KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

JEOLOJİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

UZAKTAN ALGILAMA VE CBS YÖNTEMLERİ İLE GÖLCÜK ÇEVRESİNDEKİ HEYELANLARIN İNCELENMESİ

ALİ YAĞIZEL

KOCAELİ 2020

KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

JEOLOJİ MÜHENDİSLİĞİ
ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

UZAKTAN ALGILAMA VE CBS YÖNTEMLERİ İLE GÖLCÜK ÇEVRESİNDEKİ HEYELANLARIN İNCELENMESİ

ALİ YAĞIZEL

Dr. Öğretim Üyesi Aziz ÖZYAVAŞ
Danışman, Kocaeli Üniv. .....

Dr. Öğretim Üyesi Şerafeddin ÇAKIR
Jüri Üyesi, Kocaeli Üniv. .....

Dr. Öğretim Üyesi Muzaffer ÖZBURAN
Jüri Üyesi, KDPÜ .....

Tezin Savunulduğu Tarih: 25.08.2020

ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR

Dünyanın oluşumundan günümüze kadar canlıların yaşamını etkilemiş olan doğal afetler, gelecekte de etkilemeye devam edecektir. Günümüzde insanların en fazla etkilendiği doğal afet türlerinden biri de heyelanlardır. Gelişim sürecini yeni buluş ve teknolojiler ışığında devam ettiren bilim doğal afet türlerini çalışabilir ve etkilerini en aza indirebilir bir yeteneğe kavuşmuştur. Yapılan bu çalışmada Kocaeli ili Gölcük İlçesi'nin güneyindeki heyelanlar uzaktan algılama veri ve yöntemleri ile birlikte Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) kullanılarak gözlemlenip, bu heyelanları tetikleyen unsurlar belirlenmiştir. Bu çalışma iki bölümden oluşmaktadır. İlk olarak, çalışma alanında bulunan mevcut heyelan alanlarını etkileyen yapısal süreksizlikler radar görüntüsü kullanılarak tespit edilmiş ve bu süreksizliklerin heyelan alanları ile ilişkisine bakılmıştır. İkinci olarak, Sayısal Yükseklik Modeli'nden (SYM) türetilen kontur haritaları ile çalışma bölgesindeki heyelan alanları tespit edilmiştir. Bu çalışmada kullanılan veri ve teknikler heyelanların çalışılmasında hızlı ve güvenilir sonuçlar vermiştir.

Yüksek lisans eğitimim sürecinde ve tez yazım aşamasının tümünde yanımda olan ve benden desteğini ve kıymetli zamanını esirgemeyen saygıdeğer danışman hocam Dr. Öğr. Üyesi Aziz ÖZYAVAŞ' a tezimin geliştirilmesinde yardımcı olan jüri üyeleri Dr. Öğr. Üyesi Şerafeddin ÇAKIR ve Dr. Öğr. Üyesi Muzaffer ÖZBURAN ve diğer bölüm hocalarıma; bu süreç içerisinde desteklerini benden esirgemeyen aileme teşekkürü bir borç bilirim.

Ağustos - 2020 Ali YAĞIZEL

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR i
İÇİNDEKİLER ii
ŞEKİLLER DİZİNİ iv
TABLOLAR DİZİNİ vii
ÖZET ix
ABSTRACT x
GİRİŞ 1
1. GENEL BİLGİLER 3
1.1. Çalışmanın Amacı ve Kullanılan Yöntemler 3
1.2. Çalışma Alanının Konumu 3
1.2.1. Çalışma alanının ulaşımı, morfolojisi ve iklimi 3
1.3. Daha Önce Yapılmış Olan Bazı Çalışmalar 4
2. JEOLOJİ 8
2.1. Daha Önce Yapılmış Olan Bazı Jeolojik Çalışmalar 8
2.2. Bölgesel Jeoloji 10
2.3. Stratigrafi 11
2.3.1. Pamukova metamorfikleri (Ppm) 11
2.3.2. İznik metamorfikleri (Pim) 11
2.3.3. Bakacak formasyonu (kb) 12
2.3.4. İncebel formasyonu (pni) 12
2.3.5. Sarısu formasyonu (es) 13
2.3.6. Arslanbey formasyonu (pla) 13
2.3.7. Alüvyon (Qal) 13
3. TEKTONİZMA 15
3.1. Türkiye'nin Neotektoniği 15
3.2. Marmara Bölgesinin Depremselliği 15
4. KÜTLE HAREKETLERİ 18
4.1. Kütle Hareketlerinin Tanımı 18
4.2. Kütle Hareketlerinin Sınıflandırılması 18
4.2.1. Düşme 19
4.2.2. Devrilme 20
4.2.3. Kayma (heyelan) 21
4.2.3.1. Dairesel (dönel) kaymalar 22
4.2.3.2. Ötelenmeli kaymalar 22
4.2.4. Yanal yayılma 23
4.2.5. Akma 24
4.2.6. Karmaşık kaymalar 26
4.3. Kütle Hareketlerinin Nedenleri 26
4.4. Kütle Hareketlerinin Etkileri ve Sonuçları 27
5. UZAKTAN ALGILAMA 29
5.1. Uzaktan Algılamanın Tarihçesi 29
5.2. Uzaktan Algılamada Temel Tanımlar 30
5.3. Elektromanyetik Enerji ve Elektromanyetik Spektrum 32

5.3.1. Elektromanyetik enerji ve atmosfer etkileşimi 36
5.3.2. Elektromanyetik enerji ve yeryüzü objeleri ile etkileşimi.....37
5.4. Uzaktan Algılama İçin Üç Model ve Algılayıcı Gereçler 37
5.4.1. Tarayıcı gereçler.....39
5.5. Verilerin Görsel Olarak İncelenmesi ve Yorumlanması.....40
5.6. Görüntülerin Sayısal İncelenmesi ve Yorumlanması 41
5.7. Uzaktan Algılamanın Coğrafi Bilgi Sistemleri ile İlişkisi.....41
6. TEZDE YAPILAN ÇALIŞMALAR 43
6.1. Çalışma Alanının Heyelan Envanter Haritası 43
6.2. Uzaktan Algılama ve Coğrafi Bilgi Sistemleri Çalışmaları.....44
6.3. Alos-Palsar Verisi Kullanarak Çizgiselliklerin Tespiti 45
6.3.1. Alos-palsar verisi 45
6.3.2. Alos-palsar verisinin ön işlem aşaması 45
6.3.3. Alos-palsar verisinin görüntü işlem aşaması 48
6.3.4. Alos-palsar verisinin görüntü işlenmesi sonucunda elde edilen bulgular.....49
6.4. Alos-Palsar Dem Verisi Kullanılarak Oluşturulan Kontur Haritaları ile Mevcut Heyelan Alanlarının Gözlenmesi ve Heyelan Oluşturabilecek Alanlarının Belirlenmesi 57
7. SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....67
KAYNAKLAR.....69
KİŞİSEL YAYIN VE ESERLER.....73
ÖZGEÇMİŞ.....74

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.1. Çalışma alanı yer bulduru haritası. 4
Şekil 2.1. Çalışma alanının genelleştirilmiş jeoloji haritası 14
Şekil 2.2. Çalışma alanı ve civarının stratigrafik kesiti 14
Şekil 3.1. Çalışma alanı ve çevresindeki fayların MTA tarafından hazırlanmış diri fay haritasının dijitalleştirilmesi sonucu oluşturulmuş haritası 16
Şekil 3.2. 1907-2020 yılları arasında çalışma alanı ve çevresinde meydana gelmiş olan magnitüdü 4'den büyük depremler 17
Şekil 4.1. Kaya düşmesinin şematik gösterimi 20
Şekil 4.2. Bir devrilme olayının şematik gösterimi 21
Şekil 4.3. Dairesel (dönel) kayma tipi kütle hareketinin şematik gösterimi 22
Şekil 4.4. Ötelenmeli kaymaların şematik gösterimi 23
Şekil 4.5. Yanal yayılmanın şematik gösterimi 24
Şekil 4.6. Toprak akmasının şematik gösterimi 25
Şekil 4.7. Kaya akmasının şematik gösterimi 26
Şekil 5.1. Uzaktan algılama biliminin genel bir gösterim işlemi 30
Şekil 5.2. Yeryüzündeki materyallerin uzaktan algılama yöntemi ile işlenmesinin şematik gösterimi 32
Şekil 5.3. Elektromanyetik radyasyonun elektrik ve manyetik alan bileşenleri. Bileşenler hem birbirlerine hem de yayılma doğrultularına diktir 33
Şekil 5.4. Elektromanyetik spektrumun ana bölümlerinin şematik gösterimi. 34
Şekil 5.5. Renklerin şematik gösterimi 36
Şekil 5.6. Yansıyan güneş radyasyonunu kullanarak yapılan uzaktan algılama çalışması 38
Şekil 5.7. Dünya yüzeyinden yayılan radyasyonu kullanarak yapılan uzaktan algılama çalışması 38
Şekil 5.8. Kendi enerjisini kullanarak yapılan uzaktan algılama çalışması 39
Şekil 6.1. Çalışma alanının kütle hareketlerini gösteren harita, MTA tarafından hazırlanmış olan heyelan envanter haritasının dijitalleştirilmesi sonucu oluşturulmuştur 44
Şekil 6.2. Çalışma alanının filtre uygulanmamış ham radar görüntüsü. 46
Şekil 6.3. Çalışma alanının uygulanabilir lokal sigma filtre işlemi uygulanarak oluşturulmuş radar görüntüsü. 47
Şekil 6.4. a) PALSAR seviye 1.5 verisinin filtre uygulanmamış yakınlaştırılmış görüntüsü ve b) PALSAR seviye 1.5 verisinin uygulanabilir lokal sigma filtre işleminin uygulanmış yakınlaştırılmış görüntüsü. 48
Şekil 6.5. K-G (0°) yön filtresi uygulanmış PALSAR görüntüsü (Çizgisellikler yorumlanmamıştır). 50
Şekil 6.6. K-G (0°) yön filtresi uygulanarak belirlenen çizgisellikleri gösteren harita 50

Şekil 6.7. D-B (90°) yön filtresi uygulanmış PALSAR görüntüsü (Çizgisellikler yorumlanmamıştır). 51
Şekil 6.8. D-B (90°) yön filtresi yapılarak belirlenen çizgisellikleri gösteren harita 51
Şekil 6.9. KD-GB (45°) yön filtresi uygulanmış PALSAR görüntüsü (Çizgisellikler yorumlanmamıştır). 52
Şekil 6.10. KD-GB (45°) yön filtresi uygulanarak belirlenen çizgisellikleri gösteren harita 52
Şekil 6.11. KB-GD (135°) yön filtresi uygulanmış PALSAR görüntüsü (Çizgisellikler yorumlanmamıştır). 53
Şekil 6.12. KB-GD (135°) yön filtresi uygulanarak belirlenen çizgisellikleri gösteren harita 53
Şekil 6.13. Çalışma alanında belirlenen çizgisellikler ile diri fay haritası arasındaki ilişkiyi gösteren harita. 54
Şekil 6.14. Çalışma alanını kapsayan PALSAR DEM verisi üzerine yerleştirilmiş olan LANDSAT-8 doğal-renk kompozit görüntüsü (432-KYM) ve Radar verisi ile tespiti yapılmış olan çizgisellikleri (yeşil) gösteren harita.....55
Şekil 6.15. Çalışma sahasını kapsayan PALSAR DEM verisi üzerine yerleştirilmiş LANDSAT-8 doğal renk kompozit görüntüsü (432-KYM). Heyelanlar, diri faylar ve PALSAR verisinin işlenmesi sonrası elde edilen çizgisellikler (yeşil) arasındaki ilişkiyi gösteren harita.....56
Şekil 6.16. a) Heyelan tanımlama işleminde kullanılan topoğrafik anomalileri gösteren harita b) toprak akışını veya yanal yayılmayı gösteren harita c) Basit toprak akışları için yapılan tanımlamalar d) Dönel yuvarlanmalar gösteren harita 57
Şekil 6.17. a) Bölgesel topoğrafik harita ile PALSAR DEM verisi kullanılarak üretilen 10 m kontur aralığına sahip harita arasındaki ilişki ve b) Bölgesel topoğrafik harita ve bölgede bulunan heyelan alanları ile PALSAR DEM verisi kullanılarak üretilen 10 m kontur aralığına sahip haritanın arasındaki ilişki.....58
Şekil 6.18. a) PALSAR DEM verisi kullanılarak üretilen 10 m kontur aralığına sahip 1. harita b) PALSAR DEM verisi kullanılarak üretilen 20 m kontur aralığına sahip 1. harita. 59
Şekil 6.19. a) PALSAR DEM verisi kullanılarak üretilen 10 m kontur aralığına sahip 2. harita b) PALSAR DEM verisi kullanılarak üretilen 20 m kontur aralığına sahip 2. harita. 60
Şekil 6.20. a) PALSAR DEM verisi kullanılarak üretilen 10 m kontur aralığına sahip 3. harita b) PALSAR DEM verisi kullanılarak üretilen 20 m kontur aralığına sahip 3. harita. 60
Şekil 6.21. a) PALSAR DEM verisi kullanılarak üretilen 10 m kontur aralığına sahip 4. harita b) PALSAR DEM verisi kullanılarak üretilen 20 m kontur aralığına sahip 4. harita. 61
Şekil 6.22. a) PALSAR DEM verisi kullanılarak üretilen 10 m kontur aralığına sahip 5. harita b) PALSAR DEM verisi kullanılarak üretilen 20 m kontur aralığına sahip 5. harita. 61

Şekil 6.23. a) PALSAR DEM verisi kullanılarak üretilen 10 m kontur aralığına sahip 6. harita b) PALSAR DEM verisi kullanılarak üretilen 20 m kontur aralığına sahip 6. harita. 62
Şekil 6.24. a) PALSAR DEM verisi kullanılarak üretilen 10 m kontur aralığına sahip 7. harita b) PALSAR DEM verisi kullanılarak üretilen 20 m kontur aralığına sahip 7. harita. 62
Şekil 6.25. a) PALSAR DEM verisi kullanılarak üretilen 10 m kontur aralığına sahip 8. harita b) PALSAR DEM verisi kullanılarak üretilen 20 m kontur aralığına sahip 8. harita. 63
Şekil 6.26. a) PALSAR DEM verisi kullanılarak üretilen 10 m kontur aralığına sahip 9. harita b) PALSAR DEM verisi kullanılarak üretilen 20 m kontur aralığına sahip 9. harita. 63
Şekil 6.27. a) PALSAR DEM verisi kullanılarak üretilen 10 m kontur aralığına sahip 10. harita b) PALSAR DEM verisi kullanılarak üretilen 20 m kontur aralığına sahip 10. harita.....64
Şekil 6.28. a) PALSAR DEM verisi kullanılarak üretilen 10 m kontur aralığına sahip 11. harita b) PALSAR DEM verisi kullanılarak üretilen 20 m kontur aralığına sahip 11. harita.....64
Şekil 6.29. Çalışma alanını kapsayan PALSAR DEM verisi üzerine yerleştirilmiş olan LANDSAT-8 doğal-renk kompozit görüntüsü (432-KYM) ve PALSAR DEM verisi kullanılarak oluşturulan 10 m ve 20 m kontur aralığına sahip haritalar ile tespiti yapılan mevcut heyelan alanları ve potansiyel heyelan alanlarını (açık mavi) gösteren harita. 65
Şekil 6.30. Çalışma sahasını kapsayan PALSAR DEM verisi üzerine yerleştirilmiş olan LANDSAT-8 doğal-renk kompozit görüntüsü (432-KYM). Heyelanlar, diri faylar, PALSAR verisinin işlenmesi sonucu elde edilen çizgisellikler (yeşil) ve PALSAR DEM verisi kullanılarak oluşturulan 10 m ve 20 m haritalar ile tespiti yapılan mevcut heyelan alanları ve potansiyel heyelan alanlarının ilişkisini (açık mavi) gösteren harita. 66

TABLOLAR DİZİNİ

Tablo 4.1. Kütle hareketlerinin genel sınıflaması.....19
Tablo 5.1. Elektromanyetik spektrumun başlıca bölümleri 35

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

es : Sarısu formasyonu
kb : Bakacak formasyonu
Pim : İznik metamorfikleri
pla : Arslanbey formasyonu
pni : İncebel formasyonu
Ppm : Pamukova metamorfikleri
Qal : Alüvyon

Kısaltmalar

AFAD : Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı
ALOS : Advanced Land Observing Satellite (Gelişmiş Kara Gözlem Uydusu)
ASTER : Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer (Gelişmiş Uzay Termal Emisyon ve Yansıma Radyometresi)
CBS : Coğrafi Bilgi Sistemleri
D-B : Doğu-Batı
DEM : Sayısal Yükseklik Modeli
GPS : Global Postioning System (Küresel Konumlama Sistemi)
KAF : Kuzey Anadolu Fayı
K-G : Kuzey-Güney
KB-GD : Kuzeybatı-Güneydoğu
KD-GB : Kuzeydoğu-Güneybatı
KYM : Kırmız, Yeşil ve Mavi
MTA : Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü
PALSAR : Aşamalı Donanımlı L-Bant Tipindeki Sentetik Açıklıklı Radar
RADAR : Radio Detection and Ranging (Işınlarla Algılama ve Uzaklık Ölçme)
SPOT : Satellite Probatoire d'Observation de la Tere (Deneysel Yer Gözlem Uydusu)

UZAKTAN ALGILAMA VE CBS YÖNTEMLERİ İLE GÖLCÜK ÇEVRESİNDEKİ HEYELANLARIN İNCELENMESİ

ÖZET

Doğal afet türlerinden olan heyelanlar mal zararı, yaralanma veya ölüme yol açmaktadır. Bu olumsuz durumları ortadan kaldırmak veya hafifletmek için heyelanları tetikleyen unsurlar ve potansiyel heyelan alanlarının detaylı olarak çalışılması gerekmektedir. Çalışma alanı dünyanın en iyi bilinen ve aktif doğrultu-atımlı faylarından birisi olan Kuzey Anadolu Fay (KAF) Zonu'nun yaklaşık 5 km güneyinde yer almaktadır. Bu nedenle çalışma alanında meydana gelen heyelanların en önemli tetikleyici unsurlarından birinin depremler olduğu düşünülmektedir. Bu çalışmada heyelanların sık olarak meydana geldiği Kocaeli ili Gölcük İlçesi'nin güneyindeki çizgisellikler ile birlikte çalışma sahasının kontur haritası ileri yer gözlem uydusu (ALOS) ile taşınan aşamalı donanımlı L-bant tipindeki sentetik açıklıklı radar (PALSAR) seviye 1.5 görüntüsü kullanılarak oluşturulmuştur. Ham RADAR verisine uygulanabilir lokal sigma filtre işlemi uygulanmış ve görüntü üzerinde bulunan parazitler ortadan kaldırılmıştır. Parazitlerden arındırılan görüntüye yönlü filtreleme işlemi yapılarak bölgede bulunan ve daha önce tespit edilmemiş çizgisellikler belirlenmiştir. Çalışma alanının PALSAR DEM verisinden elde edilen 10 m ve 20 m kontur haritaları yardımıyla çalışma sahasındaki heyelan alanları tespit edilmiştir. Yapılan çalışma ile bölgedeki heyelanların ana tetikleyici etkenlerden birinin kırık ve kırık sistemleri olabileceği görülmüştür. Bu çalışmada kullanılan radar verisi ve uyguladığımız metot heyelanların incelenmesinde hızlı ve doğru sonuçlar sağlamıştır.

Anahtar Kelimeler: Çizgisellik, Heyelan, Kocaeli, Kontur Haritaları, PALSAR.

ANALYSING OF LANDSLIDES AROUND GOLCUK WITH REMOTE SENSING AND CBS METHODS

ABSTRACT

Landslides, one of the significant natural disasters, casue property damage, injury or death of people. In order to eliminate or alleviate the negative effects of landslides, the factors that trigger landslides and potential lanslide areas should be studied in detail. The study area is located approximately 5 km south of the active North Anatolian Fault (NAF) Zone, which is well-known strike-slip faults in the world. Therefore, earthquakes have been considered as one of the most important trigerring factors for landslides in the study area. In this study, the lineaments to the South of Gölcük district of Kocaeli province where landslides occur frequently together with the contour map of the study area were constructed using a L-band type syntehtic aperture radar (PALSAR) level 1.5 image carried by the advanced land observing satellite (ALOS). The speckles of the raw PALSAR image were removed by applying the Local sigma filter to it. By applying a directional filtering to the image that is free from speckles, the previously undetected lineations in the study area were determined. With the help of the 10 meter and 20 meter contour maps obtained from PALSAR DEM data, landslide areas in the study area were located. In this study, it was demonstrated that one of the main triggering factors of landslides in the region is probably the fractures or the fracture systems. The radar data utilized in this work and the method we applied provided fast and accurate results in the investigation of landslides.

Key Words: Lineament, Landslide, Kocaeli, Contour Maps, PALSAR.

GİRİŞ

Ülkemizin bulunduğu coğrafik konum, jeolojik ve topoğrafik yapısı ve iklim koşullarından dolayı doğal afet çeşitlerinden olan kütle hareketleri sık sık meydana gelmektedir. Kütle hareketi terimi jeomorfolojik kökenlidir (Cornforth, 2005). Kütle hareketi ve heyelan zemin ve kayada gözlenen hareketleri ifade etmekle birlikte, kütle hareketleri heyelanları da içine alan daha geniş bir kavramdır. Heyelan doğal kaya, zemin veya yapay dolgu malzemenin doğal yada doğal olmayan koşullar altında eğim yönünde hareketidir (Akbulut, 2011).

Dünya genelinde meydana gelen kütle hareketleri can ve mal kayıpları, ekonomik zararlar ve doğal çevrenin bozulması gibi birçok olumsuz durumun oluşmasına neden olmaktadır. Doğal afetler kapsamında yer alan kütle hareketlerinin neden olduğu bu zararların en aza indirilmesi, kütle hareketlerinin analizlerinin yeterli ayrıntıda ve doğru bilgiler ışığında yapılması ile mümkün olacaktır. Çalışma alanının kuzeyinden dünyanın en çok bilinen doğrultu-atımlı faylarından biri olan Kuzey Anadolu Fay (KAF) zonu geçmektedir. KAF'ın Karlıova'dan Mudurnu'ya kadar tek fay izi olarak devam ettiği Mudurnu'nun batısında 3 ana kola ayrıldığı bilinmektedir (Ketin, 1969; Dewey and Şengör, 1979; Barka and Kadinsky-Cade, 1988). Bu kollarda oluşan deformasyonlar sonucunda çok sayıda yıkıcı deprem meydana gelmiştir bunlardan önemli olan iki tanesi 17 Ağustos 1999 Gölcük (Mw 7.4) ve 12 Kasım 1999 Düzce (Mw 7.2) depremleridir. Bu nedenle çalışma alanında meydana gelmiş olan kütle hareketlerinin yoğun olduğu alanların depremselliğine bakılması ve bu bölgelerde bulunan jeolojik çizgiselliklerin (fay ve kırıkların) belirlenmesi önemlidir.

Kütle hareketlerinin meydana gelmesine sebep olan başlıca etkenler jeolojik, jeomorfolojik ve iklim koşullarıdır (Zengince ve Karakaş, 2018). Bu çalışmada kütle hareketlerini etkileyen jeolojik çizgisellikler ve kontur haritalarında kütle hareketlerinin izleri incelenmektedir. Bu işlemleri yaparken uzaktan algılama metotlarından yararlanılmıştır.

Jeolojik çalışmalarda özellikle bitki örtüsünün yoğun olduğu alanlarda jeolojik çizgiselliklerin tespiti ve kütle hareketlerinin neden olduğu konturlardaki bozulmaların tespit edilmesi için uzaktan algılama yöntemi ile elde edilmiş olan ileri gözlem uydusu (ALOS) ile taşınan aşamalı donanımlı L-bant tipindeki sentetik açıklıklı radar (PALSAR) seviye 1.5 uydu görüntüsü kullanılmıştır. RADAR görüntülerinde benekli yapılara benzer parazitler bulunmaktadır ve bunların görüntünün detayını bozduğu bilinmektedir. Görüntüde bulunan parazitler veri üzerinde analiz yapılmasını engellemektedir. Bu nedenle görüntü üzerindeki parazitlerden arındırılmalıdır. Görüntü üzerinde yapılan filtre işlemleri ile bu parazitler ortadan kaldırılabilir. Bu çalışmada da RADAR verisi üzerindeki parazitlerin yok edilebilmesi için uygulanabilir filtre (Adaptive filtering) çeşitlerinden lokal sigma (Local sigma) uygulanabilir filtre seçilmiş ve görüntü üzerindeki parazitlerden kurtarılmıştır. RADAR verisi üzerindeki çizgiselliklerin tespiti için yapılan filtre işlemi sonrasında PALSAR seviye 1.5 verisine yönlü filtreleme (Directional Filtering) tekniği uygulanarak çizgiselliklerin analizinin daha sağlıklı yapılması amaçlanmıştır. Çalışma alanının kontur haritası PALSAR DEM verisi kullanılarak 10 m ve 20 m aralığında oluşturulmuş ve bölgedeki mevcut heyelan alanlarındaki kontur bozulmalarına bakılarak heyelan alanları tespit edilmiştir.

Bu çalışmanın temel amacı, PALSAR görüntüsü kullanılarak, (1) İzmit körfezinin güneyinde bulunan bölgede jeolojik çizgisellikler tespit edilip bunların kütle hareketleri ile olan ilişkilerine bakılmış ve (2) PALSAR seviye 1.5 verisinden oluşturulan dem verisi ile kontur haritaları oluşturularak kütle hareketlerinin oluşturdukları izler incelenmiştir.

1. GENEL BİLGİLER

1.1. Çalışmanın Amacı ve Kullanılan Yöntemler

Bu çalışmada Kocaeli İli Gölcük İlçesi'nin güneyinde (Samanlı Dağları'nın güney yamaçları) RADAR uzaktan algılama görüntüsü ve görüntü işleme metotları kullanılarak jeolojik çizgisel yapılar tespit edilmiş ve bölgenin kontur haritası oluşturulmuştur. Tezin amacı, RADAR verisinin analizi sonucu oluşturulan çizgisellikler ve heyelan alanları arasındaki ilişkiyi incelemektir.

Bu amaç doğrultusunda çalışılacak arazi hakkında sırasıyla şu işlemler yapılmıştır. Çalışma alanını kapsayan RADAR verisi olan PALSAR seviye 1.5 görüntüsü uzaktan algılama programı üzerinde açılmış çizgiselliklerin tespiti ve kontur haritalarının oluşturulması için gerekli çalışmalar yapılmıştır.

İşlenen bu görüntüler CBS programına aktarılarak çizgisellikler çizilmiş ve kontur haritaları oluşturulmuştur. Süreç içerisinde veriler güncel tutulmuş ve birçok kez test edilerek doğruluğu saptanmıştır. Yapılan bu çalışmalarla çalışma alanında bulunan kütle hareketlerinin nedenleri ve potansiyel alanlar tespit edilmeye çalışılmıştır.

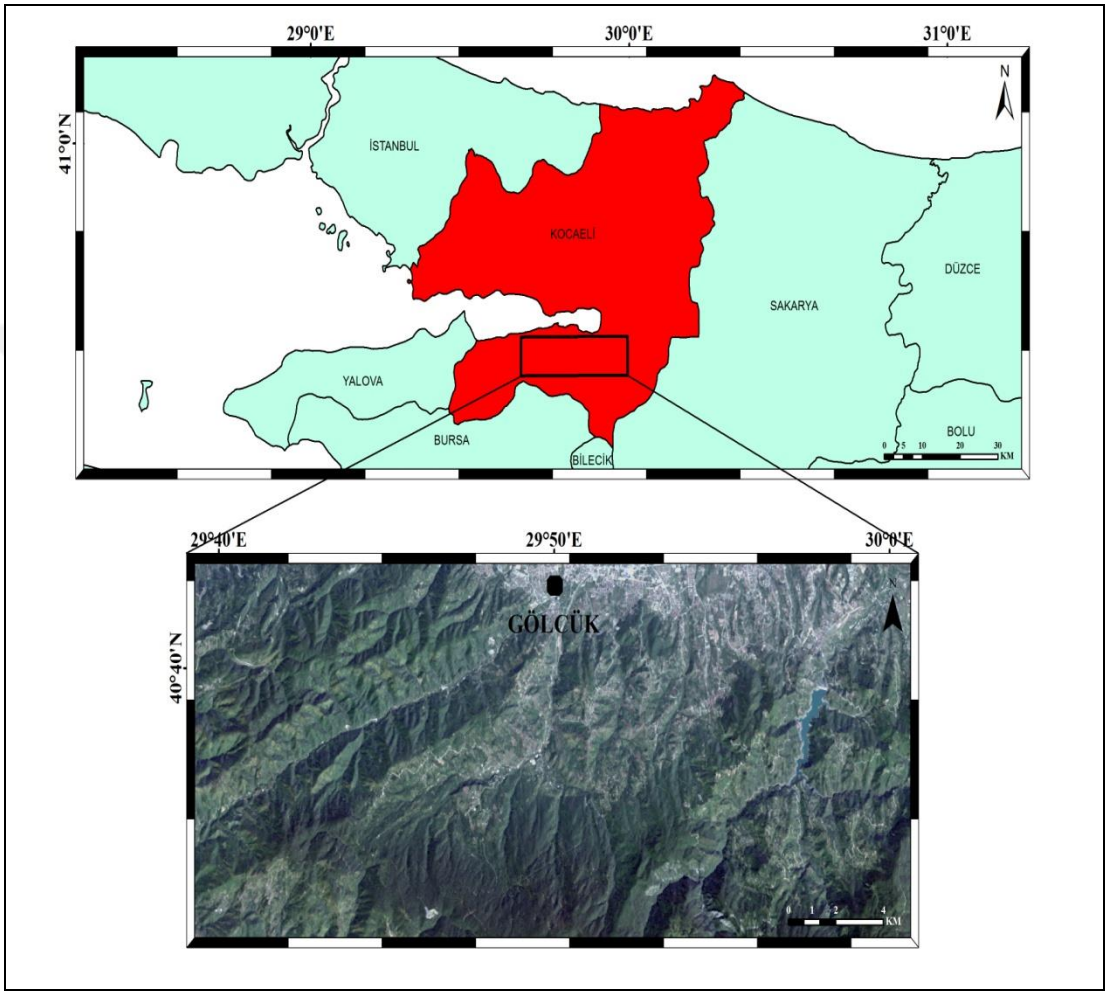
1.2. Çalışma Alanının Konumu

Çalışma alanı Marmara bölgesinde olup 40°62'-40°69' kuzey enlemi ve 29°67'-30°0' doğu boylamları arasında, Samanlı Dağlarının eteklerinde (İzmit körfezinin güneyinde), Gölcük ilçe merkezine 2 km, Kocaeli il merkezine 12 km ve Kuzey Anadolu Fay (KAF) Zonuna 4.5 km uzaklıktadır (Şekil 1.1). Ayrıca 1/25.000'lik standart topoğrafik haritada ise G23c1 ve G23c2 paftaları içerisinde yer almaktadır.

1.2.1. Çalışma alanının ulaşımı, morfolojisi ve iklimi

Çalışma alanında bulunan en önemli ulaşım hattı Bursa-İstanbul karayoludur. Çalışma alanı Gölcük ilçesinin güneyinde kaldığından bu bölgeye ulaşım ana hatta bağlı tali yollar ile sağlanmaktadır. Çalışma alanının kuzey bölgesinde doğu-batı yönlü yayvan bir topoğrafya gözlemlenirken, güney kısmı daha yüksek ve sarp bir

topoğrafyaya sahiptir. Çalışma alanında yüksek rakımlı alanlar orman ile kaplı olup, morfolojinin daha düz olduğu yerler ekili alanlar olarak karşımıza çıkmaktadır. Son olarak, çalışma alanında karasal bir iklim gözlenmekte olup yazları sıcak ve kurak kışları ise yağışlı geçmektedir.



Şekil 1.1. Çalışma alanı yer bulduru haritası.

1.3. Daha Önce Yapılmış Olan Bazı Çalışmalar

Çalışma alanında bulunan heyelanlar ve bunları etkileyen faktörlerin incelenmesi amacıyla yapılan çalışmalar nispeten yetersizdir. Gölcük ve çevresinde sık sık heyelan meydana gelmektedir (Zengince ve Karakaş, 2018) ve bu nedenle bu bölgenin kütle hareketleri açısından detaylı olarak incelemesi gerekmektedir. Bilgimiz dahilinde, daha önce tezde kullanılan yöntemler ile çalışma alanında bulunan heyelanlar çalışılmamıştır. Tezde kullanılan veri ve metodoloji kullanılarak ülkemizin farklı yerlerindeki heyelanların analizinde hızlı ve güvenilir sonuçlar elde

edilebilecektir. Radar verisi birçok araştırmacı tarafından dünyanın farklı yerlerinde yapısal süreksizliklerin incelenmesinde sıkça kullanılmaktadır ve yapılmış olan bazı çalışmalar şöyledir:

Gündoğdu ve diğ. (2015), Eskişehir Fayı üzerindeki yapısal unsurları ALOS PALSAR verisi ve görüntü işleme yöntemleri kullanılarak çalışmışlardır. RADAR görüntüsünde meydana gelen parazitleri ortadan kaldırmak için filtreleme işlemi yapmış ve görüntüdeki detayın arttırılması için kenar belirleme işlemleri uygulamışlardır. Bu yapılan işlemlerden sonrada uydu görüntüsünün üzerindeki çizgisellikleri belirlemeye çalışmışlardır. Ayrıca, çizgiselliklerin tespitini yaparken yapısal, jeolojik ve morfolojik unsurlar dışında diğer çizgisel yapılar dikkate alınmamıştır. Sonuç olarak, çizgiselliklerin tespitinin çalışmanın sonucuna önemli katkı sağladığı belirtilmişlerdir.

Pour ve Hashim (2014), tropikal bir bölgede PALSAR verisi kullanılarak altın mineralizasyonu ile ilişkili yapısal unsurlar ortaya çıkarılmıştır. Yapılan çalışmada tropikal bölgelerde damar tipi altın mineralizasyonu ile ilişkili fayların, eklemlerin ve kırıkların saptanmasında PALSAR uzaktan algılama verisinin kullanılmasının önemli avantajlarını görmüştür. Çalışma alanında altın mineralizasyonunu kontrol eden kırık, çatlak ve eklemler PALSAR seviye 1.5 verisi kullanarak tespit etmişlerdir.

Pour ve Hashim (2015), Malezya merkez altın kuşağında Bentong-Raub Sütur bölgesi boyunca altın mineralizasyonu ile alakalı yapısal unsur verilerini toplayabilmek için PALSAR verisinden yararlanılmıştır. Yapmış oldukları çalışma sonucunda tropik kuşaklarda meydana gelen mineralleşme ile ilgili bölgesel yapısal elemanların haritalanmasında PALSAR uydu görüntüsünün en uygun verilerden olduğu sonucuna varmışlardır.

Ahmed ve Rogers (2014), ASTER DEM verilerinden üretilen yamaç topoğrafik haritalama tekniğinin 500 m'den daha büyük eski heyelanların özelliklerinin belirlenmesinde faydalı olduğu sonucuna varmıştır. Topoğrafik haritalama protokollerinin kullanımının rejyonel ölçekli kayda değer ana heyelan alanlarının tespiti için ekonomik bir yöntem olduğunu söylemişlerdir. Yaptıkları çalışmada Üst İndus Nehri kanalının her iki tarafında da bulunan yamaçların çoğunun (özellikle tektonik olarak kesilmiş olan ana kaya ile kaplı olan alanlar ile aktif faylanma, aşırı

eğilimli yamaçlar ve yoğun yağışa maruz kalmış olan alanlarda) heyelan riskinin yüksek olduğu alanlar olduğu sonucuna varmışlardır. Bu tür hazırlanmış olan haritaların güvenilirliğinin göreceli olduğu ve İndus nehri boyunca tespit edilen kütle hareketlerinin konumlarının çok büyük bir kısmının envanter haritalarındakine benzer olduklarını belirtmişlerdir.

Küçükönder ve Çan (2012), Mersin ve Erdemli bölgesinde yapmış oldukları çok zamanlı heyelan envanter harita çalışmasında farklı zaman aralıklarında oluştuğunu düşündükleri büyük ve küçük ölçekli heyelanlar belirlemişlerdir. Yapmış oldukları çalışmada belirli bir zaman içerisinde meydana gelen heyelanlardan kaynaklanmış yüzey deformasyonlarını RADAR verisini kullanarak değerlendirmişlerdir. Heyelan geometrisi ve mekanizmasına uyumlu olarak heyelan kütleleri içerisinde ikincil olarak gelişen yer değiştirmeleri tespit etmişlerdir. Dağlık bölgelerde meydana gelen heyelanların oluşturduğu sürekli deformasyonların geleneksel yöntemlerle izlenmesinin zor olduğunu belirtmişlerdir. Sonuç olarak, meydana gelen göreceli yer değiştirmelerin incelenmesinde RADAR verisi kullanılmasının başarısına dikkat çekmişlerdir.

Gündoğdu ve diğ. (2016), Simav Fayı ve çevresini LANDSAT 7 ETM+ ve ALOS PALSAR uydu görüntüleri ile incelemişlerdir. Çizgisellikleri belirlemek için ilk olarak LANDSAT uydu görüntüsü üzerinde çeşitli bant kombinasyonları denenmiştir. ALOS PALSAR verisi kullanarak çizgiselliklerin tespitini yapmak için doku analizleri, görüntüde meydana gelen parazitlerin ortadan kaldırılması ve kenar belirleme işlemleri yapılmıştır. Yapmış oldukları saha çalışması kapsamında 1/100.000 ölçekli topoğrafik haritaya fayları işaretlemişlerdir. Ayrıca çizgisellik olarak değerlendirilebilecek diğer yapıları da sahada haritalandırmışlardır. Sahada haritaladıkları faylar ile LANDSAT ve ALOS PALSAR görüntülerinden elde ettikleri çizgisellikleri üst üste çakıştırıp tek bir görüntü haline getirmişlerdir. PALSAR uydu görüntüsünden elde ettikleri çizgiselliklerin, sahada haritaladıkları faylar ile daha uyumlu olduğunu ve Simav Fayı ile çevresindeki aktif yapıları temsil ettiğini gözlemlemişlerdir.

Zengince ve Karakaş (2018), yerleşim alanlarındaki planlama ve yapılaşma süreçlerinde gerekli olan bilimsel çalışmaların yeterince yapılmaması doğal afetlerin

yıkıcı etkisini artırmaktadır. Bunun gibi sorunların önüne geçebilmek amacıyla yerleşim alanları için yapılan uygunluk çalışmalarına göre yapılaşma planlanmalıdır. Yapmış oldukları çalışma ile Kocaeli ve Gölcük çevresinde sıklıkla meydana gelmiş olan heyelanların nedenlerini, etkilerini ve alınan önlemleri araştırmışlardır. Çalışma alanlarında MTA'nın belirttiği heyelanlar dışında kendileri tarafından 15 adet aktif kütle hareketinin tespitini yapmışlar ve bu heyelanların etkisini ortaya koymuşlardır.

2. JEOLOJİ

Kocaeli iki önemli tektonik birliği bir arada bulundurmaktadır. Bunlar Kocaeli yarımadası tektonik birliği ve Armutlu yarımadası tektonik birliğidir, bunlar KAF zonu ile ikiye ayrılmaktadır. Armutlu yarımadası batı Pontidlerin bir bölümü olan Armutlu-Almacık zonu üzerinde bulunmaktadır. Yarım adanın kuzeyinde İstanbul-Zonguldak zonu, güney kısmı ise Sakarya zonu ile KAF zonu ile sınırlıdır.

Kocaeli yarımadasını oluşturan birimler temelde Ordovisyen yaşlı birimler ile başlar ve Kuvaterner yaşlı birimler ile tamamlanır. Armutlu yarımadası temelinde Prekambriyen-Alt Paleozoyik yaşlı olduğu tahmin edilen Pamukova metamorfikleri (Ppm) bulunur ve en üstte ise Kuvaterner yaşlı Alüvyonun (Qal) yer alır. Bunları sıralayacak olursak en altta bulunan Pamukova metamorfikleri üzerine Alt Triyas-Kretase yaşlı İznik metamorfikleri (Pim) gelir. Bunların üzerinde sırasıyla Üst kretase yaşlı Bakacak formasyonu (kb), Üst Paleosen-Orta Eosen yaşlı İncebel formasyonu (pni), Eosen yaşlı Sarısu formasyonu (es), Pliyosen yaşlı Arslanbey formasyonu (pla) bulunur ve Kuvaterner yaşlı Alüvyon (Qal) ile bölgedeki stratigrafi tamamlanır (Göncüoğlu ve diğ., 1986).

2.1. Daha Önce Yapılmış Olan Bazı Jeolojik Çalışmalar

Akartuna (1968) tarafından yapılan çalışma İzmit körfezi ile Sapanca gölü arasında doğu-batı doğrultusunda uzanan alanı kapsamaktadır. Çalışma alanında Kristalen Şistler, Permokarbonifer, Triyas, Jura, Üst Kretase, Paleosen-Eosen, Sarmasien, Ponsien-Pliosen, Pleistosen ve Kuvaterner yaşlı formasyonlar ve mağmatik kayaçlar yer almaktadır. Armutlu yarımadasının temelini teşkil eden tabakaların Ante-Permokarbonifer veya Ante-Devonien yaşında kristalen şistlerden oluştuğu ve bunların üzerine uyumsuz olarak Mesozoyik-Tersiyer yaşlı birimlerin geldiğini belirtmiştir.

Robertson ve diğ. (2004), Armutlu yarımadasının Erken Mesozoyik dönemde Avrasya'dan dönen ve Geç Kretase zamanıyla kapanan İntra-Pontid okyanus

havzasını içerdiğini önermişlerdir. Armutlu yarımadasını oluşturan iki metamorfik birimden ilki Prekambriyen yaşlı yüksek dereceli metamorfik bir tabanı uyumsuz olarak örten Paleozoyik yaşlı Armutlu metamorfikleri olup, düşük dereceli, karışık silisiklastik, karbonat, volkanik süksesyon ve bimodal volkanikler içermektedir. İkinci birim ise düşük dereceli İznik metamorfikleri olarak isimlendirmiş ve plaka içi bazaltlar olarak da dahil edilmek üzere, bölgesel, kalkerli ve volkanojenik litolojilerle doldurulmuş bir çatlak olarak yorumlamışlardır. Armutlu yarımadasının yukarıda bahsedilen iki büyük tektonik birimin Maastrihtiyen uyumsuzluğu tarafından mühürlendiğini ifade etmişlerdir. Yapmış oldukları çalışmalar sonucunda Mesozoyik İntra-Pontid okyanus havzasının Kuzey Neotetis ile Sakarya mikro kıtasını ayırdığı sonucuna varmışlardır.

Göncüoğlu ve diğ. (1992), Armutlu yarımadasının Pamukova metamorfikleri ve İznik metamorfikleri olarak iki farklı tektono-stratigrafiden oluştuğunu söylemişlerdir. Pamukova (Armutlu) metamorfiklerinin İstanbul zonuna ait metamorfik kayaçların karşılığı olduğunu belirtmişlerdir. İznik metamorfiklerini ise Sakarya zonunun güney tektonik birimi olarak tanımlamışlardır. Yapmış oldukları çalışma sonucunda Pamukova metamorfikleri ile İznik metamorfikleri arasındaki sınır tektonik dokanak olup, Pamukova (Armutlu) metamorfiklerinin İznik metamorfikleri üzerine bindirmeli olarak yer aldığını belirtmişlerdir.

Emre ve diğ. (1998) tarafından yapılmış olan çalışmaya göre, Doğu Marmara bölgesinin Neojen-Kuvaterner dönemindeki morfotektonik evriminde üç ana şekillenme dönemi ayırt etmişlerdir. Bu dönemlerde birbiriyle açısal uyumsuz üç çökel istifi mevcuttur. Bölge Oligosen sonunda Intra-Pontid okyanusunun kapanması sonucunda karasal aşınım alanına dönüşmüş ve paleotektonik dönem etkisi altında kaldığını söylemişlerdir. Günümüz jeolojisini belirlemiş olan neotektonizma Geç Miyosen başlarında başlamış ve birbirinden farklı iki evrede gelişmiştir. Neotektonizmanın ilk evresinde, bölgede K-G yönlü sıkışma rejimi egemen olmuş ve bunun sonucunda gelişen D-B yönlü kıvrımlar ile doğrultu atımlı faylar ile bölge yükselmeye başlamıştır. Neotektonik dönemin ikinci evresi, KAF'ın oluşması ile başlayan ve günümüze kadar geçen süreyi kapsamaktadır ve doğu Marmara bölgesinin günümüz morfolojisi bu evrede gelişmiştir.

2.2. Bölgesel Jeoloji

Çalışma alanı 1/25.000 ölçekli G23c1 ve G23c2 topoğrafik paftalarında yer almaktadır. Bu bölgenin jeolojisi Armutlu yarımadasının jeolojisi ile temsil edilmektedir. Armutlu yarımadasının temelini oluşturan metamorfik kayaç toplulukları Geç Kretase-Erken Tersiyer yaşlı metamorfizmaya uğramamış andezitik volkanik ve sedimanter kayaçlar ile uyumsuz olarak örtülmüştür (Akartuna, 1968).

Metamorfik temeli oluşturan ilk birim nispeten yüksek dereceli metamorfizmaya uğramış olan Pamukova metamorfikleri (Ppm) olarak isimlendirilen birimdir. Çalışma alanında bulunan bir diğer metamorfik birim ise nispeten daha düşük dereceli metamorfik kayaçlardan oluşan İznik metamorfikleri (Pim) olarak adlandırılan birimdir (Göncüoğlu ve diğ., 1986).

İznik metamorfikleri yaygın olarak İzmit Körfezinin güneyinde tepelik alanlarda yüzeylemeler vermektedir (Robertson ve diğ., 2004). Üst Kretase (Mastrihtiyen) yaşlı fliş istifi olan Bakacak formasyonu (kb) metamorfik birlikteliğin en üst üyesi olan ofiyolitik yüzeylenmeleri uyumsuz olarak örtmektedir (Göncüoğlu ve diğ., 1986).

Paleosen-Eosen dönemi boyunca meydana gelmiş olan volkanik aktiviteler sonucunda oluşmuş volkanik kayaçlar, çalışma alanında İzmit körfezi ile İznik gölü arasında geniş bir alanda görülmekte ve bu bölgede tüf ve aglomera içeren derin vadiler yer almaktadır (Akartuna, 1968).

Paleosen-Eosen yaşlı lav ve volkanik tüf çakılları da içeren kalın bir fliş istifi olan İncebel formasyonu (pni) çalışma alanının içerisinde bulunan Gölcük ilçesinin güneydoğusunda Hamidiye ve Bahçecik köyleri civarında bulunur ve ayrıca bu birimler lav ve volkanik tüf çakılları da içermektedirler (Akartuna, 1968; Göncüoğlu ve diğ., 1986).

Çalışma alanının büyük bir bölümünde yer alan Eosen yaşlı volkanik kayaçlar, daha çok andezit, bazalt ve dasit türü kayaçlardan meydana gelmektedir ve Sarısu formasyonu (es) olarak isimlendirilmiştir. Armutlu yarımadasının kuzeyinde Pliyosen yaşlı çökellerden meydana gelen Arslanbey formasyonuna (pla)

rastlanmaktadır. Ayrıca bu birimin üzerine uyumsuz olarak gelen armutlu yarımadasının en önemli alüvyon sahaları (Qal) çalışma alanında bulunan Gölcük ilçesinin çevresi ve güney kısmı ile Sapanca gölü arasında uzanan bölgede yüzeylenmiştir (Göncüoğlu ve diğ., 1986).

2.3. Stratigrafi

Çalışma alanının içinde yer aldığı bölgede Paleozoyik ve Kuvaterner yaş aralığındaki birimler yüzeylenmektedir. Bu birimler yaşlıdan gence doğru sırasıyla Pamukova metamorfikleri (Ppm), İznik metamorfikleri (Pim), Bakacak formasyonu (kb), İncebel formasyonu (pni), Sarısu formasyonu (es), Arslanbey Formasyonu (pla) ve Alüvyon (Qal) olarak sıralanmaktadır.

2.3.1. Pamukova metamorfikleri (Ppm)

Bu birim yarımadanın kuzeyinde Gölcük-Armutlu kuşağı ve güneyinde Doğançay-Mekece kuşağı olarak geniş bir alanı kaplamaktadır. Yüksek dereceli metamorfizma göstermesi ve granitik dayklarla kesilmesinden dolayı bölgenin en yaşlı birimi olarak tanımlanır (Göncüoğlu ve diğ., 1992). Güney kuşağında bulunan kısmın temelinde kuvarsit bulunur. Orta kısmında ise baskın kaya türü olarak protolitli diyabaz yada bazaltik kayalar içeren amfibollitler mevcuttur. Masif karbonat ve metagrovak bantları ve bunarın mercekleri bu dizinin üzerinde bulunan temel volkanik ve volkanoklastiklerde ara katman olarak gözlenmektedir. Kuzey kuşağında ise metamorfik temel üzerine uyumsuz olarak gelen bazalt kırıntılı diziyi doğrudan kuvars porfiri eşikleri ile siyah veya yeşil saf silt ve çamurtaşı takip etmektedir (Göncüoğlu ve diğ., 1987).

2.3.2. İznik metamorfikleri (Pim)

Armutlu yarımadasının orta kısmını kaplamakta olan bu birim, üç alt birimden oluşmaktadır. Bunlardan birincisi Şist-Mermer ünitesidir. İznik metamorfiklerinin en alt kısmını kumtaşları, konglomeralar, silt taşı, felsik, tüf ve dolomit ile volkanik ara katmanlı piroklastiklerden oluşur. Bu dizinin orta kısmında ise felsik volkaniklerden mor-kırmızı-pembe renkli çamurtaşlarına ve mikritik kireçtaşlarına kadar derecelendirilen volkanoklastikler bulunmaktadır. En üst kısmında ise alttaki

birimlerle geçişli olan çört ile ara tabakalı olan masif kireçtaşlarından oluşmaktadır. İkinci birim ise metamorfik olistostromdur. Bu birim şist-mermer ünitesinin en üst kısmı olan çörtlü kireçtaşları üzerinde konglomera veya yeşil silttaşı seviyeleri ile başlamaktadır. Dizinin geri kalanı mermer, radyolarya, çamurtaşı, manganifer, çörtler, amfibolit, metabazik kayaçlar, serpantinize ultramafikler ve andezitlerin olistolitlerini içeren kalın bir türbiditik kumtaşı, şeyl, felsik piroklastikler, konglomera, tüf ve argillitler ile temsil edilmektedir. Üçüncü ve son birim olan metavolkanik ünite İznik metamorfiklerinin en üst kısmını temsil etmektedir. Metabazik kayaçlardan oluşan bu birimde, mikrogabro ve mafik breşlerin küçük eşikleri olan metadiyabaz yaygın kaya türü olarak görülmektedir (Göncüoğlu ve diğ., 1987).

2.3.3. Bakacak formasyonu (kb)

Bu formasyon Akartuna (1968) tarafından isimlendirilmiştir. Bakacak formasyonu yarımadanın kuzey ve güney kısmındaki geniş alanları kaplamaktadır. Yarımadanın kuzey kısmında bu oluşum kistik ve neritik kireçtaşlarından oluşmakta iken, yarımadanın güney kısmında ise olistostrom hakimdir. Neritik kalkerler, olistostrom matriksi, doğal pelajik kalker blokları ise Maestrihtiyen-Erken Paleosen fosillerini içermektedirler. Bu formasyonun olistostromal kısmı Devoniyen, Jura ve Erken Kretase yaşlı kireçtaşı blokları içermektedirler. Diğer bloklar ise mermer, granit, metabazalt, serpantinit ve amfibolitten oluşmaktadır (Göncüoğlu ve diğ., 1987).

2.3.4. İncebel formasyonu (pni)

Bu formasyon Göncüoğlu ve diğ., (1986), tarafından incebel formasyonu olarak isimlendirilmiştir. Fosil bulgularına göre Paleosen-Eosen döneminde oluşmuş olan İncebel filişi sırasıyla Pamukova ve İznik metamorfikleri ile birlikte Bakacak formasyonunu uyumsuz olarak örtmektedir. Bu formasyon yaklaşık olarak 1000 m kalınlığında bir kumtaşı-çamurtaşı-marn-konglomeradan oluşmakta ve üst kısmına ise andezitik tüfler ve aglomeralar gelmektedir. Ayrıca, İncebel formasyonun üzerine uyumlu olarak andezit, bazaltik andezitler ve bunların piroklastiklerinden oluşan Sarısu formasyonu gelmektedir ve bu iki formasyonu da uyumsuz olarak Arslanbey formasyonu örtmektedir.

2.3.5. Sarısu formasyonu (es)

Armutlu yarımadasında geniş bir alanda yüzeylenen bu birim metamorfikler üzerine yaklaşık olarak 10 m kalınlığında bir çökel seviye ile başlamaktadır. Bu birimde konglomera, çamurtaşı, kumtaşı ve kireçtaşı görülmektedir. Birimin içerdiği fosiller incelendiğinde bu formasyonun Eosen yaşlı olduğu görülmüştür. Birim üzerinde iri andezitik bloklu ve çakıllı konglomera niteliğinde epiklastik seviyeler görülmektedir. Üst kısmında ise lav akıntıları ince düzeyler halinde piroklastik kayalar ile ardalanmıştır (Göncüoğlu ve diğ., 1986).

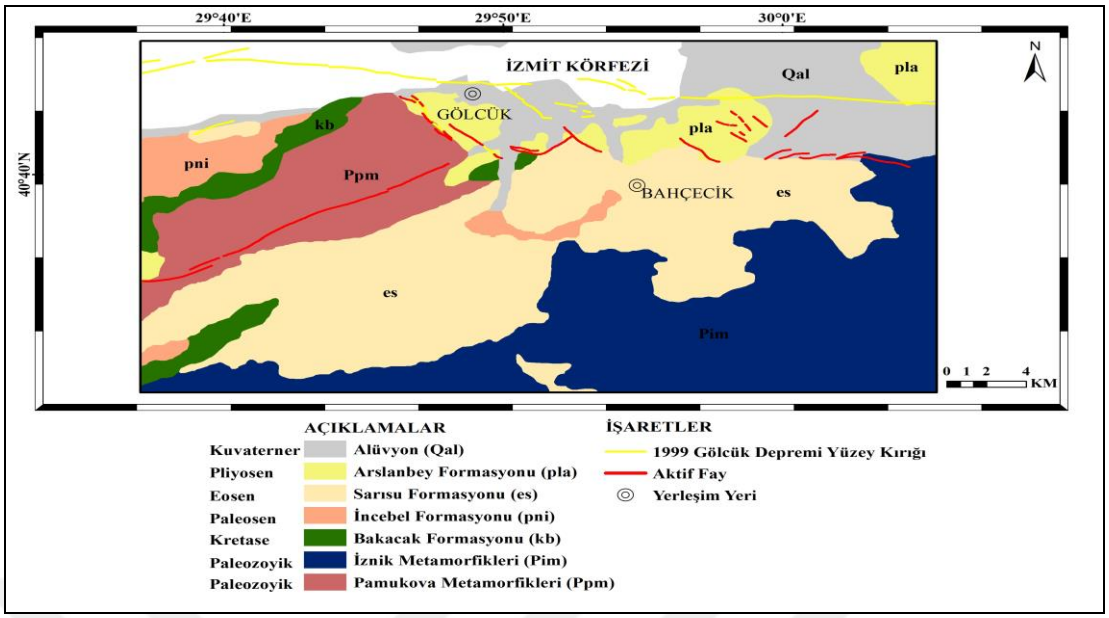
2.3.6. Arslanbey formasyonu (pla)

Armutlu yarımadasında yer yer yüzeylenmeler veren bu formasyon ponsiyen çökellerinden oluşmakta ve KAF zonuna bağlı hareketlerden oldukça etkilenmiştir. Ponsiyen çökelleri olarak isimlendirilen birim ise kötü tabakalanmış konglomera, kumtaşı, çamurtaşı ve marn ardalanmasından oluşmuştur (Göncüoğlu ve diğ., 1986). Ayrıca bu birimi Akartuna (1968) Ponsiyen-Pliyosen yaşlı çökeller olarak tanımlamıştır.

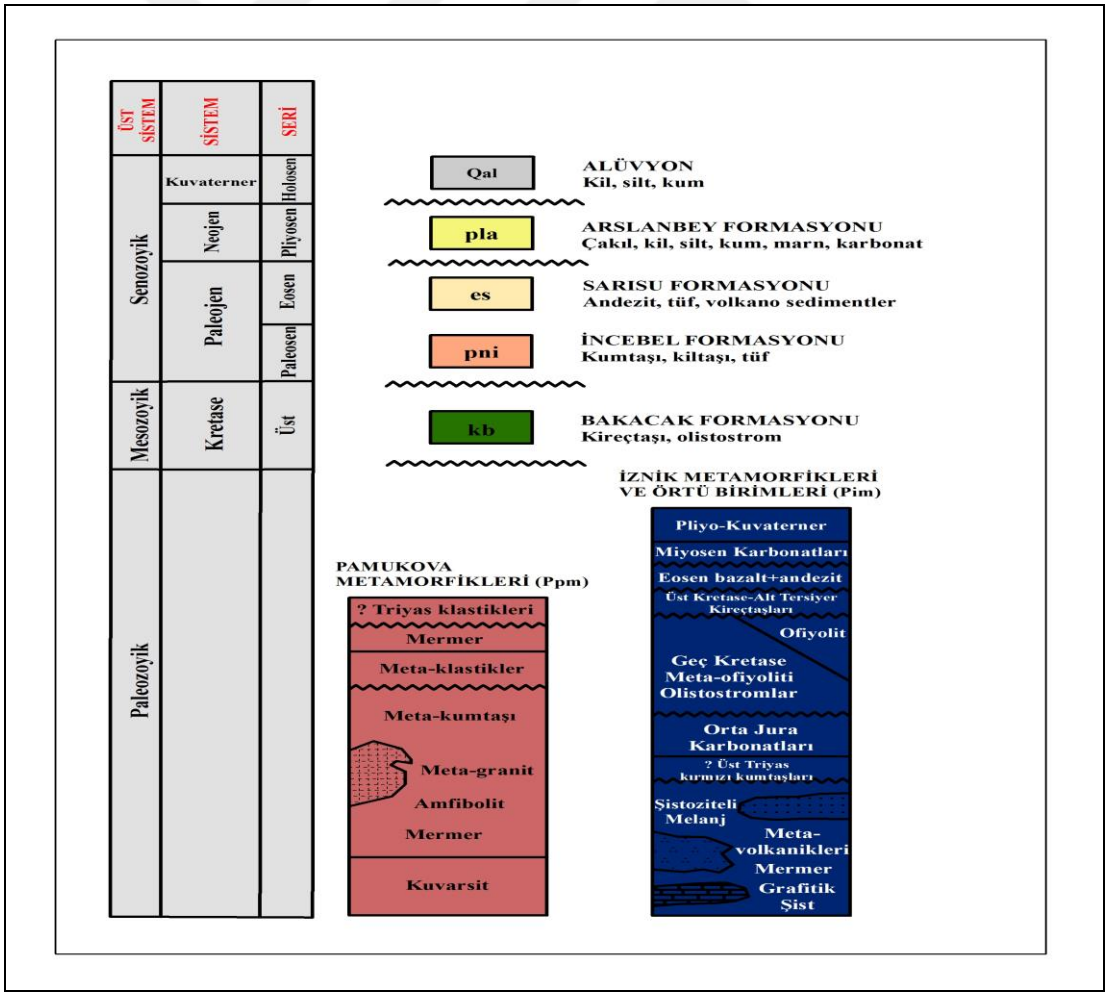
2.3.7. Alüvyon (Qal)

Armutlu yarımadasının kuzey ve güney kısımlarında geniş alüvyon sahaları mevcuttur. Bu alüvyon sahaları D-B doğrultusunda uzanan Armutlu yarımadasının yüksek rakımlı alanlarda erozyon ile taşınan sedimanların kuzey ve güney eteklerinde toplanmasıyla oluşmuştur (Akartuna, 1968). Bu birim bölgenin en genç birimidir ve diğer bütün birimleri örtmektedir. Alüvyal çökeller üzerinde farklı boyutlarda çakıl, kum, kil ve silt birimleri bulunmaktadır. İzmit körfezi güneyinde bulunan alüvyal çökeller metamorfik kayaçlar bulundurmaktadırlar ve bu birim Holosen çökelleri ile temsil edilmektedir.

Şekil 2.1'de Maden Tetkik ve Arama (MTA) Genel müdürlüğünün yayınladığı jeoloji haritasından üretilmiş çalışma alanına ait jeoloji haritası verilmiştir. Ayrıca çalışma alanının ve civarının stratigrafik kesiti (Göncüoğlu ve diğ., 1986, 1987 ve 1992'e göre) değiştirilerek hazırlanmıştır (Şekil 2.2).



Şekil 2.1. Çalışma alanının genelleştirilmiş jeoloji haritası (MTA 2002'den değiştirilerek).



Şekil 2.2. Çalışma alanı ve civarının stratigrafik kesiti (Göncüoğlu ve diğ., 1986, 1987, ve 1992'den değiştirilerek yapılmıştır).

3. TEKTONİZMA

3.1. Türkiye'nin Neotektoniği

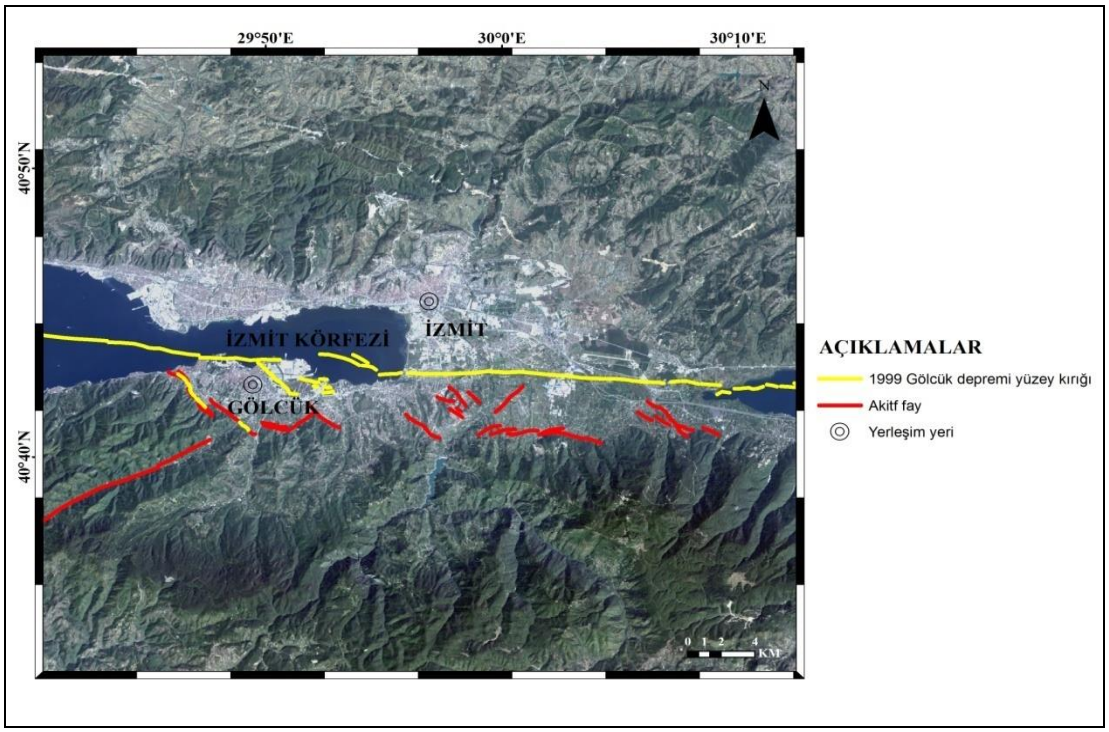
Türkiye'nin en önemli neotektonik yapıları, KAF Zonu, Doğu Anadolu Fay Zonu, Batı Anadolu Genişleme Bölgesi ve Bitlis Sütur Zonu'dur. Çalışma alanımızı da ilgilendiren KAF Zonu, Anadolu ve Avrasya plakalarının sınırı boyunca yaklaşık olarak 1200 km uzanmaktadır. Batı Anadolu bölgesinin güney ve kuzey kesimlerini ayıran aktif yapısal bir unsurdur. Türkiye'de meydana gelmiş olan önemli ve büyük depremler KAF üzerinde meydana gelmiştir (Doğan B., 1998).

3.2. Marmara Bölgesinin Depremselliği

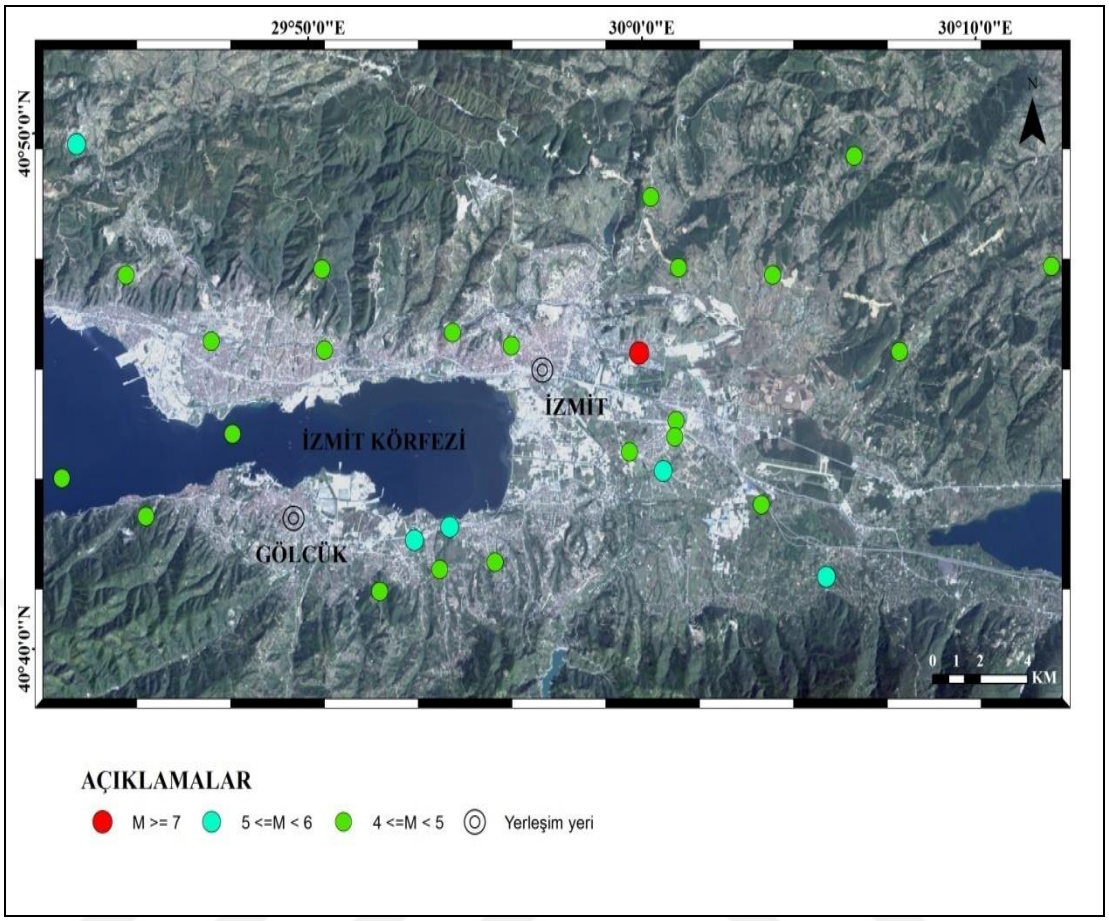
Marmara bölgesinde meydana gelen yüksek sismik aktivite ve bunların oluşturdukları tehlikeler, eş zamanlı olarak faaliyet gösteren iki neotektonik rejim (doğrultu atımlı neotektonik rejim ve genişleme türü neotektonik rejim) ve bu rejimleri karakterize eden faylardan kaynaklıdır. Bu faylardan en önemlisi olan KAF; yüksek sismik aktivite üretmesinden dolayı dünyanın en çok bilinen doğrultu-atımlı faylarından birisidir. Birçok fay parçasından (segment) meydana gelen KAF bir zon özelliği taşımaktadır. KAF Bingöl Karlıova'dan Bolu Mudurnu'ya kadar yaklaşık olarak 900 km boyunca tek bir fay izi göstermektedir. Ancak Mudurnu'nun batısında 3 ana kola ayrılmaktadır (Ketin, 1969; Dewey ve Şengör, 1979; Barka ve Kadinsky-Cade, 1988). Bu kollarda meydana gelmiş olan deformasyonlar sonucu birçok deprem meydana gelmiştir ancak bunlardan ikisi dikkat çekicidir. Marmara bölgesinde KAF Zonu'nun iki kesimi boyunca 17 Ağustos 1999 Gölcük (Mw 7.4) ve 12 Kasım 1999 Düzce depremleri meydana gelmiştir. Meydana gelen bu depremler nedeniyle 20.000'den fazla insanın öldüğü, ve 100.000'den fazla insanın yaralandığı veya mülkiyetlerini kaybettikleri bilinmektedir (Gürer ve diğ., 2003). Bu depremler sonucu meydana gelen hasarın bu derece büyük olmasının en temel nedeni nüfus yoğunluğunun fazla olmasıdır. Bu verilen bilgiler sonucunda bölgeden geçen KAF Zonu'nun ne kadar önemli olduğu anlaşılmıştır. Ayrıca bu iki deprem KAF'ın kuzey kolunun kuzeydoğu Marmara'daki bölümünü kırmıştır. Bu bağlamda önümüzdeki

yıllar içerisinde Marmara bölgesinde (%90 ihtimalle) İstanbul, Kocaeli, Yalova ve Bursa'yı etkileyecek yıkıcı bir depremin olması beklenmektedir (Gürer ve diğ., 2003).

Bölgenin GPS ölçümleri, jeomorfoloji, batimetri, havzalardaki sediman kalınlıkları ve tarihsel depremler doğu Marmara'da KAF Zonu'nun kuzey kolu boyunca kayma hızının güneydeki kollara göre daha fazla olduğunu göstermektedir (Gürbüz ve diğ., 2000). Ayrıca yapılmış olan çalışmalar ve gözlemler sonucu KAF'ın kuzey kolunun diğer iki koluna göre daha aktif ve yıkıcı olduğu tespit edilmiş, bundan dolayı bu hattın daha yüksek derecede deprem riski taşıdığı belirlenmiştir (Barka ve Kuşçu, 1996). Yakın zamanlarda meydana gelen depremlerin fay düzlem çözümlerine bakıldığında KAF'ın kuzey kolunda bölgenin normal bileşene sahip doğrultu-atımlı faylanmaya maruz kaldığını göstermektedir (Gürer ve diğ., 2003). Bu bölgenin MTA tarafından hazırlanan diri fay haritası uydu görüntüsü üzerinde dijitalleştirilerek verilmiştir (Şekil 3.1). Ayrıca bölgenin depremselliğini ortaya koymak için 1907-2020 yılları arasında meydana gelmiş magnitüdü 4'den büyük depremler Afet ve Acil Durum Yönetimi Deprem Dairesi Başkanlığı'ndan (URL-1'den) uyarlanmış ve Şekil 3.2'de verilmiştir.



Şekil 3.1. Çalışma alanı ve çevresindeki fayların MTA tarafından hazırlanmış diri fay haritasının dijitalleştirilmesi sonucu oluşturulmuş haritası (Emre ve diğ., 2013).



Şekil 3.2. 1907-2020 yılları arasında çalışma alanı ve çevresinde meydana gelmiş olan magnitüdü 4'den büyük depremler (1907-2020 arasındaki depremler (URL-1'den) uyarlanmıştır).

4. KÜTLE HAREKETLERİ

Ülkemizin coğrafik konumu, jeolojik yapısı, iklim özellikleri ve topoğrafik yapısı nedeniyle doğal afet türlerinden birisi olan kütle hareketlerine sık sık rastlanılmaktadır. Ülkemizde meydana gelen kütle hareketleri genellikle küçük ölçekli olup can kaybından çok mal kaybına neden olmaktadır. Doğal afet türlerinden olan kütle hareketleri ülkemizde önemli bir yer tutmaktadır ve bu hareketlerin neden olduğu zararların en aza indirilebilmesi için kütle hareketleri konusunun iyi anlaşılması ve bunlara yönelik çalışmaların yapılması gerekmektedir (Akbulut, 2011).

4.1. Kütle Hareketlerinin Tanımı

Kütle hareketleri ile alakalı birçok tanımlama bulunmaktadır. Bir yamacı oluşturan kaya, toprak veya moloz gibi malzemenin farklı nedenlerle yerçekimi etkisi ile yamaç aşağı harekete geçmesi olarak tanımlanmıştır (Varnes, 1978). Başka bir tanım olarak da ayrışma sonucu oluşmuş malzemenin veya kaya kütlelerinin yerçekimi etkisi ile yamaç aşağı hızlı veya yavaş olarak yer değiştirmesi olarak da tanımlanmaktadır (Highland ve Bobrowsky, 2008).

4.2. Kütle Hareketlerinin Sınıflandırılması

Kütle hareketlerine köken bakımından bakıldığında jeomorfolojik kökenli bir terimdir (Cornforth, 2005). Kütle hareketi ile heyelan anlam bakımından değerlendirildiğinde ikisi de kaya ve zemindeki hareketleri ifade etmekte ancak kütle hareketinin daha geniş bir kapsamda kullanıldığı ve heyelan kavramını da içermektedir. Her ne kadar halk dilinde her türü kütle hareketi heyelan olarak tanımlansa da birbirinden farklı yönleri olan bu hareketlerin sınıflandırılmasında fayda vardır. Kütle hareketleri hareket tipi, malzeme türü, hareketin hızı, jeolojik yapı ile kayma geometrisi arasındaki ilişki, gelişme derecesi vb. gibi özellikleri değerlendirilerek sınıflama işlemi yapılmaktadır (Varnes, 1978). Hareketin

türüne göre Varnes (1978) tarafından önerilen sınıflama yaygın olarak kullanılmaktadır (Tablo 4.1).

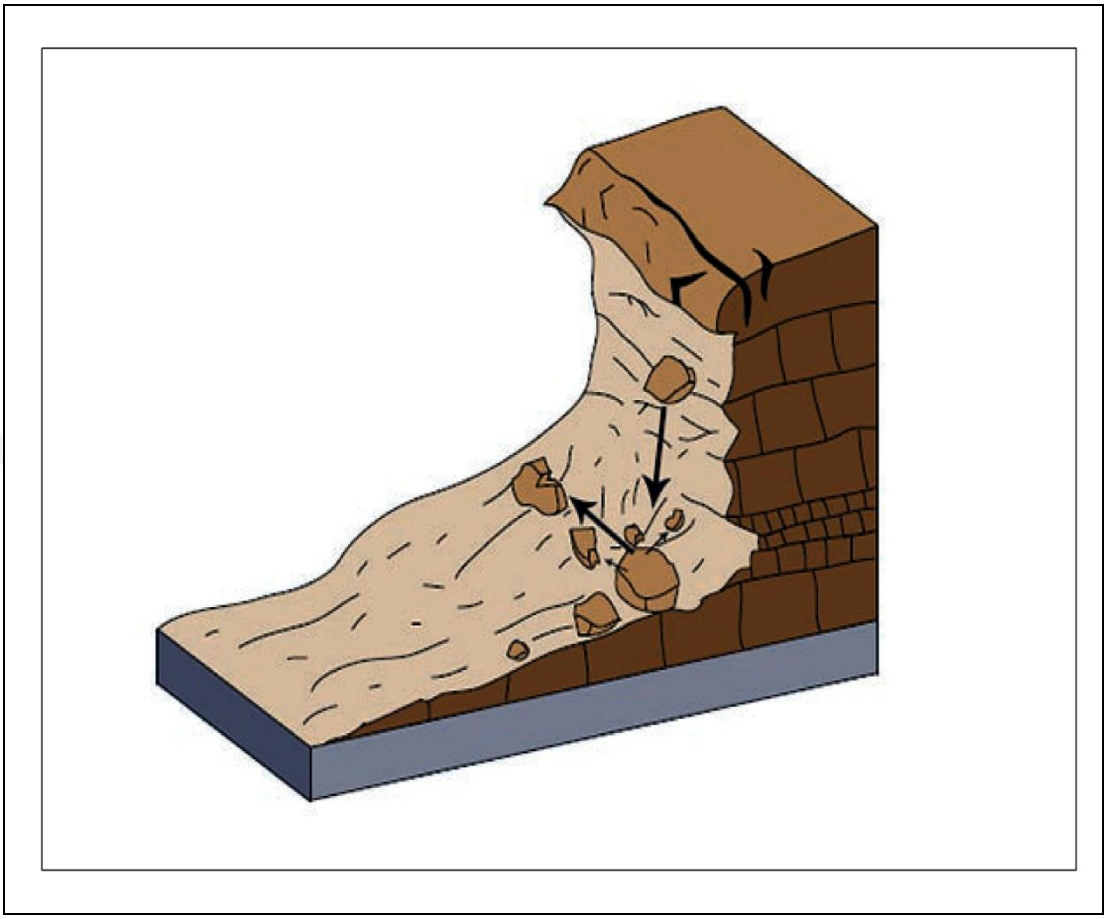
Tablo 4.1. Kütle hareketlerinin genel sınıflaması (Varnes, 1978).

<table>
<tr><td colspan="3" rowspan="3">DURAYSIZLIK TÜRÜ</td><td colspan="3">MALZEMENİN TÜRÜ</td></tr>
<tr><td colspan="2">TOPRAK ZEMİNLER</td><td rowspan="2">ANA KAYA</td></tr>
<tr><td>İNCE TANELİ</td><td>İRİ TANELİ</td></tr>
<tr><td colspan="3">DÜŞME</td><td>Zemin düşmesi</td><td>Moloz düşmesi</td><td>Kaya devrilmesi</td></tr>
<tr><td colspan="3">DEVRİLME</td><td>Zemin devrilmesi</td><td>Moloz devrilmesi</td><td>Kaya devrilmesi</td></tr>
<tr><td rowspan="2">KAYMA (Heyelan)</td><td>DAİRESEL (dönel)</td><td>Sınırlı sayıda birim</td><td>Zeminde dairesel kayma</td><td>Molozda dairesel kayma</td><td>Kayada dairesel kayma</td></tr>
<tr><td>ÖTELENMELİ</td><td>Çok sayıda birim</td><td>Zeminde blok türü ötelenme Zemin kayması</td><td>Molozda blok türü ötelenme Moloz kayması</td><td>Kayada blok türü ötelenme Kaya ötelenmesi</td></tr>
<tr><td colspan="3">YANAL YAYILMA</td><td>Zemin yayılması</td><td>Moloz yayılması</td><td>Kaya yayılması</td></tr>
<tr><td colspan="3">AKMA</td><td>Zemin akması</td><td>Moloz akması</td><td>Kaya akması</td></tr>
<tr><td colspan="3">KARMAŞIK KAYMALAR</td><td colspan="3">İki veya daha fazla hareket türü</td></tr>
</table>

4.2.1. Düşme

Düşme, çok az yer değiştirmenin olduğu veya hiç bir şekilde yer değiştirmenin olmadığı bir yüzey boyunca dik bir eğimden toprak zemin veya kayanın koparak yer değiştirmesi olayına denir. Düşme şekli jeolojik formasyonun türüne göre değişiklik gösterebilir. Bunlar kaya düşmesi, moloz düşmesi ve toprak düşmesi olarak isimlendirilir. Jeolojik birimin cinsi, tabakalanma ve şistozite özellikleri önemli etkenler olup, birimlerin yeraltı suyu ve topoğrafik eğim sonucu bulunduğu yerden

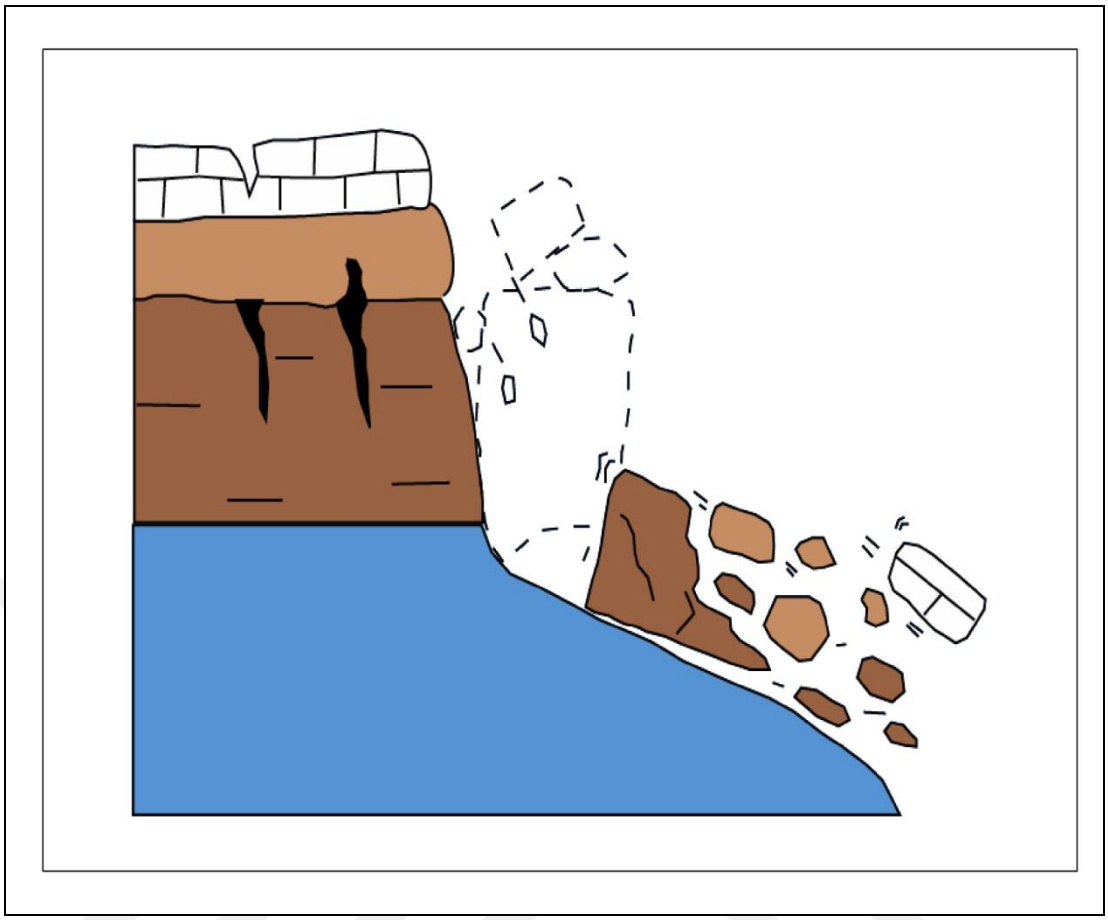
koparak düşme şeklinde yer değiştirmesi sonucu oluşur (Highland ve Bobrowsky, 2008). Düşme şeklinde meydana gelen kütle hareketlerine örnek Şekil 4.1 verilmiştir.



Şekil 4.1. Kaya düşmesinin şematik gösterimi (Highland ve Bobrowsky, 2008).

4.2.2. Devrilme

Devrilme, yer değiştirmiş olan kütlenin ağırlık merkezinin alt kısmında bulunan herhangi bir noktada veya eksen etrafında bulunan toprak veya kaya kütlesinin eğiminden ileriye doğru bir dönüş hareketi olarak kabul edilmektedir. Devrilme olayında, bazen yer değişimine uğramış olan malzeme tekrar yer çekimi etkisi ile yer değiştirebilir. Bazen de devrilme olayı kütle içerisinde bulunan çatlaklardaki su veya buzlardan kaynaklanmaktadır. Devrilmiş olan kayalar, döküntü (Kaba malzeme) veya toprak malzemeden (ince taneli malzeme) oluşabilir (Highland ve Bobrowsky, 2008). Ayrıca, devrilme bir çökme davranışı değil, aksine bir bükülme davranışıdır (Ulusay, 2007). Devrilme olayı olarak meydana gelen kütle hareketlerine örnek Şekil 4.2 verilmiştir.



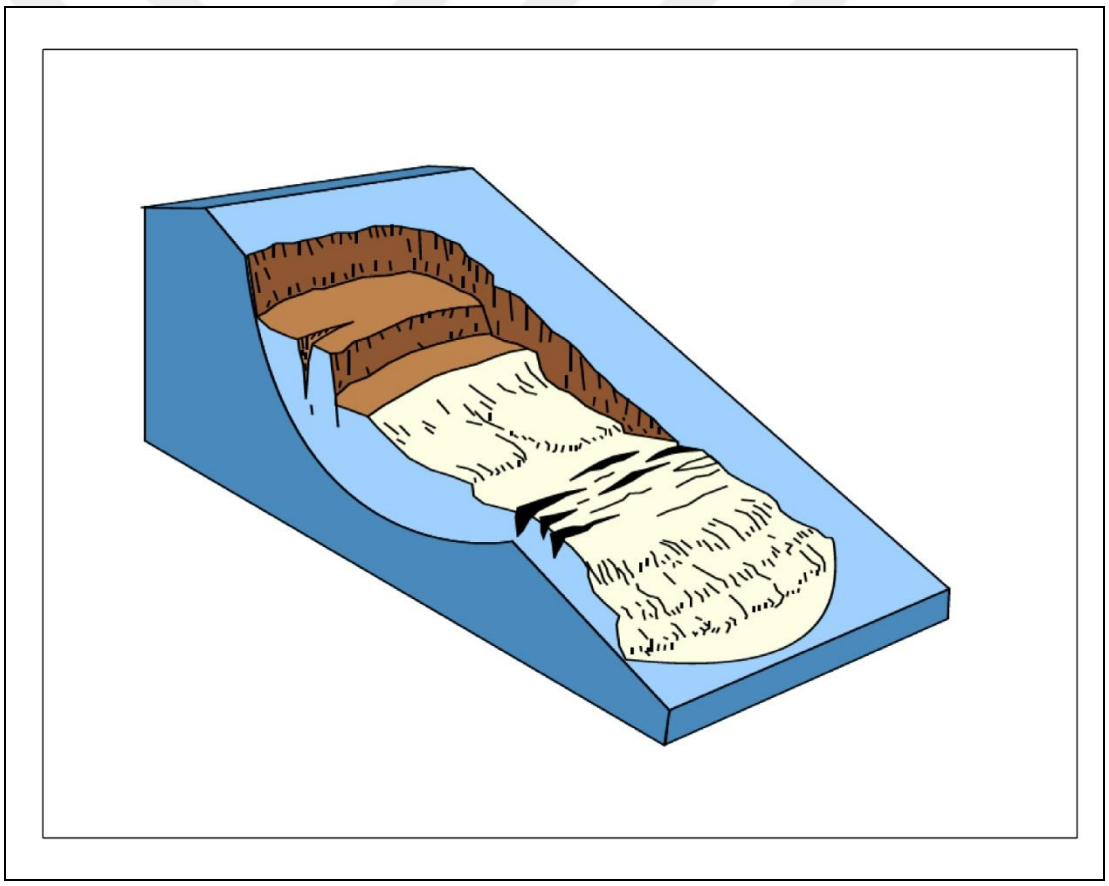
Şekil 4.2. Bir devrilme olayının şematik gösterimi (Highland ve Johnson, 2004).

4.2.3. Kayma (heyelan)

Kayma, yırtılma yüzeylerinde veya yoğun kayma gerilmesinin nispeten daha ince olduğu bölgelerde toprağın ya da kaya kütlesinin yer çekimi etkisi ile aşağı doğru hareketine denir. Hareket öncelikle kopma yüzeyi haline gelen şevin üzerinde eş zamanlı olarak gelişmez. Yer değiştirme malzemesinin hacmi yerel bir arıza üzerinde genişleme gösterir (Highland ve Bobrowsky, 2008). Kayma türü heyelanlar, dairesel (dönel) ve ötelenmeli olarak ikiye ayrılmaktadır. Blok halindeki kaya formasyonları üzerine tek dairesel kayma, moloz türü birimlerde çoklu dairesel kayma ve zemin özelliği taşıyan formasyonlarda ardışık dairesel kayma şeklinde sınıflandırılabilir (Varnes, 1978). Ötelenmeli kaymalar ise jeolojik formasyonun tane dağılımı ve cinsine bağlı olarak yamaç molozu veya toprak kayması olarak isimlendirilebilir. Kayma türü kütle hareketleri oluşumu zamanla meydana geldiğinden takip edilebilmesi kolaydır.

4.2.3.1. Dairesel (dönel) kaymalar

Yırtılma yüzeyinin yukarıya doğru kıvrıldığı ve kayma hareketinin eğimin konturuna paralel olarak bir eksen etrafında aşağı yukarı dönüşlü olarak gerçekleştiği kaymalara dairesel (dönel) kaymalar denir. Yer değiştirmiş olan kütle, belirli koşullar altında çok az da olsa iç deformasyon sonucu kopma yüzeyi boyunca nispeten tutarlı bir kütle olarak hareket etmektedir. Yer değiştiren kütlenin alt kısmı neredeyse dikey olarak aşağı hareket edebilirken, üst kısmı geriye doğru eğilebilir. Dairesel kaymalar en çok homojen kütlelerde meydana gelmektedir (Highland ve Bobrowsky, 2008). Bu kütle hareketi bir birini izleyen dik ve derin kayma yüzeyleri oluşturmaktadır (Şekil 4.3).

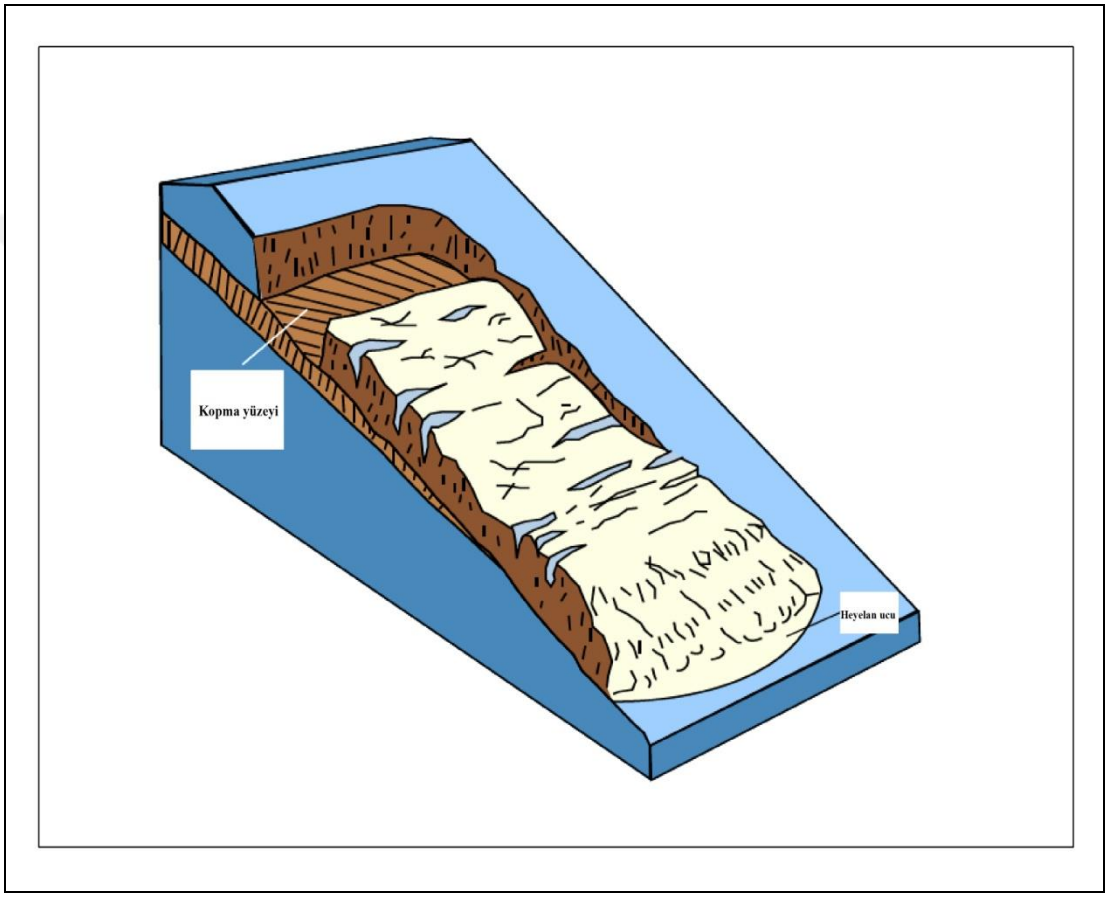


Şekil 4.3. Dairesel (dönel) kayma tipi kütle hareketinin şematik gösterimi (Highland ve Bobrowsky, 2008).

4.2.3.2. Ötelenmeli kaymalar

Ötelenmeli kaymalarda, kütle az dönme hareketi veya geriye doğru eğilme ile nispeten düzlemsel olan bir yüzey boyunca dışarı veya aşağı doğru hareket eder. Bu

denge tipi kayma yüzeyi, eğer kaydırma dengesini eski haline getirmekte olan dönme kızaklarının aksine yeterli derece eğilirse önemli mesafelerde ilerleyebilir (Highland ve Bobrowsky, 2008). Ötelenmeli kaymalar düzlemsel olarak gelişen kaymalar, kama şeklinde olan kaymalar ve çok yüzeyli kayma şeklinde birçok mekanizma aracılığı ile gelişebilir (Ulusay, 2007). Kayma (heyelan) kütle hareketlerinin bir türü olan ötelenmeli kaymaların şematik görünümü Şekil 4.4'te verilmiştir.

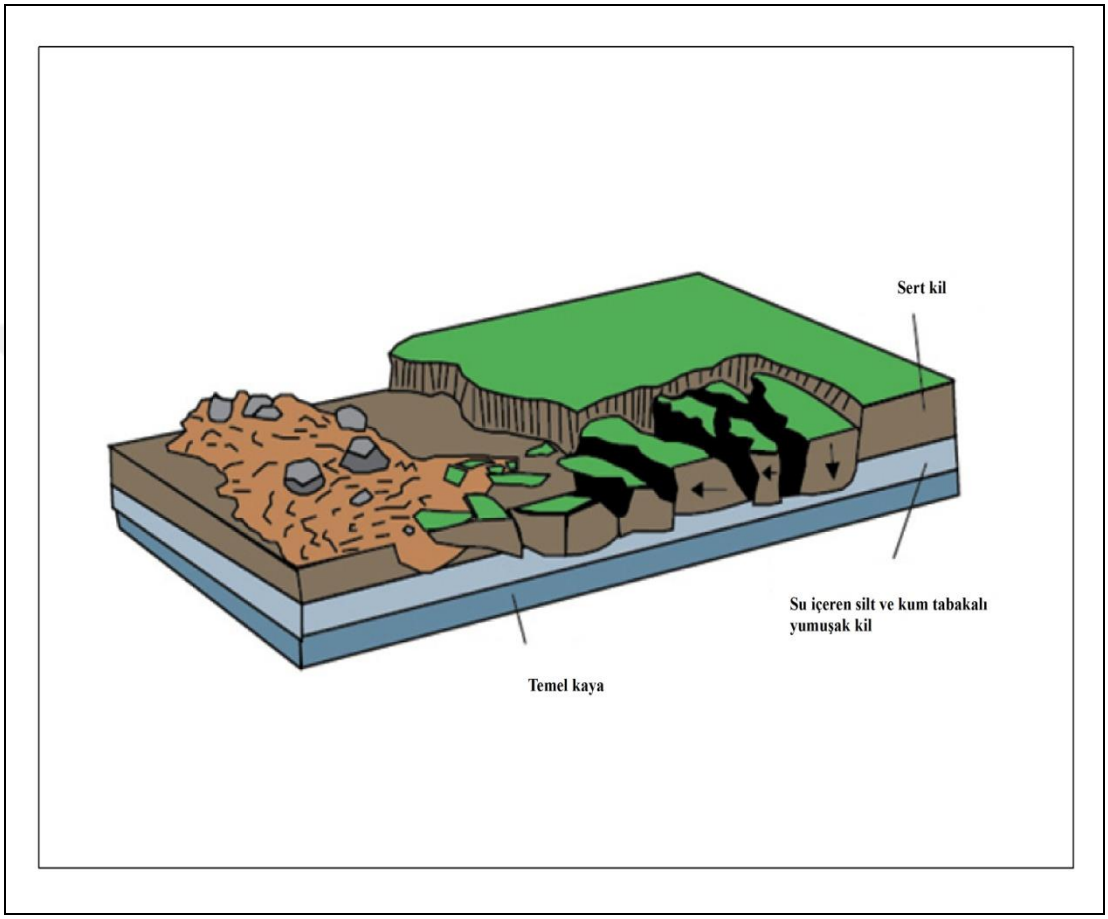


Şekil 4.4. Ötelenmeli kaymaların şematik gösterimi (Highland ve Bobrowsky, 2008).

4.2.4. Yanal yayılma

Yanal yayılmalar iki şekilde tanımlanabilir. Birinci olarak, deprem esnasında oluşan zemin sıvılaşması ile meydana gelen yanal yayılmadan farklı olarak, herhangi bir etkiye gerek kalmadan oluşan bu tür duraysızlıklar yavaş bir şekilde gelişmektedirler (Ulusay, 2007). İkinci olarak, çoğunlukla yumuşak yamaçlarda veya düz bir arazide daha güçlü olan kaya veya toprak parçasının uzamaya maruz kaldığı ve alttaki daha zayıf ve yumuşak olan katmanın üzerinde hareket ettiği koşullarda ortaya çıkmaktadır (Şekil 4.5). Ayrıca, genellikle daha zayıf olan ve altta yatan birime genel

bir çökme olayı eşlik etmektedir. Yanal yayılma türü olan kaya yayılmalarında, katı zemin uzanır ve kırılır sabit zeminden yavaş bir şekilde uzaklaşır zayıf tabaka üzerinde harekete geçer. Toprak yayılmalarda ise üst kısımda bulunan kararlı tabaka sıvılaşma sonucu akan alt birim boyunca uzanır (Highand ve Bobrowsky, 2008).

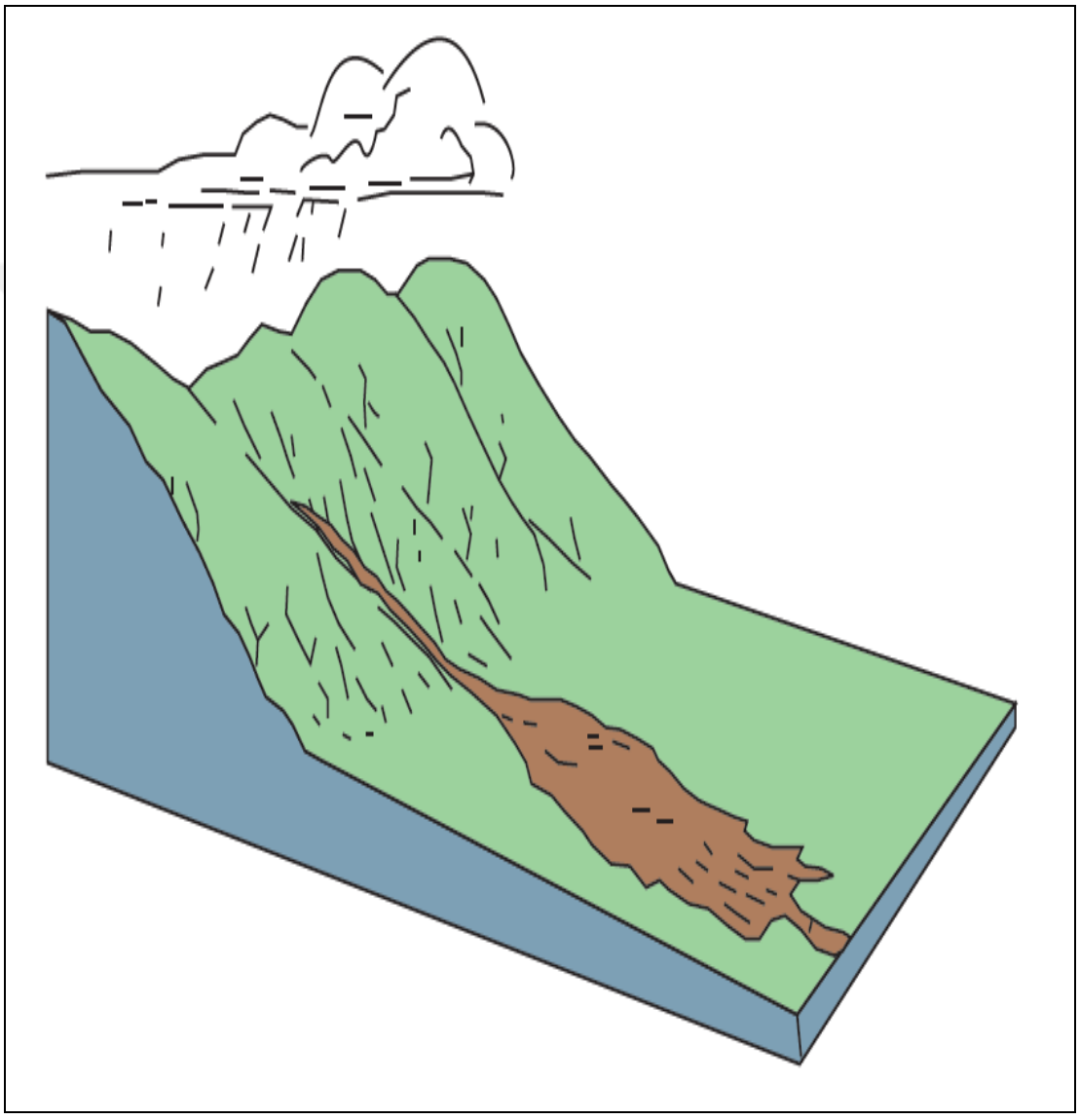


Şekil 4.5. Yanal yayılmanın şematik gösterimi (Highland ve Bobrowsky, 2008).

4.2.5. Akma

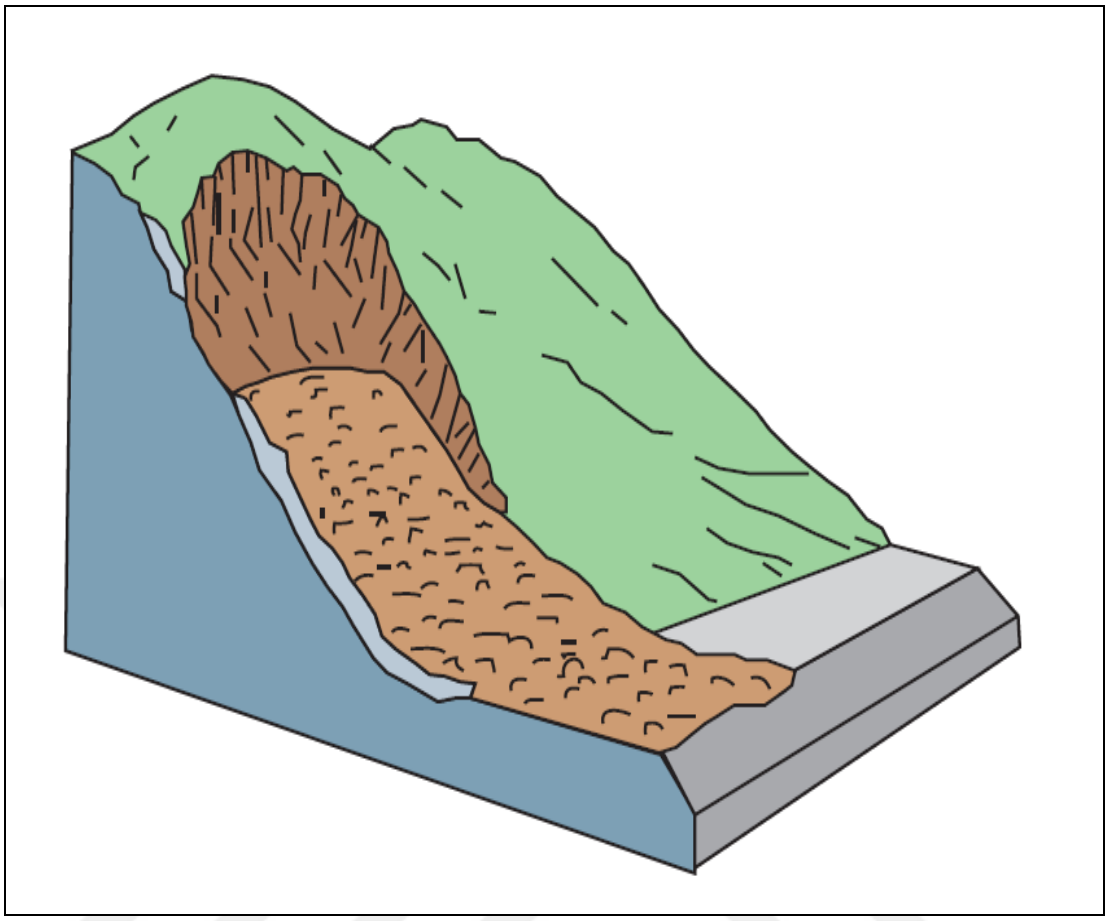
Akma; kayma yüzeyleri boyunca kısa ömürlü, yakın aralıklı ve genellikle düzlemsel olarak meydana gelen sürekli hareket türüne denir. Akmada, yer değiştiren kütledeki bileşen hızları viskoz bir sıvının yer değiştirme hızına benzer. Genellikle su içeriğine, hareketliliğine ve hareketin geçirmiş olduğu evrime bağlı olarak kaymalardan akmalara bir değişim derecesi bulunmaktadır (Highland ve Bobrowsky, 2008). Düşme, yayılma ve devrilme gibi kütle hareketlerinin yön tayininde kullanılan akma türü kütle hareketlerini toprak akmaları ve kaya akmaları olarak iki grupta incelenebilir.

Toprak akmaları; gevşek toprak, kaya ve organik maddenin su ile birleştiğinde aşağı doğru bulamaç oluşturarak hızlı bir şekilde yer değiştiren kütle hareketidir (Şekil 4.6). Toprak akmaları büyük miktarda ince taneli malzeme içermektedir (Highland ve Bobrowsky, 2008). Toprak akmaları yer yer yuvarlanma veya kısmi olarak düşme hareketleri göstermektedir (Varnes, 1978).



Şekil 4.6. Toprak akmasının şematik gösterimi (Highland ve Bobrowsky, 2008).

Büyük ölçüde karasız olan bir eğim çöktüğünde ve bu çökme sonucu ortaya çıkan döküntünün, eğim aşağı hızla harekete geçtiğinde oluşan, büyük ve son derece hızlı olan akma türüne kaya akmaları denir (Şekil 4.7).



Şekil 4.7. Kaya akmasının şematik gösterimi (Highland ve Bobrowsky, 2008).

4.2.6. Karmaşık kaymalar

Bir bölgede birden fazla kütle hareketi türü aynı zamanda meydana gelebilir. Harekete geçmiş olan kütlenin herhangi bir yerinde veya değişik bölümlerinde, birden fazla kütle hareketi meydana gelmiş ise bu kütle hareketi türüne karmaşık kayma tipi denir (Highland ve Bobrowsky, 2008).

4.3. Kütle Hareketlerinin Nedenleri

Kütle hareketleri iki temel nedene bağlıdır, bunlar doğal nedenler ve insan kaynaklı nedenlerdir. Doğal oluşumda, tek başına veya kombinasyon halinde oluşabilecek üç ana mekanizma vardır ve bunlar; su, sismik aktivite ve volkanik aktivitedir. Su ve şev doygunluğu kütle hareketlerinin başlıca nedenlerindendir. Doygunluk, yoğun yağış, kar erimesi yer altı suyundaki değişimler vb. gibi su seviyesi değişiklikleri olarak meydana gelebilir. Kütle hareketleri ve seller birbirleriyle ilişkilidir. Su baskınları, akarsu ve nehir kıyılarını altüst ederek yamaçların yeraltı suyu ile

doyması sonucu kütle hareketleri görülmeye başlar. Dağlık alanlarda oluşan deprem aktivitesi sonucu, yalnızca zemin sarsıntısına duyarlı sedimanların sıvılaşması ve sarsıntı sonucu genişlemesiyle kütle hareketleri meydana gelebilmektedir. Ayrıca kaya ve toprak malzeme deprem aktivitesi sonucu dik yamaçların altında bulunan dere ve akarsularda heyelan barajlarının oluşmasına neden olabilmektedir. Bu heyelan barajları genellikle su akşını kısmen veya tamamen keser ve su yönünü değiştirebilir. Bunun sonucu olarak da geride bulunan alanların sular altında kalmasına ve büyük hasarların ortaya çıkmasına neden olur. Volkanik faaliyetlerden kaynaklanan kütle hareketleri en önemli ve en yıkıcı kütle hareketi türlerindendir. Volkanik lavlar, karları hızla eriterek yoluna çıkan her şeyi harap eden kaya, toprak, kül ve su birikintisi oluşturabilir. Bu volkanik enkaz akışları yanardağdan uzaklaşarak uzun mesafeler kat edebilir ve yanardağı çevreleyen düz alanlara büyük oranda zarar verirler. Volkanik alanlar jeolojik olarak zayıf alanlardır ve çökme sonucunda kaya veya toprak kaymalarına neden olurlar (Highland ve Bobrowsky, 2008).

Sonuç olarak bakıldığında, genişleyen mahalleler, kasabalar ve şehirler kütle hareketlerinin insan faktörlü ortaya çıkmasındaki temel nedendir. Ayrıca, drenaj düzlemlerini bozmak, yamaçları dengesizleştirmek ve bitki örtüsünü kaldırmak kütle hareketlerini başlatabilecek yaygın insan faktörlerindendir.

4.4. Kütle Hareketlerinin Etkileri ve Sonuçları

Kütle hareketleri, kütle hareketi alanlarına yakın veya bu alanlar üzerinde yer alan yerleşim yerlerini etkilemektedir. Kütle hareketleri yerleşim alanlarını ya bölgesel (içerisinde birçok yapının etkilendiği) ya da bireysel olarak (bir yapının veya yapının bir kısmının) etkilemektedir. Ayrıca kütle hareketleri bir bölgenin yaşam hatlarını (elektrik hattı, doğal gaz hattı, su hattı vb.) ve bölgeye erişim yollarını etkilemektedir. Kütle hareketlerinin en büyük potansiyel etkilerinden birisi de ulaşım endüstrisidir ve bu sorun dünya çapında birçok insanı etkilemektedir. Karayolları ve demiryolları boyunca yol üzerinde açılmış olan yarmalarda meydana gelen kütle hareketlerinin yanı sıra, altta bulunan zayıf ve kaygan toprak/dolgudan dolayı yolların çökmesi çok sık karşılaşılan sorunlardır. Kütle hareketlerinin bir türü olan kaya düşmesi sürücülere ve yayalara zarar verip, yaralanmalara veya ölmelere yol

açabilmektedir. Her türlü heyelan, karayolu veya demiryollarının tıkanmasına ve bunun sonucunda ticaret, turizm ve acil durum faaliyetlerinin aksamasına ve gecikmesine yol açmaktadır. Yavaş olarak meydana gelen kütle hareketleri bile demiryolları ve karayollarının bozulmasına, bakım ihtiyacının doğmasına ve birçok olumsuz durum meydana gelmesine neden olmaktadır (Highland ve Bobrowsky, 2008). Ayrıca dünya yüzeyini kaplayan ormanlar, otlaklar, nehirler, göller ve denizler ve buralarda yaşayan canlılar da meydana gelen kütle hareketleri sonucu önemli derecede etkilenmektedir.

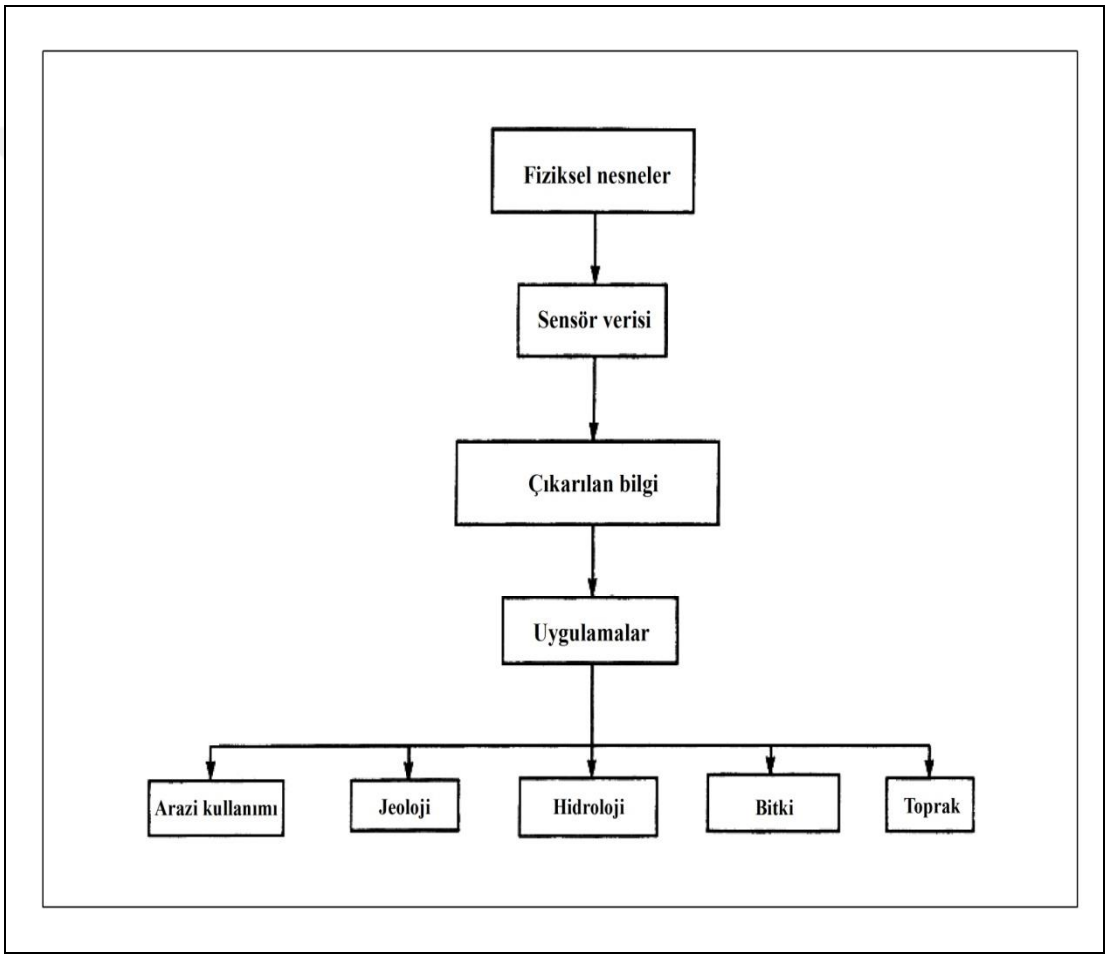
5. UZAKTAN ALGILAMA

5.1. Uzaktan Algılamanın Tarihçesi

Uzaktan algılamanın giderek artan önemini daha iyi şekilde kavrayabilmek için Uzay Çağını hazırlayan tarihsel gelişmeleri bilmemizde fayda vardır. Tarihin devirleri İsa'nın doğumundan 3000 yıl önce yazının keşfi ile başlamış, daha sonra insanlığın geleceğini etkileyen çok önemli olaylar ile çağlara bölünmüştür. Sırasıyla İlkçağ, Ortaçağ ve Yakınçağ olarak devam ederken, yakınçağın içerisinde 4 Ekim 1957 yılında önemli bir gelişme olmuş ve Sputnik 1 adı verilen yapay yer uydusu Sovyet Rusya tarafından uzaya fırlatılmıştır. Tarihte bu olay Yakınçağın kapanışı ve Uzay Çağı'nın başlangıcı olarak kabul edilmektedir. İnsansız Sputnik 1 uydusu, yörüngede 21 gün dolaştıktan sonra parçalanmıştır. Uzaya ilk çıkan insan olan astronot J.A. Gagarin Sovyetler Birliği tarafından, Vostok 1 uydusu içinde uzaya fırlatılmıştır. Bu yolculuk dünyanın etrafını bir kez dolaştıktan sonra dünyaya geri dönüş yaparak son bulmuştur. İnsanlık tarihinde ilk uçuşu 1783 yılında Mongolfier kardeşler, içinde canlı bulunmayan bir balonu uçurarak gerçekleştirmişlerdir daha sonra ise içerisinde insan bulunan balonları uçurmaya başlamışlardır. İnsanları yerçekiminden kurtarıp uzaya çıkaracak gelişmeler roketin keşfedilmesi ile başlamaktadır. Bu gelişme sonucunda atmosfer dışına çıkmak, Ay'a gitmek, uzayı keşfetmek ve gezgenler etrafına uydular yerleştirerek incelemeler yapmak amacıyla ülkeler arasında hızlı yarış dönemleri başlamıştır. Uzay çalışmalarında önemli amaçlarından biriside yer ve yerde bulunan kaynaklar uydular aracılığı ile incelemek olmuştur ve bu amaç doğrultusunda uzaktan algılama bilimi ortaya çıkmıştır. 1972 yılında ABD tarafından yer ve yer kaynaklarının incelenmesi amaçlı LANDSAT programı başlatılmıştır ve bu program ilk ciddi uzaktan algılama programı olmuştur. Uzaktan algılama amaçlı uzay çalışmalarına Amerika ve Rusya dışında 1986 yılında Fransızların başlatmış oldukları SPOT programı da önemli katkı sağlamaktadır. Bunların dışında uzaktan algılama çalışmalarına birçok ülke katılmış ve katılmaya devam etmektedir (Tatar ve Tatar, 2006).

5.2. Uzaktan Algılamada Temel Tanımlar

Uzaktan algılama, incelenen bir cisim hakkında fiziksel bir temas kurmaksızın bir cihaz yardımıyla cisimler hakkında fiziksel ve kimyasal bilgilerin elde edilmesine verilen bilimin adıdır (Lillesand ve diğ., 2004). Şekil 5.1'de uzaktan algılamanın genel yapısı verilmiştir. Yapılmış olan tanım, uzaktan yapılan jeofiziksel kayıt işlemlerini ve hava fotoğrafı yöntemlerini de kapsamı içine almaktadır (Sabins, 1978).



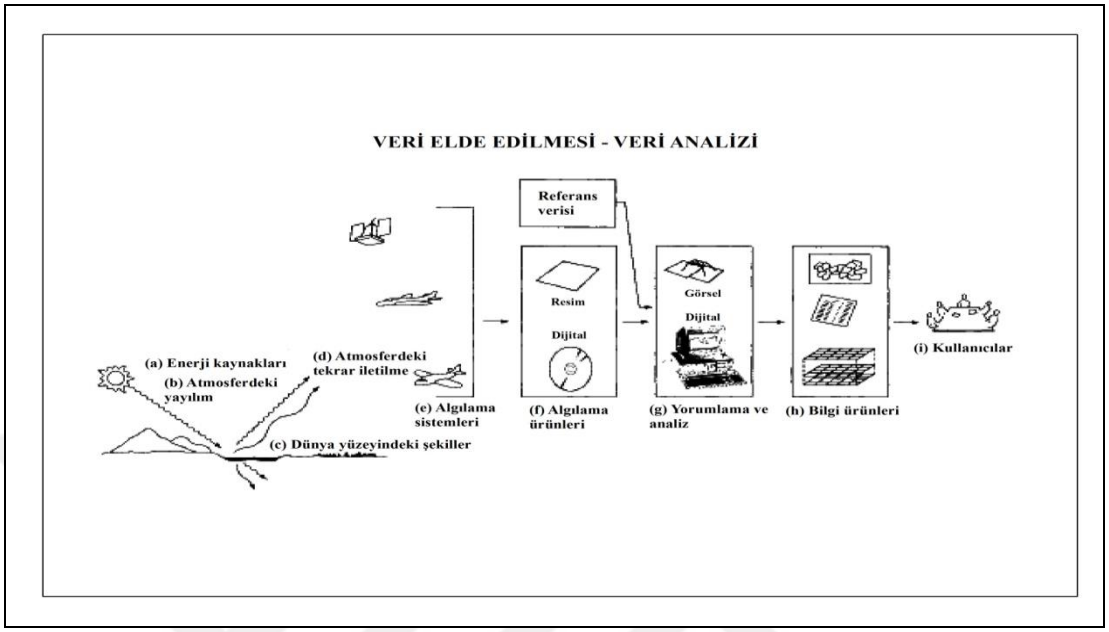
Şekil 5.1. Uzaktan algılama biliminin genel bir gösterim işlemi (Campbell ve Wynne, 2011).

Ayrıca uzaktan algılama, elektromanyetik spektrumun mor ötesi ve mikrodalga ışınları arasında kalan bölümün kullanılır. Verileri kaydetme işlemini gerçekleştiren gereçlere algılayıcı gereçler (sensör), bunlar sayesinde elde edilmiş olan verilere algı veya kayıt ve algılayıcı gereçleri üzerinde taşıyan araçları da platform adı verilir. Enerjinin kaynağına göre pasif ve aktif olmak üzere iki uzaktan algılama ayrımı

yapılmaktadır. Algılayıcı platformların cisimler tarafından yansıtılan veya kendileri tarafından yayılan öz ışınları ile kayıt yapmaları durumunda pasif uzaktan algılamadan söz edilebilmektedir. Pasif uzaktan algılamaya örnek olarak LANDSAT multispektral tarayıcısı verilebilir. Algılayıcı platformların kendi sahibi oldukları elektromanyetik enerji kaynaklarından nesneler üzerine ışın gönderimi yapıyor ve yansıma sonucu geri gelen kısımlarını kaydediyorsa aktif uzaktan algılamadan söz edilmektedir. Buna örnek verecek olursak PALSAR radar algılayıcısını verebiliriz. Uzaktan algılama çalışmaları genellikle pasif uzaktan algılama olarak yürütülüyor olmasına rağmen, son yıllarda aktif uzaktan algılayıcısı olan radar kullanımında önemli derecede artış oluşturmuştur. Elektromanyetik spektrumun kullanılan bölümüne dikkat edildiğinde optik uzaktan algılama, termal uzaktan algılama ve mikrodalga uzaktan algılama ayrımı yapılabilmektedir. Görünür ve yakın kızılötesi kullanılarak yapılan işlemlerde optik uzaktan algılama, kızılötesi kullanılarak ilerleyenler termal uzaktan algılama ve son olarak mikrodalga aracılığı ile ilerleyen mikrodalga uzaktan algılama kullanılmaktadır. Uzaktan algılamanın bilimsel açıdan atmosferin, okyanusların, karalarda bulunan objeler ile yer kaynaklarının detaylı bir şekilde incelenmesi ve daha birçok amaç doğrultusunda kullanıldığı bilinmektedir. Bu nedenle öncü konumunda olan ve hava fotoğraflarına dayalı olarak ortaya çıktığı bilinen fotojeoloji kavramı gibi, uzayda bulunan platformlar tarafından kaydedilen arazi verilerinin jeolojik amaçlı kullanılması anlamına gelen jeolojik uzaktan algılama da bu disiplinler içersinde yerini almaktadır (Tatar ve Tatar, 2006).

Uzaktan algılama sensörleri ile çeşitli toprak yüzeylerinin elektromanyetik enerji yayma ve yansıtma işlemleri hakkında veriler elde edilmekte, bu veriler detaylı olarak incelenmektedir. Şekil 5.2'de toprak kaynaklarının elektromanyetik enerji kullanılarak uzaktan algılama işlemlerindeki genelleştirilmiş olan süreçleri ve kullanılan elemanları gösterilmiştir. Veri toplama işlemi öncellikle, enerji kaynakları, enerjinin atmosfer boyunca yayılması olayı, yeryüzünün özellikleri ile alakalı meydana gelen enerji etkileşimleri, enerjinin tekrar atmosfer üzerinden iletilmesi ve son olarak verilerin resim yada dijital biçimde üretilmesi ile son bulmaktadır. Daha sonra elde edilen veri görsel olarak yorumlanabilmek amacıyla görsel yorumlama araçları tarafından incelenir. Elde edilen bu veriler genellikle basılı haritalar ve

tablolar şeklinde yada coğrafi bilgi sistemleri (CBS) yardımıyla bilgisayar ortamında toplanarak kullanıcıya sunulmaktadır (Lillesand ve diğ., 2004).



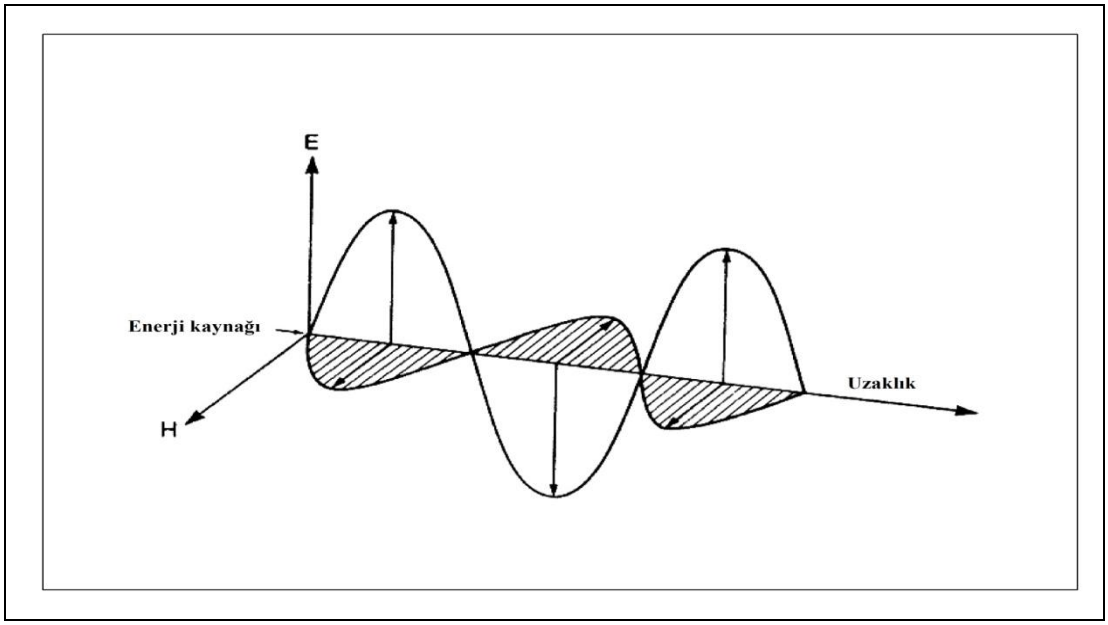
Şekil 5.2. Yeryüzündeki materyallerin uzaktan algılama yöntemi ile işlenmesinin şematik gösterimi (Lillesand ve diğ., 2004).

5.3. Elektromanyetik Enerji ve Elektromanyetik Spektrum

Mutlak sıfırdaki cisimler hariç, tüm cisimler elektromanyetik radyasyon yaymaktadırlar. Cisimler, diğer cisimler tarafından yayılan radyasyonu da yaymaktadırlar. Yayılan ve yansıyan radyasyonun kaydedilmesi dünyanın atmosferinden geçerek cisimlerle etkileşime girdiklerinden sonra uzaktan algılama analistleri ile yeryüzünde bulunan bitki örtüsü, yapılar, topraklar, kaya ve su kütleleri gibi konular hakkında bilgiler geliştirilmektedirler. Bu bilgiler ışığında uzaktan algılama görüntülerinin analizlerinin yapılması, elektromanyetik radyasyonun yüzeyler ve atmosferle ilişkilerinin iyi anlaşılması gerekmektedir (Campbell ve Wynne, 2011).

Sıcaklığı mutlak sıfırın üzerinde bulunan her bir nesne, dışarıya enerji yayan bir elektromanyetik enerji kaynağı konumundadır. Bilinenler arasındaki en önemli elektromanyetik enerji kaynağı Güneş'tir. Ayrıca bunun dışında çeşitli dalga boyu ve frekansa sahip yapay ışınlar da mevcuttur. Elektromanyetik enerji uzay boşluğunda, atmosferde ve nesneler içersinde yayılım göstermektedir. Elektromanyetik enerjinin

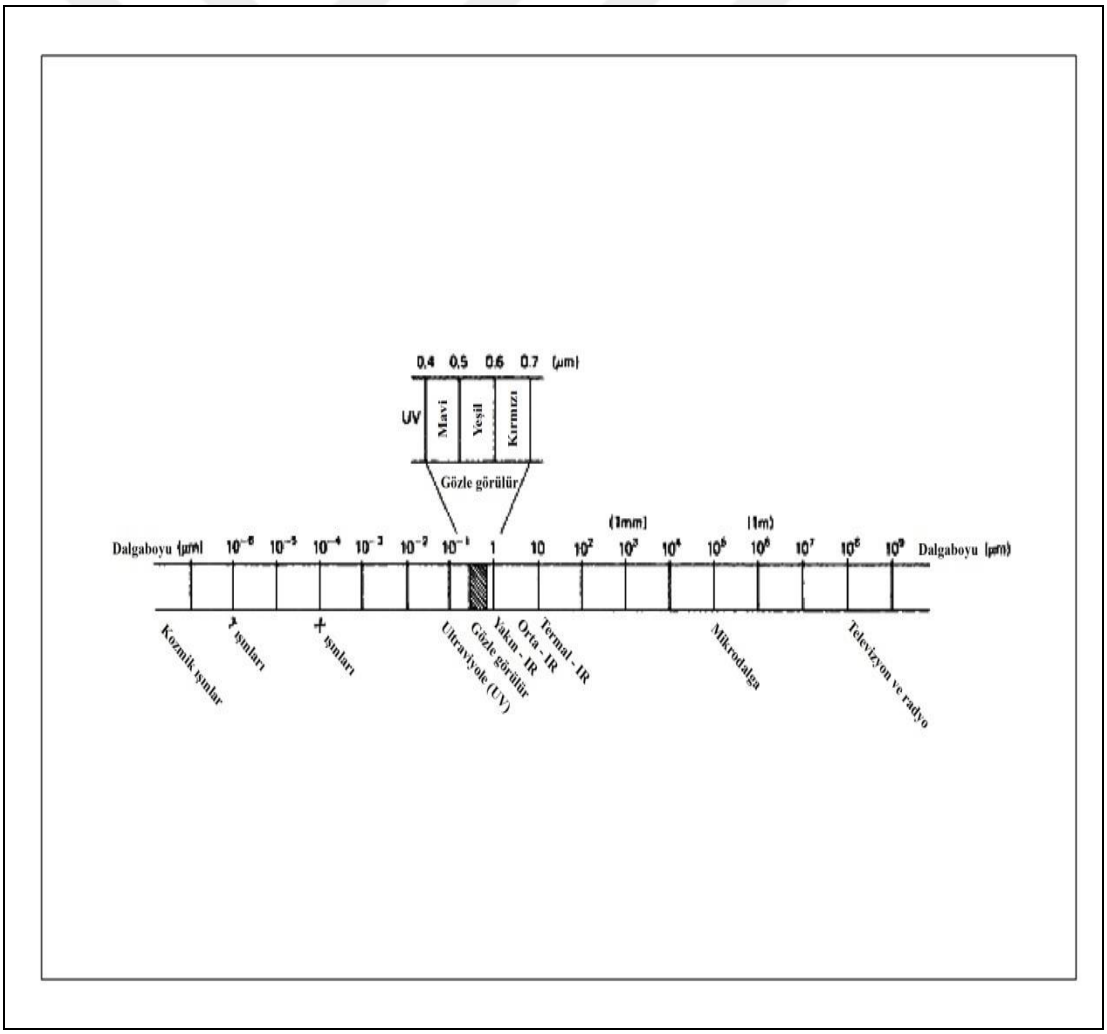
oluşturduğu ışınların nitelikleri hakkında iki kuram bulunmaktadır. Bunların elektromanyetik dalga kuramı ve kuantum kuramları oldukları bilinmektedir. Kuantum kuramına bakacak olursak elektromanyetik enerji kuanta adı verilen ve bölünme işlemini gerçekleştiremeyen küçük enerji demeti olarak veya partiküller halinde yayılmaktadırlar. Bu durum elektromanyetik dalga kuramına göre ise gelen ışınlar kesinti oluşturmaksızın yayılım gösteren dalgalar şeklindedir. Bu oluşan dalgalarda hem yayılma doğrultusu bakımından, hem de birbirlerine dik olacak şekildeki doğrultularda elektrik ve manyetik alan özellikleri mevcuttur (Şekil 5.3). Elektromanyetik enerjinin isminin bu özellikten kaynaklı olduğu bilinmektedir. Dünyanın kendi yaydığı elektromanyetik ışınların dalga boylarının uzunlukları yüzeydeki ortalama sıcaklığa bağlı olduğu bilinmektedir ve bu aralık kızılötesi ışınlara denk gelmektedir. Güneşin tayfında ise bu durum, morötesi, ışık ve yakın kızılötesi ışınları mevcuttur. Bunlar arasında canlıların yaşamı açısından oldukça zararlı olan morötesi ışınların tamamına yakın oranı atmosferin yüksek katmanında bulunan ozon tabakası tarafından uzaya geri gönderilmektedir. Aslında güneş ışınlarının büyük bir kısmı bulutlar veya başka atmosfer bileşenleri yoluyla uzaya geri yansıtılmaktadır. Kalan kısım atmosfer tarafından emilmekte yine atmosfer aracılığı ile dağıtımı yapılmakta ve son olarak yeryüzüne ulaştığı bilinmektedir (Tatar ve Tatar 2006).



Şekil 5.3. Elektromanyetik radyasyonun elektrik ve manyetik alan bileşenleri. Bileşenler hem birbirlerine hem de yayılma doğrultularına diktir (Campbell ve Wynne, 2011).

Elektromanyetik enerji kaynakları tarafından yayılan radyasyon farklı dalga boyuna sahip ışınların karışımından meydana gelmektedir. Elektromanyetik spektrum (tayf), elektromanyetik ışınların en küçük dalga boyundan en büyük dalga boyuna veya en büyük frekanstan en küçük frekansa toplu bir şekilde ve kesintisiz olarak sıralanan bir tür grafiktir (Şekil 5.4).

Elektromanyetik spektrumda oluşan ışınlar dalga boylarına göre farklı isimler ile tanımlanarak bölümlere ayrılmaktadırlar (Tablo 5.1). Sıralayacak olursak; gama ışınları, X-ışınları, morötesi ışınlar (ultraviole ışınlar), görünür ışık; yakın, orta ve uzak dalga kızılötesi ışınlar, mikrodalga ışınlar ve radyo dalgaları şeklinde adlandırılır. Gerçek zamanlarda belirtilen bölümler arası tamamen geçişli olup, kesin değildirler.



Şekil 5.4. Elektromanyetik spektrumun ana bölümlerinin şematik gösterimi (Lillesand ve diğ., 2004).

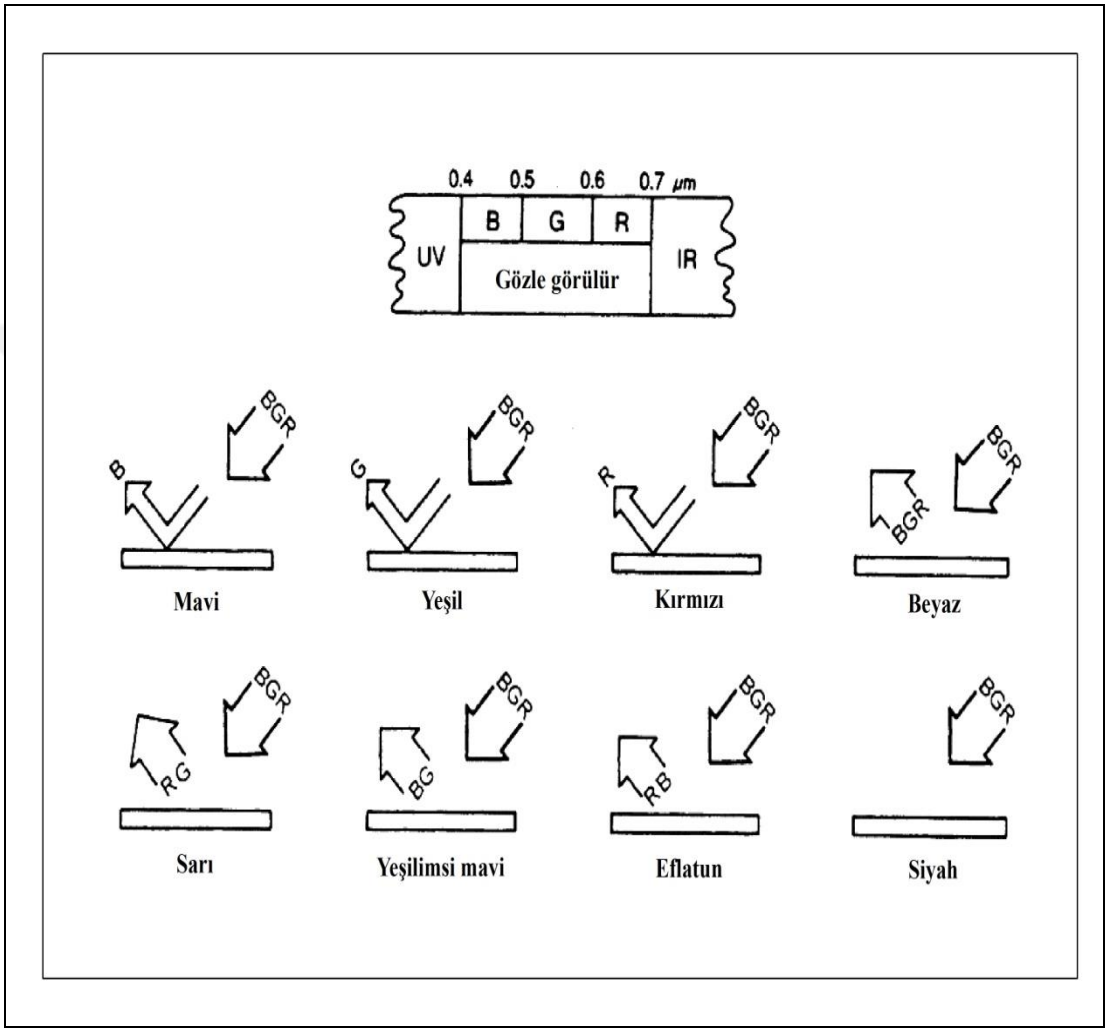
Tablo 5.1. Elektromanyetik spektrumun başlıca bölümleri (Campbell ve Wynne, 2011).

Bölümler	Sınırlar
Gama ışınları	< 0.03 nm
X-ışınları	0.03 - 300 nm
Morötesi ışınlar (ultraviole ışınlar)	0.30 - 0.38 μm
Işık ışınları (görünebilir ışık)	0.38 - 0.72 μm
Kızılötesi Işın -Yakın kızılötesi -Orta kızılötesi -Uzak kızılötesi	 0.72 - 1.30 μm 1.30 - 3.00 μm 7.0 - 1,000 μm (1mm)
Mikrodalga ışınları	1mm - 30cm
Radyo dalgaları	≥ 30cm

Görünür ışık (ışık ışınları) elektromanyetik spektrumun insan gözü tarafından algılanabilen ve en çok duyarlı olduğu kısmına denilmektedir. Işık ışınlarının dalga boyları yaklaşık olarak 0,4 - 0,7 μm arasındadır. Bilindiği üzere beyaz ışığın uygun olan bir prizmadan geçirilmesi ile sırasıyla kırmızı, turuncu, sarı, yeşil, mavi ve mor olmak üzere altı ayrı renk ışınına bölünmektedir (Şekil 5.5). Bunların hepsi monokrom (tekrenk) ışınlar olduğu bilinmektedir.Bu renklerin 0,4 - 0,5 μm arası mavi, 0,5 - 0,6 μm arası yeşil ve 0,6 - 0,7 μm arası kırmızı renklere karşılık gelmektedir. Bu ana renklerin yeterli oranda karıştırılması ile diğer ara renklerin ortaya çıktığı belirtilmektedir (Campbell ve Wynne, 2011).

Sadece ışık ışınları değil, elektromanyetik spektrumun tümü filtre ve detektör gibi düzenekler sayesinde yapay olarak daha dar kısımlara ayrılmaktadırlar. Elektromanyetik spektrumun bu şekilde ayrıldığı bilinen dar kısımlarının her birine kanal (bant) denilmektedir. Bilindiği gibi filtreler ve detektörler sadece belli dalga

boyuna sahip ışınları geçirip, diğerlerini ise ya yutacak ya da yansıtacaktır. Kanallama tekniği ile fotoğraf veya görüntüleme yöntemleri ile nesneler hakkında elde edilecek bilgi sınırları önemli derecede genişletilmiş durumdadır (Tatar ve Tatar, 2006).



Şekil 5.5. Renklerin şematik gösterimi (Campbell ve Wynne, 2011).

5.3.1. Elektromanyetik enerji ve atmosfer etkileşimi

Uzaktan algılama cihazları tarafından kullanılan enerjinin bir kısmı dünya atmosferinden geçmek zorundadır. Atmosferde bulunan parçacıklar ve gazlar, enerjinin yoğunluğunda önemli değişiklikler meydana getirir (Campbell ve Wynne, 2011).

Elektromanyetik enerji atmosferden geçişi sırasında atmosferde bulunan bileşenlerle etkileşime geçmektedir. Bu etkileşimin derecesi ise ışınların atmosfer boyunca

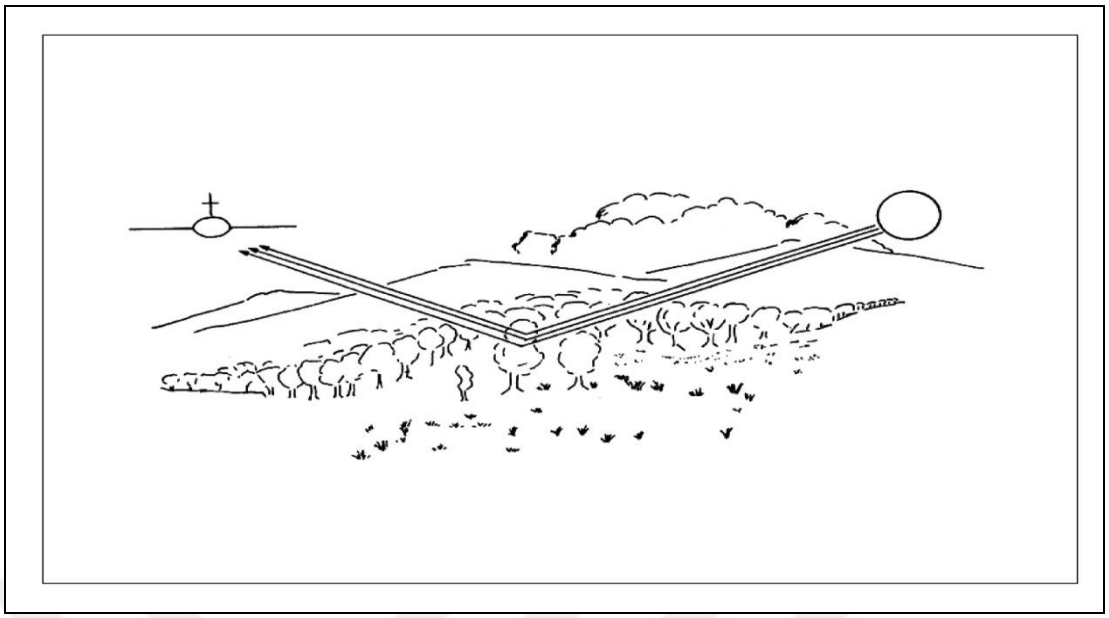
geçtiği yolun uzunluğu, ışığın oluşturduğu dalga boylarına ve atmosferin bahsedildiği kesimdeki bileşime, havanın bulutlu veya sisli olup olmamasına bağlı olarak değişiklik göstermektedirler. Elektromanyetik enerjinin atmosfer üzerinde bir diğer etkisi ise ışınların saçılması veya ışınların soğurulması olayıdır. Saçılma veya saçınım kavramı, atmosferde bulunan mevcut bileşenler ve özellikle gaz moleküllerinin etkisi ile ışınların farklı yönlere dağılmasını ifade etmektedir. Soğurma olayı ise atmosferde mevcut olan bileşenlerin gelen enerjinin bir kısmını yutması ve bundan dolayı yeryüzüne ulaşan enerjinin şiddetinin azalması anlamına gelir. Atmosferde bulunan su buharı, karbondioksit ve ozon gibi bileşenler en fazla soğurma yapan bileşenlerdir ve daha çok görünür ve kızılötesi ışınlar soğurulmaktadır. Atmosferde bulunan gazlar elektromanyetik enerjinin bazı kısımlarını önemli ölçüde soğururken bazı kısımlarını da geçirmektedir. Elektromanyetik spektrumun atmosferde bulunan bileşenler tarafından fazla soğurulmadan geçen kısımları atmosferik pencere olarak tanımlanmaktadır (Tatar ve Tatar, 2006).

5.3.2. Elektromanyetik enerji ve yeryüzü objeleri ile etkileşimi

Yeryüzünün herhangi bir bölgesine düşen elektromanyetik enerji yeryüzü ve yeryüzünde bulunan nesneler ile yansıma, soğrulma veya geçme şeklinde etkileşimler gösterebilmektedirler. Değişik birçok nesnenin spektral duyarlılık açısından benzer olması durumu, görüntüler üzerinde bunların birbirlerinden ayırt edilmesini zorlaştırmaktadırlar. Bu sorunu ortadan kaldırmak amacıyla elektromanyetik spektrum daha dar ve daha çok sayıda kanala (bant) bölünerek çalışmalar yapılmaktadır (Tatar ve Tatar, 2006).

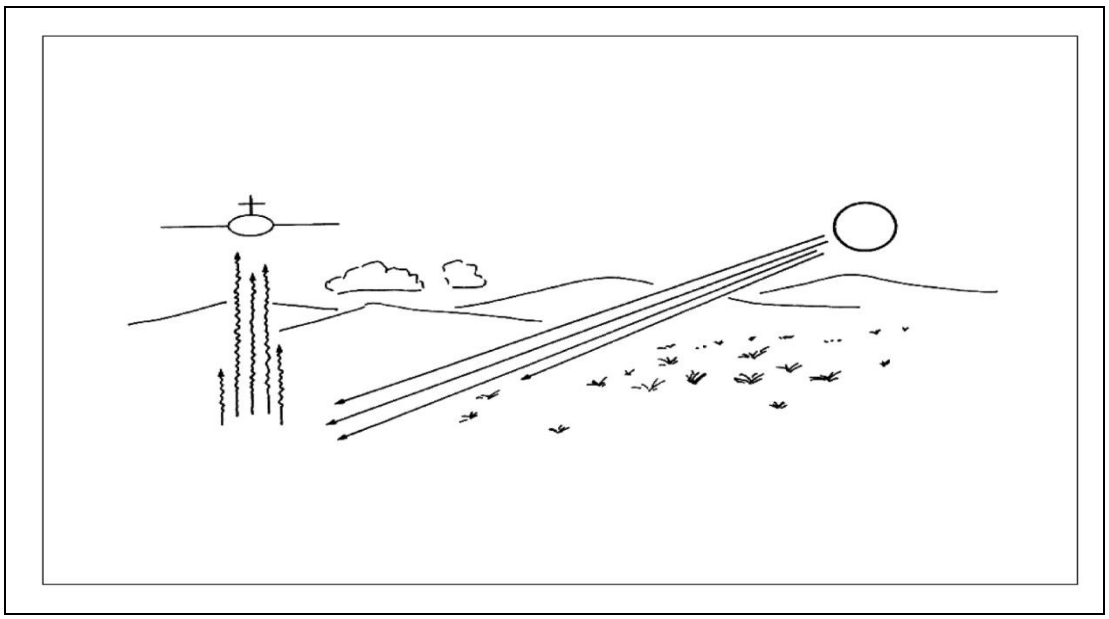
5.4. Uzaktan Algılama İçin Üç Model ve Algılayıcı Gereçler

Uzaktan algılama çalışmalarında kaydedilen enerjinin dalga boylarına ve çalışmanın amacına bağlı olarak üç temel model mevcuttur. Bunlardan biri, güneş ışınının dünya yüzeyinden yansımasıdır ve pasif sensörler tarafından kaydedilir (Şekil 5.6). Bu uzaktan algılama biçimi için elektromanyetik spektrumun görünür ve yakın kızılötesi bölümlerindeki enerjiler kullanılmaktadır.



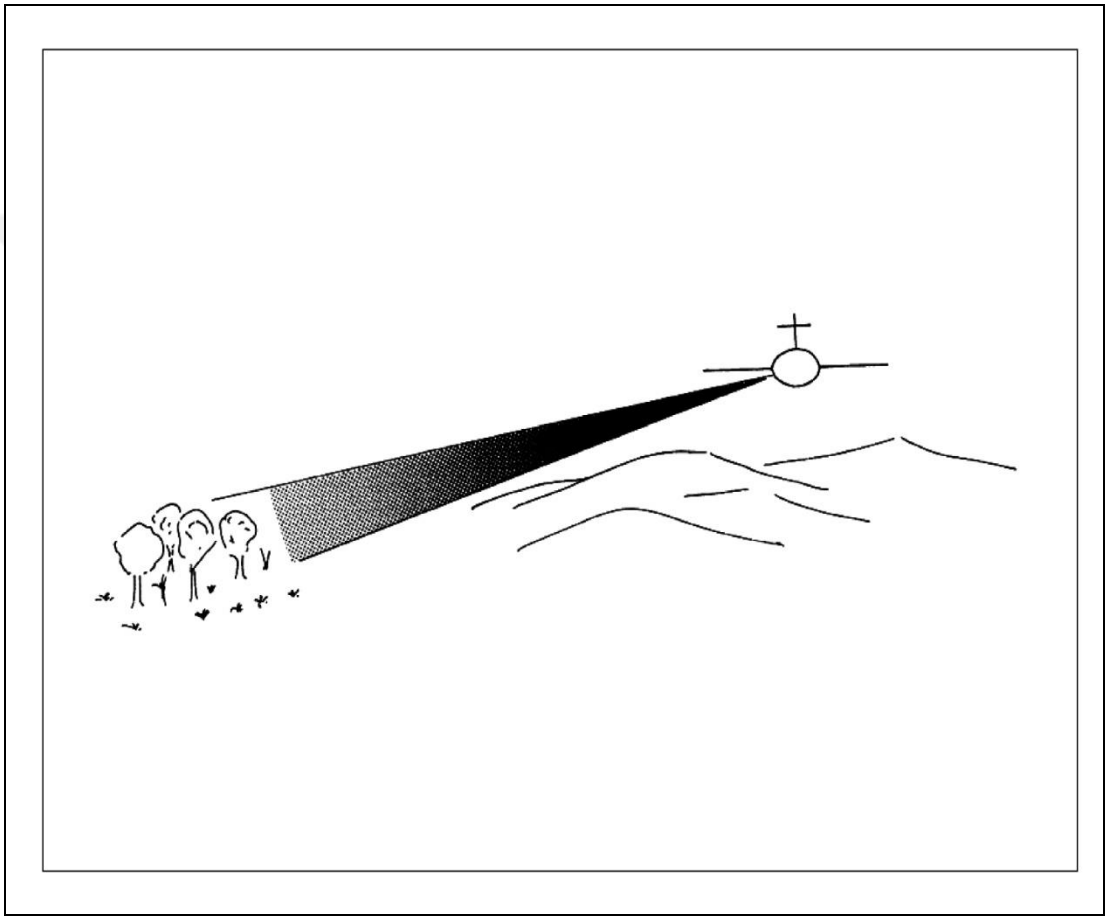
Şekil 5.6. Yansıyan güneş radyasyonunu kullanarak yapılan uzaktan algılama çalışması (Campbell ve Wynne, 2011).

Uzaktan algılama için ikinci bir model ise dünya yüzeyinden yayılan radyasyonun kaydedilmesidir. Yeryüzünden yayılan enerji aslında güneşten gelen enerjinin emilmesi sonucu daha sonra nispeten daha uzun dalga boyunda yayılan enerjidir (Şekil 5.7). Bu model aynı zamanda pasif algılayıcıları temsil etmektedir. Bu tür algılayıcılar kendileri tarafından üretilen enerji yerine dünya tarafından üretilen enerjiyi algılamak için tasarlanmışlardır.



Şekil 5.7. Dünya yüzeyinden yayılan radyasyonu kullanarak yapılan uzaktan algılama çalışması (Campbell ve Wynne, 2011).

Son olarak üçüncü model ise, elektromanyetik enerjiyi kaydeden sensörler kendi enerjilerini kendileri üretir ve dünya yüzeyinden yansıyan enerjiyi kullanırlar (Şekil 5.8). Kendi enerjilerini kendileri sağladıkları için bu tür sensörlere aktif sensör denilmektedir. Aktif sensörler, güneşten veya yeryüzünden gelen radyasyona ihtiyaç duymadığı için gece ve bulutlu havalarda kullanılabilmektedirler (Campbell ve Wynne, 2011).



Şekil 5.8. Kendi enerjisini kullanarak yapılan uzaktan algılama çalışması (Campbell ve Wynne, 2011).

5.4.1. Tarayıcı gereçler

Tarayıcı algılayıcılar görüntüyü meydana getiren şeritler boyunca tarama yaparlar. Tarayıcılar tek kanallı veya çok kanallı olarak üretilip kullanılabilir. Termal kızılötesi kanalda çalışan tek kanallı tarayıcılar mevcuttur. Çok kanallı tarayıcıların çalışma prensibi tek kanallı tarayıcılar ile aynıdır. İkisi arasındaki temel fark ise algılanan enerjinin kendine özel bir sistem yardımıyla birçok kanala bölünerek aynı anda farklı yerlere kaydetmesidir. Çok kanallı tarayıcıların değişik birçok modeli bulunmaktadır.

Bunlardan biriside döner mekanizmalı tarayıcılardır ve bu tarayıcılar optik-mekanik tarayıcılar şeklinde de adlandırılmaktadırlar. Termal tarayıcılar ise uzak yada kızılötesi ışınlar tarafından yansıyan değil nesnelerin yaymış oldukları ısı ışınlarını kullanarak çalışan tarayıcılardır. Son olarak, hiperspektral tarayıcılar elektromanyetik spektrumun çok daha fazla sayıda ve çok daha dar olan kanallara bölünerek uzaktan algılama çalışmalarında daha fazla veri elde etmek amacıyla geliştirildiği bilinmektedir (Tatar ve Tatar, 2006).

5.5. Verilerin Görsel Olarak İncelenmesi ve Yorumlanması

Görsel açıdan inceleme yapabilmek için elde edilmiş olan verilerin fotoğraf veya görüntü durumuna getirilmiş olması gerekmektedir. Genel olarak bakıldığında yorumlamada incelenen materyaller ne kadar çok özelliği biliniyorsa yorumlanan verinin doğruluk oranı da o kadar yüksektir. Nesnelerin görüntü üzerinde bulunan genel formları veya görüntünün sınırlarının şekli biçim olarak tanımlanmaktadır. Biçim hakkında belirleyici özelliklerinden birisi yükseklikliktir. Bu nedenle yükseklik özelliği kullanılarak nesnelerin biçimleri daha net incelenebilmektedir. Görüntü analizlerinde bazı nesnelerin biçim ve boyutları birbirlerine benzerlik gösterebilir. Bu durumu ortadan kaldırabilmek için nesnelerin boyut analizleri yapılmaktadır. Sayısal olan görüntülerde veri hacmi görüntünün içeriğini ve bilgisayar ortamında tutulduğu yeri belirtir. Görüntünün veri hacmi ne kadar büyük olursa görüntünün analiz kalitesi de artmaktadır. Doku görüntü üzerinde bulunan nesnelerin alansal olarak konumunu ve düzenlenme biçimini belirtir. Doğal ya da yapay dokuların tekrarlanmalı olarak görüntülenmesi görüntünün analizinde fayda sağlamaktadır. Görüntülerin analizinde ton ve renk nesnelerin ayırt edilmesinde faydalı olmasına rağmen dikkatli olunmalıdır. Görüntülerde nesneler incelenirken kullanılan bir diğer yardımcı özellik ise gölgedir. Gölge üç boyutlu görüntü etkisi oluşturarak görüntü analizinin yorumunu kolaylaştırmaktadır. Bazı nesnelerin bulunduğu yerde görüntü analizinde yardımcı unsurlardır. Farklı nesnelerin doğal olarak ya da bağımlı olarak bir arada bulunması olayı da verilerin incelenmesi için gerekli olan bir özelliktir. Ancak bu özellikler arasında en önemli olanlarından biriside görüntünün çözünürlüğüdür. Çözünürlük, bir görüntüde ayırt edilebilen en küçük cismin boyutu olarak tanımlanır. Nesnelerin görüntü üzerinde ayırt edilebilmelerinde kullanılan diğer özellikte parlaklık ve zıtlıktır. Parlaklık koyu ve açık tonların uyumunu ifade etmektedir.

Zıtlık ise koyu ton ile açık tonlar arasındaki farkın ölçüsüne denilmektedir. Son olarak ölçek de görüntü analizlerinde kullanılan yardımcı bir unsurdur. Büyük ölçeğe sahip görüntüler küçük ölçeğe sahip görüntülerden daha fazla ayrıntı sağlamaktadır. Yukarıda belirtilen tüm özellikler kullanılarak verilerin görsel olarak incelenip analizi yapılmaktadır (Tatar ve Tatar, 2006).

5.6. Görüntülerin Sayısal İncelenmesi ve Yorumlanması

Fotoğraf veya görüntülerin sayısal açıdan incelenip değerlendirilebilmesi için bunların sayısal niteliğe sahip olmaları gerekmektedir. Sayısal olan bir görüntü veya fotoğraf her biri piksel olarak adlandırılan kare veya dikdörtgen şeklinde iki boyutlu olarak oluşmuş bir mozaiktir. Özel olarak tasarlanmış bilgisayar programları ile piksellerin sayısal değerleri üzerinden sistematik olarak değişiklikler yapabilme olanağı sağlamış, görüntülerin sayısal olarak işlenmesi yapılabilmektedir. Öncelikle sayısal verinin görüntü rektifikasyonu yapılmaktadır. Herhangi bir görüntünün geometrisinin planimetrik (ortofoto) duruma getirilebilmesi için yapılmış olan sayısal işlemlere verilen addır. Başka bir işlem ise görüntü iyileştirme işlemidir. Görüntü üzerinde bulunan zıtlık ve netlik düzeltmeleri çeşitli filtreleme yöntemleri yardımıyla yapılmaktadır. Görüntü sınıflandırma işlemi, sayısal görüntü işleme yöntemleri arasında en önemli yöntem olarak tanımlanmaktadır. Bu yöntemle arazinin farklı özellikleri belirlenebilmekte ve haritalama işlemi yapılabilmektedir. Veri katıştırma ve Coğrafi Bilgi Sistemi (CBS) entegrasyonu işlemi ise, coğrafya referanslı verilerin ve Coğrafi Bilgi Sistemi (CBS) öğelerini birleştirerek yeni karma görüntülerin oluşturulmasıdır. Biyofiziksel modelleme yöntemi, uzaktan algılama ile kaydedilen verilerle arazide ölçümü yapılmış olan biyofiziksel değerler arasında kurulan bağa dayalıdır. Son olarak veri sıkıştırma ve görüntü iletimi sayısal anlamda çok büyük hacimler tutan uzaktan algılama verilerinin özel programlar yardımıyla sıkıştırılması işlemine denilmektedir (Tatar ve Tatar, 2006).

5.7. Uzaktan Algılamanın Coğrafi Bilgi Sistemleri ile İlişkisi

CBS inceleme ve gözlemler ile elde edilen coğrafik konum ile bağlantısı olan grafik veya grafik olmayan verilerin toplanması, saklanması, analiz edilmesi vb. işlemlere verilen addır. Sistemin ana öğeleri bilgisayarlar, veriler, kurumlar ve bu konuda uzman olan elemanlardır. Günümüzde birçok alanda CBS kullanılmaktadır. Bir

soruna ait olan haritasal sunumlar modüler olarak katmanlar şeklinde halinde hazırlanarak arşivlenme işlemi yapılması CBS'nin en önemli özellikleri arasında sayılmaktadır. Özellikle uzaktan algılama verileri aynı zamanda CBS için en önemli veri kaynağını oluşturmaktadır (Tatar ve Tatar, 2006).

6. TEZDE YAPILAN ÇALIŞMALAR

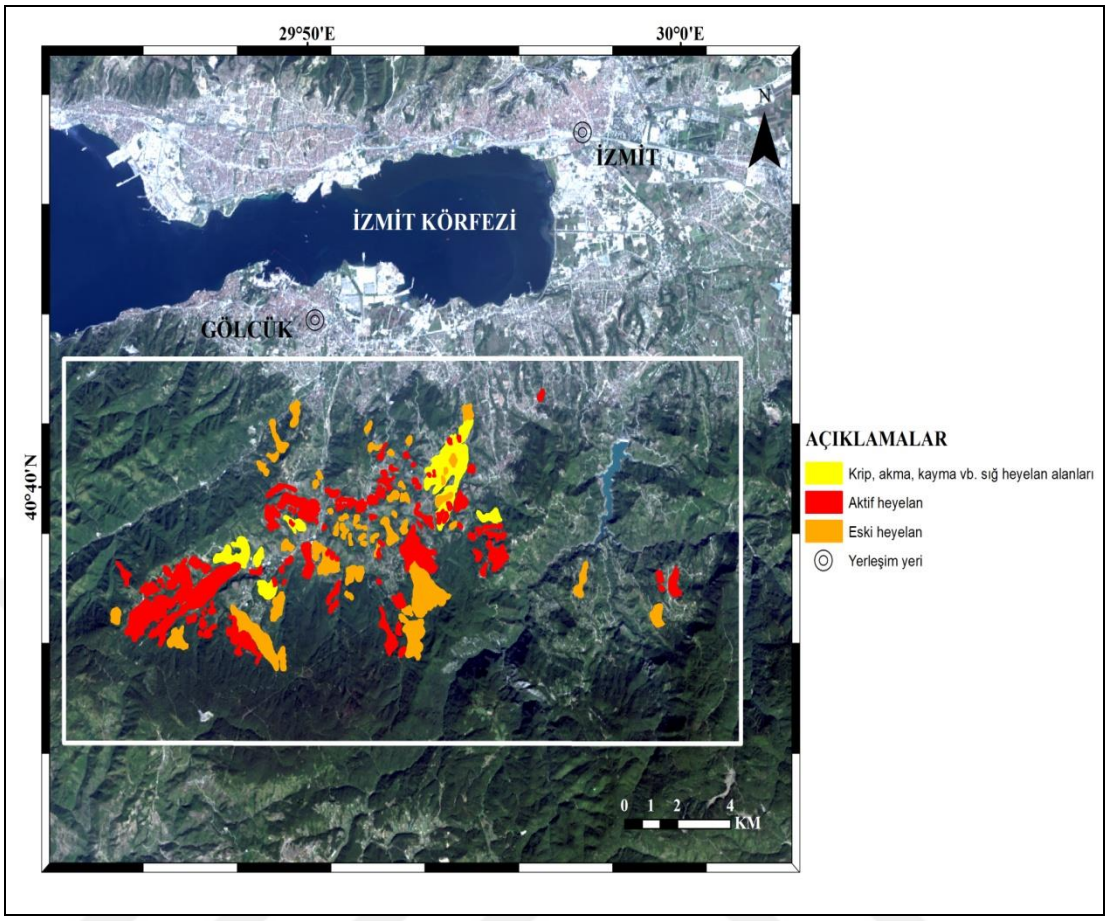
Heyelanlar ile alakalı çalışmalar geçmiş yıllardan günümüze kadar gelmektedir ve ilk zamanlarda lokal ve problem amaçlı analizler yapılmıştır. Heyelanların detaylı olarak çalışılmasının her türlü mühendislik çalışmalarına ve ekonomiye büyük bir destek sağlamaktadır (Soeters ve Van Westen, 1996).

Bu tezde heyelan nedeniyle canlıların yaşamında oluşan olumsuz durumları ortadan kaldırmak ve çözüm yolu bulmak amacıyla, çalışma alanındaki heyelanları tetikleyen unsurlar ve meydana gelmiş olan heyelanların veya heyelan oluşturabilecek alanların tespiti uzaktan algılama ve CBS uygulamasıyla yapılmıştır. Öncellikle ALOS-PALSAR verisi kullanılarak heyelanların ana tetikleyici unsurlarından birisi olarak düşünülen kırık ve kırık sistemleri haritalanmıştır. Daha sonra ALOS-PALSAR verisinden oluşturulmuş olan DEM verisinden 10 m ve 20 m kontur haritaları oluşturarak çalışma sahasındaki heyelan alanları tespit edilmiştir.

6.1. Çalışma Alanının Heyelan Envanter Haritası

Heyelan envanter haritaları meydana gelmiş olan heyelanların cinslerinin ve bulundukları coğrafik konumu hakkında bize bilgi vermektedir. Heyelan envanter haritaları hazırlanırken kendi aralarında belli bir sınıflandırmaya tabi tutulurlar. Heyelan haritalarının temel kullanım amacı ise, bölgesel ölçekte bulunan heyelan duyarlılıkları, olası durumlarda gelişen tehlike ve son olarak risk değerlendirmelerinin temel girdisi olarak kullanılmasıdır (Çan ve diğ., 2013).

Tez çalışmasının ana konusu radar verisinden türetilen çizgiselliklerin heyelanlarla ilişkisinin incelenmesi olduğundan, çalışma alanında daha önce Duman ve diğ., (2011) tarafından haritalandırılmış olan aktif heyelan, eski heyelan, krip, akma, kayma vb. sığ heyelan alanlarından faydalanılmıştır ve bunlar çalışma için altlık veri olarak kullanılmıştır. Bu amaç doğrultusunda çalışma alanında bulunan MTA tarafından hazırlanmış olan heyelan envanter haritası Şekil 6.1'de dijitalleştirilerek gösterilmiştir (Duman ve diğ., 2011).



Şekil 6.1. Çalışma alanının kütle hareketlerini gösteren harita, MTA tarafından hazırlanmış olan heyelan envanter haritasının dijitalleştirilmesi sonucu oluşturulmuştur (Duman ve diğ., 2011).

6.2. Uzaktan Algılama ve Coğrafi Bilgi Sistemleri Çalışmaları

Tez çalışmasının tamamını oluşturan uzaktan algılama ve CBS uygulamaları ile Gölcük ve çevresindeki heyelanlı alanların oluşumuna zemin hazırlayan ana tetikleyici unsurlardan biri olarak düşünülen kırık ve kırık sistemlerinin tespit edilmesi ve bölgenin oluşturulan kontur haritaları üzerinden heyelan tespiti ve heyelan oluşturabilecek alanların belirlenmesi işlemi yapılmıştır. Bu çalışmalar birkaç aşamadan geçmektedir. İlk olarak, bölge ile alakalı daha önce yapılmış olan jeoloji ve heyelan çalışmaları derlenmiştir. Sonrasında, jeoloji için formasyon sınırları ve heyelanlı alanlar CBS ortamında kullanılması için dijitalleştirilmiştir. Uzaktan algılama verisi olarak RADAR verisi olan ALOS-PALSAR seviye 1.5 görüntüsü kullanılmaya karar verilmiştir. Çalışmaya başlamadan önce PALSAR verisinin belirli birkaç önişlemden geçmesi gerekmektedir. Bu işlemler için uzaktan algılama ve CBS programları kullanılmıştır. PALSAR verisi uzaktan algılama

programı kullanılarak çeşitli filtre işlemlerinden geçirilerek CBS programına aktarılmıştır. Yapılmış olan işlemler detaylı olarak bir sonraki bölümde anlatılacaktır.

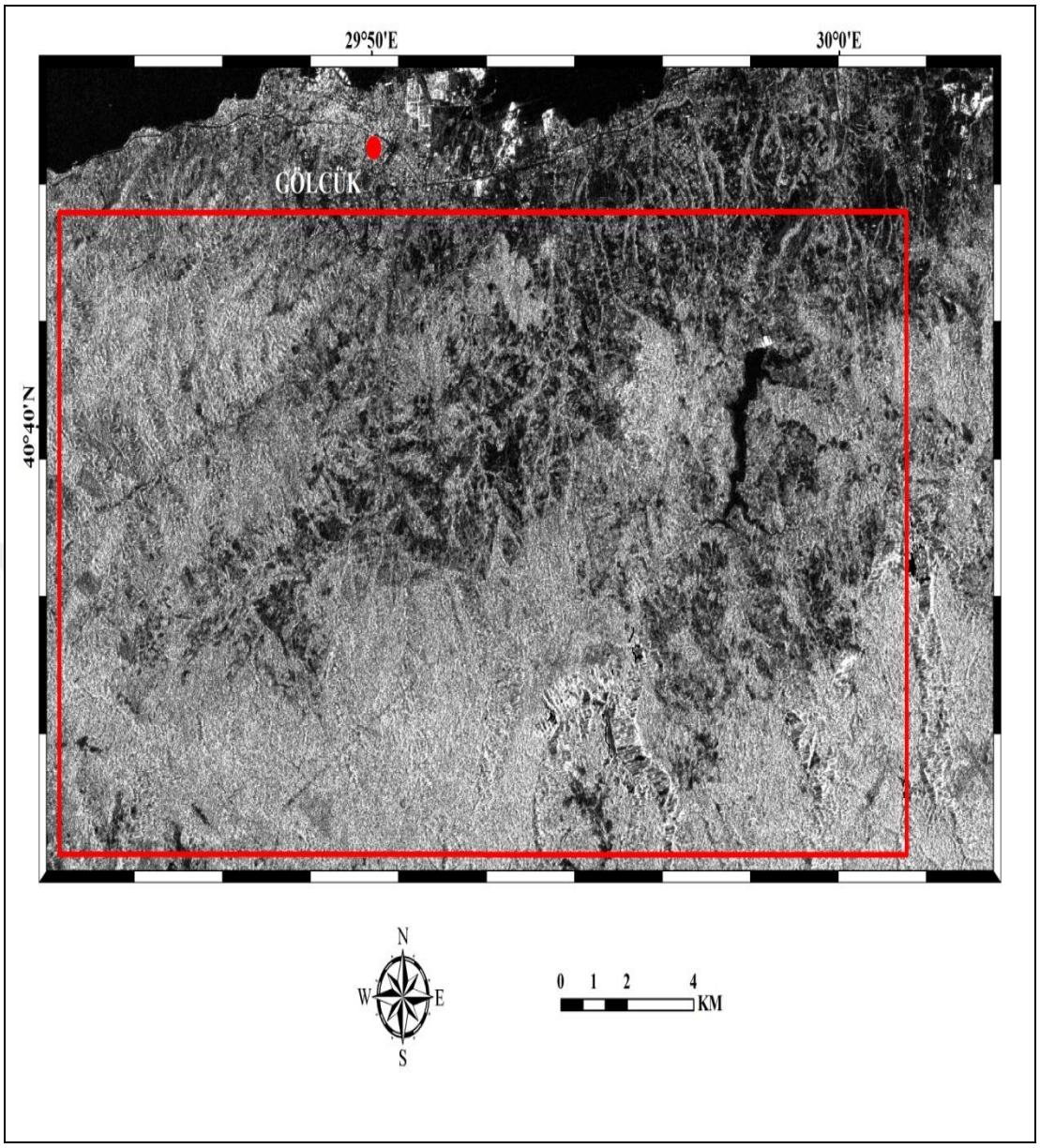
6.3. Alos-Palsar Verisi Kullanarak Çizgiselliklerin Tespiti

6.3.1. Alos-palsar verisi

ALOS üzerinde yer alan ve aktif olarak görev yapan mikrodalga sensörü PALSAR hava koşullarından etkilenmeden gece ve gündüz veri toplayabilmektedir (Igarashi, 2001; Rosenqvist ve diğ., 2004). 24 Ocak 2006'da göreve başlayan PALSAR sensörü Alaska Satellite Facility (URL-2) tarafından sağlanmaktadır. PALSAR sensörü çoklu polarizasyon ve farklı modlarda gözlem işlevlerine sahip bir L-bant sentetik diyafram radarıdır ve uzamsal çözünürlüğü İnce, Polarimetrik ve ScanSar modları için sırasıyla 10, 30 ve 100 m'dir (Igarashi, 2001). RADAR verilerinin önemli kullanım alanlarından birisi de harita yapma işlemidir ve bu işlemi gerçekleştirirken mikrodalga sinyallerden yararlanmaktadır (Gündoğdu ve diğ., 2015). Uzun dalgaboyundan dolayı PALSAR sensörleri, ile optik sensörlerin aksine, olumsuz hava koşullarından (bulutlu ve yağmurlu havalarda) etkilenmediğinden tropikal alanlarda başarılı sonuçlar vermektedir (Pour ve Hashim, 2015).

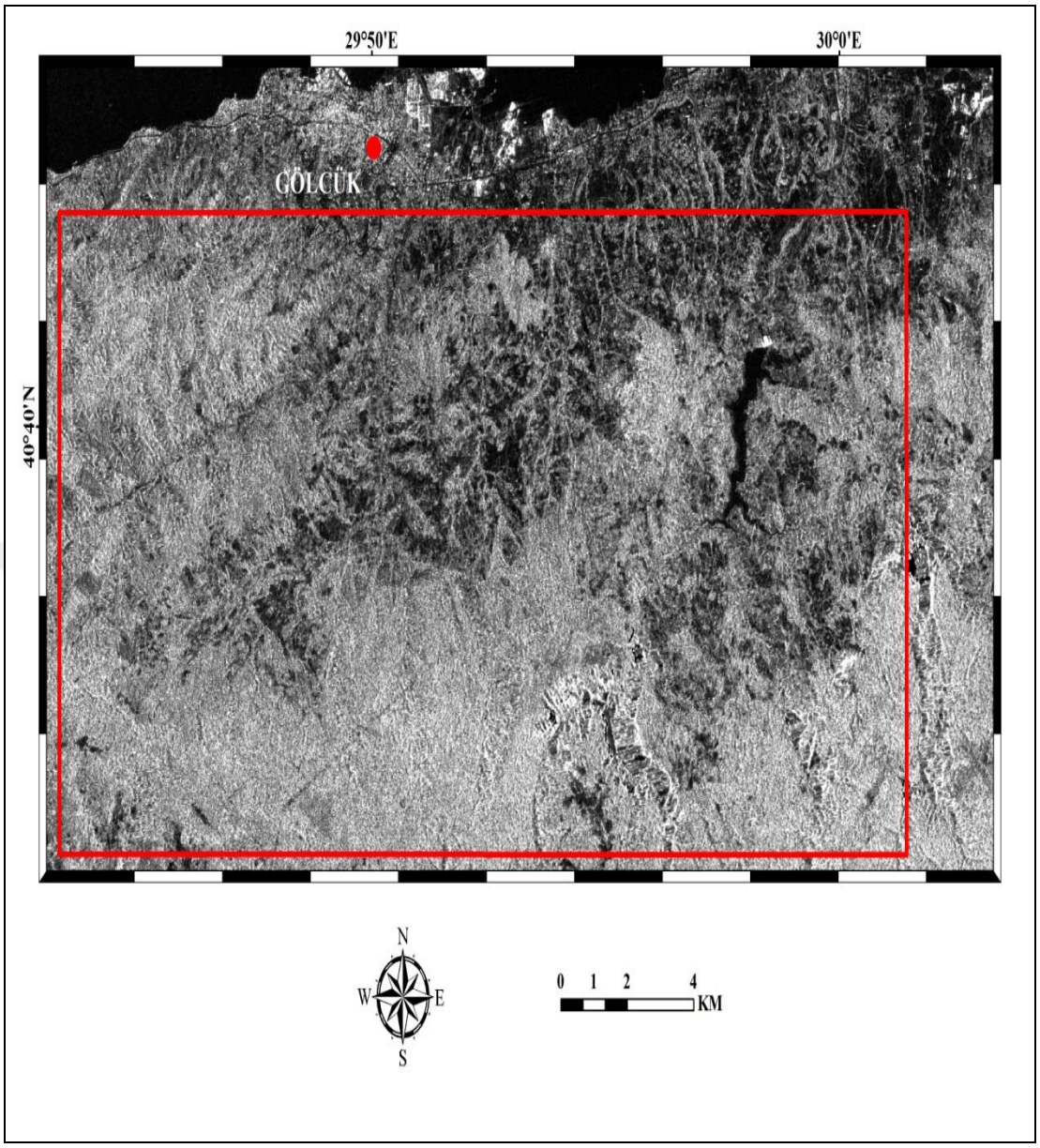
6.3.2. Alos-palsar verisinin ön işlem aşaması

Radar görüntüleri parazitler (benek) tarafından bozulmaya uğramaktadır. Bir görüntüde gözlenen parazitler yerde bulunan hedeflerin uzamsal desenlerini gizlediğinden algılanmasına olumsuz etki etmekte ve otomatik görüntü sınıflandırma işleminin doğruluk oranını azaltmaktadır. Bundan dolayı parazitlerin ortadan kaldırılması için radar verisine filtre işlemi uygulanmalıdır (Lee ve Jurkevich, 1994; Sheng ve Xia, 1996; Sveinsson ve Benediktsson, 1996). Çalışma alanındaki yapısal unsurların izlenmesi ve bölgede bulunan heyelan alanları ile ilişkisinin araştırmasını yapabilmek için parazitlerin ortadan kaldırılması gerekmektedir, bu nedenle Şekil 6.2'de verilen ham PALSAR seviye 1.5 verisine filtre işlemi uygulanmalıdır. Uygulanabilir filtreler yardımıyla yapılan işlemlerde verilerin mekansal özelliklerini bozmadan radar benekleri görüntüden kaldırılabilmektedir (Lopes ve diğ., 1990; Shi ve Fung, 1994).



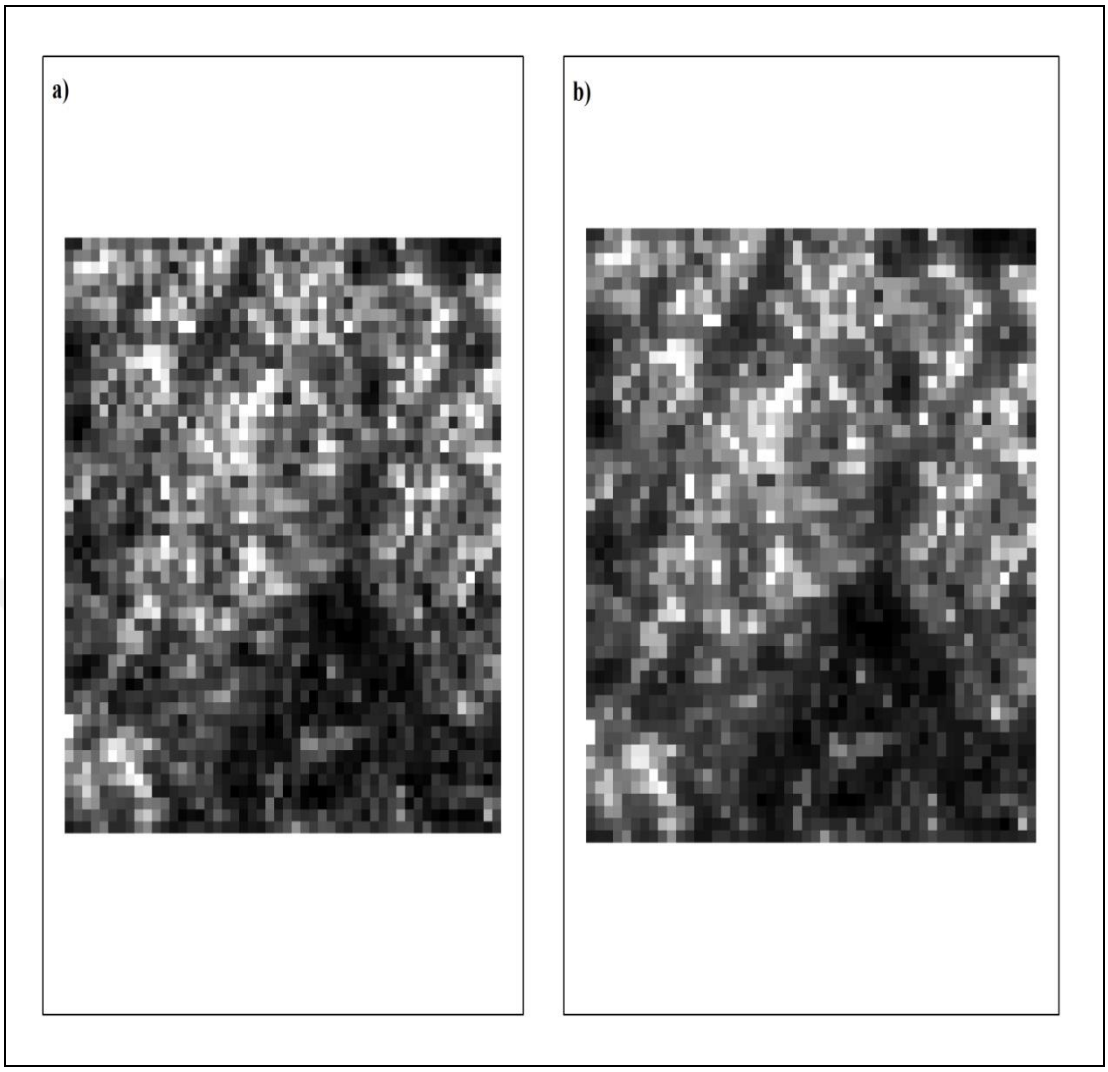
Şekil 6.2. Çalışma alanının filtre uygulanmamış ham radar görüntüsü.

Radar verisindeki benekleri ortadan kaldırmak amacıyla görüntüye uygulanabilir filtre işlemi yapılmıştır. Veriler uzaktan algılama programı kullanılarak işlenmiştir. Bu çalışmada görüntüdeki hem benekleri azaltmak hem de görüntünün kenar özelliklerinin korunması amacıyla uygulanabilir lokal sigma filtreleme seçilmiştir (Şekil 6.3). Lokal sigma filtre penceresinde bulunan geçerli sayılan pikseller yardımıyla hesaplanmış olan ortalama değer ile pikselleri değiştirmektedir (Eliason ve McEwen, 1990). Radar verisine piksel cinsinden 3*3 filtre boyutu uygulanmıştır. Sigma faktörünün alanı için ise varsayılan 1.000 değeri girilmiş ve filtreleme işlemi gerçekleştirilmiştir.



Şekil 6.3. Çalışma alanının uygulanabilir lokal sigma filtre işlemi uygulanarak oluşturulmuş radar görüntüsü.

Bu çalışmada lokal sigma filtresi kullanılarak radar verisi üzerindeki benekler önemli derecede azaltılmış ve kenar özellikleri korunmuştur. Şekil 6.4'de filtre uygulanmamış ve uygulanabilir lokal sigma filtre işlemi gerçekleştirilmiş iki verinin yakınlaştırılmış görüntüsü verilmiş ve iki veri arasındaki benek ve kenar özelliklerinin farkı görülmektedir. Bu nedenle jeolojik yapısal unsurların tespit edilebilmesi için uygulanabilir filtreleme yöntemlerinden lokal sigmanın diğer filtreleme yöntemlerine göre daha pratik ve uygun olduğu gözlemlenmiştir.



Şekil 6.4. a) PALSAR seviye 1.5 verisinin filtre uygulanmamış yakınlaştırılmış görüntüsü ve b) PALSAR seviye 1.5 verisinin uygulanabilir lokal sigma filtre işleminin uygulanmış yakınlaştırılmış görüntüsü.

6.3.3. Alos-palsar verisinin görüntü işlem aşaması

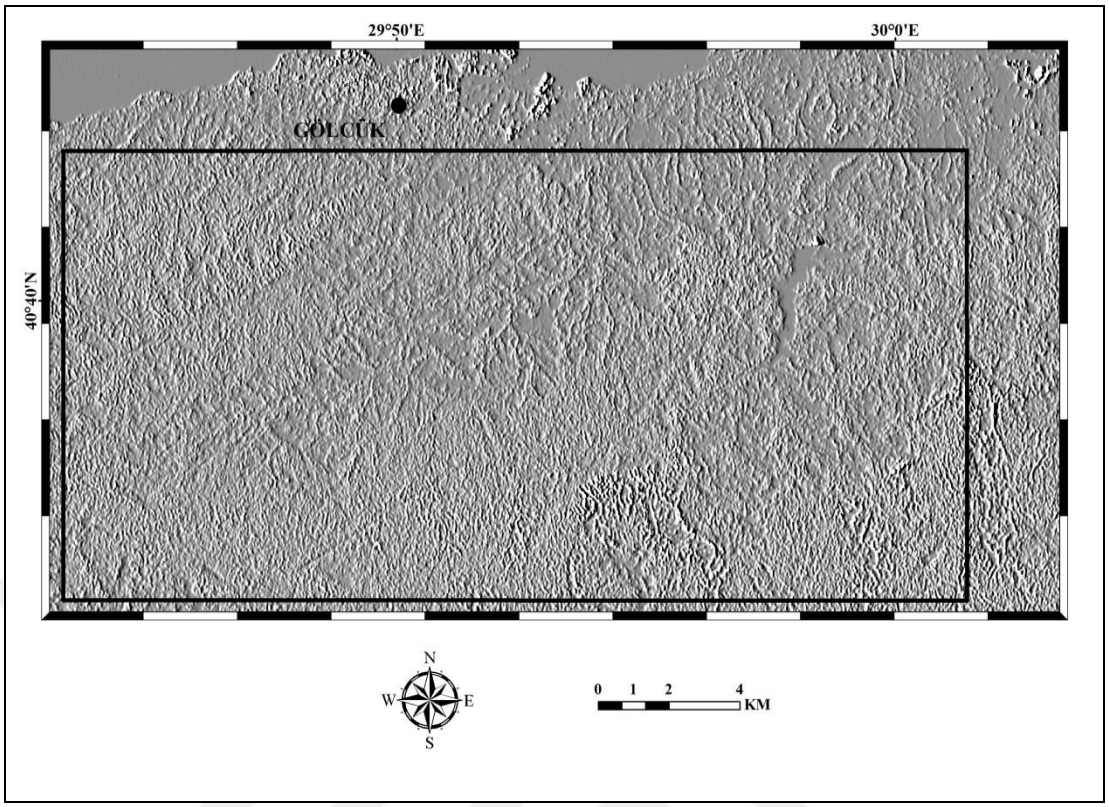
Çalışmamızda elde etmek istediğimiz çizgiselliklerin belirlenebilmesi için radar verisine ikinci bir filtreleme işlemi uygulanmıştır. Uygulanabilir lokal sigma filtresi kullanılmış olan PALSAR seviye 1.5 verisine yönlü filtreleme (Directional Filtering) tekniği yapılmıştır. Kenar geliştirme işlemi ile görüntünün kenarları çizilir ve görüntüde yer alan cisimler ve ayrıntıları daha belirgin bir hale getirilir. Genellikle bu durum jeolojik çalışmalarda fay ve kırık gibi çizgisellikleri belirlemek amacıyla kullanılmaktadır. Başka bir şekilde tanımlayacak olursak yön filtreleri, tektonik açıdan kontrol edilen doğrusal özellikler hakkında sorgulayan yapay nedenler üretmek amacıyla kullanılmaktadırlar (Amri ve diğ., 2011; Drury, 1986; Kavak ve

Çetin, 2007; Suzen ve Toprak, 1998). Farklı yönde birçok ek kenar geliştirilebilir. Kenar iyileştirme işlemleri orijinal olan verilerin çekirdeklerin kıvrılması işlemi ile gerçekleştirilmektedir. Kenar geliştirme işlemleri optimum çekirdek boyutunun (3*3, 5*5, 7*7 vb.) yüzey pürüzlülüğünün bir işlevi olarak ileri sürülmektedir (Chavez ve Bauer, 1982). Lokal sigma filtre işlemi gerçekleştirilmiş olan verideki spesifik doğrusal olan eğilimleri arttırmak amacıyla yön filtreleri uygulanmıştır. 7*7 çekirdek boyutuna sahip dört ana yön filtresi (K-G, D-B, KD-GB ve KB-GD) uygulanmıştır. Dört farklı yön filtresinin kullanım amacı İzmit körfezinin güneyinde yer alan heyelan alanlarında yer alan ve farklı oryantasyona sahip çizgiselliklerin tespiti içindir. Uygulanmış olan yön filtrelerinin açısı sırasıyla K-G (0°), D-B (90°), KD-GB (45°) ve KB-GD (135°)'dir ve kuzey yönü sıfır olarak kabul edilmekte diğer açıların ise saat yönünde ölçümleri yapılmaktadır. Görüntünün pürüzsüz, yarı pürüzsüz ve pürüzlü özelliklerini geliştirmek amacıyla 7*7 çekirdek matrisi seçilmiş olup en uygun olanının bu olduğuna karar verilmiştir. Filtrelenmiş görüntüye resim geri ekleme oranı ise %60 olarak girilmiştir. Bu oran orijinal görüntünün yüzdesidir ve görüntünün bu kısmının uzamsal içeriği koruduğu bilinmektedir. Bu işlemin yapılmasındaki amaç görüntünün daha da keskinleştirilmesidir.

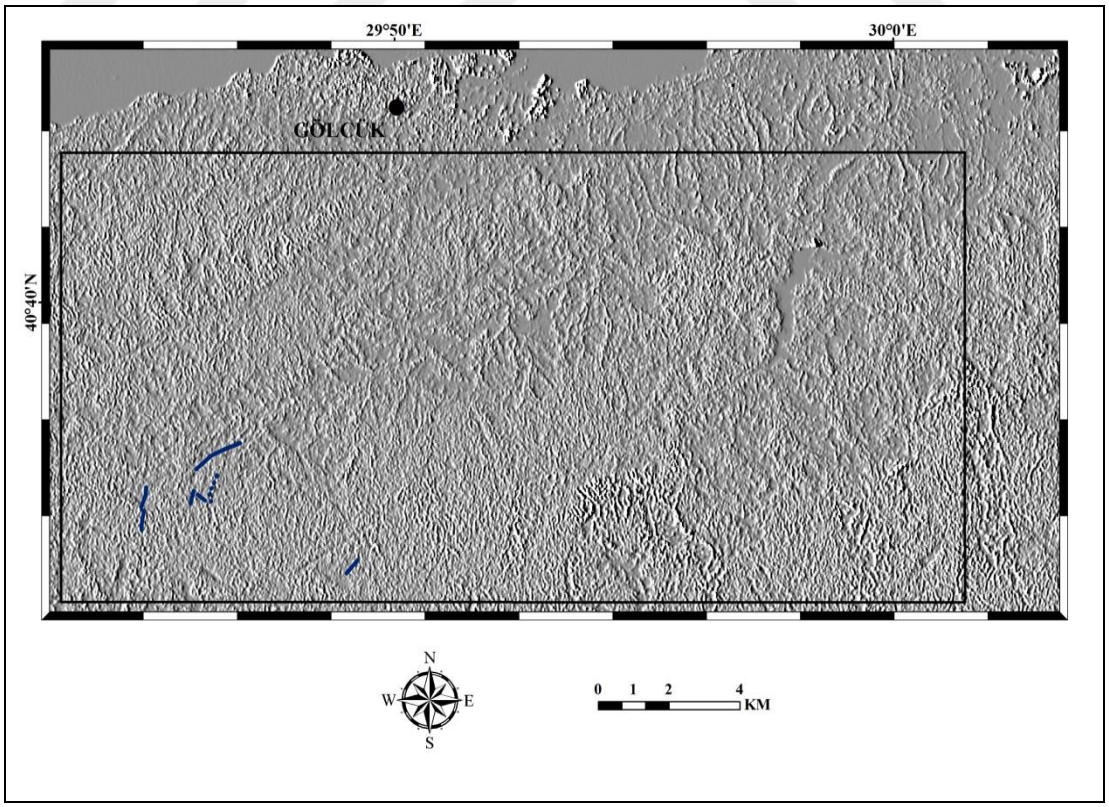
6.3.4. Alos-palsar verisinin görüntü işlenmesi sonucunda elde edilen bulgular

PALSAR seviye 1.5 verisine uygulanan uygulanabilir lokal sigma filtre işlemi ile görüntüdeki benekler ortadan kaldırılmıştır. Filtre işlemi yapılmış olan veriye kırık ve kırık sistemlerinin tespitini sağlaması için dört yönlü filtreleme işlemi yapılmıştır. Bunun sonucunda görüntüde keskinleştirme işlemi yapılmış ve bu işlem çizgiselliklerin belirlenmesinde oldukça yardımcı olmuştur.

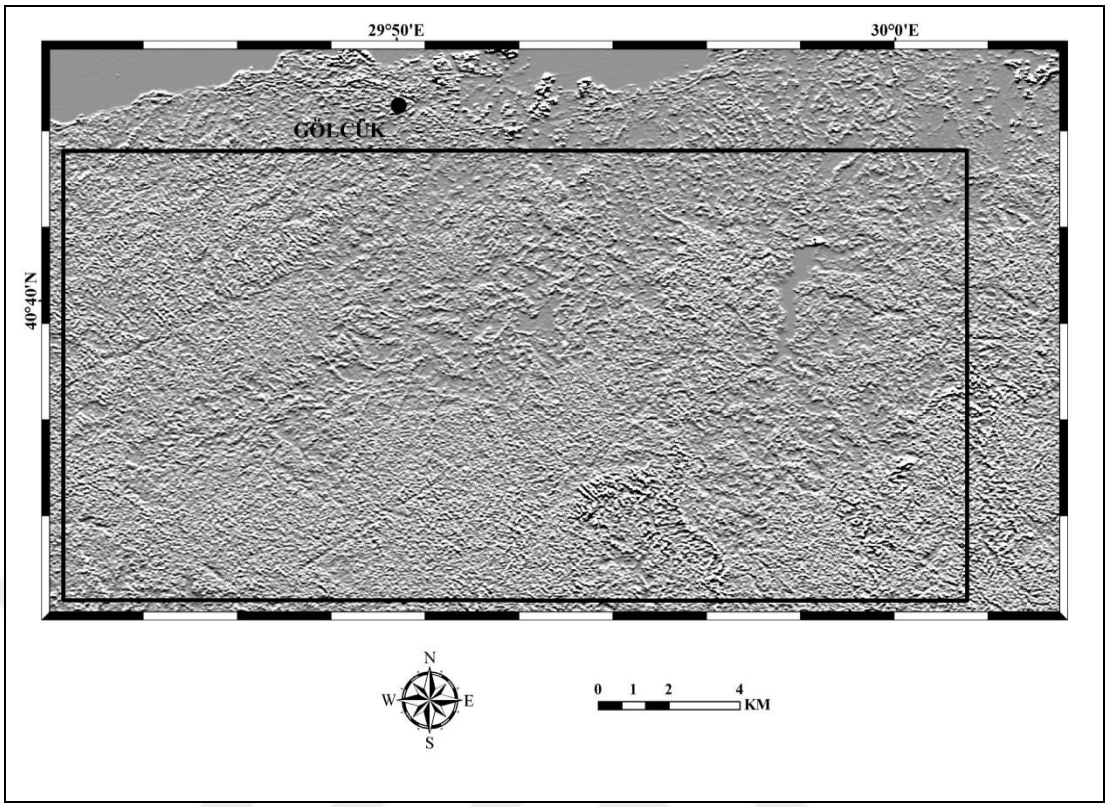
Yapılan bu işlemlerin ardından K-G (0°) yönlü filtre işlemi sonucunda çalışma alanında 7 adet çizgisellik (Şekil 6.6), D-B (90°) yönlü filtre işlemi ile 2 adet çizgisellik (Şekil 6.8), KD-GB (45°) yön filtre işlemi yapılarak 3 adet çizgisellik (Şekil 6.10) ve son olarak KB-GD (135°) yönlü filtre işlemi uygulanmasının ardından 6 adet çizgisellik (Şekil 6.12) tespit edilmiştir (Yağızel ve Özyavaş, 2020). Ayrıca Şekil 6.5, 6.7, 6.9 ve 6.11'de yön filtresi uygulanmış olan verilerin çizgiselliklerin işlenmemiş hali gösterilmiştir.



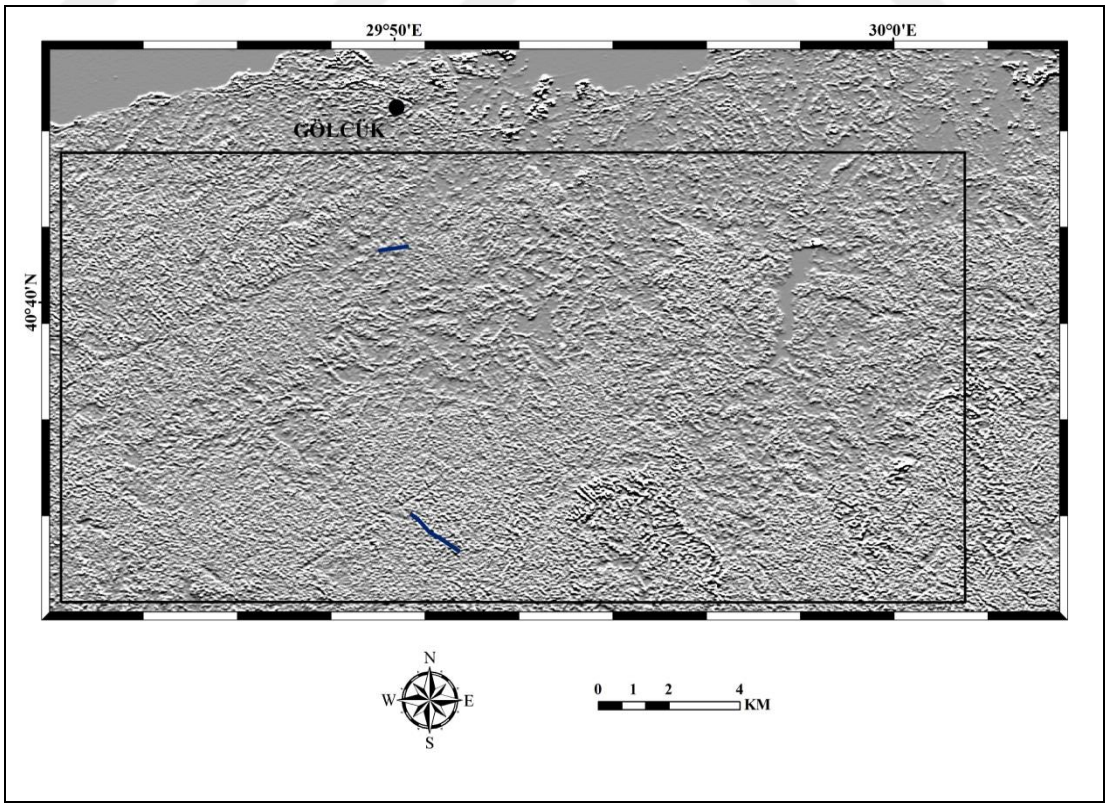
Şekil 6.5. K-G (0°) yön filtresi uygulanmış PALSAR görüntüsü (Çizgisellikler yorumlanmamıştır).



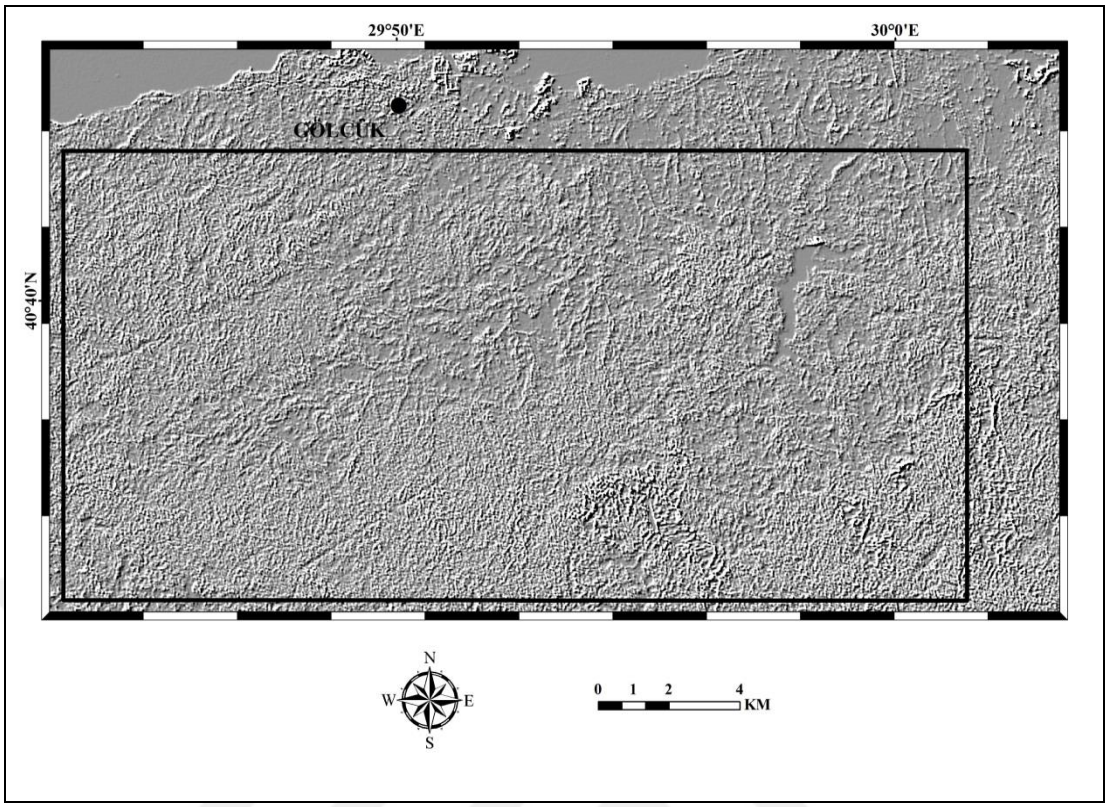
Şekil 6.6. K-G (0°) yön filtresi uygulanarak belirlenen çizgisellikleri gösteren harita (Yağızel ve Özyavaş, 2020).



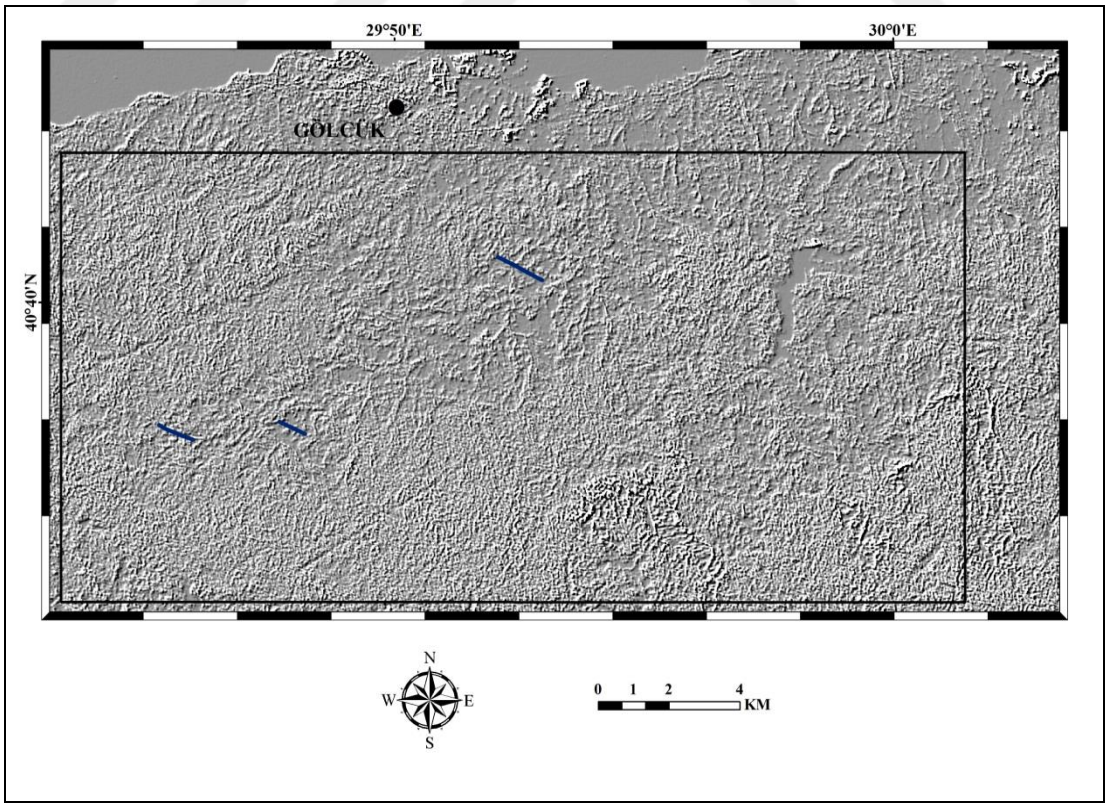
Şekil 6.7. D-B (90°) yön filtresi uygulanmış PALSAR görüntüsü (Çizgisellikler yorumlanmamıştır).



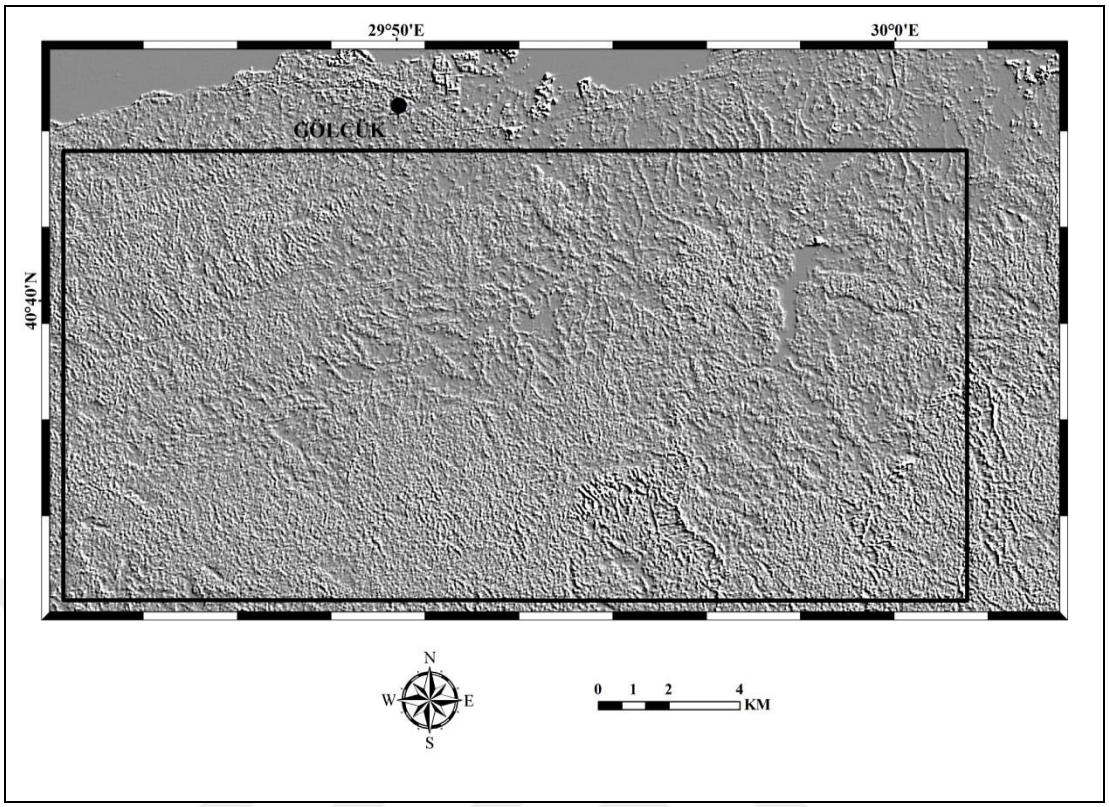
Şekil 6.8. D-B (90°) yön filtresi yapılarak belirlenen çizgisellikleri gösteren harita (Yağızel ve Özyavaş, 2020).



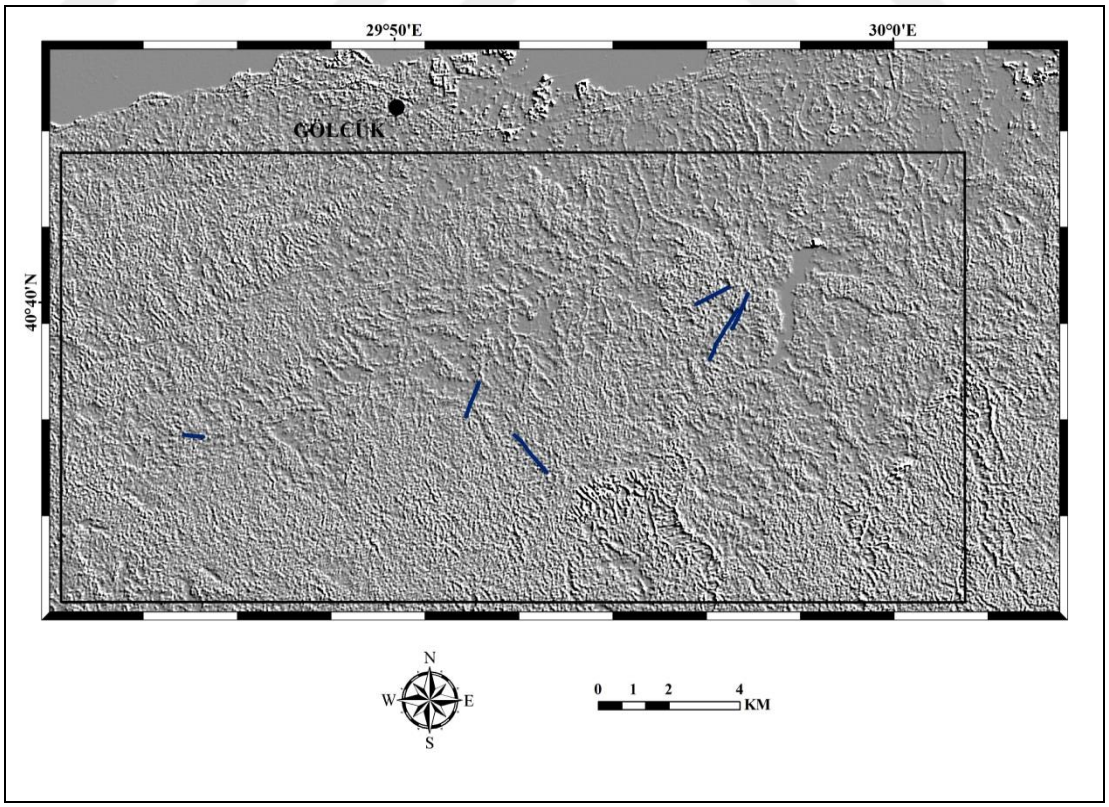
Şekil 6.9. KD-GB (45°) yön filtresi uygulanmış PALSAR görüntüsü (Çizgisellikler yorumlanmamıştır).



Şekil 6.10. KD-GB (45°) yön filtresi uygulanarak belirlenen çizgisellikleri gösteren harita (Yağızel ve Özyavaş, 2020).

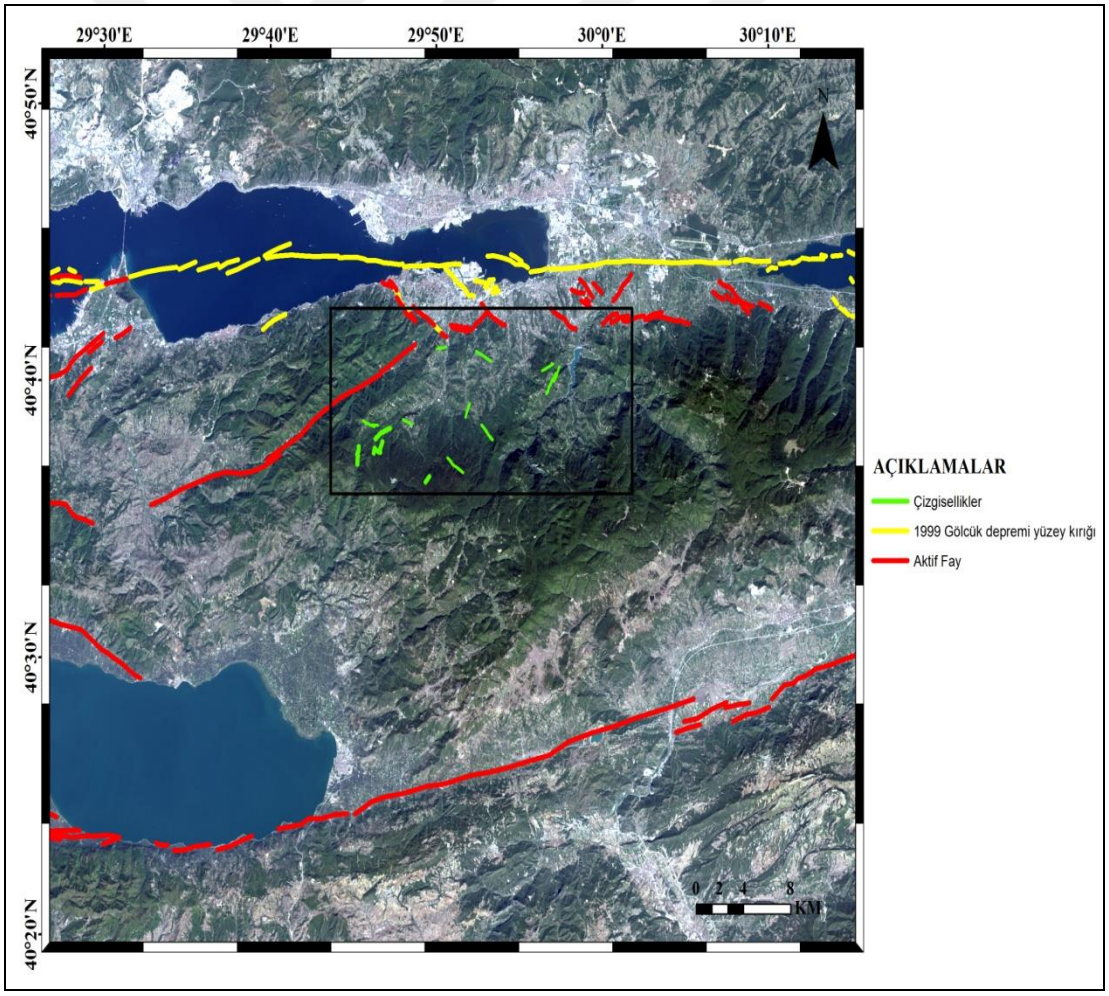


Şekil 6.11. KB-GD (135°) yön filtresi uygulanmış PALSAR görüntüsü (Çizgisellikler yorumlanmamıştır).



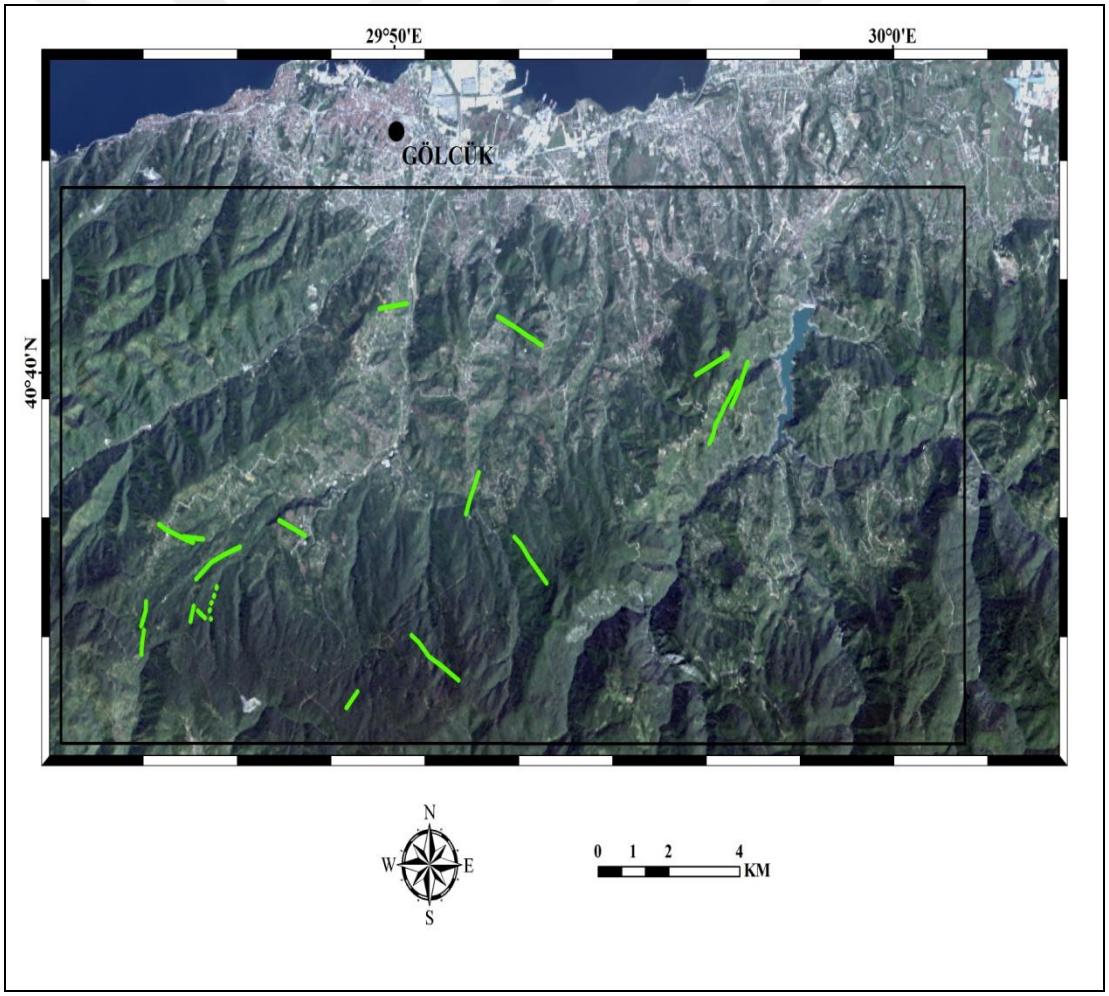
Şekil 6.12. KB-GD (135°) yön filtresi uygulanarak belirlenen çizgisellikleri gösteren harita (Yağızel ve Özyavaş, 2020).

İzmit körfezinin güneyinde bulunan Samanlı Dağlarının kuzeye bakan yamaçlarında Kuzey Anadolu Fay (KAF) Zonuna yakın mesafede bulunan ve uzunlukları ortalama 300-400 m'den 2.5-3 km'ye ulaşan daha önceden belirlenmemiş olan 18 adet çizgisellik (koyu mavi) ilk kez PALSAR seviye 1.5 verisi kullanılarak tespit edilmiştir. Tespiti yapılmış olan çizgiselliklerin yol, dere, sırt, dokanak sınırı, vadi vb. unsurlara denk gelmemesi için çalışma alanının bulunduğu yerin topoğrafik ve jeolojik haritaları detaylı olarak incelenmiş olup sadece fay ve kırık gibi çizgisellikler dikkate alınmıştır. Belirlenmiş olan çizgiselliklerin önemli bir kısmının K-G ve KD-GB doğrultulu olduğu belirlenmiştir (Yağızel ve Özyavaş, 2020). Çalışma sahasının Kuzey Anadolu Fay (KAF) Zonunun iki kolunun arasında yer almasından dolayı sıkışma rejimine uğrayarak K-G ve KD-GB doğrultuda kırıklar oluşturması makul görünmektedir (Şekil 6.13).



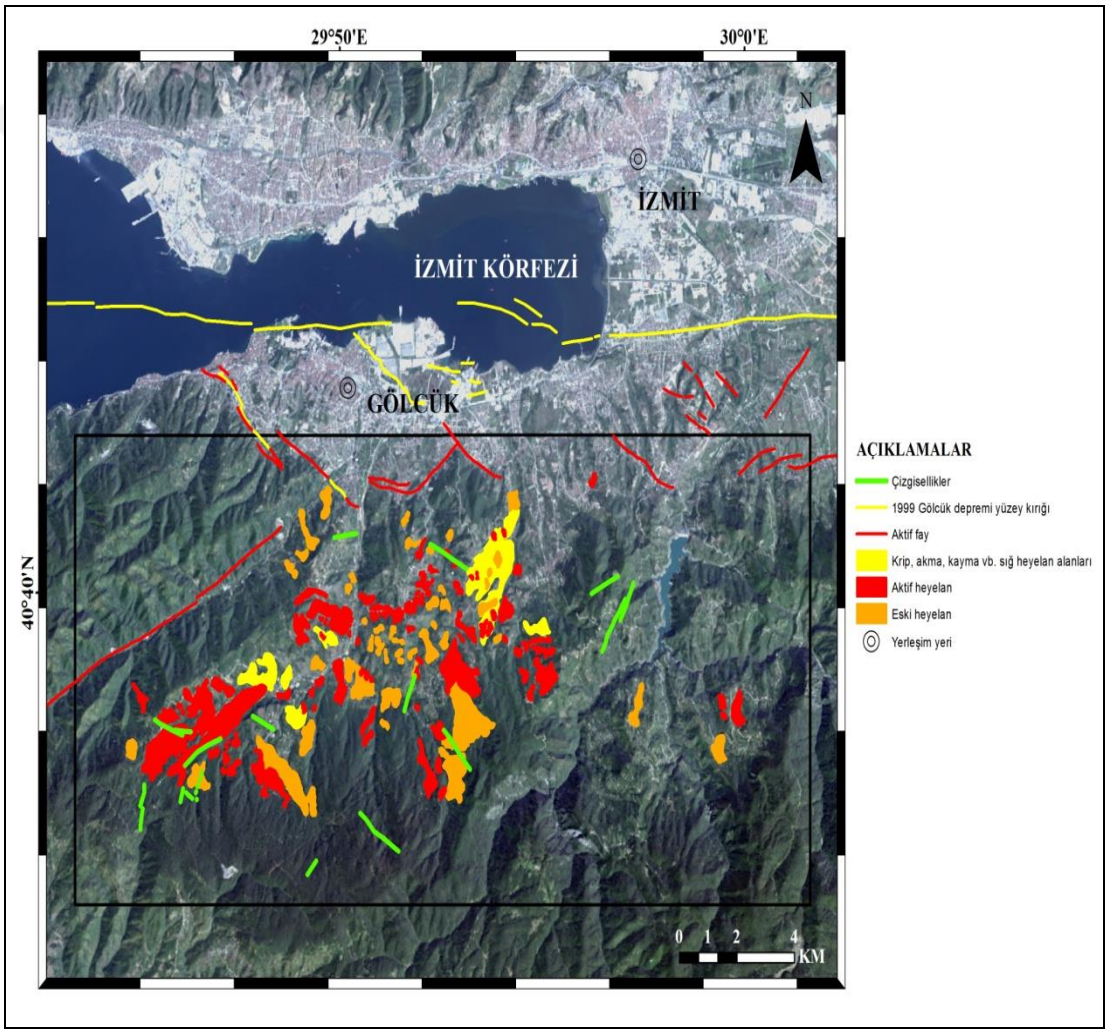
Şekil 6.13. Çalışma alanında belirlenen çizgisellikler ile diri fay (Emre ve diğ., 2013) haritası arasındaki ilişkiyi gösteren harita.

Ayrıca çalışma alanında tespit edilen en uzun çizgiselliklerin KB-GD doğrultulu olduğu gözlenmiştir (Şekil 6.12). Belirlenen bu çizgiselliklerin 3 km'den kısa olmasından dolayı fay olarak tanımlamak yanlış olur. Bunlar faydan ziyade KAF ve onun segmentleri ile alakalı olan sığ derinliklere sahip kırık ve kırık sistemlerini temsil ettiğini düşünmek daha makul görülebilir. Buna ilave olarak, belirlenen çizgiselliklerin saçılım göstermesi (KAF'ın segmentleri gibi birbirlerinin uçlarına bağlanmamış olmaları) kırık veya kırık sistemleri olma ihtimalini arttırmaktadır (Şekil 6.14). Çalışma sahasında belirlenmiş olan çizgiselliklerin sadece biri vadiyi takip etmektedir ve noktalı çizgi ile gösterilmiştir (Şekil 6.6, 6.14 ve 6.15). Çalışma alanının Şekil 6.14'de de gösterildiği gibi yoğun bitki örtüsü ile kaplı olması ve ulaşım güçlüğü nedeniyle kırık ve kırık sistemlerinin arazi çalışması oldukça güçtür.



Şekil 6.14. Çalışma alanını kapsayan PALSAR DEM verisi üzerine yerleştirilmiş olan LANDSAT-8 doğal-renk kompozit görüntüsü (432-KYM) ve Radar verisi ile tespiti yapılmış olan çizgisellikleri (yeşil) gösteren harita (Yağızel ve Özyavaş, 2020).

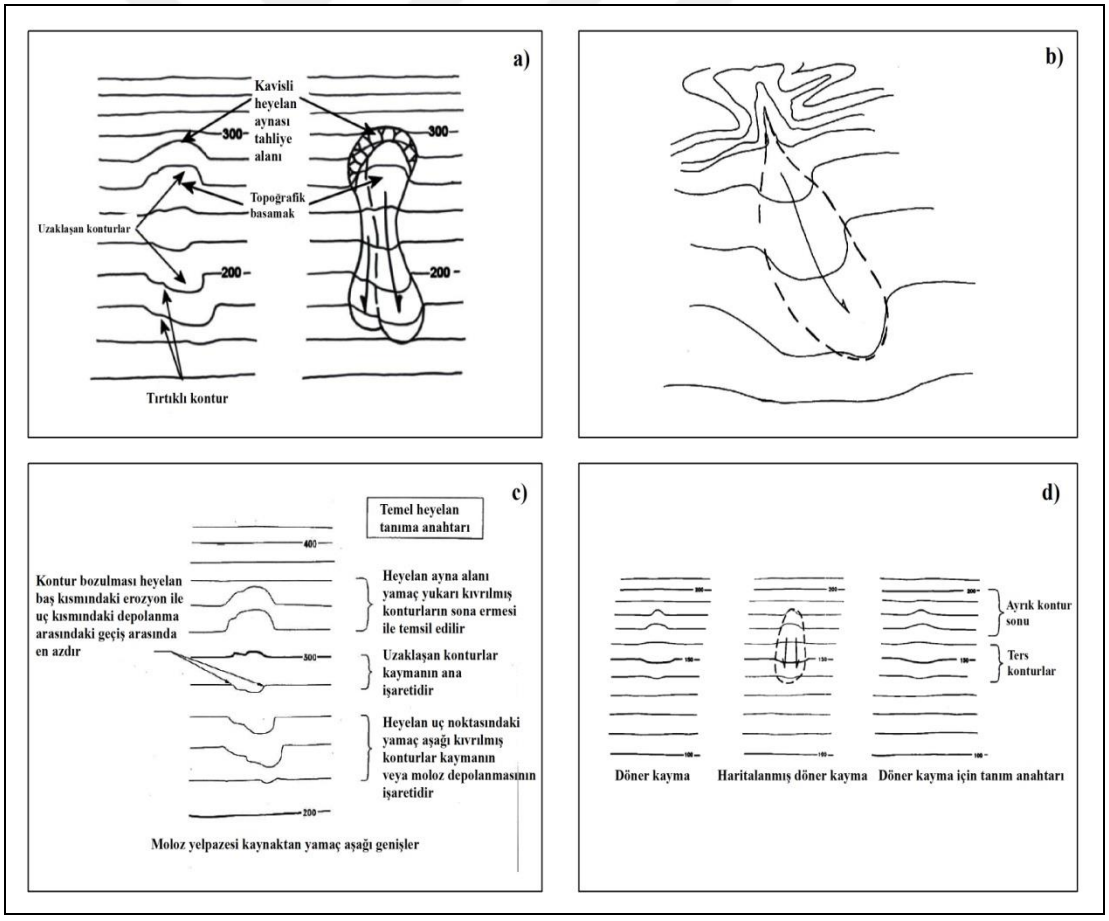
PALSAR seviye 1.5 verisi kullanılarak belirlenmiş olan çizgiselliklerin çalışma alanında meydana gelen heyelanlı alanlar ile ilişkisini göstermek amacıyla PALSAR DEM verisi üzerine yerleştirilmiş olan LANDSAT-8 doğal renk kompozit görüntüsü (432-Kırmızı, Yeşil ve Mavi) üzerine yerleştirilerek gösterimi sağlanmıştır. Yapılan çalışmalar sonucunda tespiti yapılmış olan çizgiselliklerin Şekil 6.15'de gösterildiği gibi heyelanlı alanlarda yoğunlaşması kütle hareketlerini tetikleyen önemli unsurlardan birinin de kütle hareketlerinin malzeme ve geometrik özellikleri dışında kırık ve kırık sistemlerinin olduğu düşünülmektedir (Yağızel ve Özyavaş, 2020).



Şekil 6.15. Çalışma sahasını kapsayan PALSAR DEM verisi üzerine yerleştirilmiş LANDSAT-8 doğal renk kompozit görüntüsü (432-KYM). Heyelanlar (Duman ve diğ., 2011), diri faylar (Emre ve diğ., 2013) ve PALSAR verisinin işlenmesi sonrası elde edilen çizgisellikler (yeşil) arasındaki ilişkiyi gösteren harita (Yağızel ve Özyavaş, 2020).

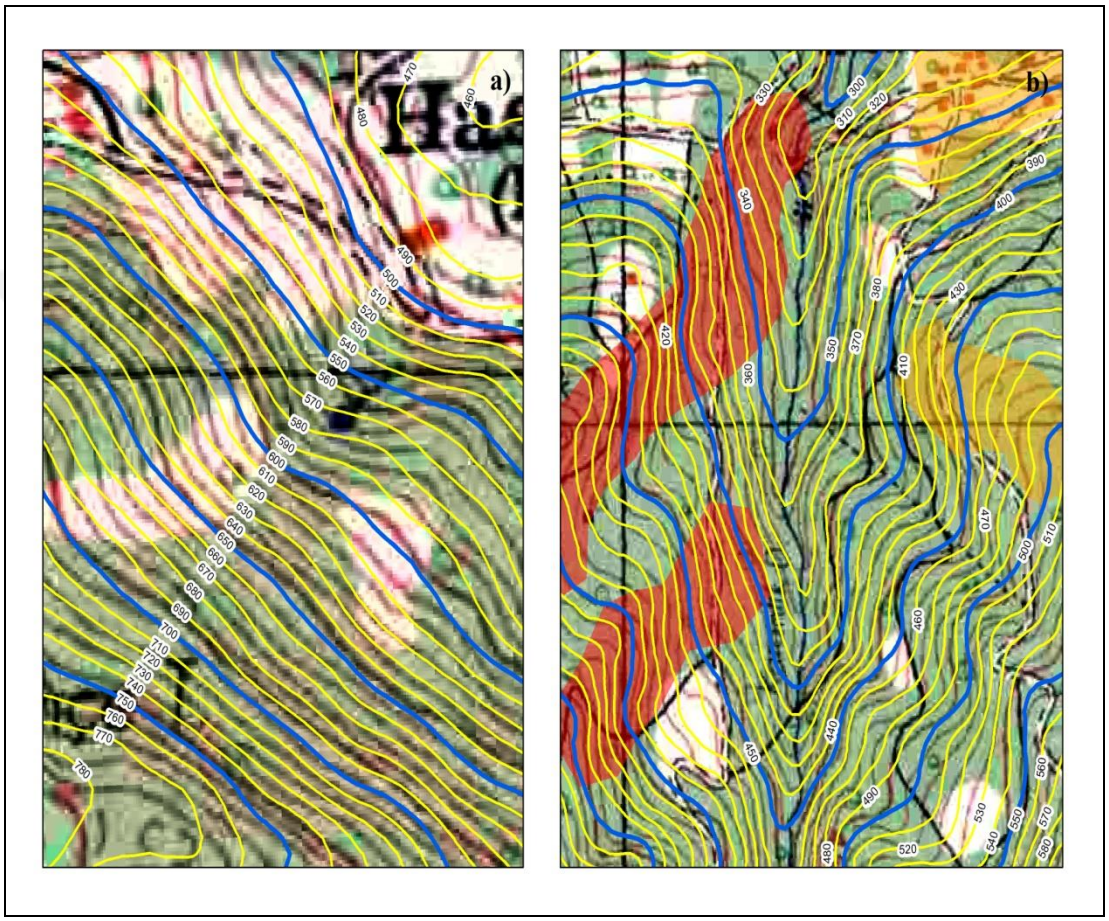
6.4. Alos-Palsar Dem Verisi Kullanılarak Oluşturulan Kontur Haritaları ile Mevcut Heyelan Alanlarının Gözlenmesi ve Heyelan Oluşturabilecek Alanlarının Belirlenmesi

Heyelan alanlarının detaylı olarak çalışılması gerekmektedir. Bu çalışmada nispeten düşük maliyetli olan uzaktan algılama verisi ile coğrafi bilgi sistemleri (CBS) yazılımı kullanılarak heyelan haritası yapılmıştır. Bu araştırma ile geliştirilen heyelan haritalama tekniği, 12,5 m çözünürlüğe sahip PALSAR dijital yükseklik modeli (DEM) verileri ile 10 m kontur aralıklı bölgesel topoğrafik haritasının yardımıyla 10 m ve 20 m kontur aralığına sahip haritalar üretilmiştir. Bu haritalar üretilirken Şekil 6.16'daki konturlarda meydana gelen bozulmalar dikkate alınmıştır. Bu veriler çalışma alanındaki mevcut heyelan ve potansiyel heyelan alanlarının belirlenmesi işleminde oldukça yararlı olmuştur.



Şekil 6.16. a) Heyelan tanımlama işleminde kullanılan topoğrafik anomalileri gösteren harita b) toprak akışını veya yanal yayılmayı gösteren harita c) Basit toprak akışları için yapılan tanımlamalar d) Dönel yuvarlanmalar gösteren harita (Rogers ve Doyle, 2003).

Üretilmiş olan kontur haritaları ile bölgesel topoğrafik harita arasındaki uyum Şekil 6.17'de gösterilmiştir. Bölgesel topoğrafik haritanın kullanılmasındaki amaç geçmişte meydana gelen kütle hareketlerin düşündüren anormal topoğrafyasının görsel olarak belirlenmesi ve bunların tanımlanmasına yardımcı olmak amacıyla kullanılmıştır.

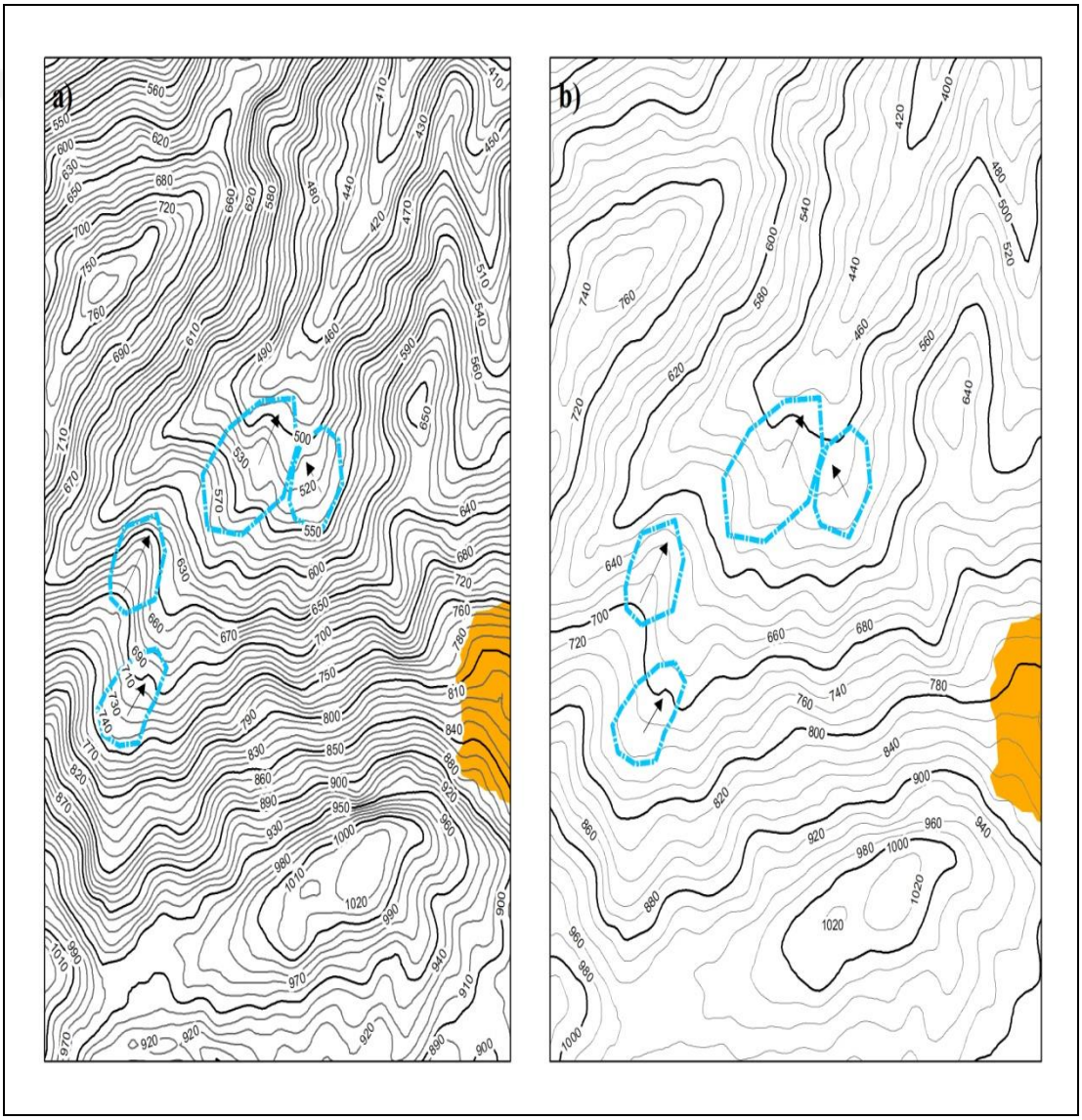


Şekil 6.17. a) Bölgesel topoğrafik harita ile PALSAR DEM verisi kullanılarak üretilen 10 m kontur aralığına sahip harita arasındaki ilişki ve b) Bölgesel topoğrafik harita ve bölgede bulunan heyelan alanları ile PALSAR DEM verisi kullanılarak üretilen 10 m kontur aralığına sahip haritanın arasındaki ilişki.

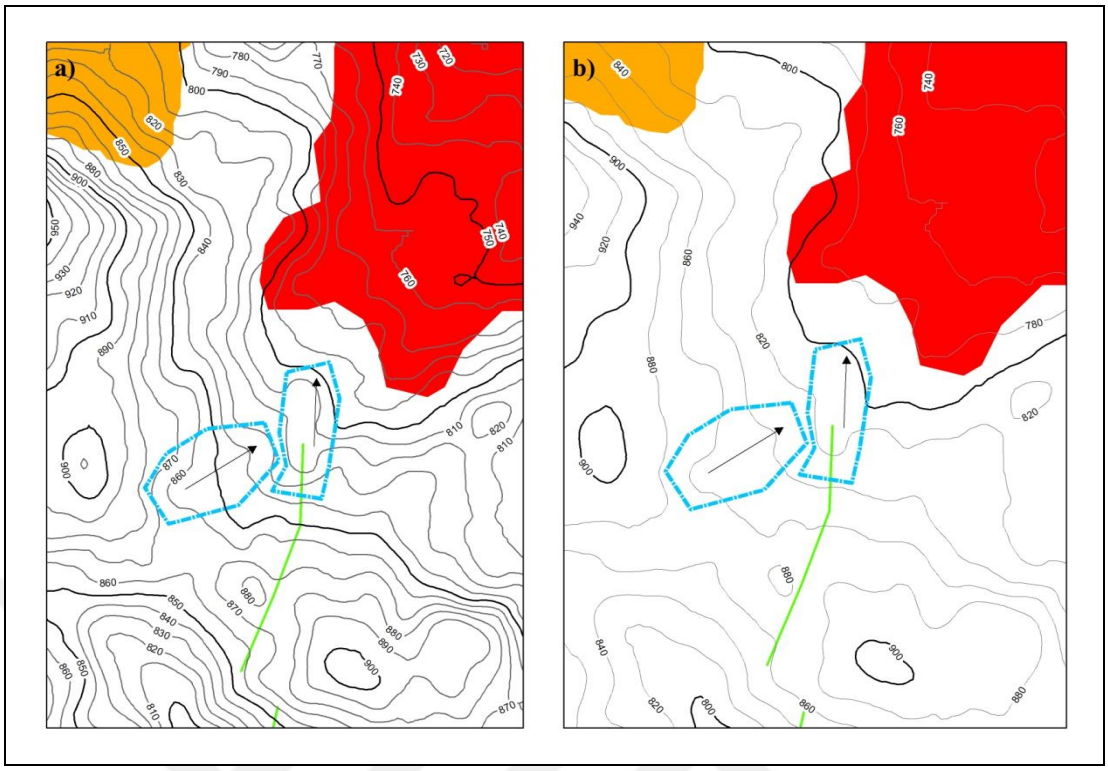
Çalışma alanında bulunan kütle hareketleri ve potansiyel olabilecek alanların çoğu aşağıdaki haritalarda gösterilmiştir. Bu yapılan çalışmayla bölgeyi çalışacak olan insanlara sahaya çıkmadan önce veya sahada gözleyemedikleri heyelan alanlarını ve heyelan potansiyeli olan bölgelerin önceden tespitini yapabilmeleri amaçlanmıştır. Dijital olarak uzaktan algılama verilerinin zamanla yaygınlaşması sonucu ve daha önceleri olamadığı kadar büyük ölçekteki arazilerin değerlendirme işlemleri yapılmaktadır (Ahmed ve Rogers., 2014). Artık bu yöntem dünya çapında

yaygınlaşmakta olup farklı bölgelerde meydana gelen çeşitli kütle hareketlerinin belirlenmesinde kullanılmaktadır.

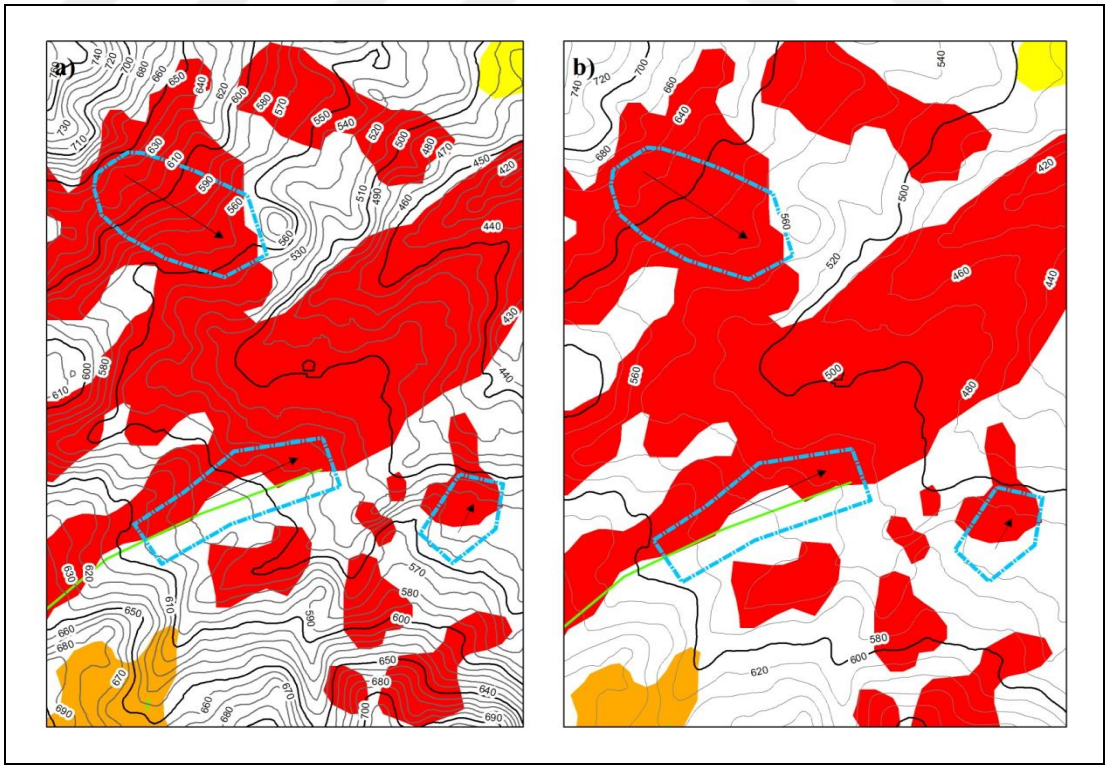
PALSAR DEM verisi kullanılarak CBS programı ile 10 m ve 20 m aralıklarına sahip kontur haritaları üretildi ve bu haritalarda MTA tarafından daha önce belirlenen kütle hareketlerinin olduğu yerlerdeki anormal topoğrafik yapılar haritalanmış ve haritalandırılmamış alanlarda da benzer unsurların haritaları yapıldı. Bu doğrultuda Şekil 6.18, 6.19, 6.20, 6.21, 6.22, 6.23, 6.24, 6.25, 6.26, 6.27 ve 6.28 verilen haritalar üretilmiştir.



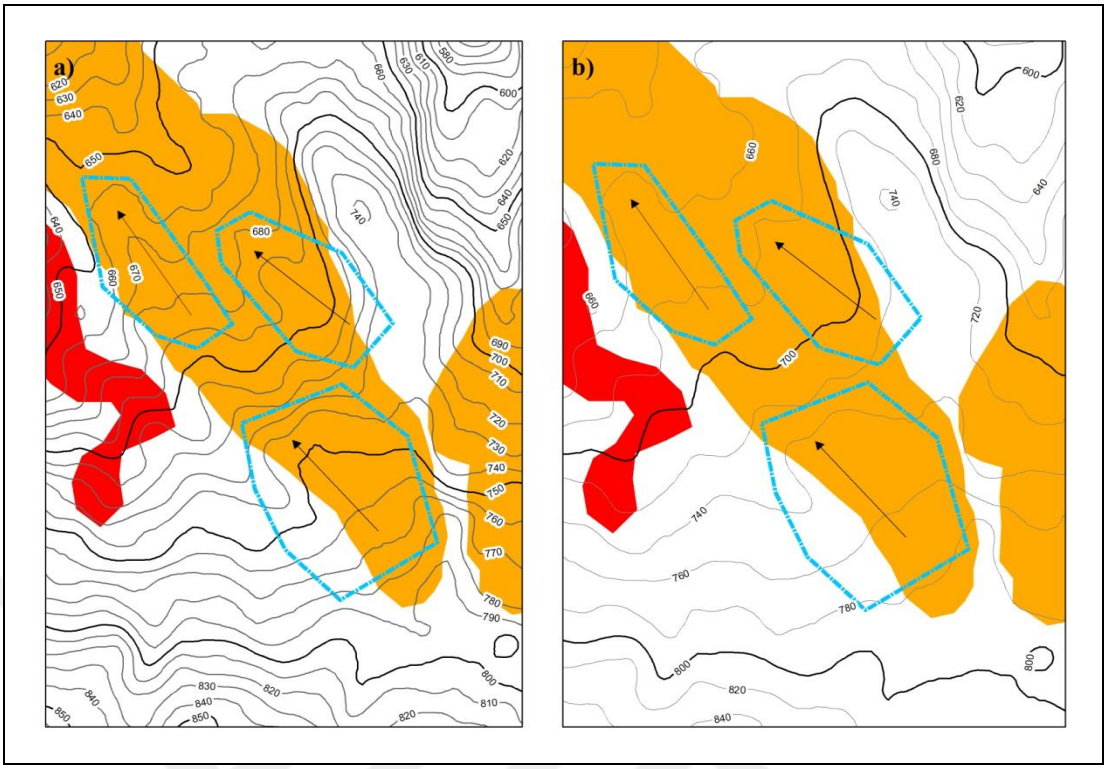
Şekil 6.18. a) PALSAR DEM verisi kullanılarak üretilen 10 m kontur aralığına sahip 1. harita b) PALSAR DEM verisi kullanılarak üretilen 20 m kontur aralığına sahip 1. harita.



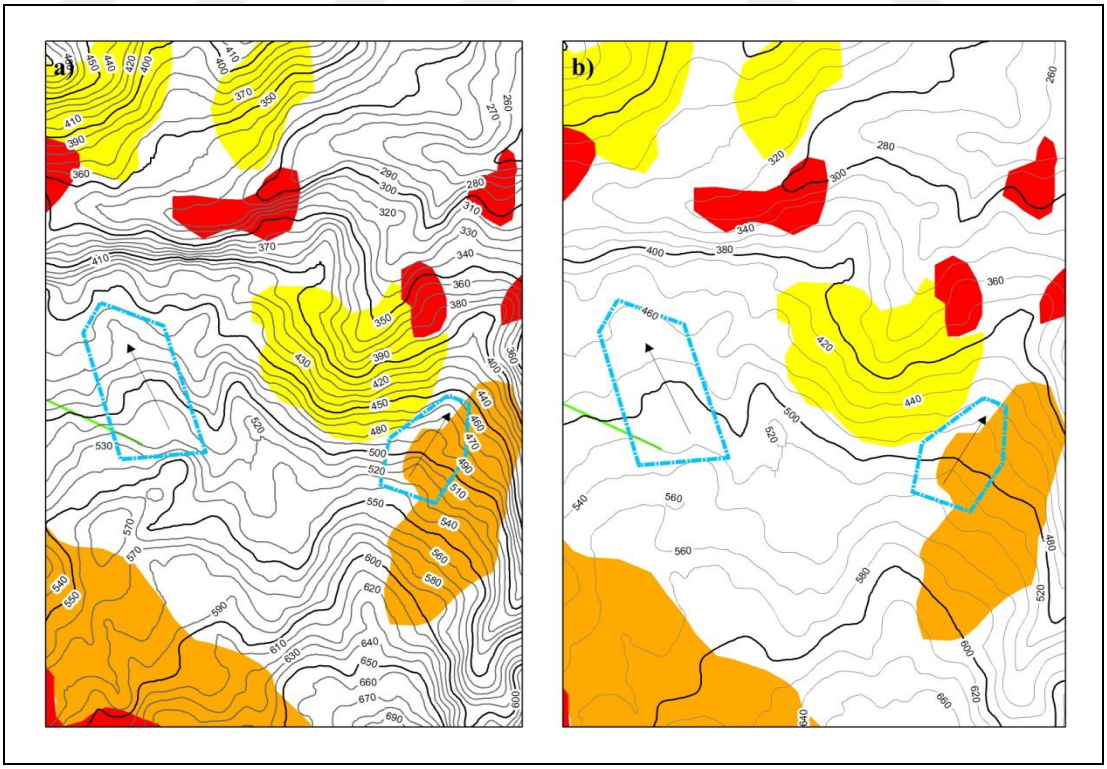
Şekil 6.19. a) PALSAR DEM verisi kullanılarak üretilen 10 m kontur aralığına sahip 2. harita b) PALSAR DEM verisi kullanılarak üretilen 20 m kontur aralığına sahip 2. harita.



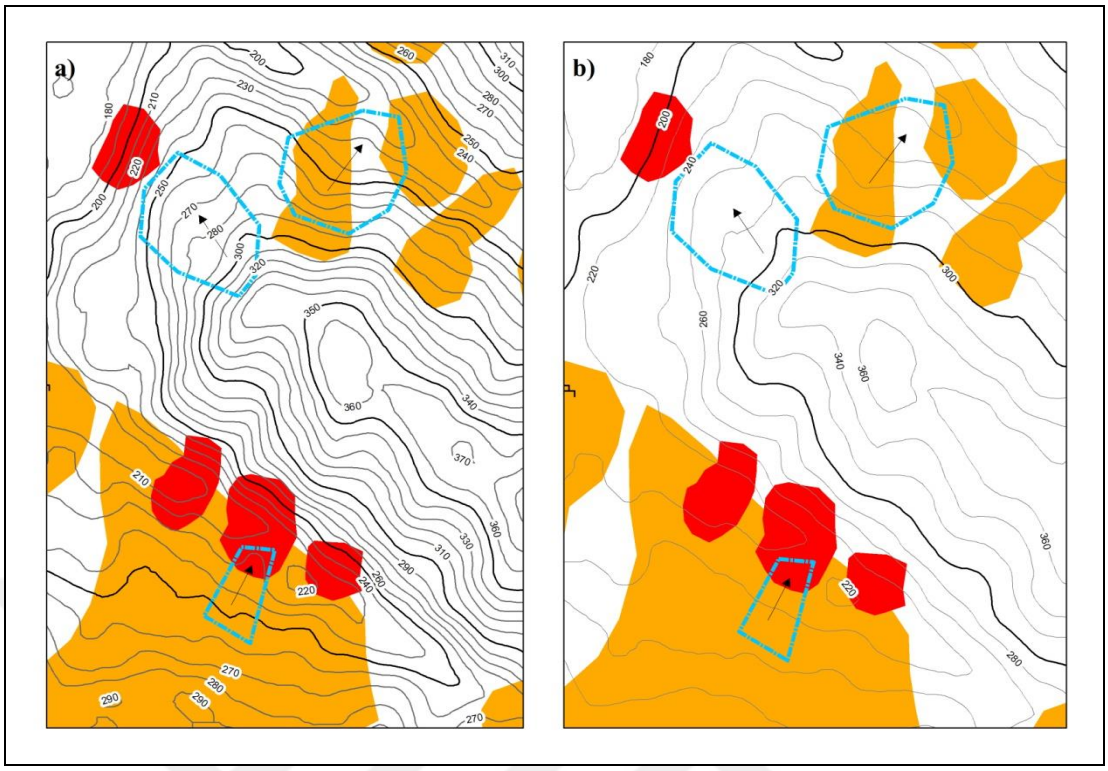
Şekil 6.20. a) PALSAR DEM verisi kullanılarak üretilen 10 m kontur aralığına sahip 3. harita b) PALSAR DEM verisi kullanılarak üretilen 20 m kontur aralığına sahip 3. harita.



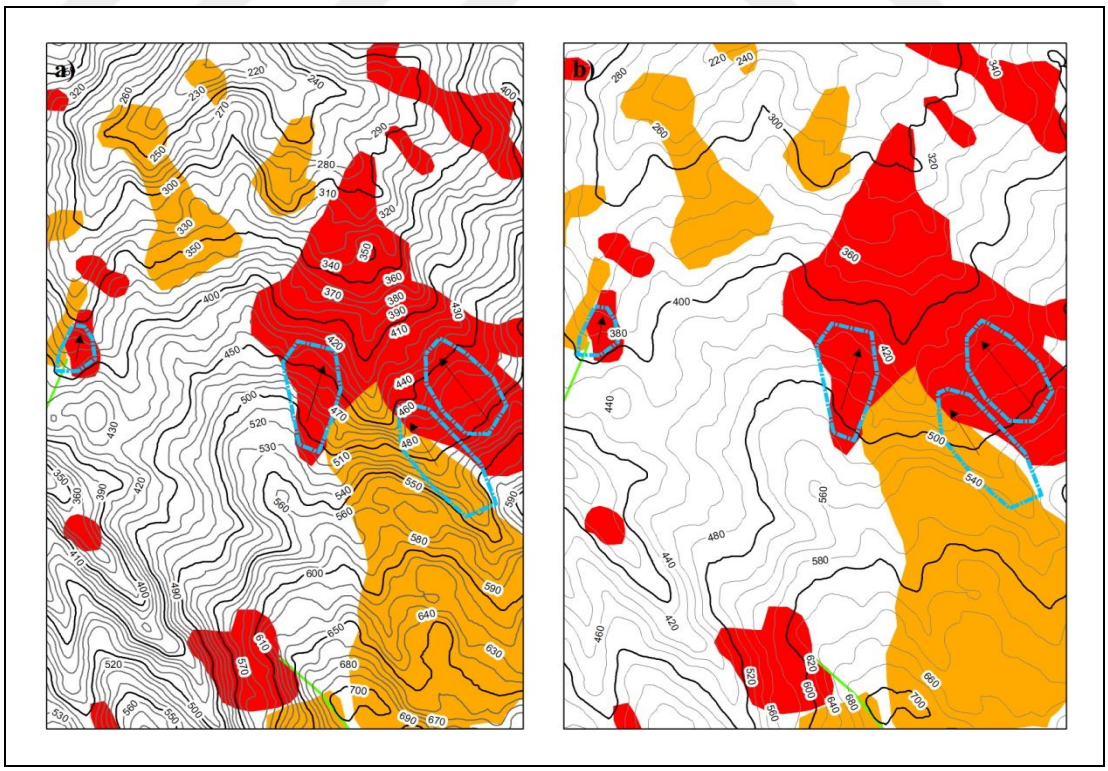
Şekil 6.21. a) PALSAR DEM verisi kullanılarak üretilen 10 m kontur aralığına sahip 4. harita b) PALSAR DEM verisi kullanılarak üretilen 20 m kontur aralığına sahip 4. harita.



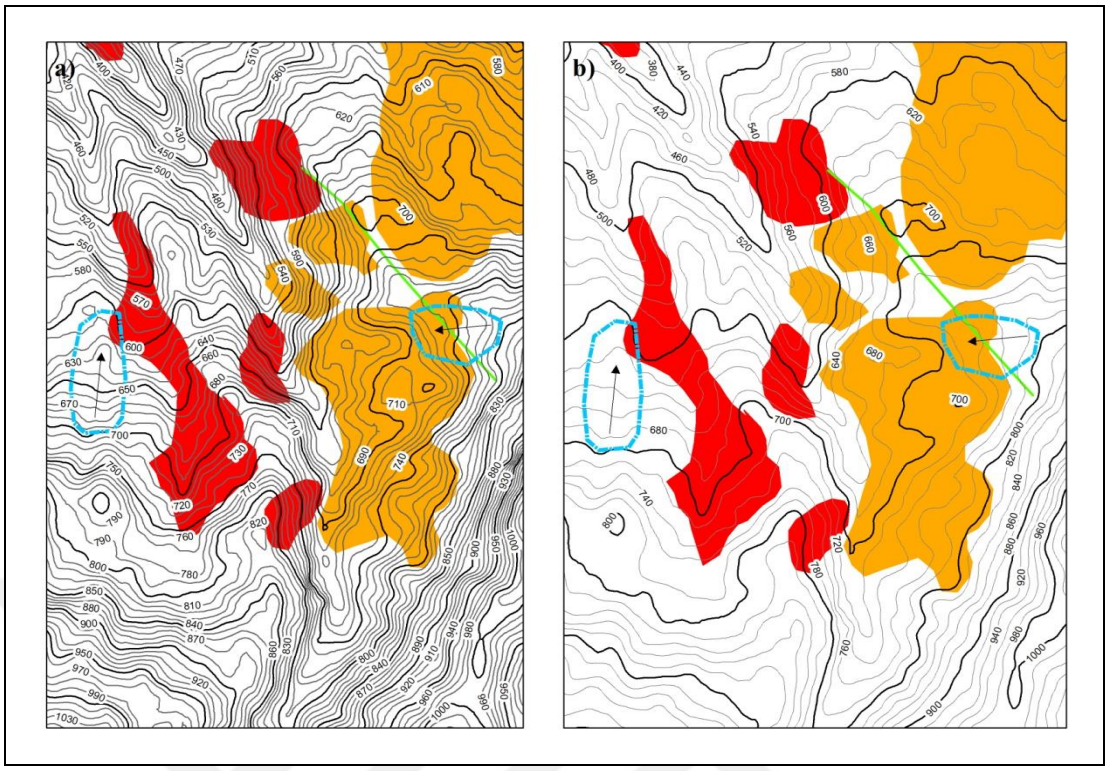
Şekil 6.22. a) PALSAR DEM verisi kullanılarak üretilen 10 m kontur aralığına sahip 5. harita b) PALSAR DEM verisi kullanılarak üretilen 20 m kontur aralığına sahip 5. harita.



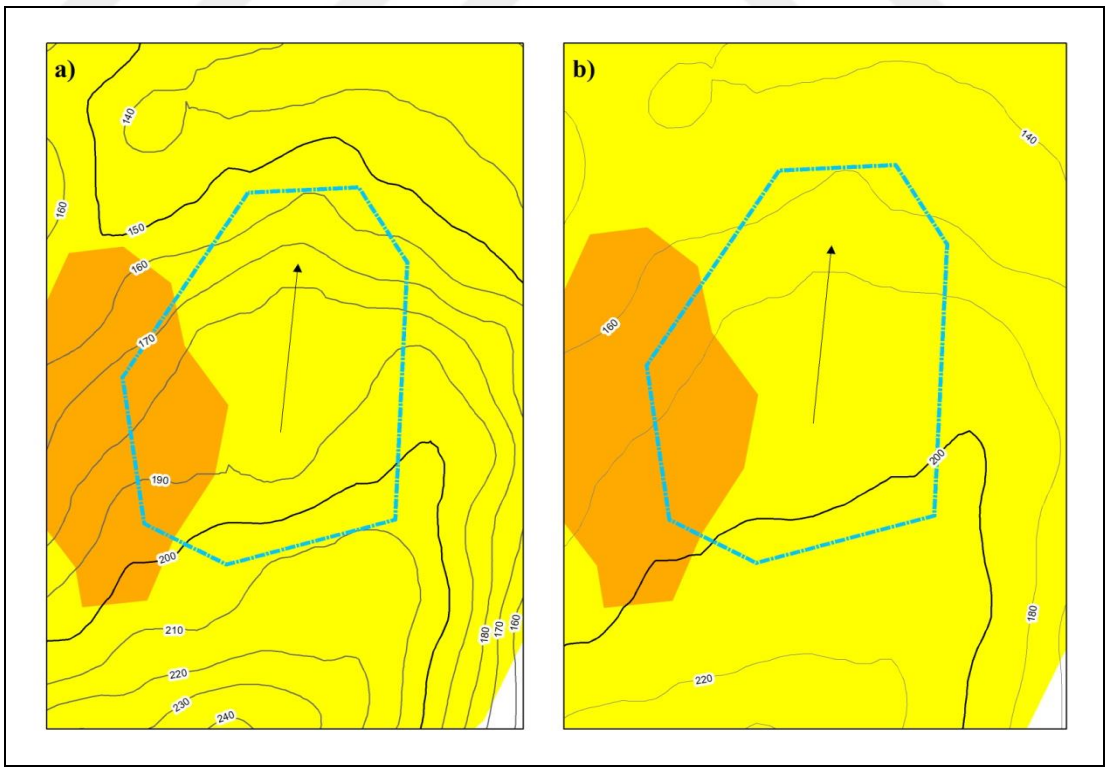
Şekil 6.23. a) PALSAR DEM verisi kullanılarak üretilen 10 m kontur aralığına sahip 6. harita b) PALSAR DEM verisi kullanılarak üretilen 20 m kontur aralığına sahip 6. harita.



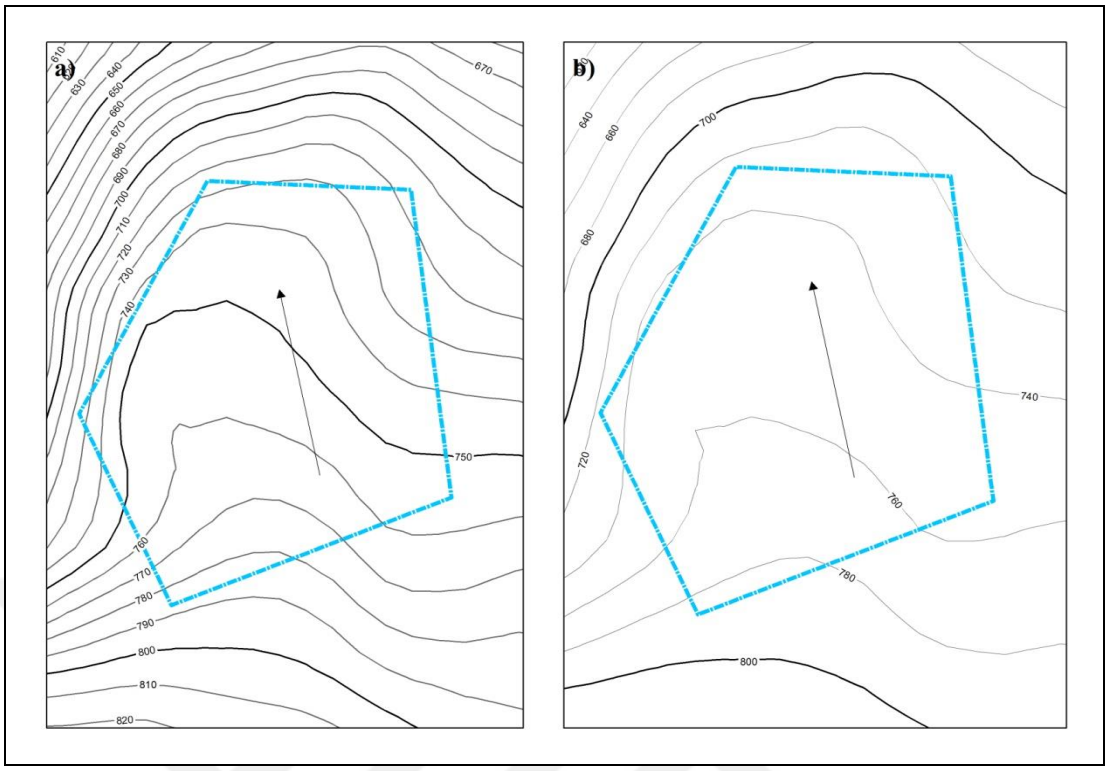
Şekil 6.24. a) PALSAR DEM verisi kullanılarak üretilen 10 m kontur aralığına sahip 7. harita b) PALSAR DEM verisi kullanılarak üretilen 20 m kontur aralığına sahip 7. harita.



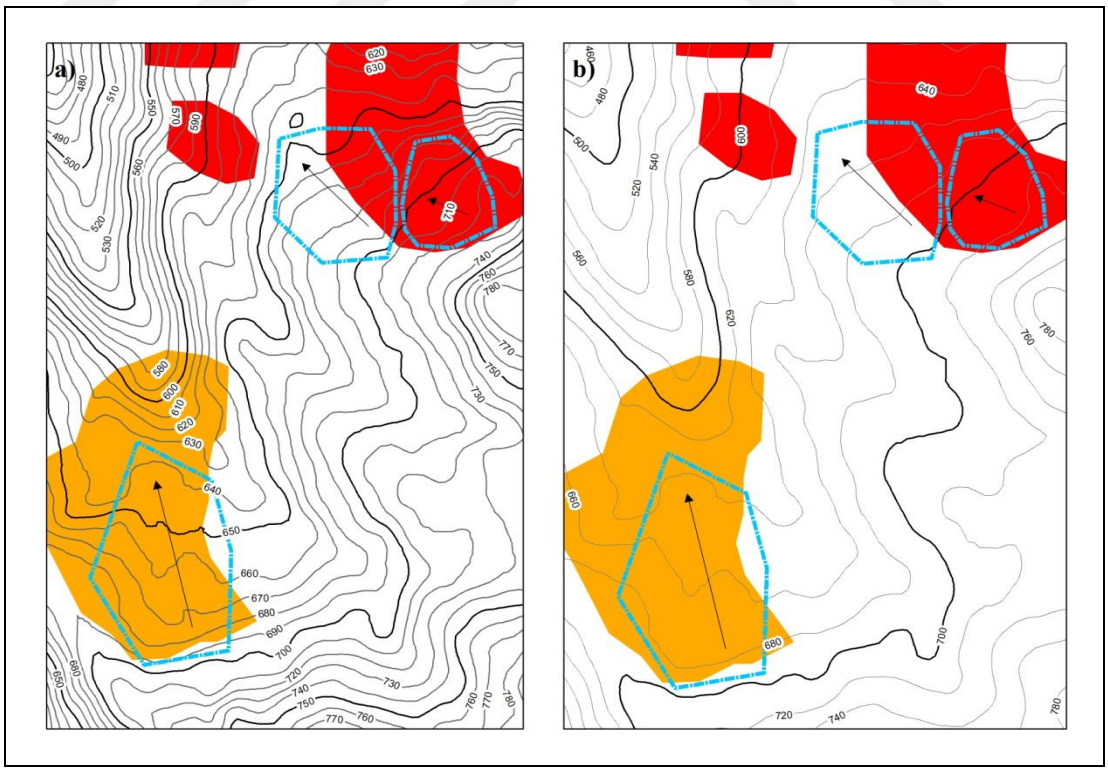
Şekil 6.25. a) PALSAR DEM verisi kullanılarak üretilen 10 m kontur aralığına sahip 8. harita b) PALSAR DEM verisi kullanılarak üretilen 20 m kontur aralığına sahip 8. harita.



Şekil 6.26. a) PALSAR DEM verisi kullanılarak üretilen 10 m kontur aralığına sahip 9. harita b) PALSAR DEM verisi kullanılarak üretilen 20 m kontur aralığına sahip 9. harita.

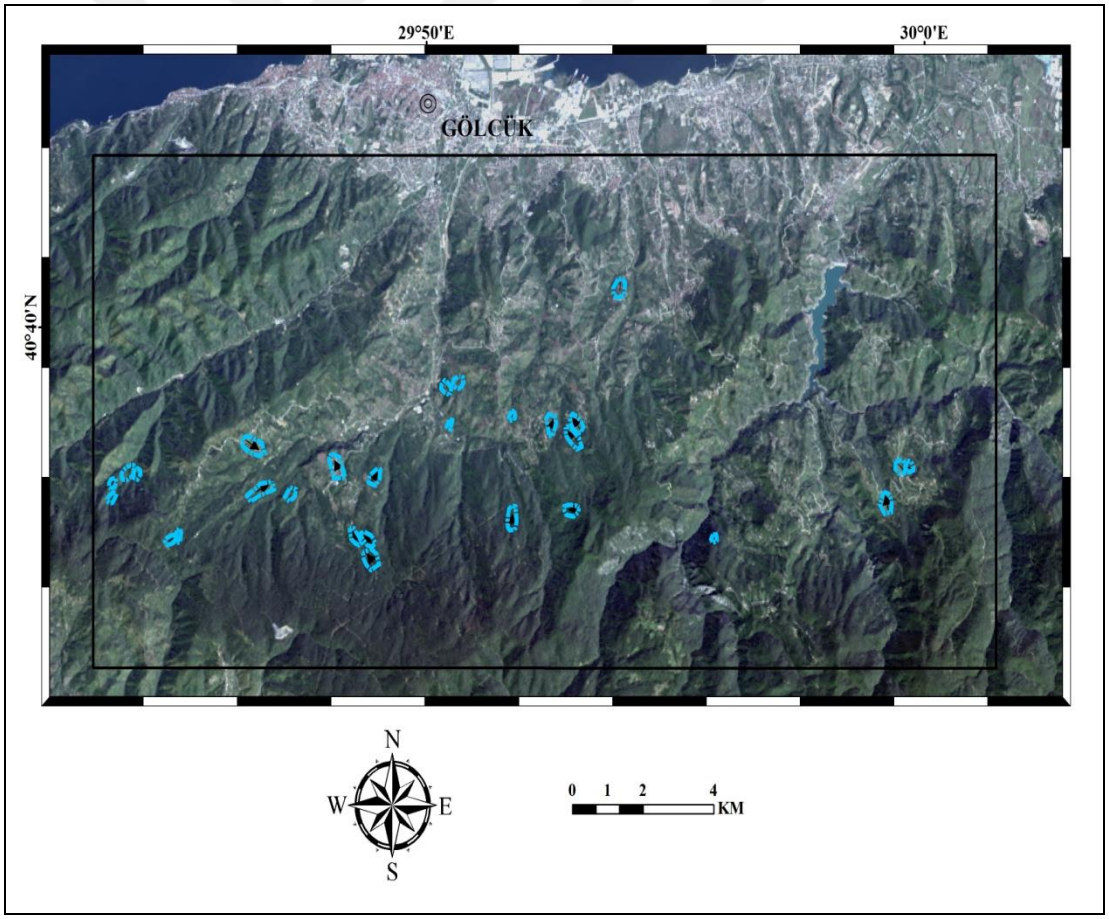


Şekil 6.27. a) PALSAR DEM verisi kullanılarak üretilen 10 m kontur aralığına sahip 10. harita b) PALSAR DEM verisi kullanılarak üretilen 20 m kontur aralığına sahip 10. harita.

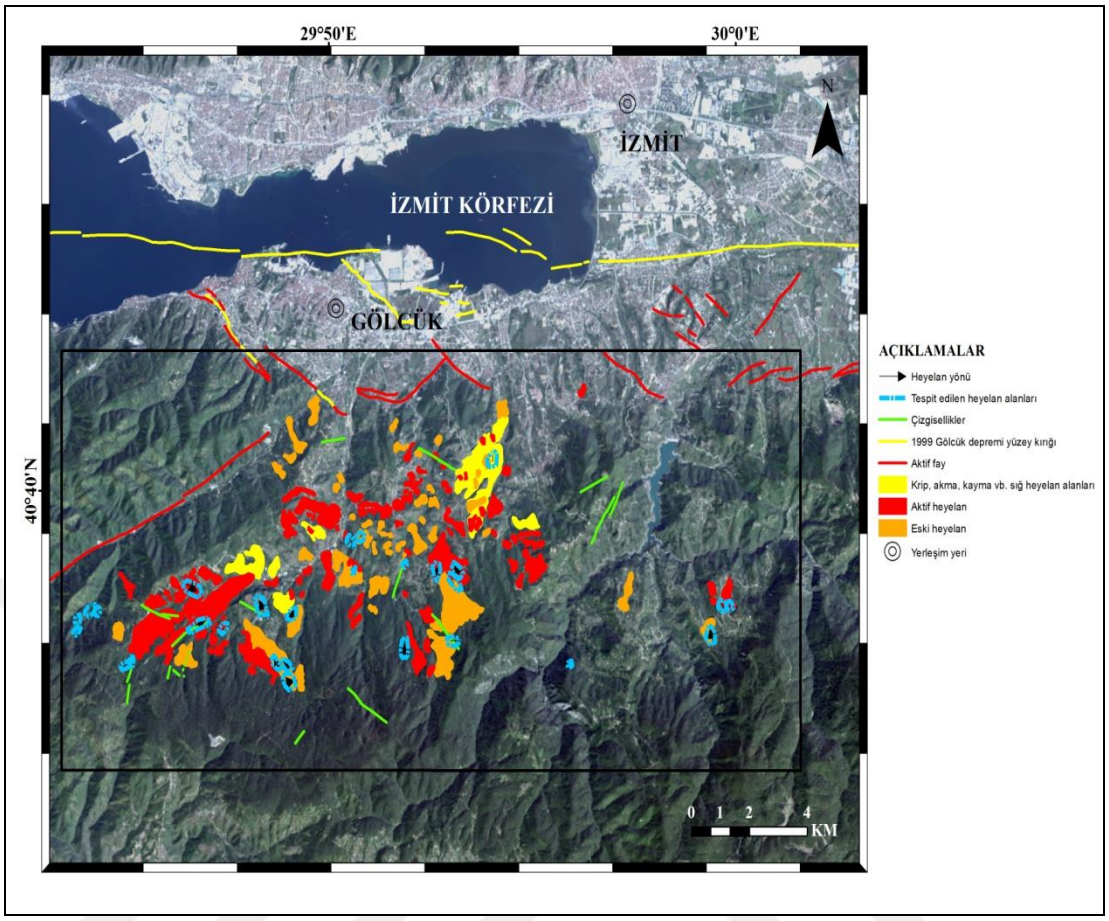


Şekil 6.28. a) PALSAR DEM verisi kullanılarak üretilen 10 m kontur aralığına sahip 11. harita b) PALSAR DEM verisi kullanılarak üretilen 20 m kontur aralığına sahip 11. harita.

Çalışma alanında 28 adet konturda meydana gelen anormal yapı tespit edilmiştir. Tespit edilen topoğrafik anormal yapıların daha önce çalışma sahasında belirlenmiş heyelan alanlarında, bu alanlara yakın olan kısımlarda ve bölgede meydana gelen heyelanların ana tetikleyici unsurlarından biri olarak düşünülen kırık ve kırık sistemleri üzerinde veya yakınında bulunması ile aralarındaki ilişkiler dikkat çekicidir. Çalışma alanında belirlenmiş olan tüm heyelan alanları Şekil 6.29'da verilmiştir. Belirlenmiş olan heyelanlar haritada da görüldüğü gibi büyük çoğunluğu bitki örtüsü ile kaplanmış durumda geriye kalan kısımlar ise yerleşim yerlerinin altında kaldığından arazide gözlemlenmesi oldukça güçtür. Şekil 6.30'da ise belirlenen heyelan alanlarının MTA tarafından belirlenmiş olan kütle hareketleri ve bunların ana tetikleyicisi olarak düşünülen kırık ve kırık sistemleri arasındaki ilişki gösterilmiştir.



Şekil 6.29. Çalışma alanını kapsayan PALSAR DEM verisi üzerine yerleştirilmiş olan LANDSAT-8 doğal-renk kompozit görüntüsü (432-KYM) ve PALSAR DEM verisi kullanılarak oluşturulan 10 m ve 20 m kontur aralığına sahip haritalar ile tespiti yapılan mevcut heyelan alanları ve potansiyel heyelan alanlarını (açık mavi) gösteren harita.



Şekil 6.30. Çalışma sahasını kapsayan PALSAR DEM verisi üzerine yerleştirilmiş olan LANDSAT-8 doğal-renk kompozit görüntüsü (432-KYM). Heyelanlar (Duman ve diğ., 2011), diri faylar (Emre ve diğ., 2013), PALSAR verisinin işlenmesi sonucu elde edilen çizgisellikler (yeşil) ve PALSAR DEM verisi kullanılarak oluşturulan 10 m ve 20 m haritalar ile tespiti yapılan mevcut heyelan alanları ve potansiyel heyelan alanlarının ilişkisini (açık mavi) gösteren harita.

7. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Ülkemizde doğal afet türleri arasında kütle hareketleri önemli bir yer tutmaktadır. Kütle hareketlerinin meydana gelmesinde ana tetikleyici unsurlar bulunmaktadır. Bunlar içerisinde çalışma alanımızı da ilgilendiren en önemli etkenlerinden birisi depremlerdir. Çalışma alanındaki jeolojik birimler arasında Paleosen-Eosen yaşlı kırıntılılar ve ayrışmış volkanik birimler üzerinde kütle hareketlerinin diğer birimlere oranla daha çok meydana geldiği ve bu doğrultuda potansiyel heyelan alanlarının bu birim üzerinde arama çalışması yapılmıştır. 7 adet potansiyel olabilecek heyelan alanı bu birim üzerinde tespit edilmiştir. Ayrıca çalışma bölgesinin bulunduğu alanda jeomorfolojik, tektonik ve yağış rejimi açısından ele alındığında kütle hareketlerinin meydana gelmesi için potansiyel bir bölge olduğu sonucuna varmaktayız. Çalışma bölgesinin tektonik açıdan aktif bir bölgede olması kütle hareketlerinin çok sık meydana gelebileceği ve bu kütle hareketlerinin tetikleyici ana faktörlerinden birisinin depremler olması ve bu depremler sonucu meydana gelmiş olan sistemlerin analizinin iyi yapılması yapısal çizgiselliklerin belirlenmesi gerekmektedir.

Çalışma alanında daha önce belirlenmemiş olan kırık ve kırık sistemleri ilk kez radar uydu verisi kullanılarak haritalanmış ve K-G (0°) yönlü filtre işlemi ile 7 adet çizgisellik, D-B (90°) yönlü filtre işlemi ile 2 adet çizgisellik, KD-GB (45°) yönlü filtre işlemi ile 3 adet çizgisellik ve son olarak KB-GD (135°) yönlü filtre işlemi uygulanarak 6 adet çizgisellik tespit edilmiş olup toplamda 18 adet çizgisellik belirlenmiştir. Tespiti yapılan bu çizgiselliklerin önemli bir kısmının bölgede bulunan kütle hareketlerinin olduğu alanda yoğunlaşması önemli ve dikkat çekici bir durumdur. Tezin ikinci inceleme konusu olan PALSAR DEM verisini kullanarak oluşturulan 10 m ve 20 m kontur aralıklarına sahip kontur haritaları üretmektir ve bu doğrultuda heyelanlar tespit edilmiştir. ALOS PALSAR verisinin çözünürlüğünün 12.5 m olduğu bilinmektedir. Bu çözünürlük ile kontur haritalarında meydana gelen anormal topoğrafik yapıların daha net görüntülenebileceği düşünülmüş olup bu doğrultuda kullanılmıştır. Yapılan kontur haritalarında MTA tarafından daha önce çalışma alanında belirlenmiş olan heyelan alanlarının kontur üzerindeki bozulmaları

ve potansiyel daha önce belirlenmemiş ancak topoğrafik bozulmalar gösteren alanlar haritalandırılmıştır. Bu doğrultuda 10 adet potansiyel heyelan alanı 18 adet ise mevcut heyelan alanlarının topoğrafik bozulmaları haritalanmıştır. Potansiyel olarak değerlendirilen heyelan alanları topoğrafik bozulmaların mevcut heyelan alanları dışında kalmasından dolayı bu şekilde değerlendirilmesi yapılmaktadır.

Sonuç olarak yapılan tez çalışması ile bölgede bulunan heyelan alanlarının veya meydana gelebilecek heyelanların ana tetikleyici unsurlarından en önemli olanı tespit edilmeye çalışılmış ve arazide gözlemlenmesi mümkün olmayan heyelan alanlarını veya heyelan oluşturabilecek alanlar uzaktan algılama yöntemleri ile belirlenmiştir. Bu doğrultuda çalışma alanına KAF'a yakın mesafede bulunan uzunlukları 3 km'yi geçmeyen ve saçınım gösteren çizgisellikler faydan ziyade kırık ve kırık sistemleri olarak tanımlanmış ve bölgede meydana gelen heyelanları tetikleyen ana tetikleyici unsur olarak tanımlanmıştır. Bir diğer sonuç ise 10 m kontur aralığının 20 m kontur aralığına oranla daha detaylı bilgi sunduğu, daha güvenilir ve pratik bir şekilde heyelan analizini yapabileceğimizi ortaya koymuştur. Bu araştırmada, RADAR verisi kullanarak heyelanların hızlı, güvenilir ve detaylı bir şekilde çalışılabileceği gösterilmiştir.

KAYNAKLAR

Ahmed M. F., Rogers J. D., First-Approximation Landslide Inventory Maps for Northern Pakistan, Using ASTER DEM Data and Geomorphic Indicators, *Environmental & Engineering Geoscience*, 2014, **20**(1), 67-83.

Akartuna M., *Armutlu Yarımadasının Jeolojisi*, Sayı:20, İstanbul Üniversitesi Fen Fakültesi Fen. Fak. Monografileri (Tabi İlimler Kısmı), İstanbul, Türkiye, 1968.

Akbulut İ., Heyelan Nedir? Türkiye'deki Heyelanlar, *Mavi Gezegen Popüler Yerbilim Dergisi*, 2011, (16), 15-20.

Amri K., Mahdjoub Y., Guergour L., Use of Landsat 7 ETM + for Lithological and Structural Mapping of Wadi Afara Heouine Area (Tahifet–Central Hoggar, Algeria), *Arab. J. Geosci*, 2011, **4**, 1273–1287.

Barka A.A., Kadinsky-Cade K., Strike–slip Fault Geometry in Turkey and Its Influence on Earthquake Activity, *Tectonics*, 1988, **7**(3), 663–684.

Barka A., Kuşçu İ., Extent of The North Anatolian Fault in the İzmit, Gemlik and Bandırma Bays, *Turkish Journal Marine Science*, 1996, **2**, 93-106.

Campbell J. B., Wynne R. H., *Introduction to Remote Sensing*, 5th Edition, The Guilford Press, New York, 2011.

Chavez P.C., Bauer B., An Automatic Optimum Kernel-Size Selection Technique for Edge Enhancement, *Remote Sens. Environ*, 1982, **12**(1), 23–38.

Cornforth D. H., *Landslides in Practice: Investigation, Analysis and Remedial/Preventative Options in Soils*, 1th Edition, John Wiley and Sons Inc., United States of America, 2005.

Çan T., Duman T. Y., Olgun Ş., Çörekçioğlu Ş., Gülmez F. K., Elmacı H., Hamzaçebi S., Emre Ö., Türkiye Heyelan Veri Tabanı, *TMMOB Coğrafi Bilgi Sistemleri Kongresi*, Ankara, 11-13 Kasım 2013.

Dewey J.F., Şengör A.M.C., Aegean and Surrounding Regions: Complex Multiplate and Continuum Tectonics in a Convergent Zone. *Geological Society of America Bulletin*, 1979, **90**(1), 84–92.

Doğan B., Yuvacık (İzmit) - Sapanca (Adapazarı) Arası Bölgenin Jeolojisi ve Tektonik Özellikleri, Yüksek Lisans Tezi, Kocaeli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kocaeli, 1998, 78211.

Drury S., Remote Sensing of Geological Structure in Temperate Agricultural Areas., *Geol. Mag.*, 1986, **123**(2), 113–121.

Duman T. Y., Çan T., Emre Ö., *1/1.500.000 Türkiye Heyelan Envanteri Haritası*, Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü Özel Yayınlar Serisi-27, Ankara, Türkiye, 2011.

Eliason E.M., McEwen A.S., Adaptive Box Filters for Removal of Random Noise From Digital İmages, *Photogramm. Eng. Remote Sens.*, 1990, **56**(4), 453-458.

Emre Ö., Duman T. Y., Özalp S., Elmacı H., Olgun Ş., Şaroğlu F., *Açıklamalı Türkiye Diri Fay Haritası, Ölçek 1:1.250.000*, Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü Özel Yayın Serisi-30, Ankara, Türkiye, 2013.

Emre Ö., Erkal T., Tchepalyga A., Kazancı N., Keçer M., Ünay E., Doğu Marmara Bölgesinin Neojen-Kuvaternerdeki Evrimi, *MTA Dergisi*, 1998, **120**, 233-258.

Göncüoğlu M. C., Erendil M., Tekeli O., Ürgün B. M., Aksay A., Kuşçu İ., Armutlu Yarımadasının Doğu Kesiminin Jeolojisi, *M.T.A Raporu*, 7943, 20-50, 1986.

Göncüoğlu M.C., Erendil M., Tekeli O., Aksay A., Kuşçu A., and Ürgün B., Geology of the Armutlu Peninsula. Correlations of Variscan and Pre-variscan Events in the Alpine–Himalayan Mountain Belt. Field Meeting. Turkey. Guide Book for the Field Excursion Along Western Anatolia, Turkey. IGCP Project, MTA, 1987, 5, 12–18.

Göncüoğlu M. C., Erendil M., Tekeli O., Aksay A., Kuşçu İ., Ürgün B. M., *Introduction to the Geology of the Armutlu Peninsula*, ISGB-92, Guide Book, 26-36, Maden ve Tetkik Arama, Ankara, 1992.

Gündoğdu E., Karaca Ö., Özden S., Saha Gözlemleri ve ALOS-PALSAR Görüntüsü Kullanılarak Eskişehir Fayı ve Yakın Civarının Yapısal Analizi, *Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Fen Bilimleri Dergisi*, 2015, **31**(3), 192-198.

Gündoğdu E., Özden S., Karaca Ö., Simav Fayı ve Yakın Civarının Saha Verileri ile Alos-Palsar ve Landsat Görüntülerinin Karşılaştırmalı Yapısal Analizi, *Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Fen Bilimleri Dergisi*, 2016, **32**(1) , 1-12.

Gürbüz C., Aktar M., Eyidoğan H., et al., The Seismotectonics of the Marmara Region (Turkey): Results From a Microseismic Experiment, *Tectonophysics*, 2000, **316**(1-2), 1–17.

Gürer Ö. F., Kaymakçı N., Çakır Ş., Özburan M., Neotectonics of the Southeast Marmara Region, NW Anatolia, Turkey, *Journal of Asian Earth Sciences*, 2003, **21**(9)**,** 1041–1051.

Highland L.M., and Bobrowsky P., *The Landslide Handbook—A Guide to Understanding Landslides*, U.S. Geological Survey Circular, Reston, Virginia 2008.

Highland L., Johnson M., Landslide Types and Processes Report, USGS, http://pubs.usgs.gov/fs/2004/3072/pdf/fs2004-3072.pdf (Ziyaret tarihi: 16 Haziran 2020).

Igarashi T., ALOS Mission Requirement and Sensor Specifications, *Adv. Space Res.*, 2001, **28**(1), 127–131.

Kavak K.S., Cetin H., A Detailed Geologic Lineament Analysis Using Landsat TM Data of Golmarmara/Manisa Region, *Turkey. J. Earth Sci.*, 2007, **1**(3), 145–153.

Ketin İ., Kuzey Anadolu Fayı Hakkında, *Bulletin of the Mineral Research and Exploration Institute of Turkey*, 1969, **72**, 1–27.

Küçükönder M., Çan T., Derin-Kompleks Heyelan Hareketlerinin Radar İnterferometri Yöntemi Kullanılarak İzlenmesi, *65. Türkiye Jeoloji Kurultayı*, Ankara, Türkiye, 2-6 Nisan 2012.

Lee J.S., Jurkevich I., Speckle Filtering of Synthetic Aperture Radar İmages: a Review, *Remote Sens. Rev.*, 1994, **8**(4), 313–340.

Lillesand T. M., Kiefer R. W., Chipman J. M., *Remote Sensing and Image Interpretation*, Fifth Edition, John Wiley and Sons Inc., United States of America, 2004.

Lopes A., Touzi R., Nezary E., Adaptive Speckle Filters and Scene Heterogeneity, *IEEE Trans. Geosci. Remote Sens.*, 1990, **28**(28), 992–1000.

MTA, Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü 1/500.000 Ölçekli Türkiye Jeoloji Haritası İstanbul ve Zonguldak Paftaları. Ankara, Turkey, 2002.

Pour A. B., Hashim M., Structural Geology Mapping Using PALSAR Data in the Bau Gold Mining District, Sarawak, Malaysia, *Advances in Space Research*, 2014, **54**(4), 644-654.

Pour A. B., Hashim M., Structural Mapping Using PALSAR data in the Central Gold Belt Peninsular Malaysia, *Ore Geology Reviews*, 2015, **64**, 13-22.

Robertson A. H. F., Ustaömer T., Tectonic Evolution of Intra-Pontide Suture Zone in the Armutlu Peninsula, NW Turkey, *Tectonophysics*, 2004, **381**(1-4), 175-209.

Rogers J. D., Doyle B. C., Mapping of Seismically-İnduced Landslippage in the Benton Hills and Crowley's Ridge, New Madrid Seismic Zone, Missouri and Arkansas,USGS,https://earthquake.usgs.gov/cfusion/external_grants/reports/03HQGR0023.pdf (Ziyaret tarihi: 5 Ağustos 2020).

Rosenqvist A., Shimada M., Chapman B., McDonald K., Grandi G., De Jonsson H., Williams C., Rauste Y., Nilsson M., Sango D., Matsumoto M., An Overview of the JERS-1 SAR Global Boreal Forest Mapping (GBFM) Project, *Geoscience and Remote Sensing Symposium*, IGARRS 0.4, Proceedings, Anchorage, AK, ABD, 20–24 September 2004.

Sabins F.F.Jr., *Remote Sensing, Principles and Interpretation*. Freeman, San Francisco, 1978.

Sheng Y., Xia Z.G., A Comprehensive Evaluation of Filters for Radar Speckle Suppression. *Geoscience and Remote Sensing Symposium*, IGARSS.96. Remote Sensing for Sustainable Future, Lincoln, NE, USA, 31 May 1996.

Shi Z., Fung B., A Comparison of Digital Speckle Filters, *Proceedings of IGARSS, International Geoscience and Remote Sensing Symposium*, Pasadena, CA, USA, 8-12 Aug. 1994.

Soeters R., Van Westen C., Slope Stability: Recognition, Analysis and Zonation, *National Academy Press*, 1996, **213**(8), 129-177.

Suzen M.L., Toprak V., Filtering of Satellite Images in Geological Lineament Anlyses: An Application to a Fault Zone in Central Turkey. *Int. J. Remote Sens*., 1998, **19**(6), 1101–1114.

Sveinsson J.R., Benediktsson J.A., Speckle Reduction and Enhancement of SAR Image in the Wavelet Domain. *Geoscience and Remote Sensing Symposium*, IGARSS.96, Lincoln, NE, USA, 31 May 1996.

Tatar Y., Tatar O., *Jeolojide Uzaktan Algılama*, Cumhuriyet Üniversitesi Yayınları No: 102, Sivas, Türkiye, 2006.

Ulusay R., Heyelanlar ve Mühendislik Şevlerindeki Duraysızlıklar: Türleri, Etkileri ve Zararların Azaltılması, *Sel-Heyelan-Çığ Sempozyumu*, Samsun, 28-29 Mayıs 2007.

URL-1 https://deprem.afad.gov.tr/depremkatalogu, (Ziyaret tarihi: 13 Haziran 2020).

URL-2 https://search.asf.alaska.edu/#/?dataset=ALOS, (Ziyaret tarihi: 26 Ekim 2018).

Varnes D.J., Slope Movement 43. Types and Processes, Editors; Schuster R.L., and Krizek R.J., *Landslides: Analysis and Control*, 1st ed., Transportation Research Board Special Report 176, National Research Council, Washington, D.C., 1978.

Yağızel A., Özyavaş A., İzmit Körfezinin Güneyindeki Kütle Hareketlerinin Kırık Sistemleri İle İlişkisinin ALOS PALSAR Verisi Kullanılarak İncelenmesi, *Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 2020 (Basım Aşamasında).

Zengince M., Karakaş A., Kocaeli Gölcükte Oluşan Heyelanların Nedenleri, Etkileri ve Alınan Önlemler, *Uygulamalı Yerbilimleri Dergisi*, 2018, **17**(1), 39-54.

KİŞİSEL YAYIN VE ESERLER

Yağızel A., Özyavaş A., İzmit Körfezinin Güneyindeki Kütle Hareketlerinin Kırık Sistemleri İle İlişkisinin ALOS PALSAR Verisi Kullanılarak İncelenmesi, *Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 2020 (Basım Aşamasında).

ÖZGEÇMİŞ

İlk ve orta eğitimini Van, lise eğitiminin bir bölümünü Yalova, geri kalan kısmını Van'da tamamladı. 2013 yılında girdiği Kocaeli Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Jeoloji Mühendisliği Bölümü'nden 2017 yılında bölüm birinciliği ile mezun oldu. 2017-2020 yılları arasında Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Jeoloji Mühendisliği Bölümü'nde yüksek lisans eğitimini tamamladı.