

DOKUZ EYLÜL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

HEYELAN HAREKETLERİNİN DİnSAR VE
LİDAR YÖNTEMLERİ İLE BELİRLENMESİ VE
İZLENMESİ

Oğuz Yasin ÖZSOY

Ocak, 2019
İZMİR

HEYELAN HAREKETLERİNİN DİnSAR VE LiDAR YÖNTEMLERİ İLE BELİRLENMESİ VE İZLENMESİ

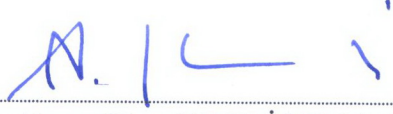
**Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
Yüksek Lisans Tezi
Maden Mühendisliği Anabilim Dalı**

Oğuz Yasin ÖZSOY

**Ocak, 2019
İZMİR**

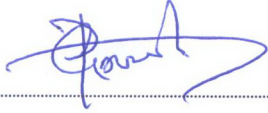
YÜKSEK LİSANS TEZİ SINAV SONUÇ FORMU

OĞUZ YASİN ÖZSOY, tarafından DOÇ. DR. AHMET HAMDİ DELİORMANLI yönetiminde hazırlanan “HEYELAN HAREKETLERİNİN DİNAR VE LİDAR YÖNTEMLERİ İLE BELİRLENMESİ VE İZLENMESİ” başlıklı tez tarafımızdan okunmuş, kapsamı ve niteliği açısından bir Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.



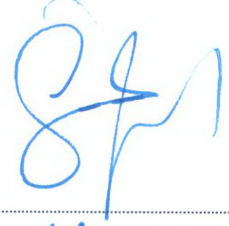
Doç. Dr. Ahmet Hamdi DELİORMANLI

Yönetici



Prof. Dr. Çiğdem Pamukcu

Jüri Üyesi



Doç. Dr. İrfan C. Engin

Jüri Üyesi



Prof. Dr. Kadriye ERTEKİN

Müdür

Fen Bilimleri Enstitüsü

TEŞEKKÜR

Tezim ve okul hayatım boyunca öğrencileriyle bilgi birikimini paylaşan ve onların gelişimi için elinden geleni yaparak onlara yardımcı olan sayın hocalarım Doç. Dr. Ahmet Hamdi DELİORMANLI'ya, Prof..Dr. Hasan SÖZBİLİR'e, Dr.Öğr.Üyesi Atilla Hüsnü ERONAT'a, Araş. Gör. Dr. Mehmet Volkan ÖZDOĞAN'a ve UDAP-G-16-05 kodlu projesiyle çalışmam için gerekli tüm olanakları sağladıkları için Ulusal Deprem Araştırma Programı'na ve Dokuz Eylül Üniversitesi Maden Mühendisliği Bölümü Bölüm Başkanlığı'na ayrıca son olarak her koşulda yanımda olan aileme ve arkadaşlarıma teşekkür ederim.

Oğuz Yasin ÖZSOY

HEYELAN HAREKETLERİNİN DİnSAR VE LİDAR YÖNTEMLERİ İLE BELİRLENMESİ VE İZLENMESİ

ÖZ

Günümüzün en büyük problemlerinden biri de doğal afetlerdir. Düzensiz bir geometriye sahip doğal yamaçların (şev) kayma hareketine heyelan denilmektedir. Yarattığı olumsuz etkilerden dolayı doğal afetler içinde önemli bir yer sahip olan heyelanlar, etkili oldukları bölgede yerleşim yerlerine can ve mal kaybı şeklinde zarar vermektedirler. Bu nedenledir ki bu hareketlerin belirlenmesi ve izlenmesi gerekmektedir. Günümüzde uzaktan algılama biliminin heyelan izlenmesinde kullanılabilirliği önem kazanmıştır. Uzaktan algılama yöntemleri içinde de 3 boyutlu yüksek hassasiyetli veri üretebilen radar uydu görüntüleri (DİnSAR) ve lazer tarama tekniklerinin (LİDAR) kullanımı ön plana çıkmaktadır. Çalışmanın amacı, araştırma için seçilen İzmir Fayı'nın 2 yıllık sürede üreteceği depremler ve LİDAR/DİnSAR yöntemlerinden elde edilecek verilerden yüzey deformasyonları arasında ilişkinin ortaya konması, belirlenen alanlarda meydana gelen kütle hareketinin boyutunun ve hızının tespit edilmesi ve doğruluğunun araştırılması, bu bölgelerin risk haritalarının çıkarılması ve İzmir Fay zone boyunca gözlenen heyelanların etki alanındaki Balçova ve Agora yerleşimlerine ait yapı stoku yoğunluğunun ortaya konmasıdır. Sonuç olarak; belirlenen alanlarda heyelan hareketleri belirlenerek, bu hareketleri izlemek mümkün olmuştur.

Anahtar sözcükler: Deprem, DİnSAR, heyelan, LİDAR, uzaktan algılama

DETERMINATION AND MONITORING OF LANDSLIDE MOVEMENTS USING DInSAR AND LiDAR METHODS

ABSTRACT

Natural disasters are one of the biggest problem of our age. Slopes are natural scarps which have irregular geometry and their movements called landslides. Because of negative effects of landslides are serious natural disaster which damages settlements causing loss of lives and properties. Therefore, these movements need to be identified and monitored. Today, the use of remote sensing system in landslide monitoring has gained importance. The use of radar satellite images (DInSAR) and laser scanning techniques (LiDAR), which can produce 3 dimensional high precision data in the remote sensing methods, comes to the fore. Primary aim of this project, reveal the relationship between surface deformations, determination of the size and speed of the mass movement in the determined areas and investigation of the accuracy of movement and, determination of the density of building stock belonging to the Balçova and Agora settlements in the area of influence of the landslides observed along the İzmir Fault Zone with LiDAR and DInSAR data in 2 years. As a result; By determining the landslide movements in designated areas, it has been possible to monitor these movements.

Keywords: Earthquake, DInSAR, landslide, LiDAR, remote sensing

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
YÜKSEK LİSANS TEZİ SINAV SONUÇ FORMU.....	ii
TEŞEKKÜR	iii
ÖZ	iv
ABSTRACT	v
ŞEKİLLER LİSTESİ	ix
TABLolar LİSTESİ.....	xii
BÖLÜM BİR – GİRİŞ	1
BÖLÜM İKİ – HEYELAN VE DEPREM HAREKETLERİ	6
2.1 Heyelan Hakkında Kuramsal Bilgi	6
2.1.1 Heyelan Hareketlerine Neden Olan Başlıca Unsurlar	7
2.1.2 Heyelan Hareketlerinin Sınıflandırılması	10
2.1.2.1 Düşme	11
2.1.2.2 Akma	12
2.1.2.3 Kayma	12
2.1.3 Heyelan Bölümleri.....	13
2.2 Deprem ve Fay Hareketleri Hakkında Kuramsal Bilgi	14
2.2.1 Fay ve Fay Çeşitler	14
2.2.2 Deprem Kavramı	16
2.2.2.1 Kuvvet Sistemine Göre Depremler	16
2.2.2.2 Büyüklüklerine Göre Depremler	16
2.2.2.3 Odak Derinliklerine Göre Depremler	17
2.2.3 Depremlerin Yeryüzündeki İzleri.....	17
2.2.4 Deprem İstatistiği	18
2.2.5 Deprem Tehlikesi ve Deprem Riski	18

BÖLÜM ÜÇ – UZAKTAN ALGILAMADA LiDAR VE DInSAR KULLANIMI19

3.1 Uzaktan Algılama Hakkında Genel Bilgiler.....	19
3.1.1 Uzaktan Algılamaya Neden Gereksinim Duyarız	19
3.1.2 Çalışma Prensibi.....	20
3.1.3 Uzaktan Algılama Bileşenleri ve Veri Analizi.....	21
3.1.4 Uzaktan Algılamada Veri Çözünürlüğü Kavramı	23
3.1.5 Uzaktan Algılamanın Avantajları.....	24
3.2 LiDAR (Lazer Tarayıcı) Sistemleri.....	24
3.2.1 Ölçüm Prensibi	25
3.2.1.1 Faz Farkının Ölçümüne Dayanan Teknik	26
3.2.1.2 Lazer Işınının Uçuş Süresine Bağlı Olan Teknik	26
3.2.1.3 Üçgenleme Tekniği.....	27
3.2.2 ALS Lazer Tarayıcı Sistemleri (Hava Platform Temelli).....	29
3.2.3 TLS Lazer Tarayıcı Sistemleri (Yer Temelli)	34
3.2.3.1 Çalışma Prensibi	36
3.2.3.2 TLS ile Üretilen Nokta Bulutlarının Birleştirilmesi ve Jeoreferanslama	37
3.3 DInSAR YÖNTEMİ.....	39
3.3.1 InSAR Tekniği	40
3.3.2 DInSAR Tekniği.....	41
3.3.2.1 Tekniğin Dezavantajları	42

BÖLÜM DÖRT – UYGULAMA.....43

4.1 Çalışma Alanı ve İzmir’in Depremselliği.....	43
4.2 LiDAR Yöntemi.....	49
4.2.1 LiDAR Cihazının Kurulumu ve Ölçüm Alımı.....	51
4.2.2 Verilerin Değerlendirilmesi	54
4.2.2.1 Değerlendirme Sonuçları.....	56
4.3 DInSAR Yöntemi.....	66

4.3.1 DInSAR Sonuçlarının Değerlendirilmesi	73
BÖLÜM BEŞ – SONUÇLAR.....	81
KAYNAKLAR.....	83



ŞEKİLLER LİSTESİ

	Sayfa
Şekil 1.1 Heyelan izleme sistemleri.....	1
Şekil 1.2 SAR görüntüleme sistemleri.....	3
Şekil 1.3 LiDAR ile üretilen nokta bulutlarının birleştirilmesi ve jeoreferanslama.....	5
Şekil 2.1 Türkiye heyelan yoğunluk haritası.....	6
Şekil 2.2 Irmak aşındırması ile oluşan heyelan hareketleri.....	9
Şekil 2.3 Yol çalışmalarının neden olduğu heyelan hareketleri.....	9
Şekil 2.4 Kaya düşmesine neden olan süreçler.....	11
Şekil 2.5 Akma türlerinden bazıları.....	12
Şekil 2.6 Dönel kayma hareketi.....	13
Şekil 2.7 a)Düzlemsel kayma b)Kama tipi kayma c) Farklı ortamlarda gelişebilen çok yüzeyli kaymalar.....	13
Şekil 2.8 Heyelanların bölümleri.....	14
Şekil 2.9 Fay çeşitleri.....	15
Şekil 3.1 Uzaktan algılama ile ilgili görüntüler.....	20
Şekil 3.2 Elektromanyetik spektrum.....	21
Şekil 3.3 Uzaktan algılama işlemleri.....	22
Şekil 3.4 Uzaktan algılama enerji kaynakları.....	22
Şekil 3.5 Uzaktan algılamada veri çözünürlüğü kavramı.....	24
Şekil 3.6 Faz farkı sistemi.....	26
Şekil 3.7 Uçuş zamanı sistemi.....	27
Şekil 3.8 Triangulasyon prensibi: Tek kamera çözümü.....	28
Şekil 3.9 Triangulasyon prensibi: İki kamera çözümü.....	29
Şekil 3.10 ALS sistemlerinin çalışma prensibi.....	30
Şekil 3.11 Örnek ALS verisinin değerlendirme sonucu.....	30
Şekil 3.12 Lazer ışını yansıma sayılarına göre ölçümler.....	31
Şekil 3.13 Yansıma sıralarına göre renklendirilen nokta bulutunun görüntüsü.....	32
Şekil 3.14 ALS donanımının çalışma prensibi.....	33
Şekil 3.15 TLS sistemlerinin donanımları.....	35
Şekil 3.16 TLS cihazın çalışma prensibi.....	36
Şekil 3.17 TLS cihazın ölçüm prensibi.....	37

Şekil 3.18 InSAR tekniği	40
Şekil 4.1 İzmir ve yakın çevresinin tarihsel depremleri ile diri faylar arasındaki ilişkiyi gösteren diri fay haritası.....	46
Şekil 4.2 10 Temmuz 1688 depremine ait kayıtlardan toplanan dağılmalarına bağlı verilerle oluşturulmuş eş şiddet haritası.	47
Şekil 4.3 İzmir ve yakın çevresinin aletsel deprem aktivitesini gösteren sismotektonik haritası.	49
Şekil 4.4 Çalışma alanında bulunan heyelanlı bölgelerin yerini gösteren görüntüsü	50
Şekil 4.5 Heyelanların TLS teknikleri ile izlenmesinde kullanılan işlem adımları	50
Şekil 4.6 Tez çalışmasındaki heyelan alanı 1. ölçüme ait örnek nokta bulutu görüntüsü	51
Şekil 4.7 Çalışma başlangıcı	52
Şekil 4.8 Referans 360° fotoğraf.....	52
Şekil 4.9 Hedef kontrolü	53
Şekil 4.10 Arazi için uygun parametreler	53
Şekil 4.11 Hedeflere kod adı girilmesi	55
Şekil 4.12 Birleştirilmiş ve koordinatları verilmiş nokta bulutları ve hata payları	55
Şekil 4.13 Tez çalışması Balçova alt bölgesindeki ilk LiDAR ölçümlerinden elde edilen nokta bulutlarının analizi ile belirlenen şev açısı analizleri sonuçları.....	56
Şekil 4.14 Tez kapsamındaki çalışma bölgesine ait ilk LiDAR ölçümlerinden elde edilen nokta bulutlarından elde edilmiş(mesh) model.....	57
Şekil 4.15 Tez kapsamındaki çalışma bölgesine ait ikinci LiDAR ölçümlerinden elde edilen nokta bulutlarından elde edilmiş(mesh) model.....	57
Şekil 4.16 Tez kapsamındaki çalışma bölgesine ait üçüncü LiDAR ölçümlerinden elde edilen nokta bulutlarından elde edilmiş(mesh) model	58
Şekil 4.17 Tez çalışması heyelan alanı 1. Ve 2. Ölçümlere ait deformasyon analiz sonuçları (1. Bölge)	59
Şekil 4.18 Tez çalışması heyelan alanı 1. Ve 2. Ölçümlere ait deformasyon analiz sonuçları (2. Bölge)	59
Şekil 4.19 Tez çalışması heyelan alanı 1. Ve 2. Ölçümlere ait deformasyon analiz	

sonuçları (3. Bölge)	59
Şekil 4.20 Tez çalışması Agora bölgesi heyelan alanı 1. Ve 3. Ölçümlere ait deformasyon analiz sonuçları(1. Bölge)	60
Şekil 4.21 Tez çalışması Agora bölgesi heyelan alanı 1. Ve 3. Ölçümlere ait deformasyon analiz sonuçları(2. Bölge)	60
Şekil 4.22 Tez çalışması Agora bölgesi heyelan alanı 1. Ve 3. Ölçümlere ait deformasyon analiz sonuçları(3. Bölge)	61
Şekil 4.23 Tez çalışması Agora bölgesi heyelan alanı 2. Ve 3. Ölçümlere ait deformasyon analiz sonuçları(1. Bölge)	61
Şekil 4.24 Tez çalışması Agora bölgesi heyelan alanı 2. Ve 3. Ölçümlere ait deformasyon analiz sonuçları(2. Bölge)	62
Şekil 4.25 Tez çalışması Agora bölgesi heyelan alanı 2. Ve 3. Ölçümlere ait deformasyon analiz sonuçları(3. Bölge)	62
Şekil 4.26 Tez çalışması Balçova alt bölgesindeki ikinci LiDAR ölçümlerinden elde edilen nokta bulutlarının analizi ile belirlenen şev açısı analizleri sonuçları	63
Şekil 4.27 Tez çalışması Agora alt bölgesine ait ilk LiDAR ölçümlerinden elde edilen nokta bulutlarından elde edilmiş yüzey (mesh) model.....	64
Şekil 4.28 Tez çalışması Agora alt bölgesine ait ikinci LiDAR ölçümlerinden elde edilen nokta bulutlarından elde edilmiş yüzey (mesh) model.....	64
Şekil 4.29 Tez çalışması Agora alt bölgesine heyelan alanı 1. Ve 2. Ölçümlere ait deformasyon analiz sonuçları.....	65
Şekil 4.30 Tez çalışması Agora alt bölgesindeki ilk LiDAR ölçümlerinden elde edilen nokta bulutlarının analizi ile belirlenen şev açısı analizleri sonuçları.....	65
Şekil 4.31 20/11/2015 ve 01/02/2008 tarihli TSX1_SAR__SSC görüntüleri.....	68
Şekil 4.32 Çalışma alanları.....	69
Şekil 4.33 Topoğrafyadan kaynaklanan hatalardan ayıklanmış görüntü	69
Şekil 4.34 (a)İnterferogram görüntüleri (b) Filtrelenmiş interferogram görüntüleri (c)Diferansiyel interferogram görüntüleri (d) Koherens görüntüleri	70
Şekil 4.35 Faz çözümlemesi yapılmış görüntüler.....	71
Şekil 4.36 Deformasyonun olmadığı alanın değerinin görüntülerden çıkartıldıktan	

sonra elde edilen sonuç (Line of Sight motion) görüntüleri	71
Şekil 4.37 Balçova alt alanına ait Los (Line of Sight motion) verileri Google Earth görüntüsü ile birlikte (Siyah alanlar LiDAR ölçüm alanları)	72
Şekil 4.38 Agora alt alanına ait Los (Line of Sight motion) verileri Google Earth görüntüsü ile birlikte (Siyah alanlar LiDAR ölçüm alanları)	73
Şekil 4.39 İzmir Fayı Balçova segmenti Balçova alt alanına ait Los verileri kullanılarak elde edilen deformasyon değeri(2008-2013)	74
Şekil 4.40 İzmir Fayı Balçova segmenti Balçova alt alanına ait Los verileri kullanılarak elde edilen deformasyon değeri(2008-2014)	74
Şekil 4.41 İzmir Fayı Balçova segmenti Balçova alt alanına ait Los verileri kullanılarak elde edilen deformasyon değeri(2008-2015)	75
Şekil 4.42 İzmir Fayı Balçova segmenti Balçova alt alanına ait Los verileri kullanılarak elde edilen deformasyon değeri(2013-2014)	75
Şekil 4.43 İzmir Fayı Balçova segmenti Balçova alt alanına ait Los verileri kullanılarak elde edilen deformasyon değeri(2013-2015)	76
Şekil 4.44 İzmir Fayı Balçova segmenti Balçova alt alanına ait Los verileri kullanılarak elde edilen deformasyon değeri(2014-2015)	76
Şekil 4.45 İzmir Fayı Balçova segmenti Agora alt alanına ait Los verileri kullanılarak elde edilen deformasyon değeri(2008-2013)	77
Şekil 4.46 İzmir Fayı Balçova segmenti Agora alt alanına ait Los verileri kullanılarak elde edilen deformasyon değeri(2008-2014)	78
Şekil 4.47 İzmir Fayı Balçova segmenti Agora alt alanına ait Los verileri kullanılarak elde edilen deformasyon değeri(2008-2015)	78
Şekil 4.48 İzmir Fayı Balçova segmenti Agora alt alanına ait Los verileri kullanılarak elde edilen deformasyon değeri(2013-2014)	79
Şekil 4.49 İzmir Fayı Balçova segmenti Agora alt alanına ait Los verileri kullanılarak elde edilen deformasyon değeri(2013-2015)	79
Şekil 4.50 İzmir Fayı Balçova segmenti Agora alt alanına ait Los verileri kullanılarak elde edilen deformasyon değeri(2014-2015)	80

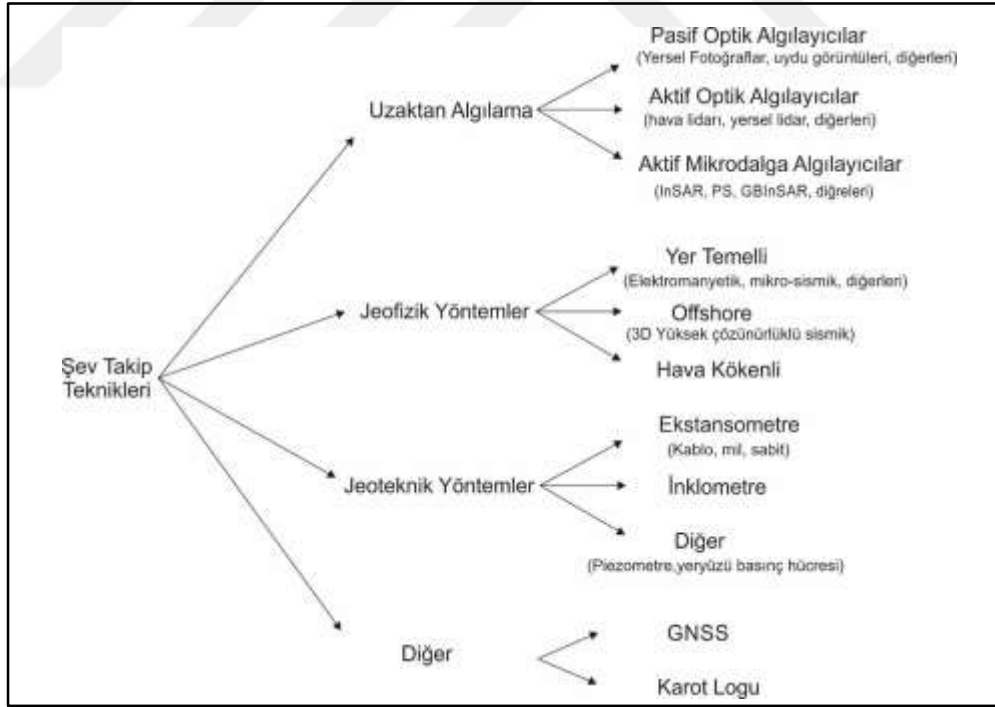
TABLÖLAR LİSTESİ

	Sayfa
Tablo 2.1 Kütle hareketlerini etkileyen malzeme özellikleri.	8
Tablo 2.2 Heyelan hareketlerinin sınıflandırılması	10
Tablo 3.1 Spektral alan ve dalga boyları.....	21
Tablo 3.2 Pasif ve aktif sistem uyduları.....	23
Tablo 4.1 İlk deformasyon analizlerinin yapıldığı TerraSAR-x görüntülerinin özellikleri -2008 yılı	66
Tablo 4.2 İlk deformasyon analizlerinin yapıldığı TerraSAR-x görüntülerinin özellikleri -2015 yılı	67

BÖLÜM BİR

GİRİŞ

Heyelan, bir eğimli yüzey üzerindeki kaya, zemin veya yapay dolgu malzemesinin yerçekiminin etkisiyle eğim yönünde harekete geçmesi olarak tanımlanmaktadır. Bu hareketi çoğu zaman deprem ve aşırı yağışlar tetiklemektedir. Geçmişten buyana ülkemizde çeşitli büyüklüklerde heyelanlar yaşanmakta ve yeryüzü şekillerini değişikliğe uğratmaktadır. Bu hareketler sonucunda kimi zaman can kimi zamansa büyük ekonomik kayıplar meydana gelmektedir. Heyelan hareketleri bir doğa olayı olsa da önlenemez bir felaket değildir. Doğru izleme yöntemleri ve alınacak önlemlerle heyelan hareketleri nedeniyle oluşan hasarlar en aza indirilebilir. Günümüzde heyelan hareketlerini izlemek için birçok anabilim dalını (jeofizik, jeoloji ve maden) kullanmak mümkündür. Heyelanlı alanların izlenmesi amacıyla birçok yöntem geliştirilmiş olup bu yöntemler Michoud ve diğer. (2012) tarafından verilerin toplanış şekline göre Şekil 1.1’de gösterildiği gibi temel 4 başlık altında toplanmıştır.



Şekil 1.1 Heyelan izleme sistemleri (Michoud ve diğer., 2012)

Uygulama kısmında can veya mal kaybına neden olmayan uzaktan algılama yöntemleri, günümüzde heyelan hareketlerinin izlenmesinde kullanılabilirliği önem

kazanmıştır. Uzaktan algılama yöntemleri içinde de 3 boyutlu yüksek hassiyetli veri üretebilen radar uydu görüntüleri (DInSAR) ve lazer tarama tekniklerinin (LiDAR) kullanımı ön plana çıkmaktadır. Çalışma kapsamında kullanılan uzaktan algılama yöntemleri ile ilgili daha öncelerde de birçok bilim adamı araştırmalarda bulunmuşlardır.

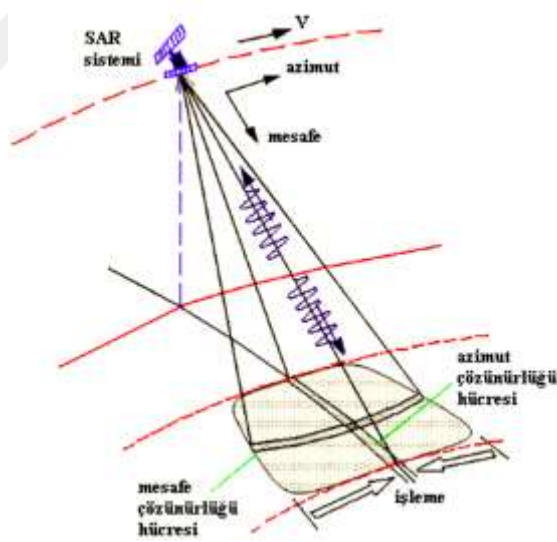
Heyelanlı alanların takibinde günümüze kadar ağırlıklı olarak ekstansometre, inklinometre gibi yerinde ölçüm aletleri ve total station, GPS gibi topografik ölçüm aletleri kullanılmıştır (Caswell, 1992; Dunncliff, 1993; Kane ve Beck, 2001; Konak ve diğer., 2004; Wiecezorek ve Snyder, 2009; Özdoğan ve diğer., 2013). Son yıllarda ise, uzaktan algılama biliminin heyelan takibinde kullanımı gittikçe artmaktadır (Siegal ve Gillespie, 1980; Gupta, 2003; Aronoff, 2005; Jensen, 2006; Richards 2006).

Uzaktan algılama yöntemlerinden yararlanarak yapılan çalışmalarda hareketin 3 boyutta takibinin yapılabilmesi için RADAR (SAR) uyduları ya da LiDAR sistemlerinin (Gupta, 2003; Jensen, 2006; Şengün, 2010; Düzgün ve Demirel, 2011) kullanılması gerekmektedir. Radar uydu görüntüleri uydu üzerinden mikrodalga sinyallerinin gönderilip geri toplanması esasına dayanmakta ve bu sayede yeryüzünden 3. boyut hakkında bilgi toplayabilmektedir. RADAR uyduları yüzey hareketlerinin belirlenmesinde ise en az iki adet radar uydusunun aynı yerden görüntü alması ya da aynı uydunun aynı noktadan en az iki ölçüm alması esasına dayanan ve iki ölçüm arasındaki faz farkından düşey hareketi belirleyen InSAR (Zebker ve diğer., 1986; Lin ve diğer., 1992; Massonnet ve diğer., 1993; Rosen ve diğer., 1996; Massonnet ve Feigl, 1998; Klees ve Massonnet, 1998; Rott ve diğer., 1999; Baran ve diğer., 2003; Kampes, 2006; Sefercik, 2007; Şengün, 2010; European Space Agency, 2014a-b-c) yöntemini kullanmaktadır.

InSAR yöntemi ile deformasyon miktarının belirlenmesi için aynı alandan birçok radar görüntüsü gerekmektedir. Bu ise her zaman mümkün olmamaktadır. Özellikle heyelanlı alanlar gibi spesifik alanlar üzerinde çalışıldığında InSAR yöntemi ile interferogram oluşturup deformasyon haritası oluşturacak yeterlilikte görüntü sayısı elde edilmeyebilmektedir. Bu durumda son yıllarda geliştirilen DInSAR (Rocca, 2014;

TRE Sensing the Planet DInSAR: Differential InSAR, 2014) yöntemi devreye girmektedir. DInSAR yöntemi de InSAR yönteminde olduğu gibi interferometri oluşturma ve bu interferometri üzerinden deformasyon haritası oluşturma esasına dayanmaktadır. Ancak burada DInSAR yöntemi sayısal yükseklik modeli verilerini de analizlere katarak sadece iki görüntüden analiz yapabilme imkanı sunmaktadır. Her iki yöntemde de analiz mantığı aynı şekilde çalışmaktadır. Bu anlamda, DInSAR yöntemi, InSAR sisteminin deformasyon analizi için tasarlanmış özel bir durumudur.

SAR, Yapay Açıklıklı Radar'ın İngilizce karşılığı olan "Synthetic Aperture Radar" teriminin baş harflerinden oluşan bir kısaltmadır. SAR teknolojisi, mikrodalgaları yayıp bunların geri dönüş sinyallerini kaydederek çalışan bir sistemdir. Sistem, geri dönen sinyallerin gecikmelerini kullanarak sinyal işleme tekniğiyle bunları yüksek çözünürlüklü görüntülere dönüştürür. Şekil 1.2'de SAR sistem geometrisi verilmektedir.



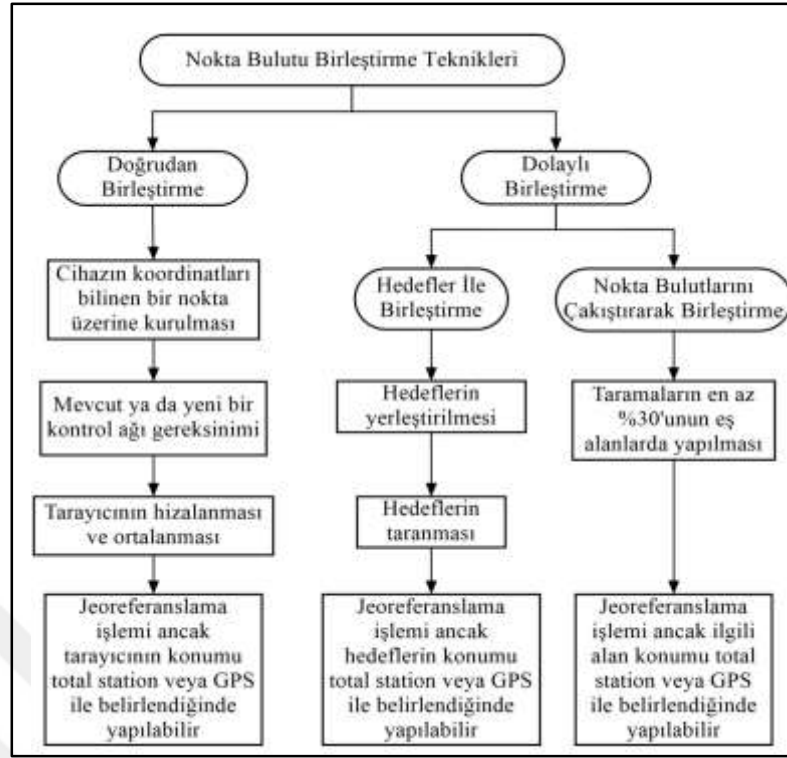
Şekil 1.2 SAR görüntüleme sistemi (Akçın, 2009)

DInSAR yöntemi yeni bir yöntem olmakla beraber topografik deformasyon ölçümlerinde kısmen kullanılmaya başlamıştır. Ülkemizde de topografyada meydana gelen deformasyonların izlenmesi amaçlı yapılan DInSAR analizleri az sayıda ve başlangıç aşamasında olan çalışmalardır (Akçın ve diğer., 2009; Kutoğlu ve diğer., 2009; Canaslan, 2010; Kemaldere, 2011; Köksal 2011). Bahsedilen bu çalışmalar,

çoğunlukla madencilik disiplininde tasman hareketlerinin belirlenmesi ile fay hareketini incelemeye yönelik analizlerdir. Şev kaymalarının ve heyelanların karmaşık veya ölçülmesi zor bölgelerde olduğu durumlarda bu teknolojiden etkin bir şekilde faydalanılması, araştırmalarda büyük kolaylıklar sağlayabilmektedir.

Teknolojik gelişmeler doğrultusunda mühendislik uygulamalarına yeni bir boyut kazandıran lazer tarayıcılar, yer bilimleri araştırmalarında da yeni bir vizyonun gelişmesini sağlamıştır. Lazer tarama cihazı yüksek seviyede ayarlanmış doğrusal, uyumlu ve faz elektromanyetik radyasyon üreten ve geri alan bir cihazdır. Genel tanımlaması LiDAR (Light Detection and Ranging-Işık Algılama ve Mesafe Ölçer) olan bu sistemler iki farklı türde geliştirilmiştir. Bu iki farklı sınıflandırma, cihazın konumu baz alınarak yapılmıştır. Bunlar ALS (airborne-based hava platform temelli) ve TLS (groundbased, yer temelli Lazer tarayıcı) olarak adlandırılmaktadır (Zeybek ve Şanlıoğlu, 2013).

Lazer tarayıcılardaki çözünürlük kavramı, taraması yapılacak olan bölgeye ait nokta bulutları verisinin nokta aralığı ve istenilen detay derecesine bağlı olarak değişen bir parametre olarak tanımlanabilir. Açısal çözünürlük ve obje ile tarayıcı arasındaki mesafe, isteğe bağlı olarak değiştirilebilir. Bu parametreler, genellikle nokta aralığı ve ışık hüzmesinin genişliği (tarayıcı ve obje arasındaki mesafe) olarak adlandırılabilir. ALS sistemleri için tarama yoğunlukları genellikle 0,5 ile 100 nokta/m² olurken; TLS sistemlerinde ise genellikle 50 ile 10000 nokta/m²'dir. Bunlara ek olarak, tarama yoğunluğu, konuma bağlı olarak yansıyan sinyalin elde edilmesine bağlıdır. Parametreler esasen ışığın dalga boyu, objenin türü (yansıyan yüzeyin rengi ve pürüzlülüğü), toprağın nem derecesi ve görüş açısı ile doğrudan ilgilidir (Zeybek ve Şanlıoğlu, 2013). LiDAR sistemleri farklı noktalarda (istasyon) konumlandırılıp elde edilen nokta bulutu verileri birleştirilebilmektedir. Bu birleştirme teknikleri ile alansal ölçümlerin genişliği artabilmektedir. Nokta bulutu birleştirme teknikleri Şekil 1.3'de verilmiştir.



Şekil 1.3 LiDAR ile üretilen nokta bulutlarının birleştirilmesi ve jeoreferanslama (Genechten, 2008'den değiştirilerek)

BÖLÜM İKİ

HEYELAN, DEPREM VE FAY HAREKETLERİ

2.1 Heyelan Hakkında Kuramsal Bilgi

Toprak, taş veya bunların karışımından oluşan bir zeminin ya da çeşitli kayaçların, bir yüzey üzerinde, aşağıya ve dışarıya hissedilebilir bir şekilde hareket etmesine *heyelan* denir (Erguvanlı 1982). Bu hareketin hızı ve büyüklüğü su miktarı ve yamacın eğimi ile orantılı olarak değişiklik göstermektedir. Bilindiği gibi doğal afetler ekonomik, sosyal ve özelliklede psikolojik sorunlara neden olmaktadır. Ülkemiz de ise özellikle heyelanların görüldüğü bölgeler Doğu ve Batı Karadeniz Bölgeleri ile Marmara Bölgesidir (Şekil 2.1).



Şekil 2.1 Türkiye Heyelan Yoğunluk Haritası (AFAD, 2008)

Heyelanlar veya kütle hareketleri (Mass Movements), kaya, zemin (altere toprak) veya her ikisinin karışımından oluşmuş malzeme içerisinde meydana gelmekle beraber suni şevler de (yapay dolgular gibi) heyelan potansiyeli yaratmaları bakımından önemlidir (Ünsal, 2010).

Heyelanlar tek bir hareket şeklinde oluşabildikleri gibi, küçük ölçekli birden fazla heyelan aynı anda hareket ederek büyük ölçekte bir harekette oluşturabilmektedir. Özellikle küçük ölçekli oturmaların oluşturduğu çatlak sistemleri yağışın olduğu havalarda zeminin suya doygun hale gelmesine yol açmaktadır. Bu durum sonucunda geniş ölçekli bir heyelan kütlesi içerisinde daha küçük ölçekli heyelanlar meydana gelmektedir. Heyelan araştırmaları konusunda birçok anabilim dalı çalışmalar yapmakta ve çeşitli sonuçlara varmaktadır. Bu anabilim dalları yeryüzünün en üstü ile ilgili olan coğrafya, yerkürenin fiziksel ve matematiksel parametreleri ile ilgili olan jeofizik mühendisliği, yeryüzünde bulunan mineral ve kayaların hakkında bilgili jeoloji mühendisleri olarak sıralamak mümkündür. Bu anabilim dallarına ek olarak inşaat mühendisleri de eklenebilmektedir.

Hiçbir yamaç hareketi ani veya sürpriz bir şekilde gelişmemektedir. En hızlı şekilde nitelendirilebilecek heyelanlar bile çok öncesinden gelecekleri ile ilgili belirti vermektedirler. Tüm bunlara dikkat eden kişiler veya kurumlar heyelanların acılara neden olmasını engelleyebilirler. Önemli olan heyelanların gelmeden önce vereceği işaretleri görüp, onları doğru yorumlayabilmektir. Değerlendirmeyi ve yorumlamayı yapacak olan kişilerin bilgi veya deneyimlerinin fazla olması, yamaç hareketlerinin yaratacağı tehlikelerin analizinde büyük bir önem taşımaktadır.

2.1.1 Heyelan Hareketlerine Neden Olan Başlıca Unsurlar

Arazi gözlemleri, kütle hareketlerini başlatan başlıca unsurları aşağıdaki gibi sıralamak mümkündür;

- a) *Yamaç malzemelerinin türü:* Yamaç malzemeleri, sağlam kaya kütlesi veya kayaların bozunmuş kısımlarından oluşan (toprak dahil) zemin (regolith) olabilir. Bu malzemeler, tutturulmamış (gevşek ve çimentolanmamış, unconsolidated) veya tutturulmuş (sıkışmış ve çimento mineralleri ile bağlanmış) olabilirler (Dirik, 2006).

- b) *Malzemelerin su içeriği*: Malzemelerin içindeki su miktarı (su içeriği) malzemelerin ne kadar gözenekli (taneler arası boşluklu) ve ne kadar yağmur veya diğer kaynaklardan su aldığına bağlıdır (Dirik, 2006).
- c) *Yamacın eğimi ve duraysızlığı (instability)*: Yamaç eğimi ve duraysızlığı, yamaç malzemelerinin düşme, kayma ve bazı koşullarda akma eğilimlerini değiştirmektedir (Dirik, 2006).

Yukarıda belirtilen unsurlar doğada karşılaşılabilecek unsurlardır. Fakat aralarından insan etkilerine en fazla bağlı olan yamacın duraysızlığı ve de su içeriğidir.

Tüm bunlar ile birlikte sayılan bu üç unsurunda etkisi aynıdır. Kısacası kaymaya olan diren. azalmakta, yerçekimi kuvvetleri ağır basmakta ve kütle hareket etmeye başlamaktadır. Kütle yani heyelan hareketlerini etkileyen malzeme özellikleri Tablo 2.1’de ifade edilmiştir.

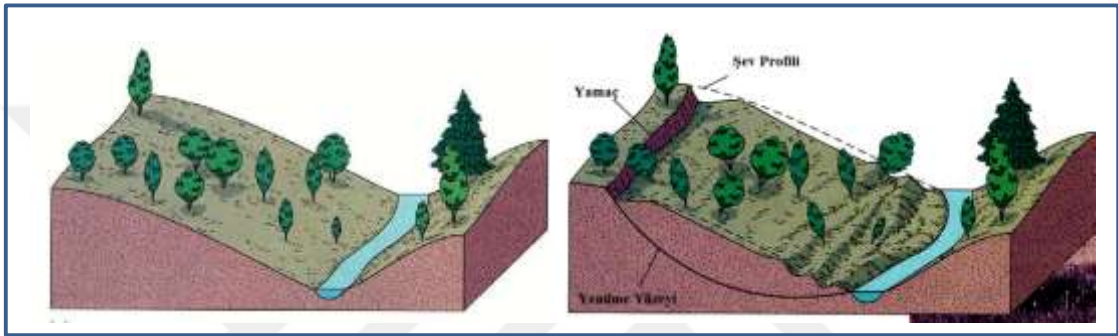
Tablo 2.1 Kütle hareketlerini etkileyen malzeme özellikleri (Dirik,2006)

KÜTLE HAREKETLERİNİ ETKİLEYEN MALZEME ÖZELLİKLERİ			
YAMAÇ MALZEME TÜRÜ	YAMAÇ EĞİMİ	SU İÇERİĞİ	HAREKET OLASILIĞI
Gevşek kum veya kumlu silt	Doğal açı	Kuru Islak	Kazı ile yamaç eğimi artmazsa duraylı Kum suya doygunsa akabilir
Kum, silt ve topraktan oluşan karışım	Orta	Kuru Islak	Kazı ile yamaç eğimi artmazsa duraylı Heyelan, kayma veya akmaya eğilimli
	Yüksek	Kuru Islak	Geçici olarak duraylı Kayma veya akmaya çok eğilimli
Çatlaklı ve deforme kayac	Orta-yüksek eğimli	Kuru veya ıslak	Kaya düşmesi veya kayması olabilir
Sağlam kayac	Orta	Kuru veya yaş	Duraylı
	Yüksek	Kuru veya yaş	Kaya düşmesi veya kayması olabilir

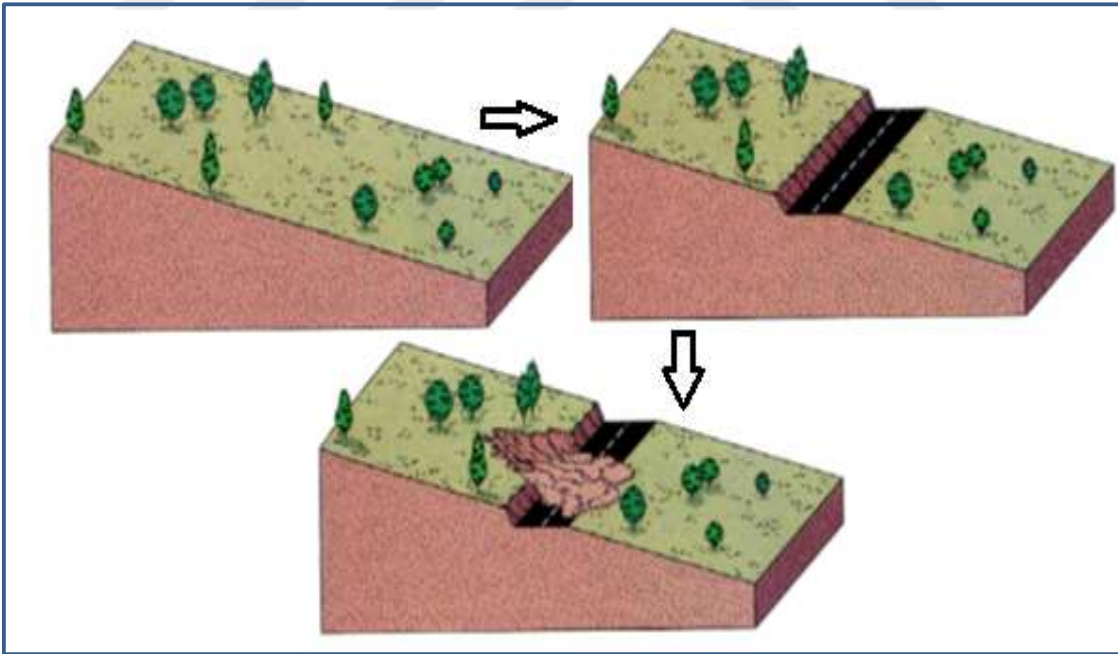
Kütle hareketleri yani heyelanları tetikleyen birçok malzeme özelliği bulunmaktadır. "Uygun malzeme" kavramı, su ve yüksek yamaç açıları ile bir araya geldiğinde, kayma veya akma hareketleri önlenememektedir. Bu durumda ihtiyaç duyulan bir tetiklemedir. Çoğu kez bu tetikleme önemli bir yağış olgusundan sonra gelişmektedir. Buna ek olarak depremlerde kütle hareketlerini kolaylaştıran faktörler arasına girmektedir. Sismik hareketler sırasında, yapı ve zemin uyumsuzluğu içerisinde sivilaşma adı verilen bir olay gerçekleşmektedir. Bu olay, hareket sırasında suya doygun olan kumlu seviyelerin sarsılmalar ile birlikte akışkan gibi davranarak

taşıdıkları birimleri (ve varsa yapıları) taşıyamaz hale gelmesi ile açıklanmaktadır. Ülkemizde buna benzer bir olay 1999 Gölçük Depremi sırasında Gölyaka beldesinde gerçekleşmiştir. Tamamen sağlam olan binalar sıvılaşmanın etkisi ile zemin içine gömülmüşlerdir.

İrmak aşındırması ile altının oyulması şev açısını arttırmaktadır. Bu durum Şekil 2.2’de ifade edilmektedir. Yol kazıları da bir şevin dengesini bozan bir etmendir. Bu durum da heyelanlara neden olmaktadır (Şekil 2.3).



Şekil 2.2 İrmak aşındırması ile oluşan heyelan hareketleri (Dirik, 2006)



Şekil 2.3 Yol çalışmalarının neden olduğu heyelan hareketleri (Dirik, 2006)

2.1.2 Heyelan Hareketlerinin Sınıflandırılması

Günümüzde her türlü kütle hareketi halk tarafından heyelan olarak adlandırılmaktadır. Böyle olmasına karşın birbirinden farklı yönleri bulunan bu hareketlerin isimlendirilmesi de gerekmektedir. Heyelanın hareketlerini aşağıda ifade edildiği gibi detaylandırmak mümkündür.

a) *Hareketin türü:* Akma, kayma, düşme ve kompleks şeklinde olabilir. Kayma, az çok bir birim şeklinde olan harekettir. Akmada ise malzeme akışkan gibi davranmaktadır.

b) *Hareketin hızı*

c) *Malzemenin türü*

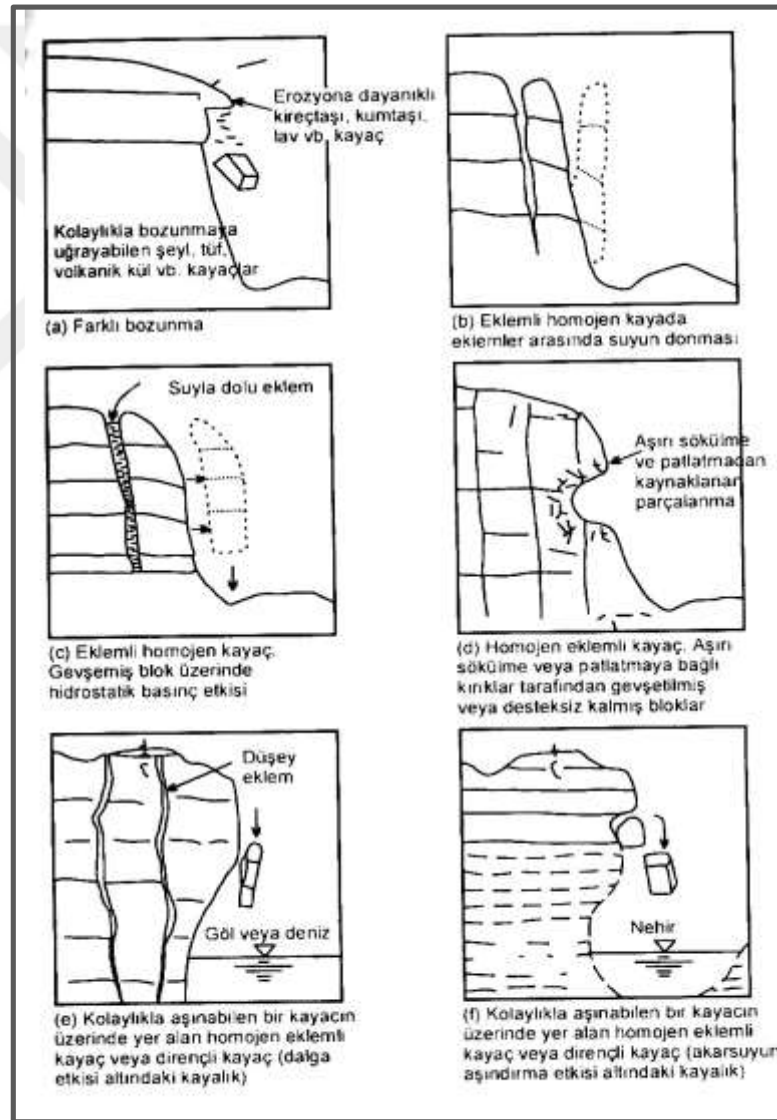
Heyelan hareketlerini Tablo 2.2' verildiği gibi kısaca sınıflandırmak mümkündür.

Tablo 2.2 Heyelan hareketlerinin sınıflandırılması (Varnes, 1978)

HAREKET TÜRÜ		Malzemenin türü		
		KAYAÇLAR	ZEMİNLER	
			İri Daneli	İnce Daneli
<u>DÜŞME</u>		Kaya Düşmesi	Moloz Düşmesi	Zemin Düşmesi
<u>DEVİRİLME</u>		Kaya Devrilmesi	Molozda devrilme	Zeminde devrilme
<u>AKMA</u>	Yavaş	Kaya Kripi	Moloz Kripi	Zemin Kripi
	Hızlı	Çok Parçalı Kayaç Akması	Moloz Akması	Zemin Akması
<u>KAYMA</u>	Ötelenmeli	Kayada blok türü ötelenme	Zeminde ve molozda blok türü ötelenme	
	Dönel (Dairesel)	Sıkı Çatlaklı Kayada dönel kayma	Zeminde ve molozda dönel kayma	
<u>YANAL YAYILMA</u>		Kaya yayılması	Zemin veya moloz yayılması	
<u>KARMAŞIK</u>		Hareket Türü ve Malzeme Karışık		

2.1.2.1 Düşme

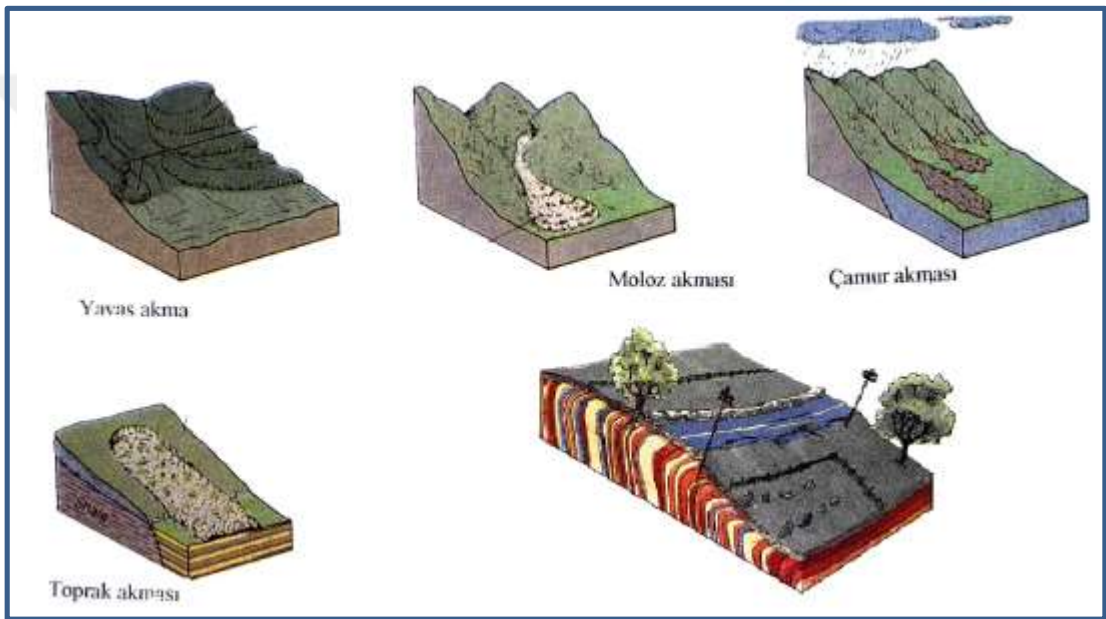
Deniz, göl kenarlarından, dik kazı şevlerinden, dik yamaçlardan, mağara tavanlarından, sivri dağ doruklarından, özellikle deniz kenarındaki dik falezlerden, süreksizlik yüzeyi ile sınırlanmış münferit bloklarının değişik boy ve çeşitteki kaya veya zemin parçalarının yer çekimi etkisi ile aşağıya doğru hareket ederek düşmesi olayıdır. Düşen malzemenin cinsine göre “Kaya Düşmesi, Moloz Düşmesi, Zemin (Toprak) Düşmesi” gibi isimlendirilebilirler (Ünsal, 2010). Kaya kütlelerinde kaya düşmesine neden olan süreçler Şekil 2.4 ‘de gösterilmiştir.



Şekil 2.4 Kaya düşmesine neden olan süreçler (Ulusay, 2001)

2.1.2.2 Akma

Pekişmemiş malzemelerin kuru veya dolgun halde ve hızlı veya yavaş şekilde yamaç boyunca kıvamlı bir sıvı gibi hareket etmeleri, akma hareketine neden olmaktadır. Kuru kumlar ile kil boyutundan moloz boyutuna kadar değişen malzemelerde bu tür duraysızlık gelişebilmekte ve çamur akması, kum akması ve moloz akması şeklinde adlandırılabilir (Ulusay, 2001; Ünsal, 2010). Bazı akma türleri Şekil 2.5’ de gösterilmiştir.



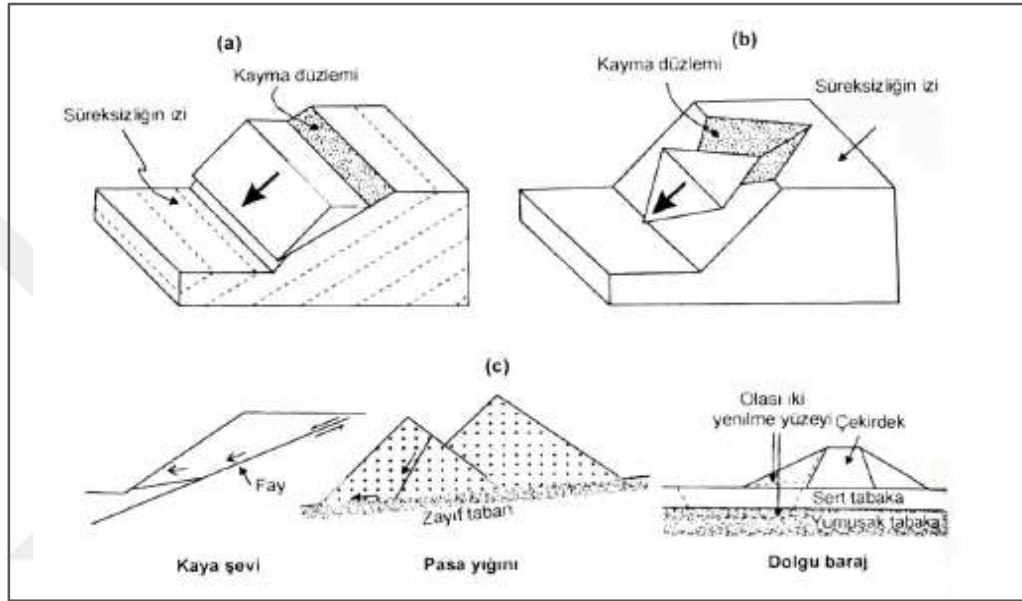
Şekil 2.5 Akma türlerinden bazıları (Ünsal, 2010)

2.1.2.3 Kayma

Kayma, sevi meydana getiren malzemede, belli bir yüzey boyunca ve makaslama yenilmesine bağlı olarak, düzlem üzerinde kazı boşluğuna doğru ötelenmeli ya da dönel bir hareket sonucunda oluşan bir duraysızlık olarak adlandırılmaktadır. Şekil 2.6’da dönel (dairese) kayma hareketi gösterilirken Şekil 2.7’de ötelenmeli kayma hareketi gösterilmiştir.



Şekil 2.6 Dönel kayma hareketi (Ünsal, 2010)

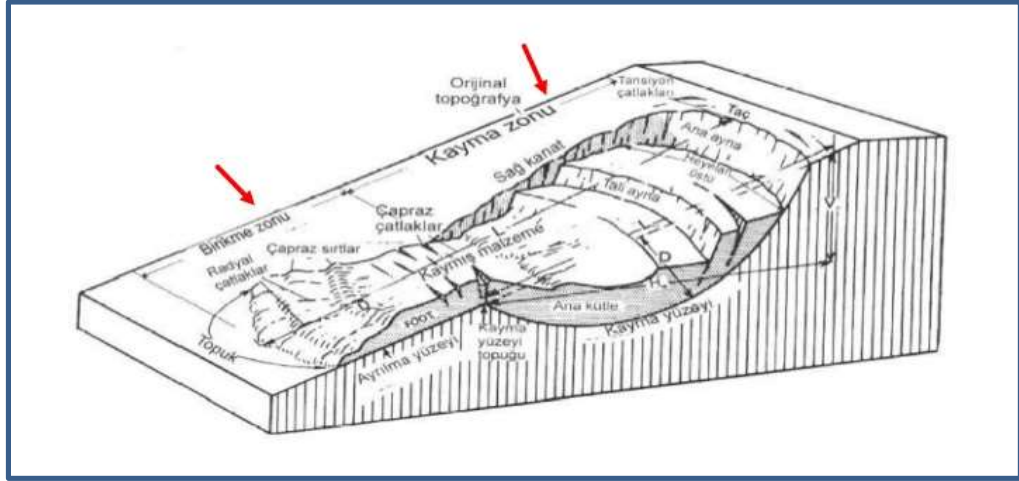


Şekil 2.7 a) Düzlemsel kayma b) Kama tipi kayma c) Farklı ortamlarda gelişebilen çok yüzeyli kaymalar (Ulusay, 2001)

2.1.3 Heyelan Bölümleri

Heyelan kütlesi üzerinde birbirinden farklı karakteristik bölümler bulunmaktadır (Şekil 2.8). Bunlar;

- Taç
- Ana (Esas) Ayna
- Tepe
- Ana Kütle
- Çapraz (Enine) Çatlaklar
- Topuk



Şekil 2.8 Heyelanın bölümleri (Ünsal, 2010)

2.2 Deprem ve Fay Hareketleri Hakkında Kuramsal Bilgi

Tez çalışmasının bu bölümünde, fay, fay çeşitleri, deprem ve depremsellik hakkında bilgiler verilecektir.

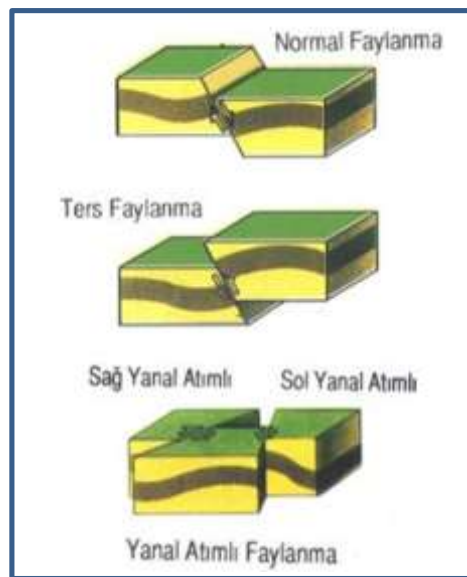
2.2.1 Fay ve Fay Çeşitleri

Fay, bir kayacın yerici dinamizmi ile kırılarak göreceli olarak yer değiştirme hareketinde bulunması olarak adlandırılmaktadır. Fay çeşitlerini genel anlamda aşağıdaki gibi sıralamak mümkündür. Bunlar;

- *Normal Fay:* Gerilmeli bölgelerde, bir fay düzlemi üzerinde kalan bloğun, düzlemin altında kalan bloğa göre aşağı doğru hareket etmesi yani kayması sonucu meydana gelen faya Normal Fay adı verilmektedir. Düzleme baktığınızda altta bulunan bloğa Taban Bloğu, düzleminin üzerinde bulunan bloğa ise Tavan Bloğu olarak adlandırılır. Bazı durumlarda iki yanı da normal faylar tarafından düşürülmüş olan tavan blokları, çöküntü alanlarını oluşturabilir. Her iki yanı normal faylarla sınırlandırılmış olan bu tür çöküntü alanları Graben adını almaktadır. Bunun karşın yükselti alanları ise Horst olarak adlandırılmaktadır.

- *Ters Fay:* Bindirme fayları olarak da adlandırılmaktadır. Bir fay düzlemi üzerinde kalan bloğun, düzlemin altında kalan bloğa göre yukarı doğru hareket etmesi sonucu gelişen bu faylar Ters Fay adını almaktadırlar. Bu tür faylar sıkışmalı bölgelerde gelişirler. Bunun sonucunda da tabakaların ilksel yapıları bozularak, kıvrımlı yapılar meydana gelmektedir. Böylelikle dağ kuşakları da oluşmaktadır.
- *Doğrultu Atımlı Fay:* Doğrultu Atımlı Faylar, fay düzlemi boyunca blokların birbirine oranla yanal yönde hareket etmesi sonucu oluşurlar. Bu tür faylarda bloklar birbirlerine göre sağa veya sola doğru hareket ederler. Fayın hareket yönü, dere, yol, duvar gibi daha önce ötelenmemiş olan bir doğrusal hattın, faylanma sonrası göreceli olarak hangi tarafa doğru ötelenmiş olduğunun belirlenmesi yoluyla bulunur. Buna göre, gözlemcinin karşısında duran bloktaki obje (yol, duvar vs.) fay hareketinin ardından sağa doğru kaymışsa, söz konusu fay Sağ Yanal Doğrultu Atımlı Fay, sola doğru kaymışsa Sol Yanal Doğrultu Atımlı Fay olarak adlandırılır. Dünyadaki en önemli fay zonlarından ikisini; Amerika’da bulunan San Andreas Fayı ve ülkemizdeki Kuzey Anadolu Fayıdır (KAF) (www.jeofizikmuhendisleri.com).

Şekil 2.9’ da fay çeşitlerinin görsel halleri bir arada verilmiştir.



Şekil 2.9 Fay çeşitleri (Ünsal, 2010)

2.2.2 Deprem Kavramı

Deprem kavramının; jeolojik, fizik, matematik ve jeofizik anlamda birçok birbiri ile ilişkili anlamı ve tanımı bulunmaktadır. Fakat genel anlamda “yer içinde biriken deformasyon enerjisinin aniden ortaya çıkmasıdır” şeklinde tanımlanmak mümkündür.

Depremleri üç şekilde sınıflandırmak mümkündür. Bunlar;

- Kuvvet sistemine göre depremler
- Büyüklüklerine göre depremler
- Odak derinliklerine göre depremler

2.2.2.1 Kuvvet Sistemine Göre Depremler

Kuvvet sistemine göre depremler kendi aralarında da üç çeşide ayrılmaktadır. Bunlar;

- a) Tektonik Depremler:* Yerkabuğunun oluşumlarının kökeni olan depremlerdir. Bir bölgedeki tektonizmayı biçimlendiren depremler bu tür depremlerdir.
- b) Volkanik Depremler:* Bir volkanın kısa ve uzun faaliyetleri süresince volkanın neden olduğu depremlerdir. Volkandan önce, faaliyetleyken veya sonrasında olabilir. Bu tür depremler derinlerde oluşmaktadır.
- c) Çöküntü Depremleri:* Yerkabuğunda ya doğal kökenli ya da yapay kökenli çöküntülerin oluşturduğu depremlerdir.

2.2.2.2 Büyüklüklerine Göre Depremler

Büyüklüklerine göre depremleri 7 gruba ayırmak mümkündür;

- 3,0 ve 3,0’ dan küçük büyüklükte olanlar - Çok küçük depremler
- 3,0-4,0 büyüklükleri arasında olanlar - Küçük depremler
- 4,0-5,0 büyüklükleri arasında olanlar - Hafif depremler

- 5,0-6,0 büyüklükleri arasında olanlar - Orta büyüklükteki depremler
- 7,0-8,0 büyüklükleri arasında olanlar - Büyük depremler
- 8,0-9,0 büyüklükleri arasında olanlar - Çok Büyük depremler
- 9,0 ve 9,0' dan büyük büyüklükte olanlar - Çok çok büyük depremler

2.2.2.3 Odak Derinliklerine Göre Depremler

Odak derinliklerine göre depremleri aşağıdaki gibi sınıflandırmak mümkündür. Bunlar;

- a) Sığ depremler:* Odak derinliği 0 ile 70 kilometre derinlikte oluşan depremlerdir. Genellikle etkileri büyüktür.
- b) Orta depremler:* Odak derinliği 70 ile 300 kilometre derinlikler arasında değişen depremlerdir.
- c) Derin depremler:* 300 kilometreden büyük odak derinliklerde oluşan depremlerdir.

2.2.3 Depremlerin Yeryüzündeki İzleri

Depremler aniden enerjisini boşalttıkları zaman yeryüzünde çeşitli izler bırakmaktadır. Bunları aşağıdaki gibi sıralamak mümkündür;

- Faylar
- Yüzey Çatlakları
- Metan Gazı Çıkışı
- Tsunami
- Kum Hunileri
- Deprem Heyelanları
- Sıvılaşma

2.2.4 Deprem İstatistiği

Depremler ile ilgili sayısal veriler üzerinde yapılan işlemlere deprem istatistiği adı verilmektedir. Deprem istatistiğinde;

- Depremi oluş zamanı (Tarih-saat),
- Konumu (Enlem- Boylam),
- Depremi derinliği,
- Depremi büyüklüğü,
- Depremi şiddeti,
- Depremi yeri (En yakın yerleşim birimi ne isi onun adı verilmektedir) gibi bilgiler yer almaktadır. Bu tür verilerin yer aldığı arşivlere de deprem kataloğu adı verilmektedir.

2.2.5 Deprem Tehlikesi ve Deprem Riski

Deprem tehlikesi, deprem ile ilgili deprem potansiyelinin var olma durumu olarak adlandırılmaktadır. Burada bahsedilen deprem potansiyelleri; çatlak, kırık, jeoloji ve tektonik bulgulardır.

Deprem riski, deprem tehlikesinin gerçekleşmesi durumunda gerek yapı gerek insan her türlü olabilecek can ve mal kaybının gerçekleştirme olasılığıdır.

BÖLÜM ÜÇ

UZAKTAN ALGILAMADA LiDAR VE DiN SAR KULLANIMI

Uydu teknolojilerinin gelişmesi ile birlikte uzaktan algılama yöntemleri ilk olarak meteoroloji alanında kullanılmaya başlamıştır. Daha sonra da sonra birçok farklı alanda kullanılmaya devam etmiştir. Uzaktan algılama, arada herhangi bir fiziksel temas olmaksızın, uydu veya uçağa monte edilen algılayıcı sistemler yardımıyla atmosfer ve yeryüzüyle ilgili bilgilerin elde edilmesi olarak ifade edilmektedir (Dağ, 2013).

3.1 Uzaktan Algılama Hakkında Genel Bilgiler

Günümüzde uzaktan algılama yöntemi birçok alana ışık tutmaktadır. Bu alanlardan bazılarını şu şekilde sıralayabiliriz;

- Tıp: Tomografi, röntgen, ultrason, MR
- Jeofizik: Sismik, Gravite- Manyetik
- Jeoloji: Fotojeoloji, jeolojik uzaktan algılama
- Uzay teknolojileri
- Teknoloji: Fotoğraflar

3.1.1 Uzaktan Algılamaya Neden Gereksinim Duyarız

Dünyadaki doğal kaynakların hızla artan nüfus ile birlikte azalması, çevre kirliliği, beslenme, yeni yerleşim alanlarının bulunması, kaynakların etkin bir şekilde kullanılması gibi sorunları gündeme getirmiştir. Uzaydan yapılan gözlemlerle yani uydu görüntüleri ile yeryüzü küresel bir ölçekte gözlenebildiğinden, söz konusu sorunların çözümlenebilmesine yönelik güncel, ekonomik ve hızlı veri elde edilebilmektedir. Özellikle, bitkilerin gelişiminin izlenmesi, meteorolojik gözlemlerin yapılması, su kaynaklarının belirlenmesi, doğal felaketlerin izlenmesi gibi incelemeler uzaktan algılama teknolojisi kullanılarak yapılmaya başlanılmıştır (Dağ, 2013). Şekil 3.1’de uzaktan algılama ile ilgili görüntüler verilmiştir.

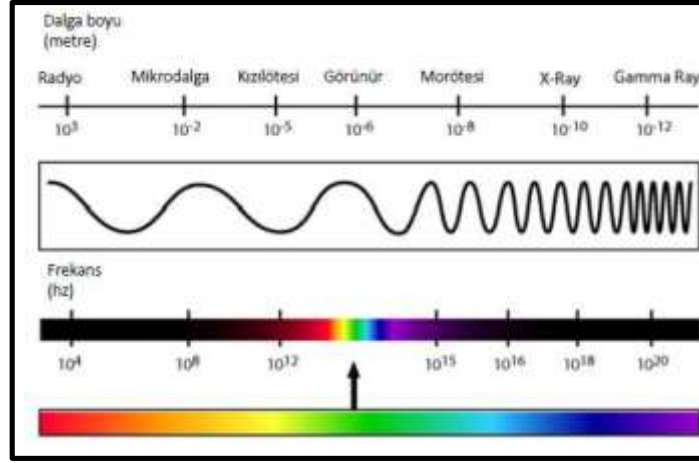


Şekil 3.1 Uzaktan algılama ile ilgili görüntüler (Dağ, 2013)

Günümüzde uzaktan algılama yöntemleri, yeryüzünden bilgi alabilmek amacıyla da kullanılmaya başlamıştır. Uzaktan algılama teknolojileri; yer yüzeyinden yansıyan ve yayılan enerjinin algılayıcılar ile algılanması, bunların kaydedilmesi, elde edilen materyalin bilgi alabilmek üzere işlenmesi ve bunun analiz edilmesinde kullanılmaktadır.

3.1.2 Çalışma Prensibi

Çalışma prensibi ile ilgili elektromanyetik spektrum görselini incelemek gerekmektedir (Şekil 3.2). Şekil incelendiğinde aralığın bir ucunda uzun dalga boyları (düşük enerjili radyo dalgaları) bulunurken, diğer ucunda ise kısa dalga boyları (yüksek enerjili gamma ışınları) bulunmaktadır. Örneğin; 0,4-0,7 μm arası dalga boyları görünür dalga boylarıdır ve insan gözüyle fark edilebilmektedir. Bununla birlikte uzaktan algılama sensörleri ile yeryüzüne ilişkin bilgi toplanabilmesi açısından en çok mikrodalga, görünür ve kızılötesi dalga boylarının aralıkları kullanılmaktadır.



Şekil 3.2 Elektromanyetik spektrum (Bağış, 2016)

Konu ile ilgili spektral alanlar ve bulundukları dalga boyları Tablo 3.1’ de ifade edilmektedir.

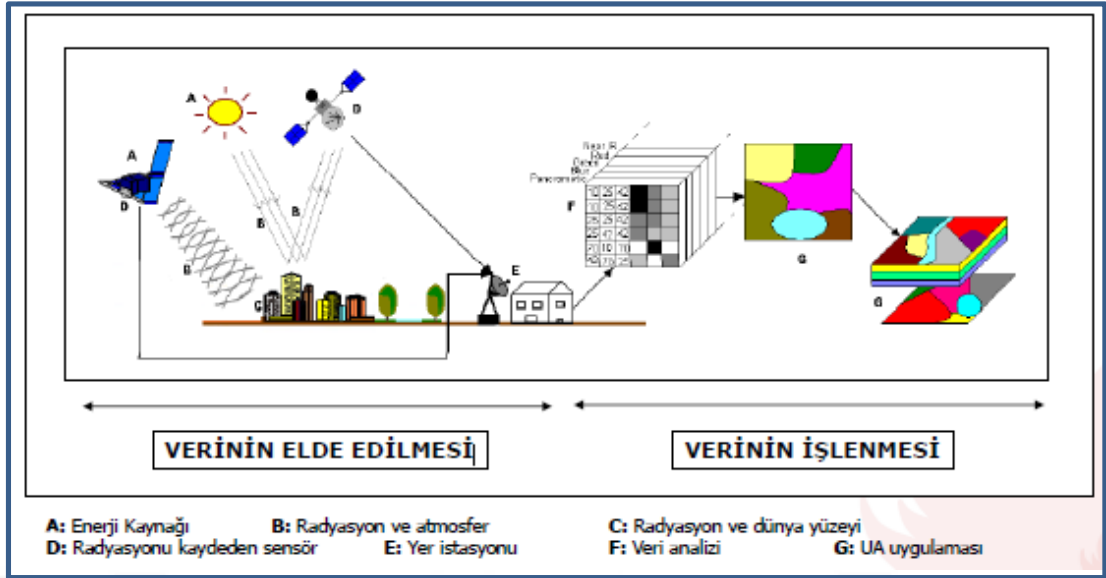
Tablo 3.1 Spektral alan ve dalga boyları (Dağ, 2013)

Spektral Alan	Dalga boyu
Gamma ışınları	< 0,03 nm
X ışınları	0,03 – 300 nm
UV	0,30 – 0,38 nm
Görünür	0,38 – 0,72 nm
Yakın Kızılötesi	0,72 – 1,30 nm
Orta Kızılötesi	1,30 - 3,00 nm
Uzak Kızılötesi	7,0 – 1000 nm
Mikro dalga ve radyo dalgası	> 1000 nm

3.1.3 Uzaktan Algılama Bileşenleri ve Veri Analizi

Uzaktan algılamada veri analizi süreci, iki aşamadan oluşmaktadır (Şekil 3.3). Bunlar;

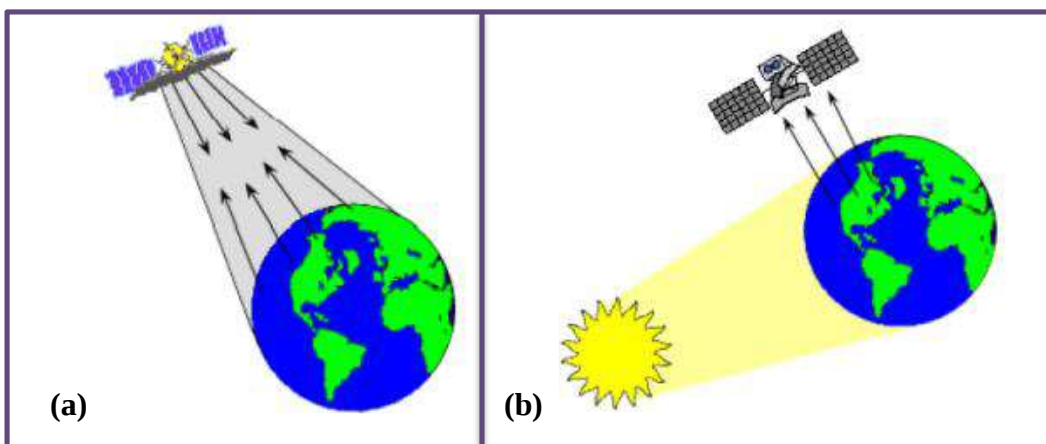
- Veri Elde Etme
- Veri İşleme



Şekil 3.3 Uzaktan algılama işlemleri (Dağ, 2013)

Şekil 3.3’de ilk kısım (A) enerji kaynağı oluşturmaktadır. Uzaktan algılama yöntemlerinde kaynak önemli bir faktördür. Hedefe bir kaynak tarafından enerji gönderilir ve bu kaynak hedefi aydınlatır veya hedefe elektromanyetik enerji gönderir. İki çeşit enerji kaynağı bulunmaktadır (Şekil 3.4). Bunlar;

- Aktif Enerji Kaynağı
- Pasif Enerji Kaynağı



Şekil 3.4 Uzaktan algılama enerji kaynakları. (a) Aktif enerji kaynağı, (b) Pasif enerji kaynağı (Dağ, 2013)

Pasif sistemler yeryüzünün doğal yayılım enerjisi veya güneş enerjisinin yansıtımını algılayan optik, ısı ve mikrodalga algılayıcılardır. Aktif Sistemler kendi enerji kaynaklarını kullanırlar. Hedefe ürettikleri elektromanyetik dalga sinyallerini yollar ve hedeften saçılan enerjiyi algılarlar. Diğer bir deyimle aktif algılayıcılar, yapay bir enerji kaynağı tarafından üretilen enerjinin hedeften saçılımını algılarlar (Dağ, 2013). Aktif ve pasif sistem uyduları Tablo 3.2’ de gösterilmiştir.

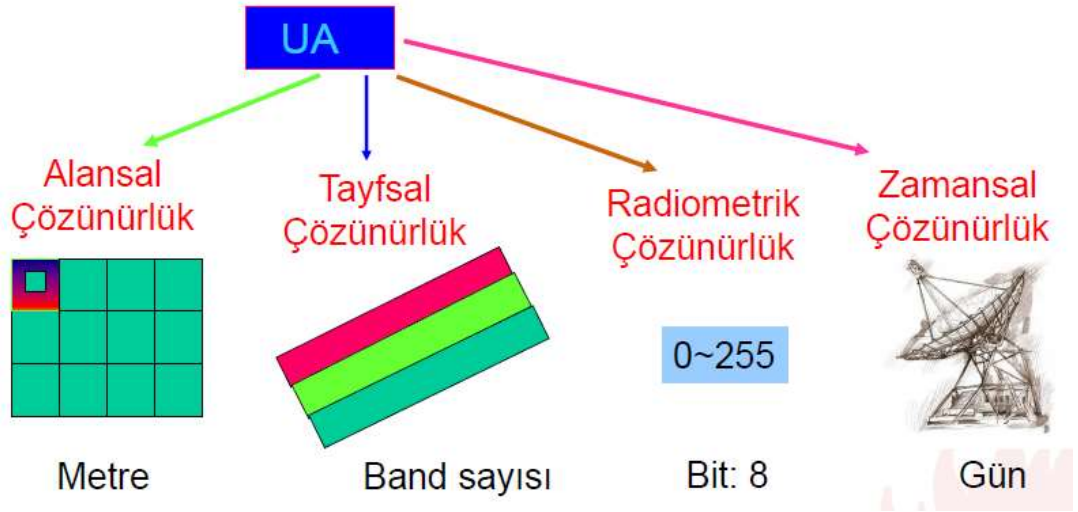
Tablo 3.2 Pasif ve aktif sistem uyduları (Dağ, 2013)

<u>Pasif Sistem Uyduları</u>	<u>Aktif Sistem Uyduları</u>
• Landsat • ASTER • IKONOS • QUICKBIRD • MODIS • GeoEye • WorldView • SPOT	• ERS • Envisat • ALOS • TerraSAR-X • JERS • TOPEX/Poseidon • RADARSAT • RASAT

3.1.4 Uzaktan Algılamada Veri Çözünürlüğü Kavramı

Uzaktan algılamada dört adet veri çözünürlüğü kavramından söz etmek mümkündür (Şekil 3.5). Bunlar;

- Alansal Çözünürlük:** Görüntünün bir pikselinin yeryüzünde kapladığı alanı ifade etmektedir. Bir diğer şekilde tanımlayacak olursak; geometrik olarak ayırt edilebilecek en küçük obje boyutudur.
- Tayfsal Çözünürlük:** Algılayıcının Elektromanyetik spektrumda algılayabildiği frekans değerini göstermektedir. Verideki spektral bant sayısı ve bant genişliklerini ifade eder.
- Radyometrik Çözünürlük:** Algılayıcı tarafından her bir bandın değerinin hangi aralığı ifade ettiğini göstermektedir.
- Zamansal Çözünürlük:** Uydunun yörünge etrafında geldiği noktaya bir daha ne zaman geleceğini ifade etmektedir. Görüntü toplama sıklığıdır.



Şekil 3.5 Uzaktan algılamada veri çözünürlüğü kavramı (Dağ, 2013)

3.1.5 Uzaktan Algılamanın Avantajları

Uzaktan algılama yönteminin avantajlarını şu şekilde sıralayabiliriz;

- Dünyanın her yeri için uygulanabilirliği ve geniş alanların görüntülenmesi imkânı,
- Zamandan tasarruf ve büyük alanlarda daha ucuz olması,
- Doğru bilgiye kısa sürede ulaşım, daha sık ve güncel görüntü elde edilmesi,
- Hızlı veri aktarımı ve veri depolama,
- Bilgisayar ortamında çalışma imkânı,
- Aynı görüntünün birçok amaca yönelik kullanımı,
- Görüntüler sayısal formatta olduğu için gözün ayırt edemeyeceği ayrıntılar yakalanabilmektedir (Dağ, 2013).

3.2 LiDAR (Lazer Tarayıcı) Sistemleri

Lazer kısaltmasının açılımı Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation (Uyarılmış Işıma ile Mikrodalga Yükseltici) anlamına gelmektedir. Lazer cihazı yüksek seviyede ayarlanmış doğrusal, uyumlu ve faz elektromanyetik radyasyon üreten ve geri alan bir cihazdır. Bu sistemler sayesinde arazi yüzeylerinde çok yoğun ve fazla miktarda, hızlı 3B'lu konum bilgisi elde edilmektedir. Genel

kullanımı LiDAR (Light Detection and Ranging-Işık Algılama ve Mesafe ölçer) olsa da literatürde lazer tarayıcı veya lazer mesafe ölçer olarak da yaygın kullanımı vardır. (Zeybek ve Şanlıoğlu, 2013; Özdoğan, 2015). LiDAR ölçüm sistemleri aktif algılayıcılar ile yapılan uzaktan algılama yöntemidir. Bu sistemler optik bir sensör yardımıyla bir yüzey veya nesne arasındaki mesafeyi ölçmekte ve haritalamaktadır. LiDAR ölçümleri yapılırken lazer ışığının ölçüm yüzeyi ile olan yansıma ilişkisinden faydalanılmaktadır.

LiDAR ölçümlerinde gönderilen lazer ışını her ölçüm aldığı yere koordinatlı bir nokta atar ve ölçüm sonunda ölçülen alanın büyüklüğüne ve ölçüm çözünürlüğüne göre birkaç yüzden birkaç milyon hatta on milyonlara kadar varan koordinatlandırılmış bir nokta bulutu oluşur. Bu koordinatlandırma işlemi ölçüm tipine göre direkt evrensel koordinata dönüştürülmüş koordinatlar olabildiği gibi sistemin kendi içinde bir koordinatlandırma sistemi de olabilmektedir. LiDAR sistemleri ile ölçüm sonucu oluşturulan nokta bulutlarından yüksek çözünürlüklü 3 boyutlu haritalar oluşturmak ve bu haritalar üzerinde mühendislik ölçümleri yapmak mümkündür (Özdoğan, 2015).

LiDAR sistemlerinin iki farklı türü bulunmaktadır. Bunlar;

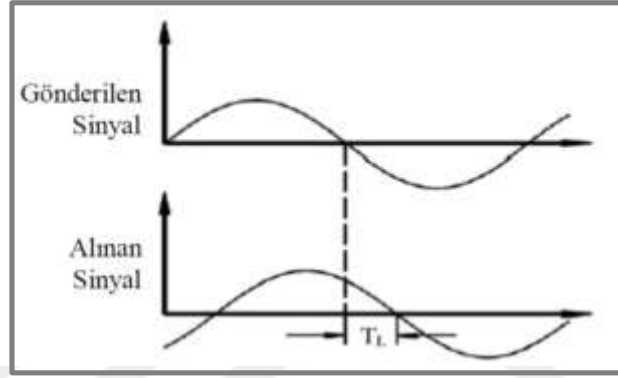
- ALS (Hava Platform Temelli),
- TLS (Yersel Lazer Tarayıcı)'dır.

3.2.1 Ölçüm Prensipleri

Yersel lazer ölçmelerinde temel büyüklük, ölçüm aleti ile ölçülen nokta arasındaki mesafedir. Lazer yöntemi ile mesafe ölçümü için farklı teknikler kullanılmaktadır. Bunlar; üçgenleme (triangulation), faz farkı (phase-shift) ölçümü, ışının gidiş/dönüş zamanı (time of flight) ölçümüdür (Lichti ve Gordon, 2004).

3.2.1.1 Faz Farkının Ölçümüne Dayanan Teknik

Bu teknikte lazer ışını, harmonik bir dalgayla ayarlanmış olarak iletilir ve mesafe, iletilen ve alınan dalgalar arasındaki faz farkından hesaplanmaktadır (Şekil 3.6). Kullanıcılar açısından bu tekniğin, uçuş zamanı tekniğinden farkı bulunmamaktadır. Daha karmaşık sinyal analizi sayesinde sonuçlar daha doğru olabilir. İyi tanımlanmış bir dönüş sinyaline ihtiyaç olduğu için, bu metotla çalışan tarayıcılar, kısa mesafe ölçme menziline sahiptirler ve daha fazla yanlış veya uçan nokta üretme eğilimindedirler (Boehler ve Marbs, 2002; Karşıdağ, 2011; Özdoğan, 2015).



Şekil 3.6 Faz farkı sistemi (Özdoğan, 2015)

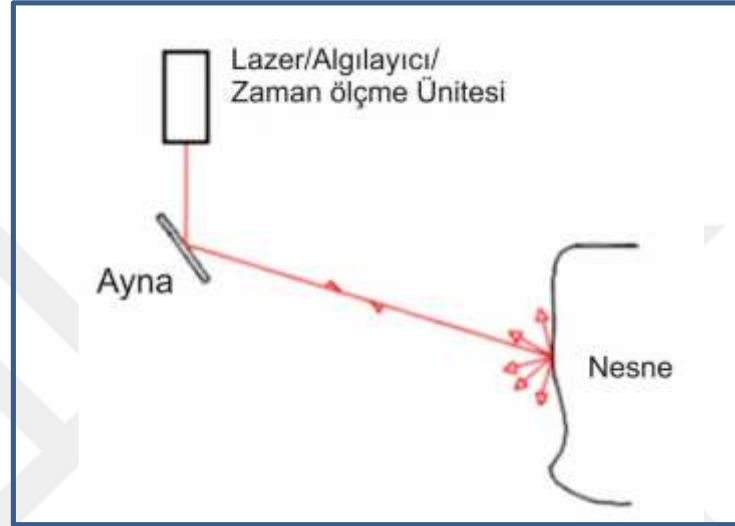
3.2.1.2 Lazer Işınının Uçuş Süresine Bağlı Olan Teknik

Bu ölçüm yönteminin temeli, prensip olarak ışık sinyalinin ölçüm cihazı ile ölçülen cisim arasındaki gidiş/geliş zamanının ölçülmesine dayanmaktadır. Işık hızı bilinen bir parametredir. Bu nedenle de ölçülen nesne ile cihaz arasındaki mesafenin hesaplanması basit bir şekilde yapılabilmektedir. Bu tekniğe ait hesaplama (3.1) eşitliğindeki gibi ifade edilebilmektedir.

$$d = c * t/2 \quad (3.1)$$

Eşitlikte belirtilen c , ışık hızını; t , ışığın cihazdan cisme gidip yansyarak cihaza dönüş zamanını ve son olarak d , cihaz ile ölçülen cisim arası mesafeyi ifade etmektedir.

Bu ölçme prensibi, elektronik takeometrelerin çalışma prensiplerinden dolayı da iyi bilinmektedir (Boehler ve Marbs, 2002). Bu prensiple çalışan sistemler, uzun mesafelerde ölçme yapabilir ve makul doğruluklar elde etme avantajına sahiptirler (Fröhlich ve Mettenleiter, 2004; Karşıdağ, 2011; Özdoğan, 2015). Uçuş zamanı sisteminin çalışma prensibi Şekil 3.7’de kısaca ifade edilmiştir.



Şekil 3.7 Uçuş zamanı sistemi (Boehler ve Marbs, çev., 2002)

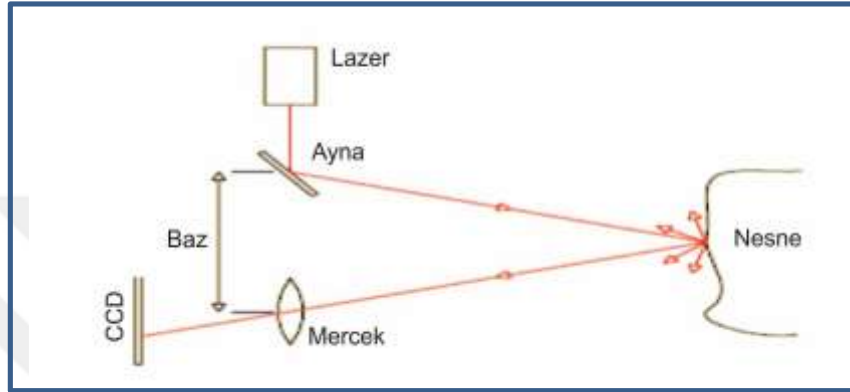
3.2.1.3 Üçgenleme Tekniği

Üçgenleme tekniğinde tarayıcı, mekanik aletin bir ucundan nesneye olan artan, değişen açılarla ve lazer noktalarını sezen bir ya da iki CCD kamerayla lazer ışınını göndermektedir. Yansıtıcı yüzey elementlerinin 3D pozisyonları, sonuç üçgeninden elde edilmektedir (Gümüş ve Erkaya, 2007).

a) Tek kamera çözümü:

Bu tarayıcı basit bir ışın yayma düzeneğinden oluşmaktadır. Bu alet, mekanik aletin bir ucundan nesneye olan artan değişen açılar ve lazer noktalarını sezen bir CCD kamerasıyla lazer ışınını göndermektedir. Yansıtıcı yüzey elementlerinin 3D pozisyonları, sonuç üçgeninden elde edilmektedir. Bu prensip, menzil bulucuların kullanıldığı araştırmada önceliklere sahiptir. Bu açıdan, alet ve nesne arasındaki

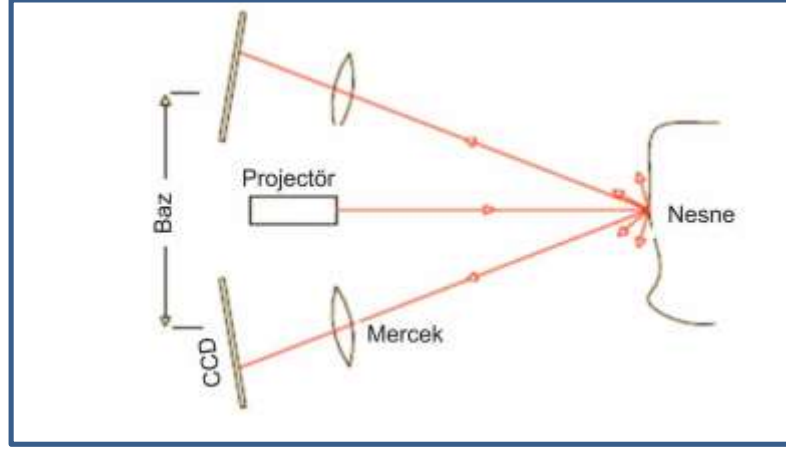
menzilinin doğruluğu mesafe alanıyla birlikte iyi bilinmektedir. Açıkça, uygulamayla ilgili sebeplerden dolayı, temel uzunluk isteğe bağlı olarak arttırılamaz. Bu tarayıcılar, uzaklık tarayıcılarından daha doğru olan durumlarda, kısa mesafeleri ve küçük nesneler için çok önemli bir rol oynamaktadır (Boehler, 2002; Gümüş ve Erkaya, 2007; Özdoğan, 2015). Sistemin çalışmasıyla ilgili çalışma prensibi Şekil 3.8’de kısaca ifade edilmiştir.



Şekil 3.8 Triangulasyon Prensibi: Tek Kamera Çözümü (Boehler,çev., 2002)

b) İki Kamera Çözümü:

Triangulasyon tekniğinin bir başka uygulamasıdır. Burada iki CCD kamerası kullanılmaktadır. İncelenen nokta ya da bölge, hiçbir ölçme fonksiyonu olmayan ayrı bir ışık projektörü ile üretilmektedir. Çözümlerin geniş bir değişikliği görülebilmektedir. Projeksiyon, hareket eden şerit bölümlerinin bir ışık çizgisinden oluşur. Geometrik çözüm bakımından tek kamera prensibi ile aynıdır ve aynı doğruluk sonuçlarını oluşturmaktadır. İki kamera kullanan aletlerin tümü yüksek oranlar sağlamaz ve gerçek zamanlı 3D koordinatları üretmezler. Bununla birlikte, eğer yüksek nokta oranları ve gerçek zaman süreci sağlanırsa, bu aletler, yukarıda belirtilen tarama aletlerine bir alternatif olarak görülebilmektedir (Gümüş ve Erkaya, 2007; Özdoğan, 2015). Sistemin çalışmasıyla ilgili çalışma prensibi Şekil 3.9’da ifade edilmiştir.

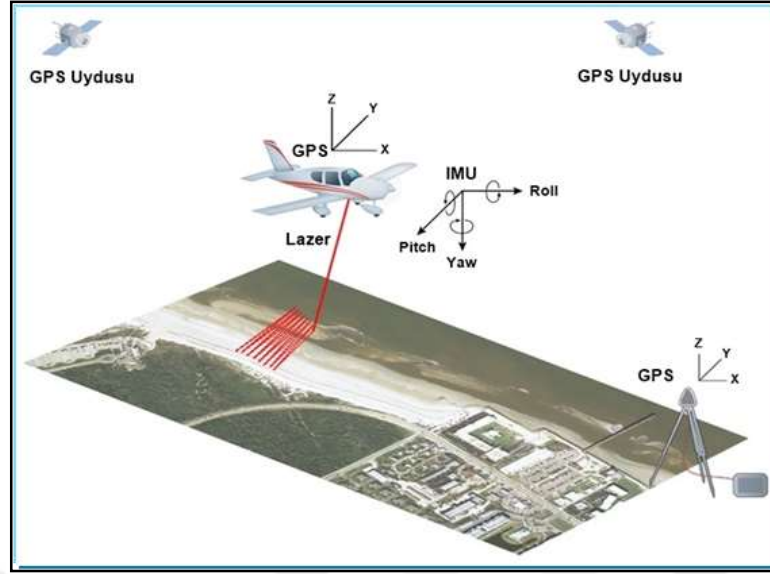


Şekil 3.9 Triangulasyon Prensibi: İki Kamera Çözümü (Boehler,çev., 2002)

3.2.2 ALS Lazer Tarayıcı Sistemleri (Hava Platform Temelli)

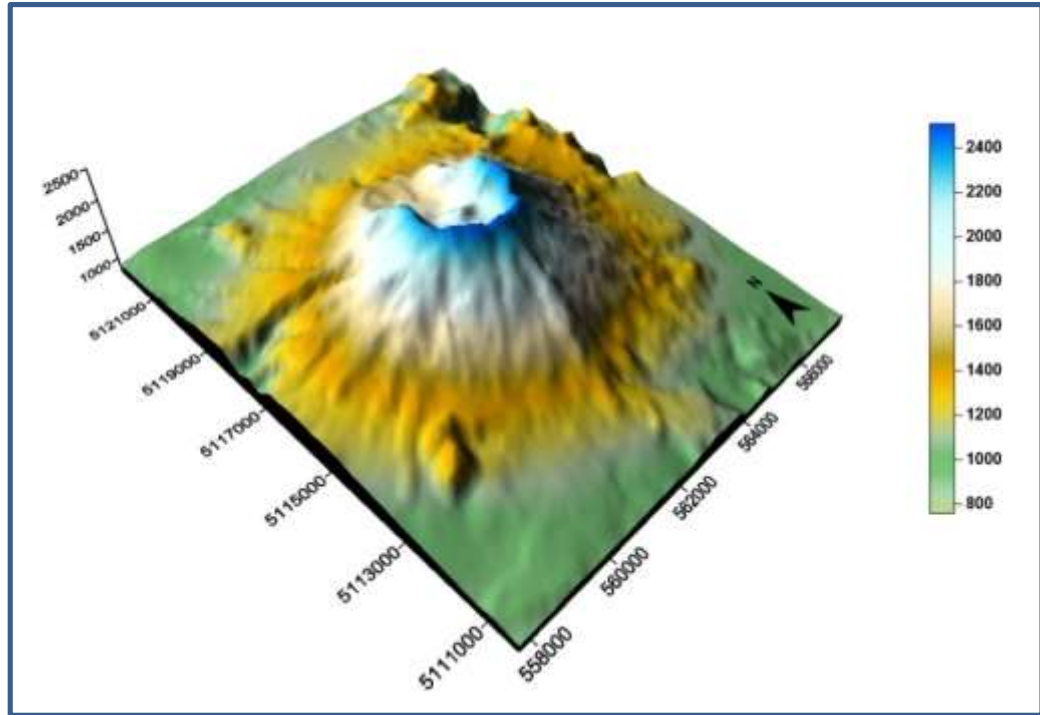
ALS Lazer Tarayıcı Sistemleri, ilk olarak 1960 yılında Hughes Aircraft tarafından geliştirilmiş olan hava taşıtları üzerine monteli yüksek kapasiteli bilgisayar, INS (Atalet Gezinim Sistemi) ve GPS (Küresel Konumlama Sistemi) sistemlerinin entegre bir şekilde çalıştığı, lazer ışınlarıyla havadan yüzeyin bilgisini 1 ile 5 cm arasında değişen hassasiyet ile elde eden sistemlerdir. Tarama yoğunlukları genellikle 0,5 ile 100nokta/m² olan bu sistemler genel olarak hava platform temelli sistemler olarak da adlandırılmaktadır.

Uçak, helikopter vb. bir hava aracına monte edilen tarayıcı, lazer ışının yol ve gidiş dönüş süresini kaydederek yer objeleri ve algılayıcı (sensör) arasındaki mesafeyi hesaplamaktadır (Meng, 2010). Hesaplanan bu mesafe temel alınarak GPS ile platformun o anki konumu kaydedilirken IMU ile uçağın durumu kaydedilerek ölçülen objenin konumu hesaplanmaktadır (Liu, 2008). Sistemin çalışma prensibi Şekil 3.10'da gösterildiği gibidir.



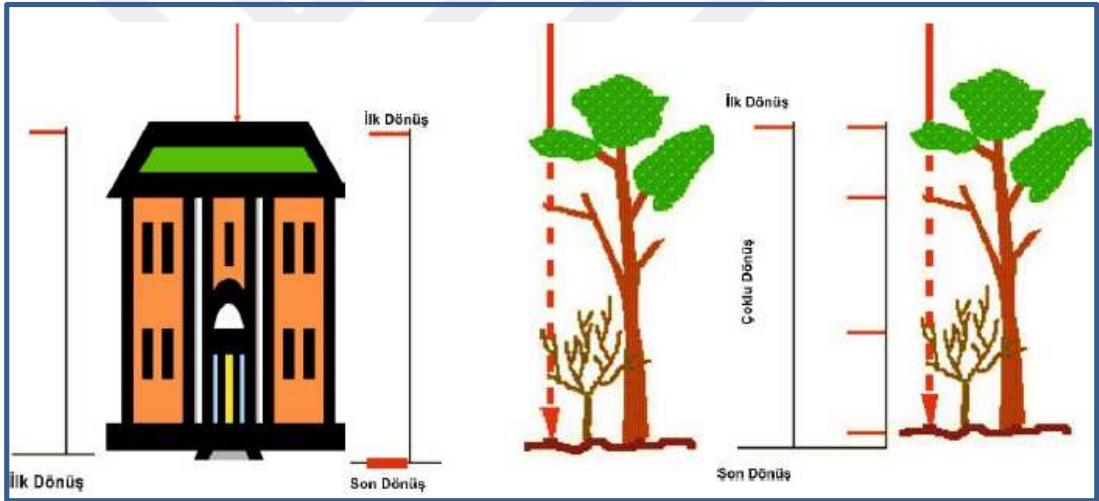
Şekil 3.10 ALS sistemlerinin çalışma prensibi (Yılmaz ve Uysal, 2015)

ALS sistemleriyle alınan sinyal verileri bilgisayar ortamında nokta bulutu verileri şeklinde saklanmaktadır. Bu nokta bulutları üzerinde teknik çalışma yapılabildiğinden önemlidir. ALS sistemleri kullanılarak alınmış ve değerlendirilen ölçüm sonucu Şekil 3.11’de gösterilmiştir.



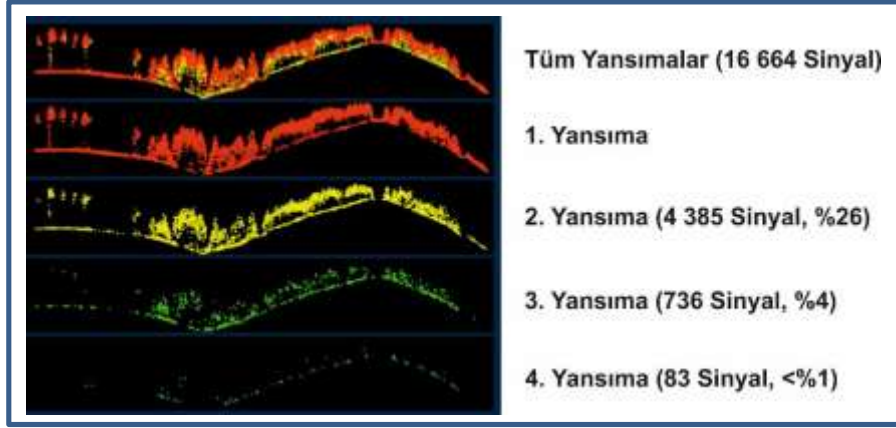
Şekil 3.11 Örnek ALS verisinin değerlendirme sonucu (Yılmaz ve Uysal, 2015)

Hava aracında bulunan tarayıcıdan gönderilen lazer ışını hedef ile etkileşerek ışının bir kısmı platformdaki alıcıya geri yansımakta ve/veya saçılmaktadır. Bir lazer ışını demeti bir cismin üzerinden sadece bir dönüş yapmayabilir özellikle ormanlık alanlarda lazer ışını hem yapraklardan yansımakta hem de yaprakların içerisinden geçerek yeryüzünden veya varsa bir alttaki yaprağın üzerinden ve onun altındaki yeryüzünden yansımaktadır. Tarayıcı üzerindeki algılayıcı ise bu yansımaların hepsini ayrı ayrı kaydetmektedir. Lazer ışını ilk yansımaya yüzeyinden yansıdığı verileri kayıt ettiğinde tek dönüşlü yansımaya, ilk yansımaya yüzeyi ve son yansımaya yüzeyinden yansıdığı verileri kaydettiğinde çift dönüşlü yansımaya, ilk yansımaya ve yeryüzüne kadar olan tüm yansımaya verilerini (en fazla 5 yüzey) kaydettiği ölçümlere ise çoklu dönüşlü ölçüm adı verilmektedir (Özdoğan, 2015). Şekil 3.12’de lazer ışının yansımaya sayılarına göre ölçümler verilmiştir.



Şekil 3.12 Lazer ışının yansımaya sayılarına göre ölçümler. a) Tek Dönüşlü Ölçüm, b) Çift Dönüşlü Ölçüm, c) Çoklu Dönüşlü Ölçüm (maksimum 5 dönüş) (Nayegandhi, 2007)

Her yansımaya ile alınan nokta bulutu verileri birbirlerinden ayrı bir şekilde kaydedilerek; bu bulut noktaları üzerinde isteğe bağlı olarak ayrı ayrı veya birleştirilmiş halde çalışmalar yapmak mümkündür. Yansımaya verilerini birbirinden ayırmak için nokta bulutları oluşturma sırasında yansımaya sıralarına göre farklı renklendirme yapılabilir. Bahsedilen bu durum Şekil 3.13’ de verilmiştir.



Şekil 3.13 Yansıma sıralarına göre renklendirilen nokta bulutunun görüntüsü (Nayegandhi, 2007)

ALS sistemlerinin kullanıldığı ve kullanılabileceği diğer alanları kısaca aşağıdaki gibi sıralamak mümkündür;

- Fay hattı araştırmaları,
- 3D (Boyutlu) şehir haritalama çalışmaları,
- Buzul hareketlerinin takibinin yapılması,
- DEM haritalarının oluşturulması,
- Orman araştırmaları,
- Enerji ve boru hatlarının araştırılması
- Kıyı alanlarında meydana gelen değişimlerin araştırılması,
- Sel baskını çalışmaları.

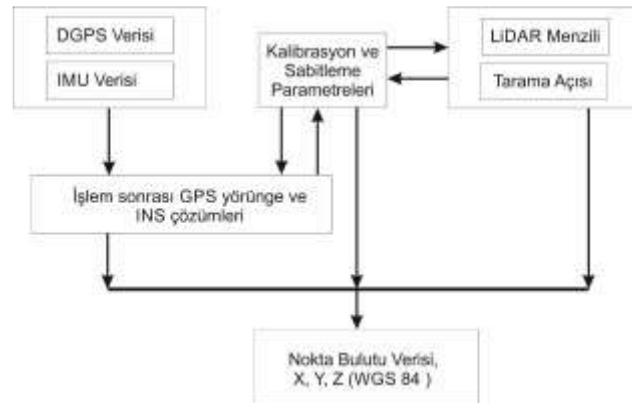
ALS (Hava platform temelli LiDAR) sistemlerini oluşturan 3 adet donanım bulunmaktadır ve bu donanımların ALS sistemlerindeki çalışma prensibi Şekil 3.14’da ifade edilmiştir. Donanımları aşağıdaki gibi ifade etmek mümkündür;

a) GPS (Global Positioning System): Küresel konumlama sistemi olarak adlandırılmaktadır. ALS sistemlerinde kullanılan GPS sistemleri, uzayda bulunan GPS uydularından alınan konum bilgileri ve bununla birlikte yersel istasyonlardan alınan düzeltme verileriyle alınan nokta bulutu verilerinin evrensel koordinatlar şeklinde kayıt edilmesine olanak sağlamaktadır.

b) INS (Inertial Navigation System): Atalet Gezinim Sistemi olarak adlandırılmaktadır. INS sistemi, bir cismin konumu ve yönünü takip etmek amacıyla ivme ölçer ve jiroskop (nesnelerin üç boyutlu ortamda doğrultularını ve iki eksene olan açılarını tespit etmeye yarayan araç) yardımıyla bilinen bir başlangıç noktası, konumu ve hızından yararlanan içsel bir gezinim sistemidir. İçsel ölçüm üniteleri (Internal measurement units, IMU) açısal hızı ve doğrusal ivmelenmeyi ölçen üç adet ortogonal ivme ölçer ve üç adet ortogonal jiroskop içermektedirler (Woodman, 2007).

c) Lazer Tarayıcı ve Soğutucu: Lazer tarayıcı ve soğutucu sistemleri ölçüm yapan temel donanımlar olup, teknolojik gelişmeler doğrultusunda birçok model ve özellikte mevcuttur. Hava taşıtının altına yeryüzünü görece şekilde monte edilen ekipman bu sayede lazer ışınını yaymakta ve geriye toplamakta ve üzerinde entegre çalışan bilgisayara IMS ve GPS sisteminden aldığı verilerle eşzamanlı olarak birleştirilerek depolamaktadır. Soğutucu sistem ise uzun süre çalışan lazer tarayıcının soğutulması amacıyla kullanılmaktadır (Özdoğan, 2015).

d) Dijital Kamera: Ölçüm yapılan alanların optik olarak görüntülerinin alınması için yüksek çözünürlüklü kameralar lazer tarayıcı ile birlikte hava taşıtının alt kısmına yerleştirilmektedir (Özdoğan, 2015). Bununla birlikte belirtmek gerekir ki; kamera donanımı lazer tarayıcı sisteminin çalışması için zorunlu olan bir materyal değildir.



Şekil 3.14 ALS donanımının çalışma prensibi (Nayegandhi, 2007)

3.2.3 TLS Lazer Tarayıcı Sistemleri (Yer temelli)

Yersel lazer tarayıcı (YLT) olarak da tanımlamak mümkündür. Bu cihaz, yüksek seviyede ayarlanmış doğrusal, uyumlu ve faz elektromanyetik radyasyon üretir ve geri alabilir. Bu demektir ki bu sistemler, aktif algılayıcı bulunduran uzaktan algılama sistemleri içerisinde yer almaktadır.

TLS sistemlerinde sabit bir tripod üzerinden ölçüm alınmaktadır. Bu sistemleri kullanmak, taranmak istenen alanın tek seferde taranmasına olanak sağlar. Bununla birlikte taranması gereken alanın büyük bir alan olması durumunda birden fazla istasyondan alınan ölçümler ve bu ölçümlerin çeşitli yöntemler yardımıyla dijital ortamda birleştirilmesi ile de yorumlamaya gidilebilmektedir.

TLS sistemleri düşük maliyet ve kısa sürede ölçüm alınması gibi avantajları da bünyesinde barındırmaktadır. Bu sistemler yardımıyla hassas (2-5 mm hata ile) 3 boyutlu modeller oluşturulabilmektedir.

TLS sistemleri, kısa bir süre içerisinde çalışılan alanın 3B modelini noktalar halinde koordinatları ile ortaya koyup bu noktalardan oluşan nokta bulutları üzerinde mühendislik çalışmaları yapılmasına olanak sağlamaktadır. TLS sistemleri için tarama yoğunluğu genellikle hava LiDARlarından farklı olarak 50 ile 10.000 nokta/m²'dir (Özdoğan, 2015). Bu sistemlerin kullanım alanları aşağıdaki gibi sıralamak mümkündür;

- Arkeolojik araştırmalar,
- Ulaşım ve alt yapı çalışmaları,
- Petrol platformları,
- Mimari uygulamaları,
- Yerbilimleri alanında yapılacak araştırmalar,
- Kıyı uygulamaları,
- Tünel araştırmaları,
- Enerji hatları.

TLS sistemleri temelde 4 donanımsal parçadan oluşmaktadır. Bunlar;

- 1) **Tarayıcı:** Tarayıcı ünite nokta bulutunu oluşturan lazer ışınını gönderen ve geri alan donanımlardır (Özdoğan, 2015). Tarayıcıların büyük bir kısmı uçuş zamanı yöntemini kullanmaktadır (6000 metreye kadar). Bununla birlikte bir kısım faz farklı yöntemi ile ölçüm yapmaktadır (100 m'den az mesafeler için).
- 2) **Güç Kaynağı:** Tarayıcı ünitelere güç vermek için bataryalar veya doğrudan enerji sağlamak için jeneratörler güç kaynağı olarak kullanılmaktadır.

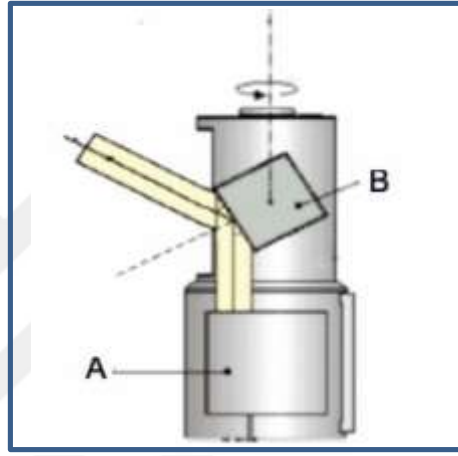


Şekil 3.15 TLS sistemlerinin donanımları (Özdoğan, 2015)

- 3) **Tripod:** Tarayıcı üniteyi taşımakta büyük rolü olan ve aynı ünitenin yatay konumda durmasını sağlamaktadır. Yardımcı donanımlardan biridir.
- 4) **Kontrol Ünitesi:** Tarayıcı ünitenin aldığı verileri saklayan genellikle dizüstü veya tablet bilgisayarlardır (Özdoğan, 2015). Bununla birlikte bazı tarayıcılar üzerlerinde verileri saklayabilmektedir.

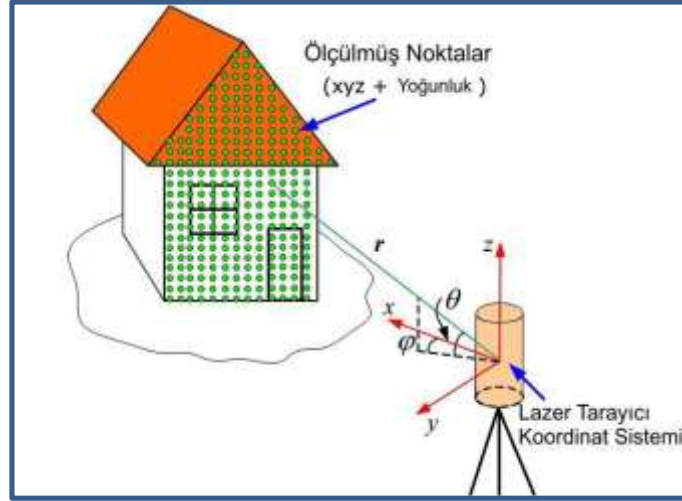
3.2.3.1 Çalışma Prensibi

TLS, düşey ve yatay eksenlerden lazer ışını gönderen bir mekanizmaya sahiptir. Tarayıcının elektronik ünitesinden (Şekil 3.16, A) çıkan ışın, cihazın gövdesinde bulunan hızla dönen optik üniteye (şekil 3.16, B) çarpmaktadır. Ve böylece ışın, bu yüzeyden yansıyarak yatay ile bir açı yapacak şekilde cihazdan çıkmaktadır. Tarayıcı cihaz veri aldıkça düşey eksen etrafında çok küçük açılarla dönerek taramaya devam etmektedir. Sözü geçen bu işlem tarama işlemi tamamlanana kadar devam etmektedir.



Şekil 3.16 TLS cihazın çalışma prensibi (Vozikis, 2004'ten değiştirilerek)

Yapılacak olan her bir taramanın sonunda veriler nokta bulutu olarak adlandırılan noktalar halinde kullanıcıya sunulmaktadır. Bu nokta bulutunda yer alan her bir lazer noktası kutupsal koordinatlar ile (r, ϕ, θ) tarayıcıya kayıt edilmektedir. Kutupsal koordinatlar ile ifade ettiğimiz bu noktaların kartezyen koordinatları (x,y,z) tarayıcı yazılımı tarafından hesaplanarak; kullanıcıya kartezyen koordinatlar biçiminde sunulmaktadır. Tarayıcı cihaz tarafından taranan yüzeyde kartezyen koordinatlarının dışında kayıt edilen bir diğer veri de nesneye çarpıp geri yansıyan enerjinin yoğunluğudur (Özdoğan, 2015) (Şekil 3.17).



Şekil 3.17 TLS cihazın ölçüm prensibi (Özdoğan, 2015)

Lazer tarayıcı tarafından alınan kutupsal koordinatlar, kartezyen koordinatlara dönüştürülürken kullanılan matris Eşitlik 3.1’de ifade edilmiştir.

$$\mathbf{X}_j = \begin{bmatrix} x_j \\ y_j \\ z_j \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} r_j \cos \varphi_j \cos \theta_j \\ r_j \sin \varphi_j \cos \theta_j \\ r_j \sin \theta_j \end{bmatrix},$$

(3.1)

Bağıntıda ifade edilen;

r_j = j. noktanın ölçülen uzaklığı

φ_j = j. noktanın yatay doğrultusu

θ_j = j. noktanın düşey açısı olarak tanımlanmaktadır.

3.2.3.2 TLS ile Üretilen Nokta Bulutlarının Birleştirilmesi ve Jeoreferanslama

TLS ile bir obje ya da alanın tamamını görüntüleyebilmek için birden fazla tarama istasyonundan taramanın yapılması gerekebilmektedir. Yapılacak olan her tarama işlemi sonucunda oluşturulan nokta bulutlarına tarayıcı alet merkezli özgün koordinatlar atanmaktadır. Bu nedenden dolayı bu tarz birden fazla noktadan yapılan tarama çalışmalarında bu nokta bulutlarının birleştirilmesi gerekmekte ve tek bir nokta bulutu biçiminde çalışılması gerekmektedir. Daha sonraki aşamada bu nokta bulutları jeoreferanslama ile istenilen koordinat sistemine dönüştürmek mümkündür.

Nokta bulutlarının birleştirilmesi işlemi, kullanılan yazılım ve arazi çalışma şekline göre doğrudan birleştirme ve dolaylı birleştirme olmak üzere iki farklı şekilde yapılabilmektedir (Özdoğan, 2015). Bahsedilen bu durumu daha önce Giriş Bölümü'nde verdiğimiz Şekil 1.3 ile ifade edebiliriz.

- 1) ***Doğrudan birleştirme yöntemi:*** Bu yöntemde tarayıcı cihazı koordinatlarını bildiğimiz bir yere kurabildiğimiz gibi, koordinatları bilinen bir referans noktası seçilip, o noktadan da cihaz tarafından okuma yapılmasıyla da cihazın konumu belirlenebilmektedir. Daha sonraki aşamada tarayıcı cihaz tarama yaptığı alan içindeki her noktayı kendi bulunduğu pozisyona göre konumlandırır. Bu tip çalışmalarda jeoreferanslamaya gerek yoktur. Bununla birlikte oluşturulan nokta bulutu doğrudan jeodezik koordinatlarda oluşturulabilmektedir.
- 2) ***Nokta bulutlarının dolaylı olarak birleştirilmesi:*** Bu yöntem kendi içinde ikiye ayrılmaktadır. Bunlardan ilki ortak taranan alanlardaki nokta bulutlarının eşleştirmesi iken; bir diğer hedefler yardımı ile birleştirilmedir.

- ***Ortak nokta bulutları ile birleştirme işlemi:*** Bahsedilen bu işlem için 2 tarama alanından oluşturulmuş olan nokta bulutunun en az %30'u üst üste çakışıyor olmalıdır. Bu çakışan noktaların birleştirilmesi ICP (Iterative Closest Point) algoritması kullanılmaktadır. Böylece farklı taramalar arasında en az hata oranı ile birleştirilme sağlanmaktadır.

Bu yöntemde kullanıcı tarafından her iki nokta bulutundan birbirine denk gelen 3 adet nokta seçilir. Seçilen noktaların bire bir aynı konuma denk gelmesi mümkün değildir ancak ICP algoritması tekrarlı olarak nokta bulutundaki bütün noktalar arasındaki mesafeleri kontrol ederek, iki nokta bulutunu eşleştirmek için gerekli dönüşüm parametresini oluşturacaktır (Genechten, 2008). Eğer nokta bulutları ile birleştirme yapılırken çakışan tarama alanlarının içerisine küresel bir cisim konulur ve bu cisim hassas bir şekilde taranır ve birleştirme işlemi sırasında bu cisim üzerinden birleştirme yapılır ise birleştirme işleminin hassasiyeti

artacaktır. Ortak nokta bulutları ile birleştirilerek oluşturulan nokta bulutlarında jeoreferanslama işlemi kesişim alanında alınan totalstation veya GPS (GNSS – DGPS) ölçümleri ile gerçekleştirilir (Özdoğan, 2015).

- Hedef yardımı ile birleştirilmesi: Bu yöntemde genellikle özel malzemeler ile kaplanmış geri yansımali hedefler, yer kontrol noktaları olarak kullanılmaktadır. Hassas tarama (2mm x 2mm) yapıldığı zaman hedeflerin orta noktaları bu yöntem sayesinde otomatik olarak tespit edilebilmektedir. Tarama alanı içerisinde en az 3 tane bulunması zorunludur. Her ölçümde ortak olan bu hedef noktaları yardımıyla nokta bulutlarını birleştirmek kolaydır. Her alana hedef yerleştirmek her zaman kolay bir iş değildir. Hedeflerin yerleştirmenin zor olduğu alanlarda ise pencere ve kaya köşeleri gibi noktasal yerleri, doğal hedef olarak kullanmak mümkündür. Fakat bu tip bir kullanımda hassasiyet, kullanıcının yorumuna açık olduğundan düşük olacaktır.

Hedef noktaları aynı zamanda birleştirilen nokta bulutlarının cihazın kendi koordinat sisteminden jeodezik koordinat sistemine dönüştürülmesinde de kullanılmaktadır. Lazer tarama sonucu elde edilen nokta bulutları içerisinde bulunan hedeflerin merkezleri totalstation veya GPS (GNSS – DGPS) yardımıyla okunduktan sonra bu koordinatlar tarayıcı yazılımında tanımlanmakta ve tüm nokta bulutu gerçek jeodezik koordinatlara taşınmaktadır (Özdoğan, 2015).

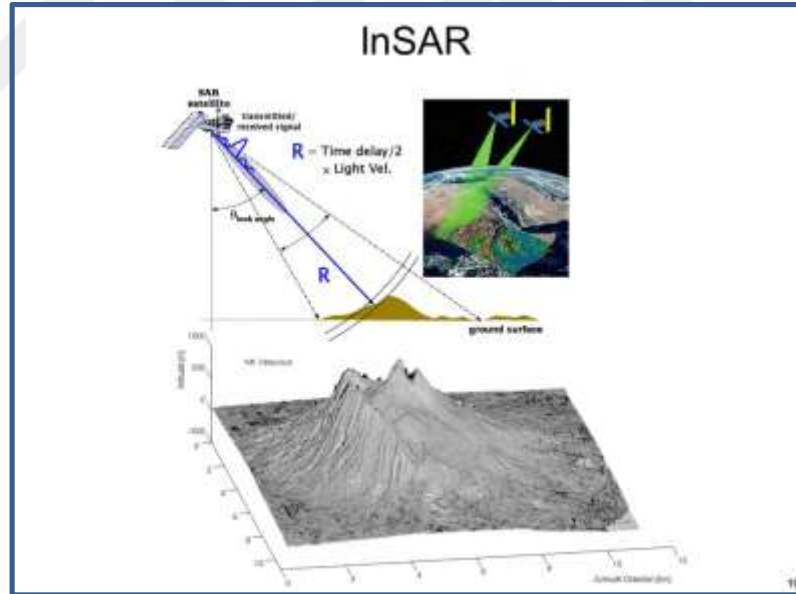
3.3 DInSAR Yöntemi

Bilim adamları gerek doğal kaynaklı olsun gerekse insan kaynaklı olarak meydana gelen yeryüzü değişimlerini tespit etmek, bu değişimleri incelemek ve gelecekte meydana gelecek felaketleri önlemek amacı ile takibinin yapılması açısından birçok yöntem geliştirmişlerdir.

En etkili uzaktan algılama yöntemlerinden biri İnterferometrik Yapay Açıklıklı Radar (Interferometric Synthetic Aperture Radar – InSAR) tekniğidir. Genel tanımıyla SAR veya InSAR teknolojisi uydular üzerinde bulunan radar platformları sayesinde zaman serisi şeklinde alınan verilerin analiz edilmesi temeline dayanmaktadır (Çomut, 2016). DInSAR ise Diferansiyel InSAR olarak tanımlanmaktadır. Üçüncü Bölüm’ün bu kısmında iki teknikten de ayrı ayrı bahsedilecektir.

3.3.1 InSAR Tekniği

InSAR tekniğinde aynı bölge üzerinde birbirinden çok az farklı görüntüleme açıları ile elde edilen iki radar görüntüsü kullanılmalıdır (Şekil 3.18). Bu teknik, aynı yüzey üzerinden alınan görüntü çiftlerinin özel yazılımlar yardımıyla karşılaştırılması sonucunda iki görüntü edinimi arasındaki zaman aralığında meydana gelen yüzey değişimini ortaya koymakta kullanılmaktadır.



Şekil 3.18 InSAR tekniği (Çomut, 2016)

Uzayda hareketli bir platform üzerindeki radar sensörler tarafından bir hedefe doğru mikrodalga sinyaller iletilir; bazıları hedeften geri yansır. Hedefin radar görüntüsünü oluşturabilmek için yansıyan sinyaller mikrodalga sensörler tarafından kaydedilirler (Ferretti ve diğer., 2001; Çomut, 2016).

Hedef ve sensör arasındaki menzil farkı ölçümlerine dayanan InSAR, karmaşık (kompleks) radar sinyallerini kullanır. Bu yolla elde edilen fark ve sensörün yörünge parametreleri kullanılarak, belirgin yüzeylerin yükseklik bilgileri türetilir. Eğer topoğrafik yükseklikten kaynaklanan faz interferogramdan çıkarılabilirse (kaldırılabilirse) radarın bakış doğrultusunda (line-of-sight) olan hedef yüzeylerdeki hareketler elde edilebilir (Hanssen, 2001).

3.3.2 DInSAR Tekniği

Diferansiyel InSAR tekniği olarak adlandırılmaktadır. InSAR veri işlemede, N sayılı interferogram birincil (master) görüntü üzerinden uygun bütün N+1 görüntüler kullanılarak oluşturulmaktadır (Çomut, 2016). Bir Sayısal Yükseklik Modeli'nin (SYM) örnek olarak kullanılması ve bilinen topoğrafik fazın ortadan kaldırılması ile DInSAR elde edilmektedir.

DInSAR veri işleme; görüntü çiftlerinin seçimi, görüntülerin birbiriyle bağdaştırılması (co-registration), SYM' nin oluşturulabilmesi için veri dahil edilmesi, interferogram oluşturma ve iyileştirme, faz çözümlemesi, SYM üretimi ve yer değişim modelinin oluşturulması ve son olarak coğrafi referanslama (geo-coding) aşamalarından oluşmaktadır (Kampes ve diğer., 1999; Çomut, 2016).

Zaman farkı dikkate alındığı zaman, DInSAR bağıl yer değişimleri ölçme bakımından cm altında bir hassasiyete sahip kullanışlı bir ölçme tekniğidir. Fakat jeodezik ölçme yöntemleri arasında DInSAR oldukça etkin bir yöntem olsa bile, tekniğin bazı sınırlamalarından söz edilebilir. Örneğin, atmosferik etkilerden kaynaklanan hataların, yörüngesel hataların ve diğer gürültülerin giderilememesi olasılığı ve bu olasılıklara bağlı olarak sadece toplam (olası hatalardan net olarak arındırılmamış) yer değişimini ölçmesi gibi sınırlamalar, lineer ve lineer olmayan hareketler arasındaki farkın ayırt edilmesini zorlaştırmaktadır (Zebker ve diğer., 1997; Ferretti ve diğer., 2000; Çomut, 2016).

DInSAR tekniğinde arazinin genel anlamda deformasyon bilgisi elde edilebilir. Ancak korelasyonu düşük olan alanlarda (bitki örtüsü ile kaplı, vs.) faz gürültüsü çok olacağından iyi sonuçlar alınamayabilir (Çomut, 2016).

DInSAR tekniğinde karşılaşılabilecek zorluklardan bazılarını aşağıdaki gibi sıralamak mümkündür;

- Tarım alanlarına, otlaklara ve ormanlara ulaşan sinyaller, nadiren uydudan geri yansıtılırlar. Çünkü bu alanların yüzey karakteristikleri devamlı olarak değişim halindedir. Bu nedenle görüntü çiftleri arasında korelasyonsuzluk meydana gelir (Çomut, 2016).
- Bir diğer sınırlama su yüzeylerinin sürekli olarak hareket halinde olmasıdır. Buna rağmen sonuç görüntüde su yüzeyleri durgun görünürler. Böylesi alanlarda gerçekleşen düzenli salınım hareketleri görüntü çiftleri arasında uyumsuzluğa neden olur (Çomut, 2016).
- Karlı alanlarda herhangi bir yansıma gerçekleşmez. Bunun temel nedeni karın SAR sinyallerini çekmesidir.
- Diğer bir sınırlama, sensör-hedef doğrultusu boyunca hareket eden yer değiştirmelerin ölçümleridir. Bu durum dalga boyunun kesintiye uğraması ile sınırlanmaktadır (Çomut, 2016).

3.3.2.1 Tekniğin Dezavantajları

Tekniğin dezavantajlarını aşağıdaki gibi sıralamak mümkündür;

- Geometrik ve zamansal uyumsuzluk etkilerinin giderilmesi bakımından sınırlıdır,
- Atmosferik etkinin giderilmesinde istenilen kadar başarılı değildir,
- Yüzey deformasyonlarını iyi belirleyebilmesine karşın, bu yöntemden daha başarılı yöntemlerden bulunmaktadır.

BÖLÜM DÖRT

UYGULAMA

Bölüm 2’de heyelan, deprem, fay ve fay hareketleri hakkında kuramsal bilgiler verilmektedir. Bu kuramsal bilgiler doğrultusunda bu bölümde İzmir Fayı’nın fay zonu boyunca gözlenen heyelanların sismik aktivite nedeniyle tetiklenebilirliği araştırılacaktır. Bu tez kapsamında Balçova ve Agora yerleşimlerinde uygulanacak olan LiDAR/DInSAR yöntemleri kullanılarak çalışmalar yürütülmüş ve gerekli değerlendirmeler yapılmıştır. 2 yıllık süre boyunca heyelanlar boyunca oluşacak yüzey deformasyonları ile İzmir fayından kaynaklanabilecek depremler arasındaki ilişkinin ortaya konması ile heyelan-deprem-diri fay arasındaki etkileşim açısından önemli bir literatür boşluğu doldurulmuş olacaktır. Bu bölüm kapsamında LiDAR cihazının arazide kullanımı, ölçüm alımı ve alınan verilerin veri işlem kapsamında değerlendirilmesi ile DInSAR verilerinin yorumlanması anlatılmıştır.

4.1 Çalışma Alanı ve İzmir’in Depremselliği

Deprem yeryüzünde bıraktığı izlerden biri de deprem heyelanlarıdır. Çalışma alanı olarak seçilen heyelanlı bölge boyunca uzanan karadaki uzunluğu 35 km’yi bulan (denizdeki uzantısı ile 40 km) İzmir Fayı, İzmir Körfezi ile Seferihisar Yükseltisi arasındaki yapısal sınırı oluşturur (Emre ve Barka, 2000; Uzel ve diğer., 2012).

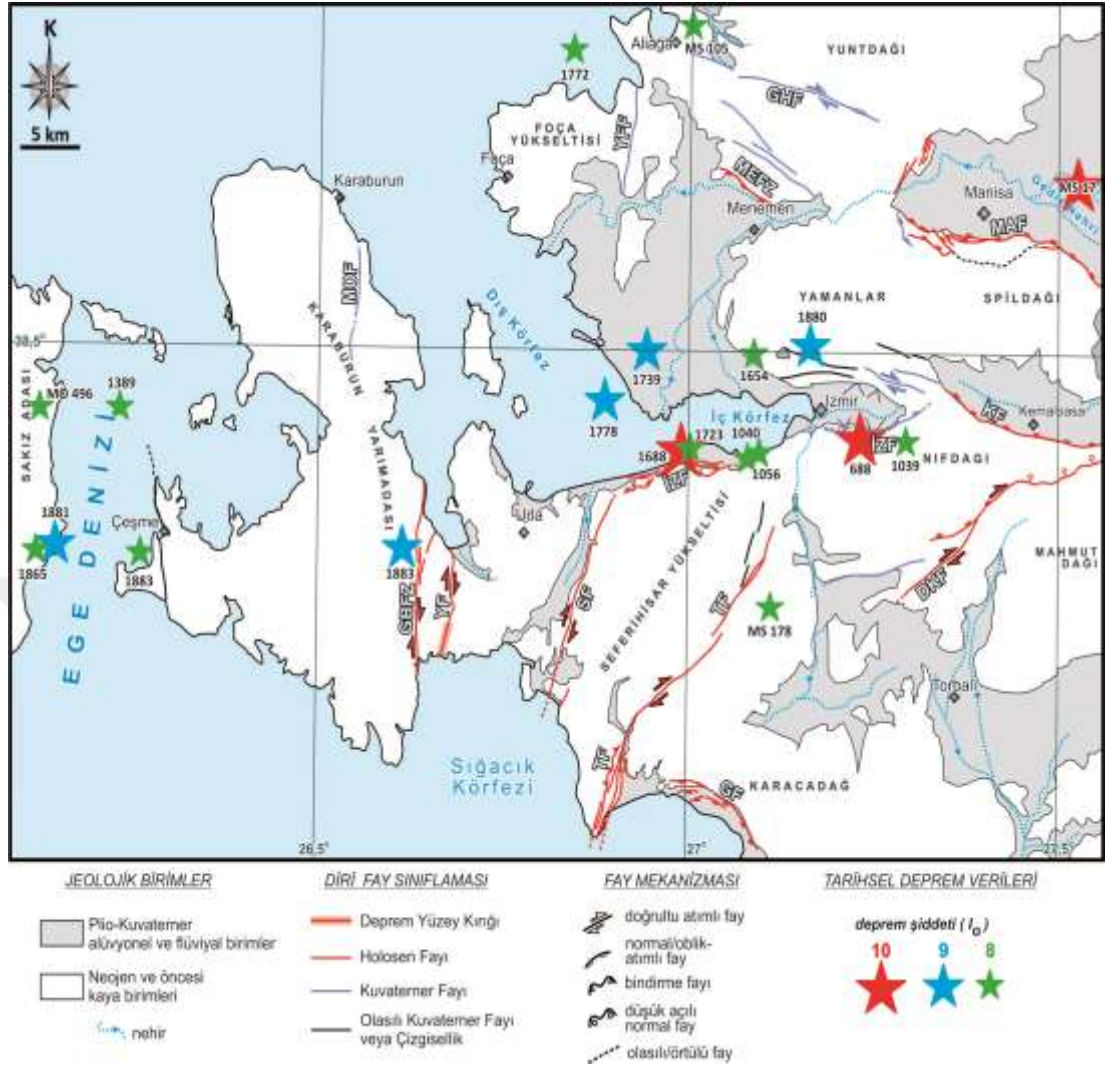
Fay, Kaya (1979 ve 1981)’nın yaptığı çalışmada Yamanlar yükseltisi içerisinde yer alan Seferihisar bloğunu kuzeyden sınırlar ve bölgedeki KD uzanımlı ana basamakları enine kat eden bir yapısal sınır olarak tanımlanır. Fayın düşen bloğunda şekillenmiş olan çöküntü alanı tabanı Karaburun Yarımadası ile Bayraklı arasında Ege Denizi’nin suları altındadır ve günümüzde oluşumu devam eden İzmir Körfezi’ni oluşturur (Emre ve diğer., 2005). Fay doğuda Pınarbaşı’ndan başlar ve batıya Üçkuyular’a doğru uzanır. Burada yaklaşık D-B uzanımlı olan İzmir Fayı’na ait fay segmentleri, Balçova ve Narlıdere’ye doğru devam ederek, önce BKB-DGD, sonra da BGB-DKD uzanımlı olarak düşük dalga boylu bir kıvrımlanma ile Güzelbahçe’ye ulaşır (Sözbilir ve diğer., 2008). Heyelanlı bölgelerin yer aldığı fayın yükselen bloğunda KD-GB ve KB-GD

gidişli faylar gözleendiği belirtilmektedir. Gözlenen bu fay takımlarından KD doğrultulu olanların, yüksek eğimlere ve düşük rake açlarına sahip sağ yönlü doğrultu atımlı fay olduğu, KB uzanımlı hatların ise, 20-30°'lik rake açıları ile sol yönlü doğrultu atımlı fay karakterinde olduğu Sözbilir ve diğer. (2008)'de belirtilmektedir. Bu veriler, heyelan geometrisi ile faylanmalar arasında bir ilişkinin var olduğunu göstermektedir. Balçova segmentinin fay şevleri boyunca gözlenen üçgen faset yapıları üzerindeki fay yüzeylerinde, ilk kez Sözbilir ve diğer. (2008) tarafından yapılan kinematik analiz çalışmalarında fayın eğim atımlı normal bir fay olduğunu ve yer yer oblik atım niteliği taşıdığını ispatlamaktadır (Uzel ve diğer., 2012). Balçova segmenti boyunca gözlenen dağ önü çizgisellikleri, alüvyal yelpazeler, üçgen dağ önü yapıları ve drenaj ağları gibi jeomorfolojik indisler bu zonun normal fay şeklinde Holosen' de aktif olduğunu vurgular (Sözbilir ve diğer., 2004; Emre ve diğer., 2005; Uzel ve diğer., 2012). Çalışma konusunu oluşturan heyelanlar da çoğunlukla üçgen şekilli dağ önü yapıları şeklindeki fay şevleri boyunca gözlenirler. Bu durum İzmir Fayı'nın geometrik özellikleri ile heyelanlar arasında bir ilişkinin var olabileceğini göstermektedir. Bu nedenle, İzmir Fayı'nın belli büyüklüklerde deprem üretip üretmediği, üretiyor ise, bu depremlerin fay zonu boyunca gözlenen heyelanları tetikleyip tetiklemediği önemli bir problem olarak ortaya çıkmaktadır. Şimdiye kadar bu problem üzerine herhangi bir çalışma yapılmamıştır.

Bölgenin depremselliği incelendiğinde, İzmir çevresinde aletsel dönemde yıkıcı deprem yaşanmamasına karşın, tarihsel dönem deprem kataloglarında ve bazı tarihsel kayıtlarda, bu bölgedeki şehirlerin büyük depremlerden etkilendikleri ve büyük yıkımların gerçekleştiğine dair bilgiler mevcuttur (Ergin ve diğer., 1967; Soysal ve diğer., 1981; Ambraseys, 1988; Guidoboni ve diğer., 1994; Ambraseys ve Finkel, 1995; Papazachos ve Papazachou, 1997; Ambraseys ve Jackson, 1998; Tan ve diğer., 2008). Tablo 1'de özellikle bu bölgeyi etkileyen tarihsel dönemde meydana gelen büyük depremlerin tanımlamaları özetlenmiştir. İnceleme alanı çevresinde ve İzmir Fayı'nın batı bölümünde gerçekleşme olasılığı ile öne çıkan tarihsel depremler kronolojik sırayla, 07/02/1040, 1056, 10/07/1688, 1723 ve 03-05/07/1778 depremleridir. 07/02/1040 depremi, Papazachos ve Papazachou (2003) tarafından verilmekte ve depremin İzmir Körfezi ve çevresinde bir dizi hasar yarattığını

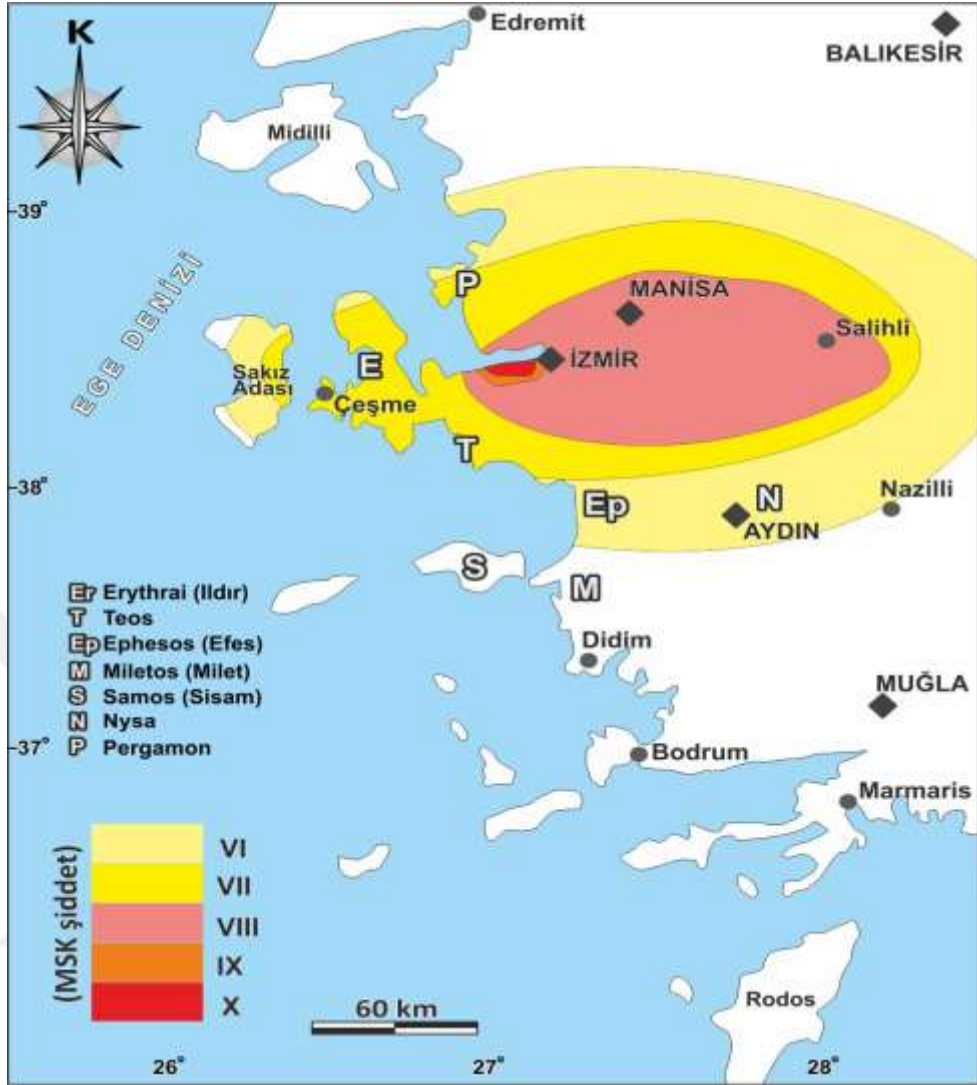
belirtmektedir. Çalışmacılar depremin şiddetinin $I_0 = VIII$ ve büyüklüğünün $M = 6,8$ olması gerektiğini vurgulamaktadırlar. 1056 deprem ise Soysal ve diğer. (1981)'de belirtilen bir başka depremdir. Çalışmacılar depremin merkez üssünü yine Körfezin güneyinde Konak – Balçova arasındaki bir lokasyonda olması gerektiğini ve şiddetinin $I_0 = VIII$ olduğunu önermektedirler. Bu iki depremle de ilgili hasar dağılım ve depremde yaşanan mal ve can kayıplarıyla ilgili literatürde herhangi bir bilgi bulunmamaktadır.

Tarihsel kayıtlara göre (Şekil 2.10), İzmir ve çevresini etkilemiş en önemli deprem 10 Temmuz 1688 depremidir (Pınar ve Lahn, 1952; Ergin ve diğer., 1967; Guidoboni ve diğer., 1994). Deprem İzmir Körfezi boyunca $I_0 = X$ şiddetine eşit yıkımlara neden olmuştur (Ergin ve diğer., 1967). Depremde İzmir kent merkezinde 20.000'e yakın insanın öldüğü rapor edilmektedir. Deprem esnasında Balçova segmentinin yaklaşık 3 km kuzeyinde Narlıdere yelpaze deltası ucundaki İnciraltı mevkiinde meydana gelen yüzey deformasyonları sonucu Sancak Kalesinin zemine gömüldüğü ve kalenin denize doğru 30 metre kayarak yer değiştirdiği ve bir adacık şekline dönüştüğü belirtilmektedir (Ergin ve diğer., 1967; Ambraseys ve Finkel, 1995). Deprem sonucunda kent içerisinde kıyı boyunca da bazı çökmelerin oluştuğu ve denizin kara yönünde ilerlediğine ilişkin gözlemler sıralanmaktadır. Tanımlanan bu yüzey deformasyonları deprem esnasında gerek Narlıdere yelpaze deltası gerekse kent içerisindeki sahil boyunca yanal yayılmaların oluştuğunu göstermektedir.



Şekil 4.1 İzmir ve yakın çevresinin tarihsel depremleri ile diri faylar arasındaki ilişkiyi gösteren diri fay haritası (Uzel ve diğer., 2013). MOF: Mordoğan Fayı, GBFZ: Güzelbahçe Fay Zonu, YF: Yağcılar Fayı, SF: Seferihisar Fayı, TF: Tuzla Fayı, GF: Gümöldür Fayı, DKF: Dağkızılca Fayı, KF: Kemalpaşa Fayı, İZF: İzmir Fayı, MAF: Mansia Fayı, MEFZ: Menemen Fay Zonu, GHF: Güzelhisar Fayı, YFF: Yenifoça Fayı

Stucchi ve diğer. (2013), 10 Temmuz 1688 depreminine ait Papazachos & Papazachou (2003) ile Shebalin ve diğer. (1974)'deki verileri kullanarak bir eş şiddet haritası oluşturmuştur (Şekil 4.2). Bu eş şiddet haritasından en büyük yıkımın İzmir'in şehir merkezinde Konak-Balçova arasında kalan alanda $I_0 = X$ şiddetinde gerçekleştiği görülmektedir. Tüm veriler değerlendirildiğinde, 1688 İzmir Fayı'nın Balçova segmenti boyunca geliştiğini göstermektedir. Fakat bu depremlerin zon boyunca gözlenen heyelanlarla olan zamansal ve mekânsal ilişkisi konusunda bir bilgi bulunmamaktadır.



Şekil 4.2 10 Temmuz 1688 depremine ait kayıtlardan toplanan hasar dağılımlarına bağlı verilerle oluşturulmuş eş şiddet haritası (Stucchi ve diğer. (2013)’den revize edilmiştir.)

Tarihsel dönem kayıtlarında yer alan ve tahmini dış merkez lokasyonu inceleme alanı sınırlarına yakın verilen başka bir olay 1723 tarihinin Eylül ve/veya Ekim ayında gerçekleşmiş olan depremdir. Ambraseys ve Finkel (1995) depremi, İzmir’de bulunan bir ziyaretçinin yazdığı mektuba dayanarak, 60 evi yıkan ve 4000-5000 kişinin yaşamını yitirmesine neden olan bir olay olarak nitelemektedir.

Kataloglarda verilen ve inceleme alanına yakın ve dış merkez lokasyonu İzmir iç körfezinde gösterilen son olay ise 1778 yılının Ağustos ayının 03-05 günleri arasında gerçekleştiği belirtilen depremlerdir.

İzmir ve çevresinde 1900 yılından 2015 yılının Ekim ayına kadar, aletsel dönem içinde büyüklüğü 3,5 ve üstü olan toplamda 200'ün üzerinde deprem meydana gelmiştir. Meydana gelen sarsıntıların büyüklüğü $3,5 \leq M < 4$ arasında değişen deprem sayısı toplamda 101, bu depremlerden ters çözümü üretilmiş deprem sayısı ise 8 adettir. Büyüklükleri $4 \leq M < 5$ arasında değişen deprem sayısı ise toplamda 38 adettir. Bu depremlerden 14'ünün ters çözümleri literatürde mevcuttur. Büyüklükleri $5 \leq M < 6$ arasında değişen depremlerin sayısı ise 15 iken bu depremlerin çoğunun (12 tanesi) odak mekanizması çözümleri çeşitli kaynaklardan derlenerek verilmiştir. Bölgede günümüze değin odak mekanizma çözümü verilmiş depremlerin çoğunluğu doğrultu atımlı, daha az miktarda normal faylanma ve sadece 3 depremin ise ters faylanma ile ilişkili kırılmalar olduğu görülmektedir (Şekil 4.3).

İzmir Fayı (İZF) ve çevresinde bugüne kadar gerçekleşmiş ve odak mekanizma çözümü verilmiş 3 deprem öne çıkmaktadır. Dış merkez lokasyonu fay zonunun en batı ucunda ve Etüt alanı sınırları içinde bulunan 30/07/2011 tarihinde gerçekleşmiş olan depremin büyüklüğünü ve ters çözümünü Gök ve Polat (2014) vermektedir. Bu deprem çalışmacılara göre $M_w = 3,6$ büyüklüğünde ve az miktarda sağ doğrultu atımlı bileşeni olan normal faylanma mekanizmasına sahiptir. Çözümün İZF ile koşut ve aynı yönde kuzeye eğimli olan düzlemi $52/60$ K ve yırtılma açısı -112° dir.



Şekil 4.4 Çalışma alanında bulunan heyelanlı bölgelerin yerini gösteren uydu görüntüsü (MTA Yerbilimleri Portalı, 2016) [Kırmızı çizgiler İzmir fayına ait Balçova fay segmentini gösterirken; Sarı daireler çalışma sahasındaki heyelan bölgeleri ifade etmektedir.]



Şekil 4.5 Heyelanların TLS teknikleri ile izlenmesinde kullanılan işlem adımları

Ölçme planlaması heyelanın meydana geldiği bölgede genel görünüm, sabit ve hareketli alanların tespit edilmesi, TLS cihazının iyi görüşüne sahip istasyon yerlerinin belirlenmesi gibi bir ön çalışmayı kapsamaktadır. Diğer adımlar ise sırasıyla bölümler halinde anlatılacaktır.

4.2.1 LiDAR Cihazının Kurulumu ve Ölçüm Alımı

Tez çalışması kapsamında İzmir fayı Balçova segmenti boyunca oluşan heyelanlı alanlarda meydana gelen yüzey hareketlerinin TLS (LiDAR) ile izlenmesine yönelik ilk ölçüm 24-28 Temmuz 2017 tarih aralığında yapılmıştır.

Tarama cihazı olarak LeicaScan Station II modeli kullanılmıştır. Tarama, heyelan alanlarında 4 istasyon kurularak gerçekleştirilmiştir. Tarama yoğunluğu 80-120m mesafede 7cm duyarlılıkla gerçekleştirilmiştir. Tarama sonucu elde edilen 3 istasyona ait nokta bulutlarının değerleri 3 hedef kullanılarak birleştirilmiştir. Ölçümlerde hedefler 2 mm x 2 mm duyarlılıkla taranmıştır. Daha sonra hedeflerin merkezinden GNSS ile elde edilen jeodezik koordinat değerleri kullanılarak birleştirilmiş olan nokta bulut değerleri jeodezik koordinatlara dönüştürülmüştür. Heyelan bölgesinin nokta bulutu olarak daha belirgin olarak belirlenmesi için heyelan dışı bölgelere ait olan veriler temizlenmiştir. İlk ölçümlere ait nokta bulutu dağılımı Şekil 4.6’de verilmiştir.

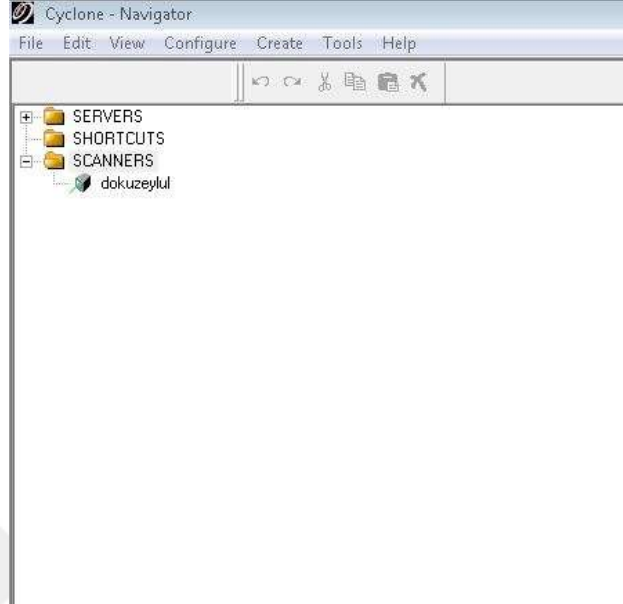


Şekil 4.6 Tez çalışmasındaki heyelan alanı 1. Ölçüme ait örnek nokta bulutu görüntüsü

Özetle LiDAR cihazının arazideki kurulumu ve ölçümün alınması ile ilgili aşağıda ifade edilen adımlar izlenmiştir.

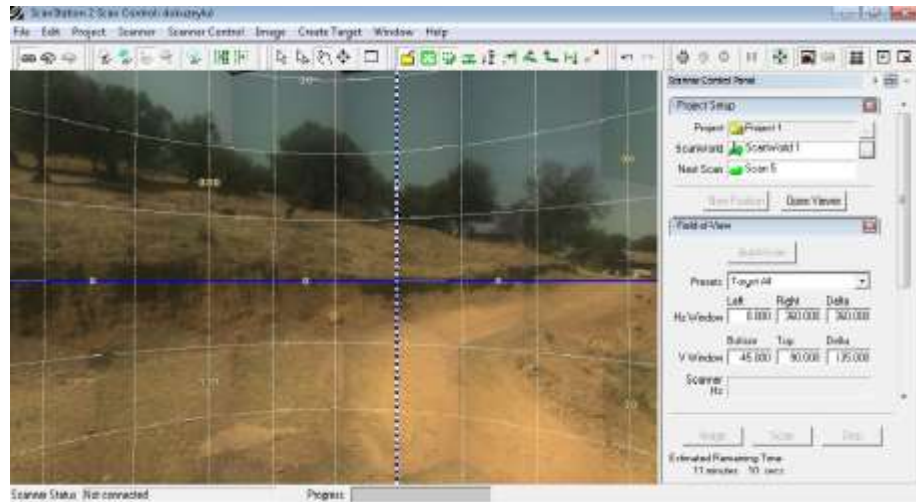
- 1) Lazer scanner tripodu kurularak, su terazisi yardımıyla düzeçlenir. Ardından cihaz tripod üstüne yerleştirilir ve düzeçlenir. Cihaza enerji verilerek hazır

olması beklenir. Bu esnada bilgisayardan Cyclone programı açılır ve Scanners alt başlığından çalışma ekranı açılır (Şekil 4.7).



Şekil 4.7 Çalışma Başlangıcı

- 2) Cihaz hazır olduğunda CAT5 kablosu yardımıyla scanner ve bilgisayar arası bağlantı kurulur. Bağlantı kurulduktan sonra yazılım üstünden tekrardan cihaz için düzeçleme yapılır. Bu işlemden sonra cihaz yardımıyla çalışma alanının 360 derece fotoğrafı çekilir. Fotoğraflama işlemi bilgisayar üstünde gözükür ve referans olarak kullanılır (Şekil 4.8).



Şekil 4.8 Referans 360° Fotoğraf

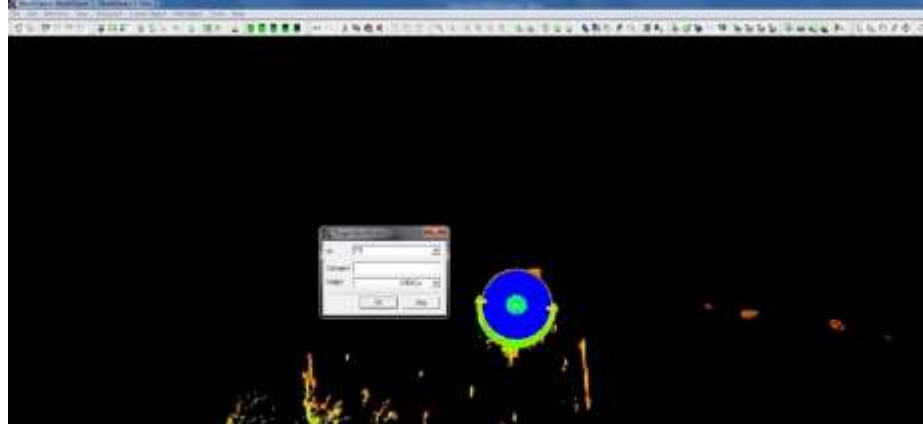
4.2.2 Verilerin Değerlendirilmesi

Tez çalışması kapsamında yapılmış olan LiDAR ölçüm sonuçlarından elde edilen nokta bulutu verilerinin değerlendirilmesinde 2 yöntem esas alınmıştır. Bu yöntemler;

- a) Nokta bulutları verileri kullanılarak yapılacak şev açısı analizleri: Bu analizde amaç her ölçüm sonucunda ölçüm yüzeylerinin açısız eğimlerinin yüzdesel dağılımının ortaya konmasıdır. Ölçüm bazındaki yüzdesel açı değişimleri heyelan bölgesindeki hareketlenmenin belirlenmesi açısından önemlidir.
- b) Nokta bulutu verileri kullanılarak yapılacak deformasyon analizleri: Bu yöntemde yapılacak analizin temeli, master ölçüm olarak adlandırılan ilk ölçüm nokta bulutu verileri ile onu takip eden ölçümlere ait nokta bulutlarının karşılaştırılması sonucunda ortaya konacak deformasyon miktarlarının belirlenmesine dayanmaktadır. Bu yöntemde projede 2 farklı şekilde uygulanacaktır. Bunlar;
 - Nokta bulutu verileri baz alınarak hesaplanacak deformasyon miktarları,
 - Nokta bulutu verileri kullanılarak oluşturulacak yüzeylerin (mesh) değişimini temel alarak hesaplanacak deformasyon miktarları.

Özetle verilerin değerlendirilmesinde izlenen yolları sırasıyla aşağıdaki gibi ifade edebiliriz;

- 1) Veriler arazi bilgisayarından çalışacağımız bilgisayara aktarılır ve Cyclone programı açılır. Çalışma için oluşturduğumuz databaseden ScanWorldlerden biri açılır. Hedeflerden biri seçilerek şekil 4.8'de gösterilen menü yardımıyla hedefe kod adı girilir. Aynı ScanWorld içindeki diğer hedefler için de aynı yapıldıktan sonra sıradaki ScanWorld'e geçilerek aynı işlem aynı hedeflere aynı kod adı girilecek şekilde tekrarlanır. Ardından çalışma database'inde registration açılır (Şekil 4.11).



Şekil 4.11 Hedeflere kod adı girilmesi

- 2) Nokta bulutlarına koordinat verebilmek için elimizdeki koordinatlar UTM ED50 sistemine dönüştürülür ve text dosyası olarak Cyclone programına import edilir ve import edilen bu dosya ScanWorld olarak gözükür.
- 3) Açılan registrationa hedef noktaları aynı olan ScanWorldler eklenir. Ekranda boş alana sağ tıklanarak auto add constraints denilir ve constraints sekmesi açılır. Yine boş bir alana sağ tıklanarak Register denilir ve hedefler arasındaki hata payı gözükür. Bu işlemden sonra ilgili menüden auto add cloud constraints (Şekil 4.12) denilmektedir. Böylece nokta bulutları birleştirilmiş olup birleşme hata payı gözükür. Nokta bulutları birleştirildikten sonrasında da kitlenerek yeni ScanWorld oluşturulur.

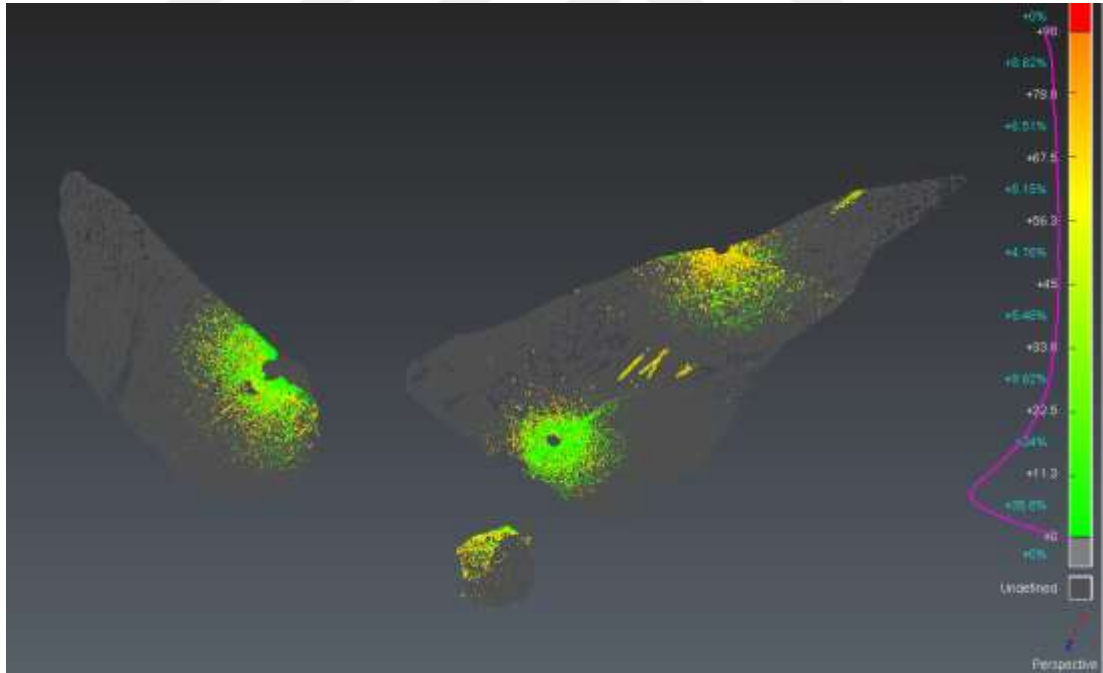
Constraint ID	ScanWorld 1	ScanWorld 2	Type	Status	Weight	Size	Error Vector
Cloud/Mesh 1	ScanWorld 1	ScanWorld 2	Cloud/Cloud/Mesh/Cloud	On	1.0000	0.001 m	aligned [3.018 m]
TargetID: S1	ScanWorld 1	ScanWorld 2	Correspond: Vertex/Vertex	On	1.0000	0.001 m	[0.001, 0.001, 0.000] m
TargetID: S1	ScanWorld 1	Default (Level)	Correspond: Vertex/Vertex	On	1.0000	0.001 m	[0.001, 0.001, 0.000] m
TargetID: S2	ScanWorld 2	Default (Level)	Correspond: Vertex/Vertex	On	1.0000	0.001 m	[0.000, 0.001, 0.000] m
TargetID: S2	ScanWorld 1	ScanWorld 2	Correspond: Vertex/Vertex	On	1.0000	0.002 m	[0.001, 0.002, 0.000] m
TargetID: S2	ScanWorld 1	Default (Level)	Correspond: Vertex/Vertex	On	1.0000	0.001 m	[0.001, 0.001, 0.000] m
TargetID: S3	ScanWorld 1	Default (Level)	Correspond: Vertex/Vertex	On	1.0000	0.000 m	[0.000, 0.000, 0.000] m
TargetID: S3	ScanWorld 1	ScanWorld 2	Correspond: Vertex/Vertex	On	1.0000	0.000 m	[0.000, 0.000, 0.000] m
TargetID: S3	ScanWorld 2	Default (Level)	Correspond: Vertex/Vertex	On	1.0000	0.000 m	[0.000, 0.000, 0.000] m

Şekil 4.12 Birleştirilmiş ve koordinatları verilmiş nokta bulutları ve hata payları

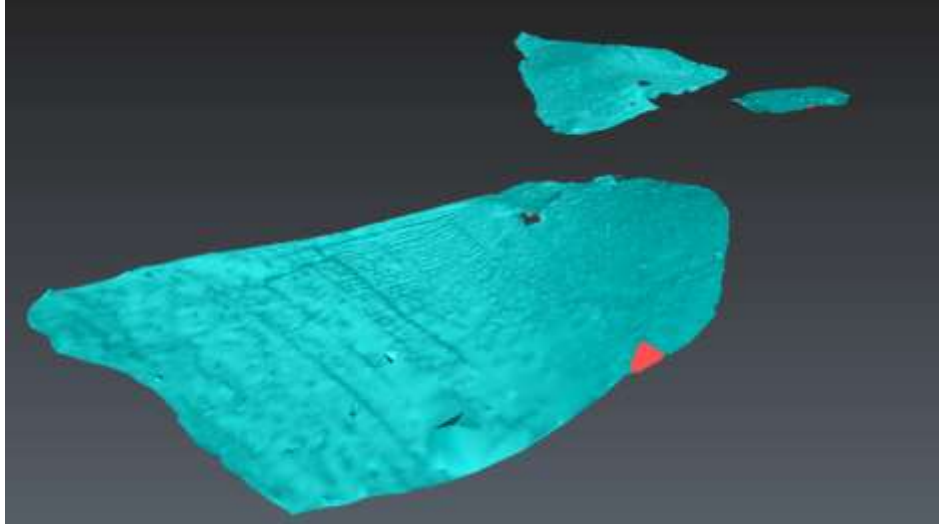
- 4) Farklı iki alan birleştirilmek istendiğinde ise koordinat verme işlemi yapıldıktan sonra yeni bir registration işlemi açılır koordinat verilmiş ScanWorldler seçilir ve sadece kitlenerek yeni ScanWorld oluşturulur seçeneği seçilir.

4.2.2.1 Değerlendirme Sonuçları

Yapılan LiDAR çalışmasına ait ilk ölçümlerde yüzey açı eğimleri dağımı Şekil 4.13’ de verilmiştir. Analizde maksimum açısal değişim 90° olarak belirlenmiştir. Elde edilen ilk sonuçlara göre heyelan bölgesindeki açısal değişimler %60 oranında $0-22.5^\circ$ arasında değişmektedir. Daha sonra yapılacak ölçümlerle bu değişimler karşılaştırılacaktır. Tez çalışması Balçova alt bölgesindeki LiDAR ölçümlerinden elde edilen nokta bulutlarından elde edilmiş yüzey (mesh) modelleri Şekil 4.14, Şekil 4.15 ve Şekil 4.16’da verilmiştir.



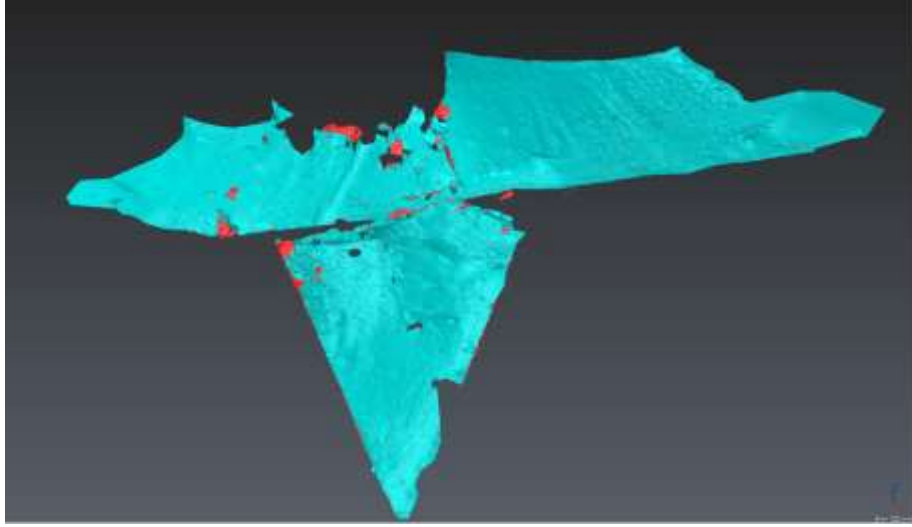
Şekil 4.13 Tez çalışması Balçova alt bölgesindeki ilk LiDAR ölçümlerinden elde edilen nokta bulutlarının analizi ile belirlenen şev açı analizleri sonuçları



Şekil 4.14 Tez kapsamındaki çalışma bölgesine ait ilk LiDAR ölçümlerinden elde edilen nokta bulutlarından elde edilmiş yüzey (mesh) model



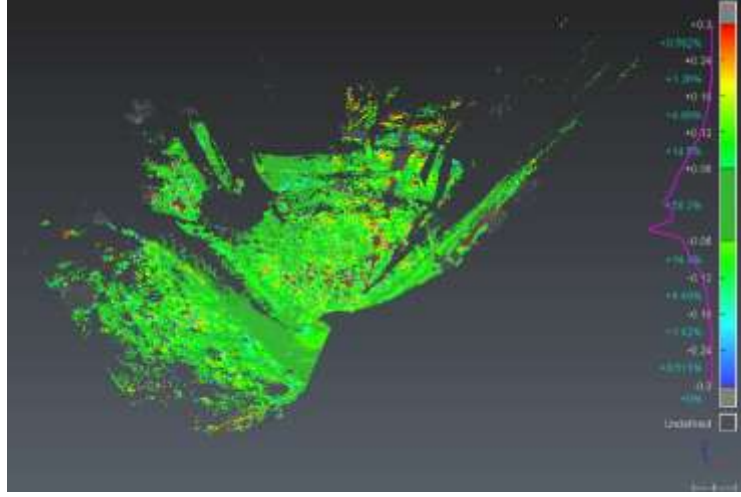
Şekil 4.15 Tez çalışması Balçova alt bölgesine ait ikinci LiDAR ölçümlerinden elde edilen nokta bulutlarından elde edilmiş yüzey (mesh) model



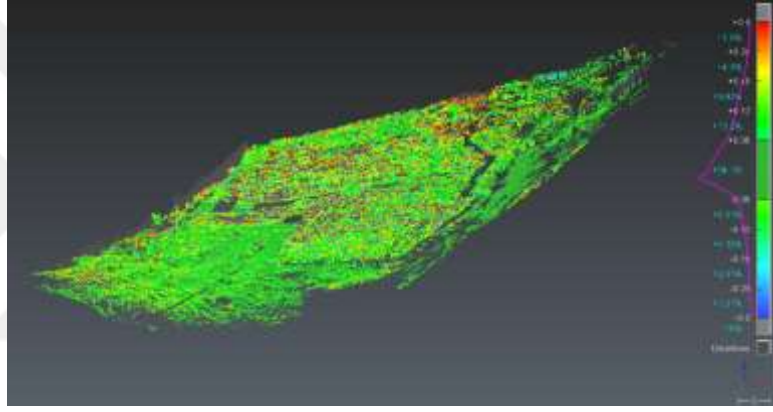
Şekil 4.16 Tez çalışması Balçova alt bölgesine ait üçüncü LiDAR ölçümlerinden elde edilen nokta bulutlarından elde edilmiş yüzey (mesh) model

Deformasyon çalışmalarında Cyclone 8.1 ve 3DReshaper yazılımları kullanılmıştır.

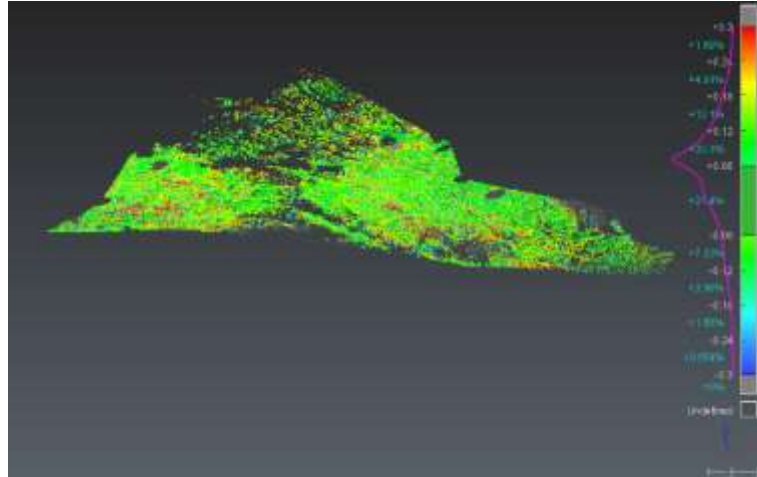
- a) İzmir Fayı Balçova Segmenti Balçova alt alanına yapılan ölçümlere ait deformasyon analizleri: Tarama, heyelan alanlarında 4 istasyon kurularak gerçekleştirilmiştir. Tarama yoğunluğu 80-120m mesafede 7cm duyarlılıkla gerçekleştirilmiştir. Tarama sonucu elde edilen 4 istasyona ait nokta bulutlarının değerleri 3 hedef kullanılarak birleştirilmiştir. Ölçümlerde hedefler 2 mm x 2 mm duyarlılıkla taranmıştır. Daha sonra hedeflerin merkezinden GNSS ile elde edilen jeodezik koordinat değerleri kullanılarak birleştirilmiş olan nokta bulut değerleri jeodezik koordinatlara dönüştürülmüştür. Heyelan bölgesinin nokta bulutu olarak daha belirgin olarak belirlenmesi için heyelan dışı bölgelere ait olan veriler temizlenmiştir. Elde edilen nokta bulutu verileri aynı ölçüm alanında proje ikinci döneminde yapılan İlk ölçümlere (master ölçümler) ait nokta bulutu verileri ile birlikte analiz edilmiştir. Elde edilen yüzey deformasyon değerleri Şekil 4.17, Şekil 4.18, Şekil 4. 19, Şekil 4.20, Şekil 4.21, Şekil 4.22, Şekil 4.23, Şekil 4.24 ve Şekil 4. 25’de verilmiştir. Analizler ve değerlendirmeler istasyon noktaları baz alınarak bu alt alan için 3 farklı bölge için verilmiştir.



Şekil 4.17 Tez çalışması heyelan alanı 1 ve 2. Ölçümlere ait deformasyon analiz sonuçları (1. Bölge)

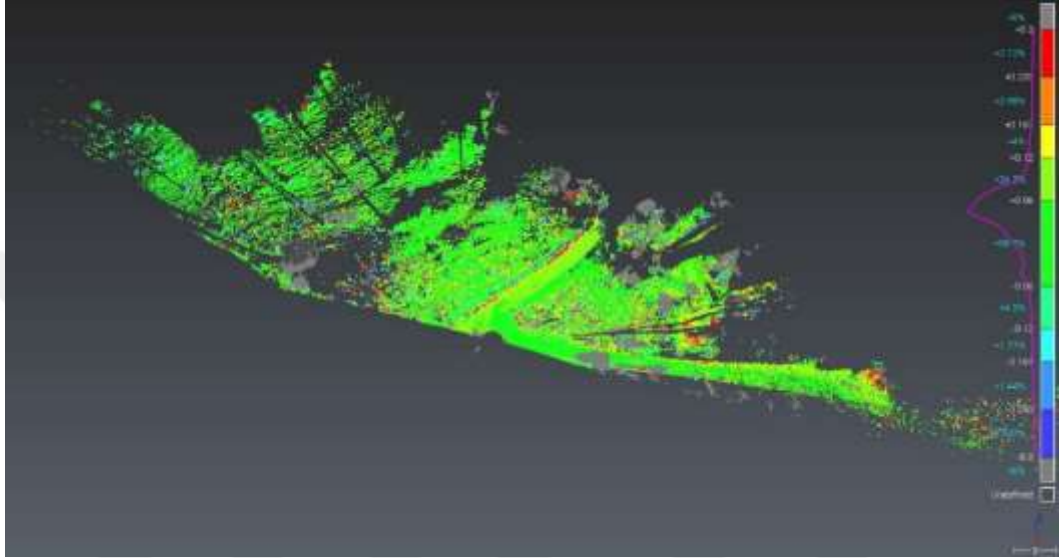


Şekil 4.18 Tez çalışması heyelan alanı 1 ve 2. Ölçümlere ait deformasyon analiz sonuçları (2. Bölge)

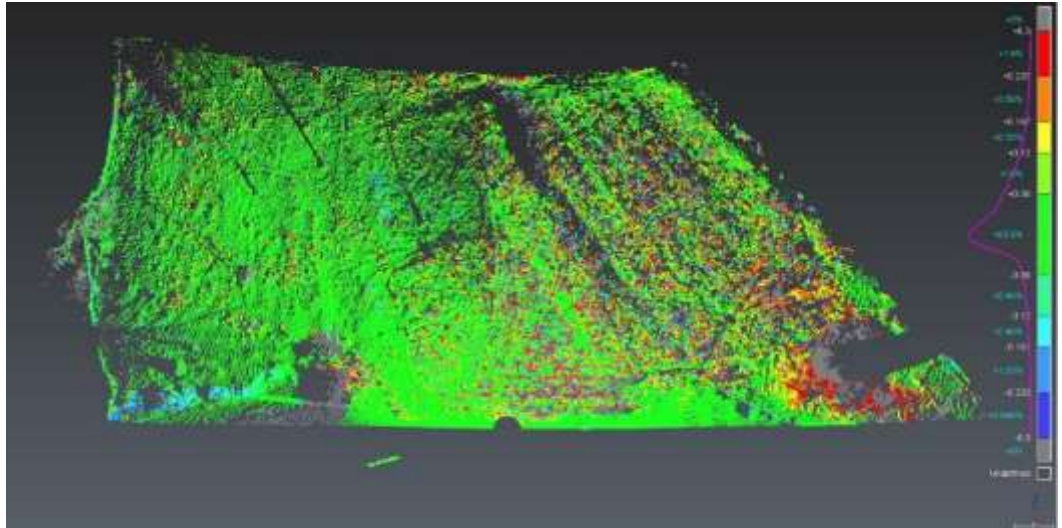


Şekil 4.19 Tez çalışması heyelan alanı 1 ve 2. Ölçümlere ait deformasyon analiz sonuçları (3. Bölge)

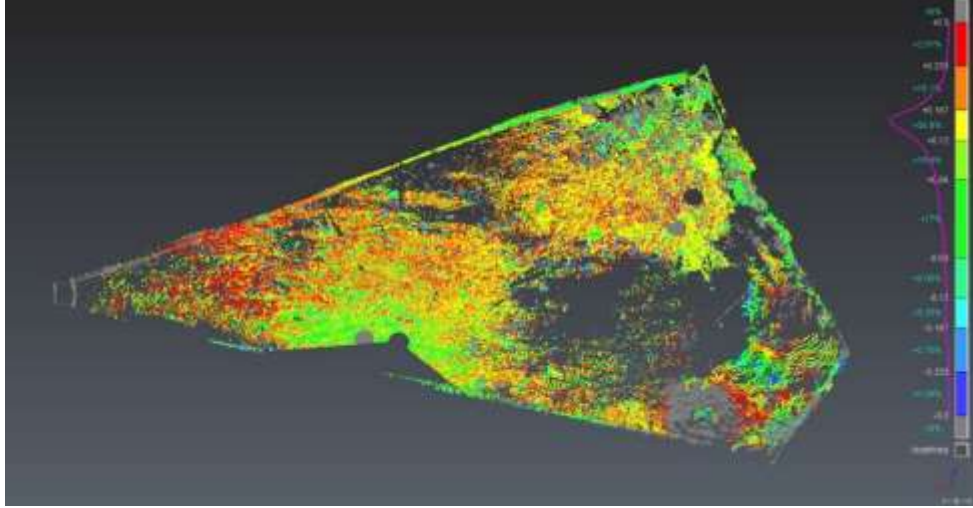
Temel değerlendirme aşamasında 3 b6lge için de deformasyon değerleri %70 oranında +0,12 ile -0,06m arasında değiştiği g6r6lmektedir. LiDAR 6l6m alanlarında çalışma s6resince 6zellikle yağışa bağlı bir deformasyonun etkili olduğu g6r6lmektedir. Yapılmış olan bu çalışmalarda + tarafındaki değişiklikler 6kmeyi, - tarafındaki değişiklikler ise birikmeleri g6stermektedir.



şekil 4.20 Tez alışması heyelan alanı 1 ve 3. 6l6mlere ait deformasyon analiz sonuçları (1. B6lge)

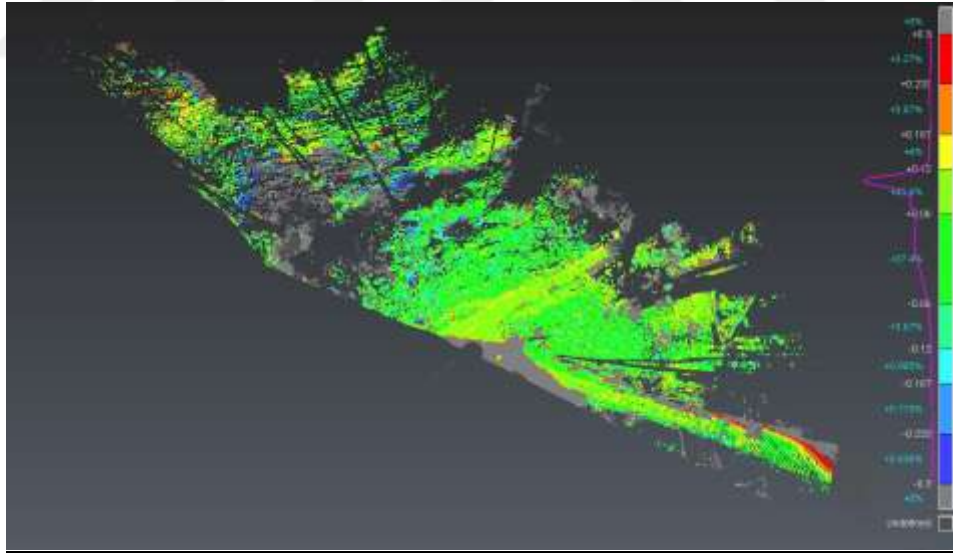


şekil 4.21 Tez alışması heyelan alanı 1 ve 3. 6l6mlere ait deformasyon analiz sonuçları (2. B6lge)

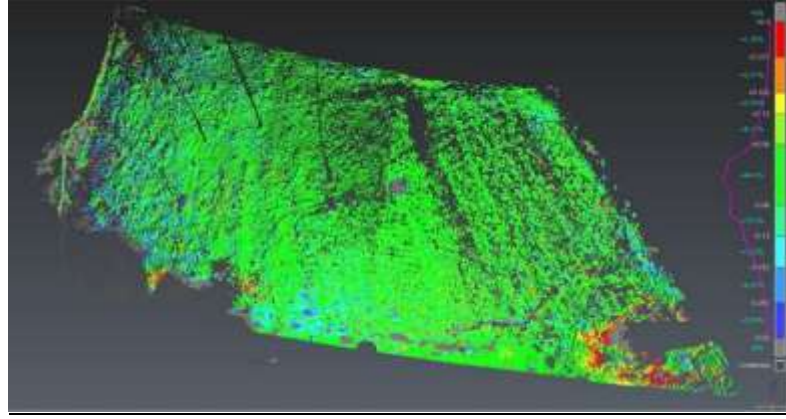


Şekil 4.22 Tez çalışması heyelan alanı 1 ve 3. Ölçümlere ait deformasyon analiz sonuçları (3. Bölge)

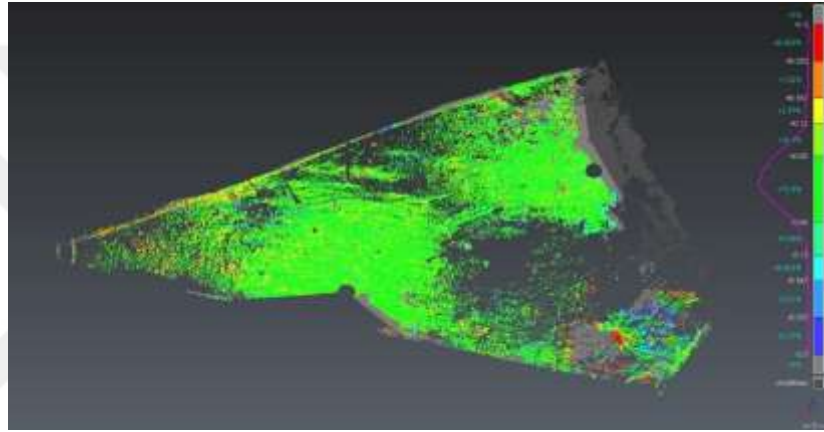
Yapılmış olan çalışmalarda her ilk iki bölgede deformasyon değerleri yaklaşık %80 oranında +0,12 ile -0,06m arasında değiştiği görülmektedir. LiDAR ölçüm alanlarında çalışma süresince özellikle yağışa bağlı bir deformasyonun etkisinin devam ettiği görülmektedir.



Şekil 4.23 Tez çalışması heyelan alanı 2 ve 3. Ölçümlere ait deformasyon analiz sonuçları (1. Bölge)



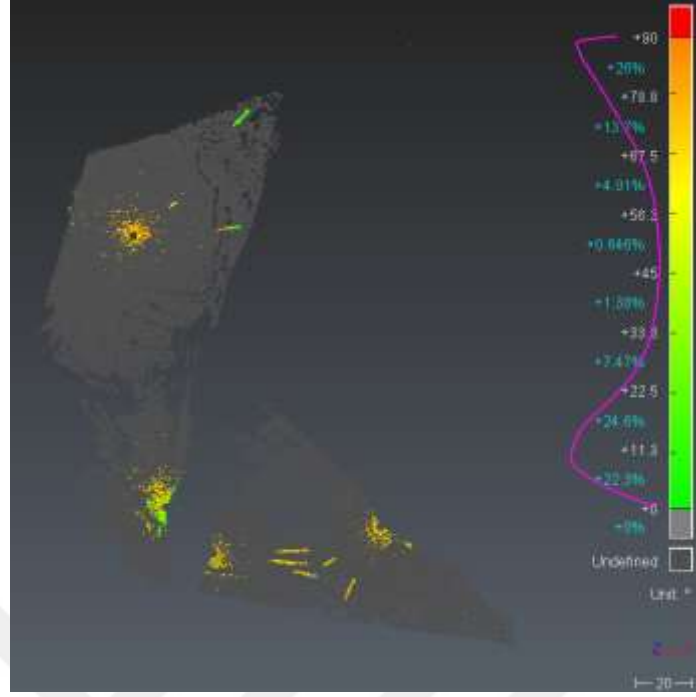
Şekil 4.24 Tez çalışması heyelan alanı 2 ve 3. Ölçümlere ait deformasyon analiz sonuçları (2. Bölge)



Şekil 4.25 Tez çalışması heyelan alanı 2 ve 3. Ölçümlere ait deformasyon analiz sonuçları (3. Bölge)

Yapılmış olan çalışmalarda 1. bölgede deformasyon değerleri yaklaşık %80 oranında +0,12 ile -0,06m arasında değiştiği görülürken, 2. Bölgede deformasyon değerleri yaklaşık olarak %70 oranında +0,12 ile -0,12m arasında değiştiği görülmektedir. 3. bölgede ise deformasyon değerleri yaklaşık %70 oranında +0,06 ile -0,06m arasında değiştiği görülmektedir.

- b) İzmir Fayı Balçova Segmenti Balçova alt alanına yapılan ölçümlere ait şev açısı analizleri: Bu analizde amaç her ölçüm sonucunda ölçüm yüzeylerinin açısız eğimlerinin yüzdesel dağılımının ortaya konmasıdır. Ölçüm bazındaki yüzdesel açı değişimleri heyelan bölgesindeki hareketlenmenin belirlenmesi açısından önemlidir. Bu alanda yapılan ölçümlere ait nokta bulutu verilerinden elde edilen şev açısı analizleri tüm alan için Şekil 4.26’da verilmiştir.

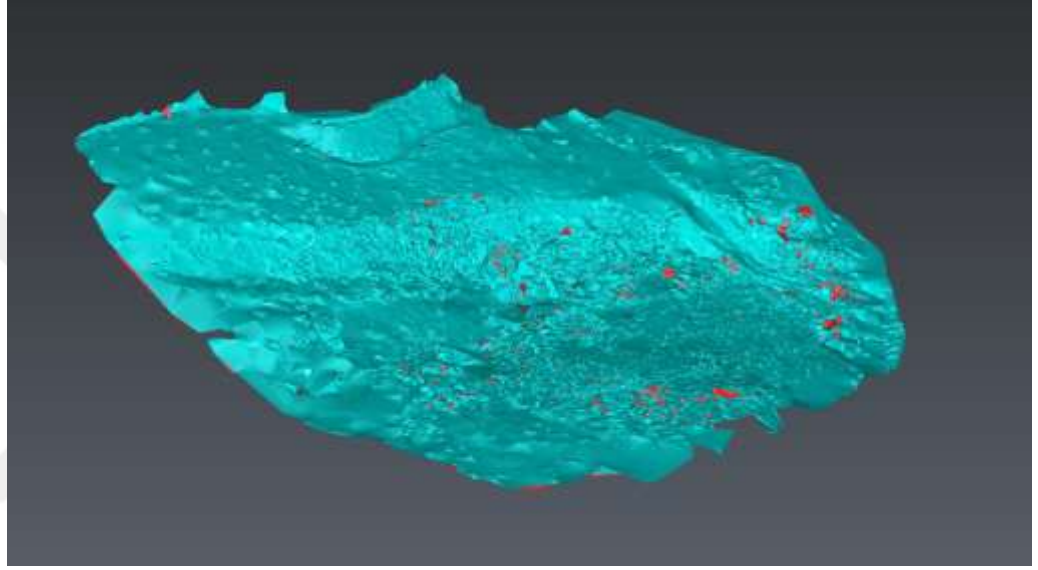


Şekil 4.26 Tez çalışması Balçova alt bölgesindeki ikinci LiDAR ölçümlerinden elde edilen nokta bulutlarının analizi ile belirlenen şev açısı analizleri sonuçları

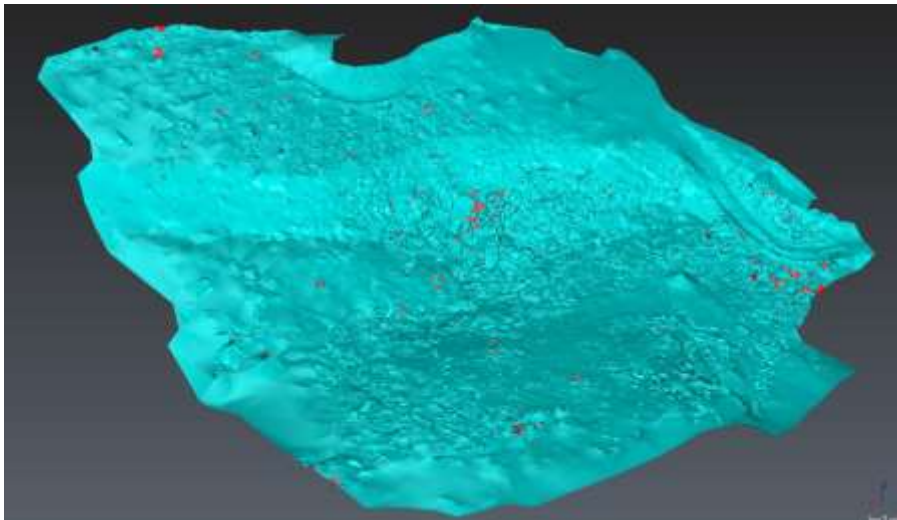
Analizde maksimum açısal değişim 90° olarak belirlenmiştir. Elde edilen sonuçlara göre heyelan bölgesindeki açısal değişimler %46 oranında $0-22,5^\circ$ arasında değişmektedir. İlk ölçümlerde yapılan şev açısı analizlerinde $0-22,5^\circ$ arasındaki değişim oranı % 60 oranında belirlenmiştir. Meydana gelen değişimin nedeni, dönem içinde şiddetli yağışların meydana gelmesi ve ölçüm alanının sınırında yapılan kazı çalışmalarından kaynaklı dik şevlerin oluşmasından kaynaklanmaktadır.

- c) İzmir Fayı Balçova Segmenti Agora alt alanına yapılan ölçümlere ait deformasyon analizleri: İzmir fayı Balçova segmenti Agora alt alanında meydana gelen yüzey hareketlerinin TLS (LiDAR) ile izlenmesine yönelik ilk ölçümler yapılmıştır. Tarama, heyelan alanlarında 3 istasyon kurularak gerçekleştirilmiştir. Tarama yoğunluğu 80-120m mesafede 7cm duyarlılıkla gerçekleştirilmiştir. Tarama sonucu elde edilen 3 istasyona ait nokta bulutlarının değerleri 3 hedef kullanılarak birleştirilmiştir. Ölçümlerde hedefler 2 mm x 2 mm duyarlılıkla taranmıştır. Daha sonra hedeflerin merkezinden GNSS ile elde edilen jeodezik koordinat değerleri kullanılarak birleştirilmiş olan nokta bulut değerleri jeodezik koordinatlara

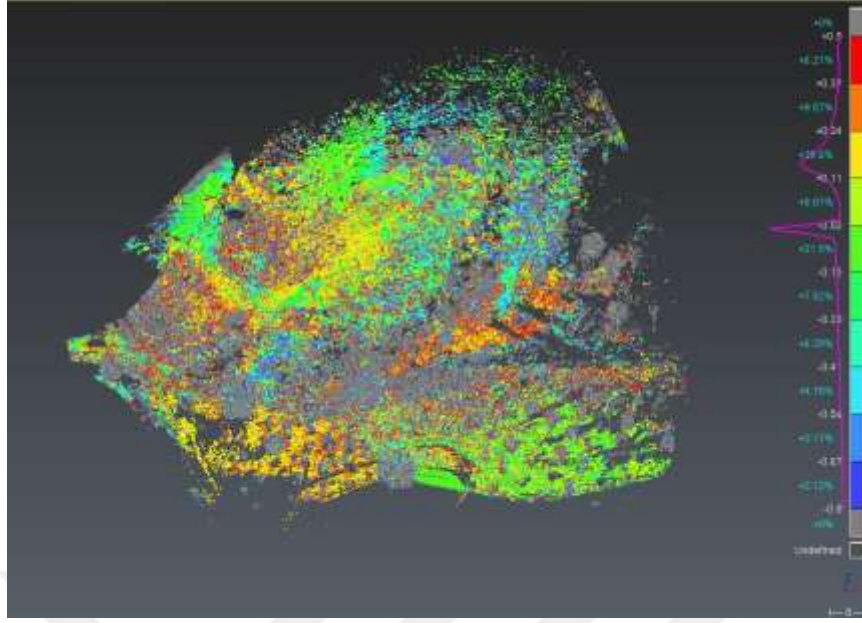
dönüştürülmüştür. Heyelan bölgesinin nokta bulutu olarak daha belirgin olarak belirlenmesi için heyelan dışı bölgelere ait olan veriler temizlenmiştir. Tez çalışması Agora alt bölgesindeki LiDAR ölçümlerinden elde edilen nokta bulutlarından elde edilmiş yüzey (mesh) modelleri Şekil 4.27 ve Şekil 4.28’de verilmiştir. Çalışma alanındaki deformasyon analizi Şekil 4.29’da verilmiştir. Bu alt alanda yapılan şev analiz sonuçları analiz edilmiş ve değerlendirilmiştir (Şekil 4.30).



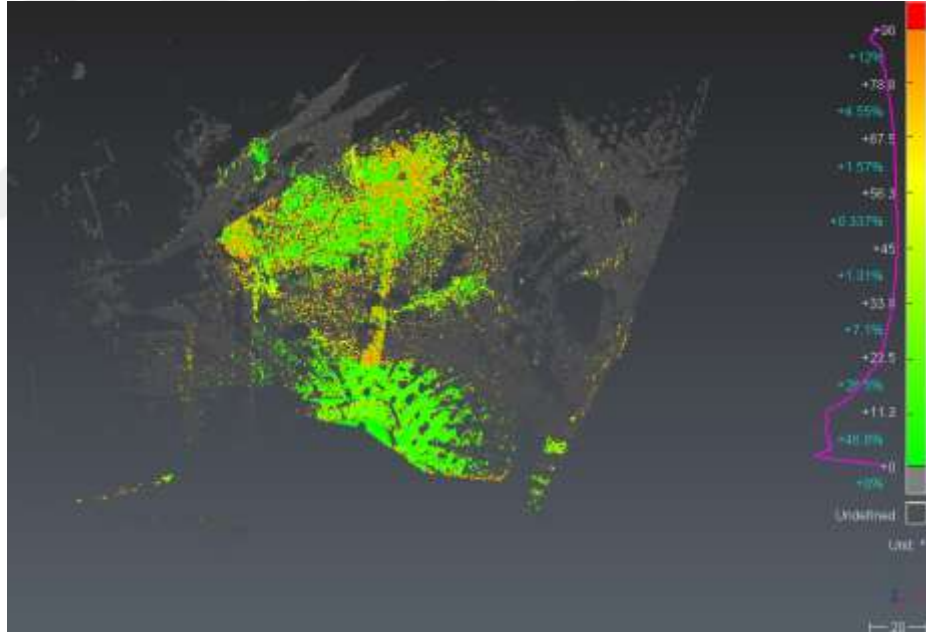
Şekil 4.27 Tez çalışması Agora alt bölgesine ait ilk LiDAR ölçümlerinden elde edilen nokta bulutlarından elde edilmiş yüzey (mesh) model



Şekil 4.28 Tez çalışması Agora alt bölgesine ait ikinci LiDAR ölçümlerinden elde edilen nokta bulutlarından elde edilmiş yüzey (mesh) model



Şekil 4.29 Tez çalışması Agora bölgesi heyelan alanı 1 ve 2. Ölçümlere ait deformasyon analiz sonuçları



Şekil 4.30 Tez çalışması Agora alt bölgesindeki ilk LiDAR ölçümlerinden elde edilen nokta bulutlarının analizi ile belirlenen şev açısı analizleri sonuçları

Temel değerlendirme aşamasında deformasyon değerinin %70 oranında +0,24 ile -0,23m arasında değiştiği görülmektedir. LiDAR ölçüm alanlarında proje süresince özellikle yağışa bağlı bir deformasyonun etkili olduğu görülmektedir. Analizde maksimum açısal değişim 90°olarak belirlenmiştir. Elde edilen ilk sonuçlara göre heyelan bölgesindeki açısal değişimler %73 oranında 0-22,5° arasında değişmektedir.

4.3 DInSAR Yöntemi

Tez kapsamında Tablo 4.1 ve Tablo 4.2’ de detaylı şekilde verilen iki adet Terresar–X görüntüsü deformasyon analizlerinde kullanılmak üzere alınmıştır. Radar uydu görüntüleri ile yapılacak olan deformasyon analizlerinde Erdas (+ interferometry) ve 3DReshaper yazılımları kullanılmıştır.

Tablo 4.1 İlk deformasyon analizlerin yapıldığı TerreSAR–X görüntülerinin özellikleri-2008 yılı

Id	TSX-1_2008-02-01T16_05_2419000
Description	StripMap (SM) - Up to 3m resolution, scene size 30km (width) x 50km (length)
Date	Feb 1, 2008 4:05 24 PM
Archiving Station	DLR
Average resolution	3.25
Beam ID	strip_011
Imaging Mode	Stripmap (SM)
Incidence Angle	39.2306607483179°
Looking direction	R
Maximum resolution	3.5
Minimum resolution	3
Path Direction	ascending
Polarization channel	HH
Polarization Mode	single
Scene Name	Cycle 21 Orbit 9 ASC StripMap

Tablo 4.2 İlk deformasyon analizlerin yapıldığı TerreSAR–X görüntülerinin özellikleri-2015 yılı

Id	TSX-1_2015-11-20T16_06_0969343
Description	StripMap (SM) - Up to 3m resolution, scene size 30km (width) x 50km (length)
Date	Nov 20, 2015 4:06:09 PM
Archiving Station	DLR
Average resolution	3.25
Beam ID	strip_011
Imaging Mode	Stripmap (SM)
Incidence Angle	39.2206366197187°
Looking direction	R
Maximum resolution	3.5
Minimum resolution	3
Path Direction	ascending
Polarization channel	HH
Polarization Mode	single
Scene Name	Cycle 260 Orbit 9 ASC StripMap

Tez kapsamında yapılan çalışmalarda D-Insar (diferansiyel interferometrik Yapay Açıklıklı Radar) tekniği ile İzmir fayı Balçova segmenti boyunca iki alanda analizler gerçekleştirilmiştir.

Bu bölgeler tez kapsamında Balçova ve Agora olarak isimlendirilmiştir. D-Insar tekniği, iki farklı görüntü alımı arasında geçen zaman aralığında bölgede değişimin olduğu varsaymaktadır. Yani Interferometrik SAR tekniği yardımıyla iki radar uydusu görüntüsünde birbirine karşılık gelen piksellerin fazlarının farkı kullanılarak interferogram adı verilen değişim bilgisi elde edilmiştir. Bu amaçla yüksek çözünürlüklü TerraSAR-X uydusundan 01/02/2008, 07/04/2013, 09/10/2014 ve 20/11/2015 tarihlerine ait uydu görüntüleri elde edilerek, bu iki tarih arasında meydana gelen yüzey deformasyonları belirlenmiştir. Çalışmada kullanılan TerraSAR-X uydusu görüntülerine ait görüntüleri tanımlayan ID'ler;

TSX1_SAR__SSC_____SM_S_SRA_20080201T160525_20080201T160533

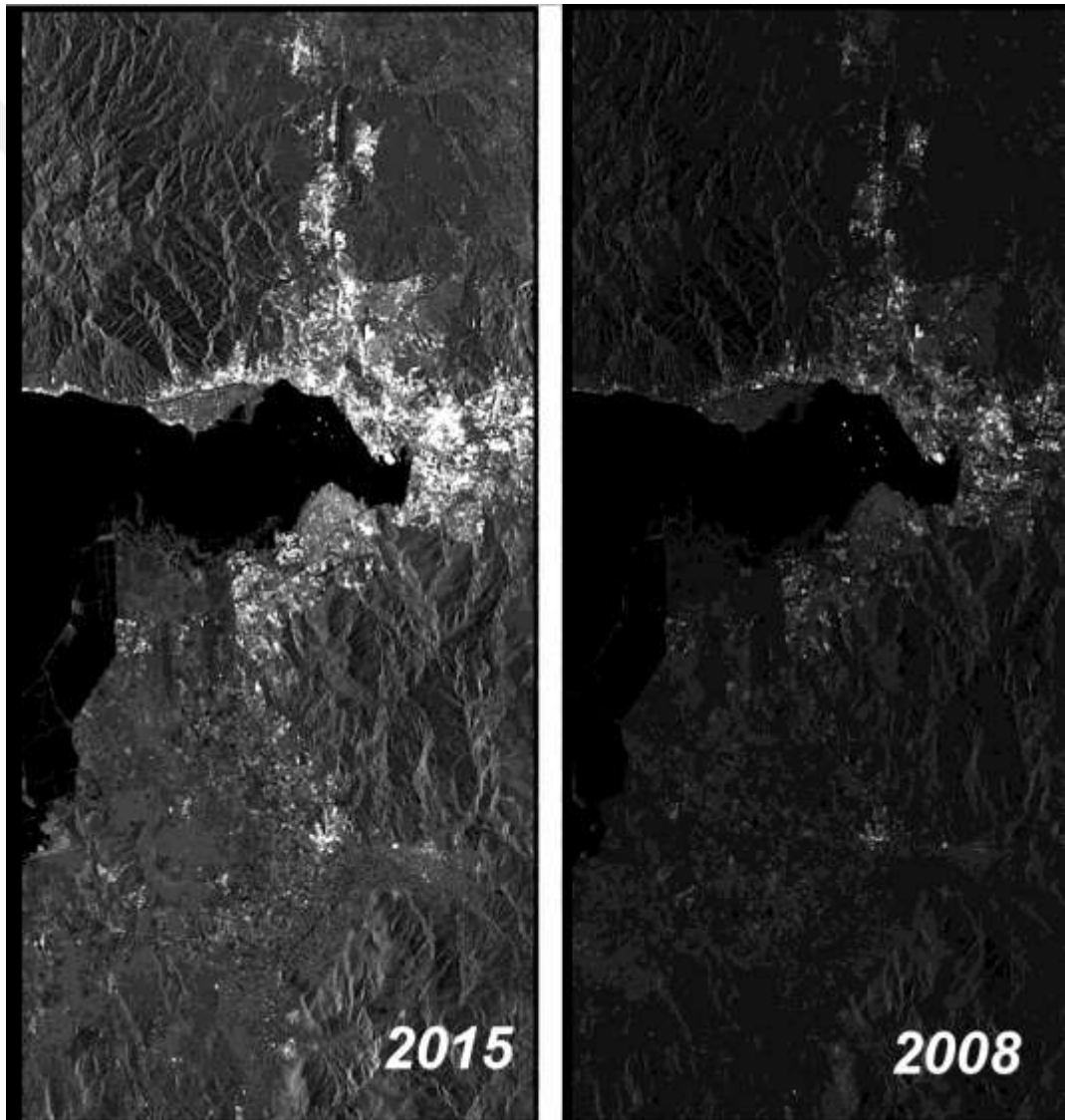
TSX1_SAR__SSC_____SM_S_SRA_20151120T160610_20151120T160618

TSX-1_2013-04-07T16_05_4861012

TDX-1_2014-10-09T16_06_1451065

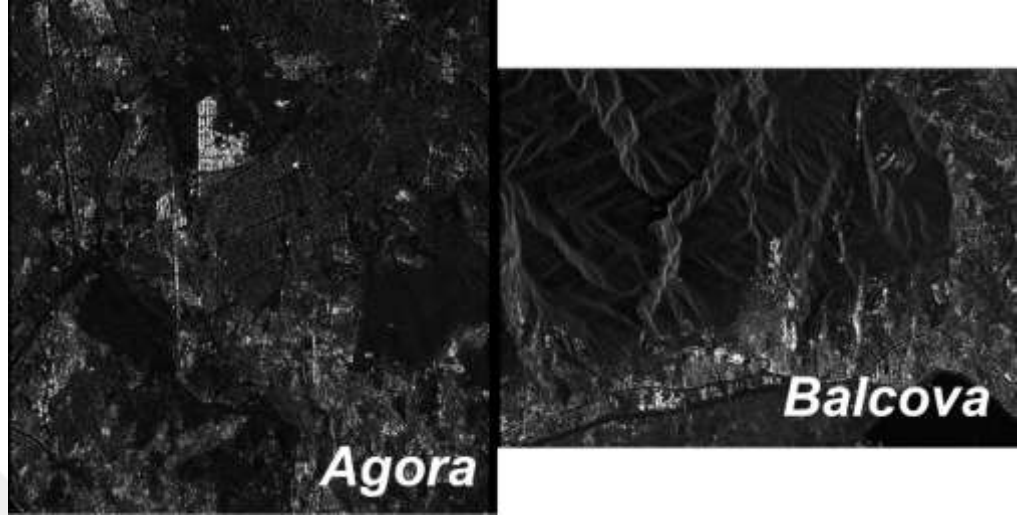
Görüntüler üzerinden deformasyon analizleri ERDAS IMAGINE Programı içindeki “SAR Interferometry” modülü kullanılarak yapılmıştır. Görüntü işleme aşamaları;

- Önce TSX1_SAR görüntüleri Erdas IMAGINE programına aktarılmıştır (Şekil 4.31).



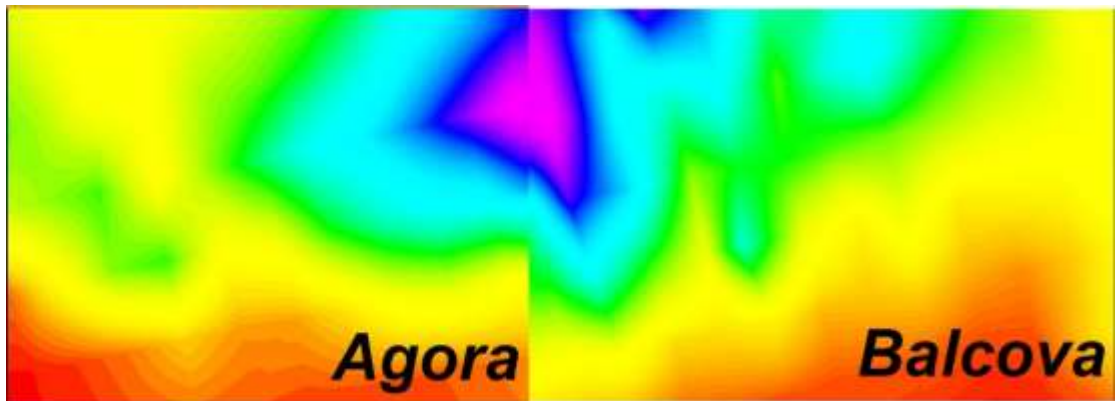
Şekil 4.31 20/11/2015 ve 01/02/2008 tarihli TSX1_SAR__SSC görüntüleri

- Görüntülere “Displacement Mapping” modülü kullanılarak:Çalışma alanlarının kesilmesi (Şekil 4.32),



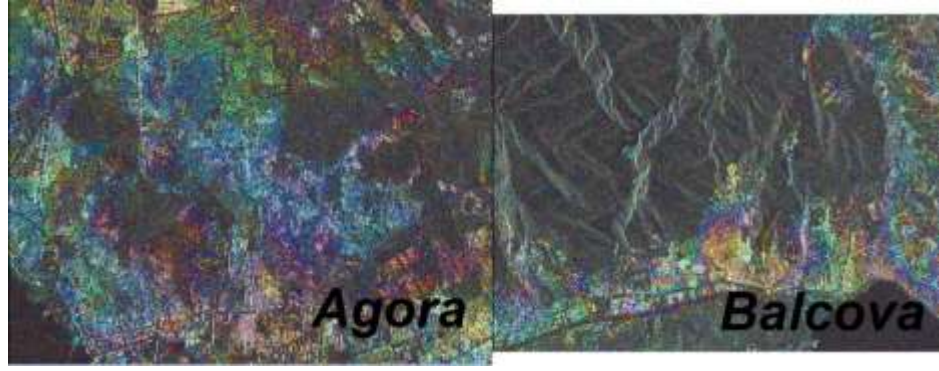
Şekil 4.32 Çalışma alanları

- “Spectral Shift” filtresi kullanılarak her bir pikseldeki coherence maksimize edilmesi,
- İki SAR görüntüsü radar interferogram. oluşturmak üzere birleştirilmesi,
- Görüntülerdeki topoğrafya kaynaklı hatalar ayıklanması (Şekil 4.33)

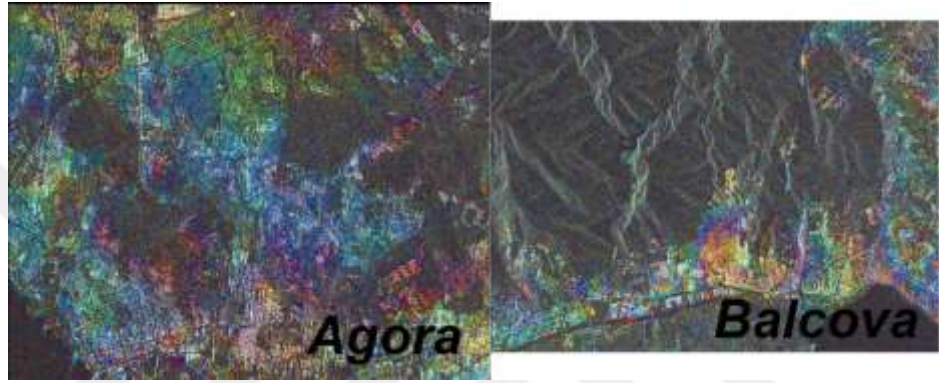


Şekil 4.33 Topoğrafya kaynaklı hatalar dan ayıklanmış görüntü

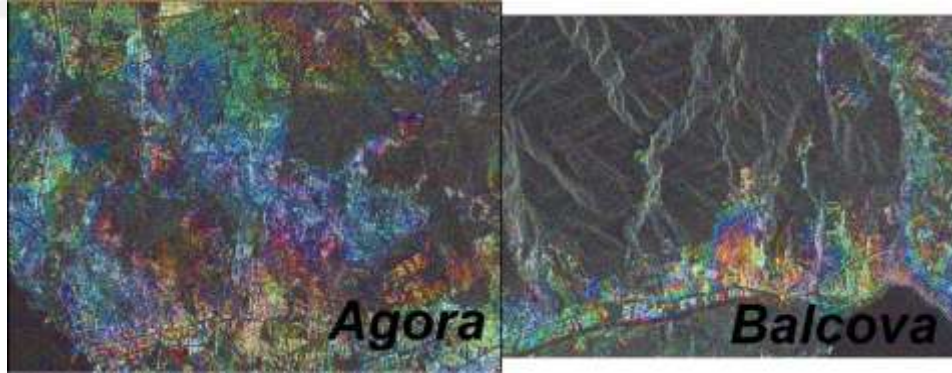
- İnterferogram, filtrelenmiş interferogram, diferansiyel interferogram ve koherens görüntü oluşturulması, (Şekil 4.34a,b,c,d)



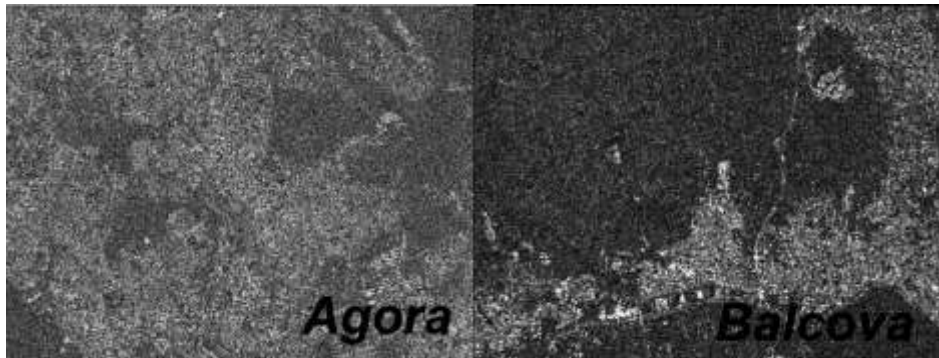
Şekil 4.34(a) İnterferogram görüntüleri



Şekil 4.34(b) Filtrelenmiş interferogram görüntüleri

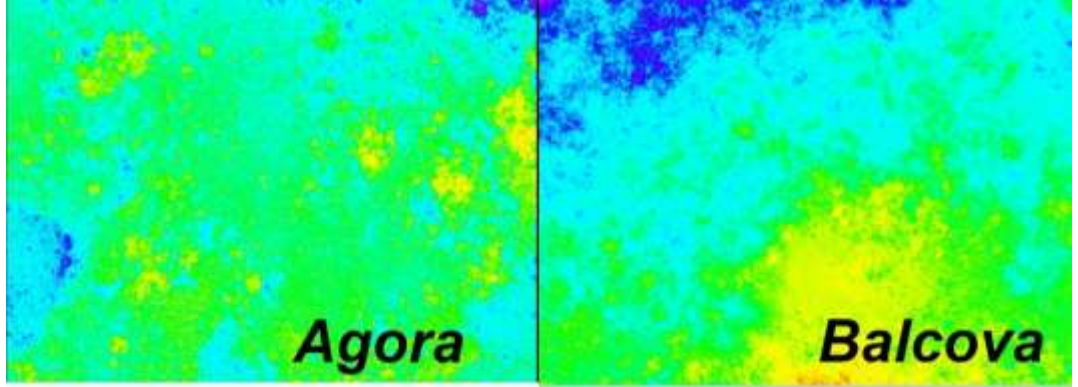


Şekil 4.34(c) Diferansiyel interferogram görüntüleri



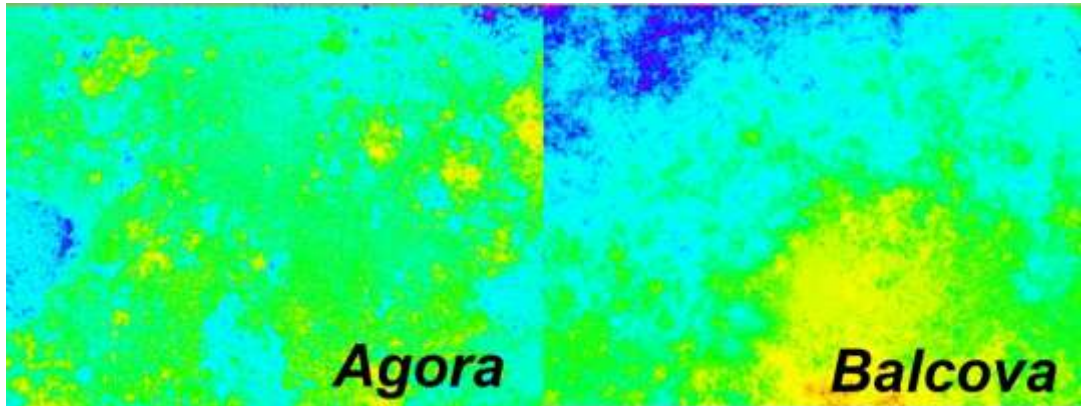
Şekil 4.34(d) Koherens görüntüleri

- Son faz çözümlemesi (phase unwrapping) işlemi gerçekleştirilmesi (Şekil 4.35),



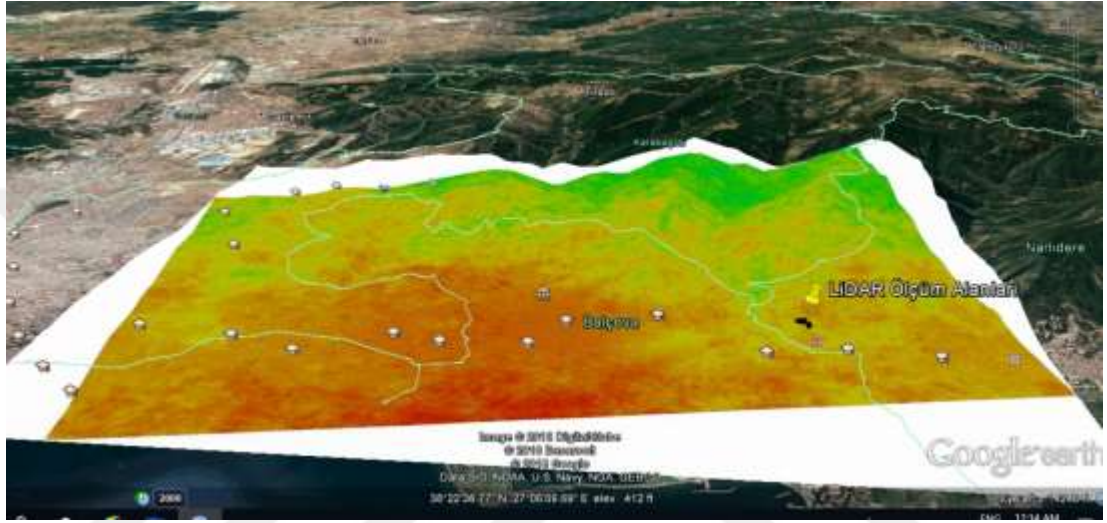
Şekil 4.35 Faz çözümlemesi yapılmış görüntüler

- Zamansal ve mekânsal filtreler uygulanarak deformasyon fazı, atmosfer ve gürültü fazlarından ayrılması,
- Son olarak kayma öncesi ve kayma sonrası topografyayı temsil eden iki farklı interferogram üretilmesi sonucundaki görüntünün elde edilmesi (Üretilen bu interferogramların birbirlerinden çıkarılması sonucu elde edilen fark interferogram görüntüsü kayma sonrası oluşan deformasyona karşılık gelir) (Şekil 4.36) aşamaları gerçekleştirilir. Şekil 4.36’da verilen bu görüntülerdeki piksel değerleri faz çözümlemesi yapılmış diferansiyel interferogram görüntüsünden alınmıştır ve metre bazında yer değişim değerini vermektedir.

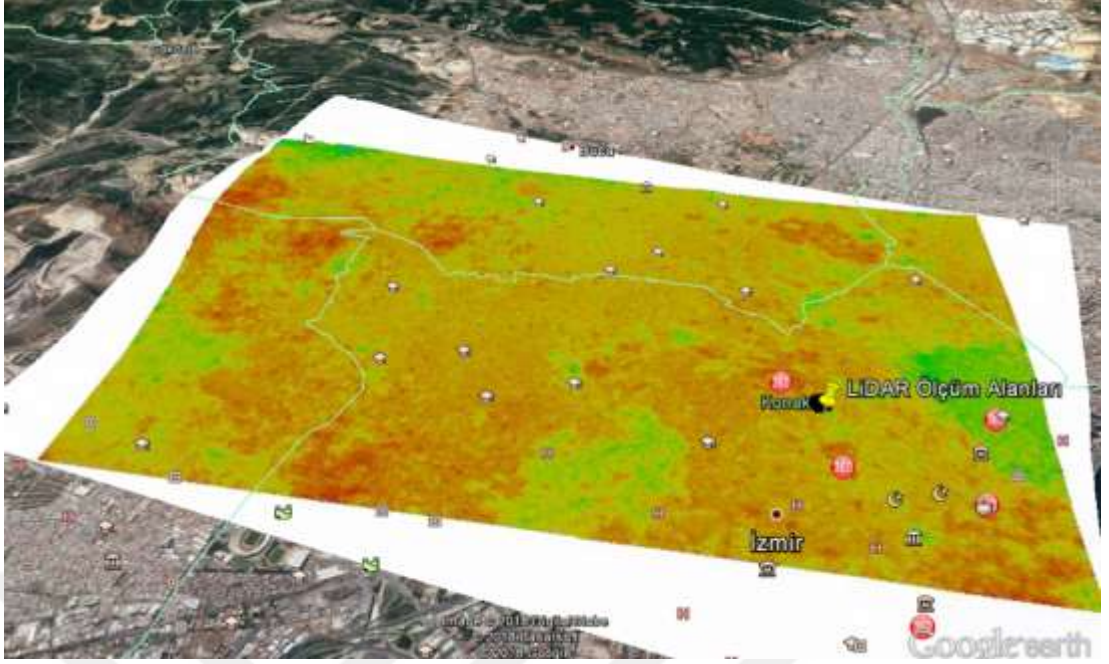


Şekil 4.36 Deformasyonun olmadığı alanın değerinin görüntülerden çıkartıldıktan sonra elde edilen sonuç (Line-of-Sight motion) görüntüleri

Elde edilen sonuç görüntü (Line-of-Sight motion) verileri 3Dreshaper programında analiz edilmiştir. Değerlendirme aşamasında İzmir Fayı Balçova Segmenti geneli, Balçova ve Agora alt alanları temel alınmıştır. Balçova ve Agora alt alanlarında LiDAR ölçümlerinde belirlenen alanlarda yapılmıştır. Bu alanlara ait los (Line-of-Sight motion) verileri Google Earth görüntüsü üzerinde verilmiştir (Şekil 4.37 ve Şekil 4.38).



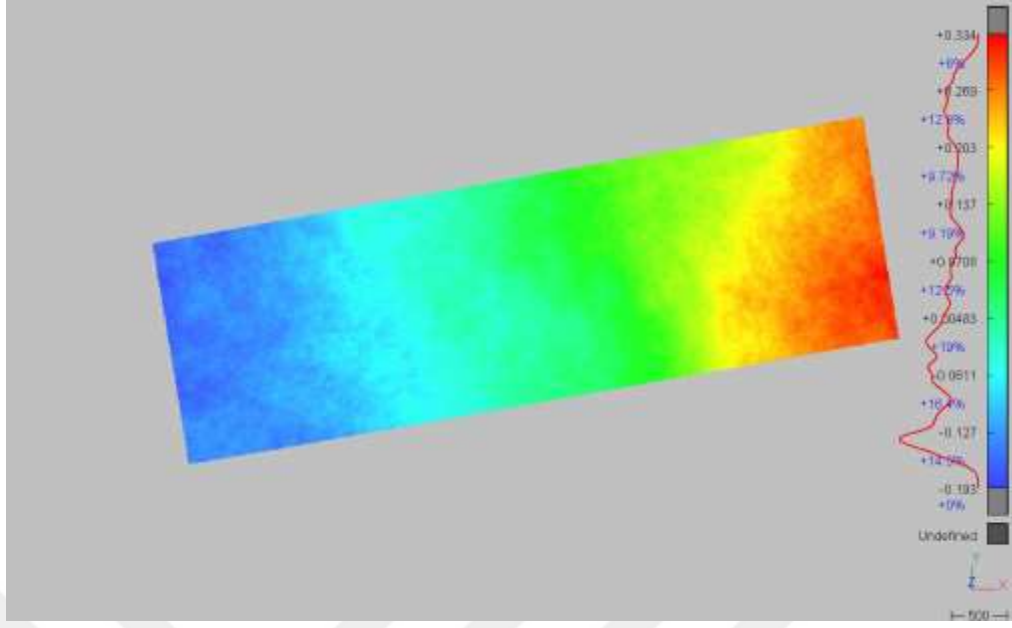
Şekil 4.37 Balçova alt alanına ait los (Line-of-Sight motion) verileri Google Earth görüntüsü ile birlikte (Siyah alanlar LiDAR ölçüm alanları)



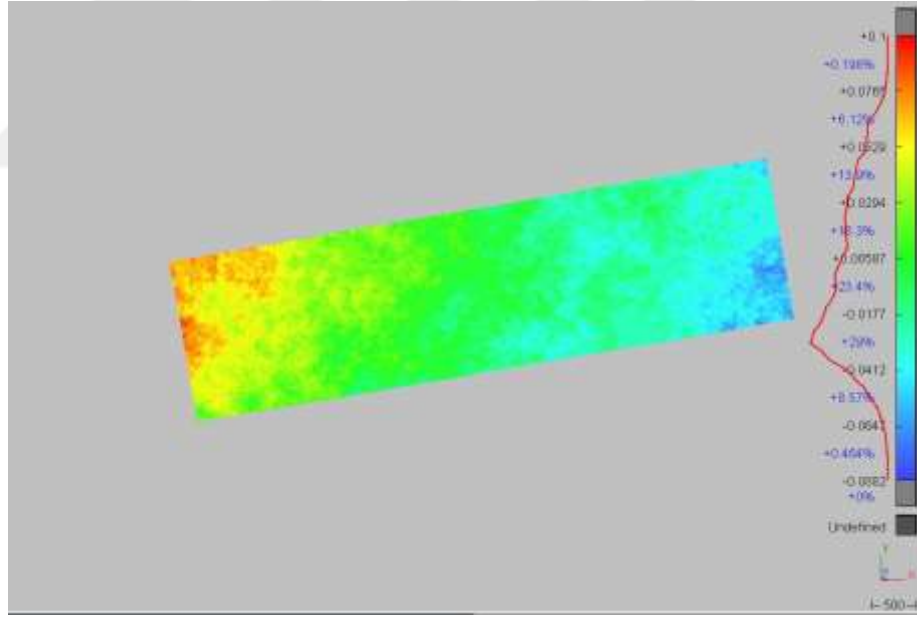
Şekil 4.38 Agora alt alanına ait los (Line-of-Sight motion) verileri Google Earth görüntüsü ile birlikte (Siyah alanlar LiDAR ölçüm alanları)

4.3.1 DInSAR Sonuçlarının Değerlendirilmesi

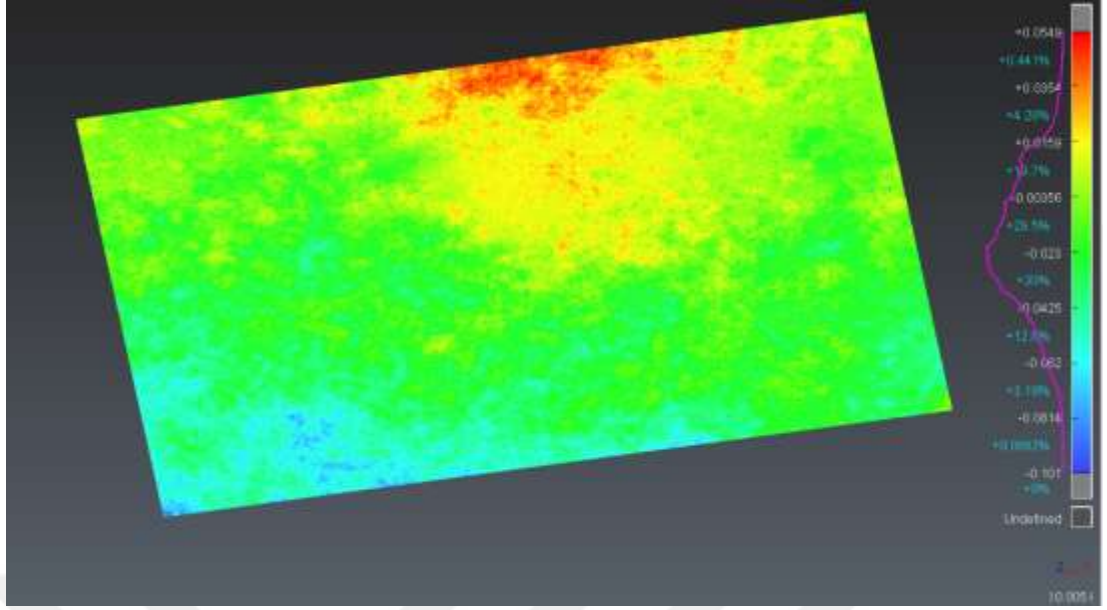
D-Insar (diferansiyel interferometrik Yapay Açıklıklı Radar) tekniği ile 01/02/2008, 07/04/2013, 09/10/2014 ve 20/11/2015 tarihli TSX1_SAR__SSC görüntülerinden elde edilen los (Line-of-Sight motion) verileri 3Dreshaper yazılımı kullanılarak analiz edilmiştir. Analiz sonucunda elde edilen deformasyon değerleri yukarıda belirtilen İzmir Fayı Balçova Segmenti genelinde Balçova ve Agora alt alanları temel alınarak belirlenmiştir. İzmir Fayı Balçova Segmenti Balçova alt alanına ait deformasyon değerleri Şekil 4.39, Şekil 4.40, Şekil 4.41, Şekil 4.42, Şekil 4.43 ve Şekil 4.44’de verilmiştir.



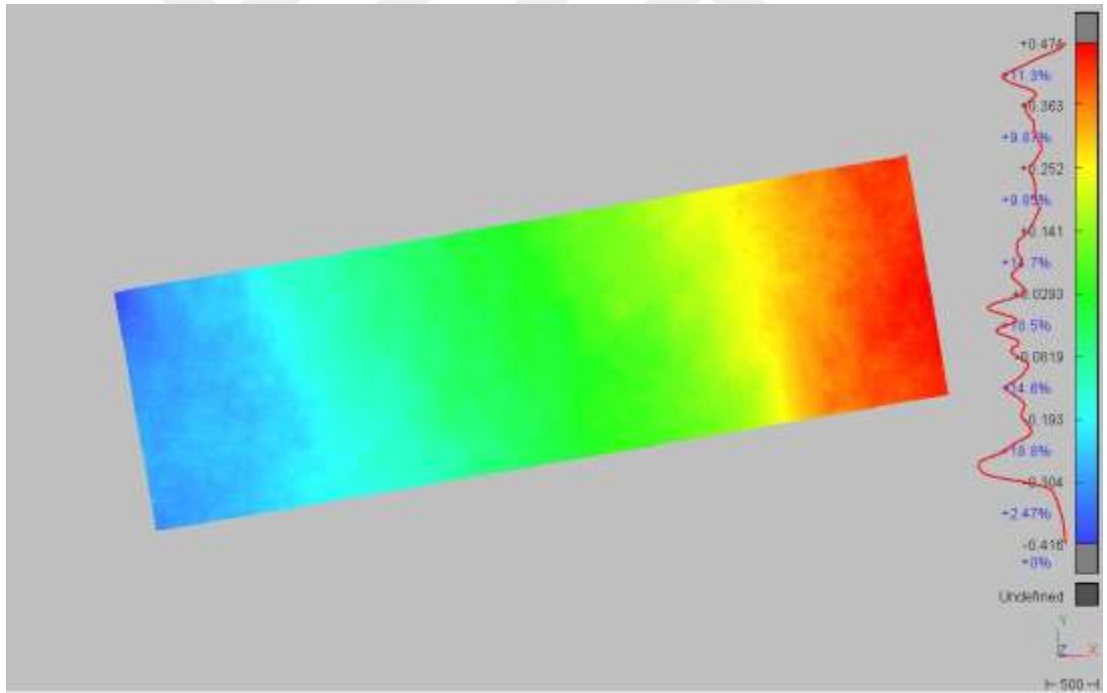
Şekil 4.39 İzmir Fayı Balçova Segmenti Balçova alt alanına ait los (Line-of-Sight motion) verileri kullanılarak elde edilen deformasyon değerleri(2008-2013)



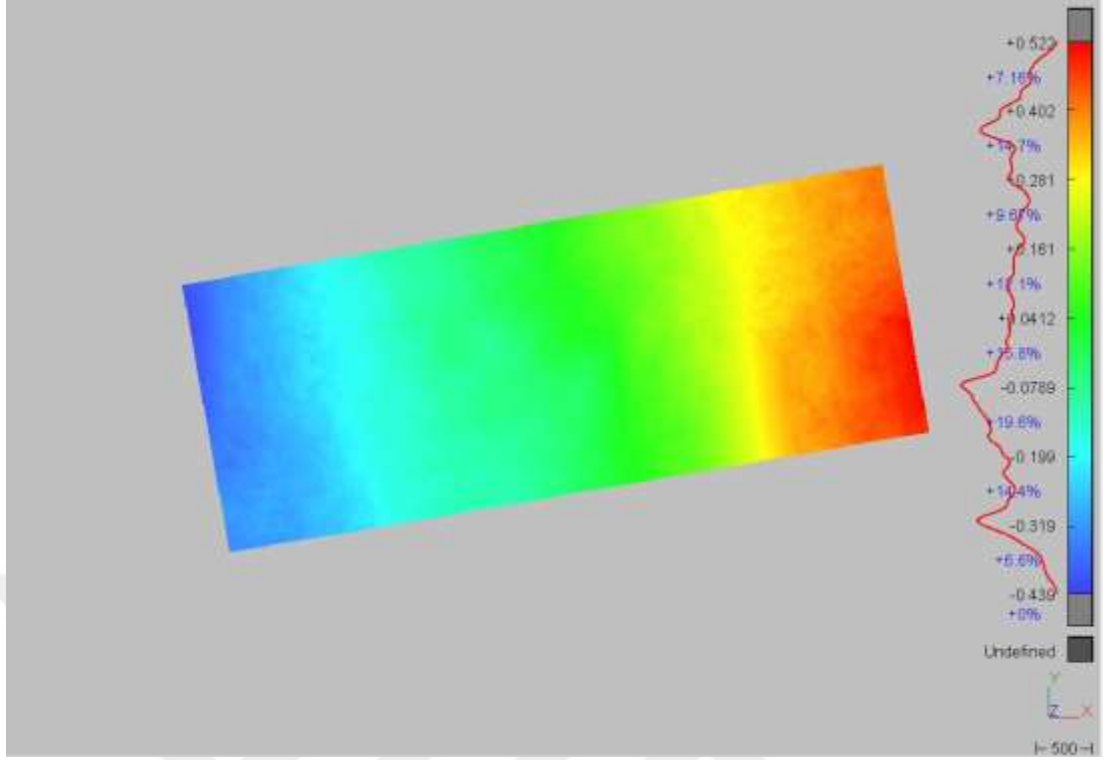
Şekil 4.40 İzmir Fayı Balçova Segmenti Balçova alt alanına ait los (Line-of-Sight motion) verileri kullanılarak elde edilen deformasyon değerleri(2008-2014)



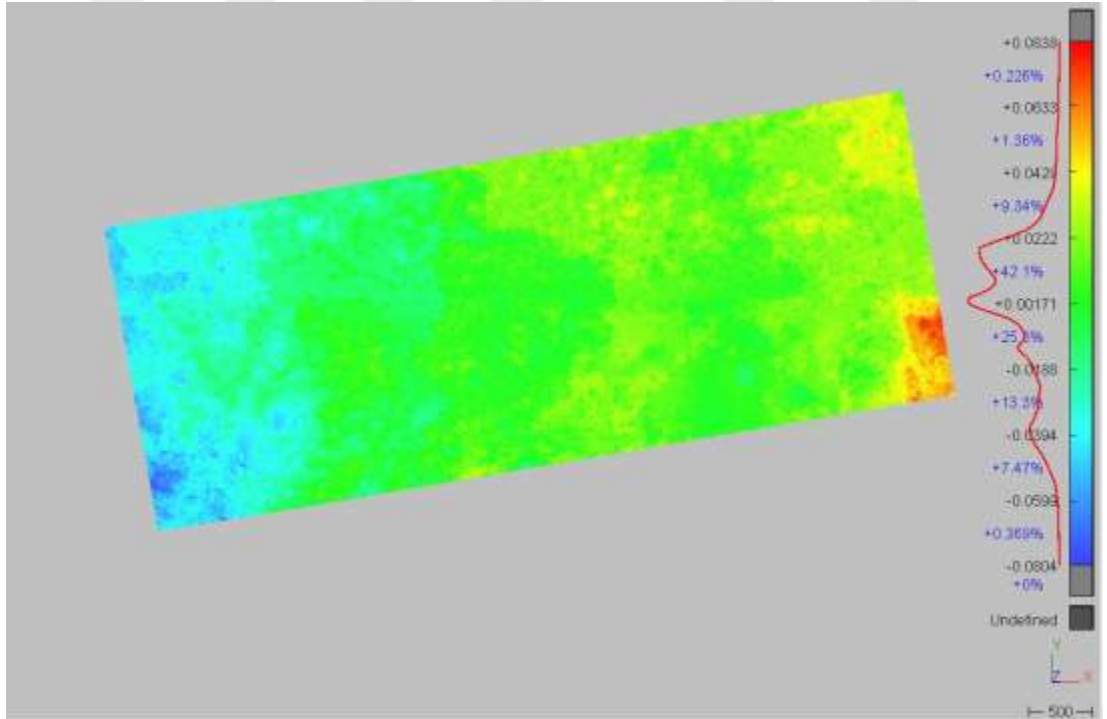
Şekil 4.41 İzmir Fayı Balçova Segmenti Balçova alt alanına ait los (Line-of-Sight motion) verileri kullanılarak elde edilen deformasyon değerleri(2008-2015)



Şekil 4.42 İzmir Fayı Balçova Segmenti Balçova alt alanına ait los (Line-of-Sight motion) verileri kullanılarak elde edilen deformasyon değerleri(2013-2014)



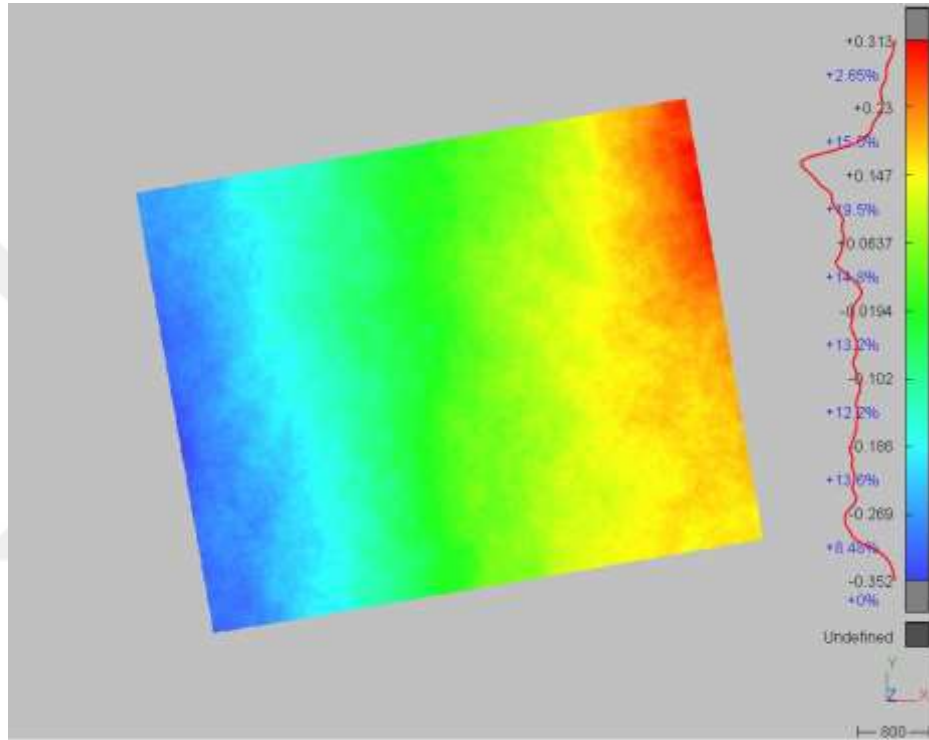
Şekil 4.43 İzmir Fayı Balçova Segmenti Balçova alt alanına ait los (Line-of-Sight motion) verileri kullanılarak elde edilen deformasyon değerleri(2013-2015)



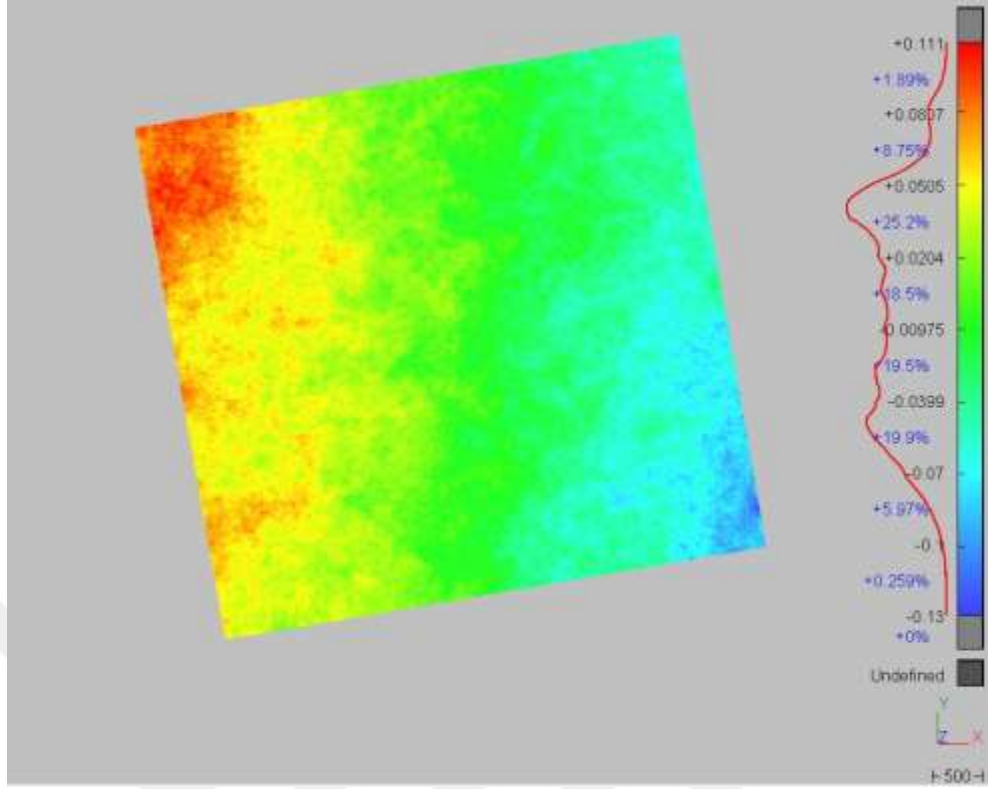
Şekil 4.44 İzmir Fayı Balçova Segmenti Balçova alt alanına ait los (Line-of-Sight motion) verileri kullanılarak elde edilen deformasyon değerleri(2014-2015)

Değerlendirme sonucunda en uzun süreç olan 20/11/2015 ve 01/02/2008 tarihleri arasında Balçova alt alan bölgesinde %92 oranında +0,015 ile -0,06m arasında bir deformasyon görülmektedir.

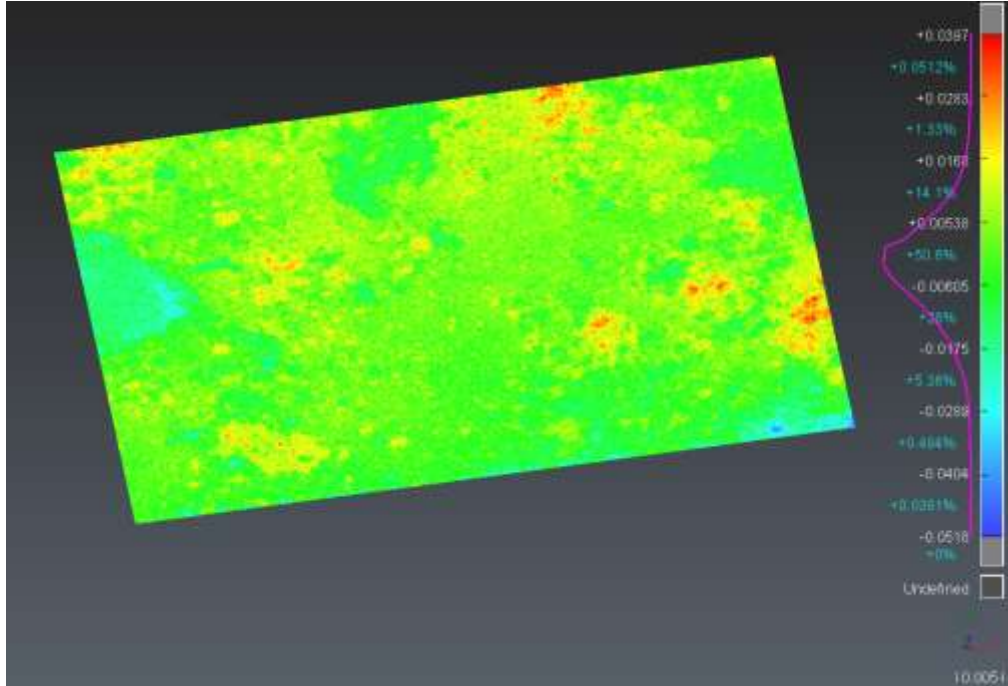
İzmir Fayı Balçova Segmenti Agora alt alanına ait deformasyon değerleri Şekil 4.45, Şekil 4.46, Şekil 4.47, Şekil 4.48, Şekil 4.49 ve Şekil 4.50’de verilmiştir.



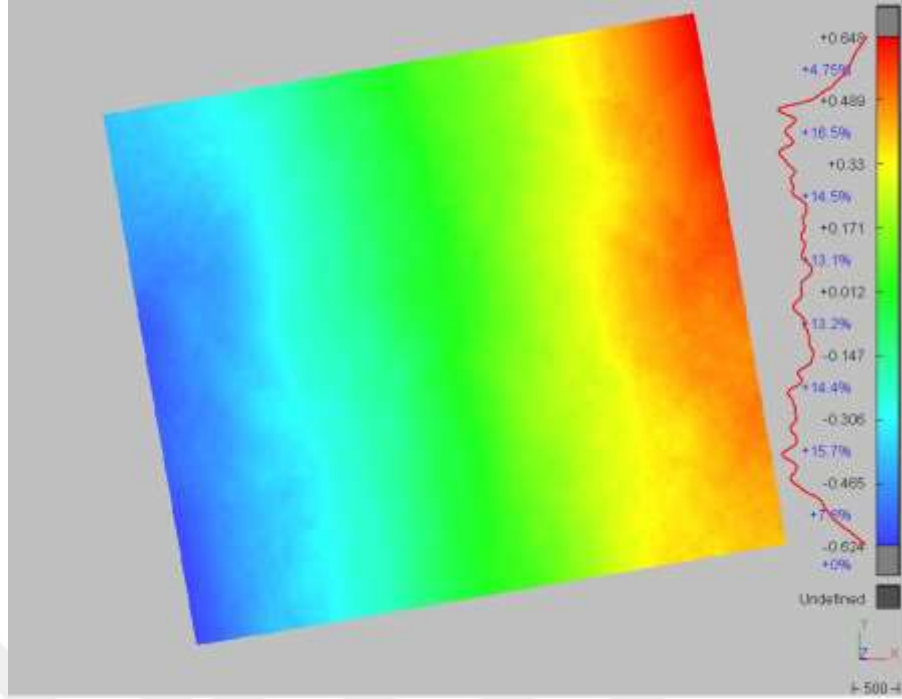
Şekil 4.45 İzmir Fayı Balçova Segmenti Agora alt alanına ait los (Line-of-Sight motion) verileri kullanılarak elde edilen deformasyon değerleri(2008-2013)



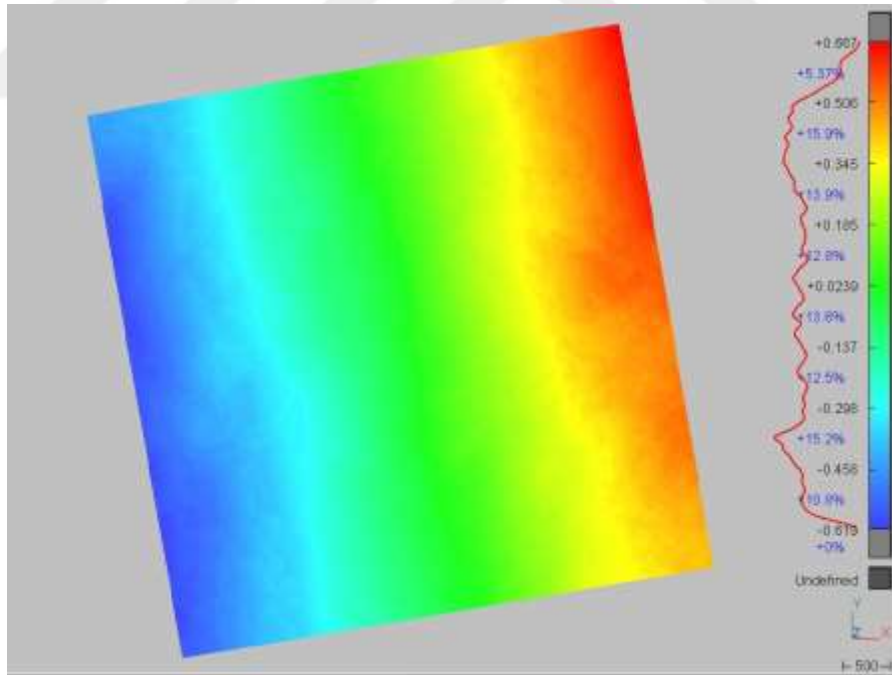
Şekil 4.46 İzmir Fayı Balçova Segmenti Agora alt alanına ait los (Line-of-Sight motion) verileri kullanılarak elde edilen deformasyon değerleri(2008-2014)



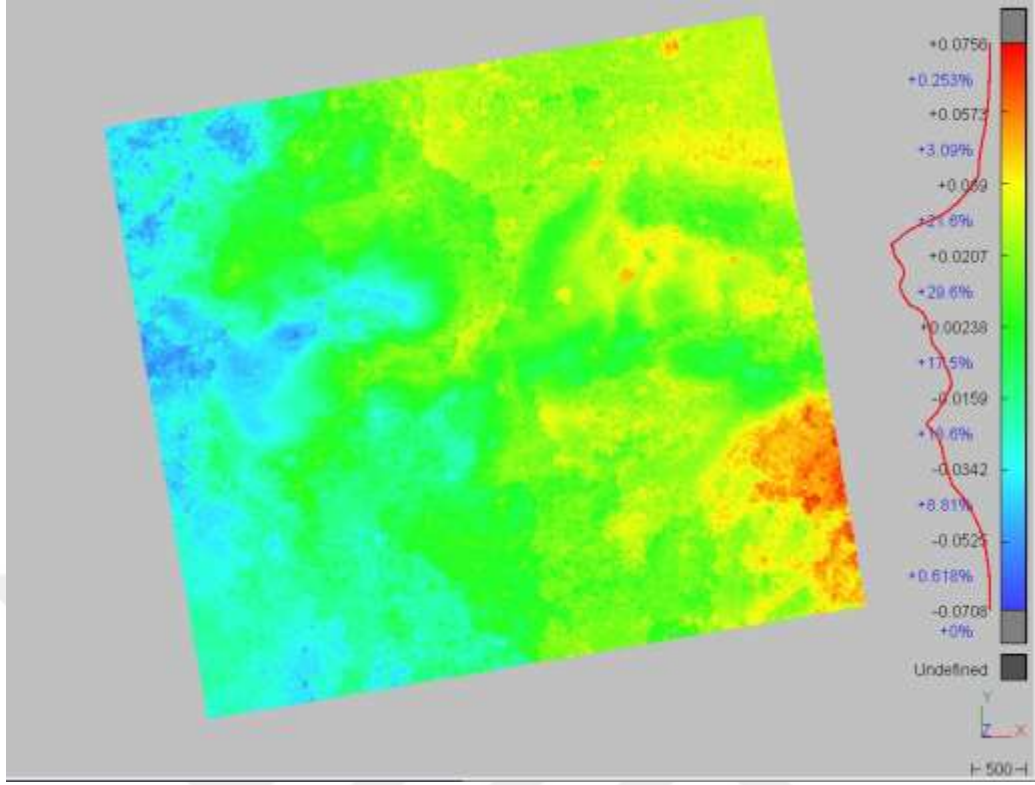
Şekil 4.47 İzmir Fayı Balçova Segmenti Agora alt alanına ait los (Line-of-Sight motion) verileri kullanılarak elde edilen deformasyon değerleri(2008-2015)



Şekil 4.48 İzmir Fayı Balçova Segmenti Agora alt alanına ait los (Line-of-Sight motion) verileri kullanılarak elde edilen deformasyon değerleri(2013-2014)



Şekil 4.49 İzmir Fayı Balçova Segmenti Agora alt alanına ait los (Line-of-Sight motion) verileri kullanılarak elde edilen deformasyon değerleri(2013-2015)



Şekil 4.50 İzmir Fayı Balçova Segmenti Agora alt alanına ait los (Line-of-Sight motion) verileri kullanılarak elde edilen deformasyon değerleri(2014-2015)

Agora alt alanı değerlendirme sonucunda en uzun süreç olan 20/11/2015 ve 01/02/2008 tarihleri arasında Agora alt alan bölgesinde %92,7 oranında +0,016 ile -0,017m arasında bir deformasyon görülmektedir.

BÖLÜM BEŞ

SONUÇLAR

Tez çalışması kapsamında Balçova ve Agora bölgelerinde meydana gelen kütle hareketlerinin boyutunu ve hızını tespit edip doğruluğunu araştırmak ve bu bölgelerin risk haritalarını ortaya çıkarmak için LiDAR ve DInSAR yöntemleriyle ölçümler yapılmıştır. Yapılan LiDAR çalışmalarında Balçova bölgesinde deformasyon oranları 3 bölgede de %70 oranlarında +0,12 ve -0,06 m arasında değişmektedir. Agora bölgesinde ise şekil 4.29'da görülebileceği üzere %70 oranında +0,24 ile -0,24 m arasında değişmektedir. DInSAR ile yapılan ölçümlerde Balçova alt alanında en uzun süreçte (2008-2015) %90 oranında +0,015 ile -0,06 m arasında bir deformasyon görülürken, Agora alt alanında ise en uzun süreçte (2008-2015) %92,7 oranında +0,016 ile -0,017 m arasında bir deformasyon görülmektedir.

Çalışma sahasında oluşan bu deformasyonların temel nedeni İzmir Fayı Balçova segmenti boyunca meydana gelen sismik aktivitedir. Bölgede 2008-2018 yılları arasında 1500 üzerinde (2-6 büyüklük arasında) deprem meydana gelmiştir. Çalışma sahasında halen mevcut olan fosil heyelan alanları uzun dönemde hareketliliğin olduğunu kanıtlamaktadır. Yine ölçüm alanlarında proje süresince özellikle yağışa bağlı bir deformasyonun etkili olduğu görülmektedir. Ayrıca Balçova ve Agora arasındaki farkın temel sebebi yeraltı suyunun etkisidir. Yine ölçüm alanlarında proje süresince özellikle yağışa bağlı bir deformasyonun etkili olduğu görülmektedir. Ayrıca Balçova ve Agora arasındaki farkın temel sebebi yeraltı suyunun etkisidir.

Tez çalışması kapsamında geniş alanda oluşan deformasyonun belirlenmesinde DInSAR yöntemi etkili bir yöntem olarak görülmektedir. Yöntemi kısıtlayan ana unsur çalışma alanının boyutunun belirlenmesidir. Çok geniş alanlarda yapılan analizlerde deformasyonun jeolojik verilerle uyumsuzlukları görülmektedir. Analiz alanının belirlenmesinde kapsamlı bir jeolojik yapının ortaya konması önemli bir gereklilik olarak görülmüştür.

Tez çalışmasında DInSAR analizlerinde deformasyonun yoğun olduğu bölgelerde çözünürlüğü dolayısıyla hassasiyeti daha yüksek olan ölçüm sistemlerinin kullanılması deformasyon hareketinin tanımlanmasında daha etkili olmaktadır. Tez çalışmasında bu amaca uygun olarak LiDAR ölçüm sistemleri DInSAR analizinde riskli olan bölgelerde gerçekleştirilmiştir. Sonuç olarak iki uzaktan algılama yönteminin kombinasyonu ile yüzey deformasyonlarının analiz edilmesi daha doğru bir yaklaşım olarak görülmüştür.

Yapılan çalışmanın ışığında LiDAR ve DInSAR teknikleri heyelan ve deformasyon ölçümlerinde çok hassas olarak çalışmaktadır. LiDAR ve DInSAR sistemleri, meydana gelen birçok heyelan vakasında can ve mal kayıplarının önüne geçilmesinde hızlı ve doğru bir tekniktir.

KAYNAKLAR

Akçın H., Kutoğlu H.Ş., Kemaldere H., Deguchi T., (2009). *Zonguldak Taşkömürü Havzasında Düşey Hareketlerin İzlenmesine Yönelik Insar Çalışmaları*, TMMOB Harita ve Kadastro Mühendisleri Odası 12.Türkiye Harita Bilimsel ve Teknik Kurultayı, Ankara

Ambraseys, N.N. & Finkel, C.F. (1995). *The seismicity of Turkey ve adjacent areas: A historical review, 1500–1800*. İstanbul: Eren publishing ve booktrade.

Ambraseys, N.N. & Jackson, J.A. (1998). Faulting associated with historical ve recent earthquakes in the Eastern mediterranean region, *Geophysical Journal International*, 133, 390–406.

Ambraseys, N.N. (1988). *Engineering Seismology. Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, 17, 1–105.

Anonim, *Fay Nedir? Fay Çeşitleri Nelerdir?*, 01 Nisan 2018, Jeofizikmuhendisleri.com/makaleler/Fay.Nedir?.Fay.Cesitleri.Nelerdir?

Aronoff, S., (2005), *Remote Sensing for GIS Managers*, New York: Esri

Bağış, H. (2016). *Astrofizik Notlarım-4*. 08 Mart 2018, www.samanyoluexpresesi.blogspot.com.tr/2016/12/astrofizik-notlarım-4-elektromanyetik.html.

Baran, I, Stewart, M., Kampes B, Perski Z., Lilly P., (2003). A modification to the Goldstein radar interferogram filter, *IEEE Trans Geosci Remote Sens* , 41 , 9 , 2114–2118,

- Barbarella M., Fiani M., (2013), Monitoring of large landslides by Terrestrial Laser Scanning techniques: field data collection and processing, *Eur J Remote Sens*, 46, 126-151.
- Boehler, W., Heinz, G., Marbs, A. ve Siebold, M., (2002) 3D Scanning Software: An Introduction. *Proceeding of the CIPA WG6 International Workshop on Scanning for Cultural Heritage Recording*.
- Boehler, W. ve Marbs, A., (2002). 3d Scanning instruments. *Proceeding of the CIPA WG6 International Workshop on Scanning for Cultural Heritage Recording*.
- Brodu N., Lague D., (2012), 3D terrestrial LiDAR data classification of complex natural scenes using a multi-scale dimensionality criterion: Applications in geomorphology, *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 68, 121-134.
- Canaslan F., (2010), *Insar Yöntemiyle Düşey Yönlü Yüzey Deformasyonlarının Belirlenmesi: Konya Örneği*, Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya
- Caswell, G., (1992). *Slope stability monitoring at Mt Whaleback*, Proceedings of Western Australian Conference on Mining Geomechanics. Kalgoorlie, Western Australia. 155-158.
- Corsini A, Cervi F, Daehne A, Ronchetti F (2009) *Coupling geomorphic field observation and LiDAR derivatives to map complex landslides*, In: Malet JP, Remaitre A, Bogaard T (eds) Landslides processes—from geomorphologic mapping to dynamic modeling, proceedings of the landslide processes conference, 6–7 February 2009, Strasbourg
- Çomut F. C., 2016, *Çoklu Band InSAR Zaman Serisi Analizleri Yardımıyla Afet Risk Haritalarının Oluşturulması*, Türkiye'nin Afet Risk Yönetimi 18. Yuvarlak Masa Toplantısı, 26 Mart 2016, ODTÜ Kongre ve Kültür Merkezi, Ankara. url:

<https://dmc.metu.edu.tr/node/69> (Bildiri Özeti).

Dağ, R., (2013). *Uzaktan Algılama Ders Notları*, TPAO, Ankara.

Deliormanlı, A.H., Maerz, N.M., Otoo, J., (2014). Using terrestrial 3D laser scanning and optical methods to determine orientations of discontinuities at a granite quarry. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*, 66/41-48.

Deliormanlı, A.H., Özdoğan, M.V., Yenice, H., Karakuş, D., Yalçın, E., (2015). *Yersel Lazer Tarama: Taş Ocakları Uygulamaları*, 24. Madencilik Kongresi, Antalya.

Dirik, K., (2006). *Kütle Hareketleri*, Fiziksel Jeoloji II Ders Notları.

Dunnicliff, J., (1993). *Geotechnical Instrumentation for Monitoring Field Performance*, New York: John Wiley and Sons

Dunning S, Massey C, Rosser N (2009) *Structural and geomorphological features of landslides in the Bhutan Himalaya derived from terrestrial laser scanning*, *Geomorphology* 103:17–29.

Düzgün H. Ş., Demirel N., (2011). *Remote Sensing of the Mine Environment 1nd Edition*, Englewood: CRC Press,

Emre, Ö. & Özalp, S. (2011). *1:250.000 Ölçekli Türkiye Diri fay Haritaları Serisi*, Urla (NJ 35-6) Paftası, Seri No:5, Maden Tetkik Arama Genel Müdürlüğü, Ankara-Türkiye.

Emre, Ö. ve Barka, A. (2000). *Gediz grabeni ve Ege Denizi arasındaki aktif faylar (İzmir çevresi)*, Batı Anadolu'nun Depremselliği Sempozyumu, 131–132, Dokuz Eylül Üniversitesi Yayınları, İzmir.

Emre, Ö., Ere, Ö., Özalp S., Doğan A., Özaksoy V., Yıldırım C. Ve Göktaş, F. (2005). *İzmir Yakın Çevresinin Diri Fayları ve Deprem Potansiyelleri*, MTA Raporu no:10754, Ankara.

Emre, Ö., Özalp, S. ve Duman, T.Y. (2011). 1:250.000 ölçekli Türkiye diri fay haritası serisi, İzmir (NJ35-7) Paftası, Seri No: 6. Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü, Ankara-Türkiye.

European Space Agency, (2014). *InSAR Principles: Guidelines for SAR Interferometry Processing and Interpretation*. 01 Eylül 2014, http://www.esa.int/esapub/tm/tm19/TM-19_ptA.pdf

European Space Agency, (2014). *InSAR processing: a mathematical approach*. 01 Eylül 2014, http://www.esa.int/esapub/tm/tm19/TM-19_ptC.pdf

European Space Agency, (2014). *InSAR processing: a practical approach*. 01Eylül 2014, http://www.esa.int/esapub/tm/tm19/TM-19_ptB.pdf

Ferretti, A., Prati, C. ve Rocca, F., 2000, Nonlinear Subsidence Rate Estimation Using Permanent Scatterers In Differential SAR Interferometry, *Geoscience and Remote Sensing, IEEE Transactions*, 38, (5), 2202-2212.

Ferretti, A., Prati, C. ve Rocca, F., 2001, Permanent Scatterers InSAR Interferometry, *Geoscience and Remote Sensing, IEEE Transactions*, 39, (1), 8-20.

Gök, E. & Polat, O. (2014). An assessment of the microseismic activity and focal mechanisms of the İzmir (Smyrna) area from a new local network (İzmirNET). *Tectonophysics*, 635, 154–164.

Guidoboni, E., Comastri, A. and Triana, G. (1994). *Catalogue of Ancient Earthquakes in the Mediterranean Area up to the 10th Century*, Italy: Istituto Nazionale di Geofisica.

Gümüş, K. ve Erkaya, H. (2007). *Mühendislik uygulamalarında kullanılan yersel lazer tarayıcı sistemler*, TMMOB Harita ve Kadastro Mühendisleri Odası 11. Türkiye Harita Bilimsel ve Teknik Kurultayı.

Gupta P. R., (2003) *Remote Sensing Geology, (2.Basım)* New York: Springer

Hanssen, R. F., 2001, *Radar interferometry: data interpretation and error analysis*, Springer Science & Business Media.

Jaboyedoff M, Oppikofer T, Locat A, Locat J, Turmel D, Robitaille D, Demers D, Locat P (2009a) Use of ground-based LiDAR for the analysis of retrogressive landslides in sensitive clay and of rotational landslides in river banks. *Can Geotech J* 46:1379–1390.

Jensen R.J., (2006). *Remote sensing of the environment: An earth resource perspective* (2nd Ed.) New Zeland: Pearson

Kampes, B., Hanssen, R. ve Perski, Z., 1999, Doris user's manual and technical documentation, *Delft University of Technology*, 127-128.

Kampes, B. M., (2006). *Radar interferometry : Persistent scatterer technique*. 12, Dordrecht: Springer.

Kane W.F., Beck T.J. (2001). *Engineering geology practice in Northern California*, (1st Ed.) California: California Department of Conservation, Division of Mines and Geology.

Karşıdağ, G., (2011). *Yersel lazer tarama ölçmelerinde doğruluk analizi*. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul.

- Kasperski J., Delacourt C., Allemand P., Potherat P., Jaud M., Varrel E., (2010), Application of a Terrestrial Laser Scanner (TLS) to the Study of the Séchilienne Landslide (Isère, France), *Remote Sens*, 2, (12), 2785-2802.
- Kaya, O. (1979). *Ortadoğu Ege çöküntüsünün Neojen stratigrafisi ve tektoniği*, TJK Bülteni, 7, (22), 35–58.
- Kaya, O. (1981). Miocene reference section for the coastal parts of West Anatolia, *Newsletters on Stratigraphy*, 10, 164–191.
- Kemaldere H., (2011), *Şehir Altı Madenciliği Ve Tasman Etkilerinin Diferansiyel InSAR Tekniği ile Belirlenmesi Zonguldak Metropolitan Alanı Örneği*, Zonguldak Karaelmas Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Zonguldak
- Klees, R., and Massonnet, D., (1998). Deformation measurements using SAR interferometry: Potential and limitations, *Geol. Mijnbouw*, 77, (2), 161-176.
- Konak G., Onur A.H. Karakuş D., Köse H., Koca Y., Yenice H. (2004). Slope Stability Analysis And Slide Monitoring By Inclinator Readings, *Transactions of the Institution of Mining and Metallurgy Section*, 113, (3), 171-180.
- Köksal E., (2011), *Yüzey deformasyonlarının diferansiyel InSAR tekniği ile belirlenmesi: İsmetpaşa örneği*. Doktora Tezi, Zonguldak Karaelmas Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Zonguldak
- Kutoğlu H.Ş., Akçın H., Kemaldere H., Deguchi T., Kato M., (2009), *İllegal Madencilik Faaliyetlerinin DInSAR İle Belirlenmesi*, TMMOB Harita ve Kadastro Mühendisleri Odası 12. Türkiye Harita Bilimsel ve Teknik Kurultayı, Ankara
- Lin, Q., J. Vesecky, and H. Zebker, (1992), New approaches in interferometric SAR data processing, *IEEE Trans. Geosci. Remote Sens.*, 30, 560-567.

- Massonnet, D. and Feigl, K. (1998), Radar interferometry and its applications to changes in Earth's surface, *Reviews of geophysics*, 4, 441–494.
- Massonnet, D. et al., (1993), The displacement field of the Landers earthquake mapped by radar interferometry, *Nature*, 364, 138-142.
- Michoud, C., Abellan, A., Derron, M. H. ve Jaboyedoff, M., (2012). Safeland, *Living with landslide risk in Europe: Assesment Effect of Global Change, and risk management strategies*, 7th Framework Programme.
- Nayegandhi, A., (2007). *LiDAR technology overview*. ETI –US Geological Survey, Florida Integrated Science Center, St. Petersburg.
- Oppikofer T., Bunkholt H.S.S., Fischer L., Saintot A., Hermanns R.L., (2012), *Investigation and monitoring of rock slope instabilities in Norway by terrestrial laser scanning*, Taylor Francis Group, London, 1235-1241.
- Özdoğan M.V., Karakuş D., Konak G., Onur A.H., Köse H., (2013), *Maden işletmelerinde ulusal cors-tr (sürekli gözlem yapan gnss/gps istasyonu) sisteminin kullanılması - şev izleme çalışması örneği*, 4.Maden Makinaları Sempozyum Bildiriler Kitapçığı, Maden Müh. Odası Yayınları, 211-222.
- Özdoğan, M.V. (2015), *Madencilik Faaliyetleri Sonucu Oluşan Yüzey Hareketlerinin Yeni Teknolojiler İle Belirlenmesi*. Doktora Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir.
- Özdoğan, M.V. ve Deliormanlı, A.H. (2015). *Açık Maden Ocaklarında Oluşan Şev Duraysızlıklarının İzlenmesinde Yersel Lazer Tarama Tekniklerinin (TLS-LiDAR) Kullanımı*. 24. Madencilik Kongresi, Antalya.
- Özdoğan, M.V. ve Deliormanlı, A.H. (2016). *Heyelanların Yersel Lazer Tarayıcı ile Takibi: Örnek Uygulamalar*. Ulusal Heyelan Sempozyumu, Ankara.

- Papazachos B. C., & Papazachou C. 2003. *The earthquakes of Greece*. Ziti Publ. Co., Thessaloniki, Greece, 286.
- Papazachos, B. & Papazachou, C. (1997). *The Earthquakes of Greece*. Thessaloniki: Ziti Publications.
- Pınar, N. & Lahn, E. (1952). *Turkish earthquake catalog with descriptions*. Technical Report, Turkey The Ministry of Public Works and Settlement, The General Directorate of Constrcution Affairs, 6, 36.
- Pirotti F., Grigolato S., Lingua E., Sitzia T., Tarolli P., (2012), Laser Scanner Applications in Forest and Environmental Sciences, *Ital J Remote Sens*, 44, (1), 109-123.
- Richards J., (2006). *Remote Sensing Digital Image Analysis: An Introduction, fifth edition*. Berlin :Springer.
- Rosen, P.A., Hensley, S., Zebker, H., Webb, F.H., Fielding, E.J.,(1996). Surface deformation and coherence measurements of Kilauea Volcano, Hawai, From SIR-C *Journal of Geophysical Research: Planets*, 101, (10), 23109-23125.
- Rott H., B. Scheuchl, A. Siegel, and B. Grasemann, (1999). Monitoring very slow slope movements by means of SAR interferometry: A case study from a mass waste above a reservoir in the Ötztal Alps, Austria. *Geophysical Research Letters*, 26, (11), 1629-1632.
- Rowlands KA, Jones LD, Whitworth M (2003), *Landslide laser scanning: a new look at an old problem*, Q J Eng Geol Hydrogeol 36:155–157.
- Sefercik U.G, (2007). *Radar İnterferometri Tekniği İle Sym Üretimi Ve Doğruluk Değerlendirmeleri*, TMMOB Harita ve Kadastro Mühendisleri Odası 11.Türkiye Harita Bilimsel ve Teknik Kurultayı.

Siegal, B. S. and Gillespie A. R., (1980). *Remote Sensing in Geology*, New York: Wiley.

Soysal, H., Sipahioğlu, S., Kolçak, D. ve Altınok, Y. (1981). *Türkiye ve Çevresinin Tarihsel Deprem Kataloğu (2100 B.C.–1900 A.D.)*. TÜBİTAK raporu, No. TBAG-341.

Sözbilir, H., Sarı, B. Akgün, F., Gökçen, N., Akkiraz, S., Sümer, Ö. & Erkül, F. 2004. *First example of a transtensional supradetachment basin in western Anatolia: The Kemalpaşa-Torbalı Basin, Turkey*. 32nd International Geological Congress, Italy, 2, 894.

Sözbilir, H., Uzel, B., Sümer, Ö., İnci, U., Ersoy, E.Y., Koçer, T., Demirtaş, R. ve Özkaymak, Ç. (2008). *D-B Uzanımlı İzmir Fayı ile KD-Uzanımlı Seferihisar Fayı'nın Birlikte Çalıştığına Dair Veriler: İzmir Körfezi'ni Oluşturan Aktif Faylarda Kinematik Ve Paleosismolojik Çalışmalar, Batı Anadolu, Türkiye*. Türkiye Jeoloji Bülteni, 51, (2), 91–114.

Şengün Y.S., (2010). InSAR Ölçülerinin Doğruluk Araştırması, *Harita Dergisi*, 143, 19-25.

Tan, O., Tapırdamaz, M.C. ve Yörük, A. (2008). The Earthquakes Catalogues for Turkey. *Turkish Journal of Earth Science*, 17, 405–418.

Ulusay, R., (2001). *Uygulamalı jeoteknik bilgileri*, Ankara: TMMOB Jeoloji Mühendisleri Odası.

Uzel, B., Sözbilir, H. ve Özkaymak, Ç. (2012). Neotectonic evolution of an actively growing superimposed basin in western, Anatolia: The inner bay of İzmir, Turkey. *Turkish Journal of Earth Sciences*, 22, (4), 439–471.

- Uzel, B., Sözbilir, H., Özkaymak, Ç., Kaymakçı, N. ve Langeris, C.G. (2013). Structural evidence for strike-slip deformation in the İzmir-Balıkesir Transfer Zone and consequences for late Cenozoic evolution of western Anatolia (Turkey). *Journal of Geodynamics* 65, 94–116.
- Ünsal, N., (2010). *Heyelan ve Kitle Hareketleri*, Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Ders Notları, Ankara.
- Vozikis, G., Haring, A., Vozikis, E. ve Kraus, K., (2004). Laser scanning: A new method for recording and documentation in archaeology. *In Proceedings of FIG Working Week 2004*.
- Woodman, O.J. (2007). *An introduction to inertial navigation technical report*, N. 696, Cambridge Üniversitesi.
- Wieczorek G. F., Snyder J.B. (2009), *Monitoring slope movements*, The Geological Society of America, 01 Nisan 2018, <http://landslides.usgs.gov/docs/wieczorek/WieczorekSnyder2009.pdf>
- Zebker, H. A., Rosen, P. A. Ve Hensley, S., 1997 Atmospheric effects in Interferometric synthetic aperture radar surface deformation and topographic maps, *Journal of Geophysical Research, Solid Earth*, 102 , (B4) , 7547-7563.
- Zebker, H.A. and R.M. (1986). “Goldstein, Topographic mapping from interferometric synthetic aperture radar observations.” *J. Geophys. Res.*, 91, 4993-4999.
- Zeybek M., (2013), *Heyelanların İzlenmesinde Yersel Lazer Tarama ve GNSS Tekniklerinin Birlikte Kullanılması*. Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya.

Zeybek M., Sanlioglu İ., (2015), Accurate determination of the Taskent (Konya, Turkey) landslide using a long-range terrestrial laser scanner, *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*, 74, (1), 61-76.

Zeybek M., Şanlıoğlu İ., Özdemir A., (2015), Monitoring landslides with geophysical and geodetic observations, *Environ Earth Sci*.

