

Zonguldak Kozlu Heyelanının Sonlu Elemanlar Yöntemiyle Stabilite Analizi

¹Hüseyin Mungan, ^{*1}Ayşe Bengü Sünbül and ²Fatih Sünbül

^{*1}Bülent Ecevit Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, 67500, Zonguldak, Türkiye

²Environmental Sciences Research Institute, University of Ulster, Coleraine, BT52 1SA, United Kingdom

Özet

Bu araştırma kapsamında Zonguldak'ın Kozlu ilçesi sınırları içerisinde yer alan ve heyelan riskli bölge olarak belirlenen alan, geoteknik olarak incelenmiştir. Bu amaç doğrultusunda, araziden alınmış topoğrafik ölçümlerden faydalanılmış, bölgeye ait detaylı sondaj raporları incelenerek geoteknik ve yapısal parametreler belirlenmiş, çalışma alanı sonlu elemanlara dayalı program ile modellenerek statik durumda ve gerçek deprem verileri kullanılarak dinamik yükler altındaki davranışı analiz edilmiştir. Model sonuçlarına göre, en büyük yer değiştirme heyelan bölgesinin topuk kısmında elde edilmiştir. Heyelan bölgesinin orta bölümü taç ve topuk kısımlarına göre daha güvenli kısımda yer almaktadır. Yapı yükleri modelde analiz edildiğinde, yatay ve düşey yer değiştirme (U_x ve U_y) değerlerinin arttırdığı saptanmıştır. Sonuç olarak, inceleme alanında mevcut bir yapılaşma olduğu ve yeni yapılaşmalarında arttığı göz önüne alındığında, arazi zemin profilinde yüzeye en yakın zonundaki (A zonu) gevşek ve zayıf malzemenin üzerinde inşa edilecek yapılar için uygun bir yöntem ile zemin iyileştirmesi yapılması, özellikle heyelan alanının topuk bölgesi kısmında yatay destekleme sistemleriyle kazı güvenliği sağlanarak yapılaşmaya gidilmesi önerilmektedir.

Anahtar kelimeler: Kozlu heyelanı, sonlu elemanlar yöntemi, statik-dinamik analiz

Abstract

Within the scope of this research, the area determined as the landslide risk zone within Kozlu district of Zonguldak Province was examined geotechnically. For this purpose, the topographical measurements taken from the study area were utilized; geotechnical and structural parameters were determined following an examination of detailed drilling reports obtained from the area. The study area is also modelled in statically and dynamically using finite element methods. In the dynamic case, the study area is subjected to a real earthquake data. According to the model results, the largest displacement was obtained at the toe section of the landslide. The middle part of the landslide field is located in a safer area than the crown and toe sections. When the structural loads are analyzed in the model, horizontal and vertical displacement (U_x and U_y) values are obtained to increase. As a result, considering that there is an existing settlement in the study area and that is still in progress, it is suggested that the soil improvement should be conducted by a suitable method for structures to be built on the soft and weak material nearest to the surface (Zone A) in the ground profile, especially by securing the excavation with horizontal support systems in the toe section of the landslide area.

Key words: Kozlu landslide, finite elements method, static-dynamic analysis

1. Giriş

Heyelanlar karmaşık bir doğa olayı olmakla birlikte, birçok ülke için içerisinde doğal riskler barındırır [1]. Bu karmaşık doğa olayı aynı zamanda yeryüzü değişimlerinde de önemli roller oynamaktadır. Heyelanlar oluşumları itibarıyla deprem, yoğun yağış veya hızlı kar erimesi sonucu

*Corresponding author: Address: Faculty of Engineering, Department of Civil Engineering Bulent Ecevit University, 67100, Zonguldak TURKEY. E-mail address: absunbul@beun.edu.tr, Phone: 0372 291 25 99

tetiklenebilirler. Uzun süreli ve yoğun yağış etkisiyle veya deprem tetiklemesi ile oluşan heyelanlar birçok insanın yaşamsal faaliyetlerini etkilemekte ve konumları itibariyle yerleşim yerlerinin altyapılarına zarar vermektedirler [2]. 2008 yılında meydana gelen M_w 7.9 Wenchuan depreminde 70000'e yakın insan hayatını kaybederken 380000'e yakını ise yaralanmıştır. Deprem sırasında geniş bir bölgede heyelanlar meydana gelirken, bazı büyük kasabaların içinde bulunduğu birçok yerleşim alanı toprak altında kalmış ve ulaşım bağlantı yolları yok olmuştur. Bu depremde oluşan heyelanların zararı Sichuan eyaletinde oluşan toplam zararın 1/3'ünü oluşturmaktadır [3].

Heyelan veri tabanları veya sayısal heyelan envanterleri geçmişe ait heyelan kayıt dağılımlarını ve özelliklerini, meydana gelen zararları ayrıntılı bir şekilde kaydeder. Maden Tetik ve Arama Genel Müdürlüğü (MTA) tarafından hazırlanan Türkiye heyelan envanteri haritasında; Batı Karadeniz bölgesi, ülkemizin en önemli heyelan bölgelerinden birisi olarak yer almaktadır. Dik topoğrafya, toprak örtüsünün yanlış kullanımı ve heyelan oluşmasını tetikleyen iklim koşullarının yaygın olarak bu bölgede yer almasından dolayı, bölgede gözlemlenen en yaygın doğal afet türü heyelanlardır. Batı Karadeniz Bölgesinde güncel veya tarihsel dönemlere ait birçok heyelan gözlemlenmiştir [4].

İnceleme alanı Zonguldak, Batı Karadeniz risk bölgesinde yer almakta olup, batıda Düzce doğuda Bartın illeri ile komşu durumundadır. İlin genel topoğrafyası incelendiğinde, denizden karaya doğru kuzey-güney yönlü hareket edildiğinde topoğrafya sarp bir şekilde yükselmektedir. Topoğrafyanın elverişsiz olmasından dolayı bölgede 19. yüzyıl öncesine ait şehirleşme kanıtlarına ulaşılamamıştır [5]. 1848'de resmi olarak taşkömürü madenlerinin işletmeye açılmasıyla, bölgede nüfus giderek artmış, bununla birlikte plansız ve kaçak yapılaşmalar çoğalmıştır. Bu bölgede imarlı yerleşime geçilme yaklaşık bir asır sürmüştür ve 1986 yılında yürürlüğe giren kanunla devlet tarafından kontrol altına alınmaya başlanmıştır. Kentleşme açısından bakıldığında, kıyı boyunca dar bir alanda, çarpık ve kaçak yapılaşma, arazi koşulları ve jeolojik özelliklere dikkat edilmeden devam etmiştir. Günümüzde ise jeolojik ve geoteknik incelemeler sonucunda hazırlanan raporlarda; kömür havzası oluşumu ve karstik yapısı nedeniyle yerleşimin yoğun olarak gözlemlendiği alanların zayıf zemin özelliği gösterdiğini ve heyelan riski bölgeler içinde kaldığı ortaya çıkmıştır. MTA heyelan envanter raporunda yaklaşık 2610 km²'lik alanda gerçekleşen ~10000 adet heyelan yer almaktadır [4]. Ayrıca Zonguldak ili önemli kömür işletmelerine sahip bir bölgede yer almakta olup, kömürlerin yüzeye çıkartılmasından sonra yer içinde oluşan boşlukların gerekli kurallara uyulmadan doldurulmasına bağlı oluşan boşluklardan dolayı zemin hareketleri sonucunda oluşabilecek riskler barındırmaktadır. Heyelanları tetikleyebilecek önemli parametrelerden bir tanesi de bölgede bulunan aktif fay hatlarıdır. Bölge Kuzey Anadolu Fay hattına yakın bir alanda yer almakta ve Deprem Araştırma Dairesi verilerine göre Türkiye Deprem haritası'nda 1. ve 2. derece deprem bölgesinde yer almaktadır [6].

Bu çalışma kapsamında Zonguldak'ın Kozlu ilçesi sınırları içerisinde yer alan ve bölge için sunulan afet raporunda muhtemel heyelan (MH) bölgesi olarak belirlenen alan geoteknik olarak incelenmiştir. Heyelan riskinin araştırılması amacıyla, araziden alınmış topoğrafik ölçümlerden faydalanılmış, bölgeye ait detaylı sondaj raporları incelenerek geoteknik ve yapısal parametreler belirlenmiş, çalışma alanı sonlu elemanlara dayalı program ile modellenerek statik durumda ve gerçek deprem verileri kullanılarak dinamik yükler altındaki davranışı analiz edilmiştir.

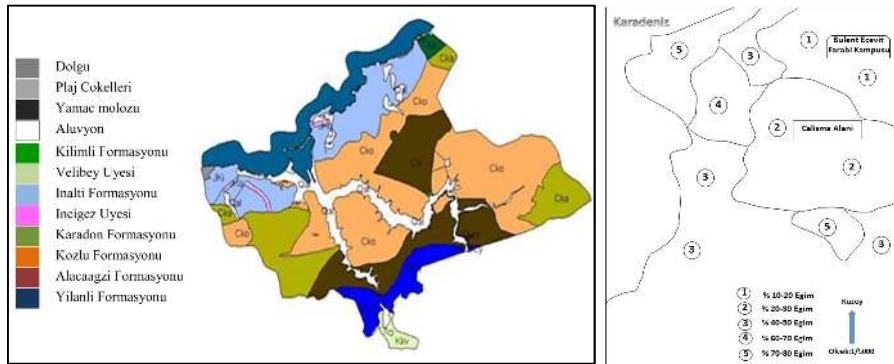
2. İnceleme Alanı

Zonguldak Kozlu ilçesi içerisinde yer alan çalışma bölgesi daha önceki yıllarda heyelan meydana gelmiş bir bölgedir. İller Bankası, Jeolojik Etüd Şube Müdürlüğü (1992) raporuna göre inceleme alanı aktif heyelan bölgesi içerisinde yer almakta olup zorunlu olmadıkça yapılaşmaya izin verilmemesi gerekliliği raporda mevcuttur. DSİ 23. Bölge Müdürlüğü (1993) raporuna göre ise, aynı bölge için yeraltı suları ve yüzey suları açısından yapılaşma için herhangi bir sorun olmadığını, inşaat açısından uygun temel seçilmesi durumunda çalışma alanının muhtemel heyelanlı kesimden çıkartılması uygun bulunarak imar izin engelini aşılmış ve bu bölgede hızla yapılaşmaya geçilmiştir. Bu raporunun hemen ardından yapılaşma hızına bağlı, yollarda ve kaldırımlarda göçmeler ve mevcut yapılarda hasarlar gözlenmeye başlanmış ve çalışma sahasının yerleşik olduğu tepe ve yamaçlarda gerilme çatlakları gözlenmiştir [7] (Şekil 1).



Şekil 1. Türkiye heyelan haritası üzerinde Zonguldak İli [4] ve inceleme alanı [8]

İnceleme alanı belirgin jeolojik özellikleri yaşlıdan gence doğru, Yılanlı, Alacaagzı, Kozlu, Karadon, İnaltı ve Kilimli formasyonları ile alüvyon, plaj çökelleri ve yamaç molozu şeklinde sıralanmaktadır. Bu birimler gri, siyah, koyu ve açık kahverengi renklerde kireçtaşı, dolomitik kireçtaşı, dolomit ve çörtlü kireçtaşı ardalanmasından oluşan yılanlı formasyonu, kalsit dolgusuyla kapanmış olan çok çatlaklı ve kırıklı bir yapıya sahiptir. Karstlaşmanın görüldüğü birimde erime boşluklarına da rastlanmaktadır [9] (Şekil 2a).



Şekil 2. Zonguldak İli jeolojik formasyon haritası ve çalışma alanı eğim krokisi [7].

İnceleme alanı genel olarak engebeli bir arazide yer alır. İnceleme alanında eğim dereceleri 0-5, 5-

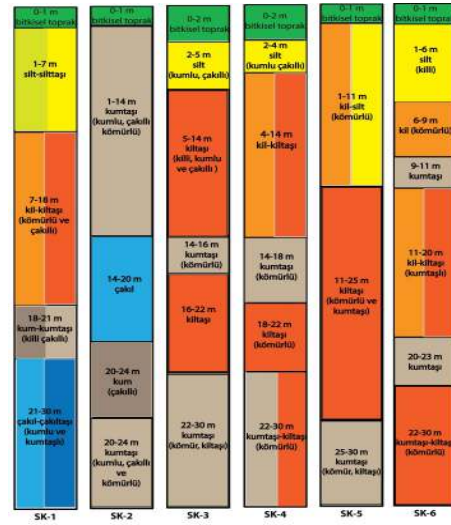
10,10-20,20-30,30-45 > 45 olmak üzere literatürde eğimi 20 dereceden yüksek alanlar, heyelan riski yüksek alanlardır. Bölgenin bozuk topoğrafyası afet riskini arttıran bir diğer unsurdur. Çalışma alanı % 20 ile %30 arasında değişen bir eğim içerisinde yer almaktadır (Şekil 2b).

Bölgede Alt Karboniferden günümüze dek çeşitli orojenik hareketler gözlenmektedir. Bunların başlıcaları Hersinyen ve Alpin Orojenezleridir. Bölgede en önemli deformasyon Alpin Horojenezinde oluşmuştur. Kuzey Fayı gibi Doğu- Batı yönlü büyük gravite fayları ile havza pek çok tektonik birliğe ayrılmıştır. Kuzey Fayı İncivez Burnunun güneyinden Karadon Ayıçı'ne kadar uzanmaktadır. Bölgede bu büyük fayın dışında birçok tali fayların etkileri görülmektedir [10, 11]. Fay, eklem seti sisteminin ve birim yapısal özelliklerinin heyelanları tetikleyici ana unsurlardan olduğu diğer araştırmacılar tarafından da belirtilmiştir [12]. Zonguldak İli, Türkiye deprem bölgeleri haritasına göre, 1. ve 2. derece deprem bölgesine girmektedir.

3. Sayısal Modelleme

3.1. Geoteknik Parametrelerin Seçimi

İnceleme alanında Yeraltı su seviyesi (YASS) ölçümleri yapmak ve laboratuvar deneylerinde kullanılacak numuneler almak amacıyla, çapı 66 mm, toplam derinliği 180 m olan, 6 adet temel sondaj kuyusu (SK) açılmış ve yapılan sondajlar log şeklinde Şekil 3'te gösterilmiştir.



Şekil 3. Sondaj planı ve sondaj logu [7]

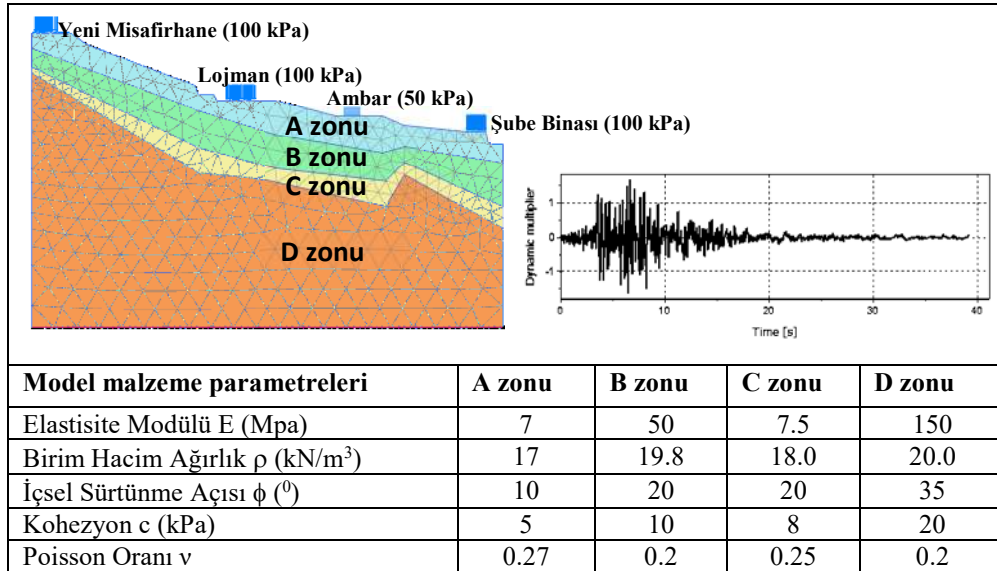
Yapılan sondajlarda her 1.50 m'de Standart Penetrasyon Deneyi (SPT) yapılarak zeminlerin dayanım parametreleri, sıklık ve kıvam özellikleri belirlenmiş ve örselenmiş örnekler (SPT) alınmıştır.

3.2. Sonlu Elemanlar Yöntemi

Sonlu elemanlar numerik analiz yöntemi, matematiksel ifadelerle tanımlanan sürekli problemlerin genel çözüm yöntemi olarak tanımlanmıştır [13]. Ayrıca sonlu elemanlar yöntemi, sayısal yöntemlerin genelde mühendislik problemlerine ve özelde geoteknik problemlerine uygulanması

ile ilgili birçok çalışma mevcuttur [14, 15, 16, 17, 18]. Plaxis 2D iki boyutlu deformasyon analizi ve geoteknik mühendisliği stabilite analizlerinde sonlu elemanlar yöntemi ile çözüm üreten bir programdır [19]. Yapı ve zemin arasında kesişim modeli oluşturulmasına imkan sağlar. Plaxis üzerinde yer alan dinamik modül ise zeminleri analiz eder ve deprem gibi dinamik yükleme etkisinde kalmış yapıların analizini mümkün kılar.

Bu çalışmada model analizlerde kullanılan programda 4 tabakalı zemin profili geoteknik parametreleri atanarak modellenmiştir. Yüzeyle üzerindeki mevcut yapılar yapı ağırlığı; yeni misafırhane, lojman ve şube binası için 100 kPa ve ambar için 50 kPa yayılı yük ile yansıtılmıştır. Model analizlerinde 5 adet zemin parametresine (E, c, ρ , ϕ , ν) ihtiyaç duyan ve ilk analizlerde zemin rijitliğini sabit olması dolayısıyla daha hızlı çözümler üretebilen malzeme modeli olarak Mohr Coulomb malzeme modeli seçilmiştir. Modelde 15 düğüm noktalı üçgensel elemanlar ile sonlu eleman ağı yüksek sıklığı seçilerek oluşturulmuştur. Statik analizler için yapı üzerinde yapı varken konsolidasyon oturmaları analiz edilmiştir. Dinamik analizlerde M_w :7.1 olan deprem kullanılarak model tabanından etki ettirilebilen deprem ivme zaman kaydı altında 20 saniyelik deprem yükü altında şev duraylılık analizi yapılmıştır (Şekil 4).

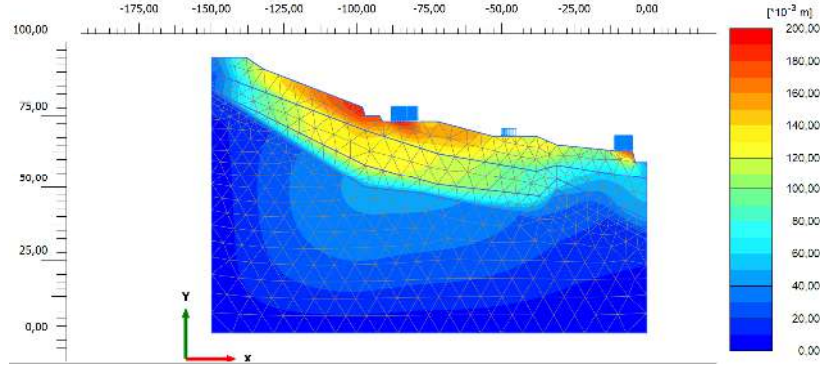


Şekil 4. Sonlu elemanlar yönteminde kullanılan model malzeme parametreleri ve dinamik analizde kullanılan deprem-ivme kaydı

4. Sonlu Elemanlara Dayalı Analizler

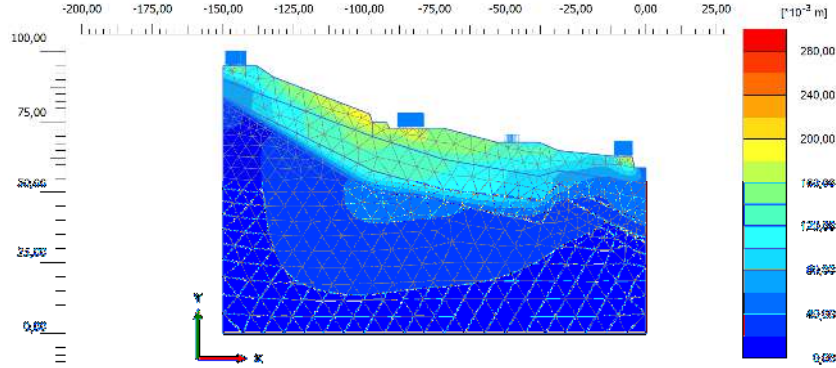
4.1. Gerilme Deformasyon Analizleri

Bu analizde yapı yükleri yayılı yük olarak yüzeye yansıtılmış ilk aşamada lojman, ambar ve şube binası inşaatı tanımlanarak yükler altında yapılan analizde, mevcut kesitte en yoğun hareketlerin A zonunda en fazla gözlemlendiği ancak yüzeyden itibaren daha derinlere doğru artarak devam ettiği görülmektedir. Analiz sırasında lojmanı içine alan bölgede ölçülen en yüksek yer değiştirme değeri 19.38 cm dir (Şekil 5).



Şekil 5. Statik mevcut yapı durumu

Mevcut yapılar ve yeni misafirhane inşaatı tanımlandığında, en yoğun hareketlerin yine A zonunda gözlemlendiği ve yüzeyden itibaren derine inildikçe arttığı, lojman bölgesinde ise en yüksek yer değiştirme 28.46 cm elde edilmiştir (Şekil 6).



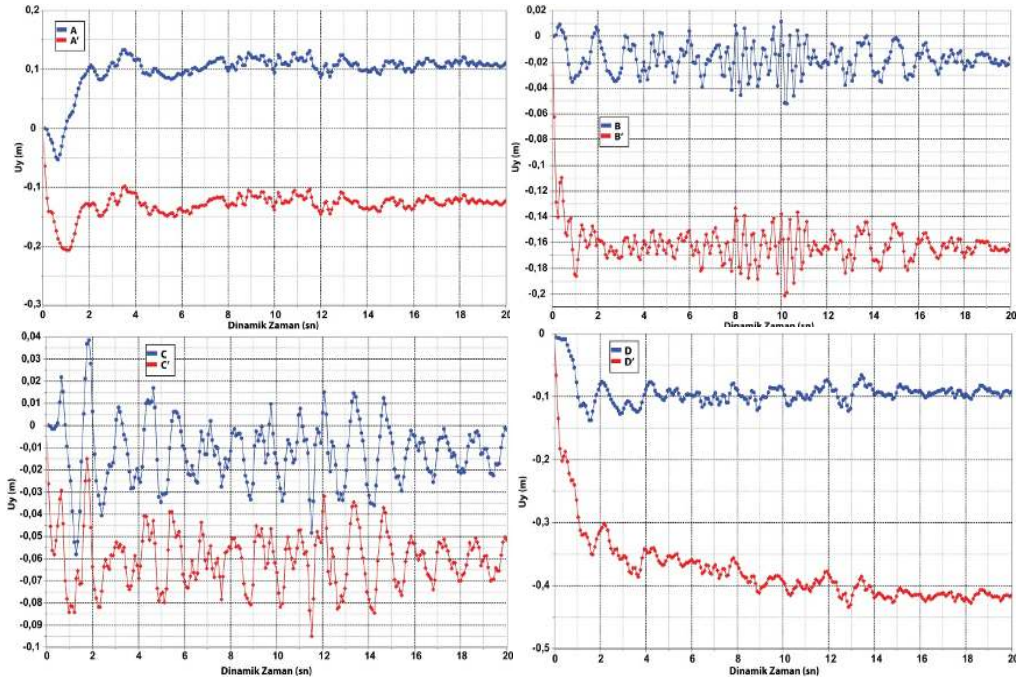
Şekil 6. Statik mevcut yapı+yeni misafirhane durumu

4.2. Dinamik Analizler

Heyelanların statik durumda analizleri konusuna birçok çalışma mevcut iken; dinamik yükler altındaki şevler konusunda ve depremler sonucu ortaya çıkan kompleks gerilme birim deformasyonlar elde edilmesi nedeniyle, incelemeler vakia analizleri ile sınırlıdır [20]. Yüksek sismisiteye sahip bölgelerde meydana gelen heyelanlar önemli derecede hasara neden olmaktadır. Dolayısıyla deprem sırasında şevin stabilitesini koruyup koruyamayacağı geoteknik anlamda önceden tahmin edilmesi gereken önemli bir konudur. Şev stabilitesinin incelenmesi için şevin yapısı, özellikleri ve dinamik yükler etkisini dikkate alan analiz yöntemleri bulunmaktadır.[21, 22, 23, 24]. Bu çalışmada M_w 7.1 büyüklüğünde seçilmiş bir deprem kaydı kullanılmıştır [25]. Şekil 7’de tabakalar üzerinde hiçbir yapı yükü yok iken deprem ivme kaydı 20 saniye süresince etki ettirilmiş ve zeminde oluşan hareketler incelenmiştir. Bu durumda elde edilen en yüksek yer değiştirme değeri şev tepe noktası bölgesinde ve yüzeydeki A zonu bölgesinde 51.83 cm olarak ölçülmüştür. Bu yer değiştirme değerinin şevin dengesini kaybetmesine ve bu büyüklükteki bir depremde tümünden göçmesine neden olması beklenmektedir. Dinamik durumda gerçekleşen bu hareket zemin tabakalarında yüzeyden derine doğru etkili olmuş ve kritik kayma

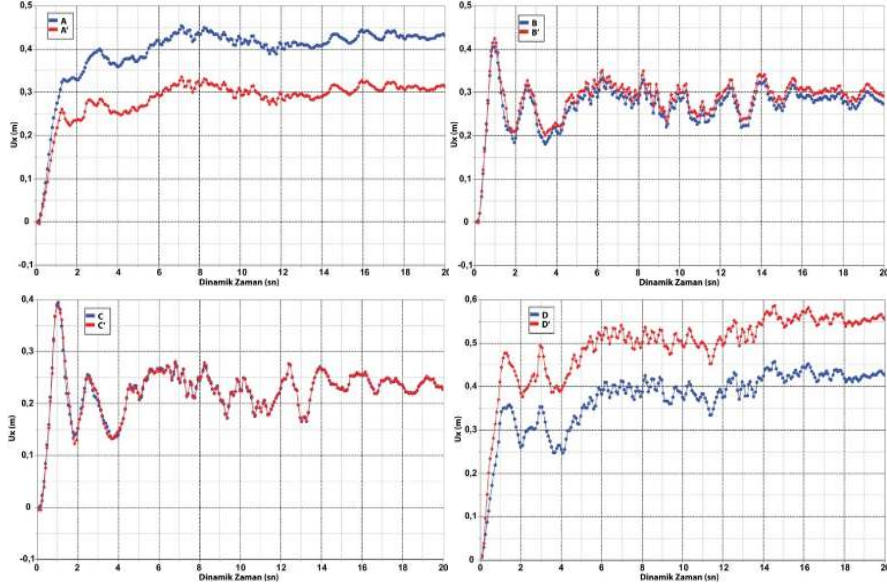
noktası için arazi koşullarının benzerliği göz önünde aynı davranış elde edilmiştir. D noktası için depremin ilk anında 13 cm yer değiştirme elde edilmiştir. Yapı yükleri (100kPa) eşit olan A', B' ve D' noktaları için sırasıyla 21 cm, 21cm ve 43 cm olarak elde edilmiştir. D' noktası heyelanın topuk noktası olması sebebiyle, en riskli bölge olarak belirlenmiştir. Yapı yükü (50kPa) C' noktası için düşey yer değiştirme 9.5 cm olarak A' ve B' noktalarına oranla yaklaşık %50 daha düşük elde edilmiştir. Aynı zamanda B' ve C' noktaların dinamik durumda benzer davranış göstermesinin sebebi olarak, arazi koşullarının birbirine yakın zemin özelliği göstermesi olarak açıklanabilir. Ancak bu noktalarda yer değiştirme değerleri bina yükü ile orantılı elde edilmiştir.

A, B, C ve D noktalarındaki üzerinde her iki durumda U_y oturma değerleri karşılaştırıldığında, oturma değerleri yapıların inşası sonrasında artış göstermektedir. Dinamik analizlerde, 4. saniyeden sonra model denge durumuna gelmektedir (Şekil 9).



Şekil 9. U_y yer değiştirme-dinamik zaman değişimi

Şekil 10'da A, B, C ve D noktalarında yatay yer değiştirme değerleri gösterilmiştir. Arazi koşullarına bağlı olarak B ve C noktalarında benzer davranış elde edilmiştir. A noktası için, üzerinde yük yokken 46 cm olarak ölçülen yatay yer değiştirme üzerinde yük var iken %50 oranında azalmıştır. Modelde en riskli bölge olan D noktasında bina yokken elde edilen yatay yer değiştirme değeri üzerinde yük olması durumuna göre, yaklaşık %50 oranında azalmıştır. Bu sonuç değerlendirildiğinde D noktası şevde en riskli bölge olarak tespit edilmiştir (Şekil 10).



Şekil 10. U_x yer değiştirme-dinamik zaman değişimi

5. Değerlendirme

Bu çalışmada Kozlu ilçesi heyelan bölgesinden elde edilen zemin parametreleri sonlu elemanlar yöntemiyle statik ve dinamik durumlar için modellenerek bölgede oluşabilecek riskler araştırılmıştır. Elde edilen bulgular genel olarak řu şekilde sıralanabilir.

- Statik durumda bölgede mevcut yapılar ile elde edilen maksimum yer değiştirme değeri 28.46 cm iken, dinamik durumda maksimum yer değiştirme değeri 51.83 cm olarak elde edilmiştir.
- Modele M_w 7.1 büyüklüğünde deprem uygulandığında, heyelan oluşabilecek alanın taç bölgesinden topuk bölgesine uzanan gözlem noktalarında elde edilen yer değiştirme değerleri min 21 cm ile maks 43 cm olarak tespit edilmiştir. En büyük yer değiştirme heyelan bölgesinin topuk kısmında elde edilmiştir. Oluşturulan modele göre heyelan bölgesinin orta bölümü taç ve topuk kısımlarına göre daha güvenli kısımda yer almaktadır. Bunun sebebi olarak arazi eğimi gösterilebilir. Ayrıca bu kısımda bina yükünün diğer kısımlardaki bina yüküne oranla daha az olması da bir etkidir. Yatay ve düşey yer değiştirmeler analiz edildiğinde; yapı yükleri deprem durumunda A noktası için U_x değerini azaltırken D noktasında arttırmıştır, U_y yer değiştirme değerlerini söz konusu olduğunda yapı yüklerinin tüm noktalarda yer değiştirmeleri arttırdığı saptanmıştır.
- Sonuç olarak, inceleme alanında mevcut bir yapılaşma olduğu ve yeni yapılaşmalarında arttığı göz önüne alındığında, arazi zemin profilinde yüzeye en yakın zon olan, A zonundaki gevşek ve zayıf malzemenin üzerinde inşa edilecek yapılar için uygun bir yöntem ile zemin iyileştirmesi yapılması, özellikle topuk bölgesi kısmında yatay destekleme sitemleriyle kazı güvenliği sağlanarak yapılaşmaya gidilmesi önerilmektedir. Deprem bölgelerinde heyelanlı alanlarda şev stabilite analizi incelenmesi önemli bir husustur. Statik durumda dengede olan bir şevin, dinamik yükler altında duraylılığını koruyamaması sonucu oluşacak büyük yer değiştirmeler neticesinde daha çok can ve mal kaybına neden olacağı öngörülmektedir. Bu nedenle, heyelan riski taşıyan alanlarda inşaat yapılması durumunda statik hesaplamaların yanında, mutlaka dinamik analizlerinde yapılması önerilmektedir.

References

- [1] Brabb, E.E. and Harrod, B.L. 1989, "Landslides: extent and economic significance", Proceedings of the 28th International Geological Congress, Symposium on Landslides, Washington DC, USA .
- [2] Petley, D., 2012. Global patterns of loss of life from landslides, *Geology* 40, 927–930.
- [3] Chen HX., Zhang LM., 2014 "A physically-based distributed cell model for predicting regional rainfall-induced shallow slope failures." *Engineering Geology*. doi:10.1016/j.enggeo.2014.04.011
- [4] Duman, T. Y., Nefeslioğlu, H.A., Çan, T., Ateş, Ş., Durmaz, S., Olgun, Ş., Hamzaçebi S., Keçer, M., 2006, "Heyelan envanteri 1:500.000 ölçekli İstanbul Paftası", MTA Özel Yayınlar Serisi-6, Ankara.
- [5]. D. Arca, H. K. Çıtıroğlu, H. Ş. Kutoğlu, Ö. F. Çapar, M.Arslanoğlu, 2011, "Zonguldak Kent Merkezi'nin CBS İle Afet Risk Analizi", TMMOB Coğrafi Bilgi Sistemleri Kongresi 2011, Antalya.
- [6] DAD, 2017, <https://deprem.afad.gov.tr/>
- [7] Ağan, C., 2009, "Farklı Geoteknik Yöntemlerin Heyelan Analizlerinde Kullanımı Ve Karşılaştırmalı Analiz: Zonguldak İli Kozlu İlçesinde Örnek Bir Çalışma", Doktora Tezi, Konya.
- [8] Google Earth, 2017, <https://www.google.com.tr/intl/tr/earth/>
- [9] Yergök, A. F., Ünal A., İplikçi, Ü., Karabalık, N., Keskin, İ., Mengi, H., Umut, M., Armağan, F., Erdoğan, K., Kaymakçı, H. ve Çetinkaya, A., 1987, "Batı Karadeniz Bölgesi Jeolojisi.", MTA Rapor No:8273, sayfa:237.
- [10] Erdem, İ.Ü., 1984, "Kuzeybatı Anadolu Taşkömürü Havzası Jeolojisi", Seminer, Hacettepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Jeoloji Anabilim Dalı, Ankara.
- [11] Özkan, H., 1993, "Zonguldak İli, Kozlu Bucağı, Güney Mahallesi, 1. pafta, 32. ada, 48.parselin tesis amaçlı jeolojik etüt raporu", T.C. Bayındırlık ve İskan Bakanlığı, DSİ Genel Müdürlüğü, DSİ 23. Bölge Müdürlüğü, DSİ 232. Şube Müdürlüğü, Zonguldak.
- [12] Koçer, S., 2000, "İlçadere Pb- Zn cevherleşmesinin rezerv tenör değerlendirmesi", Yüksek Lisans Tezi, Hacettepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı, Tez No: 97848, Ankara.
- [13] Zienkiewicz, O. C. ,1977, "The finite element method.", Maidenhead, England: McGraw-Hill.
- [14] Cai, F. and Ugai, K. 2000, "Numerical analysis of the stability of a landslide reinforced with piles." *Soils and Foundations*, 40, (1), 73–84.10.3208/sandf.40.73.
- [15] Chen TC, Lin ML, Wang KL ,2014, " Landslide seismic signal recognition and mobility for an earthquake-induced rockslide in Tsaoling," *Taiwan. Eng Geol* 171:31–44
- [16] Ling H, Ling HI, Kawabata T , 2014, "Revisiting Nigawa landslide of the 1995 Kobe earthquake.", *Geotechnique* 64:400–404.
- [17] Savage WZ, Baum RL, Morrissey MM, Arndt BP., 2000, "Finite-element analysis of the Woodway landslide, Washington." *U.S. Geological Survey Bulletin* 2180.
- [18] Griffiths Lane, D.V. Griffiths,P.A.1999, "LaneSlope stability analysis by finite elements", *Geotechnique*, 49 (1999), pp. 387-403
- [19] R.B.J. Brinkgreve, W. Broere, D. Waterman PLAXIS 2D Dynamic Modüle Manual Delft University of Technology, Delft .
- [20] J. M. Duncan, 1996. , "State of the art: Limit equilibrium and finite-element analysis of slopes," *J. Geotech. Eng.*, vol. 122, pp. 577–596.
- [21] Gökmirza, S.B., 1994, "Deprem Etkisindeki şevlerde Stabilitenin incelenmesi," Doktora Tezi, .T.Ü. Müh.-Mim. Fak. Matbaası, İstanbul 1994, sayfa 97.
- [22] Olgun, M., 2002, "Sıkıştırılmış kil dolgularda dinamik etkilerin incelenmesi," Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi Müh.-Mim. Fak., Konya 2002, sayfa 1-90.
- [23] Grivas, D.A. ve Asaoka, A.A., 1982, "Slope stability prediction under static and seismic loads", *J. of the Geotech. Eng. Div., ASCE*, Vol. 108, No. GT5, 713-729.
- [24] Hack, R., Alkema, D., Kruse, G. A. M., Leenders, N. ve Lizi L., 2007, "Influences of earthquakes on the stability of slopes"; *Eng. Geology*, 91, 4-15.
- [25] PEER, 2017, Pacific Earthquake Engineering Research Centre, available at: http://peer.berkeley.edu/peer_ground_motion_database