Uydusu yardımıyla üretilmiş SYM,

- SRTM C-BAND SYM (2000)

Jeodezik yöntemle,

- C1 / C2 derece GPS ağı noktaları

Bunlara ek olarak çalışma bölgesinde Landsat uydu görüntüsü yardımıyla sınıflandırılması yapılmış veri seti kullanılmıştır. Çalışmada SYM üretimi üzerine durulmamış, bunun yerine

farklı kaynak ve ölçekte üretilen SYM' lerin kalite değerlendirme ve doğruluk analizleri sonuçları değerlendirilmiştir.

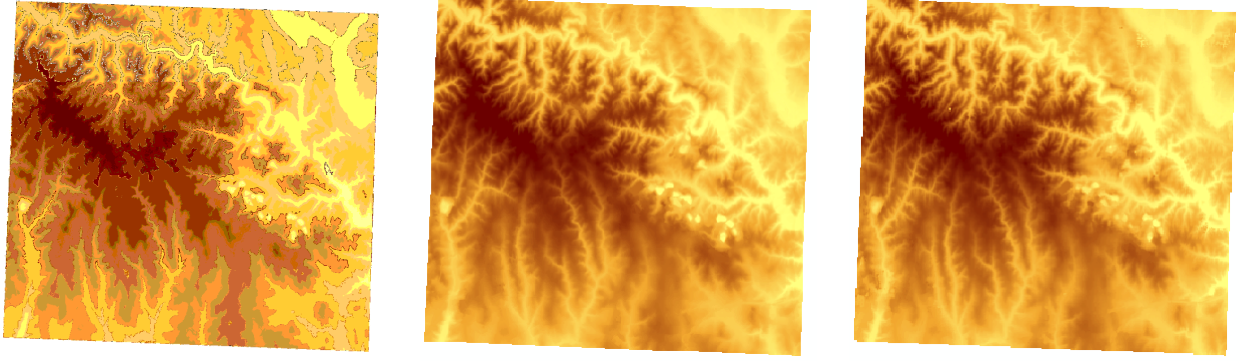
5.2.1 Fotogrametrik Yöntemle Üretilen SYM

Fotogrametrik yöntemle büyük alanlarda farklı ölçekler ve istenilen doğruluklar da harita ayrıca yan ürün olan SYM ve Ortofoto üretimi oldukça sık kullanılmaktadır. Bu yöntemle elde edilen görüntüler sayısal sistemlerde otomatik ya da yarı otomatik olarak belirli işlem adımlarından geçtikten sonra sonuç ürün ortaya çıkarılır.

Çalışmada 3m konumsal çözünürlüğe sahip İstanbul Büyükşehir Belediyesi tarafından yaptırılan 1/1000 ölçekli fotogrametrik haritalardan üretilmiş SYM referans veri olarak kullanılmıştır ve bu çalışmada SYM1000 olarak anılacaktır. Referans veri gibi fotogrametrik yöntem kullanılarak yapılmış 1/5000 ölçekli sayısal haritalardaki yüzey detaylarından üretilmiş SYM' ler test verisi olarak kullanılmıştır. Test edilen SYM' lerden ilki 30 m konumsal çözünürlüğe sahip grid yapıdaki yükseklik modelidir ve çalışmada SYM5000-30 olarak anılacaktır. Diğer test edilen SYM' de de 1/5000 ölçekteki sayısal haritalar kullanılmış ancak 5 m konumsal çözünürlükte örneklenerek hazırlanmıştır (SYM5000-5). SYM' lere ilişkin teknik özellikler Çizelge 5.2'de verilmiştir.

Çizelge 5.2 Fotogrametrik yöntemle üretilen SYM' lerin teknik özellikleri

Özellikler	SYM1000	SYM5000-30	SYM5000-5
Yöntem	Fotogrametrik	Fotogrametrik	Fotogrametrik
Ölçek	1/1000	1/5000	1/5000
Veri Formatı	Grid	Grid	Grid
Sütun	4291 piksel	429 piksel	2575 piksel
Satır	4075 piksel	400 piksel	2394 piksel
Piksel Boyutu	3 m	30 m	5 m
Radyometrik Çöz.	8 bit	8 bit	8 bit
Örnekleme Metodu	En Yakın Komşu	En Yakın Komşu	En Yakın Komşu



(a)

(b)

(c)

Şekil 5.4 SYM veri seti SYM1000 (a), SYM5000-30 (b), SYM5000-5 (c)

5.2.2 Uydu Görüntüsü Yardımıyla Üretilen SYM

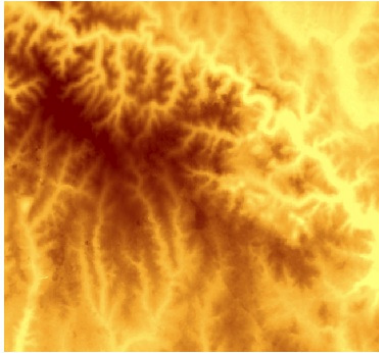
Doğruluklarını analiz etmek için SPOT ve ASTER uydu görüntülerinden elde edilen SYM kullanılmıştır. 2,5 m yer örnekleme aralığına sahip stereo SPOT görüntüleri yardımıyla 20m çözünürlüğe sahip grid yapıda üretilmiş olan SYM, çalışma alanını sınırlarına uygun çıkarılmış ve ortak koordinat sistemine çevrilmiştir. Veri seti farklı veri formlarına (örn: *.dat, *.tiff) dönüştürülerek saklanmıştır. Kullanılan veri seti çalışmada SPOTSYM adı ile anılacaktır. Analiz edilen diğer bir SYM ise stereo ASTER uydu görüntülerin üretilmiş 80 m çözünürlüğe sahip ASTER SYM' dir. Analizlerde kullanılan uydu görüntülerinden üretilmiş SYM' ler İBB Boğaziçi İnşaat Müşavirlik A.Ş (BİMTAŞ) tarafından sağlanmıştır.

5.2.3 SRTM Radar Uydusu Yardımıyla Üretilen SYM

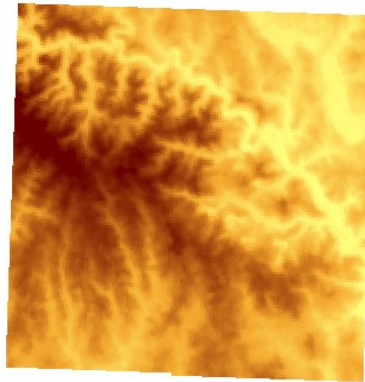
SRTM uydusu 11 Şubat 2000 tarihinde fırlatılmış, 11 gün gibi kısa bir sürede yer yüzeyine ait topoğrafik veriler toplayarak görevini tamamlamıştır. SRTM uydusu 2 bant da veri toplamıştır. Bunlardan ilki 30m yer örnekleme aralığına sahip X-Band, diğeri yaklaşık 92 m yer örnekleme aralığına sahip C-Band' tır. Ücretsiz olarak elde edilen C-Bandında alınan verilerle üretilen SYM çalışmada kullanılmıştır. WGS 84 datumun da üretilen SYM ler ortak koordinat sistemi olan ED-50 ye çevrilerek çalışma alanına uygun şekilde çıkarılmış ve farklı veri formlarında saklanarak kullanılmıştır. Kullanılan veri seti çalışmada SRTMSYM adı ile anılacaktır.

Çizelge 5.3 Uydu verileri ve Radar teknik özellikleri

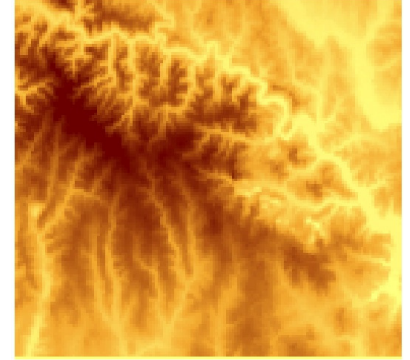
Özellikler	SPOT	ASTER	SRTM C-Band
Veri Formatı	Grid	Grid	Grid
Sütun	644 piksel	145 piksel	141 piksel
Satır	599 piksel	140 piksel	132 piksel
Piksel Boyutu	20 m	80 m	92 m
Radyometrik Çöz.	8 bit	8 bit	8 bit



(a)



(b)



(c)

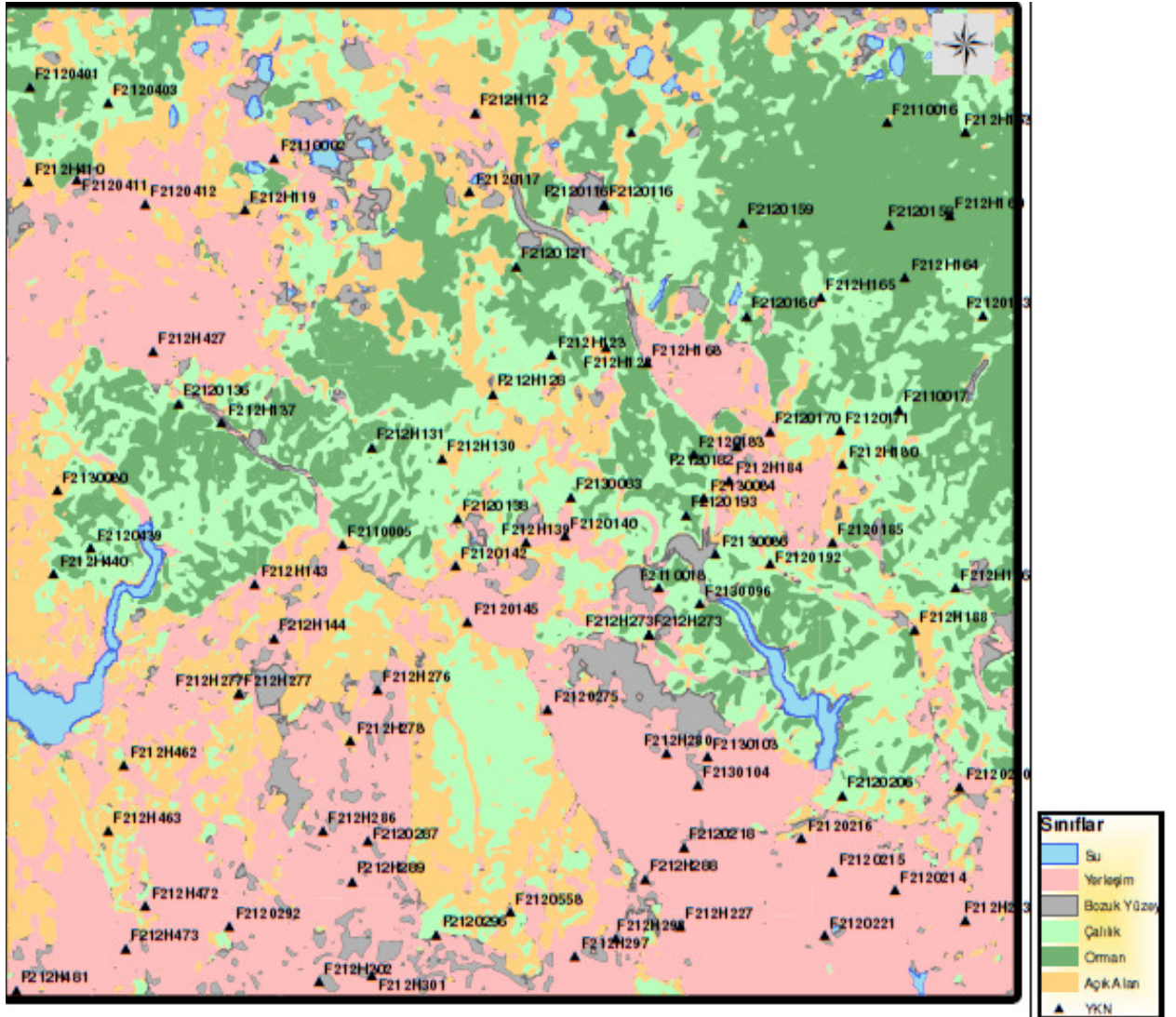
Şekil 5.5 SYM veri seti SPOT (a), ASTER (b), SRTM C-Band (c)

5.2.4 Jeodezik Yöntemle Elde Edilmiş C1-C2 Derece Noktalar

İstanbul ilinde Jeodezik çalışmaların yürütülmesi ve sayısal fotogrametrik haritalar üretmek amacıyla tesis edilmiş C1-C2-C3 derece tesisli noktalar kullanılmıştır. Referans SYM olarak kullanılan 1/1000 ölçekli sayısal fotogrametrik haritalardan üretilen SYM' yi test etmek için çalışma alanında toplam 96 adet C dereceli noktaların ED-50 datumundaki koordinatları ve Helmert ortometrik yükseklikleri kullanılmıştır (Çizelge 5.4). Bu noktalar BÖHHBÜY' deki standartlarda tesis edilmiş ve ölçülmüştür. Buna göre C1 ve C2' lerden beklenen doğruluk X,Y de ± 3.0 cm, Z de ± 5.0 cm dir. Kontrol Noktalarının sınıflara göre dağılımı Şekil5.6'da verilmiştir.

Çizelge 5.4 C1-C2-C3 derece yer kontrol noktaları

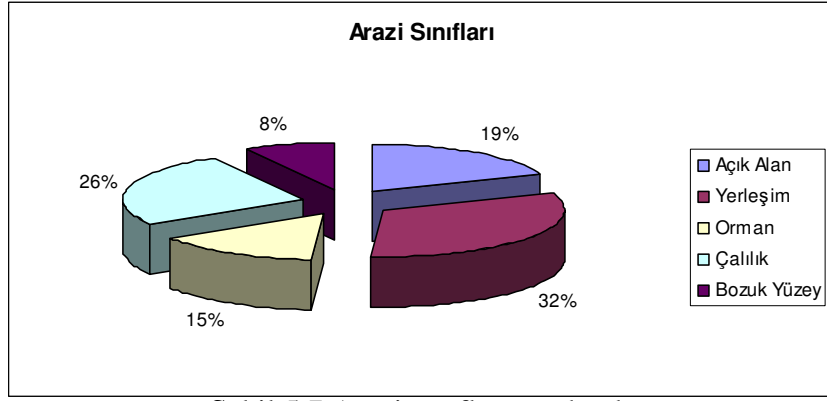
Sıra	Nokta Adı	Sağa Değer	Yukarı Değer	Ortametrik yükseklik	Sıra	Nokta Adı	Sağa Değer	Yukarı Değer	Ortametrik yükseklik
1	F2110018	405724.162	4556780.483	130.8976	48	F212H473	394017.287	4548990.152	86.419
2	F2110017	411008.060	4560625.731	69.4255	49	F212H481	391588.001	4548081.994	47.047
3	F2110016	410751.726	4566832.892	143.8154	50	F212H153	412449.852	4566616.932	206.028
4	F2110005	398771.151	4557720.302	241.6254	51	F2120182	407431.794	4559837.478	95.095
5	F212H130	400966.398	4559560.677	169.7232	52	F2120185	409550.670	4557756.763	54.181
6	F212H131	399413.944	4559799.366	178.5567	53	F2130080	392491.573	4558893.471	134.485
7	F2120116	404515.414	4565046.539	123.5556	54	F212H227	406205.286	4549478.160	147.987
8	F2120159	407580.878	4564650.795	128.5908	55	F2120218	406281.033	4551181.997	87.508
9	F2120158	410794.997	4564616.512	91.0223	56	F212H288	405413.409	4550496.168	124.736
10	F2120166	407650.653	4562641.142	113.6716	57	F212H301	399435.538	4548412.366	78.287
11	F212H160	412108.994	4564817.278	176.6889	58	F2120287	399334.268	4551312.482	108.762
12	F212H164	411146.760	4563482.587	139.3977	59	F212H286	398330.281	4551538.070	140.245
13	F2120163	412842.736	4562655.405	81.9272	60	F2120192	408176.858	4557296.333	56.011
14	F212H165	409284.995	4563059.014	55.0548	61	F212H184	407288.104	4559091.631	88.151
15	F2120170	408171.331	4560150.075	30.4351	62	F2120183	406483.334	4559659.097	101.839
16	F2120171	409700.881	4560176.190	104.3263	63	F2120292	396298.077	4549474.052	90.696
17	F212H180	409784.066	4559445.110	115.2874	64	F2120221	409378.930	4549281.220	113.961
18	F2120193	406333.340	4558348.930	106.4488	65	F212H302	398257.663	4548292.426	78.508
19	F2120200	412349.121	4552485.022	84.2814	66	F212H472	394451.911	4549911.410	97.908
20	F2120206	409762.381	4552287.545	65.7918	67	F212H277	396494.801	4554497.837	130.991
21	F212H276	399537.101	4554577.059	174.3841	68	F2120411	392939.564	4565590.680	131.311
22	F212H213	412485.062	4549609.065	91.6686	69	F212H410	391880.800	4565546.064	140.306
23	F2120214	410908.953	4550265.558	93.2763	70	F2120401	391888.735	4567583.295	137.937
24	F2120215	409560.603	4550647.891	114.6748	71	F212H119	396617.212	4564936.732	109.511
25	F2120216	408876.007	4551371.256	95.4124	72	F212H427	394608.555	4561873.974	177.983
26	F2120142	401266.693	4557260.829	202.5305	73	F2120136	395168.155	4560745.114	147.852
27	F212H139	402794.788	4557763.165	192.9157	74	F212H137	396134.939	4560342.979	177.001
28	F2120138	401310.948	4558267.082	176.5494	75	F212H122	404558.440	4561964.501	132.793
29	F212H128	402063.203	4560956.860	104.7701	76	F2120116	404515.414	4565046.539	123.556
30	F2120275	403295.804	4554152.072	193.1588	77	F2120403	393606.048	4567238.841	74.225
31	F2120439	393258.207	4557648.090	151.2105	78	F2120412	394441.304	4565050.242	70.178
32	F212H440	392438.890	4557090.758	173.6495	79	F212H277	396494.801	4554497.837	130.991
33	F212H186	412260.037	4556783.268	19.7108	80	F2120145	401538.020	4556038.448	209.642
34	F212H188	411345.761	4555866.169	95.2065	81	F2120117	401580.962	4565331.136	106.304
35	F212H143	396856.963	4556860.912	194.5080	82	F212H115	405145.484	4566620.837	0.000
36	F212H273	405505.575	4555776.319	129.7473	83	F212H123	403378.330	4561806.010	131.728
37	F212H280	405895.979	4553211.025	173.4638	84	F2120121	402595.036	4563714.125	172.477
38	F212H144	397259.834	4555682.100	177.5901	85	F212H273	405505.575	4555776.319	129.747
39	F212H278	398961.168	4553487.259	156.7119	86	F2110002	397290.857	4566050.588	134.761
40	F212H289	398973.024	4550440.968	107.5972	87	F212H168	405455.352	4561633.212	51.604
41	F2120296	400848.733	4549293.340	85.9646	88	F212H112	401693.247	4567018.788	104.583
42	F212H297	403905.105	4548827.279	122.8719	89	F2130083	403800.1648	4558725.621	170.657
43	F212H298	404770.941	4549214.588	129.8459	90	F2130084	406737.6902	4558714.033	34.614
44	F2120558	402452.655	4549785.476	126.3867	91	F2130086	406992.5503	4557514.04	40.214
45	F2120140	403675.248	4557905.697	194.6828	92	F2130096	406629.3871	4556435.81	75.842
46	F212H462	393983.175	4552947.951	117.1714	93	F2130103	406781.2701	4553142.786	143.278
47	F212H463	393615.164	4551529.713	71.2500	94	F2130104	406585.6044	4552523.998	160.01



Şekil 5.6 Yer kontrol noktalarının sınıflara göre dağılımı

5.2.5 Landsat Uydu Yardımıyla Arazi Sınıflarının Belirlenmesi

Çalışma Bölgesine ait 30m yer örnekleme aralığına sahip Landsat 7 uydu görüntüsü yardımıyla sınıflandırma işlemi sonucunda oluşturulan tematik haritalar kalite değerlendirme ve doğruluk analizinde farklı sınıflar için yapılacak analizlerde kullanılmıştır. Bu veriler çalışma bölgesini kapsayacak şekilde İstanbul Büyükşehir Belediyesi BİMTAŞ' tan temin edilmiştir. Görüntünün piksel değerine göre obje tabanlı yapılan sınıflandırmadaki araziye ait her bir sınıf incelenmiştir (Şekil 5.7). Çalışma bölgesindeki sınıflar nitelikleri bakımından kendi içinde de ayrılmış olduğu için, örneğin orman sınıfında yaprak dökken ve dökmeyen olarak, analizde kullanılacak özel alanlar tekrar çıkarılmıştır.

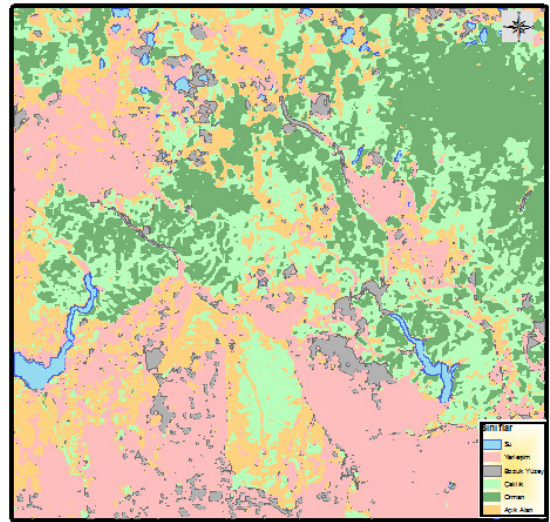


Şekil 5.7 Arazi sınıflarının dağılımı

Uluslararası standartlarda SYM' nin doğruluk analizinde her bir arazi sınıfı için ayrı ayrı test yapılmış ve kalite değerlendirme sonuçları buna göre hazırlanmıştır. Çalışmada FEMA' nın hazırlamış olduğu yönergede belirlenen sınıflarda analiz yapılması gözetilmiştir. Bu yüzden bölge orman, yerleşim, açık alan, çalılık ve bu bölgeye özel bozuk yüzey olarak ayrılmıştır.



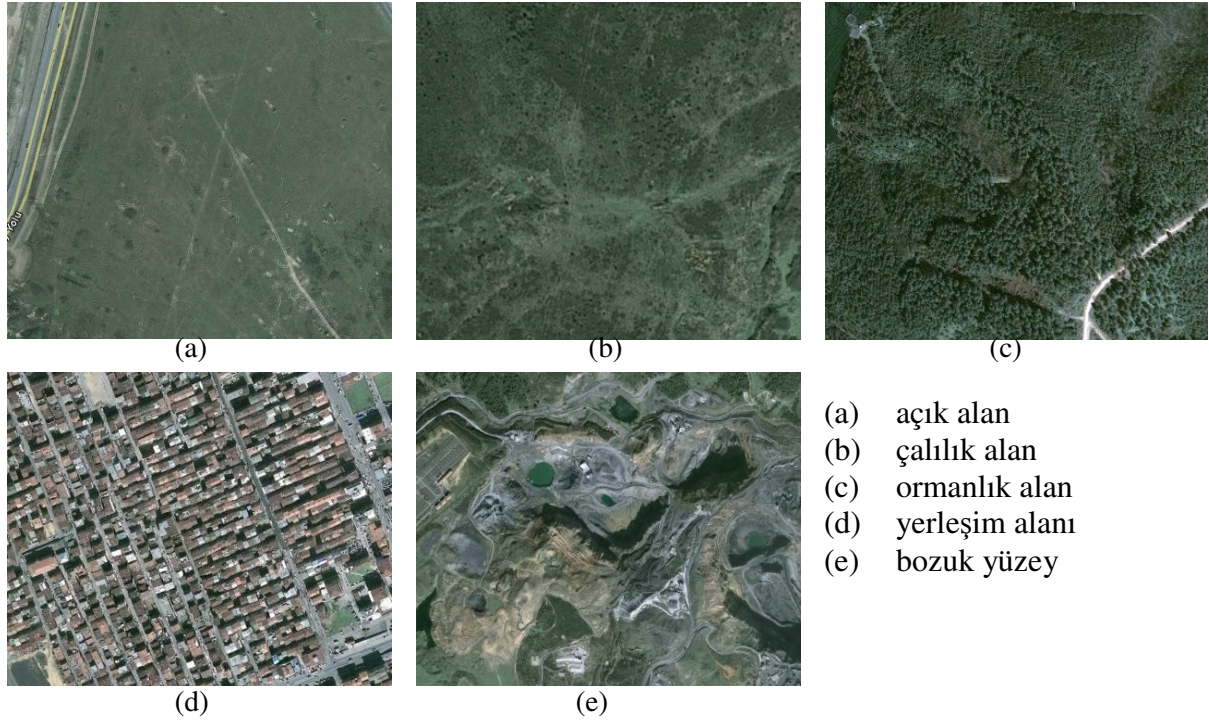
(a)



(b)

Şekil 5.8 Çalışma bölgesi (a) ve arazi sınıflarına ilişkin tematik harita (b)

Test alanında %8'lik bir bölge bozuk yüzey olarak sınıflandırılmıştır. Bozuk yüzey, bölgede açılmış olan kum ve taş ocakları ayrıca yoğun inşaat sahası olarak nitelendirilebilir (Şekil 5.9).



Şekil 5.9 Arazi sınıfları

5.3 Uygulamada Kullanılan Yaklaşım ve Programlar

Çalışma bölgesi olan İstanbul ili Avrupa yakasına ait farklı kaynaklardan üretilmiş sayısal yükseklik modelleri İstanbul Büyükşehir Belediyesi Coğrafi Bilgi Sistemleri Müdürlüğü ve Boğaziçi İnşaat Müşavirlik A.Ş.' den temin edilmiştir. Buradaki asıl amaç SYM' lerin doğruluk analizi ve kalitelerinin değerlendirmesi olduğu için, farklı görüntü ve kaynaklardan üretim yerine mevcut olan üretilmiş SYM' ler kullanılmıştır. Bunun yanı sıra referans olarak kullanılan verinin kalitesinin belirlenmesi amacıyla test alanında Jeodezik yöntemlerle ölçülmüş C1, C2, C3 derece tesisli kontrol noktalar kullanılmıştır. Analiz sonuçlarının her bir arazi sınıfında farklılık gösterdiğinin ortaya konulması amacıyla bölgeye ait Landsat uydu görüntüsü yardımıyla sınıflandırılmış sayısal tematik harita kullanılmıştır. Bu sayede analiz sonuçları karar verme açısından daha da detaylandırılmış ve uluslar arası standartlara uygunluğa incelenmiştir.

Kullanılan bütün verilerin birbirlerine göre analiz edilebilmesi ancak ortak bir koordinat sisteminde mümkündür. Çalışma için belirlenen bölgeye ait verilerin tümü Transverse Merkator (TM) Projeksiyonunda, 30°' lik dilimde ve datum olarak ED-50 datumu seçilerek dönüştürülmüştür. Bu işlemlerin gerçekleştirilebilmesi için çeşitli görüntü işleme programları kullanılmış, ayrıca verinin görselleştirilmesi ve farklı veri formlarında saklanması

sağlanmıştır.

Analiz öncesi verilerin birbirleri arasındaki uyumunun araştırılması ve hata analizleri Almanya Hannover Üniversitesi Fotogrametri ve Jeoinformasyon Enstitüsünde Dr. Karsten Jacobsen hazırlanan BLUH programı tarafından gerçekleştirilmiştir. Referans veri ile karşılaştırılan test verisinin doğruluğu farklara ilişkin KOH değerinin belirlenmesi ile olur. BLUH programı karesel ortalama hata hesaplanırken her bir arazi sınıfı için ayrı ayrı analiz imkânı sunar ve birçok alt modülden oluşur.

SYM'lerin analizinden önce planimetrik olarak (X, Y) üst üste çakıştırılması gerekmektedir. Referans veri ile test verileri arasındaki kayıklığı görebilmek ve gerekli ötelemenin yapılması için BLUH programı içerisinde bulunan DEMSHIFT uygulaması kullanılmıştır. SYM'ye ait öteleme sonrası elde edilen hata değerleri ve öteleme miktarları Şekil 5.10'da gösterilmiştir. SYM'lere ilişkin doğruluk analizleri BLUH programının bir parçası olan DEMANAL (SYM Analiz) programı ile gerçekleştirilmiştir.

Analizlerde referans olarak alınacak SYM ve test edilecek SYM programa tanıtılır. Program analize konu olan veriyi grid yapıda alıp kullanmaktadır. Sonrasında test edilecek arazi sınıfına ait sayısal alan tanımları yapılır ve gerekli analiz parametreleri girilir. Belirlenen iterasyondan sonra çıkan sonuç ürün bizler için sayısal yükseklik modelinin doğruluğu hakkında bilgi verir. Aşağıda Şekil 5.11 ve 5.12' de DEMANAL programının ekran görüntüleri verilmiştir.

```

Komut İstemi
6120908 POINTS FROM REFERENCE FILE
WAIT A MOMENT

396632.43 4561656.92 85.000
396662.43 4561656.92 79.000
396692.43 4561656.92 73.000
396722.43 4561656.92 68.000
396752.43 4561656.92 65.000
396782.43 4561656.92 64.000
396812.43 4561656.92 62.000
396842.43 4561656.92 60.000
396872.43 4561656.92 58.000
396902.43 4561656.92 57.000
160000 SECOND FILE

169197 POINTS FROM FILE FOR SHIFTING
157799 CORRESPONDING POINTS
RMSZ: 4.455 Z-SHIFT: -.514 RMSZ WITHOUT SHIFT 4.425
20 Z-DISCREPANCIES EXCEEDING 50.00
ITERATION 1 157608 OBSERVATIONS RMSZ: 3.922
=====
SUM OF SHIFT X: .82 Y: 10.48 Z: -.52

160000 SECOND FILE
RMSZ: 3.682 Z-SHIFT: -.017 RMSZ WITHOUT SHIFT 3.682
ITERATION 2 157599 OBSERVATIONS RMSZ: 3.550
=====
SUM OF SHIFT X: .05 Y: 15.25 Z: -.54

160000 SECOND FILE
RMSZ: 3.529 Z-SHIFT: .016 RMSZ WITHOUT SHIFT 3.529
ITERATION 3 157617 OBSERVATIONS RMSZ: 3.497
=====
SUM OF SHIFT X: 1.18 Y: 17.08 Z: -.53

160000 SECOND FILE
RMSZ: 3.487 Z-SHIFT: -.013 RMSZ WITHOUT SHIFT 3.487
ITERATION 4 157615 OBSERVATIONS RMSZ: 3.479
=====
SUM OF SHIFT X: .50 Y: 17.86 Z: -.54

160000 SECOND FILE
RMSZ: 3.497 Z-SHIFT: .015 RMSZ WITHOUT SHIFT 3.497
END OF ITERATION - NO MORE IMPROVEMENT
ITERATION 5 157606 OBSERVATIONS RMSZ: 3.483
=====
SUM OF SHIFT X: .50 Y: 17.86 Z: -.54

160000 STORING DATA
REFERENCE DATA: d:\veriseti\1000_parca.dat
FILE FOR SHIFT: d:\veriseti\5000_umut.dat
SHIFTED DATA IN: d:\veriseti\deneme.dat
SHIFTED IN X: .503 Y: 17.865 Z: -.539

END OF PROGRAM DEMSHIFT
C:\bluh>

```

Şekil 5.10 DEMSHIFT ekran görüntüsü

```

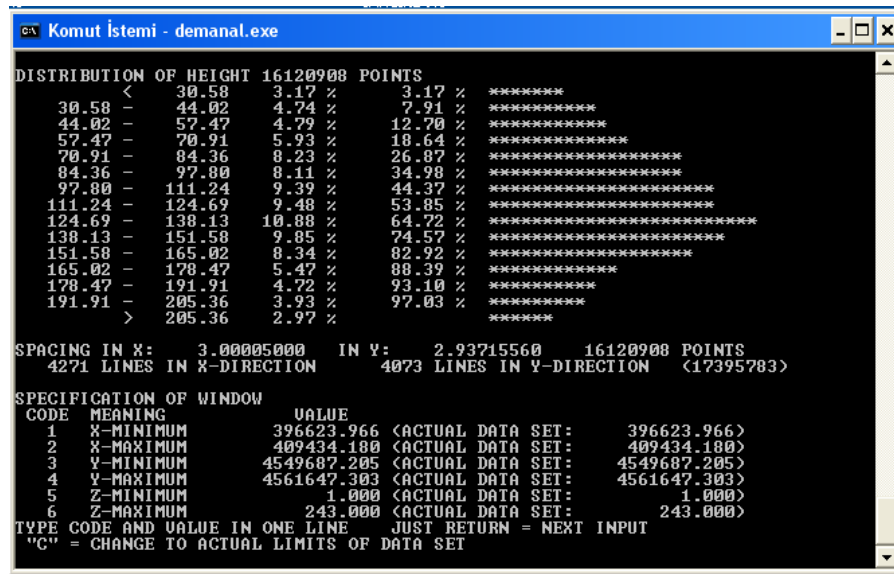
Komut İstemi
15 ASTER NUM-FILE <OPTION>
FILE NAME = BLANK = NO CREATION OF FILE
TYPE CODE AND FILE NAME IN ONE LINE DEFAULT = NEXT INPUT
9 d:\veriseti\test1.raw

FILE NAMES AND OPTIONS
CODE FILE / FUNCTION NAME
1 INPUT FILE WITH RASTER DEM d:\veriseti\1000_parca.dat
2 INPUT FILE WITH POINT NAMES ? Y/N N
3 INPUT FILE FOR COMPARISON d:\veriseti\5000_umuts.dat
4 INPUT FILE WITH POINT NAMES ? Y/N N
5 RASTER FILE WITH SPECIAL AREA
6 Z-INTERVAL FOR GROUPING DZ 1.00
7 MAXIMAL ACCEPTED DZ 50.00
8 MAXIMAL ACCEPTED TANGENT(SLOPE) 2.0000
9 OUTPUT RASTER FILE (*.raw) d:\veriseti\test1.raw
10 OVERVIEW <O> OR COLOR CODED DH <D> 0
11 LISTING S / L S
12 ITERATIONS 1 / 2 2
13 INSTEAD OF DZ JUST Z FROM FILE 1 N
14 ROUNDING REFERENCE DEM TO UALUE .000
15 ASTER NUM-FILE <OPTION>

FILE NAME = BLANK = NO CREATION OF FILE
TYPE CODE AND FILE NAME IN ONE LINE DEFAULT = NEXT INPUT

```

Şekil 5.11 DEMANAL ana menü



Şekil 5.12 DEMANAL yükseklik dağılımı

5.4 Analizler

5.4.1 Öteleme

Farklı kaynaklardan elde edilen SYM'lerin doğruluk analizi ve kalite değerlendirmesini kapsayan çalışmada verileri test etmeden önce birbiri ile uyumlu olup olmadığı kontrol edilmiştir. Aynı bölgeyi temsil eden SYM'lerin üst üste çakışmaması durumunda yapılacak analiz bir anlam ifade etmemektedir. Bu nedenle, Dr. Karsten Jacobsen tarafından hazırlanan BLUH programının DEMSHIFT modülü kullanılarak SYM'lerin ötelemeleri yapılmıştır. Referans SYM kullanılarak öteleme öncesi ve sonrası KOHz değerleri belirlenmiştir.

İlk olarak Fotogrametrik yöntemle üretilmiş 30m çözünürlüğe sahip SYM5000-30 ve 5m'ye örneklenmiş SYM5000-5 SYM'ler referans veri olarak seçilen SYM1000'e göre ötelenmiştir. Bu işlem program tarafından iteratif olarak gerçekleştirilmiş, iyileştirmenin sonlandığı yerde program otomatik olarak iterasyonu sonlanmıştır. Öteleme öncesi yükseklik değerleri arasındaki KOH değeri ve öteleme sonrası KOH değeri ile birlikte yataydaki öteleme miktarları Çizelge 5.5'de verilmiştir.

Çizelge 5.5 SYM öteleme ve sonrasındaki KOHz değerleri

SYM	Referans SYM	Öteleme		KOHz (m)	
		X (m)	Y (m)	Öteleme Öncesi	Öteleme Sonrası
SYM5000–30	SYM 1000	0.503	17.87	4.45	3.48
SYM5000–5	SYM 1000	2.95	-5.72	4.85	4.73
SPOT	SYM1000	-6.17	-4.63	8.35	6.59
ASTER	SYM1000	19.59	-31.26	9.64	8.76
SRTM	SYM1000	-0.54	-16.28	7.2	6.92

Çizelge 5.5 görüldüğü üzere SYM1000’ e göre SYM5000–30 “Y” yönünde 17 m’ lik bir ötelemeye sahiptir ve KOHz’ de öteleme sonrasında 1m’ ye yakın bir iyileştirme görülmektedir. SYM5000–5’ de ki öteleme ve KOH değerindeki iyileştirme miktarı SYM5000–30’ a göre daha sınırlıdır. Bu sonuçtan yola çıkılarak aynı veri kaynağına sahip SYM’ lerin referans veriye göre uyumunda çözünürlüğün önemli bir etken olduğu söylenebilir.

Stereo uydu görüntüleri yardımıyla üretilen 20m çözünürlüğe sahip SPOT SYM ve 80m çözünürlüğe sahip ASTER SYM referans veri olarak seçilen SYM1000’ e göre ötelenmiştir (Çizelge 5.5). Son olarak InSAR algılama sistemine sahip SRTM uydusu yardımıyla üretilen SRTMSYM’ nin referans veri olarak kullanılan SYM1000’ e göre gerekli ötelemesi yapılmıştır.

5.4.2 Doğruluk Analizi ve Kalite Değerlendirme

Öteleme işlemi sonucunda 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 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 raporlanmış ve belirtilen standart ve yönergelere uygunluğu test edilmiş olur.

Çalışma bölgesi olarak seçilen 10 km²’ lik alanda yeterli miktarda kontrol noktası bulunmadığı 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. SYM, çalışma bölgesinde belirlenen orman, çalılık, yerleşim ve açık alan olarak bölgelere ayrılmış her bir sınıf için en az 20 adet kontrol noktasını kapsayacak şekilde hazırlanmıştır. Bu sınıfların yanı sıra bozuk yüzey olarak belirlenmiş sınıfa ait alanların az olması, kontrol noktasının bu nitelikteki arazide bulunmaması bozuk yüzey için ayrı bir analiz yapılamaması sonucunu doğurmuştur.

Referans verinin kontrol noktalarına göre enterpole edilmesi için 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’ lar 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 Çizelge 5.6’da sunulmuştur.

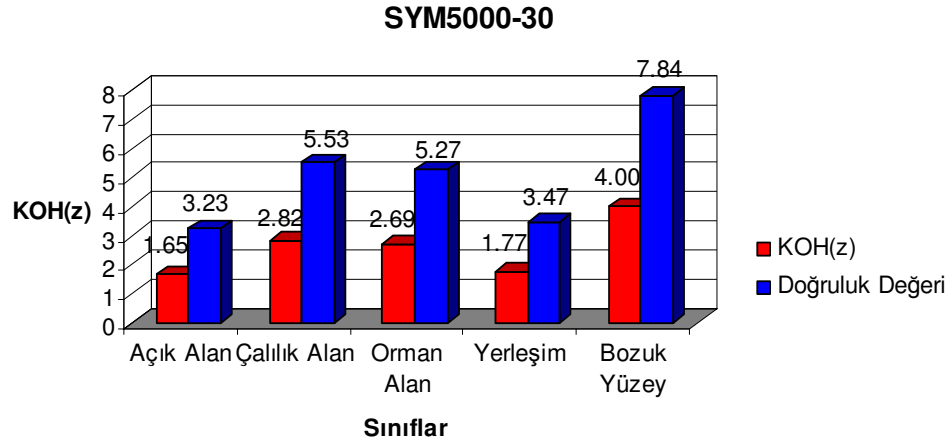
Çizelge 5.6 SYM1000 doğruluk analizi

SYM	Arazi Sınıfı	Nokta Sayısı	KOH_z (m)
SYM1000	Açık Alan %19	24	0.85
	Çalılık Alan %26	20	1.35
	Ormanlık Alanı %15	24	1.94
	Yerleşim Alanı %32	24	1.42

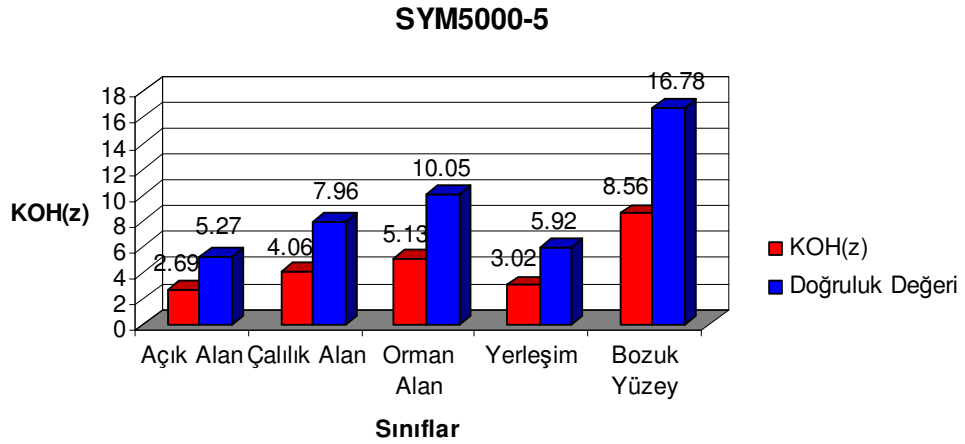
Referans verinin doğruluk değerleri her bir arazi sınıfı için ayrı ayrı ortaya konularak NDEP, FEMA gibi uluslar arası standartlara uygunluğu test edilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre en düşük KOH değeri beklendiği şekilde açık alanlarda elde edilmiştir. Bitki örtüsünün en yoğun olduğu ormanlık alanlarda da en düşük doğruluk ortaya çıkmıştır. Sonraki aşamada, test verisi olarak seçilen farklı kaynaklardan elde edilen SYM’ lerin doğruluk analizlerine geçilmiştir.

Kullanılan yazılımın analiz yöntemi, ve her bir sınıfa ait KOH değerlerinin ortaya konması, birbirine karşılık gelen piksel değerlerinin farklarının karesel ortalama hatalarının bulunması prensibine dayanmaktadır. Arazi sınıfına göre elde edilen bu sonuçlar ise, sisteme tanıtılan 0 yada 255 gri değeri ile tanımlanmış sınıfı içeren raster yapıdaki verinin programa tanıtılması

ile elde edilmektedir. 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 (Çizelge 5.7).



Şekil 5.13 SYM5000-30 sınıflara göre analizi



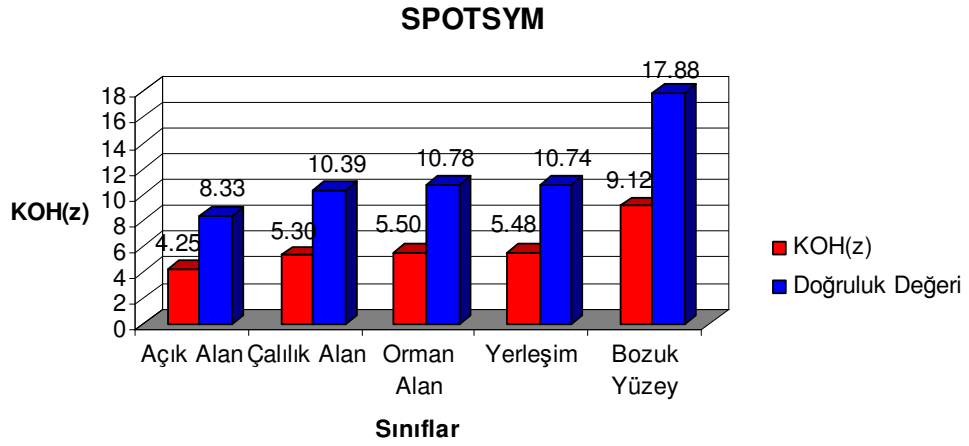
Şekil 5.14 SYM5000-5 sınıflara göre analizi

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 sonuçlanmasına sebep olmaktadır. Bu durum, 1/5000 ölçekli haritadan 1/1000 ölçekli harita üretilmeyeceği şeklinde de genelleştirilebilir. SYM5000-30 'un doğruluk analizi

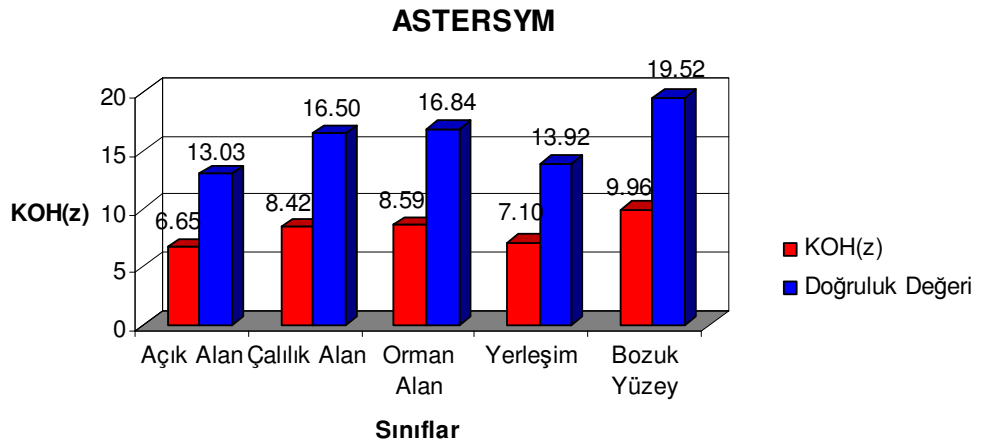
sonuçlarında açık alanlarda ortaya çıkan KOH miktarının diğer alanlara göre daha az olduğu ve buna göre elde edilen doğruluğun daha yüksek olduğu açıkça görülmektedir.

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 araziyi açık alanlardaki gibi yansıtamamasıdır.

Stereo Uydu görüntüleri yardımıyla üretilen SYM' lerden çalışma bölgesinde seçilen SPOTSYM ve ASTERSYM de aynı şekilde referans veri olarak kullanılan SYM1000 ile analiz edilmiştir (Şekil 5.15, 5.16). Analizler her bir arazi sınıfı için ayrı ayrı yapılmış ve KOH değerleri hesaplanarak tablolar halinde verilmiştir. (Çizelge 5.7)



Şekil 5.15 SPOTSYM sınıflara göre analizi

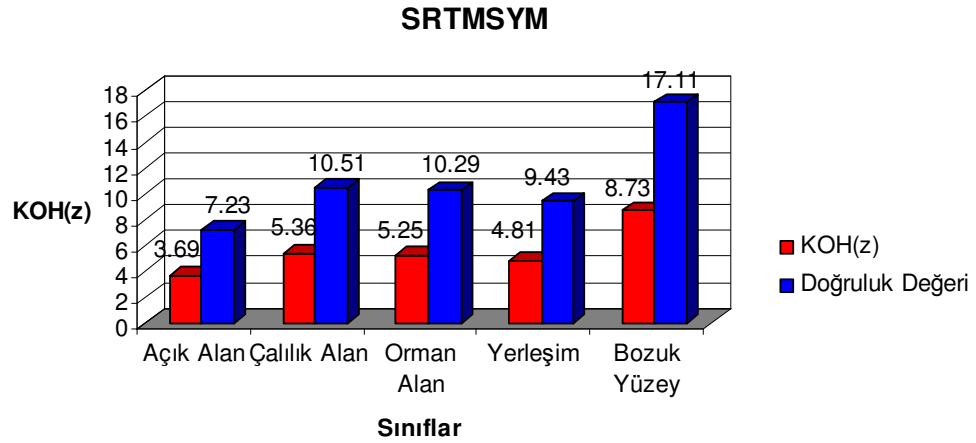


Şekil 5.16 ASTERSYM sınıflara göre analizi

20 m' lik çözünürlüğe sahip SPOTSYM' nin doğruluk analizinde 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 sayısal halihazır haritalardan üretilen SYM' lerin, uydu görüntüleri yardımıyla üretilen SYM' lere oranla daha az hata içerdiği ve arazi yüzeyini daha iyi yansıttığı için doğruluğunun daha yüksek olduğu söylenebilir.

Stereo ASTER uydu 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 ASTERSYM' 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 uydusu yardımıyla üretilen SRTM90 SYM analiz edilmiştir. Her bir sınıf için ayrı ayrı analiz edilen SYM' ye ilişkin KOH değerleri hesaplanarak tablolar halinde verilmiştir (Çizelge 5.7).



Şekil 5.17 SRTMSYM sınıflara göre analizi

Buna ek olarak doğruluğun analizinde farklı veri kaynaklarından üretilmiş SYM' lerin arazi sınıfı ayırımına gidilmeksizin doğruluk analizleri yapılmıştır. Analiz sonucunda çalışma alanındaki SYM' lerin referans veriye göre KOH değerleri hesaplanmış ve karşılaştırmalı tablo olarak verilmiştir (Çizelge 5.8.)

Çizelge 5.7 Farklı arazi sınıfları için SYM'nin referans SYM göre analizi

SYM	Referans SYM	Arazi sınıfı	KOH ₂ (m)
SYM5000-30	SYM 1000	Açık Alan %19	$1.68 + 5.11 \cdot \tan \alpha$
		Çalılık Alan %26	$2.81 + 6.10 \cdot \tan \alpha$
		Ormanlık Alanı %15	$2.65 + 8.66 \cdot \tan \alpha$
		Yerleşim Alanı %32	$1.79 + 5.47 \cdot \tan \alpha$
		Bozuk Yüzey %8	$3.97 + 5.51 \cdot \tan \alpha$
SYM5000-5	SYM 1000	Açık Alan %19	$2.70 + 0.88 \cdot \tan \alpha$
		Çalılık Alan %26	$4.07 + 1.76 \cdot \tan \alpha$
		Ormanlık Alanı %15	$5.14 + 1.24 \cdot \tan \alpha$
		Yerleşim Alanı %32	$3.03 + 3.09 \cdot \tan \alpha$
		Bozuk Yüzey %8	$8.43 + 0.12 \cdot \tan \alpha$
SPOT	SYM 1000	Açık Alan %19	$4.53 + 1.76 \cdot \tan \alpha$
		Çalılık Alan %26	$5.52 + 3.28 \cdot \tan \alpha$
		Ormanlık Alanı %15	$5.48 + 4.42 \cdot \tan \alpha$
		Yerleşim Alanı %32	$5.68 + 0.73 \cdot \tan \alpha$
		Bozuk Yüzey %8	$9.24 + 0.68 \cdot \tan \alpha$
ASTER	SYM 1000	Açık Alan %19	$6.89 + 17.14 \cdot \tan \alpha$
		Çalılık Alan %26	$8.89 + 18.14 \cdot \tan \alpha$
		Ormanlık Alanı %15	$8.65 + 38.65 \cdot \tan \alpha$
		Yerleşim Alanı %32	$7.55 + 12.92 \cdot \tan \alpha$
		Bozuk Yüzey %8	$9.96 + 35.80 \cdot \tan \alpha$
SRTM	SYM 1000	Açık Alan %19	$3.80 + 10.20 \cdot \tan \alpha$
		Çalılık Alan %26	$5.71 + 12.22 \cdot \tan \alpha$
		Ormanlık Alanı %15	$5.95 + 18.22 \cdot \tan \alpha$
		Yerleşim Alanı %32	$5.10 + 6.91 \cdot \tan \alpha$
		Bozuk Yüzey %8	$8.56 + 4.21 \cdot \tan \alpha$

Çizelge 5.8 Referans veriye göre genel analiz

Referans SYM	SYM	1. İterasyon	2. İterasyon
SYM1000	SYM5000-30	$2.48 + 6.81 \tan \alpha$	$2.47 + 6.87 \tan \alpha$
	SYM5000-5	$4.21 + 1.82 \tan \alpha$	$4.20 + 1.84 \tan \alpha$
	SPOTSYM	$5.80 + 2.15 \tan \alpha$	$5.74 + 2.23 \tan \alpha$
	ASTERSYM	$8.10 + 25.80 \tan \alpha$	$8.08 + 26.10 \tan \alpha$
	SRTM90	$5.55 + 12.29 \tan \alpha$	$5.29 + 12.20 \tan \alpha$

Çizelge 5.8’ deki KOH değerleri incelendiğinde örneklenmemiş 5000 ölçekli fotogrametrik haritalardan üretilen SYM’ nin diğer SYM’ lere göre daha doğru olduğu açıkça görülmektedir. Farklı kaynaklardan elde edilen SYM’ lerin doğruluklarının ortaya konması için yapılan analizler sonucu hem bütün hem de sınıflara ayrılmış olarak KOH değerlerinden yola çıkılarak doğruluk değerleri hesaplanmıştır. Bu sonuçlar bütün SYM’ lerin doğruluk değerleri genel olarak ve sınıflara ayrılmış olarak Tablo 5.9 ve 5.10 de verilmiştir.

Çizelge 5.9 Doğruluk analizi sonuçları

Referans SYM	SYM	KOH	NSSDA doğruluk değerleri %95 güven aralığında (m)
SYM1000	SYM5000-30	2.47	4.84
	SYM5000-5	4.20	8.23
	SPOTSYM	5.74	11.25
	ASTERSYM	8.08	15.84
	SRTM90	5.29	10.37

Çalışma bölgesinde ortalama eğimin düşük olmaması nedeniyle doğruluk analizinde önemli bir etkisi görülmemiştir. Bu yüzden eğim değerleri göz önünde bulundurulmamıştır. Buna göre SYM’ lerin NSSDA’ de belirtilen KOH ile doğruluk arasındaki “Doğruluk_z = KOH x 1.96” bağıntısı kullanılarak %95 güven aralığında doğruluk değerleri hesaplanmıştır. Test edilen SYM’ lerin doğruluk değerlerine incelendiğinde; 90m yer örnekleme aralığına sahip 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.

Arazi yapısına göre doğruluk değerlerinin değişimini incelemek amacıyla, farklı kaynaklardan üretilmiş SYM’ lerin her bir sınıfta ortaya çıkan KOH ve doğruluk değerleri Çizelge 5.10 da detaylı bir şekilde verilmiştir. 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 olur. Bunlardan birincisi Temel düşey

doğruluktur. Burada test için en az 20 adet YKN varsa “ test edildi” , eğer bu durum sağlanmıyorsa da “karşılama 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.

Çizelge 5.10 Sınıflara göre doğruluk değerleri

Referans SYM	Sınıflar	Analiz SYM	KOH	NSSDA doğruluk değerleri %95 güven aralığında (m)
SYM1000	Açık alan	SYM5000-30	1.65	3.23
		SYM5000-5	2.69	5.27
		SPOTSYM	4.25	8.33
		ASTERSYM	6.65	13.03
		SRTM90	3.69	7.23
	Çalılık	SYM5000-30	2.82	5.53
		SYM5000-5	4.06	7.96
		SPOTSYM	5.3	10.39
		ASTERSYM	8.42	16.50
		SRTM90	5.36	10.51
	Orman	SYM5000-30	2.69	5.27
		SYM5000-5	5.13	10.05
		SPOTSYM	5.5	10.78
		ASTERSYM	8.59	16.84
		SRTM90	5.25	10.29
	Yerleşim	SYM5000-30	1.77	3.47
		SYM5000-5	3.02	5.92
		SPOTSYM	5.48	10.74
		ASTERSYM	7.1	13.92
		SRTM90	4.81	9.43
	Bozuk yüzey	SYM5000-30	4	7.84
		SYM5000-5	8.56	16.78
		SPOTSYM	9.12	17.88
		ASTERSYM	9.96	19.52
		SRTM90	8.73	17.11

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.

NSSDA' e göre SYM5000–30 için tamamlayıcı düşey doğruluğunun raporlanması;

- “test edildi 3.23 (m) açık alanlardaki tamamlayıcı düşey doğruluk %95 güven aralığında”
- “test edildi 5.53 (m) çalılık alanlardaki tamamlayıcı düşey doğruluk %95 güven aralığında”
- “test edildi 3.47 (m) yerleşim alanlarındaki tamamlayıcı düşey doğruluk %95 güven aralığında”
- “test edildi 5.27 (m) ormanlık alanlardaki tamamlayıcı düşey doğruluk %95 güven aralığında”
- “test edildi 7.84 (m) bozuk yüzeylerdeki tamamlayıcı düşey doğruluk %95 güven aralığında”

şeklindedir.

Doğruluğun analizi ve kalite değerlendirme için yapılan çalışma sonucunda, farklı veri kaynaklarında elde edilen SYM' lerin hesaplanan KOH ve SYM 'ye ait doğruluk değerleri bulunmuş ve raporlaması yapılarak uygulama sonuçlandırılmıştır.

6. SONUÇ VE ÖNERİLER

Yapılan analizler sonucunda 1/1000 ölçekli sayısal fotogrametrik haritalardan üretilmiş SYM' nin doğruluk değeri 1.45 m olarak bulunmuştur. Bu doğruluk değerine sahip SYM1000' in referans olarak kullanılabilmesi, NSSDA, FEMA, NDEP gibi yönergelerde “referans SYM test edilen SYM' den 3 kat daha doğru olmalı” koşuluna bağlanmıştır. 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 kullanılabileceği 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 yüksek bir çözünürlüğe enterpole edilerek üretilmesi gösterilebilir. Bu durum SYM girdine düşen yükseklik bilgisinin yanlış atanması ve sonuç olarak KOH değerinin SYM5000–30 göre daha yüksek sonuçlanması ile açıklanabilir. Bu sonuçlar, SYM' nin doğruluğunu etkileyen en önemli faktörlerin; veri elde etme kaynağı ve SYM' nin çözünürlüğü olduğunu vurgulamakta ve sonuçlara etkisini açıkça ortaya koymaktadır. Çalışma alanında ne kadar fazla yükseklik verisi toplanırsa SYM' nin arazi yüzeyi temsili o kadar doğru bir şekilde gerçekleştirilebilir.

Yapılan analizlerde farklı arazi sınıfları için doğruluk değerleri belirlenmiştir. Tüm analiz

sonuçlarına bakıldığında açık alanlarda KOH değerlerinin en düşük olduğu 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 araştırma sonucunda elde edilen sonuçlar, üretilen SYM' nin kullanıcının beklediği doğruluğa ulaşması için veri toplama yöntemi ve çalışma bölgesindeki farklı arazi sınıflarının göz önünde bulundurulması gerekliliğini bir kez daha ortaya koymuştur. 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 gerekliliği doğmaktadır.

KAYNAKLAR

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”, Doktora Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 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): 1327-1332.

David F. Maune (editör), (2007),” 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”, Doktora Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 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”, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

Kaczynski, R. ve Majde, A. ve 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):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”, Yüksek Lisans Tezi, Zonguldak Karaelmas Üniversitesi Jeodezi ve Fotogrametri Müh. Anabilim Dalı, Zonguldak.

Sefercik U.,(2007), “Radar İnterferometri Tekniği ile SYM Üretimi ve Doğruluk Değerlendirmesi”, TMMOB Harita ve Kadastro Mühendisleri Odası 11.Türkiye Harita Bilimsel ve Teknik Kurultayı, Ankara.

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

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

Türk Dil Kurumu Büyük Türkçe Sözlüğü, 2007.

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

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

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

Yılmaz, M. ve Yakar, M.. (2006) “LiDAR Tarama Sistemi”, Aksaray Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Jeodezi ve Fotogrametri Bölümü, Yapı Teknolojileri Elektronik Dergisi 2006:23 -33

EKLER

Ek 1	SYM1000 Analiz sonucu ormanlık alan	62
Ek 2	SYM1000 Analiz sonucu alılık alan	63
Ek 3	SYM1000 Analiz sonucu aık alan	64
Ek 4	SYM1000 Analiz sonucu yerleşim alanı	65

Ek 1 SYM1000 Analiz sonucu ormanlık alan

	Sıra	Nokta Adı	Ortametrik Yükseklik (m)	Refereans SYM Yükseklik Değeri	Hata(m)	KOH _z (m)
Orman Alanı	1	F2110018	130.898	129.000	1.898	1.94
	2	F2110017	69.426	69.280	0.145	
	3	F2110016	143.815	142.000	1.815	
	4	F2110005	241.625	238.008	3.617	
	5	F212H130	169.723	167.871	1.852	
	6	F212H131	178.557	175.159	3.398	
	7	F2120116	123.556	126.080	-2.524	
	8	F2120159	128.591	128.000	0.591	
	9	F2120158	91.022	91.000	0.022	
	10	F2120166	113.672	110.100	3.572	
	11	F212H160	176.689	175.394	1.295	
	12	F212H164	139.398	137.340	2.058	
	13	F2120163	81.927	81.000	0.927	
	14	F212H165	55.055	55.000	0.055	
	15	F2120170	30.435	30.000	0.435	
	16	F2120171	104.326	103.000	1.326	
	17	F212H180	115.287	113.031	2.256	
	18	F2120193	106.449	104.905	1.544	
	19	F2120200	84.281	83.000	1.281	
	20	F2120206	65.792	65.890	-0.098	
	21	F212H123	131.728	129.000	2.728	
	22	F2120121	172.477	169.512	2.965	
	23	F212H273	129.747	128.246	1.501	
	24	F2130083	170.657	170.000	0.657	

Ek 2 SYM1000 Analiz sonucu alıllık alan

	Sıra	Nokta Adı	Ortametrik Yükseklik (m)	Refereans SYM Yükseklik Değeri	Hata(m)	KOHz (m)
alıllık alan	1	F212H276	174.384	173.000	1.384	1.35
	2	F212H213	91.669	90.183	1.486	
	3	F2120214	93.276	93.000	0.276	
	4	F2120215	114.675	112.920	1.755	
	5	F2120216	95.412	94.639	0.773	
	6	F2120142	202.531	201.435	1.095	
	7	F212H139	192.916	191.828	1.088	
	8	F2120138	176.549	175.848	0.701	
	9	F212H128	104.770	103.000	1.770	
	10	F2120275	193.159	194.000	-0.841	
	11	F2120439	151.211	149.392	1.819	
	12	F212H440	173.650	172.346	1.303	
	13	F212H186	19.711	19.964	-0.253	
	14	F212H188	95.207	94.276	0.931	
	15	F212H143	194.508	193.000	1.508	
	16	F212H273	129.747	128.246	1.501	
	17	F212H280	173.464	171.261	2.203	
	18	F2110002	134.761	133.834	0.927	
	19	F212H168	51.604	49.797	1.807	
	20	F212H112	104.583	103.000	1.583	

Ek 3 SYM1000 Analiz sonucu açık alan

	Sıra	Nokta Adı	Ortametrik Yükseklik (m)	Refereans SYM Yükseklik Değeri	Hata(m)	KOHZ (m)
Açık Alan	1	F212H144	177.590	177.000	0.590	0.85
	2	F212H278	156.712	155.000	1.712	
	3	F212H289	107.597	107.000	0.597	
	4	F2120296	85.965	86.000	-0.035	
	5	F212H297	122.872	121.670	1.202	
	6	F212H298	129.846	129.000	0.846	
	7	F2120558	126.387	126.000	0.387	
	8	F2120140	194.683	193.000	1.683	
	9	F212H462	117.171	117.000	0.171	
	10	F212H463	71.250	71.100	0.150	
	11	F212H473	86.419	87.000	-0.581	
	12	F212H481	47.047	46.000	1.047	
	13	F212H153	206.029	205.000	1.029	
	14	F2120182	95.095	95.000	0.095	
	15	F2120185	54.181	53.903	0.278	
	16	F2130080	134.485	134.000	0.485	
	17	F2120403	74.225	73.000	1.225	
	18	F2120412	70.178	69.000	1.178	
	19	F212H277	130.991	130.415	0.576	
	20	F2120145	209.642	209.000	0.642	
	21	F2120117	106.304	106.000	0.304	
	22	F2130084	34.614	35.000	-0.386	
	23	F2130086	40.214	39.000	1.214	
	24	F2130096	75.842	75.000	0.842	

Ek 4 SYM1000 Analiz sonucu yerleşim alanı

	Sıra	Nokta Adı	Ortametrik Yükseklik (m)	Refereans SYM Yükseklik Değeri	Hata(m)	KOHZ (m)
Yerleşim Alanı	1	F212H227	147.987	145.263	2.724	1.42
	2	F2120218	87.508	87.000	0.508	
	3	F212H288	124.736	124.000	0.736	
	4	F212H301	78.287	77.000	1.287	
	5	F2120287	108.762	108.000	0.762	
	6	F212H286	140.245	140.000	0.245	
	7	F2120192	56.012	55.000	1.012	
	8	F212H184	88.151	87.000	1.151	
	9	F2120183	101.839	101.148	0.691	
	10	F2120292	90.696	90.000	0.696	
	11	F2120221	113.961	113.000	0.961	
	12	F212H302	78.508	76.934	1.574	
	13	F212H472	97.908	95.921	1.987	
	14	F212H277	130.991	128.415	2.576	
	15	F2120411	131.311	130.000	1.311	
	16	F212H410	140.306	137.368	2.938	
	17	F2120401	137.937	137.000	0.937	
	18	F212H119	109.511	108.985	0.526	
	19	F212H427	177.983	175.843	2.140	
	20	F2120136	147.852	147.000	0.852	
	21	F212H137	177.001	176.000	1.000	
	22	F212H122	132.793	131.000	1.793	
	23	F2130103	143.278	143.000	0.278	
	24	F2130104	160.010	160.000	0.010	

ÖZGEÇMİŞ

Doğum tarihi 15.06.1983

Doğum yeri Malatya

Lise 1994-2001 Sema Yazar Anadolu Lisesi

Lisans 2001-2006 Yıldız Üniversitesi İnşaat Fakültesi
Jeodezi ve Fotogrametri Mühendisliği Bölümü

Y.Lisans 2006-2010 Yıldız Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
Uzaktan Algılama ve CBS Programı

Çalıştığı Kurumlar

2006-2006 STFA Holding Harita A.Ş.

2006-2007 Sumpro Mühendislik LTD.ŞTİ.

2007-2008 Anka Bilişim ve Danışmanlık A.Ş.

2009- Devam Ediyor Mescioğlu Mühendislik ve Müşavirlik A.Ş.