

GSJ JOURNALS SERIE C: ADVANCEMENTS IN INFORMATION SCIENCES AND TECHNOLOGIES

Volume: 6, Issue: 1, p. 28-43, 2023

HEYELANLARIN JEODEZİK VE UZAKTAN ALGILAMA TABANLI YÖNTEMLER İLE İZLENMESİ ÜZERİNE YAPILAN ÇALIŞMALARIN İNCELENMESİ

INVESTIGATION OF THE STUDIES ON THE MONITORING OF LANDSLIDES WITH GEODETIC AND REMOTE SENSING BASED METHODS

Fatih KADI

(Received 01.12.2022 Accepted 28.12.2022) – Review Article

Özet

Heyelanlar etki büyüklüğüne göre çok sayıda can ve mal kaybına yol açan önemli bir doğal afet türüdür. Ani ve şiddetli yağışlar ile depremlerin yanı sıra, gerekli mühendislik çalışmaları yapılmadan yerleşime açılan yamaçlardaki yapı inşası, değişik amaçlara yönelik yapılan patlatma ve kazı çalışmaları, doğal bitki örtüsünün tahrip edilmesi gibi nedenler herhangi bir alanda meydana gelen heyelanları tetiklemektedir. Heyelan afeti sonucu oluşan kütle hareketlerinin yorumlanması ve elde edilen sonuç çıktılarının analiz edilmesi heyelan sahasının sürekli bir şekilde izlenmesiyle mümkündür. Heyelan sonucu oluşan kütle hareketlerinin izlenmesi oldukça yoğun arazi çalışması gerektiren zahmetli bir işidir. Günümüzde heyelanların izlenmesinde farklı mühendislik disiplinlerine ait birçok yöntem bulunmaktadır. Bu çalışmanın amacı heyelan sahaslarında meydana gelen kütle hareketlerinin jeodezik ve uzaktan algılama tabanlı yöntemler ile izlenmesi konusunda dünyada ve ülkemizde yapılan bilimsel çalışmaları irdelemektir. Böylece bu makale, heyelan sonucu meydana gelen kütle hareketlerinin jeodezik ve uzaktan algılama tabanlı yöntemler yardımıyla izlenmesi üzerine çalışan kişilere kullanılan yöntemler ve gelecekteki yönelimler açısından yararlı bilgiler sunacaktır.

Anahtar Sözcükler: Heyelan, Doğal Afet, Kütle Hareketi, Jeodezik Yöntemler, Uzaktan Algılama

Abstract

Landslides are an important type of natural disaster that causes loss of life and property, depending on the size of the effect. In addition to sudden and heavy rains and earthquakes, reasons such as the construction of buildings on the slopes opened to settlement without the necessary engineering studies, blasting and excavation works for different purposes, and the destruction of natural vegetation trigger landslides in any area. Interpreting the mass movements that occur as a result of the landslide disaster and analyzing the resulting outputs are possible by constantly monitoring the landslide area. Monitoring the mass movements resulting from a landslide disaster is a laborious task that requires intense field work. Today, there are many methods of monitoring landslides belonging to different engineering disciplines. The aim of this study is to examine the scientific studies carried out in the world and in our country on the monitoring of mass movements in landslide areas with geodetic and remote sensing based methods. Thus, this article will provide useful information in terms of geodetic and remote sensing based methods used and future directions for people working on the monitoring of mass movements that occur as a result of landslides with the help of geodetic and remote sensing based methods.

Keywords: Landslide, Natural Disaster, Mass Movement, Geodetic Methods, Remote Sensing

1. GİRİŞ

Heyelan afeti genel bir ifadeyle, bir yamaçta bulunan kaya, toprak zemin veya molozların yamaçtan aşağıya doğru hareket etmesi olarak tanımlanmaktadır (Cruden, 1991). Bu afet türünün oluşumunda arazinin eğimi, litolojik ve jeolojik yapısı, arazi kullanım biçimi, çatlakların yoğunluğu gibi faktörler önemli rol oynamaktadır. Ayrıca arazi, yüksek seviyeli fay hatları, gevşek yapıdaki kayalar, dik yamaçlar, gibi arazi özelliklere sahip ise o arazinin heyelan afeti bakımından duyarlı bir alan olduğu söylenebilir (Zeybek ve Şanlıoğlu, 2013).

Heyelan afetinin neden olduğu yıkıcı etkileri minimum seviyeye indirgeyebilmek için bu afet türünün sürekli ve periyodik bir şekilde izlenmesi, elde edilen verilerin doğru bir şekilde yorumlanması gerekmektedir. Günümüzde heyelan afetinin izlenmesinde farklı yer merkezli bilim dallarına ait birçok ölçüm yöntemi bulunmaktadır (Gili vd., 2000; Bayrak, 2003; Squarzoni vd., 2005; Yalçınkaya vd., 2005; Saleh ve Al-Bayari, 2007; Wang, 2011; Xing vd., 2012; Zeybek vd., 2015; Şanlıoğlu vd., 2016; Gelişli, 2018; Haibo vd., 2020; Zhao vd., 2021; Şenkaya vd., 2022).

Heyelan sonucu oluşan kütle hareketlerinin izlenmesi yersel ve uydu bazlı ölçüm yöntemleri ile gerçekleştirilmektedir. Yersel ölçüm yöntemlerine örnek olarak robotik elektronik uzaklıkölçerler, yersel lazer tarayıcılar ve yersel sentetik açıklıklı radar tekniği verilebilir. Sentetik Açıklıklı Radar Teknikleri, İnsansız Hava Aracı tabanlı uygulamalar ve GNSS ölçüm yöntemleri ise uydu bazlı ölçüm yöntemlerine örnek gösterilebilmektedir.

Heyelan sahalarında meydana gelen kütle hareketlerinin jeodezik ve uzaktan algılama tabanlı yöntemler üzerinden denetlenmesini konu edinen gerek ulusal gerekse uluslararası çok sayıda bilimsel çalışma bulunmaktadır. Yapılan bu araştırmada, kütle hareketlerini konu edinen her bir bilimsel çalışma özetlenmiştir. Böylece gelecekte bu alanda bilimsel makale üretmek isteyen kişilere yönelik genel bir bilgi havuzu üretilmiştir.

2. YAPILAN ÇALIŞMALAR

Yapılan araştırma sonucunda, jeodezik ölçüm yöntemleri kullanılarak heyelan afetinin izlenmesi üzerine ulusal ve uluslararası yapılan bilimsel çalışmalar kronolojik sıraya göre incelenmiştir.

Gili vd. (2000), heyelan sahalarının jeodezik tabanlı izlenmesinde hızlı statik ve gerçek zamanlı kinematik ölçüm metotlarının uygulanabilirliğini araştırmışlardır. Çalışma sahası (Vallcebre bölgesi / İspanya) 1987 yılından bu yana sürekli ve periyodik bir şekilde yersel fotogrametri ve jeodezik ölçüm teknikleriyle izlenmiştir. 1996 – 1997 yılları arasında 1,6 m'ye varan deformasyonlar tespit edilmiştir. 26 aylık periyot süresince heyelan bölgesi 14 kez ölçülmüş olup, sonuçlar yersel ölçüm teknikleri ve inklometrelerden elde edilen sonuçlar ile kıyaslanmıştır. Küresel Uydu Seyrüsefer Sistemleri (GNSS) ile elde edilen doğruluk düzeyi yönde 18-24 mm, yatay

yönde ise 12-16 mm arasında değiştiği gözlemlenmiştir.

Bayrak (2003), bu çalışmada Trabzon ili, Çağlayan ilçesi Kutlugün köyündeki heyelan bölgesini çalışma sahası olarak belirlemiştir. Jeodezik, jeofizik ve jeolojik çalışmalar sonucu, heyelan sahasında meydana gelen kütle hareketinin nedeninin de dikkate alındığı bir dinamik deformasyon modeli geliştirmeyi ve bu modelden elde edilen bulgular ile diğer mühendislik uygulamalarında elde edilen bulguları bütünleşik bir şekilde irdeleyerek bahsi geçen kütle hareketin daha gerçekçi bir şekilde analiz edilmesini amaçlamıştır. Bu kapsamda uygulama sahasında 4'ü sabit nokta olmak üzere 14 noktalı mikro jeodezik deformasyon ağı tasarlanmıştır. Ashtech marka 3 adet GNSS alıcısı kullanılarak 3 aylık periyotlar şeklinde bölgede 6 epok statik ölçüm yapılmıştır. Ölçü süresi, ölçüm zamanındaki uydu konum bilgileri dikkate alınarak 40 dakika olarak belirlenmiştir. Ölçümler sonucunda elde edilen veriler kullanılarak statik ve kinematik deformasyon modelleri ile deformasyon analizleri gerçekleştirilmiştir. GNSS ölçümlerinin yapıldığı aynı süre zarfında jeolojik ve jeofizik gözlemlerle heyelan sahasına ait yeraltı su seviyeleri de tespit edilmiştir. Bu modellerden elde edilen sonuçlar ve ölçümlerden hesaplanan yeraltı su seviye değişimleri hesaba katılarak dinamik deformasyon modeli geliştirilmiştir. Böylece bölgedeki heyelan afeti sonucu meydana gelen kütle hareketi fiziksel etkiler de dikkate alınarak analiz edilmiştir.

Kalkan vd. (2003), yaptıkları çalışmada heyelanların izlenmesinde kullanılan uydu bazlı jeodezik yöntemler üzerinden elde edilen sonuçlar ile birlikte geoteknik çalışmalar ve bu kapsamda kullanılan inklinometre, piezometer ve oturma kolonları ölçümlerinden yararlanmışlardır. Çalışma sahası olarak İstanbul Ambarlı Liman Sahasının da içinde yer alan heyelan sahası seçilmiştir. Söz konusu heyelan sahası 1999 yılından bu yana jeodezik ve jeodezik olmayan ölçüm yöntemleri üzerinden heyelan sahasında meydana gelen kütle hareketini izlemişlerdir. Her iki ölçüm yöntemleri ile gerçekleştirilen ölçümlere göre, bazı noktalarda anlamlı hareketler belirlenmiştir. Bu sonuçlar ışığında, Şubat 2000 – Eylül 2003 arasında GNSS ölçmeleri ile tespit edilen anlamlı maksimum hareket yatayda 130 cm, düşeyde ise 30 cm'dir. Söz konusu bölgede yapılan inklinometre ölçümlerinden de benzer sonuçlar elde edilmiştir. Bu bağlamda her iki ölçüm yönteminin de birbiriyle uyumlu olduğu gözlemlenmiştir.

Yalçınkaya vd. (2003), gerçekleştirdikleri bu çalışmada yer merkezli üç boyutlu deformasyon ağlarının tasarlanması için belirlenmesi zorunlu amaç fonksiyonlarının neler olması gerektiği hususunu araştırmışlardır. Bu kapsamda örnek bir GPS uygulama ağı üretilerek ağa ilişkin duyarlık ve güven optimizasyonu gerçekleştirerek kullanıcıların ihtiyaç duyduğu en uygun ölçü planına ait etkenlerin tespit edilmesi hedeflenmiştir. Çalışma sahası olarak Karadeniz Teknik Üniversitesi Kanuni kampüs alanı ve Trabzon Havaalanı'nın bir kısmını içine alacak şekilde 11 noktalı, serbestlik derecesi 0.5 olan ve toplamda 21 baz vektöründen oluşan jeodezik bir ağ geliştirilmiştir. Ölçümler statik ölçü yöntemi kullanılarak 30 dakikalık oturumlarla 3 adet çift frekanslı Z surveyor alıcılarıyla 11 oturum şeklinde uygulanmıştır. Elde edilen ölçü grupları öncelikle serbest ağ dengelemesiyle

dengelenerek uyumsuz ölçülerin irdelenmesi gerçekleştirilmiştir. Daha sonra ise ağın duyarlık ve güven ölçütlerine dayalı olarak optimizasyon işlemi gerçekleştirilmiş ve sonuçlar irdelenmiştir.

Abidin vd. (2004), yaptıkları çalışmada Endonezyanın Batı Cava bölgesinde yer alan heyelan sahasını çalışma sahası olarak belirlemişlerdir. Bu sahada oluşan kütle hareketlerinin sağlıklı bir şekilde izlenmesi amacıyla jeodezik ve geoteknik ölçüm yöntemleri uygulanmıştır. 2002 yılından itibaren arazi ortamında tesis edilen 14 GPS noktası kullanılarak toplamda 3 epok ölçüm yapılmıştır (Ocak 2002, Nisan 2002, Mayıs 2003). Tüm noktalarda çift frekanslı alıcılar kurulmuş olup POS1 ve Ref1 olmak üzere toplamda 2 Uluslararası GNSS Servisi (IGS) istasyonları da uygulama ağına eklenmiştir. Elde edilen sonuçlara göre, konum ve gözlem periyotlarına dayalı olarak cm den dm mertebelerine kadar anlamlı kütle hareketleri gözlemlenmiştir.

Squarzoni vd. (2005), Fransa Alpleri Ubaye vadisinde yer alan heyelan sahasının GNSS ölçümleri ile izlenmesini hedeflemişlerdir. GNSS ölçümleri 2 adet tek frekanslı Magellan alıcısı ile yapılmıştır. Ölçüm sonucu elde edilen veriler Magellan yazılımı olan Mstar ile çözümlenmiştir. Toplamda 9 deformasyon noktası arazi ortamında tesis edilmiş olup bunlardan biri heyelan sahasına yakın bir bölgede, biri referans istasyonu olarak diğerleri ise kütle hareketinin beklendiği sahada yer almaktadır. Her gözlem için alıcılardan biri daima referans istasyonunda diğeri ise 1 saatlik oturum şeklinde üretilen plana göre tüm noktalara sıralı bir şekilde kurulmuştur. Ölçümler Ekim 2000 ile Ekim 2002 tarihleri arasında toplam 8 periyot şeklinde yapılmıştır. Ölçümler sonucu elde edilen analizler ışığında heyelan sahasında 3 m'ye varan değişimler gözlemlenmiştir.

Yalçınkaya vd. (2005) yaptıkları çalışmada Trabzon ili Maçka ilçesi Kutlugün köyünde yer alan heyelan sahasında yapılan ölçümler neticesinde dinamik deformasyon modeli geliştirmeyi ve bu modeli statik ve kinematik deformasyon modelleriyle kıyaslamayı hedeflemişlerdir. Bu bağlamda çalışma sahasında jeodezik, jeofizik ve jeolojik ölçümler gerçekleştirilmiştir. Kasım 200 ile Şubat 2002 tarihleri arasında yılda 4 periyot ölçüm yapılmıştır. Öncelikle çalışma sahasında 14 noktalı bir jeodezik deformasyon ağı tasarlanmıştır. Bu noktaların 4'ü kütle hareketinin beklenmediği alanlarda tesis edilmiş olup diğer 10 nokta ise hareketin beklendiği saha içinde belirlenmiştir. Jeodezik ölçümler boyunca toplamda 44 baz vektörü statik ölçüm yöntemiyle ölçülmüştür. Dinamik deformasyon modelinin geliştirilmesinde her noktaya ilişkin yer altı su seviyesi etkeni modele eklenmiş olup, her periyot sonrası ilgili etken ölçülmüştür. Ölçümler neticesinde bazı noktalarda anlamlı hareketler gözlemlenmiştir. Ayrıca statik ve kinematik deformasyon modelleri yardımıyla hesaplanan konum değerleri, dinamik deformasyon modeli sonucu üretilen konum değerlerinden daha düşük olduğu tespit edilmiştir. Hız ve ivme parametrelerine ilişkin değerler ise tüm deformasyon modelleri için yaklaşık olarak aynıdır.

Saleh ve Al-Bayari (2007), Ürdün'de bulunan bir heyelan sahasının jeodezik ölçüm yöntemleri yardımıyla izlemeyi hedeflemişlerdir. Bu bağlamda çalışma sahasını içine alacak şekilde 56 noktalı jeodezik bir deformasyon ağı tasarlanmıştır.

Ölçümler iki yıllık (2002 – 2004) süre içinde yağışlı mevsimlerden öncesi ve sonrası olmak üzere 2 periyot olarak yapılmıştır. Elde edilen veriler ışığında heyelan sahasında 0,5 m/yıl'a varan değişimler gözlemlenmiştir.

Acar vd. (2008), İstanbul ili Büyükçekmece ilçesinde yer alan bir heyelan sahasında yapılan GNSS ölçümleri neticesinde üretilen veriler kullanılarak kalman filtreleme tekniğine bağlı bir şekilde statik ve kinematik deformasyon analizi gerçekleştirilmiştir. Bu kapsamda sonuçlar kıyaslanarak yorumlanmıştır. Öncelikle heyelan bölgesinde yapılan geoteknik çalışmalar sonucunda 13 noktalı bir mikro jeodezik GPS ağı modellenmiştir. Haziran 1996'dan Nisan 1998 yılına kadar toplamda 4 periyot ölçüm yapılmıştır. Ölçüm işlemlerinde Leica SR399 ve 4 Trimble SSI alıcıları kullanılmış olup hızlı statik ölçüm yöntemine göre her noktada 10 dakika ölçüm işlemleri gerçekleştirilmiştir. Elde edilen veriler ticari bir yazılım olan Leica SKI-Pro yardımıyla gerçekleştirilmiştir. Her bir periyot serbest ağ dengelemesiyle dengelenmiş ve varyans–kovaryans matrisleri elde edilmiştir. Sonuçlara ışığında, her iki deformasyon analiz modelinin de benzer sonuçlar elde edildiği fakat kinematik deformasyon modelinin açık bir şekilde bazı avantajlara sahip olduğu belirtilmiştir.

Doğanalp ve Turgut (2009), bu çalışmada 5'i sabit nokta olmak üzere toplamda 11 noktalı jeodezik deformasyon ağı tasarlamışlardır. Toplamda 3 periyot GNSS ölçümlerinin (Şubat 1998 – Nisan 1999 – Ocak 2000) her biri serbest ağ dengelemesiyle dengelenerek statik ve kinematik deformasyon modelleriyle deformasyonlar araştırılmıştır. Bu kapsamda statik deformasyon modelinde S transformasyon yöntemi, kinematik deformasyon modeli için ise kalman filtreleme tekniği kullanılmıştır. Elde edilen sonuçların birbirleriyle uyumlu oldukları tespit edilmiştir.

Hastaoğlu ve Şanlı (2011), yaptıkları çalışmada Sivas ili Koyulhisar bölgesinde bulunan aktif heyelan sahasını, çalışma sahası olarak belirlemiştir. Bu bölgede 2'si referans noktası olmak üzere toplamda 12 noktalı bir jeodezik deformasyon ağı tasarlanıp arazi ortamında tesis edilmiştir. 6 periyot şeklinde gerçekleştirilen ölçümler toplam 1.5 yıllık sürmüştür. Her bir periyot ölçümü 3 gün gerçekleşmiş olup Trimble ve Ashtech Z-max marka GNSS alıcılarından yararlanılmıştır. Bu çalışmada hızlı statik ve statik ölçüm yöntemi olmak üzere 2 farklı ölçüm türü uygulanmıştır. Elde edilen veriler akademik bir yazılım olan Bernese 5.0 yardımıyla değerlendirilmiştir. Sonuçlara göre, hızlı statik ölçüm ile statik ölçüm yöntemlerinden üretilen veriler birbirleriyle karşılaştırılmıştır. Bu bağlamda hızlı statik ölçümlerinden üretilen verilerin analizinde sistematik sapmaların meydana geldiği yine de aralarındaki yüksek korelasyon değerine ve deformasyon miktarlarına göre 15 dakikalık hızlı statik ölçümlerin çözümleri ile statik ölçüm yönteminden gelen çözümlerin birbirleriyle uyumlu olduğu gözlemlenmiştir.

Wang (2011), Porto Riko'nun Ponce şehrinde yer alan heyelan sahasında Mart 2008'den itibaren hızlı statik ve sürekli statik GNSS ölçümleri gerçekleştirmişlerdir. Bu ölçümlerdeki hassasiyetler yatay yönde 0.5 mm düşey yönde ise 1.3 mm olarak ifade edilmiştir. Ayrıca yerel bir hava istasyonundan alınan yağış verileri de

uygulamaya dahil edilmiştir. Eylül 2008’de 4 günlük süre boyunca yoğun bir şekilde yağan yağmur, bölgedeki heyelanı tetiklemiş ve kütle hareketini hızlandırmıştır. Bu kapsamda yatayda 1 m, düşeyde ise 0.5 metreye varan deformasyonlar tespit edilmiştir.

Turan vd. (2012), yaptıkları çalışmada Tusaga – Aktif istasyonlarından elde edilen verilerin deformasyon izleme çalışmalarında uygulanabilirliğini amaçlamışlardır. Bu kapsamda Gümüşhane Üniversitesi yerleşkesinde tesis edilen bir noktada GNSS alıcıları ile 3 ayda bir periyodik bir şekilde toplam 10 epokluk ölçümler gerçekleştirilmiştir. Ölçümler sonucu elde edilen verilerden serbest ağ dengesiyle deformasyon analizlerinde kullanılacak dengelenmiş koordinatlar ve onlara karşılık gelen varyans-kovaryans matrisleri hesaplanmıştır. Hesaplanan bu veriler statik deformasyon modeli ve kinematik tek nokta modellerinden biri olan Kalman Filtreleme yöntemi ile çözümünde kullanılmıştır. Çözümler ışığında noktaların yer değişim miktarları, yer değişim hızları ve anlamlı bir hareket olup olmadığı hakkında bilgi veren ivme değerleri hesaplanmıştır.

Xing vd. (2012), bu çalışmada heyelan afeti sonucunda meydana gelen kütle hareketinin belirlenmesi için GNSS tabanlı uzaktan gözlem sistemi geliştirmişlerdir. GNSS tabanlı bu sistem, heyelan sahasında oluşan kütle hareketini periyodik bir şekilde izlemekte ve kayıt altına almaktadır. Bu bağlamda Çin’in güney batı bölgesinde yer alan heyelan sahası, birkaç aylık süreyle periyodik bir şekilde izlenmiştir. Bu ölçüm işlemlerinde hassasiyet ± 8 mm olup, heyelan sahasının gözlem koşullarını karşılamaktadır.

Başoğlu vd. (2014), Trabzon ili Çağlayan beldesi Kutlugün bölgesindeki heyelan sahasını da içine alacak şekilde toplamda 35 noktadan oluşan bir mikro jeodezik deformasyon ağı tesis etmişlerdir. Tesis edilen noktaların yanı sıra bölgeye yakın Tusaga aktif istasyonlarından da yararlanılarak 3 periyot (Ağu.2012–Kas.2012–Şub.2013) GNSS ölçümleri yapılmıştır. Bölgede meydana gelen kütle hareketlerine ilişkin hem statik hem de kinematik deformasyon analizleri gerçekleştirilmiş ve elde edilen veriler yorumlanmıştır. Bu kapsamda farklı jeodezik deformasyon modellerinden elde edilen sonuçların birbirleriyle uyumlu oldukları görülmüştür.

Erenoğlu vd. (2014), yaptıkları çalışmada Çanakkale ili sınırları içinde bulunan Adatepe heyelan sahasının mekânsal ve zamansal açıdan modellenmesini amaçlamışlardır. Bu kapsamda bölgede homojen bir şekilde tesis edilen toplam 22 istasyon kullanılarak 2013-2014 yılları arasında üç periyot GNSS ölçümleri yapılmıştır. Bölgede oluşan kütle hareketlerinin modellenmesi amacıyla GNSS ölçümleri üzerinden deformasyon analizleri uygulanmıştır. Böylece arazi ortamında tesis edilen istasyonlar kullanılarak heyelan sahasındaki olası kayma hareketlerinin karakteri modellenmiştir.

Hastaoğlu vd. (2014), modern uzaysal yöntemler olarak kategorize edilen PS – InSAR ve GNSS ölçme yöntemlerini birlikte kullanarak çalışma sahasındaki mevcut kütle hareketini belirlemeyi ve bu harekete neden olan faktörlerin tespit edilmesini hedeflemişlerdir. Bu bağlamda ilk olarak heyelan sahasında 55 adet nokta tesis edilerek 6 epok GNSS gözlemi yapılmıştır. Ölçüm sonucu üretilen veriler analiz

edilerek noktalara ait koordinat farkları ve kalman filtreleme tekniği yardımıyla hız değerleri hesaplanmıştır. Daha sonra aynı çalışma sahası için PS – InSAR tekniği yardımıyla uydu bakış doğrultusundaki hız değerleri üretilmiştir. Her iki ölçüm yönteminden elde edilen hız değerlerinin birbirinden farklı değerlere sahip olmasından dolayı bu değerlerin birlikte kullanılabilirliği irdelenmiş ve üç aşamalı bir analiz amaçlı yazılım geliştirilmiştir. Bu bağlamda noktalara ilişkin GNSS gözlemleri sonucu üretilen üç boyutlu hız değerleri tek boyutlu hız değerlerine indirgenerek sonuçlar kıyaslanmıştır.

Kazancı vd. (2014), Gümüşhane ili sınırları içerisinde yapılan kazı ve patlatmalar sonucu tetiklenen eski bir heyelan bölgesini çalışma sahası olarak belirlemişlerdir. Bu bölgede oluşan kütle hareketlerinin tespit edilmesi amacıyla sahada tesis edilen 3 adet noktada GNSS alıcıları kullanılarak 2012 Nisan ve 2014 Ocak aylarında olmak üzere toplam 2 periyot ölçüm yapılmıştır. Her bir periyot sonucu elde edilen veriler serbest ağ dengelenmesiyle dengelenmiş, Tau uyuşumsuz ölçüler testine tabi tutularak uyuşumsuz ölçüler ayıklanmıştır. Çalışma kapsamında statik model türlerinden biri olan θ^2 – ölçütü yöntemi kullanılmıştır. Elde edilen sonuçlar ışığında, her üç noktada x, y ve z yönünde değişimler belirlenmiştir. 1 nokta için, x, y ve z yönünde sırasıyla 1.62 cm, 0.84 cm ve 1.45 cm, 2 nolu nokta için x, y ve z yönünde 2.81 cm, 1.53 cm ve 3.53 cm, 3 nolu nokta için ise x, y ve z yönünde 0.04 cm, 2.53 cm ve 2.66 cm anlamlı hareketler tespit edilmiştir. Ayrıca tüm noktalara ilişkin hareket parametreleri incelendiğinde, nokta hareket değerlerinin yağışın azaldığı yaz aylarında yavaşladığı, yağışın arttığı aylarda ise arttığı belirlenmiştir. Bu tespit, yağış faktörünün heyelan oluşumunda önemli bir role sahip olduğunu göstermiştir.

Çomut vd. (2015), bu çalışmada Denizli'nin Babadağ ilçesinde yer alan Gündoğdu mahallesini heyelan sahası olarak belirlemişlerdir. Bu çalışmanın amacı, heyelan sahasında oluşan kütle hareketlerine ait doğrultu ve hareket değerlerinin İnterferometrik Yapay Açıklıklı Radar Yöntemi üzerinden ALOS PALSAR radar görüntü çiftlerinin kullanımıyla tespit edilmesidir. Çalışma sonucunda heyelan sahasında meydana gelen düşey yönde cm seviyelerinde hareketlerin olduğu gözlemlenmiştir.

Türk vd. (2015), heyelan afeti sonucunda oluşan kütle hareketlerinin optik uydu görüntüleri yardımıyla tespit edilmesini hedeflemişlerdir. Bu kapsamda Kuzey Anadolu Fay Zonu (KAFZ) üzerinde bulunan Suşehri ilçesi ve çevresinde oluşan kütle hareketleri, 11 Ağustos 2006 ve 21 Eylül 2011 tarihli SPOT 5 2.5 metre çözünürlüklü uydu görüntüleri ve CosiCorr yazılımı kullanılarak irdelenmiştir. Bu incelemenin neticesinde Kuzey – Güney doğrultusunda 4.9 m ile -7.7 m, Doğu – Batı doğrultusunda ise 8.2 m ile -5 m arasında farklılık gösteren kütle hareketleri hesaplanmıştır.

Zeybek vd. (2015), heyelan sahasına ait jeodezik, jeofizik ve meteorolojik verilerin entegrasyonu ile arazideki hareketin yorumlanmasını amaçlamışlardır. Bu kapsamda heyelan sahasındaki olası kütle hareketinin tespit edilmesi için elektrik öz direnç, GNSS ölçümleri ve yersel lazer tarama tekniklerinin entegrasyonu

uygulanmıştır.

Eker ve Aydın (2016), bu çalışmada Hollenstein (Aşağı Avusturya-Ybbs bölgesi) heyelan bölgesinde insansız hava aracı yardımıyla gerçekleştirilen uçuş işlemleri sonucunda 396 adet fotoğraf çekilmiştir. Fotogrametrik yöntemler kullanılarak elde edilen fotoğrafların işlenmesiyle arazide tesis edilen 9 adet yer kontrol noktası yardımıyla bölgeye ait sayısal yükseklik modeli ve ortofoto haritası üretilmiştir. Buna ek olarak üretilen SYM ile çalışma sahasına ait 2009 yılında üretilen 1 m çözünürlüğe sahip LİDAR sayısal arazi modelinden (SAM) farkı alınarak bölgedeki geçen zaman diliminde oluşan kütle hareketleri tespit edilmiştir. Kütle hareketlerinin düşey yönde 50 cm ile -7 m civarında değiştiği gözlemlenmiştir.

Görüm vd. (2016), Batı Toroslar bölgesinde bulunan ve aktif bir heyelan bölgesi olarak bilinen Akdağ heyelan sahasını çalışma sahası olarak seçmişlerdir. Bu çalışmada insansız hava aracı yardımıyla bölgenin sayısal yükseklik modeli üretilmiştir. 4666 adet fotoğrafların fotogrametrik yazılımlar yardımıyla işlenmesi sonucu elde edilen sayısal yükseklik modeli bu çalışmada altlık harita olarak kullanılmıştır. Ayrıca bu çalışmada söz konusu model, arazi çalışmaları, görüntü analizleri ve jeomorfometrik analizlerin kombinasyonu sonucu 1:15000 ölçekli detay jeomorfoloji haritası üretilmiştir. Sonuç haritası dikkate alındığında, heyelan sahasının ana gövdesinde ve yan yamaçlarında son derece aktif 43 adet kütle hareketi incelenmiştir.

Şanlıoğlu vd. (2016), çalışma sahasında gerçekleştirdikleri GNSS ölçümlerini analiz ederek heyelan afeti sonucu meydana gelen kütle hareketini tespit etmeyi amaçlamışlardır. Bu çalışmanın bir diğer amacı ise, ppp yöntemi ile hızlı statik ölçüm yöntemleri kullanılarak elde edilen sonuçlar üzerinden her iki yöntemin performanslarını kıyaslamaktır. Bu bağlamda Konya ili Taşkent bölgesinde ortalama deniz seviyesinden yüksekliği yaklaşık olarak 1400 m ile 1600 m arasında bulunan, %40 oranında yamaç eğimine sahip, sazak vadisi üzerinde belirlenen bir bölge çalışma sahası olarak seçilmiştir. Öncelikle heyelan sahasını içine alan 4'ü sabit nokta olmak üzere 35 noktalı mikro jeodezik deformasyon ağı kurulmuştur. 2011 yılından 2012 yılına kadar toplamda 3 periyot ölçüm yapılmıştır. Sonuçlara göre, ölçüm yapılan periyotlar arasında ortalama 1-2 metreye varan anlamlı değişimler gözlemlenmiş olup, iki farklı ölçüm yöntemlerinden üretilen sonuçlar kıyaslandığında dm seviyelerine varan değişimler tespit edilmiştir. Son olarak ppp statik ölçüm yöntemi, heyelan afeti sonucu meydana gelen kütle hareketinin tespit edilmesinde hızlı statik ölçüm yöntemine uygun ve etkili bir alternatif ölçüm yöntemi olarak uygulanabileceği vurgulanmıştır.

Yüceses vd. (2016), bu çalışmada Çanakkale ilindeki aktif heyelan sahalarından biri olan Biga ilçesine bağlı Ambaroba köyündeki heyelanların modellenmesi, hareket yönünün tespit edilmesi ve risk haritalarının üretilmesini hedeflemişlerdir. Bu kapsamda bölgede belirli periyotlarda jeodezik yöntemler kullanılarak ölçümler gerçekleştirilmiştir. Her periyottaki ölçüler üzerinden RTK – GPS verileriyle STATİK – GPS verileri entegre olarak kullanılmıştır. Çalışma sahası içinde tesis edilen mikro jeodezik ağ noktalarında STATİK – GPS ölçümleri gerçekleştirilerek periyotlar arası

noktasal anlamda deformasyonlar tespit edilmiştir. Her periyot için gerçekleşen ölçümler sonrası elde edilen verilerden üç boyutlu sayısal arazi modeli üretilmiştir. 3 yıllık dönemdeki düşey yöndeki hareket +4.89 m ile -0.60 m arasında farklılık göstermektedir.

Tiwari vd. (2018), dik bir eğime sahip Himalaya bölgesindeki potansiyel heyelan sahasında yersel lazer tarayıcı, GNSS ölçümleri ve Robotik ölçümler yardımıyla veri toplama işlemi yapılmıştır. Bu kapsamda çalışma sahasında 6 jeodezik GPS noktası tesis edilmiş olup, gerçekleştirilen ölçümler sonucunda yatay yönde 0,1305 m, düşey yönde ise -2,1315 m'ye varan anlamlı hareketler gözlemlenmiştir. Elde edilen bulgular ışığında, Ölçümlerden elde edilen sonuçların robotik elektronik uzaklıkölçerin hedeflediği bölgelerden alınan verilerdeki değişimlerle uyumluluk gösterdiği görülmüştür.

Şisman ve Yıldırım (2019), yaptıkları çalışmada Samsun ili Atakum ilçesi Toybelen köyündeki bir bölgeyi çalışma sahası olarak seçmişlerdir. Bu bölgede meydana gelen kütle hareketlerini izlemek amacıyla bölgede 14 noktalı jeodezik kontrol ağı tesis edilmiştir. Arazi ortamında 2 periyot olarak GNSS alıcıları yardımıyla gerçekleştirilen ölçümler sonucunda bulanık mantığa göre uyumsuz ölçü grupları tespit edilmiştir.

Alptekin ve Yakar (2020), Mersin ili Çukurkeşlik Mahallesi'nde yoğun yağışların tetikleme sonucunda meydana gelen kütle hareketinin insansız hava aracı yardımıyla modellenmesi amaçlanmıştır. Bu kapsamda bölgeye ait sayısal yüzey modeli (DSM) ve ortofoto haritası üretilmiştir. Bu çalışma sonucunda bölgeye ilişkin üç boyutlu modelin İHA yardımıyla kısa sürede ve yüksek hassasiyette üretilebileceği kanıtlanmıştır.

Haibo vd. (2020) multipath hatalarını, geleneksel çözüm yöntemlerinin aksine çeşitli filtreleme algoritmaları üzerinden minimum seviyelere indirgeyerek heyelan sahalarının daha sağlıklı ve hassas bir şekilde izlenmesini hedeflemişlerdir. Sonuçlar dağlık alanlarda yıldız filtreleme algoritmasının multipath hatalarını en aza indirmek için uygulanabilir bir filtreleme algoritması olduğunu kanıtlamıştır. Bu bağlamda heyelan afeti neticesinde meydana gelen kütle hareketlerinin daha hassas bir şekilde tespit edilmesinin mümkün olduğu sonucuna varılmıştır.

Samardzic-Petrović vd. (2020), çalışma sahası olarak Umka bölgesindeki (Sırbistan) heyelan alanını çalışma sahası olarak belirlemişlerdir. Bu çalışmanın amacı, 2018 yılından itibaren çalışma bölgesinde oluşan kütle hareketlerini, arazi ortamında tesis edilen 4'ü sabit nokta olmak üzere toplam 66 noktadan oluşan jeodezik deformasyon ağı üzerinden gerçekleştirilen periyodik ölçümler sonucu daha anlamlı ve kapsamlı bir şekilde irdelemektir. Bu kapsamda çalışma sahasında toplam 3 epok ölçüm yapılmıştır. Sonuçlar ışığında, arazi ortamında tesis edilen tüm noktaların yaklaşık olarak %21'inin yatay yöndeki değişimleri 0-2 cm, %33'ü 2.01-4 cm, %23'ü 4.01-6 cm ve son olarak %33'ü ise 6 cm'den daha büyük kütle hareketleri hesaplamışlardır.

Zeybek ve Şanlıoğlu (2020) bu çalışmada birbirlerinden farklı radyal tabanlı fonksiyonlar yardımıyla heyelanlar sonucu meydana gelen kütle hareketlerini

belirlemeyi amaçlamışlardır. Ayrıca bu fonksiyonlardan elde edilen çıktılar, jeodezik ölçümlerde yüksek hassasiyet sağlayan GNSS ölçüm verileri ile kıyaslanmıştır. Sayısal yükseklik modelleri kullanılarak geliştirilen çeşitli fonksiyonel radyal tabanlı fonksiyonlar heyelan sahasında oluşan kütle hareketlerinin tespitinde önemli rol oynamıştır. Bu çalışmanın bir sonucu olarak radyal temel fonksiyonlar yardımıyla elde edilen sayısal yükseklik modellerinin her birinin, GNSS ölçüm verileri ile istatistiksel açıdan uyumluluk gösterdiği görülmüştür.

Li vd. (2021) bu çalışmada Zhutoushan heyelan sahasını jeodezik ölçüm tekniği kullanarak izlemeyi hedeflemişlerdir. Bu kapsamda ilgili heyelan sahasında oluşan kütle hareketlerinin gerçek zamanlı olarak tespit edilmesi için 2017 yılında GNSS tabanlı otomatik deformasyon izleme ve uyarı sistemi kurularak uydulara yapılan gözlemler ile birlikte veri akışı sağlanmıştır. Sonuçlara göre yatay doğrultuda 80 cm, düşey doğrultuda ise 15 cm'ye varan kütle hareketleri belirlenmiştir.

Lin vd. (2021) hassas nokta konumlama tekniği (ppp) yardımıyla Fujian eyaletindeki aktif bir heyelan bölgesini, sürekli bir şekilde gözlem yapan referans istasyonlardan (CORS - continuously operating reference stations) alınan veriler yardımıyla izlemeyi amaçlamışlardır.

Zhao vd. (2021) bu çalışmada CORS'un heyelan alanlarının izlenmesinde kullanılabilirliğini test etmek için VRS verilerinin doğruluğunun hesaplanması, sanal ve fiziki referans istasyonları arasındaki hesap sonuçlarının kıyaslamalı analizlerinin yapılması amaçlanmıştır. Elde edilen sonuçlar ışığında seçilen sanal referans istasyonlarına ait veri kalitesinin beklenen doğrulukta olduğu gözlemlenmiştir. Ayrıca sanal referans istasyonları ve gözlem istasyonlarından elde edilen hesap çözüm doğruluğu fiziksel referans istasyonları ve gözlem istasyonlarından elde edilen çözüm doğruluğuna eş değer olduğu gözlemlenmiştir.

Demirel ve Türk (2022) yaptıkları çalışmada yüksek çözünürlüğe sahip optik uydu görüntüleri ve optik olarak algılanan görüntülerin korelasyon yöntemi (COSI Corr) ile heyelan sahalarında meydana gelen kütle hareketlerini incelemişlerdir. Çalışma sonucunda heyelan riski taşıyan bölgelerde meydana gelen kütle hareketlerinin analiz edilebileceği, jeomorfolojik verilerin üretilebileceği kanıtlanmıştır. Ayrıca İHA ile uydu görüntülerinin birlikte kullanılması, kütle hareketleri yaşanan mevcut sahaların daha kolay bir şekilde tespit edilmesine imkân vermektedir.

Guo vd. (2022) bu çalışmada Changzhou Shunguoshan heyelan sahasını çalışma sahası olarak seçmişlerdir. Bu sahada elektronik uzaklıkölçer cihazı yardımıyla geleneksel ölçüm yöntemleri üzerinden toplanan veriler, üç boyutlu lazer tarama teknolojisi kullanılarak üretilen veriler ile karşılaştırılmıştır. Çalışma sonucunda farklı ölçüm yöntemleri kullanılarak üretilen her iki verinin birbirleriyle benzer olduğu gözlemlenmiştir. Elde edilen sonuçlar ışığında çalışma sahasında düşey yönde meydana gelen maksimum kütle hareketi 1,5 mm, yatay yönde ise maksimum kütle hareketi 0,9 mm olarak hesaplanmıştır. Buna ek olarak geleneksel ölçüm yöntemlerinin aksine üç boyutlu lazer tarama sistemleri belirli bir doğruluk

derecesine sahiptir ve üretilen nokta verisi geleneksel ölçüm yöntemleri üzerinden üretilen nokta kümesine göre daha dijital ve bilgi içeriklidir.

Kadı (2022), yaptığı çalışmada Trabzon ili Esiroğlu Mahallesi Işıklar Mevkiindeki paleo-heyelan sahasını uygulama sahası olarak seçmiştir. Bölgede heyelan afeti sonucu meydana gelen kütle hareketlerini izlemek amacıyla 7'si referans, 17'si obje noktası olmak üzere toplam 24 nokta tesis edilmiştir. GNSS alıcıları kullanılarak söz konusu heyelan sahasında 2019-2021 tarihleri arasında toplam 5 periyot statik ölçüm işlemi gerçekleştirilmiştir. Ölçüm sonucu elde edilen veriler üzerinden farklı jeodezik deformasyon modelleri yardımıyla heyelan sahasında bu süre zarfında meydana gelen anlamlı kütle hareketleri tespit edilmiştir. Ayrıca söz konusu çalışma sahasında proje kapsamında jeodezik ölçüm işlemlerine paralel bir şekilde jeofiziksel ölçümler de (sismik kırılma ve elektrik özdirenç) gerçekleştirilmiştir. Uygulama sonucunda elde edilen sonuçlar ışığında, her iki ölçüm yöntemi üzerinden elde edilen sonuç çıktılarının birbirleriyle uyumlu olduğu gözlemlenmiştir.

Natijne vd. (2022), açık kaynak kodlu Google Earth Engine modülü sayesinde INSAR tabanlı hızlı ve otomatik bir deformasyon izleme modeli geliştirmişlerdir. Bu bağlamda söz konusu modül, INSAR teknolojisini uygulayabilen herhangi bir kişinin, ilgilendikleri kütle hareketlerini düzenli bir şekilde izlemesini sağlamaktadır.

Çalışma kapsamında heyelan sahaslarında meydana gelen kütle hareketlerinin izlenmesine yönelik yapılan bilimsel çalışmaların literatür özeti verilmiştir. Söz konusu bilimsel çalışmalarda heyelan afeti sonucu meydana gelen kütle hareketlerinin izlenmesi amacıyla uygulanan yöntemler aşağıdaki tabloda kategorize edilmiştir (Tablo 1.).

Tablo 1. Literatür Özeti Gösterimi

Bilimsel Çalışmalar	Jeodezik Yöntemler				Uzaktan Algılama Tabanlı Yöntemler			
	Gnss			Robotik	Uydu Tabanlı Uyg.		İha	Lazer
	Statik	Hızlı Statik	RTK		Radar	Optik		
Gili vd. (2000)								
Bayrak (2003)								
Kalkan vd. (2003)								
Yalçınkaya vd. (2003)								
Abidin vd. (2004)								
Squarzoni vd. (2005)								
Yalçınkaya vd. (2005)								
Saleh ve Al-Bayari (2007)								
Acar vd. (2008)								
Doğanalp ve Turgut (2009)								
Hastaoğlu ve Şanlı (2011)								
Wang (2011)								
Turan vd. (2012)								

Xing vd. (2012)	■							
Başoğlu vd. (2014)			■					
Erenoğlu vd. (2014)								
Hastaoğlu vd. (2014)			■		■			
Kazancı vd. (2014)	■							
Çomut vd. (2015)					■			
Türk vd. (2015)						■		
Zeybek vd. (2015)			■					■
Eker ve Aydın (2016)							■	
Görüm vd. (2016)								
Şanlıoğlu vd. (2016)	■							
Yüceses vd. (2016)			■					
Tiwari vd. (2018)				■				
Şisman ve Yıldırım (2019)	■							
Alptekin ve Yakar (2020)							■	
Haibo vd. (2020)			■					
Samardzic-Petrović vd. (2020)	■							
Zeybek ve Şanlıoğlu (2020)			■					
Li vd. (2021)	■							
Lin vd. (2021)			■					
Zhao vd. (2021)								
Demirel ve Türk (2022)						■		
Guo vd. (2022)				■				■
Kadı (2022)	■		■					
Natijne vd. (2022)					■			

3. SONUÇ

Günümüzde heyelan, ciddi derecede can ve mal kayıplarına neden olan bir afet türüdür. Özellikle potansiyel heyelan sahalarının vatandaşlar tarafından yerleşim veya zirai alanlar vasfıyla kullanımı gerek maddi gerekse manevi daha yüksek kayıplara yol açmaktadır. Bu kayıpların minimum seviyelere indirgeyebilmek için söz konusu potansiyel heyelan sahalarının farklı jeodezik ve uzaktan algılama tabanlı ölçüm yöntemleri üzerinden izlenmesi ile mümkündür. Yapılan bu çalışma kapsamında heyelan sahalarının jeodezik ve uzaktan algılama tabanlı yöntemler yardımıyla izlenmesini konu edinen bilimsel çalışmaların geniş bir özeti okuyucuya sunulmuştur. Bu bağlamda özetleri sunulan bilimsel çalışmalar dikkate alındığında yüksek hassasiyet içeren verilerin anlık olarak işlendiği ve GNSS sistemlerinin yaygın bir şekilde kullanıldığı çok sayıda bilimsel çalışma görülmektedir. GNSS alıcısı yardımıyla gerçekleştirilen ölçüm işlemlerinin periyodik bir şekilde uygulandığı ve çeşitli deformasyon analizleri yardımıyla hesaplanan hareket değerlerinin istatistiksel olarak anlamlı olup olmadığını irdeleyen bilimsel

çalışmalar yoğunlukla literatürde yer almaktadır. Literatürde yer alan yöntemlerden bir diğeri ise uzaktan algılama tabanlı yöntemleridir. Gerek uydu tabanlı gerekse insansız hava aracı üzerinden kütle hareketlerinin izlenmesine yönelik gerçekleştirilen bilimsel çalışmalar son yıllarda sıklıkla kullanılmaktadır. Buna ek olarak uzaktan algılama tabanlı yöntemlerden bir diğeri lazer tarama sistemleridir. Söz konusu bu teknolojinin diğeri jeodezik yöntemlerden farkı elde edilen veri yoğunluğunun ve hassasiyetinin daha yüksek olmasıdır. Bu teknik yardımıyla kütle hareketinin gerçekleştiği bölgeye ait arazi yüzeyini temsil eden milyonlarca nokta verisi üretilebilmektedir.

Tablo 1 irdelendiğinde kütle hareketlerinin izlenmesine yönelik gerçekleştirilen jeodezik yöntemlerden biri olan GNSS tabanlı ölçüm yöntemlerinin yıllar boyunca güncelliğini sürekli bir şekilde koruduğu ve en sık kullanılan yöntemlerin başında geldiği gözlemlenmiştir. Öte yandan bilimsel çalışmalarda uygulanan uzaktan algılama tabanlı yöntemler, teknolojinin gelişimine paralel bir şekilde giderek yaygınlaşmaktadır. Söz konusu uzaktan algılama tabanlı uygulanan yöntemler, iş gücü, zaman ve maliyet açısından jeodezik yöntemlere göre daha avantajlı bir yöntem olduğu görülmüştür. Ayrıca uzaktan algılama tabanlı yöntemler yardımıyla arazi ortamına ihtiyaç duyulmadan büro ortamında gerekli analizlerin yapılarak kolayca sonuca ulaşılabildiği gözlemlenmiştir.

KAYNAKÇA

- Abidin, H., Z., et al., (2004). Studying Landslide Displacements in Megamendung (Indonesia) Using GPS Survey Method. *Journal of Engineering and Technological Sciences*, 36(2), 109-123.
<https://doi.org/10.5614/itbj.eng.sci.2004.36.2.2>
- Acar, M., Ozludemir, M.T., Erol, S., Celik, R., N., & Ayan, T. (2008). Kinematic landslide monitoring with Kalman filtering. *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.*, 8, 213–221.
<https://doi.org/10.5194/nhess-8-213-2008>
- Başoğlu, N., Kazancı, E., & Bayrak, T. (2014). Heyelan Hız Alanlarının Anlık Tusaga – Aktif Ölçüleriyle Belirlenmesi. *HKMO-Mühendislik Ölçmeleri STB Komisyonu 7. Ulusal Mühendislik Ölçmeleri Sempozyumu*, Hitit Üniversitesi - Çorum.
- Bayrak, T. (2003). Heyelanlar İçin Bir Dinamik Deformasyon ve Bir Dinamik Hareket Yüzeyi Modelinin Oluşturulması. Doktora Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.
- Cruden, D. M., & Varnes, D. J. (1996). Landslide Types and Processes, Transportation Research Board. *U.S. National Academy of Sciences, Special Report*, 247, 36-75.
- Çomut, F., Gürboğa, Ş., & Üstün, A. (2015). Denizli Babadağ İlçesinde Heyelanların İnterferometrik Yapay Açıklıklı Radar (Insar) Tekniği İle Gözlemlenmesi. *International Burdur Earthquake&Environment Symposium*.
- Doğanalp, S., & Turgut, B. (2009). Statik ve Kinematik Modelde Deformasyon Analizi.

Kadı,F. (2023). Heyelanların Jeodezik Ve Uzaktan Algılama Tabanlı Yöntemler İle İzlenmesi Üzerine Yapılan Çalışmaların İncelenmesi. *GSI Journals Serie C: Advancements in Information Sciences and Technologies (AIST)*, 6(1): 28-43.

- Selçuk Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, Konya, 24, 31-44.
- Erenoglu, R., Akçay, Ö., Karaca, Z., Erenoglu, O., Şengül, U., E., & Yucel, M. (2014). Tekrarlı Kinematik Gps Ölçüleri İle Heyelanlarının İzlenmesi: Adatepe Heyelanları (Biga Yarımadası, Çanakkale, Türkiye) Örneği.
- Gelişli K. (2018). Jeofizik Yöntemlerle Heyelan Araştırmaları. *Uygulamalı Yerbilimleri Dergisi*, 17, 115-126.
<https://doi.org/10.30706/uybd.458107>
- Gili, J. A., Corominas, J., & Rius, J. (2000). Using global positioning system techniques in landslide monitoring. *Eng Geol*, 55, 167–192.
[https://doi.org/10.1016/S0013-7952\(99\)00127-1](https://doi.org/10.1016/S0013-7952(99)00127-1)
- Haibo, H., Li, W., Bao, S., Yaohui, Z., & Long, L. (2020). GNSS Multipath Errors Mitigation Algorithm Based on Observation Domain for Landslide Deformation Monitoring. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 570(6), 46-62.
<https://doi.org/10.1088/1755-1315/570/6/062046>
- Hastaoğlu, K.O., & Şanlı, D.U. (2011). Accuracy of GPS rapid static positioning: Application to Koyulhisar landslide, central Turkey. *Survey Review*, 43, 321, 226-240.
<https://doi.org/10.1179/003962611X12894696205145>
- Hastaoğlu, K., Poyraz, F., Türk, T., Koçbulut, F., Sanli, D., Yilmaz, I., Balik Sanli, F., Kuçak, R.A., Demirel, M., Gürsoy, Ö., & Duman, H. (2014). GPS ve Ps-İnsar Yöntemleri Kullanılarak Koyulhisar (Sivas) Heyelanlarının İzlenmesi: İlk Sonuçlar. *Gümüşhane Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*.
<https://doi.org/10.17714/gufbed.2014.04.013>
- Kadı, F. (2022). Heyelanların Farklı Jeodezik Yöntemlerle İrdelenmesi: Esiroğlu-İşıklar Mevkii Örneği, Doktora Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.
- Kalkan, Y., Alkan, R.M., Yanalak, M., Tari, E., & Erden, T. (2003). Altaş Ambarlı Liman Tesisleri Sahasında Geoteknik ve Jeodezik Yöntemlerle Heyelan İzleme Çalışması, *Teknik Rapor*, İTÜ Geliştirme Vakfı AR-GE İşletmesi, İstanbul.
- Kazancı, E. & Bayrak, T. (2014). Statik Tusaga - Aktif Ölçüleri Yardımı ile Heyelanların İzlenmesi Gümüşhane İmam Hatip Lisesi Heyelan Örneği. 7. *Ulusal Mühendislik Ölçmeleri Sempozyumu*, Ekim, Çorum.
- Liu, C.N., WU, C.C. (2008). Integrating GIS and stress transfer mechanism in mapping rainfall-triggered landslide susceptibility. *Engineering Geology*, 101(1), 60–74.
<https://doi.org/10.1016/j.enggeo.2008.04.003>
- Saleh, B., & Al-Bayari, O. (2007). Geodetic monitoring of a landslide using conventional surveys and GPS techniques. *Survey Review*. 39. 252-260.
<https://doi.org/10.1179/175227007X197165>
- Squarzoni, C., Delacourt, C., Allemand, P. (2005). Differential single-frequency GPS monitoring of the La Valette landslide (French Alps). *Engineering Geology*. 79, 215-229.
<https://doi.org/10.1016/j.enggeo.2005.01.015>

Kadı,F. (2023). Heyelanların Jeodezik Ve Uzaktan Algılama Tabanlı Yöntemler İle İzlenmesi Üzerine Yapılan Çalışmaların İncelenmesi. *GSI Journals Serie C: Advancements in Information Sciences and Technologies (AIST)*, 6(1): 28-43.

- Şanlıoğlu, İ., Zeybek, M., & Yigit, C. (2016). Landslide Monitoring with GNSS-PPP on Steep-Slope and Forestry Area: Taşkent Landslide. *2nd International Conference on Engineering and Natural Sciences*.
- Şenkaya, M., Babacan, A., Karslı, H., & San, B. (2022). Origins of diverse present displacements in a paleo-landslide area (Isıklar, Trabzon, northeast Turkey). *Environmental Earth Sciences*.
<https://doi.org/10.1007/s12665-022-10372-2>
- Turan, S.N., Eyo, E., Acar, M., & Bayrak, T. (2012). Periyodik Toplanmış TUSAGA-Aktif Ölçülerinin Deformasyon İzlemede Kullanılabilirliğinin Araştırılması. *Harita Teknolojileri Elektronik Dergisi*, 4(2), 19-29.
- Wang, G. (2011). GPS Landslide Monitoring: Single Base vs. Network Solutions — A case study based on the Puerto Rico and Virgin Islands Permanent GPS Network. *Journal of Geodetic Science*, 1(3), 191-203.
<https://doi.org/10.2478/v10156-010-0022-3>
- Xing, Z., Xu, Q., Zhou, J., & Deng, M. (2012). Remote Landslide Observation System with Differential GPS. *Procedia Earth and Planetary Science*, 5, 70-75.
<https://doi.org/10.1016/j.proeps.2012.01.012>
- Yalçinkaya, M., Teke, K., & Bayrak, T. (2003). GPS İle Ölçülen Jeodezik Ağlarda Duyarlık ve Güven Optimizasyonu. *Türkiye Ulusal Jeodezi Komisyonu Bilimsel Toplantısı, Coğrafi Bilgi Sistemleri ve Jeodezik Ağlar Çalıştayı, Konya*.
- Yalcinkaya, M., & Bayrak, T. (2005). Comparison of Static, Kinematic and Dynamic Geodetic Deformation Models for Kutlugun Landslide in Northeastern Turkey. *Natural Hazards*, 34(1), 91-110.
<https://doi.org/10.1007/s11069-004-1967-2>
- Zeybek, M., & Şanlıoğlu, İ. (2013). Heyelanların İzlenmesinde Yersel Lazer Tarama Tekniklerinin Kullanılması Üzerine Araştırmalar.
- Zeybek, M., Şanlıoğlu, İ., & Özdemir, A. (2015). Monitoring landslides with geophysical and geodetic observations. *Environ Earth Sci*, 74, 6247–6263.
- Zhao, W., Zhang, M., Ma, J., Han, B., Ye, S., & Huang, Z. (2021). Application of CORS in Landslide Monitoring. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 861(4), 42-49.