

**YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**SRTM(SHUTTLE RADAR TOPOGRAPHY MISSION)  
VERİLERİNDEN ELDE EDİLEN SAYISAL YÜKSEKLİK  
MODELLERİNİN DOĞRULUĞUNUN İNCELENMESİ**

**Harita Müh. Abdullah SAYGILI**

**FBE Jeodezi ve Fotogrametri Mühendisliği Anabilim Dalında  
Hazırlanan**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Tez Danışmanı : Prof.Dr.Zübeyde ALKIŞ**

**İSTANBUL, 2008**

**YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

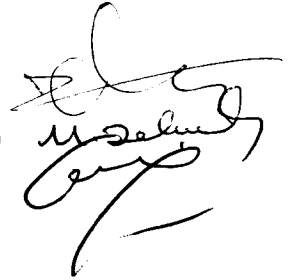
**SRTM(SHUTTLE RADAR TOPOGRAPHY MISSION)  
VERİLERİNDEN ELDE EDİLEN SAYISAL YÜKSEKLİK  
MODELLERİNİN DOĞRULUĞUNUN İNCELENMESİ**

Harita Müh. Abdullah SAYGILI

**FBE Jeodezi ve Fotogrametri Mühendisliği Anabilim Dalında  
Hazırlanan**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Tez Danışmanı** : Prof.Dr.Zübeyde ALKIŞ(YTÜ)  
**Jüri Üyeleri** : Prof.Dr.Mehmet SELÇUK(YTÜ)  
: Prof.Dr.Derya MAKTAV(İTÜ)



**İSTANBUL, 2008**

## İÇİNDEKİLER

|                                                                                       | Sayfa |
|---------------------------------------------------------------------------------------|-------|
| SİMGE LİSTESİ .....                                                                   | iv    |
| KISALTMA LİSTESİ .....                                                                | v     |
| ŞEKİL LİSTESİ .....                                                                   | vi    |
| ÇİZELGE LİSTESİ .....                                                                 | vii   |
| ÖNSÖZ.....                                                                            | viii  |
| ÖZET .....                                                                            | ix    |
| ABSTRACT .....                                                                        | x     |
| 1. GİRİŞ.....                                                                         | 11    |
| 2. SAYISAL YÜKSEKLİK MODELİ .....                                                     | 12    |
| 2.1 Sayısal Yükseklik Modelinin Tanımı .....                                          | 12    |
| 2.2 Sayısal Yükseklik Modeli Oluşturmanın Hedefleri.....                              | 13    |
| 2.3 Sayısal Yükseklik Modeli Oluşturmak İçin Sistem Aşamaları Ve Veri Kaynakları..... | 14    |
| 2.4 Sayısal Yükseklik Modeli İçin Araziyi Tanımlayan Parametreler .....               | 18    |
| 2.4.1 Gradyent ve Eğrilik .....                                                       | 18    |
| 2.4.2 Bump frekansı.....                                                              | 21    |
| 2.4.3 Kırık Çizgiler .....                                                            | 22    |
| 2.4.4 Engebe Parametresi .....                                                        | 22    |
| 2.4.5 Düzlemin Dağılımı .....                                                         | 22    |
| 2.5 Sayısal Yükseklik Modeli Oluşturma Yöntemleri.....                                | 23    |
| 2.5.1 Veri Toplama .....                                                              | 23    |
| 2.5.1.1 Yersel Ölçülerle Verilerin Elde Edilmesi .....                                | 23    |
| 2.5.1.2 Fotogrametrik Yöntemle Verilerin Elde edilmesi .....                          | 23    |
| 2.5.1.3 Kartografik Yöntemlerle Verilerin Elde edilmesi .....                         | 23    |
| 2.5.1.4 Uydu Görüntülerinden Sayısal Yükseklik Modeli Verilerinin Elde Edilmesi ..... | 23    |
| 2.5.2 Sayısal Yükseklik Modeli Veri yapıları .....                                    | 24    |
| 2.5.2.1 Grid Yöntemi ile Sayısal Yükseklik Modellemesi .....                          | 24    |
| 2.5.2.2 Üçgenleme Yöntemleri .....                                                    | 25    |
| 2.5.2.3 Düzensiz Üçgen Ağları (TIN) .....                                             | 26    |
| 2.5.2.4 İyi Bir Üçgenlemeden Beklenen Özellikler.....                                 | 27    |
| 2.5.2.5 Üçgenlemede Karşılaşılan Sorunlar .....                                       | 28    |
| 2.6 Sayısal Yükseklik Modellerinin Doğruluğu .....                                    | 29    |
| 2.6.1 Cebirsel Ortalama .....                                                         | 30    |
| 2.6.2 Mutlak Hataların Ortalaması .....                                               | 30    |
| 2.6.3 Karesel Ortalama Hata.....                                                      | 30    |
| 2.6.4 Standart Sapma .....                                                            | 31    |

|       |                                                                                                                     |    |
|-------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 3.    | RADAR SİSTEMLERİ .....                                                                                              | 33 |
| 3.1   | Genel.....                                                                                                          | 33 |
| 3.2   | Radarlar Tarafından Kullanılan Elektromanyetik Dalga.....                                                           | 34 |
| 3.3   | Radar Görüntüleme Geometrisi.....                                                                                   | 36 |
| 3.3.1 | Uzunluk çözünürlüğü .....                                                                                           | 37 |
| 3.3.2 | Azimut Çözünürlüğü .....                                                                                            | 39 |
| 3.4   | Radar Görüntüleme ile Ölçülen Yansıma.....                                                                          | 40 |
| 3.5   | Radar Sinyalinin Özelliklerini Etkileyen Parametreler .....                                                         | 40 |
| 3.5.1 | Frekans.....                                                                                                        | 40 |
| 3.5.2 | Gelme Açısı .....                                                                                                   | 42 |
| 3.5.3 | Yüzeyin geometrisi ve pürüzlülük özelliği.....                                                                      | 42 |
| 3.5.4 | Yüzeyin Nemi ve Islaklık Özelliği .....                                                                             | 44 |
| 3.6   | Radar Görüntülerindeki Bozulmalar .....                                                                             | 44 |
| 3.6.1 | Benek Etkisi.....                                                                                                   | 45 |
| 3.6.2 | Gölgeleme:.....                                                                                                     | 47 |
| 3.6.3 | Eğik mesafe ölçek bozulması .....                                                                                   | 48 |
| 3.6.4 | Uzunluk kısalması .....                                                                                             | 49 |
| 3.6.5 | Bindirme .....                                                                                                      | 50 |
| 4.    | SRTM Verilerinin DTED ve 1:25.000 Ölçekli Topografik Haritalardaki<br>Yükseklik Veriler ile Karşılaştırılması ..... | 51 |
| 4.1   | SRTM (Shuttle Radar Topography Mission) Verileri Hakkında Genel Bilgiler...                                         | 51 |
| 4.2   | RADAR İnterferometre Tekniği.....                                                                                   | 52 |
| 4.2.1 | İnterferometre .....                                                                                                | 53 |
| 4.3   | Kullanılan Algılayıcılar ve Özellikleri .....                                                                       | 55 |
| 4.4   | SRTM Verilerinin Özellikleri.....                                                                                   | 56 |
| 4.5   | DTED Verileri Hakkında Genel Bilgiler.....                                                                          | 59 |
| 4.6   | SRTM Verilerinin DTED Verileri ile Karşılaştırılması .....                                                          | 61 |
| 4.6.1 | Karşılaştırmada Kullanılan Yazılım ve Donanımlar .....                                                              | 61 |
| 4.6.2 | DTED1 Verileri ile Arasındaki Yükseklik Farklarının Yapılan Uygulama ile<br>incelenmesi .....                       | 62 |
| 4.6.3 | DTED2 Verileri ile Arasındaki Yükseklik Farklarının Yapılan Uygulama ile<br>incelenmesi .....                       | 70 |
| 4.6.4 | SRTM ve DTED Verilerinin Arazi Kesitlerinin İncelenmesi .....                                                       | 73 |
| 4.7   | SRTM Verilerinin 1:25000 Ölçekli Topografik Haritalara ait Yükseklik Verileri<br>ile Karşılaştırılması:.....        | 74 |
| 5.    | SONUÇ VE ÖNERİLER.....                                                                                              | 79 |
|       | KAYNAKLAR.....                                                                                                      | 81 |
|       | ÖZGEÇMİŞ.....                                                                                                       | 83 |

## SİMGE LİSTESİ

|                       |                                                                                |
|-----------------------|--------------------------------------------------------------------------------|
| $c$                   | Işık hızı.                                                                     |
| $\tau$                | Puls süresi.                                                                   |
| $\theta$              | Radar Sinyalinin geliş açısı.                                                  |
| $L$                   | Puls uzunluğu.                                                                 |
| $R_a$                 | Azimut çözünürlüğü.                                                            |
| $S$                   | Eğik uzunluk.                                                                  |
| $\lambda$             | Dalga boyu.                                                                    |
| $D$                   | Anten uzunluğu.                                                                |
| $\langle P_r \rangle$ | Her piksel için algılanan ortalama güç.                                        |
| $G^2(\theta_i)$       | Tek yönlü anten gücü.                                                          |
| $R$                   | Yansıtıcı yüzey ile anten arasındaki mesafe.                                   |
| $\Delta x$            | Azimut doğrultusundaki piksel aralığı.                                         |
| $\Delta R$            | Eğik mesafe doğrultusundaki piksel aralığı.                                    |
| $\sigma^0$            | Arazinin bir birimi için ortalama yansıtma değeri.                             |
| $C_T$                 | Gönderilen güç, dalga boyu, çeşitli kazanımlar ve kayıplar için sistem sabiti. |
| $Z$                   | Herhangi bir noktaya ait yükseklik değeri.                                     |

**KISALTMA LİSTESİ**

|        |                                         |
|--------|-----------------------------------------|
| DTED   | Digital Terrain Elevation Data          |
| OH     | Mutlak Ortalama Hata                    |
| KOH    | Karesel Ortalama Hata                   |
| LMAS   | Linear Map Accuracy Standart            |
| NGA    | National Geospatial-Intelligence Agency |
| RADAR  | Radio Detecting And Ranging             |
| SAM    | Sayısal Arazi Modeli                    |
| StdS   | Standart Sapma                          |
| SYM    | Sayısal Yükseklik Modeli                |
| SRTM   | Shuttle Radar Topography Mission        |
| TIN    | Triangulated Irregular Network          |
| YÜKPAF | Yükseklik Paftası                       |

## ŞEKİL LİSTESİ

|                                                                                                                                              |    |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Şekil 2.1 Sayısal Yükseklik Modelleri Üretimi / Oluşturmak için Akış Diyagramı.(Saygılı, 2004). .....                                        | 15 |
| Şekil 2.2 Gradyent açısı.....                                                                                                                | 18 |
| Şekil 2.3 SYM ait 3x3 Grid gösterimi.....                                                                                                    | 18 |
| Şekil 2.4 Gradyent yardımıyla elde edilen parametreler. Mavi çizgi, eğrim; yeşil çizgi, enine eğrilik; kırmızı çizgi boyuna eğrilik.[1]..... | 19 |
| Şekil 2.7 Enine eğrilik[1]. .....                                                                                                            | 20 |
| Şekil 2.8 Boyuna eğrilik[1]. .....                                                                                                           | 21 |
| Şekil 2.9 Arazi Yüzeyine uyabilecek düzleme dik doğrultular (Koçak, 1988).....                                                               | 22 |
| Şekil 2.10 Kullanılan grid yapıları. ....                                                                                                    | 25 |
| Şekil 3.1 Elektromanyetik spektrum. (Türker, 2004).....                                                                                      | 34 |
| Şekil 3.2 Elektromanyetik dalgaların atmosferik geçirgenliği.[6] .....                                                                       | 35 |
| Şekil 3.3 Radar görüntüleme geometrisi. ....                                                                                                 | 36 |
| Şekil 3.4 Uzunluk çözünürlüğü. ....                                                                                                          | 38 |
| Şekil 3.5 Uzunluk çözünürlüğünün etkileri.....                                                                                               | 38 |
| Şekil 3.6. Azimut çözünürlüğü. ....                                                                                                          | 39 |
| Şekil 3.7 Radar sinyallerinde frekans etkisi Polarizasyon.....                                                                               | 41 |
| Şekil 3.8 Yatay ve düşey polarizasyon.....                                                                                                   | 42 |
| Şekil 3.9 Radar yansıma değerlerinde yüzeyin etkisi.....                                                                                     | 43 |
| Şekil 3.10 Farklı yüzeyler için radar görüntüleri.....                                                                                       | 44 |
| Şekil 3.11 Radar görüntülerinde benek. ....                                                                                                  | 45 |
| Şekil 3.12 Çok bakışlı görüntü alma. ....                                                                                                    | 46 |
| Şekil 3.13 (a) Tek bakışlı görüntü normal görüntü; (b)Çok bakışlı görüntü örneği.....                                                        | 46 |
| Şekil 3.14 Filtreleme Tekniği. ....                                                                                                          | 47 |
| Şekil 3.15 Frost filtreleme sonucu.....                                                                                                      | 47 |
| Şekil 3.16 Radar gölgeleme.....                                                                                                              | 48 |
| Şekil 3.17 Farklı uzaklıklardaki aynı boyuttaki detaylarda meydana gelen ölçek bozulması..                                                   | 48 |
| Şekil 3.18 Eğik mesafe ölçek bozulması radar görüntüsü.....                                                                                  | 49 |
| Şekil 3.19 Uzunluk kısalması. ....                                                                                                           | 49 |
| Şekil 3.20 Radar görüntülerindeki bindirme. ....                                                                                             | 50 |
| Şekil 4.1 SRTM verilerinin kapsadığı alan. ....                                                                                              | 51 |
| Şekil 4.2 Uzay Mekiğinin verisinin kapladığı alan .....                                                                                      | 51 |
| Şekil 4.3 SRTM için kullanılan uzay mekiği ve donanımı.....                                                                                  | 52 |
| Şekil 4.4 SRTM için Uzay Mekiğinin veri toplama görüntüsü.....                                                                               | 53 |
| Şekil 4.5 Radar Sinyal Grafiği.....                                                                                                          | 53 |
| Şekil 4.6 Bir tek alıcı ile gönderilen ve yansıyan radar dalgaları.....                                                                      | 54 |
| Şekil 4.7 İki alıcı ile gönderilen ve yansıyan radar dalgaları. ....                                                                         | 54 |
| Şekil 4.8 Yüksekliği veren diferansiyel uzaklıklar.....                                                                                      | 55 |
| Şekil 4.9 SRTM1 verisinden SRTM3 ve SRTM30 verilerinin elde edilmesi.....                                                                    | 57 |
| Şekil 4.10 SRTM3, 1.sürüm ve 2. sürüm verileri.....                                                                                          | 58 |
| Şekil 4.11. Microdem yazılımı. ....                                                                                                          | 61 |
| Şekil 4.12 SRTM ve Dted1 verisi.....                                                                                                         | 62 |
| Şekil 4.13 N39E030.hgt-3039.dt1 verileri arasındaki yükseklik farkları.....                                                                  | 63 |
| Şekil 4.14 N39E030.hgt-3039.dt1 verileri arasındaki yükseklik farklarının nokta sayısına göre dağılımı. ....                                 | 64 |
| Şekil 4.15 (a)N40E034.hgt ve (b)3440.dt1 verileri.....                                                                                       | 64 |
| Şekil 4.16 N40E034.hgt ve 3440.dt1 verileri arasındaki yükseklik farkları .....                                                              | 65 |
| Şekil 4.17 (a)N35E038.hgt ve (b)3835.dt1 verileri.....                                                                                       | 66 |
| Şekil 4.18 N35E038.hgt ve 3835.dt1 verileri arasındaki yükseklik farkları. ....                                                              | 66 |

|                                                                                          |    |
|------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Şekil 4.19 N40E027.hgt ve 2740.dt1 verileri. ....                                        | 67 |
| Şekil 4.20 N40E027.hgt ve 2740.dt1 verileri arasındaki yükseklik farkları. ....          | 67 |
| Şekil 4.21 N41E028.hgt ve 2841.dt1 verileri. ....                                        | 68 |
| Şekil 4.22 N41E028.hgt ve 2841.dt1 verileri arasındaki yükseklik farkları. ....          | 68 |
| Şekil 4.23 N38E035.hgt ve L35C2.dt2 verileri. ....                                       | 70 |
| Şekil 4.24 N38E035.hgt ve L35C2.dt2 verileri arasındaki yükseklik farkları. ....         | 70 |
| Şekil 4.25 N38E026.hgt ve K17C.dt2 ve verileri. ....                                     | 71 |
| Şekil 4.26 N39E031.hgt ve J26A4.dt2 verileri arasındaki yükseklik farkları. ....         | 71 |
| Şekil 4.27 SRTM-DTED1-DTED2 verilerinde ortak alanlarda çizilen arazi kesitleri. ....    | 73 |
| Şekil 4.28 SRTM-DTED1-DTED2 verilerinde ortak alanlarda çizilen arazi kesitleri. ....    | 73 |
| Şekil 4.29 SRTM-DTED1-DTED2 verilerinde ortak alanlarda çizilen arazi kesitleri. ....    | 74 |
| Şekil 4.30 Yerleşim yerinde SRTM ile Topografik harita arasındaki farklar. ....          | 76 |
| Şekil 4.31 Ormanlık ve dağlık alanda SRTM ile Topografik harita arasındaki farklar. .... | 77 |
| Şekil 4.32 Ormanlık ve dağlık alanda SRTM ile Topografik harita arasındaki farklar. .... | 77 |

### ÇİZELGE LİSTESİ

|                                                                                                            |    |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Çizelge 2.1 SYM için veri toplama işleminde kullanılan kaynaklar. ....                                     | 17 |
| Çizelge 2.2 Hata olasılıkları. ....                                                                        | 32 |
| Çizelge 4.1 SRTM ve DTED Veri Standartları. (Taştan, 2006). ....                                           | 60 |
| Çizelge 4.2 SRTM verileri ile DTED1 verilerini karşılaştırma. ....                                         | 69 |
| Çizelge 4.3 SRTM verileri ile DTED2 verilerini karşılaştırma. ....                                         | 72 |
| Çizelge 4.4 SRTM verileri ile 1:25000 ölçekli topografik haritalara ait yüksekliklerin karşılaştırma. .... | 76 |
| Çizelge 4.4 Ormanlık ve dağlık bölgede yükseklik farklarının eğim gruplarına göre dağılımı. ....           | 78 |
| Çizelge 4.5 KOH eğime göre modellenmesi. ....                                                              | 78 |

## ÖNSÖZ

SRTM(Shuttle Radar Topography Mission) verilerinden elde edilen sayısal yükseklik modellerinin doğruluğunun incelendiği bu çalışmada, tez danışmanlığımı üstlenen ve çalışmanın her aşamasında bilgi ve deneyimleriyle bana yol gösteren sayın hocam Prof. Dr.Zübeyde ALKIŞ'a, Dr. Müh. Alb. Hayati TAŞTAN'a, Müh. Yzb. Mustafa ERDOĞAN'a ve de veri ve yazılımlarını kullandığım Harita Genel Komutanlığına teşekkür ederim.

Çalışmalarım sırasında benden yardımlarını esirgemeyen eşim Tuba ve oğlum Eren'e teşekkürü bir borç bilirim.

## ÖZET

Yeryüzü ile ilgili yapılan çalışmaların temeli topografyadır. Sayısal yükseklik modeli, seçilen uygun bir enterpolasyon fonksiyonu ile yeryüzünün fiziksel ve topoğrafik bilgisini tanımlamak için kullanılan genel bir terimdir. RADAR verileri, Sayısal yükseklik modeli için önemli bir veri kaynağıdır. SRTM; dünyanın %80'inin radar verisini toplamayı amaçlayan ABD, Almanya ve İtalya arasındaki ortak bir projedir. SRTM, interferometri ile yüksek kalitede üç boyutlu topografik veri üreten aktif bir radar sistemidir. SRTM verilerinden elde edilen 3" çözünürlüğe sahip sayısal yükseklik modeli verileri ücretsiz olarak kullanıma sunulmuştur.

Bu çalışmada ilk olarak 3" SRTM verileri ile DTED verileri arasındaki yükseklik farkları, Microdem, PCI Geomatica ve Global Mapper yazılımları kullanılarak incelendi. Daha sonra 1/25.000 topografik haritalardan 10m çözünürlükte SYM üretildi. Bu üretilen SYM ile SRTM verileri arasındaki yükseklik farkları hesaplandı. SRTM3 verileri ile DTED1 verileri arasındaki farklar DTED2 verileri ile arasındaki farklardan daha yüksek çıkmıştır. Böylece SRTM3 verileri DTED1 verileri gibi kullanılabilir.

Bu çalışma beş bölüme ayrılmıştır.

İlk bölüm giriş bölümüdür. İkinci bölümde SYM ile ilgili bilgiler verilmiştir. Üçüncü bölümde radar sistemleri, özellikleri ve radar verilerindeki hatalar hakkında bilgiler sunulmuştur. Dördüncü bölümde SRTM verileri ile DTED ve 1/25.000 Ölçekli haritalardan elde edilen SYM'ler karşılaştırılmıştır.

Beşinci bölümde sonuç ve öneriler sunulmuştur.

**Anahtar kelimeler:** SRTM, Sayısal yükseklik modeli, Radar.

## ABSTRACT

Topography is basic to many earth surface processes. Digital Terrain Model is a general term used to describe the physical and topographic information of earth's surface by choosing appropriate interpolation function. RADAR data is very significant data for Digital Elevation Models (DEM). SRTM is an active radar system which uses Interferometry to produce high quality 3-D topographic maps. SRTM is a joint project between USA, Germany and Italy to collect radar data for 80% of the earth. DEM derived from the Shuttle Radar Topographic Mission (SRTM) are now freely available in a resolution of 3 arc-seconds. These data can be very useful for topographic applications.

In this study first height differences between the SRTM 3 arc second data and DTED data was investigated by using Microdem, PCI Geomatica and Global Mapper Software. Next DEM, which has 10 meters resolution, was produced from 1/25.000 scale topographic map. Also height differences between SRTM data and the produced DEM were calculated. Differences between the SRTM and DTED1 are over than differences between the SRTM3 and DTED2 datas. So SRTM3 data can be used as the DTED1 data.

This study is divided five chapters.

First chapter is introduction.

In the second chapter, information about Digital elevation models was presented.

In the third chapter, Radar systems, principles of radar systems and radar error were presented.

In the fourth chapter SRTM 3 arc second data and DTED data were compared. Height differences are also presented.

In the fifth chapter, conclusions and proposals were presented.

**Key Words:** SRTM, Digital Elevation Model, Radar.

## 1. GİRİŞ

İlk olarak 1950 yıllarında geliştirilen SLAR sistemi ile askeri alanda kullanılmaya başlayan RADAR algılama sistemleri; anten tasarımında ve kayıt sistemlerindeki gelişmeler sonucunda, günümüzde çok değerli bir uzaktan algılama amaçlı veri toplama sistemi haline gelmiş olup; jeoloji, jeofizik, oşinografi, ormancılık gibi birçok bilim dalında kullanılmaya başlamıştır.

Birçok çalışmanın temelini oluşturan topografya hakkında doğruluğu yüksek veri toplamak önemli bir avantaj olarak ortaya çıkmıştır. Ülkeler genel olarak sadece kendi bölgelerinde bölgesel olarak sayısal yükseklik modeli oluşturmaktadırlar. Günümüzde özellikle askeri açıdan güç, arazi ve topografya hakkında elde ettiğiniz bilgi ile doğru orantılıdır. SRTM(Shuttle Radar Topography Mission) verileri bu konudaki en önemli gelişmelerden biridir. Çok kısa bir sürede ve dünyanın %80 gibi büyük bölümüne ait veri toplanarak doğruluğu yüksek bir sayısal yükseklik modeli oluşturulmuştur.

NASA'nın araştırmalarına göre küresel anlamda 10m bağıl düşey doğruluk ve 16 m mutlak düşey doğruluğa sahip bir SYM bu alandaki önemli bir gelişmedir. Fakat bu doğruluk küresel anlamdadır.

Bu çalışmada amaç, SRTM verilerinden elde edilen SYM(Sayısal Yükseklik Modeli) ile Harita Genel Komutanlığı tarafından üretilen DTED(Digital Terrain Elevation Data) verileri aralarındaki yükseklik farkları hesaplanarak SRTM verilerinin kullanılabilirliğinin araştırılmasıdır. Özellikle internet üzerinden ücretsiz olarak sunulan SRTM3 verilerinin, 90 metre çözünürlüğe sahip DTED1 verileri yerine kullanılabilirliği araştırılmıştır.

Yükseklik farkları ile birlikte SRTM verilerinin gerçekten arazi karakteristik hatları ile uyumu incelenerek kullanılabilirliği araştırılmıştır.

## 2. SAYISAL YÜKSEKLİK MODELİ

### 2.1 Sayısal Yükseklik Modelinin Tanımı

Sayısal Yükseklik Modeli kavramını 1950’li yıllarda Prof. Miller ortaya atmıştır. Miller’e göre “SYM; topoğrafik yüzeyin sayısal gösterimini” ifade eder. Günümüze kadar geçen sürede konu ile ilgili pek çok çalışma yapılmış ve değişik tanımlar verilmiştir.

“SYM; topoğrafik yüzeyi üç boyutlu koordinat kümesi ile temsil eder.”

“SYM; bilgisayarla yapılacak işlemlere esas olmak üzere yer yüzeyinin sayısal gösterimidir.”

“SYM; bir arazi noktası ile ilgili olarak verilen bir değişkenin durumunu sayısal anlamda temsil eden matematiksel modeldir.”

“SYM; topoğrafik bir veri tabanıdır.”

“SYM; fiziksel yeryüzünün tüm yapay ve doğal ayrıntılarının sayısal gösterimidir.”(Çolak, 1997), (Saygılı, 2004)

Topoğrafik bir yüzey, genellikle uygulamada sayısal bir model olarak iki şekilde gösterilir. Bunlar sayısal yükseklik modeli (SYM) ve sayısal arazi modeli (SAM).

Raster formatında ya da düzenli yükseklik noktalarından oluşan grid formatında ya da bir triangulasyon (üçgenleme) tarafından bağlanmış rasgele yükseklik noktalarının kümesidir. Başka bir ifadeyle üçgenlenmiş düzensiz ağ (TIN-Triangulated Irregular Networks) ile temsil edilir. GRID yönteminde sayısal yükseklik modelleri raster yapıda sayısal bir görüntü gibi depolanır ve görüntüdeki piksellerin her bir renk tonu yükseklik bilgisi içerir. Yani hücrelerin sayısal değerleri yükseklikleri gösterir. Bu yükseklikler genellikle deniz seviyesinden olan yükseklik bilgisidir.

Sayısal yükseklik modeli fiziksel yeryüzünün sınırlı bir bölümünden örnekleme yolu ile seçilmiş bir grup veriye (üç boyutta koordinatlar) uygun bir enterpolasyon fonksiyonunun uygulanması ve ilgili yüzeye en uygun yaklaşmanın sağlanarak arazinin topografik yapısının sayısal olarak gösterimi şeklinde tanımlanabilir. (Maraş, 1993)

SAM genellikle birbirine karıştırılan iki tanımlamadır. SYM bir (x,y) konumundaki bir nokta için sadece yükseklik bilgisi içerir. Eğer Z yüksekliği, bir noktanın arazi yüzeyindeki yüksekliği ise bu modele SAM denir.

Sayısal arazi modelinde bir noktanın yüksekliği ile birlikte arazi tanımlayan diğer bilgilere de gereksinim vardır.

Yükseklik bilgisi ile birlikte arazi yüzeyinin özellikleri, sıradağ zirvelerini ve sırtlarını, su ayırım ve toplama çizgilerini, vadileri gibi araziye tanımlayan bilgiler birleştirildiğinde SAM oluşturulur.

Görselleştirme teknikleri gerçek anlamda 3 Boyutlu CBS olarak kullanılamaz. İki boyutlu planimetrik veri yapısını içeren CBS'lere yüksekliğin (Sayısal yükseklik modeli ile desteklenmesi) öznitelik olarak eklenmesi ile ilgili çalışmalardır. 3B CBS'de veri yapıları 2B CBS'ye göre daha karmaşık ve veri tabanında çok fazla yer tutarlar, hacimsel olarak detay çizdirmek oldukça zordur. Bilgisayarda matematiksel algoritmalarla arazinin yapay üç boyutlu sayısal görüntüsü 2B CBS ile sayısal yükseklik modelinin bütünleştirilmesi ile oluşturulmaktadır. Böylece istenilen noktadan üç boyutlu perspektif görüntüyü izlemek mümkündür. Buna 2.5B modelleme denmektedir. 2.5 B CBS'de klasik 2B CBS veri yapısı kullanılmaktadır. Yani Vektör ve/veya Raster yapıdaki veri yapıları. Sayısal yükseklik modeli bir arayüz ile bütünleştirilmektedir. Yüzey üzerindeki X,Y koordinatlarındaki herhangi bir noktadaki H yüksekliği enterpolasyonla hesaplanabilir. Böylece 2B CBS verileri 3B formda görselleştirilebilmektedir.(Alkış, 2006)

$$H = f(x, y) \quad (2.1)$$

## 2.2 Sayısal Yükseklik Modeli Oluşturmanın Hedefleri

Mühendislik projelerinin çoğunda topografya genellikle ilk gereksinimlerden birisidir. Oluşturulacak bir merkezi bilgi bankasından, istendiğinde bilgilerin sayısal ya da değişik formlarda alınabilmesinin tek yolu da Sayısal Yükseklik Modellerinin oluşturulmasıdır. SYM, 3 B coğrafi bilgi sisteminin vazgeçilmez bir elemanıdır.

Sayısal Yükseklik Modellerine duyulan ihtiyaç kendisini özellikle haritacılık alanında göstermektedir. Sayısal Yükseklik Modelleri oluşturulmasındaki hedefler;

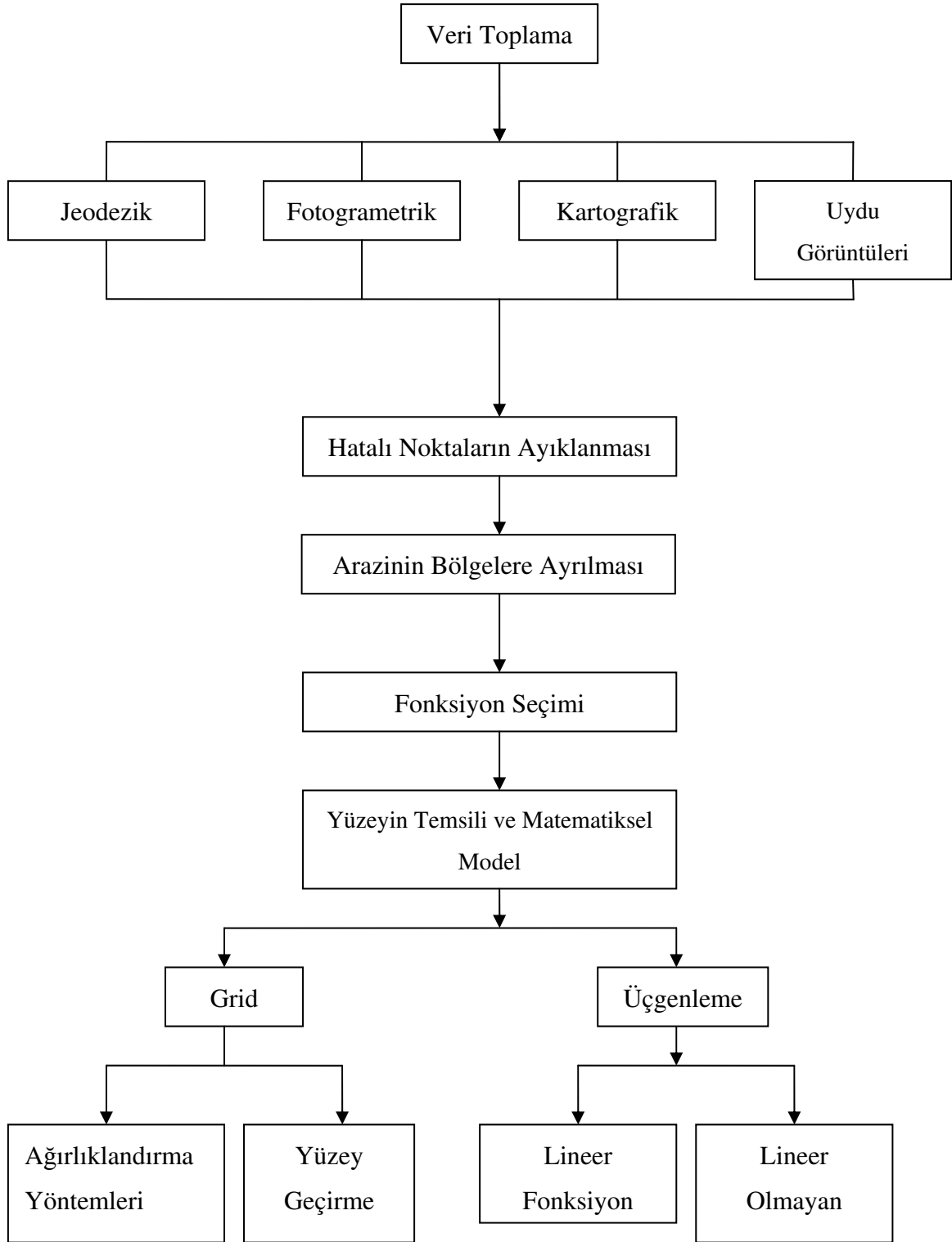
- Harita yapımının hızlandırılması.
- Harita yapımında maliyetin düşürülmesi.
- Bilgi bankalarının oluşturulması.
- İnsan gücü ihtiyaçlarının azaltılması.
- Harita yapımında kalitenin artırılması.
- Özel amaçlı harita yapımının kolaylaştırılması.

- Harita üretiminde standardizasyon.
- Haberleşme ve ulaşım ağlarının planlanmasına destek sağlanması.
- Bayındırlık ve iskan çalışmalarının hızlandırılması.
- Savunma amaçlı faaliyetlere destek sağlanması.
- Gelişmiş silah sistemlerinin kullanılması.
- Yol ağı, sulama ağı ve baraj planlaması, hacim ve drenaj hesaplamaları gibi mühendislik hizmetlerinin kolaylaştırılması.
- Değişik disiplinlerde kullanılacak özel ürünlerin elde edilmesi. (Maraş, 1993)

### **2.3 Sayısal Yükseklik Modeli Oluşturmak İçin Sistem Aşamaları Ve Veri Kaynakları**

Sayısal Yükseklik Modelleri için üç ana işlem söz konusudur. Bunlar sırasıyla:

- Verilerin elde edilmesi,
- Verilerin işlenmesi,
- Uygulama işlemleridir.



Şekil 2.1 Sayısal Yükseklik Modelleri Üretimi / Oluşturmak için Akış Diyagramı.(Saygılı, 2004).

Sınırlı sayıda dayanak noktası seçilerek bu dayanak noktalarının x,y,z koordinatları ölçülür. Bu dayanak noktaları yardımıyla diğer istenen noktaların koordinatlarının belirlenmesi SYM/SAM iki önemli özelliğini oluşturmaktadır.

Nakamura ilgili yazısında (Nakamura, H 1968) mühendislik çalışmalarında yükseklik bilgilerinin elde edilmesine yönelik SAM için aşağıdaki gereksinimleri zorunlu kılmıştır.

- SYM olabildiğince az sayıda dayanak noktasından oluşturulmalıdır.
- Arazi bilgilerinin işlenmesi verimli bir biçimde yapılmalıdır.
- SYM arazinin topografyasını yeteri incelikte bir yaklaşımla temsil etmelidir.
- Enterpolasyon ile yükseklikleri elde edilen noktalar için hesaplama süresi çok fazla olmamalıdır.

Yukarıda belirtilen gereksinimleri etkileyen başlıca üç faktör vardır. Bunlar;

- Arazinin tipi,
- Ölçü (dayanak) noktalarının dağılımı ve nokta sıklığı,
- Uygulanan yöntem. (Koyuncu, 1981)

Bu aşamalar arasında maliyeti yüksek ve zaman alıcı olanı kuşkusuz veri toplama aşamasıdır. Çünkü araziye en iyi temsil eden SYM'ne sahip olmak arzulanır. Böyle bir SYM çok sayıda doğru konum(x,y) ve yükseklik(h) bilgisi içermelidir. Öte yandan girdi verilerindeki doğruluk, sonuçta elde edilen SYM'nin kalitesini belirleyeceğinden toplanan verilerin doğruluk derecesi de tüm kullanıcıların gereksinimlerini karşılayacak düzeyde olmalıdır. Üretim ülke bazında düşünüldüğünde, kullanılan veri kaynakları ve veri toplama yöntemlerinin önemi daha açık görülmektedir.

Çizelge 2.1 SYM için veri toplama işleminde kullanılan kaynaklar

| KAYNAK GRUBU                     | KAYNAK CİNSİ                                                                                    |
|----------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Mevcut harita<br>ve dokümanlar   | Çizgisel haritalar<br>Tematik haritalar<br>Grafik çizimler<br>Orto foto haritalar<br>Dokümanlar |
| Fotoğraf ve görüntüler           | Hava fotoğrafları<br>Yersel fotoğraflar<br>Uzaktan algılama görüntüleri                         |
| Algılayıcı verileri              | Uydudan algılanan veriler<br>Uçaklara takılı kamera ile algılanan veriler<br>LIDAR Verileri     |
| Arazi verileri                   | Klasik ölçme kayıtları<br>Manyetik ortamda arazi ölçüleri<br>GPS ölçüleri                       |
| Hazır sayısal coğrafi<br>veriler | Standart formatta sayısal coğrafi bilgi kütükleri                                               |

## 2.4 Sayısal Yükseklik Modeli İçin Araziyi Tanımlayan Parametreler

### 2.4.1 Gradyent ve Eğrilik

Gradyent, denklemi  $z=f(x,y)$  olan bir yüzeyin herhangi bir noktasındaki en büyük eğim doğrultusunun eğimi olarak tanımlanır ve

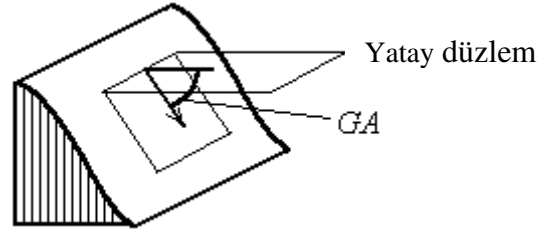
$$S = \sqrt{\left(\frac{\partial z}{\partial x}\right)^2 + \left(\frac{\partial z}{\partial y}\right)^2} \quad (2.2)$$

bağıntısı ile ifade edilir. Aynı yüzeyin yine aynı noktasındaki eğriliği ise,

$$C = \sqrt{\left(\frac{\partial^2 z}{\partial x^2}\right)^2 + \left(\frac{\partial^2 z}{\partial y^2}\right)^2} \quad (2.3)$$

formülü ile hesaplanır. Engebe parametresi olarak S ve C'nin varyansı ele alınır. Eğer varyans büyük ise çeşitli dağılım gösterdiği, küçük ise homojen dağılım gösterdiği varsayılır.

Gradyent açısı (GA) ise yüzeyin yatay düzlem ile yaptığı açıdır.(Şekil 2.2)



Şekil 2.2 Gradyent açısı.

Gradyent ve eğrilik ile ilişkili parametreler eğim, bakı, düzlem eğikliği, düşey(profil eğikliği), ve ortalama eğiklik olarak belirtilebilir.

Event-Young yöntemine göre arazi gradyentinin türevleri verilirse(burada  $Z=f(x,y)$  );

|    |    |    |
|----|----|----|
| Z1 | Z2 | Z3 |
| Z4 |    | Z6 |
| Z7 | Z8 | Z9 |

Şekil 2.3 SYM ait 3x3 Grid gösterimi.

$$G = \frac{df}{dx} = \frac{Z3 + Z6 + Z9 - Z1 - Z4 - Z7}{6.p} \quad (2.4)$$

$$H = \frac{df}{dy} = \frac{Z1 + Z2 + Z3 - Z7 - Z8 - Z9}{6.p} \quad (2.5)$$

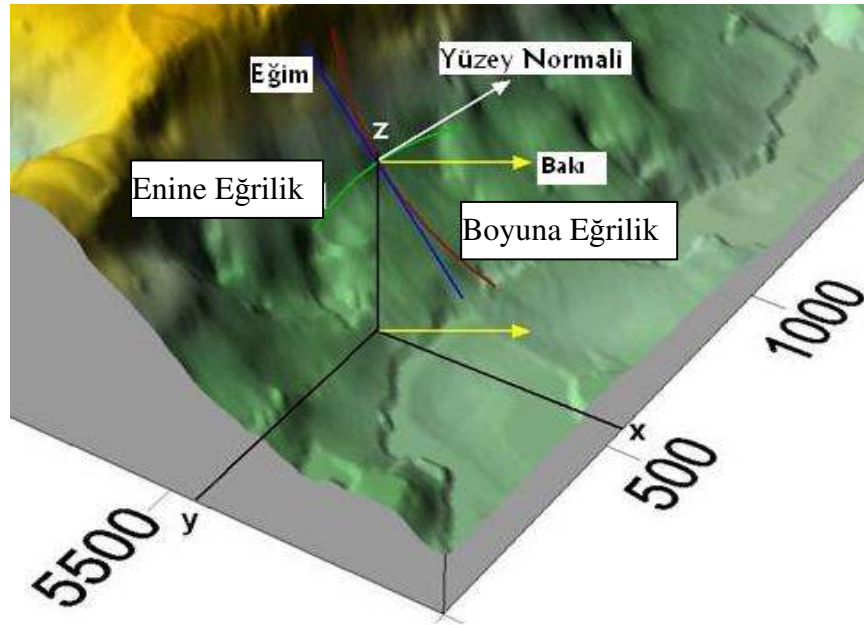
$$D = \frac{d^2 f}{dx^2} = \frac{Z1 + Z3 + Z4 + Z6 + Z7 + Z9 - 2.(Z2 + Z5 + Z8)}{3.p^2} \quad (2.6)$$

$$E = \frac{d^2 f}{dy^2} = \frac{Z1 + Z2 + Z3 + Z7 + Z8 + Z9 - 2.(Z4 + Z5 + Z6)}{3.p^2} \quad (2.7)$$

$$F = \frac{d^2 f}{dxy} = \frac{Z3 + Z7 - Z1 - Z9}{4.p^2} \quad (2.8)$$

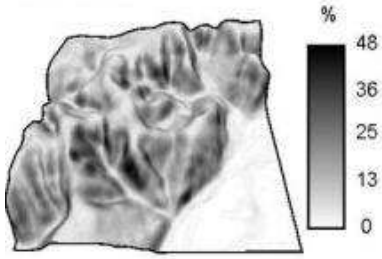
Burada Z1, ... ,Z9 bir pikselin sekiz komşulundaki pikseller için yükseklik değeri; G, x yönündeki 1.türev; H, y yönündeki 1. türev; D, x yönündeki 2.türev; E, y yönündeki 2. türev; F, x ve y' nin köşegenleri yönündeki türevi; p ise piksel boyutu olarak tanımlanır (Hengl vd. 2003)

Yukarıda belirtilen bu beş gradiyent yardımıyla arazi yapısını oluşturan parametreler belirlenebilir (Şekil 2.4)



Şekil 2.4 Gradiyent yardımıyla elde edilen parametreler. Mavi çizgi, eğrim; yeşil çizgi, enine eğrilik; kırmızı çizgi boyuna eğrilik.[1]

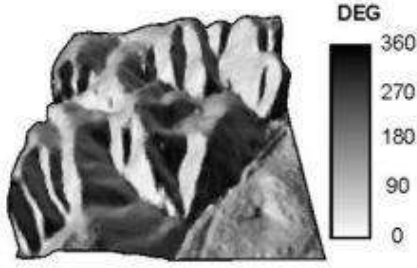
- **Eğim:** Yüksekliğin x ve y yönündeki değişim oranını gösterir (Şekil 2.5)[5]



$$\text{Eğim} = \sqrt{H^2 + G^2} \quad (2.9)$$

Şekil 2.5 Eğim.[5]

- **Bakı:** Bir arazi yüzeyine teğet geçen düzlemin kuzeyden itibaren yaptığı açıdır. (Şekil 2.6)

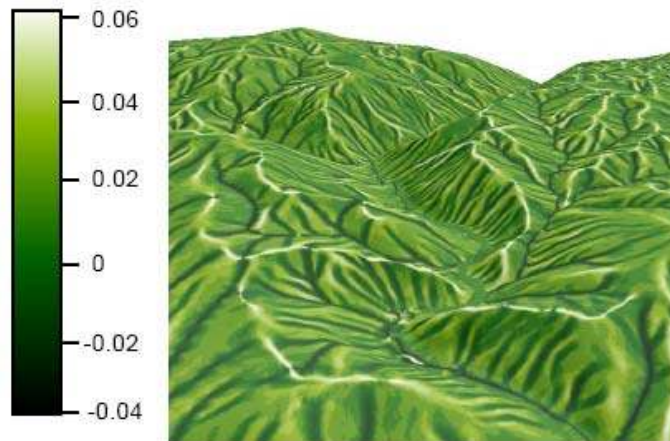


$$\text{Bakı} = \arctan\left(\frac{H}{G}\right) \quad (2.9)$$

Şekil 2.6 Bakı.[5]

Burada G, x yönündeki 1.türev (2.4 denklemi); H, y yönündeki 1. türev (2.4 denklemi).

- **Enine eğrilik(plan curvature):** Arazi yüzeyinin eğim yönüne dik doğrultudaki eğriliğidir. Pozitif eğrilik sırt hattı, negatif eğrilik su toplama hattı (dere hattı) gösterir. (Şekil 2.7)[1]

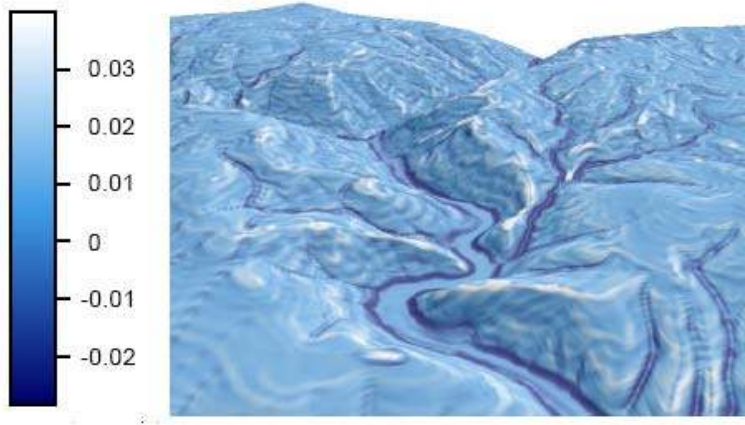


Şekil 2.7 Enine eğrilik[1].

$$\text{Enine Eğrilik} = \left( \frac{H^2 \cdot D - 2 \cdot G \cdot H \cdot F + G^2 \cdot E}{(G^2 + H^2)^{3/2}} \right) \quad (2.10)$$

- **Boyuna eğrilik (Düşey doğrultudaki eğrilik), (profil curvature):** Arazi yüzeyinin eğim yönüne paralel doğrultudaki eğriligidir. Dere ve su kanalları boyunca yüzeyin yükseklik değişim oranını verir. Pozitif eğrilik dışbükey bir arazi, negatif eğrilik ise içbükey bir arazi olduğunu gösterir. (Şekil 2.5)[1]

Örneğin arazide bir dere detayı düşünülecek olursa derenin, suyun ilerleme doğrultusundaki eğrilik boyuna eğrilik ya da düşey eğrilik; derenin her hangi bir noktasında aldığımız enine kesit boyunca göstermiş olduğu eğrilik enine eğriliği verir.



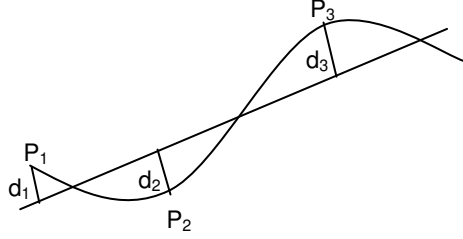
Şekil 2.8 Boyuna eğrilik[1].

$$\text{Boyuna (profil) Eğriliği} = \left( \frac{G^2 \cdot D - 2 \cdot G \cdot H \cdot F + H^2 \cdot E}{(G^2 + H^2) \cdot (1 + G^2 + H^2)^{3/2}} \right) \quad (2.11)$$

$$\text{Ortalama Eğrilik} = \left( \frac{(1 + H^2) \cdot D - 2 \cdot G \cdot H \cdot F + (1 + G^2) \cdot E}{2 \cdot (1 + G^2 + H^2)} \right) \quad (2.12)$$

#### 2.4.2 Bump frekansı

Arazi noktalarından bu noktalara en iyi şekilde uyabilecek düzleme dik doğrultulardaki uzaklıkların ortalaması ve varyansı hesaplanarak elde edilir (Şekil 2.9). Böylece arazinin topoğrafik yapısı hakkında bir fikir elde edilebilir. (Koçak, 1988)



Şekil 2.9 Arazi Yüzeyine uyabilecek düzleme dik doğrultular (Koçak, 1988).

### 2.4.3 Kırık Çizgiler

Matematiksel olarak kırık çizgiler yüzey türevlerinin kesikli olduğu çizgilerdir. Bunlara set, hendek ve uçurum kenarları örnek olarak verilebilir. Stereo modelde kolayca belirlenemezler. Buna çözüm olarak kesitlerin çeşitli bölümlerine ardışık şekilde yerleştirilen polinomlar kullanılabilir.

$$Z = a + bx + cx^2 \quad (2.13)$$

Örneğin (x) doğrultusunda giderken parabol eğrisi kesit parçalarına ardışık olarak yerleştirilirse eğimdeki ani değişimlere karşılık parabolün katsayılarında anlamlı değişimler olacaktır. Fakat burada kesitler boyunca yeterli yoğunlukta nokta olmasına dikkat edilmelidir.

### 2.4.4 Engebe Parametresi

Yüzey alanı ile düzlemsel alanlar arasındaki oran engebe parametresi olarak alınır.

### 2.4.5 Düzlemin Dağılımı

Önce arazi, dayanak noktalarından geçen (dengelemesiz) birbiri üzerine binmeyen bitişik düzlem üçgenlerle kaplanır. Bu üçgenlerin normalleri ve bunlara karşılık gelen birim vektörleri hesaplanır. Bunu takiben vektör kuvveti ve vektör dispersiyonu bulunur. Burada sözü edilen vektör kuvveti, doğrultu kosinüslerinin karelerinin toplamının birim vektörünün sayısına bölümünün kareköküdür. Vektör dispersiyonu ise birim vektörlerin varyansıdır. Yükseklik değişimlerinin az olduğu yerlerde vektör kuvveti yüksek, vektör dispersiyonu küçüktür.

## **2.5 Sayısal Yükseklik Modeli Oluşturma Yöntemleri**

### **2.5.1 Veri Toplama**

#### **2.5.1.1 Yersel Ölçülerle Verilerin Elde Edilmesi**

Yersel yöntemlerle yapılan veri derleme işlemleri ölçümlerin arazi üzerinde yapılması nedeniyle duyarlılığı en yüksek olanıdır. Son yıllarda büyük gelişme gösteren elektronik takeometrelerin (Total Station) ve uydu konum belirleme sistemlerin (GPS) devreye girmesi ile arazi bilgileri yüksek duyarlıklarda ve hızlı bir biçimde elde edilebilmektedir. Burada tek bağlayıcı unsur elektronik ölçerin duyarlılığı, istasyon noktasının doğruluğu, operatörün nokta seçim ve ölçme deneyimidir.

#### **2.5.1.2 Fotogrametrik Yöntemle Verilerin Elde edilmesi**

Dayanak noktaları, hava fotoğraf çiftlerinden oluşturulan üç boyutlu modeller üzerinde fotogrametrik değerlendirme sistemleri aracılığı ile ölçülür. dayanak noktalarının ölçüsü Sayısal fotogrametrik değerlendirme sistemlerinde karşılıklı yöneltme işleminden sonra ölçme yapılır. Fotogrametrik verilerin en önemli özelliği üç boyutlu ve yüksek doğruluklu olmasıdır. Bu amaçla uygulanan iki yöntemden biri foto-tarama yöntemidir. Bu yöntemde tek hava fotoğrafı çok küçük piksel boyutunda (7.5-12.5 mikron) başka bir deyişle yüksek çözünürlükte raster olarak taranmakta, elde edilen gri kodların bölgeye ait SAM ile rektifikasyonu sağlanmakta, sonra sayısal görüntü işleme yöntemi ile işlenmektedir. İkinci yöntem ise softcopy fotogrametrisidir. Stereoskopik resim çiftlerinden üç boyutlu model oluşturma yerine resimler önce CCD kamera ile raster olarak taranmaktadır. Bu raster görüntü çifti ile renkli grafik ekranda aynı anda görüntülenmektedir. Bu görüntüyü operatör özel bir gözlük ile grafik olarak üç boyutlu gözlenebilmektedir. Böylelikle ekrandan değerlendirme yapabilmektedir.

#### **2.5.1.3 Kartoğrafik Yöntemlerle Verilerin Elde edilmesi**

Eşyükseklik eğrilerini içeren harita, ortofoto harita ya da benzeri altlıklar mevcut ise bu altlıklar üzerindeki detayları sayısallaştırarak SAM için veri toplanabilir. Sayısallaştırma işlemi manüel ya da otomatik olarak yapılabilir.

#### **2.5.1.4 Uydu Görüntülerinden Sayısal Yükseklik Modeli Verilerinin Elde Edilmesi**

Topoğrafik harita üretimi için gerekli yükseklik bilgisi, sadece bindirmeli görüntülerden, stereo fotogrametri teknikleri kullanılarak elde edilebilir.

Uydu görüntülerinden sayısal yükseklik bilgisi, uygun yazılım desteği ile analitik aletlerden elde edildiği gibi, sayısal görüntü eşleştirme (matching) teknikleri kullanılarak sayısal fotogrametrik çalışma istasyonlarında da elde edilebilmektedir. Otomatik korelasyon tekniği adı da verilen ve paralaks farklarını belirleyerek sayısal arazi yükseklik modelini elde etme şeklinde kullanılan teknik, görüntü çiftlerinin karşılaştırılmasını gerekli kılmaktadır. Söz konusu geometrik model, yörünge bilgileri ve yer kontrol noktalarının eklenmesiyle tanımlanmaktadır. Görüntü korelasyonu, eşlenik hatları boyunca oluşturulan kenar veya detay noktalarını esas almaktadır.

Uzaktan algılama çalışmalarında, mikro dalga algılayıcı sistemlerinden yararlanma oldukça yaygın bir tekniktir. Uygulamada günümüze kadar çok fazla yaygın olarak kullanılmamakla beraber, bu konu üzerindeki araştırmalar yoğunlaştırılmıştır. Mikro dalga algılayıcılarının yakın bir gelecekte, uzaktan algılamada en çok kullanılan yöntemlerden biri olacağı görüşü ağırlık kazanmaktadır. Aktif algılama sistemi olarak adlandırılan mikro dalga algılayıcısı RADAR sistemleri hem askeri amaçlı, hem de sivil amaçlı uzaktan algılama çalışmalarında kullanılmaktadır. Radarla her türlü hava koşullarında, gece ve gündüz görüntü elde edilebilmektedir.

## **2.5.2 Sayısal Yükseklik Modeli Veri yapıları**

Sayısal yükseklik modeli uygulamaları için birçok program paketleri yazılmıştır. Her bir program paketi birbirinden bağımsız olarak yazılmış ve genellikle belirli bir uygulama veya belirli bir bilgisayarda kullanılabilir şekilde ya da farklı programlama dillerinde geliştirilmiştir. Bu farklılığa rağmen bunların karakteristik yapıları incelendiğinde bir ya da iki temel yaklaşımın izlendiği göze çarpar.

Yükseklik verileri düzgün grid formatında ya da rasgele yerlerde seçilmiş noktalardan oluşan üçgen ağları formatında olabilir.

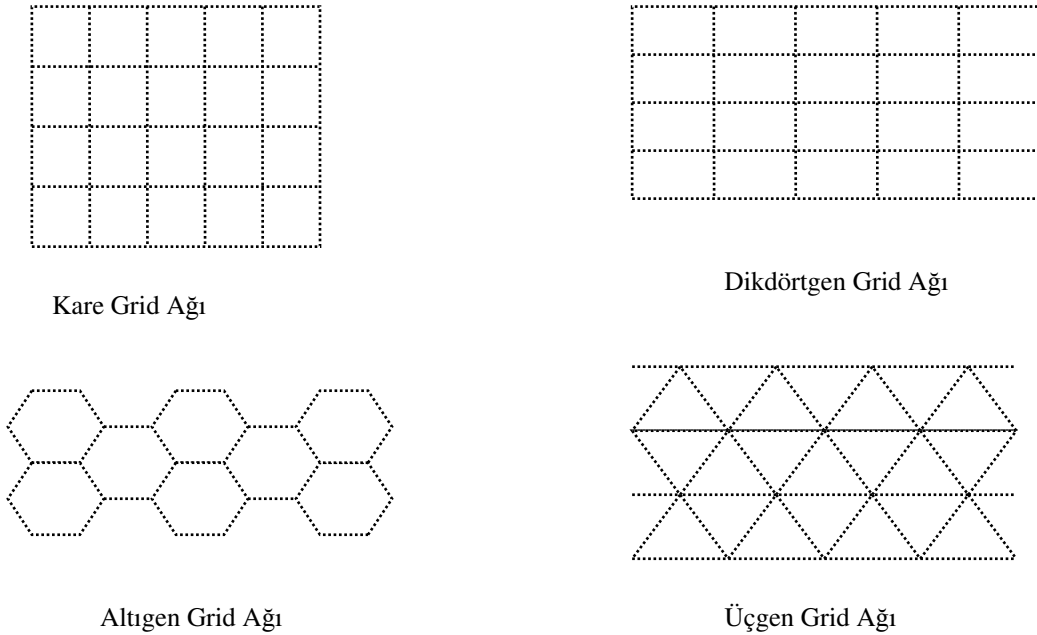
### **2.5.2.1 Grid Yöntemi ile Sayısal Yükseklik Modellemesi**

Bu ilk yaklaşım, birçok yönüyle basittir. Arazi modelini oluşturan bu yükseklik verileri, düzenli grid formunda toplanmış veya ölçülmüştür. Özellikle bilgisayar bağlantılı stereo, otomatik veya yarı otomatik aletlerde yaygın olarak kullanılmaktadır. Kare grid yapısının yaygın olarak kullanılmasına rağmen dikdörtgen, altıgen, ve üçgen grid yapılarında kullanılmaktadır.(Şekil 2.10)

Başka bir yönüyle grid yapısındaki veri noktalarının dağılımı, arazi karakteristiği ile ilgili

değildir. Eğer veri nokta örnekleme grid formunda düzenlenecek ise nokta yoğunluğu arazinin özelliğini gösterecek doğrulukta olmalıdır. Bu şekildeki bir uygulamada da modelde birçok yerde veri fazlalığı olacaktır. Bunun için arazi modeli oluşturmada önce ön işlem olarak ölçülmüş veriler filitrelenmelidir. (Petrie vd., 1986)

Grid noktasal değerlerinin tahmini en önemli problemlerden biridir. Şayet dayanak noktaları raster(grid) formunda değilse, uygun bir enterpolasyon yöntemi ile grid köşe noktalarının yükseklik değeri hesaplanır. Dayanak noktalarından bir raster ağının grid köşe noktalarına geçişte bilgi kaybı olmamalıdır. Diğer önemli bir sorun da grid hücrelerinin boyutudur. Genellikle grid hücre boyutları dayanak noktaları arasındaki mesafeden daha küçük seçilir. Fakat hücre boyutuna karar verirken ilgili alandaki veri noktalarının sayısının da düşünülmesi gerekir.



Şekil 2.10 Kullanılan grid yapıları.

### 2.5.2.2 Üçgenleme Yöntemleri

Üçgenlemenin amacı söz konusu yüzeyi, birbirleri üzerine binmeyen üçgen elemanların toplamı şeklinde ifade etmektir. Yüzeyi oluşturan üçgenlerin köşe noktaları dayanak noktalarıdır ve her bir dayanak noktası en az bir üçgenin köşe noktasını oluşturur. Üçgenleme, dayanak noktalarının (x, y) konum koordinatları kullanılarak düzlemde gerçekleştirilmektedir. Üçgenleme rasgele konumda dağılmış veri noktalarının işlenmesi için kullanılabilecek iyi bir

yapıdır. Üçgenlemenin amacı dayanak noktalarını ilişkilendirmektir. Bir üçgen kenarını oluşturan iki dayanak noktasının birbiri ile ilişkili olduğu düşünülür. Üçgenlemenin kalitesi dayanak noktaları arasındaki bu ilişkilendirmenin uygunluğuna bağlıdır. Aynı veri kullanılarak farklı üçgenler ağı oluşturulabilir. Bu üçgenlemelerden bazıları sistematığı olan ve algoritması kurulabilen üçgenlemeler bazıları ise bir sistematığı bulunmayan dolayısıyla programlama olanağı olmayan üçgenlemelerdir. Elle yapılan uygulamalarda sistematik olmayan bir üçgenleme kullanılabilir, fakat dayanak nokta sayısı arttığında elle uygulama olanağı azalır ve sistematik bir üçgenleme algoritması içeren bir yazılıma gerek duyulur. Bu nedenle üçgenleme terimi sistematik olarak modellenen üçgenlemeler olarak algılanmalıdır. (Yanalak, 2001)

Üçgenlemede dayanak noktaları dağların sırt hattı, vadilerin çukur yerleri, uçurumlar gibi özellikle arazinin ani değişim gösterdiği yerlerde olmalıdır.

### **2.5.2.3 Düzensiz Üçgen Ağları (TIN)**

TIN, dünya yüzeyi gibi sürekli bir yüzeyi modellemede kullanılan bir veri yapısıdır. En çok kullanılan TIN yapısı, uzayda dağılmış düzensiz noktaların tümünü içine alan, üst üste binmeyen üçgenlerden oluşan, bağlantılı bir veri kümesidir. Bu kümedeki tüm noktalar genellikle komşu Thiessen poligonlarının merkezlerini birleştiren bir yöntem olan Delaunay üçgenlemesi ile birbirlerine bağlantılıdır. Ayrıca, noktaların x, y ve z koordinatları bilinen noktalar olduğu ve noktaları birleştiren üçgen yüzeylerin her birinin düzlem olduğu kabul edilmektedir. Yükseklik verileri için, düzensiz üçgenler kümesinin bir kavram olarak kullanılışı, 1964 yılında Bengtsson ve Nordbeck'in düzensiz üçgen ağlarından yükseklik eğrilerini geçirmesine kadar dayanmaktadır.

Yer yüzeyini modellemede TIN noktalarının kullanılmasının en temel yararı engebeli ve arazi yüzeyinin çok fazla değişim gösterdiği bölgelerde nokta yoğunluğunun fazla olmasının yanında, düz bölgelerde çok daha az sayıda nokta kullanımına imkan vermesidir. Diğer önemli sayılabilecek faydası ise, tepe, çukur, sırt ve vadi yerleri gibi, önemli yüzey noktalarının, veri toplama yöntemine bağlı olarak gerçek yerlerinde gösterilebilmesine imkan sağlamasıdır.

Veri depolamada ve veri üzerinde çalışmada görünen tüm bu faydaların karşısında, TIN'i oluşturan tüm noktalar x, y ve z boyutlarında saklanmaktadır. Grid yapıda toplanmış yükseklik noktaları için ise, yataydaki konum yani x ve y koordinatları, grid elemanlarının sırasına göre zaten bilinmektedir. Sadece sıralı noktalardaki yükseklik değerlerinin bilinmesi

Tıpkı, yükseklik eğrileri ile yapılan gösterimde her bir yükseklik eğrisinin tüm noktalarda aynı yükseklik değerini göstermesi, yani düşey konum bilgisinin yükseklik eğrisi sırasına göre kaydedilmesi gibi bir durum, düzenli grid yapılarında da geçerlidir. TIN'in yapısında ise, tüm noktaların üç boyutta da saklanmak zorunda olması veri depolamadaki en önemli sorundur.

TIN yapısının oluşturulmasında üzerinde durulan en önemli konu hangi noktaların üçgen ağına dahil edileceğinin tespit edilmesidir. Daha önce de belirtildiği gibi üçgen ağına alınacak noktalar yeryüzünün karakteristiğinin değiştiği veya eğimde değişimlerin olduğu yerlerdeki noktalar olmalıdır. Üçgenleri oluşturan bu dayanak noktaları yüzeyin daha iyi modellenmesi için çok dikkatli bir şekilde seçilmelidir. Örneğin dağların sırt hattı, vadilerin çukur yerleri, uçurumlar gibi özellikle arazinin ani değişim gösterdiği yerlerde olmalıdır. TIN veri modeli basit ve ekonomik olması nedeniyle grid veri yapısı için önemli bir alternatiftir.

Oluşturulacak üçgen ağı aşağıdaki koşulları sağlamalıdır.

- Her dayanak noktası en azından bir üçgende bulunmalıdır.(Bir üçgenin köşesi oluşturmali)
- Arazi yüzeyini örten üçgenler hiçbir zaman birbirlerini örtmezler.
- Ağı oluşturan noktaların kenarların uzunlukları toplamı minimum olmalıdır.(Gülgen, 2004),(Özer,1988),(Çolak, 1997)

#### **2.5.2.4 İyi Bir Üçgenlemeden Beklenen Özellikler**

Bir üçgenleme algoritmasından beklenen en önemli özellik tek anlamlı olmasıdır. Elde edilecek çözüm, başlangıç noktasından ve işlem sırasından bağımsız olmalıdır. Hesap yükünün ve bilgisayarda bilgi depolama gereğinin az olması üçgenleme algoritmalarından beklenen diğer iki özelliktir. Eşyükselti eğrili bir harita üretimine esas olacak bir üçgenleme algoritması, veri olarak, dayanak nokta kümesiyle birlikte önceden belirlenmiş ve üçgenlemede yer alması istenen kenarlar kümesini de kullanabilmelidir. Arazideki gerçek durum nedeniyle bir üçgen kenarı olması, doğruluk gereği zorunlu olan yapılanma çizgileri, oluşturulan üçgenler ağında yerlerini almalıdır. Bu çizgiler, su toplama ve su dağıtma çizgileri, bir dere yatağını belirleyen çizgiler, bir vadinin iki yakasını ayırt eden çizgiler, bir yol çizgisi veya eğim değişen arazi çizgisi olabilir. Yapılanma çizgilerinin üçgenleme işlemine dahil edilmesi sistematik bir üçgenlemenin düzenini bozar ve yerel müdahaleler gerektirir. Bu işlem üçgenleme esnasında yapılabileceği gibi, koşul göz önüne alınmadan yapılmış üçgenleme işlemi bittikten sonra gereken yerlerdeki (yapılanma çizgilerinin üçgen kenarlarını kestiği yerlerdeki) üçgenler yenilenerek yapılabilir.(Yanalak, 2001)

### 2.5.2.5 Üçgenlemede Karşılaşılan Sorunlar

Üçgenleme algoritmalarının isteklere karşılık vermesi için çözümlenmesi gereken bazı sorunlar vardır.

**Hız:** Algoritmaların doğru sonuç vermelerinin yanı sıra bu sonucu ne kadar kısa sürede verdiği algoritmanın etkinliğini gösteren bir kriterdir. Algoritmanın çalışma süresi yazılıma olduğu kadar kullanılan donanıma da bağlıdır. Bu nedenle algoritmanın etkinliğini donanımdan bağımsız olarak gözleyebilmek için dayanak nokta sayısının artımına bağlı olarak çalışma süresinin artımı incelenir.  $n$  adet dayanak noktası var olduğu düşünülürse, algoritmaların çalışma süresi ile dayanak nokta sayısı arasında üstel bir fonksiyon (logaritmik) olduğu ifade edilir.

Üçgenleme algoritmaları bazı hesaplamaların ve sorgulamaların defalarca tekrarını gerektirir. Çevrel çember merkezinin ve yarıçapının hesabı, bir kirişi gören çevre açının hesabı, bir noktanın çember içinde olup olmadığının sorgulanması veya çember içerisinde bir başka nokta olup olmadığının sorgulanması buna örnek olarak verilebilir. Defalarca tekrar gerektiren bu tür algoritmalarda, verilere ulaşmak veya verinin gereken kadarını kullanmak, hızı etkileyen en önemli iki etkidir. Verilere hızlı bir şekilde ulaşmanın tek yolu verilerin sıralı halde bulunmasıyla mümkündür. Sıralı bir veriye ulaşmak büyük zaman tasarrufu sağlayacaktır. Kullanılacak sıralama yöntemi bile algoritmanın hızını büyük ölçüde etkileyecektir.

Veri kümesinin kutular şeklinde parçalara ayrılması algoritmaların hızlandırılması için kullanılan diğer bir yöntemdir. Veri kümesi  $x$  ve  $y$  yönünde eşit aralıklara bölünür.  $x$  ve  $y$  koordinatına göre ayrı ayrı sıralanan dayanak noktalarının hangi aralıklarda yer aldığına bakılarak, her bir dayanak noktasının içinde yer aldığı kutu belirlenir. Dolayısıyla her bir kutuda hangi dayanak noktalarının yer aldığı da saptanır. Bu kutu yapısı sayesinde veri alanı küçük parçalara bölünmüş olur. Yukarıda sözü edilen hesap ve sorgulama işlemlerinde sadece ilgili kutulardaki dayanak noktaları kullanılarak tüm veri alanının taranmasına gerek kalmaz.

**Depolama:** Kullanılan bilgisayarların bellek kapasiteleri her ne kadar artmış bile olsa sonsuz değildir. Çok sayıda dayanak noktası ile çalışıldığında bellek yetersizlikleri ortaya çıkabilmektedir. Bellek sorunu, kullanılan programlama dilinin özelliklerine bağlı olarak farklı boyutlarda oluşur. Veri alanının parçalara ayrılmasını içeren algoritmalarda hız bakımından bir avantaj sağlanmasına karşın depolanması gereken bilgi sayısını arttırır. Bu nedenle bilgilerin özel bellek depolama yöntemleri veya farklı matris yapıları kullanılarak

depolanması gerekebilir. Bilgisayar belleğinden yer kazanmak amacı ile uygulanabilecek bellek depolama yöntemleri için matrisin kare biçimde depolanması, yarı matrisin lineer depolanması, band matrisin dikdörtgen depolanması, band matrisin lineer depolanması ve değişken band matrisin lineer depolanması önerilebilir. Direkt ve artan yöntemlerde hız sorunu daha belirgin olarak ortaya çıkmakla birlikte bellek sorunu diğer yöntemlere göre daha azdır. İyi bir üçgenleme yazılımı hız ve depolama sorununu yeterli düzeyde çözmelidir.

**Veri Alanının Sınırlandırılması:** Hesap işlemlerinin bir yerde kesilmesi amacıyla üçgenlenecek veri alanının bir sınır ile tanımlanması gerekir. Aksi halde algoritmalar nereye kadar komşu nokta araştırmasına devam edeceğini, işlemi nerede keseceğini belirleyemeyip sonsuz döngü içerisine girebilirler. Üçgenlemenin doğruluğu bakımından veri alanının sınırlandırılması gereği de ortaya çıkabilir. Özellikle fazla girintili çıkıntılı arazilerin uçlarına doğru gereksiz ve yanıltıcı üçgenler oluşur. Enterpolasyonla yanlış bilgi elde etmemek için bu üçgenler dışarıda kalacak şekilde veri alanı sınırlandırılabilir. Veri alanını sınırlandırmak amacıyla şimdiye kadar kullanılmış olan geometrik şekiller, tüm dayanak noktalarını içine alan bir üçgen, en küçük ve en büyük x ve y koordinatlarının sınırladığı bir dikdörtgen veya seçilmiş bir çokgen olmuştur.

## 2.6 Sayısal Yükseklik Modellerinin Doğruluğu

Bütün sayısal yükseklik modelleri, bir takım ilişkili faktörlere bağlı olarak büyük küçük hatalar içerirler. Haritacılıkta, tek “doğru” durum, arazi yüzeyinin kendisidir. “Mutlak” doğruluk ölçmeyle elde edilemeyeceğinden, her hangi bir arazi ölçmelerinin, fotogrametrik yöntemle yapılan ölçmelerin veya tamamlanmış bir harita üzerinden yapılan ölçmelerin doğruluğu; belli bir doğruluk seviyesine kadar yapılmış ölçülerle karşılaştırılarak elde edilebilir. Bundan dolayı doğruluğu tanımlarken, çoğu durumda mutlak olmaktan çok bağıl doğruluktan bahsedilir. İki çeşit hatadan bahsetmek mümkündür:

**Rastgele hatalar:** İsminden de anlaşılacağı gibi, bu hatalar doğada tamamen tesadüfi olarak yer almaktadır. Yükseklik olarak rastgele hatalar, “gerçek” değerlerden hem büyük hem de küçük değerlerle ifade edilir.

**Sistemik hatalar:** Bu hatalar belirli bir kayıklık veya ekleme içerirler. Örneğin, kontrol edilen yükseklik değerlerinin hepsi pozitif (gerçek değerinden yüksek değerler) bir değere sahipse, pozitif bir sistemik hataya sahip demektir.

Bir SYM’nin doğruluğu; SYM’nin yüzeyindeki ve bunlara karşılık gelen araziye noktaların belirli bir doğruluk seviyesine kadar yapılan ölçümleriyle elde edilir. Örneğin;

sayısallaştırılmış eş yükseklik eğrilerinden elde edilen bir SYM, arazide yapılan ölçülerle veya fotogrametrik ölçülerle kontrol edilebilir. Böyle bir karşılaştırmadan elde edilecek veri, test noktalarındaki yükseklik farklarını (artıkları) verecektir. Bu değerler, 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.

Aşağıda verilen formülde, yükseklik farkları (hata)  $\Delta h$  ile ifade edilmiştir.

(n farklı noktadaki farklar  $\Delta h_1, \Delta h_2, \Delta h_3, \dots, \Delta h_n$ .)

### 2.6.1 Cebirsel Ortalama

Ortalama ya da tam olarak cebirsel ortalama şöyle hesaplanır:

$$\text{Cebirsel Ortalama } \overline{\Delta h} = \sum_{i=1}^n \frac{\Delta h_i}{n} \quad (2.14)$$

İfade, farkların işaretini almaktadır ve eğer benzer pozitif ve negatif büyüklüklere sahip olursa “0” değerini almaktadır. Her bir noktanın yüksekliği, eğer farklar rastgele dağılmışsa  $\overline{\Delta h}=0$  olacaktır. Bu durum noktalarda oldukça fazla yükseklik farklarının olmadığı anlamına gelmemektedir. Diğer yandan bu hesaplama belirlili bir pozitif veya negatif bir değer çıkarsa, bu durum farklarda sistematik bir hatanın olduğunu gösterir. Yani, bir yüzey diğerinden sistematik olarak yüksek veya alçaktır (datumla ilişkili olarak).

### 2.6.2 Mutlak Hataların Ortalaması

Ortalama hata, cebirsel ortalama ile aynı şekilde hesaplanır, fakat farkların işaretleri dikkate alınmaz. Yani, aritmetik işareti dikkate almayarak mutlak değerler toplanır. Yani:

$$\text{Ortalama Hata } \mathbf{OH} = \sum_{i=1}^n |\Delta h_i| / n \quad (2.15)$$

(“|” işareti mutlak değeri ifade etmektedir.) Bu durumda, işaret dikkate alınmadığından, sonuç daima sıfırdan büyük olacaktır ve farkların dağılımını gösterecektir. Farklar % 50 oranında  $-\mathbf{OH}$  ile  $+\mathbf{OH}$  arasında yer alacaktır.

### 2.6.3 Karesel Ortalama Hata

Pozitif ve negatif değerlerin yer alması problemi, istatistik terim “karesel ortalama hata”nın

kullanılmasıyla giderilmektedir. Hesaplama aşağıdaki şekildedir:

$$\text{Karesel Ortalama Hata } \mathbf{KOH} = \pm \sqrt{\sum \Delta h^2 / (n-1)} \quad (2.16)$$

Genelde  $n$  yerine  $(n-1)$  kullanılır. Fakat test edilen nokta sayısı çok fazla ise  $n$  kullanılması sonucu etkilemeyecektir.  $\overline{\Delta h} = 0$  ve normal dağılım olduğunu kabul edersek; farkların % 68.27'si (yaklaşık 2/3'ü)  $-\mathbf{KOH}$  ile  $+\mathbf{KOH}$  arasına girecektir. Standart hata terimi haritalılıkta sık sık bu doğruluk ifadesini tanımlamak için kullanılır.

#### 2.6.4 Standart Sapma

Standart sapma veya ortalamadan sapma, sık sık kullanılan istatistiksel ifadelerin sonuncusudur. Şöyle hesaplanır:

$$\text{Standart Sapma } \mathbf{StdS} = \pm \sqrt{\sum (\Delta h - \overline{\Delta h})^2 / (n-1)} \quad (2.16)$$

Yine bu ifadenin paydası kesinlikle  $(n-1)$  olmalıdır. Test noktalarının sayısının çok fazla olması durumunda paydanın  $n$  olması bir fark yaratmayacaktır. Yukarıdaki ifade genellikle aşağıdaki şekilde düzenlenir.

$$\mathbf{StdS} = \pm \sqrt{(\sum \Delta h^2 / n) - \overline{\Delta h}^2} \quad (2.17)$$

veya

$$\mathbf{StdS} = \pm \sqrt{\mathbf{KOH}^2 - \overline{\Delta h}^2} \quad (2.18)$$

Farkların dağılımı  $\overline{\Delta h}$  etrafında simetrik olacaktır ve yine değerlerin % 68.27'si  $-\mathbf{StdS}$  ile  $+\mathbf{StdS}$  arasında olacaktır.  $(\pm 3\mathbf{StdS})$  değeri, birkaç değer bu değeri geçse de maksimum ve minimum hata olarak kabul edilebilir (Çizelge 2.2).

Çizelge 2.2 Hata olasılıkları

| Standart Sapma Değerleri | Bu Değerler İçine Giren Noktaların Yüzdesi | Terim         |
|--------------------------|--------------------------------------------|---------------|
| 0.6745                   | % 50                                       | Ortalama hata |
| 1.0                      | % 68.27                                    | Standart hata |
| 1.5                      | % 86.6                                     |               |
| 1.6449                   | % 90                                       |               |
| 2.0                      | % 95.5                                     |               |
| 2.5                      | % 98.8                                     |               |
| 3.0                      | % 99.73                                    | Maksimum hata |
| 4.0                      | % 99.99                                    |               |

Yukarıda açıkça görülmektedir ki, eğer  $\overline{\Delta h}=0$  ise **S=KOH**'dır ve karesel ortalama hata standart sapmanın yerini alabilir. Fakat  $\overline{\Delta h}$ , sıfıra eşit olacaktır ve bundan sapma, standart sapmanın değil **KOH**'nın katları şeklinde olacaktır. Bu belki de sık sık karıştırılan her iki ifadenin de haritacılıkta standart hata olarak kullanılmalarını da açıklamaktadır.

### 3. RADAR SİSTEMLERİ

#### 3.1 Genel

RADAR kelime olarak İngilizce Radio Detecting And Ranging/ Işınları yakalama ve uzaklık ölçme kelimelerinin baş harflerinden oluşmuş bir kısaltmadır. Gece veya gündüz, puslu veya sisli hava şartları fark etmeksizin kısaca her türlü hava koşullarında ürettiği mikro dalga ışınlarını hedefe gönderen, hedeften geri yansıyanı algılayan ve aradaki uzaklığı ölçen bu sistem, radyo sinyalleri ile uzaydaki cisimlerin mesafe, konum ve yüksekliklerini tarayarak bilgi toplamaktadır.

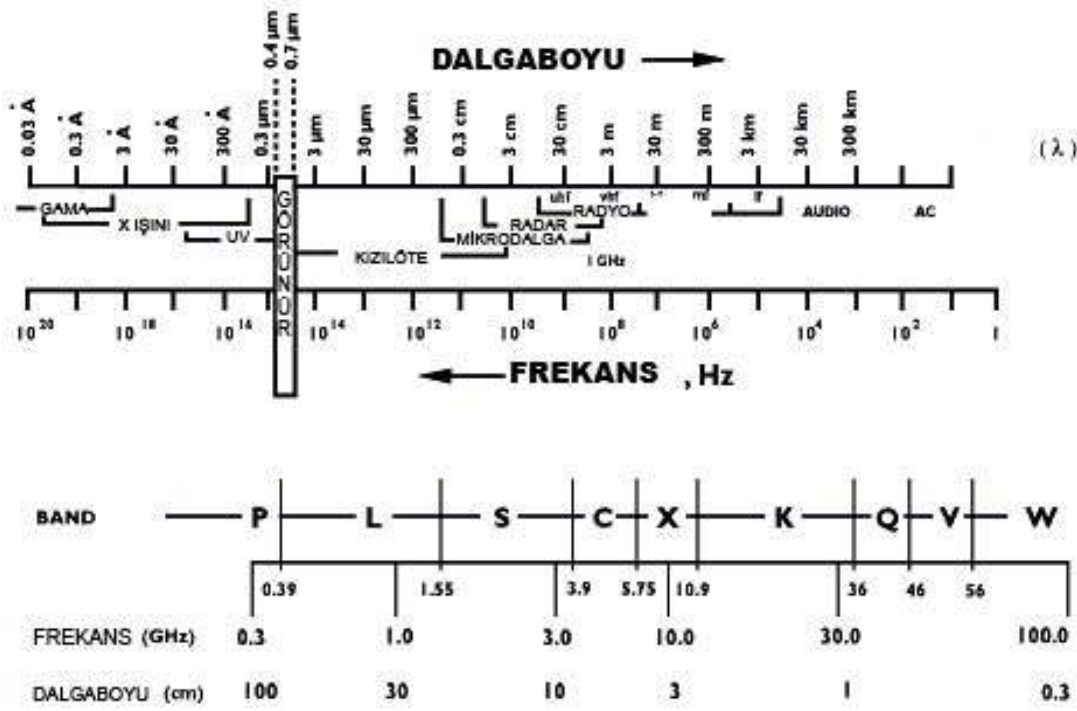
RADAR sistemleri ilk olarak 1865 yılında İngiliz fizikçi James Clerk Maxwell elektromanyetik dalgaları ve bunların yayılmasını açıklayan elektromanyetik ışık kuramını ortaya atması ile başlamıştır. 1886 yılında Hertz, elektromanyetik dalganın taşınabileceği ve bu dalganın bir cisimle etkileşmesi sonucunda yansıyacağını ispatlamıştır. Bu gelişmeden sonra 1903 yılında Hulsmeier tarafından radar dalgaları, gemilerin tespit edilmesinde kullanılmaya başlanmıştır. Gelişme dönemi İkinci Dünya Savaşı sırasında artan RADAR'ın ilk kullanım amacı düşman uçakları tespit edildiğinde, savunan ülkelerin kendi uçaklarının acil olarak havalandırması ve RADAR yardımıyla düşman uçakları için önlem almaktır. O dönemde döner anten kullanılarak toplanan sinyaller bir katot ışın tüpünün üzerinde görüntülenirdi. 1950'li yıllarda Amerika ordusunda uçaklara yan bakışlı radar sistemleri monte edilmiş ve uçağın uçuş rotasına paralel olarak bir şerit boyunca radar sinyal değerleri toplanmıştır. Bu ilk gerçek açıkli radarın görüntü çözünürlüğü düşüktü. Çözünürlüğü artırabilmek için daha büyük antenlere ihtiyaç vardı.

Günümüzde halen kullanılan birçok RADAR aynı temel esaslara göre çalışmaktadır. Elektronik bilgisayarlar ortaya çıktıktan sonra RADAR' daki ilerlemeler hızlı bir şekilde arttı ve hedef cisimler hakkında ayrıntılı ve doğruluğu yüksek bilgiler alınmaya başladı. Tüm bu aşamalardan sonra RADAR teknolojileri günümüzde çok ileri noktalara ulaştı, Yan bakışlı, Yapay ve Gerçek açıkli RADAR teknikleri geliştirilerek büyük ilerlemeler kaydedildi.

Uzayda kullanılan radar sistemleri ilk olarak askeri amaçlı olarak 1960'lı yılların sonlarında uygulamaya başlanmıştır. İlk olarak askeri olmayan bir uyduya monte edilmiş radar kullanımı 26 Haziran 1978 NASA tarafından yürütülen SEASET sistemi projesi ile başlamıştır. Günümüz teknolojisi, veri depolamasında büyük yerler işgal edebilen radar verilerinin sayısal ortamlarda kolayca saklanmasına olanak kılmaktadır.

### 3.2 Radarlar Tarafından Kullanılan Elektromanyetik Dalga

Radarlar genellikle elektromanyetik spektrumun mikrodalga alanındaki ışınları yeryüzüne gönderirler ve yeryüzünden ve yansıyan dalganın gidiş-dönüş zamanını ve şiddetini ölçerler. Bütün elektromanyetik dalgalar ışık hızında yayılırlar. Bu bilgi belirli özelliklere sahip elektromanyetik dalgalar tarafından taşınır.



Şekil 3.1 Elektromanyetik spektrum. (Türker, 2004)

RADAR sistemlerinde belli mikro dalga spektral alanlara duyarlı bandlar (kanallar) genellikle harfler ile isimlendirilir.

- Ka (0.75-1.18 cm), K(1.19-1.67), and Ku (1.67-2.4) bandları: İlk radar sistemlerinde kullanılan çok kısa dalga boylarıdır.
- X-bandı: (Dalga boyu=2.4-3.8 cm) Askeri keşif ve arazi haritalama için sıkça kullanılmaktadır.
- C-bandı: (Dalga boyu=3.9-7.5 cm) Birçok havadan yapılan araştırma sistemlerinde (CCRS Convair-580 ve NASA AirSAR) ve uzaydan yapılan sistemlerde(ERS-1 ve 2, RADARSAT) sıkça kullanılmıştır.
- S-bandı: (Dalga boyu=7.5-15.0 cm)Rusların ALMAZ uydusunda kullanılmıştır.
- L-bandı: (Dalga boyu=15.0-30.0 cm)Amerikan SEASAT, Japon JERS-1 uydularında ve NASA'nın sistemlerinde kullanılmıştır.

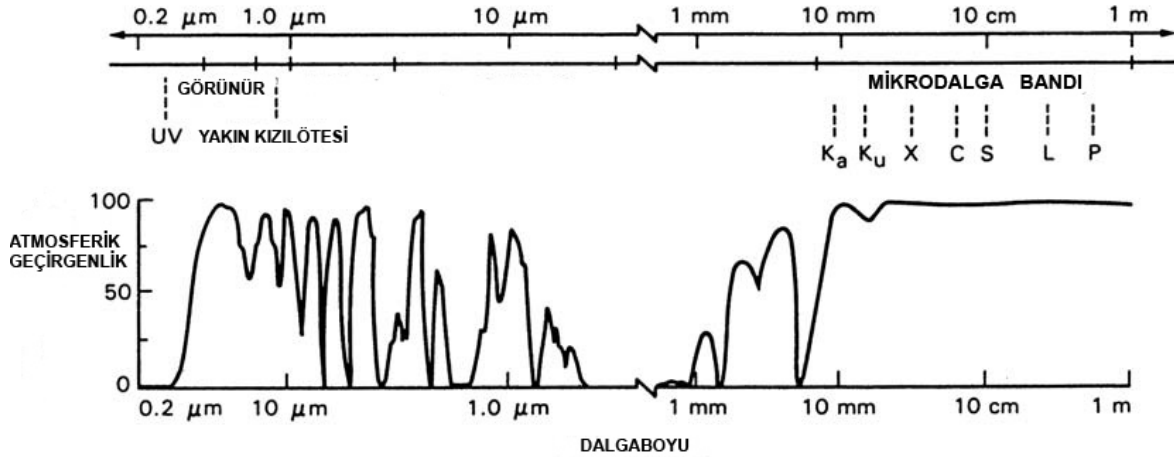
- P-bandı: (Dalga boyu=30.0-100 cm)En uzun radar dalga boyudur, NASA'nın deneysel araştırma sistemlerinde kullanılmıştır. (Türker, 2004)

Radar dalga boyunun seçiminde uygulama tabanlı ve sistem tabanlı etkenler dikkate alınır.

Uygulama tabanlı etmenler: Radar dalga boyu, görüntülenmek (bilgi edinmek) istenen nesnelerin boyutuna eşdeğer olmalıdır. Örneğin ağaç yaprakları ve küçük nesneler için X-bandı, jeoloji amaçlı uygulamalar ve geniş nesneler için L-bandı, ağaçlık alan altındaki toprak yapısı için uzun dalga boyu P-bandı kullanılabilir.

Sistem tabanlı etmenler: Uzun dalga boyları (Düşük Frekans) kullanılması durumunda işlemesi daha zor, daha uzun anten gereksinimi, daha basit elektroniksel altyapı gerekirken kısa Dalga boyları(Yüksek Frekans) kullanımında daha çok güç gereksinimi ve daha karmaşık elektroniksel altyapı gerekmektedir.

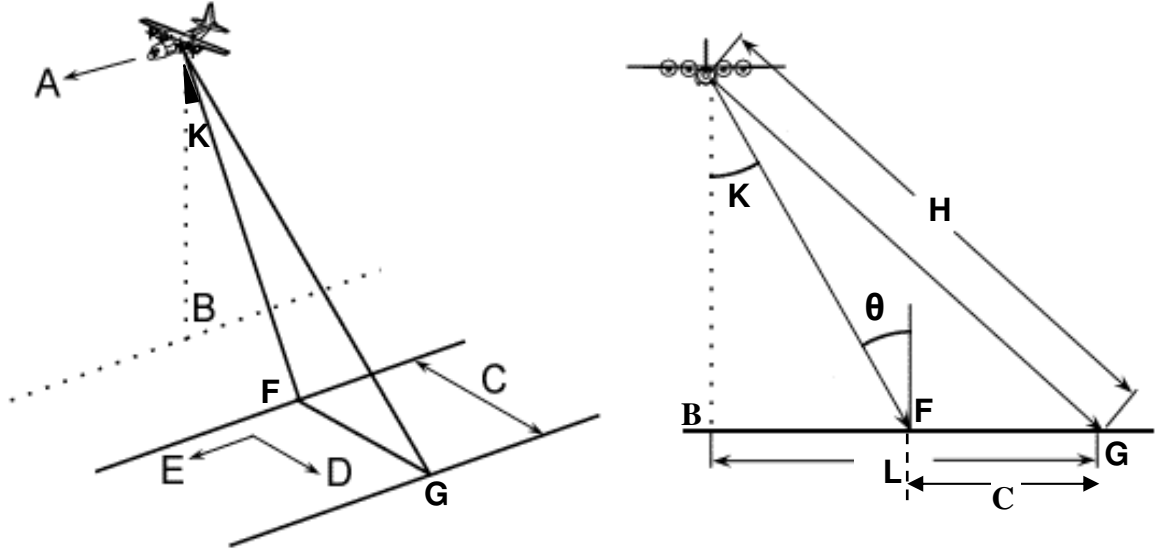
Uzaktan algılama uygulamalarında, elektromanyetik enerjinin algılayıcı ile yeryüzü arasındaki mesafede ilerlerken atmosfer tabakasından geçmek zorundadır. Atmosfer; gaz molekülleri, su buharı, toz zerrecikleri, gibi çok değişik partiküller içerdiği için enerji ile etkileşim içerisinde. Uzun dalga boyları atmosferden çok fazla etkilenmezler. Atmosfere gelen enerjinin dalga boylarına göre geçirgenlik oranları şekil 3.2'de verilmiştir. Bu nedenle Radar algılayıcıları atmosferik etmenlerden etkilenmez.



Şekil 3.2 Elektromanyetik dalgaların atmosferik geçirgenliği.[6]

### 3.3 Radar Görüntüleme Geometrisi

Fotogrametrik sistemler ve diğer tarayıcı sistemler genelde dikey ve simetrik geometriye sahip olduğu halde radarlar yan bakışlı ve simetrik olmayan bir yapıya sahiptir.(Şekil 3.3)



Şekil 3.3 Radar görüntüleme geometrisi [7].

**A:** Uçuş yönü

**B:** Nadir noktası

**C:** Tarama genişliği

**D:** Radarın bakış doğrultusu

**E:** Uçuş doğrultusuna paralel olan Azimut doğrultusu

**F:** Yakın menzil noktası

**G:** Uzak menzil noktası

**K:** Bakış Açısı

**θ:** Geliş açısı

**H:** Yan Bakış mesafesi/Eğik mesafesi

**L:** Yeryüzündeki arazi uzunluğu Yatay bakış mesafesi

Arazi üzerinde bir kolon boyunca tarama yapan radar sistemi radar dalgalarını bakış doğrultusu(D) boyunca gönderir. Bakış doğrultusu, uçuş doğrultusu(A) veya azimut doğrultusuna(E) diktir. Uydunun izine en yakın olan nokta yakın menzil(F), uzak olan kenar ise uzak menzil noktası(G) olarak tanımlanır.[7]

### 3.3.1 Uzunluk çözünürlüğü

Radar sistemlerinin bakış açısı doğrultusu üzerinde bulunan birbirine yakın iki detayın ayırt edilebilme özelliğidir. Radar sistemleri yeryüzüne sinyalleri belli aralıkta darbeler halinde gönderirler. Bunların her birine pals(vuruş/darbe) denir. Uzunluk çözünürlüğü bakış açısı ve pals uzunluğu ile belirlenir. Genel anlamada uzunluk çözünürlüğü yaklaşık olarak pals uzunluğunun yarısı kadar diyebiliriz. Uzunluk çözünürlüğü;

$$R_r = \frac{L}{2.Sin\theta} = \frac{c.\tau}{2.Sin\theta} \quad (3.1)$$

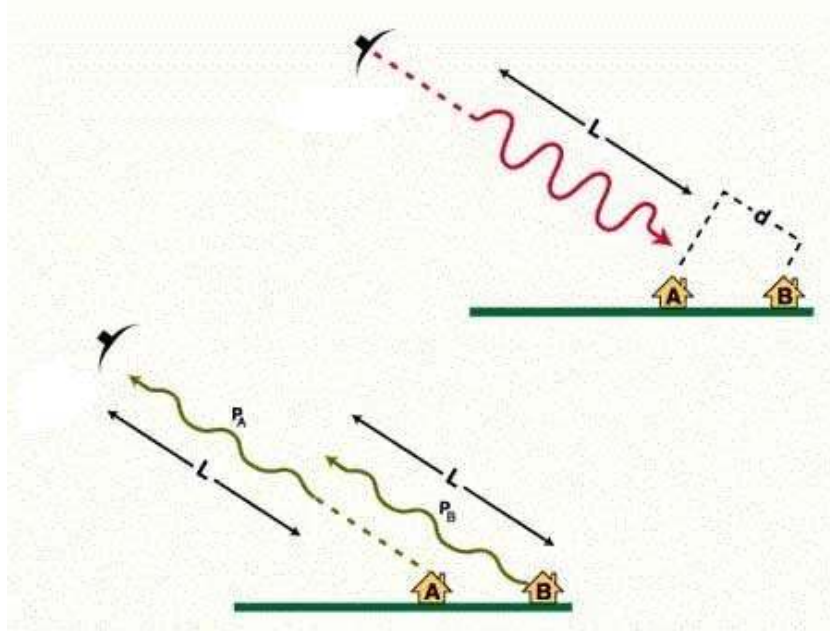
$R_r$  = Uzunluk çözünürlüğü

$c$  = Işık hızı

$\tau$  = Pals süresi

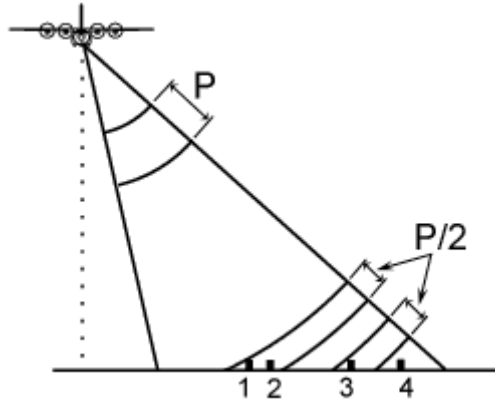
$\theta$  = Geliş açısı

$L$ =Pals uzunluğu(Şekil 3.4)



Şekil 3.4 Uzunluk çözünürlüğü.

Şekil 3.4'de birbirine yakın iki detayın ayırt edilebilmesi için bu detaylardan gelen yansıma değerlerinin farklı zamanlarda alınmış olması gerekir. İki detay arasındaki eğik mesafe  $d$ ' dir. Eğer  $d > L/2$  ise yansıma değerleri iki ayrı zamanda meydana gelecek ve iki detay ayırt edilebilecektir.



Şekil 3.5 Uzunluk çözünürlüğünün etkileri [7].

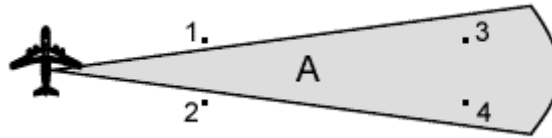
Şekilde 1 ve 2 numaralı detaylar arasındaki uzaklığın pals uzunluğunun yarısından daha az olduğu için aynı yansıma değerine sahip olacaklardır. Yani 1 ve 2 numaralı detaylar görüntü üzerinde tek bir detay olarak görünür. 3 ve 4 numaralı detaylar arasındaki mesafenin uygun olması nedeniyle görüntü üzerinde ayırt edilebilecektir. Sonuç olarak şekildeki geometride

alınan radar görüntüsünde 3 farklı detay tanımlanabilir.

Uzunluk çözünürlüğünü artırmak için radar palsları mümkün olduğunca kısa olmalıdır. Aynı zamanda, yansıyan sinyallerin alınabilmesi için palsların yeteri kadar enerji taşımaları gerekmektedir. Eğer pals kısaltılırsa pals içerisinde toplam enerjiyi sabit tutabilmek için genlik artırılmalıdır. Bununla ilgili kısıtlama çok kısa fakat yüksek enerjili pals üretmenin çok zor olmasıdır. Bu nedenle “Chirp” yöntemi kullanılarak kısa ve sabit frekanslı pals yerine, modüle edilmiş frekanslı uzun palslar kullanılır.

### 3.3.2 Azimut Çözünürlüğü

Azimut çözünürlüğü bir radar görüntüleme sisteminin radar algılayıcısının hareket yönüne paralel istikamette bulunan birbirine yakın iki detayın ayırt edilebilme özelliğidir.



Şekil 3.6. Azimut çözünürlüğü [7].

Şekil 3.6’da 1 ve 2 numaralı cisimler arasındaki mesafe ile 3 ve 4 numaralı cisimler arasındaki mesafe birbirine eşittir. Ancak kullanılan radar ışın demetinin genişliği nedeniyle 1 ve 2 numaralı detaylar ayırt edilebilirken 3 ve 4 numaralı detaylar aynı pals içerisinde olduğu için ayırt edilemez. Radar ışın demetinin genişliği gönderilen dalga boyu ile doğrudan anten uzunluğu ile ters orantılıdır. Bir radar sisteminde azimut çözünürlüğü için aşağıdaki formül kullanılır.

$$R_a = \frac{0,7.S.\lambda}{D} \quad (3.2)$$

$R_a$  = Azimut çözünürlüğü

$S$  = Eğik uzunluk

$\lambda$  = Dalga boyu

$D$  = Anten uzunluğu

### 3.4 Radar Görüntüleme ile Ölçülen Yansıma

Radar görüntüleme sistemi, arazi yüzeyinden yansıyan radar sinyallerinin kuvvetinin karşılığında görüntü üzerinde piksel parlaklık değeri olarak kaydeder. Her gönderilen radar palsından alınan güç, radar denklemi yardımıyla aydınlatma geometrisi ve radarın fiziksel parametreleri ile tanımlanır. Alınan güç, diğer değişkenlerle birlikte radar dalgaboyu ve dalga polarizasyonunun bir fonksiyonudur. Görüntüler birçok palsın bütünleşmesi sonucu oluşturulur. Pratikte, yüzey hakkında görsel anlaşılabilir sayısal görüntüler radar anteninden gönderilen birçok sinyalin ortalaması ile elde edilir. Bir radar pikseli için algılanan ortalama güç radar denklemi ile ifade edilir. (Demirel, 2002)

$$\langle P_r \rangle = \frac{C_T \cdot G^2(\theta_i) \Delta x \Delta R \cdot \sigma^0}{R^3 \cdot \sin \theta_i} \quad (3.7)$$

$\langle P_r \rangle$  = Her piksel için algılanan ortalama güç

$\theta_i$  = Radar sinyali geliş açısı

$G^2(\theta_i)$  = Tek yönlü anten gücü

$R$  = Yansıtıcı yüzey ile anten arasındaki mesafe

$\Delta x$  = Azimut doğrultusundaki piksel aralığı

$\Delta R$  = Eğik mesafe doğrultusundaki piksel aralığı

$\sigma^0$  = Arazinin bir birimi için ortalama yansıtma değeri

$C_T$  = Gönderilen güç, dalga boyu, çeşitli kazanımlar ve kayıplar için sistem sabiti

### 3.5 Radar Sinyalinin Özelliklerini Etkileyen Parametreler

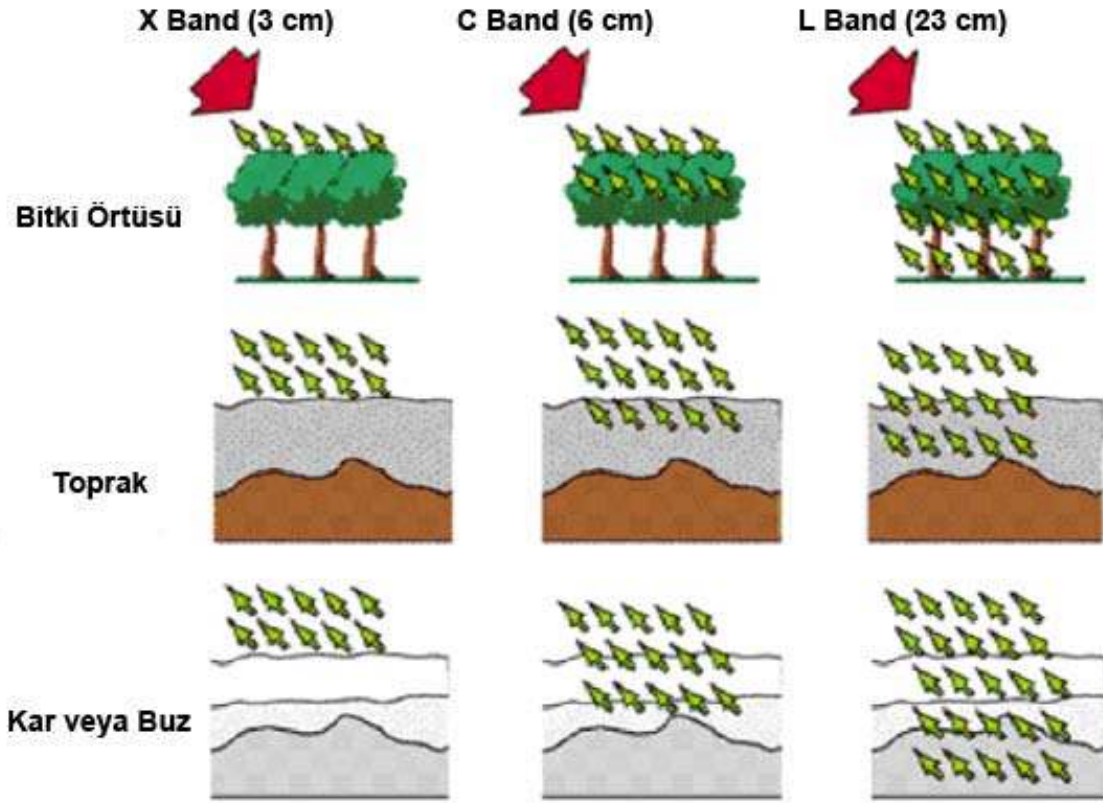
Radar sinyallerinin ölçülmesi ile elde edilen geri saçılım katsayı değerleri, taraması yapılan yüzey hakkındaki bilgiyi ifade eder. Bu değerler,

- Radar teknolojisinin gözlemsel parametreleri yani frekans, polarizasyon ve gelme açısı ile,
- Yeryüzünün fiziksel parametreleri yani pürüzlülük oranı, geometrik şekil ve hedefin dielektrik özelliklerinin fonksiyondur.

#### 3.5.1 Frekans

Radar mikrodalga frekansı, arazi örtüsünün altına inilebilecek derinliğin anlaşılmasında ve yüzey pürüzlülüklerinin görelî olarak ölçülendirilmesinde kullanılır. İnilebilecek derinlik

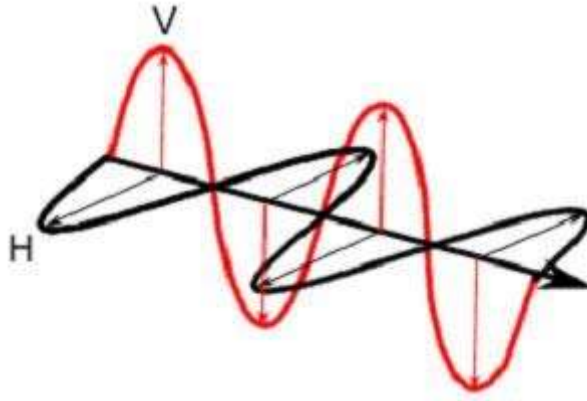
dalgaboyunun uzunluğunun artması ile doğru orantılıdır. Örneğin (Şekil 3.7), ormanlık, toprak ve kar ve buzlarla kaplı bir bölgede kısa dalga boyuna sahip X bandı kullanıldığında sadece yüzeyin üzerindeki bilgiler elde edilir. Dalga boyu büyüdükçe radar sinyali yüzeyin içine doğru ilerleyecek fakat küçük detaylardan meydana gelen farklar algılanmayacaktır. Arazide X-bandı (3 cm) ile ağaçların üzerindeki yapraklardan yansır, L-bandı (23 cm) kullanılması ile ağaç dallarından ve yapraklarından etkilenmeden yeryüzüne ulaşır. Fakat burada dikkatle üzerinde durulması gereken diğer bir konu da su ve nem oranıdır. Çünkü mikrodalgalar su ve ıslak yüzeylerden birkaç milimetreden fazla derinliğe geçemezler. Özellikle su veya kar ve buzlarla kaplı bölgede radar sinyalleri yüzeyden tam yansıma yapacak ve yüzey hakkında bilgi elde edilemeyecektir.(Akabalı, 2002)



Şekil 3.7 Radar sinyallerinde frekans etkisi Polarizasyon (Akabalı, 2002)

Polarizasyon basit olarak, elektromanyetik dalganın bir bileşke parametresi olan elektrik alanının yönelttilmesini ifade eder. Radar tekniği ile yatay ve düşey polarize olmuş sinyaller üretilir ve kayıt edilir. Sistem aynı veya farklı polarizasyondaki sinyalleri gönderip, geri almaya göre de ayarlanabilir. En çok kullanılan polarizasyon kombinasyonları HH, VV, HV ve VH dir. Birinci harf gönderilen polarizasyon tipini, ikincisi ise geri alınanın tipini gösterir.

Örneğin, CHV, C bandında (3 cm) yatay gönderilen sinyallerin (H) düşey olarak (V) geri alınmış olduğunu ve bu konfigürasyon üzerinden görüntünün meydana getirildiğini ifade etmektedir. Ayrıca polarizasyon, yüzeyin farklı seviyelerinden bilgi edinilmesinde kullanılabilir (Örneğin; bitki formları ve dağılımlarının anlaşılması). Özellikle yeryüzündeki doğrusal cisimler polarizasyon doğrultusu ile uyumlu olması durumunda güçlü bir yansıma yaparlar. Örneğin bir elektrik direği ya da ağaç VV polarizasyon modunda daha parlak görünür. Toprak yüzeyinde ve içi hakkında bilgi edinmek için yatay polarizasyon daha uygundur. Ancak topografya hakkında daha fazla bilgi edinmek ve topografyadaki değişimlerden fazla etkilenmemek istenirse çapraz polarizasyon kullanılmalıdır.[2]



Şekil 3.8 Yatay ve düşey polarizasyon.

### 3.5.2 Gelme Açısı

Bu açı, sinyallerin gönderilme yönü ve çarpma yüzeyinin normali arasındaki derece ile ifade edilir. Açının artması veya azalması yüzeydeki nesnelerden yansıyan sinyallerin kuvvet değerlerinin de değişmesine neden olur.

### 3.5.3 Yüzeyin geometrisi ve pürüzlülük özelliği

Yüzeydeki pürüzlülük göreceli bir kavramdır ve radar anteni ile gönderilen mikrodalga sinyallerinin yüzeye yaptığı gelme açısıyla doğrudan ilişkilidir. Bu sinyaller yüzeyin geometrisi ve dielektrik özelliklerine bağlı olarak değişik yönlerde yansır. Yansıma sonucu geri dönen sinyal sayısı gönderilen sinyal sayısına ve kuvvetine göre çok daha azdır. Bu bakımdan yansımaların şiddeti düşük ölçülür. Buna paralel olarak da radar görüntüsü üzerindeki parlaklık ton derecesi düşer. Karasal yüzeylerdeki karakteristik şekil ve geometrik farklılıklar pürüzlülüğün oranını artırır. Geri dönen sinyallerin sayısı ve kuvveti ile birlikte parlaklık derecesi yüksek değerlerde algılanır. Deniz ve göl yüzeyleri meteorolojik etmenler

(yani, rüzgâr, yağış gibi) dışında sakin ve pürüzsüz ortamlardır. Genelde radar görüntüsünde karanlık tonda ve düzgün olarak gözükürler. Rüzgârlı bir havada dalgaların yaratacağı geometri ve yüzeyin hareketliliği, geri yansımayı fazlalaştırır, parlaklık artar ve neticede radar görüntüsünde açık gri tonlar belirli dokuda yaygın olarak gözükür.

Rayleigh kriterlerine göre;

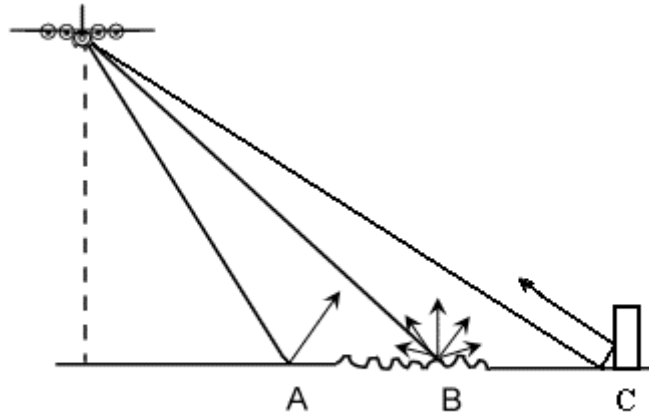
$$h < \frac{\lambda}{8 \cdot \cos \theta} \quad \text{ise yüzey düzgün} \quad (3.8)$$

$$h > \frac{\lambda}{8 \cdot \cos \theta} \quad \text{ise yüzey pürüzlü} \quad (3.9)$$

$h$  = Ortalama yüzey değişimi yüksekliği

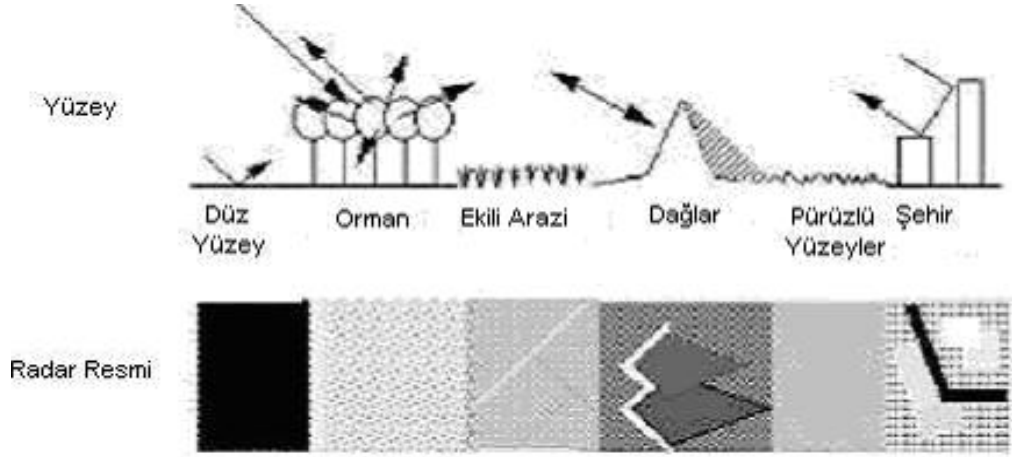
$\lambda$  = Dalga boyu

$\theta$  = Gelme açısı



Şekil 3.9 Radar yansıma değerlerinde yüzeyin etkisi [7].

Şekilde, A noktası düzgün bir yüzey olması nedeniyle radar dalgaları radar alıcısından farklı yönlerde yansır (tam yansıma) ve görüntü üzerinde koyu bir ton oluşturur. B noktasında pürüzlü bir yüzey olması nedeniyle (dağıtık yansıma) radar dalgaları önemli ve anlamlı bir bölümü radar alıcısı tarafından algılanır. Görüntü üzerinde de yüzeyi pürüzlülüğüne göre farklı gri tonlar oluşturur. C noktası ise genellikle yerleşim yerlerinde binaların olduğu yerlerde oluşur. Burada yüzeye çarpan radar dalgalarının tamamı radar alıcısı tarafında algılanır ve görüntüde parlak bir ton oluşturur.[2], [11]



Şekil 3.10 Farklı yüzeyler için radar görüntüleri.

### 3.5.4 Yüzeyin Nemi ve Islaklık Özelliği

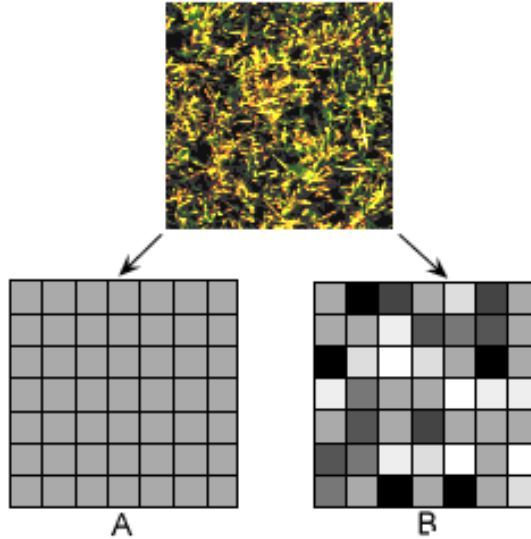
Yer yüzeyini kaplayan doğal örtü çeşitliliğinin (bitki-toprak, kayalar gibi) elektrik özelliklerinin ölçümü ile elde edilen değerler dielektrik sabiti ile ifade edilir. Temelde iki karakteristik değişken özelliği vardır; geçirgenlik ve iletkenlik. Bunlardan iletkenlik, nem oranıyla çok değişir. Örneğin doğal kuru yüzeylerde 3 ile 8 arasında büyüklükte olan iletkenlik, suda en az 10 kat yüksek, yaklaşık 80'dir. Sonuçta radar sinyallerinin yüzeyle etkileşimi nem ve ıslaklıkla orantılı olarak artar veya azalır. Elektromanyetik dalganın bir yüzeyin altına geçerek alt yüzeydeki nesneden yansıyabilmesi yüzeyin ıslaklık ve nem oranı ile ters orantılı olması anlamına gelir.

### 3.6 Radar Görüntülerindeki Bozulmalar

Elektromanyetik özelliklerinden dolayı radar görüntüleri optik algılayıcılar kullanılarak alınan görüntülerden yapısal olarak farklılıklar gösterir. Radar görüntüleri, radar sisteminin karakteristiği ve yeryüzünü aydınlatma geometrisinden etkilenmektedir. Bu etkiler radar görüntüleme tekniğinin bir sonucu olarak görüntünün radyometrisi, geometrisinde kendini göstermektedir. Bu etkiler sonucu elde edilen görüntü gözle ve diğer optik algılayıcılar ile elde edilen görüntülere kıyasla farklı bir yapıya sahiptir. Gri tonlar, hedef tarafından geriye yansıyan enerjinin bağıl kuvveti ile doğrudan ilişkilidir. Görüntülerdeki gölgeler, güneş ışığının aydınlatma geometrisinden değil, radar dalgalarının o bölge ulaşamamasından veya o bölgeden geri yansıma alınamamasından kaynaklanmaktadır.[1]

### 3.6.1 Benek Etkisi

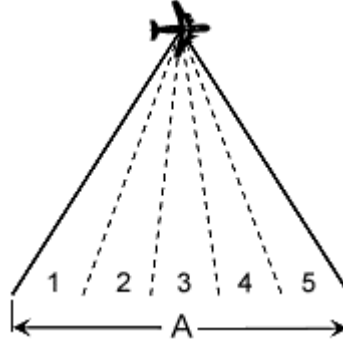
Gözle yorumlamayı zorlaştıran özelliklerden birisi olup, aktif uzaktan algılama yöntemiyle elde edilen radar görüntülerinde bile bir sinyal eşitliğinin bulunmaması, algılayıcı platform tarafından aktif olarak gönderilen sinyalin yeryüzündeki nesneler tarafından saçılarak birden çok yansıma vermesi sonucunda net bir görüntü oluşmamasından kaynaklanmaktadır. Radar görüntüsünün detaylı bir analizi tek bir yüzey tipi için bile, komşu pikseller arasında önemli gri seviye değişimleri oluşabilmektedir. Buna da benek denmektedir. Bunun olma sebebi hedeften yansıyan ışınların, yüzeyin yapısına bağlı olarak rasgele ve farklı yapıya sahip olmasıdır. Örnek olarak(Şekil 3.11) aynı özellikte yapıya sahip olan çimenlik bir alandan yansıyan ışınlar aynı gri tonlarında (Şekil 3.11 A) olması gerekirken, çimlerin her birinin farklı yansıma değerlerine sahip olması (Şekil 3.11 B) farklı tonlarda görüntülerin elde edilmesine neden olur.[2]



Şekil 3.11 Radar görüntülerinde benek.

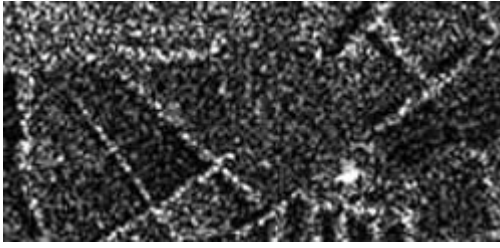
Radar görüntülerinde benekleri azaltmak için iki yol izlenir:

**Çok bakışlı görüntü işleme yöntemi:** Bu teknikte radar ışını birçok dar alt ışına bölünür (Şekil 3.12). Her bir alt ışın aydınlatılan alanla ilgili bağımsız bir değer taşır. Bu bakışları her bir aynı zamanda beneğe maruz kalabilir. Bu ışınların toplanıp ortalamasının alınması ile sonuç görüntü oluşturulur ve benek miktarı azaltılır.

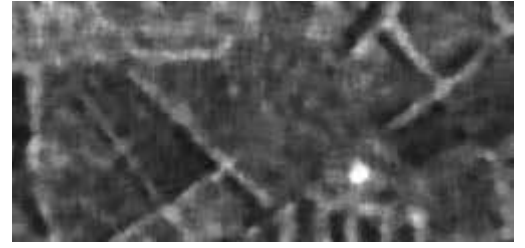


Şekil 3.12 Çok bakışlı görüntü alma [7].

Benek miktarının azaltılması için yapılan bu işlemde elde edilen görüntüler tek bakışlı radar görüntüsüne göre çözünürlükte azalma olmaktadır. Bu işlemde bir piksel değeri hesaplanırken bağımsız ve bindirmeli olmayan piksel eğerleri kullanılmaktadır. Bu şekilde sekiz bakışa kadar görüntüler elde edilebilir fakat bakış miktarının fazla olması görüntü çözünürlüğünü azaltacaktır.[2]



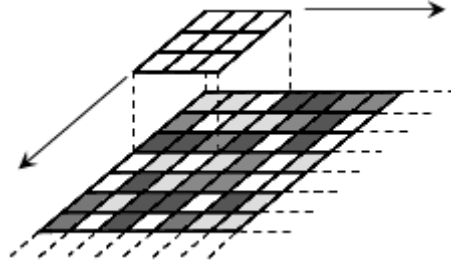
(a)



(b)

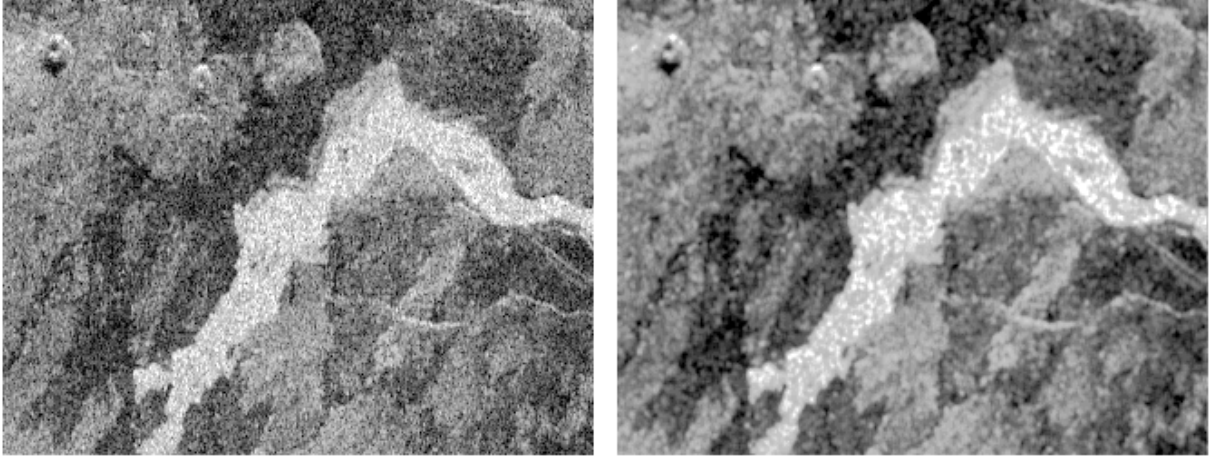
Şekil 3.13 (a) Tek bakışlı görüntü normal görüntü; (b)Çok bakışlı görüntü örneği.

**Filtreleme Tekniği:** Çok bakışlı görüntü alma işlemi genelde veri alımı sırasında yapılırken, konumsal filtreleme ile benek azaltma işlemi sonuç görüntü üzerinde sayısal görüntü işleme ortamında yapılır. Benek azaltma filtrelemesi birkaç pikselden oluşan küçük bir pencereyi (örneğin 3x3 veya 5x5) görüntü üzerindeki her piksel üzerinde dolaştırıp, pencere altında kalan piksellerle matematiksel işlemler yapıp merkez pikselin değerini bununla değiştirmektedir. Bu sayede benek azaltılabilir.



Şekil 3.14 Filtreleme Tekniği.

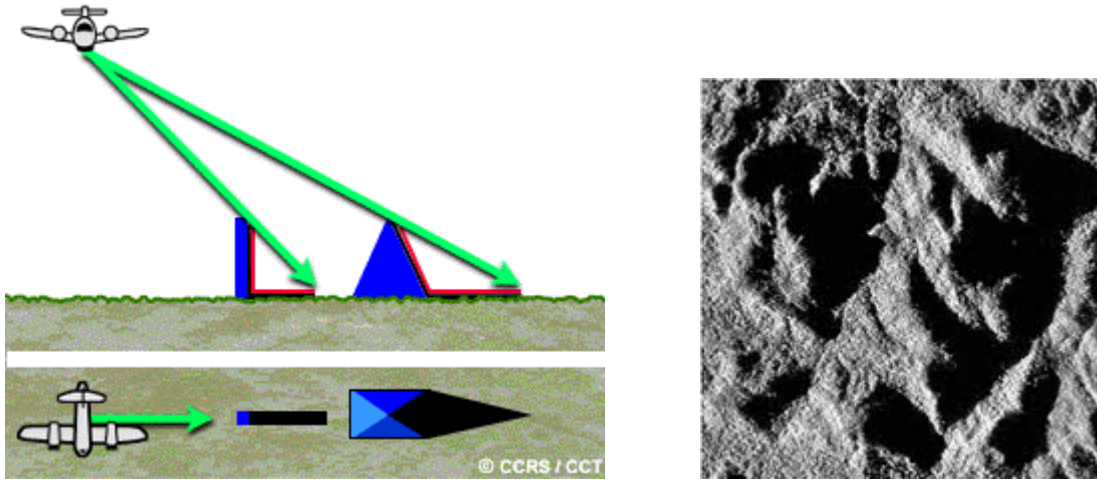
İyi bir filtreleme algoritması birçok kriteri kapsamak zorundadır. Bunların arasında en önemli olan ortalamanın korunması, sınır keskinliğinin korunması, dokusal özelliğin kaybolmaması ve bulanıklığa meydan vermemesi gerekir. Günümüzde en çok kullanılan filtreleme yöntemleri Lee, Frost, Kuan, En küçük kareler, Map ve Lopez algoritmalarıdır. Frost algoritması dokusal özellikleri ön plana çıkartmakta ve en az bilgi kaybına sebep olmaktadır.[2]



Şekil 3.15 Frost filtreleme sonucu [7].

### 3.6.2 Gölgeleme:

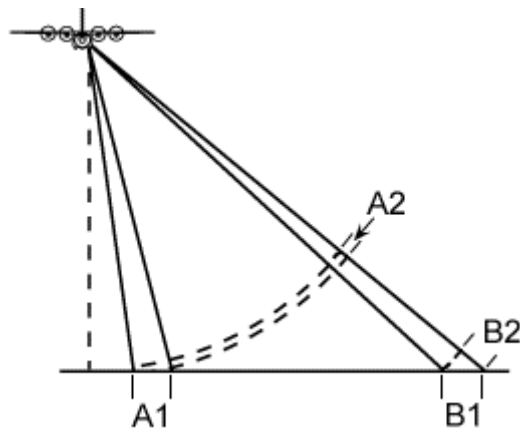
Radar gölgesi, radar ışınlarının yer yüzeyine ulaşmaması sonucu oluşur. Genellikle düşük bakış açılı sistemlerde görülür. Arazideki düşey boyuttaki detayların eğiminin bakış açısından daha büyük olması durumunda detay arkasında kalan alana radar ışınları ulaşamaz. Bu alanda araziye ait geri yansıma değeri olmadığı için koyu olarak görülür (Şekil 3.16). Gölgeleme alanı, cismin radar alıcısının uzak kenarında olması veya yakın kenarda olmasına göre boyutu değişim gösterir. Şekilde görüldüğü üzere algılayıcıya yakın detayların gölgesi uzaktakine göre daha kısadır.[2]



Şekil 3.16 Radar gölgeleme [7].

### 3.6.3 Eğik mesafe ölçek bozulması

Her uzaktan algılama sisteminde olduğu gibi, radarın görüntüleme geometrisinden dolayı sonuç görüntüde belirli geometrik bozulmalar oluşmaktadır. Yeryüzüne çok uzaklardan paralel ve sürekli ışınlar göndererek aydınlatan güneşin (doğal ışın kaynağı) aksine radarlar bir noktadan kesintili ve açısız olarak dağılan ışınlar gönderirler. Radarın yana bakan geometrisinden dolayı eğik mesafe ölçmektedirler. Bu nedenle algılayıcıya yakın olan detayların boyu, uzaktaki detaylara göre kısa olacaktır.



Şekil 3.17 Farklı uzaklıklardaki aynı boyuttaki detaylarda meydana gelen ölçek bozulması [7].

Şekil 3.17’de A1 ve B1 detayları yeryüzünde aynı boyutlara sahip olmalarına rağmen, eğik mesafe boyunca görüntüleri (A2 ve B2) farklı olacaktır. Bu da yakın mesafedeki detayın, uzak

mesafedeki detaya göre sıkıştırılmış olarak görülmesine sebep olacaktır. Eğik mesafe ile platform yüksekliği kullanılarak Trigonometri olarak, yer mesafesi hesaplanabilir.[2]

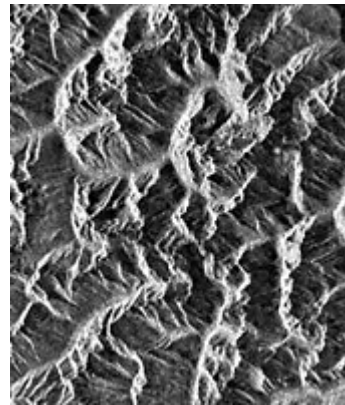
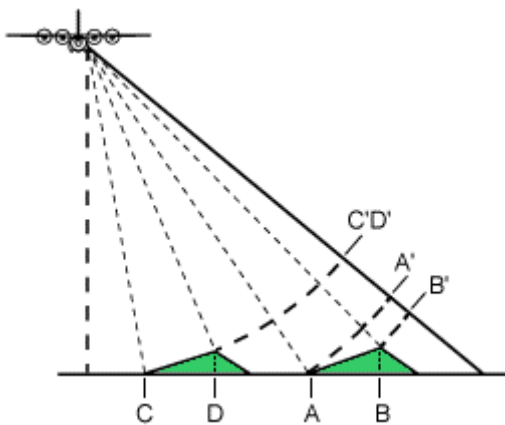


Şekil 3.18 Eğik mesafe ölçek bozulması radar görüntüsü [7].

### 3.6.4 Uzunluk kısalması

Topografyadaki düzensizlikler nedeniyle radar ışını radar antenine bakan yüksek bir detayın tepesinden önce yamaçlarına ulaşıyorsa uzunluk kısalması oluşur. Görüntüde antene bakan eğimli yüzeyler sıkışmış ya da eğimin başlangıç ve bitiş noktaları aynı nokta gibi görülür. Görüntü üzerinde bu yamaçlar mesafenin kısa görünmesi nedeniyle çok dik bir eğime sahip gibi olur. Bakış açısının artması geometrik olarak eğim uzunluğunu azaltmakta bu da uzunluk kısalmasını artırmaktadır.

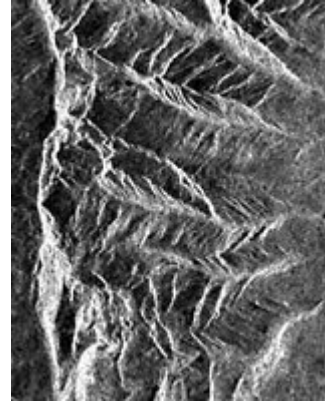
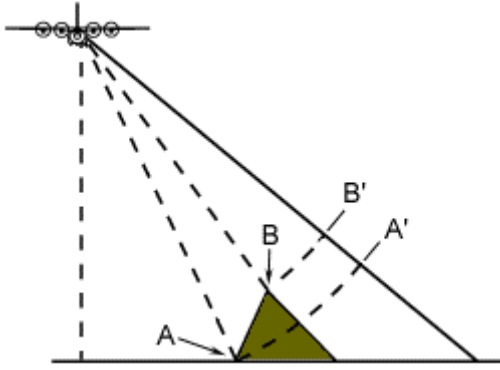
Maksimum uzunluk kısalması radar ışının eğimli yüzeye dik geldiği zaman oluşur. Şekilde taban ve zirve aynı anda görüntülenmektedir (C ve D) . Eğimin uzunluğu eğik mesafede (C'D') sıfıra düşmektedir. Uzunluk kısalmasından etkilenen eğimli yüzeyler açık tonlarda görülür.



Şekil 3.19 Uzunluk kısalması [7].

### 3.6.5 Bindirme

Bir radar görüntüsünde bindirme oluşmasının sebebi uzunluk kısalması ile aynıdır. Radar dalgasının, radar antenine dönük yüksek bir detayın tabanından önce zirvesine ulaşıyorsa bindirme meydana gelir. Fakat bindirme sonucu cismin geometrisinde önemli değişiklikler oluşur. Detayların dizilişi, gerçeğinden farklı görülür. Bindirme bölgeleri genellikle radar antenine dönük olan yüzeylerde, düşük bakış açısı nedeniyle parlak olarak görülen kısımlardır. Bu alanlar yükseklik bilgisi olsa dahi verilerin üst üste binmesi nedeniyle düzeltilmesi mümkün değildir.

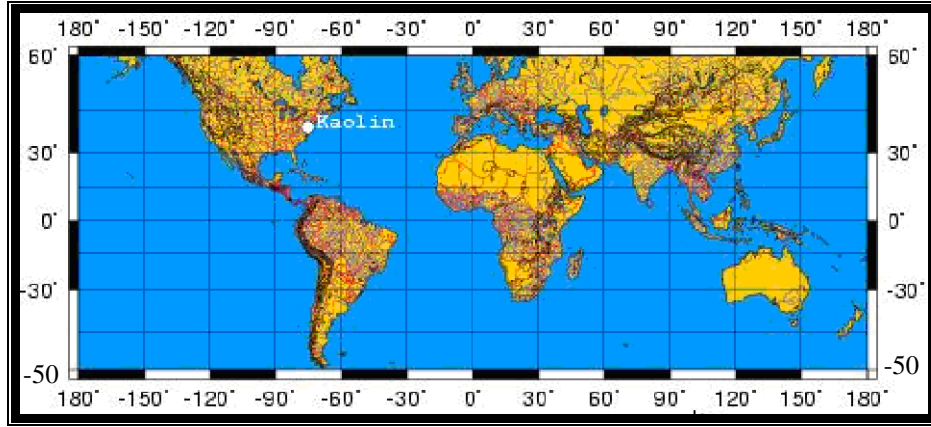


Şekil 3.20 Radar görüntülerindeki bindirme[7].

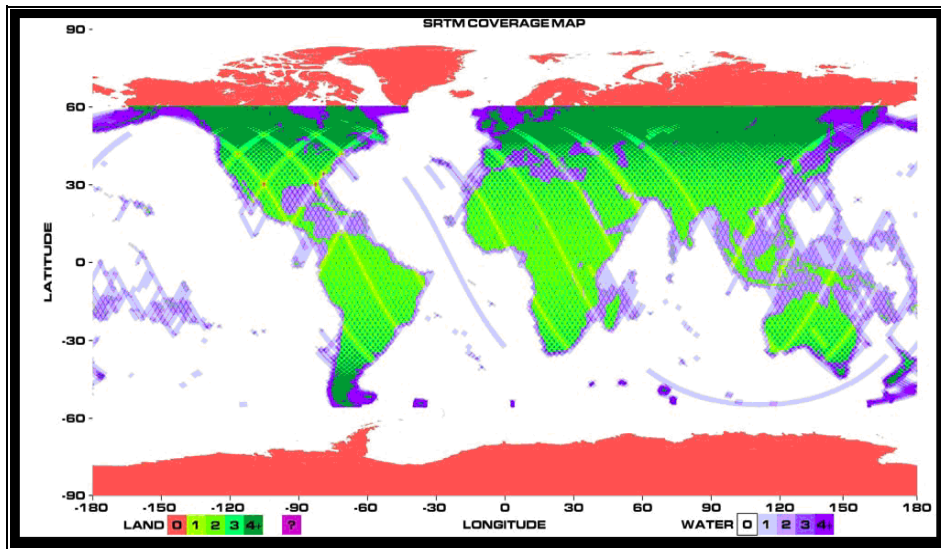
#### 4. SRTM Verilerinin DTED ve 1:25.000 Ölçekli Topografik Haritalardaki Yükseklik Veriler ile Karşılaştırılması

##### 4.1 SRTM (Shuttle Radar Topography Mission) Verileri Hakkında Genel Bilgiler

SRTM; ABD Ulusal Coğrafi İstihbarat Kurumu (NGIA), Ulusal Havacılık ve Uzay Ajansı (NASA), Alman ve İtalyan Uzay ajansları arasındaki ortak bir projedir. Bu projenin amacı Dünya yüzeyinin %80'inin (60 derece kuzey ve 50 derece güney enlemleri arasındaki bütün alan) Sayısal Yükseklik Modelini oluşturmaktır. Yan bakışlı yapay açıklı radar görüntüleme yöntemi kullanılmış ve böylece dünya yüzeyi üzerinde uzun şeritler halinde veriler toplanmıştır



Şekil 4.1 SRTM verilerinin kapsadığı alan[8].



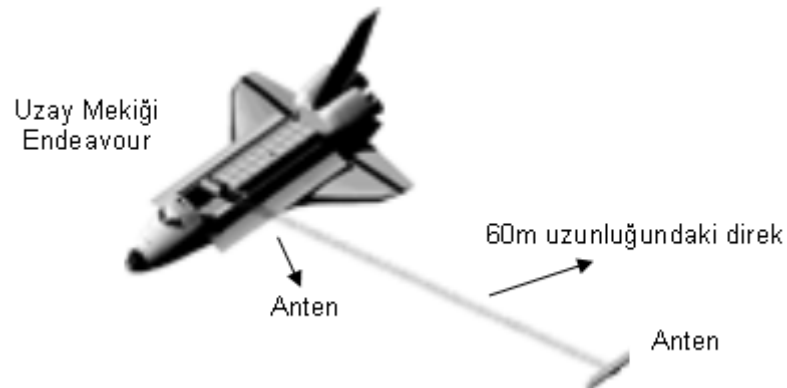
Şekil 4.2 Uzay Mekiğinin verisinin kapladığı alan.[8].

Uzay mekiği Endavour tarafından 11–22 Şubat 2000 yılında gerçekleştirilmiştir. Uydunun gönderiliş amacı yeryüzüne ait topografik veri toplamak ve bu veriler yardımıyla üç boyutlu yükseklik modeli üretmektir. Birkaç saatlik kontrol ve hazırlıktan sonra 222,4 saat sürekli olarak veri toplanmıştır. Uzay mekiği bu kısa sürede, görev alanı içerisindeki yeryüzünü %99,96'sını en az bir kez, %94,59'nu en az iki kez ve %50'sin de üç ve daha fazla görüntülemiş ve veri toplamıştır. Şekil 4.2'de dünya haritası üzerinde kırmızı renkli bölgelerde hiç veri toplanmamış fakat yeşil rengin açık tonu ile koyu tonu arasındaki bölgelerde sırasıyla 1,2,3 ve 4 kez görüntü elde edilmiş ve veri toplanmıştır. Buradaki amaç yeryüzünü en az iki farklı açıdan görüntüleyerek radar gölgelerinden kaynaklanan hatayı en aza indirmektir.[8]

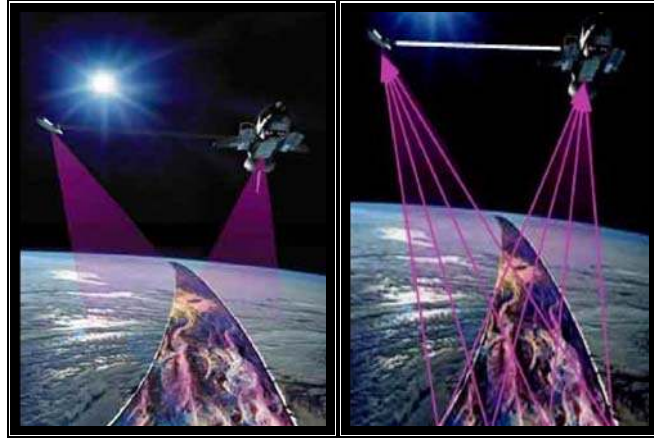
Bu radar sistemi, dünyanın şimdiye kadar toplanmış en büyük hacimli (yaklaşık olarak dünyanın %80'i) ve doğruluğu yüksek verisidir.

#### 4.2 RADAR İnterferometre Tekniği

SRTM, radar interferometrisi tekniği ile oluşturulmuştur. Radar interferometresinde aynı yerin iki görüntüsü birbirinden farklı iki konumdan alınması esasına dayanır (maksimum 1km.). Alınan görüntüler arasındaki faz farkı amaca göre yüzey yüksekliğini veya yüzey değişimini hesaplamaya yardımcı olur. Farklı konumlardan çekilmiş iki radar görüntüsü elde etmek için SRTM donanımı; bir tanesi mekiğin altına, diğeri ise mekiğe bağlı ve mekikten dışarı uzanan 60 m uzunluğundaki bir çubuğa takılı iki radardan oluşmuştur. (Maathuis, 2004)



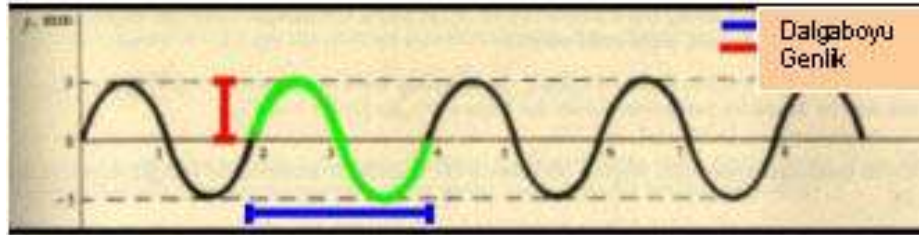
Şekil 4.3 SRTM için kullanılan uzay mekiği ve donanımı(Marangoz, 2004).



Şekil 4.4 SRTM için Uzay Mekiğinin veri toplama görüntüsü (Maathuis, 2004).

#### 4.2.1 İnterferometre

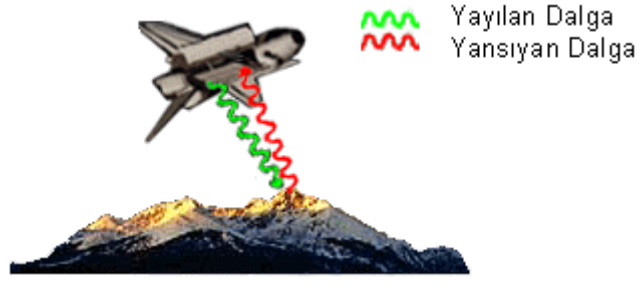
Şekil 4.5’de ideal bir radar sinyalinin yapısı görülmektedir. Bu sinyalin gücü, y-ekseni üzerinde; radar sinyalini üreten kaynaktan olan uzaklık, x-ekseni üzerinde gösterilmiştir. Sinyal salınım yapmakta ve aynı salınım x-ekseni boyunca tekrar etmektedir.



Şekil 4.5 Radar Sinyal Grafiği (Maathuis, 2004), (Marangoz, 2004)..

Sinyal kaynağından uzaklaşırsa, bu tekrarlı yapının birkaç katı kadar gitmiş olunur. Dalganın tek bir devri, yeşil çizgi ile gösterilmiştir. Tek bir devir boyunca gidilen mesafe dalga boyu olarak adlandırılır.

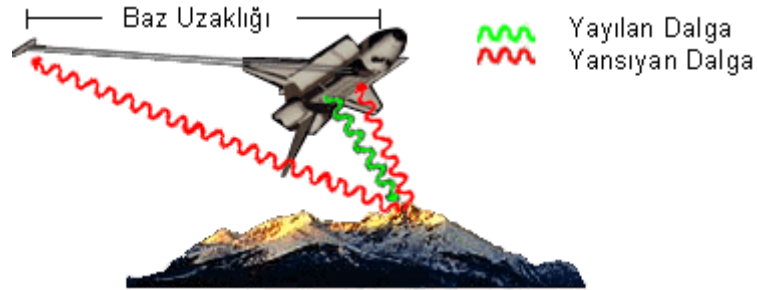
Dalganın fazı, kaynaktan herhangi uzaklıkta oluşan toplam dalga devir sayısına eşit olmakta ve küsuratlı kısım içermektedir. Bu nedenle kaynaktan herhangi uzaklıktaki faz, uzaklığın dalga boyuna oranı ile elde edilir. Dalganın genliği tepe sinyal gücüdür. Ancak gerçek sinyal genliği, x-ekseni üzerinde kaynaktan uzaklaştıkça azalmaktadır.



Şekil 4.6 Bir tek alıcı ile gönderilen ve yansıyan radar dalgaları (Maathuis, 2004).

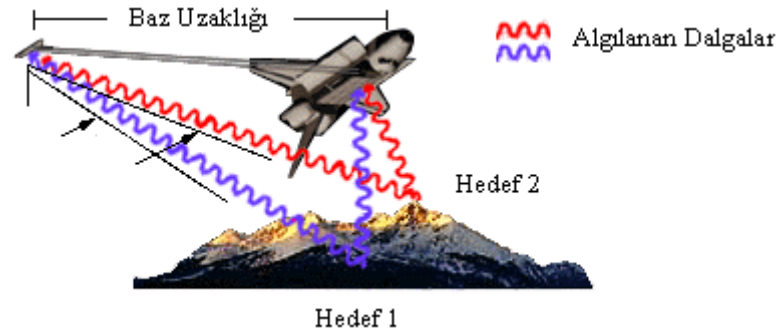
Şekil 4.6’ da görüldüğü gibi, radar sinyali uydudan gönderildiğinde yeryüzü üzerindeki hedefe çarpar ve sinyalin bir kısmı hedef tarafından uyduya geri gönderilir.

Eğer uzay mekiğinde SRTM’de olduğu gibi belli bir baz uzunluğunun iki ucunda iki alıcı varsa, interferometrik veri alma yönteminin koşulları sağlanmış olur. Şekil 4.7’ de gösterildiği gibi interferometre, bir bazın iki ucundaki alıcılar tarafından alınan sinyallerin fazları arasındaki farklılığı ölçer. Bu faz farklılığına interferometrik faz denir. Faz değerleri hedefle alıcı arasındaki uzaklığa bağlı olduğundan interferometrik faz, alıcıların hedeften olan uzaklıkları arasındaki farkın ölçümü olacaktır



Şekil 4.7 İki alıcı ile gönderilen ve yansıyan radar dalgaları (Maathuis, 2004).

Radar interferometrenin topografyaya ve obje yüksekliklerine nasıl duyarlı olduğunu göstermek için, Şekil 4.8’de farklı yükseklikte iki hedef verilmiştir. Görülebileceği gibi, bu hedeflerin bazın iki ucuna göre diferansiyel uzaklıkları yüksekliklerine bağlıdır. Yüksek hedef (hedef 2) için diferansiyel uzaklık alçak hedefinkinden (hedef 1) daha büyüktür. Bu nedenle, hedef 2’ nin interferometrik fazı hedef 1’inkinden daha fazla olacaktır. [9] (Maathuis, 2004) (Marangoz, 2004)



Şekil 4.8 Yüksekliği veren diferansiyel uzaklıklar (Maathuis, 2004), (Marangoz, 2004)..

#### 4.3 Kullanılan Algılayıcılar ve Özellikleri

SRTM uydu geometrisinde birer adet uydunun gövdesinde, birer adet de uydudan dışarı uzanan 60m'lik çubuğun ucunda olmak üzere 4 adet anten bulunmaktadır. Bu antenlerin ikisi C-band, diğer ikisi X-band antenleridir. Antenlerden ana gövde üzerinde bulunanları hem alıcı hem de sinyal gönderme özelliğine sahiptir. Dışarı doğru uzanan çubuğun üzerindeki antenler ise yalnızca alıcı olarak çalışmaktadır. Amerikan yapımı olan C-Band, alıcılar yeryüzünde 225 km tarama genişliğinde 3 saniye (yaklaşık 90m) aralıklı veriler toplamıştır. Alman ve İtalyan yapımı olan X-band alıcılar ise 45m tarama genişliğinde 1 saniye (yaklaşık 30 m) aralıklı veriler toplamıştır.

##### **C-SRTM (C Band) : NGA-SRTM**

Dalga Boyu: 5,3 cm

10 metre bağıl düşey doğruluk

Yükseklik Birimi: metre

Yatay datum: WGS84

Düşey Datum : WGS-84 EGM96 Geoid

**X-SRTM (X Band) :** Almanya ve İtalya uzay ajansları tarafından tasarlanmıştır.

Dalga Boyu: 3,1 cm

6 metre bağıl düşey doğruluk

Yükseklik Birimi: metre

Yatay datum : WGS-84

Düşey Datum: WGS-84 EGM96 Geoid

SRTM verisi Yapay Açıklıklı Radar Sistemi ile toplandığı için, bu sistemin kısıtları toplanan veriyi etkilemektedir. Sistem yana bakışlı ve aktif bir sistem olduğu için eğimi radarın yana bakış açısından daha fazla olan bölgelerde sisteme geri dönen bir sinyal olmamakta ve bu bölgeler boş kalmaktadır. Bu hata kaynağına gölgeleme denmektedir.

#### 4.4 SRTM Verilerinin Özellikleri

SRTM verisinin SRTM1, SRTM3 ve SRTM30 olmak üzere üç değişik çözünürlükte kullanıcılara sunulmuştur.

**SRTM1:** 1 saniyelik (ekvatorda ~30 metre çözünürlük) sayısal yükseklik verisidir. Sadece Amerika Birleşik Devletlerine ait veriler internet üzerinden ücretsiz olarak sunulmuştur.

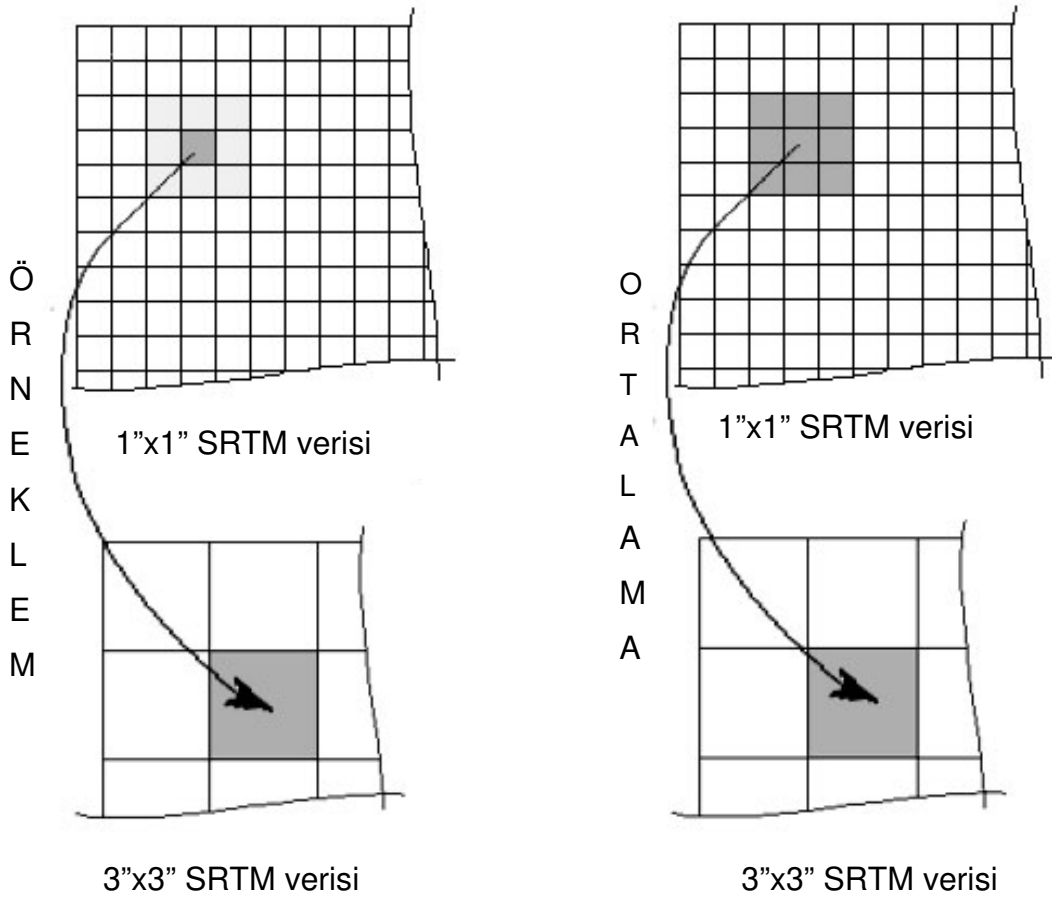
Mutlak yatay doğruluk: 20 m

Mutlak düşey doğruluk: 16 m

Bağıl düşey doğruluk: 10 m (C-Band), 6 m (X-band) [8]

**SRTM3:** 3 saniyelik (ekvatorda ~90 metre çözünürlük) sayısal yükseklik verisidir.

SRTM3 verileri SRTM1 verilerinden elde edilmiştir. Burada iki farklı yöntem benimsenmiştir. Örneklem yönteminde şekil 4.9'da görüldüğü gibi 9 tane 1"x1" pikselin ortasında yer alan pikselin değeri, 3"x3" boyutundaki piksel değerine verilir. Ortalama yönteminde ise 9 tane 1"x1" pikselin ortalaması alınır ve 3"x3" boyutundaki piksel değerine verilir. Ortalama yöntemi radar verilerinin karakteristik yapısı nedeniyle yüksek frekanslı gürültüleri azaltır. Klasik bir yöntem olan ortalama alınması, aynı yapısal özellik gösteren yüzeylerin farklı yansıma değerleri göstermesi olan benek etkisini azaltır ve radyometrik doğruluğu artırmaktadır. Örneklem yönteminde ise en azında 3"x3" boyutundaki pikselin kapladığı alanın ortasındaki gerçek değeri aynen temsil etmektedir. Buda yaklaşık olarak 90mx90m alan içerisinde 30mx30m bölgede doğruluğu değiştirmemektedir.

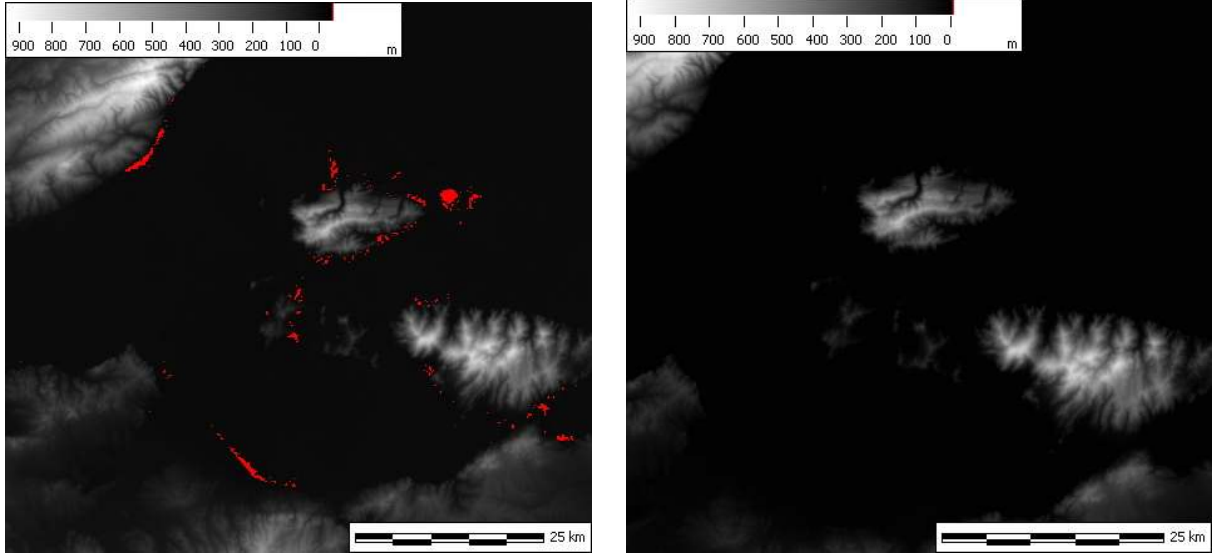


Şekil 4.9 SRTM1 verisinden SRTM3 ve SRTM30 verilerinin elde edilmesi.

**SRTM30:** 30 yay saniyesi (yaklaşık 1 km) aralıklı SRTM yükseklik verisidir. SRTM3 verilerinden 10x10 hücre ortalaması alınarak türetilmiştir. Ayrıca GTOPO30 ile iyileştirilmiştir.

Verideki bütün yükseklikler metre cinsinden WGS84/EGM96 jeodine göre hesaplanmıştır. Yatay koordinatlar coğrafi olarak, WGS84 elipsoidine göre tanımlanmıştır. SRTM sayısal yükseklik verileri kullanıcılara, 1x1 derecelik alanı kapsayacak şekilde yapılmaktadır. SRTM1 verisi içerisinde 3601x3601, SRTM3 verisi içerisinde 1201x1201 adet enlem ve boylam noktasına ait yükseklik değeri vardır. Veri dosyalarının isimlendirilmesi, sol alt köşenin koordinatlarına göre yapılmıştır. 36° Batı boylamı ve 40° kuzey enleminde yer alan 1 x 1 derecelik bölgenin güney-batı köşesinin koordinatı kullanılarak SRTM yükseklik verisinin dosyası N40E036.hgt olarak isimlendirir. Veriler, 16 bit, -32767 ile 32762 değerleri arasında integer şeklinde ve satır sıralı formattadır. Bu nedenle en fazla metre hassasiyetinde yükseklik değerlerini içerir. Gölgeleme ve faz belirsizliği gibi nedenlerle radar verilerinde oluşan boşluklar -32768 veya boş değer alır. [8]

Ürünün üç sürümü kullanıcılara sunulmuştur. İlk sürümünde veriler birçok hata içermektedir. Şekil 4.10’da kırmızı noktalar 1.sürüm SRTM3 verilerindeki Marmara denizi üzerinde boşluk oluşan yerleri göstermektedir.



Şekil 4.10 SRTM3, 1.sürüm ve 2. sürüm verileri.

Birinci sürüm verilerin iyileştirilmesi için MIL-PRF 89020B de belirtilen DTED veri standartları kullanılmıştır. Öncelikle sularla kaplı alanlar ele alınmıştır. İyileştirmede kullanılan kuralların bazıları aşağıda yer almaktadır.(NASA, 2003)

- Çapı 600m’ye eşit veya daha fazla olan göl ve barajlar detay olarak değerlendirilir.
- Su ile kaplı alanlarda detayın tamamında tek bir yükseklik değeri olmalıdır.
- Göl ve baraj kıyıları en az 1 m daha yüksek değere sahip olmalıdır.
- Su yüzeyi üzerinde yer alan köprü ve enerji nakil hatlarına ait yükseklikler çıkartılmalıdır.
- Genişliği 183 metreden fazla olan kanal ve dereler Sayısal yükseklik verisi içerisinde yer almalıdır.
- Okyanus ve denizlere ait yükseklik değerleri sıfır olmalıdır.
- 300 metre ve daha fazla çapa(ksen) sahip adalar mutlaka sayısal yükseklik verisinde yer almalıdır.
- Deniz seviyesinin altında olan (göl ve karalar) yerler mutlaka negatif değer almalıdır.
- Ayrıca 16 pikselden küçük boşluklar çeşitli algoritma ve enterpolasyon yöntemleri kullanılarak yükseklik değerleri düzeltilmiştir.

Verilerin üçüncü sürümü (CGIAR-CSI) (International Agricultural Research) Uluslar arası Tarım araştırmaları Konumsal Bilgi Çalışma Gurubu tarafından üretilmeye başlanmıştır. Bu grubun amacı SRTM3 verilerinde mevcut olan büyük boşlukları gidermek ve yeryüzüne ait sürekli ve doğru yükseklik verisi üretmektir. Özellikle yüksek bölgelerde örneğin Himalaya dağlarında, Alp dağlarında, Nepal gibi ülkelerde radar veri boşluklarının çok olması nedeniyle SRTM verilerinin kullanımı açısından büyük bir sorun ortaya çıkarmaktadır.[15]

Öncelikle NASA' nın internet sayfasında tüm kullanıcılara sunulan SRTM3 ikinci sürüm verileri indirilerek  $1^{\circ} \times 1^{\circ}$  olacak biçimde birleştirilmiş ve Arcgrid formatına dönüştürülür. [15]

SRTM3 verileri ARCGIS yazılımı yardımıyla 10m aralıklarla vektör yapıda eşyükseklik eğrileri oluşturulur. Daha önceden farklı yöntemlerle oluşturulmuş sayısal yükseklik verileri ve hidrografiya bilgisinden de yararlanarak SRTM3 verilerinde mevcut olan boşluklar anlamlı değerler ile düzeltilir[15]. Yardımcı sayısal yükseklik verisi olarak birçok ülkenin verilerinden yararlanılmıştır. Ancak bu ülkeler arasında Türkiye'ye ait veri bulunmamaktadır.

SRTM sürümleri arasındaki belirgin farkları şu şekilde sıralayabiliriz.

2.sürüm verilerle birlikte;

- Avustralya, Pasifik okyanusunda, Hindistan'da yer alan adalar verilere dahil edilmiştir.
- Kıyı bölgelerine ait veriler düzeltilmiştir.

Verilerde yer alan boşlukların bir kısmı enterpolasyon ile giderilmiştir.[15]

3.sürüm ile birlikte;

- Hidrografiya ait veri tabanı yardımıyla kıyı bölgeleri ve deniz ve okyanuslarla kaplı alanlar kesilmiştir.
- Yardımcı sayısal yükseklik verileri yardımıyla boş alanlar doldurulmuştur.
- SRTM3 verileri yaklaşık 0,5 piksel(45m) kayıklık mevcuttur. Geotif formatında kullanıcılara sunulmuştur.[15]

#### 4.5 DTED Verileri Hakkında Genel Bilgiler

DTED (Digital Terrain Elevation Data) verileri NATO standartlarına göre üretilen Sayısal Yükseklik verileridir. Çözünürlük ve doğruluk gibi özellikler nedeniyle farklı düzeylerde hazırlanır. I nci düzey DTED verileri araziye, 3x3 saniye (ekvatorunda yaklaşık 90 metre) grid aralıklı bir yükseklik model ile temsil eder. Nato STANAG 2215 sınırlarına göre bu verilerin yatay doğruluğu 50 metre, düşey doğruluğu +/- 30 metre ve altında olmalıdır. Türkiye için

yapılan bir uygulama ile 1:250.000 ölçekli topografik haritalardan alınan yükseklik değerlerinden elde edilen Sayısal Yükseklik Modelleri kullanılarak DTED1 verileri üretilmiştir.

II nci düzey DTED verileri ise, 1x1 saniye (ekvatorda yaklaşık 30 metre) aralıklı yükseklik model ile araziye temsil eder. Nato STANAG 2215 sınırlarına göre bu verilerin yatay doğruluğu 23 metre, düşey doğruluğu ise, +/- 18 metre ve altında olmalıdır. 1:25000 ölçekli topoğrafik haritaların eş yükseklik eğrilerinden ve kot noktalarından faydalanarak üretilmiştir. DTED verileri her ikisi de WGS84 Coğrafi projeksiyonda üretilmektedir.

DTED verileri genel olarak şu tür uygulamalarda kullanılır:

- Navigasyon ve yönlendirme.( Füze yönlendirme)
- Gözetleme, hedef bulma ve silah sistemlerinde:
- Radar kaplama diyagramları
- Hedef bulma sistemleri.
- İki nokta arasında kesit çıkarma
- Muhabere ağı analizi
- Arazi eğim analizi
- Komuta kontrol, muhabere ve istihbarat
- Ekran görüntüleri.
- Harp oyunları.
- Eğitim simülatörleri
- Uçak, helikopter ve tank simülatörleri
- Topçu atış simülatörleri
- NBC silahlarının etki alanlarının belirlenmesi.[10]

Çizelge 4.1 SRTM ve DTED Veri Standartları.(Taştan, 2006)

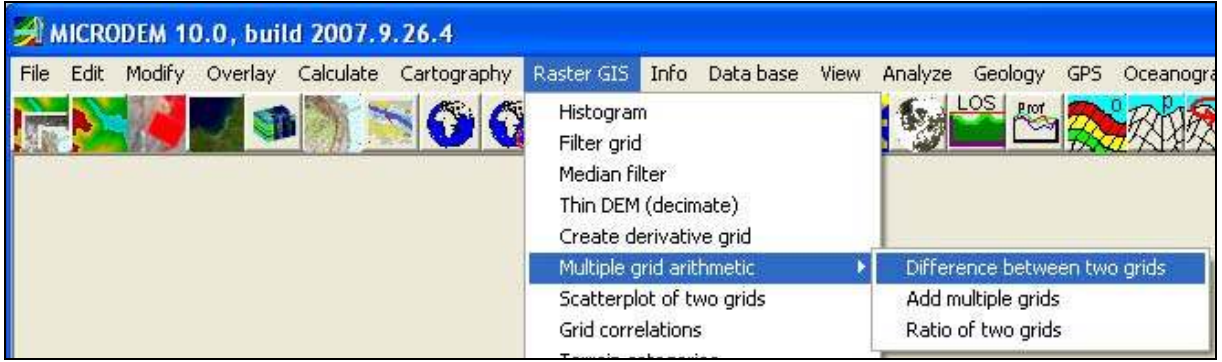
| Doğruluk     | SRTM1(30 m)       | SRTM3 (90 m)      | DTED1 (90 m) | DTED2 (30 m)      |
|--------------|-------------------|-------------------|--------------|-------------------|
| Mutlak Yatay | 20 m              | 20 m              | 50m          | 23 m              |
| Mutlak Düşey | 16 m              | 16 m              | 30m          | 18 m              |
| Bağıl Düşey  | 10 m (C), 6 m (X) | 10 m (C), 6 m (X) | 20m          | 12 m (1) 15 m (2) |

#### 4.6 SRTM Verilerinin DTED Verileri ile Karşılaştırılması

##### 4.6.1 Karşılaştırmada Kullanılan Yazılım ve Donanımlar

Uygulamada yükseklik verilerinin karşılaştırılmasında Microdem 10.0, Global Mapper 9.0 ve PCI Geomatica 9.0 yazılımları kullanılmıştır.

Microdem yazılımı Amerikan Deniz Kuvvetleri Oşinografi dairesi tarafından üretilen ücretsiz bir yazılımdır. Yazılım özellikle sayısal yükseklik modellerinin üç boyutlu görüntülenmesi ve analizinde kullanıcılara büyük kolaylıklar sağlamaktadır. Birçok veri yapısını desteklemekte ve SRTM verilerini doğrudan açabilmektedir. Bu çalışmada SRTM ve karşılaştırılan yükseklik verileri ayrı ayrı açılarak farkları alınmıştır (Şekil 4.11). Yazılım, iki yükseklik verisi için aynı x,y koordinata sahip yükseklik değerleri arasındaki farkı doğrudan hesaplayarak fark haritalarını oluşturmakta ve istatistiksel bilgi sunmaktadır.

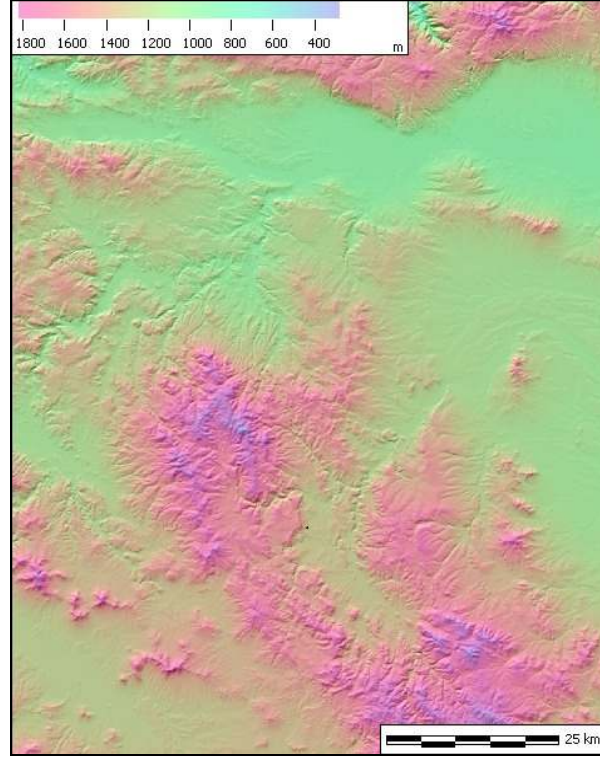


Şekil 4.11. Microdem yazılımı..

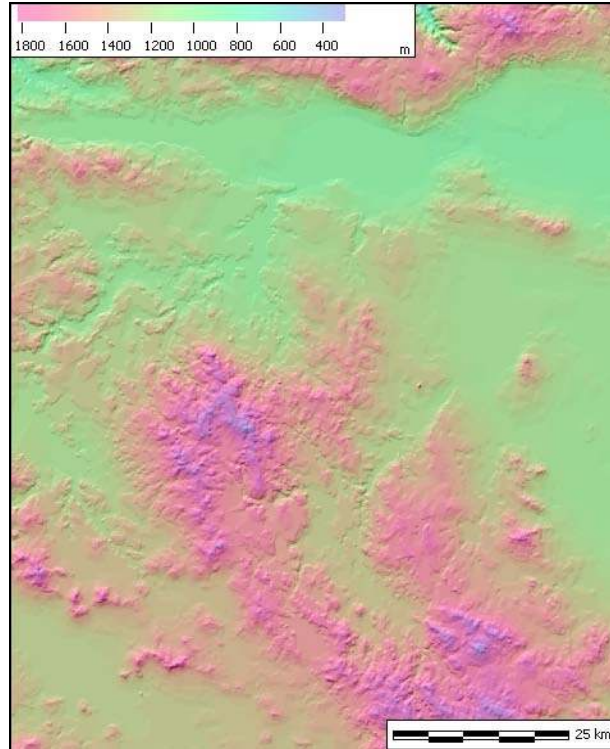
Global Mapper programı, 2007 yılında 9. sürümü ile birlikte iki yükseklik verisi arasındaki farkları alınması için yeni bir modül eklenmiştir. Bu programın en önemli özelliği, birçok yükseklik verisi ve vektör verisini aynı anda açabilir ve birleştirme gerekmeksizin kullanıma sunmasıdır.

PCI Gematica yazılımı ile dgn formatındaki vektör veriler otomatik olarak sayısal yükseklik modeline dönüştürülmüş ve ayrı ayrı bantlarda tanımlanarak farkları alınmıştır.

#### 4.6.2 DTED1 Verileri ile Arasındaki Yükseklik Farklarının Yapılan Uygulama ile incelenmesi



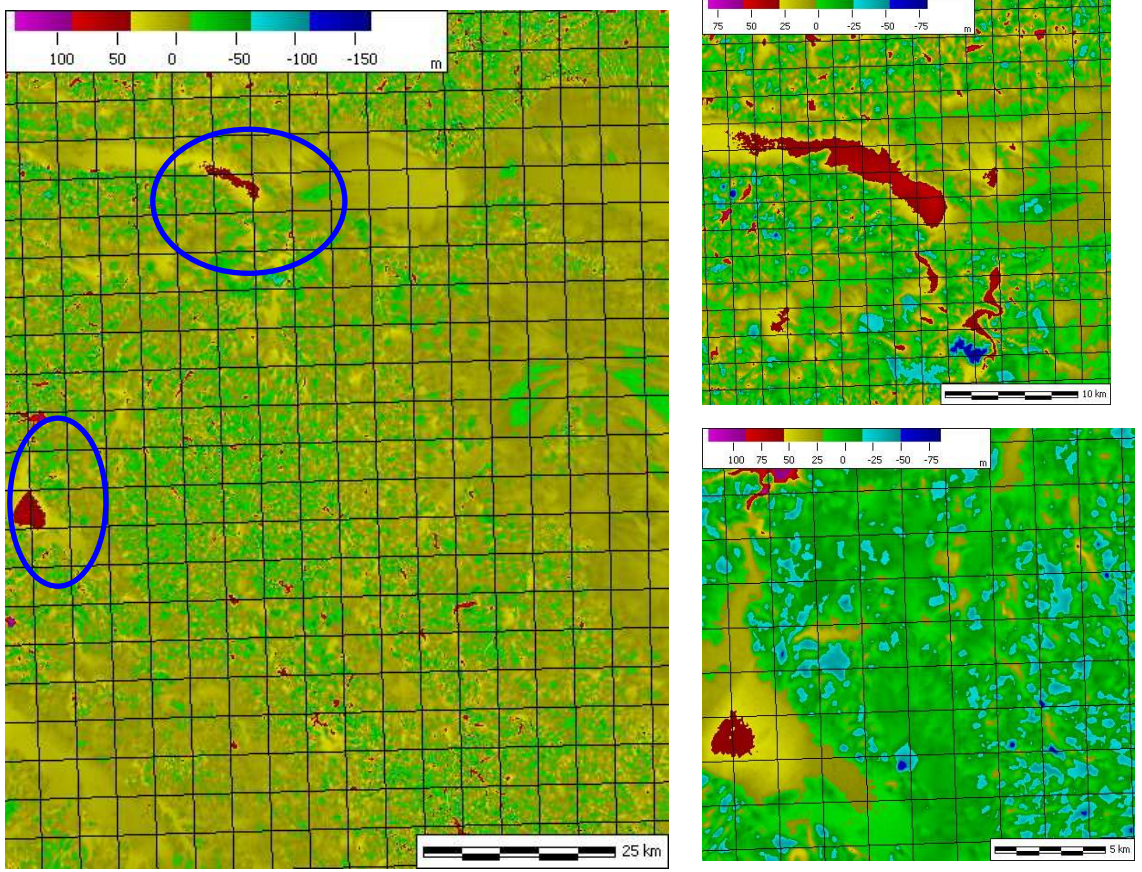
N39E030.hgt  
SRTM verisi.



3039dt1  
DTED1 verisi.

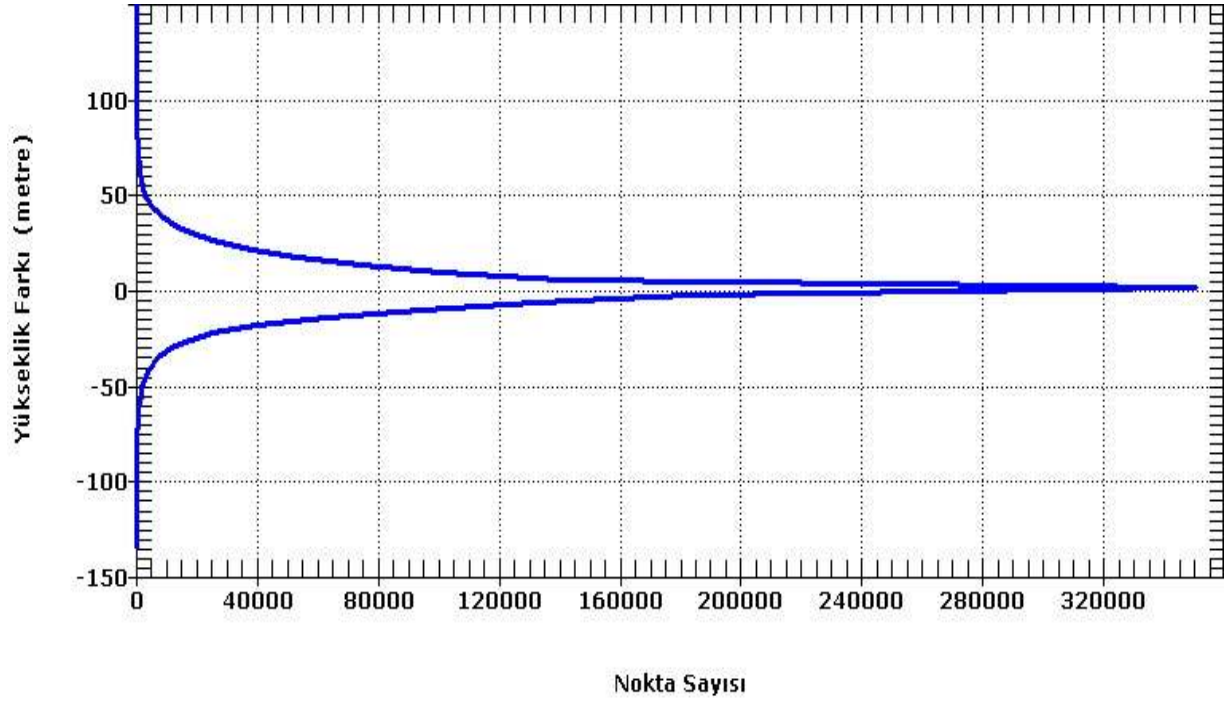
Şekil 4.12 SRTM ve Dted1 verisi.

SRTM ve DTED1 verilerine gözle bakıldığında ikisinde 1:250.000 ölçekteki topografik harita boyutundaki alana ait verileri içermektedir ve birbirine benzemekte olduğu görülmektedir. İki Sayısal Yükseklik Modeli arasındaki yükseklik farkı şekil 4.13’de görülmektedir.

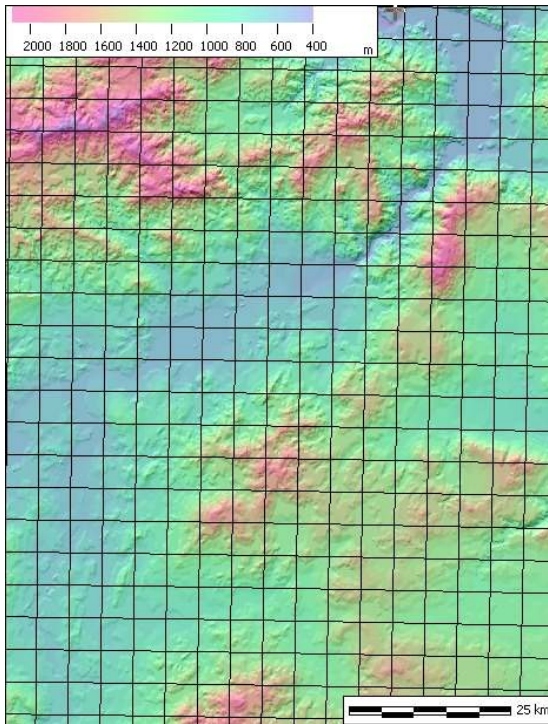


Şekil 4.13 N39E030.hgt-3039.dt1 verileri arasındaki yükseklik farkları.

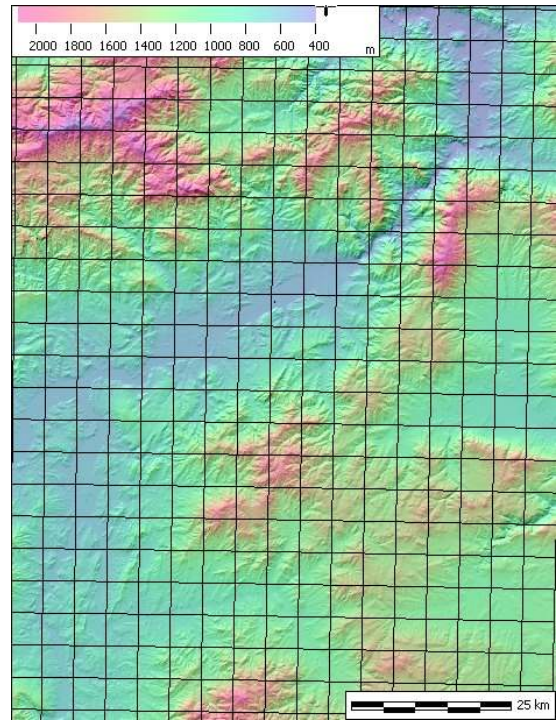
Yükseklik farklarının fazla olduğu bölgeler incelendiğinde ise Şekil 4.13’de gösterilen birinci bölgenin Eskişehir’in Çukurhisar ilçesi ve çevresi diğer bölgenin ise Kütahya şehir merkezinin bir bölümü olduğu görülmüştür. Fakat yükseklik farkların nokta sayısına göre dağılımı incelendiğinde %40’nın +/-5m olduğu hesaplanmıştır.



Şekil 4.14 N39E030.hgt-3039.dt1 verileri arasındaki yükseklik farklarının nokta sayısına göre dağılımı.

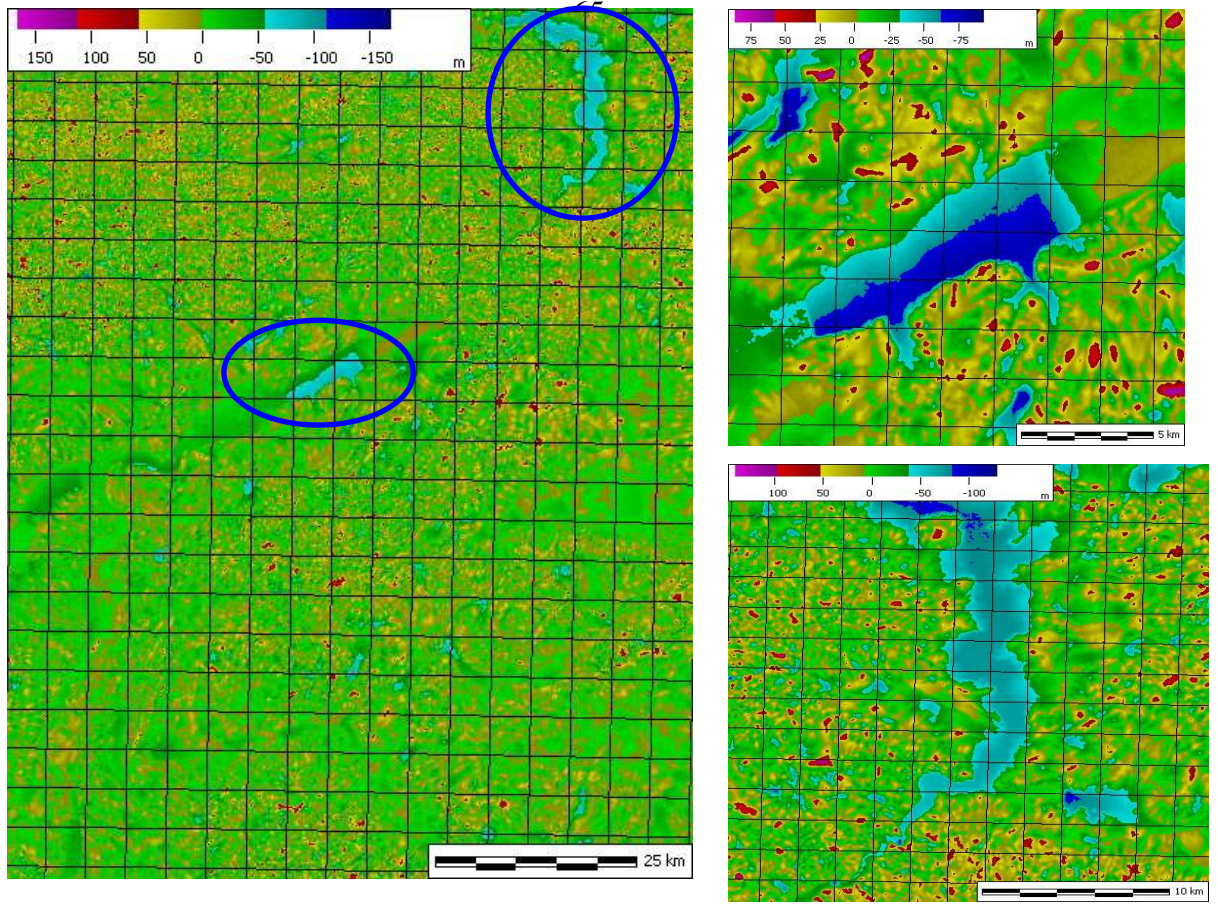


(a)



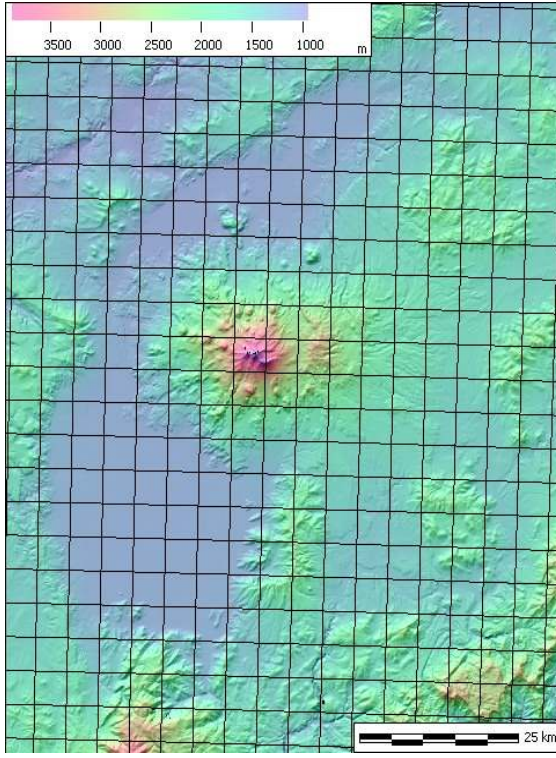
(b)

Şekil 4.15 (a)N40E034.hgt ve (b)3440.dt1 verileri.

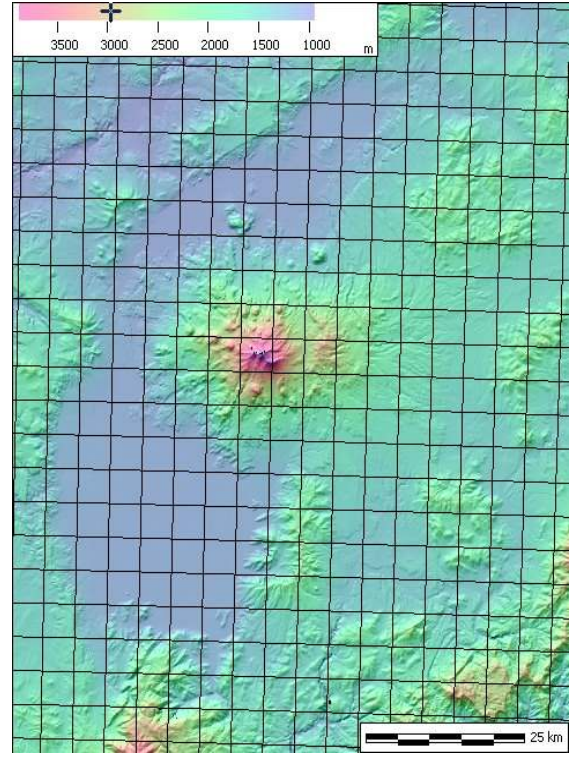


Şekil 4.16 N40E034.hgt ve 3440.dt1 verileri arasındaki yükseklik farkları

Şekil 4.16’da N40E034.hgt SRTM yükseklik verisinin DTED1 verisi ile karşılaştırılması sonucunda yükseklik farkının Kızılırmak nehrinin geçtiği ve etrafının ağaçlarla veya yeşil alanla kaplı olan bölgeler maksimum olduğu görülmüştür.

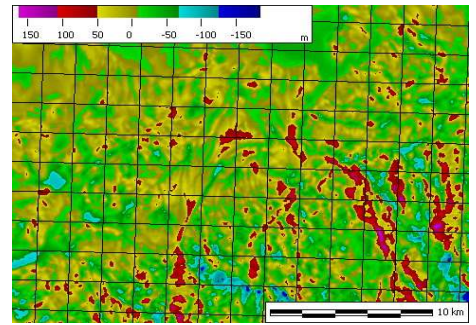
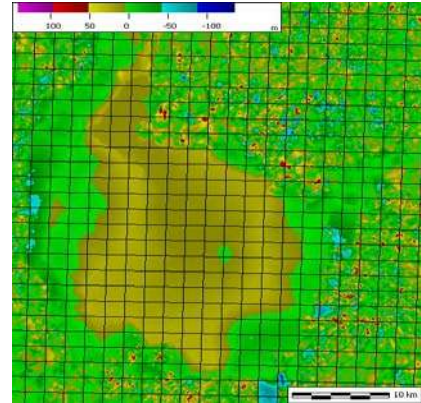
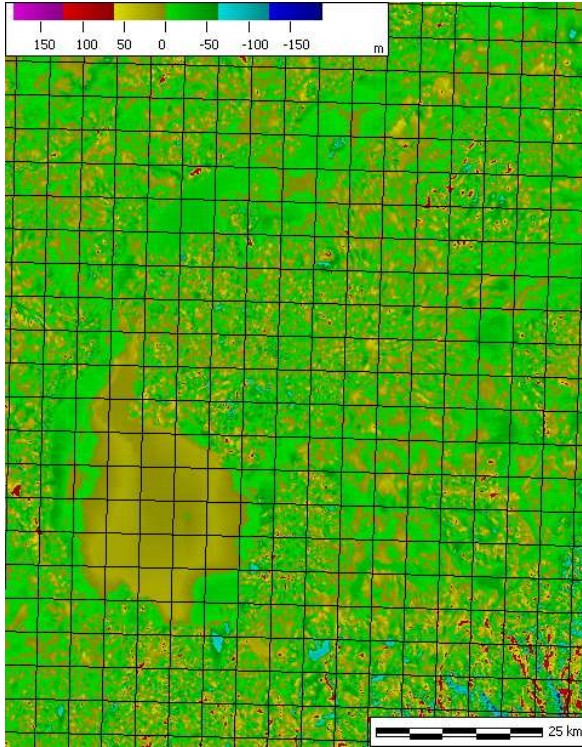


(a)



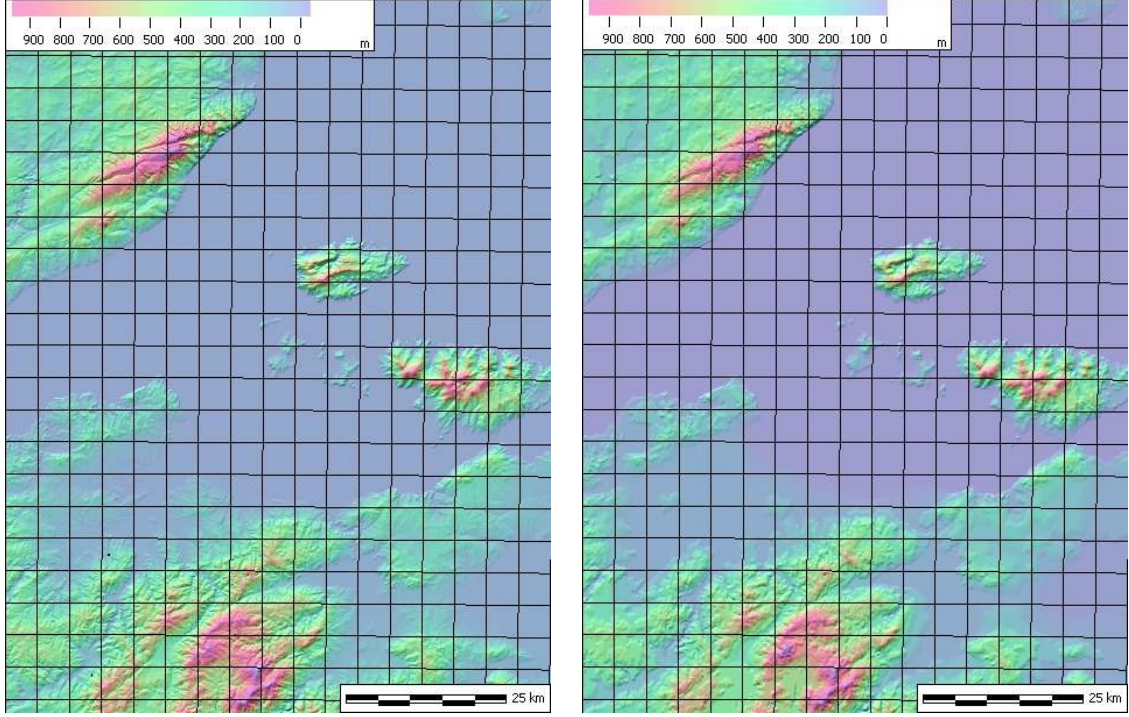
(b)

Şekil 4.17 (a)N35E038.hgt ve (b)3835.dt1 verileri.

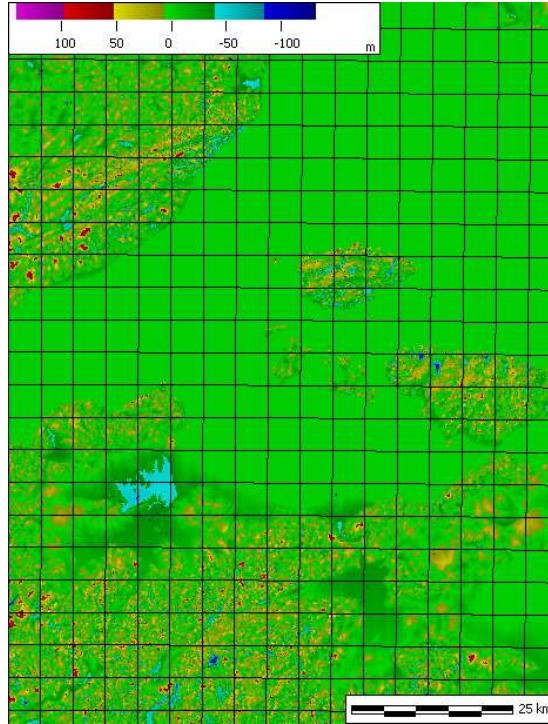


Şekil 4.18 N35E038.hgt ve 3835.dt1 verileri arasındaki yükseklik farkları.

Şekildeki N35E038.hgt SRTM yükseklik verisinin DTED1 verisi ile karşılaştırılması sonucunda yükseklik farkının dağlık bölgelerde ve göl olan yerlerde maksimum olduğu görülmüştür.

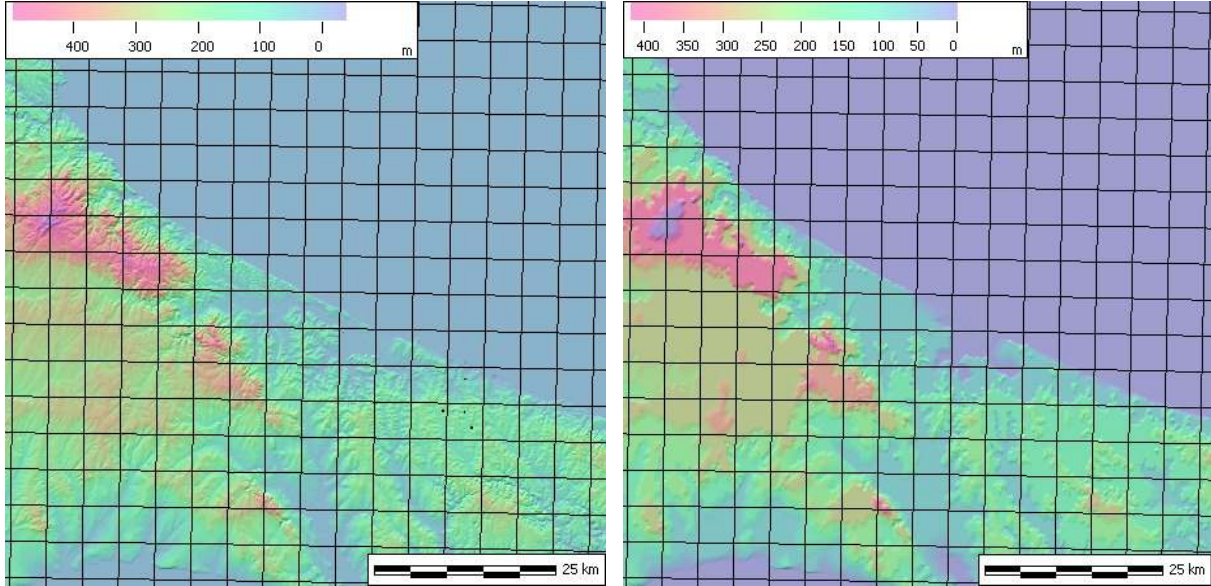


Şekil 4.19 N40E027.hgt ve 2740.dt1 verileri.

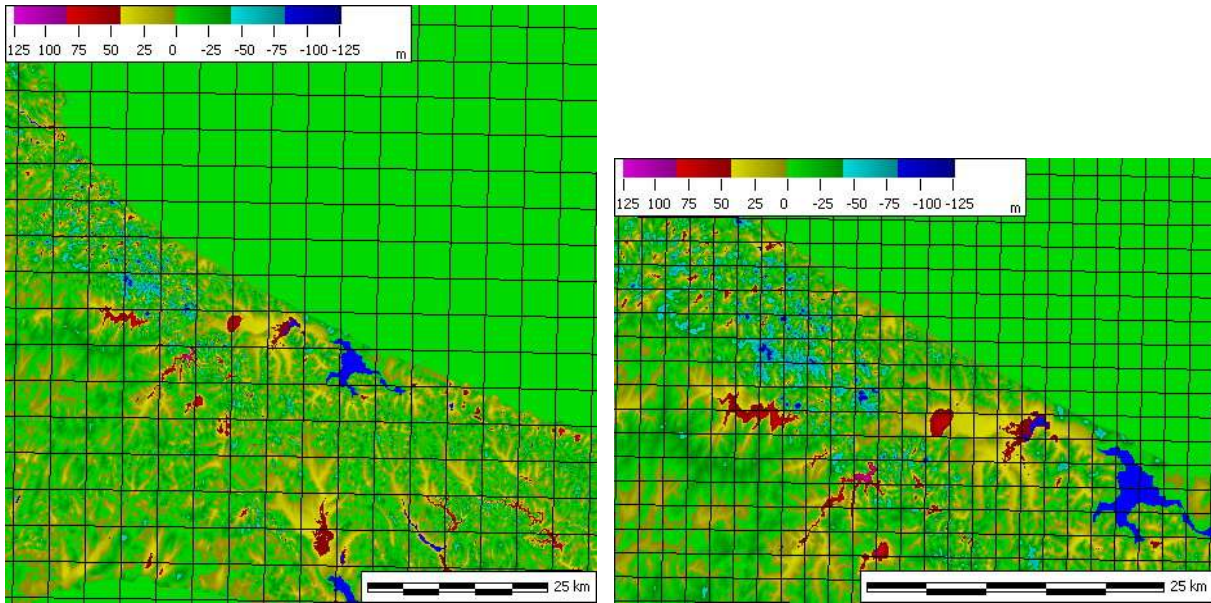


Şekil 4.20 N40E027.hgt ve 2740.dt1 verileri arasındaki yükseklik farkları.

Marmara Denizi'nin batısını da içine alan N40E027.hgt SRTM yükseklik verisi incelendiğinde Marmara Denizi sınırları içerisinde yükseklik farkının sıfır olduğu gözlenmiştir. Bu da SRTM verilerinin iyileştirme süreci içerisinde deniz ve okyanuslarda oluşan radar veri hatalarının, düzeltildiği ve deniz seviyesine sıfır yükseklik değeri atandığı görülmüştür.



Şekil 4.21 N41E028.hgt ve 2841.dt1 verileri.



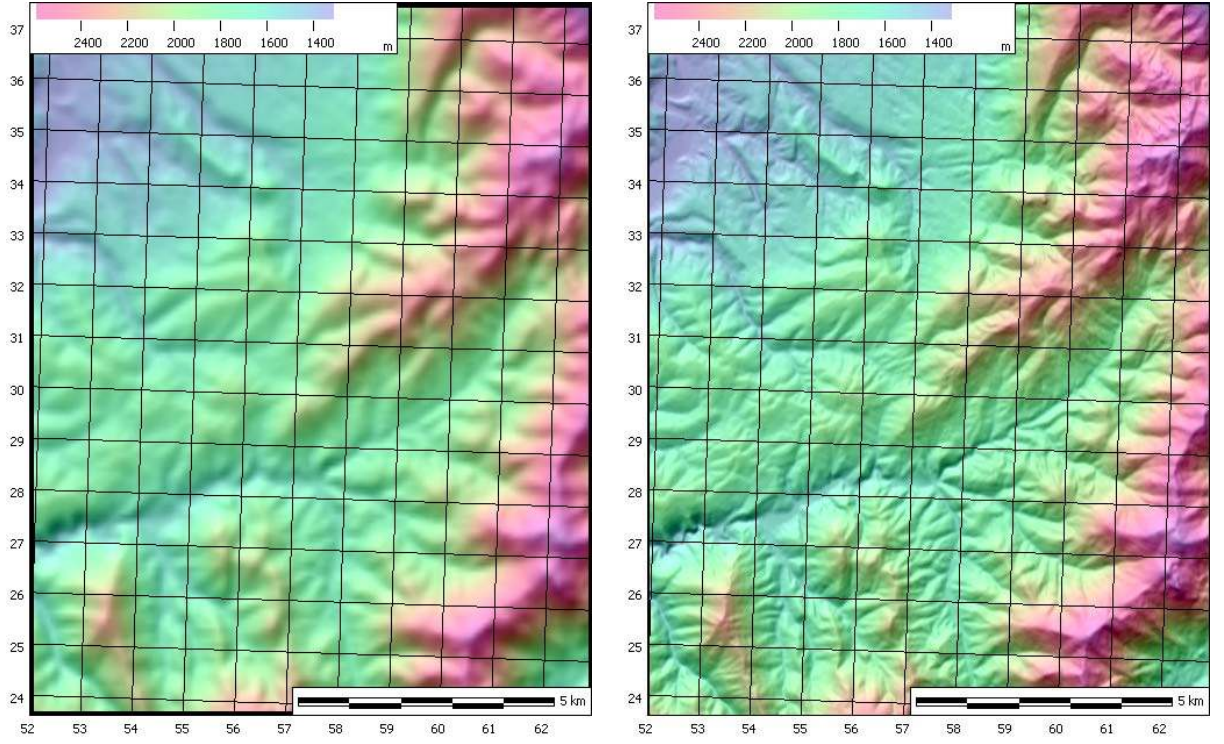
Şekil 4.22 N41E028.hgt ve 2841.dt1 verileri arasındaki yükseklik farkları.

İstanbul'un batısını da içine Trakya bölgesindeki N41E028.hgt SRTM yükseklik verisi incelendiğinde özellikle ormanlık alanlarda, göl ve barajların olduğu yerlerde yükseklik farklarının 50m üzerinde olduğu görülmüştür.

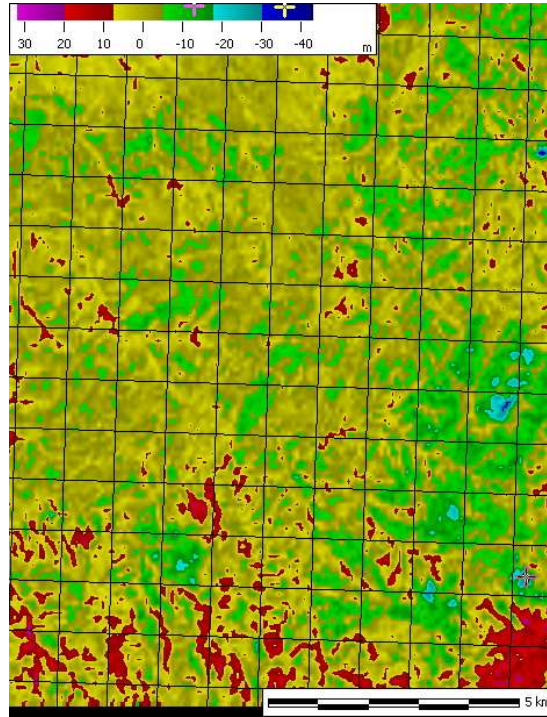
Çizelge 4.2 SRTM verileri ile DTED1 verilerini karşılaştırma

| SRTM-DTED1  | Ortalama<br>Eğim<br>(%) | Farkların Ortalaması<br>$\Delta h/n$<br>(m) | Farkların Mutlak<br>Değerlerinin<br>Ortalaması<br>$ \Delta h /n$<br>(m) | Karesel<br>Ortalama Hata<br>(KOH)<br>(m) |
|-------------|-------------------------|---------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------|
| N41E027.hgt | 6.6                     | 0.12                                        | 11.75                                                                   | 17                                       |
| N41E028.hgt | 6.6                     | 0.99                                        | 14.15                                                                   | 19.52                                    |
| N40E027.hgt | 7                       | -0.63                                       | 8.47                                                                    | 15.14                                    |
| N39E031.hgt | 8.1                     | -0.30                                       | 12.39                                                                   | 17.38                                    |
| N39E030.hgt | 9.2                     | -0,42                                       | 11.35                                                                   | 15.82                                    |
| N41E029.hgt | 10.6                    | -0.7                                        | 15.56                                                                   | 21.72                                    |
| N40E028.hgt | 11.7                    | -4.38                                       | 20.16                                                                   | 26.21                                    |
| N38E035.hgt | 13                      | -0.44                                       | 16.15                                                                   | 22.84                                    |
| N40E033.hgt | 14                      | 0.12                                        | 16.73                                                                   | 23.05                                    |
| N40E029.hgt | 14                      | 2.0                                         | 16.31                                                                   | 23.82                                    |

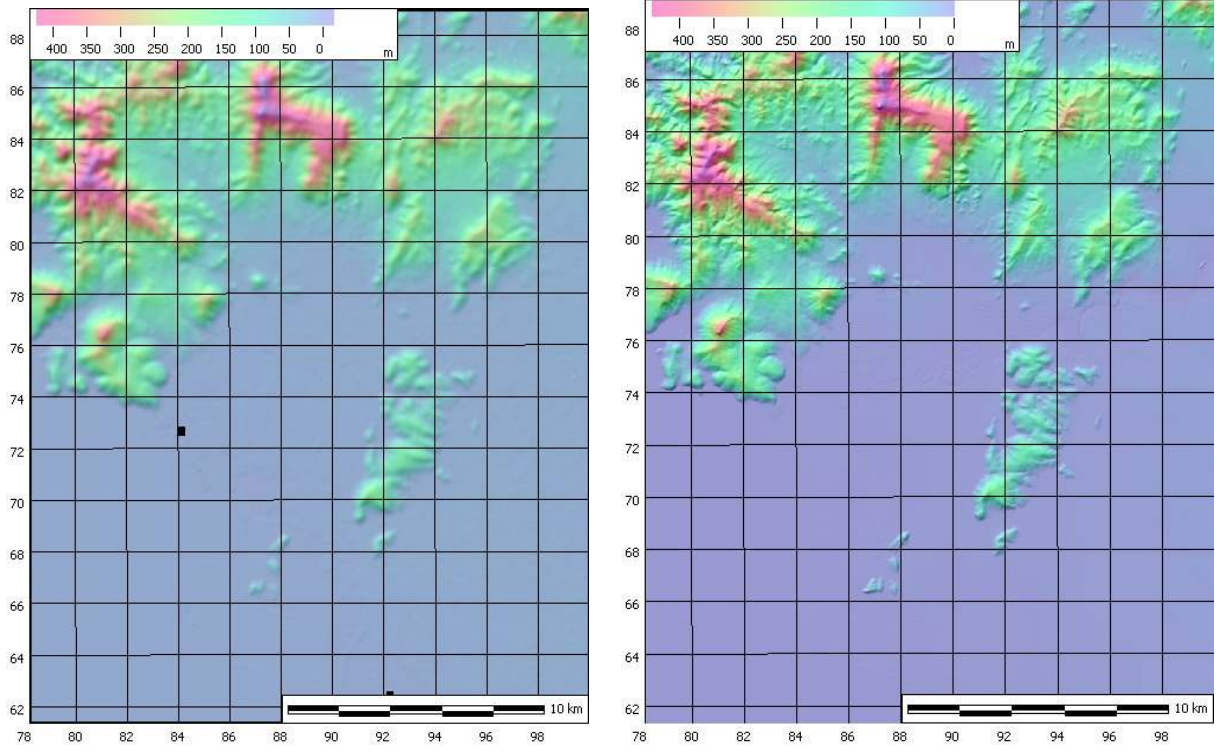
#### 4.6.3 DTED2 Verileri ile Arasındaki Yükseklik Farklarının Yapılan Uygulama ile incelenmesi



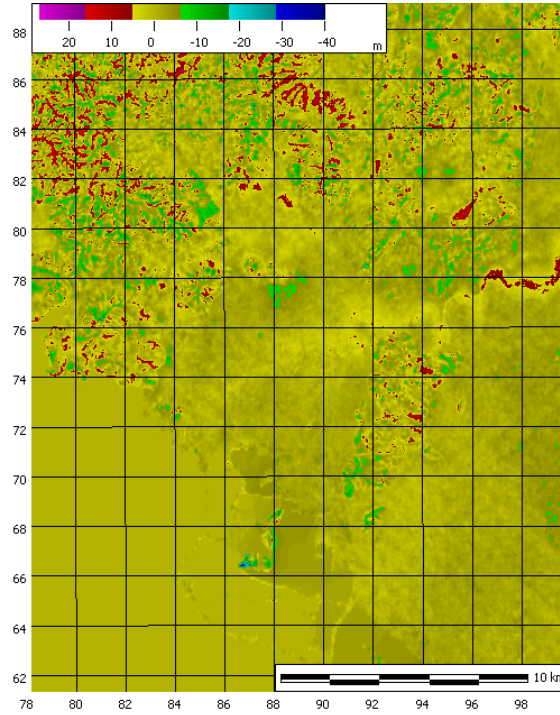
Şekil 4.23 N38E035.hgt ve L35C2.dt2 verileri.



Şekil 4.24 N38E035.hgt ve L35C2.dt2 verileri arasındaki yükseklik farkları.



Şekil 4.25 N38E026.hgt ve K17C.dt2 ve verileri.



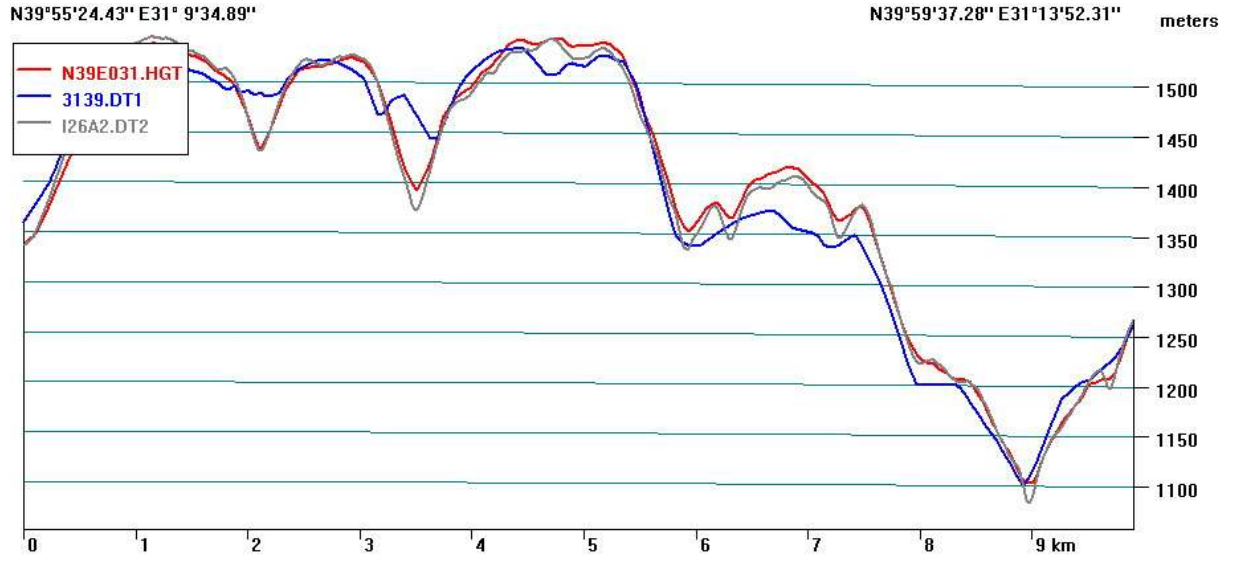
Şekil 4.26 N39E031.hgt ve J26A4.dt2 verileri arasındaki yükseklik farkları.

İki yükseklik verisi arasındaki farklar incelendiğinde özellikle kıyı şeridinde ve dağlık bölgelerde ormanlık alanlarda +10m kadar fark olduğu görülmektedir. Bunun tam tersi küçük adaların bulunduğu bölgelerde ortalama -10m fark gözlemlenmektedir. Fakat Ege Denizi üzerinde yükseklik farkı sıfırdır.

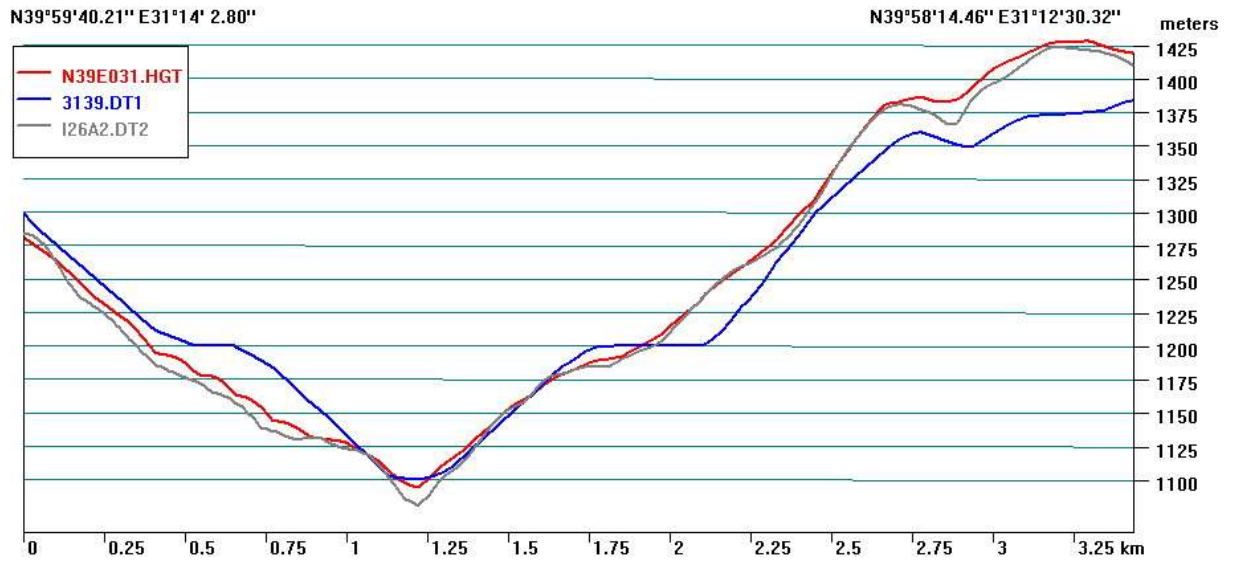
Çizelge 4.3 SRTM verileri İle DTED2 verilerini karşılaştırma.

| SRTM-DTED2               | Ort. Eğim % | En Küçük FARK (metre) | En Büyük FARK (metre) | Farkların Mutlak Değerlerinin Ortalaması $\frac{\sum  f }{n}$ (m) | Standart Sapma (metre) | Karesel Ortalama Hata (KOH) (m) | DTED1 Verisi ile olan farkların KOH |
|--------------------------|-------------|-----------------------|-----------------------|-------------------------------------------------------------------|------------------------|---------------------------------|-------------------------------------|
| N39E031.hgt<br>J26A4.DT2 | 4.43        | 11                    | -15                   | 2.02                                                              | 2.59                   | 2.64                            | 17.38                               |
| N39E030.hgt<br>J24C1.DT2 | 9.06        | 20                    | -24                   | 2.49                                                              | 3.01                   | 3.29                            | 15.82                               |
| N40E034.hgt<br>H32A4.DT2 | 10.63       | 19                    | -27                   | 3.53                                                              | 4.57                   | 4.61                            | -                                   |
| N38E034.hgt<br>K33A3.DT2 | 11.40       | 21                    | -18                   | 3.83                                                              | 4.16                   | 4.74                            | -                                   |
| N38E035.hgt<br>K35A2.DT2 | 14.73       | 38                    | -33                   | 3.68                                                              | 4.77                   | 4.97                            | 22.84                               |
| N40E033.hgt<br>H30D2.DT2 | 20.97       | 13                    | -24                   | 4.01                                                              | 4.19                   | 5.11                            | 20.67                               |
| N39E031.hgt<br>I26A2.DT2 | 21.11       | 56                    | -77                   | 6.11                                                              | 7.54                   | 8.79                            | 17.38                               |
| N38E035.hgt<br>L35C2.DT2 | 32.85       | 43                    | -32                   | 4.97                                                              | 6.54                   | 6.54                            | 22.84                               |

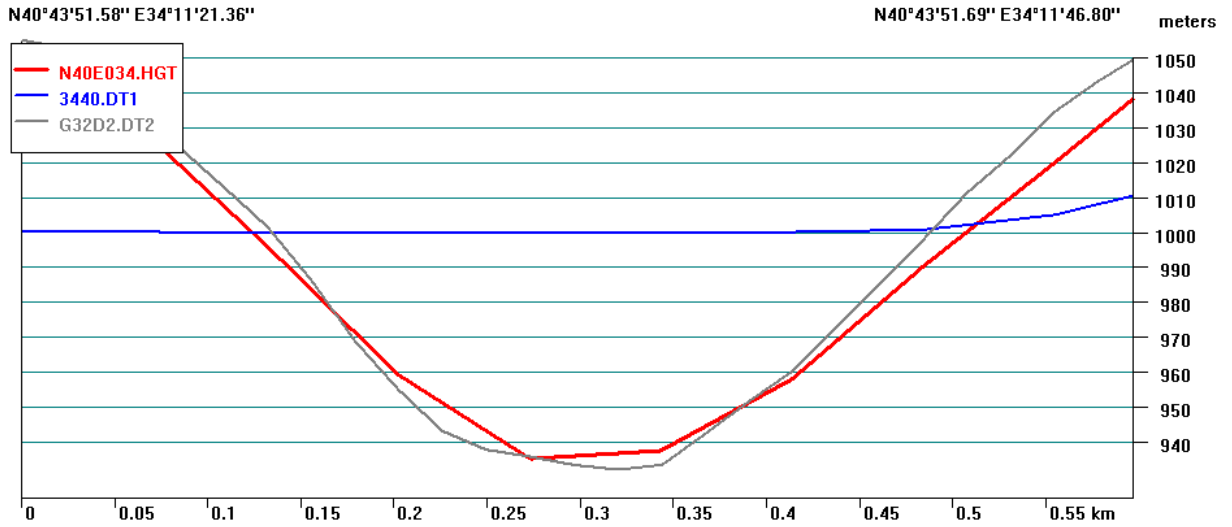
#### 4.6.4 SRTM ve DTED Verilerinin Arazi Kesitlerinin İncelenmesi



Şekil 4.27 SRTM-DTED1-DTED2 verilerinde ortak alanlarda çizilen arazi kesitleri.



Şekil 4.28 SRTM-DTED1-DTED2 verilerinde ortak alanlarda çizilen arazi kesitleri.



Şekil 4.29 SRTM-DTED1-DTED2 verilerinde ortak alanlarda çizilen arazi kesitleri.

Şekil 4.27, 4.28 ve 4.29'da SRTM-DTED1-DTED2 verilerinde ortak alanlarda çizilen arazi kesitleri incelendiğinde, SRTM verilerinin DTED2 verileri ile benzerlik gösterdiği ortaya çıkmıştır. Özellikle arazi yapısının değişim gösterdiği yerlerde SRTM verilerinin arazi karakteristik hatlarını iyi bir şekilde temsil ettiği görülmektedir.

#### 4.7 SRTM Verilerinin 1:25000 Ölçekli Topografik Haritalara ait Yükseklik Verileri ile Karşılaştırılması:

1:25000 ölçekli yükseklik paftası (YUKPAF), üretiminde ilk kıymetlendirme maylar (bir yüzeyi mat bir yüzeyi parlak plastikten üretilen ve mat yüzeyine özel kalemi ile kazıyarak çizim yapılan ve uzun süre bozulmadan kalabilen harita altlığı malzemesi) veya basılı haritanın taranıp eşyükseklik eğrilerinin kot noktalarının bilgisayar ortamında sayısallaştırması ile gerçekleştirilir.

Yükseklik paftaları Sayısal Fotogrametrik Değerlendirme Sisteminde softplotter yazılımı kullanılarak stereo model üzerinden yükseklik ve doğruluk kontrolü yapılır. Kontrol sonucunda araziye tam olarak uyum göstermeyen eş yükseklik eğrileri stereo model üzerinden düzeltilerek uygun hale getirilir. Bu aşamaya stereo model üzerinden YÜKPAF (Yükseklik Paftası) editlemesi ismi de verilmektedir. Burada kullanılan veriler softplotter yazılımı için uygun olan KDMS (Kork Digital Mapping Sistem) formatındadır.

Bu aşamada düzeltme işlemi Micro-Station (CAD) yazılımı ile yapılmaktadır. Stereo model üzerinden editlemesi yapılan KDMS formatındaki sayısal yükseklik paftası, DGN formatına dönüştürülür. Burada arazide bulunan kuru dere ve sulu dereler dikkate alınarak eş yükseklik

eğrilerinin, arazinin karakteristiğini gösteren bu detaylar ile uyumu sağlanır.

Son olarak sayısal yükseklik paftaları Arc/INFO yazılımında kullanmak amacıyla Arc(Coverage) formatına dönüştürülür.

Bu üretilen yükseklik paftaları topoğrafik haritalar için temel oluşturur. UTM WGS84 projeksiyon ve datuma sahip olan veriler +-5 m düşey konum doğruluğuna sahiptir.

Bu çalışmada ormanlık alan, yerleşim yeri, düzgün araziler, eğimi fazla olan arazileri kapsayan farklı özelliklere sahip veriler kullanılmıştır. Öncelikle dgn formatında olan bu veriler PCI Geomatica yazılımı ile otomatik olarak 10mx10m grid aralığında sayısal yükseklik verisine dönüştürülmüştür. Bu veriler ile SRTM verileri arasındaki yükseklik farkları Microdem yazılımı ile hesaplanarak aşağıda çizelgede verilmiştir.

Nato STANAG 2215 standartlarına göre yukarıda hesaplanan Doğrusal (düşey) standart sapmalar % 68.3 güven seviyesini temsil eder. Ancak üretilen veriler, %90 güven seviyesinde tanımlanan LMAS hesabına göre sınıflandırılır ve değerlendirilir.

Bunun için eğer yükseklik değerleri farklarının ortalamaları ( $\overline{\Delta h}$ ) sıfır ise;

$$LMAS = 1.645 \sigma_H \quad (4.1)$$

Aksi durumda, yani  $b = |\overline{\Delta h}|$  sıfırdan farklı ise düşey doğruluk belirlemek için,

- Kayıklık (b)  $1.4 \sigma_H$  'dan küçükse;

$$LMAS = \sigma_H \left[ 1.645 + 0.92 (b / \sigma)^2 - 0.28 (b / \sigma)^3 \right] \quad (4.2)$$

-Kayıklığın (b),  $1.4 \sigma_H$  'yı aştığı durumlarda;

$$LMAS = \sigma_H \left[ 1.282 + (b / \sigma) \right] \quad (4.3)$$

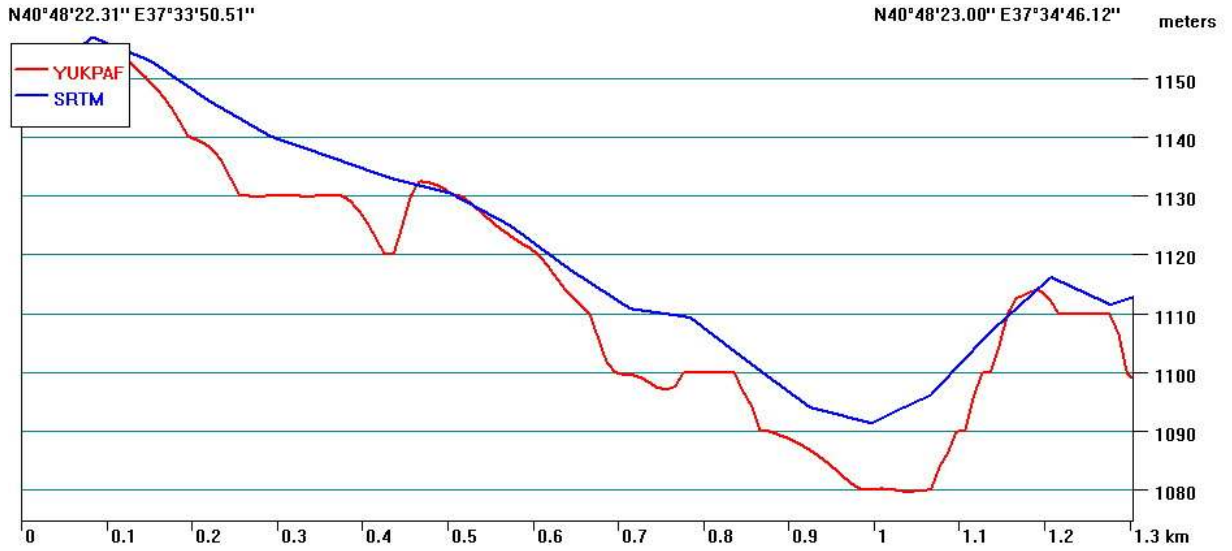
eşitlikleri kullanılır.

Çizelge 4.4 SRTM verileri ile 1:25000 ölçekli topografik haritalara ait yüksekliklerin karşılaştırma

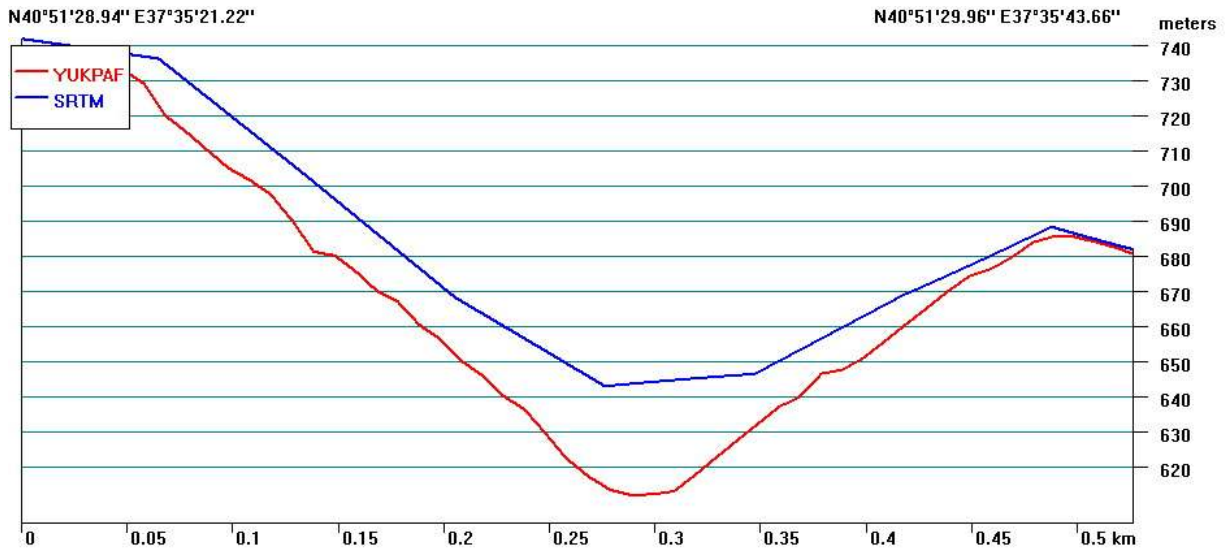
| SRTM-SYM                       | Arazinin Ortalama Eğimi % | Farkların Mutlak Değerlerinin Ortalaması $\Delta h/n$ (m) | Standart Sapma (metre) | Karesel Ortalama Hata (KOH) (m) | %90 güven Seviyesinde LMAS (metre) |
|--------------------------------|---------------------------|-----------------------------------------------------------|------------------------|---------------------------------|------------------------------------|
| Ormanlık ve dağlık bölge (1)   | 45.26                     | 7.88                                                      | 9.40                   | 10.71                           | 19.99                              |
| Ormanlık ve dağlık bölge (2)   | 44.4                      | 9.49                                                      | 10.66                  | 12.66                           | 23.20                              |
| Orta eğimli arazi (1)          | 15.5                      | 4.17                                                      | 4.69                   | 5.70                            | 10.20                              |
| Orta Eğimli arazi (2)          | 17.5                      | 3.35                                                      | 4.41                   | 4.44                            | 9.06                               |
| Yerleşim yeri Düzlük arazi (1) | 0.8                       | 2.96                                                      | 2.68                   | 3.73                            | 6.41                               |
| Yerleşim yeri Düzlük arazi (2) | 0.09                      | 2.68                                                      | 1.72                   | 3.10                            | 4.84                               |



Şekil 4.30 Yerleşim yerinde SRTM ile Topografik harita arasındaki farklar



Şekil 4.31 Ormanlık ve dağlık alanda SRTM ile Topografik harita arasındaki farklar



Şekil 4.32 Ormanlık ve dağlık alanda SRTM ile Topografik harita arasındaki farklar.

Ormanlık ve dağlık bölgede elde referans SYM ait bir eğim haritası oluşturuldu ve her bir grid değerine karşılık yükseklik farkı ve eğim değeri hesaplandı. Bu hesaplanan değerler eğime göre gruplandı (Çizelge 4.5).

Çizelge 4.4 Ormanlık ve dağlık bölgede yükseklik farklarının eğim gruplarına göre dağılımı.

| Eğim (%) | KOH   | Nokta Sayısı |
|----------|-------|--------------|
| 0-9      | 6.24  | 20           |
| 10-19    | 8.68  | 2130         |
| 20-29    | 9.70  | 2644         |
| 30-39    | 10.73 | 3182         |
| 40-49    | 11.09 | 3641         |
| 50-59    | 11.82 | 3740         |
| 60-69    | 12.63 | 2631         |
| 70-79    | 13.13 | 1765         |
| 80-89    | 13.96 | 731          |
| 90-99    | 15.40 | 440          |
| 100-109  | 16.53 | 146          |
| 110-119  | 16.08 | 35           |
| 120-129  | 13.59 | 23           |
| 130-139  | 18.11 | 10           |
| 140-149  | 14.00 | 1            |

Çizelge 4.4 incelendiğinde eğim arttıkça yükseklik farklarına bağlı KOH’ında arttığı görülmektedir. Son olarak KOH’yı eğime göre modellendirilmeye çalışılmıştır. En küçük Kareler ile dengeleme yapılarak;

$$KOH=a+b.tan(\alpha) \quad (4.4)$$

a, b katsayıları ve bu bilinmeyenlerin standart sapmaları hesaplanmıştır.

Çizelge 4.5 KOH eğime göre modellenmesi.

|                                     | Arazinin<br>Ortalama<br>Eğimi<br>% | $KOH=a+b.tan(\alpha)$         | Standart sapma<br>(a) | Standart sapma<br>(b) |
|-------------------------------------|------------------------------------|-------------------------------|-----------------------|-----------------------|
| <b>Ormanlık ve dağlık<br/>bölge</b> | 45.26                              | $KOH=8,17 + 6,25.tan(\alpha)$ | 0,51                  | 0,59                  |
| <b>Orta Eğimli arazi</b>            | 17.5                               | $KOH=3,47 + 2,63.tan(\alpha)$ | 0.59                  | 0,96                  |

## 5. SONUÇ VE ÖNERİLER

SRTM verilerinden elde edilen sayısal yükseklik modelleri, aynı alıcı ile üretilmiş olması nedeniyle dünyanın büyük bir bölümünün kapsayan sürekli ve homojen bir yapıya sahiptir.

NASA'nın araştırmalarına göre global anlamda 10m bağıl düşey doğruluk ve 16 m mutlak düşey doğruluğa sahip bir SYM bu alandaki önemli bir gelişmedir. SRTM3 C-band 90m çözünürlüklü verileri internetten ücretsiz olarak tüm kullanıcılara sunulmaktadır.

DTED1 ve SRTM3 verilerindeki büyük farklılıkların irdelenmesi sırasında yapılan karşılaştırmalarda iki veri arasındaki farkların Karesel Ortalama Hatası 15.82m ile 26.21m arasında değişmekte ve de yükseklik farklarının mutlak değerleri, 0-20m arasında yoğunlaştığı hesaplanmıştır. DTED1 verisinin de hatalar içermesi karşılaştırma sonucunda farkların daha da büyük çıkmasına neden olmuştur. Farkların özellikle ormanlık alanlarda, göl ve barajların olduğu bölgelerde 50m veya daha fazla olduğu gözlemlenmiştir.

DTED2 ve SRTM3 verilerinin karşılaştırılmasında ikisi arasındaki yükseklik farkların mutlak değerlerinin 0-5m arasında yoğunlaşmaktadır. Bunun sonucu olarak SRTM3 verilerinin DTED2 verilerine daha yakın bir doğruluğa sahip olduğu söylenebilir. Alınan kesitlerde de görüldüğü gibi SRTM3 verileri DTED2 verilerine benzerlik göstermektedir. DTED1 verilerinin düşey hata sınırının 50m olduğu düşünülürse SRTM3 verileri DTED1 verileri yerine kullanılabilir.

SRTM3 verileri ile topografik yükseklik paftalarından elde edilen SYM karşılaştırıldığında %90 güven düzeyinde ormanlık ve dağlık bölgelerde  $\pm 19,99$  ve  $23,20$ m, Orta eğimli arazilerde  $\pm 9,06$ m ve  $\pm 10,20$ m, eğimin %0 çok yakın fakat yerleşim yerlerini kapsayan bölgelerde  $\pm 4,84$ m ve  $\pm 6,41$ m fark hesaplanmıştır. Bunun yanı sıra SRTM3 verileri, topografyayı oluşturan arazi karakteristik hatlarının yani dere ve sırt hatlarına göre uyumu gözle incelendiğinde SRTM3 verilerinin ormanlık ve yerleşim yeri dışındaki bir bölgede arazi karakteristik hatlarını iyi bir şekilde ortaya çıkardığı görülmektedir.

SRTM verilerinde göl, nehir gibi detayların olduğu bölgelerde ve kıyılarda büyük hatalar içermesi eğim değişiminin fazla olduğu yerlerde veri boşluklarının olması büyük bir eksikliktir. Fakat bu bölgelerdeki veriler eldeki mevcut veriler ile güncelleştirilir ve gerekli düzeltmeler yapıldığında uygun bir veri olarak kullanılabilir.

SRTM verilerinin 2000 yılına ait bir veri olduğu da unutulmamalıdır. SRTM verileri 2000 yılından sonra meydana gelen değişiklikleri içermez. Fakat bu veri ile ilgili güncellemeler

devam ettiği sürece kullanılabilirliği de devam edecektir. Bu nedenle SRTM verilerindeki iyileştirme süreci devam etmektedir. Önümüzdeki günlerde 3.sürüm ve 4. sürümün kullanıcılara sunulacağı belirtilmektedir.

Özellikle ülke sınırları dışındaki bir bölgede yapılan çalışmalarda, internet üzerinden indirilen SRTM3 verileri, o bölgenin topografyası hakkında önemli bir bilgi kaynağıdır.

Bütün bu değerlendirmeler konum doğruluğu dikkate alınmadan sadece iki nokta arasındaki yükseklik farklarına dayanmaktadır. Yükseklik farklarının konum doğruluğu ile ilişkisinin de incelenmesi gerekir.

Topografya hakkında bilgi toplamanın önem kazandığı bu günlerde RADAR teknolojisinin çok kısa bir sürede, büyük bir alanda doğruluğu yüksek veri elde edilmesi dikkat edilmesi gereken bir konudur. SRTM verisi bir uzay mekiği aracılığıyla toplanmıştır. Daha küçük bölgesel çalışmalar için özel uçaklar yardımıyla da veri toplanabilmektedir. Özellikle güneydoğuda gerçekleştirilen operasyonlarda uzaktan algılama ve radar veri toplama yönteminin önemi bir kez daha ortaya çıkmıştır.

## KAYNAKLAR

- Akabalı, A.(2002), Stereo “Yapay Açıklıklı Radar Görüntülerinden Otomatik Sayısal Yükseklik Modeli Üretilmesi ve Doğruluğunun Araştırılması”, Yüksek Lisans Tezi, YTÜ, İstanbul
- Alkış, Z.(2006), “Üç Boyutlu Modelleme”, Ders notları. YTÜ.
- Ben Maathuis, (2004), “DEM from Active Sensor SRTM”, WRS–20004.
- Carlisle, B.(2002), “Digital Elevation Model Quality and Uncertainty in Dem-Based Spatial Modelling” University of Greenwich.
- Çolak, M., (1997) “Sayısal Arazi Yükseklik Modellerinin Doğruluk Araştırması”, Lisans Tezi, Harita Yüksek Teknik Okulu, Ankara.
- Demirel, Ş. (2002), “RADARSAT Görüntüleri Konumsal Doğruluklarının Araştırılması”, Yüksek lisans Tezi, İTÜ, İstanbul.
- Demirkesen, A.,(2003), “Sayısal Yükseklik modellerinin Analizi ve Sel Basman Alanlarının Belirlenmesi” CBS ve Jeodezik ağlar Çalıştayı, 192-202.
- Gülgen F., (2004), “Automatic Extraction of Skeleton Lines From Digital Elevations Model”, YTÜ, İstanbul.
- Hengl, T. Gruber, S., Shrestha,D.P., (2003) “Digital Terrain Analysis in ILWIS”.
- Koçak, E., (1988), “Sayısal Arazi Modeli”, Ders Notları, ZKÜ,Zonguldak.
- Koyuncu, D., (1981), “Sayısal Arazi Modeli, Harita Dergisi” 87:51-61.
- Marangoz, A. (2004), “Shuttle Radar Topography Mission”, Mikrodalga Algılama Sistemleri Seminer Konusu, Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul.
- NASA (2003), “SRTM Data Editing Rules” .
- Maraş, H., (1993) “Sayısal Arazi Modeli Ürünleri”, Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi, Konya.
- Petrie, G., Kennie, T.J.M., (1986), “Terrain Modeling in Surveying and Civil Engineering”, Conference on state of art in Stereo and Terrain Modeling.
- Saygılı, A. (2004) “Coğrafi Bilgi Teknolojilerinde Sayısal Yükseklik Paftalarının Arazi Karakteristik Hatları Kullanılarak Otomatik İyileştirilmesine İlişkin Bir Sistem Geliştirme Ve Gerçekleştirme”, Lisans Tezi, HYTO, Ankara.
- Taştan H., (2006), “Sayısal Arazi Yükseklik Verisi Türleri”, Kurs notları, HGK, Ankara.
- Türker, M. (2004), “Radar ile Uzaktan Algılama”, Uzaktan Algılama Dersi Notları, Hacettepe Üniversitesi, Ankara.
- Yanalak, M., (1988), “Yüzey Modellemede Üçgenleme Yöntemleri, Harita Dergisi” 126.

## INTERNET KAYNAKLARI

[1][www.microimages.com/documentation/cplates/70CurvScript.pdf](http://www.microimages.com/documentation/cplates/70CurvScript.pdf)

- [2] [http://ccrs.nrcan.gc.ca/resource/tutor/fundam/chapter3/06\\_e.php](http://ccrs.nrcan.gc.ca/resource/tutor/fundam/chapter3/06_e.php)
- [3] <http://www.radartutorial.eu/04.history/hi04.tr.html>
- [4] [http://www.spatialanalysisonline.com/output/html/Curvatureandmorphometricanalysis.html#\\_ref117485811](http://www.spatialanalysisonline.com/output/html/Curvatureandmorphometricanalysis.html#_ref117485811)
- [5] [http://www.itc.nl/personal/shrestha/DTA/terrain\\_par.htm](http://www.itc.nl/personal/shrestha/DTA/terrain_par.htm)
- [6] <http://www.dsr.inpe.br/dsr/tmk/cap2.pdf> Radar Fundamentals
- [7] [http://ccrs.nrcan.gc.ca/resource/tutor/fundam/chapter3/03\\_e.php](http://ccrs.nrcan.gc.ca/resource/tutor/fundam/chapter3/03_e.php)
- [8] [ftp://e0srp01u.ecs.nasa.gov/srtm/version2/Documentation/SRTM\\_Topo.pdf](ftp://e0srp01u.ecs.nasa.gov/srtm/version2/Documentation/SRTM_Topo.pdf)
- [9] [http://www.itc.nl/library/Papers\\_2005/tech/SRTM\\_pp.ppt](http://www.itc.nl/library/Papers_2005/tech/SRTM_pp.ppt)
- [10] [www.hgk.mil.tr](http://www.hgk.mil.tr), “Sayısal ürün katalogları”
- [11] <http://www.geo.hunter.cuny.edu/terrain/radar1.html>
- [12] <ftp://e0srp01u.ecs.nasa.gov/srtm/version1/>
- [13] <ftp://e0srp01u.ecs.nasa.gov/srtm/version2/>
- [14] <ftp://e0srp01u.ecs.nasa.gov/srtm/version1/SRTM30/>
- [15] <http://srtm.csi.cgiar.org/SRTMdataProcessingMethodology.asp>
- [16] <http://www.usna.edu/Users/oceano/pguth/website/microdem.htm>
- [17] [www.nga.mil/ast/fm/acq/89020B.pdf](http://www.nga.mil/ast/fm/acq/89020B.pdf), DTED-Specification (2001), “MIL-PRF 89020B”.

**ÖZGEÇMİŞ**

Doğum tarihi 17.11.1978

Doğum yeri Ankara

Lise 1993-1997 Maltepe Askeri Lisesi

Lisans 1997-2001 Kara Harp Okulu  
2002-2004 Harita Yüksek Teknik Okulu

Yüksek Lisans 2005-2008 Yıldız Teknik Üniversitesi

**Çalıştığı kurum(lar)**

2004-2005 HGK Askeri Coğrafya Dairesi Veri Toplama Şb.  
2005-Devam ediyor HGK Harita Yüksek Teknik Okulu  
Arş.Yyn.ve Koor Sb.