



**T. C.  
SIVAS CUMHURİYET ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**OPTİK UYDU GÖRÜNTÜLERİ YARDIMIYLA HEYELAN  
ALANLARINDA MEYDANA GELEN KÜTLE  
HAREKETLERİNİN İNCELENMESİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Yasin DEMİREL  
(20189249010)**

**Geomatik Mühendisliği Ana Bilim Dalı  
Tez Danışmanı: Prof. Dr. Tarık TÜRK**

**SIVAS  
ARALIK 2021**

**Yasin DEMİREL**'in hazırladığı ve “**OPTİK UYDU GÖRÜNTÜLERİ YARDIMIYLA HEYELAN ALANLARINDA MEYDANA GELEN KÜTLE HAREKETLERİNİN BELİRLENMESİ**” adlı bu çalışma aşağıdaki jüri tarafından **GEOMATİK MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI**'nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

<b>Tez Danışmanı</b>	<b>Prof. Dr. Tarık TÜRK</b> Sivas Cumhuriyet Üniversitesi	.....
<b>Jüri Üyesi</b>	<b>Doç. Dr. Önder GÜRSOY</b> Sivas Cumhuriyet Üniversitesi	.....
<b>Jüri Üyesi</b>	<b>Doç Dr. Taylan ÖCALAN</b> Yıldız Teknik Üniversitesi	.....

Bu tez, Sivas Cumhuriyet Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü tarafından **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak onaylanmıştır.

**Prof. Dr. Özlem Pelin CAN**  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ MÜDÜRÜ

Bu tez, Sivas Cumhuriyet Üniversitesi Senatosu'nun 20.08.2014 tarihli ve 7 sayılı kararı ile kabul edilen Fen Bilimleri Enstitüsü Lisansüstü Tez Yazım Kılavuzu (Yönerge)'nda belirtilen kurallara uygun olarak hazırlanmıştır.



Bütün hakları saklıdır.  
Kaynak göstermek koşuluyla alıntı ve gönderme yapılabilir.

© Yasin DEMİREL, 2021



Bilimin ışığında hedeflerime yürürken beni her zaman destekleyen aileme...

## ETİK

Sivas Cumhuriyet Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Tez Yazım Kılavuzu (Yönerge)'nda belirtilen kurallara uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada;

- ✓ Bütün bilgi ve belgeleri akademik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- ✓ Görsel, işitsel ve yazılı tüm bilgi ve sonuçları bilimsel ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- ✓ Başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda ilgili eserlere, bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunduğumu ve atıfta bulunduğum eserlerin tümünü kaynak olarak gösterdiğimi,
- ✓ Bütün bilgilerin doğru ve tam olduğunu, kullanılan verilerde herhangi bir değişiklik yapmadığımı,
- ✓ Tezin herhangi bir bölümünü, Sivas Cumhuriyet Üniversitesi veya bir başka üniversitede, bir başka tez çalışması olarak sunmadığımı; beyan ederim.

6.12.2021

Yasin DEMİREL

## KATKI BELİRTME VE TEŞEKKÜR

Bilimin farkındalığı ile ufkumuzu açan, vermiş olduğu eğitimle düşünen, sorgulayan, araştıran, denemekten korkmayan bir öğrenci olmayı öğreten, bilgi ve tecrübesiyle bizleri aydınlatan, yönlendiren, sabır ve büyük ilgiyle fikirlerimize kıymet verip dinleyen, çalışmanın her aşamasında çok değerli bilgi ve deneyimlerini esirgmeden hedefleri hep ileriye taşıma ilkesi ile çalışan kıymetli bilim insanı danışman hocam Prof. Dr. Tarık TÜRK'e,

Çalışmada jeolojik değerlendirmeler kısmında bilgi ve deneyimlerini paylaştan Arş. Gör. Dr. Oktay CANBAZ'a,

Bu çalışmada kullanılan verilerin sağlanmasından dolayı TÜBİTAK 113Y188 nolu projeye,

Her zaman bana olan güvenleri ile hedeflerime yürümemdeki en büyük destekçim kıymetli aileme

Sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

## ÖZET

# OPTİK UYDU GÖRÜNTÜLERİ YARDIMIYLA HEYELAN ALANLARINDA MEYDANA GELEN KÜTLE HAREKETLERİNİN İNCELENMESİ

**Yasin DEMİREL**

**Yüksek Lisans Tezi**

**Geomatik Mühendisliği Anabilim Dalı**

**Danışman: Prof. Dr. Tarık TÜRK**

**2021, 47+xvi sayfa**

Dünya çapında önemli bir doğal afet türü olarak kabul edilen heyelan, kentleşmeye zarar vermesi, tarım ve orman alanlarını tahrip etmesi, nehirler ve suları kirletmesi gibi maddi olumsuzluklarının yanı sıra insan ve hayvan hayatına mal olan üzücü manevi sonuçlar doğuran bir felakettir. Bu nedenle heyelan alanlarında can ve mal kaybına sebep olan kütle hareketlerini tespit etmek hayati önem taşımaktadır.

Çalışma alanı olarak belirlenen Koyulhisar ilçe merkezi ve çevre köyleri ile Suşehri çevre köyleri gibi birçok yerleşim yeri ve yakınlarını kapsayan bölge, jeolojik ve jeomorfolojik yapısı nedeniyle farklı heyelan çalışmalarına konu olmuştur.

Günümüzde yersel ölçümler, uzaktan algılama ve fotogrametrik ölçümler gibi birçok yöntem ile heyelan, buzul, kumul ve deprem alanlarında meydana gelen kütle hareketleri belirlenebilir. Yüzey deformasyon analizleri fotogrametri ve uzaktan algılama teknikleri ile yapılabildiği gibi yerinde ölçüm ve arazi gözlem teknikleri ile de yapılabilir. Her tekniğin kendi avantajı ve sınırlaması vardır. Her ne kadar yersel ölçüm yöntemlerinde (jeofizik etüt, kazı yapma, tektonik ve jeomorfolojik özelliklerin araştırılması) yüzey deformasyonları doğru bir şekilde belirlense de bütünsel bir görünüm elde etmek oldukça yoğun emek ve zaman gerektirir. Uzaktan algılama yöntemleri ise hız ve maliyet gibi birçok açıdan oldukça kolaylıklar sağlamaktadır.

Bu çalışmada, optik olarak algılanan görüntülerin ilişkisi ve korelasyonu (COSI corr) yöntemi (uzaktan algılama yöntemi) ile çok yüksek çözünürlüklü optik uydu görüntülerinden heyelan alanlarında meydana gelen yavaş kütle hareketleri analiz

edilmiştir. Bunun sonucunda, heyelan bakımından riskli olan yerleşim alanları belirlenerek gerekli önlemlerin alınmasına yönelik çeşitli öneriler ortaya konmuştur.

**Anahtar kelimeler:** COSI Corr, Kütle Hareketleri, Deformasyon, Heyelan, Uzaktan algılama



## **ABSTRACT**

### **INVESTIGATION OF MASS MOVEMENTS IN LANDSLIDE AREAS BY MEANS OF OPTICAL SATELLITE IMAGES**

**Yasin DEMİREL**

**Master of Science Thesis**

**Department of Geomatics Engineering**

**Supervisor: Prof. Dr. Tarık TÜRK**

**2021, 47+xvi pages**

Landslide, which is accepted as an important type of natural disaster worldwide, is a disaster that causes sad moral consequences that cost human and animal lives as well as material problems such as damaging urbanization, destroying agricultural and forest areas, and polluting rivers and waters. For this reason, it is vital to detect mass movements that cause loss of life and property in landslide areas.

Due to its geological and geomorphological structure, the region covering many settlements and their relatives such as Koyulhisar town center and surrounding villages and Suşehri surrounding villages, which was determined as the study area, has been the subject of many landslide studies.

Today, mass movements in landslide, glacier, dune and earthquake areas can be determined by many methods such as terrestrial measurements, remote sensing and photogrammetric measurements. Surface deformation analyzes can be done by photogrammetry and remote sensing techniques, as well as by on-site measurement and field observation techniques. Each technique has its own advantage and limitation. Although surface deformations are accurately determined in terrestrial measurement methods (geophysical survey, excavation, investigation of tectonic and geomorphological features), obtaining a holistic view requires a lot of labor and time. Remote sensing methods, on the other hand, provide many conveniences such as speed and cost.

In this study, slow mass movements occurring in landslide areas from very high resolution optical satellite images were analyzed with the (COSI corr) method of

optically detected images. As a result, residential areas that are risky in terms of landslides were determined and various suggestions were put forward to take necessary precautions.

**Key Words:** COSI Corr, Mass Movements, Deformation, Landslide, Remote sensing



## İÇİNDEKİLER

<b>ÖZET.....</b>	<b>viii</b>
<b>ABSTRACT .....</b>	<b>x</b>
<b>ŞEKİLLER DİZİNİ .....</b>	<b>xiv</b>
<b>ÇİZELGELER DİZİNİ .....</b>	<b>xv</b>
<b>KISALTMALAR DİZİNİ .....</b>	<b>xvi</b>
<b>1. GİRİŞ .....</b>	<b>1</b>
1.1 Çalışmanın Amacı ve Önemi .....	2
1.2 Literatür Araştırması .....	3
<b>2. MATERYAL VE YÖNTEM.....</b>	<b>10</b>
2.1 Çalışma Alanı ve Özellikleri.....	14
2.1.1 Jeoloji.....	19
2.1.2 Yapısal unsurlara (faya) yakınlık.....	20
2.1.3 Yamaç eğimi .....	21
2.1.4 Yükseklik .....	21
2.1.5 Yamaç yönelimi (Bakı).....	22
2.1.6. Drenaj ağı- akarsulara yakınlık .....	22
2.1.7 Yola yakınlık.....	23
2.2 Uydu Görüntülerinin İşlenmesi.....	23
2.2.1 Yardımcı verilerin tanımlanması.....	24
2.2.2 Bağlantı noktalarının seçimi ve yer kontrol noktalarının optimizasyonu .	25
2.2.3 Ortorektifikasyon ve Yeniden örnekleme .....	25
2.2.4 Korelasyon .....	27
2.2.5 Korelasyon dosyası elde edildikten sonra yapılan işlemler .....	28
2.3 Heyelan Verilerinin Modellenmesi.....	29
<b>3. BULGULAR VE TARTIŞMA .....</b>	<b>30</b>
3.1 Alanın COSI Corr Metodu ile Analizi .....	30
3.2 Analiz sonuçlarının CBS ile bütünleştirilmesi.....	31
<b>4. SONUÇ VE ÖNERİLER.....</b>	<b>39</b>

**KAYNAKLAR ..... 42**

**ÖZGEÇMİŞ..... 47**



## ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 2. 1	11 Ağustos 2006 tarihli spot 5 uydu görüntüsü. ....	11
Şekil 2. 2	21 Eylül 2011 tarihli Spot 5 uydu görüntüsü. ....	12
Şekil 2. 3	İş akış şeması (Türk, 2013'den uyarlanmıştır). ....	13
Şekil 2. 4	Çalışma alanında heyelan etkisinde kalmış yerleşim yerine bir örnek (AFAD, 2018). ....	14
Şekil 2. 5	Çalışma alanı. ....	15
Şekil 2. 6	11 Ağustos 2006 tarihli ortorektifiye edilmiş Spot 5 uydu görüntüsü. ....	26
Şekil 2. 7	21 Eylül 2011 tarihli ortorektifiye edilmiş Spot 5 uydu görüntüsü. ....	27
Şekil 2. 8	11 Ağustos 2006 (Spot 5) ve 21 Eylül 2011 (Spot 5) tarihli uydu görüntülerinin SNR bandı. ....	28
Şekil 2. 9	Model Builder ile oluşturulan kullanıcı arayüz programı. ....	29
Şekil 3. 1	Pencere boyutu x Adım boyutu değerleri için örnek nokta sayısına karşılık gelen korelasyon değerleri. ....	31
Şekil 3. 2	Çalışma alanındaki yer değiştirmelerin vektör haritası. ....	32
Şekil 3. 3	Çalışma alanındaki yer değiştirme verileri. ....	33
Şekil 3. 4	Tüm pencere ve adım boyutları için detaylı incelemesi yapılan alan. ....	33
Şekil 3. 5	1/4 (adım boyutu-pencere boyutu) oranlı sonuçların analizi. ....	34
Şekil 3. 6	1/8 (adım boyutu-pencere boyutu) oranlı sonuçların analizi. ....	35
Şekil 3. 7	İnceleme alanındaki yer değiştirmeler (a. Toplam yer değiştirme, b. Doğu-Batı yönlü yer değiştirme, c. Kuzey-Güney yönlü yer değiştirme). ....	37

## ÇİZELGELER DİZİNİ

<b>Çizelge 2.1</b> Çalışma alanı ve yakın çevresine ait heyelan kayıtları (AFAD, 2018) ..	16
<b>Çizelge 2.2</b> Kullanılan optik uydu görüntülerinin özellikleri .....	24



## KISALTMALAR DİZİNİ

<b>AFAD</b>	: Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı
<b>CBS</b>	: Coğrafi Bilgi Sistemleri
<b>EW</b>	: East-West (Doğu-Batı)
<b>GB</b>	: Güneybatı
<b>GD</b>	: Güneydoğu
<b>GNSS</b>	: Küresel Uydu Seyrüsefer Sistemi
<b>GPS</b>	: Küresel Konumlama Sistemi
<b>İHA</b>	: İnsansız Hava Aracı
<b>KAFZ</b>	: Kuzey Anadolu fay Zonu
<b>KB</b>	: Kuzeybatı
<b>KD</b>	: Kuzeydoğu
<b>MTA</b>	: Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü
<b>NS</b>	: North-South (Kuzey-Güney)
<b>SAM</b>	: Sayısal Arazi Modeli
<b>SYM</b>	: Sayısal Yükseklik Modeli
<b>IDW</b>	: Inverse Distance Weight (Ters Ağırlıklı Mesafe)
<b>InSAR</b>	: Interferometric synthetic aperture radar

## 1. GİRİŞ

Doğal afetler zamanı önceden tam olarak belirlenemeyen, ansızın ortaya çıkan insanlar ve hayvanlar gibi canlı unsurların yanında ekonomik olarak kayıplara sebep olacak cansız unsurları da etkileyen, maddi ve manevi olumsuz sonuçlar doğuran felaketlerdir.

Dünyadaki hızlı nüfus artışı, teknoloji ve sanayi alanındaki hızlı gelişmeler yerleşim alanlarının tedbirsiz ve bilinçsizce gelişmesine dolayısıyla doğal afetlerin verdiği zararların artışına sebep olmaktadır. Ülkemiz, jeomorfolojik yapısı, coğrafi konumu ve iklimsel özelliklerinden dolayı doğal afetlerin neden olduğu can kayıpları ve büyük ekonomik zararlarla karşılaşmaktadır (Demir, 2018).

Heyelanlar, depremler, taşkınlar, kuraklık gibi birçok doğal afet türü vardır. Heyelanlar dünya çapında önemli bir doğal afet türü olarak kabul edilmektedir (Lucieer, 2014). Ayrıca heyelan, büyük ölçüde altyapıya (karayolları, demiryolları, boru hatları, yapay rezervler) ve özel mülke (binalar, tarım arazileri) zarar vermekle birlikte insan hayatına ve ekonomik kayıplara neden olarak toplumları maddi ve manevi açıdan yıpratıcı bir doğal afettir.

Heyelan; yamacı oluşturan kaya, toprak, moloz gibi malzemelerin yer çekimi, eğim, hidroloji, faya yakınlık gibi nedenlerden dolayı yer çekimine maruz kalarak yamaçtan aşağı ve dışarı yönlü hareketidir. Ülkemizde Karadeniz bölgesinde oldukça sık yaşanan bu olay, İç Anadolu bölgesinde de yoğun bir şekilde gözlemlenmektedir (Över, 2015).

Heyelan sürecinin ortaya konulmasında; heyelanları tetikleyen mekanizmaları belirleyerek heyelan duyarlılığı haritalandırması için yöntemler geliştirmeye, heyelan tarihi kayıtlarını muhafaza etmeye, esnek, kullanışlı ve güvenilir izleme yöntemleri geliştirmeye ihtiyaç duyulmaktadır (Lucieer, 2014). Heyelan bakımından risk unsuru taşıyan bölgelerde meydana gelen yer değiştirmeleri ve kütle hareketlerini ortaya koymak, bölgenin mevcut durumunu analiz etmekle bölgenin heyelan bakımından riskli alanlarının önceden tahmin edilmesi ve öngörülebilir zararları engellemek veya en aza indirmek açısından gerekli tedbirlerin alınmasına olanak sağlar.

Afet yönetiminin karmaşık bir yapısı olduğu için, klasik yöntemlerle bu süreci yönetmek oldukça zordur. Süreci en iyi şekilde yönetmek açısından bilgi teknolojileri son derece önemlidir. Özellikle, afet öncesinde planlama ve analiz, afetin meydana

geldiği anda bilgi akışı ve karar, afet sonrasında bölgeye müdahale ve iyileştirme açısından CBS kullanımı çok avantajlıdır (Türk, 2009).

Heyelan kaynaklı zararları azaltmak amacıyla; heyelan tehlike boyutlarının yanısıra, heyelandan etkilenen bölgeleri belirlemek ve heyelanların dinamiklerini anlayarak tekrarlanma ihtimalinin de değerlendirilmesi gerekmektedir (Demir, 2018).

Geleneksel heyelan tespit yöntemleri, ayrıntılı çalışma ve zaman gerektirmekle birlikte maliyetlidir. Günümüzde, hızlı ve güncel bilgileri elde etmek için uzaktan algılama tabanlı birçok heyelan tespit yöntemleri geliştirilmiş ve uygulanmıştır (Saba vd., 2019; Saba vd., 2017).

Deformasyonların ve kütle hareketlerinin tespiti için Kaliforniya Teknoloji Enstitüsü tarafından Co-registration of Optically Sensed Images and Correlation (Cosi-Corr) olarak adlandırılan bir uzaktan algılama yöntemi geliştirilmiştir (Türk, 2018). Bu yöntemle GNSS ölçümü gibi harici bir bilgiye gerek duyulmaksızın yüzey deformasyonları 1/20 piksel doğruluğunda (alt piksel düzeyinde) belirlenebilmektedir (Haque 2016). Birçok araştırmacı bu yöntemi kullanarak kumul, buzul, heyelan ve deprem alanlarında bu yöntemi kullanarak farklı ölçeklerde çalışmalar gerçekleştirerek hızlı ve güvenilir sonuçlar elde etmişlerdir.

Doğal afet bakımından riskli olan alanların uzaktan algılama ve CBS ile analiz edilmesi suretiyle afet riskinin ortaya konması, yavaş kütle hareketi meydana gelen bölgelerde önceden önlem almak açısından son derece önemlidir.

## **1.1 Çalışmanın Amacı ve Önemi**

Dünya nüfusundaki artış, teknoloji ve sanayinin hızlı gelişmesi, yerleşim alanlarında bilinçsiz gelişmeye ve doğal afet kaynaklı zararların artmasına sebep olmuştur. Ülkemiz jeolojik, topoğrafik ve iklim özelliklerinden dolayı can kayıpları ve büyük ekonomik zararlara sebep olan doğal afetlerle karşılaşmaktadır. Ülkemiz doğal afet kaynaklı kayıplar açısından değerlendirildiğinde depremden sonra en çok heyelandan etkilenmiştir. Dünya genelinde de heyelanlardan dolayı çok sayıda insan hayatını kaybetmekte ve ülke ekonomileri de büyük kayıplar yaşamaktadır (Demir, 2011). Bundan dolayı dünyada sıkça meydana gelen, can ve mal kaybına sebep olan heyelan alanlarındaki yer değiştirmelerin belirlenmesi son derece hayati öneme sahiptir.

Kuzey Anadolu Fay Zonu üzerinde Kelkit Çayı vadisinde bulunan Niksar, Reşadiye, Koyulhisar ve Suşehri gibi yerleşim alanlarının önemli heyelan bölgesi olduğu çok

eski zamanlardan beri bilinmektedir (Demir, 2011). Kuzey Anadolu Fay Zonu'nun sismik aktivitesi ve sıra dışı tektono-morfolojik yüzey şekilleri ile Doğu Akdeniz'in sismik etkinliğinden dolayı dünyanın bilinen en iyi doğrultu atımlı faylarından birisidir (Demirel, 2016). Kuzey Anadolu Fay Zonu oluştuğundan bu yana fayın geçtiği yerlerde birçok irili ufaklı faylar oluşmuştur. Çalışma Alanının bulunduğu Kuzey Anadolu Fayına paralel oluşan Kelkit Vadisi içerisinde ve yakın çevresinde gelişmiş birçok fay ve süreksizlik yapıları bulunmaktadır. İnceleme alanındaki faylar litolojik açıdan da değerlendirildiğinde meydana gelen heyelanların oluşumunu tetikler niteliktedir (Demirel, 2016). AFAD tarafından ortaya konan bölgedeki jeolojik etüt raporları, afet kayıtları ve birçok akademik çalışma değerlendirildiğinde, alanın hareketli bir heyelan bölgesi olduğu ve kütle hareketlerinin izlenmesi ve analiz edilmesinin gerekliliğini zorunlu kılmaktadır (Sendir ve Yılmaz, 2001; Över, 2015; Demirel, 2016; Demir, 2018; AFAD, 2017; Türk, 2018; Köse, 2018).

Kuzey Anadolu Fay Zonu üzerinde ve yakınlarında çok sayıda yerleşim alanları bulunmaktadır. Ülkemizde doğal afet kaynaklı zararların azaltılması ya da ortadan kaldırılması hukuki olarak yerel yönetimlerin sorumluluğundadır (Türk, 2009; 3194, 5393, 7269 sayılı kanunlar ve ilgili yönetmelik maddeleri).

Doğal afet kaynaklı zararların azaltılması veya ortadan kaldırılmasında, gerekli önlemlerin en kısa zamanda ve etkili bir şekilde alınması çok önemlidir (Türk, 2009). Bu bağlamda CBS ve Uzaktan Algılama yöntemlerini kullanmak; zaman, maliyet ve doğruluk açısından oldukça avantajlıdır. Birçok uzaktan algılama yöntemlerinden biri olan COSI Corr yöntemi GNSS ölçümü gibi harici bir bilgi gerektirmeden yüzey deformasyonunu kolay ve doğru bir şekilde ölçme fırsatı sunar.

Bu çalışmada, çok yüksek çözünürlüklü optik uydu görüntüleri (SPOT 5) ve COSI Corr yöntemi kullanılarak Sivas ili Koyulhisar ilçesi civarındaki bölgelerde meydana gelen kütle hareketlerinin belirlenmesine yönelik çalışmaların gerçekleştirilmesi ve elde edilen bulgular sonucunda mevcut heyelan riskinin ortaya konulmasına yönelik altyapının oluşturulması amaçlanmaktadır.

## **1.2 Literatür Araştırması**

Hermas vd. (2012); Kumul bölgelerde meydana gelen kütle hareketleri Mısır'da çeşitli arazi kullanım faaliyetlerine karşı potansiyel tehlikeler oluşturduğunu ve kum tepeleriyle ilgili tehlikeleri önlemek veya en aza indirmek için, göç hızlarını ve

modellerini yüksek doğrulukta belirlemenin çok önemli olduğunu belirtmişlerdir. Geleneksel tekniklerin aksine piksel altı korelasyon tekniği (sub-pixel correlation), daha geniş mekansal kapsama alanı üzerinden yüksek doğrulukta kumul hareketi ölçümleri sağlayabileceğini ifade etmişlerdir. Kuzey Sina bölgesine ait iki Spot 4 pankromatik görüntüye COSI Corr tekniği uygulayarak kumul bölgesinde meydana gelen yer değiştirmeleri tespit etmişlerdir. Bu sonuçlara göre korelasyondan elde edilen yer değiştirme alanı, kumul hareketinin yönünün doğu ve güney'e doğru meydana geldiğini ve daha önce belirlenmiş kumul sürüklenme potansiyelleri ile tutarlı olduğunu vurgulamışlardır.

Suncar vd. (2013); Los Angeles'ın güneyinde yılda 1 ile 7 metre hareket eden bir heyelan olan Portekiz Bend heyelanlarının deformasyonlarını ölçmek için COSI Corr tekniğini kullanmışlardır. Dokuz aylık bir süre boyunca heyelan yer değiştirme alanını ortaya koymak için, yüksek çözünürlüklü Worldview optik uydu görüntülerine alt piksel görüntü korelasyon (sub-pixel correlation) tekniğini uygulamışlardır. Elde edilen sonuçlar ile GNSS istasyonlarından elde edilen sonuçlar karşılaştırarak yer değiştirme alanlarının tutarlı olduğunu ve ayrıca alt piksel görüntü korelasyonundan elde edilen verilerin heyelan boyunca yer değiştirme verileri ile ilgili daha fazla ayrıntı sağladığına değinmişlerdir.

Barisin vd. (2009); Spot 4 görüntülerinin alt piksel analizi ve InSAR ölçümlerini bütünleştirerek, Afar vadisinin Dabbahu segmentinin Eylül 2005 riftleşme olayı için 3 boyutlu yüzey yer değiştirme değerlerini üretmişlerdir. Görüntülerin birlikte kaydı (co-registration) ve InSAR kombinasyonu ile ortaya konan deformasyon alanının doğruya ve batıya doğru yer değiştirmeler arasındaki geçişlerini incelemiş ve daha önce bilinmeyen aktif faylanmalara ışık tutmuşlardır.

Stumpf vd. (2014); Fransız Alplerinde Ubaye vadisinin güneyinde yer alan Barcelonette'de heyelan kaynaklı yatay yer değiştirmeleri ölçmek için uzay kaynaklı stereo-fotogrametri, ortorektifikasyon ve alt piksel görüntü korelasyonunu birleştiren bir yaklaşım ortaya koymuşlardır. Araştırmacılar bu çalışmada 3 farklı tarihli Pleiades uydu görüntüsü kullanarak yatay yer değiştirmeleri tespit etmişlerdir. Bu yöntemin tüm yer değiştirme ölçümleri için işleri büyük ölçüde kolaylaştıracağını savunmuşlardır.

Scherler vd. (2008); Dağ buzullarındaki geri çekilmenin, Güney ve Orta Asya' daki geniş ve yoğun nüfuslu bölgelerde su, gıda ve enerji bakımından önemli bir tehlike

olduğunu ifade etmişlerdir. Toplumlar üzerinde olumsuz hidrolojik etkilerin başarılı bir şekilde azaltılması ve buzullarla ilgili tehlikelerin değerlendirilmesi için buzul dinamiklerinin büyük ölçekte izlenmesi gerektiğini savunmuşlardır. Yaptıkları çalışmada, Aster uydu görüntüleri ve COSI Corr yöntemi ile Himalaya' lardaki buzullarda yüzey hızlarını türetmişlerdir. Elde edilen sonuçlarla yapılan buzul dinamiği analizinde, bu yöntemin yer ölçümlerini maliyetli ve incelenmesi zor olan bölgelerde doğru, düşük maliyetli ve kolay bir şekilde buzul- yüzey hızı ölçümlerini gerçekleştirebilmek için çok uygun olduğunu göstermişlerdir. Küresel ısınma ve küçülen buzullar ile ilgili tehlikeleri hesaba katan su yönetimi planları için COSI Corr yönteminin ışık tuttuğunu ifade etmişlerdir.

Avouac vd. (2006) tarafından; Yer deformasyonunu ölçmek ve sismik dalga modellerini belirlemek için Aster görüntülerinden faydalanarak 8 Ekim 2005' te meydana gelen Kashmir depremi analiz edilmiştir. Bu tür bir analizin deprem sonrası görüntü elde edilir edilmez gerçekleştirilebildiğini ve hasarların erken değerlendirilmesi için önemli bilgiler sağladığını ifade etmişlerdir. 5 yıl arayla alınan 15 m çözünürlüklü Aster uydu görüntüleri ile yürütülen bu çalışma, büyük depremlerin analizi için sismolojinin tamamlayıcısı olarak optik görüntülerin potansiyelini ortaya koyacağına ve gelecekteki büyük depremlere uygulanabileceğine değinmişlerdir.

Michel vd. (2018); COSI Corr yöntemini ve Spot 5 uydu görüntülerini kullanarak Katar' da meydana gelen kumul hareketlerini incelemişlerdir. Kumulların hacmini, sahada inceledikleri bir kumuldan kalibre edilmiş bir ölçekleme yasası kullanarak tahmin etmişlerdir.

Leprince vd. (2007); Aster uydu görüntüleri ve örtüşen 30 hava görüntüsü çiftini işleyerek 2005 Kashmir depremi ve 1992 Landers depreminin neden olduğu yatay kosismik deformasyon alanlarını tespit etmişlerdir. Tekniğin deprem çalışmalarında fay normal bileşenini değerlendirme ve ana fay izinin ortaya çıkardığı deformasyonu ölçmeye olanak sağladığını vurgulamışlardır. Alt piksel yeteneğinin bu tekniği birçok sensör türü için uygun hale getireceğini ve diğer birçok deformasyon çalışması için kullanılabilceğini ifade etmişlerdir.

Taylor vd. (2008); Kasım 2002'de Alaska'da meydana gelen 7,9 büyüklüğündeki Denali depremi sırasında meydana gelen sismik yer değiştirmeleri Spot uydu görüntüleri ve alt piksel korelasyon analizi kullanarak belirlemeyi amaçlamışlardır. Kosismik yer değiştirmeleri aşan buzul hareketlerini belirlemişler ve buzul

hareketlerinin etkilerini ortadan kaldırmak için tektonik sinyali izole eden bir maskeleme prosedürü uygulamışlardır. Yapılan çalışmada kayma konumunun fay şeritlerinin doğrusal veya malzeme sınırlarında (örneğin, yumuşak buzul çökelleri, buz veya kaya arasındaki temaslar) meydana gelmesinin muhtemel olduğunu gözlemlemişlerdir. Gelecekteki saha çalışmaları ile hipotezin test edilmesini önermişlerdir.

Necsoiu vd. (2009); Alaska Kobuk vadisi Ulusal Park bölgesinde 62 km<sup>2</sup>' lik bir alanda Aster optik uydu görüntüleri ve COSI Corr tekniği kullanılarak yavaş hareket eden kum tepelerindeki değişimi analiz etmişlerdir. Aktif morfolojik süreçleri, yavaş kütle hareketlerini, küçük yer değiştirmeleri tespit etmek ve izlemek için doğru sonuçlar sağlayabilen hızlı, ekonomik ve uygulanabilir bir yöntem olduğunu vurgulamışlardır.

Saba vd. (2017); Yüksek çözünürlüklü Worldview 2 uydu görüntüleri ile bölgesel ölçekte heyelan tespiti için COSI Corr tekniğinin uygulanabilirliğini araştırmışlardır. Bunun sonucunda 2010 Haiti depremi tarafından tetiklenen heyelanların %73'ünden daha fazlasının otomatik olarak algılandığını ifade etmişlerdir. Bu yöntemin olay öncesi ve olay sonrası uygun uydu verileri mevcutsa bölgesel ölçekte kosmik heyelanların otomatik tespiti için hızlı ve ekonomik bir yol önerdiğini belirtmişlerdir. Ancak, farklı heyelan türlerinin sınıflandırılabilmesi için davranış özelliklerini göstermemesini bir dezavantaj olarak vurgulamışlardır.

Vermesec ve Droke (2008); Kuzey Çad'daki Bodele çöküntüsü üzerinde 6,5 senelik uzun bir süre için kumul yer değişimlerini 4 farklı tarihli uydu görüntüleri ve COSI corr yöntemini kullanarak başarılı bir şekilde tespit etmişlerdir.

Haque (2016); 10 m çözünürlüklü Spot ve ERS-2 SAR uydu görüntülerini kullanarak 12 Kasım 1999 Düzce depreminin neden olduğu yüzey deformasyonunu incelemiştir. InSAR tekniği ve optik görüntülerin alt piksel korelasyon analizi sonuçlarını birleştiren 3 boyutlu bir yüzey deformasyon modelini ortaya koymuştur. Bu model saha ve GPS ölçümleri ile doğrulanmış ve mevcut 3 boyutlu deformasyon modelleri ile tutarlı olduğunu vurgulamıştır.

Türk (2018); 50 cm çözünürlüklü Worldview pankromatik uydu görüntüleri, çok yüksek doğruluklu orto-görüntü (5-10 cm), yaklaşık 10 cm doğrulukta sayısal yükseklik modeli kullanarak COSI Corr yöntemi ile heyelan alanında meydana gelen

kütle hareketlerini belirlemiştir. Bu yöntem ile ortaya çıkan sonuçların çalışma alanında yapılan önceki çalışmalarla tutarlı olduğunu ifade etmiştir. GNSS, yersel inceleme ve diğer ölçümler gibi arazi etütlerine ihtiyaç duyulmaksızın çok yüksek çözünürlüklü uydu görüntüleri ve COSI Corr yönteminin yavaş hareket eden heyelanlardaki kütle hareketlerini ve jeomorfolojik değerlendirmeler için kullanılabileceğini göstermiştir.

Mazzanti vd. (2020); Rattle Snake Hills (ABD) bölgesine ait çok sayıda farklı tarihli Landsat 8 ve Sentinel 2 görüntülerini kullanarak STMDA (Slide Time Master Digital Image Correlation Analysis) adlı yeni bir prosedür geliştirmişlerdir. COSI Corr yöntemi ile korelasyon haritalarını oluşturmuşlardır. Rattle Snake Hills heyelanı yer değiştirme modelini geriye dönük analiz etmek için 2017 ve 2018 yıllarında meydana gelen heyelanların farklı bölümlerinin yer değiştirme zaman serilerini türetmişlerdir.

Herman vd. (2011); Yeni Zelenda'nın Güney Alplerinde Aster uydu görüntülerini kullanarak 2000 ve 2006 yılları arasında buz kütlelerinin hareketlerini incelemişlerdir. COSI Corr yöntemi hızların en düşük ve yüzey özelliklerinin geçici olduğu alanlarda bile hızların belirlenmesini sağladığını ve ölçümlerin GNSS ölçümleri ile yaklaşık olarak tutarlı olduğunu ifade etmişlerdir.

Türk (2013); Heyelan bölgelerinde meydana gelen kütle hareketlerini belirlemek amacıyla ASTER optik uydu görüntülerini ve COSI Corr yöntemini kullanmıştır. Bunun sonucunda, KAFZ üzerinde seçilen Koyulhisar ilçesi ve civarında meydana gelen kütle hareketlerini incelemiştir. Daha önce meydana gelen heyelanlar dikkate alınarak bölgede meydana gelen kütle hareketleri incelenmiştir. Heyelan envanter verisi içinde olmayıp daha önce bilinen Kuzulu heyelanının gerçekleştiği alanı bu yöntem kullanarak belirlemiştir. Sonuç olarak bu yöntemin hem heyelan envanter çalışmalarını kolaylaştıracak bir yöntem olarak kullanılabileceği hem de meydana gelen yer değiştirme boyutları hakkında bir perspektif sunduğunu belirtmiştir. Bu çalışma ile heyelan meydana gelen bölgelerde kütle hareketlerinin nasıl analiz edileceğini, KAFZ üzerindeki bir uygulama ile göstermiş, yöntemin heyelan bölgelerinde güvenle ve başarılı bir şekilde uygulanabileceğini kanıtlamıştır.

Hastaoğlu vd. (2017); Koyulhisar bölgesinde 2,5 yıllık bir süreç için deformasyonları PSI (Persistent Scatterer Interferometry) ve GNSS ölçümleri ile belirlemiştir. GNSS noktasal verilere dayalı lokal deformasyonları izlemeye daha etkili bulunurken PSI alansal hareketleri belirlemede daha etkili olduğu anlaşılmıştır. 53 GNSS noktası

ile her 100-200 m'de ortalama 24 nokta kullanılarak yıllık hareket 1,65 cm olarak belirlenmiştir. Araştırmacılar bölgesel hareketlerin yanı sıra noktasal hareketleri belirleyebilmek için her iki yöntemi birlikte kullanmayı tavsiye etmişlerdir.

Baird vd. (2019); COSI Corr yöntemi ile kumul göç alanlarını analiz etmiştir. Analizin sonucunda Bodele çöküntüsünün hızlı hareket eden kum tepelerine başarıyla uygulansa da kullanılan uydu görüntülerinin birlikte doğrultulmasında (co-registration) oluşan hatalar nedeniyle Grand Eng Oriental' in yavaş hareket eden kum tepelerini analiz edememiştir.

Türk vd. (2015); Optik uydu görüntüleri yardımıyla heyelanlı bölgelerde meydana gelen kütle hareketlerini ve bu hareketin büyüklüğünü ortaya koymak amacıyla 2,5 metre çözünürlüklü Spot 5 optik uydu görüntüleri ve COSI Corr yöntemi ile Suşehri ilçesi ve civarında meydana gelen heyelanları incelemişlerdir. Bu çalışmada bölgede meydana gelen heyelan aktivitesinin devam edip etmediğini belirlemede güvenle kullanılabilceğini açıklamışlardır.

Ding vd. (2020); Landsat 8, Sentinel 2 ve Gaofen 2 görüntüleri ve görüntü korelasyon tekniği ile Çin'in Baige heyelanlarının önceki konumsal ve zamansal yer değiştirme evrimini eski haline çevirmek için kullanmışlardır. Bu çalışmada COSI Corr yöntemini kullanarak aktif heyelanları tespit etmek ve yoğun zamansal örnekleme ile yer değiştirme geçmişlerini ölçmek için orta çözünürlüklü ve yüksek çözünürlüklü görüntüleri birleştirmenin önemini vurgulamışlardır.

Ayoub vd. (2009); hava fotoğrafları ve COSI Corr yöntemini kullanarak yüzey deformasyonunu ortaya koymuşlardır. İlk olarak 1992 yılında 7,3 şiddetinde Landers (Kaliforniya) depreminden kaynaklanan zemin deformasyonunu 1 m çözünürlüklü hava fotoğraflarından ölçmüşler ve sonuç olarak 10 cm kadar küçük fay kırılmalarını dahi tespit edebilmişlerdir. Daha sonra 1999'da meydana gelen 7,1 büyüklüğündeki Hectormine (Kaliforniya) depreminde fay kırılmalarının ortaya konulmasında benzer performans elde etmişlerdir. Sonuç olarak hava fotoğrafları ve COSI Corr tekniği, gölge farklılıkları, insan kaynaklı değişikliklerin, bitki örtüsü ve bulutlardaki farklılıkların zamansal korelasyona duyarlı olduğunu ifade etmişlerdir. Bu sınırlamalara rağmen bu çalışma ile fay hareketlerini analiz etmek ve zemin deformasyonunu tespit etmek için güçlü bir teknik olduğunu vurgulamışlardır.

Fernandez ve Whitworth (2016); COSI Corr yöntemi ve bir dizi hava fotoğrafı ile heyelanları izlemişlerdir. 2001 ve 2003 zaman aralığına ait yüksek çözünürlüklü hava fotoğrafları kullanılarak yaptıkları çalışmadan elde edilen sonuçların önceki çalışmalarla tutarlı bir şekilde heyelan modeli sunduğunu ifade etmişlerdir. Çalışma ile bilinen heyelan aktivitesi alanlarına ek olarak yeni heyelan aktivitesi alanları belirlenmiş, ana heyelanın içinde iki yeni yanal heyelan tanımlanmış ve haritalandırılmıştır. Heyelan izlemede hava fotoğrafı ve COSI Corr yöntemi kullanımının uygulanabilir olduğunu açıklamışlardır.

Fernandez vd. (2019); heyelan hareketlerini hava fotoğrafları ve COSI Corr yöntemi ile değerlendirmişlerdir. 2002- 2004 döneminde yer değiştirme alanları 2 ile 6 cm arasında iken, 2004- 2006 ve 2006- 2008 dönemlerinde yer değiştirmelerin 4-6 cm aralığında devam ettiğini ve 2008-2010 döneminde ise genellikle 6 cm civarında yer değiştirme hareketliliği gösterdiğini ifade etmişlerdir. Sonuç olarak, COSI Corr tekniğinin sadece coğrafi olarak elverişli koşullarda değil aynı zamanda incelenmesi zor alanlarda hava fotoğrafları ile yer değiştirme hızlarını tahmin etmek için kullanışlı bir yöntem olduğunu açıklamışlardır.

Lucieer vd. (2014); Hareketten yapı ve görüntü korelasyon teknikleri ile Güney Tazmanya'daki Huan vadisinin Kuzey tarafında bulunan Home Hill heyelanında çalışmışlardır. Alanda dijital kamera ve GPS ile donatılmış bir İHA platformu kullanılarak elde edilen iki farklı tarihli görüntü elde edilmiştir. Heyelanın iki alım tarihi arasındaki dinamikler, görsel olarak ENVI görüntü işleme sisteminde RGB kombinasyonlarında üretilen iki ortomozaik ile incelenmiştir. İki görüntü grubunun birincisi için yeşil, kırmızı banda, ikinci görüntünün yeşil bandı yeşil ve mavi bandlara bindirilerek renk kombinasyonlarından alandaki yer değişimini kolayca yorumlamışlardır. Sonuç olarak İHA tabanlı görüntülerin 3 boyutlu analiz ve görüntü korelasyon algoritmalarıyla birlikte kullanılmasının, heyelan dinamiklerini haritalamak ve izlemek için esnek ve etkili araçlar olabileceğini ispatlamışlardır.

## 2. MATERYAL VE YÖNTEM

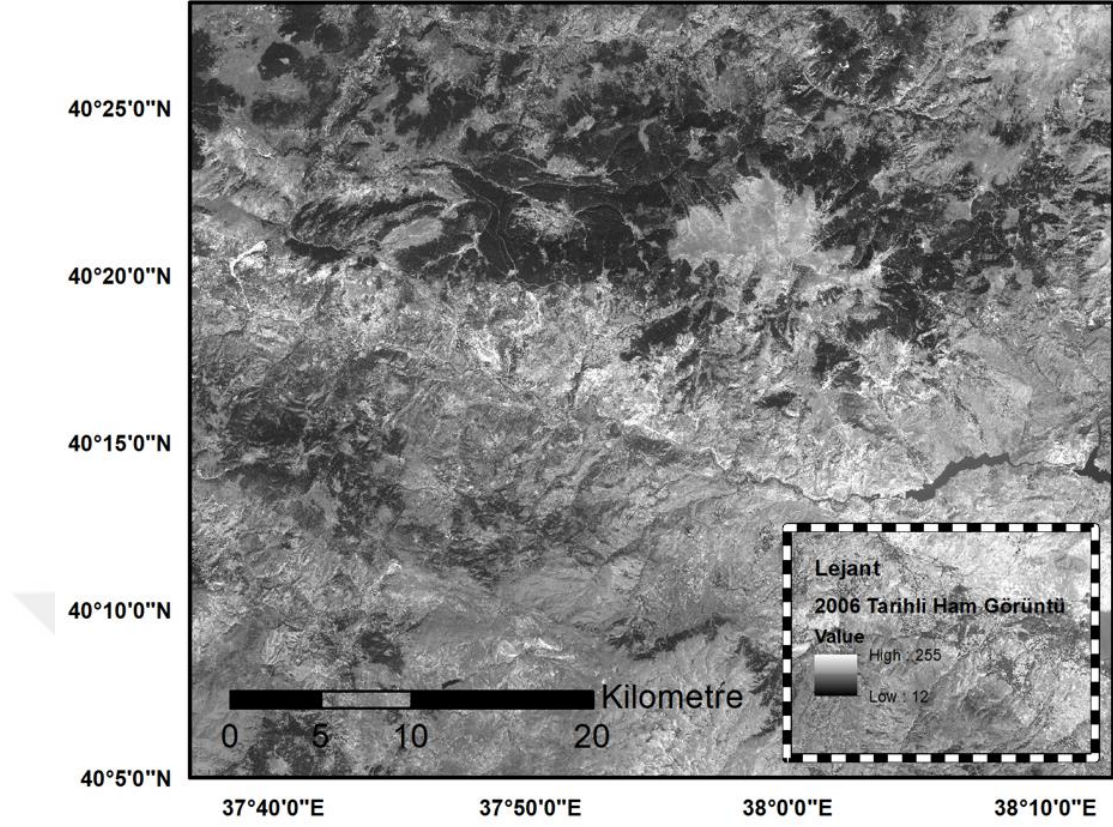
Bu çalışma kapsamında heyelan alanlarında meydana gelen kütle hareketleri bir uzaktan algılama yöntemi olan COSI Corr yöntemi ile incelenerek heyelan tehlikesi altında olan bölgelerin analiz ve takibinin CBS tabanlı bir sistem ile ortaya konması amaçlanmaktadır.

Bu analiz iki kısımdan oluşmaktadır. İlk kısımda, değişimin analiz edileceği ilgili çalışma alanına ait uydu görüntüleri ve COSI Corr yöntemi kullanılarak, GNSS ölçümü gibi harici bir bilgiye ihtiyaç duyulmaksızın yüzey deformasyonunun ekonomik, kolay ve doğru bir şekilde ortaya konması açıklanmaktadır.

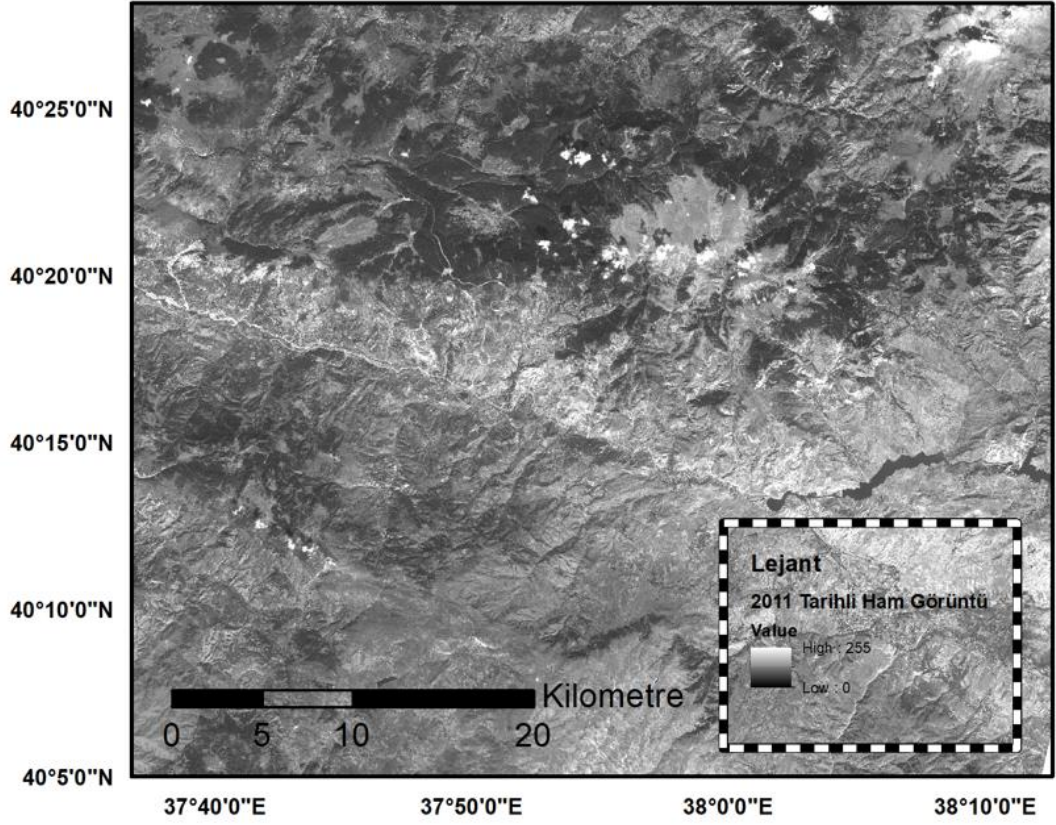
İkinci kısımda ise; COSI Corr yöntemiyle ortaya konan yatay yer değiştirme hareketlerine ait veriler CBS ortamına aktarılarak analiz edilmiştir.

Gerçekleştirilen çalışmada;

- 2,5 metre çözünürlüklü Spot 5 optik uydu görüntüleri (11 Ağustos 2006 ve 21 Eylül 2011 tarihine ait),
- Uydu görüntülerinin birlikte doğrultulması (Co-registration) işlemi için ikonos uydu görüntüsü,
- Harita Genel Müdürlüğü tarafından üretilen 1/25.000 ölçekli eş yükseklik eğrilerinden üretilen Sayısal Arazi Modeli (SAM) ve MTA tarafından hazırlanan, bölgede önceden meydana gelen heyelanları gösteren heyelan envanter haritası kullanılmıştır.



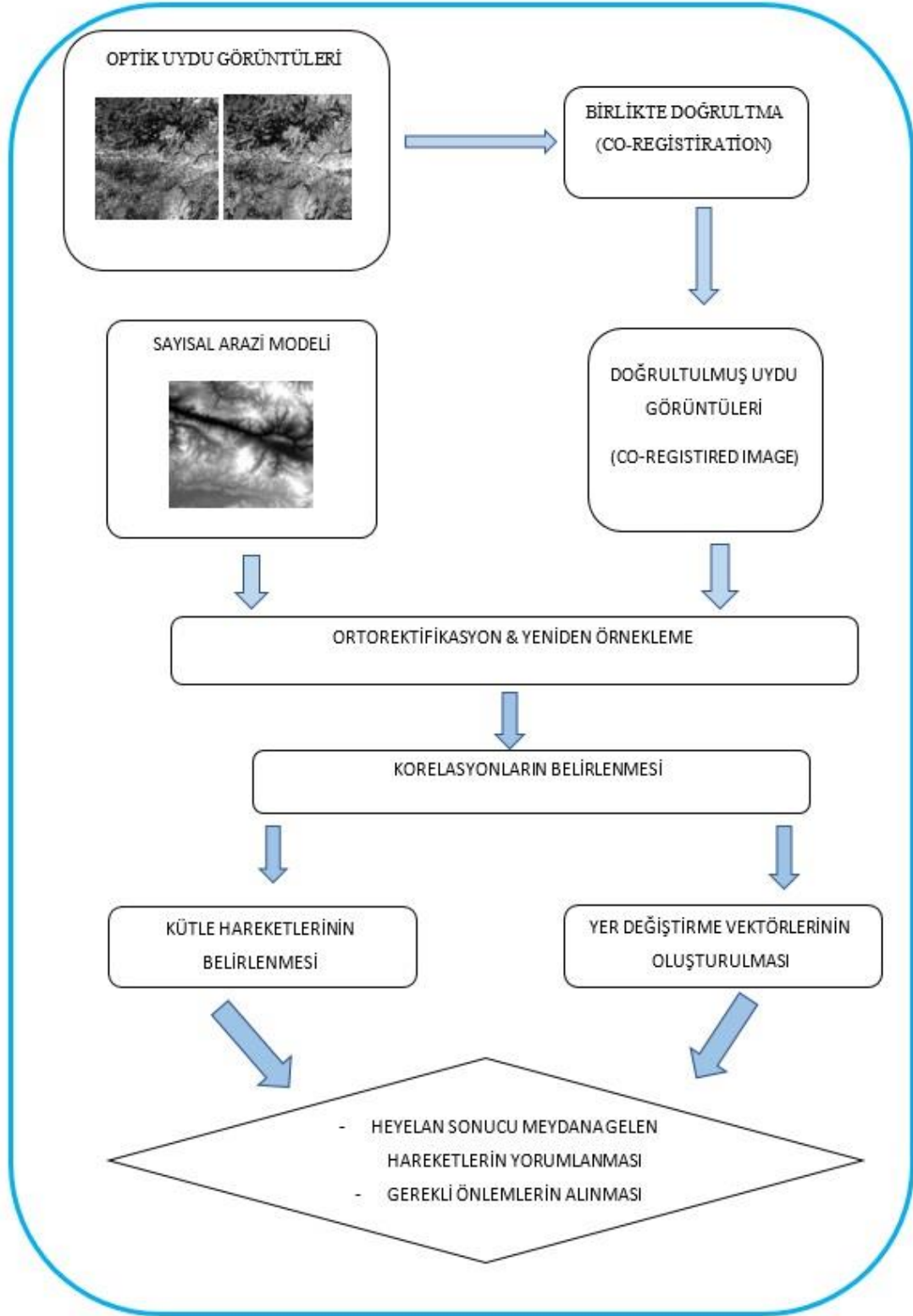
Şekil 2. 1 11 Ağustos 2006 tarihli spot 5 uydu görüntüsü.



**Şekil 2. 2** 21 Eylül 2011 tarihli Spot 5 uydu görüntüsü.

Verilerin işlenmesi ve analiz edilmesi için ise Envi 5.0, ESRI ArcGIS 10.6.1 ve Matlab R2018b yazılımları kullanılmıştır. Yapılan analizin kullanıcılar tarafından kolay bir şekilde istenilen zaman ve mekâna göre kullanılmasına olanak sağlayan ArcGIS 10.6.1 yazılımı Model Builder ortamında yatay yer değiştirme vektörlerini otomatik olarak çizmeye yardımcı olan bir kullanıcı arayüz programı geliştirilmiştir.

Çalışma kapsamında uygulanan iş akış şeması aşağıda verilmiştir (Şekil 2.3).



Şekil 2. 3 İş akış şeması (Türk, 2013'den uyarlanmıştır).

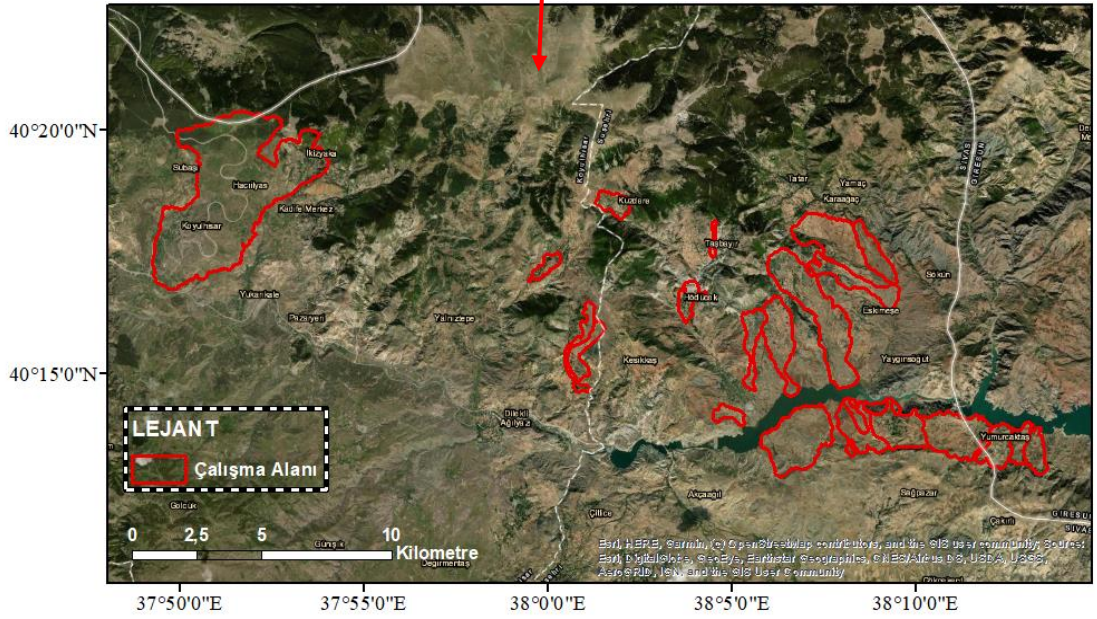
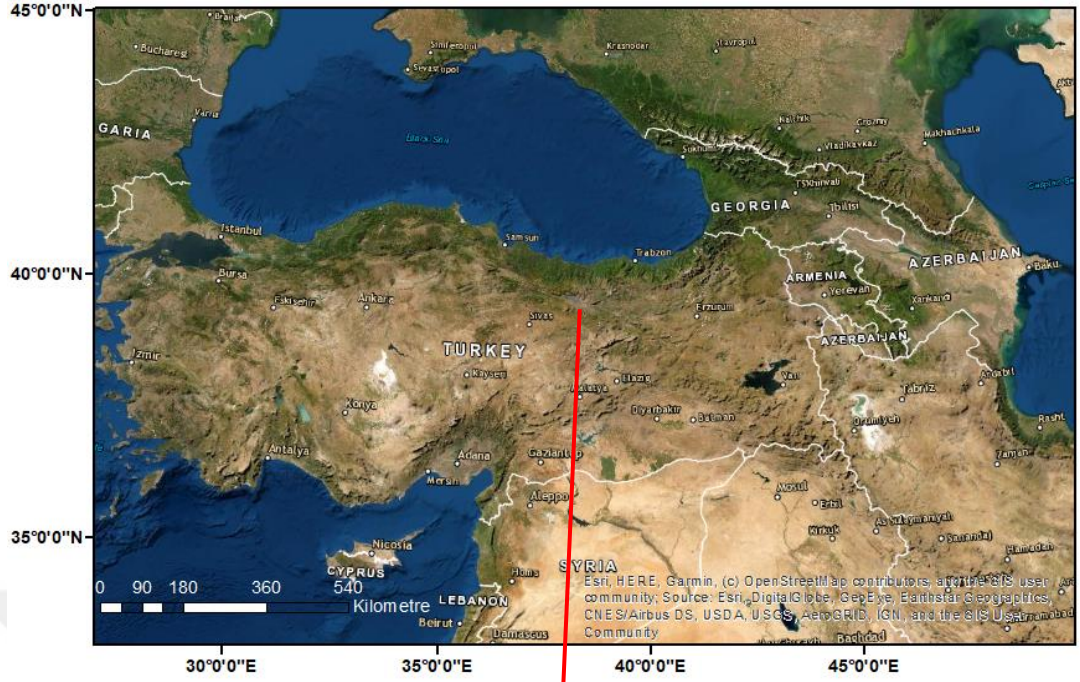
## 2.1 Çalışma Alanı ve Özellikleri

Çalışma alanı, Koyulhisar ilçe merkezi ve civarı başta olmak üzere Suşehri ve civarını kapsayan, MTA tarafından heyelan envanter haritasında yer alan bölgelerin de içinde olduğu alandır (Şekil 2.5). Bu çalışma kapsamında Koyulhisar ilçesi ve civarında meydana gelen kütle hareketlerine odaklanılmış ve bu bölgedeki hareketlerin analizi yapılarak yorumlanmıştır. Çalışma alanı tektonik açıdan aktif fay olan Kuzey Anadolu Fay Zonu (KAFZ) içerisinde bulunmaktadır. Buna bağlı olarak bölgedeki kayalar genellikle kırıklı, ezilmiş ve süreksizlikler içermektedir. Diğer taraftan, yüksek eğimli topoğrafyaya sahip olması nedeniyle bölgede çok sayıda eski ve yeni heyelanlar bulunmaktadır (Çizelge 2.1). Bu heyelanların hareketi ise genel olarak bu bölgedeki yerleşim alanları için tehdit unsurudur (Şekil 2.4).

KAFZ, Kelkit vadisinden geçerek doğuda Reşadiye, Koyulhisar, Suşehri, Akıncılar, Gölova ve Refahiye bölgeleri üzerinden Erzincan ovasına ulaşmaktadır. KAFZ'da kayalar parçalanmış ve ezilmiş, yer yer sıcak veya soğuk su kaynakları ortaya çıkmıştır. İklimsel olarak Karadeniz ve İç Anadolu Bölgesi arasında bir iklime sahiptir (Demir, 2018). KAFZ üzerinde Kelkit Çayı Vadisi üzerinde bulunan Niksar, Reşadiye, Koyulhisar ve Suşehri gibi yerlerin önemli bir heyelan bölgesi olduğu çok eski zamanlardan beri bilinmektedir (Demir, 2011).



**Şekil 2. 4** Çalışma alanında heyelan etkisinde kalmış yerleşim yerine bir örnek (AFAD, 2018).



Şekil 2. 5 Çalışma alanı.

**Çizelge 2.1** Çalışma alanı ve yakın çevresine ait heyelan kayıtları (AFAD, 2018)

İLÇE	KÖY/MAHALLE	HEYELAN TARİHİ
Koyulhisar	Aydınlr	03.05.2017
Koyulhisar	Camiikebir mh.	07.04.2005
Koyulhisar	Kayaören	04.30.2018
Koyulhisar	Orta mh.	04.04.2006
Koyulhisar	Sugözü	22.03.2005
Koyulhisar	Tuğladağı mh.	21.11.2017
Koyulhisar	Yağcılar	05.05.1993
Koyulhisar	Yukarı kale	05.04.2005
Suşehri	Hödücek	20.11.1988
Suşehri	Taşbayır	24.06.2013
Suşehri	Taşbayır	16.03.2017
Suşehri	Tatar	30.05.2016
Suşehri	Yamaç	20.07.2005
Suşehri	Yelkesen	16.06.1988
Suşehri	Yelkesen	28.08.1967

Araştırmacılar, inceleme alanındaki heyelan potansiyelinden dolayı bölgede birçok çalışma yapmışlardır.

Sendir (2001), Koyulhisar'ın kuzey bölümü birçok heyelandan etkilendiğini, bunların genellikle şev hareketlerine meyilli olarak bilinen İğdir kireçtaşları, Erdembaba volkanitleri ve yeşilce formasyonunda etkin olduklarını, çalışma alanındaki kayaçların, faylanma etkisi ile oldukça kırıklı, çatlaklı bir özellik kazandıklarını ifade etmiştir. Kaya kütlesi (RMR) sınıflamasına göre, çalışma alanındaki kayaçlar zayıftan (İğdir formasyonu) Orta'ya (Erdembaba ve Yeşilce formasyonu) kadar değişen sınıflarda değerlendirilmiştir. Kayaçlar SMR sınıflamasına göre ise kısmen duraylı, kırıklı, birçok kama türü yenilme sınıfında (Erdembaba ve yeşilce formasyonu) ve duraysız, düzlemsel veya kama türü yenilme sınıfında (İğdir formasyonu) yer almıştır. Alanın jeolojik ve jeomorfolojik değerlendirmelerinin neticesinde faylanma ve eklem özellikleri ile ilişkili olarak bozunma, dik topoğrafya, suyun kırıklar içine girmesi tektonik aktivite ve ağır yağışın heyelanların oluşması üzerinde önemli bir rol oynadığını göstermiştir. Kinematik analizlere göre çalışma alanı içerisindeki potansiyel şev hareketleri genellikle güneye doğru (GB ve GD) hâkim olarak bulunmuştur ve bu yönlerin çalışma alanındaki şevlerin yönü ile benzer olduğunu ifade etmiştir.

Demirel vd. (2016), Koyulhisar ilçe merkezi ve çevresindeki Şıhlar fay takımı, Çamlıyaka fayı, Saytepe fayı ve bölgenin kuzeyinde yer alan Dumanlıca fayları üzerinde ayrıntılı kinematik analiz çalışmaları gerçekleştirmiştir. Yapılan bu çalışmalar sonucunda bölgenin halen aktif olarak genel anlamda KB-GD yönlü açılma etkisi altında olduğunu göstermektedir. Bölgenin gözlenen morfotektonik yapılar ve gerekse mikrosismik etkinlik Kuzey Anadolu Fay Zonu'nun Koyulhisar kesiminin aktif ve sağ yanal doğrultu atımlı fay zonu olduğunu ortaya koymaktadır. Bölgede yoğun bir heyelan aktivitesi izlenmektedir. Bunların içinde en önemli olanı Koyulhisar ilçe merkezinde izlenen heyelandır. Bu heyelan üzerinde yapılan periyodik GNSS ölçümlerinde bölgenin halen yıllık ortalama 2.5 – 7.4 mm/yıl arasında hızla hareket ettiği ortaya konmaktadır (Demirel vd., 2016; Hastaoğlu vd., 2016)

Demir (2018), Suşehri ve çevresini kapsayan bölgede yaptığı çalışmaya göre KAFZ'nun bölgedeki heyelanları tetiklediğini vurgulamaktadır. Bu çalışmada, heyelan oluşumuna neden olabileceği değerlendirilen litoloji, topoğrafik yükseklik, yamaç eğim değeri, yamaç eğim yönü, akarsuya yakınlık, yola yakınlık veya faya yakınlık gibi parametreler dikkate alınarak bölge analiz edilmiştir. Yapılan çalışma ile bölgede heyelan olayının meydana gelme olasılığının yüksek olduğu arazilerde can ve

mal kaybının engellenebilmesi açısından heyelan riskinin de dikkate alınması gerekliliği vurgulanmıştır.

Sendir ve Yılmaz (2001), Koyulhisar heyelanlarının yapısal ve jeomorfolojik açıdan değerlendirmiş ve Koyulhisar ilçesinin duraylılık koşullarını tartışmışlardır. Çalışma alanındaki kayaçlar faylanma etkisi ile oldukça kırıklı, çatlaklı bir özellik kazanmışlardır. Yapılan jeolojik ve jeomorfolojik değerlendirmeler sonucunda faylanma ve eklem özelliklerine bağlı olarak bozunma, dik topoğrafya, suyun kırıklar içine girmesi ve bölgeden kaynaklı yağış yoğunluğunun heyelanların oluşması üzerinde önemli bir rol oynadığı belirtilmiştir.

Gökçeoğlu vd. (2005), Sivas'ın kuzeyi ve Koyulhisar ilçesinin batısında Sugözü Köyü'nün Kuzulu Mahallesi'nin yerleştiği alanın yüksek kesimlerinde meydana gelen büyük ölçekli bir heyelanı incelemiş ve yakın çevresi için, jeoloji, eğim, bakı, yükselti, topoğrafik yağış indeksi, akarsu etkisi indeksi parametrelerini dikkate alarak heyelan duyarlılık haritalarını oluşturmuştur. Araştırmacılar etkilerini halen sürdürmekte olan Kuzulu heyelanları nedeniyle bölgenin halen heyelan riski altında olduğunu ve oluşturulan duyarlılık haritasının yeni yerleşim yerlerinin belirlenmesi açısından bir altlık teşkil edeceğini ifade etmişlerdir.

Över (2015), Sivas ve yakın çevresinin heyelan geçmişi araştırıldığında Koyulhisar civarında 1998, 2000 ve 2005 yıllarında büyük heyelanların meydana geldiğini vurgulamıştır. Bu heyelanlardan biri 19 Ağustos 1998 yılında, son 20 yılın en yağışlı kış sezonundan sonra meydana geldiğini ve moloz akması tipinde bir heyelan olduğunu belirtmiştir. Daha önce bölgede yapılan bir çalışmaya göre bu moloz gereci 1.5 km<sup>2</sup>'lik bir alanda yaklaşık 400.000 m<sup>3</sup>'lük hacimden oluştuğu, ayrıca Alkan köyünün tamamen molozlarla kaplanmış olup, heyelanın yaklaşık 3 km güneyinde bulunan Koyulhisar ilçesinde heyelan riskinin ortaya çıktığını ifade etmiştir. Hatta ilk heyelanda oluşan zemin çatlaklarının etkisiyle bu alanda ikinci bir heyelanın meydana geldiği, uzunluğunun 150 m ve derinliğinin 1,5 m olduğu ifade edilmiştir. 20 Haziran 2000'de yine kış sezonundan sonra Koyulhisar heyelanının meydana geldiği ve bu heyelanların kaynağının ana kayadaki kararsızlıklar olarak belirlendiği ortaya konmuştur. Daha önce bölgede oluşmuş heyelanlardan kaynaklı kırıklar ve bölgedeki kaya kütlelerinin birleşme yerlerinde meydana gelen tektonik aktiviteler, karların erimesi nedeniyle eğimlerde birimler içinde oluşan suya doygunluk, bölgenin ince

ağaç yapısından dolayı oluşan su baskısı bölgede, genel olarak heyelanların oluşmasındaki en önemli etkenler olarak belirlendiği açıklanmıştır.

Sonuç olarak yapılan çalışmalarda inceleme alanındaki heyelanlar; alanın KAFZ üzerinde bulunması ve mevcut çatlaklar, yağışlar, sismotektonik etkiler, çalışma alanının jeolojisi ve bitki örtüsü özellikleri gibi faktörlerle tetiklenmiş olabileceğini göstermiştir.

Birçok araştırmacı heyelan açısından değerlendirme yaparken bölgenin jeoloji, yükseklik, yamaç eğim değeri, yamaç eğim yönü (bakı), akarsuya yakınlık, yola yakınlık, yapısal unsurlara (fay) yakınlık, drenaj yoğunluğu, fay yoğunluğu, iklim gibi parametreler yönünden çalışma alanının incelenmesini önemle vurgulamıştır. Bölgede yapılan çalışmalar dikkate alınarak ilgili parametreler açısından da ayrıca değerlendirilmesi aşağıda belirtilmiştir.

Bu çalışmada çalışma alanına ait özelliklerin verilmesindeki amaç, ileriye yönelik yapılacak çalışmalarda bu faktörler açısından potansiyel heyelan riski taşıyan alanların belirlenmesi ve düzenli analizin yapılarak kontrol altında tutulmasına olanak sağlanmasıdır.

### **2.1.1 Jeoloji**

Çalışma alanı, tektonik olarak Doğu Pontidlerin güneyinde ve KAFZ üzerinde yer almaktadır (Okay ve Tüysüz, 1999). Bölge, aktif fay zonu üzerinde yer alması nedeniyle yoğun tektonizmaya uğramıştır. Ayrıca, sarp ve engebeli bir topografyaya ve yoğun bitki örtüsüne sahiptir.

Jeoloji olarak, bölgenin temelini Paleozoyik yaşlı metamorfik kayalar ile bunları tektonik olarak üzerleyen Mesozoyik yaşlı ofiyolitik kayalar oluşturur. Bu kayalar üzerine uyumsuz olarak Maestrihtiyen (Üst Kretase) yaşlı kireçtaşları örtmektedir. Eosen yaşlı aglomera, tuf ve andezitik lav akıntısı ile Pliyosen yaşlı andezitik ve bazaltik bileşimli lav akıntıları bu birimleri keserek inceleme alanında yüzeylemektedir. Kimyasal, mekanik ve/veya tektonik süreçlerle anakayadan türemiş olan gevşek yapılı Kuvaterner yaşlı alüvyon ve yamaç molozundan oluşan birimler ise yaşlı birimleri uyumsuz olarak örtmektedir (AFAD Jeolojik Etüt raporu, 2017).

Koyulhisar ve yakın çevresinde yapılan çalışmalarda, yüzeyleyen kaya birimleri yaşlıdan gence doğru, Orta-üst Maestrihtiyen yaşlı Aşağıkale, Üst Maestrihtiyen yaşlı İğdir, Daniyen yaşlı Şıhlar, Orta-Üst Paleosen yaşlı Düdenyaylası, Pliyosen yaşlı

Dumanlıca (Erdembaba) ve Pliyo-Kuvaterner yaşlı Koyulhisar formasyonları şeklinde tanımlanmışlardır (Toprak, 1988). Bu formasyonlardan Aşağıkale, İğdir, Şıhlar ve Düdenyaylası formasyonları Geç Kretase Paleosen sırasında, volkanik yay tipi bir ortamda çökelmiş, üste doğru tane boyutu artan kalın bir istif oluşturmuştur (Toprak, 1988). Koyulhisar ilçe merkezinin kuzeyinde bulunan Erdembaba formasyonu andezitik-bazaltik karakterli volkanitlerden oluşmaktadır. Jeokimyasal verilere göre bu volkanik kayalar kıtasal kabuğun anateksisi sonucunda meydana gelen kalkalkalin karakterli asidik bir magmanın ürünü olduğunu göstermektedir (Terzioğlu, 1986). Koyulhisar ilçe merkezi ve çevresinde yaygın şekilde yüzeylenen Pliyo-Kuvaterner yaşlı Koyulhisar formasyonu ise oldukça gevşek dokulu aglomera-tüf ve gri-yeşil renkli, breşik görümlü andezitik lav akıntıları ve konglomeradan oluşmaktadır. Çalışma alanındaki Kuvaterner yaşlı çökelleri KAFZ ve Kelkit Nehri boyunca fay denetimli taraça çakılları, alüvyal yelpaze çökelleri ve alüvyon dolguları şeklinde gelişen, çakıl, kum ve siltlerden oluşur (Toprak, 1988; Uysal vd.,1995; Demirel vd., 2016).

Bölgede yapılan çalışmalarda bu alanın farklı litolojiler ile sarp ve engebeli bir topografyaya sahip olduğu vurgulanmaktadır. Bölgenin duraylılığı etkileyen bu iki önemli parametreye sahip olması ve geçmişte meydana gelen heyelanlar, bölgenin heyelan açısından riskli olduğunu işaret etmektedir.

### **2.1.2 Faya yakınlık**

Yapılan heyelan duyarlılığı çalışmaları incelendiğinde, faylara yakınlığın heyelan oluşumunu etkileyen önemli bir parametre olduğu görüşü üzerinde sıklıkla durulmaktadır.

Faylara yakınlık kayalarda parçalanmaya sebep olur ve dolayısıyla yamaç duraylılığı olumsuz yönde etkilenir (Luzi ve Pergalani, 1999). Fayların kendilerini çevreleyen malzemeyi zayıflatması ile ilişkili olarak faylara yakın mesafelerde heyelan oluşumu artmaktadır (Wachal ve Hudak, 2000). Deprem kaynaklı sismik ivme, heyelanları tetikleyen en önemli faktörlerden biridir (Demir, 2018).

Depremler, odak merkezlerinden kilometrelerce uzaklıktaki zeminlerde bile heyelan, yanal yayılma, sıvılaşma gibi çeşitli duraysızlıklara sebep olabilmektedir (Kavzoğlu vd., 2013).

Çalışma alanında 1900-2014 yılları arasında meydana gelen 3 ve üzeri büyüklükteki depremler incelendiğinde depremlerin KAFZ üzerinde olduğu gibi, Koyulhisar'ın kuzeyinde yer alan küçük fay segmentleri üzerinde de oluştuğu görülmüştür. Bölgede orta veya büyük ölçekte bir deprem meydana gelmesi durumunda, bu depremin heyelanı tetikleme potansiyelinin bulunduğu değerlendirilmektedir. Çalışma alanı, Koyulhisar ilçe merkezi ve çevresinde bulunan Şıhlar fay takımı, Çamlıyaka fay takımı, Saytepe fayı ve bölgenin kuzeyinde bulunan Dumanlıca fayı gibi birçok fay segmentlerine sahiptir. Aynı zamanda bu alan, KAFZ üzerinde yer alan sismik hareketler açısından yoğunluğun olduğu bir kuşak üzerinde yer almaktadır (Demirel vd., 2016).

Bölgede yapılan çalışmalar incelendiğinde, bölgede meydana gelen depremlerin heyelanlar üzerinde etkili olabileceğini ortaya koymaktadır. Bölgedeki fay segmentleri ve özellikle KAFZ dikkate alınarak alanın heyelan bakımından potansiyel bir riske sahip olduğunu göstermektedir.

### **2.1.3 Yamaç eğimi**

Bir yüzeyin yatayla olan açı değerini derece cinsinde, diğer bir deyişle bir yüzeyin diklik durumunu ifade eden parametre eğim değeridir (Akgün vd., 2008). Heyelan oluşumunda yamaç eğiminin doğrudan etkili olduğu ve engebeli alanlarda heyelan riskinin artış gösterdiği (Köse, 2018) görüşü genel olarak araştırmacılar tarafından kabul edilse de bir kısım araştırmacılar heyelanların düşük eğimli yamaçlarda meydana geldiği görüşünü savunmaktadır (Demir, 2018). İnceleme alanının KAFZ'a yakınlığı, depremin zeminde sebep olduğu dinamik etkinin eğimi düşük yamaçlarda heyelanı tetiklediğini düşündürmektedir (Demir, 2018). Bölgede yapılan çalışmalar genel bir çerçeve ile değerlendirildiğinde, 5-10 derece eğim değerine sahip yamaçlarda heyelan yoğunluğunun fazla olduğu tespit edilmiştir (Demir, 2011; Demir, 2018; Köse, 2018; Över, 2015).

### **2.1.4 Yükseklik**

Topoğrafik yükseklik parametresi heyelan analizinde sıklıkla kullanılmaktadır. CBS ile yapılan analizlerde süreklilik arz eden bir yükseklik verisi, yani SAM tercih edilir (Demir, 2011). Literatürde yapılan araştırmalar incelendiğinde heyelan analizinde yükseklik çok kullanılan bir parametredir fakat bu veri bitki örtüsü, bakı ve yağış gibi diğer parametrelerle birlikte değerlendirilmelidir (Köse, 2018).

Bölgede yapılan çalışmalar incelendiğinde, Koyulhisar bölgesi ve civarında 1250-1500 m yükseklikte, Suşehri bölgesi ve civarında ise 1226-1353 m yükseklikte en yoğun heyelan sınıflarının bulunduğu tespit edilmiştir (Demir, 2011; Demir, 2018). Çalışma alanı genel olarak yüksek rakımlı bir bölge olduğundan dolayı bu parametre açısından heyelan riskini barındırdığı söylenebilir.

### **2.1.5 Yamaç yönelimi (Bakı)**

Bakı yamaçların hangi coğrafi yöne doğru geliştiklerini ifade eden bir parametredir. Arazi yüzeyinin herhangi bir noktasındaki teğet düzleminde baktığı yön bakı olarak ifade edilir. Farklı yönlere bakan yamaçların yağış, güneş ışığı, donma- çözünme vb. gibi atmosferik olaylardan etkilenme koşulları farklıdır. Kütle hareketi değerlendirmelerinde bu parametre önemli bir yer tutmaktadır (Demir, 2011). Bölgenin yağış faktörü, morfolojik yapısı ve güneş ışığını daha fazla alması gibi özellikleri heyelan oluşumunda etkindir (Köse, 2018). Dai ve Lee (2002), bakının heyelan oluşumunda etken bir parametre olduğunu, yamacın nem tutma durumunun ve bitki örtüsünün bakı tarafından denetlendiğini vurgulamaktadır. Bazı araştırmacılar güneş ışığının yetersiz olması durumunda, yamaçtaki yüksek nem ve az buharlaşmanın heyelan oluşumuna etken olduğunu belirtmişlerdir. Bölgede yapılan çalışmalar incelendiğinde iki yöne bakan yamaçlarda heyelan yoğunluğuna daha sık rastlanmaktadır (Demir, 2011).

### **2.1.6. Drenaj ağı- akarsulara yakınlık**

Heyelan değerlendirmesinde genel olarak akarsulara ve drenaj ağlarına yakınlık, araştırmacılar tarafından önemli bir parametre olarak değerlendirilmektedir.

Akarsular yamaç topuğunu erozyona uğratabilir veya yamacı oluşturan malzemelerin akarsu seviyesinin altında kalan alanı suya doygun hale getirerek yamacı oluşturan alanın kayma direncini azaltır ve sonuç olarak yamaçların stabilitesi bozulur (Demir, 2018).

Kelkit Çayı, Çamlığöze ve Kılıçkaya Barajlarının çalışma alanı ve yakın çevresinde yer alması, çalışma alanını bu parametre açısından da potansiyel bir heyelan alanı yapmaktadır.

### 2.1.7 Yola yakınlık

Akarsuya yakınlık gibi yol ve yolun etkilediği yamaçlar da stabilite açısından risklidir. Genellikle yol inşasında yarma şevleri şev açısını artırmakta ve bu durum yamaç topuğunda yük kaybına sebep olmaktadır (Demir, 2018). Yamaçlarda yapılan yollar ise o alanda yük azalmasına neden olmaktadır. Topoğrafya değişikliği ve yamaçlarda yük azalması heyelan açısından tetikleyici bir unsurdur. Çalışma alanında yola yakın alanlarda heyelanların fazlalığı analizlerde bu parametrenin de dikkate alınmasını gerekli kılmıştır (Demir, 2011).

Çalışma alanının genellikle yerleşim yerleri ve yakın çevreleri olması nedeniyle bu parametre potansiyel heyelan riski oluşturmaktadır.

### 2.2 Uydu Görüntülerinin İşlenmesi

Optik olarak algılanan görüntülerin birlikte doğrultulması ve korelasyonu (COSI-Corr) yöntemi, çok zamanlı görüntülerden zemin yüzeyi deformasyonu elde etme hedefi ile optik olarak uzaktan algılanan görüntüleri doğru ortorektifiye etmek, birlikte doğrultmak (co-registration) ve ilişkilendirmek (correlation) için araçlar sağlayan ENVI yazılımı ile bütünleştirilmiş bir yazılım modülüdür. Bu modül, kosmik deformasyon, buzul akışları, kumul göçleri, yavaş heyelanlar gibi zemin deformasyonlarını ölçmek için tasarlanmış olsa da görüntülerin doğru bir şekilde birlikte doğrultulmasını gerektiren birçok değişim algılama uygulaması için kullanışlı bir araç olabilir. Bununla birlikte veri kalitesi ve gürültü seviyesi alt piksel algılama yeteneği için oldukça önemlidir (Ayoub vd.,2017).

COSI-Corr yazılımı GNSS ölçümü gibi harici bir bilgi gerektirmeden yüzey deformasyonunu kolay ve doğru bir şekilde ölçme fırsatı sunar (Leprince vd., 2007).

COSI-Corr yöntemiyle yüzey deformasyonları hakkında bilgi elde edebilmek için kullanılması gereken prosedür genel hatları ile aşağıda belirtilmektedir.

1. Olay öncesi ve olay sonrası uydu görüntülerinin yardımcı verileri tanımlanır.
2. İki görüntü içinde co-registration işlemi ile oluşan bozulmaları düzeltmek için yeniden örnekleme ve Ortorektifikasyon işlemleri gerçekleştirilir.
3. Birlikte doğrultmanın ardından uygun korelatör, pencere boyutu ve adım boyutu seçilerek korelasyon gerçekleştirilir. Birlikte doğrultulmuş ve ortorektifiye edilmiş görüntülerden üç bantlı bir korelasyon dosyası oluşur. Bu dosyada doğu batı yer değiştirme bandı (doğuya doğru pozitif), kuzey güney

yer değiştirme bandı (kuzeye doğru pozitif) ve ölçümün kalitesini değerlendiren yani sinyal gürültü oranını gösteren (SNR) band bilgileri mevcuttur. İki yatay bileşenin sonucu yüzey hareketinin yönünü gösteren vektörler olacaktır. Alt piksel korelasyon analizi daha önce heyelan duyarlılığı açısından birçok çalışma yapılan ve heyelan bölgesi olarak kabul edilen bölgede kütle hareketleri COSI-Corr yöntemi ve COSI Corr kullanıcı klavuzu dikkate alınarak (Ayoub vd.,2017) Spot 5 uydu görüntülerinin 0.49-0.69(s) spektral çözünürlüğe sahip pankromatik bandı kullanılmıştır. (Çizelge 2.2).

**Çizelge 2.2** Kullanılan optik uydu görüntülerinin özellikleri

Özellikler	Spot 5 (2006)	Spot 5 (2011)
<b>Çerçeve kimliği</b>	5 119-269 06/08/11 08:20:34 1T	5 119-269 11/09/21 08:15:02 2T
<b>Döküman</b>	HRG 1	HRG 2
<b>Ön işleme seviyesi</b>	1A	1A
<b>Spektral band göstergesi</b>	PAN	PAN
<b>Yöneltme Açısı (derece)</b>	13.549743	12.835737
<b>Geliş Açısı (derece)</b>	R7.527768	R13.631721
<b>Güneş Açısı (derece)</b>	141.827480	154.670739
<b>Güneş Yüksekliği (derece)</b>	60.765918	47.876792

Aşağıdaki bölümlerde optik uydu görüntülerine uygulanan işlem ve analiz adımları ayrıntılı açıklanmıştır.

### **2.2.1 Yardımcı verilerin tanımlanması**

Spot seviye 1A görüntüleri yardımcı verileriyle birlikte sağlanır. Yardımcı veriler dosyası görüntü elde etme sırasında uydunun konumunu, tutumunu ve görünüş yönü gibi bir dizi yararlı parametre hakkında bilgi içerir (Haque, 2016).

### **2.2.2 Bağlantı noktalarının seçimi ve yer kontrol noktalarının optimizasyonu**

Olay öncesi görüntü için ikonos uydu görüntüsünden faydalanarak 37 ortak bağlantı noktası seçilmiştir. Çalışmanın devamında anlatılan işlemler aracılığıyla 11 Ağustos 2006 tarihli SPOT 5 uydu görüntüsü ortorektifiye edilmiştir. Ortorektifiye edilen görüntü ile ilgili alana ait 21 Eylül 2011 tarihli Spot 5 uydu görüntüsü arasında 25 ortak nokta seçilerek aynı işlemler tekrarlanmıştır. Bağlantı noktalarının seçiminde oldukça hassas davranılmış olup uydu görüntülerinin konumsal çözünürlüğündeki farklar, bulut ve bitki örtüsü gibi faktörler nedeniyle farklı sayıda ortak nokta hesaba katılmıştır.

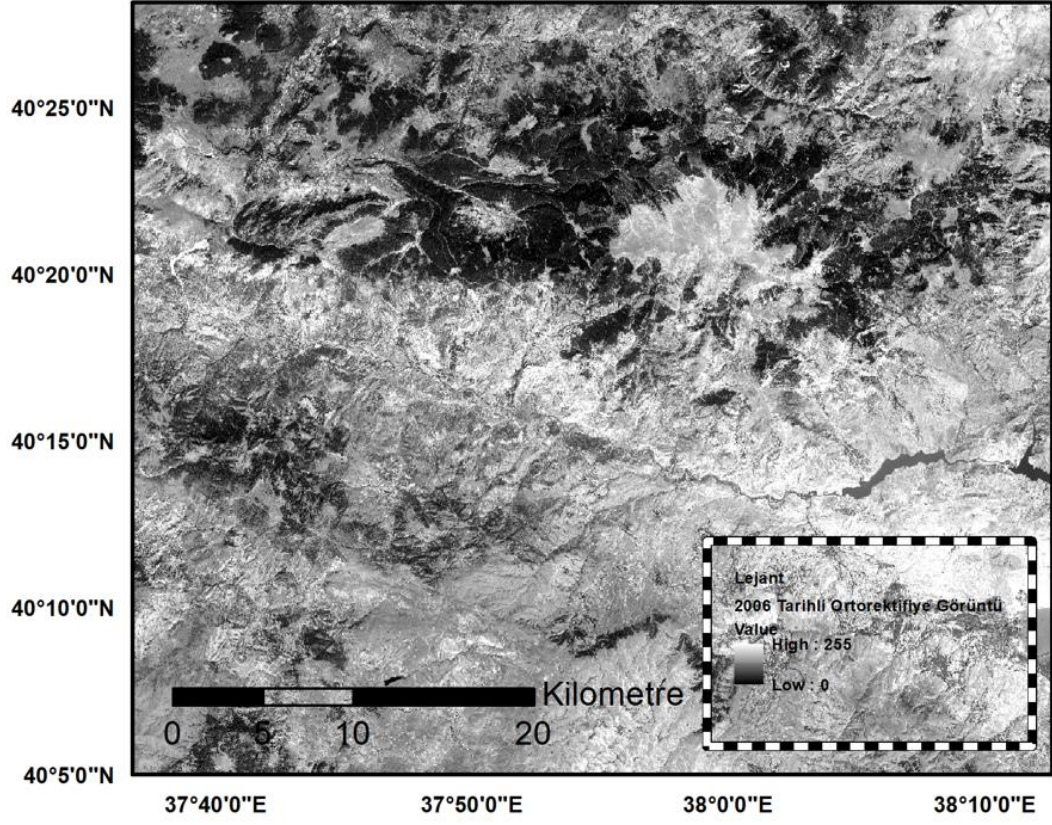
Bağlantı noktalarının seçimi genel olarak coğrafi olarak referanslandırılmış bir görüntü ile coğrafi olarak referanslandırılmamış görüntüler arasındaki bağlantı noktalarından oluşur (Ayoub vd.,2017). Seçilen bu bağlantı noktaları, SAM dosyasının kullanılmasıyla Yer Kontrol Noktaları'na (YKN) dönüştürülür.

YKN'lere dönüştürülen bağlantı noktalarının manuel seçimi sırasında çok hassas davranılsa bile ortorektifiye edilmiş görüntü genellikle YKN'lerin konumunda referans görüntü ile tam çakışmaz. Daha doğru birlikte doğrultma işlemi elde etmek için YKN'ler düzeltilmelidir (Ayoub vd.,2017). YKN'ler optimize edilirken ham görüntü, referans görüntü, SAM, uydu yardımcı verileri ve YKN'ler kullanılır. Korelatör motor seçiminde frekans ve istatistiksel olmak üzere iki korelatör mevcuttur. Frekans korelatörü fourier tabanlıdır ve istatistiksel olandan daha iyi sonuçlar vermektedir. Dolayısıyla optik görüntüler ilişkilendirilirken öncelikli olarak frekans korelatörü tercih edilmelidir (Ayoub vd.,2017).

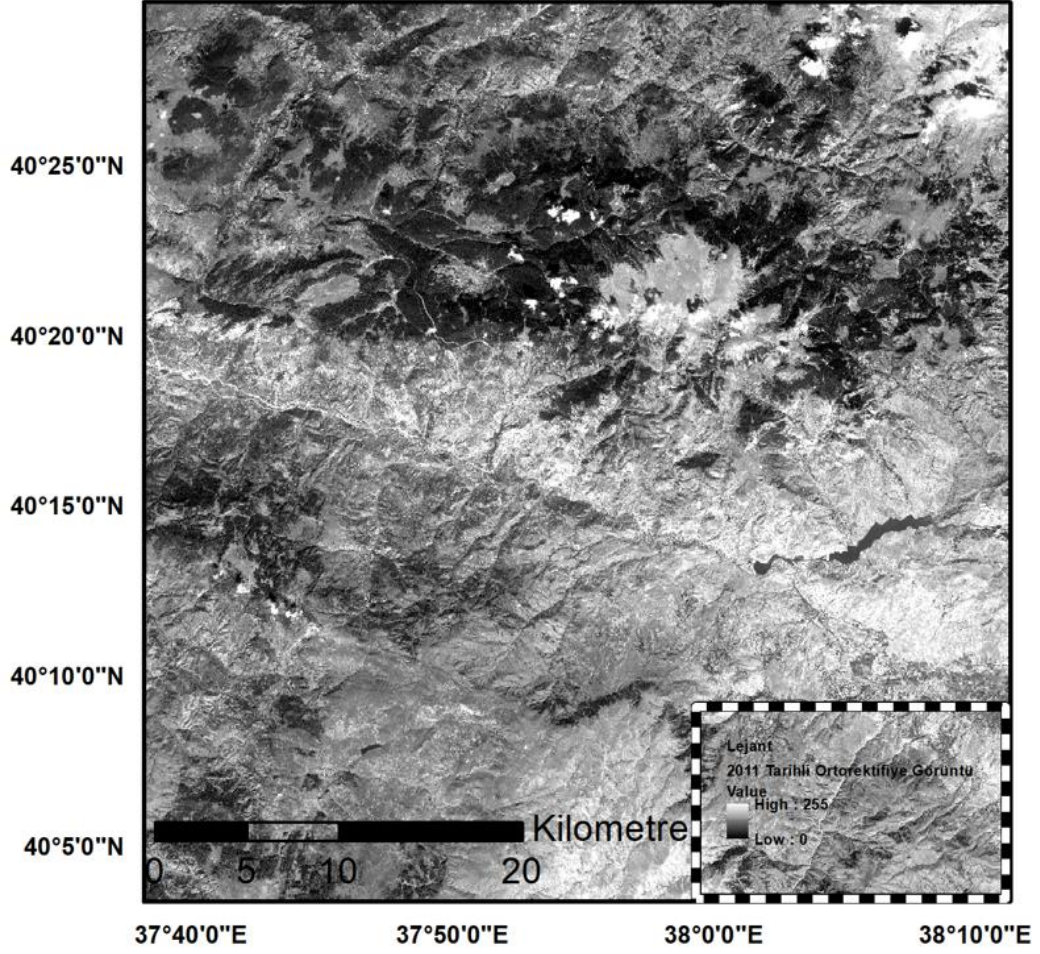
Optimizasyon için gerekli olan dosyalar yüklenip gerekli ayarlamalar yapıldıktan sonra YKN'lerin optimizasyon işlemi gerçekleştirilir.

### **2.2.3 Ortorektifikasyon ve Yeniden örnekleme**

Korelasyon işlemi sırasında görüntüleri dengelerken yörünge farklılıklarından dolayı hatalar olabilir. Bu nedenle SAM ile yeniden örneklenecek sadece deformasyondan kaynaklanan sonuçlar doğrulanır. Ayrıca, ortorektifikasyon işlemi her iki görüntüyü ortak bir projeksiyona yansıtarak kaydederken oluşan bozulmaları, ölçek farkını ve topoğrafyayı hesaba katar. Ortorektifikasyon işleminden sonra görüntülerin her pikseli tam olarak yukardan görüldüğü gibi görünür (Haque, 2016).



Şekil 2. 6 11 Ağustos 2006 tarihli ortorektifiye edilmiş Spot 5 uydu görüntüsü.



Şekil 2. 7 21 Eylül 2011 tarihli ortorektifiye edilmiş Spot 5 uydu görüntüsü.

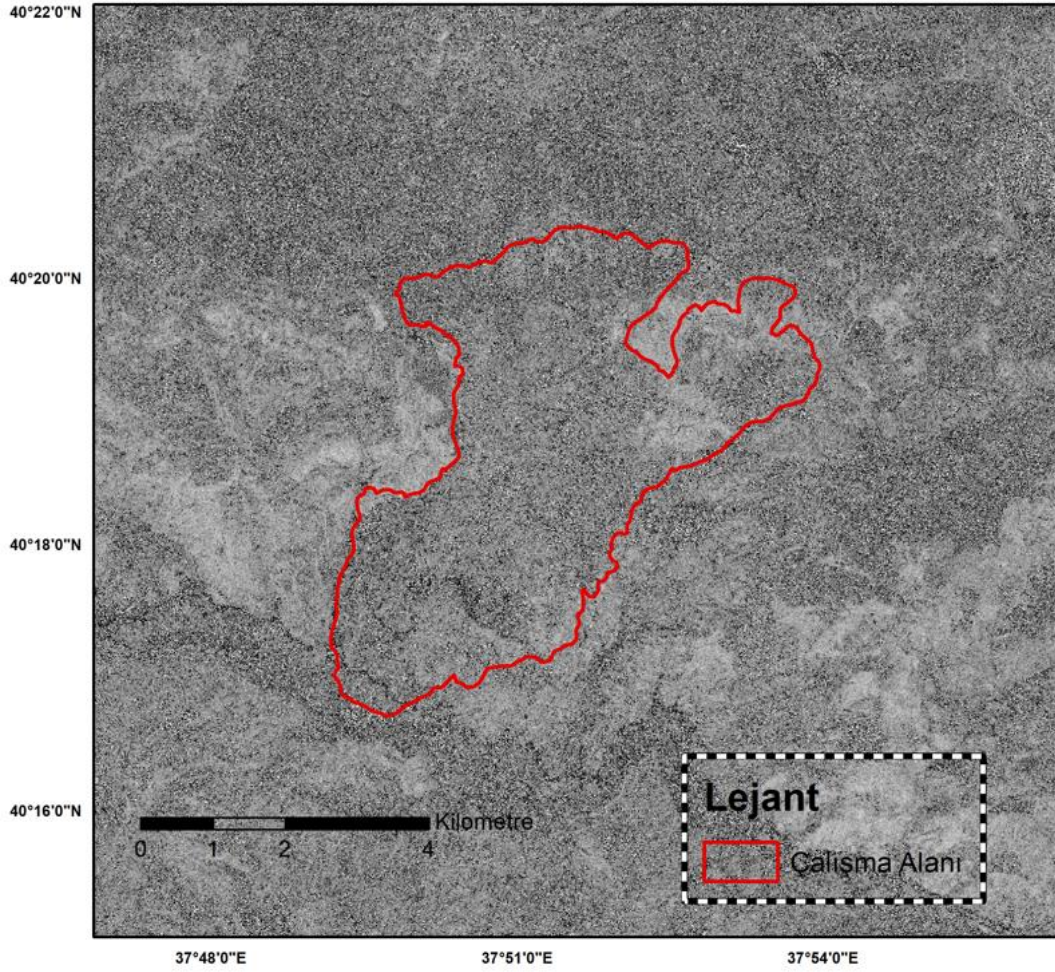
#### 2.2.4 Korelasyon

Korelasyon her iki ortorektifiye edilmiş görüntüyü benzerlik eşleşmesi amacıyla tarayan kayan pencere yöntemi kullanarak işler ve yer değiştirme korelasyonunun en yoğun olduğu yerden tahmin edilir. Korelasyon yani diğer bir ifade ile ölçümün tutarlılığı, kayan pencere ölçeğindeki faz değişimi değişkenliğinden tahmin edilebilir (Ayoub vd.2009). Bu değişkenlik ölçümün kalitesini yani tutarlılığını 0 ile 1 arasında bir sayı ile ifade eder (Dominuguez, 2003).

Korelasyon dosyası farklı pencere boyutları ve adım boyutları (16-4, 16-8, 32-4, 32-8, 32-16, 64-8, 64-16, 64-32, 128-16, 128-32, 128-64) için ortorektifiye edilmiş iki farklı tarihli Spot 5 optik uydu görüntüsünden elde edilmiştir. Korelasyon dosyası ile doğu-

batı yönündeki hareket (EW), kuzey-güney yönündeki hareket (NS) ve sinyal gürültü oranı (SNR) bilgileri üç bantlı bir görüntü dosyası olarak elde edilir.

EW ve NS bantları, kuzey-güney ve doğu-batı yönü boyunca ölçülen yer değiştirme alanına karşılık gelmekte olup değerleri metre birimindedir. Kuzey ve doğu yönleri pozitif yönlü hareket olarak ifade edilmiştir. Ayrıca korelasyon kalitesi SNR bandından değerlendirilir (Haque, 2016).



**Şekil 2. 8** 11 Ağustos 2006 (Spot 5) ve 21 Eylül 2011 (Spot 5) tarihli uydu görüntülerinin SNR bandı.

### 2.2.5 Korelasyon dosyası elde edildikten sonra yapılan işlemler

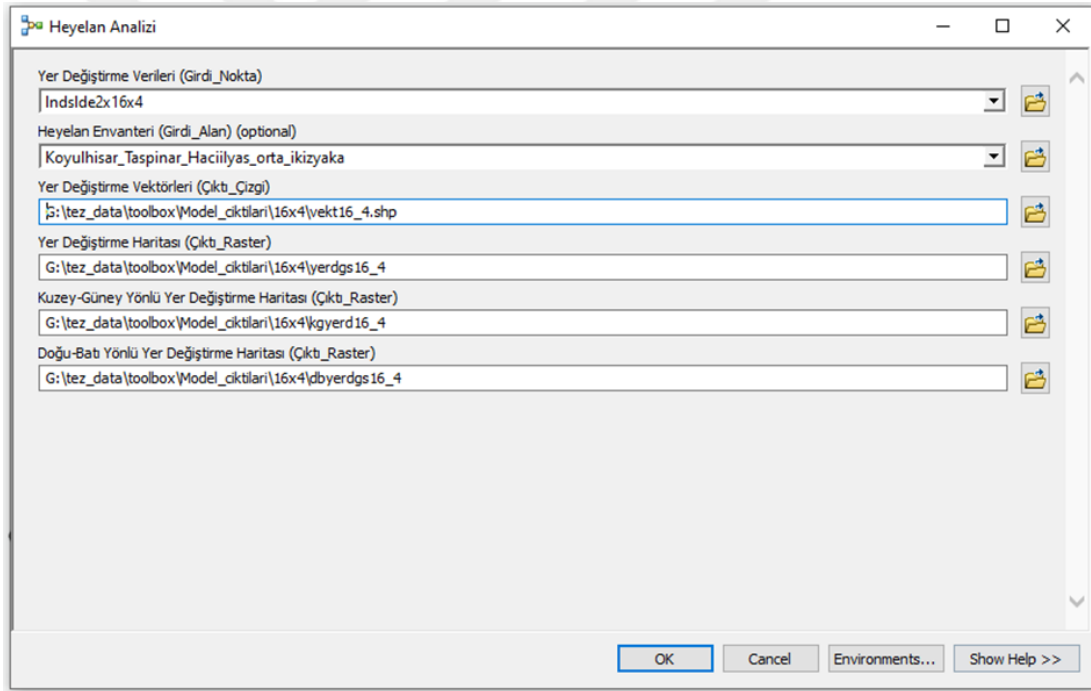
En uygun sonuçları elde etmek ve aykırı değerleri filtrelemek için bazı son işlem adımları uygulanır (Haque, 2016). Çalışma alanı ve civar bölgelerde yapılan heyelan

çalışmaları dikkate alınarak aykırı değerler filtrelendikten sonra sonuçlar değerlendirilmiştir.

### 2.3 Heyelan Verilerinin CBS Ortamına Aktarılması

Çalışmanın bu kısmında ESRI ArcGIS 10.6.1 yazılımı ortamında geliştirilen kullanıcı arayüz programı (Şekil 2.9) yardımıyla alandaki yer değiştirme vektörleri belirlenmiş ve meydana gelen kütle hareketleri analiz edilmiştir.

MTA tarafından, geçmiş yıllardaki heyelan bilgilerinden yola çıkarak üretilmiş heyelan envanter verisi ve çalışma alanını kapsayan uydu görüntülerinden COSI Corr yazılımı ile oluşturulmuş yer değiştirme verilerinin de içinde bulunduğu korelasyon dosyası karşılaştırılarak heyelan bölgesine karşılık gelen noktalar dikkate alınmıştır. Bölgedeki yer değiştirmeler vektörel olarak ifade edilmiş ve enterpolasyon yöntemi ile kütle hareketleri analiz edilmiştir.



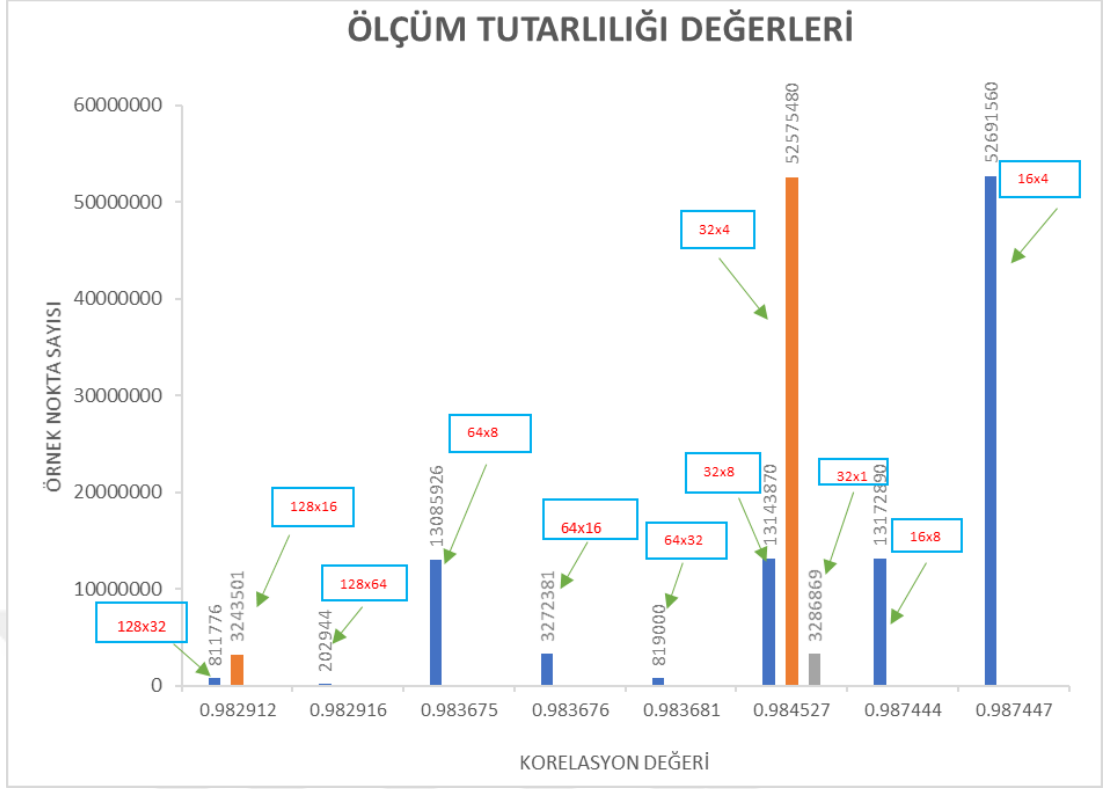
Şekil 2. 9 Model Builder ile oluşturulan kullanıcı arayüz programı.

### 3. BULGULAR VE TARTIŞMA

#### 3.1 Çalışma Alanının COSI Corr Yöntemi ile Analizi

Her iki ortorektifiye edilmiş görüntü benzerlik eşleşmesi amacıyla tarayan kayan pencere yöntemi kullanılarak analiz edilir ve yer değiştirme, korelasyonun en yoğun olduğu yerden tahmin edilir (Ayoub vd.,2009). Pencere boyutu ve adım boyutu, özellikle de adım boyutu korelasyon esnasında en hassas parametre olarak elde edilir. Genelde en iyi sonuçlar 1/4 ve 1/8 (adım boyutu/pencere boyutu) oranında çıkar. Büyük adım boyutunda ayrıntılar kaybolur, küçük adım boyutu söz konusu olduğunda yer değiştirme alanı için daha fazla ayrıntı dikkate alınacaktır (Haque, 2016).

Yapılan çalışmada sonucun kalitesi sinyal gürültü oranı (SNR) bandındaki korelasyon ile değerlendirilmiştir. Kullanılan parametrelerin farklı pencere ve adım boyutlarındaki kombinasyonlarından türetilen SNR değerlerinin histogram grafiği tutarlılık kalitesini değerlendirmenin yoludur. SNR değeri 0 korelasyon olmadığını, 1 değeri ise sonucun yüksek oranda tutarlı olduğunu gösterir (Haque, 2016; Türk, 2018).



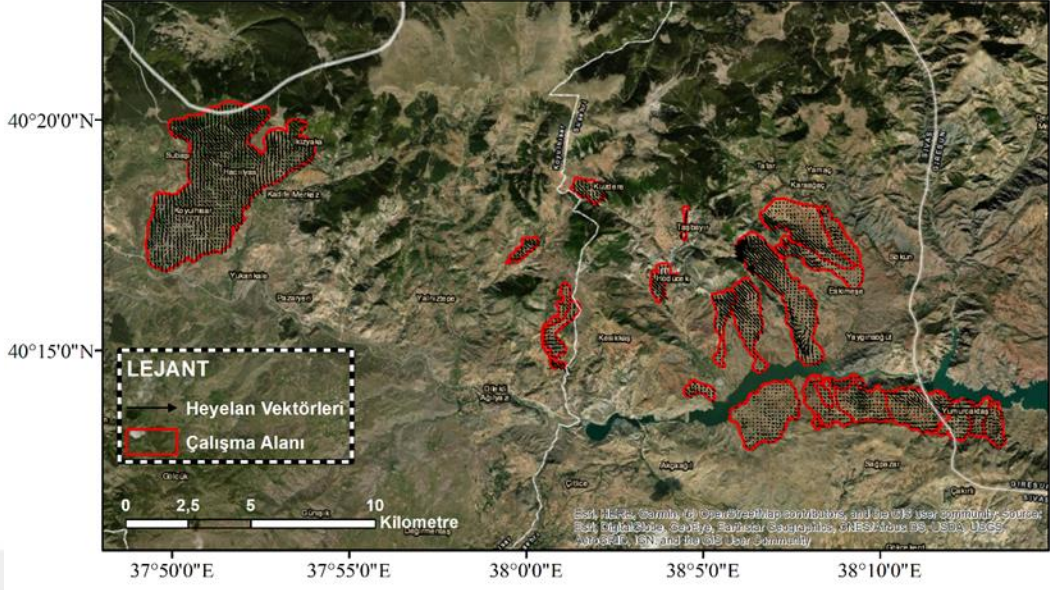
**Şekil 3. 1** Pencere boyutu x Adım boyutu değerleri için örnek nokta sayısına karşılık gelen korelasyon değerleri.

Bu çalışmada, korelasyon dosyası istatistiksel olarak değerlendirildiğinde pencere boyutu 16 ve adım boyutu 4 olan kombinasyonun en yüksek korelasyon ile en uygun sonucu ortaya koyduğu belirlenmiştir. Ayrıca farklı pencere ve adım boyutlarına göre nokta sayısı dolayısıyla vektör yoğunluğu değişmektedir. Bu yoğunluğa bağlı olarak farklı hassasiyet ve doğruluklar olacaktır. En çok nokta sayısı ile 16x4 kombinasyonu en hassas bilgiyi sağladığı anlaşılmıştır. (Şekil 3.1).

### 3.2 Analiz sonuçlarının CBS ile bütünleştirilmesi

Korelasyon dosyasından elde edilen sonuçlar CBS yazılımı ortamında analiz edilerek çalışma alanındaki kütle hareketleri ve yer değiştirme vektörleri belirlenmiştir (Şekil 3.2). Ardından yer değiştirme değerleri kullanılarak Inverse Distance Weight (IDW) yöntemiyle kütle hareketlerini temsil eden enterpolasyon haritaları oluşturulmuştur (Şekil 3.3).

### Yer Değiştirme Vektör Haritası



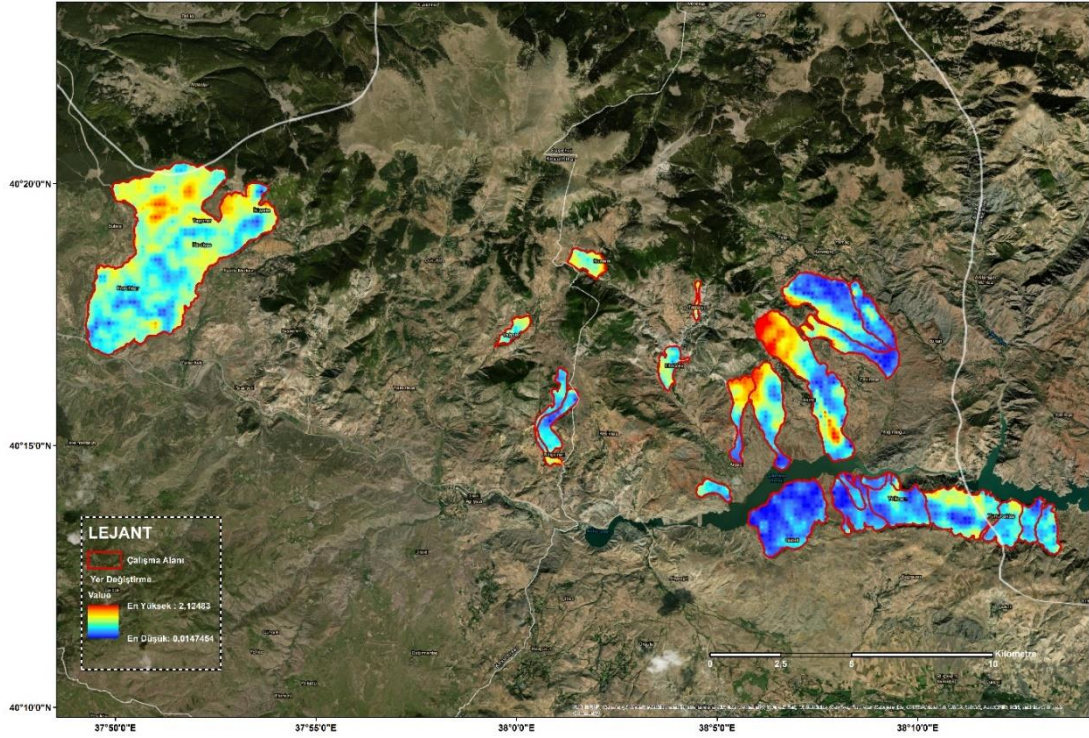
Şekil 3. 2 Çalışma alanındaki yer değiştirmelerin vektör haritası.

Enterpolasyon işlemi genel hatlarıyla bir alanda komşu bölgelerden alınan örnekleme değerleri kullanarak herhangi bir noktanın öznelik bilgilerini tahmin etme işlemidir (Tural 2011). Birçok enterpolasyon yöntemi mevcuttur fakat daha önce yapılan çalışmalar dikkate alınarak Ters Ağırlık Mesafe (IDW) yöntemi tercih edilmiştir.

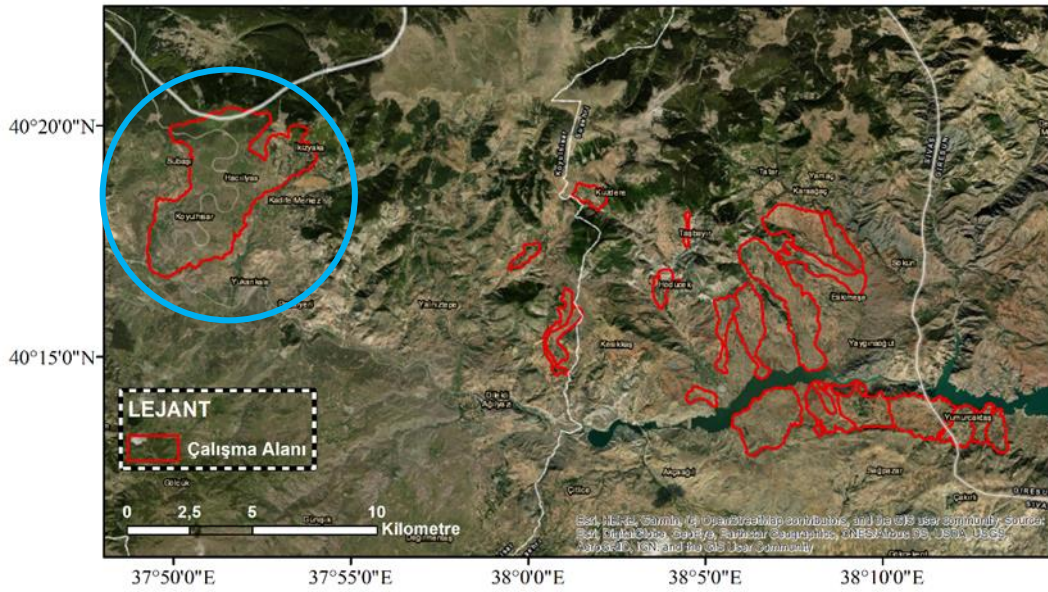
IDW yöntemi her bir hücrenin civardaki hücrelerdeki verilerin ortalamalarına göre değer tahmini yapan bir enterpolasyon yöntemidir. Bu yöntemde hücreye en yakın örnek noktalar daha ağırlıklıdır. İlgili konumdan uzaklaştıkça noktaların etkileri azalır hatta çok uzaktaki bir noktayı dikkate almanın olumsuz etkileri ortaya çıkabilir. Çünkü nokta tahmin konumundan çok farklı bölgede yer almaktadır (Yıldırım, 2019). CBS yöntemleriyle deformasyon tahminin yapılması sürecinde birçok enterpolasyon yöntemleri test edilmiştir. Eğim yönelimleri ve eş yükseklik eğrileri de dikkate alındığında IDW yönteminde daha uygun sonuçlar elde edilmiştir (Gorum vd., 2008). Uygulanan enterpolasyon yöntemleri yüzeyin yapısına ve kontrol nokta sayısına bağlı olarak değişebilir. En kısa sürede en az hata ile işlem yapılmak istendiğinde IDW yöntemi öne çıkmaktadır (Üstüntaş, 2006).

Bu çalışmada envanterde belirtilen tüm heyelan alanı için kütle hareketleri belirlenmesinin yanı sıra şekil 3.4'te mavi çember ile gösterilen Koyulhisar bölgesine

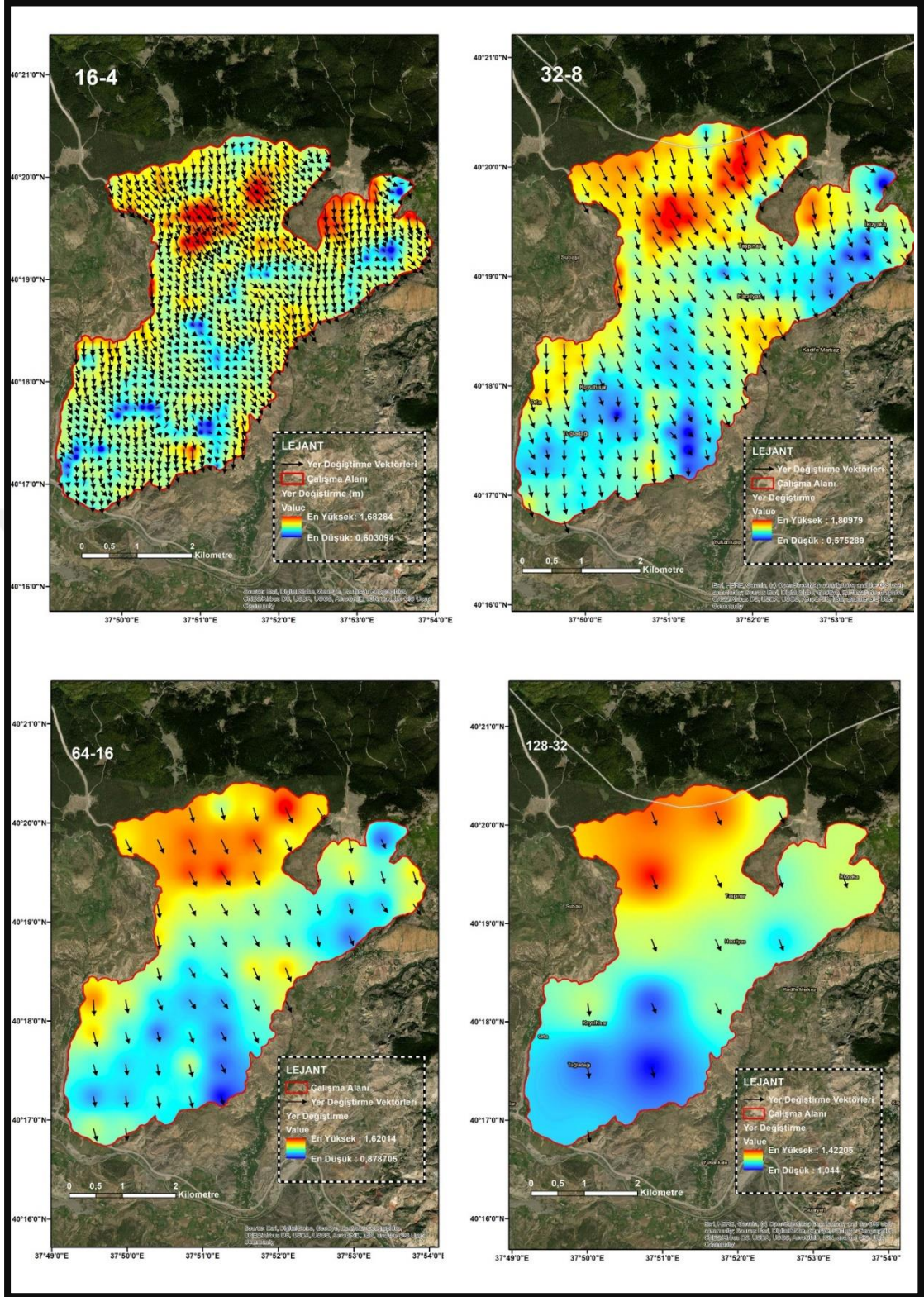
odaklanılarak, 1/4 (Şekil 3.5) ve 1/8 oranlı kombinasyonuna ait yer değıştirme haritaları (Şekil 3.6) üretilip yorumlanmış ve topoğrafyayla uyumluluğu incelenmiştir.



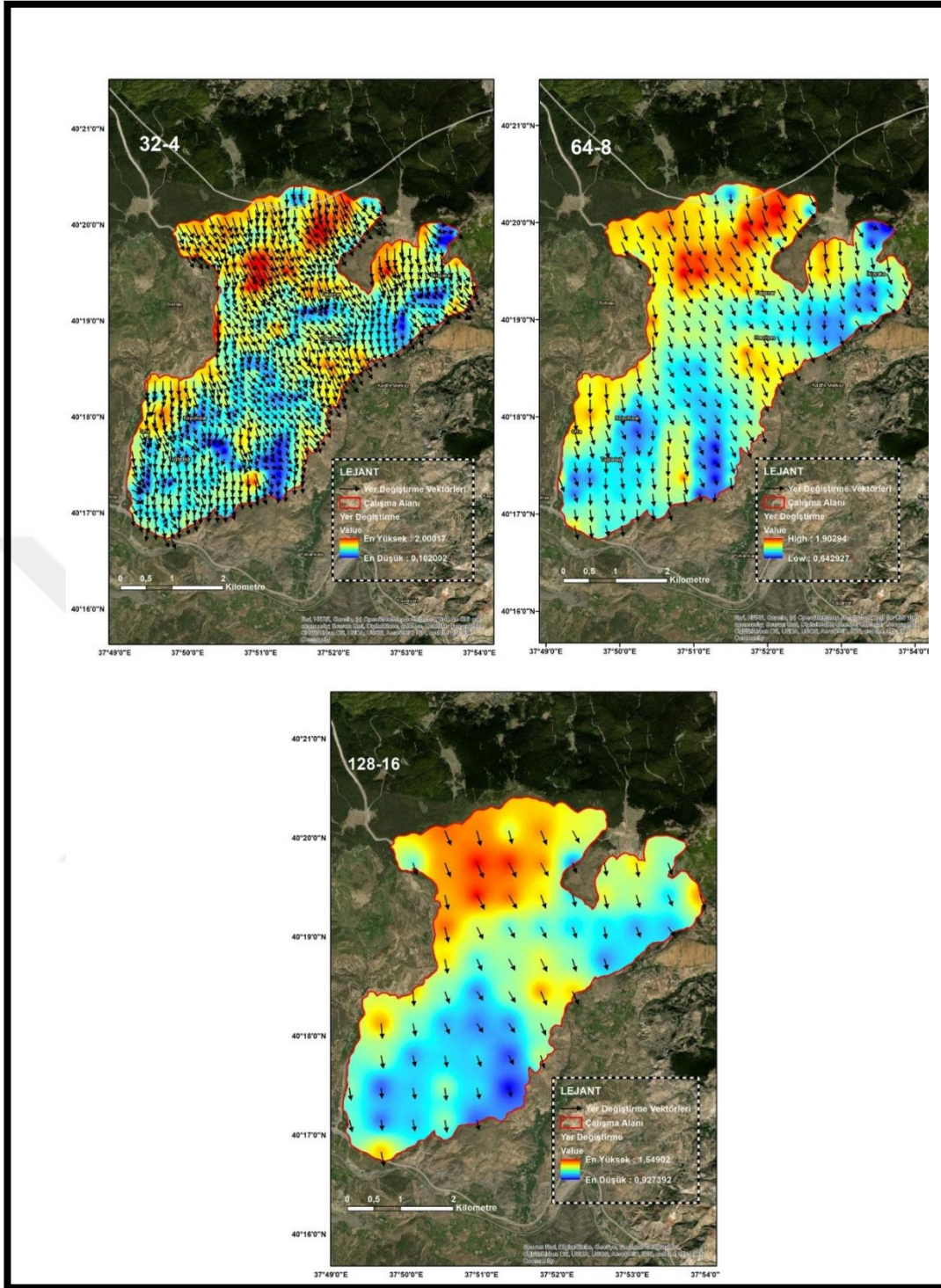
Şekil 3. 3 Çalışma alanındaki yer değıştirme verileri.



Şekil 3. 4 Tüm pencere ve adım boyutları için detaylı incelemesi yapılan alan.



Şekil 3. 5 1/4 (adım boyutu-pencere boyutu) oranlı sonuçların analizi.

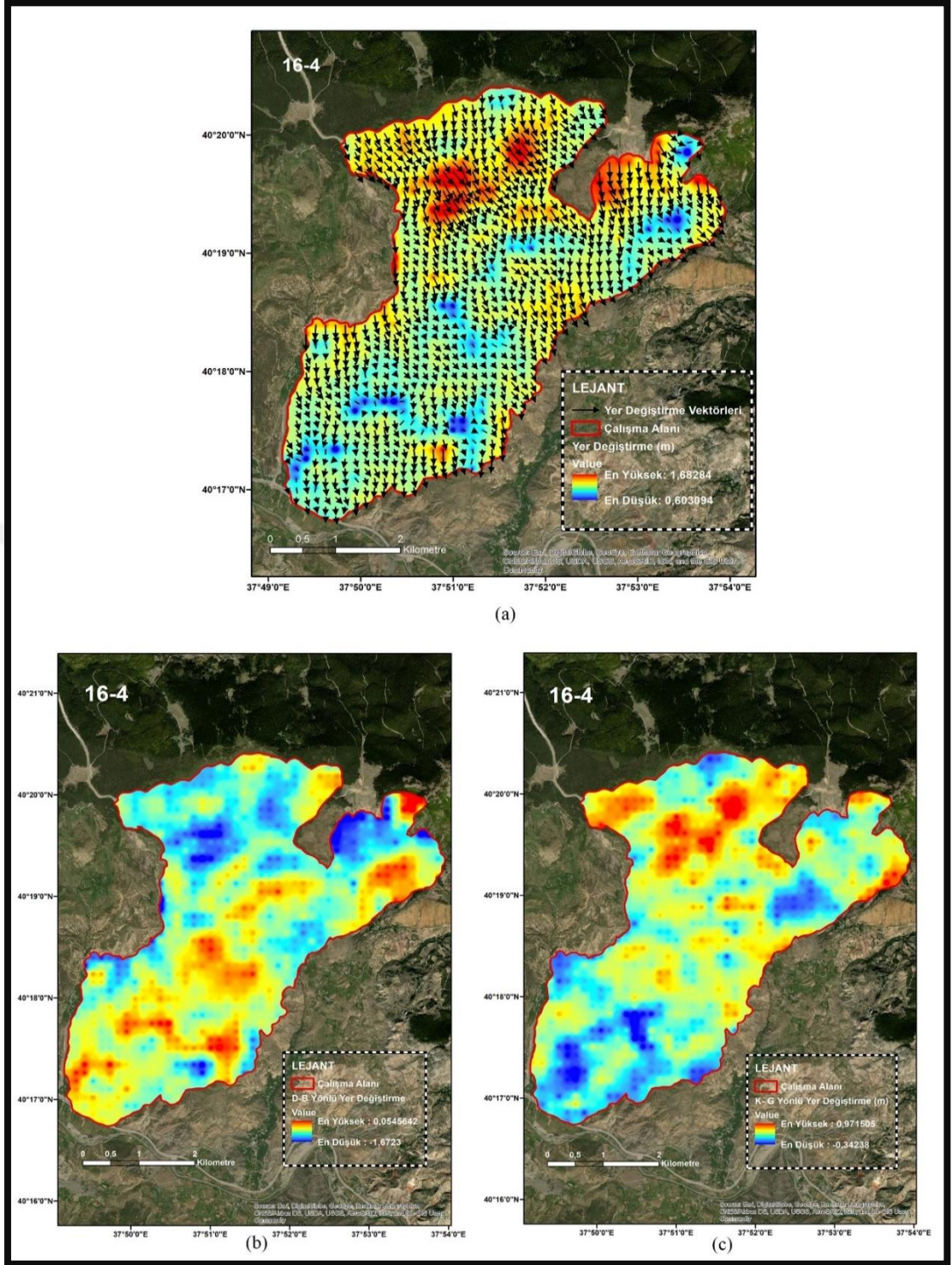


Şekil 3. 6 1/8 (adım boyutu-pencere boyutu) oranlı sonuçların analizi.

Yapılan istatistik analizler (Çizelge 2.1) incelen topoğrafya uyumu ile karşılaştırıldığında (Şekil 3.5), 16 pencere boyutu ve 4 adım boyutu değerlendirmeler sırasında oldukça kullanışlıdır. Yapılan çalışmada bu adım ve pencere boyutu

kombinasyonu ile alandaki toplam kütle hareketi, doğu-batı ve kuzey-güney yönlü yer değiştirmeler detaylı olarak analiz edilmiştir (şekil 3.7). Çalışma alanı uydu görüntüleri ve Google Earth yardımıyla topoğrafik açıdan incelendiğinde yükseklik ve eğimden dolayı stabilitesi bozulan yollara yakın bölgelerde kütle hareketlerinin arttığını, stabil yol olan yerlerde yer değişiminin neredeyse olmaması sonuçları doğrular nitelikte olduğunu göstermektedir.





**Şekil 3. 7** İnceleme alanındaki yer değiştirmeler (a. Toplam yer değiştirme, b. Doğu-Batı yönlü yer değiştirme, c. Kuzey-Güney yönlü yer değiştirme).

KAFZ üzerinde bulunan çalışma alanı, aktif bir heyelan bölgesi olduğundan daha önce uzaktan algılama ve yersel ölçümler kullanılarak yapılan birçok çalışma ile

incelenmiştir (Sendir, 2001; Hastaoğlu ve Şanlı, 2011; Gökçeoğlu vd., 2005; Demir, 2011; Türk, 2013; Över, 2015; Türk, 2015; Demirel vd., 2016; Hastaoğlu vd., 2017; Demir, 2018; Köse, 2018; Türk, 2018). Bu çalışmalar alanda incelemede bulunan araştırmacılara bir fikir verebilir ancak yer değiştirme verileri her zaman birbiri ile tam örtüşmeyebilir. Çünkü GNSS ölçümleri ile noktasal bazda hareket belirlenirken COSI Corr tekniği ile alan bazlı hareketler belirlenmektedir. Ayrıca bölgede yapılan uzaktan algılama ve GNSS tabanlı ölçümlerle tam bir karşılaştırma yapabilmek için değerlendirme tarihli uydu görüntüleri ile eş zamanlı olması gerekmektedir.

Örneğin 2011 yılında GNSS ölçümleri kullanılarak, yıllık hareketi 1,5 cm/yıl olarak belirlenmiştir (Hastaoğlu ve Şanlı, 2011). 2017 yılında 53 GNSS noktası ile her 100-200 m de bir yaklaşık 24 nokta kullanılarak yapılan başka bir çalışmada yılda 1,65 cm kütle hareketi görülmüştür. (Hastaoğlu vd., 2017).

Diğer taraftan COSI Corr yöntemiyle 1/20 piksel civarında bir doğruluk elde edilmektedir (Haque, 2016; Türk, 2018). Dolayısıyla kullanılan uydu görüntülerinin çözünürlüğü ölçüm sonuçlarında farklılıklar meydana gelmesine sebep olmaktadır. Örneğin bölgede 2013 ve 2014 yılları arasında yer değişimini incelemek için yapılan bir çalışmada (Türk, 2018) 50 cm çözünürlüklü Worldview 1 uydu görüntüleri kullanılmış ve 2,5 cm'den büyük olan yer değiştirmeler tespit edilerek 15 cm ile 112 cm arasında bir yer değiştirme olduğu anlaşılmıştır. Bu bağlamda 2,5 m çözünürlüklü Spot 5 uydu görüntüsü için  $2,5/20=0,125$  m yani 12,5 cm'den büyük yer değiştirmeler belirlenerek yıllık ortalama 12 cm ile 33,6 cm arasında bir yer değiştirme tespit edilmiştir. Ek olarak COSI Corr tekniği ile elde edilen sonuçların doğruluğu kullanılan Sayısal Arazi Modelinin (SAM) doğruluğuna, görüntülerin birlikte doğrultulması (co-registration) ve ortorektifikasyon gibi işlemlerin hassas bir şekilde yapılmasına bağlı olarak değişiklik göstermektedir (Ayoub vd., 2017).

Sonuç olarak COSI Corr yöntemi yüksek çözünürlüklü uydu görüntüleriyle birlikte heyelan riski olan bölgelerin analiz ve takibinde araştırmacılara birçok kolaylık sağlamaktadır. Bölgede 11 Ağustos 2006 ve 21 Eylül 2011 tarihleri arasındaki beş yıllık zaman periyodu için herhangi bir heyelan kaydına rastlanmamaktadır. Fakat yapılan çalışmada özellikle odaklanılan bölgede bu tarihler arasında 0,6 m ile 1,68 m arasında bir yatay yer değiştirme söz konusu olduğunu göstermektedir. Bu bağlamda yapılan çalışmanın heyelan açısından riskli olan bölgelerde sürekli analizlerle risk

değerlendirilmesini ve tedbir alınmasına olanak sağlaması gibi faydaları olacağı düşünülmektedir.

#### 4. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışma kapsamında daha önce jeolojik ve jeomorfolojik yapısı sebebiyle birçok heyelan çalışmasına konu olmuş Koyulhisar ve Suşehri civarında meydana gelen kütle hareketleri çok yüksek çözünürlüklü Spot 5 uydu görüntüleri ve bir uzaktan algılama tekniği COSI Corr yöntemi kullanılarak belirlenmiştir.

Kütle hareketlerinin analizinde uzaktan algılama teknikleri birçok kolaylık sağlamıştır. Kütle hareketlerinin incelenmesi, mevcut durumun analiz edilmesi, hasar tespiti ve heyelan riskinin değerlendirilmesi açısından oldukça önemlidir. Yersel yöntemlerle karşılaştırıldığında uzaktan algılama yöntemlerinin, kütle hareketlerinin belirlenmesinde hızlı, ucuz ve daha az iş gücü gerektiren yöntemler olarak ön plana çıktığını göstermektedir.

Son yıllarda heyelanların analizinde uzaktan algılama yöntemleri birçok teknik ve bilimsel gelişmelerle ilgilenmiştir. Bu yöntemler heyelan risk analizinde oldukça önemlidir. Geniş alanların yoğun konumsal örneklerle izlenmesine olanak sağlayan uzaktan algılama yöntemi yüksek doğrulukla fakat az sayıda kontrol noktası ile sınırlı veri sağlayan yersel yöntemlere göre çok daha avantajlıdır. Uzaktan algılama yöntemleri, yersel yöntemlere göre çok yüksek doğruluk sunmamakla birlikte çok fazla nokta ile çalışma olanağı sağlayarak kütle hareketlerinin yönü ve büyüklüğü hakkında çok önemli bilgiler sunmaktadır.

Literatür incelendiğinde, Cosis- corr yönteminin başta deprem, kumul hareketleri ve heyelanlar olmak üzere birçok farklı alanda gerçekleştirilen bilimsel araştırmalarda sıklıkla tercih edildiği görülmektedir. Aynı bölgede kütle hareketlerinin belirlenmesine yönelik farklı uydu görüntülerinden ve GNSS ölçümlerinden elde edilen yer değiştirme değerleri araştırmacılara bir fikir verebilir ancak her zaman yer değiştirme değerleri birbiri ile tam olarak uyuşmayabilir. Çünkü GNSS ölçümleri ile noktasal hareket belirlenirken COSI Corr yöntemi ile alansal hareketler belirlenmektedir. Ayrıca literatür incelendiğinde COSI Corr tekniğinin 1/20 piksel

civarında bir doğruluk sağladığı bilinmektedir. Dolayısıyla kullanılan uydu görüntüsünün çözünürlüğü değiştikçe ölçüm sonuçlarında farklılıklar meydana gelecektir. Örneğin, çözünürlüğü 15 metre olan Aster uydu görüntüsü kullanılarak  $15m/20= 0,75$  m'den büyük olan yer değiştirmeler belirlenebilirken, çözünürlüğü 2,5 m olan bir Spot 5 uydu görüntüsü için  $2,5/20= 0.125$  m'den büyük olan yer değiştirmeler belirlenebilmektedir. Ayrıca COSI Corr yöntemi ile elde edilen sonuçların doğruluğu, yüksek doğruluklu Sayısal Arazi Modelinin kullanılması, birlikte doğrultulması (co-registiration) ve Ortorektifikasyonu gibi işlemlerin hassas bir şekilde yapılmasına bağlı olarak değişebilmektedir. Ek olarak GNSS tabanlı ölçümlerle tam bir karşılaştırma yapabilmek için GNSS ölçümleri ve değerlendirilen uydu görüntülerinin eş zamanlı olması gerekmektedir. Çok yüksek doğruluk gerektirmeyen yer değiştirmelerin belirlenmesine yönelik çalışmalarda Cosi- corr yöntemi daha ekonomik ve daha verimlidir. Bu çalışmada, GNSS, yersel ölçümler ve diğer arazi etütleri gerçekleştirilmemiş olup bölgede meydana gelen önceki heyelanlar ve MTA tarafından üretilen heyelan envanter haritası dikkate alınarak kütle hareketleri incelenmiştir. Çalışmada detaylı analizi yapılan Koyulhisar bölgesi incelendiğinde 0,05 m'ye kadar doğu yönlü, 1,67 m'ye kadar batı yönlü, 0,97 m'ye kadar kuzey yönlü, 0,34 m'ye kadar güney yönlü ve 0,6 m ile 1,68 m arasında bir toplam kütle hareketi belirlenmiştir (Şekil 3.7).

İnceleme tarihleri arasında bölgede herhangi bir kütle hareketinin meydana gelmemesi fakat daha sonraki yıllarda tekrar bu hareketlerin görülmesi bölgede sürekli bir kütle hareketinin var olduğunu ve sürekli analizinin yapılmasının gerekliliğini ortaya koymaktadır. Geçmişten bu yana bölge incelendiğinde birçok heyelan meydana gelmiştir (Çizelge 2.1). Bu çalışmada çok yüksek çözünürlüklü optik uydu görüntüleri kullanılarak, heyelan açısından riskli bölgelerde yavaş kütle hareketlerini analiz etmek ve jeomorfolojik değerlendirmeler ile alandaki hareketliliği periyodik olarak izlemek amacıyla COSI Corr yönteminin rahatlıkla kullanılabilmesi vurgulanmaktadır. Hatta ileriye yönelik kütle hareketi riski gözlemlenen bölgelerde heyelan envanteri oluşturma çalışmalarına da öncülük edebilecek bir sistem geliştirilebilir.

Bunun yanı sıra yapılacak çalışmalarda, heyelan takibinde İHA'ların da tahmin, analiz ve erken uyarı amaçlı kullanımları oldukça önemlidir. Heyelan yönetiminde, mevcut bilgilerin analizi, durum belirleme, lojistik veya tehlikeli alanlardan tahliye amaçlı kullanımlarda İHA'lar uydu görüntülerine göre daha avantajlıdır. İHA ile anlık veya

kısa süreli bir bilgi alma olanağı oldukça yüksek, istenildiği anda ve zor hava koşullarında kolaylıkla standart, güncel ve doğru veri elde edebilme kabiliyeti ve küçük ve orta büyüklükteki alanlarda daha az maliyetlidir. Uydu görüntülerinin alımı sürecinde zamansal çözünürlük kavramı nedeniyle sınırlı müdahale söz konusu olmakla birlikte yüksek maliyeti bir diğer dezavantaj olarak ortaya çıkmaktadır.

Geleceğe yönelik veri depolamasında uydu görüntüleri ve İHA'ları birbirinden ayrı düşünmek oldukça zordur. CBS için veri elde etme sürecinde İHA'lar ile heyelanlar hem afet öncesi gerekli önlemlerin alınmasına yönelik yapılacak bilimsel ve teknik çalışmalarda hem de afet sonrası hasar tespiti için önemli katkılar sağlanabilir. Gelişen teknoloji ve veri dünyasında gelecek için konumsal ve zamansal çözünürlüğü daha yüksek olan uydu görüntülerinin daha az maliyetli bir şekilde sunulmasıyla birlikte daha az insan gücü ile yavaş gelişen heyelanlar kolaylıkla takip edilebilecektir. Bunun yanı sıra anlık bir afet durumunda İHA görüntüleri hızlı bölgesel analiz yaparak afeti en az can ve mal kaybı ile atlarmaya olanak sağlayacaktır. Ayrıca bu sistemler ile İHA görüntüleri ve uydu görüntülerinin birlikte kullanılması ile istenilen periyotlar arası risk analizi kolaylıkla değerlendirilebilecektir.

## KAYNAKLAR

- Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı (AFAD)**, (2017) Sivas Valiliği İl Afet ve Acil Durum Müdürlüğü Jeolojik Etüt Raporları
- Akgun, A., Dag, S., & Bulut, F.** (2008). Landslide susceptibility mapping for a landslide-prone area (Findikli, NE of Turkey) by likelihood-frequency ratio and weighted linear combination models. *Environmental Geology*, 54(6), 1127-1143.
- Avouac, J. P., Ayoub, F., Leprince, S., Konca, O., & Helmberger, D. V.** (2006). The 2005, Mw 7.6 Kashmir earthquake: Sub-pixel correlation of ASTER images and seismic waveforms analysis. *Earth and Planetary Science Letters*, 249(3-4), 514-528.
- Ayoub, F., Leprince, S., & Avouac, J. P.** (2009). Co-registration and correlation of aerial photographs for ground deformation measurements. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 64(6), 551-560.
- Ayoub, F., Leprince, S., & Avouac, J. P.** (2017). User's Guide to COSI-CORR Co-registration of Optically Sensed Images and Correlation. *California Institute of Technology* (Kullanıcı Klavuzu), 49s, California
- Baird, T., Bristow, C. S., & Vermeesch, P.** (2019). Measuring sand dune migration rates with COSI-Corr and landsat: Opportunities and challenges. *Remote Sensing*, 11(20), 2423.
- Barisin, I., Leprince, S., Parsons, B., & Wright, T.** (2009). Surface displacements in the September 2005 Afar rifting event from satellite image matching: Asymmetric uplift and faulting. *Geophysical Research Letters*, 36(7).
- Dai, F. C., & Lee, C. F.** (2002). Landslide characteristics and slope instability modeling using GIS, Lantau Island, Hong Kong. *Geomorphology*, 42(3-4), 213-228.
- Demir, G.** (2011). Kuzey Anadolu Fayı Üzerinde Niksar-Suşehri Arasındaki Alanın CBS Tabanlı Heyelan Duyarlılık Analizi, *Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı* (Doktora Tezi), 199s, Trabzon
- Demir, G.** (2018). Coğrafi Bilgi Sistemleri ile Suşehri (Sivas) Heyelan Duyarlılık Analizi. *Gümüşhane Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 8(1), 96-112.
- Demirel, M., Tatar, O., & Koçbulut, F.** (2016). Kuzey Anadolu Fay Zonu Üzerinde Koyulhisar (Sivas) ve Yakın Çevresindeki Fayların Kinematik Özellikleri. *Türkiye Jeoloji Bülteni*, 59(3), 357-370.

- Ding, C., Feng, G., Liao, M., Tao, P., Zhang, L., & Xu, Q.** (2021). Displacement history and potential triggering factors of Baige landslides, China revealed by optical imagery time series. *Remote Sensing of Environment*, 254, 112253.
- Dominguez, S., Avouac, J. P., & Michel, R.** (2003). Horizontal coseismic deformation of the 1999 Chi-Chi earthquake measured from SPOT satellite images: Implications for the seismic cycle along the western foothills of central Taiwan. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, 108(B2).
- Fernandez, P., & Whitworth, M.** (2016). A new technique for the detection of large scale landslides in glacio-lacustrine deposits using image correlation based upon aerial imagery: A case study from the French Alps. *International journal of applied earth observation and geoinformation*, 52, 1-11.
- Fernandez, P., Garrido, J., & Delgado, J.** (2019). 2D Horizontal Landslide Displacement Estimation by Multi-temporal Image Correlation Techniques. In *IAEG/AEG Annual Meeting Proceedings, San Francisco, California, 2018-Volume 1* (pp. 297-302). Springer, Cham.
- Gokceoglu, C., Sonmez, H., Nefeslioglu, H. A., Duman, T. Y., & Can, T.** (2005). The 17 March 2005 Kuzulu landslide (Sivas, Turkey) and landslide-susceptibility map of its near vicinity. *Engineering geology*, 81(1), 65-83.
- Gorum, T., Gonencgil, B., Gokceoglu, C., & Nefeslioglu, H. A.** (2008). Implementation of reconstructed geomorphologic units in landslide susceptibility mapping: the Melen Gorge (NW Turkey). *Natural Hazards*, 46(3), 323-351.
- Hastaoglu, K. O., Poyraz, F., Turk, T., Yilmaz, I., Kocbulut, F., Demirel, M., & Balik Sanli, F.** (2018). Investigation of the success of monitoring slow motion landslides using Persistent Scatterer Interferometry and GNSS methods. *Survey review*, 50(363), 475-486.
- Hastaoglu, K. O., & Sanli, D. U.** (2011). Monitoring Koyulhisar landslide using rapid static GPS: a strategy to remove biases from vertical velocities. *Natural hazards*, 58(3), 1275-1294.
- Haque, D. M. E.** (2016). 3D surface deformation model from sub-pixel correlation of optical imagery and InSAR, *University of Twente (Yüksek Lisans Tezi)*, 71s, Enschede, The Netherlands.
- Herman, F., Anderson, B., & Leprince, S.** (2011). Mountain glacier velocity variation during a retreat/advance cycle quantified using sub-pixel analysis of ASTER images. *Journal of Glaciology*, 57(202), 197-207.

- Hermas, E., Leprince, S., & Abou El-Magd, I.** (2012). Retrieving sand dune movements using sub-pixel correlation of multi-temporal optical remote sensing imagery, northwest Sinai Peninsula, Egypt. *Remote sensing of environment*, 121, 51-60.
- Kavzoglu, T., Sahin, E. K., & Colkesen, I.** (2014). Landslide susceptibility mapping using GIS-based multi-criteria decision analysis, support vector machines, and logistic regression. *Landslides*, 11(3), 425-439.
- Köse, D.** (2018). Heyelan Duyarlılık Haritalarının Geliştirilen Coğrafi Bilgi Sistemi Tabanlı Kullanıcı Arayüz Programlarıyla İncelenmesi: Koyulhisar Örneği, *Cumhuriyet Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü* (Yüksek Lisans Tezi), 92s, Sivas
- Leprince, S., Barbot, S., Ayoub, F., & Avouac, J. P.** (2007). Automatic and precise orthorectification, coregistration, and subpixel correlation of satellite images, application to ground deformation measurements. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 45(6), 1529-1558.
- Lucieer, A., Jong, S. M. D., & Turner, D.** (2014). Mapping landslide displacements using Structure from Motion (SfM) and image correlation of multi-temporal UAV photography. *Progress in physical geography*, 38(1), 97-116.
- Luzi, L., & Pergalani, F.** (1999). Slope instability in static and dynamic conditions for urban planning: the 'Oltre Po Pavese' case history (Regione Lombardia–Italy). *Natural hazards*, 20(1), 57-82.
- Mazzanti, P., Caporossi, P., & Muzi, R.** (2020). Sliding time master digital image correlation analyses of cubesat images for landslide monitoring: The Rattlesnake Hills landslide (USA). *Remote Sensing*, 12(4), 592.
- Michel, S., Avouac, J. P., Ayoub, F., Ewing, R. C., Vriend, N., & Heggy, E.** (2018). Comparing dune migration measured from remote sensing with sand flux prediction based on weather data and model, a test case in Qatar. *Earth and Planetary Science Letters*, 497, 12-21.
- Necsoiu, M., Leprince, S., Hooper, D. M., Dinwiddie, C. L., McGinnis, R. N., & Walter, G. R.** (2009). Monitoring migration rates of an active subarctic dune field using optical imagery. *Remote Sensing of Environment*, 113(11), 2441-2447.
- Okay, A. I., & Tüysüz, O.** (1999). Tethyan sutures of northern Turkey. *Geological Society, London, Special Publications*, 156(1), 475-515.
- Oruç, M. E.** (2021, June). Heyelanlarda nokta bulutlarının kullanılabilirliği. In *International Geoinformatics Student Symposium (IGSS)* (Vol. 1, No. 1, pp. 8-12).

**Över, D.** (2015). Sivas ili Koyulhisar ilçesi Heyelan alanı zemininin Jeofizik yöntemlerle incelenmesi. *Cumhuriyet Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Jeofizik Mühendisliği Anabilim Dalı* (Yüksek lisans Tezi), 77s, Sivas.

**Saba, S. B., Ali, M., van der Meijde, M., & van der Werff, H.** (2017). Co-seismic landslides automatic detection on regional scale with sub-pixel analysis of multi temporal high resolution optical images: Application to southwest of Port au Prince, Haiti. *Journal of Himalayan earth sciences*, 50(2), 74-92.

**Saba, S. B., Khattak, N. U., Ali, M., Waseem, M., Siddiqui, S., Anjum, S., & Turab, S. A.** (2019). Application of sub-pixel-based technique" orthorectification of optically sensed images and its correlation" for co-seismic landslide detection and its accuracy modification through the integration of various masks. *Journal of Himalayan Earth Science*, 52(1).

**Scherler, D., Leprince, S., & Strecker, M. R.** (2008). Glacier-surface velocities in alpine terrain from optical satellite imagery—Accuracy improvement and quality assessment. *Remote Sensing of Environment*, 112(10), 3806-3819.

**Sendir, H.** (2001). Koyulhisar (Sivas) Heyelanlarının İncelenmesi, *Cumhuriyet Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü* (Yüksek Lisans Tezi), 91s, Sivas

**Sendir, H., Yılmaz, I.** (2001). Koyulhisar heyelanlarına yapısal ve jeomorfolojik açıdan bakış. *Cumhuriyet Yerbilimleri Dergisi*, 18(1), 47-54.

**Suncar, O. E., Rathje, E. M., & Buckley, S. M.** (2013). Deformations of a rapidly moving landslide from high-resolution optical satellite imagery. In *Geo-Congress 2013: Stability and Performance of Slopes and Embankments III* (pp. 269-278).

**Stumpf, A., Malet, J. P., Allemand, P., & Ulrich, P.** (2014). Surface reconstruction and landslide displacement measurements with Pléiades satellite images. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 95, 1-12.

**Taylor, M. H., Leprince, S., Avouac, J. P., & Sieh, K.** (2008). Detecting co-seismic displacements in glaciated regions: An example from the great November 2002 Denali earthquake using SPOT horizontal offsets. *Earth and Planetary Science Letters*, 270(3-4), 209-220.

**Terzioğlu, N.** (1986). Reşadiye, Gölköy ve Koyulhisar Arasındaki Tersiyer-Kuvaterner Yaşlı Volkanitlerin Genel Stratigrafik Özellikleri. *Cumhuriyet Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi, Seri-A, Yerbilimleri*, 3.

**Toprak, V.** (1988). Neotectonic characteristics of the North Anatolian fault zone between Koyulhisar and Suşehri (NE Turkey). *METU J. Pure Appl. Sci*, 21, 155-166.

- Tural, S.** (2011). Gerçek Zamanlı Meteoroloji Verilerinin Toplanması, Analizi ve Haritalanması, *Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü (Yüksek Lisans Tezi)*, 71s, Ankara
- Türk, T.** (2009). Sürdürülebilir Afet Bilgi Sistemi Altyapısının Oluşturulması ve Kuzey Anadolu Fay Zonu (Kafz) Üzerinde Uygulanması, *Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Jeodezi ve Fotogrametri Mühendisliği Anabilim Dalı (Doktora Tezi)*, 115s, İstanbul
- Türk, T.** (2013) Hava fotoğrafı ve optik uydu görüntüleri yardımıyla yatay yer değiştirmelerin belirlenmesi. *Havacılık ve Uzay Teknolojileri Dergisi Ocak 2013 Cilt 6 Sayı 1 (71-79)*.
- Türk, T., Görüm, T., Birdal, A. C., & Selçuk, O.** (2015) Optik uydu görüntüleriyle heyelan alanlarındaki kütle hareketlerinin incelenmesi: kuzey anadolu fay zonu örneği. *TUFUAB VIII. Teknik Sempozyumu*
- Türk, T.** (2018). Determination of mass movements in slow-motion landslides by the Cosi-Corr method. *Geomatics, Natural Hazards and Risk*, 9(1), 325-336.
- Uysal, S.** (1995). Koyulhisar (Sivas) yöresinin jeolojisi. *MTA Rapor*, (9838).
- Üstüntaş, T.** (2006). Sayısal Arazi Modellerinde Bazı Enterpolasyon Yöntemlerinin Karşılaştırılması. *Selçuk Üniversitesi Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu Teknik-Online Dergi Journal of Technical-Online ISSN, 1302*, 6178.
- Vermeesch, P., & Drake, N.** (2008). Remotely sensed dune celerity and sand flux measurements of the world's fastest barchans (Bodele, Chad). *Geophysical Research Letters*, 35(24).
- Wachal, D. J., & Hudak, P. F.** (2000). Mapping landslide susceptibility in Travis County, Texas, USA. *GeoJournal*, 51(3), 245-253.
- Yıldırım, V.** (2019). Coğrafi Bilgi Sistemleri Mekânsal Analiz Uygulamaları, *İstanbul Üniversitesi Açık ve Uzaktan Eğitim Fakültesi (Ders Notları)*, 341s, İstanbul
- Zeybek, M., & ŞANLIOĞLU, İ.** (2019). Topoğrafik yüzey değişimlerinin görüntü işleme teknikleriyle belirlenmesi üzerine bir araştırma. *Doğal Afetler ve Çevre Dergisi*, 5(2), 350-367.