

Optik Uydu Görüntüleri Yardımıyla Heyelan Alanlarında Meydana Gelen Kütle Hareketlerinin İncelenmesi: Koyulhisar Örneği

Yasin Demirel¹ , Tarık Türk¹ 

¹Sivas Cumhuriyet Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Harita Mühendisliği Bölümü, Sivas, Türkiye

Anahtar Kelimeler

COSI Corr,
Kütle Hareketleri,
Deformasyon,
Heyelan,
Uzaktan algılama.

ÖZ

Dünya çapında önemli bir doğal afet türü olarak kabul edilen heyelan, kentleşmeye zarar vermesi, tarım ve orman alanlarını tahrip etmesi, nehirler ve suları kirletmesi gibi maddi olumsuzluklarının yanı sıra can kaybına neden olarak üzücü sonuçlar doğuran bir felakettir. Bu nedenle heyelan alanlarında can ve mal kaybına sebep olan kütle hareketlerini tespit etmek hayati önem taşımaktadır. Günümüzde yersel ölçümler, uzaktan algılama ve fotogrametrik ölçümler gibi birçok yöntem ile heyelan, buzul, kumul ve deprem alanlarında meydana gelen kütle hareketleri belirlenebilir. Yüzey deformasyon analizleri fotogrametri ve uzaktan algılama teknikleri ile yapılabildiği gibi yerinde ölçüm ve arazi gözlem teknikleri ile de yapılabilir. Her tekniğin kendi avantajı ve sınırlaması vardır. Her ne kadar yersel ölçüm yöntemlerinde (jeofizik etüt, kazı yapma, tektonik ve jeomorfolojik özelliklerin araştırılması) yüzey deformasyonları doğru bir şekilde belirlense de bütünsel bir görünüm elde etmek oldukça yoğun emek ve zaman gerektirir. Uzaktan algılama yöntemleri ise hız ve maliyet gibi birçok açıdan oldukça kolaylıklar sağlamaktadır. Bu çalışmada, çok yüksek çözünürlüklü optik uydu görüntüleri ve optik olarak algılanan görüntülerin korelasyonu yöntemi (COSI Corr) ile heyelan alanlarında meydana gelen yavaş kütle hareketleri analiz edilmiştir. Bunun sonucunda, heyelan bakımından riskli olan yerleşim alanlarında gerekli önlemlerin alınmasına yönelik çeşitli öneriler ortaya konulmuştur.

Investigation of Mass Movements Occurring in Landslide Areas with the Help of Optical Satellite Images: A Case Study in Koyulhisar Town

Keywords

COSI Corr,
Mass Movements,
Deformation,
Landslide,
Remote sensing.

ABSTRACT

Landslide, which is accepted as an important type of natural disaster worldwide, is a disaster that has sad consequences by causing loss of life as well as material negative effects such as damaging urbanization, destroying agricultural and forest areas, polluting rivers and waters. For this reason, it is vital to detect mass movements that cause loss of life and property in landslide areas. Today, mass movements in landslide, glacier, dune and earthquake areas can be determined by many methods such as terrestrial measurements, remote sensing and photogrammetric measurements. Surface deformation analyzes can be done by photogrammetry and remote sensing techniques, as well as by on-site measurement and field observation techniques. Each technique has its own advantage and limitation. Although surface deformations are accurately determined in terrestrial measurement methods (geophysical survey, excavation, investigation of tectonic and geomorphological features), obtaining a holistic view requires a lot of labor and time. Remote sensing methods, on the other hand, provide many conveniences such as speed and cost. In this study, slow mass movements occurring in landslide areas were analyzed by using very high resolution optical satellite images and Co-registration of Optically Sensed Images and Correlation (COSI Corr). As a result, various suggestions have been put forward to take necessary precautions in settlements that are risky in terms of landslides.

* Sorumlu Yazar (*Corresponding Author)

*(tturk@cumhuriyet.edu.tr) ORCID ID 0000-0002-2671-7590
(ysndmrl58@gmail.com) ORCID ID 0000-0002-5582-984X

Kaynak Göster (APA) / Cite this;

Demirel, Y. & Türk, T. (2022). Optik uydu görüntüleri yardımıyla heyelan alanlarında meydana gelen kütle hareketlerinin incelenmesi: Koyulhisar örneği. Türkiye Fotogrametri Dergisi, 4(1), 07-16

Geliş Tarihi/Received: 08/03/2022; Kabul Tarihi/Accepted: 02/06/2022

1. GİRİŞ

Dünyadaki hızlı nüfus artışı, teknoloji ve sanayideki hızlı gelişmeler yerleşim alanlarının tedbirsiz ve bilinçsizce gelişmesine dolayısıyla da doğal afetlerin verdiği zararların artışına sebep olmaktadır. Türkiye morfolojik yapısı, coğrafi konumu ve iklim özelliklerinden dolayı doğal afetlerin neden olduğu can kayıplarıyla ve büyük ekonomik zararlarla karşı karşıya kalmaktadır [1].

Heyelan, deprem, tsunami, taşkın ve kuraklık gibi birçok farklı doğal afet türü vardır. Heyelanlar dünya çapında önemli bir doğal afet türü olarak kabul edilmektedir [2]. Ayrıca heyelan, büyük ölçüde altyapıya (karayolları, demiryolları, boru hatları, yapay rezervler) ve özel mülke (binalar, tarım arazileri) zarar vermekle birlikte insan kayıpları ve ekonomik kayıplar ile toplumları maddi ve manevi olarak yıpratıcı bir doğal afet türüdür. Heyelan oluşumu; bölgenin litolojisi, faylara yakınlığı, yamaç eğimi, yükseklik, bakı, akarsuya yakınlık, yola yakınlık gibi birçok faktöre bağlıdır [1,3].

Heyelanlar sonucunda ortaya çıkan olumsuz etkileri azaltmak veya önlemek için heyelanları izlemek ve dinamiklerini analiz etmek son derece önemlidir [4]. Heyelan bakımından risk unsuru taşıyan bölgelerde meydana gelen yer değiştirmeleri ve kütle hareketlerini ortaya koymak, bölgedeki heyelan bakımından riskli alanları önceden tahmin etmek ve öngörülebilir zararları engellemek veya en aza indirmek açısından gerekli tedbirlerin alınmasına olanak sağlar.

Geleneksel yersel heyelan tespit yöntemleri ile hassas tespit yapılabilir ancak bu durum zaman gerektirmekle birlikte maliyetlidir. Zamanında, hızlı ve güncel bilgileri elde etmek için uzaktan algılama tabanlı farklı heyelan tespit yöntemleri uygulanmıştır [5,6]. Deformasyonların ve kütle hareketlerinin tespiti için Kaliforniya Teknoloji Enstitüsü tarafından Co-registration of Optically Sensed Images and Correlation (Cosi-Corr) olarak adlandırılan bir uzaktan algılama yöntemi geliştirilmiştir [7]. Birçok araştırmacı bu yöntemi kullanarak kumul, buzul, heyelan ve deprem alanlarında farklı ölçeklerde çalışmalar gerçekleştirerek hızlı ve güvenilir sonuçlar elde etmişlerdir. Cosi-Corr uzantısı, ENVI yazılımının bir modülü olarak çalışır [4].

Bu yöntemde, GNSS ile arazide yer kontrol noktaları (YKN) ölçümleri gibi ek bilgilere ihtiyaç duyulmamakla birlikte hava fotoğraflarının ya da optik uydu görüntülerinin otomatik ve hassas bir şekilde ortorektifikasyonu (ortho-rectification) ve birlikte doğrultulması (co-registration) gerekmektedir. Sonrasında bu iki görüntü arasındaki yatay yer değiştirmeler vektörlerle temsil edilebilir. Verilerin değerlendirilmesinde hava fotoğrafları için kamera kalibrasyon raporlarına, optik uydu görüntüleri için ise uydu yükseklik açısı, azimut açısı, uydu izleri gibi uydu görüntülerine ait meta verilerle birlikte çalışma alanının uydu görüntüsü elde edilme tarihi ile uyumlu ve yüksek doğruluklu sayısal arazi modeline (SAM) ihtiyaç duyulmaktadır. Ayrıca, farklı

periyottaki uydu görüntülerine ait metaverilerin (uydu yükseklik açısı, azimut açısı, uydu izleri vb.) birbirine yakın olması gerekmektedir [8,9].

Çok sayıda araştırmacı Cosi-Corr yöntemi ile kumul, buzul, heyelan ve deprem alanlarında farklı ölçeklerde çalışmalar yürütmüştür. Bu çalışmalardan bazıları şunlardır. Hermas ve arkadaşları [10], Spot 4 pankromatik uydu görüntüleri ile Mısır'da kumul bölgedeki yer değiştirmeleri analiz etmişlerdir. Elde edilen bulguları bölgede yapılan önceki çalışmaların sonuçlarıyla karşılaştırmış ve COSI Corr yönteminin diğer sonuçlarla tutarlı olduğunu ifade etmişlerdir. Suncar ve arkadaşları [11], Los Angeles'ın güneyinde meydana gelen heyelanlarındaki kütle hareketlerini COSI Corr yöntemi ile incelemiş, sonuçların GNSS istasyonları ile elde edilen verilerin değerlendirilmesiyle ortaya çıkan yer değiştirme değerleri ile tutarlı olduğunu saptamışlardır. Barisin ve arkadaşları [12], Spot 4 görüntülerinin alt piksel korelasyon analizi ve InSAR ölçümlerini birleştirerek Afar vadisinin Dabbahu segmentindeki üç boyutlu yüzey yer değiştirmeleri belirlemişlerdir. Stumpf ve arkadaşları [13], Fransız Alplerinde Ubaye vadisinin güneyinde yer alan Barcelonette' deki heyelanlarda oluşan kütle hareketlerini Pleiades uydu görüntüleri ve COSI Corr yöntemi ile analiz etmişlerdir. Scherler ve arkadaşları [14], Aster uydu görüntülerini ve COSI Corr yöntemini kullanarak yer ölçümlerinin maliyetli ve uygulanmasının zor olduğu alanlarda buzul dinamiğinin analizini gerçekleştirmişlerdir. Bunun sonucunda küresel ısınma ve küçülen buzullar ile ilgili tehlikeleri hesaba katan su yönetimi planları için COSI Corr yönteminin ışık tuttuğunu vurgulamışlardır.

Avouac ve arkadaşları [15], 8 Ekim 2005 Kashmir depremi sonucunda meydana gelen deformasyonu ölçmek ve sismik dalga modellerini belirlemek için Aster uydu görüntülerini ve alt piksel korelasyonunu kullanarak bu depremi analiz etmişlerdir. Bu tür bir analizin deprem sonrası görüntü elde edilir edilmez gerçekleştirilebildiğini ve hasarların erken değerlendirilmesi için önemli bilgiler sağladığını ifade etmişlerdir. Leprince ve arkadaşları [8], Aster uydu görüntüleri ve aynı alan ile örtüşen 30 hava görüntü çiftini COSI Corr yöntemi ile analiz ederek 2005 Kashmir ve 1992 Landers depremlerinin neden olduğu yatay kosismik yer değiştirme alanlarını tespit etmişlerdir. Taylor ve arkadaşları [16], Kasım 2002' de Alaska'da meydana gelen 7,9 büyüklüğündeki Denali depremi sırasındaki sismik yer değiştirmeleri Spot uydu görüntüleri ve COSI Corr yöntemi ile belirlemişlerdir. Necsoui ve arkadaşları [17]; Alaska Kobuk vadisi Ulusal Park bölgesinde 62 km²' lik bir alanda Aster optik uydu görüntüleri ve Cosi Corr yöntemi ile yavaş hareket eden kum tepelerindeki değişimi analiz etmişlerdir. Saba ve arkadaşları [6], yüksek çözünürlüklü Worldview 2 görüntüleri yardımıyla bölgesel ölçekte heyelan tespiti için Cosi Corr tekniğinin uygulanabilirliğini, avantaj ve dezavantajlarını ortaya koymuşlardır. Haque [18], 10 m çözünürlüklü Spot pankromatik görüntülerini, alt piksel korelasyon

tekniklerini ve ERS- 2 SAR verilerini kullanarak 12 Kasım 1999 Düzce depreminin neden olduğu yüzey deformasyonunu 3 boyutlu olarak modellemiştir. Türk [4]; 50 cm çözünürlüklü Worldview 1 pankromatik uydu görüntüleri ve COSI Corr yöntemini kullanarak Koyulhisar'da meydana gelen kütle hareketlerini belirlemiş ve çalışma alanında yapılan diğer çalışmalarla tutarlı olduğunu vurgulamıştır. Mazzanti ve arkadaşları [19]; Rattlesnake Hills (ABD) bölgesine ait çok sayıda farklı tarihe ait uydu görüntüleri ve Cosis Corr yöntemi ile bu bölgede meydana gelen heyelanların analizini gerçekleştirmiştir. Herman ve arkadaşları [20], Yeni Zelanda'da Aster uydu görüntülerini ve COSI Corr yöntemini kullanarak buzul hareketlerini analiz etmişlerdir. Türk [9], COSI Corr yöntemi ile heyelan meydana gelen alanlarda kütle hareketlerinin nasıl analiz edileceğini göstermiş ve yöntemin deformasyon tespitinde güvenle kullanılabileceğini ortaya koymuştur. Türk ve arkadaşları [21], Çok yüksek çözünürlüklü SPOT uydu görüntülerini ve COSI Corr yöntemini kullanarak daha önce heyelan bölgesi olarak belirtilen bölgelerdeki heyelan aktivitelerini izlemişlerdir. Ding ve arkadaşları [22], Alt piksel görüntü korelasyonu tekniği ile Landsat 8, Sentinel 2, Gaofen 2 görüntülerinin geriye dönük zamansal serilerini analiz ederek Çin'de meydana gelen heyelandan kaynaklanan deformasyonu belirlemişlerdir. Ayoub ve arkadaşları [23], Hava fotoğrafları ve Cosis Corr yönteminin fay hareketlerini ve zeminde meydana gelen deformasyonu analiz etmek için oldukça güçlü bir seçenek olduğunu ifade etmişlerdir. Fernandez ve Whitworth [24]; bir dizi hava fotoğrafı kullanarak Cosis Corr yöntemi ile heyelan aktivitesi olan bölgeyi incelemişler ve heyelan potansiyeline sahip bölgeleri otomatik olarak tespit etmişlerdir. Fernandez ve arkadaşları [25], sadece coğrafi olarak elverişli bölgelerde değil aynı zamanda incelenmesi zor olan alanlarda da hava fotoğrafları ve Cosis Corr yönteminin yer değiştirme alanlarının tespitinde kullanışlı bir yöntem olduğunu vurgulamışlardır. Lucieer ve arkadaşları [2]; İnsansız Hava Aracı (İHA) tabanlı görüntüler ve Cosis Corr yöntemi yardımıyla heyelan dinamiklerini izlemek için esnek ve etkili araçlar sağlayacağını ortaya koymuşlardır.

Sonuç olarak, ekonomik ve can kayıplarına sebep olan heyelanlar dünyada sıklıkla meydana gelmektedir. Bu heyelan alanlarında meydana gelen kütle hareketleri belirli zaman aralıklarıyla analiz edilmelidir. Literatür incelendiğinde Cosis Corr yöntemi kumul/buzul alanlarda meydana gelen ve depremlerden/heyelanlardan kaynaklanan yer değiştirmelerin belirlenmesinde güvenle kullanılabilecek yöntemlerden biri olarak ortaya çıkmaktadır.

Bu çalışmada, Spot 5 uydu görüntüleri ve COSI Corr yöntemi kullanılarak Sivas ili Koyulhisar ilçe merkezi ve civarındaki kütle hareketleri belirlenmiş ve çalışma alanına ait birtakım değerlendirmeler yapılmıştır. Daha sonra elde edilen sonuçlar CBS ortamında bütünleştirilmiştir. Sonuç olarak, bu

çalışmanın heyelan bakımından riskli olan alanlarda alınması gereken önlemlere yönelik yapılacak çalışmalara katkı sağlayabileceği öngörülmektedir.

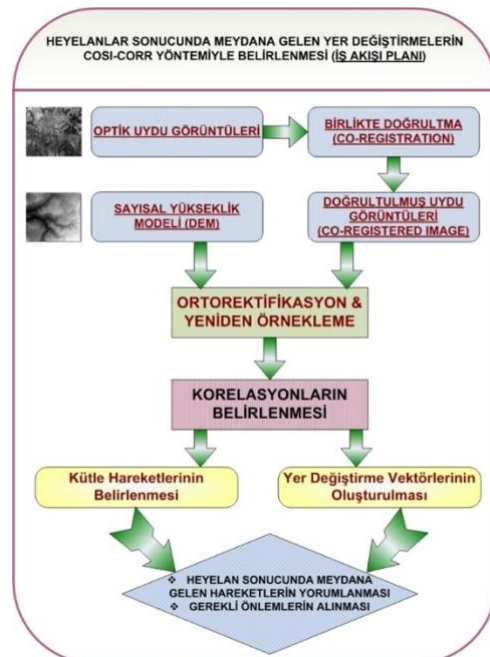
2. YÖNTEM

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

Bu analiz iki kısımdan oluşmaktadır. İlk kısımda, değişimin analiz edileceği ilgili çalışma alanına ait uydu görüntüleri ve COSI Corr yöntemi kullanılarak, GNSS ölçümü gibi ilave bir bilgiye ihtiyaç duyulmaksızın yüzey deformasyonunun ekonomik, kolay ve doğru bir şekilde ortaya konması açıklanmaktadır. İkinci kısımda ise; COSI Corr yöntemiyle yatay yer değiştirme hareketlerine ait veriler CBS ortamına aktarılarak elde edilen sonuçlar bu çalışma kapsamında geliştirilen kullanıcı arayüz programıyla analiz edilmiştir.

Gerçekleştirilen çalışmada;

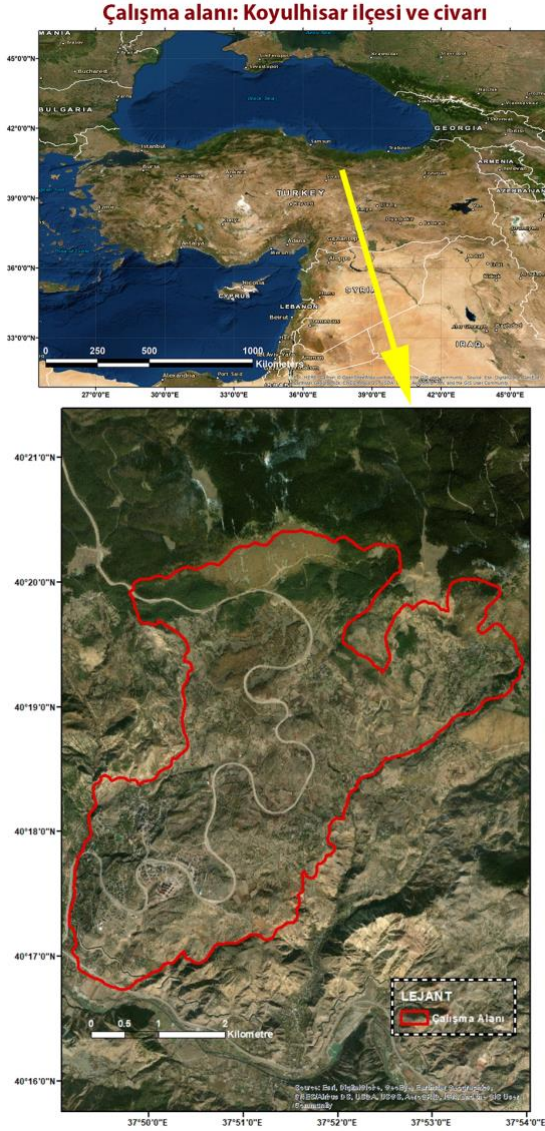
- 2,5 metre çözünürlüklü Spot 5 optik uydu görüntüleri (11 Ağustos 2006 ve 21 Eylül 2011 tarihine ait),
- Mutlak coğrafi referans doğruluğu için çok yüksek çözünürlüklü ikonos uydu görüntüsü,
- Topoğrafyadaki değişimlerin doğru bir şekilde modellenmesi için Harita Genel Müdürlüğü tarafından üretilen 1/25.000 ölçekli eş yükseklik eğrilerinden üretilen SAM ve MTA tarafından hazırlanan, bölgede önceden meydana gelen heyelanları gösteren heyelan envanter haritası kullanılmıştır. Verilerin işlenmesi ve analiz edilmesi için ENVI 5.0 ve ESRI ArcGIS 10.6.1 yazılımları kullanılmıştır. Çalışma kapsamında uygulanan iş adımları aşağıda sunulmaktadır (Şekil 1).



Şekil 1. İş akış şeması (Türk, 2013).

2.1. Çalışma Alanı ve Özellikleri

Koyulhisar bölgesi tektonik açıdan aktif bir fay olan Kuzey Anadolu Fay Zonu (KAFZ) içerisinde yer almaktadır (Şekil 2). Buna bağlı olarak bölgedeki kayalar genellikle kırıklı, ezilmiş ve süreksizlikler içermektedir. Ayrıca bölgedeki yüksek eğimli topografya faktörü de yerleşim alanlarının tahribine sebep olan birçok eski ve yeni heyelanı tetiklemektedir [26-28].



Şekil 2. Çalışma alanı: Koyulhisar ilçesi ve civarı

KAFZ'ın yanı sıra bölgede Şıhlar Fay Takımı, Çamlıyaka Fayı, Saytepe Fayı ve bölgenin kuzeyinde yer alan Dumanlıca Fayları olduğu bilinmektedir (Demirel vd., 2016). Bölgedeki bu faylar litoloji ile birlikte değerlendirildiğinde heyelanların tetiklenmesinde önemli bir unsur olabileceği değerlendirilmektedir. Özellikle Koyulhisar formasyonundaki çökeller bu aktif fayların etkisiyle suya doygun zemin üzerinde hareketlenerek heyelanları tetiklemektedir [40].

Jeolojik olarak, bölgenin temelini Paleozoyik yaşlı metamorfik kayalar ile bunları tektonik olarak

üzerleyen Mesozoyik yaşlı ofiyolitik kayalar oluşturur. Bu kayalar üzerine uyumsuz olarak Maestrihtiyen (Üst Kretase) yaşlı kireçtaşları örtmektedir. Eosen yaşlı aglomera, tüf ve andezitik lav akıntısı ile Pliyosen yaşlı andezitik ve bazaltik bileşimli lav akıntıları bu birimleri keserek inceleme alanında yüzeylemektedir. Kimyasal, mekanik ve/veya tektonik süreçlerle anakayadan türemiş olan gevşek yapılı Kuvaterner yaşlı alüvyon ve yamaç molozundan oluşan birimler ise yaşlı birimleri uyumsuz olarak örtmektedir [29].

Koyulhisar ve yakın çevresinde yapılan çalışmalarda, yüzeylenen kaya birimleri yaşlıdan gence doğru, Orta-üst Maestrihtiyen yaşlı Aşağıkale, Üst Maestrihtiyen yaşlı İğdir, Daniyen yaşlı Şıhlar, Orta-Üst Paleosen yaşlı Düdenyaylası, Pliyosen yaşlı Dumanlıca (Erdembaba) ve Pliyo-Kuvaterner yaşlı Koyulhisar formasyonları şeklinde tanımlanmıştır [30]. Bu formasyonlardan Aşağıkale, İğdir, Şıhlar ve Düdenyaylası formasyonları Geç Kretase Paleosen sırasında, volkanik yay tipi bir ortamda çökelmiş, üste doğru tane boyutu artan kalın bir istif oluşturmuştur [30]. Koyulhisar ilçe merkezinin kuzeyinde bulunan Erdembaba formasyonu andezitik-bazaltik karakterli volkanitlerden oluşmaktadır. Jeokimyasal verilere göre bu volkanik kayalar kıtasal kabuğun anateksisi sonucunda meydana gelen kalkalkalin karakterli asidik bir magmanın ürünü olduğunu göstermektedir [31]. Koyulhisar ilçe merkezi ve çevresinde yaygın şekilde yüzeylenen Pliyo-Kuvaterner yaşlı Koyulhisar formasyonu ise oldukça gevşek dokulu aglomera-tüf ve gri-yeşil renkli, breşik görünümlü andezitik lav akıntıları ve konglomeradan oluşmaktadır. Çalışma alanındaki Kuvaterner yaşlı çökelleri KAFZ ve Kelkit Nehri boyunca fay denetimli taraça çakılları, alüvyal yelpaze çökelleri ve alüvyon dolguları şeklinde gelişen, çakıl, kum ve siltlerden oluşur [30,32,33]. Bölgede yapılan çalışmalarda bu alanın farklı litolojiler ile sarp ve engebeli bir topografyaya sahip olduğu vurgulanmaktadır.

Ayrıca akarsular yamaç topuğunu erozyona uğratabilir veya yamacı oluşturan malzemenin akarsu seviyesinin altında kalan kısmını suya doygun hale getirerek yamacı oluşturan alanın kayma direncini azaltır ve sonuç olarak yamaçların stabilitesi bozulur [1]. Heyelanları tetikleyen bir diğer unsur olan yamaçlarda yapılan yollar ise ilgili alanda yük azalmasına neden olmaktadır [1].

Yukarıda belirtilen hususlar dikkate alındığında, çalışma alanının izlenmesi gereken potansiyel bir heyelan risk alanı olduğunu göstermektedir.

2.2. Verilerin Değerlendirilmesi

Optik uydu görüntüleri ve COSI Corr yazılımı kullanılarak yeniden örnekleme, ortorektifikasyon, birlikte doğrultma (co-registration) ve korelasyon gibi işlemler sonucunda çalışma alanında meydana gelen kütle hareketleri ve yatay yer değiştirmeler belirlenmiştir.

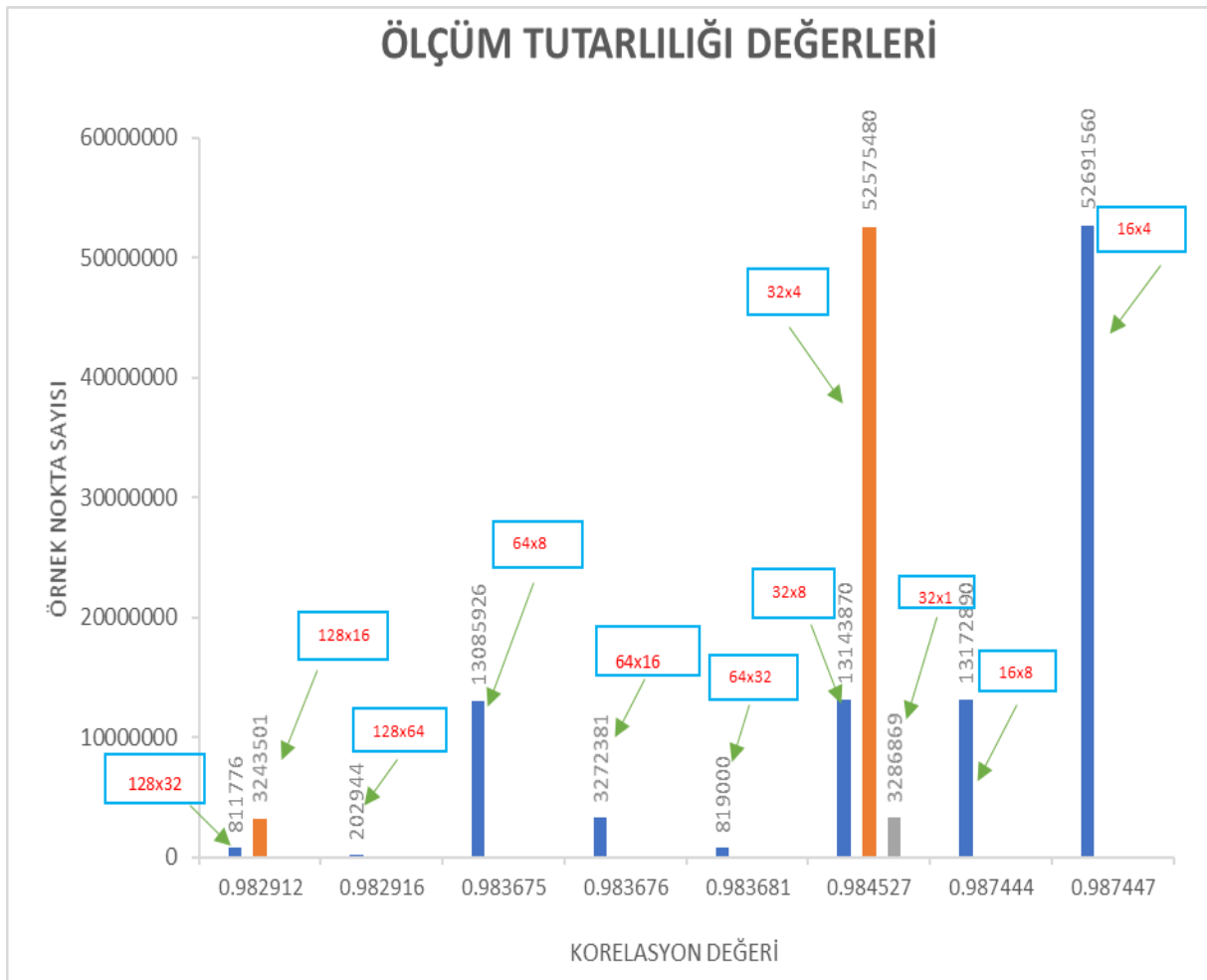
Çok yüksek çözünürlüklü İkonos uydu görüntüsü, 11 Ağustos 2006 tarihli Spot 5 uydu

görüntüsünün birlikte doğrultulması için ana görüntü olarak kullanılmıştır. Her iki görüntü arasında uygun dağılımlı bağlantı noktaları seçilmiştir. Seçilen bağlantı noktaları alt piksel korelasyonu (sub-pixel correlation) kullanılarak fourier tabanlı frekans korelatörü ile optimize edilmiş ve hassas ortorektifikasyon için YKN'ye dönüştürülmüştür. Referans olarak kullanılan İkonos görüntüsü ve 2006 yılına ait Spot 5 uydu görüntüsü arasında 37 ortak nokta kullanılarak ortorektifiye edilmiştir. Ortorektifiye edilen bu görüntü ile 2011 yılına ait Spot 5 uydu görüntüsü arasında 25 ortak nokta kullanılarak işlemler tekrarlanmıştır. Bağlantı noktalarının seçiminde oldukça hassas davranılmış olup uydu görüntülerinin konumsal çözünürlüğündeki farklar, görüntüdeki bulut ve bitki örtüsü gibi faktörler nedeniyle farklı sayıda ortak nokta hesaba katılmıştır.

En uygun sonuçları elde etmek ve aykırı değerleri filtrelemek için bazı son işlem adımları

uygulanır [18]. Yapılan çalışmada sonucun kalitesi SNR (Signal Noise Ratio: Sinyal-Gürültü-Oranı) bandındaki korelasyon ile değerlendirilmiştir. Çalışma alanı ve civarında yapılan heyelana yönelik çalışmalar dikkate alınarak aykırı değerler filtrelenmiş ve ardından sonuçlar değerlendirilmiştir.

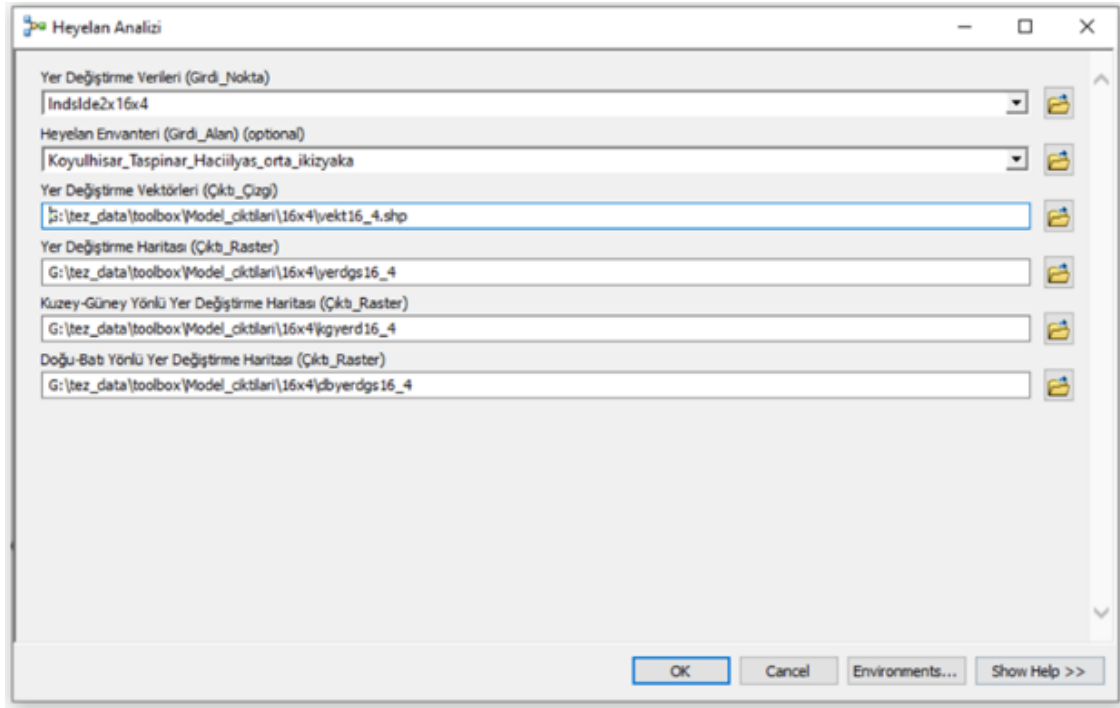
Kullanılan parametrelerin farklı pencere ve adım boyutları için türetilen SNR değerlerinin histogram grafiği tutarlılık kalitesinin değerlendirmesinde kullanılmaktadır. Histogram, örnek nokta sayısına karşı SNR değerini göstermektedir. SNR değerinin 0 değerini alması korelasyon bulunmadığını, 1 değerini alması ise değişkenler arasında yüksek oranda korelasyon bulunduğunu göstermektedir [4,18]. Bu esaslar hesaba katıldığında 16x4 (pencere boyutu-adım boyutu), en iyi kombinasyon olarak değerlendirilmiştir (Şekil 3).



Şekil 3. Pencere boyutu x adım boyutu değerleri için örnek nokta sayısına karşılık gelen korelasyon değerleri.

Çalışmanın ikinci kısmında ise MTA tarafından geçmiş yıllardaki heyelan bilgilerinden yola çıkarak üretilen heyelan envanter verisi ve çalışma alanını kapsayan uydu görüntüleri kullanılarak Cosi Corr yöntemi ile elde edilmiş yatay yer değiştirme vektörleri üretilmiştir. Ardından bu veriler CBS ortamında (ESRI ArcGIS) bütünleştirilmiş ve heyelan

bölgesine karşılık gelen noktalar dikkate alınarak enterpolasyon yöntemi ile kütle hareketleri analiz edilmiştir. Analize altlık oluşturan sonuçların tamamını otomatik olarak üreten bir kullanıcı arayüz programı ArcGIS Model Builder aracılığıyla geliştirilmiştir (Şekil 4).



Şekil 4. Geliştirilen kullanıcı arayüz programı

3. BULGULAR ve TARTIŞMA

COSI Corr yönteminde ortorektifiye edilmiş her iki görüntü benzerlik eşleşmesi amacıyla tarayan kayan pencere yöntemi kullanılarak analiz edilir ve yer değiştirme korelasyonunun en yoğun olduğu yerden tahmin edilir [23]. Pencere boyutu ve adım boyutu korelasyon için çok önemli bir faktördür. Genelde en iyi sonuçlar 1/4 ve 1/8 (adım boyutu/pencere boyutu) oranında çıkar. Büyük adım boyutunda ayrıntılar kaybolurken küçük adım boyutunda yer değiştirme alanı için daha fazla ayrıntı dikkate alınmaktadır [18].

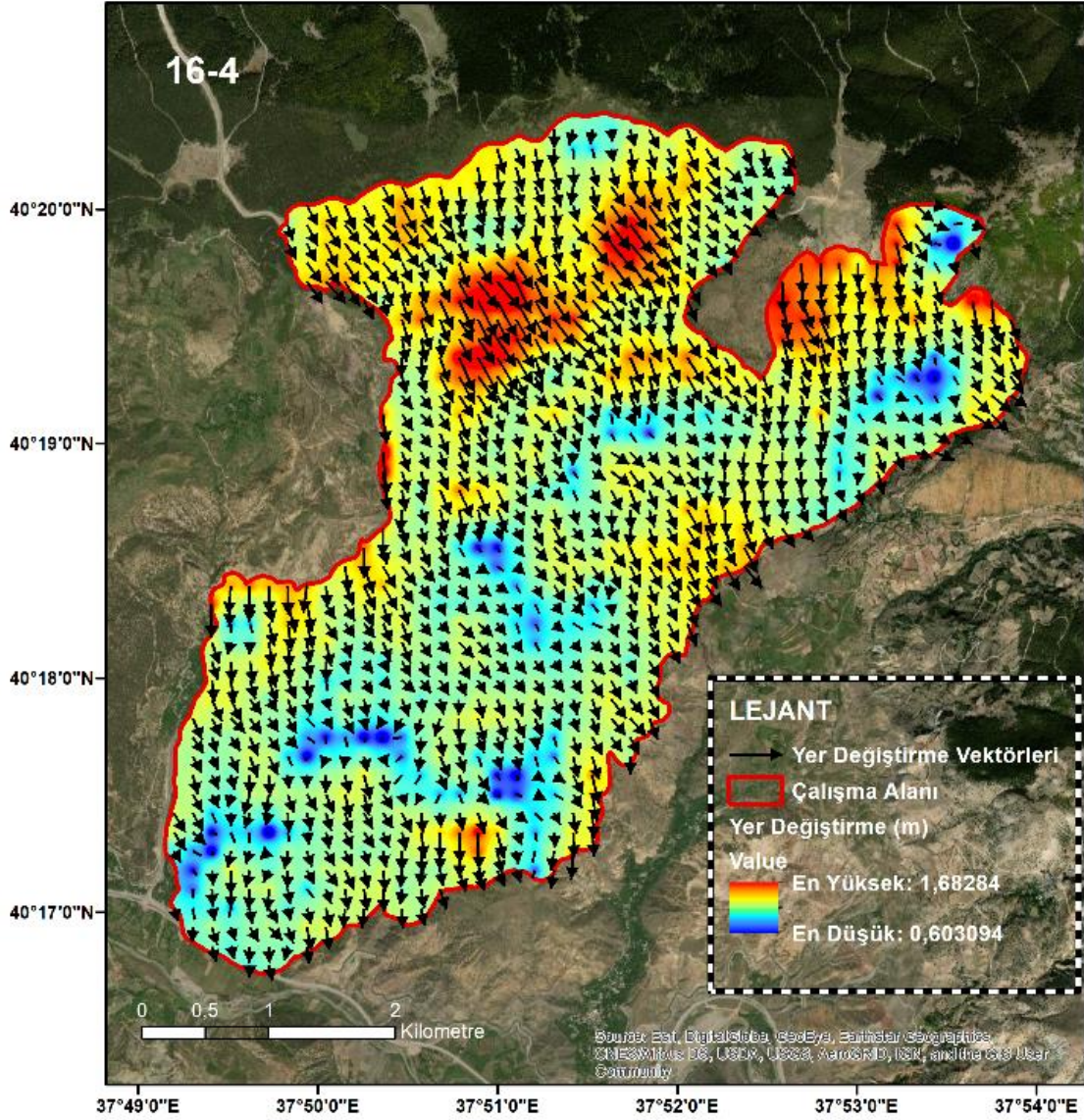
Farklı pencere ve adım boyutları için SNR bandındaki histogram grafiği korelasyon kalitesinin değerlendirilmesinde kullanılmıştır. Korelasyon dosyası istatistiksel olarak değerlendirildiğinde pencere boyutu 16 ve adım boyutu 4 kombinasyonunun en yüksek korelasyon ile en uygun sonucu ortaya çıkardığı tespit edilmiştir. Ayrıca farklı pencere ve adım boyutlarına göre nokta sayısı dolayısıyla vektör yoğunluğu değişmektedir. Nokta sayısı ve yoğunluğuna bağlı olarak farklı hassasiyet ve doğruluklar elde edilebilmektedir.

Korelasyon dosyasından elde edilen sonuçlar CBS ortamında analiz edilmiştir. Yer değiştirme değerleri kullanılarak Inverse Distance Weighting (IDW) yöntemiyle kütle hareketlerini temsil eden enterpolasyon haritaları geliştirilen kullanıcı arayüz programıyla otomatik olarak üretilmiştir (Şekil 5).

KAFZ üzerinde bulunan çalışma alanı, aktif bir heyelan bölgesi olup daha önce uzaktan algılama verileri, yersel ölçümler ve jeolojik faaliyetler ile birçok çalışmada ayrıntılı olarak incelenmiştir [1, 3, 4,

9, 21, 28, 33-38]. Bu çalışmalar sahada incelemede bulunan araştırmacılara bir fikir verebilir ancak yer değiştirme verileri her zaman birbiri ile tam olarak örtüşmeyebilir. Çünkü, GNSS ölçümleri ile noktasal bazda hareket belirlenirken COSI Corr yöntemiyle alan bazlı hareketler belirlenmektedir. Ayrıca bölgede yapılan uzaktan algılama ve GNSS tabanlı ölçümlerle tam bir karşılaştırma yapabilmek için değerlendirme tarihli uydu görüntüleri ile eş zamanlı ölçümlerin olması gerekmektedir.

Çalışma alanında; farklı tarihlerde 10 GNSS noktası [35] ve 53 GNSS noktası [36] kullanılarak noktasal bazda yer değiştirmeler iki farklı çalışma kapsamında belirlenmiştir. COSI Corr yöntemiyle 1/20 piksel civarında bir bağıl doğruluk elde edilebilmektedir [18,4,5]. Bu nedenle, kullanılan uydu görüntülerinin geometrik çözünürlüğü ölçüm sonuçlarında farklı doğrulukların elde edilmesine neden olabilmektedir. Bu çalışma kapsamında 2.5 metre çözünürlüğe sahip Spot 5 pankromatik uydu görüntüleri kullanılmış olup 12.5 cm'den fazla meydana gelen yer değiştirmelerin anlamlı olarak tespit edilebileceği durumunu ortaya çıkarmaktadır. Aynı çalışma alanında 2013 ve 2014 yılları arasında 50 cm çözünürlüğe sahip Worldview 1 optik uydu görüntüleri ve Cosi Corr yöntemiyle kütle hareketlerini belirlemek amacıyla yapılan çalışmada [4] yılda 15 cm ile 112 cm arasında değişen yer değiştirmeler tespit edilmişken yapılan bu çalışmada iki farklı tarihe ait 2,5 m çözünürlüklü Spot 5 uydu görüntüleri kullanılarak beş yıllık bir zaman periyodu (11 Ağustos 2006-21 Eylül 2011) içerisinde yıllık ortalama 12 cm ile 34 cm arasında değişen yer değiştirme değerleri elde edilmiştir.



Şekil 5. Çalışma alanında meydana gelen yer değiştirme haritası

Dağlık bölgelerde yaygın olarak meydana gelen yavaş hareket eden heyelanların mekaniği tam olarak anlaşılamamaktadır. Dinamikler oldukça karmaşık bir yapıya sahip olup iklim faktörlerine oldukça duyarlıdır [39]. Bu durum heyelanların zamanla ne kadar yavaş geliştiğini değerlendirmeyi zorlaştırmaktadır. Geleneksel jeodezik ölçümler (takometre, nivelman, kinematik GNSS), heyelanların zamansal gelişimini izlemek için yaygın olarak kullanılmaktadır. Ancak bu yöntemler, çok zamanlı uydu görüntüleriyle net bir şekilde ortaya konan kütle hareketlerindeki mekansal heterojenlikleri yakalayamazlar [7]. Hız alanı, heyelanın jeomorfik ifadesi ile örtüşmez ve oldukça heterojendir. Örneğin Fransız Alpleri Ubaye vadisindeki La Valetta heyelan sahasında tekrarlanan jeodezik ölçümler yardımıyla bir karşılaştırma ağı kurulmuştur. Bu ölçüm noktaları heyelanın morfolojisine göre doğru bir şekilde yerleştirilmelerine rağmen pekçok hareketli alan tespit edilememiştir. Bu hareketli alanlar Cosi Corr yöntemiyle ortaya konmuştur. Aksi takdirde bu

alanlardaki hareketlerin tespit edilmeden kalabileceği vurgulanmaktadır [7].

Diğer taraftan, literatürde yapılan çalışmalarda Cosi Corr yönteminin doğruluğunu etkileyen birtakım ölçütlerin bulunduğu ifade edilmektedir [2,7,23]. COSI Corr yöntemi ile elde edilen sonuçların doğruluğu kullanılan SAM'ın doğruluğu, görüntülerin birlikte doğrultulması (co-registiration) ve ortorektifikasyonu gibi işlemlerin hassas bir şekilde yapılmasına bağlı olarak değişiklik göstermektedir [23]. Ayrıca, uydu görüntü çiftlerindeki kar, bulut, bitki örtüsündeki değişiklikler, inşa edilen yeni binalar ya da arazideki insan yapımından kaynaklanan değişiklikler gibi farklılıklar Cosi Corr yönteminin doğruluğunu sınırlandırabilmektedir. Bu sınırlamalara rağmen, COSI-Corr yöntemi; faylanma, buz akışının mekaniği ile birlikte iklimin bu sürece etkisi ve heyelanlar gibi çeşitli jeomorfik ve sismotektonik süreçleri araştırmak için verimli ve çok yönlü bir araç olarak dikkat çekmektedir [2,7].

4. SONUÇ ve ÖNERİLER

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

Heyelan risk analizinde geniş alanların yoğun konumsal örneklerle izlenmesine olanak sağlayan COSI Corr yöntemi, sınırlı veri sağlayan yersel yöntemlere göre çok avantajlıdır. Bu yöntem yersel yöntemler ile karşılaştırıldığında çok yüksek doğruluk sunmamakla birlikte çok fazla sayıda nokta ile çalışma olanağı sağlayarak kütle hareketlerinin yönü ve büyüklüğü hakkında çok önemli bilgiler sunmaktadır.

Bu çalışmada kullanılan Spot 5 optik uydu görüntülerinin alım tarihleri arasında çalışma alanı ve civarında herhangi bir heyelan olayına ait kayıt sözü konusu değildir. Ancak, alım yapılan tarihlerden önceki ve sonraki yıllarda bu alanda heyelan kayıtlarının bulunması bölgede sürekli bir kütle hareketinin var olduğunu ve bu alanların sürekli olarak analizinin yapılması gerekliliğini ortaya koymaktadır.

Bu çalışma ile, heyelan açısından riskli bölgelerde yavaş kütle hareketlerinin analiz edilebileceği, jeomorfolojik değerlendirmelere altlık oluşturacak verilerin üretilebileceği ve alandaki hareketliliği periyodik olarak izlemek amacıyla COSI Corr yönteminin rahatlıkla kullanılabilirliği söylenebilir. Hatta ileriye yönelik kütle hareketi riski gözlemlenen bölgelerde heyelan envanteri oluşturma çalışmalarına da öncülük edebilecek bir sistem geliştirilebilir.

Gelişen teknoloji ile gelecekte konumsal ve zamansal çözünürlüğü daha yüksek olan uydu görüntülerinin daha düşük maliyetle kullanıcılara sunulmasıyla birlikte daha az insan gücü yardımıyla meydana gelen kütle hareketleri kolaylıkla takip edilebilecektir. Ayrıca oluşturulan bu sistem yardımıyla İHA ve uydu görüntülerinin birlikte kullanılması ile istenilen periyotlar arasında meydana gelen kütle hareketlerinin tarihçesi ve sahadaki mevcut risk kolaylıkla ortaya konabilecektir.

Bilgilendirme/Teşekkür

Bu çalışma bir yüksek lisans tez çalışması olarak gerçekleştirilmiştir. Çalışmada kullanılan veriler TÜBİTAK 113Y188 nolu proje tarafından sağlanmış olup yazarlar sağlanan veriler nedeniyle TÜBİTAK'a teşekkür ederler.

Yazarların Katkısı

Yasin Demirel: Literatür taraması, Analiz, Veri toplama ve işleme, Yazım.

Tarık Türk: Fikir, Literatür taraması, Analiz ve yorumlama, Yazım, Makale değerlendirme, Denetleme.

Çıkar Çatışması Beyanı

Yazarlar arasında herhangi bir çıkar çatışması bulunmamaktadır.

Araştırma ve Yayın Etiği Beyanı

Yapılan çalışmada araştırma ve yayın etiğine uyulmuştur.

KAYNAKÇA

- [1] Demir, G. (2018). Coğrafi Bilgi Sistemleri ile Suşehri (Sivas) Heyelan Duyarlılık Analizi. *Gümüşhane Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 8(1), 96-112.
- [2] Lucieer, A., Jong, S. M. D. & Turner, D. (2014). Mapping landslide displacements using Structure from Motion (SfM) and image correlation of multi-temporal UAV photography. *Progress in physical geography*, 38(1), 97-116.
- [3] Köse, D. (2018). Heyelan Duyarlılık Haritalarının Geliştirilen Coğrafi Bilgi Sistemi Tabanlı Kullanıcı Arayüz Programlarıyla İncelenmesi: Koyulhisar Örneği. *Cumhuriyet Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü (Yüksek Lisans Tezi)*, 92s, Sivas
- [4] Türk, T. (2018). Determination of mass movements in slow-motion landslides by the Cosi-Corr method. *Geomatics, Natural Hazards and Risk*, 9(1), 325-336.
- [5] Saba, S. B., Khattak, N. U., Ali, M., Waseem, M., Siddiqui, S., Anjum, S. & Turab, S. A. (2019). Application of sub-pixel-based technique" orthorectification of optically sensed images and its correlation" for co-seismic landslide detection and its accuracy modification through the integration of various masks. *Journal of Himalayan Earth Science*, 52(1).
- [6] Saba, S. B., Ali, M., van der Meijde, M. & van der Werff, H. (2017). Co-seismic landslides automatic detection on regional scale with sub-pixel analysis of multi temporal high resolution optical images: Application to southwest of Port au Prince, Haiti. *Journal of Himalayan earth sciences*, 50(2), 74-92.
- [7] Leprince, S., Berthier, E., Ayoub, F., Delacourt, C. & Avouac, J. P. (2008). "Monitoring earth surface dynamics with optical imagery", EOS, Trans. Amer. Geophys. Union, 89(1), 1-12.
- [8] Leprince, S., Barbot, S., Ayoub, F. & Avouac, J. P. (2007). Automatic and precise orthorectification, coregistration, and subpixel correlation of satellite images, application to

- ground deformation measurements. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 45(6), 1529-1558.
- [9] Türk, T. (2013) Hava fotoğrafı ve optik uydu görüntüleri yardımıyla yatay yer değiştirmelerin belirlenmesi. *Havacılık ve Uzay Teknolojileri Dergisi*, 6(1), 71-79.
- [10] Hermas, E., Leprince, S. & Abou El-Magd, I. (2012). Retrieving sand dune movements using sub-pixel correlation of multi-temporal optical remote sensing imagery, northwest Sinai Peninsula, Egypt. *Remote sensing of environment*, 121, 51-60.
- [11] Suncar, O. E., Rathje, E. M. & Buckley, S. M. (2013). Deformations of a rapidly moving landslide from high-resolution optical satellite imagery. In *Geo-Congress 2013: Stability and Performance of Slopes and Embankments III*, 269-278.
- [12] Barisin, I., Leprince, S., Parsons, B. & Wright, T. (2009). Surface displacements in the September 2005 Afar rifting event from satellite image matching: Asymmetric uplift and faulting. *Geophysical Research Letters*, 36(7).
- [13] Stumpf, A., Malet, J. P., Allemand, P. & Ulrich, P. (2014). Surface reconstruction and landslide displacement measurements with Pléiades satellite images. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 95, 1-12.
- [14] Scherler, D., Leprince, S. & Strecker, M. R. (2008). Glacier-surface velocities in alpine terrain from optical satellite imagery—Accuracy improvement and quality assessment. *Remote Sensing of Environment*, 112(10), 3806-3819.
- [15] Avouac, J. P., Ayoub, F., Leprince, S., Konca, O. & Helmberger, D. V. (2006). The 2005, Mw 7.6 Kashmir earthquake: Sub-pixel correlation of ASTER images and seismic waveforms analysis. *Earth and Planetary Science Letters*, 249(3-4), 514-528.
- [16] Taylor, M. H., Leprince, S., Avouac, J. P. & Sieh, K. (2008). Detecting co-seismic displacements in glaciated regions: An example from the great November 2002 Denali earthquake using SPOT horizontal offsets. *Earth and Planetary Science Letters*, 270(3-4), 209-220.
- [17] Necsoiu, M., Leprince, S., Hooper, D. M., Dinwiddie, C. L., McGinnis, R. N. & Walter, G. R. (2009). Monitoring migration rates of an active subarctic dune field using optical imagery. *Remote Sensing of Environment*, 113(11), 2441-2447.
- [18] Haque, D. M. E. (2016). 3D surface deformation model from sub-pixel correlation of optical imagery and InSAR. *University of Twente (Yüksek Lisans Tezi)*, 71s, Enschede, The Netherlands.
- [19] Mazzanti, P., Caporossi, P. & Muzi, R. (2020). Sliding time master digital image correlation analyses of cubesat images for landslide monitoring: The Rattlesnake Hills landslide (USA). *Remote Sensing*, 12(4), 592.
- [20] Herman, F., Anderson, B. & Leprince, S. (2011). Mountain glacier velocity variation during a retreat/advance cycle quantified using sub-pixel analysis of ASTER images. *Journal of Glaciology*, 57(202), 197-207.
- [21] Türk, T., Görüm, T., Birdal, A. C. & Selçuk, O. (2015) Optik uydu görüntüleriyle heyelan alanlarındaki kütle hareketlerinin incelenmesi: kuzey anadolu fay zonu örneği. *TUFUAB VIII. Teknik Sempozyumu*.
- [22] Ding, C., Feng, G., Liao, M., Tao, P., Zhang, L. & Xu, Q. (2021). Displacement history and potential triggering factors of Baige landslides, China revealed by optical imagery time series. *Remote Sensing of Environment*, 254.
- [23] Ayoub, F., Leprince, S. & Avouac, J. P. (2009). Co-registration and correlation of aerial photographs for ground deformation measurements. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 64(6), 551-560.
- [24] Fernandez, P. & Whitworth, M. (2016). A new technique for the detection of large scale landslides in glacio-lacustrine deposits using image correlation based upon aerial imagery: A case study from the French Alps. *International journal of applied earth observation and geoinformation*, 52, 1-11.
- [25] Fernandez, P., Garrido, J. & Delgado, J. (2019). 2D Horizontal Landslide Displacement Estimation by Multi-temporal Image Correlation Techniques. In *IAEG/AEG Annual Meeting Proceedings, San Francisco, California*, 297-302.
- [26] Sendir, H. & Yılmaz, I. (2001). Koyulhisar heyelanlarına yapısal ve jeomorfolojik açıdan bakış. *Cumhuriyet Yerbilimleri Dergisi*, 18(1), 47-54.
- [27] Demirel, Y. (2022). Optik Uydu Görüntüleri Yardımıyla Heyelan Alanlarında Meydana Gelen Kütle Hareketlerinin İncelenmesi. *Sivas Cumhuriyet Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü (Yüksek Lisans Tezi)*, 63s, Sivas.
- [28] Demir, G. (2011). Kuzey Anadolu Fayı Üzerinde Niksar-Suşehri Arasındaki Alanın CBS Tabanlı Heyelan Duyarlılık Analizi. *Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı (Doktora Tezi)*, 199s, Trabzon.
- [29] Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı (AFAD), (2017) Sivas Valiliği İl Afet ve Acil Durum Müdürlüğü Jeolojik Etüt Raporları.
- [30] Toprak, V. (1988). Neotectonic characteristics of the North Anatolian fault zone between Koyulhisar and Süşehri (NE Turkey). *METU J. Pure Appl. Sci*, 21, 155-166.
- [31] Terzioğlu, N. (1986). Reşadiye, Gölköy ve Koyulhisar Arasındaki Tersiyer-Kuvaterner Yaşlı Volkanitlerin Genel Stratigrafik Özellikleri. *Cumhuriyet Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi*, 3.
- [32] Uysal, S. (1995). Koyulhisar (Sivas) yöresinin jeolojisi. *MTA Rapor*, 9838.
- [33] Demirel, M., Tatar, O. & Koçbulut, F. (2016). Kuzey Anadolu Fay Zonu Üzerinde Koyulhisar

- (Sivas) ve Yakın Çevresindeki Fayların Kinematik Özellikleri. *Türkiye Jeoloji Bülteni*, 59(3), 357-370.
- [34] Sendir, H. (2001). Koyulhisar (Sivas) Heyelanlarının İncelenmesi. *Cumhuriyet Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü (Yüksek Lisans Tezi)*, 91s, Sivas.
- [35] Hastaoglu, K. O. & Sanli, D. U. (2011). Monitoring Koyulhisar landslide using rapid static GPS: a strategy to remove biases from vertical velocities. *Natural hazards*, 58(3), 1275-1294.
- [36] Hastaoglu, K. O., Poyraz, F., Turk, T., Yılmaz, I., Kocbulut, F., Demirel, M. & Balik Sanli, F. (2018). Investigation of the success of monitoring slow motion landslides using Persistent Scatterer Interferometry and GNSS methods. *Survey review*, 50(363), 475-486.
- [37] Gokceoglu, C., Sonmez, H., Nefeslioglu, H. A., Duman, T. Y. & Can, T. (2005). The 17 March 2005 Kuzulu landslide (Sivas, Turkey) and landslide-susceptibility map of its near vicinity. *Engineering geology*, 81(1), 65-83.
- [38] Över, D. (2015). Sivas ili Koyulhisar ilçesi Heyelan alanı zemininin Jeofizik yöntemlerle incelenmesi. *Cumhuriyet Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Jeofizik Mühendisliği Anabilim Dalı (Yüksek lisans Tezi)*, 77s, Sivas.
- [39] Malet, J.P., Auzet, A.V., Maquaire, O., Ambroise, B., Descroix, L., Estèves, M., Vandervaere J.P. & Truchet, E. (2003). Soil surface characteristics influence on infiltration in black marls: Application to the Super-Sauze earthflow (southern Alps, France) *Earth Surf. Processes Landforms*, 28, 547–564.
- [40] Tatar, O., Aykanat, D., Koçbulut, F., Yılmaz, I., Sendir, H., Kürçer, A. & Sağlam, B. (2000). Koyulhisar İlçe Merkezi ve İlçe Emniyet Amirliği Hizmet Binası Heyelan Etüd ve Değerlendirme Raporu. *Sivas Cumhuriyet Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi*.



© Author(s) 2022. This work is distributed under <https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/>