

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ BİLİŞİM ENSTİTÜSÜ

UYDU GÖRÜNTÜLERİNDEN 3. BOYUT BİLGİSİNİN ÇIKARILMASI

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
Özkan EREN
705051016**

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 12 Mayıs 2009

Tezin Savunulduğu Tarih : 02 Haziran 2009

**Tez Danışmanı : Yrd. Doç. Dr. M. Zeki COŞKUN (İTÜ)
Diğer Jüri Üyeleri : Doç. Dr. Yunus KALKAN (İTÜ)
Yrd. Doç. Dr. Şinasi KAYA (İTÜ)**

HAZİRAN 2009

ÖNSÖZ

Öncelikle bilgi birikimi ve yol göstericiliğiyle bana destek veren danışmanım Sayın Yrd. Doç. Dr. M. Zeki COŞKUN'a sonsuz teşekkürlerimi sunmak isterim. Bu projenin gerçekleşmesinin en birincil koşulu olan veri sağlama konusunda yol göstericiliği kendisi yapmış ve ilk adımları atmıştır.

Verileri sağlayan kuruluş olarak UHUZAM ve Sayın Elif SERTEL'e, verinin teknik desteği konusunda gece gündüz yardımcı olan değerli UHUZAM çalışanı Sayın Alper AKOĞUZ'a teşekkürleri bir borç bilirim. Kendilerinin projenin gerçekleşmesindeki katkıları çok büyüktür.

Sadece bu proje değil, bütün öğrencilik dönemlerimde de yardım ve desteğini hiç esirgemeyen değerli dostum Sayın İlke AKBULUT'a da sonsuz teşekkürlerimi buradan bildirmek isterim. Proje ve enstitü işlerinde her türlü ihtiyacımı karşılayabilmek için hep yanımda olan böyle gerçek bir dosta sahip olduğum için onur duyuyorum.

Değerli yapıcı eleştirileri ve misafirperverliği varlığını yanımda hep hissettiren üstadım Sayın Serdar BİLGİ'ye ve beni bu projeyi yapabileceğime ilk ikna eden kadim dostum Evrim ALÖZKAN'a da yardımları için teşekkürlerimi sunarım.

Son olarak beni bugünlere yetiştiren, düşünceleri ile duygulandıran ve varlıkları ile gururlandıran aileme de sonsuz teşekkürlerimi borç bilirim.

Haziran 2009

Özkan Eren

Bilgisayar Mühendisi

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET	ix
SUMMARY	xi
1. GİRİŞ	1
2. İNTERFEROGRAM NEDİR?	3
2.1 İnterferogram Elde Etme	5
2.1.1 Görüntü seçimi	5
2.1.2 Görüntü düzeltme (gürültü giderme, geometrik düzeltme)	10
2.1.2.1 Gürültü giderme.....	10
2.1.2.2 Geometrik düzeltme.....	11
2.1.3 Görüntü birleştirme.....	12
3. GÖRÜNTÜ FAZ SENTEZİ	13
3.1 İnterferogramdan Faz Bilgisine Erişilmesi	13
3.2 Faz Katlılığının Giderilmesi	13
4. FAZ YÜKSELTİ DÖNÜŞÜMÜ	17
4.1 Entegre Geliş Açısı Yöntemi	17
4.1.1 Geliş açısı ve yükselti açısı	17
4.1.1.1 Geliş açısı ve yükselti açısının hesaplanması.....	18
4.1.2 Entegre geliş açısı yöntemi hesaplaması.....	19
4.2 Normal baz uzunluğu yöntemi	21
4.3 Baz uzunluğu devinim yöntemi	21
5. RADARSAT CEOS SLC FORMATI VE HAZIRLANAN YAZILIM	25
5.1 SLC Ürünü, Formatı ve Veri Yapısı.....	26
5.2 İnterferogram Oluşturma	29
5.3 2 Boyutlu Faz Katlılığının Giderilmesi	31
5.4 Hazırlanan Yazılımın Kullanımı	34
5.4.1 Normal baz uzunluğu yöntemi	38
5.4.2 Entegre geliş açısı yöntemi	39
5.4.2.1 Gerekli açılar ve yöntemin hesaplanması için ihtiyaç duyulan veriler.....	40
5.4.3 Baz uzunluğu devinim yöntemi.....	41
6. SONUÇ	43
6.1 Normal Baz Uzunluğu Yöntemi.....	43
6.2 Entegre Geliş Açısı Yöntemi	44
6.3 Baz Uzunluğu Devinim Yöntemi	44
6.4 Yöntemlerin Kıyaslamalı Değerlendirmesi ve Özet Sonuç	45
KAYNAKLAR	47
EK A DENEY UYGULAMA NOKTALARI VE SONUÇLARI	49

KISALTMALAR

SAR	: Yapay Açılımlı Radar (Synthetic Aperture Radar)
SLC	: Tek Bakışlı Kompleks Görüntü (Single Look Complex)
CEOS	: Committee on Earth Observation Satellites
InSAR	: İnterferometrik SAR
DEM	: Sayısal Yükselti Modeli (Digital Elevation Model)
GPS	: Global Positioning System
GCP	: Yer Kontrol Noktası (Ground Control Point)
GIS	: Geographical Information Systems (Coğrafi Bilgi Sistemleri)
UTM	: Universal Transverse Mercator
WGS 84	: World Geodetic System 1984
NASA	: National Aeronautics and Space Administration
SRTM	: Shuttle Radar Topography Mission

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2.1 : İnterferometri geometrisi.....	4
Şekil 2.2 : Bir interferogram örneği.....	5
Şekil 2.3 : Taşıyıcı işaretin yapısı.....	6
Şekil 2.4 : Referans SLC Verisi (Master)	7
Şekil 2.5 : İkinci SLC Verisi (Secondary)	8
Şekil 2.6 : Tutarlılık Haritası.....	9
Şekil 3.1 : Komşu pikseller şeması.....	14
Şekil 4.1 : Geliş Açısı.	18
Şekil 4.2 : İnterferogram Geometrisi ve Baz Uzunlukları.	20
Şekil 4.3 : İnterferometri Geometrisi ile Kartezyen Sistemi.....	22
Şekil 5.1 : CEOS genel format - kaydı tablosu.	26
Şekil 5.2 : Uydu Görüntüsünün Manisa İli Batısına İlişkin Alt Bölgesi ve Tutarlılık Haritası.	28
Şekil 5.3 : Program İle Hazırlanan İnterferogram.	30
Şekil 5.4 : Erdas IFSAR İle Oluşturulan İnterferogram.	31
Şekil 5.5 : Uygulamanın Veri Hazırlama Formu.	34
Şekil 5.6 : Çıkış Klasörü Seçimi.	35
Şekil 5.7 : Giriş SAR Dosyaları Seçimi.....	35
Şekil 5.8 : Uygulama İkinci Formu (Yükselti Ölçüm Formu).....	37
Şekil 5.9 : Normal Baz Uzunluğu Yöntemi Uygulaması.....	38
Şekil 5.10 : Entegre Geliş Açısı Yöntemi Uygulaması.	39
Şekil 5.11 : Baz Uzunluğu Devinim Yöntemi Uygulaması.	42
Şekil A. 1: Normal Baz Uzunluğu Yöntemi Deney Sonucu.....	49
Şekil A. 2: Normal Baz Uzunluğu Yöntemi Deney Kontrol Noktaları.....	49
Şekil A. 3: Entegre Geliş Açısı Yöntemi Deney Sonucu	50
Şekil A. 4: Entegre Geliş Açısı Yöntemi Deney Kontrol Noktaları	50
Şekil A. 5: Baz Uzunluğu Devinim Yöntemi Deney Sonucu.....	51
Şekil A. 6: Baz Uzunluğu Devinim Yöntemi Deney Kontrol Noktaları.....	51

UYDU GÖRÜNTÜLERİNDEN 3. BOYUT BİLGİSİNİN ÇIKARILMASI

ÖZET

Bu projenin amacı, birbirleri arasındaki tutarsızlığı yüksek iki uydu radar görüntüsünden elde edilen interferogram ile sayısal yükselti bilgisinin elde edilmesidir. Son adımda kıyaslamalı bir faz - yükselti dönüşümü deneyi gerçekleştirildi.

Ön araştırmalar göstermiştir ki; bu amaçla işlenecek uydu görüntülerinin dört temel adımdan geçmesi gerekmektedir. Bunlar, sırasıyla; uydu görüntülerinin radyometrik ve geometrik düzeltmeleri, düzeltilen görüntülerden interferogram sentezi, iki boyutlu faz katlılığının giderilmesi ve son adım olarak faz – yükselti dönüşümünün yapılmasıdır. Bu projenin en temel ve kritik ihtiyacı, her ikisi de farklı faz bilgisi taşıyan uygun iki uydu SAR görüntüsü bulmak olarak tespit edilmiştir. Proje amacı için böyle bir veri çifti bulduktan sonra verinin kendisi ve özellikler dökümanı sayesinde proje yazılımı oluşturulmuştur. Sayısal yükselti verisi çıkarımı adımlarını gerçekleştiren bu yazılım birbirleriyle oldukça tutarsız veri çifti üzerinde denenmiştir.

Projedeki görüntü işleme adımları arasında olan iki boyutlu faz katlılığının giderilmesi, en sınırlayıcı ve zor adım olarak gözlemlenmiştir. İki boyutlu faz katlılığının giderilmesi adımı kaynak zorlayan karmaşık algoritmalar istediğinden bu alanda literatürde oldukça fazla çalışma tespit edilmiştir. Bu adım için en güvenilir, uygulaması kolay ve hızlı yöntemlerden biri, bu proje için seçilmiştir. Son adım olan faz – yükselti dönüşümünün üç farklı yönteminin uygulaması kıyaslamalı deney olarak yapılmıştır. Ön araştırmalar, bilimsel literatürde interferometriden sayısal yükselti verisi elde etmek için bulunan bu faz – yükselti dönüşümü yöntemleri arasında kıyaslamalı çalışmanın yeterli miktarda yapılmamış olduğunu göstermiştir. Proje bu nedenle akademik çalışma için uygun ve gerekli görülmüştür.

ESTIMATING THIRD DIMENSION DATA FROM SAR IMAGES

SUMMARY

The aim of this project is to create digital elevation data from an interferogram created via satellite radar imagery which are incoherent amongst each other. A comparative experiment is done at the last step of this process as phase-to-height conversion techniques.

The pre-research has shown that in order to process the satellite imagery for this purpose, four basic steps are needed to be carried out. These are, in order; radiometric and geometrical correction of satellite images, synthesis of interferogram from these corrected images, two dimensional phase unwrapping, and as the last step, phase-to-height conversion. Acquiring two separate SAR images each carrying different phase data seems to be the most basic and crucial requirement for this project. After a set of data was acquired for this purpose, a software has been developed with the help of data and its specifications documentation. Digital elevation data creation steps implemented in this software have been run on highly incoherent data pair.

Two dimensional phase unwrapping is observed as the most limiting and hardest step of this image processing. Because two dimensional phase unwrapping methods can be done with resource demanding complex algorithms, there are lots of experiments and research with these methods in the literature. One of the most robust, easy to implement, and fastest algorithms has been chosen for this particular processing step. The last step, which is about phase-to-height conversion from unwrapped phase data, is performed with three different methods as a comparative experiment. The pre-research has shown that there are very few comparative research in the literature about these phase-to-height conversion methods for acquiring digital elevation modeling from interferometry. Because of this fact, this project is deemed to be suitable and necessary as an academical study.

1. GİRİŞ

Bilindiği üzere uzaktan algılama, jeoloji, hidroloji, inşaat, çevre ve ekoloji, ulaşım, savunma, gibi bir çok farklı bilimsel alan ve sektördeki uygulamalarda kullanımı gün geçtikçe yaygınlaşan bir teknolojidir. Bu alanlardaki en önemli incelemelerden bir kısmı da, 3 boyutlu topoğrafik bilgi sistemleri, yüzey değişimi gözlem ve inceleme, gibi amaçlar için toplanan uydu görüntülerinin işlenmesidir. Uydu görüntüleri işlenip analizi yapılarak sayısız değerli bilgi sentezlenebilir hale gelmiştir, ve bunlardan biri de 3 boyutlu yüzey modellemesinde ve değişimin gözlenmesinde kullanılan interferogram tekniğidir.

SAR teknolojisinde uydu radar sinyallerinin çarptığı yüzeyden geri yansıyan sinyal kaydı işlenerek görüntüler elde edilir. Bu geri yansıma işarete faz farkına neden olur. İki farklı kaynaktan belli bir faz farkı ile gönderilen sinyallerden toplanan geri yansıma işareti, aynı birim gözlem bölgesine ait taşıdığı faz farkı ile geometrik olarak 3. boyut bilgisi, yani yüksekliği hakkında bilgi verir.

Literatürdeki bu alanda fazı yükseltiye dönüştüren metodlar arasında kıyaslamalı çalışmaların azlığı bu araştırmanın gerekliliğini ortaya koymuştur.

Bu çalışmada SAR görüntülerinden 3. boyut bilgisinin çıkarılması üzerinde durulmuş ve bu amaç için bir yazılım paketi hazırlanmıştır. Uygulama yazılımı C# programlama dili kullanılarak MS Visual Studio 2008 ortamında geliştirilmiştir. Verinin işlenmesinde RADARSAT CEOS SLC format spesifikasyonu ve ERDAS Imagine GIS programından faydalanılmıştır.

Yazılımın amacı öncelikle giriş olarak, elverişsiz koşullarla elde edilmiş, düşük uyumluluktaki iki SLC (Single Look Complex) SAR görüntüsünde gerekli görüntü işlemleri yapılarak interferogramı oluşturmak; bu interferogramdan ilgi alanı olan araziye seçip, bölgenin yükselti bilgilerinin çıkarılması adımlarını tatbik etmektir. Son adım olarak yazılımın amacı, ise tutarsızlık değeri kötü olan ortamdan alınan faz bilgisinden yükseltiye dönüşüm teknikleri kullanarak arazideki yükselti değişimini 3 farklı yöntemin uygulamalı deney sonucu olarak elde etmektir.

2. İNTERFEROGRAM NEDİR?

İnterferogramlar, aynı bölgeye ilişkin iki farklı SAR görüntüsünden sentezlenen ve gözlem sonucunda çeşitli tekniklerle elde edilen faz farkı bilgisini barındıran uydu görüntüleridir. Dolayısıyla iki SAR görüntüsünün birleştirilerek daha anlamlı bir uydu görüntüsüne dönüştürülmüş hali olarak nitelenebilir. Literatürde bu radar görüntü tekniğine interferometrik SAR (InSAR) adı verilir.

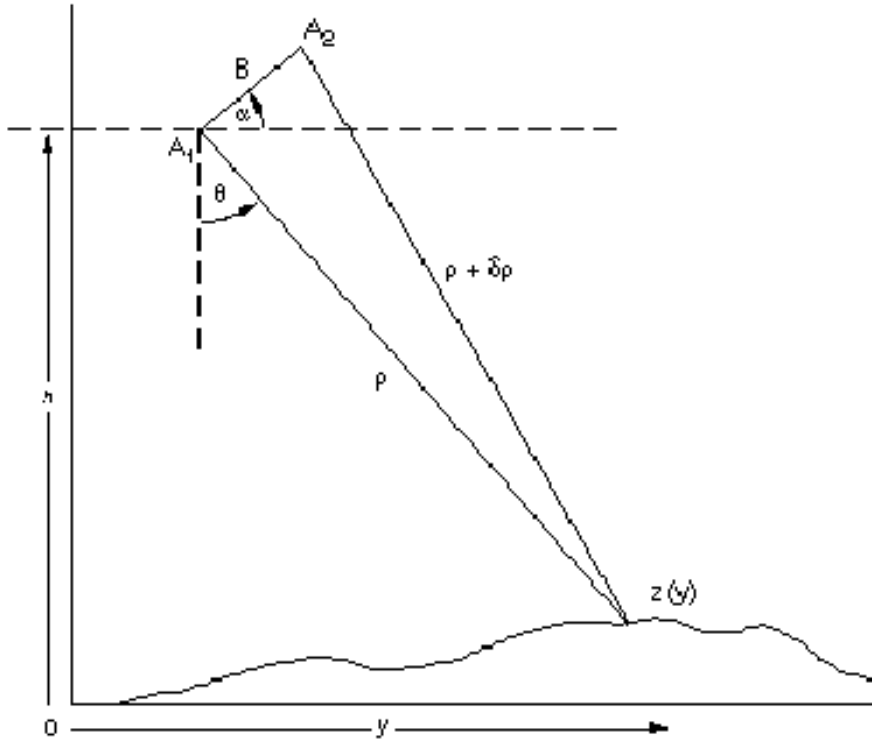
Elde edilen interferogram çeşitli radyometrik ayarlar, geometrik doğrulama işlemi ve gürültülerden arındırılmak için filtrelemelerden geçirildikten sonra, faz katlarının açılması için özel bir adımdan geçer. Katlanma etkisi giderilmiş faz farkı, yükseklik dönüşüm tekniklerinden biri ile yükselti farkı bilgisine dönüştürülür.

InSAR görüntü elde etme tarzına göre temelde 3 çeşide ayrılabilir:

Tek veya Eşzamanlı Geçişli InSAR: Baz uzunluğu adı verilen bir açıklık ile birbirinden ayrılmış iki anten tarafından eşzamanlı olarak elde edilen interferogramlardır. Uyduda özel anten konfigürasyonu gerektirir.

İkili veya Tekrarlı Geçişli InSAR: Aynı bölgenin interferogram için gerekli iki SAR görüntüsü uydunun farklı zamanlardaki geçişlerinden elde edilir. Uydunun interferometri için özel donanıma sahip olması gerekmez.

Fark veya Üçlü Geçişli InSAR: Uydunun aynı bölgeye ait üç SAR görüntüsü, üç ayrı geçişte alınır. Birinci görüntü ile ikinci görüntüden, birinci interferogram görüntü elde edilir; daha sonra ikinci görüntü ile üçüncü görüntüden ikinci bir interferogram daha üretilir. Sonrasında bu iki interferogram arasında aritmetik fark alınarak fark interferogramı elde edilir. Bu tip interferogramlardan milimetrik isabetle yükselti ölçümü yapılabilir, genellikle de yüzey farkı analizlerinde kullanılır. [1]



Şekil 2.1: İnterferometri geometrisi [2]

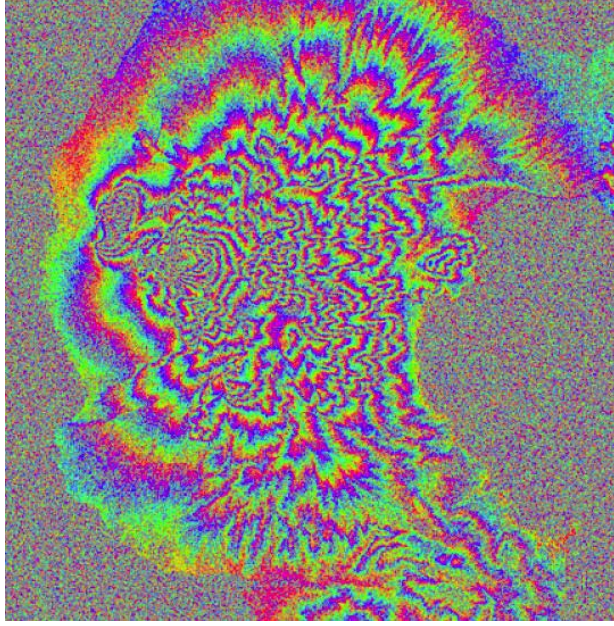
Yukarıda interferogram için yapılan gözlem prensibinin geometrik ifadesi Şekil 2.1’de sunulmuştur. Buna göre A1 ve A2 eşzamanlı olarak aynı bölgeyi gözleyen iki farklı anteni temsil etmektedir. Bu iki anten birbirinden baz uzunluğu adı verilen ve B ile temsil edilen, B uzunluğunda ve yatayla yapan bir vektör ile ayrılmaktadır. A1 yerden h yüksekliğindedir. A1 ve A2 ile yerdeki gözlem noktası arasındaki mesafeler uzunluk (range) olarak adlandırılır. Projedeki amaç görüntüdeki her noktanın h yükselti değerini belirlemektir. Buna göre aşağıdaki gibi yazılabilir **(2.1):** [1]

$$Z(y) = h - r \cdot \cos \theta \quad (2.1)$$

θ : Radarın bakış açısını temsil eder.

h: Uydunun yerden yüksekliği.

r: Şekil 2.1’deki A₁ uydusunun ölçülen Z(y) noktasına olan uzaklığı (Uzunluk).



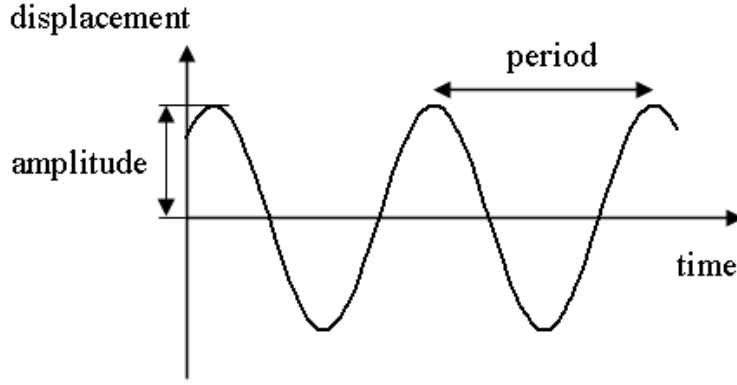
Şekil 2.2: Bir interferogram örneği [2]

İnterferogramlar görsel bir platforma yansıtılırsa Şekil 2.2’de görüldüğü gibi fringe doku yapısına sahip görüntüler ortaya çıkarılır. Bu yapıda aynı tonda kalan renk grubu yükseltide değişimin olmadığını fringe kırılmalar ve geçişler arazi yükseltisinde değişmeler olduğunu gösterir.

2.1 İnterferogram Elde Etme

2.1.1 Görüntü seçimi

İnterferogram için öncelikle kompleks yapıda iki SAR görüntüsü elde edilmelidir. Kompleks SAR verisi, uydu sensörüne geri taşınan sinyalin sinüs ve kosinüs bileşenlerinin her ikisini de bünyesinde barındıran bir veri kümesine sahip olmalıdır. Sinüs bileşen işaretin sanal bileşeni, kosinüs ise reel bileşenidir.



Şekil 2.3: Taşıyıcı işaretin yapısı [1]

Şekil 2.3'de bir taşıyıcı işaretin genel bir yapısı gösterilmiştir. Taşıyıcı sinyalin matematiksel ifadesi ise şöyledir (2.2):

$$x(t) = A \cdot \sin(2\pi ft + \theta), \quad (2.2)$$

A: Amplitude (Genlik)

f : Frekans = 1 / T, T: Period (Periyot)

θ : Displacement (Kayıklık değeri), faz farkı.

$2\pi ft + \theta$ Açığı bilgisinin 2π modülü işaretin fazını oluşturur.

İşaretin sinüs (2.3) ve kosinüs (2.4) fonksiyonları ile ifadelerini yazacak olursak:

$$A(t) \cdot \sin[2\pi ft + \phi(t)] = I(t) \cdot \sin(2\pi ft) + Q(t) \cdot \underbrace{\cos(2\pi ft)}_{\sin(2\pi ft + \frac{\pi}{2})} \quad (2.3)$$

ve:

$$A(t) \cdot \cos[2\pi ft + \phi(t)] = I(t) \cdot \cos(2\pi ft) - \underbrace{Q(t) \cdot \sin(2\pi ft)}_{+Q(t) \cdot \cos(2\pi ft + \frac{\pi}{2})}, \quad (2.4)$$

Buradan, reel ve sanal bileşenleri şu şekilde ifade edebiliriz (2.5):

$$\begin{aligned} I(t) &\stackrel{\text{def}}{=} A(t) \cdot \cos(\phi(t)), \\ Q(t) &\stackrel{\text{def}}{=} A(t) \cdot \sin(\phi(t)). \end{aligned} \quad (2.5)$$

$I(t)$ 'ye literatürde işaretin faz uyumlu, şiddet veya kosinüs bileşeni isimleri verilmektedir. $Q(t)$ ise, dördül (quadrante), faz, veya sinüs bileşen olarak adlandırılmaktadır. Kosinüs fonksiyonu giriş değeri olan açının işaretini sonuç değerine yansıtmadığından $I(t)$ (modülasyonları sinüs bileşen ile yapılır.

Dolayısıyla doğru bir interferogram elde edebilmek için SAR görüntü verisi mutlaka işaretin sanal bileşeni olan $Q(t)$ 'yi içermelidir.

Bir başka seçim kriteri de baz uzunluğu adı verilen antenler arasındaki açıklık mesafesinin değeridir. Topoğrafik çalışmalar söz konusuysa bu açıklık 150 ila 300 metre arasındayken interferogram iyi sonuçlar verir. Yüzey değişim algılama çalışmaları için bu mesafe seçimi 30 ila 50 metreye, incelemedeki detay hassasiyet ihtiyacına göre 5 metreye kadar indirilmelidir. [2]

RADARSAT verileri arasında İstanbul ve İzmir illerine ilişkin yapılan arşiv taramasında 300 m'den düşük normal baz uzunluğu mesafesine (185.98 m) sahip sadece İzmir ili ve çevresini içeren aşağıdaki şekillerde gösterilen görüntü çiftine rastlandı. Bu görüntüler birinci seviye işleme olan SLC biçimine dönüştürülmüş hali ile elde edildi.



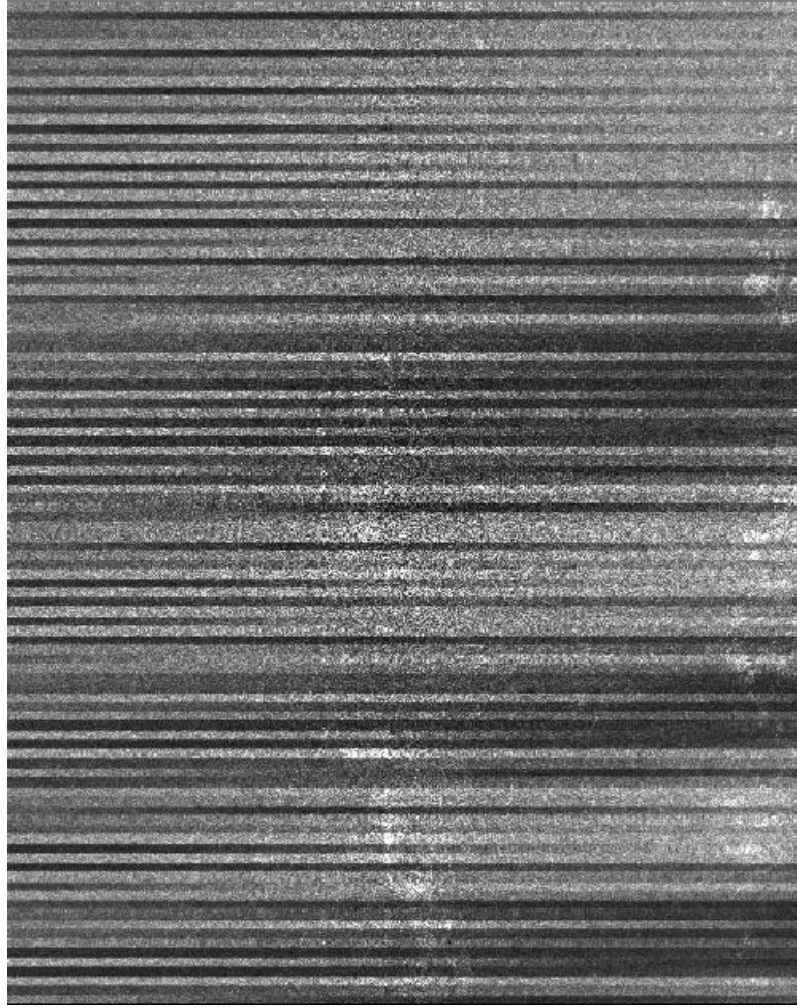
Şekil 2.4: Referans SLC Verisi (Master)



Şekil 2.5: İkinci SLC Verisi (Secondary)

İlk şekilde verilen referans görüntü 28 Mayıs 2006 tarihinde, ikinci görüntü ise 15 Temmuz 2006 tarihinde uydudan elde edilmiştir. Ancak bu süre farkı görüntü çifti hücreleri arasında tutarsızlığa neden olmaktadır. Bu durum uygun interferogram elde edilmesini engeller. İnterferogram çıkarım esnasında görüntünün tutarlılık haritası da çıkarılır.

Aşağıda, yukarıda belirtilen görüntü çifti için tutarlılık haritası verilmiştir.



Şekil 2.6: Tutarlılık Haritası

Tutarlılık değeri maksimuma yakın olan görüntü hücreleri arasında faz farkı ilişkisi tutarlı bir şekilde kurulabilir. Karşı korelasyonlama (2.6) ile bu ilişki belirlenir ve mevzu bahis hücrelerin interferograma uygun olup olmadığı anlaşılır. [5]

$$C(i, j) = \left| \sum_{m=0}^{Ma-1} \sum_{n=0}^{Na-1} A(m, n) \cdot \text{conj}(B(m+i, n+j)) \right| \quad (2.6)$$

$$0 \leq i < Ma + Mb - 1 \quad \text{and} \quad 0 \leq j < Na + Nb - 1$$

$C(i, j)$: Karşı korelasyon katsayısı,

Ma, Mb : Birinci ve ikinci görüntü satır sayıları,

Na, Nb : Birinci ve ikinci görüntü sütun sayıları,

$A(m, n)$: İlk görüntü hücresi değeri,

$B(m+i, n+i)$: İkinci görüntü hücresi değeri

conj() : Kompleks eşlenik fonksiyonu

$C(i, j)$ 'nin maksimum değerde olduğu yerler tutarlılık haritasında beyaz renk olarak temsil edilir. Karanlık yerler kötü ilintili hücreleri gösterir. [3]

2.1.2 Görüntü düzeltme (gürültü giderme, geometrik düzeltme)

2.1.2.1 Gürültü giderme

Gürültü olarak genel bir şekilde adlandırılan etkenlerden gözlenen görüntü piksel değerlerinin arındırılması için yapılan modifikasyonlara gürültü giderme denir. Gürültü genel bir ifade ile tanımlanırsa, gözlenen nesnenin haricindeki farklı unsurların fonksiyonu olarak sensörün algı işaretine binen işaretlerdir. Matematiksel ifade ile (2.7);

$$S(p) = S'(p) + N(p) \quad (2.7)$$

S : Gözlem sinyali

S' : Gözlenmek istenen nesnenin sinyali

N : Gözlem konusu nesnenin haricindeki unsurların sinyali

p : Görüntü birim hücresi

Genelde bu $N(p)$ fonksiyonu; atmosferik etkileşim, güneş sensör geometrik etkileşimi veya sensörün kendi hataları nedeniyle oluşur. İnterferogramların konusu SAR görüntüleri olduğundan bu etkileşimlerden sensör hataları etkin konumdadır. Sensör hataları genelde kendini çizgi hatalarla belli eder. Buna literatürde şeritlenme (striping) adı verilir ve eksik olan o birim görüntü hücre grubu için sensörün çalışmadığı anlardan kaynaklanır. Böyle durumlarda ya bir önceki doğru okunan hücre eksik kısımlar için tekrarlanarak, ya da komşu hücrelerin değerleri arasında bir interpolasyonla eksik hücreye değer ataması yapılarak hata giderilmiş olur.

Uydudan elde edilen görüntü verilerinde sadece görüntünün piksel değerlerine ilişkin bilgiler yer almaz. Görüntünün hangi koşullar altında alındığına dair bir çok veri de, genellikle ayrı kayıt dosyaları altında verilir. Gözlemin yapıldığı ana ilişkin; gözlem başlangıç ve bitiş zamanları, gözlem bölgesinin gözlem açısı koordinatları, sensör platformunun açısı konumu, sensör sinyal frekansı kanal ve modülasyon değerleri gibi bu veriler $S'(p)$ fonksiyonun doğru sentezlenmesinde kullanılır. Uydu

görüntüleri yer istasyonlarından formatlarda ya saf veri (raw data) şeklinde, ya da belli düzeltmelerden geçirildikten sonra formatlı veri halinde sunulur, ve radyometrik düzeltmeler bu formatların genelinde sunumdan önce uygulanmış olur.

2.1.2.2 Geometrik düzeltme

Uydu görüntüleri gözlemin yapıldığı bakış açısı, platform pozisyonu, hareket yönü gibi etkenlerden ötürü şekil olarak bozulmalara maruz kalır. Uydu görüntüleri seçilmiş bir çok yer kontrol noktası ile, bir DEM, ya da bir merkatora göre topoğrafik düzleme oturtulur.

Görüntünün ölçeği, aynı bölgeyi kapsayan bir haritanın ölçeğine denkleştirilmiş olur. Görüntünün kendisi bir harita kabul edilebilecek bir şekilde iz düşümü meydana getirilmiş olur. Bu işlem çeşitli metodlarla gerçekleştirilebilir. Geometrik kayıt, ortorektifikasyon olarak da bilinen bu işlem için en önemli adım yer kontrol noktalarının belirlenmesidir. Söz konusu arazideki görüntüde belirgin şekilde ayırt edilebilecek ideal sayı olarak 40-50 kadar nokta tespit edilir. [2] Daha sonra, bu noktaların koordinatları, gerek bir DEM, önceden tespit edilmiş bir merkator sistemi ya da GPS ölçümü ile belirlenir.

Her bir noktanın dönüşümden önceki koordinatına x ve y , dönüşümden sonraki koordinatlarına da x' ve y' dersek şöyle bir denklem elde etmiş oluruz **(2.8)**;

$$Ax + By - Cx' - Dy' = 0 \quad (2.8)$$

Dört bilinmeyenli bir denklem olduğundan, böyle bir düzeltme işlemi için, teoride, bunun gibi en az dört denklem, yani en az dört örneğe ihtiyaç vardır. Ancak pratikte örnek sayısı artırıldıkça düzeltme işleminin doğruluğu artırılmış olur. Çünkü sadece ölçümlerden, yani örneklemelerden polinomsal denklemi elde edebilmek için düzeltme işleminde belli hata payı ile yaklaşımlı iteratif teknikler olan şu yöntemlerden birine başvurulur:

- Görüntü hücrelerinin çapraz korelasyonu yöntemi,
- Maksimum tutarlılık katsayı değeri yöntemi,
- Fringe Spektrumunda maksimum sinyal – gürültü oranı,
- Faz fark görüntüsünün ortalama dalgalanma değerinin minimumu yöntemi [4]

2.1.3 Görüntü birleştirme

Bu aşamaya kadar işlenerek elde edilen iki SAR görüntüsü, birleştirilerek üçüncü boyut bilgisini taşıyacak yeni bir görüntü haline getirilir, bu yeni görüntüye interferogram denir. Aynı bölgeye ait iki SAR görüntüsünün fazlarının girişim yaptırılarak birleştirilmesiyle elde edilen görüntüdür.

Bu işlem birinci görüntüdeki her bir görüntü hücresinin, ikinci görüntüde ona karşılık düşen değerlerin kompleks eşleniği ile çarpılması ile gerçekleştirilir (2.9). [2] Her bir görüntü hücresinin I ve Q ile sembolize edilen sırasıyla reel ve sanal bileşenlerinin yer alır. Formüle dönecek olursak;

$$\text{Interferogram Matrisi} = P_1 \cdot P_2^C \quad (2.9)$$

P_1 : Birinci görüntünün piksel matrisi,

P_2^C : İkinci görüntünün kompleks eşlenik piksel matrisi

Her piksel bazında (2.10);

$$\begin{aligned} & (I_1, Q_1) \times (I'_1, -Q'_1), (I_2, Q_2) \times (I'_2, -Q'_2), (I_3, Q_3) \times (I'_3, -Q'_3), \dots, \\ & (I_{NM}, Q_{NM}) \times (I'_{NM}, -Q'_{NM}) \end{aligned} \quad (2.10)$$

I : Birinci görüntünün reel kısım vektörü

Q : Birinci görüntünün sanal kısım vektörü

I' : İkinci görüntünün reel kısım vektörü

Q' : İkinci görüntünün sanal kısım vektörü

N : Görüntülerin satır sayısı

M : Görüntülerin sütun sayısı

Böylelikle elde edilen interferogram kendisi de reel ve kompleks bileşenlerden oluşan bir görüntüdür (2.11).

Her $i \in \{N \times M\}$ tamsayılar kümesinin elemanı olacak şekilde;

$$\begin{aligned} & (I_i, Q_i) \times (I'_i, -Q'_i) \rightarrow I_{\text{interferogram}} = I_i \cdot I'_i + Q_i \cdot Q'_i \\ & Q_{\text{interferogram}} = I'_i \cdot Q_i - I_i \cdot Q'_i \end{aligned} \quad (2.11)$$

3. GÖRÜNTÜ FAZ SENTEZİ

Görüntü faz sentezi bu kısımda belirtilen adımlarla gerçekleştirilir.

3.1 İnterferogramdan Faz Bilgisine Erişilmesi

İnterferogram reel ve sanal bileşenlerden oluşan bir görüntüdür. Faz bilgisi işaretin sanal (Q) bileşeninde taşındığı için buradan faz farkına rahatlıkla erişilebilir.[1] İnterferogramın reel ve sanal bileşenlerini sırasıyla I ve Q olarak sembolize edersek (3.1), her görüntü hücresi için:

$$\Psi_i = \text{Arctan}(Q_i / I_i) \quad (3.1)$$

Ψ_i : i. Görüntü hücresinde ölçülen faz değeri.

Bu sentez ile bir sonraki işlem için bir veri seti oluşturulmuş olur.

3.2 Faz Katlılığının Giderilmesi

İnterferometrik SAR işlemede en zorlayıcı adım faz katlılığının giderilmesidir. Faz ile ilgili yapılan çalışmalarda bu sorunun giderilmesi daima temel bir adımı teşkil eder. Ölçüm örnekleri, radyometrik görüntülemelerde olduğu gibi, iki boyutlu uzayda ise hesaplama yükü ve donanımsal kaynak ihtiyacı ağır teknikler yardımıyla çözülebilir. Bu nedenle bu konuda bilimsel literatürde bir çok araştırmaya rastlanabilir.

Faz bilgisi kullanıldığı tüm alanlarda yapılan ölçümlerde 2 π modülü olacak değerlerde yer alır. Bu gerçek faz bilgisinin ne olduğunu gizler. Gerçek faz bilgisi, ölçülen faz bilgisine ilaveten 2π 'nin tamsay katlarından oluşan herhangi bir değere eşit olabilir. Gözlenen ile gerçek faz değeri arasındaki bu farktan ortaya çıkan soruna faz katlılığı sorunu (wrapped phase) denir. Matematiksel ifadesi şu şekildedir (3.2):

$$\Phi = \Psi + 2 \pi k \quad (3.2)$$

Φ : Gerçek faz değeri,

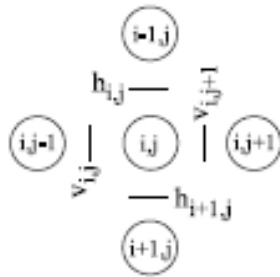
Ψ : Gözlenen faz değeri,

k : Z tamsayılar kümesinden bir sayı.

Eğer komşu görüntü hücrelerinin arasındaki faz değerinin mutlak farkı ϵ 'den az ise, katlılığın giderilmesi çok kolaylaşır. Ancak bu fark ϵ 'den daha büyük ise bu yükselti değişiminin devam etmekte olduğunu gösterebileceği gibi arazi düzlemindeki süreksizliği, ya da olası bir hatayı da gösterebilir. İşte bu durumlarda problemin giderilmesi oldukça güçleşir. Tekniklerin çoğu arazi yükselti değişimini temsil eden faz değişiminin integrasyon yolunu takip eden teknikler olarak gelişmiş, sonrasında bahsedilen problemler ile evrimleşerek, kalanlar dal kesimleri (residues branch cuts) ya da kalite haritalama yöntemleri geliştirilmiştir. [6]

Kalanlar dal kesimleri yöntemi, bir problemi çözen optimum bir tamsayı bulunana kadar, seçilen bir lineer kesim fonksiyonunun problemi oluşturan lineer programa, bir sonraki sonucu ondalıklı çıkarmayacak şekilde eklenmesi ile oluşturulan bir tekniktir. Kalite haritalama ise, görüntü hücrelerinin komşularının değişimlerinin takibi ile, süreklilik-süreksizlik, hatalı hücreler tahminleri ile görüntü hücrelerinin gruplanması ve faz katlılığı tekniğini giderecek iterasyonlu çözümü kolaylaştırma temeline dayanır.

İki boyutlu uzayda uygun yöntemlerden biri de piksel fazlarının değişim katsayılarının toplamının enerjisini minimize edecek bir yöntemdir.



Şekil 3.1: Komşu pikseller şeması [7]

Şekil 3.1 piksel (i, j) ve onun birinci derece yatayda (h) ve düşeyde (v) komşularını temsil etmektedir. Minimize edilecek enerjinin formülasyonu;

$$E(\mathbf{k}|\psi) = \sum_{ij \in \mathbb{Z}_1} |\Delta\phi_{ij}^h|^p \bar{v}_{ij} + |\Delta\phi_{ij}^v|^p \bar{h}_{ij},$$

$$\Delta\phi_{ij}^h = [2\pi(k_{ij} - k_{ij-1}) - \Delta\psi_{ij}^h], \quad k \in \mathbb{Z}$$

$$\Delta\phi_{ij}^v = [2\pi(k_{ij} - k_{i-1j}) - \Delta\psi_{ij}^v], \quad k \in \mathbb{Z}$$

$$\Delta\psi_{ij}^h = \psi_{ij-1} - \psi_{ij}$$

$$\Delta\psi_{ij}^v = \psi_{i-1j} - \psi_{ij}, \quad (3.3)$$

Bu formülde (3.3) amaç E enerji değerini minimize edecek, k tamsayı katsayılarının bulunmasıdır. Genellikle bu amaca ulaşmak için ağırlık grafi yol çözümleri kullanılır. [7]

4. FAZ YÜKSELTİ DÖNÜŞÜMÜ

Son adım olarak katlılığı giderilmiş faz değişimi verisinden, yükselti değişimi bilgisi çeşitli metodlarla çıkarılır. Bu adım özünde interferometri geometrisinden türemektedir. Faz yükselti dönüşümünü sıralayan yaygın metodlar;

- Normal baz uzunluğu metodu,
- Entegre geliş açısı yöntemi,
- Baz uzunluğu rotasyon yöntemi, olarak sıralanabilir. [2]

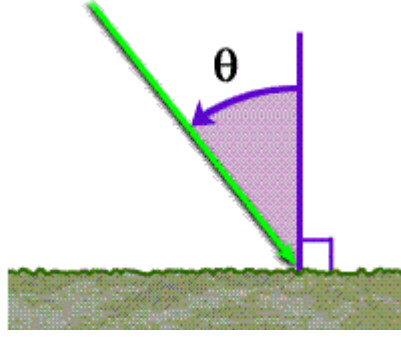
4.1 Entegre Geliş Açısı Yöntemi

Fazı yükseltiye dönüştüren bu yöntem geliş açısını tek tek hesaplayan bir yöntem olarak karşımıza çıkar. Bu yöntemde prensip geliş açısını bulduktan sonra yükseltiyi hesaplamaktır.

4.1.1 Geliş açısı ve yükselti açısı

Sensör tarafından yüzeye gönderilen radar ışını ile çarptığı yüzeye dik normal arasındaki açığa denir. Geliş açısı, radar ışını ile yeryüzeyi arasındaki ilişkiyi tanımlamakta sıklıkla kullanılan bir araçtır. Bu açı görüntü kuşağı (swath) boyunca yakın uzunluktan uzak uzunluğa doğru genişleme eğilimindedir.

Tüm radar ürünlerinde bu açı parlaklık, veya ton gibi görüntü elemanlarının belirlenmesinde bire bir rol oynar. Ayrıca bu projede kullanıldığı üzere faz farkının yüzey yükseltisinin belirlenmesinde de kullanılmaktadır. [8]



Şekil 4.1 : Geliş Açısı [8]

Yükselti açısı ise eğik uzunluk doğrultusu (sensörden çıkan ışının doğrultusu) ile sensör (uydu) ayakucu (nadir) doğrultusu arasında kalan açıdır. Bu açı geliş açısına çok yakınsar, ancak engebe ve yeryüzünün geoid şekli tam eşit olmasına engeldir.

4.1.1.1 Geliş açısı ve yükselti açısının hesaplanması

RADARSAT Ürün Biçim Dökümanı'na göre geliş açısını hesaplanması belli ön hesaplamaların yapılmasının ardından mümkün olabilmektedir. Bu ön hesaplamalar, sırasıyla; görüntü için dünya yarıçapının (r) ve yörünge yüksekliğinin (h) hesaplanması, uzunluk artım değerinin (dRS) hesaplanması, eğik uzunluğun (RS_j) hesaplanmasıdır. Bunların ardından geliş açısı (I_j) hesaplanabilir hale gelir.

Dünya yarıçapının hesaplanması için şu verilere ihtiyaç vardır:

(Parantez içindeki ifadeler, formülde kullanılan değişken isimlerine denk gelir.)

Elipsoid yarı-major eksen, ($ellipmaj$)

Elipsoid yarı-minor eksen, ($ellipmin$)

Platform jeodetik boylamı, ($platlat$)

Astro-yörünge-verisi, (eph_orb_data , α)

Bu veriler, CEOS SLC biçimindeki verilerde uydu başlık dosyalarında bulunmaktadır. [9]

Görüntü merkezine göre dünyanın yarıçapı formülü **(4.1)**:

$$r = ellipmin \cdot \frac{\sqrt{1 + \tan^2(platlat \cdot \frac{\pi}{180})}}{\sqrt{\frac{ellipmin^2}{ellipmaj^2} + \tan^2(platlat \cdot \frac{\pi}{180})}} \cdot 10^3 \quad (4.1)$$

Uydu yörünge yüksekliği (4.2):

$$h = \alpha - r \quad (4.2)$$

Menzil artım değeri (dRs), görüntüdeki uydu başlık dosyalarında hazır verilen verilerden biridir.

j. görüntü hücresi için eğik uzunluğun (RS_j) hesaplanması için gerekli veriler; (Bu veriler, CEOS SLC biçimindeki verilerde uydu başlık dosyalarında bulunmaktadır.)

Birinci derece zemin uzunluğu – eğik uzunluk dönüşüm katsayısı, (a)

Eğik uzunluk artım değeri (dRs) (4.3)

$$RS_j = a + dRs \cdot j \quad (4.3)$$

j. görüntü hücresi için geliş açısının (I_j) hesaplanması (4.4);

$$I_j = \arccos \left[\frac{(h^2 - (RS_j)^2 + 2 \cdot r \cdot h)}{2 \cdot RS_j \cdot r} \right] \quad (4.4)$$

j. görüntü hücresi için yükselti açısının (θ_j) hesaplanması (4.5);

$$\theta_j = \arcsin \left[\sin(I_j) \cdot \frac{r}{r+h} \right] \quad (4.5)$$

[9]

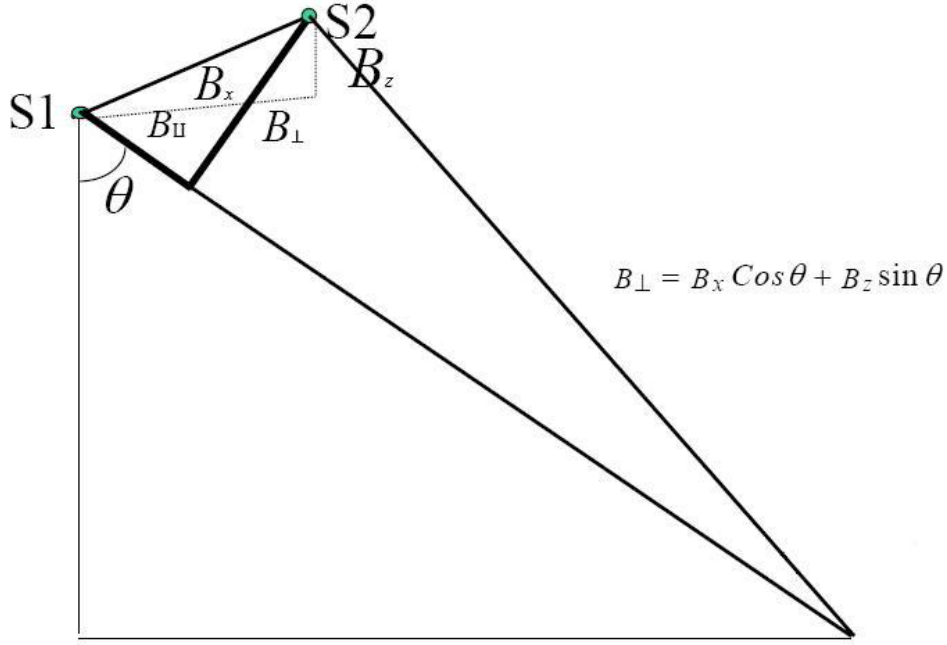
Bu hesaplamalar yapıldıktan sonra yöntemin geri kalan adımlarına devam edilir.

4.1.2 Entegre geliş açısı yöntemi hesaplaması

Yöntemin formülü aşağıdaki gibidir (4.6);

$$\theta_{i+1} - \theta_i = \frac{\lambda}{4\pi(B_x \cos\theta_i + B_z \sin\theta_i)} \Delta\phi$$
$$h_i = H - r_1(i) \cos\theta_i \quad (4.6)$$

B_x , B_z gibi baz uzunluğu bileşenlerinin neler olduğu ve normal baz uzunluğu ile olan ilişkisi ise Şekil 4.2’de görülmektedir.



Şekil 4.2: İnterferogram Geometrisi ve Baz Uzunlukları [1]

θ_i : i. Piksel için geliş açısı,

$\Delta\phi$: Faz değişimi,

λ : İşaretin dalga boyu,

H : S1 uydusunun yerden yüksekliği,

r_1 : İnterferogram çiftindeki ilk görüntünün uzunluk bilgisi

Buna göre yöntemde öncelikle geliş açıları her bir görüntü hücresi için tek tek hesaplanır. Dikkat edilmesi gereken noktalardan biri de B_x ve B_z baz uzunluğu bileşenlerinin her görüntü hücresi için değişmekte olduğudur. Çünkü her görüntü hücresi için S1 sensör uzunluğunun açısı, dolayısıyla geliş açısı değişmektedir. Bu hesaba katıldığı için bu yöntem normal baz uzunluğu yöntemine göre engebede daha iyi sonuçlar vermektedir. [10]

Geliş açılarının elde edilmesinden sonra uzunluk-açı-yükselti işleminde ($h = H - r \cdot \cos\theta$) değerler yerine konarak noktaların yerden yükseklikleri (h_i) bulunur.

4.2 Normal Baz Uzunluğu Yöntemi

SAR interferogramı fringe görsel yapısı ile iki görüntü arasındaki fazların göreceli farkını ortaya çıkarır. Bu faz farkını yükseltiye çeviren literatürdeki en eski yöntem aşağıda formül olarak gösterilen normal baz uzunluğu yöntemidir (4.7):

$$\Delta h = \frac{\lambda r_1 \sin \theta}{4\pi B_n} \cdot \Delta \phi \quad (4.7)$$

Δh : Yükselti değişimi,

$\Delta \phi$: Faz değişimi,

λ : İşaretin dalga boyu,

θ : Geliş açısı,

r_1 : İnterferogram çiftindeki ilk görüntünün uzunluk bilgisi

B_n : Normal baz uzunluğu

Normal baz uzunluğu, baz uzunluğu mesafe vektörünün (iki anten arasındaki uzaklık) ilk antenin uzunluğuna (r_1 'e) dik denk gelen bileşenidir. Kimi kaynaklarda dik baz uzunluğu olarak da adlandırılır. Yöntemde, yukarıdaki formül görüntü hücrelerinde peşi sıra hesaplanarak adım adım birim yükselti değişimi kestirilmeye çalışılır. Bu yöntemde baz uzunluğu olarak her hücreye bağlı olarak değişen baz uzunluğu yerine görüntü merkezini hedef alan uzunluğa göre dik baz uzunluğu kullanıldığı için görüntü merkezinden uzaklaştıkça sonuç isabeti kötüleşir. [10]

Düz arazi bozulmaları: İnterferogramlar düzlük arazilerde de fringe dokusal yapısını, yani faz katlılığını göstermektedir. Yani yükseltide değişmenin olmadığı nispeten geniş arazilerde de sanki yükselti devam etmekteymiş gibi faz katlılığı sendromu görölmektedir. Normal baz uzunluğu yöntemi gibi yöntemler bu bozulmalardan etkilenen yükselti dönüşüm teknikleridir.

4.3 Baz Uzunluğu Devininin Yöntemi

Dönüşüm tekniklerinden biri de baz uzunluk vektörünün belli bir açk kadar döndürölerek yönünün ölçüm hedefi noktaya oturtulması ile gerçekleştirilir. Bu yöntemde vektörel hesaplamalar yapılır. Öncelikle baz uzunluğu ve eğik uzunluk

vektörleri arasında kalan açı hesaplanır. Daha sonra baz uzunluğu bu açı kadar eğik uzunluk doğrultusuna döndürülerek bir bakış vektörü hazırlanır. [10]

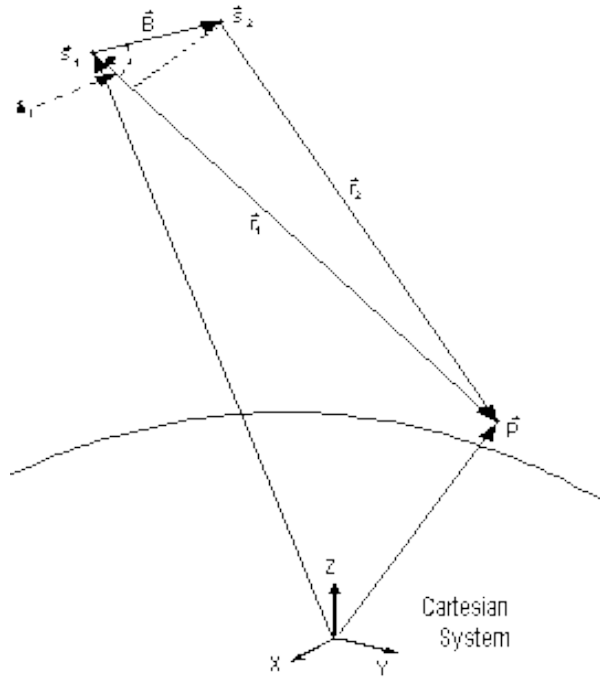
Yöntemi modelini kolaylaştırmak için her iki sensörün eğik uzunluğu uzak noktada birbirine paralel olarak alınabilir. [10] Bu yakınlığa göre söz konusu bulunmak istenen açı şu şekilde bulunur (4.8):

$$\cos(\psi) = \delta_r / |B| \quad (4.8)$$

Daha sonra kosinüs kanunu ile r 'nin yerine eğik uzunluklar cinsinden karşılığı yazılarak bu yöneme devam edilir.

Şekilden de görüleceği üzere aşağıdaki gibidir (4.9).

$$\delta_r = |r_2| - |r_1| \quad (4.9)$$



Şekil 4.3: İnterferometri Geometrisi ile Kartezyen Sistemi [11]

(Şekildeki kartezyen sistemi dünyanın merkezini başlangıç noktası olarak kabul eder.)

Bu yöntemde her hedef görüntü hücrelerinin faz farkından faydalanarak δ_r 'yi oluşturan bir teknik kullanılır (4.10).

$$\delta_i = -\frac{\lambda}{4\pi} (\Phi_i + \Phi_c) \quad (4.10)$$

δ_i : i. görüntü hücresine ilişkin eğik uzunluk arasındaki fark.

λ : İşaretin dalga boyu.

Φ_c : Sabit faz kayıklığı.

Φ_i : i. görüntü hücresine ilişkin faz farkı. Bu denklemde, interferogramdan elde edilen faz farkı ölçümleri, kayıklık Φ_c 'nin toplamı olarak alınmalı. Çünkü faz verilerini oluştururken değerlerden kayıklık eksiltildi.

R_1 eğik uzunluğu vektörü uzunluğu SAR uydu görüntü başlık dosyalarındaki yörünge koordinatlarından elde edilen nokta ile belirlenebilir. Daha sonra sırası ile B baz uzunluğu ve R_2 uzunlukları bulunur (4.11).

$$R_2 = |\vec{r}_2| = R_1 + \delta \quad (4.11)$$

R_2 ve R_1 sırası ile ikinci ve birinci eğik uzunluk vektörlerinin uzunluklarını göstermektedir. Bu denklemde kosinüs kuralına uygulandığında baz uzunluğu ile r_1 eğik uzunluk vektörü arasındaki açığı tanımlayan aşağıdaki denkleme ulaşılır (4.12). [11]

$$\cos(\psi) = \frac{|B|^2 + |r_1|^2 - |r_2|^2}{2|B| \cdot |r_1|} \quad (4.12)$$

B, r_1 , Ψ ve R_1 bilindiğine göre bunlardan üç boyutlu vektör işlemleri yardımıyla uzunluk vektörü ve son olarak da yerden yüksekliği bulunmaya çalışılan noktayı tanımlayan vektör elde edilir. Bu noktanın dünya merkezine olan uzaklığından (vektörün uzunluğundan) dünyanın yarıçapı çıkarıldığında yükseklik bilgisine erişilmiş olur.

5. RADARSAT CEOS SLC FORMATI VE HAZIRLANAN YAZILIM

Radarsat Programının ürünleri CEOS formatında verilir. Committee on Earth Observation Satellites teriminin kısaltmasından oluşan CEOS formatı 5 ayrı dosya ya da dosya grubu ile sunulur. Bunlar aşağıda görülmektedir:

- Volume Directory File,
- SAR Leader File,
- SAR Data File,
- SAR Trailer File,
- Null Volume Directory File

File Name	Record Name
Volume Directory File	Volume descriptor record File pointer records Text record
SAR Leader File	SAR leader file descriptor record Data set summary record Data quality summary record Signal data histogram record Processed data 16-bit histogram record Processing parameters record Map projection data record Platform position data record Attitude data record Radiometric data record Radiometric compensation data record
SAR Data File	Image options file descriptor record Signal data records Processed data records
SAR Trailer File	SAR trailer file descriptor record Data set summary record Data quality summary record Signal data histograms record Processed data (8-bit) histogram record Processing parameters record Attitude data record Radiometric data record Radiometric compensation data record
Null Volume Directory File	Null volume descriptor record

Şekil 5.1: CEOS genel format - kayıt tablosu [9]

Şekil 5.1’de verilen tabloda CEOS veri ürünlerinin geneline ilişkin dosyalarda bulunan kayıt bilgileri sıralanmıştır.

5.1 SLC Ürünü, Formatı ve Veri Yapısı

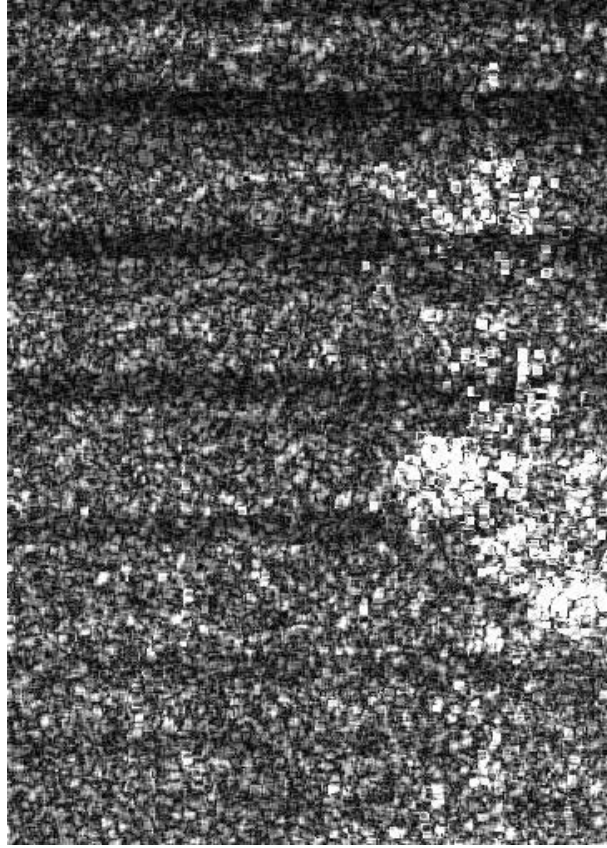
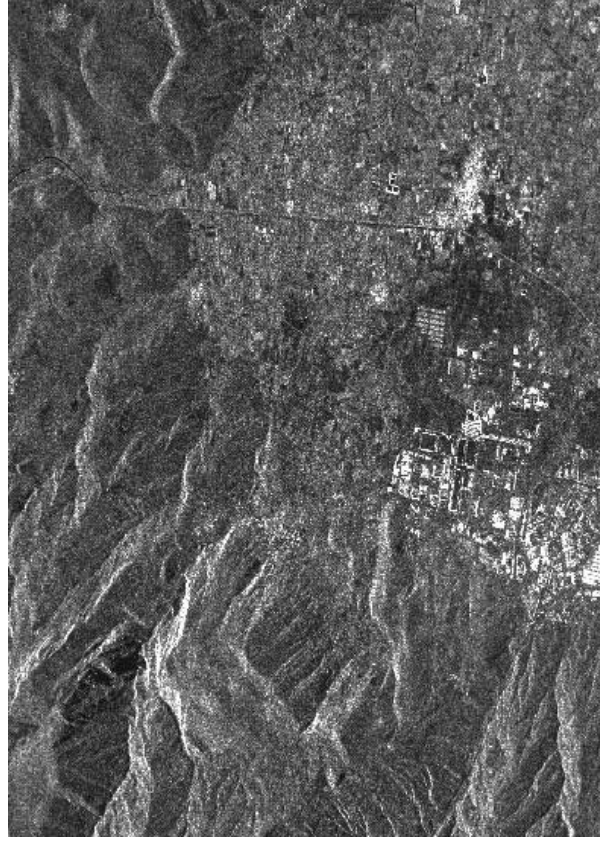
Single Look Complex (SLC) ürünü RADARSAT’ın saf veri ürününden başka faz bilgisini taşıyan tek üründür. Bu üründe görüntü hücreleri, büyüklük ve faz değerlerini I ve Q sayıları ile temsil edilir. Görüntü jeoreferanslı olarak kayıtlıdır. Her piksel satırının ilk, orta ve son pikselinin hangi koordinatta olduğunun verisini taşır. Ancak, uzunluk koordinatı, yer koordinatı yerine radar uzunluk eğim koordinatındadır. Piksel boyutları değişkendir ve radar uzunluk ve azimut bilgileri ile

belirlenir. Tek bakışlı çalıştığı için SLC'lerde daima en yüksek radar çözünürlüğüne sahiptir. [9]

SLC data dosyası, pikselleri uzunluk doğrultusunda sıra sıra dizili olarak kaydını tutar. Örneğin, 1024x768 boyutlarında bir görüntü ise, kaydın piksel data kısmı 1024 adet 768'lik piksel sırasından oluşur. Bu piksel veri dizisi kayıt satırının en son kısmını oluşturur. Kaydın başlangıcından piksel verilerinin başına kadar olan kısımda metadata olarak adlandırabileceğimiz, kayda ilişkin yardımcı ekstra bilgiler bulunur. Örneğin kaçınıcı kayıt satırı, kayıt satırının uzunluğu, piksel gruplarının koordinatları, vs gibi bilgilerdir. [9]

Öncelikle iki SLC görüntüsünün birbirleri arasındaki geometrik farklılık Erdas Imagine programı IFSAR aracı yardımı ile giderildi. Kendine has kayıklık değeri hesaplamaları ile Erdas IFSAR, iki görüntünün birbiri üzerine çakışmasını sağlayacak şekilde görüntülerin hazırlanmasına yardımcı oldu.

Yine aynı program vasıtasıyla görüntü alt görüntüye tutarlılık ölçümlerine göre bölündü. Görüntü çifti tutarlılık haritasındaki büyük boşluklar sebebi ile görüntü alt görüntülere ayrılmak zorunda kaldı. Alt bölge, beyaz bölge şeklinde tutarlılık haritasında seçilen bölgelerden biri olarak alındı.



Şekil 5.2: Uydu Görüntüsünün Manisa İli Batısına İlişkin Alt Bölgesi ve Tutarlılık Haritası

Daha sonra bu alt görüntüler Erdas Imagine Export yazılım aracı ile uydu görüntüleri yeni boyutlarıyla veri dosyalarına aktarıldı. Her iki görüntü reel ve sanal bileşenlere göre ayrı ayrı iki defa dosyalara aktarıldı. Sonuçta birinci görüntüye ait reel ve sanal, ve ikinci görüntüye ait reel ve sanal olmak üzere 4 ayrı dosya elde edildi. Daha sonra hazırlanan uygulama yazılımında bu dosyalar sırayla okunup interferogram oluşturma işlemine geçilmektedir.

Daha sonraki tüm işlemlere hazırlanan bu veri dosyaları üzerinden devam edildi.

5.2 İnterferogram Oluşturma

İlk olarak yine Erdas aracılığıyla görüntü çifti GCP (Yer kontrol noktaları) yardımıyla sırasla önce UTM WGS 84 düzlemine, daha sonraki denemede ise coğrafi koordinat WGS 84 düzlemine doğrultuldu. Ancak her iki denemede de ortaya çıkan görüntülerin farklı piksel boyutlarında oldukları tespit edildiğinden interferogram öncesi topoğrafik doğrultmadan vaz geçildi. Daha sonra yapılan denemelerde Erdas IFSAR programının da yükselti modeli çıkarırken en son aşama olarak topoğrafik doğrultmaya gidildiği tespit edilmiştir. [12]

SLC çiftinin eşit miktarda satır ve sütundan oluşmasından ve görüntülerin birbirlerine referanslı olarak pikselleri yerleşmiş olduğundan, interferogramı oluşturma aşamasına geçildi. SLC ürünü işlenmiş ürün olduğundan radyometrik düzeltmeleri de dağıtıcı kuruluş tarafından sunumdan önce yapılmıştır. Gerekli olarak görülürse görselliği geliştirmek adına daha da düzeltmelere gidebilir. Ancak her düzeltme adımı piksel verilerinde bozulmaya da sebep olacağından birinci seviye işlemeli görüntü olan SLC çiftinde daha fazla radyometrik düzeltmeye gidilmedi. (Gürültüden arındırma işlemleri de radyometrik düzeltmelerin içinde yer alır.)

Hazırlanan jenerik IQ veri dosyaları, piksel piksel okunarak, dosya sonuna erişinceye kadar aşağıdaki matematiksel dönüşüm gerçekleştirildi (5.1) ve iki görüntü interferogramı oluşturacak şekilde tek bir görüntü dosyasında birleştirildi:

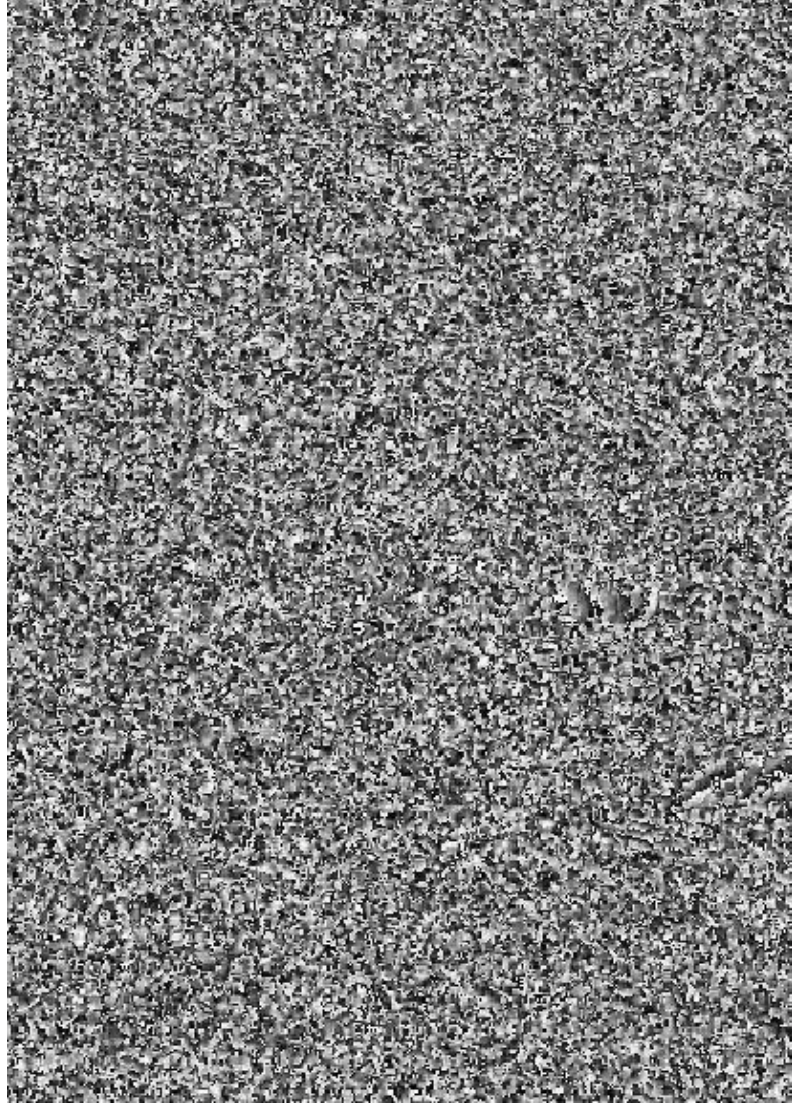
$$\begin{aligned} I_{\text{interferogram}} &= I1_i \cdot I2_i + Q1_i \cdot Q2_i \\ Q_{\text{interferogram}} &= I2_i \cdot Q1_i - I1_i \cdot Q2_i \end{aligned} \quad (5.1)$$

Sonuçta elde edilen IQ interferogram dosyası diğerleri gibi başka bir dosyaya kaydedilerek sonraki adımlar için giriş dosyası haline getirildi. Takip eden adımda yazılım interferogram datasından faz bilgisini elde etmektedir. Aşağıdaki denklem kullanılarak faz bilgisine erişilmiş (5.2) ve bu faz bilgisi de piksel piksel, peşi sıra, diğer dosyalarla uyumlu bir düzen içinde faz dosyası adı altında ayrıca kaydedilmiştir.

$$\text{Faz}_i = \text{ArcTan}[Q_i/I_i] \quad (5.2)$$



Şekil 5.3: Program İle Hazırlanan İnterferogram



Şekil 5.4: Erdas IFSAR İle Oluşturulan İnterferogram

5.3 2 Boyutlu Faz Katlılığının Giderilmesi

Bu sorunun giderilmesi için görüntü hücresi güvenilirliği prensibine dayalı, süreksizlik içeren integrasyon yoluna sahip hızlı bir algoritma koda yansıtılmıştır. Pikseller kalitelerine göre dizilerek sorun çözülür. Yüksek kaliteli olanlar önce, düşük kaliteli olanlar sonra olacak şekilde faz katlılığı giderilerek hata teksiri en aza indirilir.

Görüntü dosyasından türetilen faz dosyasını giriş kabul eden yazılımın bu kısmı ilk anda piksellere birer güvenilirlik değerini birbirinden farklı rastgele çok büyük sayılar ataması yaparak işleme başlar. Tüm pikseller ucuca eklenerek piksel grubu

diyebileceğimiz bir bağlantılı liste yapısı oluşturabilecek şekilde tasarlandılar. İlk başta her piksel kendine özgü ve kendinden oluşan bir elemanlı birer piksel grubudur.

Yazılımda pikseller aşağıda görülen nesne yapısında temsil edilmiştir:

```
public class Pixel
{
    public int x;
    public int y;
    public int increment;
    public int number_of_pixels_in_group;
    public double value;
    public double reliability;
    public int group;
    public int new_group;
    public Pixel head;
    public Pixel last;
    public Pixel next;
}
```

x, y : piksel koordinatları,

increment : faz katlılığının giderilmesi için n katının ilave edileceğini gösteren sayı,

number_of_pixels_in_group: piksel grubundaki görüntü hücresi sayısı,

value : ilgili pikselin faz değeri,

reliability: piksellerin sıralanacağı güvenilirlik değeri,

group: grup no,

new_group: yeni grup no

head, last ve next: piksel grubunun başını, sonunu ve gruptaki bir sonraki pikseli gösteren değerler

Bir diğer veri yapısı da “Edge” adı verilen kenarlardır. Bu kenarlar, tıpkı graflarda olduğu gibi, iki noktanın oluşturduğu belli bir düzeni ve ağırlıkları olan bağlanmaları temsil eder. Her kenar bünyesinde iki pikseli içerir. Yazılım, pikselleri komşuluk dizilişine göre kenarlara yatay ve düşey olarak iki kere eklemektedir. Böylelikle yazılımın mimarisinin gereği pikseller birbirine ızgara şeklinde bağlanmış olur. Her kenarın ağırlığını kendisini oluşturan piksellerin güvenilirlik değerlerinin toplamı oluşturur. Bu veri yapısını meydana getiren sınıf aşağıdaki gibidir:

```
public class Edge
{
    public double reliab;
    public Pixel Pixel1;
    public Pixel Pixel2;
    public int increment;
}
```

reliab: Kenarın ağırlığını oluşturan güvenilirlik değeri,

Pixel1, Pixel2: Kenarı oluşturan 1. ve 2. piksel,

increment: Kenarın piksellerinin birbirine göre katlılığının giderilmesi için gereken 2π 'nin katsayısı.

Bu yapılar oluşturulduktan sonra yazılım önce faz dosyasını açıp verileri okur ve bir bir pikselleri daha önce sözü edilen koşullarda oluşturur. Daha sonra bu pikseller tek tek, kendisi, yatayı, düşeyi ve çaprazında takip eden komşuları ile kıyaslanarak güvenilirlik değerleri hesabı yapılır.

Komşu pikseller aralarındaki faz farklarını mutlak değerden büyük ise 2π kadar azaltılarak veya artırılarak görüntüyü daha da katlıyormuş gibi yatay, düşey ve soldan sağa, sağdan sola çaprazdaki farazi katlılık değerlerinden bir ağırlık değeri hesaplanır, güvenilirlik değerini bu oluşturur. Eğer bu değer düşük ise pikselin komşuları ile süreksizlik yapmayacak şekilde artış veya azalış göstermekte olduğunu, dolayısıyla güvenilir olduğunu gösterir. Öncelikle en güvenilir piksellerin katlılığı açıldıkça güvensiz görünen diğerleri de bu değerlerinde iyileşme gösterir ve süreksizlik ile katlılığının ayrıt edilmesi kolaylaşır.

Şu ana kadar sadece güvenilirlik değerleri hesaplanmış olan pikseller, bir sonraki adımda yatay ve düşey kenarları oluşturacak şekilde tek tek düzenlenir, güvenilirlik değerleri hesaplanır, düzenlenen bu kenar dizilerinde piksellerin faz değerlerinin farkı π 'ye göre kıyaslanarak katlılık kestirimi yapılır. Böylelikle kenarların "increment" adındaki verileri de hazırlanmış olur. Eğer N adet pikselimiz varsa, 2N adet kenarımız olacak demektir.

Daha sonra bu yatay ve düşey kenar listesinin her elemanı güvenilirlik değerine göre artan şekilde dizilir, en düşük güvenilirlik değerinde olanlar en öne alınmış olur. Sıralı tek bir dizi haline gelen kenarlar, piksel gruplarını oluşturma işleminden geçirilir.

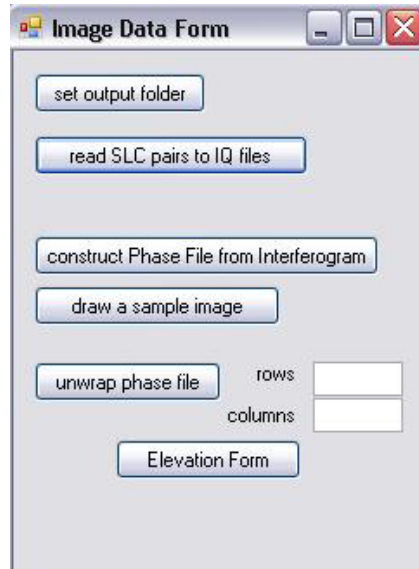
Piksel gruplarının oluşturulması adımı, sıralanmış her kenarın iki pikselinin grubu birleştirilir ve her pikselin “increment” değeri hesaplanır. (Daha önce hesaplanan “increment” değerleri kenarlara ilişkindi, bu adımla kenarların katsayıları piksellere yansıtılmaktadır.) Dolayısıyla piksellerin faz katlılığı grup grup açılmaktadır, aynı dokuyu oluşturan pikseller aynı grubu oluşturur ve grup halinde faz katı hesaplanmış olur.

Son aşamada, artık fazının ne kadar katlanmış olduğu bilinen piksellerin bulunan katsayıları kadar π ilavesi yapılarak katlılığı açılmış, ve gerçek faz değerleri hesaplanmış olur.

5.4 Hazırlanan Yazılımın Kullanımı

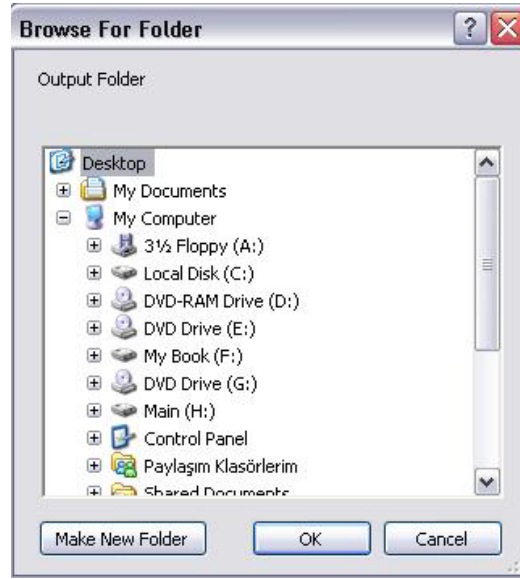
Yazılım arda arda açılan iki form penceresinden oluşmaktadır. İlk form “Image Data Form” başlıklı olup görüntü dosyalarının ve ara işleme dosyalarının oluşturulmasından sorumludur. Ayrıca giriş olarak verilen bir veri dosyasını da bitmap uzantılı resim dosyası olarak görüntüye dökülebilmektedir.

Şekil 5.5 üzerinden anlatılırsa:



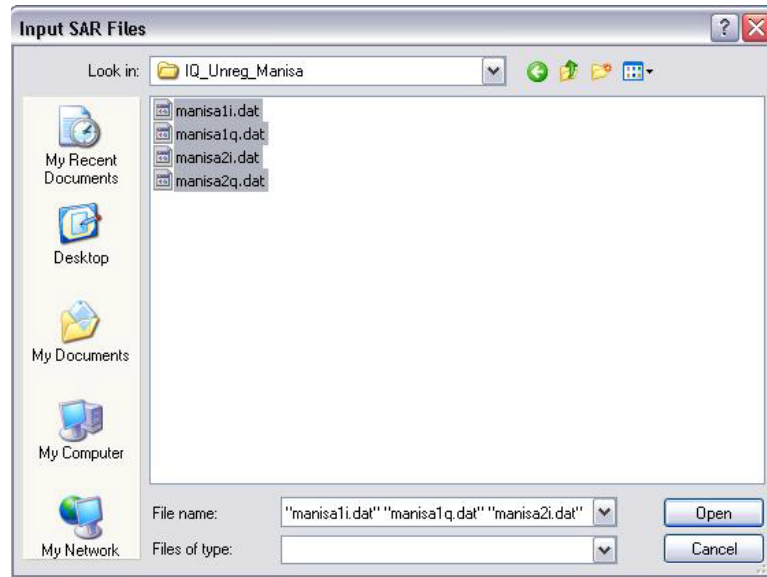
Şekil 5.5: Uygulamanın Veri Hazırlama Formu

‘set output folder’: Şekil 5.6’da görülen diyalogu açarak üretilecek dosyaların çıktı alanı olan klasörün seçilmesini sağlar.



Şekil 5.6: Çıkış Klasörü Seçimi

‘read SLC pair to IQ files’: 4 adet giriş dosyası olan SAR görüntü dosyalarından türetilen veri dosyalarını interferograma dönüştürür.



Şekil 5.7: Giriş SAR Dosyaları Seçimi

Giriş için dosyaları seçerken birinci dosya referans görüntünün reel bileşenleri dosyası, ikinci dosya ise bu görüntünün sanal bileşenler dosyası, üçüncü dosya ikinci görüntünün reel bileşenler dosyası ve son olarak dördüncü dosyanın ikinci dosyanın sanal bileşenler veri dosyası şeklinde sıralanması gerekmektedir.

Çıkış dosyası olan interferogram istenilen şekilde isimlendirilerek uygun görülen yere kaydedilir.

‘construct Phase File from Interferogram’: Giriş olarak interferogram dosyası tıpkı SAR dosyalarını açar gibi, benzer pencereden kaydedildiği yer bulunup açılır. İnterferogram değerleri oranlanıp ters tanjant formülü ile açığa dönüştürüldükten sonra faz dosyası olarak hazırlanır. Bu dosyanın da hangi isimle nereye kaydedileceği bilgisi aynı aşamada kullanıcıdan alınır ve dosya oluşturulur.

‘draw a sample image’: Bu butona ilk basıldığında giriş olarak boş bir bitmap görüntü dosyasının verilmesini isteyen diyalogla karşılaşılır. Bu görüntü dosyası söz konusu görüntü satır ve sütun sayısına eşdeğer boyutlarda olmalı ve yoksa böyle bir dosya uygun görülen klasörde yaratılmalıdır. Yandaki ‘rows’ ve ‘columns’ olarak adlandırılan yazı kutuları, giriş olarak sunulan veri dosyasının sırasıyla satır(i, x, yükseklik) ve sütun(j, y, genişlik) bilgilerinin girişi içindir. Bu iki alan uygun şekilde doldurulmak zorundadır.

‘unwrap phase file’: Buton kullanılmadan önce yanındaki ‘rows’ ve ‘columns’ alanları mutlaka doldurulmalıdır. Basıldığında giriş olarak faz dosyasını ister. Dosya seçilip onaylandıktan sonra çıkış dosyasının ismi ve yerini belirleyecek olan diyalog açılır. Bu aşamadan sonra 2 boyutlu faz katlılığı açma algoritması çalışır ve çıkış dosyası elde edilmiş olur. İstenirse bu dosya da örnek görüntü butonu girişine verilerek bitmap biçiminde görsel yorumu elde edilebilir.

‘Elevation Form’: Basıldığında programın ikinci formunu açan butondur.



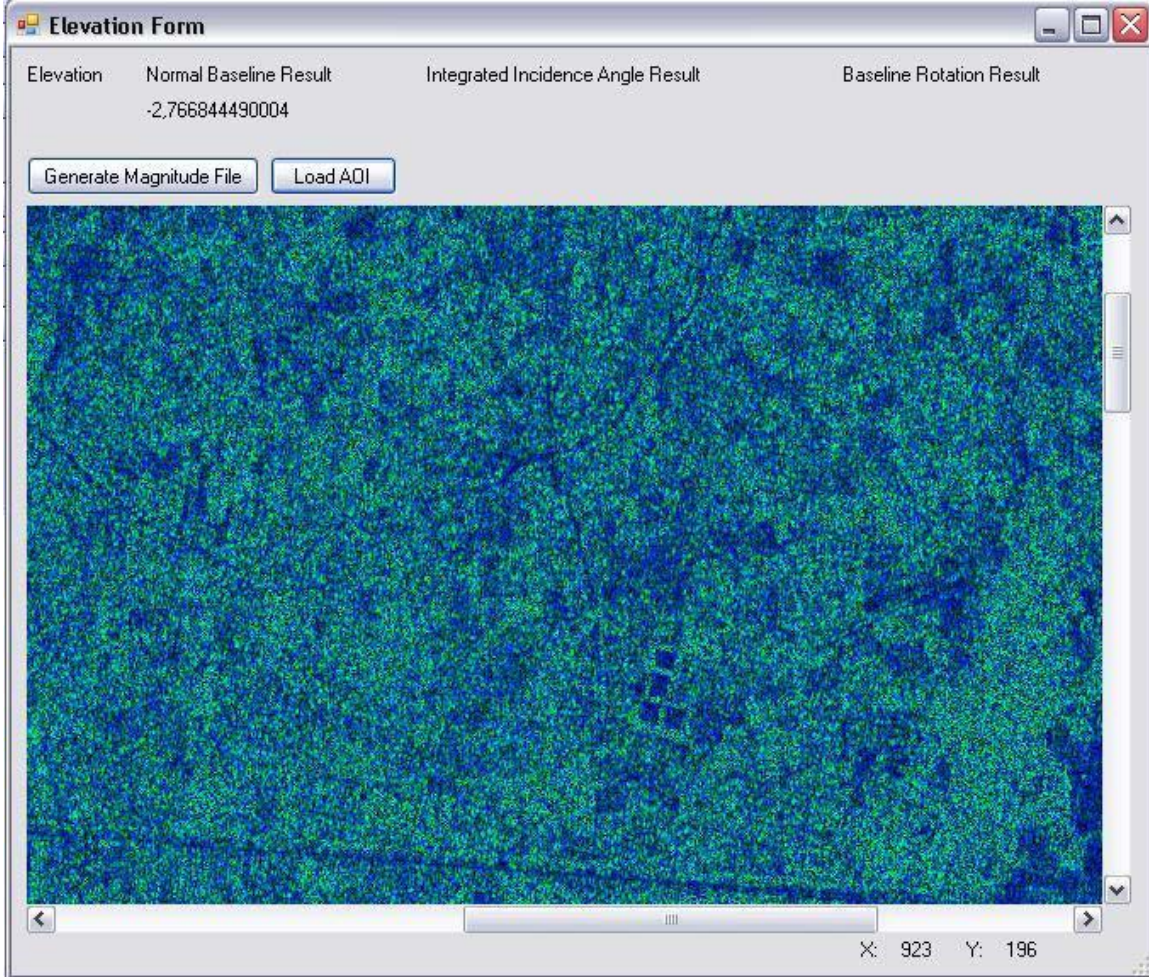
Şekil 5.8: Uygulama İkinci Formu (Yükselti Ölçüm Formu)

‘Generate Magnitude File’: Bu butona basılmadan önce formun sağ kısmındaki ‘rows’ ve ‘columns’ alanları mutlaka şekildeki gibi doldurulmuş olmalıdır. Buton girişe verilen reel ve sanal bileşenleri birleştirip şiddet (magnitude) görüntü verisi üretir. Basıldığında giriş olarak sırasıyla; uydu görüntüsünün reel ve sanal bileşenlerini ister, ardından şiddet dosyasını kaydedeceği isim ve yeri soran pencereyi açar. Bu da seçildikten sonra programın çizim yapmak için kullandığı boş şablon bitmap dosyasının açılmasını isteyen diyalog ortaya çıkar. Seçilince çıkış görüntüsü olarak şiddet verisinin resmedilmiş hali bitmap dosyasının kayıt adı ve yerini sorar. Herşey nizami seçildikten ve belirlendikten sonra görüntü oluşturulur.

‘Load AOI’: Bu buton, basıldığında forma yüklenecek resmin seçilmesini isteyen diyalog penceresini açar. Seçilen bitmap uzantılı görüntü dosyası formdaki resim kutusu alanına yerleştirilir. Bu alan üzerindeyken imleç + işaretine dönüşür ve hedef hücre seçme için kullanılır. İmleç hareketi formun sağ alt köşesinde görüntü koordinatları cinsinden verilir. Bu resim kutusu üzerindeki çalışma konu 5.4.1. Normal Baz Uzunluğu Yöntemi’nde, yönteminin çalıştırılması kısmında anlatılmıştır. Formun resim yüklenmiş haline ait şekil de aynı sayfada görülebilir.

5.4.1 Normal baz uzunluğu yöntemi

Hazırlanan yazılımda konu 4.2 Normal Baz Uzunluğu Yöntemi'nde anlatılan yöntemdeki formül, görüntüde seçilen iki nokta arasındaki fark olarak uygulamaya yansıtıldı.



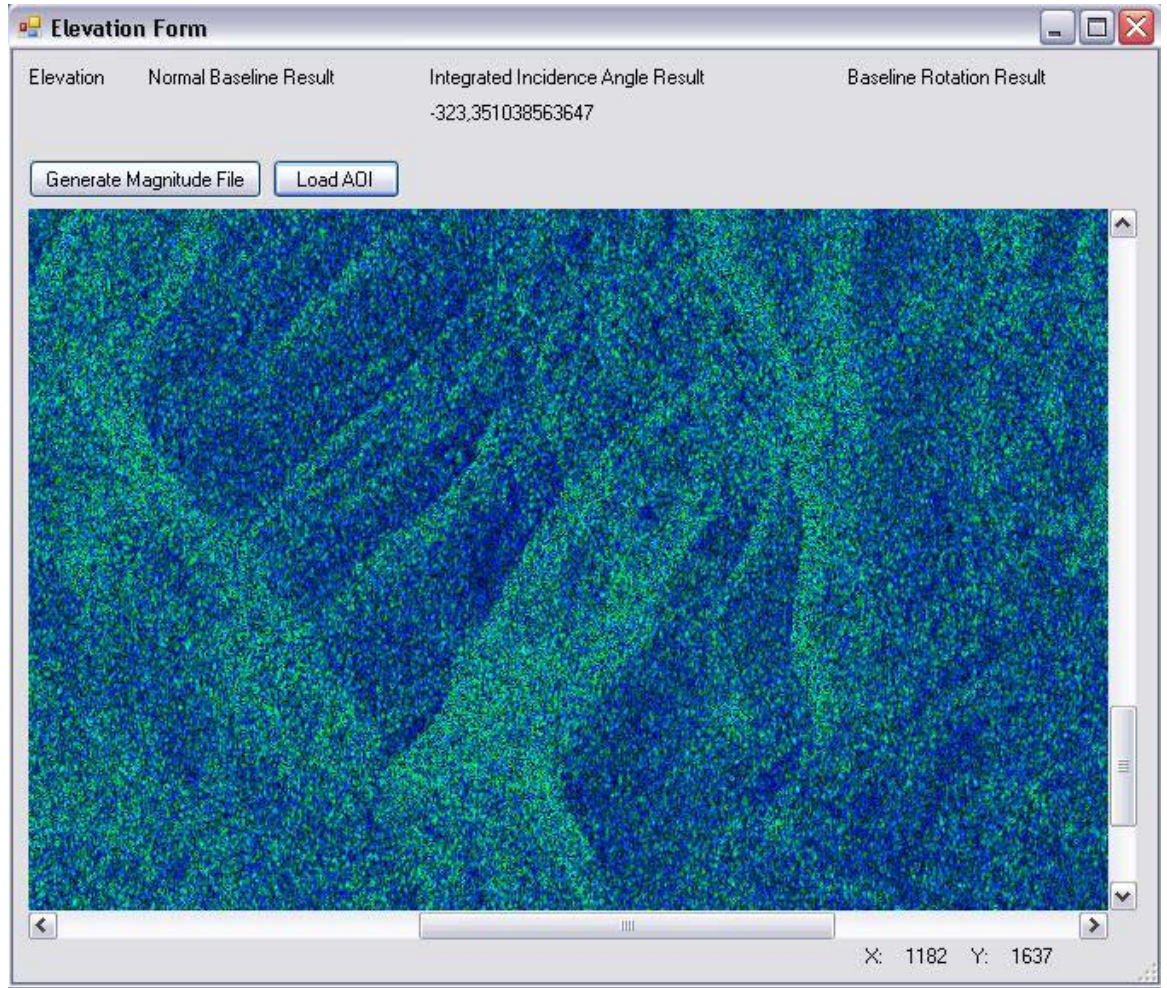
Şekil 5.9: Normal Baz Uzunluğu Yöntemi Uygulaması

Uygulamada görüntü şekli üzerinde iki ayrı nokta üzerine fare ile tıklanır. İmlecin şekle göre x, y koordinatları sağ alt köşede görülmektedir. Her tıklama ayrı nokta tanımlayacaktır. İkinci tıklama sonrasında faz dosyasının açılması için bir diyalog penceresi ile karşılaşılır. Uygun faz dosyası ilgili klasörden seçildikten sonra yönteme ilişkin program koşmaya başlar ve elde edilen sonuç, en yukarıda, en soldaki ondalıklı değer olarak gösterilir. Sonuç ikinci seçilen noktanın ilk seçilen noktaya göre yükseklik farkı olarak gösterildiği için +/- işaret, ilk seçilen noktanın ikinciyeye kıyasla belirtilen değer kadar daha yüksekte (+), veya daha alçakta (-) olduğunu gösterir.

Referans görüntünün (ilk görüntünün) eğik uzunluğu ve ilgili görüntü hücresinin ilk görüntüye göre geliş açısı, entegre geliş açısı yönteminde anlatılan ve kullanılan veriler ve formüllerle hesaplandı.

5.4.2 Entegre geliş açısı yöntemi

Formülü ve uygulanış şekli konu 4.1. Entegre Geliş Açısı Yöntemi'nde verilen bu yöntemle dair uygulama normal baz uzunluğu yönteminde olduğu gibi iki nokta kıyaslamalı şekilde hazırlanmıştır.



Şekil 5.10: Entegre Geliş Açısı Yöntemi Uygulaması

Şekilde görülen uydu görüntüsünün üzerine tıklanarak seçilen iki nokta arasındaki yükselti farkı bu yöntemle hesaplanarak, formda Elevation (yükselti) etiketli alanın altına, normal baz uzunluğu yöntemiyle elde edilen sonucun hemen yanına yazdırılmaktadır.

Programda yöntemin baz uzunluğu bileşenlerinin her görüntü hücresi için hesaplanması prensibine ilişkin, baz uzunluğu ile ilk görüntü uzunluğu arasında kalan açı, giriş olarak alınan noktalar için hesaplanmaktadır. Hangi piksel söz konusu olursa olsun iki sensör arasındaki mesafe hep sabit kalacağından, açının hesaplanmasında ilk sensör uzunluğunun görüntü hücresi temas noktası tek değişken olarak kalır. Yani söz konusu hücrelerin geliş açılarının değişimi yöntem formülündeki baz uzunluğu bileşenlerini belirler. Yazılımın bu kısmında fare tıklama ile seçilen iki noktanın koordinatlarından yola çıkarak yansıma ve yükselti açıları ile birlikte eğik uzunluk mesafeleri de hesaplanmaktadır. Noktaların yükselti açılarının normal baz uzunluğu bileşenleri üzerindeki etkileri hesaplanarak bulunan veriler formüle katılır. Böylece normal baz uzunluğu yönteminden daha etkili bir yaklaşımla yükselti hesabına gidilir.

5.4.2.1 Gerekli Açılar ve Yöntemin Hesaplanması için İhtiyaç Duyulan Veriler

Konu 4.1.1.1'de anlatılan veri ve formüller kullanılarak dünya yarıçapı, yörünge verileri, eğik uzunluklar, yansıma ve yükselti açıları hesaplandı. Bu hesaplamada kullanılmak üzere aşağıdaki veriler uydu görüntü başlık dosyalarından elde edildi.

Elipsoid yarı-major eksen, (*ellipmaj*) = 6378165 m

Elipsoid yarı-minor eksen, (*ellipmin*) = 6356783 m

Platform jeodetik boylamı, (*platlat*) = 37.823 derece

Astro-yörünge-verisi, (*eph_orb_data*, α) = 7167076.3 m

İlk sensör için birinci derece zemin uzunluğu – eğik uzunluk dönüşüm katsayısı,

(*a*) = 958687

İkinci sensör için birinci derece zemin uzunluğu – eğik uzunluk dönüşüm katsayısı,

(*a*) = 958547.81

Eğik uzunluk artım değeri (dRs) = 4.638299 m

Dik (Normal) Baz Uzunluğu = 185.98 m

Paralel Baz Uzunluğu = 105 m

5.4.3 Baz uzunluğu devinim yöntemi

Yöntem uygulamasında diğer yöntemlerin uygulanmasında olduğu gibi dünya ve yörüngeye yönelik ön hesaplamalar yapıldı. Bunlara ek olarak her iki geçiş için de uydu yörünge koordinatları, SAR başlık dosyasında yer alan değerler olarak alındı. Alınan koordinat değerleri referans görüntü uydusunun geçişi için:

$$(x, y, z) = (5313410.4027, 2055448.6293, 4347859.9036)$$

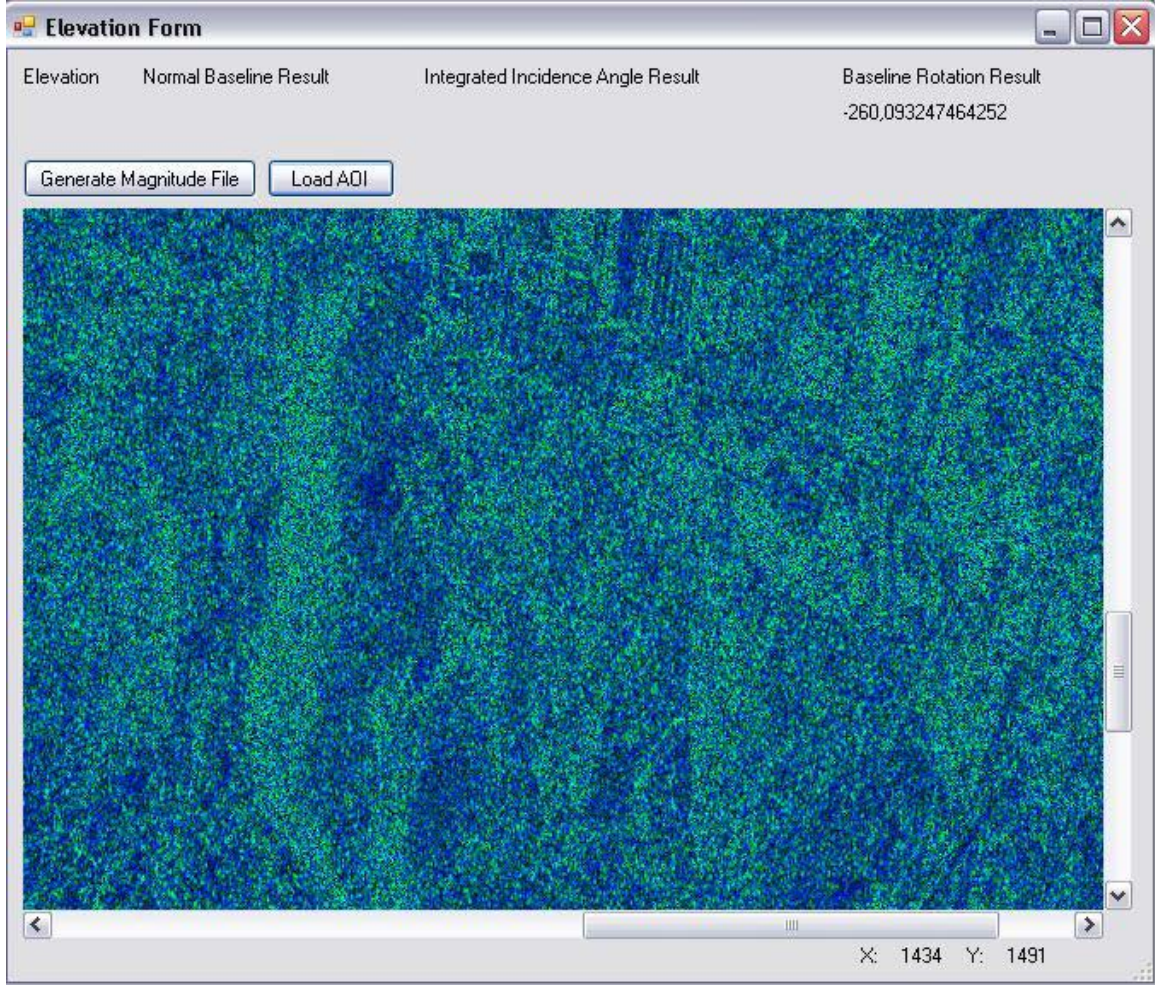
Diğer görüntü uydusunun geçişi için:

$$(x, y, z) = (5312414.1836, 2054916.1977, 4349347.3884)$$

Şeklinde alınmıştır.

Bu değerler görüntü alım süresinin başlangıcından, sonuna kadar olan peşi sıra alınan koordinat değerlerinin ortalaması olarak seçilmiştir. Zira uyduların sürekli hareket halinde oldukları düşünülürse, bir pikselin işleme anında sensörün koordinatının tam olarak ne olduğunun bilinmesi mümkün olmamaktadır. Bu durum uygulama sonucunda hatalara neden olacaktır.

Koordinat değerleri merkezini dünyanın merkezi kabul eden, dünya ile beraber dönen Dünya Sabit Gövde (Earth Fixed Body) koordinat sistemine göre alınmıştır. Bu sistemin x eksenini doğrultusu, merkezden ekvator ve 0 boylamı kesişimine; z eksenini, merkezden coğrafi kuzey kutbuna; y eksenini ise, sağ el kuralına göre kesişimleri tamamlayan doğrultuya denk gelir. [12]



Şekil 5.11: Baz Uzunluğu Devinim Yöntemi Uygulaması

Şekilde de görüldüğü üzere peşi sıra seçilen iki görüntü noktasına ilişkin yükselti farkı baz uzunluğu devinim yöntemine göre hesaplanıp formda uygun alana (en sağdaki ondalıklı sonuç değeri) yazdırılır.

6. SONUÇ

Uygulama çalıştırılıp tüm gerekli dosyalar üretildikten sonra, son kısım olan seçilen yükselti noktalarının test edilmesi aşamasında büyük hata oranlarına rastlandı. Buna rağmen dönüşüm yöntemlerin prensipleri ile tutarlı sonuçlar elde edildi. Bu sonuçların tamamı metre cinsinden uygulama ekranına yansıtıldı. Test için Google Earth Pro v 4.1.7087.5048(beta) programı ve bu programın kullanmakta olduğu, NASA'nın SRTM 90m sayısal yükselti modeli kullanılmıştır. Bu yükselti modelinin çözünürlüğü 90m'dir. SRTM 90 yapılan ölçüm ve deneylere göre yaklaşık 20 metrelik dikey hata payına sahip bir yükselti modelidir. [13]

Yapılan deneylerde her yöntemin kendine has arazi özelliklerinde etkili olduğu gözlemlendiği için sonuçlar ayrı arazi koşullarında kıyaslamalı şekilde verilmiştir.

6.1 Normal Baz Uzunluğu Yöntemi

Daha önce de belirtildiği üzere görüntü merkezinden uzaklaştıkça, yani radar ışını geliş açısı genişledikçe sadece görüntü merkezini hedef alan normal baz uzunluğu kullanıldığından yöntemde hata oranı artar.

Uygulamada yapılan denemelerde daha düz arazilerde daha tutarlı verilerin oluştuğu gözlemlenmiştir. Engebe arttıkça dramatik bozulmanın sebebi faz katlılığının yükseltinin artmakta olduğu bölgelerde interferogram korelasyonsuzluğu nedeni ile giderilememiş olmasıdır.

Araştırmalar bu yöntemin düz arazi farkı alınmamış interferogramlarda düzlükleri ölçerken yükselti ölçümünde yanılgılara sebep olacağını göstermiştir. [4] Ancak hazırlanan uygulamada bu yöntem düzlüklerde daha etkili olarak gözlenmiş ve sözü edilen düz arazi bozulmalarına rastlanmamıştır. Bu durumda görüntünün korelasyonsuzluğu ve ilgili arazinin görüntü ediniminin uzak ucunda yer alması etkin rol oynamaktadır.

Düzlükte yapılan ölçümlerde yukarıda belirtilen şekillerdeki gibi bir gözlem elde edilmiştir. Ek A, Şekil A1'de görüntü dosyası üzerinde deney için seçilen iki nokta

ve Şekil A2’de de bunların yükseltilerinin SRTM 90 karşılığı görülmektedir. A ile B noktaları arasındaki ölçülen fark yaklaşık -5,237 metredir. Yani A noktası B noktasından 5,237 metre daha alçakta olarak gözlenmiştir. SRTM karşılıklarında ise A (rakım 20m) noktasının B (rakım 27m) noktasından 7 metre daha alçakta olduğu görülmektedir. %74 gibi bir oranla sonuca yaklaşılmış ve sonuç SRTM 90 modelinin 20m’lik hata marjini oldukça altındadır.

6.2 Entegre Geliş Açısı Yöntemi

Bu yöntemin uygulanmasında beklenen hata sebebi unsurlar düzlüklerdeki normal baz uzunluğu yönteminde de rastlanan ve bahsedilen güvensizliğin yanısıra korelasyonun görüntü hücreleri arasındaki uyumu azaltmış olmasıdır. Bu yöntemin de normal baz uzunluğu gibi yükseklik kazanan engebelerde faz katlılıklarına takılarak güvensizleşmesi beklenmekteydi. Ancak yapılan deney sonuçlarında (arazi boyu takip eden bir yol üzerinde peş peşe alınan noktalarda da) nizami artış ile arazinin engebe kazandığı ve doğru sonuca yakın engebe farkları ölçümlerinin yapılabildiği rastlanmıştır.

Entegre geliş açısı yönteminde, görüntü hücrelerine özgü baz uzunluğu değerleri hesaplandığı için daha tatmin edici yükselti bilgileri elde edildi. Normal baz uzunluğu yöntemine kıyasla engebelerde daha tutarlı veriler elde edilirken düzlük arazide gerçek dışı verilere rastlanmıştır. Verinin bu bölgelerindeki korelasyonun azlığı güvenilir faz farkı bilgisinin elde edilmesini engellemektedir. Diğer neden ise düz arazi fringe yapılarının interferogramdan süzülmemiş olmasıdır. Bu fringe yapılar yüzünden arazide engebe düzenli devam ediyor gibi görünmektedir.

Deney sonucunda seçilen, Şekil A3’teki yüksek rakımlı C noktası ile alçaktaki D noktası aralarındaki yükselti farkı yaklaşık 465,78m olarak gözlemlenmiştir. Kontrol noktalarında SRTM 90 karşılıkları ise (Şekil A4; C noktası 728m, D noktası 81m) 647m olarak fark görülmektedir. %72’lik bir yaklaşım elde edilmiştir.

6.3 Baz Uzunluğu Devinim Yöntemi

Baz uzunluğu devinim yönteminde elde edilen sonuç ile gerçek yükselti değeri arasındaki hata payı, düşük görüntü çifti korelasyonunun faz farkı değerleri üzerindeki olumsuz etkisi ve uyduların yörüngelerinin ölçümü yapılan görüntü

hücrelerine göre anlık pozisyon tespitinin olmayışına bağlıdır. Yöntemde kullanılan vektörel hesaplamaların mihenk taşı olan bu yörünge koordinatları, her piksel için ayrı ayrı alınmayıp ortalama bir tahmini değer ile yaklaşıldığından bu hata oranına rastlanmaktadır. Üstelik görüntü ortalaması olarak kabul edilebilecek yer olan görüntü merkezinden ne kadar uzaklaşırsa bu yanlışsamanın giderek artış eğiliminde olması doğal bir sonuçtur.

Deneyin bu kısmında benzer şekilde seçilen E ve F ölçüm ve kontrol noktaları, her görüntü hücresi için ayrı uzunluk hesaplandığından burada da entegre geliş açısı yöntemindekine benzer sonuçlara ulaşılmıştır. Engebelerde düzenli artış ve azalış gösterebilen, düzlüklerde daha iyimser sonuçlara yaklaşabilen bir yöntem olarak gözlemlendi. Deney verilerine göre ölçümde E ve F noktaları (Şekil A5) arasındaki fark bu yöntem ile yaklaşık 814,874m olarak tespit edildi. Kontrol noktalarında SRTM 90 yükseklik karşılıklarında ise (Şekil A6; E yüksekliği 702m, F yüksekliği 194m) fark 508m olarak görüldü. Bu noktalar arasında, %60'lık bir sapma elde edilmiştir. Bu örnek için kabul edilir hata payı, %7'dir.

6.4 Yöntemlerin Kıyaslamalı Değerlendirmesi ve Özet Sonuç

Kıyaslamalı olarak değerlendirildiğinde ilk deneme olan düzlük arazide; normal baz uzunluğu yöntemi %74, entegre geliş açısı yöntemi % 8 oranında yaklaşabilmiştir. Baz uzunluğu devinim yöntemi ise düzlük arazide yüksek olan noktayı daha alçak olarak gösterdiği için tamamen güvenilemez bir sonuç üretmiştir.

İkinci adımdaki kıyaslamada engebeli seçilen ilk arazide, normal baz uzunluğu yöntemi %0,06 gibi zayıf bir yaklaşım sergilemişken, entegre geliş açısı yöntemi %72, baz uzunluğu devinim yöntemi %53 oranında başarılı olmuştur. SRTM 90 modelinin sahip olduğu hata payı olan 20m değeri (her iki kontrol noktası için) düşünüldüğünde bu, $(647-2 \times 20)/647 = \%93$ civarı bir başarılı yaklaşım kriterini verir.

Üçüncü kıyaslama olarak seçilen diğer engebeli arazide, normal baz uzunluğu yöntemi %99.6, entegre geliş açısı yöntemi %84, baz uzunluğu devinim yöntemi %60 oranında sapma göstermiştir.

Baz uzunluğu devinim yönteminin vektörel bir yaklaşım çalışması olduğu için interferogramdaki düz alan bozulmalarından etkilenmemesi ve engebelerde de tutarlı

sonuç vermesi bekleniyordu. Ancak yörünge koordinatlarının belirsizliği ve hesaplama değeri olarak ortalama bir koordinat değeri alınmış olması yöntemin sonucunu hem düzlük hem de engebede oldukça kötüleştirmiştir.

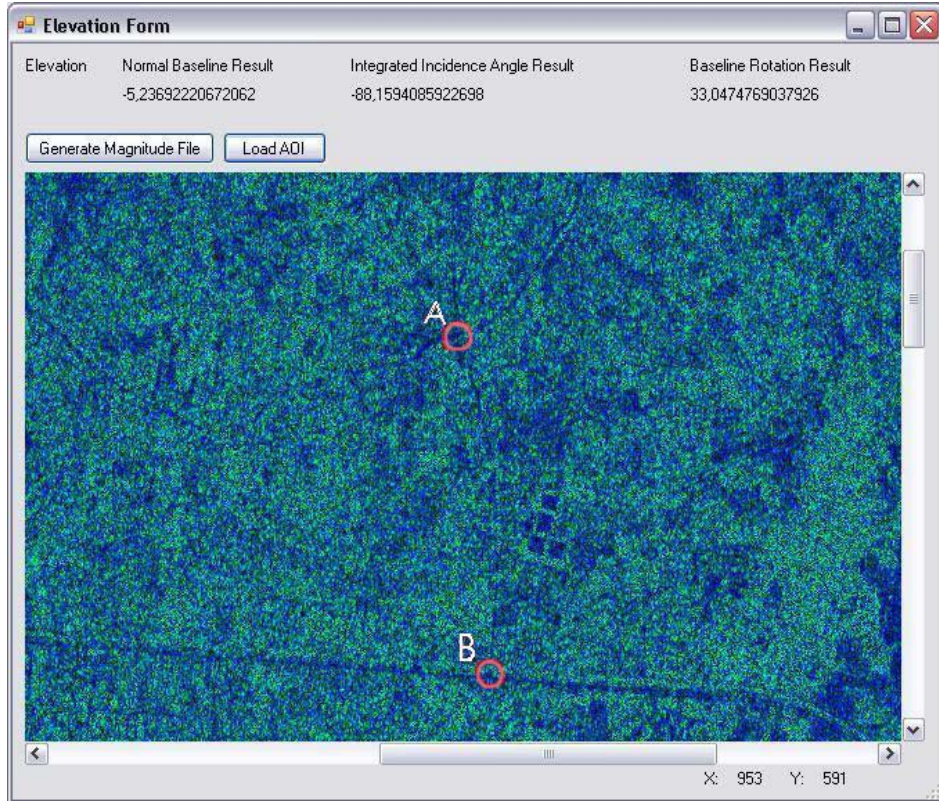
Özetle yapılan kıyaslamalı çalışmada, görüntü çifti arasındaki korelasyonun, ortaya çıkan interferogramdaki uygun filtreleme ve düz alan katlılık eksiltme çalışmalarının, görüntü merkezlerinden uzaklığın ve uzunluk değerlerinin ortalamadan uzaklığı, yörünge koordinatlarındaki belirsizliğin sonuca etkisi verilen ölçülerde gözlemlenmiştir.

Deneylerin yöntemlere göre ölçüm noktaları ve eş değer kontrol noktalarını gösteren şekiller Ek A kısmında verilmiştir.

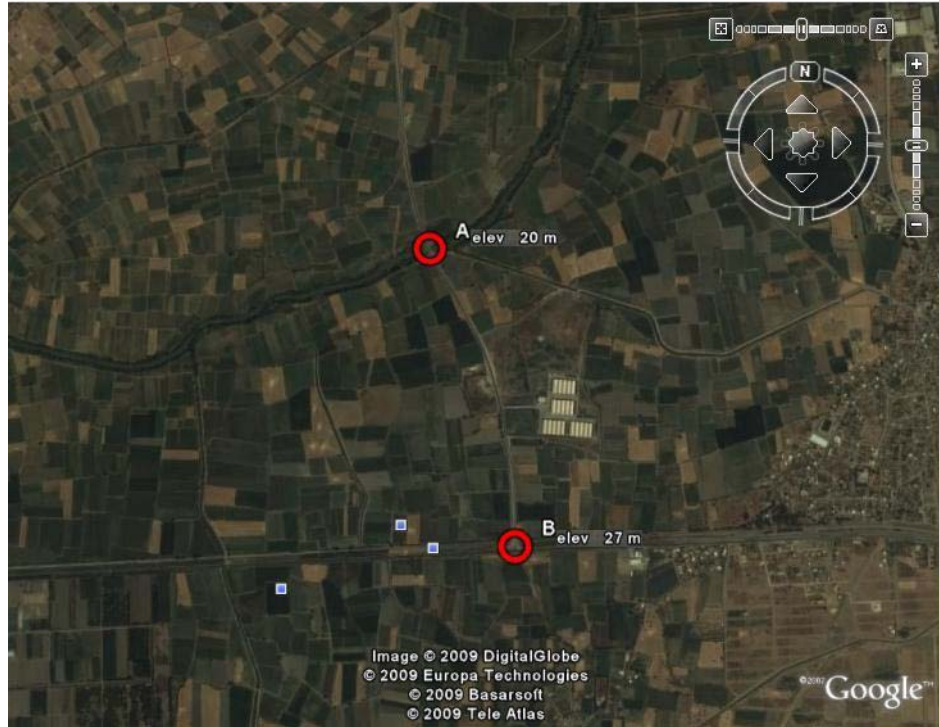
KAYNAKLAR

- [1] **Gupta R. P.**, 2003, Remote Sensing Geology, Second Ed., Springer, *Chapter 1*, pg 1-16; *Chapter 14*, pg 367-392
- [2] **Arora, K., Patel, V. and Sharma M.**, 2002, SAR Interferometry for DEM Generation
- [3] **Gelautz M., Paillou P., Chen C. W., Zebker, H. A.**, 2003. A Comparative Study of Radar Stereo and Interferometry for DEM Generation, *Fringe Symposium 2003*
- [4] **Lwin A.**, 2006, Geomorphological Mapping with Respect to Amplitude, Coherence and Phase Information of ERS SAR Tandem Pair
- [5] **Li Z., Bethel J.**, 2008, DEM Registration, Alignment and Evaluation for SAR Interferometry, *Remote Sensing and Spatial Information Sciences Vol. XXXVII. Part B1. Beijing 2008*
- [6] **Zakharova, L.**, 2003. Comparison of Global and Local Approach to Phase Unwrapping for Rugged Terrain, *Fringe Symposium 2003*
- [7] **Bioucas-Dias J. M., Valadão G.**, 2007, Phase Unwrapping via Graph Cuts, *IEEE Transactions on Image processing, vol. 16, no. 3, pp. 698-709*
- [8] **Url-1**, <<http://envisat.esa.int/handbooks/asar/CNTR5-5.htm>>, alındığı tarih 24.04.2009. *Envisat ESA, Geometry Glossary.*
- [9] **RADARSAT International**, 2000. RADARSAT Data Products Specifications
- [10] **Small D., Pasquali P., Fuglistaler S.**, 1996, A Comparison of Phase to Height Conversion Methods for SAR Interferometry, *Fringe Symposium 96*
- [11] **Kenyi L., Raggam H.**, 1996, Accuracy Assessment of Interferometrically Derived DTMs, *Fringe Symposium 96*
- [12] **ERDAS Field Guide**, 2005, Leica Geosystems 2005
- [13] **Jarvis A., Jorge R., Nelson A, Farrow A., Mulligan M.**, 2004, Practical Use of SRTM Data in the Tropics – Comparisons with Digital Elevation Models Generated From Cartographic Data

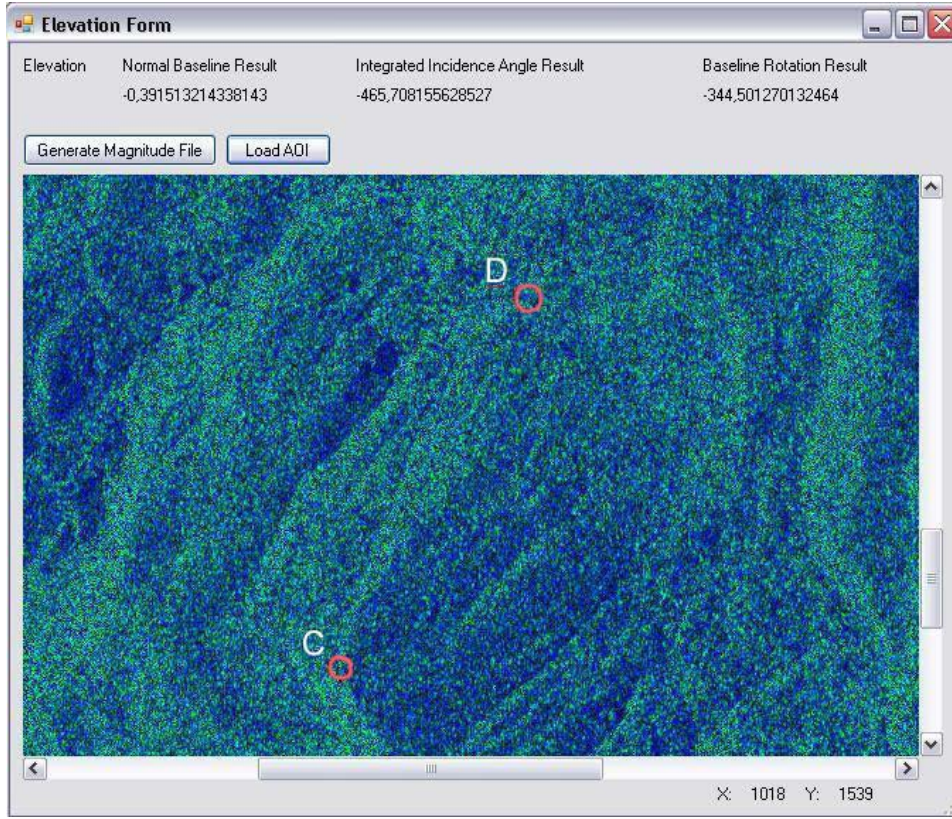
EK A DENEY UYGULAMA NOKTALARI VE SONUÇLARI



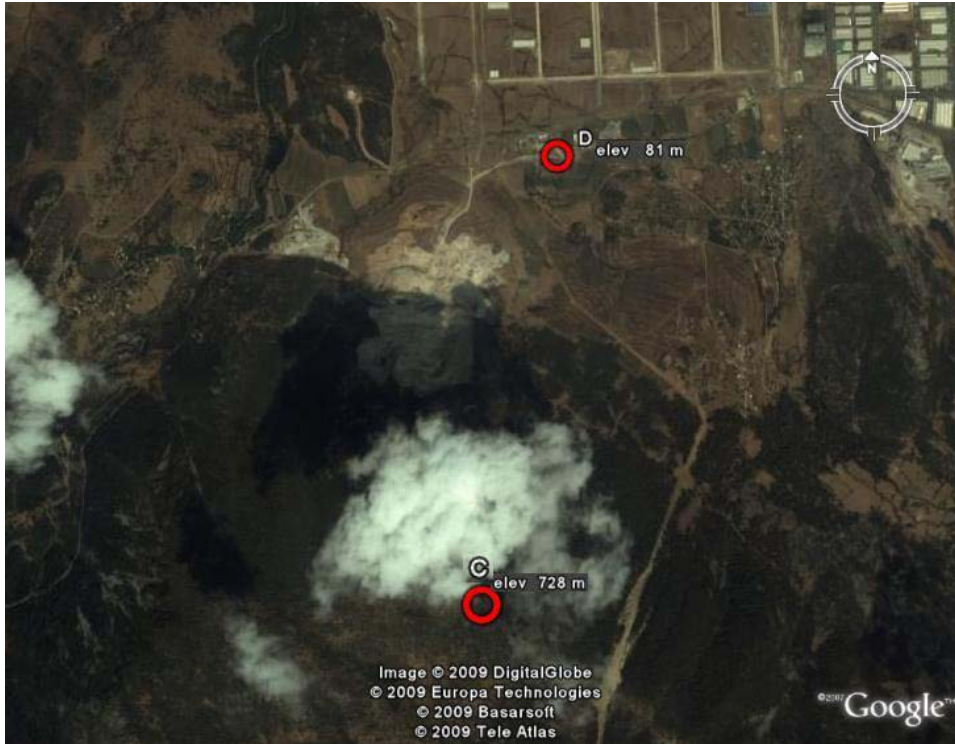
Şekil A. 1: Normal Baz Uzunluğu Yöntemi Deney Sonucu



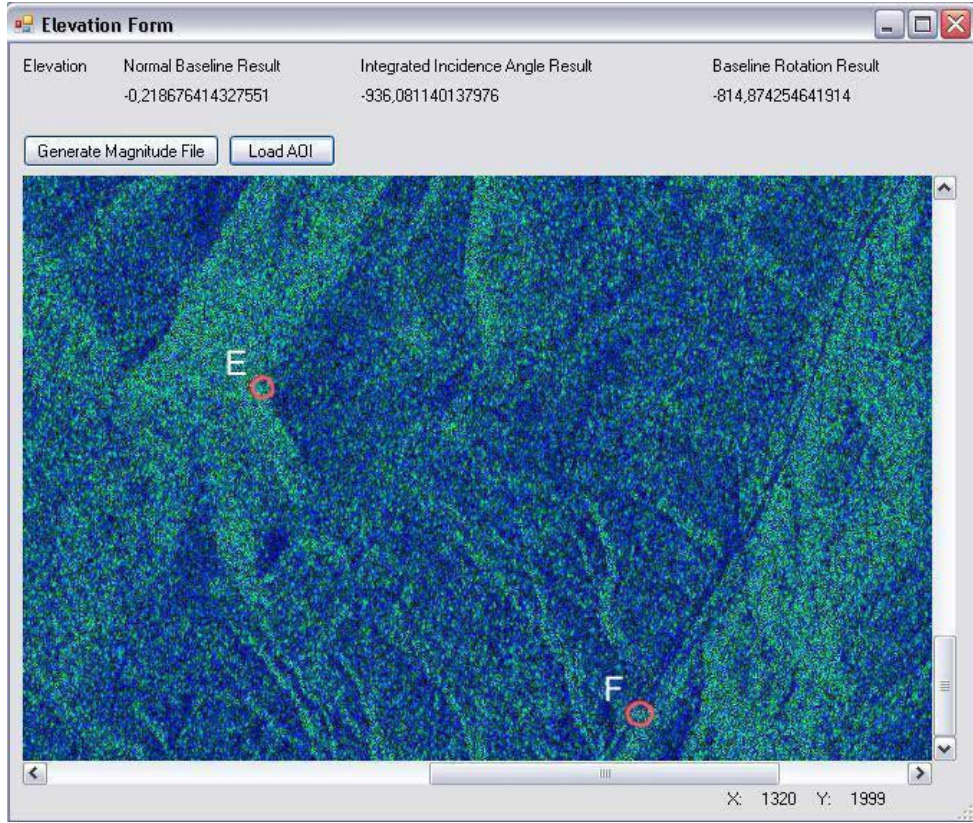
Şekil A. 2: Normal Baz Uzunluğu Yöntemi Deney Kontrol Noktaları



Şekil A. 3: Entegre Geliş Açısı Yöntemi Deneş Sonucu



Şekil A. 4: Entegre Geliş Açısı Yöntemi Deneş Kontrol Noktaları



Şekil A. 5: Baz Uzunluğu Devininim Yöntemi Deney Sonucu



Şekil A. 6: Baz Uzunluğu Devininim Yöntemi Deney Kontrol Noktaları

ÖZGEÇMİŞ

Ad Soyad: Özkan Eren
Doğum Yeri ve Tarihi: Niğde 24/06/1982
Adres: 6753/21. Sok No:30 D:16 Karşıyaka / İZMİR
Lisans Üniversite: İstanbul Teknik Üniversitesi
Lisans Bölümü: Bilgisayar Mühendisliği