

## F BER OPT K TEKNOLOJ S LE HEYELANLARIN ZLENMES

A. Arslan<sup>1</sup> H. Akgün<sup>1</sup> M. K. Koçkar<sup>2</sup> A. M. Eker<sup>3</sup> M. A. Kelam<sup>4</sup>

<sup>1</sup> Ara tırma Görevlisi, Jeoloji Müh. Bölümü, ODTÜ, Çankaya, Ankara

<sup>1</sup> Profesör, Jeoloji Müh. Bölümü, ODTÜ, Çankaya, Ankara

<sup>2</sup> Ph.D., Deprem Mühendisli i Uygulama ve Ara tırma Merkezi, Gazi Üniversitesi, Maltepe, Ankara

<sup>3</sup> Jeoloji Yüksek Mühendisi, SDS Enerji A ., Çankaya, Ankara

<sup>4</sup> Jeoloji Mühendisi, GEOLAB Jeoteknik, Çankaya, Ankara

Email: ararzu@metu.edu.tr

### ÖZET:

Son yıllarda heyelan kaynaklı afetler konusunda farkındalık ve risk yönetimi kavramına verilen önem sürekli artmaktadır. Bunun bir sonucu olarak, erken uyarı sistemleri tehlike ve risk yönetimi açısından önem kazanmaktadır. Heyelan ve ev duraysızlıklarının öncelikli sebepleri jeomorfolojik parametreler, ya ı rejimi, yeraltı suyu seviyesi, günlük sıcaklık farklılı ı, kar erimesi ve bunlara ba lı olarak zeminlerin duraylılı ını kaybetmesi ve sismik etki vb. faktörlerdir. Türkiye'deki heyelanların ve bu heyelanlardan etkilenme miktarlarının fazlal ı, yukarıda belirtilen di er sebepler ve depremlerin dolaylı etkileri sonucu olu an heyelanların düzenli olarak izlenmesinin can ve mal kaybının önüne geçilmesi açısından önemli oldu unu ortaya çıkarmaktadır. Bu çalı manın amacı, heyelan tehlikesinin olu turabilece i riski minimuma indirmek için fiber optik tabanlı bir izleme sistemleri olu turmaktır. Günümüzde farklı heyelan izleme sistemleri mevcuttur fakat bu çalı mada kolay uygulanabilirli i ve hassasiyet üstünlükleri sebebiyle her geçen gün daha çok alanda kullanılmakta olan fiber optik sistemler tercih edilmi tir. Kullanılan fiber optik sistem; fiber optik kablolar ve hem lazer ık kayna ı hem de alıcı olarak görev yapan bir ölçüm cihazı olan BOTDA (Brillouin Optical Time Domain Analyzer)'dan olu maktadır. 1m konumsal çözünürlü e sahip sistem 60 kilometrelik bir hat boyunca 0.1µ çözünürlükte gerinim de erlerini tespit edebilmektedir. Fiber optik kablolarda meydana gelen gerinimi deplasman ile ili kilendiren sistemin, sa ladı ı yüksek hassasiyetli ve sürekli veri alımı özelli i ile heyelanlar için kullanılabilir oldu u bu proje öncesinde ve bu projede yapılan çalı malar ile kanıtlanmı tir. Buna ek olarak, bahsedilen bu sistem yol, tünel, baraj, köprü gibi yapılarda meydana gelebilecek gerinim tabanlı deformasyonların izlenmesinde de etkin olarak kullanılabilir.

**ANAHTAR KEL MELER :** Deprem, Heyelan izleme sistemi, Fiber optik, BOTDR

### 1. G R

Heyelanlar dünyadaki ve Türkiye'deki en yıkıcı do al afetlerden biridir. Olu an heyelanlar ve bunlardan olumsuz etkilenen yapıların sayısı göz önünde bulunduruldu unda heyelanlara dair çalı maların önemi açıkça ortaya çıkmaktadır. Bu nedenle, heyelanlara dair farkındalık ve risk yönetimi kavramına verilen önem hızla artmakta ve buna ba lı olarak erken uyarı sistemleri büyük ilgi görmektedir (Pei ve di ., 2011). Heyelanların ve/veya potansiyel kayma tehlikesi olan evlerin izlenmesi için farklı ekipmanların kullanıldı ı yöntemler mevcuttur ve bunlardan her birinin farklı avantaj ve dezavantajları vardır. Bu ekipmanlardan inklinometreler, tiltmetreler, ekstensometreler, yer tabanlı LIDAR sistemleri heyelanları ve/veya evleri izlemek için kullanılmaktadır (Savvaıdis, 2003; Pei ve di ., 2011). Ancak bu yöntemler erken uyarıdan ziyade meydana gelen deformasyonları belirlemek için kullanılmaktadır. Fiber optik sistemlerin üstün yanları; veri aktarımının kolay olu u, yüksek hızlı aktarımın yapılması, küçük çaplı ve hafif olmaları, birim deformasyon ve sıcaklık

değişimlerine duyarlı olmaları, geniş bant aralığı ile çalışabilmeleri, çevresel etkilere, elektromanyetik etkilere karşı dirençli olmaları, düşük maliyetleri ve eş zamanlı izleme (monitoring) gerçekleştirebilmeleridir (Wang ve diğ., 2008; Gupta, 2012). Fiber optik tabanlı teknoloji, erken uyarı sistemleri için gerekli olan aralıksız veri aktarımını sağlayarak bu ve buna benzer çalışmaların ülkemizde yapılmasına öncü olacaktır.

### 1.1. Çalışmanın Amacı

Ülkemiz ve dünyada sıkça rastladığımız heyelan felaketleri büyük can kayıplarına ve ekonomik sorunlara yol açmaktadır. Özellikle büyük şehirlerde, yerleşim yerlerine yakın bölgelerde meydana gelme potansiyeli yüksek olan heyelanlar büyük bir risk oluşturmaktadır. Deprem gibi doğal nedenlerle tetiklenen heyelanların yanında, insan faktörünün tetiklediği ev durumsuzlukları da maddi ve hayati riski ciddi boyutlarda etkilemektedir. 1950 ile 2005 arasında gerçekleşen doğal afetler neticesinde etkilenen yerleşim birimlerinin afet tiplerine göre dağılımı göz önünde bulundurulduğunda, heyelanlar %34.18 ile ilk sırada yer almaktadır (Gökçe ve diğ., 2008; AFAD). Yapılan çalışmada risk altındaki bölgelerde heyelan veya ev durumsuzluğu öncesi hareketliliğin sürekli izlenerek algılanması prensiplerine dayanan bir izleme sistemi oluşturmayı hedeflemektedir.

Çalışmanın amacı, litoloji ve kayma mekanizmasından bağımsız bir şekilde herhangi bir sebeple tetiklenebilecek potansiyel heyelan sahalarında uygulanabilecek bir izleme sistemi geliştirmektir. Sistem, fiber optik kablolarla ölçülen gerinim (strain) ile kütle hareketini kilendirmektedir. Fiber optikler arazi koşullarına uygunlukları ve sürekli ve alma kapasiteleri sebebiyle tercih edilmiştir. Arazi uygulamasından önce sistem laboratuvar ölçümünde test edilmiş ve sonra araziye uygulanmıştır. Laboratuvar çalışmaları için doğal bir ev ya da heyelanı temsil eden ve eşim mekanizmasına sahip olan bir heyelan simülasyonu tasarlanarak kullanılmıştır. Arazi çalışması ise Kuzey Anadolu Fay Sisteminin (KAFS) etkilediği önemli şehirlerden biri olan Kocaeli'nin Bahçecik Mevkii'ndeki bir afete maruz bölgede gerçekleştirilmiştir.

### 1.2. Çalışma Sahası

Çalışma sahası Kocaeli ili, Başiskele Belediyesi, Bahçecik Mevkii'nde bulunmaktadır. Alanın yer bulduru haritası ekil 1'de verilmiştir. Ekonomik önemi, nüfus yoğunluğu ve coğrafi konumundan dolayı Kocaeli pilot bölge olarak seçilmiştir. Sanayilemiş ve kalabalık bir şehir olması sebebiyle Kocaeli heyelan açısından yüksek riskli bir bölgedir.



ekil 1. Çalışma sahasının yer bulduru haritası (Google Inc., 2015)

Kocaeli ili'nin risk potansiyeline ek olarak çalışılan bölgenin seçilmesinde alanın heyelan riski açısından kritik olması etkili olmuştur. Bölgede 2010 yılında bir heyelan gerçekleşmiş ve alan heyelan tacının hemen arkasında

bulunan bir siteyi tehdit ettiği gerekçesiyle AFAD tarafından afete maruz bölge ilan edilmiştir. Heyelanın ve söz konusu alanın görünümü ekil 2’de verilmiştir.



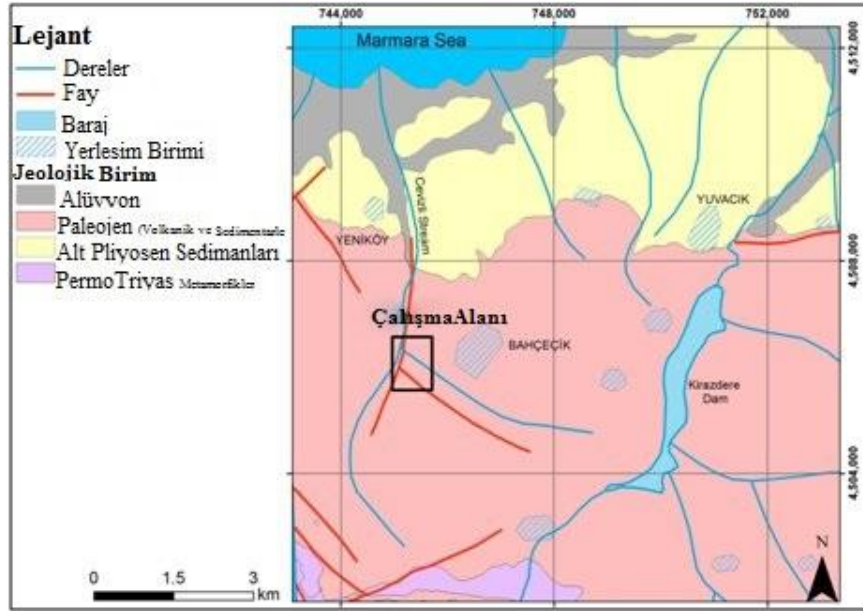
ekil 2. Heyelanın ve etkilenen alanın görünümü

## 2. ÇALI MA SAHASININ JEOLojİK VE SİSMOTEKTONİK ÖZELLİKLERİ

### 2.1. Lokal Jeoloji ve Sismotektonik

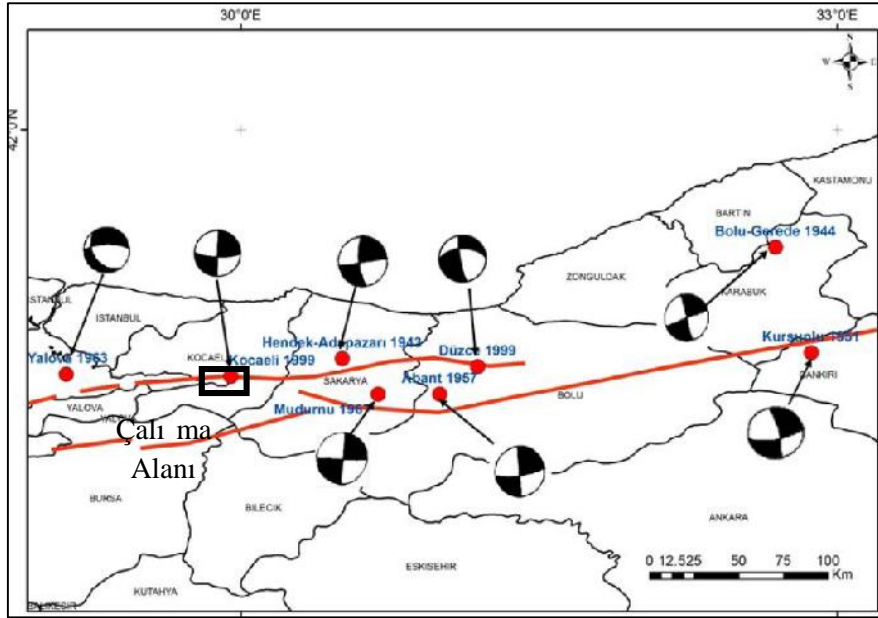
Kocaeli Yarımadası’nda yüzeyleyen birimler, Paleozoik ve Permo-Triyas yaşlı allokon birimler, Geç Kratese-Eosen yaşlı yarı allokonlar ve Oligosen-Miosen ve Pliyosen-Kuvaterner yaşlı otokon birimlerden oluşmaktadır (Gedik ve diğeri, 2005). Çalı ma sahası Pontidlerin güney kısmını oluşturan ve KAFZ’nin iki ana kolu ile sınırlanmış olan Armutlu Yarımadası’nda yer almaktadır. Çalı ma alanında yüzeyleyen birimler Sarısu ve Ncebel Formasyonlarına aittir. Eosen yaşlı Sarısu Formasyonu bir volkano-sedimenter dizidir ve metamorfiklerin üzerinde bulunan genellikle 5-10 m kalınlıktaki sedimentar seviyeye sahiptir. Bu seviye konglomera, çamurtaşı, kumtaşı ve kireçtaşı içerir. İstifin bazı seviyelerinde andezit blokları ve epiklastik çökeller mevcuttur. İstif, özellikle üst kısımlarda gözlemlenen bazalt daykları ile kesilmiştir. Geç Paleosen-Eosen yaşlı Ncebel Formasyonu metamorfik birimleri uyumsuz olarak doğu ve kuzeybatıya doğru eğilmiştir. Formasyon, taban konglomerası ile taşlar ve genellikle kumtaşı, çamurtaşı, marn ve konglomeradan oluşan bir istifdir. Bununla birlikte, istifin üst kısımlarında volkanikler (açık renk tüf ve andezitik konglomera) gözlemlenebilir (Göncüoğlu ve diğeri, 1992). Alanın genel jeolojik haritası ekil 3’te verilmiştir.

Kocaeli tektonik olarak aktif bir bölgede yer almaktadır ve 1996 yılında Afet İleri Genel Müdürlüğü Deprem Araştırma Dairesi Başkanlığı tarafından yapılan çalı mayaya göre Kocaeli’nin tamamına yakını birinci derece deprem bölgesidir. Bölgenin sismik aktivitesinin en önemli kaynağı olan KAFS Avrasya Plakasını Anadolu Plakasından ayıran Türkiye’nin önemli tektonik yapılarından biridir ve 1500 km uzunluğuna sahip sağ yönlü doğrultulu bir fay sistemidir. Bu fay sisteminin oluşturduğu Kocaeli depreminin (17 Ağustos 1999, Mw=7.4) kırık zonunun 125 ila 145 km uzunluğunda yüzey kırığı olduğu literatürde belirtilmiştir (Lettis ve diğeri, 2002; Barka ve diğeri, 2002). Bilindiği üzere bu kırık deniz içinde de devam etmektedir (Barka ve diğeri, 2002; MTA, 2003; Duman ve diğeri, 2005; Emre ve diğeri, 2011). Yakın çevredeki ikinci sismik kaynak olan Düzce depremi kırık zonu (12 Kasım



ekil 3. Çalınma alanının jeoloji haritası (Gedik ve di ., 2005'ten modifiye edilmi tir)

1999, Mw=7.2) 30 ila 45 km'lik bir uzunlu a sahiptir (Duman ve di ., 2005). Çevredeki üçüncü büyük sismik kaynak Abant (26 Mayıs 1957, Ms=7.0) ve Mudurnu (22 Haziran 1967, Ms=7.1) depremlerinin kırık zonları ve bunların batıdaki devamıdır (Ambraseys ve Zatopek, 1969). Bölgede meydana gelmi büyük depremler ile bu depremlerin odak mekanizması çözümleri ekil 4'te verilmi tir.



ekil 4. Çalınma alanı ve çevresinde KAFS üzerinde meydana gelmi büyük depremler ve odak mekanizması çözümleri (Cambazolu, 2012)

## 2.2. Mühendislik Jeolojisi Özellikleri

Çalı ma alanı Sarılık Deresi dere yata mının oldu u vadide bulunmaktadır. Genel jeoloji ve mühendislik jeolojisi özelliklerinin anlaşılması için yapılan arazi çalı masında litolojik birim kumta 1-siltta 1 arıdanması olarak tanımlanmıştır. ekil 5 birimin görüntüsünü vermektedir. Arazi gözlemlerine göre birimler Pleasen-Eosen ya lı ncebel Formasyonu'na aittir. stifte da mık ve devamlı olmayan süreksizlikler ve küçük ölçekli kıvrımlar gözlenmiştir. Çalı ma alanı çevresinde daha önce açılmış kuyular yardımıyla yapılan karakterizasyon sonucunda ncebel Formasyonunun üst kısımlarında 1-2 m kalınlıkta bir örtü tabakası ve bu tabakanın altında kumta 1-siltta 1-marn istifi oldu u görülmü tür. Su seviyesi ise 3-4 m derinliktedir. Heyelan sınırları içerisindeki litoloji Kumta 1-siltta 1 arıdanmasıdır. stif genelde tektonizma ile deformasyona u ramı ve ayrı mı olmakla birlikte heyelanın bir kaç yerinde ayrı bloklar mevcuttur. Kumta 1 sarımsı kahverengi renkte ve siltta 1 ye ilimsi gridir. Her iki birim de zayıf-çok zayıf dayanıma sahiptir ve orta-çok ayrı mı durumdadır (ISRM, 1981). Siltta 1 kumta 1 dan daha dayanımsız ve daha ayrı mı tür. Da mık süreksizlik setleri ISRM (1981)'e göre devamlı de ildir ve kil dolguludur. Sondaj verileri kullanılarak sa lam karot veriminin (SCR) %13-%40 aralı ında, kaya kalite göstergesinin (RQD) %0-%10 aralı ında oldu u görülmü , buna göre birim çok zayıf kaya (ayrı mı /bozunmu kaya) olarak sınıflanmıştır. Çalı ma alanının tektonik olarak deforme olmu bir makaslama zonunda yer alı ve süreksizlik verilerinin da mık bir yapı izlemesi sebebiyle heyelanı olu turan kaya kütleleri, düzensiz eklemli, foliasyonlu ve deforme olabilen, zemin gibi davranan ayrı mı kaya olarak sınıflandırılmıştır.



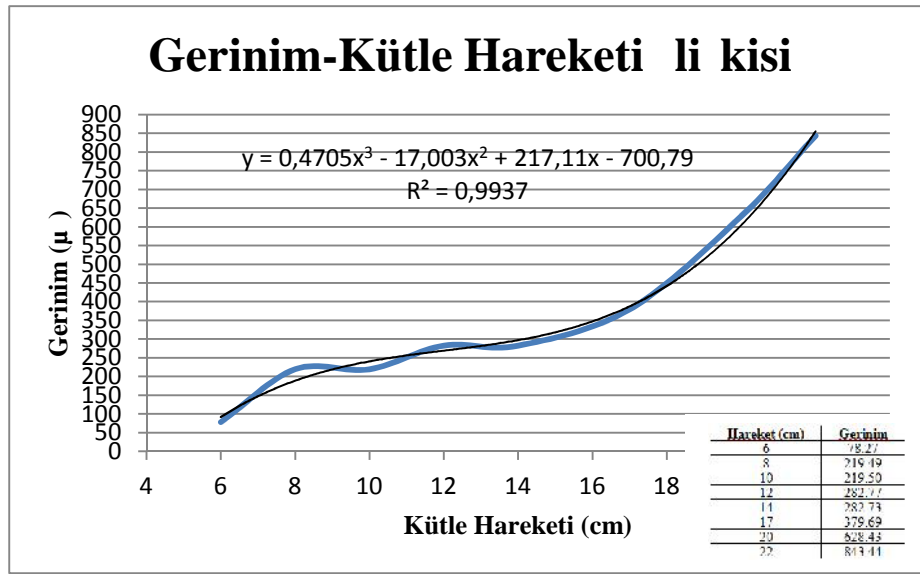
ekil 5. ncebel Formasyonunun görüntüsü

## 3. METODOLOJ

Kullanılan sistem fiber optik kablolar ve fiber kabloları ık gönderip yansıyan ı ı ı toplayan bir cihazdan olu maktadır. Cihaz, Brillouin Optik Zaman Alanı Analizcisi (Optical Time Domain Analyzer (BOTDA)), Brillouin saçınımlı prensibi ile çalı maktadır. Sistemin zaman alanı analizcisi olarak adlandırılmasının sebebi kabloya gönderilen ık ile yansıyarak geri dönen ık ın cihaza ula ması için geçen süresiyi kullanmasıdır (Ohno ve di ., 2001). Çalı ma prensibi gere i BOTDA iki ık ı a ihtiyaç duyar; bunlardan biri cihaz tarafından kabloya gönderilen ık di eri ise geri yansıyan ı ıktır. Bu iki ık ı ın frekans farkı fiber kablonun Brillouin frekansına e it

olduğunda ölçüm grafiğinde bir tepe noktası olur (Xiaofei et al., 2011). Gerinim (strain) değişimleri grafikteki bu tepe noktasının yerinin değişimi ile sonuçlanır. Çalışma önce laboratuvar ortamında hassasiyet ölçümleri ile başlandı ve elde edilen gerinim-kütle hareketi ilişkisi ekil 6'da verilmiştir.

Hassasiyet analizlerinden sonra çalışmalara tasarlanan heyelan simülatorü ile devam edilmiştir. Simülatorün mekanizmasına sahip birbirinin aynı iki tabladan (hazneden) oluşmaktadır. Tablalar ayrı ayrı kullanılabilir gibi birleştirilerek de kullanılabilir. Tablalardan birini temsil eden foto raf ekil 7'de verilmiştir. Tablalar yatayla açı yapacak şekilde hareket edebilmekte ve istenilen zemin tipi için doğal heyelan koşullarını temsil etmektedir. Bu amaçla, istenilen eğimi elde etmek için bir makara sistemi tablalar için ayrı ayrı kullanılmıştır. Her bir tablanın boyu 2 m ve eni 3 m dir. Derinlik ise topuk (0.2 m) ile taç (0.4 m) arasında doğal bir şekilde değişmektedir. Simülatorün 4 tonluk bir yükü taşıyabilmektedir. Tablalar bir ayak yardımıyla yerden 25 cm yükseklikte durmakta ve kontrollü bir şekilde 45° ye kadar eğilenebilmektedir. Zemin ve tabla tabanı arasında oluşabilecek bir kaymayı önlemek adına tabla tabanına 2 cm yüksekliğinde 3 bariyer yerleştirilmiştir. Buna ek olarak, tabla yanlarına kenar boyunca kablo serimine ve ölçüm cihazı ile bağlantı kurulmasına yardımcı olmak için kanallar açılmıştır.



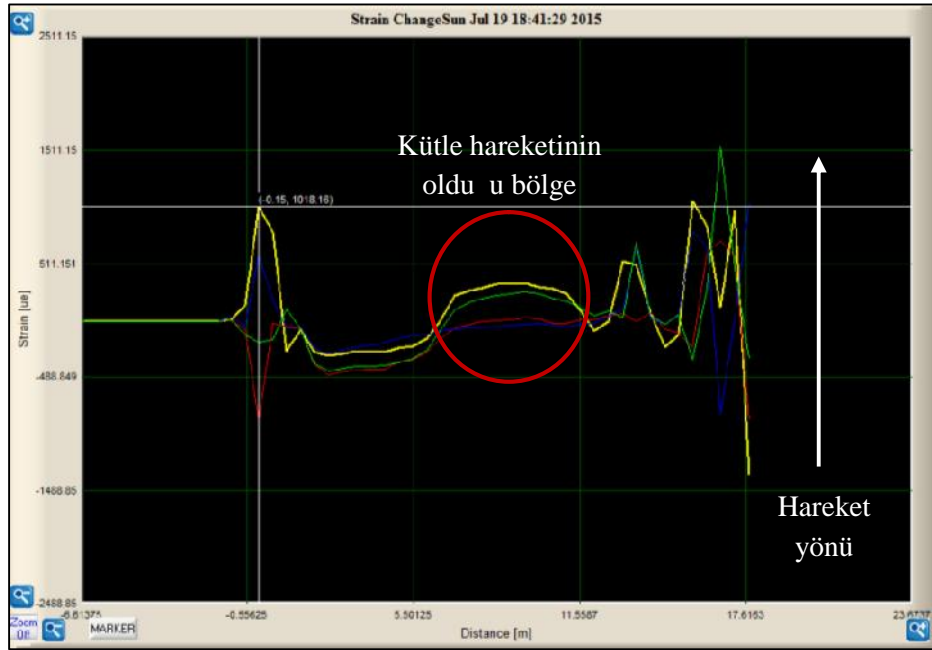
ekil 6. Kütle hareketi ile değişimin gerinim değerleri

Laboratuvar çalışması ile elde edilen sonuç ekil 8'de verilmiştir. ekil, değişimin eğim sonucu elde edilen farklı gerinimleri göstermektedir. Mavi çizgi başlangıçta kablo üzerinde var olan gerini temsil ederken kırmızı, yeşil ve sarı çizgiler sırasıyla simülator 10°, 20° ve 30° eğimliyken alınan sonuçlardır.



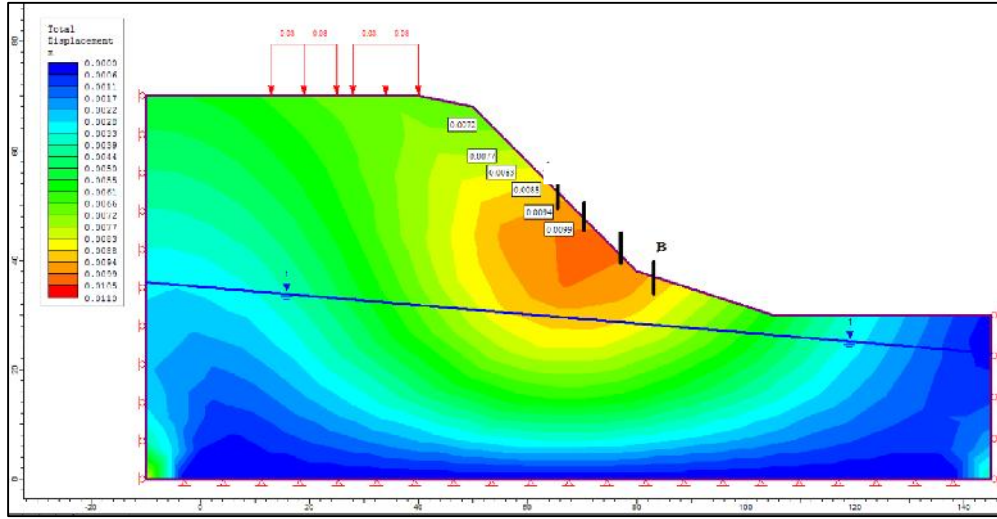
ekil 7. Laboratuvar çalışmaları için kullanılan heyelan simülasyonu

Laboratuvar çalışmaları sonrasında sistem Kocaeli ili Bahçecik Mevkii'ndeki heyelanlı sahaya uygulanmıştır. Bu sahayı izlemek için heyelanın taç kısmının hemen arkasından bulunan bir fiber kablo kullanılmıştır. Kablo serimi heyelanlı alana yerleştirilmiş ve tekrar başlangıç noktasına, cihazın bulunduğu konteynera dönmüştür. Heyelan sahasında meydana gelen yüzeysel hareketleri izlemek için 2 m uzunluğunda sabitleme çubukları kullanılmış ve bu çubukların yaklaşık 1 m'lik kısmı heyelanlı bölgeye ve heyelanın etrafına gömülerek sabitlenmiştir. Daha sonra fiber kablolar bu çubukların etrafına sarılarak heyelanlı alana yerleştirilmiştir.



ekil 8. Heyelan simülasyonunun eğilimi doğrultusunda elde edilen gerinimler

Kablo yerleştirimi için toplamda 15 çubuk kazıklar kullanılmıştır ve kablo çubuklar yardımıyla sabitlenmiştir. Sabitleme için kullanılan çubukların yeri yapılan deformasyon analizi ile belirlenmiştir. Deformasyon analizi ile kütle hareketinin en çok olduğu heyelanın en kritik bölgesi tespit edilerek kablo yerleştirimi bu bölgede yapılmıştır (ekil 9).



ekil 9. Heyelan geometrisinin deformasyon konturları ve kablo sabitleme noktalarıyla birlikte görüntüsü

Kablo yerleşimi ve sabitleme noktaları ekil 10'da verilmiştir. Kablo serimi tamamlandıktan sonra kablodaki mevcut gerinimler baLangıç ölçümü ile kayıt altına alınmış ve bölge ölçümleri alınarak izlenmeye başlanmıştır.



ekil 10. Kablo sabitleme noktalarının heyelan tacından görünümü

Alınan kısa süreli ölçüm sonuçları Tablo 1'de kablo serimi üzerindeki birkaç nokta için verilmiştir. Kısa süreli ölçümler ile kesin bir sonuca varılamamış olursa da kaydedilen gerinim değerlerinin deformasyon analizi ile ulaşılan değerlerle uyumlu olduğu söylenebilir. BOTDA ile alınan sonuçların deformasyon analizi ile ölçülen gerinimden farklı olduğu kabloların yerleşimi beklenmeden ölçüm alınmasından kaynaklanıyor olabilir. Bu yüzden, arazide hassasiyet ölçümlerine devam edilerek daha uzun bir zaman periyodu için izleme yapılmalı ve ölçümler alınmalıdır.



Tablo 1. Arazide ölçülen gerinim değerleri ve kütle hareketi miktarı

Ölçüm Noktası	Kütle Hareketi (cm)	Gerinim
2020.51 m	0.84	-530.42
	0.83	-532.3
	0.59	-580.21
2042.57 m	0.90	-519.16
	0.68	-561.017
	0.62	-572.72
2046-2053 m	0.87	-524.77
	0.85	-526.651
	0.71	-555.21

#### 4. TARTI MA VE SONUÇLAR

Çalışmanın Amacı, fiber optik teknolojisi ile bir heyelan izleme sistemi oluşturulmasıdır. Fiber optikler, diğer yöntemlere göre sahip oldukları avantajlar nedeniyle tercih edilmiştir. Alınan kısa süreli arazi ölçümleri ile deformasyon analizi ile bulunan değerlerin uyumlu oldukları görülmüştür. Fiber optik izleme sistemi kablonun yerleştirildiği heyelanlı sahada deplasmanları 0.59-0.90 cm arasında ölçerken deformasyon analizinden elde edilen aralık 0.72-0.99 cm'dir.

Bu çalışma fiber optik sistemin heyelan izlemede ve erken uyarı sistemi olarak kullanılabilir bir yöntem olduğunu göstermiştir. Alınan ölçümler başlangıç için yeterli ve deformasyon analizi ile uyumlu sonuçlar vermektedir. Ancak, sistemin geliştirilmesi ve daha hassas sonuçlar alınarak bir erken uyarı sistemi oluşturulması için sistemin arazide izleme ve sensitivite çalışmaları yapılmasına devam edilecektir. Erken uyarı sistemi oluşturulmasına ek olarak, heyelanın izlenmesi tetikleme mekanizmasını etkileyen faktörler hakkında (deprem, yağış durumu, vb.) değerli bilgiler verecektir. Ayrıca, heyelanı tetikleyen faktörlerin anlaşılması ile birlikte heyelan mekanizmasına uygun iyileştirme yöntemleri önerilerek alanın güvenli kullanımı sağlanabilecektir.

#### TEŞEKKÜR

Bu çalışma AFAD, UDAP-Ç14-02 No'lu proje ile desteklenmektedir. Projeye katkılarından dolayı Sn. Murat Nurlu, Sn. Ahmet Temiz ve Sn. Cenk Erkmen'e ve Zarar Azaltma Dairesi'nden, Sn M. Maruf Yaman ve Sn. Ceren Deveci'ye teşekkür ederiz. Sağlam oldukları lojistik destekleri için Kocaeli İl Afet ve Acil Durum Müdürlüğü ile Başiskele Belediyesi yönetici ve çalışanlarına teşekkürü borç biliriz.

#### KAYNAKLAR

Ambraseys, N.N. & Zatopek, A. (1969). The Mudurnu Valley, West Anatolia, Turkey, Earthquake of 22 July 1967. *Bull. Seismol. Soc. America*, **59**, 521-589.

Barka, A., Akyüz, H.S., Altunel, E., Sunal, G. & Çakır, Z., (2002). The Surface Rupture and Slip Distribution Of The 17 August 1999 Izmit Earthquake (M 7.4), North Anatolian Fault. *Bull. Seismol. Soc. America*, **92**, 43-60.

Cambazolu, S. (2012). Preparation Of A Source Model For The Eastern Marmara Region Along The North Anatolian Fault Segments And Probabilistic Seismic Hazard Assessment Of Düzce Province. Yüksek Lisans Tezi, Jeoloji Müh. Bölümü, ODTÜ, Ankara.

Duman, T. Y., Emre, O., Doğan, A., Özalp, S. (2005). Step-Over And Bend Structures Along The 1999 Düzce Earthquake Surface Rupture, North Anatolian Fault, Turkey. *Bull. Seismol. Soc. America*, **95**, 1250 – 1262.

Emre, Ö., Doğan, A., Duman, T.Y. & Özalp, T. (2011). 1:250.000 Scale Active Fault Map Series of Turkey. General Directorate of Mineral Research and Exploration, Ankara, Türkiye.

Gedik İ., Pehlivan, İ., Timur, E., Duru, M., Altun, İ., Akbaş, B., Özcan, İ. & Alan, İ. (2005). Kocaeli Yarımadasının Jeolojisi. MTA Rapor No. 10774, MTA, Ankara, Türkiye.

Gökçe, O., Özden, İ. & Demir, A. (2008). Türkiye’de Afetlerin Mekansal Ve istatistiksel Dağılımı Afet Bilgi Envanteri. T.C. Bayındırlık ve İskan Bakanlığı Afetleri Genel Müdürlüğü Afet Etüt ve Hasar Tespit Daire Başkanlığı, Ankara, Türkiye.

Göncüoğlu, M. C., Erendil, M., Tekeli O., Aksay, A., Kuşçu, İ. & Ürgün, B.M. (1992). Introduction to the Geology Of Armutlu Peninsula. ISGB-92 Guide Book, Ankara, Türkiye.

Gupta, S. C. (2012). Textbook On Optical Fiber Communication And its Applications (2nd Edition). PHI Learning Private Limited, New Delhi.

ISRM. (1981). Suggested Methods For The Quantitative Description Of Discontinuities In Rock Masses. In: Barton T, editor. Rock Characterization, Testing And Monitoring, Pergamon Press, Oxford, London.

Lettis, W., Bachhuber, J., Witter, R., Brankman, C., Randolph, C.E., Barka, A., Page, W.D. & Kaya, A. (2002). Influence Of Releasing Step-Overs On Surface Fault Rupture And Fault Segmentation: Examples from the 17 August 1999 Izmit earthquake on the North Anatolian Fault, Turkey. *Bull. Seismol. Soc. America*, **92(1)**, 19-42.

MTA. (2003). Atlas of North Anatolian Fault: Special Publications Series: 2, MTA Press, Ankara, Türkiye.

Ohno, H., Naruse, H., Kihara, M. & Shimada, A. (2001). Industrial Applications of the BOTDR Optical Fiber Strain Sensor. *Optical Fiber Technology*, **7**, pp. 45-64.

Pei, H., Cui, P., Yin, J., Zhu, H., Chen, X., Pei, L. & Xu D., (2011). Monitoring And Warning Of Landslides And Debris Flows Using An Optical Fiber Sensor Technology. *J. Mount. Sci.*, **8**, pp. 728-738.

Savvaıdis, P. D. (2003). Existing Landslide Monitoring Systems And Techniques. *From Stars To Earth And Culture*. School of Rural and Surveying Engineering, The Aristotle University of Thessaloniki, pp. 242-258.

Wang, B., Li, K., Shi, B. & Wei, G., (2008). Test On Application Of Distributed Fiber Optic Sensing Technique Into Soil Slope Monitoring. *Landslides*, **6**, pp. 61-68.

Xiaofei, Z., Wenjie, H., Qing, Z., Yanxin, S., Xianwei, M. & Yongwen, H., (2011). Development Of Optical Fiber Strain Monitoring System Based On BOTDR. The Tenth International Conference on Electronic Measurement & Instruments (ICEMI), *IEEE*, **4**, pp. 38-41.