

HEYELANLARIN İZLENMESİNDE YERSEL LAZER TARAMA TEKNİKLERİNİN KULLANILMASI ÜZERİNE ARAŞTIRMALAR

M. Zeybek ^{a*}, İ. Şanlıoğlu ^a

^a Selçuk Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Harita Mühendisliği Bölümü, Konya- (mzeybek, sanlioglu)@selcuk.edu.tr

Anahtar Kelimeler: Heyelan, Lazer tarayıcılar, İzleme metotları,

ÖZET:

Heyelanlar çeşitli dinamik kuvvetlerin yeryüzünde meydana getirdiği değişimlerdir. Heyelanlar, yeryüzü üzerinde önemli derecede etkiler oluşturan doğal afetlerin önde gelenlerinden bir tanesidir. Heyelanların etkilerinin azaltılması amacıyla izlenmesi Dünyada oldukça fazla sayıda ve değişik yöntemlerle çalışmalar yapılmaktadır. Teknolojinin sağladığı katkılarla bu yöntemler günden güne ilerlemekte, daha hassas, hızlı ve düşük maliyette araştırmaların sürdürülmesine imkân sağlamaktadır.

GNSS ölçmelerinin yüksek doğruluğu, ekonomik olması, kıtalar arası hareketleri dahi izlenebilir hale getirmesi, klasik yersel ölçme yöntemlerine olan rağbeti bir hayli azaltmıştır. 2000'li yılların başında heyelanların GNSS yöntemleriyle araştırılması oldukça hızlı ilerlemiştir. Son on yılda teknolojik gelişmeler heyelanların izlenmesinde kullanılan tekniklerin gelişmesinde önemli katkılar sağlamıştır. Bu teknolojik gelişmeler doğrultusunda mühendislik uygulamalarına yeni bir boyut kazandıran lazer tarayıcıların üretilmesi ve geniş kullanım alanına sahip olması, araştırmaların vizyonunu ve amacını genişletmiştir. 3B'lu (x,y,z) yersel lazer tarama teknolojisi, bir yapı veya yeryüzü üzerinden elde edilen nokta bulutları yardımıyla, taranmış alanların gerçeğe yakın görüntülerinin oluşturulduğu, modellerinin elde edildiği veri toplama teknolojisi olarak isimlendirilebilir. Bu teknoloji ile yeryüzünde, büyük ölçekli araştırmalarda, karmaşık alanlarda ve düzensiz yüzeylerle birlikte, standart veya standart olmayan yapıların 3B'lu konumsal verileri doğrudan toplanabilmektedir. Heyelanların karmaşık veya ölçülmesi zor bölgelerde olduğu durumlarda bu teknolojiden etkin bir şekilde faydalanılması, araştırmalarda büyük kolaylıklar sağlayabilmektedir.

Heyelanlar, dünyada olduğu gibi ülkemizin de birçok bölgesini yakından ilgilendiren doğal afetlerden bir tanesidir. Heyelanlar bina, yol, baraj, köprü ve liman gibi çeşitli mühendislik yapılarına zarar vermekle birlikte, o bölgede yaşayan insanlar üzerinde olumsuz etkiler sebep olarak bölge halkı için bir tehdit oluşturmaktadır. Bununla birlikte insanların yaşadığı topografyanın değişmesine sebep olarak arazi ve tarım alanlarının kullanımını olumsuz yönde etkilemektedir. Heyelana duyarlı bölgelerde topografik ve jeolojik yapıya bağlı olarak bölgede kaya düşme vakalarının önüne geçilmesinde de yersel lazer tarama teknikleri yoğun kullanım alanı bulmuştur. Yersel lazer tarama verilerinin uzaktan algılama yardımıyla elde edilmesiyle kolaylaşmış ve bununla birlikte doğru, hızlı ve yoğun veri elde edilmesi, jeoloji araştırmacıları için avantajlı ve düşük maliyetli araştırmaların yapılmasına imkân sağlamıştır.

Bu makalede de heyelan bölgelerinde yapılan araştırmalarda geniş kullanım alanına sahip lazer tarama tekniklerinden ve bu teknolojiyle yapılan araştırma ve çalışmaların kullanımından genişçe bahsedilmiştir.

1. Giriş

Heyelan için en sık kullanılan tanım 'yamaçtan aşağıya doğru hareket eden kaya, toprak veya moloz akışı hareketidir' (Cruden 1991). Heyelanlar; toprakların, kayaların, nemin ve eğimin oluşturduğu farklı koşullar sonucu ortaya çıkabilmektedir. Heyelan türleri geometrik karakterlerine bağlı olarak yedi farklı geometrik yapıda sınıflandırılabilir (Blasio 2011). Heyelanı oluşturan bazı temel unsurlar Şekil 1'de gösterilmektedir.



Şekil 1: Heyelanı oluşturan temel elemanlar (Varnes 1978)

Harekete geçen materyaller kopma bölgesinden koparak aşağıya doğru toplanma bölgesine doğru hareket ederler. Heyelanın türünü belirlerken geometrik karakteristiklerinin yanında bozulmaya uğrayan materyallerinde sınıflandırılması mümkündür. Materyallere göre sınıflandırıldığında kaya, toprak, çamur, moloz vb. gibi farklı yapıya sahip sınıflandırmalar yapılabilir.

Heyelanların sınıflandırılması için Varnes (1978), Hungr ve diğer. (2001), Hutchinson (1988) gibi araştırmalarda farklı sistemler sunulmuştur. Birçok yazarın katkısıyla EPOCH sistemi, yedi farklı türde ve 3 farklı materyalde sınıflandırma sistemi kurulmuştur.

Hareket	Materyal		
	Kaya	Moloz	Toprak veya yer
Düşme	Kaya düşmesi	Moloz düşmesi	Toprak düşmesi
Devrilme	Kaya devrilmesi	Moloz devrilmesi	Toprak devrilmesi
Ötelenmeli kayma	Kaya heyelanı	Moloz kayması	Toprak kayması
Dönel kayma veya ani göçme	Ani kaya göçmesi	Moloz göçmesi	Toprak göçmesi
Yanal yayılma	Kaya yayılması	Moloz yayılması	Toprak yayılması
Karma Akma	Kaya akması	Moloz akması	Toprak akışı

Tablo 1: EPOCH sistemine göre Heyelanların sınıflandırılması (Dikau, et al. 1996), koyu renkliler en çok rastlanılan türlerdir.

Tablo 1'de sınıflandırılabilen gibi heyelanlar bazı durumlarda birden fazla oluşumla da karşımıza çıkmaktadır. Bu durumda karışık heyelan olarak sınıflandırılabilir. Şekil 1'de gösterildiği üzere heyelanın geometrisinin ve özelliğinin belirlenmesi, heyelan hakkında elde edilecek verilerin değerlendirilmesinde önemlidir.

Heyelanların oluşumunda arazideki eğim, litoloji, jeolojik yapı, arazi kullanımı, çatlakların yoğunluğu, jeomorfolojisi vb. gibi faktörler önemli rol oynamaktadır. Eğer bölge içerisinde yüksek derecede fay hatları, gevşek yapıdaki kayalar, dik yamaçlar vb gibi arazi faktörleri etkin ise bölgenin heyelan bakımından duyarlı olduğu söylenebilir. Heyelanlar yağışlarla, bölgede sel ve erozyonla oluşan oyulmalarla, depremlerle, karların erimesi ve diğer doğal sebeplerle birlikte insanların neden olduğu, örneğin; otlakların yoğun kullanılması, arazide hafriyat veya dolgu yapımı gibi arazinin aşırı kullanılması sonucunda oluşumları tetiklenebilir.

Yağışlarla jeolojik yapıda bulunan gözenek basınçları artmaktadır. Bunun sonucunda da yapıdaki kayma mukavemeti yükselir. Alanda heyelanın oluşumu için uygun ortam yaratılmış olur ve heyelan başlar.

Ülkemizde de genel anlamda heyelanlar yağışların yoğun olduğu kuzey ve batı bölgelerimizde oluşmaktadır.

Heyelanların sebep olduğu yıkıcı ve bozucu etkilerinden en az şekilde zarar görmek için bu doğal afetlerin izlenmesi ve gözetilmesi önemli bir konudur.

Bu izleme çalışmalarında tek çözüm ölçme ve erken uyarı sistemlerinin kullanılmasıdır. Uygun bir izleme sisteminin seçilmesinde en önemli hususlar heyelanın türü ve boyutları, gözlemlenen hız, periyot aralıkları, beklenen doğruluk ve maddi kaynaklara bağlı olarak değişiklik gösterebilmektedir. Heyelanların izlenmesinde uygulanan izleme sistemleri genellikle jeodezik ve uzaktan algılama teknikleri olarak iki ana gruba ayrılabilir.

Geleneksel jeodezik ölçme yöntemleri: açı, mesafe ve yükseklik farkları gibi heyelanların topoğrafyasındaki geometrik değişimlerin belirlenmesini içermektedir. Bu teknikler heyelanın dışında ve içindeki noktalara farklı zamanlarda yapılacak ölçmeleri gerektirmektedir. Yapılan bu ölçmeler oldukça yüksek doğruluğa (0.2 ile 2.0 cm) sahiptir (Malet, Maquaire ve Calais 2002). Dahası sürekli veya belirli süreyle yapılan diferensiyel GPS yöntemiyle cm mertebesinde doğruluklara ulaşan heyelan izleme sistemleri üzerine çalışılmıştır. Ancak, heyelanların farklı bölgelerde farklı oranda ve derecede ortaya çıkması jeodezik tekniklerin

uygulanmasında eksiklik oluşturmuştur. Bunun sonucunda uzaktan algılama teknikleri, deformasyon izleme çalışmalarında kullanılan alternatif bir teknik olarak uygulamaya geçmiştir. Farklı platformlar sayesinde örneğin uydu temelli, havadan veya yerdeki platformların konumsal veriyi toplamasıyla bu teknikler ilgiyi üzerlerine çekmiştir. Bu teknikler, heyelan alanlarının bölgesel haritalanması ve farklı zamanlarda karşılaştırılması ile sabit ve sabit olmayan alanların ayırt edilmesini mümkün kılmıştır (Casson, Delacourt ve Allemand 2005; Teza, et al. 2008; Oppikofer, Jaboyedoff ve Kreusen 2008). Son on yıllık sürede heyelanların lokal ölçekli alanlarda yer-temelli platformlarla izlenmesi, küçük örtülü bölgelerde çalışmasına rağmen uydu-temelli ve hava-temelli platformlara göre pek çok avantajlar sağlamıştır.

Yer temelli uzaktan algılama tekniklerinin heyelan izleme çalışmalarında kullanımını üç ana gruba ayırmak mümkündür. Bunlar: Yer-temelli Yapay Aralıklı Radar İnterferometrisi (GB-InSAR), Yersel Lazer Tarama (YLT-TLS) ve Yersel Optik Fotogrametrisi (YOF-TOP)'dir. Bu tekniklerin basitçe avantajları ve dezavantajları Tablo 2' de görülebilir.

Bu makalede ise YLT –Yersel lazer tarama tekniklerinin heyelanlar üzerinde kullanımı ile ilgili olacaktır.

2.Yersel Lazer tarama Metodolojisi

Lazer kısaltmasının açılımı Light Amplification by stimulated emission of Radiation (Uyarılmış Işıma ile Mikrodalga Yükseltici) anlamına gelmektedir. Lazer cihazı yüksek seviyede ayarlanmış, doğrusal, uyumlu ve faz elektromanyetik radyasyon üreten ve geri alan bir cihazdır. Bu sistemler sayesinde arazi yüzeylerinde çok yoğun ve fazla miktarda, hızlı 3B'lu konum bilgisi elde edilmektedir. Genel kullanımı LIDAR (Light Detection and Ranging-Işık Algılama ve Mesafe ölçer) olsa da literatürde lazer tarayıcı veya lazer mesafe ölçer olarak da yaygın kullanımı vardır. Lazer tarama iki farklı türde geliştirilmiştir, bu sınıflandırma cihazın konumu baz alınarak yapılmıştır. Bunlar ALS(airborne-based-hava platform temelli) ve TLS-ground-based(Yer temelli Lazer tarayıcı) olarak adlandırılmaktadır. Literatür incelemelerine bakıldığında TLS üzerine yapılan çalışmalar (2005-2013) oldukça fazla sayıdadır. Doğa bilimleri, çevre, maden ve deformasyon izleme gibi pek çok alanda uygulama bulmuştur. ALS ve TLS uygulamalarının birlikte kullanılmasıyla büyük ve geniş alanlarda yapılan araştırmalarda bölgeye ait yoğun nokta bulutlarıyla konumsal veri elde etmekte kullanılmaktadır.

Ayrıca gölgeli (veri olmayan) alanların tamamıyla kapanması ve örtü halinde arazi yüzeylerinin sayısal arazi modellerinin bütün halinde elde edilmesi için bu tekniklerin bütünlük kullanılması büyük katkılar sağlamıştır.

2.1 Yersel Lazer Tarayıcılarda Ölçme Prensibi

Lazer tarayıcılar, lazer ışınının cihazdan saçılması ve geriye alınmasından ibarettir. Günümüzde lazer tarayıcılar genellikle iki farklı gruba ayrılmaktadır. Bu gruplandırmada en önemli unsur mesafe ölçme metodudur. Lazer ölçme cihazları faz ve sinyal ölçme ile iki farklı ölçme prensibine sahiptir. Faz ölçmeleri mesafe ölçmelerinde daha doğru sonuç vermesinin yanında ölçme mesafesinin kısa olması bir dezavantajdır (Petrie ve Toth 2008). Bu nedenle ALS ve TLS uygulamalarında sinyal ölçme yöntemleri kullanılmaktadır. Bu doğrultuda heyelan ve yer yüzeyi üzerindeki araştırmalarda uzun menzilli çalışmaları gerektirdiği için sinyal ölçme tekniğini kullanan lazer tarayıcılar kullanılmıştır (Wehr ve Lohr 1999; Baltsavias 1999).

Her iki ölçme sistemi; hava ve yersel tarayıcılar için lazer sinyalinin gönderilip, farklı yansıtıcı özelliklere sahip

maddelere çarparak geri dönen sinyallerin kayıt edilmesiyle ölçümler tamamlanır (Şekil 2-Şekil 3) (Caner, et al. 2008). Lazer sinyalli tarayıcılar ışının havada aldığı yolun süreye olan ters orantısıyla hesaplanır (1).

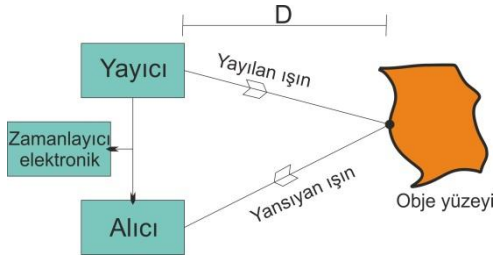
$$D = \frac{(c*t)}{2}$$

(Hata! Yer işareti tanımlanmamış.)

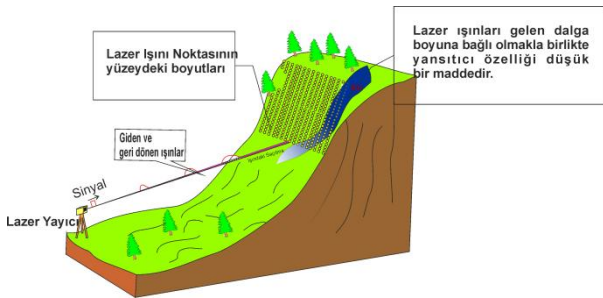
Burada,
c=ışığın havadaki hızı,
t=sinyalin gönderildiği ve geri alındığı zaman arasında geçen süre,
D=lazer ve obje arasındaki mesafedir.

Teknikler	Avantajları	Dezavantajları
GB-InSAR	Yüksek veri doğruluğu (mm doğrulukta) İzleme çalışmaları tüm atmosferik şartlarda ve gece yapılabilir. Atmosferik etkiler düzeltilebilir. Verilerin elde edilmesi ve işleme adımlarında yüksek seviyede otomatikleşmiştir.	Geniş çaplı araştırmaya ihtiyaç duyar. Kalifiyeli operatörler kullanabilir. Gözlem hattı boyunca yer değiştirmeleri belirler. Büyük ve hızlı yer değiştirmeleri tespit edemez. Çeşitli yüzey ve geometrilere farklılıklarda hassaslık gösterir.
TLS	Yüksek doğrulukta veri toplanabilir 1-4cm (@100 m mesafede). Kolay anlaşılabilir 3B'lu veriler sunar. Veri elde edilmesi otomatikleştirilmiştir.	Başlangıç aşamasında (cihaz seçiminde) geniş araştırma yapılmalıdır. Kalifiyeli kullanıcıya ihtiyaç duyar. 3B'lu gerçek yer değiştirmelerin belirlenmesinde ve yoğun nokta verilerinin yönetilmesinde özel ve uygun algoritmalar gerektirir. Konumsal verinin görselleştirilmesi için hesaplamalara ihtiyaç duyar. Veri işleme adımları oldukça zordur. Kötü hava şartları ve ışık durumu resimleri olumsuz etkileyebilir.
TOP	Yüksek doğrulukta veri elde etme kapasitesi vardır (mm-cm @100m) Kolay anlaşılabilir 3B'lu veriler sunar. Düşük maliyetli çalışır. Arazi çalışmalarında düşük enerjiye ihtiyaç vardır. Veri elde edilmesi ve verinin işlenmesi otomatikleştirilmiştir. Basit kamera kalibrasyonuna gereksinim duyar. DEM'lerin üretilmesinde birleştirme algoritmaları kolaydır ve 2B'lu değişimleri elde edebilmektedir.	Geceleri kullanılamaz. Yüzeyin ve geometrinin elde edilmesinde değişimlere oldukça duyarlıdır. Orto-rectifikasyon kullanarak elde edilen DEM nicel analizler açısından önemlidir. Yer kontrol noktaları kamera kalibrasyonu için önemlidir.

Tablo 2: GB-InSAR, TLS ve TOP tekniklerinin heyelan araştırılmasındaki avantajları ve dezavantajları (Travelletti, et al. 2012)



Şekil 2: Uçuş zamanlı lazer tarayıcıların prensibi



Şekil 3: Lazer tarama prensibi-arazide kullanımı

Günümüzde 2,000 ~50,000 p/sn nokta verisi elde edebilen tarama sistemleri mevcuttur. Ticari olarak satılmakta olan bazı lazer tarayıcılar Şekil 4'de gösterilmektedir.



Şekil 4: Ticari Lazer tarayıcı modelleri-uçuş zamanı temelli (Optech, Leica, Riegl, Trimble, Callidus)

Bu lazer tarayıcılar ile yapılan çalışmalarda yüzey üzerinde reflektör veya yansıtıcı hedeflere ihtiyaç yoktur. Ticari yazılımlar ile yeterli bindirme oranlarına sahip nokta bulutları farklı algoritmalarla birleştirilmektedir. Nokta bulutlarının istenilen bir sisteme döndürülmesi için ise muhakkak ki yer kontrol noktaları veya referans olarak kullanılacak diğer nokta bulutlarına ihtiyaç vardır.

2.2 Doğruluk, çözünürlük ve nokta bulutlarının yoğunluğu

Normal bir lazer tarayıcı (uçuş zamanlı) 800 ile 1000 m arasındaki mesafelerde ±1.5 cm doğruluğa ulaşmaktadır. Fakat uygulamadaki kullanımlarında aletsel hatalardan dolayı, örneğin kötü hava koşulları (yağmur, sis, puslu hava) veya zayıf yansıtıcı özellikli materyal ve aşırı pürüzlü yüzeylerde beklenen doğruluğun altında sonuçlar alınabilmektedir (Manetti ve Steinmann 2007).

Lazer tarayıcılardaki çözünürlük kavramı, taraması yapılacak olan bölgeye ait nokta bulutları verisinin nokta aralığı ve istenilen detay derecesine bağlı olarak değişen bir parametre olarak tanımlanabilir. Açısal çözünürlük ve obje ile tarayıcı arasındaki mesafe, isteğe bağlı olarak değiştirilebilir. Bu

parametreler genellikle nokta aralığı ve ışık hüzmelerinin genişliği (tarayıcı ve obje arasındaki mesafeye bağlı olarak) olarak da adlandırılabilir. Bu durum genellikle karmaşıklığa da sebep olmaktadır. Eğer ki ışık hüzmelerinin genişliğinden daha az nokta aralığı girildiği zamanlarda detayların karmaşık olduğu söylenebilmektedir (Lichti ve Jamtsho, 2006).

ALS sistemleri için tarama yoğunlukları genellikle 0.5 ile 100 nokt/m² olurken TLS sistemlerinde ise genellikle 50 ile 10000 nokt/m²'dir. Bunlara ek olarak konuma bağlı olarak yansıyan sinyalin elde edilmesine bağlıdır. Parametreler esasen ışığın dalga boyu, objenin türü (yansıyan yüzeyin rengi ve pürüzlülüğü), toprağın nem derecesi ve görüş açısı ile doğrudan ilgilidir (Lichti 2007).

2.3 Nokta Bulutlarının İşlenmesi

Nokta bulutlarının birleştirilmesi işlemi iki adımda gerçekleştirilebilir: nokta bulutları elde edimi sırasında birbirleri üzerine örtülü şekilde tarandığından dolayı eş noktalar bulundurmaktadır, bu noktalar yardımıyla yaklaşık olarak nokta bulutları çakıştırma işlemine tabi tutulur. İkinci aşamada ise daha hassas bir şekilde birleştirmek için ICP (İterative Closest Point) algoritmasıyla optimizasyonu sağlanır ve bu sayede farklı taramalar arasında en az hata oranıyla birleştirilmesi sağlanmış olur (Besl ve McKay 1992; Chen ve Medioni 1992). Birleştirmeler konusunda farklı kişiler Roto-Translation ,matrisleri yardımlarıyla farklı nokta bulutlarının döknüklük matrisleri ile nokta bulutları üzerine araştırmalarda bulunmuştur (Teza, Galgaro, et al. 2007; Monserrat ve Crosetto 2008; T. Oppikofer, et al. 2009).

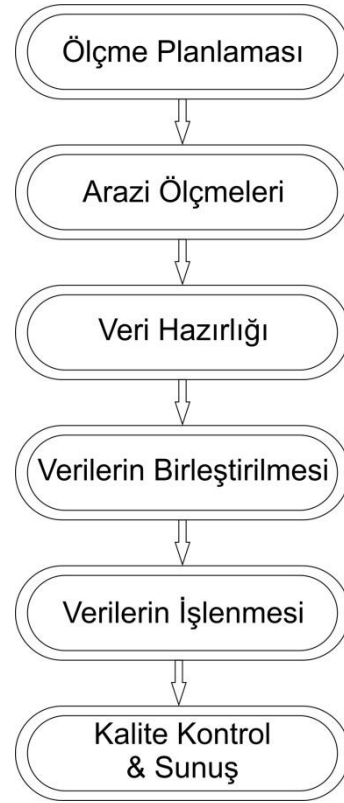
Nokta bulutlarının birleştirilmesinde kullanılacak özel hedefler konum duyarlılığını artırsa da arazi yüzeylerinden maual olarak belirlenen eş noktaların da konum duyarlılığı iyidir (Gumus ve Erkaya 2011; Gümüş ve Erkaya 2008). Hedef noktaların yapısı kullanılan yazılımlara bağlı olmakla birlikte, küre, düzlem veya silindirik şeklinde olabilmektedir. Bu özel yapıların dışı reflektif folyo ile kaplanarak yansıtıcılık oranı yükseltilir. Lazer tarama sonucu elde edilen nokta bulutları içerisinde belirlenen bu hedeflerin merkezleri gerçek jeodezik koordinatlarına total station veya GPS yardımıyla getirilir. Bu işlemden sonra gerekli filtreleme algoritmalarından geçirilerek nokta bulutları içindeki gürültü-aykırı (noise) noktalar silinebilir (Teza et al. 2008).

Aykırı noktalardan arındırılmış nokta bulutları 3B'lu noktalar arasında farklı periyotlarda elde edilen eş bölgelerde heyelan hareketlerinin belirlenmesinde kullanılabilir.

Bu karşılaştırmalara genellikle 3 farklı yöntemle yapılmaktadır. Nokta bulutlarının karşılaştırılması, 3B'lu üçgen modellerinin karşılaştırılması ve hacim karşılaştırmaları olarak yapılmaktadır.

3. Yersel Lazer tarayıcı tekniklerinin heyelan izleme çalışmalarında kullanılması

Heyelan ve deformasyon hareketlerinin izlenmesinde kullanılan YLT tekniği genellikle Şekil 5'teki iş akışı izlenmektedir.



Şekil 5: Heyelanların Yersel Lazer tarama teknikleri ile izlenmesinde işlem adımları

Ölçme planlaması heyelanın meydana geldiği bölgede genel görünüm, sabit ve hareketli alanların tespit edilmesi, TLS cihazının iyi görüşüne sahip istasyon yerlerinin belirlenmesi gibi bir ön çalışmayı kapsamaktadır.

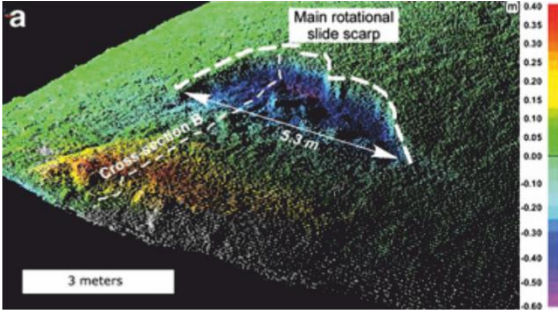
Arazi ölçmelerinden en fazla verim alınması için lazer tarayıcının bu arazi için uygun olup olmadığı belirlenmelidir. Çünkü bu bölge içinde lazer tarama menzillerine uyabilecek lazer tarayıcının seçilmesi daha doğru olacaktır. Heyelan izleme çalışmaları genellikle iki veya daha fazla çok-zamanlı yapılmalıdır ve hareketlerin belirlenmesi için periyotlar arasındaki zamanın iyi ayarlanması oldukça önemlidir. Ayrıca yer kontrol noktası olarak kullanılması planlanan noktaların yerlerinin belirlenmesi, GPS veya Total station kullanarak Jeodezik koordinatlarının hesaplanması gerekir.

4. Sonuç ve Öneriler

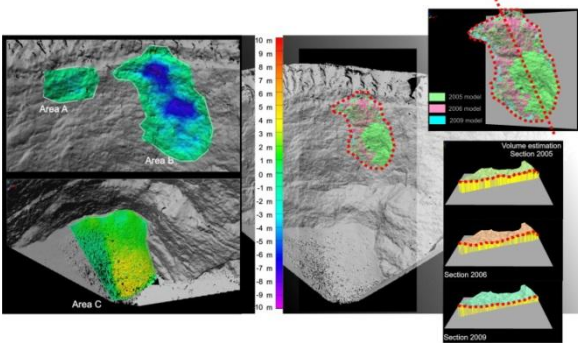
LİDAR, RADAR ve Fotogrametri gibi uzaktan algılama teknikleri kullanılmadan önce noktasal anlamda GPS ve total-station gibi teknikler heyelanların izlenmesinde kullanılmaktaydı. Gelişen teknolojiyle üretilen yeni teknik ve cihazlar, heyelan alanlarının noktaya bağımlı ölçmeler olmaktan çıkıp geniş bölgelerin konumsal verisinin elde edilmesinde büyük katkılar sağlamıştır. Bu sayede heyelanın hareketi ve oluşum mekanizmasının ortaya çıkartılmasında büyük kolaylıklar sağlamıştır. ALS ve YLT sayesinde en az iki periyotluk ölçülerle heyelan bölgesine ait yüksek çözünürlüğe sahip sayısal arazi modellerinin elde edilmesi ile hareket miktarlarının, doğruluk değerleri artmış, daha güvenilir ve daha

detaylı hale gelmiştir. Günümüzde ise yalnızca YLT teknikleri kullanılarak araştırmaların tamamlandığı birçok çalışmada görülmektedir.

Farklı periyotlara ait karşılaştırmalar genellikle nokta bulutları içinde vektörel, noktaların yüzeye, yüzeyler arası karşılaştırmalar veya noktaların en yakın (Haurdoff mesafesi) mesafeye göre karşılaştırılması hareketlerin izlenmesini kolaylaştırmıştır (Şekil 6-Şekil 7). Bunun yanında hacimsel karşılaştırmalar yapmakta mümkündür.



Şekil 6: Nokta bulutlarının karşılaştırılması ile Heyelan izleme çalışmaları (Jaboyedoff, et al. 2009)



Şekil 7: Farklı zaman aralıklarında elde edilen DEM'ler üzerinden oluşan hareketlerin kesitler ile izleme çalışmaları (Pesci, Teza ve Casula 2011)

Yapılan araştırmalar göstermektedir ki YLT tekniği heyelan ve deformasyon izleme çalışmalarında cm mertebesindeki değişimleri ortaya çıkarabilecek doğruluktur. Pek çok ülkede Lazer tekniklerinin kullanılmasına rağmen ülkemizde kullanılmaması, ülkemiz açısından dezavantaj oluşturmaktadır. YLT, meydana gelen birçok heyelan vakasında can ve mal kayıplarının önüne geçilmesinde hızlı, doğru ve maliyeti düşük sayılabilecek yeni bir tekniktir.

Teşekkür

Bu çalışmada TÜBİTAK 111Y307 nolu proje ve Selçuk Üniversitesi BAP Koordinatörlüğü 11101028 nolu proje kaynaklarından kullanılmıştır.

Referanslar

- Baltsavias, E.P., 1999. Airbone laser scanning: basic relations and formulas. *ISPRS J Photogramm Remote Sens* 54:doi:10.1016/S0924-2716(99)00015-5, pp. 199–214.
- Besl, P. J., ve H. D. McKay. 1992. A method for registration of 3-D shapes. *Pattern Analysis and Machine Intelligence*.
- Blasio, Fabio Vittorio De., 2011 *Introduction to the physics of landslides : Lecture notes on the dynamics of mass wasting*. Springer.
- Caner, H., H. Erwin, J.L.L Garcia, P. Ronald , ve S.Q. Maria ., 2008. *3D Risk Mapping*. Flemish agency of the European Leonardo Da Vinci Programme.
- Casson, B., C. Delacourt, ve P. Allemand.,2005 Contribution of multi-temporal sensing images to characterize landslide slip surface- application to the La Clapiere Landslide (France). *Natural Hazards and Earth System Sciences* 5, pp. 425-437.
- Chen, Y., ve G. Medioni., 1992. Object modelling by registration of multiple range images. *Image Vis Comput* 10. doi:10.1016/0262-8856(92)90066-C, pp. 145–155.
- Cruden , D. M., 1991. A simple definition of a landslide. *Bulletin of the International Association of Engineering Geology* (43).
- Dikau, R., D. Brunsten, L. Schrott, ve M.L. Ibsen., 1996. *Landslide recognition, identification, movement and causes*. Wiley.
- Gumus, K., ve H Erkaya., 2011. Analyzing The Geometric Accuracy Of Simple Shaped Reference Object Models Created By Terrestrial Laser Scanners.» *International Journal Of The Physical Sciences* (6529 – 6536).
- Gümüş, K., ve H. Erkaya., 2008. *Yersel Lazer Tarayıcılar ve Konum Doğruluklarının Araştırılması*. Y.Lisans Tezi, İstanbul: YTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Hungr, O., S.G Evans, M.V. Bovis, ve J.N. Hutchinson.,2001 A review of the classification of landslides of the flow type. *Environmental engineering Geoscience* 7 (3), pp. 221-238.
- Hutchinson, J.N., 1988. General Report: morphologiccal and geotechnical parameters of landslides in relation to geology and hydrogeology. *Proceedings of the fifth international symposium on landslides*. Rotterdam, pp. 3-35.
- Jaboyedoff, M., et al., 2009. Use of ground-based LIDAR for the analysis of retrogressive landslides in sensitive clay and of rotational landslides in river banks. *Canadian Geotechnical J*. 46. doi:10.1139/T09-073, pp. 1379–1390.
- Lichti, D.D., 2007 Error modelling, calibration and analysis of an AM-CW terrestrial laser scanner system. *ISPRS J Photogramm Remote Sens* 61, doi:10.1016/j.isprsjprs.2006.10.004, pp. 307–324.

- Lichti, D.D., ve S. Jamtsho., 2006. Angular resolution of terrestrial laser scanners. *Photogrammetric Record* (21),doi:10.1111/j.1477-9730.2006.00367.x, pp. 141–160.
- Malet, J.P., O. Maquaire, ve E. Calais., 2002. The use of global positioning system techniques for the continuous monitoring of landslides. *Geomorphology*, pp. 33-54.
- Manetti, L., ve G. Steinmann., 2007. 3DeMoN ROBOVEC—integration of a new measuring instrument in an existing generic remote monitoring platform. *7th international symposium on field measurements in geomechanics*, Boston, MA, USA, pp. 24–27.
- Monserrat , O, ve M Crosetto., 2008. Deformation measurement using terrestrial laser scanning data and least squares 3-D surface matching. *ISPRS Journal of Photogrammetry* (63), doi:10.1016/j.isprsjprs.2007.07.008, pp. 142-154.
- Oppikofer, T, M Jaboyedoff , L H Blikra, M H Derron , ve R Metzger., 2009. Characterization and monitoring of the Aknes rockslide using terrestrial laser scanning. *Natural Hazards and Earth System Science*, doi:10.5194/nhess-9-1003.
- Oppikofer, T., 2009. *Detection, analysis and monitoring of slope movements by high-resolution digital elevation models*. PhD Thesis, Switzerland: Institute of Geomatics and Analysis of Risks, Faculty of Geosciences and Environment, University of Lausanne.
- Oppikofer, T., M. Jaboyedoff, ve H.-R. Kreuzen., 2008. Collapse at the eastern Eiger flank in the Swiss Alps. *Nature Geoscience* 1 (8), pp. 531–535.
- Pesci, A., G. Teza, ve G. Casula., 2011. Multitemporal laser scanner-based observation of the Mt. Vesuvius crater: Characterization of overall geometry and recognition of landslide events. *ISPRS J. of Photogrammetry and Remote Sensing*, pp. 327-336.
- Petrie, G., ve C.K. Toth., 2008. *I. Introduction to laser ranging, profiling and scanning, II. Airbone and spaceborne laser profiles and scanners, III. Terrestrial laser scanners* (chapters 1 to 3). CRC Press.
- Teza, G., A. Galgaro, N. Zaltron, ve R. Genevois., 2007. Terrestrial laser scanner to detect landslide displacement fields: a new approach. *Int J Remote Sens* (28). doi:10.1080/01431160601024234, pp. 3425–3446.
- Teza, G., A. Pesci, R. Genevois, ve A. Galgaro., 2008. Characterization of landslide ground surface kinematics from terrestrial laser scanning and strain field computation. *Geomorphology* 97 (3–4), pp. 424–437.
- Teza, G.,Atzeni, C.,Balzani, M., Galgaro, A., Galvani, G., Genevois, R., Luzi, G., Mecatti, D., Noferini, D., Pieraccini, M., Silvano, S., Uccelli, F., Zaltron, N., 2008. Ground-based monitoring of high-risk landslides through joint use of laser scanner and interferometri radar. *International Journal of Remote Sensing*, pp. 4735-4756.
- Travelletti, J., Delacourt, C., Allemand, P., Malet, J.P., Schmittbuhl, J., Toussaint, R., Bastard, M., 2012. Correlation of multi-temporal ground-based optical images for landslide monitoring: Application, potential and limitations. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing* (70), pp. 39-55.
- Varnes, D.J. 1978. Slope movements: type and procesess. *Landslide Analysis and Control. Transp. Res. Board*, pp. 11-33.
- Wehr, A., ve U. Lohr., 1999. Airborne laser scanning—an introduction and overview. *ISPRS J Photogramm Remote Sens* (54): doi:10.1016/S0924-2716(99)00011-8, pp. 68–82.