

**ZONGULDAK BÜLENT ECEVİT ÜNİVERSİTESİ**  
**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**AFŞİN-ELBİSTAN LİNYİTLERİ KIŞLAKÖY AÇIK MADEN İŞLETMESİNDEKİ**  
**ŞEV KAYMALARININ VE HEYELANLARIN**  
**GB-INSAR İLE İZLENMESİ**

**GEOMATİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**  
**YÜKSEK LİSANS TEZİ**  
**SABİT NAZIM AKAR**

**OCAK 2019**

**ZONGULDAK BÜLENT ECEVİT ÜNİVERSİTESİ**  
**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**AFŞİN-ELBİSTAN LİNYİTLERİ KIŞLAKÖY AÇIK MADEN İŞLETMESİNDEKİ**  
**ŞEV KAYMALARININ VE HEYELANLARIN**  
**GB-INSAR İLE İZLENMESİ**

**GEMATİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**  
**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Sabit Nazım AKAR**

**DANIŞMAN: Prof. Dr. Şenol Hakan KUTOĞLU**

**ZONGULDAK**

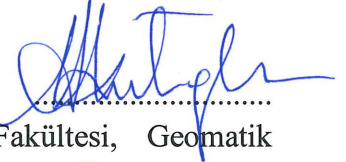
**Ocak, 2019**

**KABUL:**

Sabit Nazım AKAR tarafından hazırlanan “Afşin-Elbistan Linyitleri Kışlaköy Açık Maden İşletmesindeki Şev Kaymalarının ve Heyelanların GB-InSAR ile İzlenmesi” başlıklı bu çalışma jürimiz tarafından değerlendirilerek Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Geomatik Mühendisliği Anabilim Dalında Yüksek Lisans Tezi olarak oybirliğiyle kabul edilmiştir. 18/01/2019

**Danışman:** Prof. Dr. Şenol Hakan KUTOĞLU

Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Geomatik Mühendisliği Bölümü



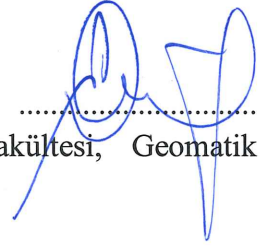
**Üye:** Doç. Dr. M.Tevfik ÖZLÜDEMİR

İstanbul Teknik Üniversitesi, İnşaat Fakültesi, Geomatik Mühendisliği Bölümü



**Üye:** Dr. Öğr. Üyesi Eray KÖKSAL

Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Geomatik Mühendisliği Bölümü




**ONAY:**

Yukarıdaki imzaların, adı geçen öğretim üyelerine ait olduğunu onaylarım. ....../....../2019



Prof. Dr. Ahmet ÖZARSLAN  
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

*Bu tezdeki tüm bilgilerin akademik kurallara ve etik ilkelere uygun olarak elde edildiğini ve sunulduğunu; ayrıca bu kuralların ve ilkelerin gerektirdiği şekilde, bu çalışmadan kaynaklanmayan tüm atıfları yaptığımı beyan ederim.*

  
Sabit Nazım AKAR

## ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

### AFŞİN-ELBİSTAN LİNYİTLERİ KIŞLAKÖY AÇIK MADEN İŞLETMESİNDEKİ ŞEV KAYMALARININ VE HEYELANLARIN GB-INSAR İLE İZLENMESİ

Sabit Nazım AKAR

Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi  
Fen Bilimleri Enstitüsü  
Geomatik Mühendisliği Anabilim Dalı

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Şenol Hakan KUTOĞLU

Ocak 2019, 77 Sayfa

Heyelanlar ve Açık İşletme Madenciliğinin ilişkilerinin irdelenmesi neticesinde, uygulanan mühendislik çözümlerinin heyelanların oluşumuna tamamen engel olmadığı ve yer değiştirme hareketlerinin takip edilmesinin gerekli bir ihtiyaç olduğu sonucuna varılmıştır.

Açık Maden İşletmeciliğinde, şev stabilitesi analizleri en önemli araştırma konularından biri olup, bu kapsamda doğal ya da yapay tüm şevlerin gerek kendi ağırlıkları, gerekse uygulanan yüklerin etkisi altında göçmeye karşı dayanımları analiz edilmektedir. Bunun nedeni, şev stabilitesinin sağlanamamasına bağlı olarak oluşan heyelanların depremler, sel baskınları gibi doğal afetlere benzer olarak ciddi can ve mal kayıplarına yol açabilmesidir.

## ÖZET (devam ediyor)

Bu tez çalışmasında Açık İşletme Madenciliği, şev stabilitesi, heyelanlar ve heyelanlara bağlı deformasyonların bir ölçme tekniği olan YB-InSAR (Yer Bazlı İnterferometrik Sentetik Açıklıklı Radar) sistemi ile izlenmesi birlikte ele alınmış ve bu sistem ile erken uyarı alınabileceği ve can kaybına yol açan iş kazalarının önüne geçilebileceği uygulamalı olarak ortaya koyulmuştur.

YB-InSAR sistemi havada ve uzayda konumlandırılabilen yapay açıklı radar (SAR) sistemleri ile aynı mantıkla çalışarak iki radar görüntüsünün faz farkından yararlanır ve yer değişikliklerini belirlemeye olanak sağlar. Yer Bazlı İnterferometrik Sentetik Açıklıklı Radar (YB-InSAR) ile depremler, volkanik hareketler, buzul hareketleri, heyelanlar, tasmanlar vb. yüzey deformasyonları kolaylıkla izlenebilmektedir.

YB-InSAR (Yer Bazlı İnterferometrik Sentetik Açıklıklı Radar) sistemi kullanarak yapılan bir izleme faaliyeti sayesinde heyelan kinematığını araştırma, risk azaltma, acil güvenlik önlemlerini planlama ve uzun vadeli istikrar çalışması tasarlamak mümkün olmaktadır. YB-InSAR tekniği ile yer değiştirme hareketlerinin gözlemlenmesi, mühendislik projelerinde maliyet ve zamandan tasarruf sağlayıp, güvenlikten ödün vermeden fayda sağlanabileceğini ortaya koyabilmektedir. Bu sayede acil durum aşaması için hem tasarım hem de plan değişikliklerinde izleme faaliyetlerinin oynadığı önemli ve aktif rol öne çıkmaktadır.

Kahramanmaraş İli Afşin ve Elbistan İlçeleri sınırlarında bulunan ve ülkemizin en büyük açık maden işletmesi olan Afşin-Elbistan Linyitleri İşletme Müdürlüğüne bağlı Kışlaköy Sektöründe şev stabilitesi sağlanmış olan batı nihai şevi, yaklaşık 3 km uzaklıkta sağlam bir zemin üzerine tesis edilmiş YB-InSAR sistemi ile sürekli olarak izlenmektedir. Batı nihai şevinin stabilitesi her ne kadar sağlanmış olsa da bu şevde oluşabilecek bir hareket durdurulmasa bile, iş ve can güvenliği açısından istenilmeyen sonuçların önlenmesine yönelik olarak YB-InSAR sistemi ile takip edilmekte, yer değiştirme hareketleri tespit edilmekte ve bu hareketlere bağlı olarak erken uyarı sisteminin nasıl çalıştığı belirtilmektedir.

**Anahtar Kelimeler:** SAR, YB-InSAR, GB-InSAR, Heyelan, Deformasyon, Açık İşletme Madenciliği

**Bilim Kodu:** 616.03.00

## **ABSTRACT**

**MSc. Thesis**

### **MONITORING OF SLOPE MOVEMENTS AND LANDSLIDES IN KISLAKOY SURFACE MINING SITE IN AFSIN-ELBISTAN LIGNITE RESERVE WITH GB-INSAR**

**Sabit Nazım AKAR**

**Zonguldak Bülent Ecevit University  
Graduate School of Natural and Applied Sciences  
Department of Geomatic Engineering**

**Thesis Advisor: Prof. Dr. Şenol Hakan KUTOĞLU**

**January 2019, 77 Pages**

As a result of examining the relations of landslides and surface mining, it is concluded that applied engineering solutions do not completely prevent the formation of landslides and it is imperative to observe the displacement movements.

Slope stability analysis is one of the most important research subjects in surface mining activities and in this context, the stability of all natural or artificial slopes under their own weight and the applied loads are analyzed. This is due to the fact that the landslides that occur due to the lack of slope stability can cause serious loss of life and property similar to natural disasters such as earthquakes and floods.

## **ABSTRACT (continued)**

In this thesis, the monitoring of surface mining, slope stability, landslides and deformations related to landslides by Gb-InSAR (Ground Based Interferometric Synthetic Aperture Radar) system are discussed and concluded that with this system, early warnings can be taken from observation resulting in prevention accidents leading loss of lives.

The Gb-InSAR system works in the same sense as Synthetic Aperture Radar (SAR) systems that can be positioned in air and in space, and makes use of the phase difference of two SAR images and allows the determination of displacements. With Ground-Based Interferometric Synthetic Aperture Radar (GB-InSAR), surface deformations such as earthquakes, volcanic movements, glacial movements, landslides, etc. can be easily monitored.

Thanks to a monitoring activity using the GB-InSAR (Ground Based Interferometric Synthetic Aperture Radar) system, it is possible to observe landslide kinematics, design risk reduction and emergency security measures, and long-term stability studies. Observation of displacement movements by GB-InSAR technique can provide cost and time saving in engineering projects and can be used without compromising security. In this way, both the design and plan changes for the emergency phase play an important and active role in the monitoring activities.

Being the largest surface mining site in Turkey, western slope of Kışlaköy Sector in Afşin Elbistan Lignites (Kahramanmaraş) is continuously monitored with GB-InSAR system located on a stable point 3 km away. Even though a movement that may occur in this slope cannot be stopped, it is monitored by the GB-InSAR system to prevent threats to work and life safety. Displacements are observed and early warning systems are implemented accordingly.

**Keywords:** SAR, GB-InSAR, Landslide, Deformation, Surface Mining Site

**Science Code:** 616.03.00



## TEŞEKKÜR

Yüksek Lisans tezi danışmanlığımı üstlenerek, her daim ve her koşulda desteğini ve bilgisini esirgemeyerek bu çalışmanın tamamlanmasını sağlayan değerli hocam Prof. Dr. Şenol Hakan KUTOĞLU'na teşekkürlerimi sunarım.

Çalışma süresi boyunca yardımlarıyla beni destekleyen Dr. Öğretim Üyesi Eray KÖKSAL'a teşekkürlerimi sunarım.

Tez çalışmama sağladığı büyük katkılardan dolayı iş arkadaşlarım Ozan ÖZGÜR, Reyhan MUTLU ve Nazım ÇİMEN'e teşekkür ederim.

Çalışmalarım boyunca bilimsel olarak beni destekleyen değerli hocalarıma, yüksek lisans eğitimim boyunca manevi desteklerini daima hissettiğim dostlarıma ve diğer tüm arkadaşlarıma şükranlarımı sunarım.

Son olarak, bugünlere gelmem için hayatımın her döneminde maddi ve manevi olarak beni destekleyen ve eğitim hayatım boyunca bana güvenen anne ve babama, onlarla beraber beni destekleyen kardeşlerime ve gösterdikleri fedakârlıklarla bu tezin asıl mimarları olan sevgili eşim Elif AKAR ve oğlum Çağan AKAR'a çok teşekkür ediyorum.



## İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
KABUL .....	ii
ÖZET .....	iii
ABSTRACT .....	v
TEŞEKKÜR .....	vii
İÇİNDEKİLER.....	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	xiii
ÇİZELGELER DİZİNİ .....	xv
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ.....	xvii
BÖLÜM 1 GİRİŞ.....	1
BÖLÜM 2 HEYELANLAR VE ŞEV KAYMALARI .....	5
2.1. HEYELAN SINIFLANDIRILMASI .....	6
2.2. KÜTLE HAREKETLERİNİN OLUŞUM ŞEKİLLERİ .....	8
2.2.1. Düşme .....	8
2.2.2. Devrilme .....	8
2.2.3. Kayma.....	8
2.2.4. Yayılmalar .....	9
2.2.5. Akmalar .....	9
2.3. HEYELANLARIN GEOMETRİK TANIMI .....	9
2.4. HEYELANLARIN GEOMETRİK DEĞERLENDİRİLMESİ .....	11
2.5. HEYELANLARIN AKTİVİTE DURUMUNUN DEĞERLENDİRİLMESİ.....	13
2.6. HEYELANLARIN AKTİVİTE HIZLARINA GÖRE DEĞERLENDİRİLMESİ .....	15
2.7. HEYELANLARA SEBEP OLAN ETKENLERİN DEĞERLENDİRİLMESİ .....	15
BÖLÜM 3 AÇIK İŞLETME MADENCİLİĞİ VE ŞEV STABİLİTESİ (DURAYLILIĞI)...	17

## İÇİNDEKİLER (devam ediyor)

	<u>Sayfa</u>
3.1. ŞEV STABİLİTESİ İLE İLGİLİ TANIMLAMALAR.....	18
3.2. ŞEV STABİLİTESİ (DURAYLILIĞI) ANALİZLERİNİN AMACI.....	20
3.3. ŞEV STABİLİTESİNE (DURAYLILIĞINA) ETKİ EDEN FAKTÖRLER.....	21
3.3.1. Şev Geometrisi ve Jeolojik Yapısal Özellikler .....	21
3.3.2. Yeraltı Suyu Koşulları .....	21
3.3.3. Malzeme Özellikleri .....	22
3.3.4. Şev Stabilite Analizleri Planlaması .....	23
3.3.5. Şev Stabilite Analizleri .....	24
3.3.6. Basamak Genişliği .....	24
3.3.7. Şevlerde Kayma Hareketlerinin Tespiti ve Stabilite Metotları.....	25
<b>BÖLÜM 4 YER BAZLI YAPAY AÇIKLI RADAR (YB-InSAR) İNTERFEROMETRİ</b>	
<b>TEKNOLOJİSİ .....</b>	<b>27</b>
4.1. ÇALIŞMADA KULLANILAN YB-InSAR EKİPMANLARININ BİLEŞENLERİ ...	28
4.2. YB-InSAR'ın ÇALIŞMA PRENSİPLERİ.....	29
4.2.1. Radar Tekniği .....	29
4.2.2. Kademeli Frekans Sürekli Dalga (SFWC) Tekniği .....	31
4.2.3. Yapay Açıklıklı Radar (SAR) Tekniği .....	34
4.2.4. İnterferometri Tekniği .....	38
4.2.5. Sürekli Serpinti Algoritması (Sabit Dağılım (PS)) Tekniği .....	43
<b>BÖLÜM 5 YB-INSAR TEKNOLOJİSİ İLE KIŞLAKÖY AÇIK MADEN</b>	
<b>İŞLETMESİNDEKİ BATI NİHAİ ŞEVİNİN İZLENMESİ.....</b>	<b>47</b>
5.1. SİSTEMİN KURULUMU.....	53
5.2. PROJE OLUŞTURULMASI.....	53
5.3. VERİLERİN TOPLANMASI VE İRDELENMESİ .....	54
5.4. DEĞERLENDİRME .....	56

## İÇİNDEKİLER (devam ediyor)

	<u>Sayfa</u>
BÖLÜM 6 SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	67
KAYNAKLAR.....	73
ÖZGEÇMİŞ .....	77





## ŞEKİLLER DİZİNİ

<u>No</u>	<u>Sayfa</u>
Şekil 2.1 Hareketin tipi ve malzemenin cinsine göre heyelanların türlerinin görünümü.....	7
Şekil 2.2 Dairesel olarak gelişen heyelanın bölümlendirilmiş görünümü .....	10
Şekil 2.3 Tipik bir heyelanda hacim ve boyutlar .....	12
Şekil 3.1 Şev Geometrisi Elemanları .....	18
Şekil 3.2 Güvenlik katsayısının şev yüksekliği ve şev açısına bağlı değişimini gösteren stabilite analiz sonuçları.....	20
Şekil 4.1 GB-InSAR Ekipmanları.....	28
Şekil 4.2 Radar cihazı.....	29
Şekil 4.3 Radar cihazı çalışma prensibi .....	29
Şekil 4.4 Radar cihazı çalışma prensibi .....	30
Şekil 4.5 Zaman ve frekans bölgesi .....	31
Şekil 4.6 Kademeli frekans ile tarama iletimi .....	31
Şekil 4.7 SFCW sinyali .....	32
Şekil 4.8 Frekans örnekleme .....	32
Şekil 4.9 Ters Ayrık Fourier Dönüşümü .....	33
Şekil 4.10 Menzil Profili .....	33
Şekil 4.11 Gerçek bir görüntünün mesafe haritası ve çözünürlüğü .....	34
Şekil 4.12 IBIS-M'in ray hareketi.....	35
Şekil 4.13Arazinin piksellerle gösterimi.....	36
Şekil 4.14 Mekansal hassasiyet/çözünürlük.....	36
Şekil 4.15 Palye ölçeğindeki kaymalar .....	37
Şekil 4.16 RAR ve SAR ile çalışan sistemlerin tarama karşılaştırması.....	38
Şekil 4.17 İnterferometri tekniği .....	39
Şekil 4.18 Faz belirsizliği sınırlaması .....	39
Şekil 4.19 İktisap geometrisi .....	40
Şekil 4.20 Yer değiştirme vektörleri ve görüş hatları .....	40
Şekil 4.21 Kademeli Frekans Sürekli Dalga .....	41
Şekil 4.22 Frekans Modülasyonlu Sürekli Dalga.....	41
Şekil 4.23 SFCW ve FMCW tekniklerine göre tarama koşulları.....	42
Şekil 4.24 Edinme süresi karşılaştırması.....	42

## ŞEKİLLER DİZİNİ (devam ediyor)

<u>No</u>	<u>Sayfa</u>
Şekil 4.25 İnterferogram .....	44
Şekil 4.26 Atmosferik verinin radar verisi üzerindeki etkisi .....	45
Şekil 4.27 Sabit dağılım yaklaşımının yüzey modeline etkisi .....	46
Şekil 5.1 Afşin-Elbistan Kışlaköy Maden İşletmesi .....	47
Şekil 5.2 Şev kaymasına ait arazi görüntüsü.....	48
Şekil 5.3 IBIS-M sistemi ile tespit edilmiş şev kamasına ait yazılım görüntüsü .....	49
Şekil 5.4 Doğu nihai şevi üzerinde bulunan ve kırmızı daire ile gösterilen GB-InSAR cihazı	50
Şekil 5.5 GB-InSAR cihazı ile izlenen batı nihai şevi .....	50
Şekil 5.6 GB-InSAR yazılımında radar cihazının ve izleme şevinin görünümü .....	54
Şekil 5.7 GB-InSAR yazılımında izlenen batı nihai şevinin görünümü .....	55
Şekil 5.8 GB-InSAR yazılımı ile hareketlerin sınıflandırılması .....	55
Şekil 5.9 Gb- InSAR yazılımı ile hareket yönünün tanımlanması .....	56
Şekil 5.10 GB-InSAR yazılımı ile zaman ayarlaması.....	57
Şekil 5.11 Takip noktası ve alanını gösterir görsel .....	58
Şekil 5.12 Takip noktasının yer değiştirme grafiği .....	59
Şekil 5.13 Takip noktasının hız grafiği .....	59
Şekil 5.14 Takip noktasına ait hızın tersi grafiği .....	60
Şekil 5.15 Takip noktasının ivmeleme grafiği .....	60
Şekil 5.16 Takip noktasının güç grafiği .....	61
Şekil 5.17 Takip alanının yer değiştirme grafiği.....	62
Şekil 5.18 Takip alanının hız grafiği .....	62
Şekil 5.19 Takip alanına ait hızın tersi grafiği .....	63
Şekil 5.20 Takip alanının ivmelenme grafiği .....	63
Şekil 5.21 Takip alanının güç grafiği. ....	64
Şekil 5.22 Takip noktasının kümülatif yer değiştirmesi ve erken uyarı seviyeleri .....	65
Şekil 5.23 Takip alanının kümülatif yer değiştirmesi ve erken uyarı seviyeleri.....	65
Şekil 5.24 Batı nihai şevindeki kazı sahası (hareketli bölge).....	66
Şekil 6.1 Takip noktasına ait yer değiştirme, hız, ivmelenme, hızın tersi ve güç grafikleri ....	68
Şekil 6.2 Takip alanına ait yer değiştirme, hız, ivmelenme, hızın tersi ve güç grafikleri.....	69
Şekil 6.3 Takip alanın ve noktasının kümülatif yer değiştirmesi ve erken uyarı seviyeleri ....	69



## ÇİZELGELER DİZİNİ

<u>No</u>	<u>Sayfa</u>
Çizelge 2.1 Hareketin tipi ve malzemenin cinsine göre heyelanların sınıflandırılması.....	6
Çizelge 2.2 Tipik bir heyelanda hacim ve boyutların tamamlanması .....	13
Çizelge 2.3 Heyelan hızları ve olası zararlar.....	15
Çizelge 5.1 GB InSAR işlem akışı.....	52
Çizelge 5.2 IBIS-M cihazı radar parametreleri .....	52
Çizelge 5.3 Takip noktasının özellikleri .....	58
Çizelge 5.4 Takip alanının özellikleri .....	58



## SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

### SİMGELER

Wd	: Hareket eden kütle nin genişliği
Wr	: Kopma yüzeyinin genişliği
Ld	: Hareket eden kütle nin uzunluğu
Lr	: Kopma yüzeyinin uzunluğu
Dd	: Hareket eden kütle nin derinliği
Dr	: Kopma yüzeyinin derinliği
L	: Toplam uzunluk
Lci	: Merkez çizgisinin uzunluğu
Ø	: fi
C	: Kohezyon
H	: Şev Yüksekliği
F	: Güvenlik katsayısı
R	: Menzil
$\tau$	: Çarpma Süresi
T <sub>0</sub>	: Yankı Gecikmesi
c	: Işık Hızı
B	: Frekans Bölgesi
$\Delta$	: Delta
$\varphi$	: Phi
$\lambda$	: Lamda
$\alpha$	: Alpha
$\pi$	: Pi
d	: Yer Değiştirme
f	: Frekans
$\theta$	: Theta
∫	: Fumma

## SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ (devam ediyor)

### KISALTMALAR

CAD	: Bilgisayar Destekli Tasarım
D-InSAR	: Diferansiyel İnterferometrik Yapay Açıklı Radar ya da Sürekli Serpinti Algoritması
DYM	: Dijital Yükseklik Modeli
FCC-U.S.A	: Amerika Federal İletişim Kurumu
FMCW	: Frekans Modülasyonlu Sürekli Dalga
GB-InSAR	: Yer Bazlı İnterferometrik Yapay Açıklı Radar
IAEG	: Uluslararası Mühendislik Jeolojisi Birliği
IC-CANADA	: Kanada İnovasyon, Bilim ve Ekonomik Kalkınma Kurumu
IDFT	: Ters Ayrık Fourier Dönüşümü
InSAR	: İnterferometrik Yapay Açıklı Radar
INSPIRE	: Avrupa Birliği Mekânsal Bilgi Altyapısı
SFCW	: Kademeli Frekans Sürekli Dalga
RADAR	: Radio Detection And Ranging
RAR	: Gerçek Açıklıklı Radar
SAR	: Yapay Açıklıklı Radar
PS	: Sabit Dağılım ya da Sürekli Serpinti Algoritması
PS-InSAR	: Sabit Dağılımlı İnterferometrik Yapay Açıklı Radar
USGS	: Amerika Birleşik Devletleri Jeoloji Araştırmaları Kurumu
WP/WLI	: Dünya Heyelan Envanteri Çalışma Grubu
YB-InSAR	: Yer Bazlı İnterferometrik Yapay Açıklı Radar

## BÖLÜM 1

### GİRİŞ

Doğal kaynaklar, insan ve toplum hayatında büyük önem arz etmektedir. Hayatı işlevsel hale getiren araç ve gereçlerin birçoğu doğal kaynaklardan sağlanmakta ve öncelikle de akla madenler gelmektedir. Hayatımızda bu denli ve vazgeçilmez bir yer tutan madenler ve madencilik toplumların teknoloji, bolluk ve rahatlık düzeyine ulaşmalarındaki en önemli unsurdur. Madencilik, teknolojik olarak ilerlemenin ve sanayileşmenin temel girdilerini üreten bir sektördür.

Üretimde ithalat ve ihracata bağlı olarak teknoloji ve sanayi ürünlerine ağırlık verilmesi, hammaddelerin nitelikli ve ekonomik olarak elde edilmesi gerekliliğini ortaya çıkarmıştır. Madencilik sektörü, gelişmiş ülkelerin büyük çoğunluğunda üretim ekonomisine bağlı kalkınmanın öncülüğünü yapmıştır. Ekonomik büyüme ve kalkınmada önemli yeri olan madencilik ve sanayi sektörü, ülkelere en büyük katma değeri sağlamaktadır. Bu yüzden ülkemizde de madencilik sektörünün önemi gün geçtikçe artmaktadır.

Madencilik, tüm dünya ve ülkemizde iş kazaları ve meslek hastalıkları bakımından en riskli sektörlerin başında gelmektedir. İş sağlığı ve güvenliği daha çok yer altı madenciliğinde ön planda olsa da, açık maden işletmelerinde de gerekli tedbirler alınmadığında çok ciddi kazalar ve can kayıpları ile karşılaşılmaktadır.

Maden üretimi planlanırken açık işletme madenciliği ya da yer altı madenciliği yapılmasına dair verilecek karar için bütün parametreler gözden geçirilmelidir. Açık işletme madenciliğinde üretim hızı yüksek olup, çalışma ortamı daha uygun koşullara sahiptir. Ancak bu avantajlara rağmen ilk yatırım maliyeti yer altı madenciliğine göre oldukça yüksektir. Dünyada maden üretiminin büyük bir kısmı açık işletme madenciliği ile gerçekleştirilmektedir. Açık işletme madenciliğinde projelendirme aşamasında öncelikli olarak irdelenmesi gerekli konu, kazı sonrası oluşacak şevlerin stabilitelerini sağlamak olmalıdır. Bu husus iş güvenliği açısından

büyük öneme sahiptir. Şev eğimlerinin arttırılması ekonomik yönden avantajlı dahi olsa, eğimler nedeniyle oluşabilecek şev bozulmaları maddi ve can kaybı şeklindeki zararlara sebep olabilir. Bu nedenle güvenlik ile ekonomi arasındaki en uygun korelasyonu ve şev için en doğru eğim açısını bulmak açık maden işletmelerindeki en önemli hesaplamaların başında gelmektedir.

Şev açısının belirlenmesinde bilimsel çalışmaların ve elde edilen sonuçların deneyim ile birlikte kullanılmasının yararlı olacağı aşikârdır. Bu nedenle madencilik faaliyetlerinin emniyetli bir şekilde yürütülebilmesi için kaya mekaniği, matematiksel yaklaşım, matematiksel yaklaşımda kullanılan parametrelerin tayini ve stabilitenin olmaması durumunda ne yapılabileceğinin belirlenmesi gibi şev stabilitesini etkileyen unsurların ayrıntılı bir şekilde incelenmesi önem arz etmektedir.

Açık işletme madenciliğinde en uygun şev açısı ve stabilitesi tespit edilmiş olsa dahi iş ve can güvenliğinin sağlanamadığı durumlarla karşılaşılabilir. Bu durumlara karşı da deformasyon izleme gibi alınabilecek bir takım önlemler bulunmaktadır.

Kahramanmaraş İli Afşin ve Elbistan İlçeleri hudutlarında bulunan ve Ülkemizin en büyük açık maden işletmesi olan Afşin-Elbistan Linyitleri İşletme Müdürlüğü Kışlaköy Sektöründeki linyit rezervi ile Afşin-Elbistan A ve B Termik Santrallerinin yakıt ihtiyacını karşılamakta ve bu kapsamda madencilik faaliyetlerini sürdürmektedir. Yaklaşık 35 yıldır faaliyet gösteren bu işletmede en uygun şev açısı ve stabilitesi sağlanmış olmasına rağmen olası heyelan ve şev kaymalarının önceden tespit edilebilmesine yönelik bir deformasyon izleme yöntemi olan YB-InSAR ile şevlerde oluşabilecek hareketlerin takibi yapılmakta ve iş güvenliği en üst nokta da sağlanmaktadır.

YB-InSAR tekniği, yamaçların, heyelanların, ocakların, buzulların ve kar örtüsünün sürekli veya tekrarlı olarak izlenmesi gibi birçok uygulama için yararlı olabilir (Achache et al. 1996, Ferro-Famil et al. 2005, Fortuny- Guasch et al. 2005).

YB-InSAR sistemi kullanılarak heyelanların izlenmesi, sistem tarafından bir bölgenin farklı zamanlarda alınan radar görüntülerindeki, faz bilgilerinin karşılaştırılması ile değişimin belirlenmesi esasına dayanmaktadır. Bu sistemdeki amaç şev kayması ve heyelan riski taşıyan bir bölgenin izlenmesi, izlenen süre zarfında meydana gelen yer değiştirmelerin belirlenmesi

ve muhtemel iş kazalarında erken uyarı sistemiyle can kayıplarının önüne geçilebilmesi olarak tanımlanabilir.

Bu tez çalışmasında, en çok karşılaşılan doğal afetlerden biri olan heyelanların oluşum şekilleri, nedenleri, sınıflandırılması, tipi, hızı, geometrisi ve aktivite durumları gibi kriterler irdelenerek, heyelan oluşması muhtemel yerlerdeki deformasyon takibinin YB-InSAR sistemleri ile yapılması durumunda açık maden işletmeciliğinde şev stabilitesinin takibi ve buna bağlı olarak iş güvenliği, verimlilik, süreklilik, can ve mal kaybı gibi hususlardaki avantajlar ortaya konmuştur.

Dünyada yer bazlı bir radar cihazı ile deformasyon izlenmesi yönünde birçok çalışma yapılmış olmasına rağmen, ülkemizde bu yöntemin uygulaması yok denecek kadar azdır.





## BÖLÜM 2

### HEYELANLAR VE ŞEV KAYMALARI

Ülkemiz yer aldığı coğrafi konumdan dolayı, aktif deprem kuşaklarında yer almakta, olumsuz meteorolojik koşullar etkisi altında büyük ölçekte kaya ve zemin heyelanları ile sel ve doğal afet riskleri içermektedir. Heyelanlar (heyelan ve kaya düşmesi) tüm afetler içerisinde % 55,2'lik bir payla ülkemizde en sık görülen 2. Doğal afettir.

Heyelanlar her ne kadar farklı şekillerde tanımlansa da, genellikle yüksek dik yamaçlarda ve küçük yer değiştirmelerle meydana gelirler (Agliardi et al. 2001).

Ülkemizde heyelanlara bağlı olarak oluşan kayıpları ve zararları en aza indirmek için heyelanların meydana geldiği konumların belirlenmesi, heyelanların oluşmasına neden olan çevresel etkilerin tespit edilmesi ve belirli bir standartta ulusal düzeyde sayısal heyelan veri tabanının oluşturulması, risk analizlerinin yapılması, heyelan kara nokta bölgelerinin belirlenmesi ve yeni izleme teknolojileri gibi çalışmalar yürütülmektedir.

Heyelanlara bağlı yer değiştirmeler tipik olarak yılda birkaç milimetre ile birkaç santimetre arasında değişir ve genellikle geleneksel izleme ekipmanlarının tespit sınırına yakındır (Bovis 1990).

Heyelanlar çok tehlikeli olup, çoğu zaman can kaybına, büyük hasara ve önemli ekonomik kayıplara neden olabilir. Heyelan tehlikesini azaltmak ve risk yönetimini sağlayabilmek için, özellikle son yıllarda yeni izleme teknolojileri ile ilgili çalışmalar yapılmaktadır. Ne yazık ki, önleyici tedbirler dağlık, engebeli ve karmaşık heyelan sistemlerine dâhil olan alanlarda insanların ve altyapıların korunması için genellikle yetersiz kalmaktadır.

Bu konuda yapılması gerekli çalışmalara yön verilmesi amacıyla Heyelan Tanımlama ve Veri Oluşturma Kılavuzu olarak hazırlanan bir çalışma başlatılmış olup, INSPIRE (Avrupa Birliği

Mekânsal Bilgi Altyapısı) ve USGS'nin (Amerika Birleşik Devletleri Jeoloji Araştırmaları Kurumu) referans aldığı şekilde hazırlanan Varnes (1978) heyelan sınıflandırması, bu çalışma için bir temel olmuştur.

Bu bölümde heyelanların sınıflandırılması, oluşum şekilleri, geometrik tanımı, geometrik değerlendirilmesi, aktivite durumunun değerlendirilmesi, aktivite hızlarına göre değerlendirilmesi ve nedenleri üzerinde durulacaktır.

## 2.1. HEYELAN SINIFLANDIRILMASI

Avrupa Birliği INSPIRE direktifinde heyelan sınıflamaları için Varnes (1978)'i kullanmıştır. Varnes (1978)'de heyelanların farklı yollardan sınıflandırıldığını ve her bir sınıflamada tanıma, kontrol, ıslah veya diğer amaçların ön plana çıkarılabildiğini açıklamıştır.


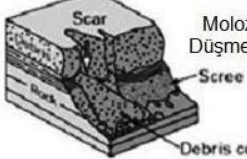
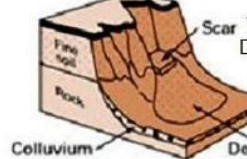

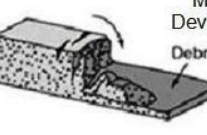
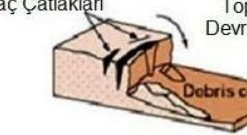

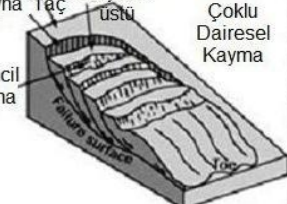
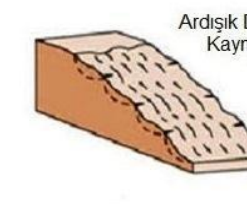
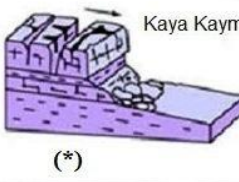
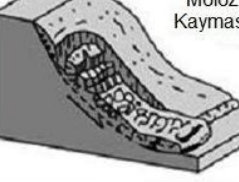
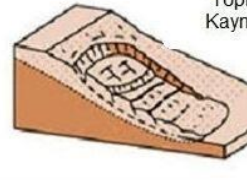


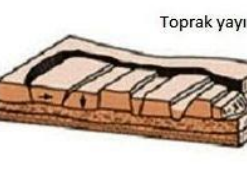
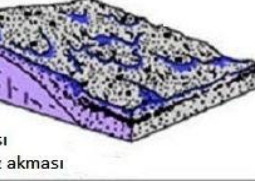
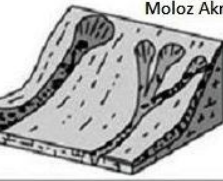
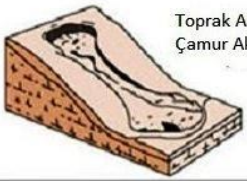
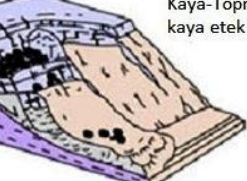
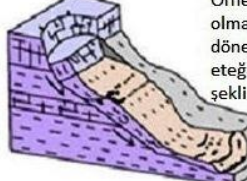
Heyelanın (yamaç hareketlerinin) sınıflandırılması hareketin tipi ve hızı, malzeme cinsi, malzemenin ve alanın geometrisi, yaş, kayan kütleinin kopma derecesi, gelişme derecesi, coğrafik konum, jeolojik yapı ile kayma geometrisi arasındaki ilişki, etkin ilk durum, oluşum sebepleri vb. kriterler dikkate alınarak yapılır.

Varnes (1978) heyelanın tipi ve malzemenin cinsine göre heyelanları Çizelge 2.1'deki gibi sınıflamıştır.

**Çizelge 2.1** Hareketin tipi ve malzemenin cinsine göre heyelanların sınıflandırılması (Varnes 1978).

HAREKETİN TİPİ	MALZEMENİN TÜRÜ		
	KAYAÇLAR	ZEMİNLER	
		İRİ TANELİ	İNCE TANELİ
DÜŞME	Kaya Düşmesi	Moloz Düşmesi	Zemin Düşmesi
DEVİRİLME	Kaya Devrilmesi	Moloz Devrilmesi	Zemin Devrilmesi
KAYMA	DÖNEL	Kaya Kayması	Moloz Kayması
	YANAL		
YAYILMA	Kaya Yayılması	Moloz Yayılması	Zemin Yayılması
AKMA	Kaya Akması (Derin Krip)	Moloz Akması	Zemin Akması (Toprak Kribi)
KARIŞIK	İki veya daha fazla hareket türü		

Ayrıca Varnes,1978 yılında bir heyelanın özelliklerini gösteren blok diyagram hazırlamıştır (Şekil 2.1).

Malzeme Hareketin Türü	KAYA	MOLOZ	ZEMİN
<b>DÜŞMELER</b>	 Kaya Düşmesi	 Moloz Düşmesi	 Toprak Düşmesi
<b>DEVİRLİMLER</b>	 Kaya Devrilmesi	 Moloz Devrilmesi	 Toprak Devrilmesi
<b>KAYMALAR</b>	<b>DÖNEL</b>  Tek Dairesel Kayma	<b>Heyelan üstü</b>  Çoklu Dairesel Kayma	<b>Ardışık Dönel Kayma</b> 
	<b>ÖTELENMELİ (Düzlemsel)</b>  Kaya Kayması (*)	 Moloz Kayması	 Toprak Kayması
<b>YAYILMALAR</b>			 Toprak yayılması
<b>AKMALAR</b>	 Kaya Akması Buzul moloz akması	 Moloz Akması	 Toprak Akması Çamur Akması
<b>KARMAŞIK</b>	 Kaya-Toprak akması ile kaya etek döküntüsü		Örnek: Kompozit, dairesel olmayan, kısmen dönel/kısmen düzlemsel ve eteğe doğru toprak akması şeklinde

Şekil 2.1 Hareketin tipi ve malzemenin cinsine göre heyelanların türlerinin görünümü (Varnes 1978).

## **2.2. KÜTLE HAREKETLERİNİN OLUŞUM ŞEKİLLERİ**

Kütle hareketleri, oluştuğu jeolojik formasyonun cinsi, yapısal özellikleri, fay, çatlak, şistozite, tabakalanma, ayrışma, dayanım ve yeraltı suyu gibi birçok etkenin etkisi altında farklı geometrik yapıda (düzlemsel, dairesel, karışık) farklı hızda (çok hızlı, hızlı, yavaş, krip gibi) ve farklı yayılım özelliğinde oluşabilir (Varnes 1978).

Hareketin şekline bağlı olarak gelişen kütle hareketleri aşağıdaki başlıklarda belirtildiği gibidir.

### **2.2.1. Düşme**

Dış ve iç faktörler etkisi ile kopan malzemenin aşağıya doğru hareket etmesidir. Jeolojik formasyonun cinsine göre kaya düşmesi, moloz düşmesi ve toprak düşmesi şeklinde adlandırılır (KGM 2015).

Topuk oyulması, dalgaların etkisi ile oluşan topuk oyulması, çatlak ve kırıklardaki erime ve donma olaylarının gerçekleşmesi, hidrostatik basınç sonucu kendi ağırlığının etkisi, yer çekimi vb. etki ve olaylar düşmeye neden olabilmektedir.

### **2.2.2. Devrilme**

Bir zemin veya kaya kütesinin yamaç dışına, kendi ağırlık merkezi altında bir nokta veya eksen boyunca öne doğru dönmesi, eğilmesi, devrilmesidir. Bu harekette eğik yüzey boyunca kayma söz konusu değildir. Burada ki hareket bir dönme hareketidir. Dönme bloğun eğim açısındaki kenarı boyunca olmaktadır. Kaya formasyonların yapısal özelliklerine ve devrilme olan yamaç eğimine bağlı olarak gelişmesi durumunda kaya düşmesi, eğimin yüksek olduğu yamaçlarda jeolojik birimin cinsine göre moloz devrilmesi veya toprak devrilmesi olarak adlandırılır. (KGM 2015).

### **2.2.3. Kayma**

Kaymalar dairesel ve ötelenmeli düzlemsel kaymalar olarak iki ana gruba ayrılır. Dairesel kaymalar, bloklaşmış kaya formasyonlarda tek dairesel kayma olarak sınıflandırılır. Ötelenmeli düzlemsel kaymalar, kaya formasyonlarda süreksizlik düzlemlerinin konumu ve kesişimlerinin

kayma yönü yüzeyle yaptığı arakesit oluşturma özelliğine bağlı olarak düzlemsel kayma ve kama tipi kayma olarak yamaç molozu veya toprak zemin olma durumuna göre moloz kayması ve toprak kayması olarak adlandırılır (KGM 2015).

#### **2.2.4. Yayılmalar**

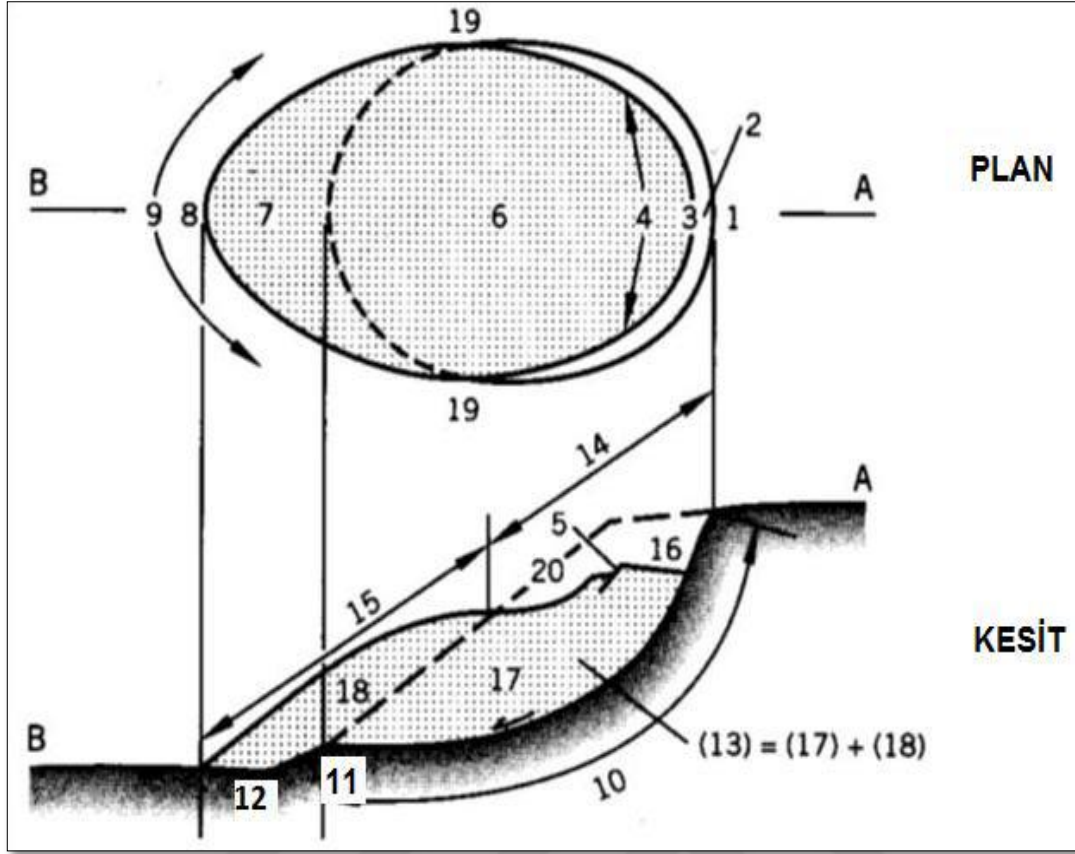
Kohezyonlu zemin veya kaya kütesinin alttaki yumuşak tabaka içine kırılarak batması sonucu uzamasıdır. Genellikle az eğimli yamaçlarda gelişir (KGM 2015).

#### **2.2.5. Akmalar**

Toprak ya da taş toprak karışımı, ayrıışmış yüzeysel örtü, içerisinde bulunan su miktarına göre, bazen bir sıvı gibi akar, bazen de çok yavaş fakat sürekli olarak yer değiştirir ve bu zamanda zeminin içinde bir deformasyon oluşur. Akma hareketi hızı olduğu zaman, akan malzemenin türüne göre kaya blok akması, kum akması, çamur akması, vb. isimler alır. (KGM 2015).

### **2.3. HEYELANLARIN GEOMETRİK TANIMI**

IAEG Heyelan Komisyonu (1990), dairesel olarak gelişen bir heyelanın değişik kesimlerini Şekil 2.2'deki gibi numaralandırmış ve açıklamıştır.



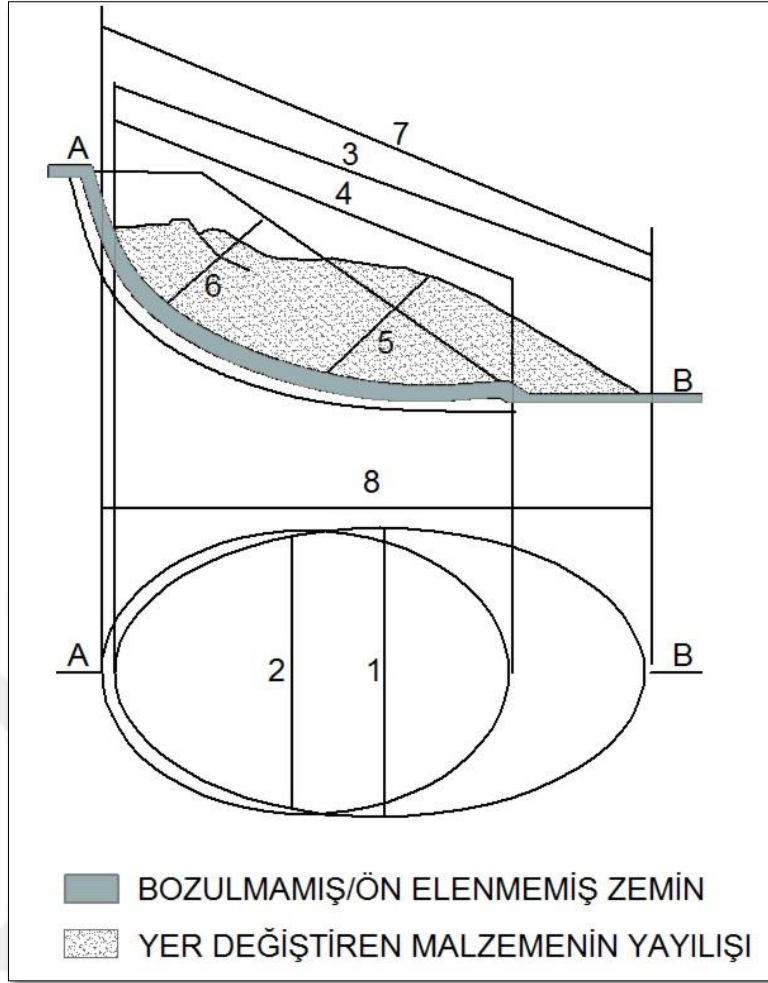
**Şekil 2.2** Dairesel olarak gelişen heyelanın bölümlendirilmiş görünümü (IAEG Heyelan Komisyonu 1990'dan değiştirilerek).

- 1) Heyelan tacı; ana aynanın (2) en yüksek bölümüne en yakın ve hareket etmemiş malzemenin bulunduğu yer.
- 2) Ana ayna; heyelanın üst ucunda, heyelandan etkilenmemiş bölgeden hareket eden kütlenin (13) ayrılmasıyla oluşan düşey veya düşeye yakın yüzey. Kayma/kopma yüzeyinin (10) görünen bölümüdür.
- 3) Heyelanın tepesi; ana ayna (2) ile heyelan kütlesi (13) arasındaki en yüksek nokta.
- 4) Heyelanın üstü; hareket etmiş kütle ile ana ayna (2) arasında oluşan bölgenin üst kısımları.
- 5) Tali ayna; yer değiştiren kütle içinde farklı hareketlerden oluşmuş düşey veya düşeye yakın bir yüzey.
- 6) Heyelan gövdesi; kayma yüzeyi (10) üzerinde, ana ayna (2) ile kayma yüzeyi burnu (11) arasında kalan kütle.
- 7) Heyelanın eteği; heyelanın topuğu (11) Ötesine hareket ederek doğal arazi (20) üzerine oturmuş bölümü.
- 8) Heyelanın ucu; heyelan tepesinden (3) topuğuna (9) gelen nokta.

- 9) Topuk; hareket eden kütlenin genellikle eğrisel olan alt ucu. Bu nokta ana aynadan (2) en uzaktaki noktadır.
- 10) Kayma yüzeyi; heyelana neden olan ya da heyelan olmuş kütlenin(13) alt sınırını oluşturan ve doğal arazi yüzeyinin (20) altında kalmış yüzeydir.
- 11) Kayma yüzeyi burnu; bir heyelanın kayma yüzeyinin alt bölümü (10), alt bölümü ile (genellikle gömülü) doğal arazi yüzeyinin (20) kesişme noktası.
- 12) Ayrılma yüzeyi; doğal arazi yüzeyinin (20) heyelanın eteği (7) altında kalan bölümü.
- 13) Heyelan kütlesi; yamaç veya şevde heyelan sonucu doğal yerinden ayrılmış, kayıp (17) ve kabarma (18) kütlelerini içeren malzeme.
- 14) Kayıp bölgesi; heyelan kütlelerinin doğal arazi yüzeyi (20) seviyesi altında kalan alanı.
- 15) Birikim bölgesi; heyelan kütlelerinin başlangıçtaki doğal arazi yüzeyi (20) üstünde kalan alanı.
- 16) Çöküntü; ana ayna (2), çöküntü kütlesi (17) ve doğal arazi yüzeyi (20) arasında kalan hacim.
- 17) Çöküntü kütlesi; kayma yüzeyi (10) üzerinde, ancak başlangıçtaki doğal arazi yüzeyi seviyesi altında kalan heyelan kütlesi.
- 18) Kabarma; başlangıçtaki doğal arazi yüzeyi (20) üzerine yükselen yer değiştirmiş heyelan hacmi.
- 19) Kanatlar; kayma yüzeyinin yanlarında kalan ve hareket etmemiş malzeme. Kanatları tanımlama için pusula yönleri kullanılmalıdır. Sağ ve sol sözcükleri kullanılacaksa kanatların yeri, heyelan tacından (1) görüldüğü gibi tanımlanır.
- 20) Doğal arazi yüzeyi; kütle hareketi oluşmadan önce arazinin kesitte görülen yüzeyi göstermektedir.

#### **2.4. HEYELANLARIN GEOMETRİK DEĞERLENDİRİLMESİ**

IAEG Heyelan Komisyonu (1990), tipik bir heyelanın boyutlarını; hareket eden kütlenin ağırlığı ( $W_d$ ), kopma yüzeyinin ağırlığı ( $W_r$ ), hareket eden kütlenin uzunluğu ( $L_d$ ), kopma yüzeyinin uzunluğu ( $L_r$ ), hareket eden kütlenin derinliği ( $D_d$ ), kopma yüzeyinin derinliği ( $D_r$ ), toplam uzunluk ( $L$ ), merkez çizgisinin uzunluğu ( $L_{ci}$ ) şeklinde isimlendirerek tanımlamışlardır (Çizelge 2.2 ve Şekil 2.3).



**Şekil 2.3** Tipik bir heyelanda hacim ve boyutlar (IAEG Heyelan Komisyonu, 1990'dan değiştirilerek).



**Çizelge 2.2** Tipik bir heyelanda hacim ve boyutların tamamlanması (IAEG Heyelan Komisyonu 1990).

No	İsim	Tanımlama
1	Hareket eden kütleinin genişliği, <b>Wd</b>	Uzunluğa dik olarak yer değiştiren kütleinin en yüksek genişliği
2	Kopma yüzeyinin genişliği, <b>Wr</b>	Uzunluğa dik yöndeki heyelanın kanatları arasındaki en yüksek genişliği
3	Hareket eden kütleinin uzunluğu, <b>Ld</b>	Tepe noktasıyla topuk arasındaki en düşük uzaklık
4	Kopma yüzeyinin uzunluğu, <b>Lr</b>	Kayma yüzeyinin topuğundan aynaya kadar en düşük uzaklık
5	Hareket eden kütleinin derinliği, <b>Dd</b>	Wd ve Ld'yi içeren düzleme dik ölçülmüş yer değiştiren kütleinin en yüksek derinliği
6	Kopma yüzeyinin derinliği, <b>Dr</b>	Wd ve Ld'yi içeren düzleme dik ölçülmüş orijinal zeminin altındaki kayma yüzeyinin en yüksek derinliği
7	Toplam uzunluk, <b>L</b>	Heyelanın üst noktasından aynaya olan en düşük uzaklık
8	Merkez çizgisinin uzunluğu, <b>Lc</b>	Kayma yüzeyinin yanal kenarlarından ve yer değiştiren malzemedan eşit aralıklı orijinal zemin yüzeyi üzerindeki noktalar boyunca heyelanın üst noktasından aynaya olan uzaklık

## 2.5. HEYELANLARIN AKTİVİTE DURUMUNUN DEĞERLENDİRİLMESİ

Dünya Heyelan Envanteri Çalışma Grubu (WP/WLI, 1993), çalışmalarında heyelanın aktivitesini üç ana gruba ayırmıştır.

- Aktivite durumu
- Aktivite dağılımı
- Aktivitenin tipi

Aktivite durumlarına göre; aşağıdaki şekilde tanımlanmıştır.

- Etkin Heyelan: Hareket halinde olan kütleiy tanımlar.

- Duraklamış Heyelan: Taç kısımlarında yerel çatlamlar olan, Son 12 ay içinde hareket gözlemlenmiş ama şu an etkin olmayan kütle.
- Uyanmış Heyelan: Daha önceden etkin olmayan kütlelerin hareketlenmesi ve önceden hareket eden kısımda etkileyerek başka bir bloğun hareket etmesi.
- Gizli Heyelan: Daha önceki harekete neden olan etkenlerin yeniden ortaya çıkmasıyla harekete geçebilecek, etkin olmayan heyelan.
- Bitmiş Heyelan: İlk hareketin oluşmasına neden olan etkenlerin etkisini yitirdiği, aktif olmayan heyelan.
- Kontrol Altındaki Heyelan: Harekete sebep olan etkenlere karşı önlem alınarak koruma altına alınmış heyelan.
- Kalıntı Heyelan: Mevcut jeomorfolojik ve iklim koşullarından bütünüyle farklı durumlarda oluşmuş, etkin olmayan heyelan.

Aktivite dağılımlarına göre; hareketin yönüne göre aşağıdaki tanımlamalar yapılmıştır.

- İleriye Gelişen Heyelan: Kayma yüzeyi hareket yönü doğrultusunda ilerler.
- Geriye Gelişen Heyelan: Kayma yüzeyi hareket yönünün tersine ilerler.
- Büyüyen Heyelan: Kopma yüzeyi iki veya daha fazla yönde ilerler.
- Tüklenen Heyelan: Hareketli kütle hacmi gittikçe azalır.
- Sınırlı Heyelan: Aynası olan, ama hareket eden kütle ayağında kopma yüzeyi gözlemlenemeyen heyelan.
- Genişleyen Heyelan: Kopma yüzeyi heyelanın kanadına yayılan heyelan.

Aktivite tipine göre; beş ayrı ana grupta tanımlanır.

- 1) Karmaşık: Birbirini takip eden en az iki farklı hareket tipinden (düşme, devrilme, kayma, yayılma, akma) oluşan heyelan.
- 2) Bileşik: Heyelanın oluştuğu yerin, farklı bölümlerinde eş zamanlı olacak en az iki farklı hareketin oluşması.
- 3) Ardışık: Heyelana yakın bir bölgede daha önce meydana gelen hareket tipiyle aynı ama malzeme ve kopma yüzeyleri ortak olmayan heyelan.
- 4) Tekil: Yer değiştiren malzemenin tek hareketi sonucu heyelan oluşur.
- 5) Çoklu: Farklı bölümlerde, heyelanın aynı tip hareketinin oluşması durumunda gerçekleşir.

## 2.6. HEYELANLARIN AKTİVİTE HIZLARINA GÖRE DEĞERLENDİRİLMESİ

Heyelanların hızlarıyla ilgili olarak Varnes ilk defa 1958’de sınıflama yapmıştır. Varnes 1978’de yaptığı sınıflamayı güncellemiştir. WP/WLI çalışma grubu 1995’de buna ek olarak heyelan hız sınıflarını yedi ana sınıfa toplamıştır. Bu hız sınıfları Çizelge 2.3’de gösterilmiştir.

Çizelge 2.3 Heyelan hızları ve olası zararlar (Varnes 1978 ve WP/WLI 1995).

Varnes, 1978	Wp/W <sub>h</sub> ,1995			Doğaya Etkisi
	Hız Sınıfı	Hız Limitleri (mm/sn)	Hızın Tanımlanması	
> 3 m/sn	7	>5x10 <sup>3</sup> (> 5 m/sn)	Son derece hızlı	Büyük şiddetli afet, hareket eden malzemenin etkisiyle binaların yıkılması, birçok ölümler, mümkün olmayan kaçış
> 0,3 m/dk	6	>50 (> 3 m/dk)	Çok hızlı	Can kaybı ve mal kaybı, mevcut hız tüm insanların kaçabilmesi için oldukça hızlı
> 62,5 mm/saat	5	>0,5 (> 1,8 m/saat)	Hızlı	Maddi hasar meydana gelir, yapılar, evler ve diğer şeyler yıkılır. İnsanların bir yere tahliye edilmesi mümkündür.
> 50 mm/gün	4	>5 x10 <sup>-3</sup> (> 430 mm/gün)	Orta	Bazı hassas olmayan yapılar bir süre için(geçici) korunabilir.
> 4,1 mm/gün	3	>5 x 10 <sup>-5</sup> (> 4,3 mm/gün)	Yavaş	Hareket sırasında iyileştirme yapıları oluşturulabilir; şayet toplam hareket özel bir hızlanma safhasında çok fazla değilse hassas olmayan yapıların bakımı yapılabilir.
> 0,164 mm/gün	2	>5x 10 <sup>-6</sup> (> 0,043 mm/gün)	Çok yavaş	Hareketle bazı hassas olmayan yapılar zarar görmez
< 0,164 mm/gün	1	>5x 10 <sup>-6</sup> (> 0,043 mm/gün)	Son derece yavaş	Aletsel ölçüler olmadan hissedilemez. Önlem alınarak inşaat yapmak olasıdır.

## 2.7. HEYELANLARA SEBEP OLAN ETKENLERİN DEĞERLENDİRİLMESİ

Heyelanlara sebep olan etkenleri jeolojik, morfolojik, fiziksel ve insan olmak üzere dört ana madde altında toplayabiliriz.

Jeolojik sebepler de kendi içinde zayıf, hassas, makaslamaya uğramış, eklemli ve fissürlü (çatlak) malzeme olarak tanımlanabilir. Ayrıca tersine uzanan yapının kırılmasını, tersine uzanan kütle süreksizliğini, geçirgenlikteki zıtlığı ve sertlikteki zıtlığı da jeolojik sebepler içine dahil edebiliriz.

Tektonik ve volkanik yükselme, bitki örtüsünün yok edilmesi, buzul gerilemesi, yamaç topuğundaki dalga ve buzul aşındırması, yeraltı aşındırması, yamaç topuğunun akarsu tarafından aşındırılması vb. etkenler de morfolojik sebepler olarak tanımlanabilir.

Şiddetli yağmurlar, taşkın ve gel-git olayında suların ani çekilmesi, karın hızlı erimesi, depremler, donma ve çözülmeye bağlı ayrışma, şişme ve büzülme yoluyla ayrışma, volkanik püskürme, aşırı yağışların sürekli devam etmesi gibi etkenler fiziksel sebepler olarak örneklendirilebilir.

Yamacın veya topuğunun kazılması, maden kazılarının yapılması, yamaca veya tepesine yük depolanması, göl suyu seviyesinin azalması, kontrolsüz ağaç kesimi, toprağı sulama, yapay titreşimler, kullanıma bağlı su kaçakları gibi etkilerde insanlara bağlı sebepler olarak ifade edilebilir.

### BÖLÜM 3

#### AÇIK İŞLETME MADENCİLİĞİ VE ŞEV STABİLİTESİ (DURAYLILIĞI)

Yer üstündeki veya yer yüzeyine yakın seviyede bulunan maden havzalarının farklı yöntem ve makinalar ile kazılması, yüklenmesi, nakliye edilmesi ve depolanması için gerçekleştirilen uygulamalara açık işletme madenciliği denilmektedir. Maden havzalarındaki kömür ya da herhangi bir cevherin üzerinde bulunan örtü tabakasının kazılıp en yakın ve en uygun yer olarak tespit edilmiş depolama alanına taşınmasına dekapaj denilmektedir.

Açık işletme madenciliği, yeraltı maden işletmeciliğine göre daha avantajlı olup, daha fazla üretim ve düşük maliyet ile gerçekleştirilir. Maden havzasında bulunan rezervin derinliğinin fazla olması, dekapaj miktarının ve üretim maliyetinin artışına sebep olacağından, açık işletme madenciliği rezervin derinde olduğu maden havzalarında uygulanmaz. Açık işletme madenciliğinde farklı kazı ve taşıma sistemleri kullanılmaktadır. Bu sistemler, döner kepçeli kazıcılar ile yapılan kazının taşıyıcı bantlara aktararak taşınması ya da ekskavatör ile yapılan kazının kamyonlar ile taşınması olarak örneklendirilebilir. Delme, patlatma, kazı, yükleme, taşıma ve dökme açık maden işletmelerinde yapılan en temel işlemlerdir. Açık işletme madencilik faaliyetleri planlanırken havzanın jeolojisi, jeoteknik ve hidrojeolojik koşullar, madenin yayılımı, topoğrafyası, araç gereç kapasitesi, taşıma sistemleri, enerji temini, maliyet, kazı ve dolgu sahasındaki şev açıları, basamak yükseklikleri, yol eğimleri, vb. etkenler dikkate alınmaktadır.

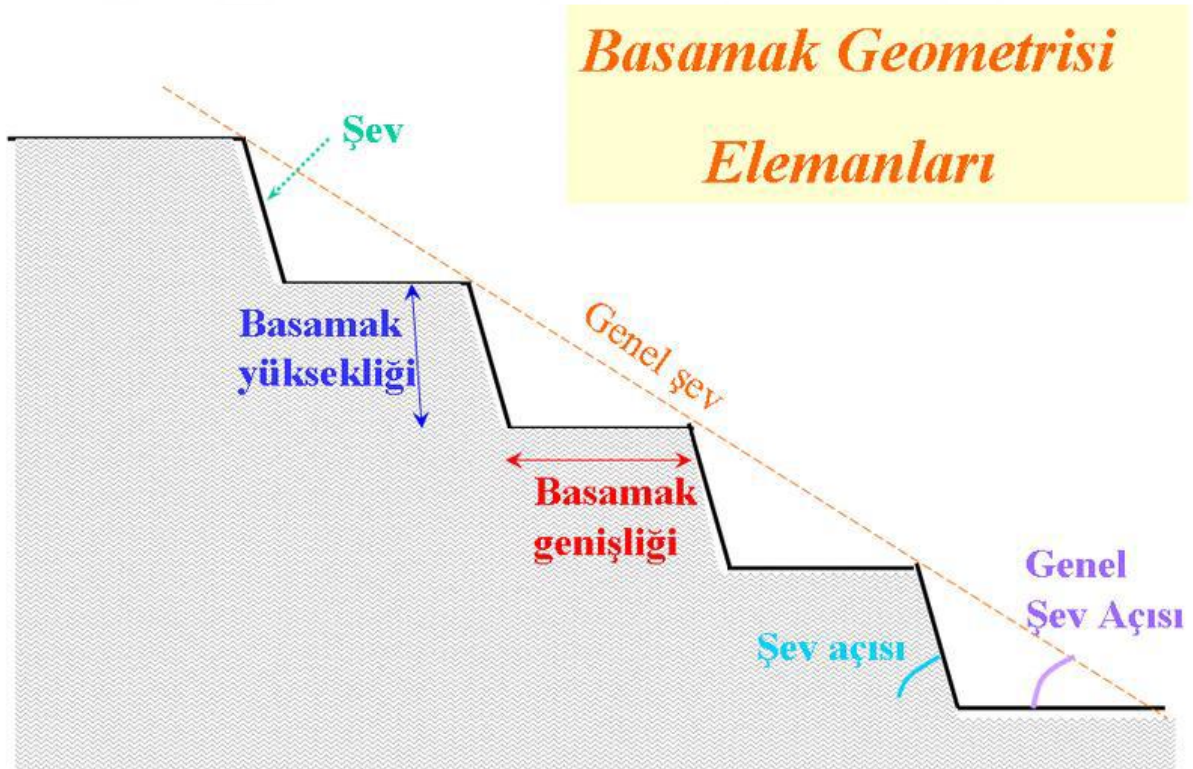
Yer üstünde bulunan maden işletmelerinde meydana gelen kazalar mühendislik çalışmaları ve uygulamaları ile azaltılabilir. Madencilik faaliyetlerine başlamadan önce havzanın sahip olduğu arazi yapısı ile ilgili ayrıntılı çalışmaların yapılması ve işletme aşamasında sürekli yapılan takip ve kontrol, olası kazaların yaşanmasının önüne geçecektir.

Kazaların önlenmesi için yapılan detaylı araştırmalardan yararlanılarak yapılan şev stabilitesi incelemesi açık maden işletmeciliğinin en önemli unsurudur. Şev düzlemi altında ve arkasında

bulunan toprak kütlelerinin, kayma, yıkılma veya göçme tehlikelerinin varlığının araştırılmasına ‘Şev Stabilitesi (Duraylılığı)’ incelemesi denilir. Şev Stabilitesi incelemesi hatalı yapılan açık maden işletmelerinde sürekliliğin ve verimliliğin beklenmemesi gerekmektedir.

### 3.1. ŞEV STABİLİTESİ İLE İLGİLİ TANIMLAMALAR

Şev için genel anlamda bir tanım yapmak gerekirse bu tanım “doğal veya yapay oluşturulmuş bir zemin kitlesini sınırlayan eğik yüzey” olarak verilebilir. Eğik yüzey bir düzlem olabileceği gibi birbirlerini takip eden düzlemlerden de oluşabilir. Bir şevin analiz edilmesi esnasında şeve ait bilinmesi gereken parametreler Şekil 3.1’de gösterilmiştir.



Şekil 3.1 Şev Geometrisi Elemanları (Şekercioğlu 2007).

**Şev Açısı:** Bir şevin yatayla yaptığı açıya ‘Şev Açısı’ veya ‘Eğim Açısı’ denilir.

**Genel Şev Açısı:** Şev topuğundan şev tepesine çizilen hattın yatayla yaptığı açıdır. Şev profili iç bükey ise şevin alt kısmının açısı genel şev açısı olarak alınır, ancak daha dik olan üst kısım için ayrı analiz yapılır. Şev profili dış bükey ise genel şev açısını, şev topuğundan şev tepesine uzanan hat belirler, ancak daha dik olan şevin alt kısmı için ayrı analiz yapılır.

**Kritik Şev Açısı:** Belirli bir yükseklikteki şevde stabilite bozulmadan verilebilecek maksimum yüksekliktir.

**Kritik Şev Yüksekliği:** Bir şeve, çekme gerilmeleri etkisi altında bulunan kısmında çatlaklar oluşmadan verilebilecek maksimum yüksekliktir.

**Şev Yüksekliği:** Şev tabanı ile üst yüzeyi arasındaki düşey uzaklıktır.

**Doğrultu:** Mostra, eklem, fay yüzeyi gibi eğik bir düzlem üzerindeki yatay hattın kuzey ile yaptığı açıdır.

**İçsel Sürtünme Açısı ( $\phi$ ):** Kaya veya zemin içinde bir yüzeyde etkin olan dikey (normal) ve makaslama gerilmeleri arasındaki maksimum yatıklık açısı, kaymaya karşı koyan malzeme özelliği.

**Süreksizlik:** Kaya kütlesi içinde sağlam kaya bloklarını birbirinden ayıran fay, eklem, tabakalanma düzlemi, dilinim vb. jeolojik yapısal eleman, zayıflık düzlemi.

**Yatım:** Bir süreksizlik düzleminin veya şev aynasının yatayla yaptığı maksimum açı.

**Kohezyon (C) :** Aynı cins moleküllerin arasındaki çekim kuvvetine denir.

**Eklem:** Düzlemsel veya hafif kıvrımlı çatlak veya fissür olup birbirine yaklaşık paralel olarak oluşan bir dizi eklem, “eklem takımı” olarak adlandırılır.

**Şev Topuğu:** Şevin yüzeyi ile şev tabanının kesim noktasına ‘Şev Topuğu’ denilir.

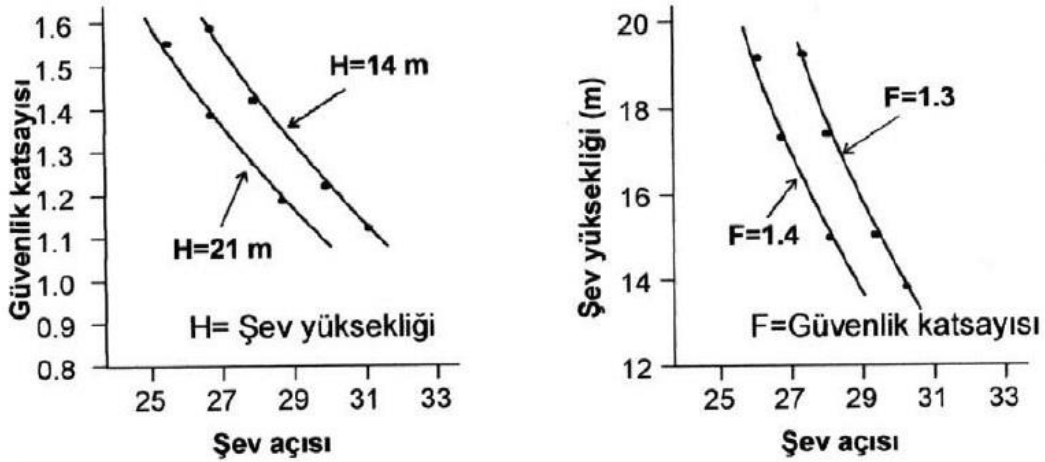
**Şev Kayması:** Kritik şev açısı veya kritik şev yüksekliği değerlerinin aşılması ile şev stabilitesi bozulur. Bunun sonucu şev altındaki ve arakasındaki toprak kütlesi aşağı ve dışa doğru yer değiştirir. Bu hareket ‘Şev Kayması’ olarak adlandırılır.

### 3.2. ŞEV STABİLİTESİ (DURAYLILIĞI) ANALİZLERİNİN AMACI

Baraj, dolgu tipi baraj, yol kazısı, yol dolgusu, pasa, atık yığını ve açık işletmelerdeki şevlerin güvenli ve ekonomik şekilde dizaynı ön analiz ve ayrıntılı analizler esas alınarak yapılır.

Şev stabilitesi analizlerinin başlıca amaçları;

- Değişik şartlarda farklı özellikteki şevlerin stabilitesinin araştırılması,
- Şev yüksekliği ve açısı gibi şev tasarımı parametrelerinin tayini amacıyla şev ve malzeme parametrelerinin birbirine bağlı değişimlerinin incelenmesi (Şekil 3.2).
- Kayma (stabilitesizlik) mekanizmasının belirlenmesi,
- Şevin yeniden dizayn edilmesi ve stabilizeyi iyileştirici yöntemlerin belirlenmesi,
- Deprem, yoğun yapılaşma, trafik vb. sebeplere bağlı olarak oluşan dış yüklerin şev stabilitesi üzerindeki etkilerinin araştırılması.



Şekil 3.2 Güvenlik katsayısının şev yüksekliği ve şev açısına bağlı değişimini gösteren stabilite analiz sonuçları (Sarıdede 2011).

**Ön analizler:** Jeolojik, hidrojeolojik, malzeme ve çevre şartlarının belirlenmesi ile ekonomik değerlendirme yapılması.

**Ayrıntılı analizler:** Şev stabilitesizliğinin özelliklerinin, yenilenme sıklığının araştırılarak, dizayn edilmesi ve iyileştirme tekniklerinin belirlenmesi.



### **3.3. ŞEV STABİLİTESİNE (DURAYLILIĞINA) ETKİ EDEN FAKTÖRLER**

Açık işletmelerde oluşturulan şevlerin davranışına ilişkin yürütülen ayrıntılı çalışmalar duraylılığı şev geometrisi, jeolojik yapısal özellikler, yer altı suyu koşulları ve malzemenin özellikleri gibi faktörlerin etkilediğini ortaya koymuştur (Özgenoğlu 1986).

#### **3.3.1. Şev Geometrisi ve Jeolojik Yapısal Özellikler**

Kaya içinde açılan şevlerde herhangi bir stabilitesizliğin kinematik olasılığı ve türü, şev geometrisi ve konumu ile jeolojik yapı tarafından tespit edilir. Bu nedenle, şev yüksekliği, şev açısı, süreksizliklerin eğimi ve eğim yönü, süreksizliklerin boyutu ve sıklığı, gerilme çatlaklarının derinliği gibi unsurlar belirlenmelidir.

#### **3.3.2. Yeraltı Suyu Koşulları**

Heyelanlara sık rastlanılan Norveç'te yapılan istatistiklere göre, kayma frekansı karların eridiği Nisan ile yağışın bol olduğu Ekim aylarında yükselmektedir. Yağan yağmur ve eriyen karın şev stabilitesi üzerindeki etkilerinden en önemlisi, kayaların ve çatlakların kayma mukavemetlerini azaltmasıdır (URL-1 2018).

Şev stabilitesine yer altı suyunun etkisi çok değişik tipte olup bunlardan en önemlisi, çatlak suyu basıncı ve boşluk suyu basıncı olarak muhtemel kayma yüzeylerindeki makaslama dayanımını azaltmasıdır. Şev stabilitesinde kritik önemi bulunmasına rağmen en az incelenen etken yer altı su basıncıdır. Bunun sebebi ise, kaya kütledeki su basıncı dağılımı ile ilgili fikir verebilecek yöntemlerden ikisinin de (kaya kütlelerinin geçirgenliği ve yer altı su seviyesinin göz önüne alınarak yer altı su akış yönlerinin saptanması ve sondaj kuyularındaki su seviyelerinin ya da piyezometrelerle su basıncının ölçülmesi) uygulama ve değerlendirme güçlükleri olmasıdır. Bu nedenle, stabilite analizleri ya gözlemlere dayanan su koşulları için ya da çoğunlukla uygulandığı üzere değişik su durumları varsayılarak "hassasiyet analizi" şeklinde yürütülür.

Hoek ve Bray 1981’de suyun stabiliteyi azaltan diğer etkilerini şöyle sıralamışlardır;

- Şev tepesindeki ya da yüzeydeki gerilim çatlaklarını doldurarak yarattığı yanıl etki ile kaymayı oluşturan kuvvetlerin artmasına neden olur.
- Patlatmanın oluşturduğu hidrodinamik şok boşluk su basıncında artışa sebep olarak makaslama dayanımını azaltır.
- Süreksizlikleri, boşlukları dolduran su (rutubet olarak) kayanın birim ağırlığını artırarak makaslama gerilmesinde azda olsa artışa sebep olur. Buna bağılı olarak stabiliteyi azaltır.
- Kışın yer altı suyunun donması çatlakların genişlemesine, drenaj yollarının kapanmasına ve su basıncının artmasına neden olabilir.
- Hem yüzey toprağının hem de çatlaklardaki dolgunun erozyona uğraması stabiliteyi azaltır.
- Örtü tabakasını oluşturan toprak ya da atık malzemelerin “sıvılaşmaya” uğramasına sebep olabilir.

### 3.3.3. Malzeme Özellikleri

Şev stabilite analizinde kullanılan malzeme özellikleri;

- Kohezyon
- İçsel sürtünme açısı
- Kaya ya da zeminin yoğunluğudur.

Bu özellikler denge sınırı yöntemine göre güvenlik katsayısının hesaplanmasında kullanıldığından özellikle kohezyon ve içsel sürtünme açısındaki küçük değişiklikler güvenli şev yüksekliği ve şev açısında önemli değişiklikler meydana getirmektedir. Şev stabilite analizinde kullanılan üç ana özelliğe ek olarak patlatmadan oluşan sismik ivmenin yarattığı kuvvetler, kaya kütesinin dayanımı, şevdeki gerilmeler ve deformasyonlar, şevin planda ve kesitte görülen büyüklüğü, iklim koşulları ve zaman da ayrıntılı şev stabilite analizlerinde dikkate alınmalıdır.

### 3.3.4. Şev Stabilite Analizleri Planlaması

Şev stabilite analizleri planlanması için gerekli işlem adımları sırasıyla aşağıda belirtilmiştir.

1. Hava fotoğrafları, arazi haritaları ve karotlardan elde edilecek jeolojik verilerin toplanması.
2. Önemli jeolojik yapıları tespit etmek için elde edilen jeolojik verilerin ön analizi. Bu oluşumların planlanan açık işletme şevleri açısından irdelenmesi ve kayma olasılıklarının belirlenmesi.
3. Önemli problemlerin olmadığı ya da kaymanın önemli olmayacağı düşünülen şevlerin belirlenmesi. Bu tip şevler için daha ileri bir şev analizine gerek yoktur.
4. Kayma yaratabilecek süreksizlikler bulunduran şevlerin belirlenmesi, işletmenin herhangi bir aşamasında, kaymaların önemli problemler yaratacağı şevlerin daha ayrıntılı incelenmesi için işaretlenmesi.
5. Arazi haritaları ve sondaj logları vasıtasıyla, kritik şev bölgelerinin ayrıntılı olarak jeolojik açıdan araştırılması.
6. Süreksizlik yüzeylerinin (Özellikle killi ya da kaygan yüzeyli) makaslama deneyleri.
7. İşletme sırasında yer altı su seviyesindeki değişiklikleri kontrol etmek ve yer altı su akış durumu ve basınçlarını saptamak için sondaj deliklerine piyezometreler yerleştirilmesi.
8. Dairesel, düzlemsel ya da kama tipi kaymalar için denge sınırı teknikleri kullanılarak 5,6, ve 7. maddelerdeki ayrıntılı bilgiler açısından kritik şev bölgelerinin analizlerinin yeniden yapılması. Havanın etkisi, devrilme ya da patlatmadan meydana gelecek hasarların sebep olabileceği diğer kayma olasılıklarının araştırılması.
9. Açık işletme tasarımı yönünden, kayma ihtimali fazla olan şevlerin incelenmesi ve alınabilecek önlemler.
  - a. Şev açılarının yatırılması,
  - b. Drenaj yada özel durumlarda kaya sapmaları yada gerdirilmiş çelik halatlarla şevin stabil hale getirilmesi,
  - c. Kayma olasılığı kabullenerek, kaymayı önceden tespit edecek ölçüm önlemlerinin alınması,
10. Şev açılarının dikleştirilmesinden meydana gelecek maliyet azalması stabiliteyi artırma yöntemlerinin dizayn ve uygulama masraflarından çok ise, şevlerin drenaj yada sağlamlaştırılma ile stabil duruma getirilmesi. Kaya kütesinin drenaj özelliklerini saptamak için ek arazi ölçümlerinin yapılması.

11. Can ve ekipmanı tehlikeye atmadan, kayma ihtimalini kabul ederek kaymayı önceden tahmin edebilecek çalışmaları yürütmek. En güvenilir önceden tahmin etme yöntemi şev yer değiştirmelerinin ölçülmesi esasına dayanır.

### 3.3.5. Şev Stabilite Analizleri

Kaya şevlerin stabilite analizleri için değişik alternatifler önerilmekte ve herkes tarafından uygun şartlarda kolaylıkla yerine getirilecek çözüm ve çizim yöntemleri belirlenmesine çalışılmaktadır. Ancak doğa da bazı durumlar diğerleri ile bağdaşmamakta, süreksizliklerin eğimi, yüksekliği, çatlak geometrisi, pürüzlülüğü, dolgu malzemesi ve su durumu her zaman değişebildiğinden, kaya şevlerin stabilitesi için, bugüne kadar kolaylıkla uygulanabilecek bir formül ya da bir bağıntı tespit edilememiştir. Bu nedenle birçok araştırmacı, birbirinden farklı analiz yöntemleri önermiştir. En çok kullanılan stabilite analiz yöntemleri ampirik, gerilme, fotoelastisite, sonlu elemanlar, limit denge, stereografik izdüşüm, fiziksel model, hareketsiz ölçekli model ve hareketli (kinematik) model olarak adlandırılabilir.

### 3.3.6. Basamak Genişliği

Basamak stabilitesi genellikle çok düşük şev eğimlerini gösterir, bu durum çoğunlukla karlı olmayan madencilik için uygulanmasına yol açmaktadır. Bu nedenle madencilikte genel şev stabilitesinden emin olmak gerekmektedir (Alejano et al. 2007).

Basamak dizaynı her bir zonun jeolojisine, jeomekanik ve geometrik özelliklerine bağlı olarak tasarlanmaktadır.

Basamak genişliği ile ilgili çalışmalar literatürde yaygın olmasına karşın her ocağın kendine özgü stabilite koşulları olabilmektedir. Bununla birlikte Ritchie (1963) madencilikte basamak yüksekliğinden basamak genişliğini önermiştir (Eşitlik 3.1).

$$\text{Minimum basamak genişliği (m)} = 4.5 + 0.2H_b \quad (3.1)$$

Yukarıdaki eşitlik bazı tartışmalara neden olduğundan, Ryan ve Prior (2001) eşitlik (3.2)'yi önermişlerdir. Eşitliklerde  $H_b$  basamak yüksekliğini ifade etmektedir.

$$\text{Minimum basamak genişliği (m)} = 3.5 + 0.17Hb \quad (3.2)$$

### 3.3.7. Şevlerde Kayma Hareketlerinin Tespiti ve Stabilite Metotları

Ekonomi ve emniyet bakımından incelendiğinde, şevlerde oluşabilecek herhangi bir yer kayma hareketinin tespiti için uygun bir başlangıç noktası olmalıdır. Alınacak önlemler tespit edilen değerlerin hassasiyet derecesine bağlıdır.

Şevlerde meydana gelebilecek kayma hareketlerini ölçmeye yarayan çok hassas cihaz ve ürünler geliştirilmiş veya imal edilmiştir.

Bunlardan bazılarını aşağıdaki gibi sınıflandırmak mümkündür (URL-1'den değiştirilerek).

- a) Uzun mesafeleri yüksek hassasiyetle ölçmeye yarayan Total Station, Multi Total Station (ölçme ve tarama birlikte), GNSS, Yersel ve Hava Lidarları gibi ölçüm cihazları,
- b) Kamera Entegreli Uçak ve İnsansız Hava Araçları, InSAR, Uydu Görüntüleri gibi uzaktan algılama ve fotogrametri bileşenleri,
- c) Yarıkların eşit zaman aralıklarında, verniyer çelik şerit veya "extensiyometre" ile ölçülmesi
- d) Kayma anında kayalardan çıkan seslerin frekansının akustik metot ve cihazlarla ölçülmesi ve böylece kayma hızının tayini (Stateham)

Kayma hareketlerinin varlığının belirlenmesinden sonra alınacak önlemler arasında, iyi bir drenaj sistemi düzenlemek kaymayı durdurmasa da heyelanı geciktirecektir. Açık işletmelerde örtü tabakasını gevşetmek amacıyla atılan lâğımın meydana getirdiği zemin sarsıntısı ve arka kırılmanın asgariye indirilmesi, şevlerin kayması için gerekli ilk hareketi önlemesi bakımından tavsiye edilmektedir.

Şev üst kısmının kazı yapılarak yükünün hafifletilmesi, şev alt kısmında topuk bırakılması veya yer altı maden işletmeciliğinde kullanılan tavan civatalarının şev aynasına dik olarak yerleştirilmesi de heyelanı durdurma çareleri olarak düşünülebilir (URL-1 2018).

Stabilite metotlarından bazılarının heyelanın önleminde etkili olamayacağı düşünüldüğünde, stabilitesi bozulmuş bir şevin kısmen ya da tamamen kaymasının beklenilmesinden başka bir

are olmayabilir. Ancak, kaymanın ne zaman olabileceğinin daha önceden belirlenmesi hem emniyet, hem de ekonomik açıdan büyük bir avantaj sağlayabilir. Kennedy ve Niermeyer Őili'deki Chuquicamata bakır madeninde böyle bir çalışma yapmışlar ve 12 milyon tonluk bir kütlenin kesin kayma tarihini beş hafta öncesinden tahmin edebilmişlerdir. Heyelan neticesi maden makineleri hiçbir hasara uğramadığı gibi, çalışmalar sadece üç günlük bir ara ile tekrar normale dönmüştür.



## BÖLÜM 4

### YER BAZLI YAPAY AÇIKLI RADAR (YB-InSAR) İNTERFEROMETRİ TEKNOLOJİSİ

Yer Bazlı Yapay Açıklıklı Radar İnterferometresi (YB-InSAR) deformasyon takibi için gittikçe popülerleşen bir yersel ölçme tekniğidir. Çok hızlı kurulabilir ve yer değiştirme haritaları formunda yüksek doğruluğa sahip sonuçlar verir.

Son yıllarda deformasyon gözlemlene aracı olarak YB-InSAR gittikçe büyüyen bir ilgi görmeye başlamıştır. Bu sistem mikrodalga ışını gönderip alan bir radar sensöründen oluşur ve bu sensör bir ray üzerinde gezerek bu işlemi tekrarlar. YB-InSAR sistemi temelde Kademeli Frekans Sürekli Dalga (SFCW) tekniği, SAR, İnterferometri ve Sürekli Serpinti Algoritması ya da diğer adıyla Sabit Dağılım (PS) olmak üzere dört tekniği içermektedir. Genel anlamda SFCW menzil çözünürlüğünü artırmak için, interferometri teknolojisi ise görüş çizgisindeki hedefin yer değiştirmesini yüksek doğrulukta hesaplamak için kullanılmaktadır. Görüntüleme özelliği ise SAR tekniğinin kullanılması ile elde edilir. Sürekli Serpinti Algoritması ( ya da PS) sayesinde de yüksek kaliteli pikseller içerisinde tüm görüntü seçilerek atmosferik şartlardan oluşan hatalar düzeltilir. Rayın uzunluğu elde edilen görüntünün çapraz menzil çözünürlüğünü belirler ve ray uzadıkça çapraz menzil çözünürlüğü de artar. YB-InSAR uzay bazlı InSAR ile aynı prensiple çalışır. Ancak daha kısa zaman aralıklarında (en kısa 3 dakikaya kadar) görüntü alınabilir. Bu şekilde uydu görüntülemenin bazı kısıtlamaları aşılmış olur. Uzay bazlı sisteme kıyasla YB-InSAR daha hızlı görüntü alma oranına sahiptir ve sınırlı bir alanda (en fazla 8 km<sup>2</sup>) yer değiştirme ölçümlerini optimum bakış geometrisi ve çok yüksek mekansal çözünürlükle sağlayabilir. Yer değiştirme haritaları radar cihazından 4 km'ye kadar olan bir menzilde hesaplanabilir ve alanın neredeyse her noktasını kapsayarak mm derecesinde doğruluğa sahip sonuçlar elde edilir ( Wen-Jun Mao, Wen-long Chang, 2015'den değiştirilerek).

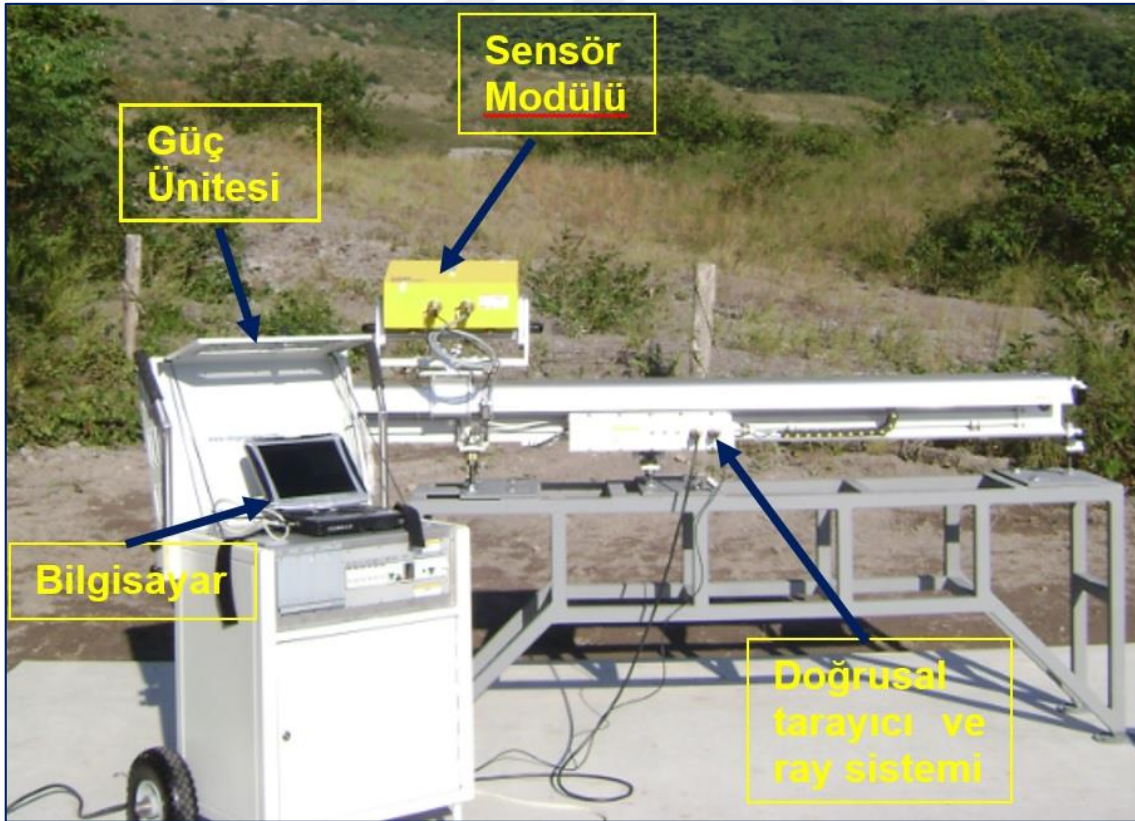
YB-InSAR heyelan, baraj deformasyonları, köprü, altyapılar, açık madenler, buzul hareketleri, volkan hareketleri gibi birçok olgunun takibi için kullanılmaktadır. Bu tekniğin ilk kullanımı

90'ların ortasında baraj deformasyonlarının takibi için ortaya çıkmıştır. O zamandan beri sürekli geliştirilip farklı senaryolarda test edilerek yaygınlaşmıştır.

#### 4.1. ÇALIŞMADA KULLANILAN YB-InSAR EKİPMANLARININ BİLEŞENLERİ

Kısaca bir YB-InSAR sisteminin ana özelliklerinden bahsederek başlayalım. Bunun için bu çalışmada kullanılan spesifik bir YB-InSAR ekipmanı olan IBIS-M'den bahsediyor olacağız. Bu sistem 2009 yılı sonunda, Cortez, Nevada'daki Barrick firmasına ait maden çukurunda oluşan 80,000 tonluk kaymadan sonra, 2010 yılı Ocak ayında IBIS-M ünitesi olarak geliştirilmiştir. IBIS-M sistemi erken uyarı ve jeoteknik değerlendirme amaçları için kullanılmaktadır (IBIS-M Training Material).

IBIS-M, 4 (dört) ana bileşenden oluşur. Bu bileşenler sinyali gönderen ve alan birer antene sahip radar başlığı (sensör modülü), görüntü alırken radar başlığının üzerinde hareket ettiği ray, sistemi kontrol etmek ve elde edilen görüntüyü depolamak için kullanılan bir taşınabilir bilgisayar ve güç ünitesi olmak üzere Şekil 4.1'de gösterilmiştir.



Şekil 4.1 YB-InSAR Ekipmanları (IBIS-M Training Material).

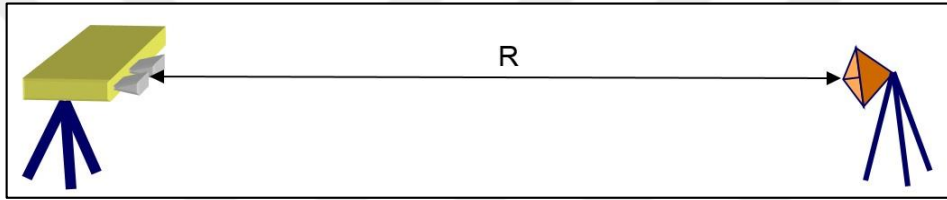


## 4.2. YB-InSAR'ın ÇALIŞMA PRENSİPLERİ

Temel Radar teknolojisine ilaveten YB-InSAR ekipmanı olan IBIS-M sistemi 4 (dört) teknik kullanır. Bunlar Adım Frekanslı Sürekli Dalga (SFCW), Yapay Açıklı Radar (SAR), İnterometri Tekniği ve Sürekli Serpinti Algoritmasıdır (Sabit Dağılım, PS).

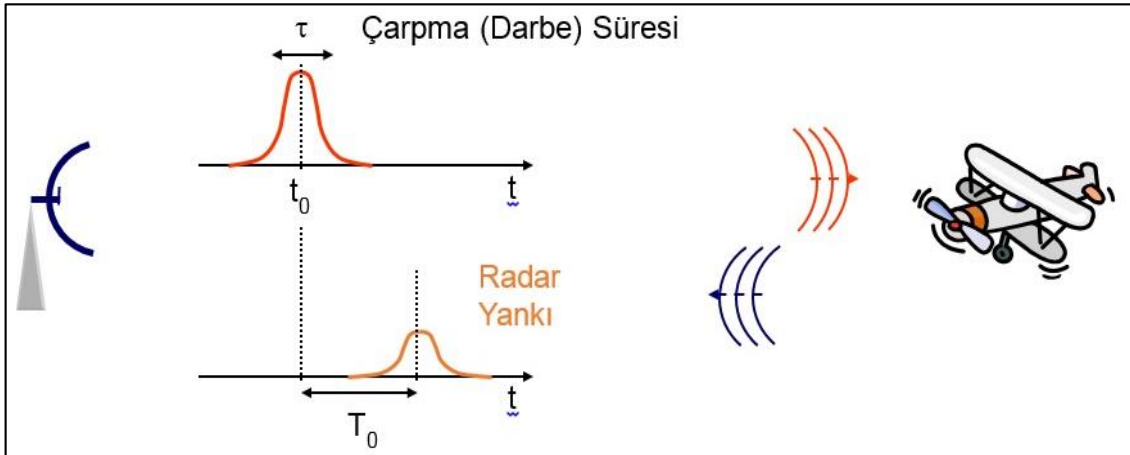
### 4.2.1. Radar Tekniği

Radar, radyo algılama ve değişeni olarak adlandırılan, nesnenin varlığını tespit edebilen ve aparat ile nesne arasındaki mesafeyi ölçebilen bir cihazdır (Şekil 4.2).



Şekil 4.2 Radar cihazı (IBIS-M Training Material).

Radar algılayıcıların çalışma prensibini basit bir şekilde açıklayan gösterim Şekil 4.3'te verilmiştir.



Şekil 4.3 Radar cihazı çalışma prensibi (IBIS-M Training Material).

Aralık belirleme için zaman alanı eşdeğeri eşitlik (4.1)'deki gibidir.

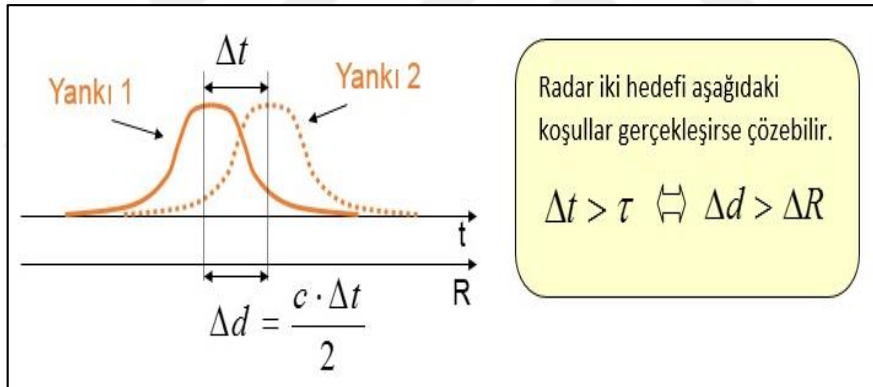
Yankı gecikmesi

$$T_0 \quad \longrightarrow \quad R_0 = \frac{c \cdot T_0}{2} \quad (4.1)$$

Menzil Çözünürlüğü Kavramı eşitlik (4.2)'deki formülle ifade edilir.

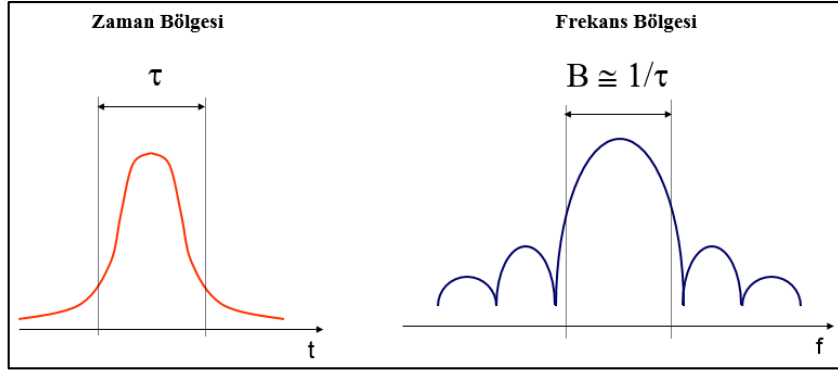
$$\Delta R = \frac{c \cdot \tau}{2} \quad (4.2)$$

Radarı hedefi çözebilmesi için Şekil 4.4.'de gösterilen iki koşuldan en az birinin gerçekleşmesi gerekmektedir.



Şekil 4.4 Radar hedefi çözebilmesi koşulları (IBIS-M Training Material).

Zaman ve frekans bölgesi Şekil 4.5'te gösterilmiştir.



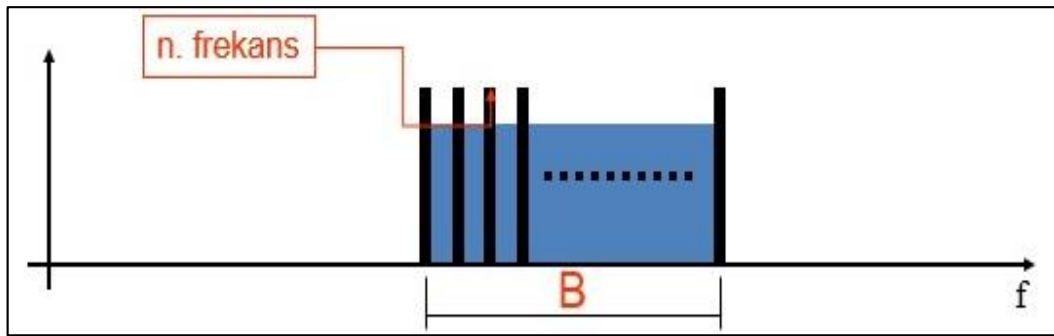
Şekil 4.5 Zaman ve frekans bölgesi (IBIS-M Training Material).

Şekil 4.5 Aralık çözünürlüğü, darbe süresi veya darbe bant genişliği olarak ifade edilebilir ve eşitlik (4.3)'deki gibi gösterilir.

$$\Delta R = \frac{c\tau}{2} = \frac{c}{2B} \quad (4.3)$$

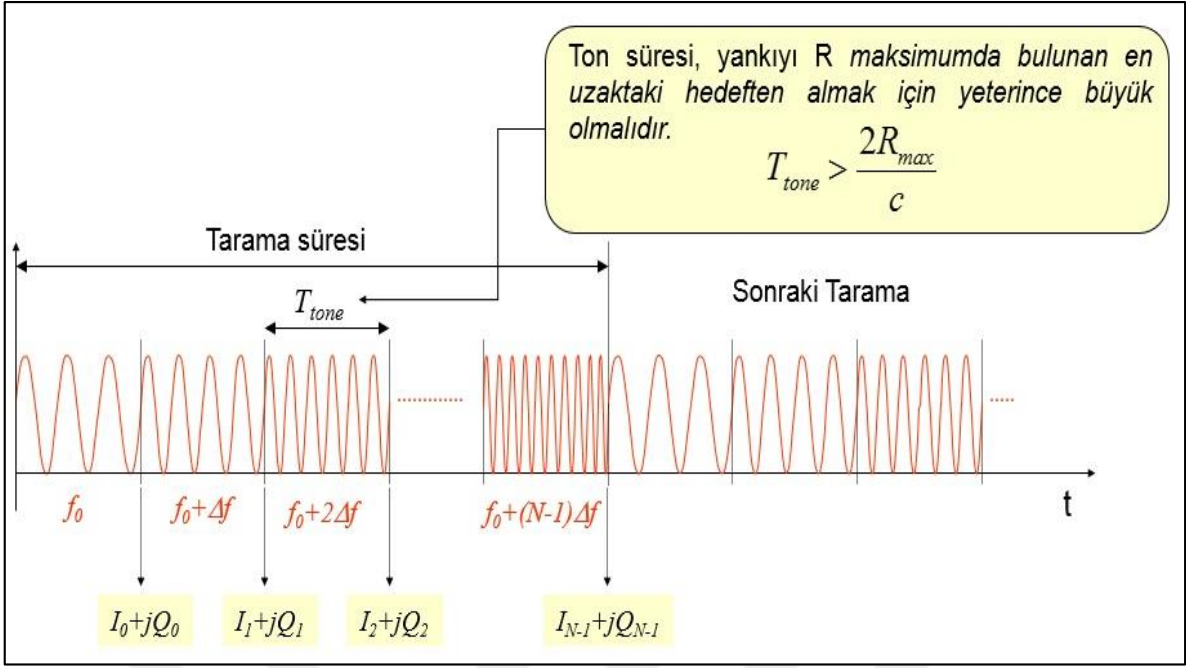
#### 4.2.2. Kademeli Frekans Sürekli Dalga (SFWC) Tekniği

Kademeli Frekans Sürekli Dalga tekniği, radarın görüş açısındaki farklı nesnelere yerlerini uzaklık çözünürlüğü olarak tespit eder. Sistem, farklı frekanslarda (Kademeli Frekans) T tonu süresine sahip (Sürekli Dalga) N elektromanyetik dalgalarından oluşan bir dizi tarama iletir ve Şekil 4.6'daki gibi gösterilir.



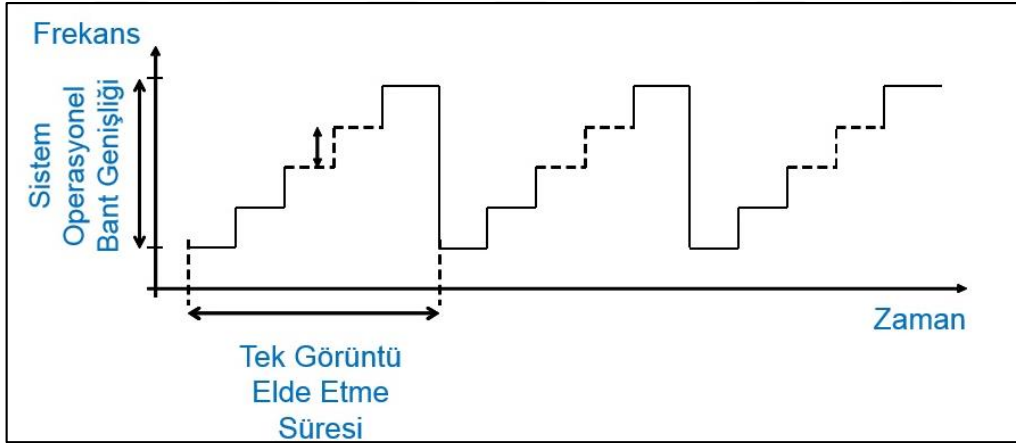
Şekil 4.6. Kademeli frekans ile tarama iletimi (IBIS-M Training Material).

SFCW tekniği IBIS'e  $\tau = 1/B$  süreli ve  $\Delta R = (c \cdot \tau)/2$  menzil çözünürlüğüne sahip bir yapay sinyal ile aynı performansı elde etme olanağı sunar. IBIS-M için çözünürlük aralığı 0,5 m'dir. SFCW sinyalinin zaman gösterimi Şekil 4.7'deki gibidir.



Şekil 4.7.SFCW sinyali (Training Course IBIS-M).

IBIS'deki bir taramanın sonunda, gözlemlenen senaryonun bir frekans örneklemesine karşılık gelen bir karmaşık sayı vektörü elde edilir (Şekil 4.8).

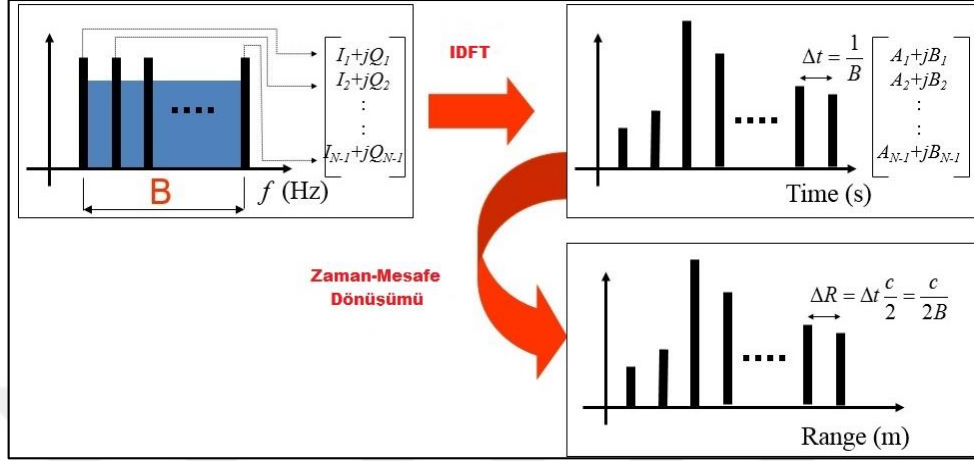


Şekil 4.8 Frekans örnekleme (IBIS-M Training Material).

IBIS Bant Genişliği:

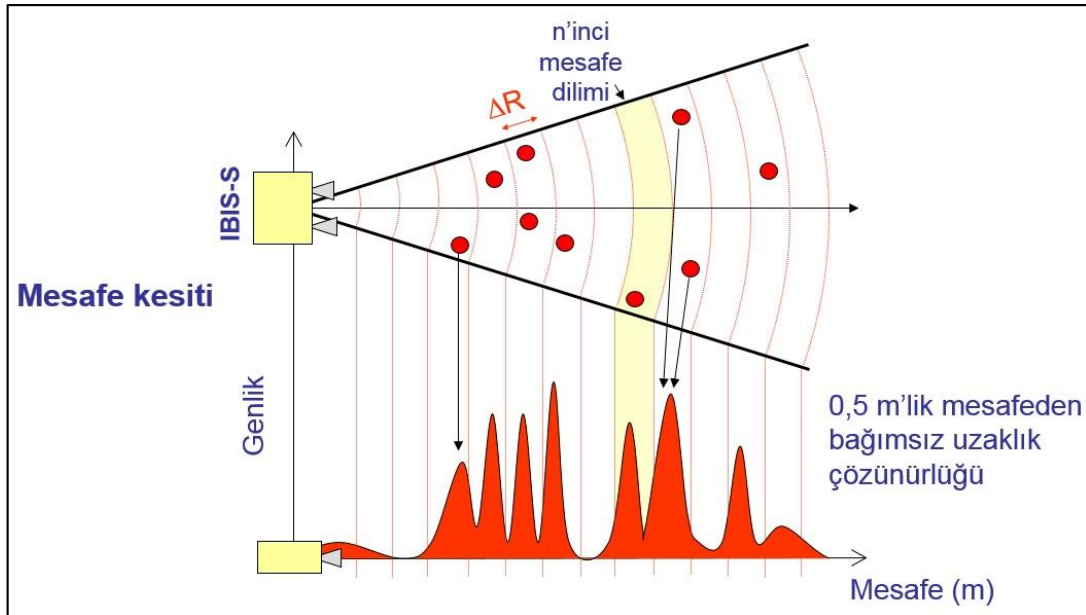
- 300 MHz (17.05 – 17.35 GHz) → En iyi mesafe çözünürlüğü 0.5 m
- 200 MHz (17.1 – 17.3 GHz) → En iyi mesafe çözünürlüğü 0.75 m (FCC-U.S.A.)
- 140 MHz (17.105 – 17.245 GHz) → En iyi mesafe çözünürlüğü 1.1m (Japonya)
- 100 MHz (17.2 – 17.3 GHz) → En iyi mesafe çözünürlüğü 1.5 m (IC-Kanada)

Sinyalin atım sentezlemesini sağlayan veri detaylandırması, sistem tarafından elde edilen elektriksel alan numunelerinin bir Ters Ayırık Fourier Dönüşümü (IDFT) Şekil 4.9'da gösterilmiştir.



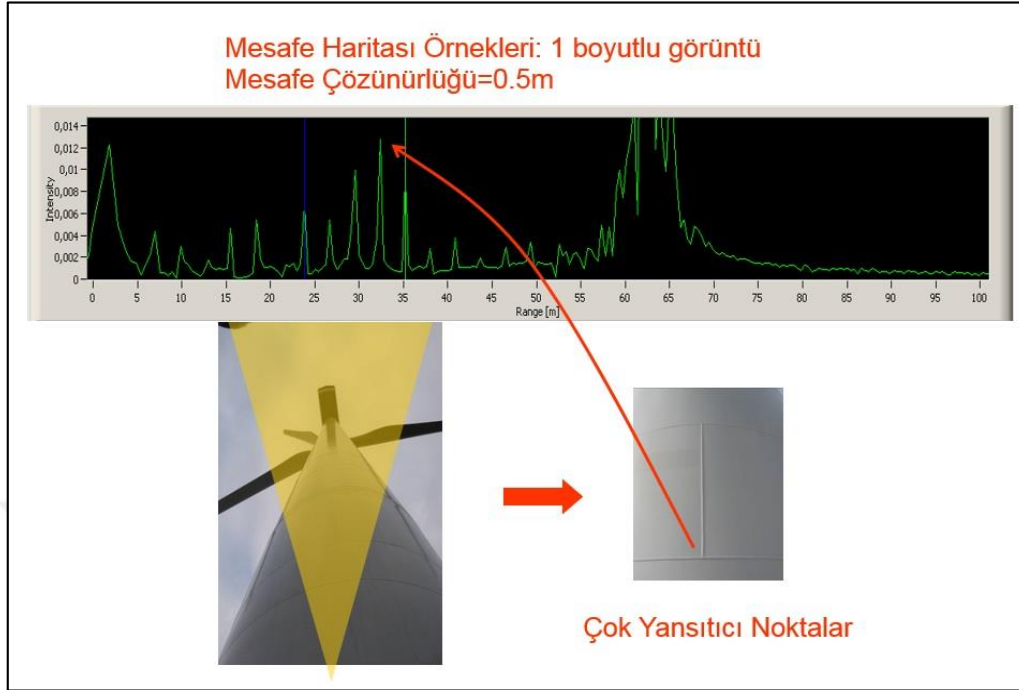
Şekil 4.9 Ters Ayırık Fourier Dönüşümü (IBIS-M Training Material).

Bu tekniği kullanarak IBIS-M, ışıklandırılmış senaryodaki hedeflerin mesafeden bağımsız bir aralık çözünürlüğü ile çözüldüğü Menzül Profili adlı tek boyutlu bir görüntü oluşturur (Şekil 4.10).



Şekil 4.10 Menzül Profili (IBIS-M Training Material).

Gerçek bir görüntüye ait mesafe haritası ve çözünürlüğü Şekil 4.11’de gösterilmiştir.



Şekil 4.11 Gerçek bir görüntünün mesafe haritası ve çözünürlüğü (IBIS-M Training Material).

#### 4.2.3. Yapay Açıklıklı Radar (SAR) Tekniği

Gerçek açıklıklı radar (RAR) sisteminde yüksek çözünürlük elde edilebilmesi için çok uzun antenler ile çalışılması gerekmektedir. Ancak uydu ve uçak platformlarında çok uzun antenler ile çalışmak mümkün değildir. Uçaklarda anten boyu 3-4 metre ile sınırlıdır. Uydularda ise bu sınırlama 15 metredir. Bu sorunun çözümüne yönelik olarak çok uzun anten boylarının yapaylaştırılması düşüncesi ortaya atılmıştır. Bu düşünceden yola çıkarak anten uzunluğunu matematiksel bağıntılar yardımıyla yapaylaştırarak, Yapay Açıklıklı Radar (SAR) sistemi geliştirilmiştir (Görken 2017).

SAR sistemi, çok kısa antenler kullanıp bu antenlerden matematikten de faydalanılarak çok uzun boylu anten etkisi elde eden, gelişmiş bir dijital sinyal işleme tekniğidir (Sefercik 2015). Aktif algılama sistemi olan SAR kendi enerjisini üreterek, geniş dalga boylarıyla gece-gündüz ve her türlü hava şartlarında sürekli olarak veri üretir.

IBIS-M’de SAR tekniği antenin doğrusal bir ray üzerindeki hareketi (Şekil 4.12) sayesinde (lineer tarayıcı) yüksek bir çapraz menzil çözünürlüğü sağlamaktadır. SAR tekniği, senaryonun çapraz-menziel doğrultusu boyunca çözümlenmesini sağlar.

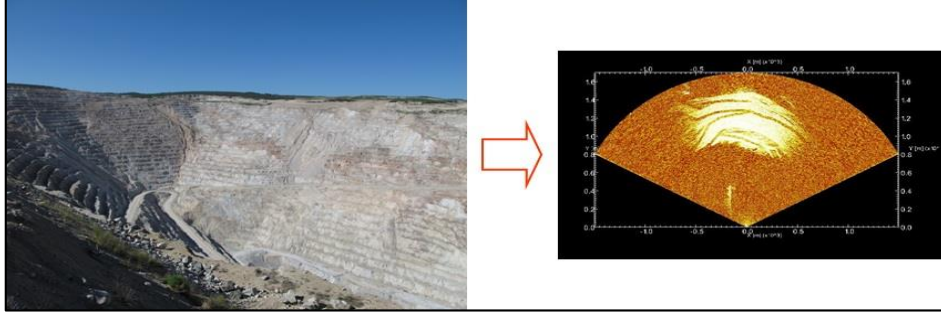


Şekil 4.12 IBIS-M’in ray hareketi (IBIS-M Training Material).

IBIS-M sistemi 2 metrelik ray kullanarak 4.3 mrad (=0.24deg) açısal çözünürlük elde etmektedir. 2 metrelik rayda hareket eden sensörden gelen veriler SAR tarafından işlenmekte ve IBIS-M azimut dalga genişliği eşitlik (4.4)’de formüle edilen iki metre genişlikteki anten sentezlemesini yapmaktadır.

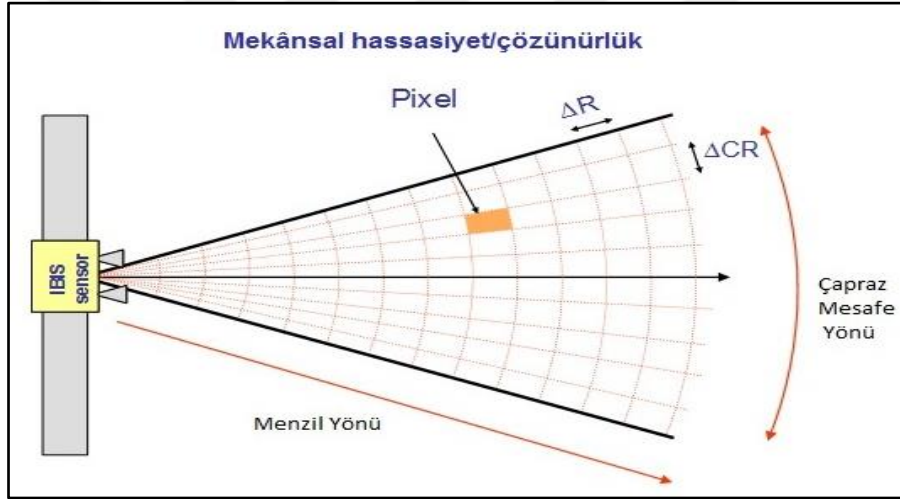
$$\Delta\varphi = \frac{\lambda}{2.L} = 4.3 \text{ mrad} \quad (4.4)$$

SAR ve SFCW teknikleri sayesinde izlenen saha iki boyutlu piksellere dönüştürülmektedir (Şekil 4.13). Piksel ölçüleri menziel yönünde uzaklığa bağlı kalmaksızın 0.5 m ve çapraz mesafede ise uzaklığa bağlı olarak 300 m’de 1.3 m ve 1000 m’de ise 4.3 m olmak üzere değişebilmektedir.



**Şekil 4.13** Arazinin piksellerle gösterimi (IBIS-M Training Material).

IBIS-M sistemi  $80^\circ$  yatay açıklık ve  $60^\circ$  düşey açıklık ile 2 km mesafede  $8 \text{ km}^2$  kapsama sahasına, menzil yönündeki mesafe de 0.5 m, çapraz-mesafe de ise 1 km'de 4.3m mekânsal çözünürlüğe ve 2 km mesafede tam hassasiyetli görüntü için 5 dakika tarama süresine sahiptir (Şekil 4.14).

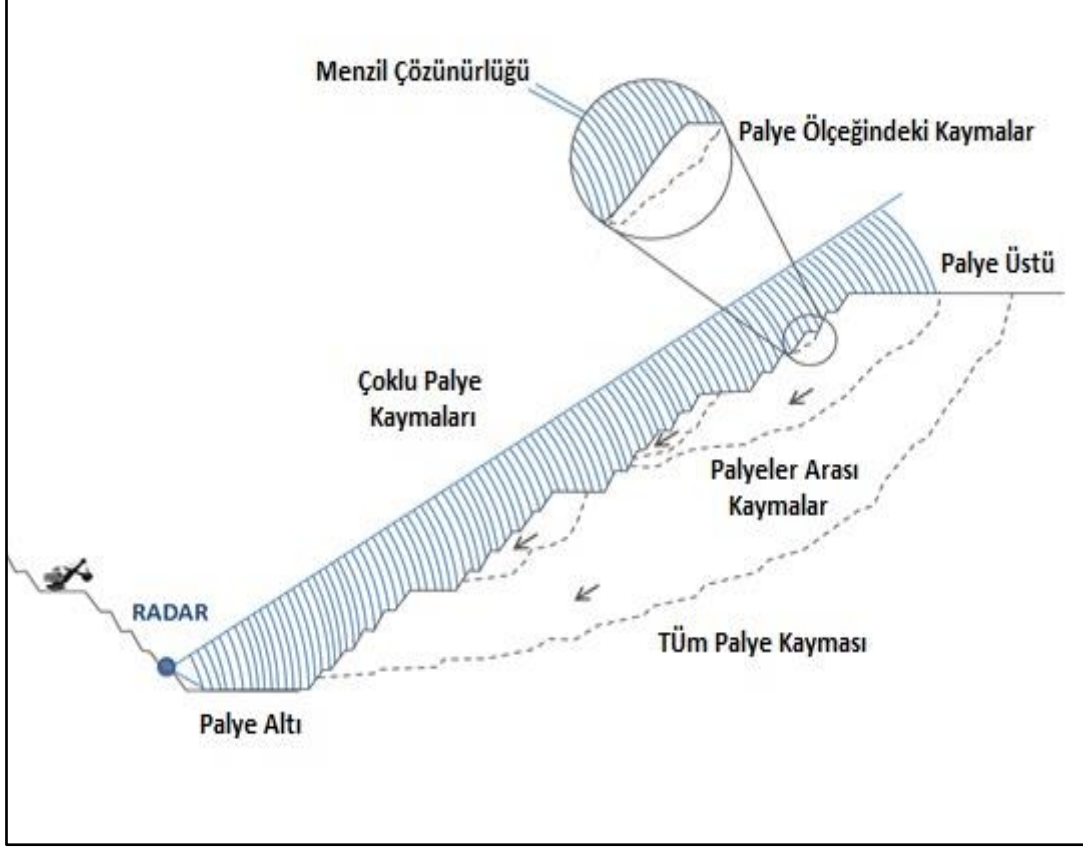


**Şekil 4.14** Mekansal hassasiyet/çözünürlük (IBIS-M Training Material).

Menzil yönündeki çözünürlük mesafeden bağımsız 0.5 m'dir. Çapraz mesafe yönündeki çözünürlük ise mesafeye bağlı olarak değişir. Çapraz mesafe yönündeki radar pikselinin yaklaşık boyutu 500 metrede yaklaşık 2.1m, 1 km' de 4.3m ve 4 km'de 17.2 m olup uzaklık artıkça artar. IBIS-M ile yaklaşık 4 km'lik bir şev yüzeyinin taranması yapılırsa oluşacak piksel boyutları menzil yönünde 0.5 m çapraz mesafe yönünde ise 17.2 m olacaktır. Çapraz mesafe çözünürlüğünü tarama açısına (yatay açıklık) bağlı doğru orantılı olarak değişir. Yatay açıklığın azalması çözünürlüğü artırır fakat tarama genişliğinin azalmasına sebep olur.

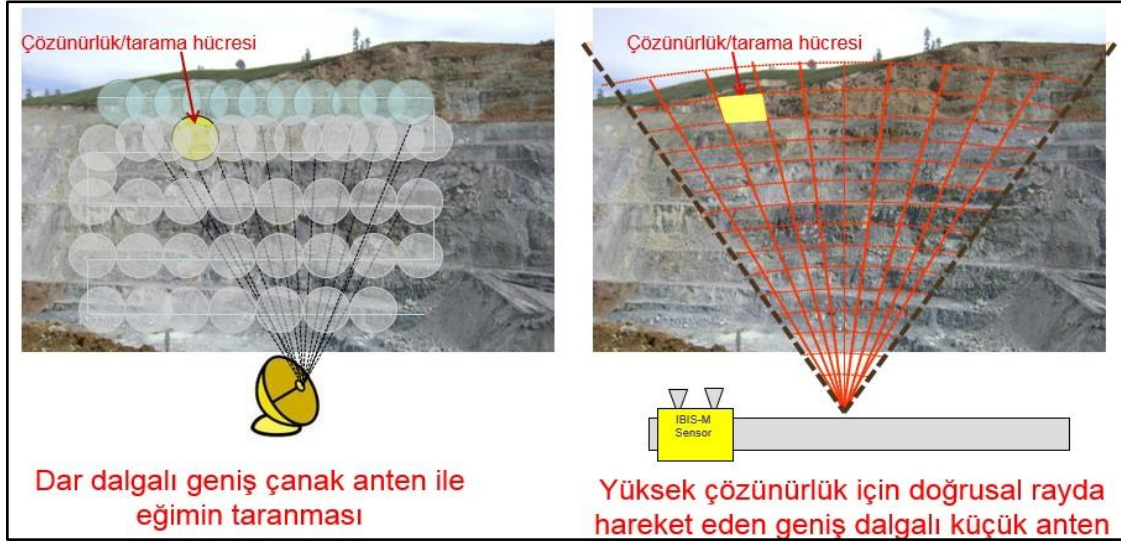


Yüksek çözünürlük sayesinde küçük kaymaların tespiti için her bir kat üzerindeki birçok piksel/tarama hücresi aynı anda tanımlanabilmektedir. Palye ölçeğindeki kaymalardan, büyük şev kaymalarına kadar oluşabilecek bütün hareketlerin tespitinde kullanılmaktadır (Şekil 4.15).



Şekil 4.15 Palye ölçeğindeki kaymalar (IBIS-M Training Material).

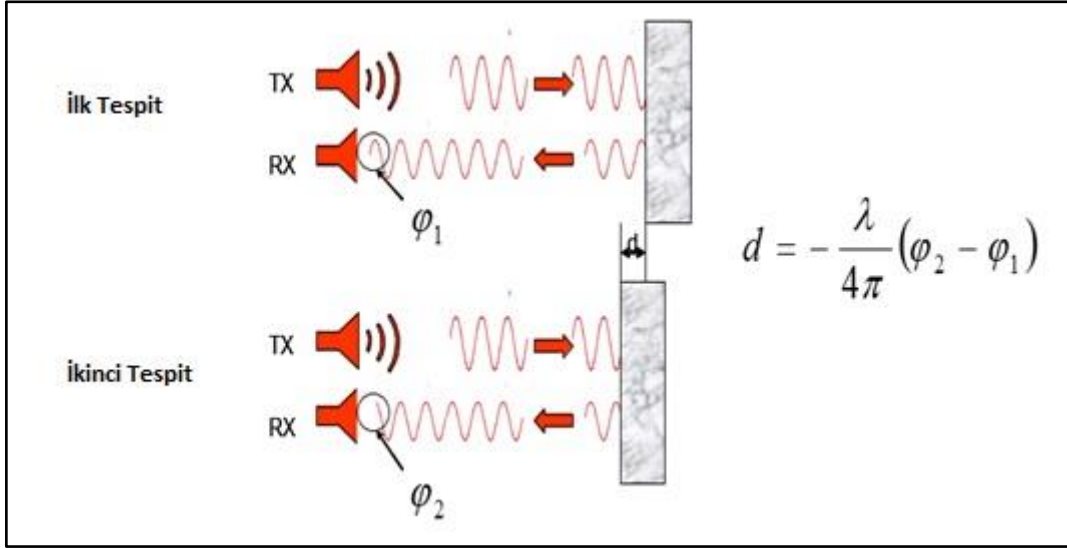
Dar dalgalı çanak anten ile eğim taramasında her bir tarama hücresi (piksel) için, erişimden dolayı tek bir taramada yalnızca bir adet ve çok kısa bir süreli (milisaniye) örnekleme yapılabilirken, IBIS-M ile her bir tarama hücresi (piksel) için tek bir taramada 400 adet örnekleme yapılabilmesi mümkündür (Şekil 4.16).



**Şekil 4.16** RAR ve SAR ile çalışan sistemlerin tarama karşılaştırması (IBIS-M Training Material).

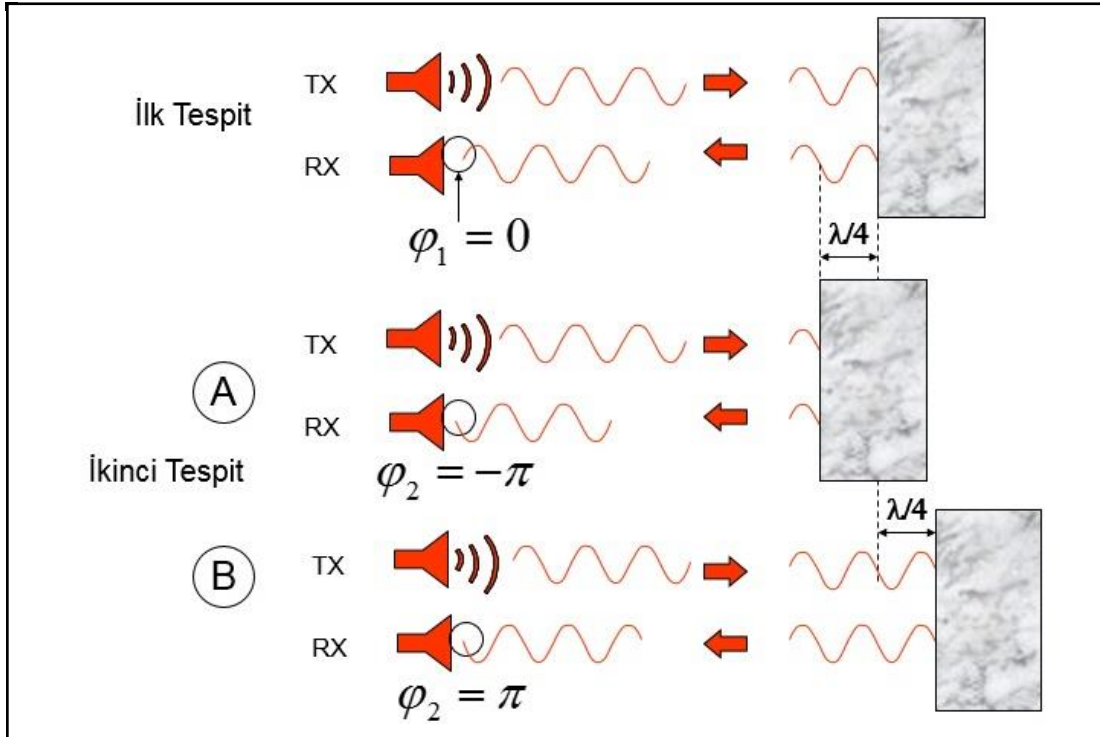
#### 4.2.4. İnterferometri Tekniği

İnterferometri tekniği, SFCW + SAR yoluyla çözülen nesnelerin yer değiştirmesinin ölçülmesini sağlar. Bu sayede IBIS-M sistemi ile 0.1 mm'ye kadar doğruluğa ulaşılabilir. Her pikselin her örneğinde genlik (dalga yüksekliği)  $I(n)$  ve faz  $\phi(n)$  bilgisi vardır. Diferansiyel interferometrik analiz, nesneden yansıyan dalgaların farklı zaman aralıklarında toplanan faz bilgisini karşılaştırarak nesnenin yer değiştirmesi hakkında veri sağlar. IBIS-M, SFCW ve SAR teknikleri ile çözülen her dizi piksel için yer değiştirmeyi değerlendirebilir. İnterferometri tekniği Şekil 4.17'de gösterilmiştir.



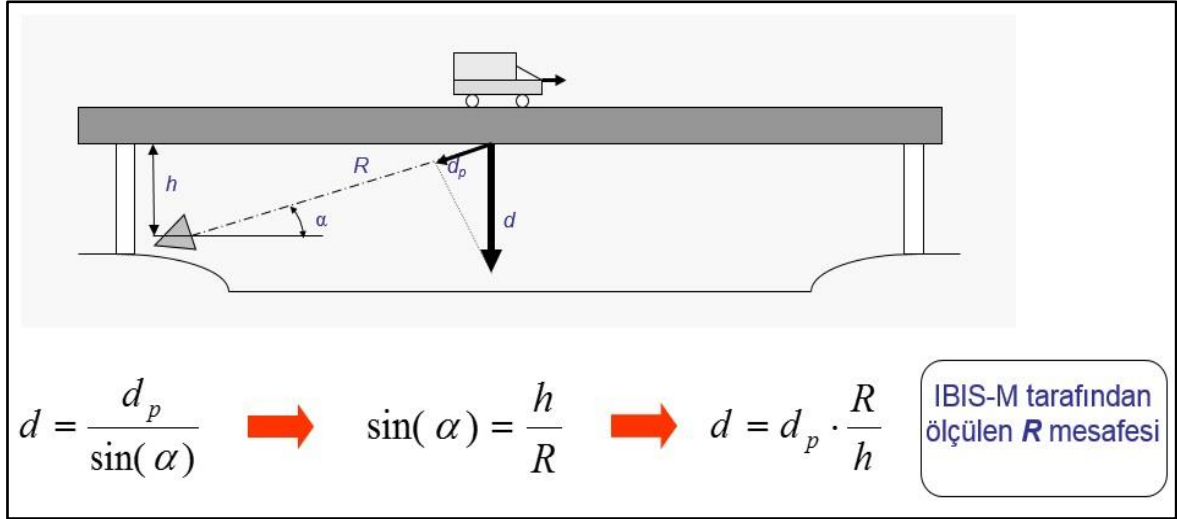
Şekil 4.17 İnterferometri tekniği (IBIS-M Training Material).

Faz belirsizliği, iki ardışık ölçüm arasındaki ölçülebilir maksimum yer değiştirmeyi  $\pm \lambda / 4 = 4,3 \text{ mm}$  ile sınırlandırmaktadır (Şekil 4.18).



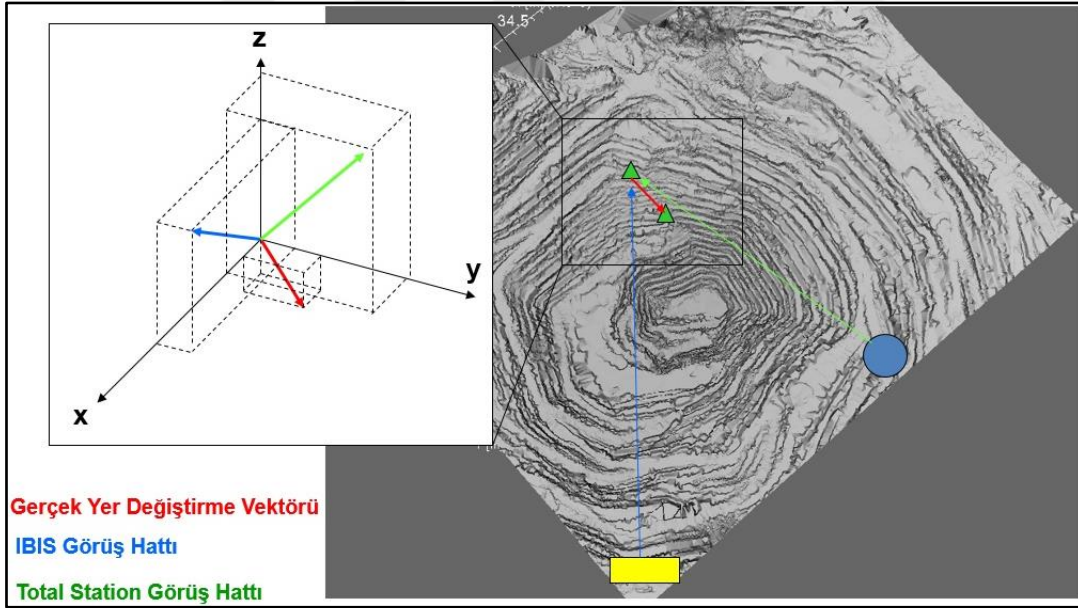
Şekil 4.18 Faz belirsizliği sınırlaması (IBIS-M Training Material).

Yer değiştirme, sistemin karşıdan bakış yönüne göre ölçülür. Yer değiştirme geometrisi için gerçek yer değiştirmenin bilinmesi gereklidir (Şekil 4.19).



Şekil 4.19 Yer Değişirme Geometrisi (IBIS-M Training Material).

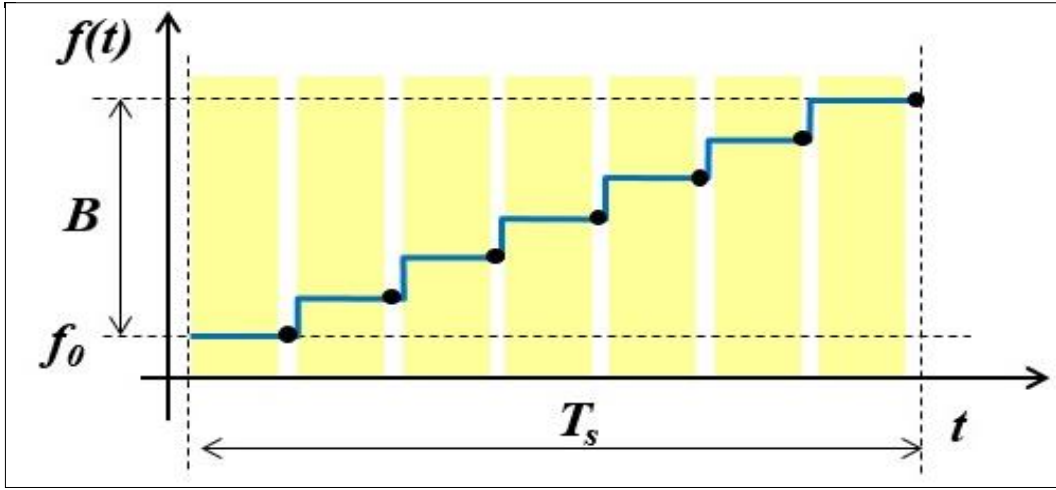
Her interferometrik radar sistemi, görüş hattında ölçüm yapmaktadır. IBIS-M cihazı hareketi kendine yaklaşan ve uzaklaşan olarak tespit edebilir. Görüş hatları ve gerçek yer değişirme vektörü Şekil 4.20’de gösterilmiştir.



Şekil 4.20 Yer değişirme vektörleri ve görüş hatları (IBIS-M Training Material).

### Kademeli Frekans Sürekli Dalga

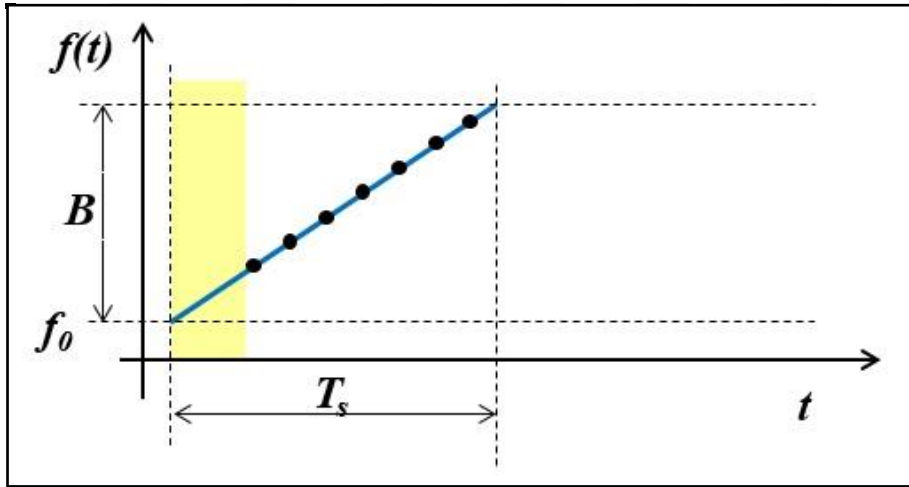
Her frekans tonuna ilişkin örnek, entegrasyon süresi ve uçuş süresinin toplamına eşit olan bir bekleme süresi sonrasında elde edilir (Şekil 4.21).



Şekil 4.21 Kademeli Frekans Sürekli Dalga (IBIS-M Training Material).

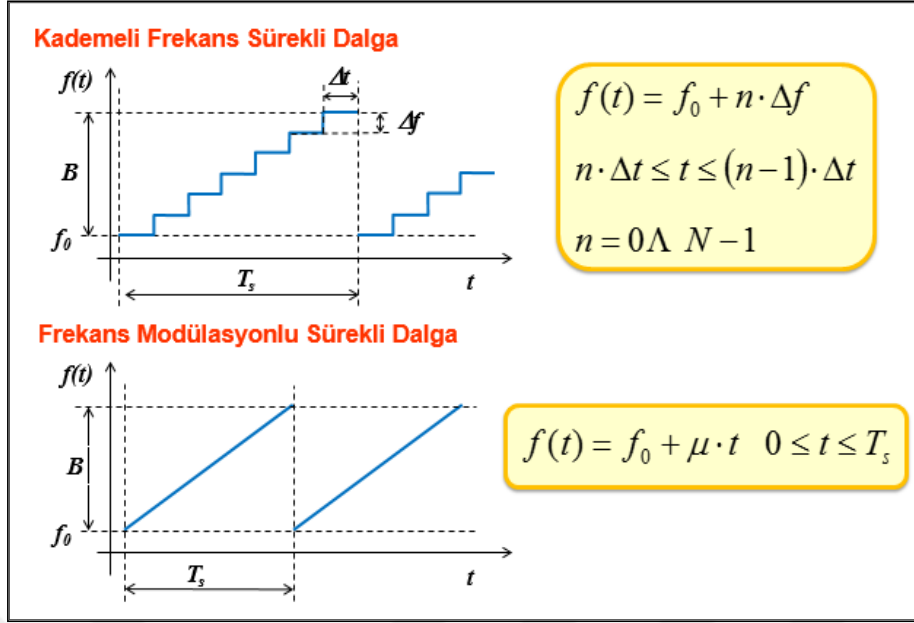
### Frekans Modülasyonlu Sürekli Dalga

Bekleme süresi tarama başında sadece bir kez uygulanır. Böyle bir durum daha kısa bir tarama aralığı ( $T_s$ ) sağlar (Şekil 4.22).



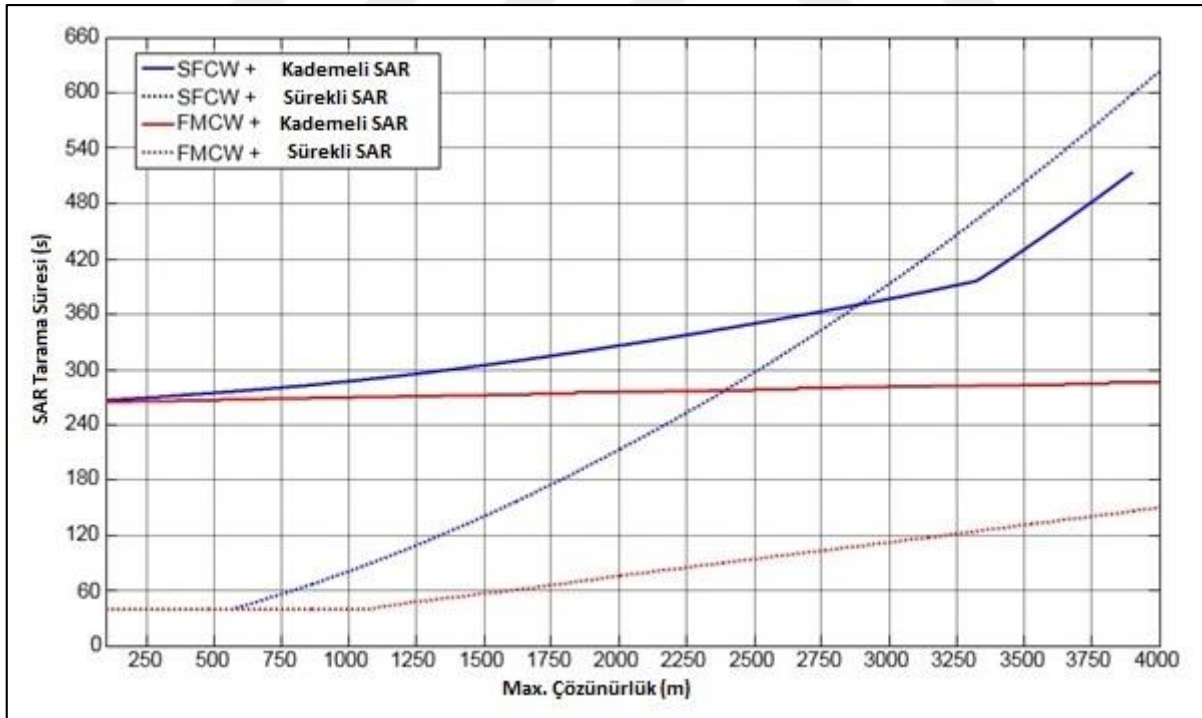
Şekil 4.22 Frekans Modülasyonlu Sürekli Dalga (IBIS-M Training Material).

IBIS-M cihazı taramayı SFCW ya da FMCW tekniğine göre gerçekleştirir. SFCW tekniğinde kademeli olarak duruş yapılarak tarama gerçekleştirilir. FMCW tekniğinde ise taramada devamlılık esastır. Yeni IBIS-M sistemlerinde FMCW tekniği kullanılmaktadır.



Şekil 4.23 SFCW ve FMCW tekniklerine göre tarama koşulları (IBIS-M Training Material).

SFCW ve FMCW tekniklerine göre yapılan taramanın edinme süresi karşılaştırma grafiği şekil 4.24'te gösterilmiştir.



Şekil 4.24 Edinme süresi karşılaştırması (IBIS-M Training Material).

Bu karşılaştırmadan da görüleceği üzere, frekans modülasyonlu sürekli dalga sisteminin sinyal geri dönüş süresinin diğer sistemlere göre daha kısa gerçekleştiği anlaşılacaktır.

#### 4.2.5. Sürekli Serpinti Algoritması (Sabit Dağılım (PS)) Tekniği

Kademeli Frekans Sürekli Dalga tek boyutlu bir görüntü sağlar. Sentetik Açıklıklı Radar (SAR) tekniği, senaryonun 2 boyutlu bir görüntüsünü sağlar. İnterferometrik teknik, iki ardışık (zaman içinde) 2 boyutlu görüntülerde aynı pikselden gelen faz ( $\varphi$ ) bilgisini karşılaştırarak, yer değiştirmeyi sağlar.

Bu faz farklarından yer değiştirme hesaplamak için kullanılan denklem eşitlik (4.5)'deki gibidir.

$$d = - \frac{\lambda * (\varphi_2 - \varphi_1)}{4\pi} \quad (4.5)$$

Ancak bu, elektromanyetik dalganın iletildiği ortamın özelliklerinin zamanla değişmediği varsayımı ile doğrudur. IBIS-M ile birkaç on dakikadan daha uzun bir süre boyunca ölçüm yapıldığında, zamanla ortamın özellikleri değişecektir (sıcaklık, nem, gece, gündüz, gün doğumu, gün batımı, yağışlar, gölge, güneş ışığı, rüzgârlar vb.). Sadece (4.5)'deki eşitlikle hesaplama yapıldığında yamaçtaki gerçek bir harekete bağlı olmayan atmosferdeki değişimlere bağlı sahte yer değiştirmeler oluşacaktır.

Bu sorunu ortadan kaldırmak için kullanılan genel strateji;

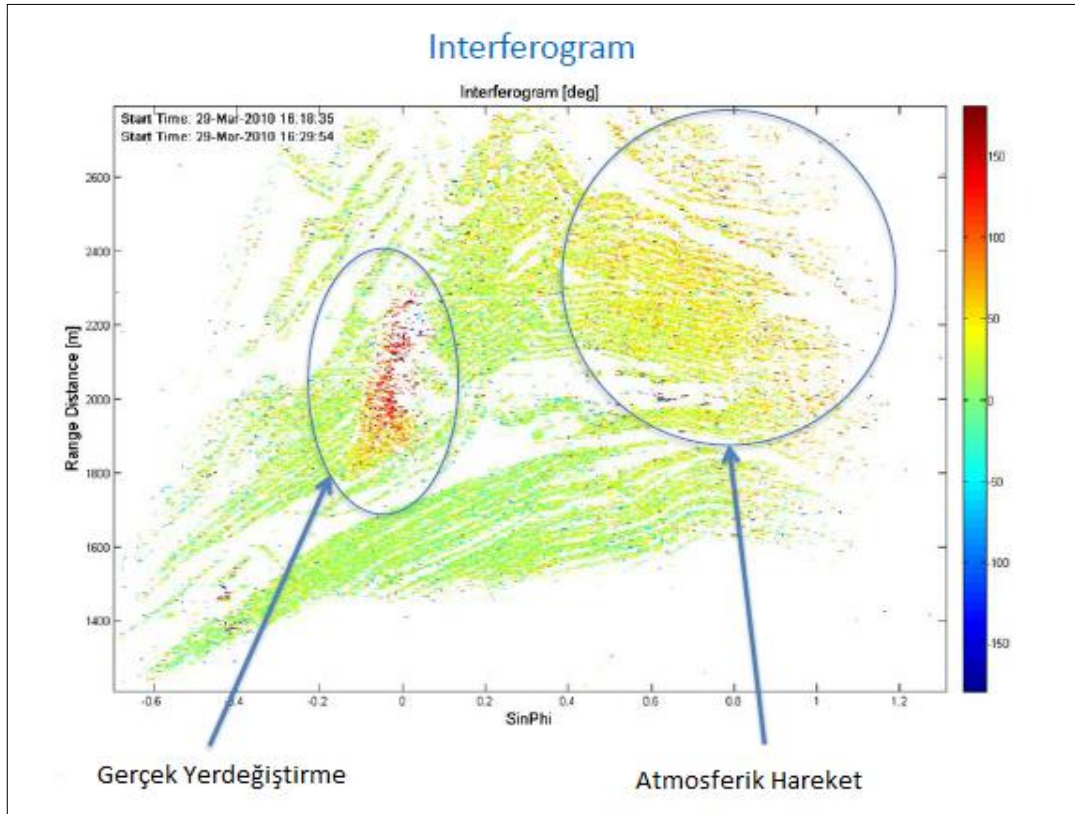
- Stabil olduğu düşünölen pikseller seçilir
- Bu piksellerin yer değiştirme miktarı hesaplanır (hesaplanan değişiklik yalnızca atmosferik etkilerle ilişkilidir )
- Tüm senaryodan atmosferik değişimlere ilişkin bu yer değiştirme kaldırılır.

İlk adım, hangi noktaların hareket ettiğini ve hangilerinin durağan olduğunu anlamaktır. Eski yaklaşımlarda stabil olması gereken noktalar manuel olarak seçilir. Yeni yaklaşım uydu interferometresinden gelen Sabit Dağılım Tekniğini (PS) kullanır. Bu yaklaşım, uydu InSAR'ın sadece birkaç görüntü yerine uzun zaman serilerini kullanarak santimetrik doğruluktan (geleneksel DInSAR ile) milimetrik doğruluğa geçmesini sağlamıştır. Bu son yaklaşım IBIS-M tarafından da kullanılmaktadır.

Sabit Dağılım (PS) Tekniği, atmosfer ve yer değiştirmenin farklı bir mekânsal ve zamansal frekansa (veya davranışa) sahip olduğu varsayımına dayanmaktadır.

Yer değiştirme, hem uzayda hem de zaman içinde tutarlıdır, atmosferik etkiler ise, daha düşük bir uzamsal frekansta uzayda tutarlıdır, ancak zaman içinde tutarlı değildir (birkaç on dakika içinde farklı atmosferik koşullar oluşabilir).

Bu yaklaşıma dayanarak, senaryonun hem stabil hem de hareketli kısımlarını içeren bir alan gözlemleniyorsa, algoritma sabit ve hareketli pikselleri sınıflandırabilir, sabit noktaların faz değerlerini tahmin eder ve bu değerler tüm piksellerden (hareketli olanlar dahil) çıkarılarak atmosferik düzeltme yapılabilir (şekil 4.25).



şekil 4.25 İnterferogram (IBIS-M Training Material).

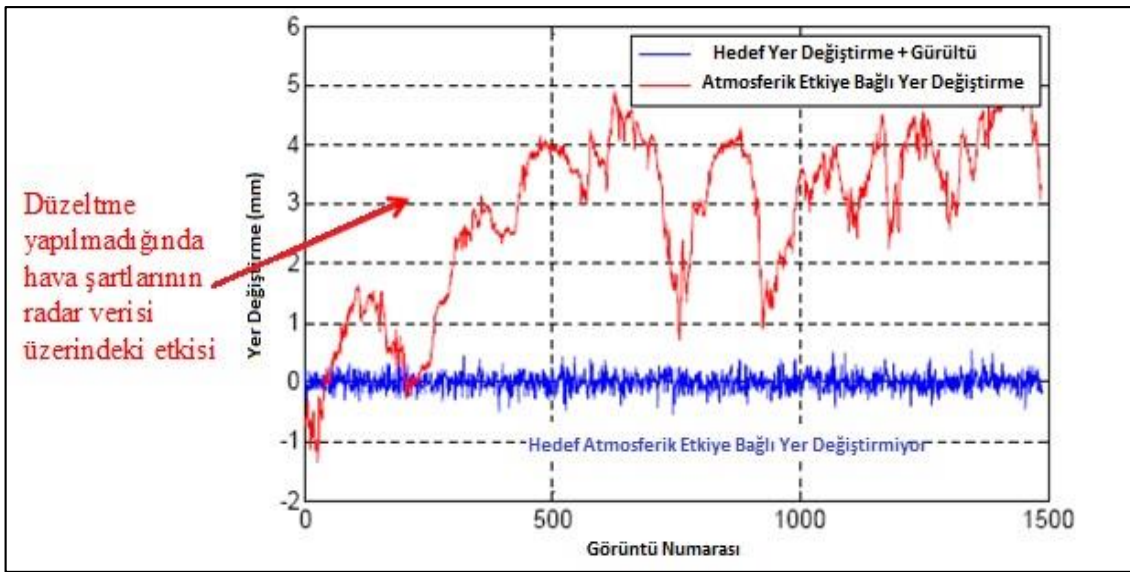
Algoritma, gözlemlenen alandaki sabit noktaları (binlercesini) değerlendirerek, hayli karmaşık bir atmosfer modellemesi oluşturur ve gözlemlenen alanın her noktasında güvenilir atmosferik etki tahmini yapabilir.



Kırılma endeksindeki değişiklikler (ısı, nem ve basınç etkileri) faz farkları yaratmaktadır. Bu durum yanlış hareketlilik olarak adlandırılır ve eşitlik (4.6) ile hesaplanır.

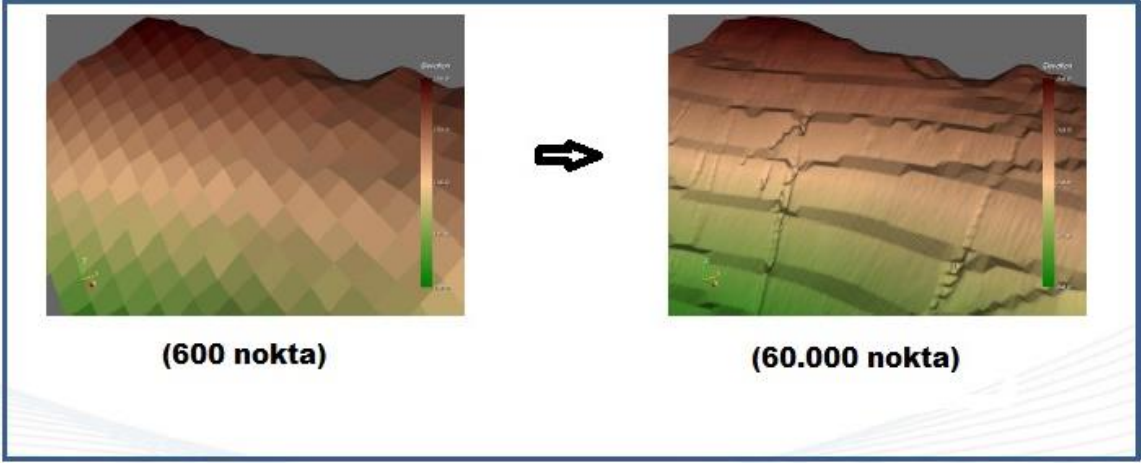
$$\varphi_i^{atmo}(t) = -\frac{4\pi f_c}{c} \int n(r,t) dr \quad (4.6)$$

Eşitlik (4.6) ile hesaplanan faz farklarından sabit noktaların faz farkları çıkarılarak atmosferik etkiden dolayı oluşan yanlış hareketlilik giderilir. Düzeltme yapılmadığında atmosferik etkinin radar verisi üzerindeki etkileri Şekil 4.26'te gösterilmiştir.



Şekil 4.26 Atmosferik verinin radar verisi üzerindeki etkisi (IBIS-M Training Material).

Sabit dağılım yaklaşımı eski yaklaşıma kıyasla daha çok noktaya atmosferik düzeltme getirdiği için oluşturulan Dijital Yükseklik Modelleri (DYM) Şekil 4.27'deki gibi daha ayrıntılı olacaktır.



Şekil 4.27 Sabit dağılım yaklaşımının yüzey modeline etkisi (IBIS-M Training Material).



## BÖLÜM 5

### YB-INSAR TEKNOLOJİSİ İLE KIŞLAKÖY AÇIK MADEN İŞLETMESİNDEKİ BATI NİHAİ ŞEVİNİN İZLENMESİ

Kışlaköy Açık Maden İşletmesi, Kahramanmaraş ilinin Afşin–Elbistan ilçeleri sınırları içinde yer almaktadır. Kışlaköy Açık Maden İşletmesi, ülkemizdeki mevcut Afşin-Elbistan A ve B Termik Santrali yakıt gereksinimini karşılayan dünyanın dördüncü, ülkemizin ise en büyük açık işletmesi olma özelliğini taşımaktadır.

Ülkemizdeki linyit yatakları içinde en büyük potansiyele sahip olan Afşin–Elbistan Linyitleri, düşük kalitesine rağmen (ortalama olarak kalori değeri 1070 kcal/kg., kül miktarı % 17, su miktarı % 55, kükürt miktarı % 1,46) Türkiye ekonomisinin en önemli hammadde kaynağıdır. Kışlaköy Sektöründe yaklaşık 578 milyon ton, Afşin–Elbistan Havzası'nda ise yaklaşık 3,4 milyar ton linyit olduğu tespit edilmiştir. Afşin–Elbistan A ve B Termik Santrali için (her bir santralin kurulu gücü 4x340 MW) 18,6 milyon ton/yıl ve çevre illerin yakıt ihtiyacı için 1,4 milyon ton/yıl olmak üzere 20 milyon ton/yıl linyit üretimi gerçekleştirilmektedir (Şekil 5.1).



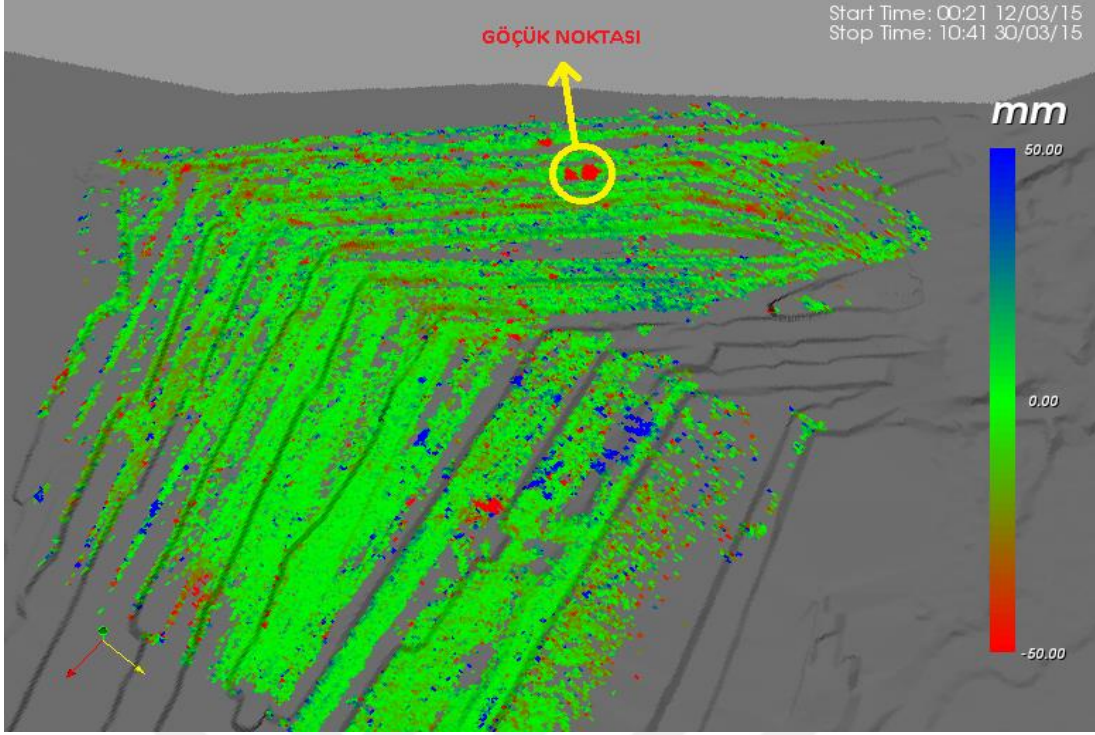
Şekil 5.1 Afşin-Elbistan Kışlaköy Maden İşletmesi.

A ve B termik santrallerinin aksamadan çalışabilmesi için gerek duyulan ilk koşul, işlemeden sürekli bir hammadde beslemesinin yapılabilmesidir. Kışlaköy İşletmesi'ndeki linyit üretiminin sürekliliğini kontrol eden en önemli faktörlerden birisi de, üretim boyunca ocağın kalıcı şevlerinin stabilitelerinin sağlanmasıdır.

Şev stabilitesi sağlanmış olmasına rağmen, Kışlaköy açık maden işletmesinde daha önce meydana gelmiş küçük bir heyelana ait resim (Şekil 5.2) ve bu heyelana bağlı olarak oluşan hareket YB-InSAR sistemi ile tespit edilmiştir (Şekil 5.3). Ancak, söz konusu hareket geçmiş bir tarihte gerçekleştiğinden YB-InSAR tekniği ile tespit edilen veriler sistemin kullanıcıları tarafından silinmiştir. Dolayısıyla bu harekete yönelik bir irdeleme yapılamamıştır.



**Şekil 5.2** Şev kaymasına ait arazi görüntüsü.



**Şekil 5.3** IBIS-M sistemi ile tespit edilmiş şev kamasına ait yazılım görüntüsü.

Buna benzer bir heyelanın tespit edilebileceği düşünülerek Kışlaköy açık maden işletmesinde tesis edilmiş olan IBIS-M isimli YB-InSAR sistemdeki geçmiş tarihli silinmemiş veriler ve ileri tarihli gözlemler bu çalışma için belirli bir süre irdelenmiştir.

Kışlaköy Açık Maden İşletmesindeki doğu nihai şevi üzerine kurulmuş olan IBIS-M isimli YB-InSAR sistemi (Şekil 5.4) batı nihai şevinde oluşabilecek hareketleri izlemek üzere hedeflenmiştir (Şekil 5.5). Böylece, Açık Maden İşletmelerinde oluşabilecek heyelanların ve şev kaymalarının YB-InSAR sistemi ile hızlı ve doğru bir şekilde tespit edilip edilemeyeceği ve iş kazalarına karşı erken uyarı sistemi olarak kullanılıp kullanılmayacağı araştırılmıştır.



**Şekil 5.4** Doğu nihai şevi üzerinde bulunan ve kırmızı daire ile gösterilen YB-InSAR cihazı.



**Şekil 5.5** YB-InSAR cihazı ile izlenen batı nihai şevi.

Kışlaköy Açık Maden İşletmesinde yer değiştirme hareketlerinin izlenmesi için kullanılan IBIS-M sistemi dalga boyu yaklaşık 17.8 mm olan Ku-band (17.1-17.3 GHz) radyo sinyali kullanır ve en çok 0.5 m menzil çözünürlüğü ile 4 km'ye kadar olan mesafelerde veri toplar. Bu sistem hareket hızı olarak en fazla 9 cm/h olan hareketleri tespit edebilmektedir. Ancak yüksek duyarlılıkta tespit edebildiği hareketler hızı 4 cm/h ve daha yavaş olan hareketlerdir. Böylelikle, sistem “Heyelan hızları ve olası zararlar” (Çizelge 2.3) sınıflandırmasına göre Çizelge (2.3)'de üçüncü satırda “Hızlı” olarak adlandırılan ve daha düşük hızda gerçekleşebilecek heyelanların tespitinde etkili olabilmektedir. Sistem menzil ölçümlerinin doğruluğunu artırmak için SFCW tekniğini kullanır. Bu teknikte radar ünitesi sürekli bir dalga gönderirken, ölçüm esnasında frekans kademeli olarak değişmektedir. Çapraz menzil doğrultusunda 4.3 mrad'lık (1 km de 4.3 m) bir maksimum açısal çözünürlüğe sahiptir ve piksel boyu sensörün hedefe olan uzaklığı ile doğru orantılı olarak değişir. SFCW tekniğinin kullanılmasından dolayı ölçülen mesafe menzil kutucuklarına ayrılır. Tekniğin prensiplerinden ötürü bir menzil kutucuğunun tespit edilen sinyali, o belirli uzamsal alandan yansıyan sinyallerin toplamıdır. Tipik bir IBIS-M uygulamasında taranan alan 80 derece yatay açıklık ve 60 derece düşey açıklığa sahip kabaca üçgen biçimindedir. Bu uygulamada, yatay tarama açıklığı 70°, dikey tarama açıklığı 30° olan IBIS-M sistemi kullanılmıştır. 2 boyutlu görsel sensörün ray boyunca hareketi ile elde edilen veri kullanılarak çapraz çözünürlük hesaplanır. Çizelge 5.1'de YB-InSAR işlem akışı özetlenmektedir. (Wen-Jun Mao, Wen-long Chang, 2015'den değiştirilerek).

**Çizelge 5.1** YB InSAR işlem akışı (Wen-Jun Mao, Wen-long Chang, 2015'den değiştirilerek).

• N adet GB-InSAR görüntüsü
• Görüntünün zamana göre kaydı
• İnterferogram ve tutarlı görüntü üretimi
• Piksel seçimi
• 2 boyutlu faz oluşumu
• Faz entegrasyonu
• Atmosferik faz bileşeni tahmini
• Deplasman hesaplaması ve coğrafi kodlama

IBIS-M sistemi batı nihai şevini izlemeye engel olmayacak doğu nihai şevi üzerindeki bir noktaya yerleştirilmiştir. Kaba bir hesaplama IBIS-M'nin batı nihai şevine olan uzaklığı ortalama 2.8 km'dir. Batı nihai şevi sürekli olarak izlenmekte olup, bu çalışmada 10 günlük bir gözlem periyodu ele alınmış ve radar parametreleri Çizelge 5.2'de verilmiştir.

**Çizelge 5.2.** IBIS-M cihazı radar parametreleri.

<b>ŞEVDEN OLAN UZAKLIK</b>	[m]	2800
<b>ANTEN DALGA GENİŞLİĞİ</b>	[derece]	70
<b>NOKTA SAYISI</b>	-	250.000
<b>MESAFE ÇÖZÜNÜRLÜĞÜ</b>	[m]	0.5
<b>ÇAPRAZ-MESAFE ÇÖZÜNÜRLÜĞÜ</b>	[mrad]	4.3
<b>TARAMA SÜRESİ</b>	[dak]	3

Bu sistem IBIS Control ve IBIS Guardian isimli yazılımlar ile yönetilmektedir. Kışlaköy Açık Maden İşletmesindeki batı nihai şevi için yapılan gözlemler bu yazılımlar ile birlikte yorumlanarak değerlendirilmiştir. Bu değerlendirmeler ve yorumlamalar sistem kurulumu, proje oluşturulması, verilerin toplanması ve irdelenmesi ile değerlendirilmesi başlıkları adı altında ele alınacaktır.



## 5.1. SİSTEMİN KURULUMU

IBIS-M sistemi cihazın bağlı olduğu bilgisayardaki kurulu olan IBIS Control yazılımı ile yönetilir. IBIS Control yazılımındaki veriler birkaç işleme tabi tutulur ve sistemi kullanan kişilerin anlayabileceği şekilde görselleştirilerek IBIS Guardian yazılımına aktarılır.

IBIS-M cihazının bağlı olduğu bilgisayarın IP adresi bulunarak IBIS Guardian programın bağlı olduğu bilgisayarlar arasında bağlantı sağlanır ve bağlantının sağlanıp sağlanmadığı test edilir. IBIS-M cihazının sahadan topladığı veriler bağlı bulunduğu bilgisayarda işlenerek kaydedilir. Bu verilerin IBIS Guardian programıyla görüntülenebilmesi ve incelenebilmesi için iki bilgisayar arasında veri transferi yapılması gerekmekte olup, bu veri transferi için IBIS Guardian programından ftp transfer protokolü seçilir ve verilerin kaydedileceği klasör tanımlanır.

## 5.2. PROJE OLUŞTURULMASI

Bu çalışma için Kışlaköy Açık Maden İşletmesinde 365 gün 7/24 çalışmakta olan IBIS-M sistemindeki eski veriler korunarak, prosedürün daha kolay anlaşılması için ayrı bir proje oluşturulmuş bir aylık periyottaki hareketin en fazla olduğu bir haftalık zaman aralığını kapsayan veriler irdelenmiştir.

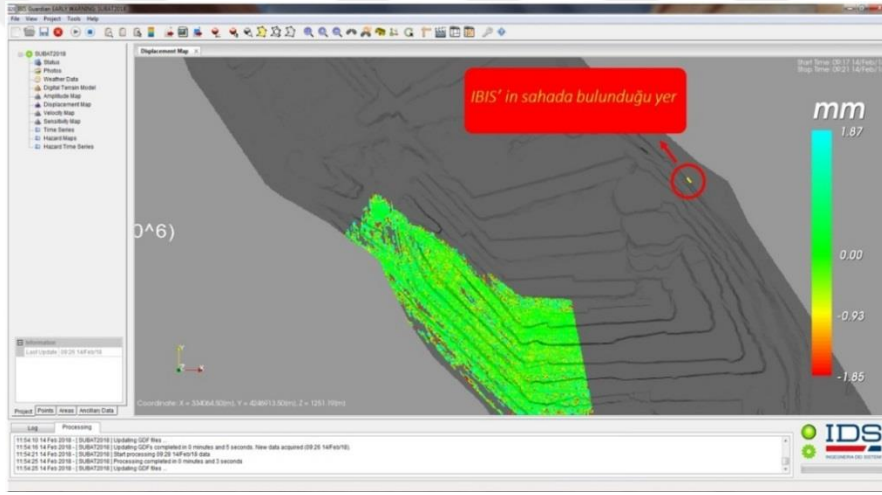
IBIS Guardian yazılımı ile izleme yapılacak saha için ilk olarak yeni bir proje oluşturma aşaması başlatılır. Proje altlığı olarak izlenecek sahaya ait CAD formatındaki yüzey haritası koordinat sistemi de belirtilerek yüklenir. IBIS-M cihazının konumuna ait koordinat, kot ve kuzey ile yaptığı açı (azimut) değerleri girilir. Bu sayede IBIS-M cihazının gönderdiği her sinyalin x ve y koordinatları hesaplanabilmektedir. IBIS-M sisteminin hesaplamış olduğu x ve y koordinatlarının izdüşümü yazılıma tanımlanan arazi modeli ile (yüzey haritası) kesiştirilerek bir benzerlik dönüşümü yapılır. Bu dönüşüm sayesinde piksellere kot değeri atamaları yapılarak piksellerin düşey yöndeki hareket miktarları hesaplanır. Bu nedenle tanımlanan arazi modelinin hassasiyeti hesaplanan hareketin konumsal doğruluğunun belirlenmesinde önemli rol oynamaktadır.

İzleme yapılacak sahada radar sinyalinin yansıma kalitelerine göre hangi noktaların daha doğru veri sağladığını gösteren ve sinyal kalitesi iyi olmayan verilerin ayıklanmasını sağlayan bir

seçim maskesi IBIS Control yazılımı ile oluşturulur. Oluşturulan seçim maskesi IBIS-M sisteminden gelen verilerin yönetiminin yapıldığı ve yorumlandığı sistemi kullanan operatörün bilgisayarındaki Guardian yazılımına yüklenir.

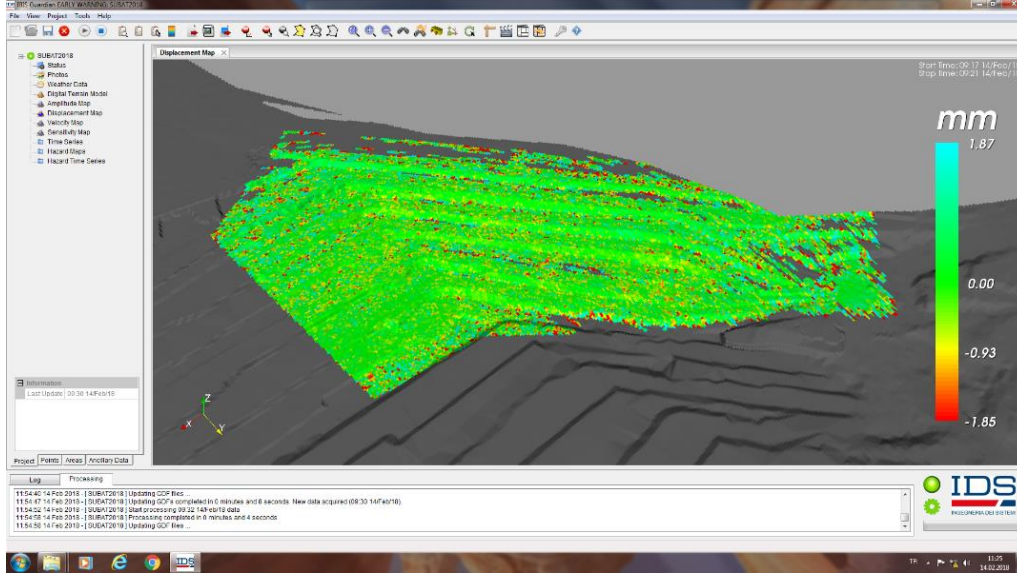
### 5.3. VERİLERİN TOPLANMASI VE İRDELENMESİ

Proje oluşturma aşaması geçildikten sonra sistem başlatılarak birkaç tane verinin değerlendirilmesi beklenir. Bu değerlendirme sonucu referans alınan görüntüler ile belirli bir zaman aralığına göre sürekli olarak oluşan yeni görüntüler arasındaki fark hesaplanır. Bu hesaplamalar ile yer değiştirme hareketlerinin mm'den daha düşük bir hassasiyet ile izlenmesi mümkün olacaktır (Şekil 5.6).



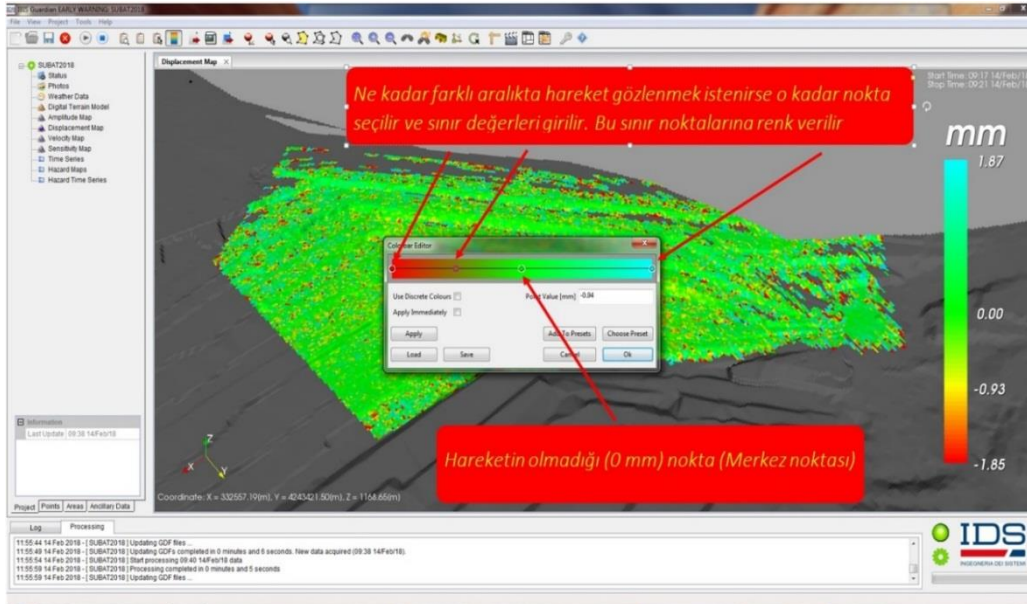
Şekil 5.6 YB-InSAR yazılımında radar cihazının ve izleme şevinin görünümü.

IBIS Guardian programı ile görüntü Şekil (5.7)'deki istenildiği gibi ayarlanabilmektedir.



Şekil 5.7 YB-InSAR yazılımında izlenen batı nihai şevinin görünümü.

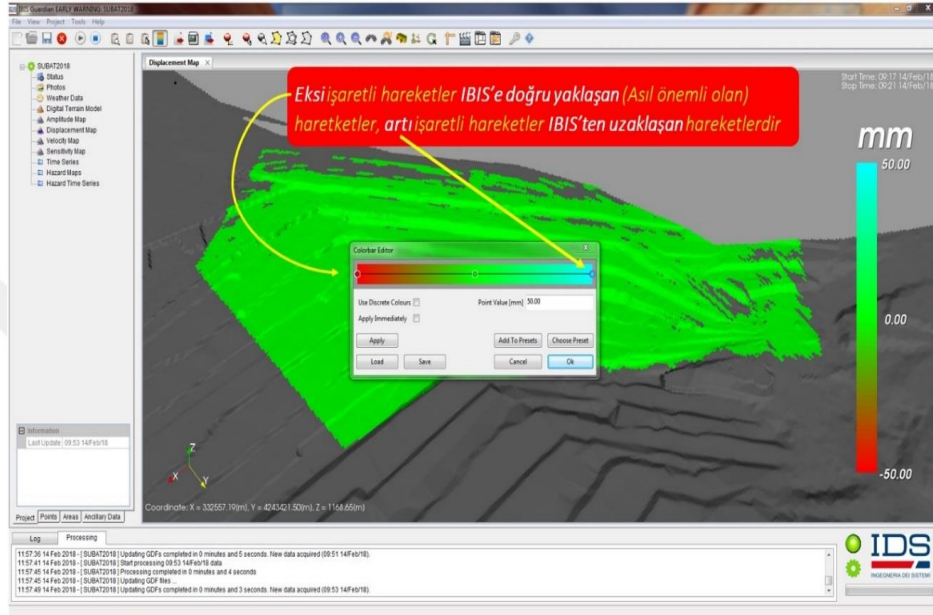
IBIS Guardian programı ile yer değiştirme miktarlarını sınıflandırmak mümkündür. Belirli bir hareket aralığındaki yer değiştirmeler (örn. (0, +20) mm, (0, -20) mm vb.) seçilip bu sınırlar içerisindeki hareketlerin gözlemlenmesi ayarlanabilir. Bu noktalara sınır değeri atılır ve farklı renklere göre sınıflandırılır. Bu sayede renge göre hareketin hangi aralıkta olduğu gözlemci tarafından kolaylıkla anlaşılır (Şekil 5.8).



Şekil 5.8 YB-InSAR yazılımı ile hareketlerin sınıflandırılması.

Gözlemlenen hareketler IBIS-M' e göre hangi yöne doğru ise (IBIS-M' e doğru olanlar ve IBIS-M'den karşıya doğru olanlar) bu yönler için isteğe göre + ya da - işaretleri tanımlanarak

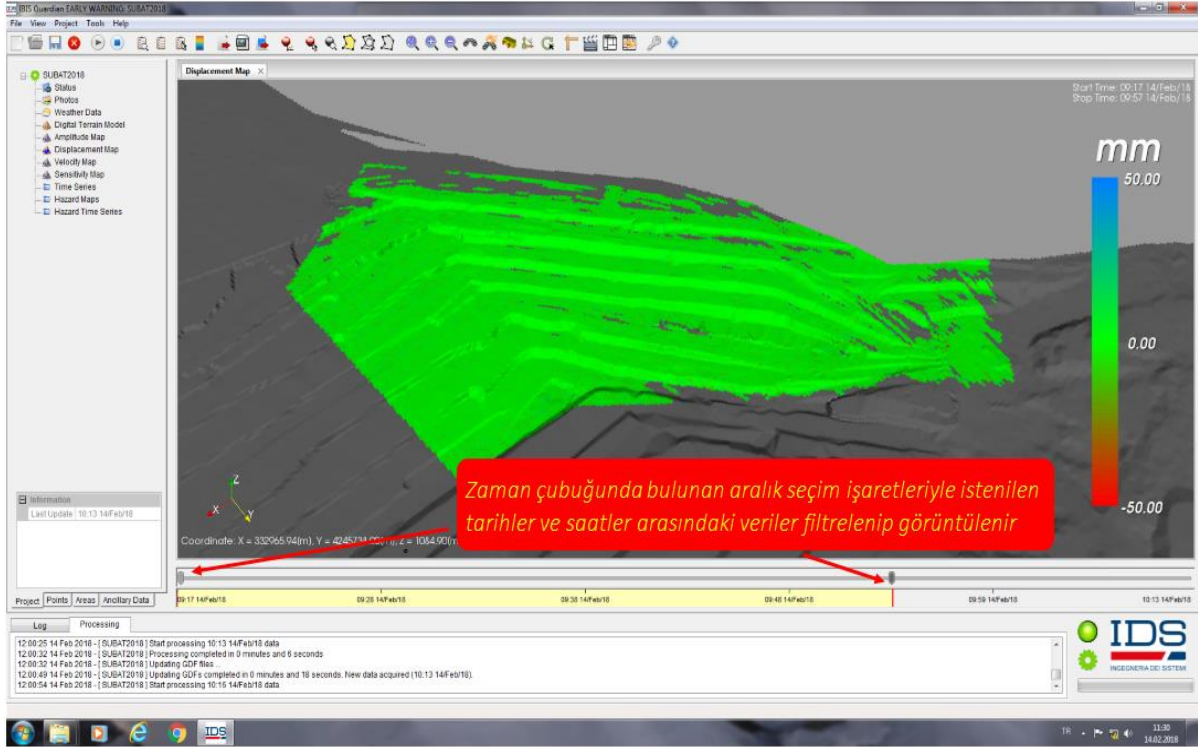
hareketlerin hangi yönde olduğu belirginleştirilir. Bu uygulamada IBIS Guardian programı ile eksi işaretli hareketler IBIS-M'e yaklaşan hareketler olarak, artı işaretli hareketler ise IBIS-M'den uzaklaşan hareket olarak tanımlanmıştır. Bunlardan eksi işaretli olan hareketlerin heyelan ya da toprak kayması ifade etme ihtimalinin daha fazla olması nedeniyle daha dikkatli incelenmesi gerekmektedir (Şekil 5.9).



Şekil 5.9 YB- InSAR yazılımı ile hareket yönünün tanımlanması.

#### 5.4. DEĞERLENDİRME

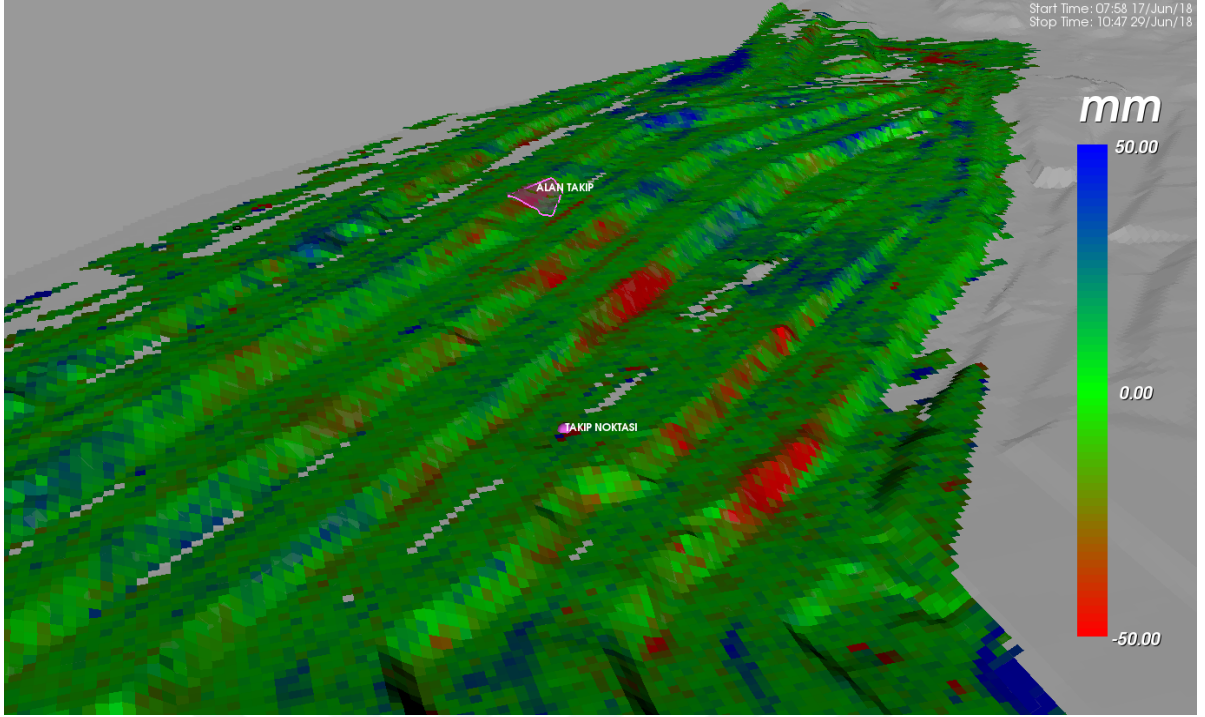
IBIS Guardian yazılımı kullanılarak verilere zaman ayraç ile gün, saat gibi sınırlamalar getirilir ve izlenen alanın herhangi bir noktasında veya bir bölgesinde sürekli olan bir hareketin var olup olmadığı belirlenebilir (Şekil 5.10).



Şekil 5.10 YB-InSAR yazılımı ile zaman ayarlaması.

Nokta bazındaki veya bölgesel hareketlerin takibi için bazı grafikler kullanılabilir. Bu grafikler yer değiştirme, hız, ivmelenme, güç ve hızın tersi olarak 5 tipte mevcut olup, bu grafiklere göre izlenen nokta ya da bölgelerdeki hareketler daha kolay irdelenebilmektedir.

Gözlemlene dönemi için oluşturulan yeni projede genel itibariyle Kışlaköy Açık Maden İşletmesi batı nihai şevinde belirgin bir hareket tespit edilememiştir. Ancak, sistemin ve yazılımın özelliklerini göstermek için deneme amaçlı batı nihai şevi üzerinde gerçek ve tehlikeli bir hareketi göstermeyen, buna karşın “parazit” olarak adlandırdığımız hareketlerin oluşabileceği bir nokta ve bir alan (Şekil 5.11) seçilmiştir. Takip noktası ve alanına ait özellikler Çizelge 5.3 ve Çizelge 5.4’de gösterilmiştir. Bu nokta ve alana ait verilerden oluşturulan grafikler aşağıda gösterilmiştir (Şekil 5.12, 5.13, 5.14, 5.15, 5.16, 5.17, 5.18, 5.19, 5.20 ve 5.21).



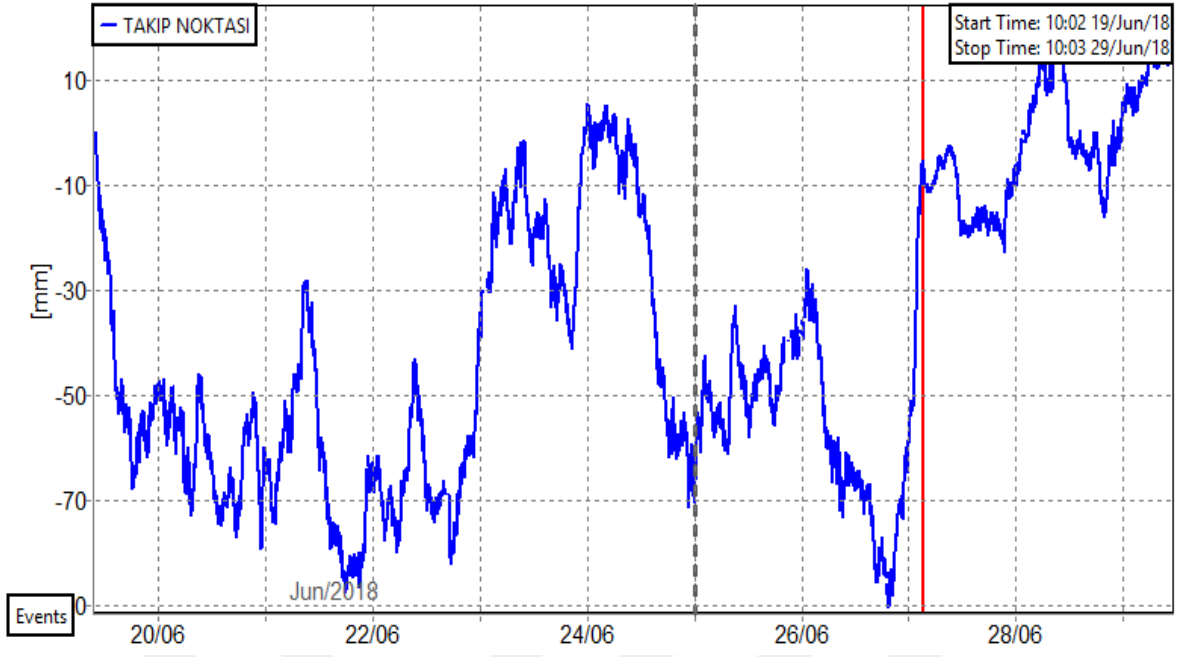
Şekil 5.11 Takip noktası ve alanını gösterir görsel.

Çizelge 5.3 Takip noktasının özellikleri.

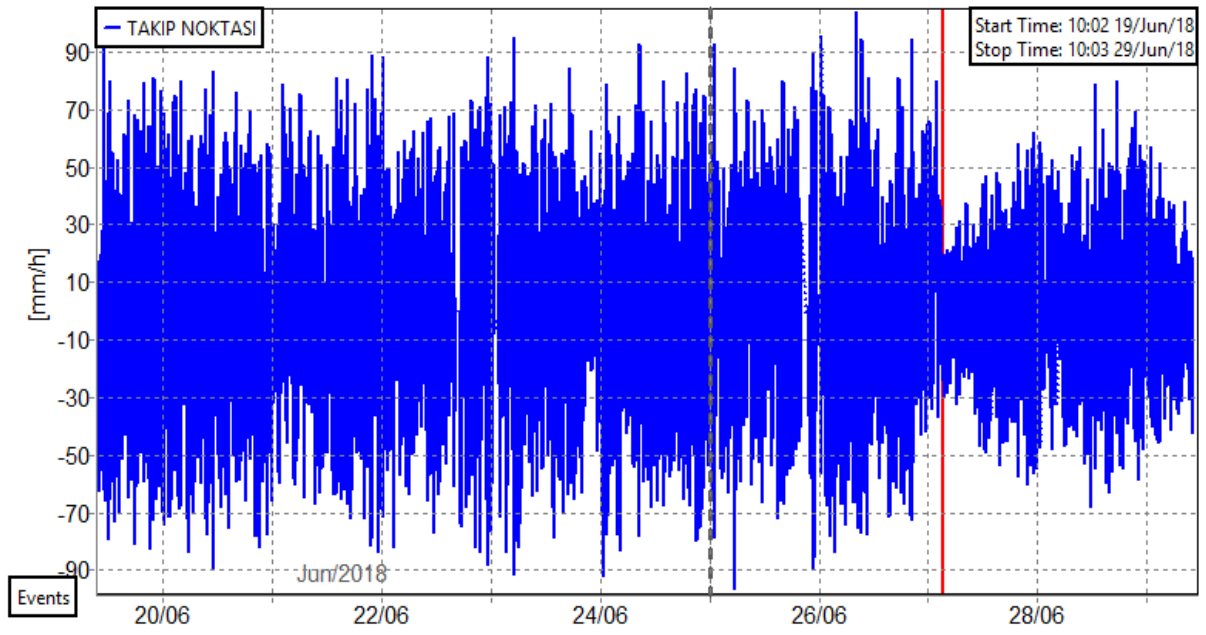
General Info	
Name	TAKIP NOKTASI
Description	
Topographical Info	
X (m)	331880.15
Y (m)	4245384.66
Z (m)	1111.02
Displacement Info	
Displacement (mm)	20.94
Velocity (mm/h)	0.09

Çizelge 5.4 Takip alanının özellikleri.

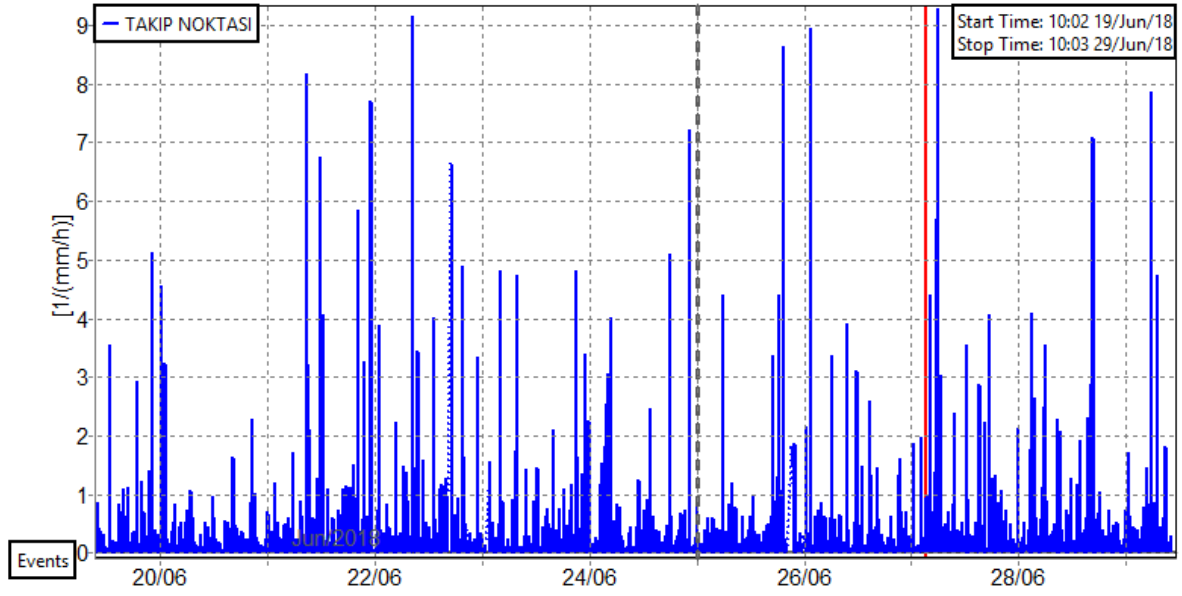
General Info	
Name	ALAN TAKIP
Description	
Topographical Info	
Min Elevation (m)	1164.1
Max Elevation (m)	1184.73
Surface (m <sup>2</sup> )	3732.87
Centroid X (m)	331359.03
Centroid Y (m)	4245500.63
Centroid Z (m)	1173.19
Number of Dtm Cells	47
Displacement Info	
Min Displacement (mm)	-50.69
Max Displacement (mm)	10.64
Avg Displacement (mm)	-21.5
Min Velocity (mm/h)	-0.21
Max Velocity (mm/h)	0.04
Avg Velocity (mm/h)	-0.09
View Options	
Mask	<input type="checkbox"/>



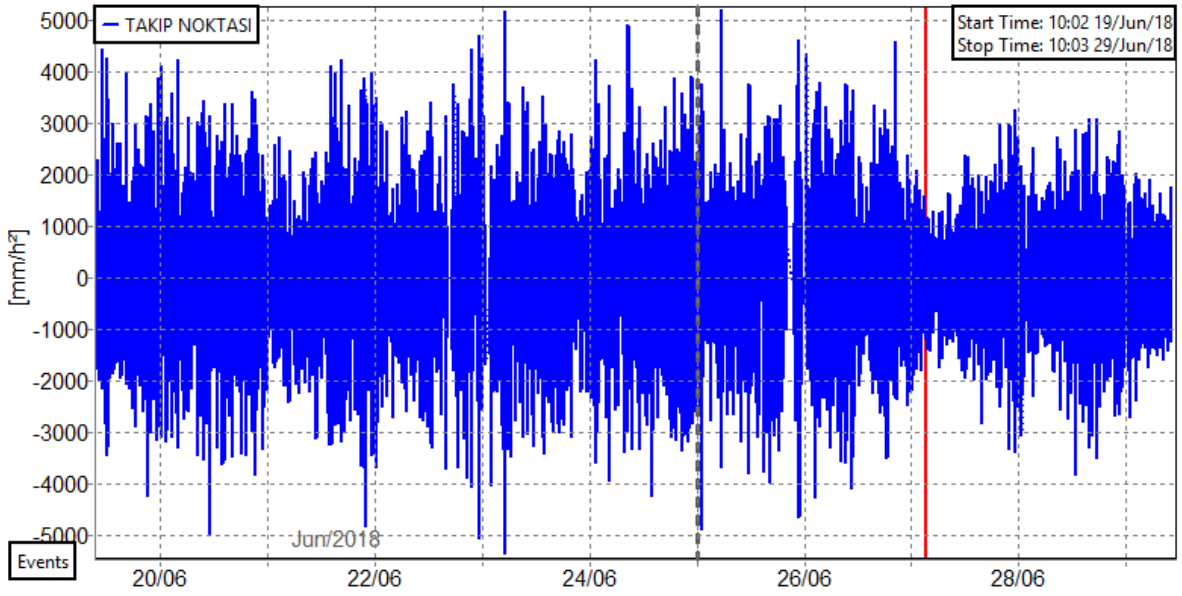
Şekil 5.12 Takip noktasının yer değıştirme grafiği.



Şekil 5.13 Takip noktasının hız grafiği.

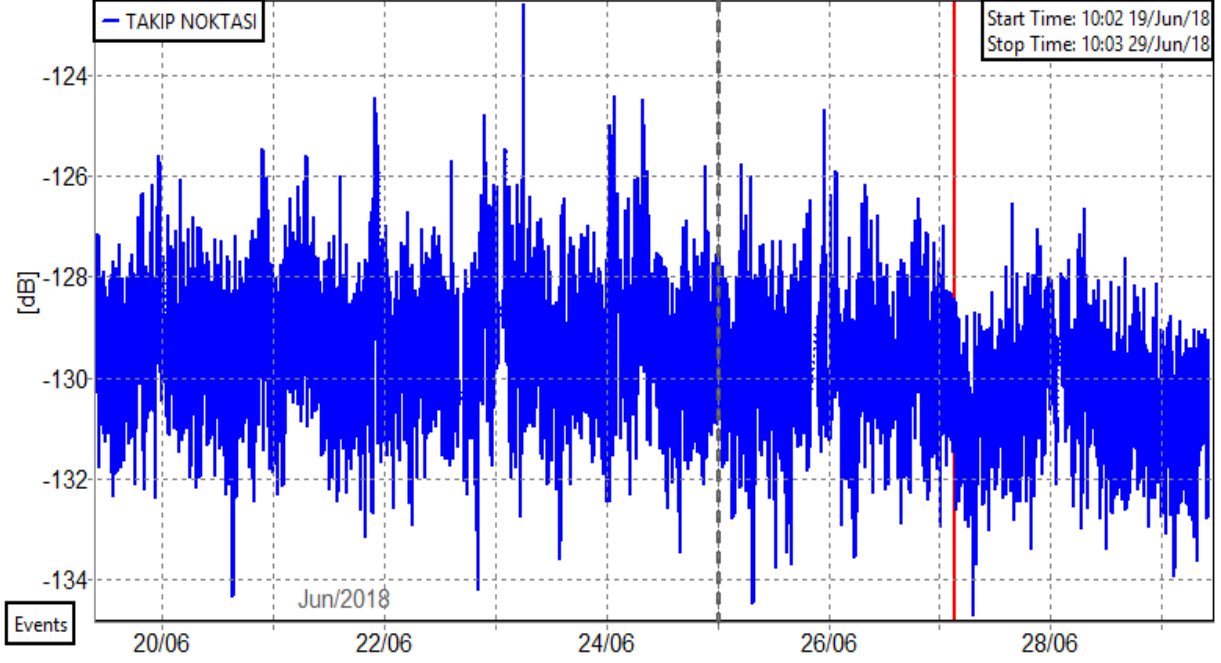


Şekil 5.14 Takip noktasına ait hızın tersi grafiği.



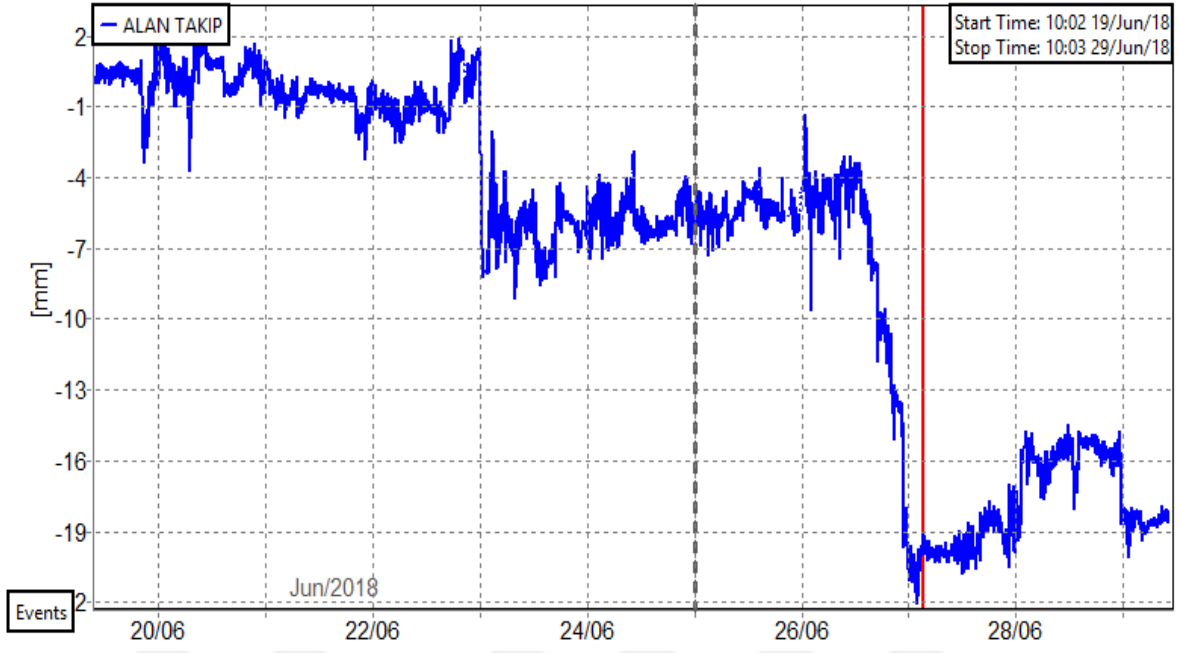
Şekil 5.15 Takip noktasının ivmeleme grafiği.



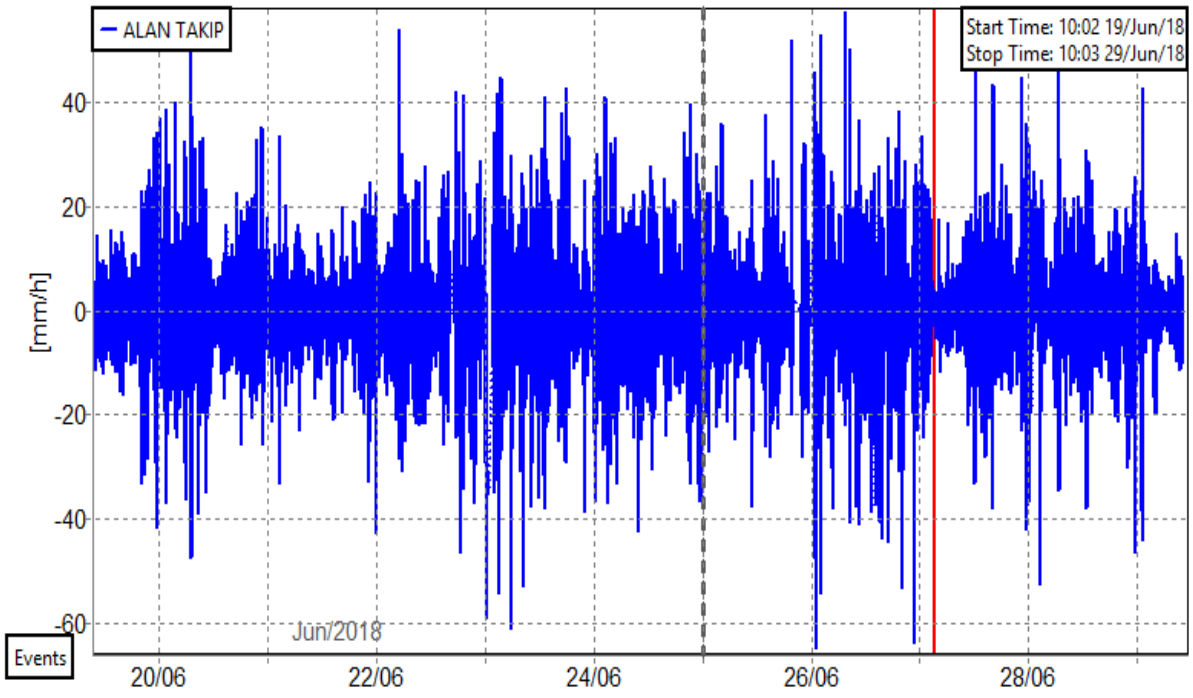


Şekil 5.16 Takip noktasının güç grafiği.

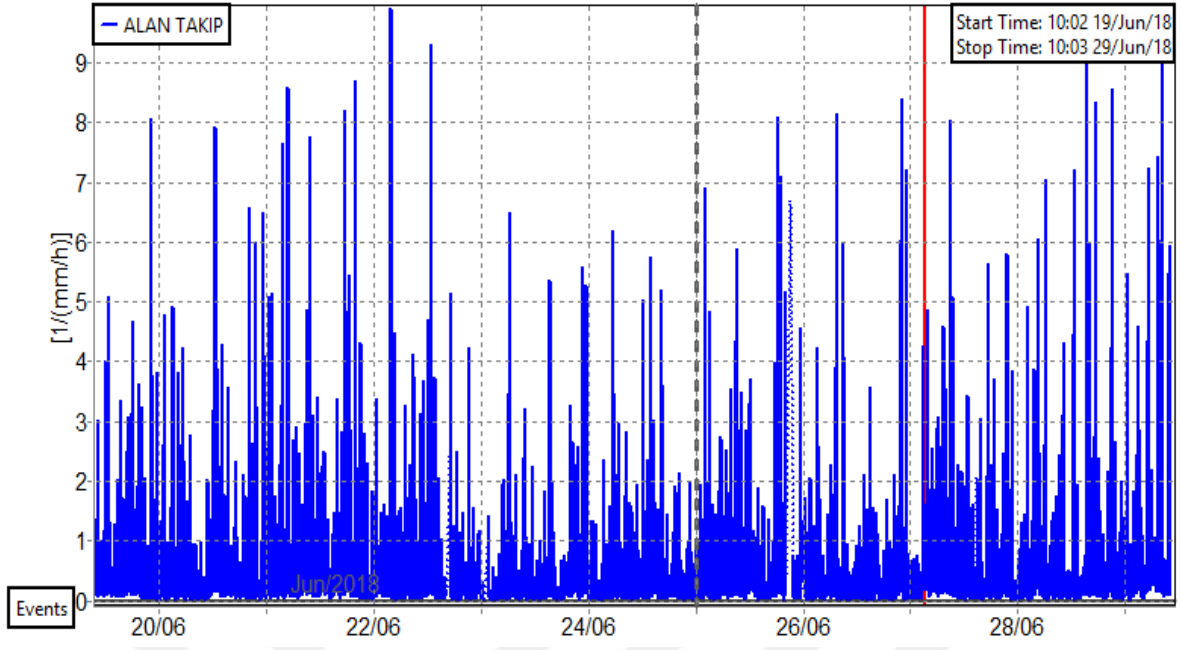
Grafiklerin değerlendirilmesi neticesinde, Şekil 5.12'deki yer değiştirme grafiğinden ve Şekil 5.13'deki hız grafiğinden de görüleceği üzere seçilen noktada gerçek bir hareketin olup olmadığını gösteren en önemli kanıtın hareketin yönünün her zaman aynı yönde olmaması ve ara sıra hareket yönünün '+'dan '-'ye doğru değişmesi gösterilebilir. Sahadaki gerçek duruma bakıldığında takip edilen noktanın şev basamağı üzerindeki yol güzergâhında bulunması sebebiyle, oluşan hareketin yoldan geçen araçların yapmış olduğu minimal etki sebebiyle oluştuğu düşünülmektedir. Takip noktasına ait diğer grafiklere bakıldığında (Hızın tersi, ivmelenme ve güç), noktada gerçek ve devamlı bir hareketin olmadığı anlaşılabacaktır.



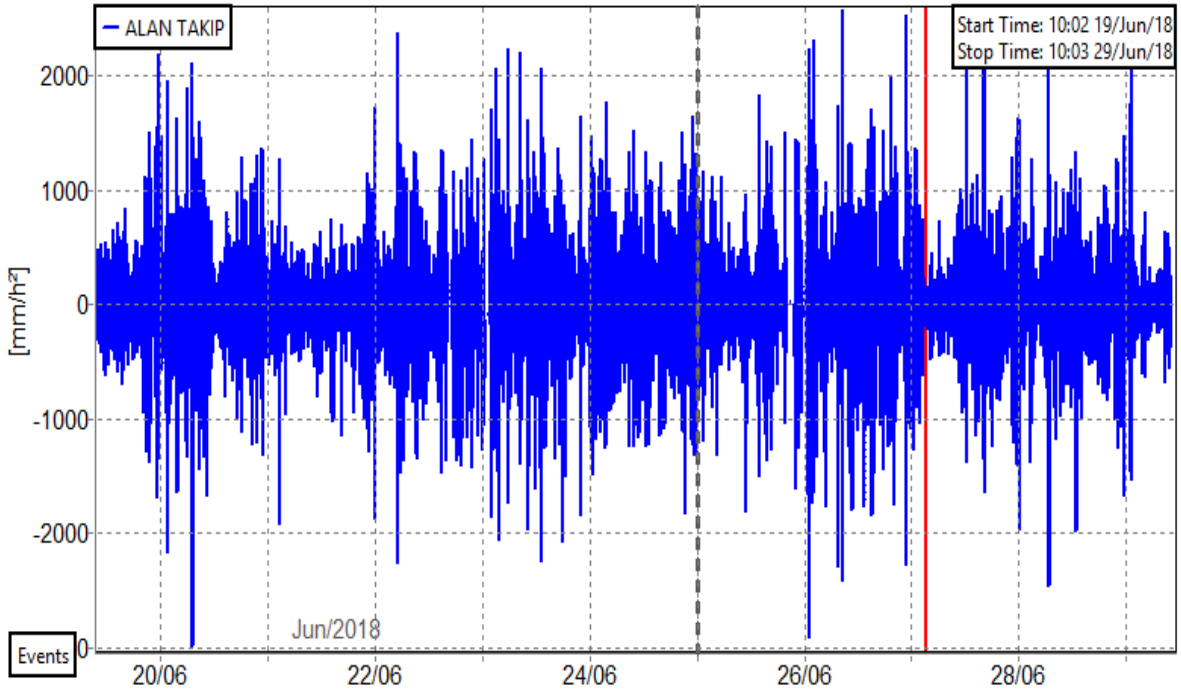
Şekil 5.17 Takip alanının yer değıştirme grafiği.



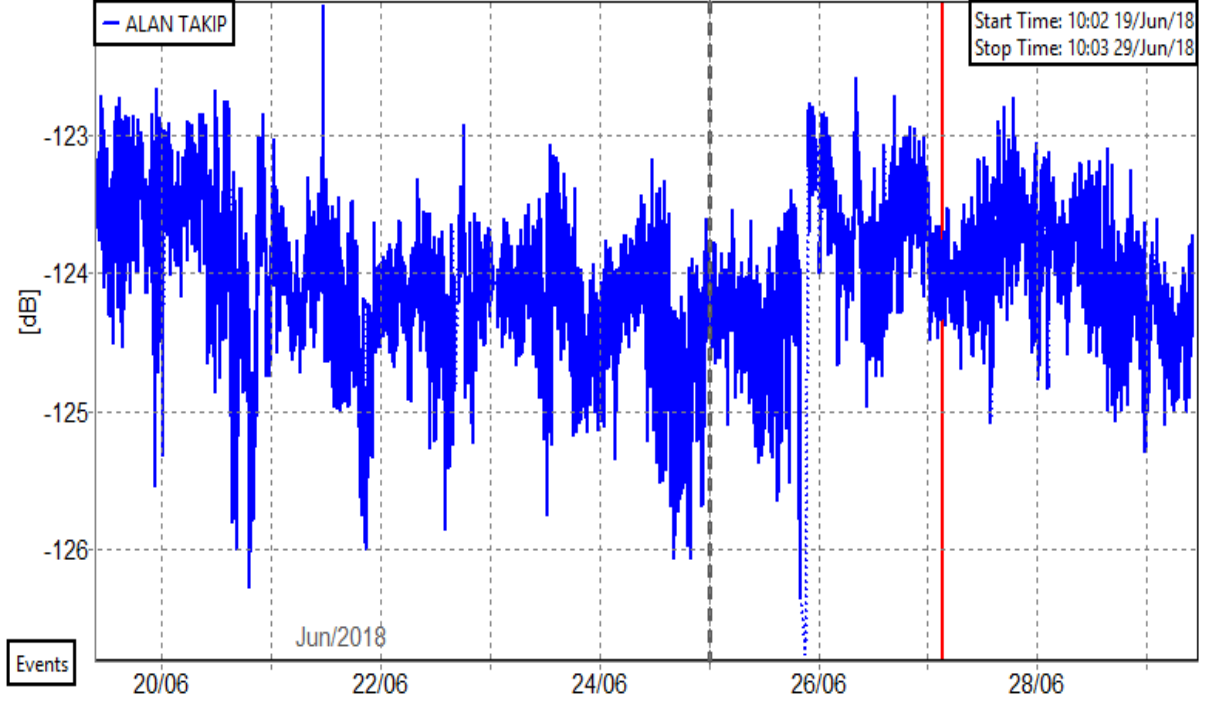
Şekil 5.18 Takip alanının hız grafiği.



Şekil 5.19 Takip alanına ait hızın tersi grafiği.



Şekil 5.20 Takip alanının ivmelenme grafiği.



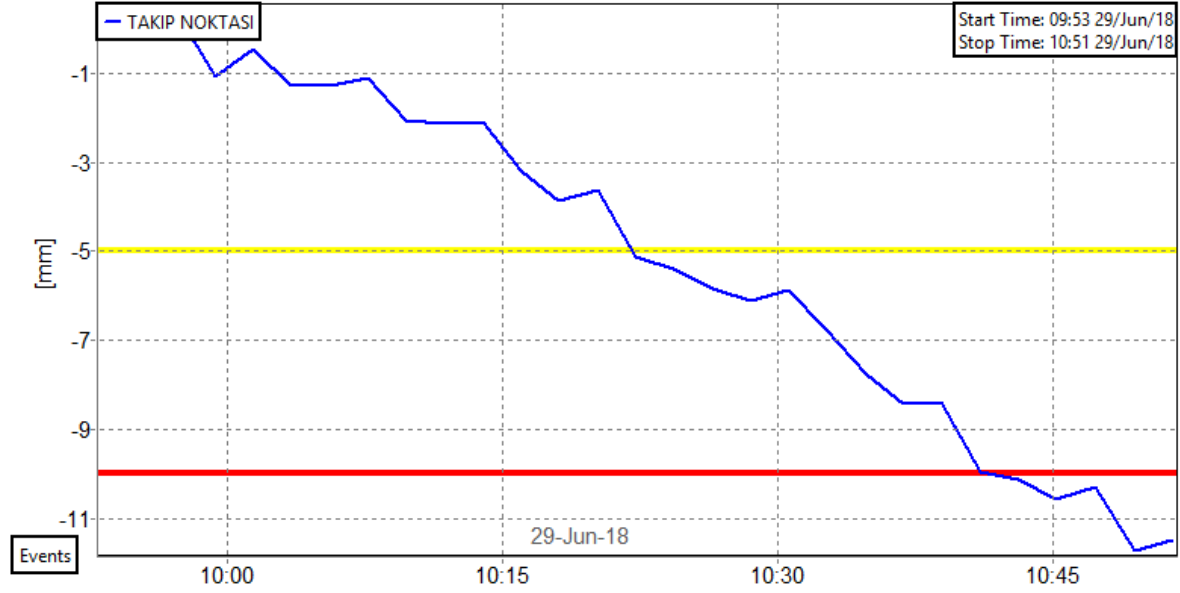
**Şekil 5.21** Takip alanının güç grafiği.

Takip edilen alana ait grafiklerin değerlendirilmesi neticesinde ise, Şekil 5.17'deki yer değiştirme grafiğine bakıldığında ilk bakışta alanın – yönde (IBIS-M e doğru) hareket ettiği görülmektedir. Ancak, Şekil 5.18'deki hız grafiğinden ve alana ait diğer grafiklerden de görüleceği üzere seçilen alanda her iki yönde gerçekleşmiş düzensiz hız ve ivmelenme neticesinde gerçek bir hareketin olmadığı anlaşılmaktadır.

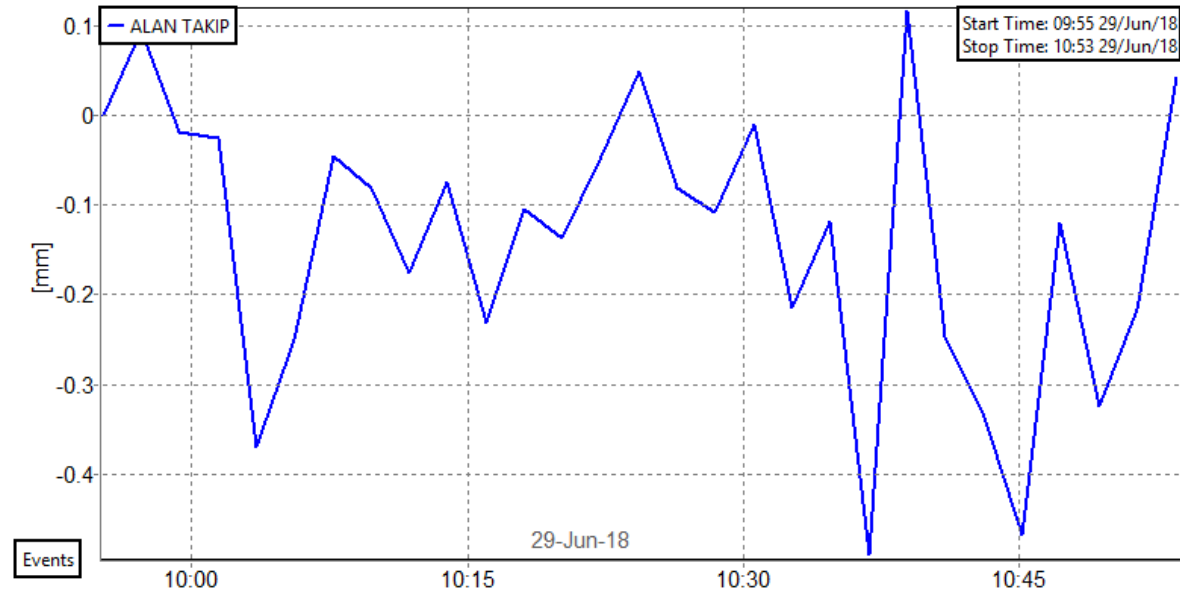
Sahadaki gerçek duruma bakıldığında, takip edilen alanda gözlemlenen önemli bir hareket görülmemekle birlikte, alanın şev aynasında bulunması ve dolayısıyla eğimli bir yüzeye sahip olması ve gözlemlenen tarihler arasındaki hava koşulları sebebiyle alan içerisindeki toprağın hava ve yağmur sebebiyle bir miktar taşınmış olduğu şekil (5.17)'deki yer değiştirme grafiğinden anlaşılmaktadır. Bu yer değiştirmenin sebebi alan içerisindeki bir pikselde gerçekleşen hareketin alanın tümü için yaratmış olduğu etkidir.

Takip edilen nokta ve alanda gerçek bir hareket olmamasına rağmen, sistemin erken uyarı vermesini test etmek amacıyla seçilen nokta ve alan için bir tehlike haritası ayarlaması yapılmıştır. Yapılan tehlike haritalarındaki ayarlamalar seçilen nokta ve alandaki kümülatif yer değiştirme miktarına bağlı olacak şekilde rastgele değer ataması yapılarak gerçekleştirilmiştir. Bu ayarlama sonrasında seçilen nokta ve alana ait kümülatif yer değiştirme grafikleri

oluşturulmuştur (Şekil 5.22 ve Şekil 5.23). Takip noktasının tehlike haritasına ait kümülatif yer değiştirme grafiğinde görüleceği üzere 5 mm ile 10 mm arasındaki bir hareket için sarı alarm seviyesi, 10 mm ve daha büyük bir hareket için kırmızı alarm seviyesi aktif edilmiştir.



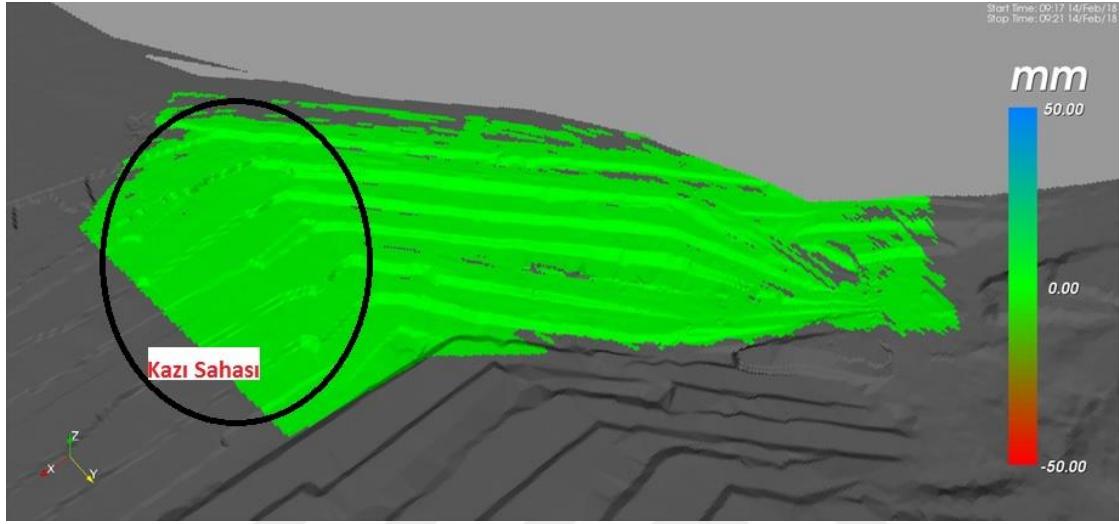
Şekil 5.22 Takip noktasının kümülatif yer değiştirmesi ve erken uyarı seviyeleri.



Şekil 5.23 Takip alanının kümülatif yer değiştirmesi ve erken uyarı seviyeleri.

Söz konusu ayarlama takip edilen alan içinde aynı olduğundan dolayı, alandaki yer değiştirme miktarının 5 mm den az olması sebebiyle sarı ve kırmızı alarm seviyeleri oluşmamıştır.

Ayrıca IBIS-M sistemin tarama alanında batı nihai Şevi ile birlikte kazı sahasının bir bölümü de bulunmaktadır. Ancak kazı sahasındaki (Şekil 5.24) yer değiştirme hareketleri 9 cm/h'den daha hızlı olduğu için IBIS-M sistemi tarafından algılanamamaktadır. Bu nedenle kazı sahasında takip alanı ya da noktası için kümülatif yer değiştirme hesaplanamamakta ve erken uyarı seviyeleri oluşturulamamaktadır.



Şekil 5.24 Batı nihai Şevindeki kazı sahası (hareketli bölge).

## BÖLÜM 6

### SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Heyelanlar ile ilgili çalışmalarda, yer değiştirmelerin izlenmesi genel olarak geleneksel jeoteknik ve jeodezik (eğimölçerler, ekstansometreler, GPS vb.) araştırmalar ile gerçekleştirilmektedir. Bu şekilde sağlanan bilgiler heyelan alanı içinde belirli bir sayıda noktanın değişimlerinin izlenmesi ile sınırlıdır. Kompleks hareketler ile karakterize edilen büyük heyelanlara bağlı yer değiştirmelerin kinematığının ve davranışlarının değerlendirilmesinde ise noktasal veriler çoğu zaman yeterli olmamaktadır (Kristensen et al. 2012).

YB-InSAR tekniğinde ise hemen hemen her hava koşulunda, sürekli olarak ve uzun bir süre boyunca çalışabilmekte ve milimetre doğruluğu ile gerçek zamanlı bilgi sağlanabilmektedir. Bu sayede klasik yöntemlerin nokta bazlı çalışmalarından kaynaklanan sınırlamalarının üstesinden gelinabilmektedir (Kristensen et al. 2012).

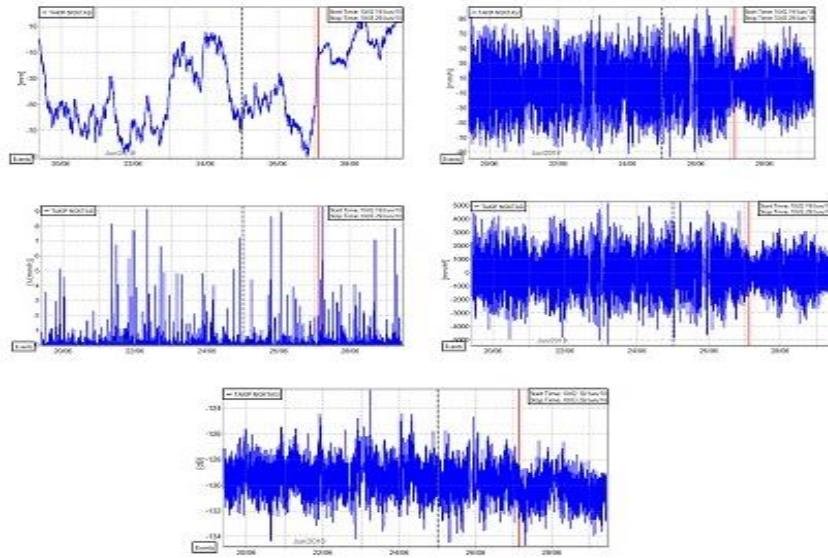
Yapılan bu çalışmada heyelanlar ve oluşum şekilleri incelenerek, ülkemizdeki en büyük mühendislik projelerinden olan Kışlaköy Açık Maden İşletmesi ve genel maden işletmeciliği ile ilgili bilgiler verilmiş ve işletme sahasında, heyelan oluşumuna neden olabilecek yer değiştirmelerinin YB-InSAR tekniği kullanılarak belirlenmesi amaçlanmıştır.

Bu kapsamda yapmış olduğumuz çalışma ile bir ölçme tekniği olan YB-InSAR, teorisi ve çalışma prensipleri ile birlikte ele alınmış ve yer değiştirme hareketlerinin takibini yapabilmek üzere dizayn edilmiş IBIS-M isimli YB-InSAR sistemi ile deformasyon izlemenin avantajları ve dezavantajları sunulmuştur.

YB-InSAR tekniği, yılda birkaç milimetreden saatte 1 metreye kadar uzanan bir aralıktaki deformasyonların gözlemlenebilmesi için esnek ve kullanışlı bir yöntem teşkil etmektedir. YB-InSAR deformasyon tahminlerinin hassasiyeti milimetre altı veya birkaç milimetre

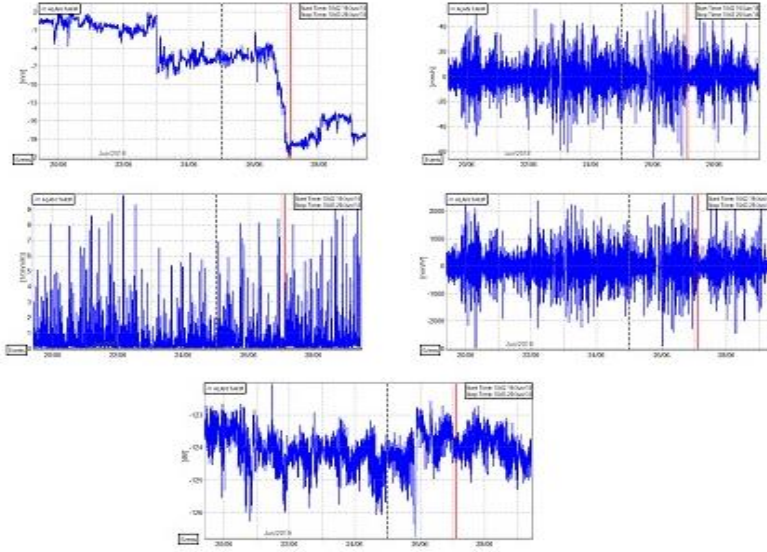
seviyesindedir. Bu hassasiyetler hedefin özelliklerine, sensörün hedefe ve referans noktasına uzaklığına bağlıdır.

Bu tez çalışmasında gözlem tarihlerimiz ve geçmiş tarihli kayıtlı veriler içinde heyelan gibi anlamlı bir yer değiştirme tespit edilememiştir. Ancak takip alanı ve takip noktası olarak tanımladığımız bölgelerdeki atmosferik koşullara ya da şev basamağı üzerinden geçen araçların oluşturduğu minimal etkiye bağlı olarak oluşan parazit hareketlere ait yer değiştirme, hız, ivmelenme, güç ve hızın tersi grafikleri ile Bölüm 5.4’de ayrıntılı olarak sunulmuştur (Şekil 6.1 ve Şekil 6.2).



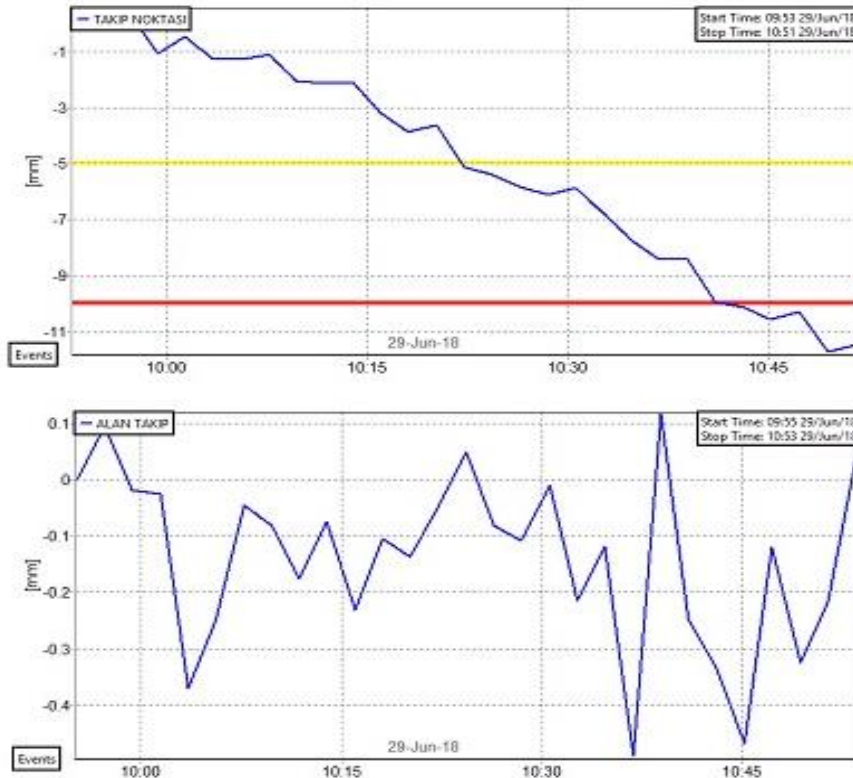
**Şekil 6.1** Takip noktasına ait yer değiştirme, hız, ivmelenme, hızın tersi ve güç grafikleri.





**Şekil 6.2** Takip alanına ait yer değiştirme, hız, ivmelenme, hızın tersi ve güç grafikleri.

Parazit hareketlerin yaptığı kümülatif harekete göre erken uyarı sistemin nasıl çalıştığı, sarı ve kırmızı alarm seviyelerinin ne şekilde oluştuğu da Bölüm 5.4’de sunulmuştur (Şekil 6.3).



**Şekil 6.3** Takip alanın ve noktasının kümülatif yer değiştirmesi ve erken uyarı seviyeleri.

Bu sistem acil durumlarda operasyonel gözleme aracı olarak da kullanılabilir. Tehlikeli olabilecek yer değiştirmelerin gözlemlenmesi gerekebileceğinden ekipmanların hedefe uzak bir alana kurulabiliyor olması önemli bir avantajdır.

YB-InSAR deformasyon gözleme süreci yüksek ölçüde otomatikleştirilebilir. Ancak bu sistemin bir kullanıcı tarafından sürekli takip edilmesi gerekir. Sistem kullanıcısının heyelan veya hareket oluşması durumunda nerede, ne şekilde ve ne büyüklükte oluştuğu bilgisini en kısa sürede ilgililere bildirmesi koordinasyonu sağlaması gerekmektedir.

Bu tekniğin uygulanabilirliği etkileyen birkaç unsur bulunmaktadır. Deformasyon gözlemi yapılacak alanın konumları YB-InSAR sisteminin doğrusal gözleme özelliğinden dolayı sınırlıdır. Örneğin tamamen düz olan alanlarda dikey yer değiştirme gözlemi yapılacaksa bu tekniğin kullanımı oldukça kısıtlı olacaktır. Bu sorunun giderilebilmesine yönelik cihaz ile birlikte aynı eş zaman aralığında düşey yönde tarama yapan ikinci bir cihazın olması ve iki cihazın verilerinin birbirleri ile entegre edilmesi ile yatay konum bilgilerine ilaveten düşey konum bilgisine de ulaşılabileceği düşünülmektedir. Bu sayede sistemin sadece faz farkı hesaplayarak pikseller arasındaki yer değiştirmeyi hesaplamasının yanı sıra aynı zamanda lazer tarayıcı ya da elektronik konum (x,y,z) ölçer gibi çalıştırılabileceği de düşünülmektedir. Bu yaklaşımı destekleyici bir çalışmada, yer lazer tarayıcılarının YB-InSAR görüntülerinin odaklanabileceği doğru bir dijital model oluşturmak için kullanılabileceği ve YB-InSAR tarafından elde edilen verilerin, yer lazer tarayıcıları ölçümlerine de bağlanabileceği ortaya koyulmuştur (Ferrigno et al. 2007).

Atmosferik faz düzeltmesinin doğru yapılabilmesi için deformasyon alanı civarında güvenilir, sabit noktalar olması gerekir. Sabit noktalar olmasa dahi bu sistemin sabit dağılım yaklaşımı ile atmosferik düzeltme yapabilme yeteneğinin olduğu bilinmektedir. Ancak bu çalışma da atmosferik düzeltmeler yapılmamıştır. Şev aynasında anlamlı bir hareket olmamasına rağmen atmosferik etkilere bağlı olduğu düşünülen parazit hareketlerin oluştuğu gözlemlenmiş ve bu parazit hareketlere ait yer değiştirme, hız, ivmelenme, güç ve hızın tersi grafikleri gösterilmiştir. Bu nedenler ile atmosferik faz düzeltmesinin sağlıklı şekilde yapılamaması durumunda bu tekniğin deformasyon gözleme yeteneği de önemli ölçüde zayıflamış olur. Diğer bir olumsuz etken ise belirli bir hızın üzerindeki hareketlerin yüksek duyarlılıkla tespit edilememesidir. Bu nedenle ani gelişen hareketlerde sistemin etkin bir kullanılamayacağı düşünülmektedir.

Sonuç olarak, bu tez çalışmasında kullanılan YB-InSAR tekniğinin, radar ile şev yüzeyi arasında bir görüntüleme geometrisi dizayn ederek, heyelan oluşabilecek alanlarda yer değişimlerini yüksek doğrulukta ve çözünürlükte belirleyebileceği ortaya konmuştur.





## KAYNAKLAR

- Barla G, Antolini F, Barla M, Mensi E and Piovano G** (2011) Groundbased radar interferometry (GBInSAR) for the monitoring of a deep-seated landslide (Aosta Valley, NW Italian Alps). In *Proceedings of the 8th international symposium on field measurement in geomechanics—FMGM* 20 pp.
- Deguchi T, Kutoğlu H Ş, Akçın H, Kemaldere H, Oruç M, Karakış S ve Görmüş S K,** (2007) “İnterforemetrik SAR ve GPS Kombinasyonu ile Madencilikten Kaynaklanan Yüzey Deformasyonlarının Belirlenmesi” 11. Türkiye Harita Bilimsel ve Teknik Kurultayı, 2-6 Nisan 2007 Ankara, 9 s.
- Ferrigno F, Gigli G, Fanti R and Casagli N** (2015) GB-InSAR Monitoring and Observational Method For Landslide Emergency Management: The Montaguto Earthflow (AV, Italy). *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.*, 3: 7247-7273.
- Görken M** (2017) Sentinel-1 Yapay Açıklıklı Radar Uydusunun Topoğrafik Tasvir Potansiyeli Analizi. *Yüksek Lisans Tezi*, Bülent Ecevit Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Geomatik Mühendisliği Anabilim Dalı, Zonguldak, 71 s.
- Hoek E and Bray J W**(1991) Kaya Şev Stabilitesi, TMMOB Maden Mühendisleri Odası Yayını, 325 s.
- IBIS M Training Material** (2013) “A Synthetic Aperture Radar For Slope Movement Monitoring in Open-Pit Mines” 247 p.
- IBIS Guardian 03.00** (2014) “User Manual” 150 pp.
- IBIS Controller 04.00** (2014) “User Manual” 60 pp.
- Kemaldere H** (2011) Şehir Altı Madenciliği Ve Tasman Etkilerinin diferansiyel Insar Tekniği İle Belirlenmesi: Zonguldak Metropolitan Alanı Örneği. *Doktora Tezi*, Zonguldak Karaelmas Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Jeodezi ve Fotogrametri Mühendisliği Anabilim Dalı, Zonguldak, 133 s.
- KGM** (2015) Heyelan Tanımlama ve Veri Oluşturma Kılavuzu 42 s.
- Köksal E** (2011) Yüzey Deformasyonlarının Diferansiyel InSAR Tekniği İle Belirlenmesi: İsmetpaşa Örneği. *Doktora Tezi*, Zonguldak Karaelmas Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Jeodezi ve Fotogrametri Mühendisliği Anabilim Dalı, Zonguldak, 135 s.
- Kristensen L, Rivolta C, Dehls J and Blikra L H** (2013) “GB-InSAR Measurement At The Åknes Rockslide, Norway” *Italian Journal of Engineering Geology and Environment - Book Series*, 6: 340-348.

## KAYNAKLAR (devam ediyor)

- Kutoğlu H Ő, ŐzŐlçer İ H ve Kemaldere H** (2014) Radar İnterferometri Tekniği İle Kıyı Yapılarındaki Deformasyonların İzlenmesi. 7. *Ulusal Mühendislik Őlçmeleri Sempozyumu*, 15-17 Ekim 2014, Çorum, Türkiye, 5 s.
- Kutoğlu H Ő, Akçın H, Kemaldere H ve Görmüş S K** (2013) Zonguldak Kent Merkezi ve Çevresinin Yüzey Deformasyonlarının Diferansiyel Radar İnterferometri Tekniği İle İzlenmesi. 14. *Harita Bilimsel ve Teknik Kurultayı*, 14-17 Mayıs 2013, Ankara, Türkiye, 9 s.
- Lingua A, Piatti D and Rinaudo F** (2008) Remote Monitoring of a Landslide Using an Integration Of GB-InSAR and Lidar Techniques. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*. Vol. XXXVII: Part B1. 361-366
- Mao W and Chang W** (2015) Deformation monitoring by ground-based SAR interferometry (GB-InSAR): a field test in dam. *Advances in Information Sciences and Service Sciences (AISS)* 7 (2): 133-140.
- MTA (Maden Tetkik Arama)** (2007) “*Afşin – Elbistan Kışlaköy Açık Kömür İşletmesi Şev Stabilitesi Çalışması*” 228 s.
- Öz E** (2007) Şev Stabilitesi ve Mühendislik Uygulamaları. *Yüksek Lisans Tezi*, Erciyes Üniversitesi, Fen Bilimleri Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Kayseri, 154 s.
- Özgenoğlu A** (1986) Madencilikte Şev Duraylılık Analizi Yaklaşımları. *Madencilik Dergisi*, Sayı: 25/1, Mart: 1986, 22 s.
- Sarıdede M** (2011) Pozantı Otoyolu Kemerhisar-Eminlik Kesiminde (km:312+000-327+000) Açılan Şevlerin Duraylılık Değerlendirmesi, *Yüksek Lisans Tezi*, Niğe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Jeoloji Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Niğe, 105 s.
- Saverio R, Scott K D and Lucio D M** (2015) Reliability of GB-InSAR monitoring in Ingelsberg landslide area (Bad Hofgastein, Austria), *Geotechnical Safety and Risk V.*, 803-807
- Sefercik U** (2014) Uzaktan Algılama Ders Notları. Bülent Ecevit Üniversitesi, 2014-2015 Eğitim Öğretim Yılı, Güz Dönemi, Lisans Dersi, Zonguldak, Türkiye, 20 s.
- Sefercik U** (2015) Mikrodalga Algılama Sistemleri Ders Notları. BEÜ 2014-2015 Eğitim Öğretim Yılı Bahar Dönemi Lisans Dersi, Zonguldak, Türkiye, 15 s.
- Şekercioğlu E** (2007) Yapıların Projelendirilmesinde Mühendislik Jeolojisi, Jeoloji Mühendisleri Odası Yayınları.
- Topal T** (2013) Şev Stabilitesi İnceleme ve Analiz Yöntemleri, Çevre ve Şehircilik Bakanlığı Geoteknik Eğitim Programı Notları, Antalya, 12 Mart 2013, 126 s.

## **KAYNAKLAR (devam ediyor)**

**URL-1** <[http://www.maden.org.tr/resimler/ekler/3c5b2affa12eed8\\_ek.pdf](http://www.maden.org.tr/resimler/ekler/3c5b2affa12eed8_ek.pdf)>, Ziyaret tarihi: 10.06.2018.

**URL-2** <<http://www.etimaden.gov.tr/emet-37s.htm>>, Ziyaret tarihi: 08.06.2018

**URL-3** <<http://www.csgb.gov.tr/media/2012/sedatdumlu.pdf>>, Ziyaret tarihi: 08.06.2018.







## ÖZGEÇMİŞ

Sabit Nazım AKAR 1980 yılında Çorum'un Kargı ilçesinde doğdu. İlk, orta ve lise öğrenimini Ankara'nın sırasıyla Yenimahalle, Çankaya ve Sincan ilçelerinde tamamladı. Lisans eğitimini 1998-2002 yılları arasında Mülga Zonguldak Karaelmas Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Jeodezi ve Fotogrametri Mühendisliği bölümünde tamamladı. Akabinde başladığı çalışma hayatında 1 yılı Türkiye'de 2 yılı S.Arabistan'ta olmak üzere özel sektörde 3 yıl çalıştı. 2005 yılında özel sektördeki çalışma hayatı noktayıp, İktisadi Devlet Teşekkülü olan Elektrik Üretim A.Ş. Genel Müdürlüğüne Jeodezi ve Fotogrametri Mühendisi olarak atandı. Halen bu Kuruluşta çalışma hayatını sürdürmektedir. Ayrıca 2015 yılında başladığı Bülent Ecevit Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Geomatik Mühendisliği Anabilim dalında yüksek lisans eğitimine devam etmektedir.

### **ADRES BİLGİLERİ:**

Adres : Huzur Mah. 1112. Cad.  
No: 18/12 Çankaya / ANKARA  
Tel : (+90) 532 468 58 39  
E-posta : [nazimakar@hotmail.com](mailto:nazimakar@hotmail.com)