

T.C.
GÜMÜŞHANE ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

HARİTA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

OLAY SONRASI HEYELANLARIN HARİTALANMASINDA DEĞİŞİM
SAPTAMA YAKLAŞIMLARININ PERFORMANSLARININ TEST
EDİLMESİ

YÜKSEK LİSANS

Enbiya ÇİÇEK

NİSAN-2023
GÜMÜŞHANE



T.C.

**GÜMÜŞHANE ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ**

HARİTA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**OLAY SONRASI HEYELANLARIN HARİTALANMASINDA DEĞİŞİM
SAPTAMA YAKLAŞIMLARININ PERFORMANSLARININ TEST
EDİLMESİ**

**TESTING THE PERFORMANCES OF CHANGE DETECTION
APPROACHES IN MAPPING POST-EVENT LANDSLIDE**

YÜKSEK LİSANS

Enbiya ÇİÇEK

**NİSAN-2023
GÜMÜŞHANE**



T.C.

**GÜMÜŞHANE ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ**

HARİTA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**OLAY SONRASI HEYELANLARIN HARİTALANMASINDA DEĞİŞİM
SAPTAMA YAKLAŞIMLARININ PERFORMANSLARININ TEST
EDİLMESİ**

**TESTING THE PERFORMANCES OF CHANGE DETECTION
APPROACHES IN MAPPING POST-EVENT LANDSLIDE**

YÜKSEK LİSANS

Enbiya ÇİÇEK

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Resul ÇÖMERT

**NİSAN-2023
GÜMÜŞHANE**

BİLİMSEL ETİĞE UYGUNLUK BEYANI

Yüksek Lisans Tezi olarak hazırlamış olduğum **“Olay Sonrası Heyelanların Haritalanmasında Değişim Saptama Yaklaşımlarının Performanslarının Test Edilmesi”** isimli bu tezimin, tamamen kendi çalışmam olduğunu, her alıntıya kaynak gösterdiğimi, alıntı yaptığım tüm çalışmaları kaynakçada belirttiğimi ve Gümüşhane Üniversitesi'nin lisanslı kullanıcısı olduğum intihal yazılım programı ile Lisansüstü Eğitim Enstitüsü'nün belirlediği kısıtlara uygun olarak raporladığımı taahhüt ederim. Tezimin kâğıt ve elektronik kopyalarının Gümüşhane Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü arşivinde saklanmasına izin verdiğimi onaylarım.

Lisansüstü Eğitim ve Öğretim Yönetmeliği'nin ilgili maddeleri uyarınca gereğinin yapılmasını arz ederim.

19/04/2023

.....
Enbiya ÇİÇEK

TEŞEKKÜR

Çalıőmamın konusunun belirlenmesinde bana yardımcı olan ve çalışma sürecinin her aşamasında değerli bilgilerini ve zamanını benden esirgemeyen, çalıőmamla yakından ilgilenen baőta değerli danışman hocam Dr. Öğr. Üyesi Resul ÇÖMERT'e, çalışmam boyunca beni yalnız bırakmayan kıymetli eőim Kübra ÇİÇEK'e , bu yoğun süreçte her daim sabırla bana destek veren aileme ve çok değerli annem Havva ÇİÇEK'e teşekkür ediyorum.

Enbiya ÇİÇEK
GÜMÜŞHANE – 2023

ÖZET

Heyelanlara yönelik duyarlılık, tehlike ve risk haritalarının oluşturulması için güvenilir heyelan envanter haritalarına ihtiyaç duyulmaktadır. Karadeniz Bölgesi gibi şiddetli yağışların olduğu coğrafyalarda genellikle bir olay sonrası çok sayıda sığ heyelan meydana gelmektedir. Bu sığ heyelanlar iklim koşullarından dolayı zamanla bitki örtüsü yeşillenmekte ve heyelan olan bölgeler kapanmaktadır. Bundan dolayı bu bölgelerde doğru ve güvenilir heyelan envanterlerinin oluşturulması için hızlı çözümler sunan yöntemlere ihtiyaç duyulmaktadır. Son yıllarda gelişen uydu teknolojileri ve bu teknolojilerden elde edilen zamansal ve mekânsal olarak yüksek çözünürlüklü görüntüler heyelanların haritalanmasında etkili çözümler sunmaktadır. Bu tez çalışmasında zamansal olarak bir gün, mekânsal olarak 3 m çözünürlükte görüntü sunan PlanetScope uydularının görüntüleri kullanılarak olay sonrası hızlı heyelan haritalamada değişim saptama yaklaşımlarının başarısı test edilmektedir. Bu kapsamda Giresun ilinin Espiye ilçesine bağlı Eriçek köyü ve çevresinde 22 Ağustos 2020 tarihinde şiddetli yağışların tetiklediği heyelanların değişim saptama ile haritalanması gerçekleştirilmektedir. Değişim saptama işleminde Temel Bileşenler Analizi (PCA), Bağımsız Bileşenler Analizi (ICA), Değişim Vektör Analizi (CVA) ve Normalize Edilmiş Fark Bitki İndeksi (NDVI) yöntemlerine göre değişim belirleme haritaları üretilmiştir. Üretilen haritalarda heyelan ve heyelan olmayan alanların belirlenmesi için literatürde kullanılan otomatik eşik belirleme yöntemleri Kittler, Otsu, Tsai ve Kapur yöntemleri ve manuel eşik belirleme yaklaşımı uygulanmıştır. Elde edilen heyelanların doğrulukları çalışma sahasında uzman tarafından görsel yorumlama ile üretilen heyelanlarla karşılaştırılmıştır. Karşılaştırma sonucunda yağışların tetiklediği heyelanların haritalanmasında NDVI yaklaşımının ve Tsai eşik belirleme yönteminin daha doğru sonuç verdiği görülmüştür. Ayrıca çalışma kapsamında kullanılacak PlanetScope takım yıldızı uydu görüntülerinin hızlı heyelan haritalamada kullanılabilirliği ortaya konulmuştur.

Anahtar Kelimeler: CVA, eşik belirleme, heyelan, ICA, NDVI, PCA

SUMMARY

Reliable landslide inventory maps are required to create susceptibility, hazard, and risk maps for landslides. In geographies with heavy rainfall, such as in the Black Sea Region, many shallow landslides usually occur after an event. Owing to the climatic conditions of these shallow landslides, the vegetation becomes greener over time, and the landslide areas are closed. Therefore, methods that offer fast solutions are required to create accurate and reliable landslide inventories in these regions. In recent years, satellite technologies and the temporal and spatial high-resolution images obtained from these technologies have offered effective solutions for mapping landslides. In this thesis, the success of change detection approaches in post-event rapid landslide mapping is tested using PlanetScope satellite images, which provide a one-day temporal and spatially 3 m resolution image. In this context, the mapping of landslides triggered by heavy rains on August 22, 2020, in Eriçek village of Espiye district of Giresun province and its surroundings was carried out with change detection. In the change detection process, maps were produced according to Principal Component Analysis(PCA), Independent Component Analysis(ICA), Change Vector Analysis(CVA) and Normalized Difference Crop Index (NDVI) methods. The automatic threshold determination methods used in the literature, Kittler, Otsu, Tsai, and Kapur methods, and a manual threshold determination approach were applied to determine the landslide and non-landslide areas in the produced maps. The accuracy of the landslides was compared with that of the landslides produced by visual interpretation by an expert in the study area. As a result, he recorded the more accurate results of the NDVI approach and the Tsai determination method for mapping rain-induced landslides. In addition, the usability of the PlanetScope satellite images used within the scope of the study in rapid landslide mapping has been demonstrated.

Keywords: CVA, threshold determination, landslide, ICA, NDVI, PCA

İÇİNDEKİLER

KABUL VE ONAY	III
TEŞEKKÜR.....	V
ÖZET.....	VI
SUMMARY	VII
İÇİNDEKİLER	VIII
TABLolar DİZİNİ	X
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	XI
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	XIII
1. Giriş.....	1
1.1.Önceki Çalışmaların Genel Değerlendirilmesi	3
1.2.Problemin Tanımı ve Çalışmanın Amacı	6
1.3.Araştırma Soruları	7
1.4. Yöntem.....	7
2. GENEL BİLGİLER	9
2.1.Heyelanlara Ait Temel Kavramlar	9
2.1.1. Heyelanların Sınıflandırılması	9
2.1.2. Heyelan Envanter Haritaları.....	10
2.2. Metodoloji	11
2.2.1. Uzaktan Algılamaya Ait Temel Bilgiler	11
2.2.2. Uzaktan Algılamada Bilgi Çıkarma	13
2.2.2.1. Ön işleme	13
2.2.2.2. Bilgi Çıkarma Yaklaşımları	14
2.2.3. Uzaktan Algılamada Değişim Saptama Yöntemleri	17
2.2.3.1. Temel Bileşenler Analizi.....	18
2.2.3.2. Bağımsız Bileşenler Analizi.....	19
2.2.3.3. Değişim Vektör Analizi	20
2.2.3.4. NDVI Analizi	20
2.2.3.5. Eşik Değerinin Seçimi.....	20
2.2.3.6. Doğruluk Analizi.....	21
2.3. Çalışma Alanı ve Veri Seti.....	22
2.3.1. Çalışma Alanı.....	22
2.3.1.1. Çalışma Sahasının Jeolojik ve Jeomorfolojik Özellikleri	24

2.3.1.2. Çalışma Sahasının İklim ve Bitki Örtüsü.....	24
2.3.1.3. Giresun İlinde Yaşanılan Heyelanlar	24
2.3.1.4. Giresun İli 22 Ağustos 2020 Tarihli Heyelanları Olay Bilgisi	25
2.3.2. PlantScope Uydu Sistemi	26
3. YAPILAN ÇALIŞMALAR	28
3.1. Verilerin Analize Hazırlanması	28
3.2. Heyelanların Haritalanması.....	31
3.2.1. PCA Yöntemi ile Heyelan Haritalama	31
3.2.2. ICA Yöntemiyle Değişim Belirleme.....	36
3.2.3. CVA ile Heyelanların Haritalanması	41
3.2.4. NDVI Analizi ile Değişim Belirleme.....	44
4. BULGULAR VE TARTIŞMALAR	46
5. SONUÇ	55
KAYNAKÇA.....	57
ÖZGEÇMİŞ	62

TABLolar DİZİNİ

Tablo 1. Heyelan nedenleri (URL-2, 2004).	1
Tablo 2. Heyelanların sınıflandırılması (Varnes, 1978).....	9
Tablo 3. Heyelanların alana dayalı sınıflandırılması	10
Tablo 4. Heyelanların derinliklerine göre sınıflandırılması.....	10
Tablo 5. Planet uydularının teknik özellikleri (URL-5, 2022).....	26
Tablo 6. PlanetScope uydu görüntüsü indirme seçenekleri (URL -5).	27
Tablo 7. Çalışmada kullanılan uydu görüntüleri.....	28
Tablo 8. Doğruluk analizi sonuçları.....	46
Tablo 8. (Devamı)	47

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1. Tez çalışması kapsamında uygulanan iş akışı.....	8
Şekil 2. Uzaktan algılama çalışma prensibi (Enerji kaynağı ve aydınlatma(A), ışınım ve atmosfer(B), hedef ile etkileşim(C), enerjinin algılayıcı tarafından kaydedilmesi(D), verinin iletimi, alınması ve işlenmesi(E), yorumlama ve analiz (f), uygulama (g).....	12
Şekil 3. Araştırma sahasının genel görünümü.....	23
Şekil 4. Espiye ilçesi Eriçek köyünde etkili olan heyelan (URL-7, 2020)	25
Şekil 5. Görsel yorumlama tekniğiyle heyelanların haritalanması	29
Şekil 6. Çalışma sahasındaki dere yataklarının filtrelenmesi	30
Şekil 7. Mozaikleme işlemiyle oluşturulan yeni görüntüden oluşturulan PCA, PCA1, PCA2, PCA3 ve PCA4.	32
Şekil 8. PCA1, PCA2, PCA3 ve PCA4'ün Kapur yöntemiyle eşikleme sonucu oluşan yeni görüntüleri.	33
Şekil 9. PCA1 , PCA2, PCA3 ve PCA4'ün Kittler yöntemiyle eşikleme sonucu oluşan yeni görüntüleri.	34
Şekil 10. PCA1, PCA2, PCA3 ve PCA4'ün Otsu yöntemiyle eşikleme sonucu oluşan yeni görüntüleri.	35
Şekil 11. PCA1 , PCA2, PCA3 ve PCA4'ün Tsai yöntemiyle eşikleme sonucu oluşan yeni görüntüleri.	36
Şekil 12. Mozaikleme yapılmadan olay öncesi ve sonrası görüntülerden üretilen PCA3' ün farklı alındıktan sonra Otsu yöntemiyle eşiklenmesi sonucu oluşan görüntü.	37
Şekil 13. ICA1, ICA2, ICA3 ve ICA4'ün Kapur yöntemiyle eşiklenmesi sonucu oluşan yeni görüntüleri.	38
Şekil 14. ICA1 , ICA2, ICA3 ve ICA4'ün Kittler yöntemiyle eşiklenmesi sonucu oluşan yeni görüntüleri.	39
Şekil 15. ICA1 , ICA2, ICA3 ve ICA4'ün Otsu yöntemiyle eşiklenmesi sonucu oluşan yeni görüntüleri.	40
Şekil 16. ICA1, ICA2, ICA3 ve ICA4'ün Tsai yöntemiyle eşiklenmesi sonucu oluşan yeni görüntüleri.....	41
Şekil 17. Değişim vektör analizi sonucu oluşan görüntünün Kapur, Kittler, Otsu ve Tsai yöntemleriyle eşiklenmesi sonucu oluşan görüntüler.	43

Şekil 18. NDVI analizi sonucu oluşan görüntünün Kapur, Kittler, Otsu ve Tsai yöntemleriyle eşiklenmesi sonucu oluşan görüntüler ve dNDVI görüntüsü. ...	45
Şekil 19. Değişim Vektör Analizi sonuç haritası	48
Şekil 20. dNDVI sonuç haritası	49
Şekil 21. Bağımsız Bileşenler Analizi sonuç haritası.	50
Şekil 22. Temel Bileşenler Analizi sonuç haritası.	51
Şekil 23. Harita Genel Müdürlüğü'nden (sol), PlanetScope (sağ) temin edilen ortofotolar ile heyelan alan karşılaştırması.	53

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

PCA	: Principal Component Analysis (Temel Bileşenler Analizi)
ICA	: Independent Component Analysis (Bağımsız Bileşenler Analizi)
dNDVI	: Difference Normalized Difference Vegetation Index
NDVI	: Normalized Difference Vegetation Index (Normalize Edilmiş Fark Bitki Endeksi)
CVA	: Change Vector Analysis (Değişim Vektör Analizi)
DEM	: Digital Elevation Model (Sayısal Yükseklik Modeli)
m	: Metre
km	: kilometre
ör.	: Örnek
v.d.	: Ve diğerleri, ve devamı
vb.	: Ve benzeri

1. GİRİŞ

Afet kavramı genel anlamda doğa veya insan kaynaklı olarak gelişebilen, çevre veya toplumu yakından ilgilendiren olaylar olarak tanımlanabilir. Heyelanlar insan faktörü dışında doğanın etkisiyle oluşan bir afet türüdür. Heyelanlar; toprak, moloz ve kaya gibi maddelerin yamaç aşağıya doğru ilerlemesinin bir sonucu olarak tanımlanabilir (Cruden, 1991). Heyelanlar insanoğlunu etkileyen afetlerin ilk sıralarında yer almaktadırlar. Dağlık bölgelerde meydana geldiklerinde ise can ve mal kayıpları ile karşımıza çıkmaktadır. Heyelanlar sadece yapılarda zarara sebep olmaz bunun yanında yollara, tarım alanlarına ve ormanlık alanlara da zarar veriler (Aghlmand vd., 2020).

Heyelanlara neden olan etmenlerin başında insan, jeolojik etmenler, jeomorfolojik etmenler ve fiziksel etmenler gelmektedir. Tablo 1’de heyelanlara neden olan etmenler ve alt nedenleri verilmiştir (URL-2, 2004).

Tablo 1. Heyelan nedenleri (URL-2, 2004).

Heyelan Nedenleri	Alt Nedenler
İnsan Nedenleri	➤ Sulama
	➤ Ormansızlaştırma
	➤ Şev eteklerinin kazılması
	➤ Şev üstüne aşırı yük bindirme
	➤ Madencilik faaliyetleri
	➤ Yapay titreşim
	➤ Su sızıntıları
Fiziksel Nedenler	➤ Şişme
	➤ Donma-çözünme
	➤ Şiddetli ani yağış
	➤ Uzun süreli yağış
	➤ Ani kar erimesi
	➤ Taşkınlar
	➤ Depremler
Jeomorfolojik Nedenler	➤ Buzul geri tepmesi
	➤ Tektonik veya volkanik yükselme
	➤ Donma ve çözülme ayrışması
	➤ Genleşme ve büzüşmeye bağlı ayrışma
	➤ Yeraltı erozyonu
	➤ Biriktirme yüklenme eğimi veya tepesi
Heyelan Nedenleri	Alt Nedenler
Jeolojik Nedenler	➤ Malzemelerin gerginliğe veya geçirgenliğe dayanıklılık farkı
	➤ Zayıf veya hassas malzemeler
	➤ Deforme olmuş veya ezilmiş malzemeler
	➤ Yıpranmış malzemeler

Dünyada 3.7 milyon km²'lik alan heyelana maruz kalmaktadır. Dünyanın toplam nüfusunun yüzde beşine denk gelen ortalama 300 milyona yakın kişi bu bölgelerde yaşamaktadır (Dilley, 2005). Avrupa ve Merkezi Asya ölçeğinde inceleme yapıldığında ise en fazla heyelana maruz kalan insan sayısının Türkiye'de olduğu görülmektedir (Benson ve Clay, 2004).

1950-2019 yılları arasında geçen 70 yıllık süre incelendiği zaman; Trabzon 1.673 heyelanla ilk sırada yer alırken ortalama yılda 24 heyelan olayı yaşanmıştır. Ardından 1.319 heyelan olayıyla Rize ve 915 heyelan olayıyla Giresun gelmektedir. Bu dört ilde yaklaşık 70 yıllık süreçte ülkemizdeki heyelanların % 17'sini oluşturmaktadır. Başka bir ifadeyle Türkiye genelindeki heyelanların yaklaşık altıda biri bu illerde meydana gelmektedir (URL-1, 2019)

Türkiye genelinde 1929-2018 yılları arası toplam kayıtlara geçen 357 ölümcül heyelan olayı yaşanmıştır. Yaşanılan bu heyelanların 141 tanesi yani %39,5'i Karadeniz bölgesinde meydana gelmiştir. Yani Karadeniz bölgesi en fazla ölümcül heyelan olayının yaşandığı bölgedir. Heyelan olaylarının en fazla yaşandığı Karadeniz bölgesi aynı zamanda en fazla heyelanların neden olduğu ölümlerinde geçtiği bölgedir. Toplam 1291 ölümlle sonuçlanan heyelan olaylarının 730 kişinin ölümü yani %56,5' yine Karadeniz bölgesinde gerçekleşmiştir (Fidan ve Görüm, 2019).

Karadeniz Bölgesi'nin arazi yapısı incelendiğinde dik ve engebeli arazi yapısına sahip olduğu görülmektedir. Kayaç yapısının zayıflığı iklimle birleştiğinde hızlı bir şekilde ayrışmayı sağlamaktadır. Şiddetli yağışların olması, eğim, bitki örtüsündeki değişim heyelan oluşmalarına zemin hazırlamaktadır. Bu sebeplerden dolayı Doğu Karadeniz Bölgesi'nde sıklıkla heyelanlar yaşanmaktadır (ÇEM, 2016).

Genel itibariyle Doğu Karadeniz Bölgesi'ndeki heyelanlar incelendiğinde heyelan yaşanmasının nedenleri;

- Aşırı yağışlar ve toprak suyundaki artışlar
- Yeraltı suyu tablasındaki ani değişimler
- Hızlı kar erimeleri
- Eğimin fazla olmasından dolayı derelerin akış hızı ve debisinin hızlı bir şekilde artması
- Zayıf kayaç yapısı ve iklimden dolayı kayalarda yüksek bir şekilde kimyasal ayrışma olması
- Bitki örtüsünün insan faktörü tarafından tahrip edilmesi
- Çay ve fındık bahçelerindeki konut yeri kazıları
- Orman alanlarının tarım yapılmak amacıyla kesilmesi

- Atık alt ve üst yapı sularının araziye önlemsiz bırakılması
- Taş ocağı veya yapı yapılması için yapılan patlatma etkileri

Yukarıdaki nedenler Doğu Karadeniz Bölgesi'ndeki heyelanların başlıca nedenleri olarak gösterilebilir (ÇEM, 2016).

Heyelan bölgelerinde ortaya çıkabilecek maddi manevi zararların asgari düzeye indirilmesi amacıyla bölgeye uygulanacak her türlü proje ve plana altlık oluşturmak amacıyla heyelan envanter haritaları oluşturulması gerekmektedir. Heyelan envanter haritalarının sağlıklı bir şekilde oluşturulması için ilk olarak heyelanların tam yerini ve alanını gösteren heyelan envanter haritaları üretilmelidir(Lahousse vd., 2011).

Heyelan haritalama işlemlerine yönelik bugüne kadar fazla sayıda yöntem uygulanmış ve geliştirilmiştir. Bahsedilen yöntemlerden tez konusu ile ilgili olanlar 1.1'de incelenmiştir.

1.1. Önceki Çalışmaların Genel Değerlendirilmesi

Tez çalışmasının bu bölümünde heyelan haritalamada kullanılan yöntemler ve daha önce bu alanda yapılmış çalışmalardan bahsedilmektedir. Ancak daha önce yapılmış heyelan envanter haritası üretilmesi amacıyla değişim saptama çalışmalarından bahsedilirken tez çalışmasında uygulanan yöntemlere yönelik olan çalışmalara ağırlık verilmiştir.

Heyelan envanter haritaları yenilikçi ve geleneksel yöntemler kullanılarak üretilmektedir (Guzzetti vd., 2012). Heyelan envanter haritalama işlemleri yapılırken kullanılan geleneksel yöntemler arasında jeomorfolojik alan haritalaması (Brunsdan, 1985) ve stereoskopik hava fotoğraflarının görsel yorumlanması yer alır (Rib ve Liang, 1978). Jeomorfolojik heyelan envanter haritalama işlemi; heyelanların boyutunun büyük olması, kontrol eden kişinin bakış açısı gibi nedenlerden dolayı heyelanın tüm bölümlerini görmek için yetersiz kalabilmektedir (Guzzetti vd., 2012).

Heyelanların haritalanmasında heyelan araştırmacılarının en iyi yardımcısı hava fotoğraflarıdır (Brunsdan, 1993) Hava fotoğrafları geçmiş yıllardan günümüze kadar heyelanların tanınması, anlaşılması, yorumlanması ve haritalanması için en yaygın veriler olarak kullanılmaktadır. Hava fotoğraflarının görsel yorumlanması ile üretilen heyelan haritaları günümüzde hala aktif olarak kullanılmasına rağmen, haritalama için harcanan zaman ve bu görüntülerin olay sonrası temininde yaşanan zorluklar yöntemin dezavantajlarını oluşturmaktadır (Guzzetti vd., 2012).

Günümüzde gelişen uydu sistemleri ve uydu görüntülerinin farklı yaklaşımlarla analizi ile heyelanların haritalanması heyelan envanterlerinin hızlı oluşturulmasına yeni

bir yaklaşım kazandırmıştır. Uydu görüntülerinin piksel tabanlı veya nesne tabanlı sınıflandırması ile ya da değişim saptama yaklaşımları ile heyelanların haritalanması günümüzde mümkündür (Borghuis vd., 2007). Tez konusuyla ilgili değişim saptama ile heyelan haritalaması yapan çalışmaların literatür bilgisi aşağıda kısaca özetlenmiştir.

(Mondini vd., 2011) Yapmış oldukları çalışmada çalışma alanı olarak 1 Ekim 2009 tarihinde İtalya'nın Sicil Adası'nda fırtına ve yağışlar sonucu heyelanlar oluşmuştur. Olay öncesi ve sonrası QuickBird uydu görüntüleri altlık olarak kullanmıştır. PCA, ICA, NDVI ve Spektral Açısının Hesaplanması yöntemlerini kullanarak bir yarı otomatik heyelan belirleme yöntemi geliştirmişlerdir.

(Aksoy ve Ercanoğlu, 2012) heyelan alanları tespit etmek için Landsat uydu görüntülerini kullanarak bir segmentasyon süreci geliştirdi ve yapmış oldukları analizlerde NDVI, eğim açısı, asimetri, eğrilik, ortalama bant mavisini, şekil indeksi, parlaklık, uzunluk/genişlik oranı, gri seviye ile birlikte oluşum matrisi ve kızıl ötesi bandın ortalama farkını dikkate almışlardır.

(Rau vd., 2014) Yapmış oldukları çalışmada FORMOSAT-2 uydu görüntülerini kullanmışlardır. Çok düzeyli bölümlenme ve hiyerarşik bir semantik ağ kullanarak heyelan alanları belirlemek için bir şema geliştirmek amacıyla nesne yönelimli bir analize sahip dijital yükseklik modeli (DEM) kullanmışlardır. Eşik değerlerini ise eğitim örneklerinden istatistiksel tahminle yarı otomatik olarak belirlediler.

(Mwaniki vd., 2015) Yapmış oldukları çalışmada çalışma alanı olarak Kenya'da yağışların tetikleyip heyelana neden olduğu Murang ve Nyeri adında dağlık bir bölge belirlenmiştir. Landsat olay öncesi ve olay sonrası 1995-2000 yılları arası görüntülerden yararlanarak yapmış oldukları çalışmada Gelişmiş Normalleştirilmiş Fark Orta Kızılötesi Spektral İndeksine (NDMIDR), ICA ve PCA'yı entegre ettiklerinde daha iyi sonuç aldıklarını gözlemlemişlerdir.

(Pour ve Hashim, 2017) Yüksek potansiyel teşkil eden alanların ve hassas bölgelerin tanımlanması için jeolojik yapısal ve topoğrafik özelliklerin haritalanması amacıyla Landsat Operasyonel Arazi Görüntüleyici (OLI) ve Faz Dizi tipi L-bandı Sentetik Açıklıklı Radar/Gelişmiş Kara Gözlem Uydusu (PALSAR-2/ALOS-2) verilerini kullanarak jeolojik yapıları ve çizgisel, drenaj desenleri litolojinin karakterizasyonlarını analiz ederek heyelan duyarlılık haritası oluşturmuşlardır. (Hashim vd., 2018) Yaşanılan bir sel olayından sonra yapmış oldukları çalışmada olay öncesi ve olay sonrası Landsat OLI uydu görüntülerini kullanarak bitki örtüsü piksel verilerindeki değişiklikleri tespit ederek yaşanan heyelan alanlarını belirlemişlerdir.

(Si vd., 2018) Yapmış oldukları çalışmada bölgesel ölçekte heyelanlar için yarı otomatik bir algılama yöntemi olan değişim vektörü analizi (CVA) yöntemini Landsat OLI görüntülerine uygulamışlardır. Sonrasında arazideki değişimleri ve olası heyelan alanlarını belirlemek için görüntü farkını istatistiksel parametrelerle eşiklemişlerdir. Heyelan olabilecek bölgelere dayalı olarak, topografik, jeomorfolojik, jeolojik ve arazi örtüsü gibi faktörlerin dikkate alındığı bir heyelan duyarlılık analizi yapmışlardır. Yapılan çalışma heyelan olasılıklarını göstermiş ve heyelanların tanımlanması içinde bir kriter sağlamıştır.

(Ramos-Bernal vd., 2018) Yapmış oldukları çalışmada çalışma alanı olarak Eylül 2013 olaylarının yaşandığı Meksika, Guerrero eyaletinde meydana gelen heyelan alanlarını belirlemişlerdir. Olay öncesi ve sonrası Aster uydu görüntülerini kullanmışlardır. Değişim fark görüntüsünü elde etmek için NDVI verilerine lineer regresyon (LR), Ki-Kare dönüşümü ve değişim vektör analizini uygulamışlardır. NDVI verilerini kullanan LR'nin heyelan tespitinde en iyi sonuç verdiğini gözlemlemişlerdir.

(Lu vd., 2019) Yapmış oldukları çalışmada heyelanları üç farklı kütle hareketi olarak sınıflandırmışlardır. Bu kütle hareketleri kaymalar, akışlar, düşmeler olarak sınıflandırılabilir. Bu kütle hareketlerine örnek olması amacıyla üç farklı bölgede yaşanan olaylarla ilgili analizler yapmışlardır. Bu olaylar; yağışların tetiklediği 1 Ekim 2009 Messina olayı, tayfunun tetiklediği 7 Ağustos 2009 Tayvan olayı ve depremin tetiklediği 8 Ağustos 2017 Jiuzhaigou olayıdır. Yapılan çalışmada temel bileşenler analizi (PCA), bağımsız bileşenler analizi (ICA), normalize edilmiş fark bitki endeksi analizi (NDVI) ve değişim vektör analizi (CVA) Markov rastgele alan (MRF) ile entegre edilerek Landsat-8 ve Sentinel-2 olay öncesi ve olay sonrası uydu görüntüleri üzerinde test edilmiştir. Sonuç olarak NDVI, PCA, ICA tabanlı yaklaşımların CVA tabanlı yaklaşımlara oranla çok daha iyi performans sergilediği görülmüştür.

(Lu vd., 2022) Yapmış oldukları çalışmada Hindistan Kodagu Bölgesi'nde Ağustos 2018 şiddetli yağışları sonucunda ortaya çıkan heyelanların haritalanması işlemini gerçekleştirmişlerdir. Haritalama işleminde PlanetScope uydularından elde edilen olay öncesi ve sonrası görüntüleri kullanmışlardır. Haritalama yaklaşımı olarak PCA, ICA, CVA tabanlı yaklaşımları uygulamışlardır. Elde edilen sonuçlar irdelendiğinde CVA tabanlı yaklaşımın en başarısız olduğu, en iyi sonucun ICA tabanlı yaklaşımdan elde edildiği görülmüştür.

Temel bileşenler analizi, bağımsız bileşenler analizi, değişim vektör analizi ve NDVI analizleri gibi güncel yaklaşımlar kullanarak heyelan alanlarının belirlenmesi

amacıyla kullanılmasının sürece büyük katkı sağlayacağı yapılan çalışmalarda izlenilmiştir.

1.2. Problemin Tanımı ve Çalışmanın Amacı

Karadeniz Bölgesi'nde geçmiş yıllardan beri iklim ve arazi yapısı, bilinçsiz arazi kullanımı gibi faktörlerden kaynaklı olarak heyelan olayları yaşanmaktadır. Bölgenin arazi yapısı, bitki örtüsü, iklimi gibi faktörler yaşanan heyelanların haritalanmasını zorlaştırmaktadır. Heyelanların haritalanmasında yersel yöntemler uzun zaman almaktadır. İklim ve bitki örtüsü etkisiyle arazinin hızlıca yeşermesi yaşanan heyelan olaylarının haritalanmasını zorlaştırmaktadır. Bundan dolayı heyelan haritalama işlemi uzaktan algılama yöntemlerinden yararlanıldığında daha etkili ve hassas olmaktadır (Lu vd., 2022). Genellikle uzmanlar heyelan haritalamada hava fotoğrafları veya uydu görüntülerinden elde edilen verileri görsel olarak yorumlamayı tercih etmektedirler. Bu şekilde yapılan işlemlerin de uzun uğraşlar gerektirdiği kaçınılmaz bir gerçek olarak karşımıza çıkmaktadır.

Karadeniz Bölgesi'nde bir heyelan olayı sonrası ortaya çıkan heyelan alanlarının hızlı bir şekilde haritalanması olay anında acil müdahale ve kurtarma çalışmaları için oldukça önemlidir. Bunun yanında Karadeniz Bölgesi'nde genellikle sığ heyelanlar (0-5 m derinliğinde) oluşmaktadır. Heyelan alanı iklimsel koşullardan dolayı hızlıca yeşillenmekte ve kısa süre içinde gerek yersel olarak gerek de uydu görüntülerinden ayırt edilemez hale gelmektedir. Bundan dolayı bir olay sonrası alanda bulunan heyelanların hızlıca envanterlerinin oluşturulması büyük önem arz etmektedir.

Son yıllarda uzaktan algılama uydularında zamansal ve mekânsal çözünürlüğü yüksek olan küp uydu sistemleri kullanılmaya başlanmıştır. Bu sistemlerinden birisi olan PlanetScope uyduları 3 m mekânsal ve günlük zamansal çözünürlüğe sahip uydulardır. Bu uydu sistemlerinin zamansal çözünürlüğünün yüksek olması nedeniyle PlanetScope uydularının özellikle Karadeniz Bölgesi koşullarındaki heyelanların haritalanmasındaki başarısının araştırılması gerekmektedir.

Literatür incelendiğinde PlanetScope görüntüleri değişim saptama yaklaşımları ile heyelan haritalama çalışmalarında kullanılmıştır. Ancak haritalama sürecini otomatize etmek için değişim saptama ile elde edilen haritalardan heyelanların tespit edilmesinde otomatik eşik değeri belirlenmesine ihtiyaç duyulmaktadır.

Bu çalışmanın iki temel amacı bulunmaktadır. Bunlardan birincisi, zamansal ve mekânsal yüksek çözünürlüğe sahip küp takım yıldızı uydu görüntülerinden farklı değişim saptama yaklaşımları ile elde edilecek görüntülerin Karadeniz Bölgesi

koşullarında yağışların tetiklediği heyelanların haritalanmasındaki başarısının araştırılmasıdır. İkincisi değişim saptama görüntülerine uygulanacak farklı otomatik eşik belirleme yöntemlerinin heyelanların haritalanmasındaki başarısının test edilmesidir.

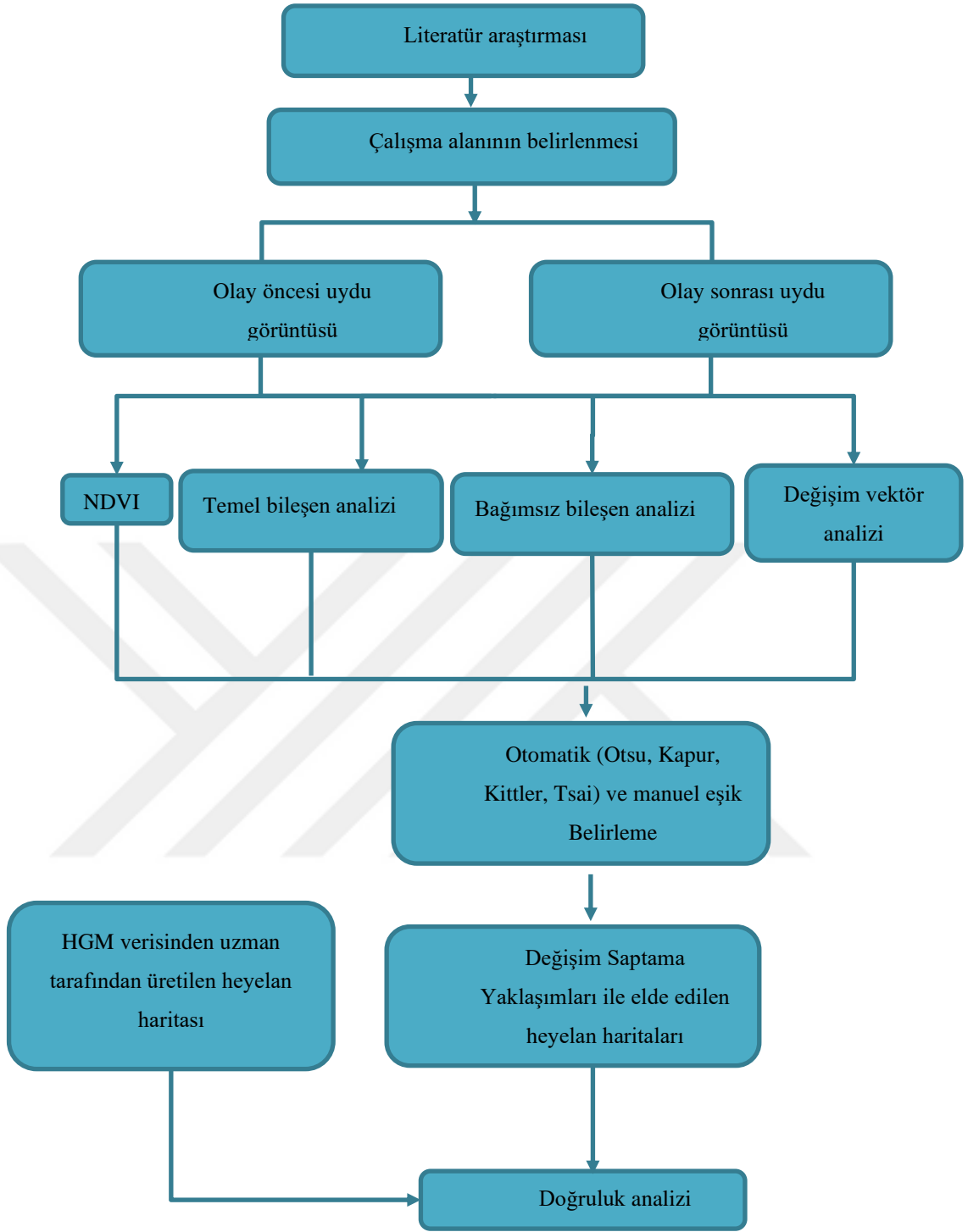
1.3. Araştırma Soruları

Tez kapsamında cevap aranan sorular aşağıdaki gibi özetlenmiştir.

- PlanetScope uydularının Karadeniz Bölgesi koşullarında heyelan haritalamada kullanılabilirliği, avantajları ve kısıtlayıcı faktörler nelerdir?
- PlanetScope uydu görüntüleri ile elde edilen değişim saptama yaklaşımlarından hangisi heyelanların tespit edilmesinde daha etkilidir?
- Değişim saptama görüntülerine uygulanacak farklı otomatik eşik belirleme yöntemlerinin heyelanların haritalanmasındaki başarısı nasıldır?

1.4. Yöntem

Çalışmanın yürütülmesinde uygulanan iş akışı Şekil 1’de detaylı olarak gösterilmektedir. Çalışmanın ilk aşamasında literatür taraması yapılarak, problem tanımlanmış ve çözüm oluşturacak sorular ortaya konulmuştur. Araştırmanın ikinci aşamasında ise araştırma sahası ve araştırma sahasında çalışmanın yapılacağı alanlar belirlenmiştir. Karadeniz Bölgesi’nde yakın zamanda meydana gelen heyelanlar araştırılıp Giresun ili Espiye ilçesi Eriçek köyünde meydana gelen heyelanlar tez kapsamında yapılacak çalışma için uygun bulunmuştur. Çalışma kapsamında temel bileşenler analizi, bağımsız bileşenler analizi, değişim vektörü analizi, NDVI analizleri olmak üzere dört farklı değişim saptama yöntemi kullanılmıştır. Bu değişim saptama yöntemlerine ise Otsu, Kapur, Kittler, Tsai otomatik eşik belirleme yöntemleri uygulanmıştır. Elde edilen sonuçlar uzman tarafından çizilen heyelanlarla karşılaştırılarak doğruluk analizleri yapılmıştır.



Şekil 1. Tez çalışması kapsamında uygulanan iş akışı

2. GENEL BİLGİLER

Bu bölümde çalışmanın alt yapısını oluşturan genel bilgilere yer verilmiştir. Bu kapsamda heyelanlara ait temel kavramlar, çalışmada uygulanan metodoloji, çalışma sahası ve kullanılan veriler hakkında bilgiler verilecektir.

2.1. Heyelanlara Ait Temel Kavramlar

Heyelanlar eğimli araziye sahip alanlarda yer çekiminin de etkisiyle yamaç aşağıya doğru hızı fark etmeksizin moloz, toprak veya taş yığınlarının hareket etmesine denir. Akıntının meydana geldiği olay yerindeki kütlelerin etrafındaki kütleden ayrıldığı olay olarak da tanımlanabilir. Çökme birikintisi daha küçük birimlere ayrılabilir veya tek parça halinde de kalabilir (Mc Carthy, 2010). Heyelan olayları yağışlar, depremler, kar erimesi gibi doğa kaynaklı olabildikleri gibi, mühendislik projeleri, arazi kullanım değişiklikleri gibi insan müdahaleleri ile de gerçekleşebilmektedir. Nedeni ne olursa olsun bir olay sonrası ortaya çıkan heyelanlar uzman kişiler tarafından kayıt altına alınarak belgelenmelidir. Bu belgeleme aşamasında heyelanın boyutları, sınırları, türü, heyelan sınıfı gibi bilgilere mutlaka yer verilmelidir.

2.1.1. Heyelanların Sınıflandırılması

Heyelanlar genel olarak etkinlik durumu, malzeme türü, derinlik, hareket tipi, hareket hızı gibi kriterlere bağlı olarak sınıflandırılabilir. Genelde kullanılan sınıflandırma ise (Varnes, 1978)'e ait malzeme cinsi ve hareket tipine göre sınıflandırmadır (Tablo 2).

Tablo 2. Heyelanların sınıflandırılması (Varnes, 1978).

HAREKET TİPİ	MALZEMENİN TÜRÜ			
	KAYAÇLAR	ZEMİNLER		
		İri Taneli	İnce Taneli	
Düşme	Kaya Düşmesi	Moloz Düşmesi	Zemin Düşmesi	
Devrilme	Kaya Devrilmesi	Moloz Devrilmesi	Zemin Devrilmesi	
Kaya	Dönel Yanal	Kaya Kayması	Moloz Kayması	Zemin Kayması
		Yayılma	Kaya Yayılması	Moloz Yayılması
Akma	Kaya Akması	Moloz Akması	Zemin Akması	
Karışık	İki veya daha fazla hareket türü			

Heyelanlara ait farklı bir sınıflandırma ise alanlarına göre heyelanları sınıflandırma işlemidir. Alanlarına göre heyelanların sınıflandırılması Tablo 3'te gösterilmiştir.

Tablo 3. Heyelanların alana dayalı sınıflandırılması

Açıklama	Alan
Çok Küçük	$<200 m^2$
Küçük	$200-2000 m^2$
Orta	$2000-20000 m^2$
Büyük	$20000-200000 m^2$
Çok Büyük	$200000-2000000 m^2$
Olağanüstü Büyük	$> 2000000 m^2$

Heyelanlara ait başka bir sınıflandırmadan bahsedilecek olunursa bu sınıflandırmanın çeşidi derinliklerine göre sınıflandırma değildir. Yüzeysel, derin, çok derin, sığ kaymalar olarak sınıflandırılan kaymalar bu sınıflandırma çeşidine girmektedir (Zaruba ve Mencl, 2014) (Tablo 4).

Tablo 4. Heyelanların derinliklerine göre sınıflandırılması

Hareketin Tipi	Hareketin maksimum derinliği
Çok sığ (yüzeysel) kaymalar	1,5 m'den küçük
Sığ (derin olmayan) kaymalar	1,5-5 m
Derin kaymalar	5-20 m
Çok derin kaymalar	20 m'den büyük

2.1.2. Heyelan Envanter Haritaları

Heyelanların heyelan duyarlılık, risk ve tehlikelerin belirlenmesi amacıyla heyelanların hareket tipleri, konumları, heyelan oluş tarihleri, boyutlarının kayıt altına alınma işlemine heyelan envanter haritaları denir (Guzzetti vd., 2012). Genel olarak heyelan envanter haritalarının üretilmesinde kullanılan yaklaşımlar aşağıdaki gibi özetlenmiştir (Çömert, 2018).

- Sayısal yükseklik modeli analizleri ve topografik haritaların yorumlanması,
- Uydu görüntülerinin üzerinde yapılan analizler,
- LİDAR (Light Detection and Ranging) verilerini kullanarak üretilen sayısal arazi model analizleri,
- Saha ve jeomorfolojik analizleri
- Harita arşivlerinden yararlanılarak yapılan analizler,
- Hava fotoğraflarının yorumlanması

Heyelan envanter haritaları üretilirken genellikle görsel yorumlama ve sayısallaştırma işlemi uygulanır. Ancak gelişen teknoloji heyelan envanter haritalarının oluşturulma işleminin yarı otomatik hale gelmesine fırsat tanımaktadır. Yakın zamanda LİDAR verileri, RADAR görüntüleri, uydu görüntüleri, insanlı veya insansız araçlardan üretilen hava görüntüleri yardımıyla yarı otomatik heyelan haritalama işlemlerinin yapıldığı görülmektedir (Höbling vd., 2012).

2.2. Metodoloji

Tez araştırması kapsamında heyelanların uzaktan algılama biliminde bilgi çıkarma yaklaşımlarından birisi olan değişim saptama yöntemlerinden yararlanılmıştır. Bu başlık altından kısaca uzaktan algılama bilimine ve temel işlem adımlarına değinilecek, ardından çalışmada kullanılan değişim saptama ve eşik belirleme yöntemleri anlatılacaktır.

2.2.1. Uzaktan Algılamaya Ait Temel Bilgiler

Uzaktan algılama, atmosferde ve dünyadaki değişikliklerin elektromanyetik sensörler yardımıyla ölçülüp izlenme işlemidir (Oppenheimer, 1999). Farklı bir yerde bulunan nesnelere tarafından yayılan ve yansıtılan elektromanyetik radyasyonun uydular üzerinde bulunan alıcılar tarafından ölçülmesine uzaktan algılama denir. Algılama işlemi aktif (radar) ve pasif olmak üzere iki şekilde olur. Dünya hareket ederken çevresinde bulunan algılayıcılar gelen verileri kaydedip belirli aralıklarla yeryüzünde bulunan istasyonlara gönderirler. Yeryüzünde gözlem istasyonlarına gönderilen veriler fotoğraf gibi olmayıp sayısal verilerden oluşmaktadır. Spektral ölçüm diye adlandırdığımız uydular üzerinde bulunan fazla sayıda alıcılar elektromanyetik enerji miktarını ölçmektedir. Gelen değerler sayısal olarak kaydedilir ve sıra ve sütun dizinlerine çevrilir. Her sayısal değer bir gri renk değerini ifade eder. Yani bu şekilde küçük resimler elde edilip bir araya geldiklerinde resmin tamamı ortaya çıkar. Bu resmin tamamını oluşturan yapılara piksel adı verilir. Algılayıcılar elektromanyetik spektrumun belli bölgesinden yansıyan enerjiyi ölçebilen bantlardan oluşur. Uzaktan algılama amaçlı kullanılan uydulardan elde edilen görüntüler kullanım amaçlarına göre farklı sayıda bantlardan oluşabilmektedir. Bu bantlarda yine uyduların tasarlanma amaçlarına göre farklı çözünürlük tiplerine sahip olabilirler. Uzaktan Algılamada 4 farklı çözünürlükten söz edilir. Bunlar mekânsal, spektral, radyometrik ve zamansal çözünürlüktür.

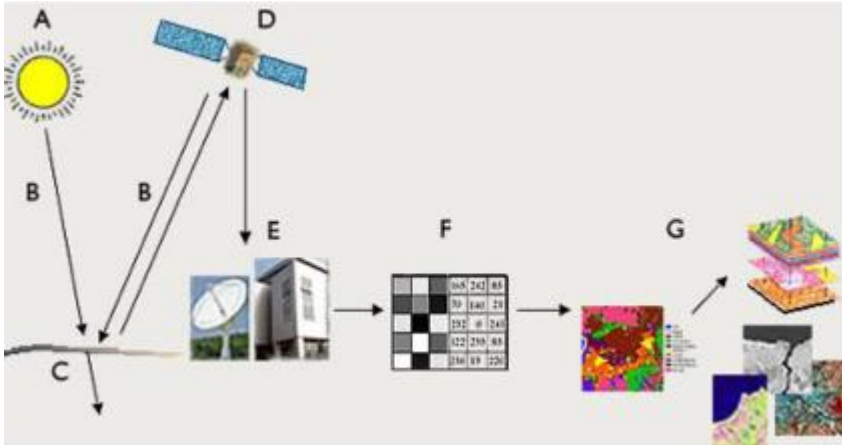
• Mekânsal çözünürlük: Yer örnekleme aralığı olarak da ifade edilebilir. Yani bir pikselin yeryüzünde kapladığı alandır. Örneğin mekânsal çözünürlüğü bir metre olan bir uydu görüntüsünde bir piksel 1x1 metrelik bir alanı ifade eder.

• Spektral çözünürlük: Elektromanyetik spektrumun ve farklı ışınım türevlerinin dalga boyu ve frekanslarına göre rölâtif yerlerini ifade eden kavramdır. Spektral çözünürlük demek algılayıcının elektromanyetik spektrumun kaydedilebildiği belirli bir dalga boyu aralığıdır. Dalga boyu aralığının daralması spektral çözünürlüğü artırırken aralığın genişlemesi spektral çözünürlüğü azaltacaktır.

• Radyometrik çözünürlük: Bir algılayıcının elektromanyetik enerjinin büyüklüğüne karşı duyarlılığı anlamına gelir. Yani enerjideki küçük farklılıkları ayırt etme yeteneği olduğu da söylenebilir. Diğer bir ifadeyle kaydedilen enerjinin bölündüğü “bit” sayısıdır. Yani 8 bitlik bir verideki kaydedilen enerji 256 parlaklık değerine sahipken 7 bit veride bu değer 128 parlaklık değerine sahiptir.

• Zamansal çözünürlük: Uydunun bir yere ait görüntü almasından itibaren aynı yere ait görüntüyü alması arasında geçen süreyi ifade eder (URL-4, 2019).

Uzaktan algılamada verilerin elde edilmesinden bilgi çıkarılmasına geçen süreç temel olarak iki aşamadan oluşur (Şekil 2). Bunlar “Veri Elde Etme” ve “Veri İşleme” aşamalarıdır.



Şekil 2. Uzaktan algılama çalışma prensibi (Enerji kaynağı ve aydınlatma(A), ışınım ve atmosfer(B), hedef ile etkileşim(C), enerjinin algılayıcı tarafından kaydedilmesi(D), verinin iletimi, alınması ve işlenmesi(E), yorumlama ve analiz (f), uygulama (g))

Verinin Elde Edilmesi:

• Enerji kaynağı: Hedef enerjiye ihtiyaç duyar. Bunun için bir kaynağa ihtiyacı vardır. Kaynaklardan alıcıya bir elektromanyetik enerji gönderilir. Optik uydular için

ihtiyaç duyulan enerji güneşten gelmektedir. Ancak radar uyduları için durum farklıdır onlar ihtiyaç duyulan enerjiyi kendileri taşıyor ve iletirler.

- Işınım ve atmosfer: Enerjinin kaynaktan çıkıp alıcıya ulaşma sürecinde maruz kaldığı etkileşimlerdir.

- Hedef ile etkileşim: Elektromanyetik dalganın çıkış ve ulaşma sürecinde ışınım ve hedef özelliklerine bağlı olarak uğradığı değişimlerdir.

- Enerjinin algılayıcı tarafından kaydedilmesi: Hedeften yayılan ve saçılan enerjinin algılayıcı tarafından algılanıp kayıt edilmesidir.

- Verinin iletimi, alınması ve işlenmesi: Hedeften gelen enerjinin algılayıcı tarafından kaydedildikten sonra görüntü oluşturulması amacıyla yer istasyonuna gönderilip işlenmesi aşamasıdır.

Verinin işlenmesi:

- Yorumlama ve analiz: Görsel, sayısal ve elektronik olarak zenginleştirilen görüntüler analiz edilerek nicel sonuçlar elde edilebilecek verilerin elde edilmesidir.

- Uygulama: İşlenen verilerden elde edilen çıkarımlar başka veri kaynaklarıyla da birleştirilerek kullanılmasıdır (URL-3, 2022).

2.2.2. Uzaktan Algılamada Bilgi Çıkarma

2.2.2.1. Ön işleme

Uzaktan algılama çalışmalarında uydulardan temin edilen veriler hatalı olabilir. Verilerin hatalı olmasının nedenleri arasında yeryüzünün topoğrafik yapısı, elektromanyetik dalga boyunun yeryüzünde saçılması sonucu oluşan yansıma değerleri, algılayıcı hataları olarak gösterilebilir. Tüm bu sebepler elde ettiğimiz verinin kalitesini düşürebilmektedir. Yapılan analizlerin doğru sonuç vermesi için elde edilen veriler üzerinde ön işlemler yapılması gerekir. Genel olarak bu hataları gidermenin iki yöntemi vardır. Bunlar geometrik ve radyometrik düzeltmedir (Schowengerdt, 2006).

Geometrik Düzeltme: Geometrik iyileştirme işleminde görüntünün resim koordinatları yani bulunduğu koordinat sistemi başka bir koordinat sistemine taşınır. İşlem adımlarının ilki görüntü üzerinde kapsayıcı olacak şekilde yer kontrol noktaları belirlemektir. Belirlenen bu noktalar harita koordinatlarının yardımıyla elimizde bulunan altlık üzerine işlenir. Dönüşüm eşitliklerinin de yardımıyla elde edilen koordinatlar bilgisayarda hesaplatılarak altlık haritada doğru konumlarına işlenir. Geometrik düzeltme yapabilmek için yeniden örnekleme adı verilen bir işlem uygulanır. Bu işlemin amacı düzeltilmiş görüntünün yeni piksel değerlerinin dijital değerlerini

belirlemektir. Yeniden örnekleme işleminde kullanılan metotlar; en yakın komşuluk, bilineer enterpolasyon ve kübik eğridir (Mather, 1996).

Radyometrik Düzeltme: Görüntüdeki düzensizlik, bozukluk ve verinin alınması veya iletimi esnasında meydana gelen olaylardan dolayı radyometrik düzeltmeye ihtiyaç duyulabilir. Bant alımı sırasında kayıp yaşanması ve sistematik kayıplar içermesi bozulmaların ortak yapısı olarak adlandırılabilir. Radyometrik hatalar çevresel veya algılayıcı hatalar olmak üzere ikiye ayrılır (Cracknell ve Hayes, 1992). Uyduların üzerine fazla sayıda dedektör yerleştirilmiştir. Bu dedektörlerde meydana gelen problemler radyometrik hataya neden olur. Dedektör hatalarından kaynaklı piksellerde bozulmalar meydana gelir. Eğer dedektör çalışmıyorsa yeni oluşan pikseller bu bozulma sonucu siyah renkte görünür. Dedektörler çalışıyor ancak bozukluk varsa pikseller normal değerlerinden farklı bir değer alabilir. Hataları tamamen gidermek olanaksızdır. Çünkü yerine konulacak yeni bir kayıtlı değer yoktur. Bundan dolayı hatayı gidermek için hatalı piksel değerlerinin yerine komşu satırda bulunan piksel değerlerinin ortalamaları veya diğer bantlardaki piksel değerlerinin ortalaması kullanılan hesaplama yöntemleriyle belirlenerek bozuk olan piksele yeni değer atanır (Çorumluoğlu ve Altuntaş, 2002). Çevresel kaynaklı hatalar iki çeşittir. Bu hataların ilki olan atmosferik hatalar nesneye ait yansıma oranındaki atmosferik etkidir. Bu hataya neden olan etmenleri atmosferde bulunan toz, sis vb. olarak sıralayabiliriz. Elektromanyetik enerji alıcıya ulaşırken bu etkenlerle etkileşime girip farklı değerde algılanabilir. Bu hatayı çözmek için farklı yöntemler kullanılmakta olup en çok tercih edilen yöntem histogram eşleme yöntemi olarak karşımıza çıkmaktadır. Eğim ve bakı gibi faktörlerden kaynaklı olarak ortaya çıkan ikinci etki de topografik etkidir. Bu etkinin giderilmesinde bant oranlamasıyla ortaya çıkan değerlere dayanarak bir düzeltme yapılabilir veya sayısal arazi modeli yardımıyla gölge alanları tespit edilerek düzeltme işlem yapılabilir (Çorumluoğlu ve Altuntaş, 2002).

2.2.2.2. Bilgi Çıkarma Yaklaşımları

Uzaktan algılamada bilgi çıkarma yaklaşımlarını görsel yorumlama ve dijital görüntü analizi olarak iki başlık altında toplamak mümkündür. Görsel yorumlama ile bilgi çıkarmada uydu görüntülerinin şekil, doku, renk, boyut, gölge, içerik gibi özelliklerinden yararlanılarak uzman kişiler tarafından görüntüye ait bilgi çıkarılması işlemine görsel yorumlama adı verilmektedir. Uydu görüntülerinden dijital görüntü analizi ile bilgi çıkarılması sürecinde aritmetik bant işlemleri, uydu görüntü sınıflandırma, değişim saptama gibi yaklaşımlar kullanılmaktadır.

Aritmetik bant işlemleri: aritmetik bant işlemleri ile gerçekleştirilen görüntü analizinde uydu görüntülerine ait bantların, çıkarılması, toplanması, birbirine oranlanması ile elde edilen farklı bant indeksleri kullanılmaktadır. Bu kapsamda kullanılan en yaygın bant indeksleri normalize edilmiş fark bitki indeksi (NDVI) gibi bitki indeksleridir. Bitki indekslerinin yanında yanmış alan indeksleri, su indeksleri, mineral araştırma indeksleri de farklı amaçlar için literatürde sıklıkla kullanılmaktadır.

Sınıflandırma işlemi: Görüntüdeki herhangi bir alana ait piksel değerlerinin görüntüdeki alanlarda karşılık geldikleri sınıflara otomatik olarak atanması işlemidir (M. Anji Reddy, 2008). Sınıflandırma yapılırken görüntüde yer alan piksellerin benzer özellikler taşıyıp taşımadığına karar vermek için bazı kurallara ihtiyaç vardır. Bu kurallar tüm veri alanını kendi içinde sanal bir sınır çizip bu sınır içinde alt guruplara ayırır. Aynı sınır içinde yer alan pikseller tek sınıf kabul edilir ve her sınıf kendi içinde kendi etiket adıyla isimlendirilir (Charles Elachi ve Jakob J. van Zy, 2006). Uzaktan algılamada kullanılan sınıflandırma yaklaşımlarının piksel tabanlı ve nesne tabanlı sınıflandırma yaklaşımları olarak iki başlık altında inceleyebiliriz.

Piksel Tabanlı Sınıflandırma: Piksel tabanlı sınıflandırma işleminde görüntü üzerinde yer alan piksellerin analizlerde spektral bilgileri kullanılır (Campbell ve Wynne, 2011). Piksel tabanlı bir sınıflandırma işlemi teorik olarak açıklanacak olunursa iyi tanımlanmış ve iyi ayrılmış sınıf tanımları kullanılır (Goldblatt vd., 2016). Ancak uygulamaya geçildiği zaman yapılan bu işlemin her zaman doğru sonuç vermediği görülmektedir. Örnek verilecek olunursa bir bitki zaman içinde karakteristik özelliklerinde değişimler olabilmekte ve zaman kavramı ele alınmadan yapılan işlemlerde hatalı sonuçlar alınabilmektedir. Piksel tabanlı sınıflandırma işlemi yapılırken elimizdeki uydu görüntüsü düşük çözünürlükte olursa yansıyan pikseller farklı gruplara ait olduğu halde tek bir grupmuş gibi görünüp ayırt edilmesinde problemler oluşmaktadır (Ge vd., 2016). Literatüre bakıldığında piksel tabanlı sınıflandırma işlemi kontrollü ve kontrolsüz olmak üzere iki şekilde yapılabildiği görülmektedir.

Kontrollü sınıflandırma işleminde işlem öncesinde belirlenen eğitim verileri kullanarak kalan verilere sınıflandırma yapılır. İşlem yapan kullanıcı sınıflarla ilişkilendirilecek özellikleri belirler ve daha sonra bilgisayar bu belirlenen özellikleri kullanarak sınıflandırma işlemini yapar (John A. Richards, 2013). Kontrollü sınıflandırma işleminde doğruluğu etkileyen faktörler vardır ve doğruluğu yüksek çıktılar isteniliyorsa doğruluğu etkileyen faktörlere dikkat edilmesi gerekir. Bu faktörlerin başında kontrollü sınıflandırma yapmak için kullanılan eğitim verisinin kalitesi gelmektedir. Bunun içinde, bölgeyi en iyi temsil eden eğitim verisi hazırlanması da

kaçınılmazdır. Bölgenin çok iyi tanınması iyi bir eğitim verisi hazırlanmasının ön koşuludur.

Kontrolsüz sınıflandırma işlemi piksellerin spektral değerlerinin analizi ve sahip oldukları değerlerinin gruplandırılmasına dayanmaktadır (Liu ve Mason, 2013). Kontrollü sınıflandırmada bölgenin iyi tanınması gereklidir ancak bölge iyi tanınmıyorsa genellikle bu yöntem uygulanır. Bu yöntemde birbirine benzer özellikleri taşıyan piksel değerleri belirli bir sınıfa atanır. İhtiyaç duyulursa benzer sınıflar birleştirilir. Daha sonra oluşturulan guruplara kullanıcı tarafından gurup etiketi verilir (Lillesand vd., 2015). Kontrollü sınıflandırmada eğitim verisi hazırlama aşaması çok zaman alırken kontrollü sınıflandırmada eğitim verisine ihtiyaç duyulmadığından zaman açısından avantaj sağlamaktadır.

Nesne Tabanlı Sınıflandırma: Nesne tabanlı sınıflandırma işleminde sınıflandırma işlemi görüntü nesnesi seviyesinden gerçekleştirilmektedir. Görüntü nesnelerinin oluşturulması için öncelikle piksellere segmentasyon işlemi uygulanmaktadır. Segmentasyon işlemi ile birlikte benzer özelliklere sahip pikseller gruplandırılmaktadır. Bu grupların her birisi bir görüntü nesnesi olarak adlandırılmaktadır. Nesne tabanlı sınıflandırmanın sınıflandırma aşamasında spektral bilgilerle birlikte mekânsal bilgiler de kullanılır. Nesne tabanlı sınıflandırma işleminde nesnelerin şekil, doku, spektral özellik, komşu piksellerle olan mekânsal ilişkilerine bağlı olarak bir sınıflandırma işlemi yapılır. Sınıflandırma işlemi kural tabanlı ve kontrollü sınıflandırma olarak gerçekleştirilebilmektedir. (Park vd., 2016). Kural tabanlı sınıflandırma işleminde her bir sınıf için kural setleri oluşturulmakta ve bu kural setlerine göre sınıflandırma işlemi gerçekleştirilmektedir. Kontrollü sınıflandırma ile yapılan sınıflandırma işlemi piksel tabanlı sınıflandırma olduğu gibi benzer süreçlerden geçerek yapılmaktadır. Sınıflandırma için öncelikle her bir sınıfa ait eğitim verisi toplanmakta ve bu eğitim verisinden elde edilen sınıf gruplarına göre görüntü nesnelere kullanılan bir yöntemle göre sınıflara atanmaktadır.

Değişim saptama: Yeryüzündeki değişimlerin uzaktan algılama araçlarıyla sayısal ortama aktarılacak belirlenip incelenmesi ve yorumlanmasına uzaktan algılamada değişim analizi denilir. Uzaktan algıma yardımıyla yeryüzünde meydana gelen değişimler hızlı, az maliyetli ve pratik bir şekilde hassas olarak incelenmekte, olay sonrası değerlendirme ve ileriye dönük tahmin yapılması konusunda yardımcı olmaktadır. Uzaktan algılamada bir bölgenin değişiminin belirlenmesi için elde edilen uzaktan algılama verilerinin aynı bölgeye ait olması, farklı zaman ve en az iki tane olması gerekir.

Uzaktan algılama verileri yardımıyla yeryüzünde olan değişikliklerin hızlı bir şekilde belirlenmesinden dolayı birçok alanda kullanılmaktadır.

Kentleşme alanında;

➤ Kentsel ve kırsal yerleşim bölgelerinin büyüme miktarı, nüfus, gelişme yönü gibi faktörlerin belirlenmesinde

➤ Kaçak yapıların belirlenmesi

➤ Kentsel kırsal alan değişimi ve buna bağlı olarak göç tahmini

Tarım ve ormancılık alanında;

➤ Tarımdaki ürünlerin hasarının tespiti

➤ Tarım arazilerinin kullanımının belirlenmesi

➤ Orman arazilerinin belirlenmesi ve değişimi

Hidroloji ve jeoloji alanında

➤ Jeolojik ve hidrolojik harita yapımı

➤ Sel, heyelan, deprem gibi doğal afet hasar tespiti

➤ Yeryüzü su kirliliği belirlenmesi

Özet olarak verilen örneklerdeki gibi birçok alanda uzaktan algılama verileri kullanılır (Baysal D., 2006).

İki farklı tarihte bir bölgede meydana gelen değişimler Görsel yorumlama, görüntü yorumlama (görüntü çıkarma, görüntü oranlama ve bitki indeksleri), sınıflandırma (kontrollü, kontrolsüz), temel bileşenler analizi, bağımsız bileşenler analizi, değişim vektör analizi ve NDVI analizi gibi farklı değişim saptama yaklaşımları ile tespit edilebilirler. Örneğin bir bölgeye ait iki farklı tarihte piksel tabanlı kontrollü sınıflandırma işlemi gerçekleştirilerek iki farklı harita üretilebilir. Bu haritaların farkları analiz edilerek alanda meydana gelen değişimler saptana bilir. Bu tez çalışmasında temel bileşenler analizi, bağımsız bileşenler analizi, değişim vektör analizi ve NDVI analizi işlemleri gerçekleştirildiği için sadece bu yöntemler detaylı olarak açıklanacaktır.

2.2.3. Uzaktan Algılamada Değişim Saptama Yöntemleri

Değişim saptama yaklaşımları iki farklı tarihte üretilen haritaların karşılaştırılması ya da iki farklı tarihte elde edilen uydu görüntülerine farklı yaklaşımlar uygulanarak değişimin belirlenmesi şeklinde gerçekleştirilebilmektedir. Heyelanların değişim saptama ile haritalanmasında yaygın kullanılan yaklaşımlar Temel Bileşenler Analizi, Bağımsız Bileşenler Analizi, Değişim Vektör Analizi ve NDVI analizi yaklaşımlarıdır. Bu yaklaşımlar aşağıda detaylı olarak açıklanmıştır. Ayrıca bu yaklaşımlar sonucu elde

edilen değişim haritalarından heyelanların otomatik haritalanması için uygulanan otomatik eşik belirleme yöntemleri ve bu bölümde anlatılacaktır.

2.2.3.1. Temel Bileşenler Analizi

Temel bileşenler analizi birçok alanda kullanıldığı gibi yakın zamandan itibaren uzaktan algılamada aktif bir şekilde kullanılmaya başlanılan istatistiksel analiz yöntemlerinden bir tanesidir. Temel bileşenler analizinde çok bantlı bir görüntüdeki varyansı yeni bir görüntü kümesinde yeniden düzenlemeye yarayan doğrusal bir dönüşümdür. Temel bileşenler analizi sonucu oluşan bantlar uygulamalarda “PC” bantları olarak karşımıza çıkar. Analiz sonucu oluşan PC bantları girişteki bantların ilişkisiz doğrusal kombinasyonlarıdır. Veri bantları benzer spektral bölgeleri kapladıkları için genellikle yüksek oranda ilişkilidirler. Temel bileşenler analizi sayesinde çok bantlı veri kümelerindeki benzer spektral bilgiler ortadan kaldırılabilir. Temel bileşenler analizi uzaktan algılamada genellikle şu amaçlar için kullanılır;

- a) Mümkün olduğu kadar çok spektral bilgi korunurken birden çok bantta daha küçük veri kümeleri oluşturmak.
- b) Spektral özellikler arasındaki karmaşık ilişkileri ortadan kaldırmak.
- c) Sadece birkaç banda özgü spektral özellikleri belirlemek (URL-6, 2022).

Temel bileşenler analizinde birinci bileşen mümkün olan en büyük varyansa sahip olan seçilir ve birbirini takip eden her bir bileşen de bir sonraki bileşene dik olacak şekilde en yüksek varyans değerini alarak devam eder. Verinin ilk üç bandı en çok bilgiyi taşıyan bantlardır. Varyans sıralaması yapıldığında ise PC1 in en yüksek varyansa sahip olduğu ve sırasıyla takip eden bantların varyansının büyükten küçüğe olduğu gözlemlenebilir. Bütün varyanslar toplandığında orijinal verinin varyansına eşit olduğu görülür (Avena vd., 1999). Birinci temel bileşen albedo yani yüzeyin yansıtma gücünü gösterirken ikinci temel bileşen bitki örtüsünde meydana gelen değişimi ve diğer temel bileşenlerde gürültü gibi hataları ortaya çıkarır (Eastman, 2006).

Temel bileşenler analizinin matematiksel ifadesinde ise ilk olarak veri merkeze ötelenir. Bu işlem için her bantta bulunan verilerin ortalaması alınır ve bantta bulunan her değerden ortalama değer çıkarılır ve bu şekilde veri merkeze ötelenir. İkinci adımda ise kovaryans matrisi hesaplanır. Eşitlik 1’de verilen değişken çifti (X, Y) arasında bulunan kovaryansın nasıl hesaplanacağı gösterilmiştir. Eşitliklerde bulunan X, Y sırasıyla X ve Y değerlerinin ortalamasını M ise nokta sayısını göstermektedir.

$$Cov(X, Y) = \frac{1}{M-1} \times \left[\sum_{i=1}^M (X_i - X) \times (Y_i - Y) \right] \quad (\text{Eşitlik 1})$$

Üçüncü adımda ise elde edilen kovaryans matristen yararlanarak öz değer ve özdeğere bağlı özvektörler bulunur. Bulunan özvektörlerden her biri birbirleriyle ortogonal(dik) ve normalize edilmiştir. Buda elde edilen özvektörlerin skaler olarak çarpılmalarının sıfıra eşit olduğunu yani koralesyonsuz olması anlamı taşır. Dördüncü ve son adıma geldiğimizde ise bulunan öz vektörler ile merkeze ötelenmiş olan verinin tranzpozunun çarpımı gerçekleştirilerek temel bileşenler bulunmuş olur (Smith, 2002).

2.2.3.2. Bağımsız Bileşenler Analizi

Bağımsız bileşenler analizini tanımlamak için istatistiksel “dolaylı değişkenler modeli” kullanılabilir. x_1, x_2, \dots, x_n ile gösterilen n tane rastgele değişken ölçülmüş olduğunu varsayılırsa ölçülen değişkenler, s_1, s_2, \dots, s_n gibi başka n tane ölçülemeyen rastgele değişkenin lineer kombinasyonlarından oluşsun. Bu durumu tanımlayan matematiksel ifade eşitlik 2’de ifade edilmiştir.

$$X_i = a_{i1} S_1 + a_{i2} S_2 + \dots + a_{in} S_n, \quad i=1,2,\dots,n \quad (\text{Eşitlik 2})$$

Eşitlik 2’ de $a_{ij}, i,j= 1,2,\dots,n$ olmak üzere herhangi reel katsayılar olarak tanımlanır. Bağımsız bileşenler analizinin tanımı gereği bütün S_i ’ler istatistiksel olarak birbirinden bağımsızdırlar. Eşitlik 2’de yer alan formül temel bağımsız bileşenler analizi olarak adlandırılır. Bağımsız bileşenler analizi modeli, ölçülen rastgele değişkenlerini bir karıştırma işlemi ile bağımsız S_i bileşenlerinin birbirine karıştırılması sonucu oluşmuş istatistiksel bir süreç olarak düşünülebilir. S_i bağımsız bileşenleri doğrudan ölçülemeyen dolaylı değişkenlerdir. a_{ij} katsayıları da bilinmezler olarak tanımlanabilir. Eşitlik 2’de bilinenler sadece X_i rastgele değişkenleridir. Bağımsız bileşenler analizinin amacı bilinen X_i rastgele değişkenlerini kullanarak a_{ij} karıştırma katsayıları ile S_i bağımsız bileşenleri bulmaktır (Doğan ve Akıncı, 2013).

Yapılan uygulamada kullanılan görüntü dört bantlı bir görüntü olduğu için çok zamanlı spektral bantları istatistiksel olarak bağımsız dört bileşene ayrıldı. Spesifik olarak çok zamanlı spektral bantlar, dört bağımsız bileşenin doğrusal bir kombinasyonu olarak formüle edildi.

$$X = As = \sum_{i=1}^4 a_i s_i \quad (\text{Eşitlik 3})$$

Eşitlik 3’de yer alan X yukarıda bahsedilen çok zamanlı spektral bantlardır. A ise bir karıştırma matrisi olup s , bağımsız bileşen matrisidir (Hyvärinen ve Oja, 2000).

2.2.3.3. Değişim Vektör Analizi

Değişim vektör analizi spektral değişim vektörü üretir. Üretilen bu vektör iki farklı zamanda çekilmiş iki farklı uydu görüntüsündeki değişimlerin yön ve büyüklük faktörlerini tanımlar. Bu işlem yapılırken çekilen uydu görüntülerinden zamansal olarak ilkinden ikincisine bir spektral vektör çizilir. Değişime uğrayan alanların belirlenmesi amacıyla bir eşik değeri seçilir. Spektral vektör üzerinde eşik değerine karşılık gelecek şekilde bir elips çizilir. Çizilen bu elipsin içinde kalan alan değişim olmadığını gösterirken dışında kalan alan ise değişim olduğunu gösterir.

Genellikle değişim vektörü analizindeki değişimlerin büyüklükleri iki çift vektör arasındaki Öklid mesafesi ile hesaplanır. Öklid uzaklığı eşitlik 4'te gösterildiği gibi hesaplanır (Wen ve Yang, 2009).

$$d(X, Y) = \sqrt{(X_1 - Y_1)^2 + \dots + (X_n - Y_n)^2} \quad (\text{Eşitlik 4})$$

Eşitlik 4'te yer alan n bant sayısını, Y olay öncesine ait görüntünün bantlarını X ise olay sonrasında ait görüntünün bantlarını ifade eder.

2.2.3.4. NDVI Analizi

Normalize edilmiş fark bitki örtüsü indeksi (NDVI) uydu görüntülerinde yer alan bantlardan kırmızı ve yakın kızılötesi dalga boyunda algılama yapabilen bantlardan hesaplanır. Uzaktan algılama uygulamalarında yeşil bitkilerin izlenmesi gibi işlemlerde en çok tercih edilen yöntemdir. Eşitlik 5'te gösterildiği gibi kırmızı ve yakın kızılötesi bantlar kullanılarak hesaplanır.

$$NDVI = \frac{\text{Yakın Kızılötesi} - \text{Kırmızı}}{\text{Yakın Kızılötesi} + \text{Kırmızı}} \quad (\text{Eşitlik 5})$$

Eşitlik 5'te yer alan NDVI normalize edilmiş fark bit örtüsü indeksini temsil eder (Tucker, 1979). NDVI değerleri analiz edilirken genellikle -1 ile +1 arasında değişen değerler almaktadır. Eğer almış olduğu değer +1 ise bölgenin sağlıklı bitki oranının yüksek olduğu yorumu yapılırken -1'e doğru yeşil bitki oranının zayıflayıp olmadığı yorumu yapılabilir.

2.2.3.5. Eşik Değerinin Seçimi

Eşik değeri belirlenmesindeki amaç piksellerin almış oldukları değerlerine bakılarak yoğunluklarına göre arka veya ön plana çıkmasına karar vermektir. Çünkü görüntüde yer alan arka plan piksel yoğunluk değerleriyle nesnelere yoğunluk değerleri birbirinden farklı olmaktadır. Bundan dolayı eşik değeri seçimi yapılırken çok dikkat edilmelidir. İki farklı görüntüde işlem yapılırken de değişim saptamada hangi piksel

değerlerinden sonra değişim yaşandığının belirlenmesi için eşik değeri seçimi çok önemlidir. Eşik değerinin belirlenmesi manuel olarak kullanıcı tarafından deneme yanılma yoluyla yapılabildiği gibi geliştirilen algoritmalar yardımıyla otomatik olarak da yapılabilmektedir. Uzaktan algılama verileri kullanılarak yapılan değişim analizlerinde genellikle Otsu, Kapur, Kittler, Tsai gibi yöntemler kullanılmaktadır. Bu tez çalışması kapsamında da bu yöntemler uygulanmıştır.

Otsu Metodu: Otsu metodu kümeleme tabanlı eşik değeri belirleme metodudur. Bu metodun işleyişine bakıldığında görüntünün ön ve arka plan olmak üzere iki renk sınıfına ayrıldığı varsayılır. Daha sonra tüm eşik değerleri için bu iki renk sınıfının sınıf içi varyans değeri hesaplanır. Bu değer en küçük olmasını sağlayan değer optimum eşik değeri olarak kabul edilir (Otsu, 1979).

Kapur Metodu: Kapur metodu entropi tabanlı eşik değeri belirleme metodudur. Bu metodun işleyişinde gri tonlamalı bir girdi görüntüsünü ikili bir görüntüye dönüştürerek ön ve arka plan olarak iki farklı sınıfa böler. İki olasılık dağılımı elde edilir. Bunlardan bir tanesi arka plan diğeri ise nesne dağılımı için. Daha sonra histogram bireysel sınıflara bölündüğünde bölünmüş görüntünün toplam entropisi elde edilir. Bu entropilerin toplamı maksimum değere ulaştığında optimum eşik değeri bulunur. (Kapur vd., 1985).

Kittler Metodu: Kittler metodu iki seviyeli bir eşik belirleme tekniğidir. Bu yöntemle gri tonlamalı bir görüntüdeki gradyan büyüklüğüyle ağırlıklandırılmış bir piksel parlaklığına dayalı olarak optimum global eşik değeri belirlenir (Kittler vd., 1985).

Tsai Metodu: Tsai metodu öznelik benzerliğine dayalı bir eşikleme yöntemidir. Bu kategorideki algoritmalar orijinal ve ikili görüntü arasındaki özellik kalitesi ve benzerlik ölçüsüne dayalı olarak eşik değeri belirlenir. Bahsedilen özellikler, moment, kenar eşleştirme, bağlantı, şekil kompaktlığı, doku veya segmente edilmiş nesnelere kararlılığı olabilir (Abdullah, 2020).

2.2.3.6. Doğruluk Analizi

Tez çalışması kapsamında elde edilen heyelan haritalarının doğrulukları hata matrisine göre hesaplanmıştır. Hata matrisine göre genel doğruluk, kullanıcı doğruluğu, üretici doğruluğu ve Kappa katsayısı hesaplanmıştır. Bu değerlere ait formüller aşağıda gösterilmiştir. Genel doğruluk (Genel D.) eşitlik 6'da yer alan formüle göre doğru sınıflandırılmış değerlerin sayısının toplanarak ve toplam değer sayısına bölünmesiyle bulunan değerdir.

$$Genel D. = \frac{\text{Tüm doğru atanmış piksel sayısı}}{\text{Tüm pikseller sayısı}} \quad (\text{Eşitlik 6})$$

Üretici doğruluğu eşitlik 7’de yer alan formüle göre belirli bir sınıftaki bir değer in doğru şekilde sınıflandırılma olasılığıdır. Her sınıf için doğru sınıflandırılan pikseller in, o sınıf için kullanılan referans piksel sayısının toplamıyla bölünmesi sonucu bulunur.

$$\text{Üretici } D. = \frac{\text{Bir sınıfa ait doğru sınıflandırılmış piksel sayısı}}{\text{Bir sınıftaki olması gereken gerçek piksel sayısı}} \quad (\text{Eşitlik 7})$$

Kullanıcı doğruluğu eşitlik 8’de yer alan formüle göre belirli bir sınıfta olduğu tahmin edilen bir değer in gerçekte o sınıf olma olasılığıdır. Her sınıf için doğru sınıflandırılan pikseller in, o sınıfa atanan pikseller in toplamına bölünmesi sonucu bulunur.

$$\text{Kullanıcı } D. = \frac{\text{Bir sınıfa ait doğru sınıflandırılmış piksel sayısı}}{\text{O sınıftaki toplam piksel sayısı}} \quad (\text{Eşitlik 8})$$

Bu çalışma kapsamında doğruluk analizi Kappa indeksi kullanılmıştır. Kappa indeksi, doğruluk analizlerinde sıklıkla kullanılan bir yöntemdir. Kappa değerleri görüntüler arasındaki ilişkiye göre -1 ile +1 arasında değişkenlik gösterir. Eğer iki görüntü arasında bir değişim söz konusu değilse kappa ‘-1’ değerini alırken görüntüler arasında değişiklik varsa kappa ‘+1’ değerini alır (Eşitlik9) (Lorup, 1996).

$$K = \frac{N \sum_{i=1}^n m_{i,i} - \sum_{i=1}^n (G_i - C_i)}{N^2 - \sum_{i=1}^n (G_i - C_i)} \quad (\text{Eşitlik 9})$$

- N : Sınıflandırılmış değerlerin toplam sayısını
- $m_{i,i}$: Doğruluk sınıfına ait değerlerin sayısı
- G_i : i sınıfına ait doğruluk değerlerinin toplam sayısı
- C_i : i sınıfına ait tahmin edilen değerlerin toplam sayısı
- İ : Sınıf numarası

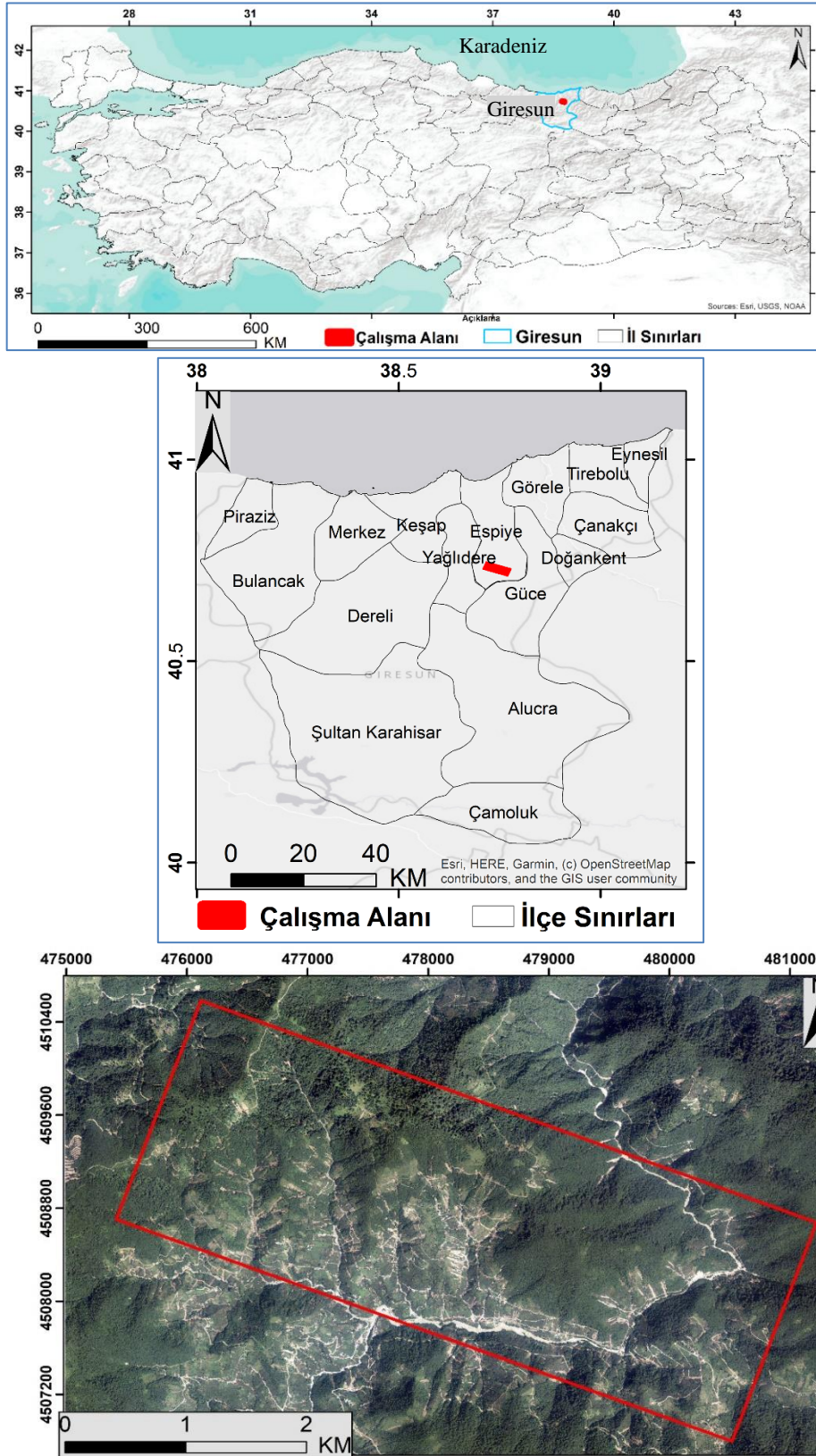
2.3. Çalışma Alanı ve Veri Seti

Bu bölümde tez çalışması kapsamında Doğu Karadeniz Bölgesi’nde yer alan Giresun ilinin 22 Ağustos 2020 tarihinde heyelan olayı yaşanması sonucu zarar gören ilçelerinden biri olan Espiye ilçesinin Eriçek köyü çalışma alanı olarak belirlenmiş olup çalışma sahasının genel özellikleri hakkında bilgiler verilecektir.

2.3.2. Çalışma Alanı

Çalışma alanı, Türkiye’nin Doğu Karadeniz Bölgesi’nde yer alan Giresun ilinin Espiye ilçesine bağlı Eriçek köyüdür. Çalışma alanı $40^0 72'$ kuzey enlemi ile $38^0 74'$

ve doğu boylamında yer almaktadır. Çalışma alanının genel görünümü Şekil 3'de gösterilmiştir.



2.3.1.1. Çalışma Sahasının Jeolojik ve Jeomorfolojik Özellikleri

Giresun ilinin jeolojik yapısı incelendiğinde yüzey şekillerinin oldukça engebeli olduğu görülmektedir. Yüzey şekillerinin çatısını ise Karadeniz kıyısı boyunca uzanan dar ve alçak yapıda düzlükler ve Kelkit Çayı Vadisi arasını kaplayan Giresun dağları meydana getirir. Vadilerle yarılmış Karadeniz tarafında ise eğim azalır. Kıyıya bakıldığında tepelik bir görüntü görülmektedir. Kıyıdan 50-60 km içeride yer alan bu tepeler ortalama 2000-3000 m gibi bir yüksekliğe sahiptir. Dereli ilçesi güney kesiminde Aksu Dere Vadisi' ne bakıldığında gnays, mikaşist, mermer ve metabazalt gibi kayalardan oluştuğu görülmektedir. Dereli'nin güneyi Aksu Vadisi ile Yağlıdere güney kesimi ve Harşit (Doğankent) çevresine bakıldığında dar bir alanda yüzeyler Hamurkesen Formasyonu genellikle gri-mor renkli, fazla miktarda olivin içeren bazalt lavlar ile beraber kalın olmayan kırmızı ve borde renkli ammonit fosili kireçtaşlarından oluşmaktadır. Dereli'nin güneyi (Pınarlar, Kürtün) Espiye güneyinde yer alan Avluca, Akkaya, Harşit çevresinde Berdiga Formasyonu bulunur. Masif kireçtaşı ile çörtülü ve kumlu kireçtaşlarından oluşmaktadır. Çatak Formasyonu, Batlama Deresi (Dereli Yavuzkema), Karabulduk, Yağlıdere güneyi ve Harşit (doğankent) çevresinde oldukça geniş bir alanda yüzeylerde yer alır (Giresun ÇDR, 2005).

2.3.1.2. Çalışma Sahasının İklim ve Bitki Örtüsü

Giresun ilinde kıyıda Karadeniz iklimi görülürken dağların kıyıya paralel uzanması sonucu güney kısımlara gidildiğinde karasal iklimin hâkim olduğu görülmektedir. Bunun bir sonucu olarak da kıyı kesimlerde fazla nem olması fazla miktarda yağışa neden olmaktadır. Merkeze bakıldığında yıllık ortalama 1288 mm yağış olduğu görülmektedir. 163.4 mm ortalama ile ekim ayı en fazla yağış alan aydır. 68 mm ile de mayıs ayı en az yağış alan aydır. Yıllık sıcaklık ortalaması yaz, kış farkı birbirine yakındır. 7,1 °C ortalama sıcaklık ile en düşük sıcaklık şubat ayında görülür. 23,2°C ile ağustos ayında en yüksek sıcaklık görülür. Bitki örtüsüne bakıldığında 600 m yüksekliğe kadar bölgenin önemli geçim kaynağı olan fındık ve kızılâğaç, ıhlamur, kayın, gürgen, meşe, köknar, akçaağaç ve kestane gibi ağaçlar bulunur. Yüksek kesimlerde ise ladin, meşe, kayın, gürgen gibi ağaçlar vardır (URL-8, 2020).

2.3.1.3. Giresun İlinde Yaşanılan Heyelanlar

Giresun ili sınırları içinde 1962-2021 tarihleri arasında hayata etki eden afet olayları incelendiğinde 94 afet olayı yaşandığı görülmektedir. Yaşanılan afet olayları sıralanacak olunursa; 47 heyelan, 27 kaya düşmesi, 11 çığ ve 9 su baskını olayları meydana gelmiştir.

Yani 1962-2021 yılları arasında hayata etki eden afet olaylarının %62'sinin heyelanlardan oluştuğu görülmektedir. İlçeler bazında dağılımlarına bakıldığında; Alaçura 6, Bulancak 10, Çamoluk 10, Çanakçı 6, Dereli 11, Doğan kent 10, Espiye 11, Eynesil 6, Görele 6, Güce 5, Keşap 4, Merkez 12, Piraziz 6, Şebinkarahissar 24, Tirebolu 3, Yağlıdere 9 ve toplamda 139 heyelan olay yaşanmıştır(T.C. Giresun Valiliği İl Afet ve Acil Durum Müdürlüğü, 2021).

2.3.1.4. Giresun İli 22 Ağustos 2020 Tarihli Heyelanları Olay Bilgisi

Doğu Karadeniz Bölgesi'nde yer alan Giresun ili topografik yapısı ve hidrometeorolojik özelliklerinden dolayı sel ve heyelan olaylarının yaşanmasına elverişli bir konumda yer almaktadır. Yapılan tez çalışmasında 22 Ağustos 2020 tarihinde meydana gelen heyelanların haritalanması üzerine geliştirilen yöntemler araştırılıp uygulama yapılarak uygulama sonuçları tartışılmıştır. 22 Ağustos 2020 tarihinde Giresun ilçelerinde özellikle Dereli, Görele, Doğan kent, Yağlıdere, Espiye, Güce ilçelerinde meydana gelen yoğun yağışlar sel ve heyelan olaylarının yaşanmasına sebep olmuştur. Bölgenin ortofoto görüntüleri incelendiğinde Dereli ilçesinin yaşanan heyelanlardan dolayı daha fazla hasar aldığı görülmektedir. 24 saatlik toplam yağış hesaplaması yapıldığında 137.6 mm ile Yağlıdere civarında zirveye ulaşmıştır. Bu yağışın 133 mm'lik kısmı 8 saatte meydana gelmiştir. Meydana gelen heyelanların oluşumunda sadece yağış değil buna ek olarak topoğrafya, yerleşim yerlerinin konumu gibi faktörler de etkili olmuştur. Yaşanılan bu heyelan ve sel olayında bölgede toplam 19 bina yıkılmış, 361 yapı hasar görmüş elektrik vb. gibi alt ve üst yapı hatları, ekili dikili tarım arazileri zarar görmüş ve ayrıca Giresun-Dereli-Sivas yolu ulaşımına kapanmıştır (Kömüşçü vd., 22M.S.). Şekil 4'e bakıldığında çalışma alanı olan Giresun ili Espiye ilçesi Eriçek köyünde yaşanan heyelanın büyüklüğü görülmektedir.



Şekil 4. Espiye ilçesi Eriçek köyünde etkili olan heyelan (URL-7, 2020).

2.3.1. PlanetScope Uydu Sistemi

Tez çalışmasında kullanılacak uydu olan Planet takım uyduları Dünya üzerinde en hızlı şekilde görüntü toplayabilen sistemdir. PlanetScope uyduları 4 bantlı, 3 m mekânsal ve günlük zamansal çözünürlüğe sahiptir (Tablo 5). Planet 175'in üzerinde PlanetScope uydusu doksan dakikada bir kutuplardan geçerek veri alabilme imkanına sahiptir (URL-5, 2022).

Uydu görüntüleri üzerinde analiz işlemleri yapılırken doğru sonuç vermesi için ortorektifikasyon işlemi çok önemlidir. Arazide yer alan değişimler ile algılayıcı eğikliği uydu görüntülerinde distorsiyona sebep olmaktadır (Kalkan, 2011). PlanetScope uydu görüntülerinin ortorektifikasyon işlemlerinin yapılmış olması çalışmalarda kolaylık sağlamaktadır. Bu amaçla uygulamada kullanılmak üzere radyometrik ve atmosferik düzeltmeleri yapılmış olan Analitik Surface Reflectance türü görüntüler seçilmiştir (Tablo 6).

PlanetScope Görsel Ürünü: Ortorektifiye edilmiş ve renk düzeltmeli (bir renk eğrisi kullanılarak) 3 bantlı RGB Görüntüsüdür. Bu düzeltme, uydu perspektifinden bakıldığında görünecekleri görüntüleri sağlayan insan gözünün gördüğü şekliyle renkleri optimize etmeye çalışır.

PlanetScope Renkli Ürünü: Geometrik, radyometrik ve yüzey yansıması için düzeltilmiş ortorektifiye edilmiş, 4 bantlı BGRN veya 8 bantlı Kıyı Mavisi, Mavi, Yeşil I, Yeşil, Sarı, Kırmızı, RedEdge, NIR görüntüleridir. Bu veriler, arazi örtüsü sınıflandırmaları gibi katma değerli görüntü işleme için idealdir.

PlanetScope Analitik Ürünü: Ortorektifiye edilmiş, 4-bant BGRN veya 8-bant Kıyı Mavisi, Mavi, Yeşil I, Yeşil, Sarı, Kırmızı, RedEdge, NIR Görüntüleri ile geometrik, radyometrik ve atmosferin tepesine kalibre edilmiştir (URL-5, 2022).

Tablo 5. Planet uydularının teknik özellikleri (URL-5, 2022).

PlanetScope	
Bantlar	4 (Mavi, Yeşil, Kırmızı, Yakın Kızılötesi (NIR))
Ürünler	Renkli,Görsel,Analitik
Piksel Çözünürlüğü	3m
Radyometrik Çözünürlük	Görsel 8 bit Analitik 16 bit
Pozisyonel Doğruluk	<10m RMSE
Veri Formatı	Geotif

Tablo 6. PlanetScope uydu görüntüsü indirme seçenekleri (URL -5).

PlanetScope Görüntü Türleri	Ortorektifikasyon	Bantlar	Bit Derinliği
Analitik	Yapılmış	Multi-Spektral	16
Görsel	Yapılmış	3 Bant-Görsel	8
Renkli	Yapılmamış	Multi-Spektral	16



3. YAPILAN ÇALIŞMALAR

Bu bölümde çalışma sahasındaki heyelanların haritalanması için yapılan işlemler anlatılmıştır. Bu işlemler verilerin analize hazırlanması ve heyelanların haritalanması olmak üzere iki başlık altında verilmiştir.

3.1. Verilerin Analize Hazırlanması

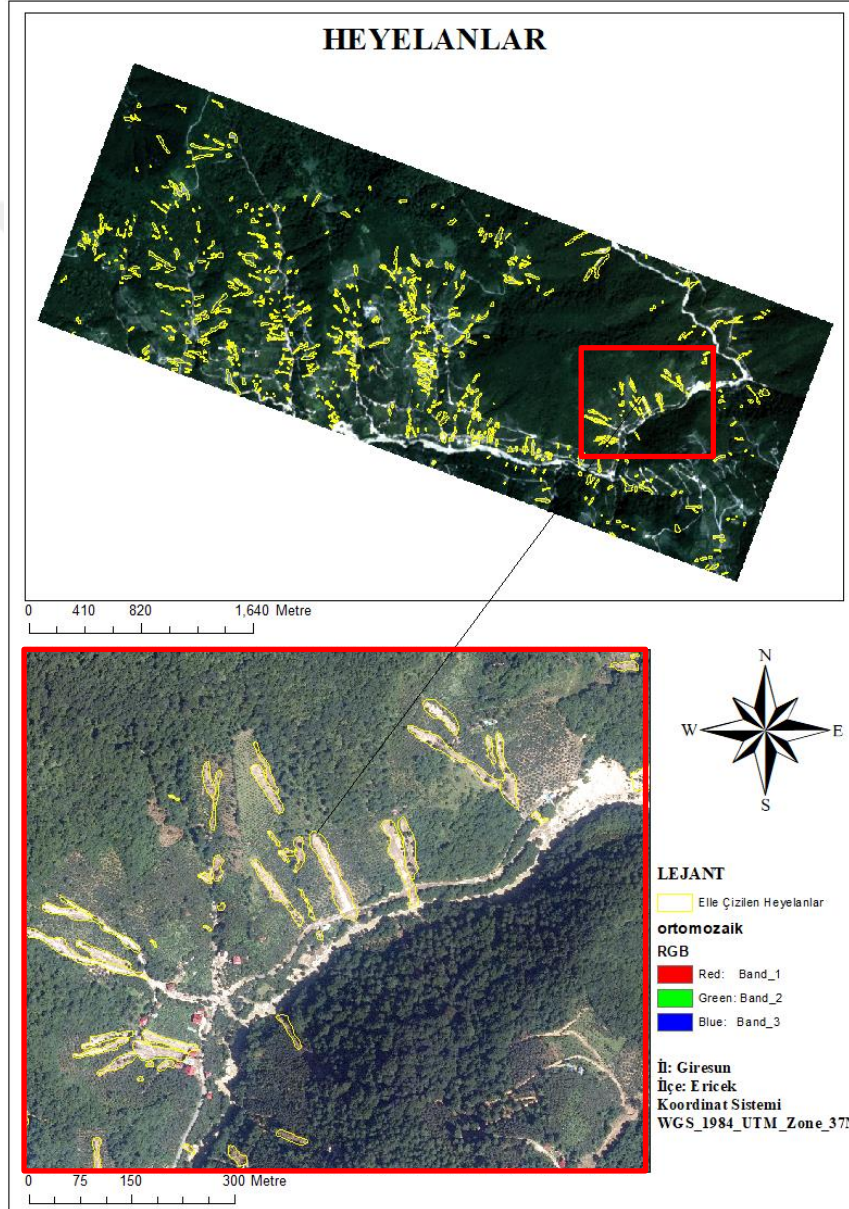
Çalışmada kapsamında PlanetScope uydu görüntülerinden, ALOS PALSAR Sayısal Yükseklik Modelinden (SYM) ve olay sonrası hava fotoğraflarından üretilen 25 cm çözünürlüklü ortofoto görüntülerden yararlanılmıştır (Tablo 7). Çalışmada öncelikle olay öncesi ve olay sonrası PlanetScope görüntüleri temin edilmiştir. PlanetScope uydu görüntüleri, görüntülerin sağlayıcısı olan Planet Lab. firması tarafından akademik araştırmalar için ücretsiz olarak sunulmaktadır. Çalışmada Planet Explorer sayfasından olay öncesinden iki gün öncesine ait 20 Ağustos 2020 tarihli görüntü ve olaydan 3 gün sonrasına ait 25 Ağustos 2020 tarihli görüntüler indirilmiştir. İndirilen görüntüler analize hazır analitik yüzey yansıma verileridir. İndirilen veriler incelendiğinde olay öncesi ve olay sonrası görüntülerin geometrik olarak tam örtüşmediği gözlemlenmiştir. Bundan dolayı verilere ön işleme olarak geometrik farklılıkların ortadan kaldırılmak için geometrik düzeltme işlemi uygulanmıştır. Bu işlem için olay öncesi görüntü referans alınarak olay sonrası görüntü ortak noktalar aracılığı ile referans görüntüye rektifiye edilmiştir.

Tablo 7. Çalışmada kullanılan uydu görüntüleri

Veri Tarihi	Veri Tanımı	Kaynak
20.08.2020- 25.08.2020	Planet Scope Uydu Görüntüleri: olay öncesi ve olay sonrası görüntüsü, 3m mekânsal çözünürlük, 4 bant	https://www.planet.com/products/explorer/
02.11.2018	ALOS PALSAR SYM verisi 12.5 m mekânsal çözünürlüklü	https://search.asf.alaska.edu/#/
25.08.2020	25 cm mekânsal çözünürlüklü olay sonrası Ortofoto görüntü	Harita genel Müdürlüğü

Analiz aşamasında kullanılacak uydu görüntülerinin geometrik düzeltmesinden sonra, analizler sonucu elde edilecek heyelan haritalarının doğruluklarının tespit edilmesinde kullanılacak heyelan envanter haritası üretilmiştir. Bu kapsamda Harita Genel Müdürlüğünden (HGM) temin edilen 25 cm ortofoto görüntü kullanılmıştır.

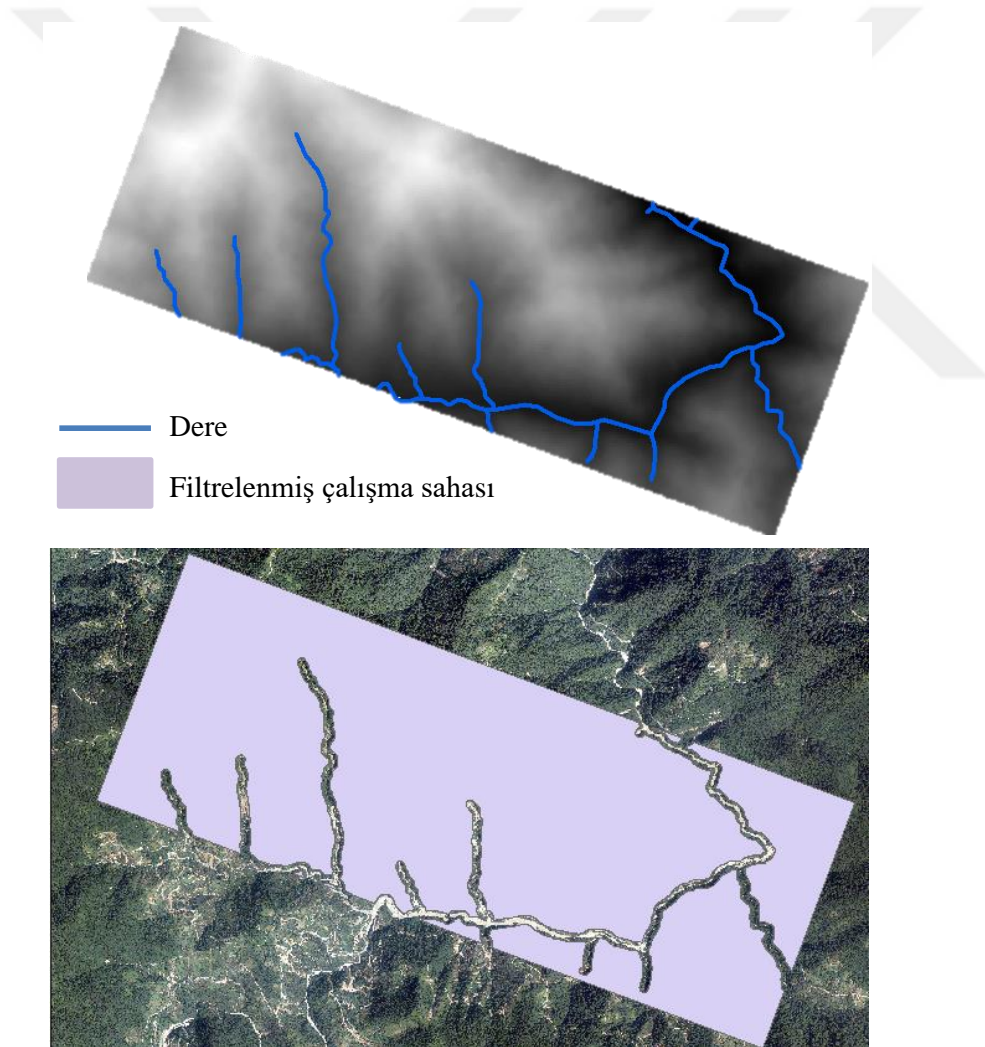
Alanda bulunan heyelanlar bir uzman tarafından görsel yorumlama ve manuel sayısallaştırma yolu ile sayısallaştırılmıştır. Heyelanların çizilmesi işleminde görsel yorumlamada, heyelanların olaya ait olup olmadığının tespit edilmesi için Google Earth görüntülerinden ve PlanetScope görüntülerinden de faydalanılmıştır. Yapılan çizim işlemi sonucunda çalışma sahasında toplamda 656 adet heyelan haritalanmıştır. Bu heyelanlardan en büyük alana sahip olan heyelan alanı 5610.338 m², en küçük alana sahip heyelan alanı 14.89 m²'dir. Alanda haritalanan tüm heyelanların alanı ise 373 743,35 m²'dir. Çizilen heyelanların genel görünümü Şekil 5'te gösterilmiştir.



Şekil 5. Görsel yorumlama ve elle sayısallaştırma (manuel çizim) ile üretilen heyelanlar

Çalışma alanında şiddetli yağışlar sonrası özellikle dere yataklarında taşkınlar meydana gelmiştir. Bu taşkınların sonucunda ise dere yatağını kaplayan bitkiler yok

olmuştur. Bundan dolayı çalışma sahasında sadece heyelanlardan dolayı değil, aynı zamanda taşkınlardan dolayı da bir değişim ortaya çıkmıştır. Uygulanan heyelan haritalama yaklaşımları ile sadece heyelanların tespit edilebilmesi için çalışma alanındaki dere yataklarının filtrelenmesi işlemi gerçekleştirilmiştir. Bu işlem için SYM verisine hidroloji analiz uygulanarak alanda bulunan akarsu kanalları elde edilmiştir. Bu kanallardan ana dere yataklarını gösteren kanallara 20 m, 30 m, 40 m, 50 m, 60 m, 70 m, 80 m aralıklı tampon bölgeler oluşturulmuştur. Oluşturulan bu tampon bölgelerden derelerin taşmasından kaynaklı olan taşkın sınırının filtrelenmesi için en uygun mesafenin 40 m olduğu görülmüştür. Bu değere göre çalışma sahası filtrelenmiştir (Şekil 6). Filtreleme işlemi değişim saptama işlemi sonucu üretilen her bir raster haritaya uygulanmıştır.



Şekil 6. Çalışma sahasındaki dere yataklarının filtrelenmesi

3.2. Heyelanların Haritalanması

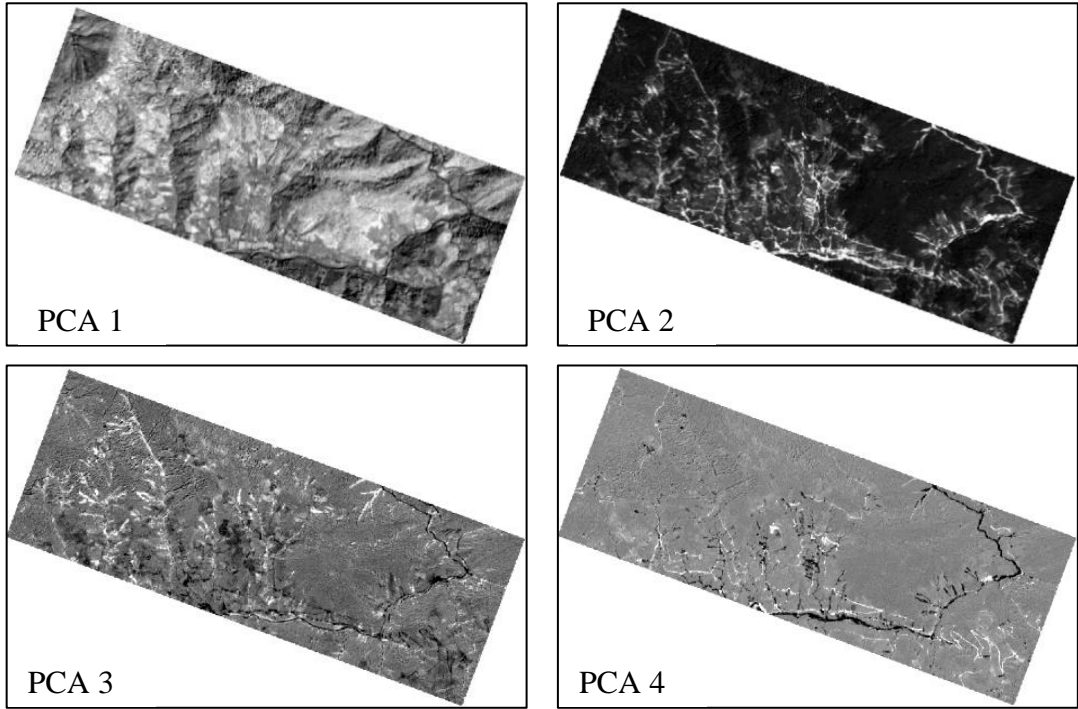
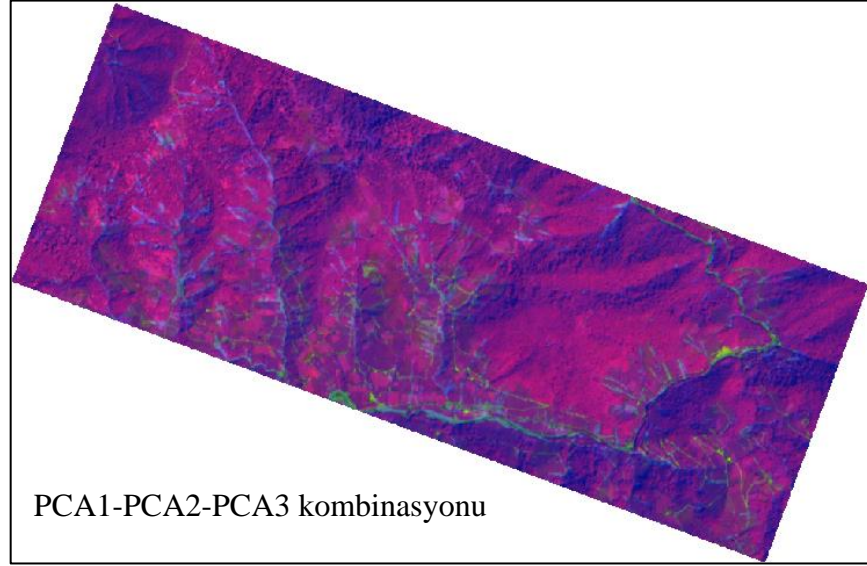
Tez kapsamında PlanetScope olay öncesi ve olay sonrası görüntülerine temel bileşenler analizi (PCA), bağımsız bileşenler analizi (ICA), NDVI analizi ve değişim vektörü analizi (CVA) yöntemleri olmak üzere dört farklı değişim saptama yöntemi uygulanmıştır. Bu yöntemlerin uygulanması sonucu elde edilen her bir haritaya Otsu, Kapur, Kittler, Tsai eşik belirleme yöntemleri uygulanarak çalışma sahasında bulunan heyelanların otomatik olarak belirlenmesi gerçekleştirilmiştir. Bu bölümde her bir değişim saptama yöntemi ve eşik belirleme yöntemi ile üretilen heyelan haritaları irdelenmiştir.

3.2.1. PCA Yöntemi ile Heyelan Haritalama

Çalışma kapsamında öncelikle PCA yöntemi ile heyelan haritalama işlemi gerçekleştirilmiştir. Bu işlem için öncelikle (Lu vd., 2019) PCA ile heyelan haritalamada uyguladığı yaklaşım temel alınmıştır. Bu çalışmaya dayanarak veri fazlalığına neden olan olay öncesi ve olay sonrası mavi ve yeşil bantlar analize dahil edilmemiştir. (Lu vd., 2019) yapmış oldukları çalışmaya göre olay öncesi ve olay sonrası kırmızı ve yakın kızılötesi bantlar kullanılarak yeni bir veri seti oluşturulmuştur. Bu veri seti oluşturulurken olay öncesi kırmızı bant, olay sonrası kırmızı bant, olay öncesi yakın kızılötesi bant, olay sonrası yakın kızılötesi bant sıralaması kullanılarak bantlar mozaiklenmiştir.

$$C = \begin{pmatrix} cov(R_{pre}, R_{pre}) & cov(R_{pre}, R_{post}) & cov(R_{pre}, NIR_{pre}) \\ cov(R_{post}, R_{pre}) & cov(R_{post}, R_{post}) & cov(R_{post}, NIR_{pre}) \\ cov(NIR_{pre}, R_{pre}) & cov(NIR_{pre}, R_{post}) & cov(NIR_{pre}, NIR_{pre}) \\ cov(NIR_{post}, R_{pre}) & cov(NIR_{post}, R_{post}) & cov(NIR_{post}, NIR_{pre}) \\ cov(R_{pre}, NIR_{post}) \\ cov(R_{post}, NIR_{post}) \\ cov(NIR_{pre}, NIR_{post}) \\ cov(NIR_{post}, NIR_{post}) \end{pmatrix} \quad \text{Eşitlik 9}$$

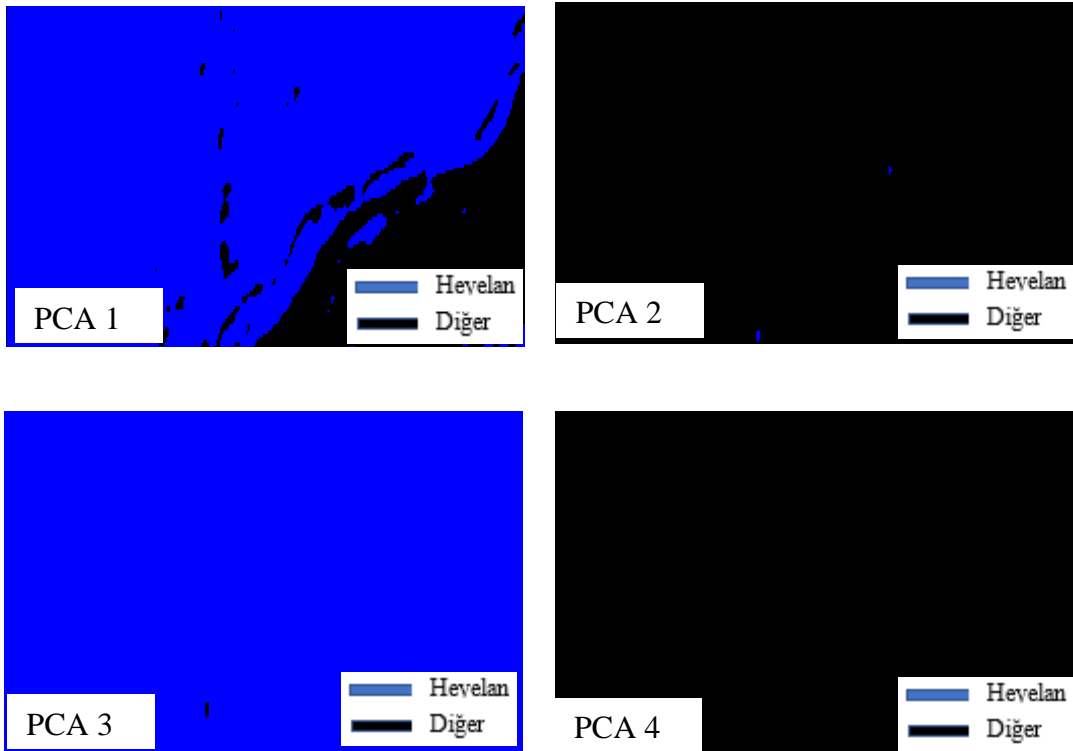
Eşitlik 9'da yer alan cov kovaryans anlamını ifade eder. R_{pre} , NIR_{pre} olay öncesi görüntünün kırmızı ve yakın kızılötesi bantlarını ifade ederken R_{post} , NIR_{post} ise olay sonrası görüntünün kırmızı ve yakın kızılötesi bantlarını ifade eder. Eşitlik 9 kullanılarak olay öncesi ve olay sonrası görüntüler mozaiklenerek yeni görüntü oluşturulmuştur. Sonrasında oluşturulan yeni görüntü ArcGIS 10.8 programı kullanılarak temel bileşenler analizi yapılmış ve PCA1, PCA2, PCA3 ve PCA4 bileşenleri üretilmiştir (Şekil 7).



Şekil 7. Mozaikleme işlemiyle oluşturulan yeni görüntüden oluşturulan bant kombinasyonu, PCA1, PCA2, PCA3 ve PCA4 bantları

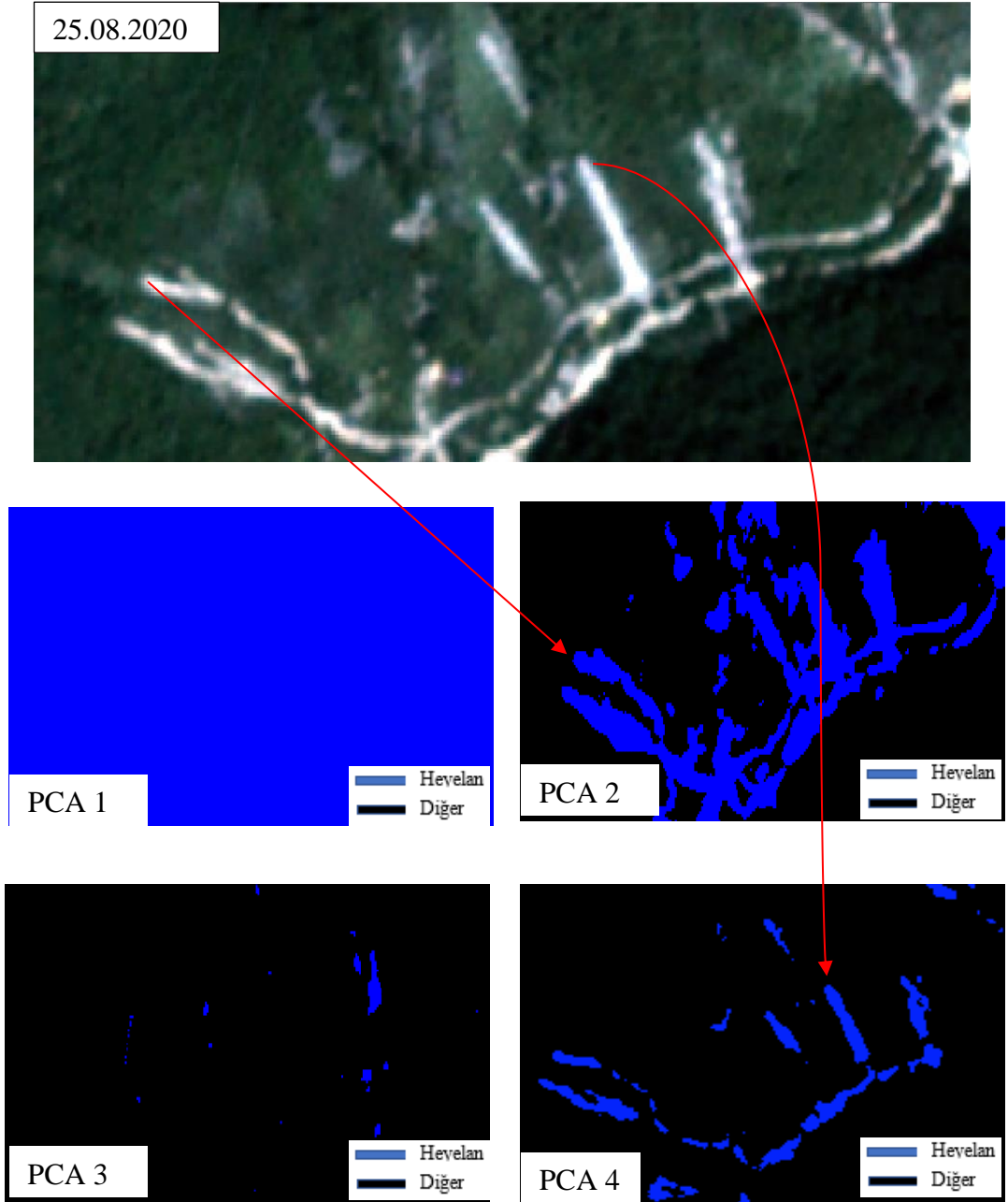
Temel bileşenler analizi sonucu elde edilen her bir temel bileşene (PCA1, PCA2, PCA3 ve PCA4) ayrı ayrı Otsu, Kapur, Kittler, Tsai eşik belirleme yöntemleri uygulanarak alanda bulunan heyelanlar belirlenmiştir.

PCA bileşenlerine ilk olarak Kapur yöntemi uygulanmıştır. Bu yöntem hiçbir PCA bileşeninde başarı gösterememiştir. PCA1 ve PCA3 bileşenlerinden hemen hemen her yer heyelan olarak haritalanmıştır. PCA2 ve PCA4'te ise hiçbir alan heyelan olarak tespit edilmemiştir. Buradan Kapur eşikleme yönteminin PCA analizi ile heyelan belirlemede yeterli olmadığı görülmüştür (Şekil 8).



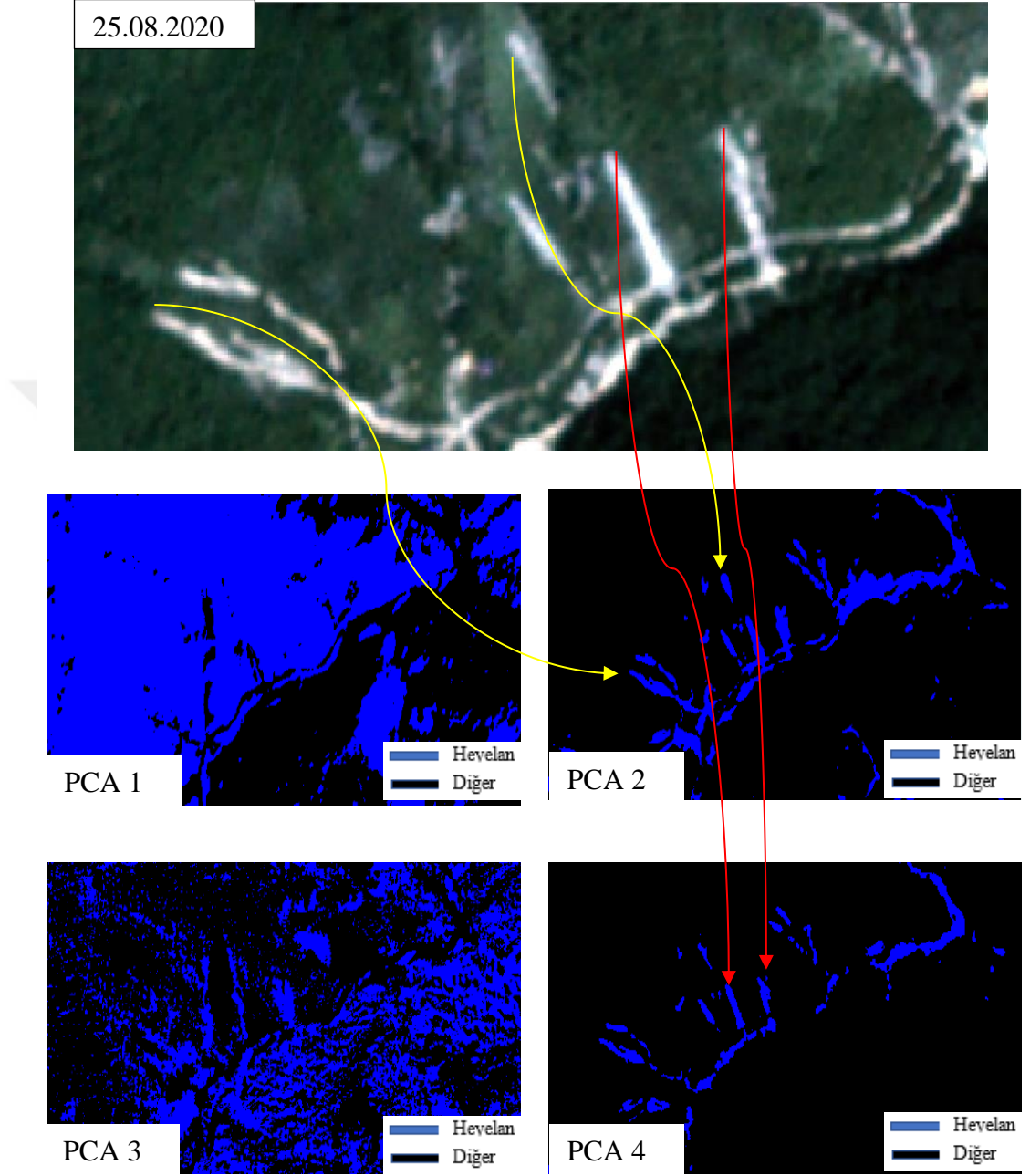
Şekil 8. PCA1, PCA2, PCA3 ve PCA4'ün Kapur yöntemiyle eşiklenmesi sonucu oluşan heyelan haritaları

Çalışmada ikinci olarak PCA bileşenlerine Kittler yöntemi uygulanmıştır. Bu yöntem ile yapılan eşiklemede PCA1, PCA3'ün başarısız olduğu PCA2'nin çok az başarılı olduğu PCA4'ün kısmen başarılı olduğu ancak yolların ayrışmadığı ve heyelan gibi algılandığı gözlemlenmiştir (Şekil 9). Elde edilen haritaların görsel yorumlanmasından Kittler eşikleme yönteminin PCA bileşenlerine uygulanması ile heyelan belirleme işleminin başarısız olduğunu söylemek mümkündür.



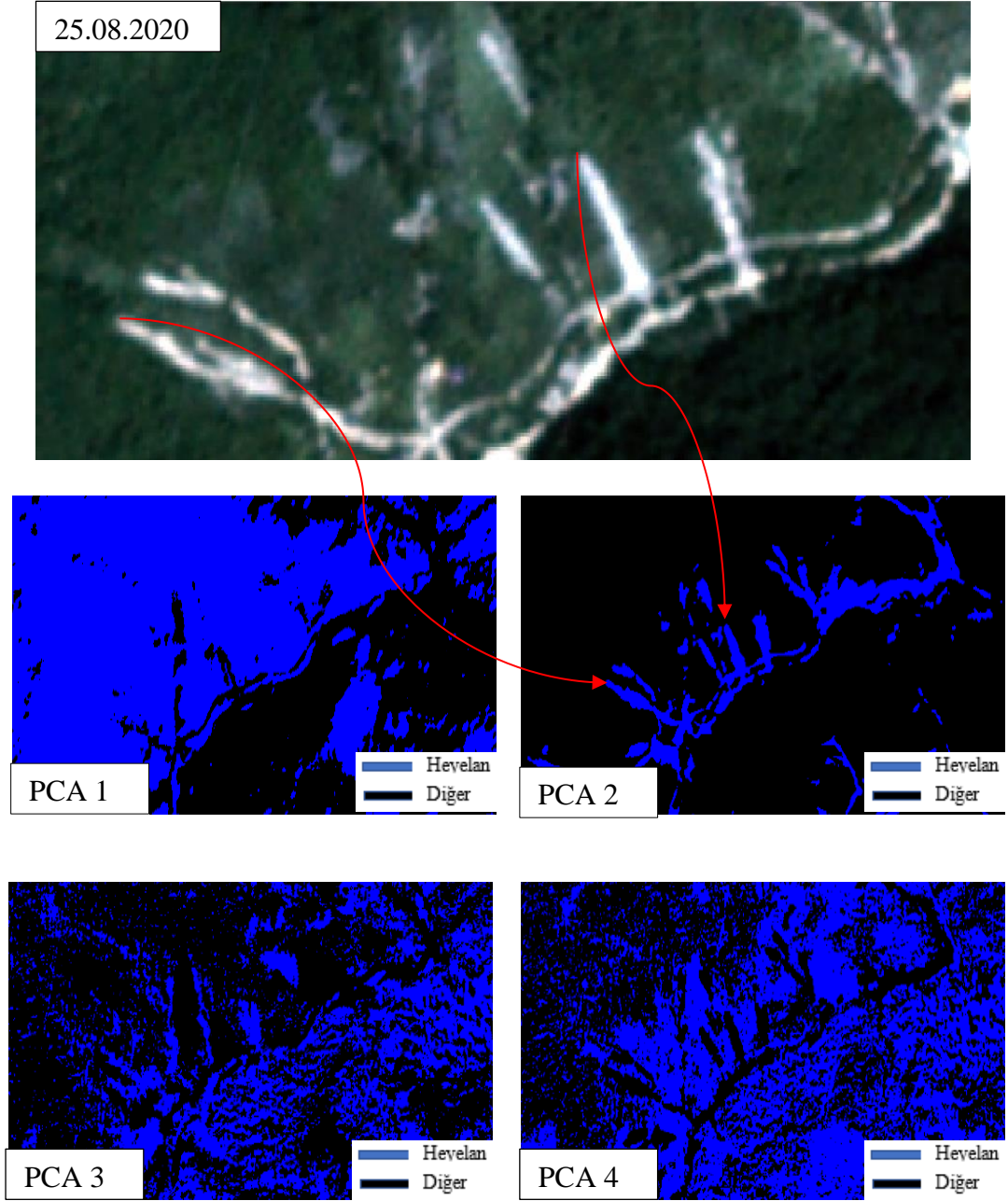
Şekil 9. PCA1 , PCA2, PCA3 ve PCA4'ün Kittler yöntemiyle eşiklenmesi sonucu oluşan heyelan haritaları

PCA bileşenlerine üçüncü olarak Otsu yöntemi uygulanmıştır. Yapılan eşikleme işlemi sonucunda oluşan heyelan haritalarında PCA1 ve PCA3'ün tüm alanı heyelan gibi haritalayarak başarısız olduğu gözlemlenmiştir. PCA2 ve PCA4'ün kısmen başarılı olduğu söylenebilir. Bu bileşenlerle üretilen haritalarda da yolların heyelanlardan ayrışmadığı görülmektedir (Şekil 10). Kittler yöntemi ile görsel karşılaştırma yapıldığında PCA2 ve PCA4'ün Otsu eşikleme yöntemi ile birlikte heyelan haritalamada kısmen kullanılabileceği kullanılabileceği ancak PCA1 ve PCA4'ün Otsu eşikleme ile heyelan tespitinde kullanılamayacağı görülmektedir.



Şekil 10. PCA1, PCA2, PCA3 ve PCA4'ün Otsu yöntemiyle eşiklenmesi sonucu oluşan heyelan haritaları

PCA bileşenlerine son olarak Tsai eşikleme yöntemi uygulanmıştır. Bu yöntemle elde edilen heyelan haritaları Şekil 11'de gösterilmiştir. Şekil incelendiğinde Tsai yöntemi ile yapılan eşikleme sonucunda oluşan haritalarda PCA1, PCA3 ve PCA4'ün başarısız olduğu PCA2'nin kısmen başarılı olduğu görülmektedir. Önceki eşikleme yaklaşımlarında olduğu gibi çalışma sahasındaki yollar heyelan gibi algılanmaktadır.

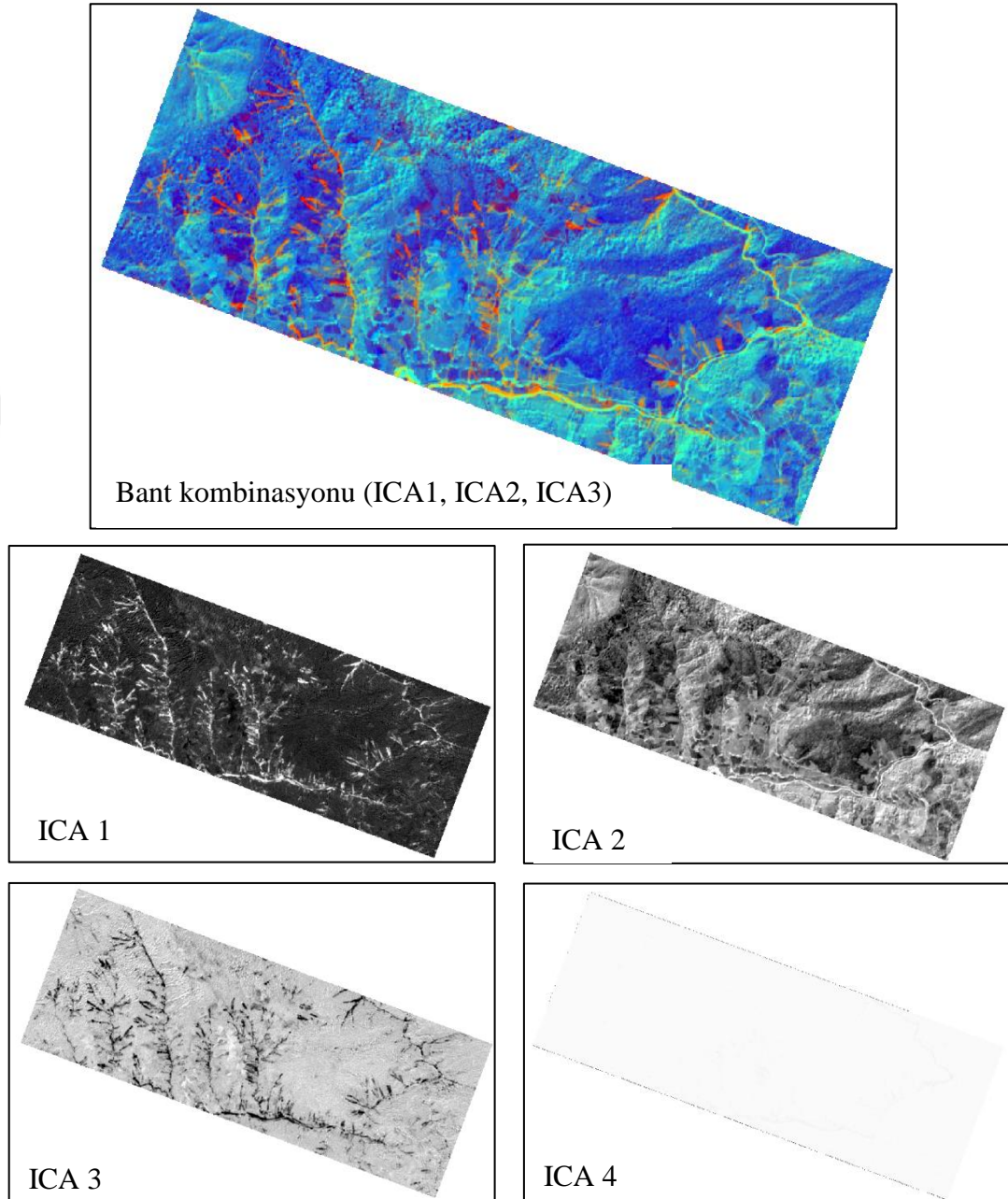


Şekil 11. PCA1, PCA2, PCA3 ve PCA4'ün Tsai yöntemiyle eşikleme sonucu oluşan yeni görüntüleri

3.2.2. ICA Yöntemiyle Değişim Belirleme

ICA yöntemi ile değişim belirleme işleminde PCA yönteminde olduğu gibi benzer bir işlem gerçekleştirilmiştir. (Lu vd., 2019)'ün önerdiği şekilde PCA analizi için oluşturulan ve olay öncesi ile olay sonrası kırmızı ve yakın kızılötesi bantları içeren veri

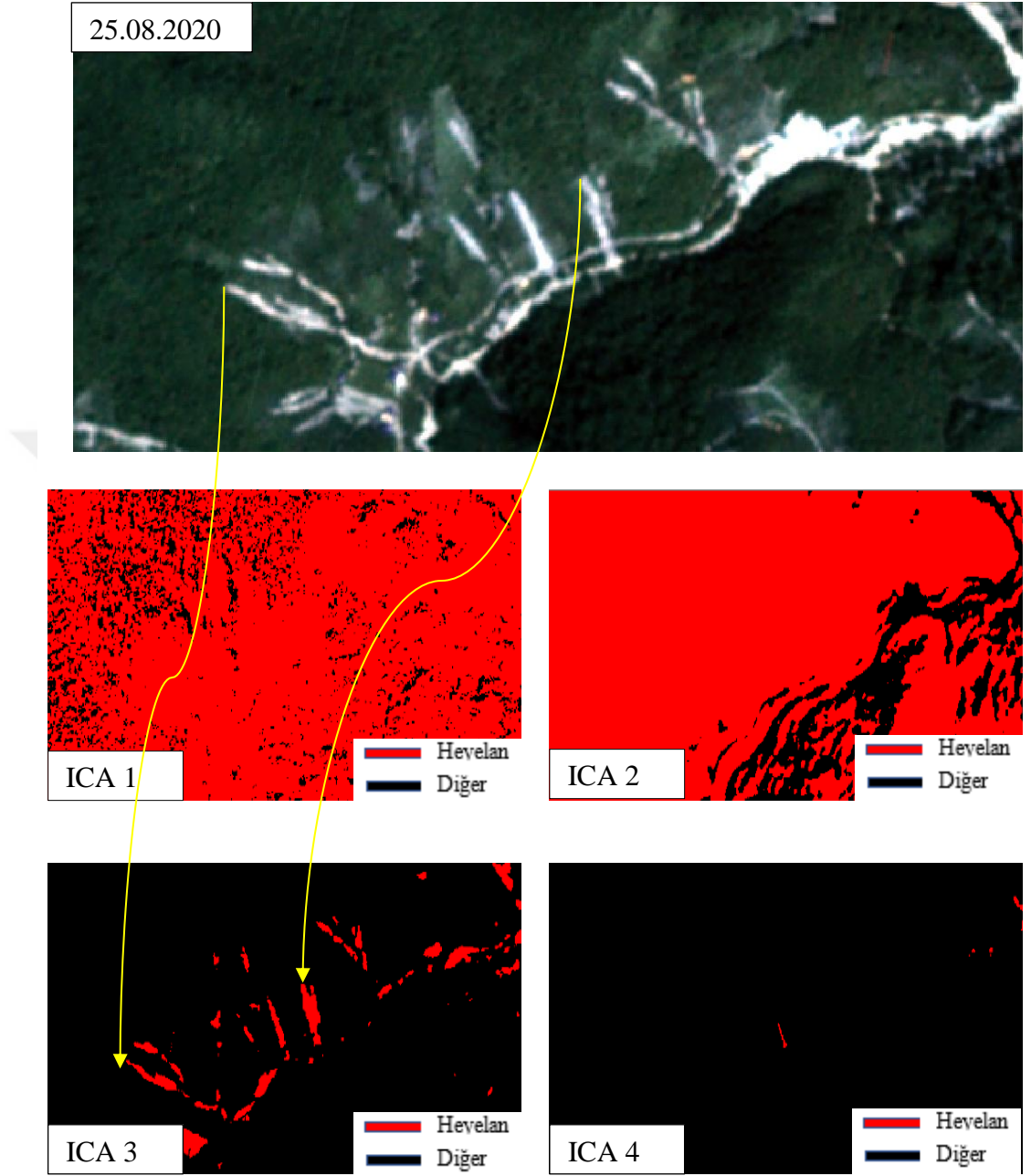
setine ICA yöntemi uygulanarak ICA bileşenleri elde edilmiştir (Şekil 12). Ardından her bir ICA bileşenine eşik belirleme yöntemleri uygulanarak heyelanların haritalanması işlemi gerçekleştirilmiştir.



Şekil 12. Mozaikleme işlemiyle oluşturulan yeni görüntüden oluşturulan bant kombinasyonu, ICA1, ICA2, ICA3 ve ICA4 bantları

ICA yöntemi ile elde edilen bileşenlere öncelikle Kapur yöntemi eşikleme uygulanmıştır. Uygulama sonucu elde edilen haritalarda ICA1, ICA2, ICA4'ün başarısız olduğu ve heyelanların algılanamadığı gözlemlenmiştir. ICA3'ün ise başarılı bir sonuç verdiği gözlemlenmiştir (Şekil 13). Görsel yorumlama sonucuna göre ICA3'ün heyelan

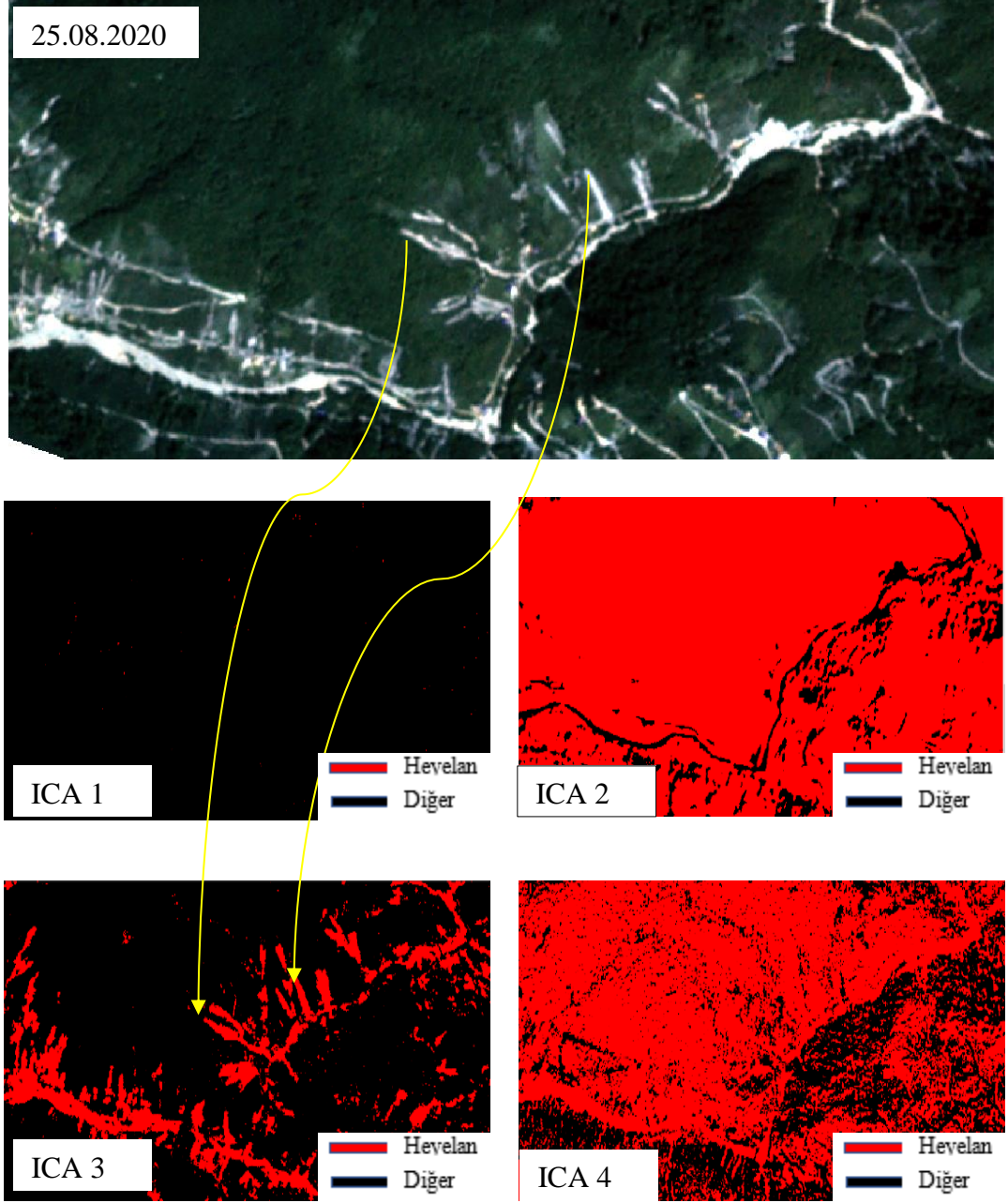
belirlemede kullanılabileceği ancak ICA1, ICA2, ICA3'ün heyelan belirlemede kullanılamayacağı görülmektedir.



Şekil 13. ICA1, ICA2, ICA3 ve ICA4'ün Kapur yöntemiyle eşiklenmesi sonucu oluşan yeni görüntüleri

ICA analizi ile heyelan haritalama işleminde ikinci olarak ICA bileşenlerine Kittler eşikleme uygulanmıştır. Elde edilen sonuçlar Şekil 14'de gösterilmiştir. Şekil incelendiğinde ICA1'in heyelanları tespit edemediği, ICA2 ve ICA4'ün alanın büyük bölümünü heyelan olarak haritaladığı görülmüştür. ICA3'ün Kittler ile eşiklemesinin ise kısmen başarılı olduğu, ancak bazı alanlarda heyelan olmayan bölgelerinde heyelan gibi

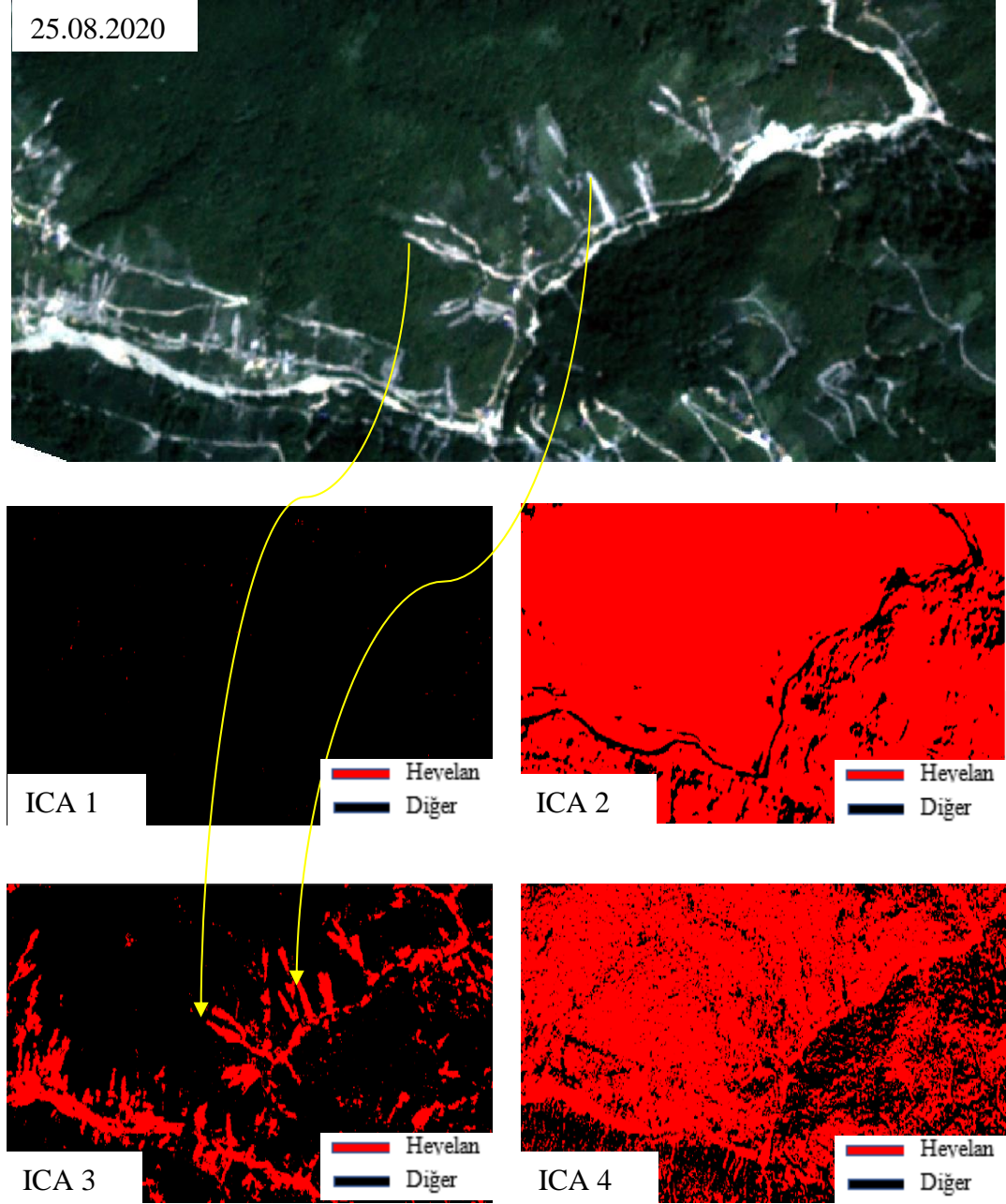
algılandığı gözlemlenmiştir (Şekil 14). Bundan dolayı ICA3'ün Kittler eşikleme ile heyelan tespitinde kısmen kullanılabileceği, bunun yanında ICA1, ICA2, ICA4'ün Kittler eşikleme ile heyelan belirlemede kullanılamayacağı görülmektedir.



Şekil 14. ICA1, ICA2, ICA3 ve ICA4'ün Kittler yöntemiyle eşiklenmesi sonucu oluşan heyelan haritaları

ICA bileşenlerine üçüncü olarak Otsu eşik belirleme yöntemi uygulanmıştır. Bu eşik belirleme yöntemi ile elde edilen sonuçlar irdelendiğinde ICA1 bileşenini ile alandan hiç heyelan tespit edilememiştir. ICA2 ve ICA4'ün alanın tamamına yakını heyelan olarak tespit ettiği görülmüştür. ICA3'ün Otsu ile eşiklenmesi ile heyelan tespitinin kısmen başarılı olduğu görülmüştür. Ancak özellikle yol alanlarında heyelan olmayan

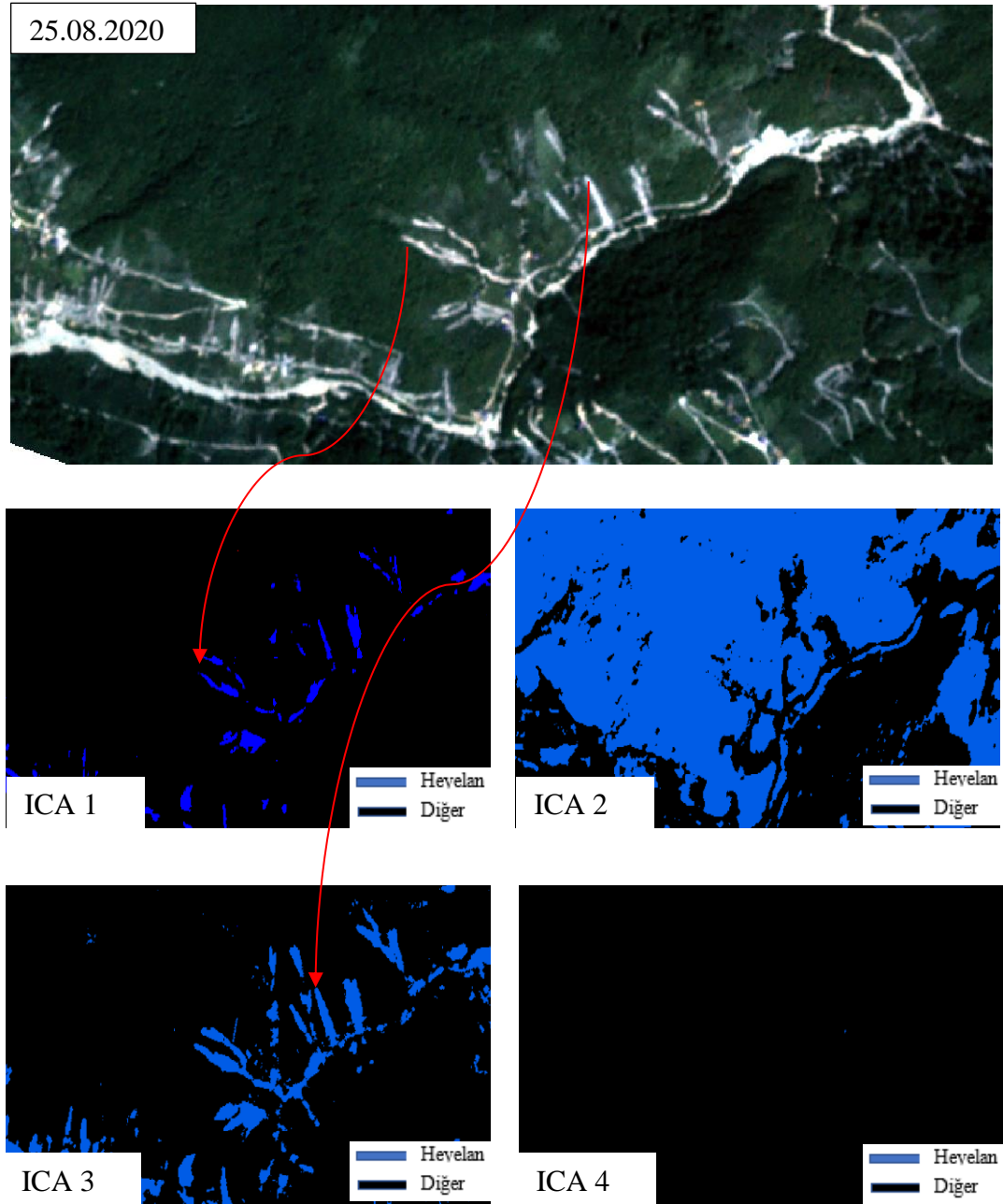
bölgelerin de heyelan gibi algılandığı gözlemlenmiştir (Şekil 15). ICA3 'ün Otsu eşikleme sonucu heyelan haritalamada kullanabilir olduğu ancak hassasiyetinin zayıf olduğu söylenebilir. Bunu yanında ICA1, ICA2, ICA4'ün Otsu eşikleme yönteminin heyelan belirlemede kullanılamayacağı görülmektedir.



Şekil 15. ICA1, ICA2, ICA3 ve ICA4'ün Otsu yöntemiyle eşikleme sonucu oluşan heyelan haritaları

ICA bileşenlerine son olarak Tsai yöntemi eşikleme uygulanmıştır. Oluşan görüntülerde ICA1, ICA2 ve ICA4'ün başarısız olduğu ICA3'ün kısmen başarılı olduğu, ancak heyelan olmayan bölgelerinde heyelan gibi algılandığı gözlemlenmiştir (Şekil 16). Uygulama sonucunda ICA1 ile bazı heyelan bölümleri tespit edilirken, ICA2'de birçok

alan heyelan olarak haritalanmıştır. ICA4 ise herhangi bir heyelan tespiti yapılamamıştır. ICA3'ün Tsai eşikleme yöntemiyle heyelan tespitinde kullanılabileceği görülmektedir.



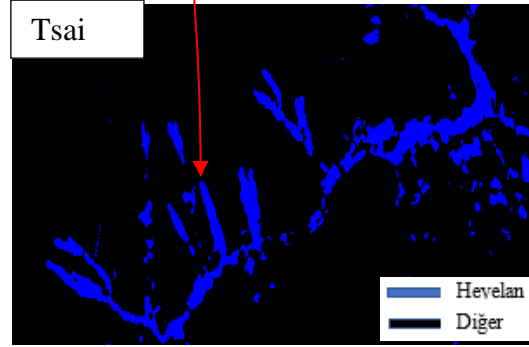
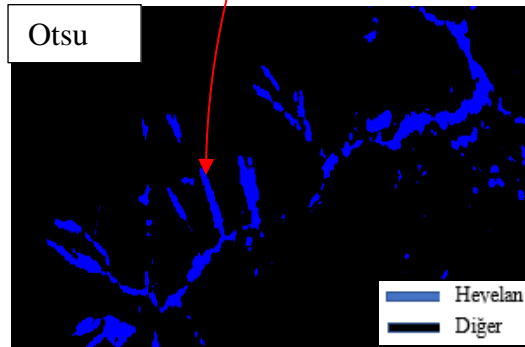
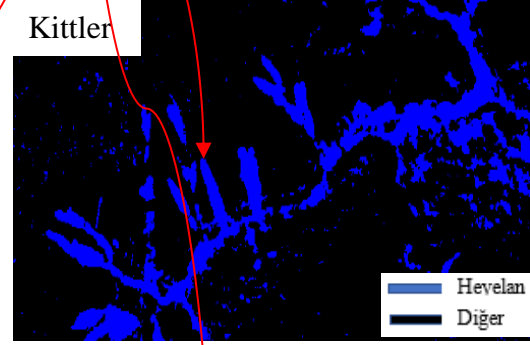
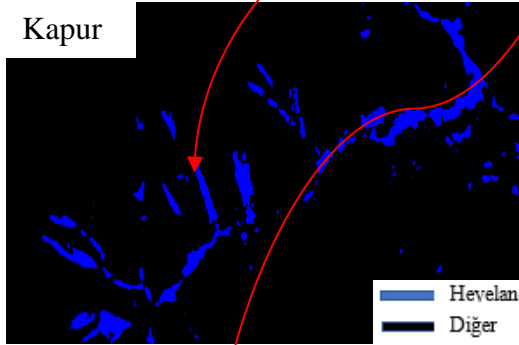
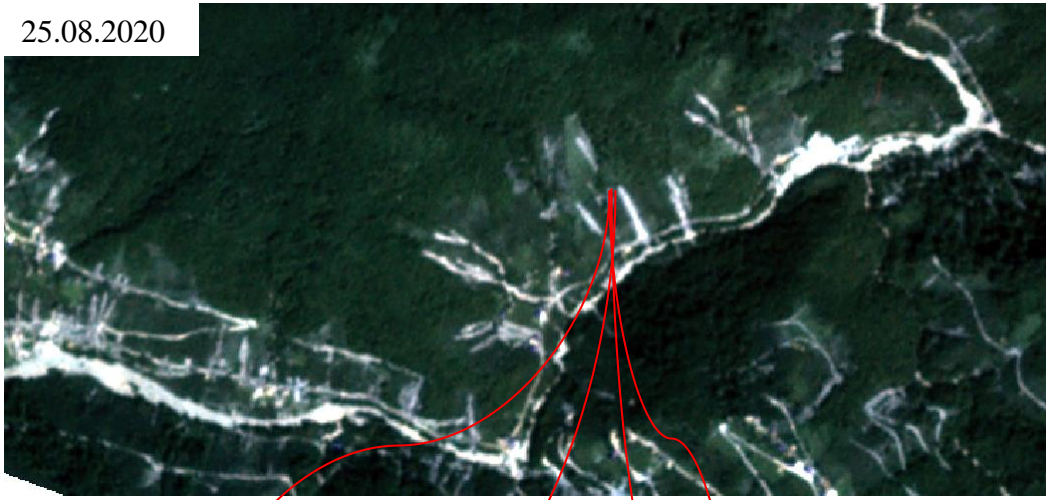
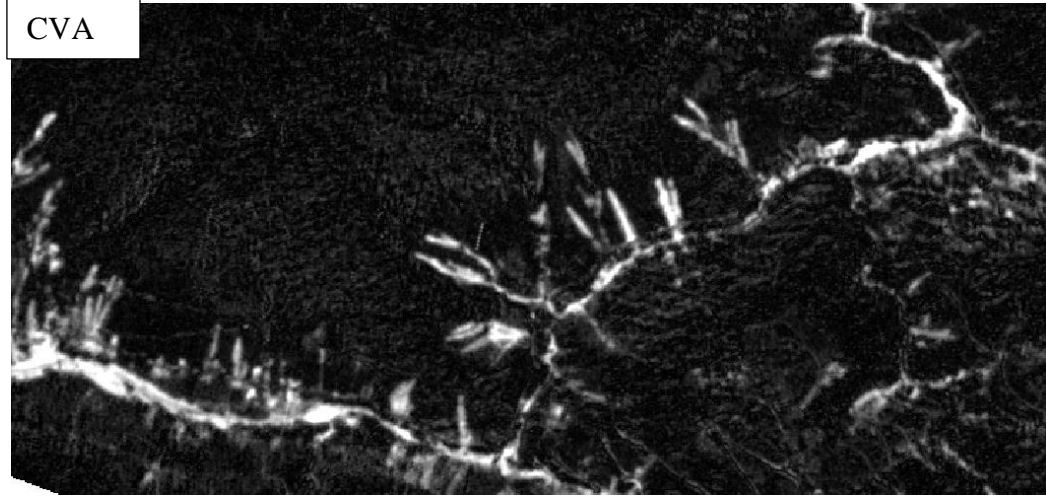
Şekil 16. ICA1, ICA2, ICA3 ve ICA4'ün Tsai yöntemiyle eşikleme sonucu oluşan heyelan haritaları

3.2.3. CVA ile Heyelanların Haritalanması

Değişim vektör analizi ile heyelanların haritalanması için olay öncesi görüntü bantları ve olay sonrası görüntü bantları ile değişim vektör haritası (CVA) üretilmiştir. Elde edilen CVA haritası tek bantlı bir görüntü olduğu için bu görüntüye çalışma kapsamında uygulanan eşik belirleme yöntemleri uygulanmıştır. Elde edilen sonuçlar Şekil 17'de gösterilmiştir. Sonuçlar incelendiğinde tüm eşik belirleme yaklaşımları ile

heyelanların elde edilebildiği gör÷lmektedir. Kapur ve Otsu yöntemleri ile yapılan eşiklemede heyelanların daha iyi çıkarıldığı gözlemlenmektedir.



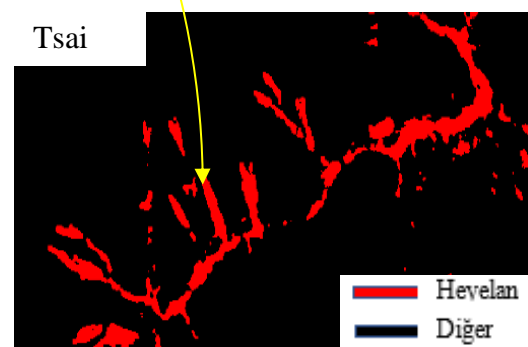
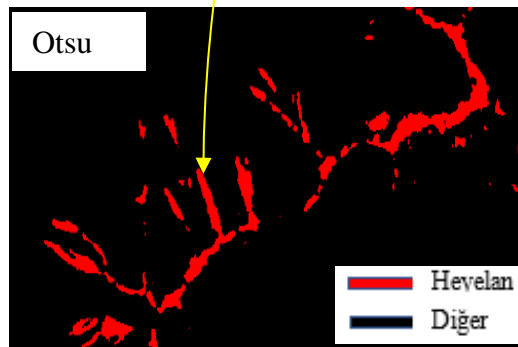
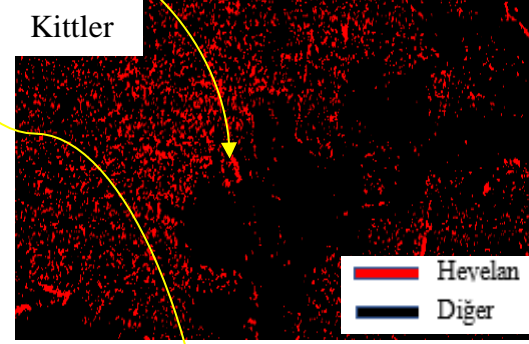
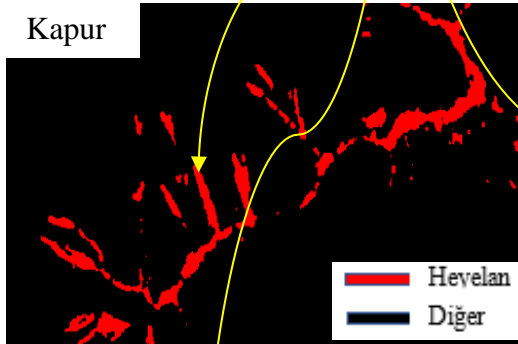
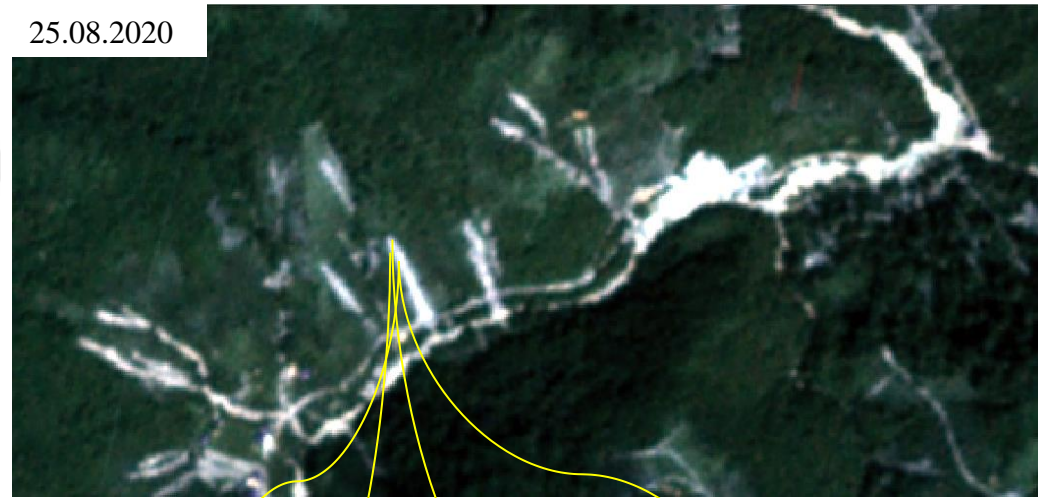
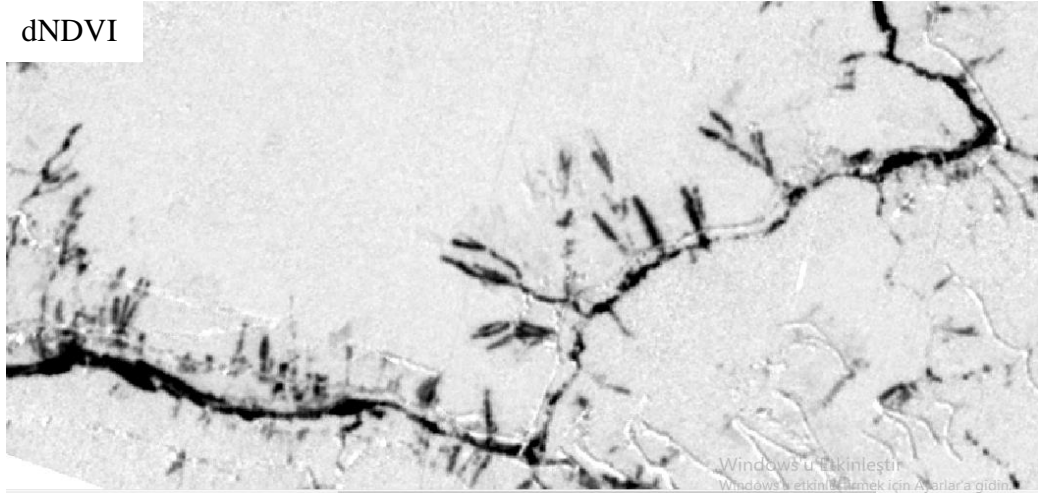


Şekil 17. Değişim vektör analizi sonucu oluşan görüntünün Kapur, Kittler, Otsu ve Tsai yöntemleriyle eşiklenmesi sonucu oluşan heyelan haritaları

Tsai ve Kittler eşikleme yöntemleri ile elde edilen heyelan haritaları irdelendiğinde, Tsai eşiklemesinde heyelan olmayan bazı bölgelerin heyelan olarak çıkarıldığı görülmektedir. Kittler yönteminde ise alanda bulunan birçok bölgenin heyelan sınıfına atandığı gözlenmektedir.

3.2.4. NDVI Analizi ile Değişim Belirleme

Çalışma sahasında NDVI analizi ile heyelanların tespit edilmesi için ilk önce olay öncesi ve olay sonrası görüntülerden NDVI haritaları üretilmiştir. Elde edilen haritalardan olay öncesi NDVI haritasından olay sonrası NDVI haritası çıkarılarak çalışma sahasına ait dNDVI haritası elde edilmiştir. dNDVI haritasına çalışma kapsamında kullanılan eşik belirleme yöntemleri uygulanarak sonuç heyelan haritaları elde edilmiştir (Şekil 18). Şekil 18’de gösterilen haritalar incelendiğinde Kaput, Otsu ve Tsai eşikleme yöntemlerinin oldukça başarılı sonuçlar verdiği gözlemlenmiştir. Ancak Kittler yöntemi görüntüye uygulandığından birçok heyelan olmayan alan heyelan olarak haritalanmıştır.



Şekil 18. NDVI analizi sonucu oluşan görüntünün Kapur, Kittler, Otsu ve Tsai yöntemleriyle eşiklenmesi sonucu oluşan görüntüler ve dNDVI görüntüsü

4. BULGULAR VE TARTIŞMALAR

Bu tez çalışmasında Giresun-Eynesil-Ericek köyünde 22.08.2020 tarihinde meydana gelen heyelanların değişim saptama yaklaşımları ve otomatik eşik belirleme yöntemleri ile haritalanması gerçekleştirilmiştir. Çalışmada PCA, ICA, CVA ve NDVI tabanlı dört farklı değişim belirleme yöntemi ile Otsu, Kapur, Kittler ve Tsai olmak üzere dört farklı eşik belirleme yöntemi PlanetScope görüntülerine uygulanmıştır. Uygulanan yöntemler sonucunda toplamda 40 farklı harita elde edilmiştir. Elde edilen haritalar görsel yorumlama ve manuel olarak sayısallaştırılan heyelan haritaları ile karşılaştırılmıştır. Yapılan karşılaştırma işlemi sonucunda elde edilen sonuçlar Tablo 8’de gösterilmiştir. Tablo 8’de üretilen haritalardan yapılan doğruluk analizi işlemi sonucunda Kappa değeri 0.5’nin üzerinde olan sonuçlara yer verilmiştir. Örneğin PCA bileşenlerinden olan PC1 bileşenine uygulanan Kapur eşikleme ile elde edilen haritaların Kappa istatistikleri 0.5 değeri altındadır. Bundan dolayı Tablo 8’de gösterilmemiştir. Ayrıca üretilen CVA, dNDVI, PCA’da en iyi sonucun elde edildiği PCA2 bileşenine ve ICA’da en iyi sonucun elde edildiği ICA3 bileşenlerine manuel eşikleme işlemi uygulanarak sonuçlar otomatik belirlenen yöntemlerle karşılaştırılmıştır.

Tablo 8. Doğruluk analizi sonuçları

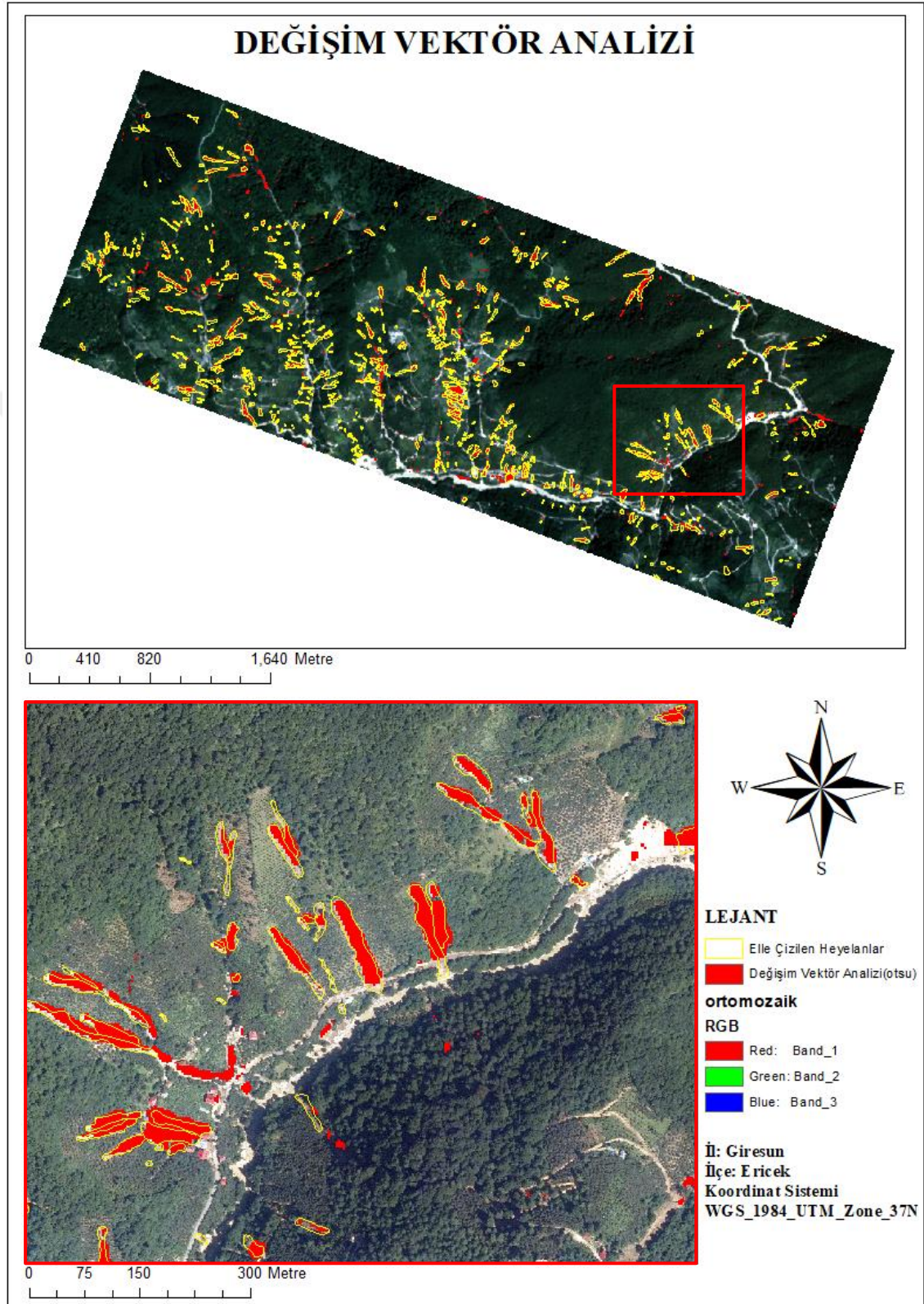
Yöntem	Sınıf	Kullanıcı Doğruluğu (%)	Üretici Doğruluğu (%)	Genel Doğruluk (%)	Kappa
CVA-Kapur	Heyelan	75.1	55.3	96.5	0.619
	Diğer	97.4	98.9		
CVA-Tsai	Heyelan	77.4	43.6	95.5	0.536
	Diğer	96.2	99.1		
CVA-Otsu	Heyelan	67.8	64.1	97.3	0.645
	Diğer	98.5	98.7		
CVA- Manuel	Heyelan	56.7	78.3	96.7	0.641
	Diğer	99.0	97.5		
DNDVI-Kapur	Heyelan	93.2	57.8	98.1	0.705
	Diğer	98.2	99.8		
DNDVI-Otsu	Heyelan	94.7	53.1	98.0	0.671
	Diğer	98.1	99.8		
DNDVI-Tsai	Heyelan	82.0	76.7	98.4	0.784
	Diğer	99.0	99.2		

Tablo 8. (Devamı)

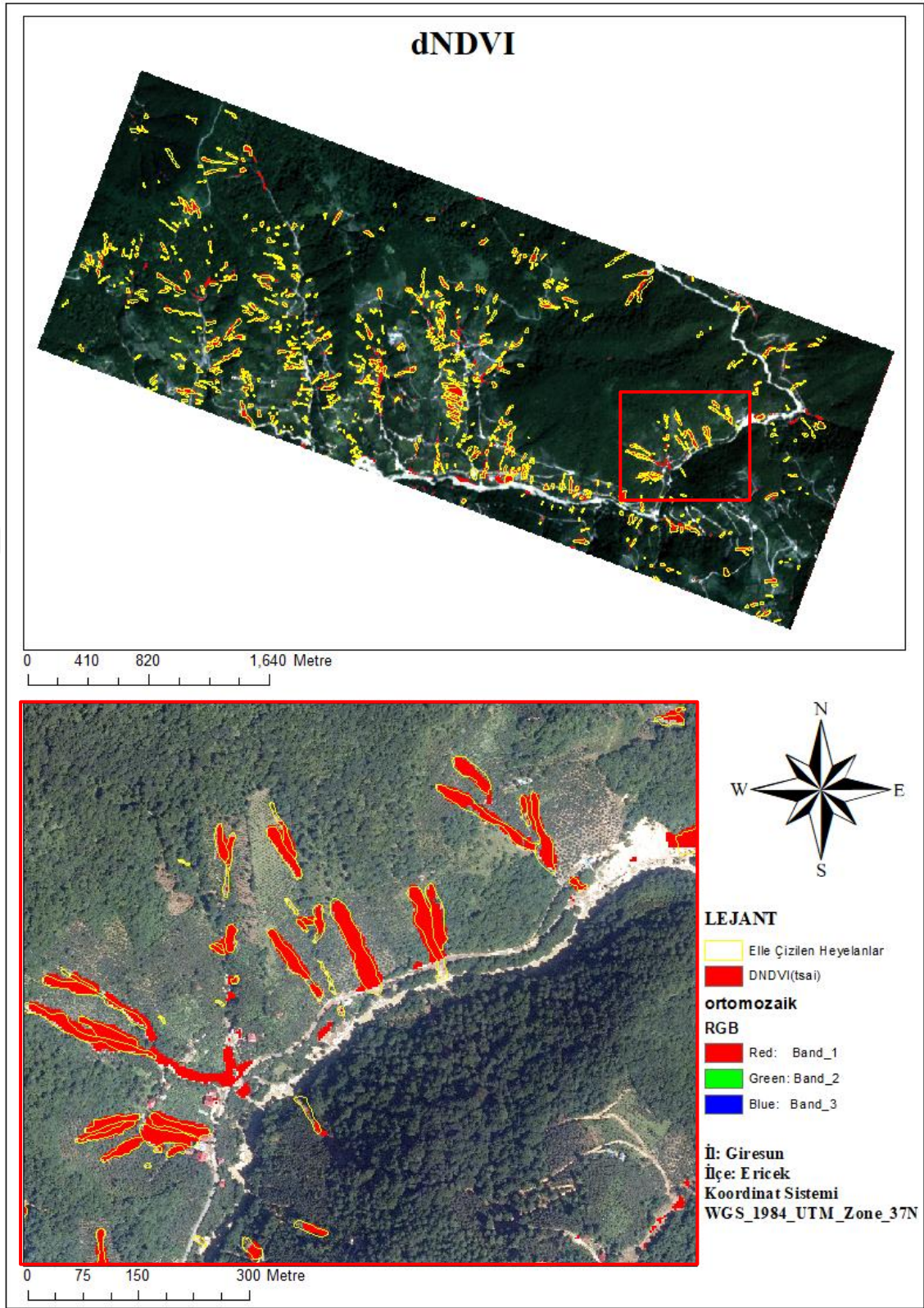
Yöntem	Sınıf	Kullanıcı Doğruluğu (%)	Üretici Doğruluğu (%)	Genel Doğruluk (%)	Kappa
DNDVI-Manuel	Heyelan	80.6	75.1	98.4	0.787
	Diğer	99.1	78.6		
ICA3-Kapur	Heyelan	72.7	53.8	97.3	0.605
	Diğer	0.981	0.991		
ICA3-Otsu	Heyelan	0.665	0.635	0.973	0.636
	Diğer	0.985	0.986		
ICA3-Manuel	Heyelan	0.655	0.655	0.975	0.651
	Diğer	0.987	0.987		
PCA2_Otsu	Heyelan	0.545	0.691	0.965	0.592
	Diğer	0.987	0.976		
PCA2_Tsai	Heyelan	0.440	0.440	0.951	0.556
	Diğer	0.993	0.955		
PCA2_Manuel	Heyelan	0.439	0.847	0.951	0.556
	Diğer	0.993	0.955		

Tablo 8 incelendiğinde, CVA analizi ile heyelanların haritalanmasında en iyi sonuç Kappa değerlerine göre CVA'nın Otsu ile eşiklenmesi ile elde edilen 0.645 sonucudur. CVA'nın manuel eşiklenmesinde ise bu değer 0.641 olarak elde edilmiştir. NDVI tabanlı üretilen heyelan haritalarında en iyi sonuç 0.784 Kappa değeri ile dNDVI haritasının Tsai yöntemi ile eşiklenmesinden elde edilmiştir. dNDVI haritasının manuel eşiklenmesinde ise bu değer 0.787 olarak elde edilmiştir. ICA analizinde en iyi sonuçlar ICA3 bileşeni ile elde edilmiştir. ICA3'ün Otsu yöntemi ile eşiklenmesinde 0.636 Kappa sonucu elde edilmiştir. ICA3'ün manuel eşiklenmesinde ise bu değer 0.651 olarak elde edilmiştir. PCA bileşenleri ile heyelanların haritalanmasında en iyi sonuç PCA2 bileşeninden elde edilmiştir. PCA2'nin Otsu ile eşiklenmesinde en yüksek 0.592 Kappa değerine ulaşılmıştır. Bunun yanında PCA2 bileşeninin manuel eşiklenmesinde 0.556 Kappa değeri elde edilmiştir. Genel olarak tüm eşik belirme ve değişim saptama yaklaşımları incelendiğinde heyelanların otomatik haritalanmasında en iyi sonucun dNDVI'nin Tsai yöntemi ile eşiklenmesinden elde edildiği görülmektedir. CVA ve ICA3 bileşeni ile elde edilen sonuçlar hemen hemen yakın sonuçlardır. Bunun yanı sıra en düşük doğruluk değerine sahip sonuçlar PCA2 bileşeninden elde edilen sonuçlar olarak karşımıza çıkmaktadır. Tüm yöntemler ile en iyi sonuçların elde edildiği heyelan haritaları Şekil 19

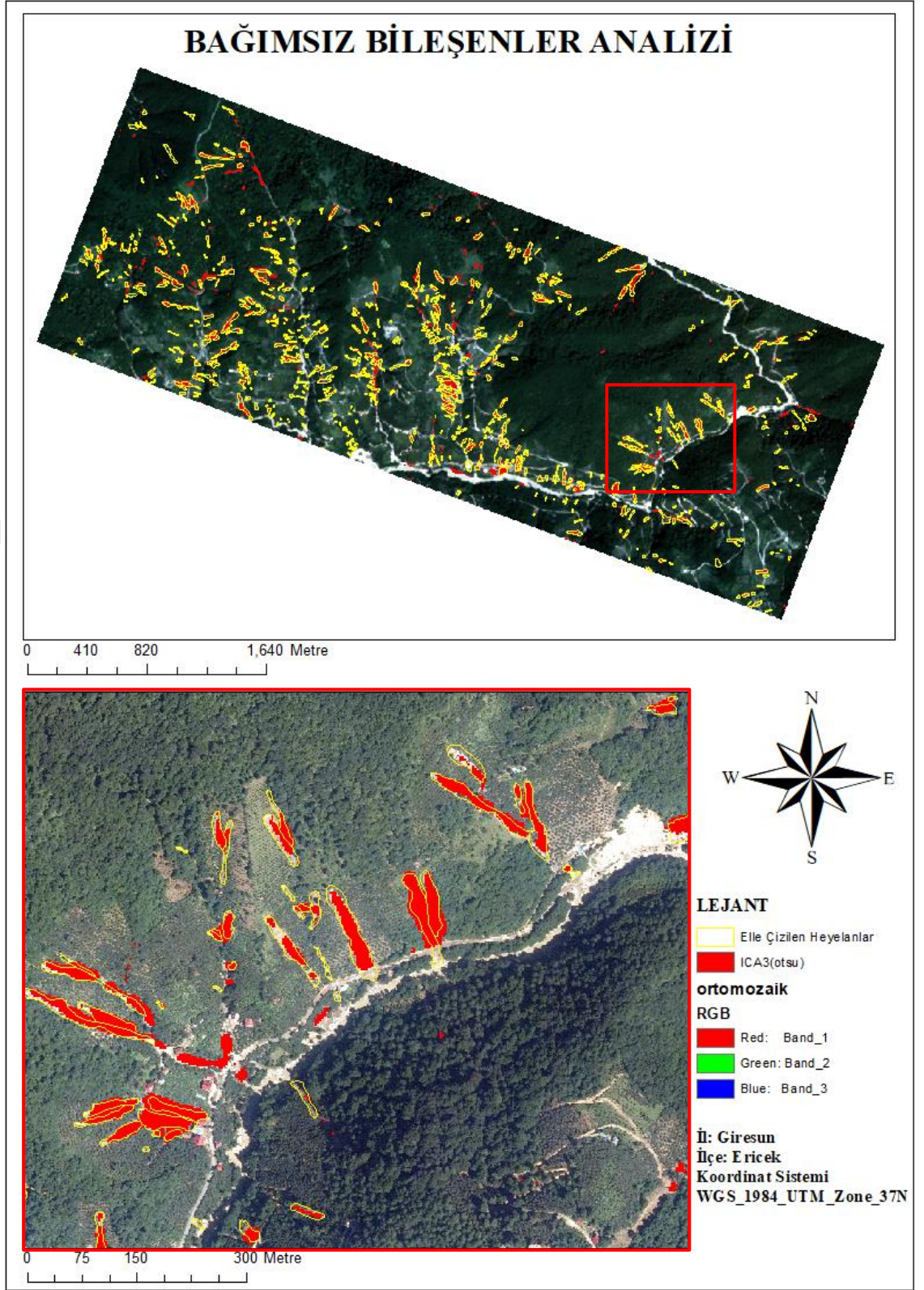
(CVA-Otsu Haritası), Şekil 20 (dNDVI-Tsai Haritası), Şekil 21 (ICA3-Otsu) ve Şekil 22'de (PCA2-Otsu Haritası) gösterilmiştir.



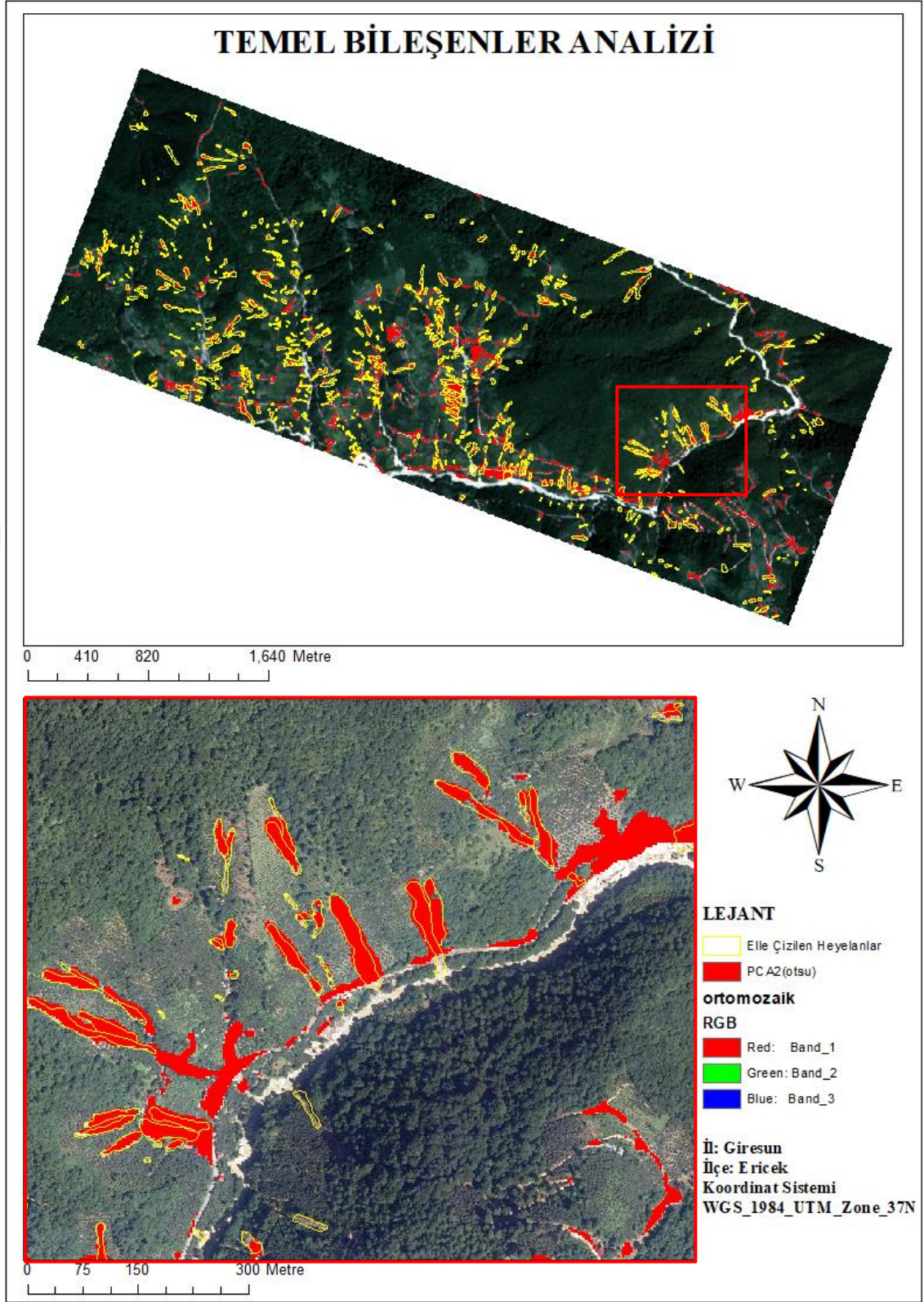
Şekil 19. Değişim Vektör Analizi sonuç haritası



Şekil 20. dNDVI sonuç haritası



Şekil 21. Bağımsız Bileşenler Analizi sonuç haritası



Şekil 22. Temel Bileşenler Analizi sonuç haritası

Elde edilen sonuçlar eşik belirleme yöntemleri açısından değerlendirildiğinde, PCA, ICA ve CVA analizlerinde en yüksek sonuçlar Otsu eşik belirlemesi ile elde edilen sonuçlardır. Ancak dNDVI ise en iyi sonuç Tsai ile elde edilmiştir. Buradan eşik belirleme yöntemlerinin bir veri setinden diğer veri setine değişebileceğini söylemek

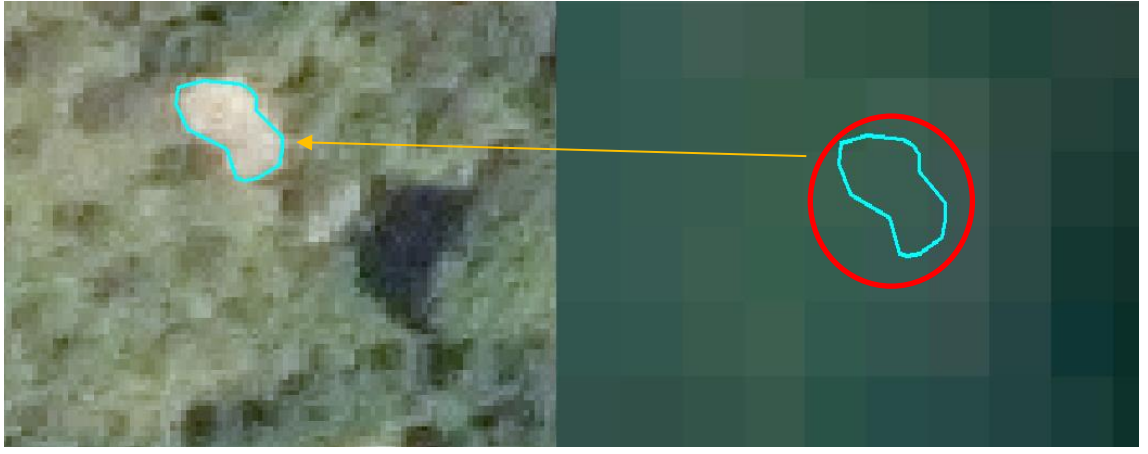
mümkündür. Ancak yine de Otsu yöntemi birçok çalışmada başarılı sonuç verdiği gibi bu tez çalışmasında da üç farklı değişim belirleme yönteminde en iyi sonucu sunmuştur.

Elde edilen sonuçlar genel olarak ele alındığında, çalışma sahası olay öncesi büyük oranda fındık bahçesi ve ormanlarla kaplıdır. Heyelan olayı sonrası bitki örtüsünde büyük bir değişim olmuştur. Bundan dolayı da dNDVI yaklaşımı ile heyelanlar en yüksek doğrulukta elde edilmiştir.

Değişim vektör analizinde olay öncesi ve olay sonrası tüm görüntü bantları kullanılmış ve alanın değişim görüntüsü elde edilmiştir. Bu yöntemde tüm bantlarla işlem yapıldığı için veri seti içinde gürültü fazla oluşmaktadır. Bu durumda heyelanların yüksek doğrulukla elde edilmesinin önüne geçen faktörlerden birisi olmuştur.

PCA ve ICA çalışma prensibi olarak görüntünün tamamında global bilgi çıkaran yöntemler olduğundan yani heyelan yerine görüntü istatistikleriyle yönlendirildiğinden en güçlü heyelan bilgisini içeren bileşenler farklı çalışma alanında farklılıklar gösterebilmektedirler. PCA veya ICA analizinde birinci bileşen bantlardaki en çok bilgiyi tutan bileşendir. Ayrıca bu bileşen heyelanlardan kaynaklanan arazi örtüsü değişiklikleri göstermektedir. Ancak çalışma sahasının özelliklerine göre heyelanlar ikinci ya da üçüncü bileşende görülebilmektedir (Mondini vd., 2011). Yapılan bu çalışmada ICA analizinde ICA3 ile heyelanlar yakalanmıştır. PCA analizinde ise PCA2’de heyelanlar en iyi şekilde elde edilmiştir. PCA ve ICA ile elde edilen heyelan haritalarında doğruluk değerinin düşük elde edilmesi en çok toprak yollarla heyelanların birbirine benzeşmesinden kaynaklanmaktadır.

Yapılan bu tez çalışmasında, çalışma alanındaki heyelanların belirlenmesinde doğruluğu etkileyen faktörler bulunmaktadır. Bunların birincisi çalışma sahasında birçok küçük heyelan meydana gelmiştir. Bu heyelanlar görsel yorumlama ve sayısallaştırma ile elde 0,25 m çözünürlüklü ortofoto üzerinden çizilebilmiştir. Ancak, analizlerde kullanılan 3 m çözünürlüklü PlanetScope görüntülerinden birçoğu tespit edilememiştir. Şekil 23’de görüldüğü üzere Harita Genel Müdürlüğü’nden (sol) temin edilen ortofoto 0,25 m çözünürlükte iken çalışmamızı yaptığımız ortofoto PlanetScope (sağ) 3 m çözünürlükte olup aralarındaki heyelanları algılama farkı ortalama 50 metrekareden küçük heyelanları algılamada farklılıklar yaratmaktadır. Bu durum yapılan analizlerin hassasiyeti de düşmektedir. Daha hassas verilerde yapılan işlemlerdeki hassasiyetin daha yüksek olacağı düşünülmektedir.



Şekil 23. Harita Genel Müdürlüğü'nden (sol), PlanetScope (sağ) temin edilen ortofotolar ile heyelan alan karşılaştırması

Küçük boyutlu heyelanların tespit edilememesinde olduğu gibi, çalışma sahasında akma şeklinde çok sığ heyelanlar bulunmaktadır. Bu heyelanlardan bazıları da PlanetScope görüntülerinden tespit edilememiştir.

Yapılan işlemlerde sayısal yükseklik modelinden otomatik üretilen akarsu verilerinin maskeleyme amacıyla kullanılması hassasiyeti artırmaktadır. Karadeniz bölgesi gibi yoğun yağışların tetiklediği alanlarda sıklıkla dere yataklarında taşmalar meydana gelmektedir. Değişim saptama yaklaşımları ile heyelanların haritalanmasında taşkın alanlarının heyelanlardan ayrılması için filtreleme işleminin uygulanması heyelan envanter haritalarının doğru oluşturulması için oldukça önemlidir.

Çalışma kapsamında uygulanan tüm değişim saptama yaklaşımları için hem otomatik hem de manuel eşik belirleme işlemi uygulanmıştır. Elde edilen sonuçlar irdelendiğinden manuel ve otomatik eşik belirleme işlemlerinin çok yakın sonuçlar verdiği gözlemlenmiştir. Ancak otomatik eşik belirleme işlemi birkaç dakika içinden gerçekleştirilirken manuel eşik belirleme işlemi birkaç saat zaman alabilmektedir. Hızlı heyelan envanterlerinin elde edilmesi ve süreçlerin otomatize edilmesi açısından eşik belirleme yöntemleri PlanetScope verileri için en az manuel yöntem kadar doğru sonuç vermiştir.

Çalışmada kullanılan PlanetScope görüntüleri ile özellikle dNDVI yaklaşımında birçok heyelan tespit edilebilmiştir. Görüntülerden kaynaklı olarak birçok küçük heyelan elde edilememesine rağmen sonuçlar tatmin edici seviyedir. PlanetScope uydularının zamansal çözünürlüğünün bir gün olması özellikle Doğu Karadeniz bölgesi gibi bulutlu gün sayısı fazla olan bölgeler için son derece kullanışlı verilerdir. Ancak bu görüntülerin en büyük dezavantajı ticari kullanımlar için ücretli olmalarıdır. Bu duruma ek olarak, PlanetScope uyduları Karadeniz bölgesi üzerinden genellikle sabah saatlerinde

geçmektedir. Sabah saatlerinde elde edilen görüntülerde, özellikle dağlık alanlarda, yaz mevsimi dışında gölge problemi bulunmaktadır. Bu çalışmada kullanılan görüntüler yaz mevsimi görüntüleri olduğu için gölge problemi çok az heyelanda yaşanmıştır. Ancak son bahar ya da ilk baharda gerçekleşecek heyelan olaylarında gölge problemlerinin de dikkate alınması gerekmektedir.



5. SONUÇ

Bu çalışmada, çalışma alanı olarak belirlenen Giresun ili Espiye ilçesi Eriçek köyünde meydana gelen heyelanlar 3 m mekânsal çözünürlüklü PlanetScope uydu görüntülerinden değişim saptama yaklaşımları ve otomatik eşik belirleme yaklaşımları ile haritalanmıştır. Elde edilen sonuçlar HGM'den temin edilen 0,25 m çözünürlüklü ortofoto görüntüden üretilen heyelan haritaları ile karşılaştırılmıştır. Doğruluk analizi sonuçları incelendiğinde; çalışma alanı için üretilen dNDVI haritasından en iyi sonuç Tsai eşik belirme yöntemi ile 0.784 Kappa değerinde elde edilmiştir. NDVI analizini CVA, ICA3, PCA2 ile elde edilen heyelan haritaları takip etmiştir. Elde edilen doğruluk sonuçları manuel eşikleme ile elde edilen sonuçlarla çok yakın sonuçlar vermiştir. Bundan dolayı çalışmada uygulanan yöntemler PlanetScope görüntüleri için Karadeniz bölgesinde NDVI tabanlı olarak heyelanların tespit edilmesinde kullanılabileceğini göstermektedir. Çalışmada kullanılan PlanetScope görüntüleri ile uydunun mekânsal çözünürlüğünden dolayı 50 m²'den küçük heyelanların birçoğu tespit edilememiştir. Ayrıca uydunun çalışma sahası üzerinden 10:00-11:00 civarından geçmesinden dolayı oluşan gölgelenmeden kaynaklı heyelanların tespit edilememesi gibi durumlarda ortaya çıkmıştır. Bundan dolayı doğruluk analizi sonuçları biraz düşük kalmıştır. Bu çalışmada elde edilen sonuçlar aşağıda özetlenmiştir.

- Uygulanan değişim saptama yöntemlerinde hemen hemen hepsinde heyelanların belirlenmesi sağlanmıştır.
- Uygulanan otomatik eşik belirleme yöntemleri manuel eşik belirleme yöntemi ile yakın sonuçlar vermiştir.
- En iyi sonuç dNDVI yaklaşımına Tsai eşik belirleme yönteminin uygulanması ile elde edilmiştir.
- Eşik belirleme yaklaşımlarından Otsu yaklaşımı PCA, ICA ve CVA analizlerinde en iyi sonucu vermiştir. NDVI tabanlı analizde ise Tsai en iyi sonucu vermiştir. Bu sonuçlar farklı veri setlerinde farklı eşik belirleme yaklaşımlarının çalışabileceğini göstermektedir.
- Çalışma sahasında bulunan küçük heyelanlar (<50 m²), PlanetScope uydu görüntüsünün mekânsal çözünürlüğünden kaynaklı olarak tespit edilememiştir.
- Değişim saptama yöntemleri kullanılarak yapılan analizler sonucunda derelerde meydana gelen taşkın alanların heyelan olarak algılandığı izlenmiştir. Bu

alanların maskelenmesi heyelan envanter haritalarının oluşturulmasında doğruluk analizi sonuçlarını olumlu yönde artırmaktadır.

Çalışma kapsamından elde edilen doğruluk değerleri %80 altında kalmıştır. Gelecekte daha yüksek mekânsal znrlkl uyd u görüntülerinin kullanılması bu değeri artıracaktır. Ayrıca bu çalışma ile elde edilen heyelan haritalarının heyelan envanter haritası olarak kullanılıp kullanılmayacak gelecekte heyelan duyarlık haritaları ile test edilecektir.



KAYNAKÇA

- Abdullah, E. (2020). Görüntü İkileştirme için Global Eşikleme Yöntemleri Üzerine Bir İnceleme. *Mühendislik Bilimleri ve Araştırmaları Dergisi*, 2(2), 38-49.
- Aghlmand, M., Onur, M. İ., ve Talaeı, R. (2020). Heyelan Duyarlılık Haritalarının Üretilmesinde Analitik Hiyerarşi Yönteminin ve Coğrafi Bilgi Sistemlerinin Kullanımı. *European Journal of Science and Technology*, 224-230. <https://doi.org/10.31590/ejosat.araconf28>
- Aksoy, B., ve Ercanoğlu, M. (2012). Landslide identification and classification by object-based image analysis and fuzzy logic: An example from the Azdavay region (Kastamonu, Turkey). *Computers ve Geosciences*, 38(1), 87-98. <https://doi.org/10.1016/j.cageo.2011.05.010>
- Avena, G. C., Ricotta, C., ve Volpe, F. (1999). The influence of principal component analysis on the spatial structure of a multispectral dataset. *International Journal of Remote Sensing*, 20(17), 3367-3376.
- Baysal D. (2006). *Eskişehir Kentsel Yerleşim Alanının Farklı Yıllara Ait Fiziksel Değişiminin Uzaktan Algılama Yöntemi ile Değerlendirilmesi*. Yayınlanmış Yüksek Lisans Tezi, Anadolu Üniversitesi, Eskişehir.
- Benson, C., ve Clay, E. J. (2004). *Understanding the economic and financial impacts of natural disasters* (Sayı 4). World Bank Publications.
- Borghuis, A. M., Chang, K., ve Lee, H. Y. (2007). Comparison between automated and manual mapping of typhoon-triggered landslides from SPOT-5 imagery. *International Journal of Remote Sensing*, 28(8), 1843-1856. <https://doi.org/10.1080/01431160600935638>
- Brunsdon, D. (1985). Landslide types, mechanisms, recognition, identification. *landslides in the South Wales coalfield, edited by: Morgan, CS, Proceedings Symposium, April*, 1-3.
- Brunsdon, D. (1993). Mass movement; the research frontier and beyond: a geomorphological approach. *Geomorphology*, 7(1-3), 85-128. [https://doi.org/10.1016/0169-555X\(93\)90013-R](https://doi.org/10.1016/0169-555X(93)90013-R)
- Cracknell, A., ve Hayes, L. (1992). *Introduction to remote sensing*.
- Cruden, D. M. (1991). A simple definition of a landslide. *Bulletin of the International Association of Engineering Geology*, 43(1), 27-29. <https://doi.org/10.1007/BF02590167>

- ÇEM. (2016). *Doğu Karadeniz Heyelanları*.
- Çorumluoğlu, Ö., ve Altuntaş, C. (2002). *Uzaktan Algılama Görüntülerinde Digital Görüntü İşleme ve Rsmage Yazılımı*.
- Çömert R. (2018). *İnsansız Hava Aracı Verilerinden Nesne Tabanlı Sınıflandırma Yaklaşımı ile Sığ Heyelanların Tespiti*. Yayınlanmış doktora tezi, Anadolu Üniversitesi, Eskişehir.
- Dilley, M. (2005). *Natural disaster hotspots: a global risk analysis* (C. 5). World Bank Publications.
- Doğan, S., ve AKINCI, H. (2013). Bağımsız Bileşenler Analizi ile Video Görüntülerinden Öz Bilgilerin Çıkarılması. *Harita Teknolojileri Elektronik Dergisi*, 5(1), 13-25.
- Eastman, J. R. (2006). IDRISI Andes tutorial. *Clark Labs., Clark University, Worcester, MA*.
- Fidan, S. (2019). *Türkiye'deki Ölümüne Sebep Olan Heyelanların Coğrafi Bilgi Sistemleri ile Değerlendirilmesi*. Yayınlanmış yüksek lisans tezi, İstanbul Üniversitesi, İstanbul.
- Giresun ÇDR. (2005). *Giresun Valiliği İl Çevre ve Orman Müdürlüğü*. Giresun.
- Guzzetti, F., Mondini, A. C., Cardinali, M., Fiorucci, F., Santangelo, M., ve Chang, K.-T. (2012). Landslide inventory maps: New tools for an old problem. *Earth-Science Reviews*, 112(1-2), 42-66. <https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2012.02.001>
- Hashim, M., Misbari, S., ve Pour, A. B. (2018). Landslide Mapping and Assessment by Integrating Landsat-8, PALSAR-2 and GIS Techniques: A Case Study from Kelantan State, Peninsular Malaysia. *Journal of the Indian Society of Remote Sensing*, 46(2), 233-248. <https://doi.org/10.1007/s12524-017-0675-9>
- Hölbling, D., Füreder, P., Antolini, F., Cigna, F., Casagli, N., ve Lang, S. (2012). A semi-automated object-based approach for landslide detection validated by persistent scatterer interferometry measures and landslide inventories. *Remote Sensing*, 4(5), 1310-1336.
- Hyvärinen, A., ve Oja, E. (2000). Independent component analysis: algorithms and applications. *Neural Networks*, 13(4-5), 411-430. [https://doi.org/10.1016/S0893-6080\(00\)00026-5](https://doi.org/10.1016/S0893-6080(00)00026-5)
- Kalkan, K. (2011). *Kentsel Gelişim İçin Potansiyel Açık Alanların Belirlenmesinde Nesne Tabanlı Sınıflandırma Yöntemi ile Transfer Edilebilir Kural Dizisi Oluşturulması*. Yayınlanmış yüksek lisans tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul.

- Kapur, J. N., Sahoo, P. K., ve Wong, A. K. C. (1985). A new method for gray-level picture thresholding using the entropy of the histogram. *Computer vision, graphics, and image processing*, 29(3), 273-285.
- Kittler, J., Illingworth, J., ve Föglein, J. (1985). Threshold selection based on a simple image statistic. *Computer vision, graphics, and image processing*, 30(2), 125-147.
- Kömüşçü, A. U., Aksoy, M., Çelik, S., Ciba, Ö. F., Uğurlu, A., Turgu, E., ve Emel, Ü. (22M.S.). 22 Ağustos 2020 Tarihinde Giresun ve İlçelerinde Meydana Gelen Şiddetli Yağış ve Sel Olayının Meteorolojik ve Hidrometeorolojik Analizi. *Su Kaynakları*, 6(1), 1-14.
- Lahousse, T., Chang, K. T., ve Lin, Y. H. (2011). Landslide mapping with multi-scale object-based image analysis – a case study in the Baichi watershed, Taiwan. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 11(10), 2715-2726. <https://doi.org/10.5194/nhess-11-2715-2011>
- Lorup, E. (1996). IDRISI GIS'96: ausgewählte Projekte auf CDROM.
- Lu, P., Qin, Y., Li, Z., Mondini, A. C., ve Casagli, N. (2019). Landslide mapping from multi-sensor data through improved change detection-based Markov random field. *Remote Sensing of Environment*, 231, 111235. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2019.111235>
- Lu, P., Shi, W., ve Li, Z. (2022). Landslide Mapping From PlanetScope Images Using Improved Region-Based Level Set Evolution. *IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters*, 19, 1-5. <https://doi.org/10.1109/LGRS.2021.3122964>
- Mather, P. M. (1996). Computer Processing of Remotely-Sensed Images, England. 20. *SUNAR, F., İstanbul Teknik Üniversitesi Yayınlanmamış Ders Notları.*
- McCarthy, D. F. (2010). Zemin Mekaniğinin Esasları ve Temeller. *OYTEV, İstanbul.*
- Mondini, A. C., Guzzetti, F., Reichenbach, P., Rossi, M., Cardinali, M., ve Ardizzone, F. (2011). Semi-automatic recognition and mapping of rainfall induced shallow landslides using optical satellite images. *Remote Sensing of Environment*, 115(7), 1743-1757. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2011.03.006>
- Mwaniki, M. W., Agutu, N. O., Mbaka, J. G., Ngigi, T. G., ve Waithaka, E. H. (2015). Landslide scar/soil erodibility mapping using Landsat TM/ETM+ bands 7 and 3 Normalised Difference Index: A case study of central region of Kenya. *Applied Geography*, 64, 108-120. <https://doi.org/10.1016/j.apgeog.2015.09.009>
- Oppenheimer, C. (1999). Schowengerdt, RA 1998. Remote Sensing. Models and Methods for Image Processing, xiv+ 522 pp. San Diego, London: Academic Press.

- Price US \$75.00 (hard covers). ISBN 0 12 628981 6. *Geological Magazine*, 136(6), 697-711.
- Otsu, N. (1979). A Threshold Selection Method from Gray-Level Histograms. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics*, 9(1), 62-66. <https://doi.org/10.1109/TSMC.1979.4310076>
- Pour, A. B., ve Hashim, M. (2017). Application of Landsat-8 and ALOS-2 data for structural and landslide hazard mapping in Kelantan, Malaysia. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 17(7), 1285-1303. <https://doi.org/10.5194/nhess-17-1285-2017>
- Ramos-Bernal, R., Vázquez-Jiménez, R., Romero-Calcerrada, R., Arrogante-Funes, P., ve Novillo, C. (2018). Evaluation of Unsupervised Change Detection Methods Applied to Landslide Inventory Mapping Using ASTER Imagery. *Remote Sensing*, 10(12), 1987. <https://doi.org/10.3390/rs10121987>
- Rau, J.-Y., Jhan, J.-P., ve Rau, R.-J. (2014). Semiautomatic Object-Oriented Landslide Recognition Scheme From Multisensor Optical Imagery and DEM. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 52(2), 1336-1349. <https://doi.org/10.1109/TGRS.2013.2250293>
- Rib, H. T., ve Liang, T. (1978). *Recognition and Identification*.
- Schowengerdt, R. A. (2006). *Remote sensing: models and methods for image processing*. Elsevier.
- Si, A., Zhang, J., Tong, S., Lai, Q., Wang, R., Li, N., ve Bao, Y. (2018). Regional Landslide Identification Based on Susceptibility Analysis and Change Detection. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 7(10), 394. <https://doi.org/10.3390/ijgi7100394>
- Smith, L. I. (2002). *A tutorial on Principal Components Analysis*. T.C. Giresun Valiliği İl Afet ve Acil Durum Müdürlüğü. (2021). *İRAP İl Afet Risk Azaltma Planı*.
- Tucker, C. J. (1979). Red and photographic infrared linear combinations for monitoring vegetation. *Remote sensing of Environment*, 8(2), 127-150.
- URL-1: Afet Yönetimi Kapsamında 2019 Yılına Bakış ve Doğa Kaynaklı Olay İstatistikleri, https://www.afad.gov.tr/kurumlar/afad.gov.tr/e_kutuphane/kurumsal-raporlar/afet_istatistikleri_2020_web.pdf. 01.09.2022.
- URL-2: Heyeylan oluşum nedenleri, <https://pubs.usgs.gov/fs/2004/3072/fs-2004-3072.html>. 01.09.2022.

- URL-3: Uzaktan Algılama, <https://www.osmaniye.edu.tr/birimdetay-harita-14995>.
03.09.2022.
- URL-4: Çözünürlük Değeri, <https://www.hvkk.tsk.tr/Custom/Hvkk/244>. 08.08.2022 .
- URL-5: Uyduların Görüntüleri
http://www.nik.com.tr/content_sistem_uydu_goruntuleri.asp. 05.10.2022.
- URL-6: Temel Bileşenler Analizi,
<https://www.l3harrisgeospatial.com/docs/principalcomponentanalysis.html>.
01.10.2022.
- URL-7: Dereli İlçesinde Etkili Olan Heyelan, <http://www.akkayakoyu.org/>. 09.09.2022.
- URL-8: İllere Ait Mevsim Normalleri, <https://www.mgm.gov.tr/veridegerlendirme/il-ve-ilceler-istatistik.aspx?m=GIRESUN>. 01.11.2022.
- Varnes, D. J. (1978). Slope movement types and processes. *Special report, 176*, 11-33.
- Wen, X., ve Yang, X. (2009). Change Detection from Remote Sensing Imageries Using Spectral Change Vector Analysis. *2009 Asia-Pacific Conference on Information Processing*, 189-192. <https://doi.org/10.1109/APCIP.2009.183>
- Zaruba, Q., ve Mencl, V. (2014). *Landslides and their control*. Elsevier.

ÖZGEÇMİŞ

Enbiya ÇİÇEK, İlk ve orta öğrenimini Trabzon Ortahisar ilçesinde tamamladı. Lisans eğitimini 2008-2013 yılları arasında Karadeniz Teknik Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Jeodezi ve Fotogrametri Mühendisliği bölümünde tamamladı. Tezsiz yüksek lisans eğitimini 2020-2021 tarihleri arasında Eskişehir Teknik Üniversitesinde tamamladı. Tezli yüksek lisans eğitimine ise 2020 yılında başladığı Gümüşhane Üniversitesi Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi Harita Mühendisliği bölümünde devam etmektedir. 2013-2016 yılları arasında çeşitli özel şirketlerde çalıştıktan sonra 2016 yılında atandığı Milli Eğitim Bakanlığında Harita Tapu Kadastro Tekniği öğretmeni olarak görev yapmaktadır. Enbiya ÇİÇEK evli ve bir çocuk babasıdır.