EŞDEĞER ANALİZ YÖNTEMİ İLE BELİRLENEN ZEMİNİN BÜYÜTME DEĞERLERİNİN COĞRAFİ BİLGİ SİSTEMLERİ KULLANILARAK HARİTALANMASI: ESKİŞEHİR ÖRNEĞİ

Ebru CİVELEKLER¹, D. Volkan OKUR², Kâmil B. AFACAN³

¹Doktora Öğrencisi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Eskişehir, ecivelekler@gmail.com

²Doç. Dr., İnşaat Mühendisliği Bölümü, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Eskişehir, vokur@ogu.edu.tr

³Dr. Öğr. Üyesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Eskişehir, kafacan@ogu.edu.tr

ÖZET

Tekrarlı yükler altındaki yapılarda hasara neden olan önemli faktörlerden bir tanesi yerel zemin özellikleridir. Taşıma gücü kaybı, sıvılaşma, oturma gibi zemin problemlerinin temel nedeni deprem sırasında bu özelliklerinin değişimidir. Özellikle zemin büyütmesi, anakaya derinliği, zemin tabakalarının kalınlığı ve cinsi, zeminin dinamik özellikleri, tabakaların süreksizliği ve bölgenin topografik yapısı gibi parametrelerden etkilenmektedir. Bu çalışmada yerel zemin koşullarının zemin büyütmesine etkisini incelemek amacıyla, Kocaeli-Yarımca deprem verisi kullanılarak bir boyutlu dinamik analizler yapılmıştır. Bu amaçla öncelikle bölgede yapılmış olan 40 farklı sondaj verisi değerlendirilerek yerel zemin özellikleri belirlenmiştir. Belirlenen yerel zemin özelliklerinin dinamik davranışa etkisini incelemek için DEEPSOIL yazılımı kullanılmıştır. Yapılan analizler sonucu her sondaj için farklı büyütme değeri elde edilmiştir. Elde edilen bu büyütme değerleri Coğrafi Bilgi Sistemleri kullanılarak haritalanmıştır. Deprem hasarlarının azaltılmasına yönelik çalışmalar kapsamında Eskişehir şehir merkezi için güvenli yerleşim alanlarının belirlenmesi planlanmıştır.

Anahtar Sözcükler: Eskişehir, eşdeğer analiz, yerel zemin koşulları, zemin büyütmesi, zemin davranış analizi

ABSTRACT

SOIL AMPLIFICATION MAPS DETERMINED BY EQUIVALENT LINEAR METHOD USING GEOGRAPHICAL INFORMATION SYSTEMS: ESKİSEHİR CASE

Local soil conditions are one of the most important factors that cause damages at structures under dynamic loads. During an earthquake the reason of soil related problems such as loss of bearing capacity, liquefaction, settlement, etc are just mainly the changes in local soil conditions. Soil amplification in particular is affected by these parameters such as bedrock depth, soil type and layer thicknesses, dynamic characteristics of the soil, the discontinuities in soil layers and the topographical properties. In this study, one-dimensional dynamic analysis was performed by using Kocaeli-Yarımca ground motion data to examine the effect of local ground conditions on soil amplification. For this purpose, the local soil characteristics were determined for 40 different borings in the region. Equivalent linear models were run using DEEPSOIL software in order to examine the effect of specified local soil properties on dynamic behavior. As a result of the analysis, different amplification values were obtained for each borings. These amplification values were mapped using Geographic Information Systems (GIS). It is crucial to determine the amplification values of the soil before starting the design studies of buildings in countries where large earthquakes are seen frequently. Therefore, this study is a pioneering work on the reduction of damages due to earthquakes and determining of safer settlement area for Eskişehir city center.

Keywords: Eskişehir, equivalent analysis, local soil conditions, soil amplification, soil behavior analysis

1. GİRİŞ

Günümüzde nüfus artış hızına bağlı şehirlerin hızlı büyümesi nedeniyle yeni yerleşim alanları kurulmaktadır. Bu yerleşim alanların bir kısmının tektonik olarak aktif yerlerde veya yakınında bulunması planlama aşamalarında deprem tehlikesinin de göz önüne alınması gereğine işaret eder.

Türkiye aktif deprem kuşaklarından bir tanesinde yer almakta olup, özellikle 1999 yılında Kuzey Anadolu Fay Zonu'nun etkisiyle meydana gelen Kocaeli ve Düzce depremleri, Türkiye'nin en yoğun nüfus ve sanayisine sahip Marmara Bölgesi'nde ekonomik ve sosyal anlamda çok büyük kayıplara sebep olmuştur. 17 Ağustos 1999 Kocaeli depremi sırasında Eskişehir şehir merkezinde de bir bina yıkılmış ve birçok binada hasar oluşmuştur.

Büyük depremler sonrasında yapılan çalışmalarda, yerel zemin koşullarının farklılaşmasının yapısal hasarlarda da farklılığa neden olduğu belirlenmiştir. Buna ilk örnek kayıtlardan birisi MacMurdo'nun (1824) olup, 1819 Cutch (Hindistan) depremi ile ilgili olarak “doğrudan kaya üzerine oturtulan yapılardaki hasarın, temeli kayaya kadar inmeyen yapılardaki hasardan az olduğu” gözleminde bulunmuştur (MacMurdo, 1824).

Bir depremde yapının maruz kalacağı deprem kuvvetleri belirlenirken, yapıların üzerinde olduğu zeminin tabakalarının, deprem özelliklerini nasıl değiştirdiğinin belirlenmesi gerekmektedir. Yerel zemin özellikleri, bazı

zemin tabakalarında deprem kuvvetlerinin büyümesine, bazı tabakalarda ise azalmasına yol açabilir. Zemin büyütmesi olarak tanımlanan bu olayı açıklamaya çalışırken çok karmaşık olabilen farklı tabakalara sahip zeminin profilinin özelliklerini yansıtabilecek bir basitleştirmeyi yapmak gerekebilir. Yapılan araştırmalar, zemin yüzeyinden itibaren 30 m içinde kalan zemin ve kaya tabakalarının bu açıdan önemli olduğunu göstermektedir. Bu sebeple 30 m içinde kalan ortalama kayma dalga hızı V_{s30} hesaplarda kullanılmaktadır (NEHRP, 2003).

Dünyada ve ülkemizde deprem zararlarını en aza indirebilmek için çeşitli yöntemler geliştirilmekte ve kullanılmaktadır. Bu yöntemlerin başında bölgenin deprem tehlike durumunu belirlemek ve mevcut planların buna göre hazırlanması gelmektedir. Bu amaçla kent ölçeğinde yapılacak olan imar planlamalarında kullanılmak üzere, sağlıklı kentleşme ve güvenli yapılaşma için kentsel mikrobölgeleme çalışmaları yürütülmektedir. Kentsel mikrobölgeleme çalışmalarından elde edilen verilerin depolanması, coğrafi veri formatında değerlendirilmesi, analiz edilmesi ve yorumlanmasında Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) teknikleri etkin bir araç olarak kullanılmaktadır (Avdan ve Alkış, 2011).

Zeminlerin tabakalanma durumlarının farklılaşması, deprem yer hareketinin yapıya aktarılma şeklini ve büyüklüğünü, dolayısıyla yapıya gelecek dinamik yükleri etkilemektedir. Bu çalışmanın temel amacı, daha önceki çalışmalarda bölge için yapılmamış olan bir boyutlu eşdeğer lineer analiz yöntemi kullanılarak Eskişehir şehir merkezini kapsayan alüvyon zemin için zemin büyütmesi değerleri elde etmek ve bu değerleri kullanıcıların yararına sunmak anlamında, CBS teknikleri ile konuma dayalı olarak haritalamaktır. Yapılan haritalamayla birlikte bölge için konuma bağlı olarak hesaba katılması gereken büyütme değerlerinin kolayca hesaba katılabilmesi hedeflenmiştir.

2. ÇALIŞMA ALANININ GENEL ÖZELLİKLERİ

Çalışma alanı 1/25.000 ölçekli i25a4 pafta içerisinde olup 4395000-4410000 kuzey enlemleri ile 275000-305000 doğu boylamları arasında bulunmaktadır. Bölgede Eskişehir iline güneybatıdan giren ve şehrin merkezinden geçerek şehrin doğusundan çıkan Porsuk Nehri bulunmaktadır (Şekil 1).

Şekil 1. Çalışma Alanı Lokasyon Haritası.

2.1. Çalışma Alanının Jeolojisi ve Depremselliği

2.1.1. Çalışma Alanının Jeolojisi

Eskişehir ovasının jeolojik özelliklerini belirlemek amacıyla birçok çalışma yapılmıştır (Gözler vd.; 1985, Ölmez ve Yücel 1985, Yıldırım ve Gürsoy 1985, Gözler vd.; 1996, Altunel ve Barka 1998; Ocakoğlu vd.; 2005). Bu çalışmalara göre Eskişehir il sınırlarında yayılım göstermiş formasyonlar gençten yaşlıya doğru Alüvyon, Akçay Formasyonu, Ilıca Formasyonu, Porsuk Formasyonu, Mamuca Formasyonu ve Karkın Formasyonudur (Şekil 2).

Şekil 2. Çalışma Alanının Jeoloji Haritası (Tün, 2013).

Porsuk Çayı, Eskişehir il merkezine girmeden il merkezinin güneybatısında Sarısu deresi ile birleşmektedir. Bu iki derenin getirdiği çökeller Eskişehir ilinin zeminini oluşturmaktadır. Çalışma alanında yayılım gösteren Kuvaterner yaşlı alüvyon zeminde bulunan malzeme kil, silt, kum ve çakıl seviyelerinden oluşmaktadır. Alüvyon zemin detaylı incelendiğinde genel olarak yüzeyden 5-6 m'ye kadar kil-silt seviyeleri bulunurken, 5-6m'den sonra ise kil-silt dereceli olarak azalarak yerini kum ve çakıla bırakmaktadır. Yüzeyden itibaren 6 m'de bulunan kil-siltin büyük bölümü yüksek plastisiteli kil ve siltten oluşmakta; daha alt seviyelerde ise killi-siltli kum bulunmaktadır (Akdeniz ve ark. 2011).

2.2.2. Çalışma Alanının Depremselliği

Eskişehir ili Triyas sonunda kapanan Tetis okyanusunun meydana getirdiği tektonizma sonucu oluşan İzmir-Eskişehir-Ankara zonunda kalmaktadır. Bu tektonizmalar sonucu Eskişehir'de bir fay zone meydana gelmiştir. Bu fay zone İnönü-Okulbalı-Turgutlar-Sultandere hattı boyunca ilerler (Şekil 3). Eskişehir fay zone Sultandere ile İnönü arasında birbirini takip eden segmentler hâlinde devam etmektedir (Altunel ve Barka, 1998).

Eskişehir fay zoneunda İnönü-Çukurhisar segmenti ve Turgutlar-Eskişehir segmenti olmak üzere iki adet segment bulunur. İnönü-Çukurhisar segmenti; İnönü-Okulbalı arasında doğu-batı doğrultulu uzanırken Okulbalı-Turgutlar arasında BKB-DGD doğrultulu uzanmaktadır. Fay, İnönü'nün güneyinde iki kola ayrılmaktadır. K142° doğrultulu sağ yönlü doğrultu atımlı güney kol Triyas yaşlı kireçtaşlarında yaklaşık dik bir yüzey oluşturur ve bu yüzeydeki fay çiziklerinin hemen hemen yatay olması bu kol üzerindeki hareketin sadece doğrultu boyunca olduğunu, yani hareketin normal bileşenin olmadığını göstermektedir. Fay, Çukurhisar'ın güneyinde kuzeye eğimli yayvan bir topoğrafya sunan Miyosen birimlerinde 1 m ile 3 m arasında değişen topografik farklılıklar oluşturur (Şekil 3) (Altunel ve Barka, 1998).

Şekil 3. Eskişehir ve Çevresinin Tektonik Haritası (Altunel ve Barka, 1998).

Ayrıca bölgede bindirme fayları, normal faylar ve doğrultu atımlı faylar olmak üzere 3 türlü fay sisteminin bulunduğuna işaret edilmektedir (Gözler ve ark. 1996). Tüm bu çalışmalar göz önüne alındığında çalışma alanı ve çevresinde gözlenen faylar içinde sadece Eskişehir'in güneyinden geçen, Eskişehir fay zonunun aktif olduğu görüşü araştırmacılar tarafından kabul edilmektedir (Koçyiğit, 2005).

3. ZEMİN BÜYÜTME ANALİZLERİ

Çalışma alanındaki zemin tabakalarının, deprem yükleri altında zemin yüzeyindeki davranışa etkisini belirlemek amacıyla yerel sismik tehlike çalışmaları kapsamında zemin büyütme analizleri yapılır. Bu analizlerde izlenen adımlar şöyle sıralanabilir (Ansal vd., 2011).

1. Zemin mühendislik özelliklerinin belirlenmesi: Geoteknik, jeolojik ve jeofiziksel incelemelere dayalı olarak sahadan alınan zemin numuneleri üzerinde laboratuvar deneyleri ve buna bağlı olarak temsili zemin profillerinin seçilmesidir. Kayma modülünün derinlikle değişimini temsil eden kayma dalgası hız (V_s) profilinin ve kayma modülü ile sönüm oranı değerlerinin şekil değiştirme genliği ile değişimleri de belirlenir.

2. İvme-zaman kayıtlarının seçimi: Saha için sismik tehlike analizi yapılarak öngörülen depremin büyüklüğü, olası depremin sahaya olan uzaklığı, faylanma mekanizması ile uyumlu olan kayıtlardan seçilmelidir (Ansal ve Tönük, 2007). Bunun yanı sıra sismik tehlike çalışmasında belirlenmiş en büyük ivme ve ivme spektrumu ile de uyumluluk aranmalıdır. Tasarım depremine uyumluluk, kaydedilmiş ivme büyüklüklerinin sabit bir katsayı kullanılarak ölçeklendirilmesi ile sağlanabilir. Genellikle yer hareketinin modellenmesi sahada farazi olarak yüzeylenmiş anakayanın varlığı kabul edilerek yapılır.

3. Zemin büyütme analizleri: Dinamik zemin özelliklerini temsil eden parametrelerin tanımlanmasındaki belirsizliği göz önüne almak üzere, analizler genellikle bu parametrelerin ortalama (en iyi tahmin) değerleri kullanılarak yapılır. Yüzeydeki deprem özellikleri için hesaplanan en büyük ivme değerleri ve ivme davranış spektrumları istatistiksel olarak değerlendirilerek mühendislik tasarımına yönelik en büyük ivme değeri ve ivme davranış spektrumu geliştirilir.

Zemin büyütme analizi yapmak için zeminlerin gerilme-şekil değiştirme ilişkilerinin tanımlanmasında ve dalga yayılım denkleminin hesaplanmasında kullanılan yöntemlerde yapılan basitleştirici varsayımlara bağlı olarak değişen çeşitli yöntemler mevcuttur. Yerel zemin davranışının tek boyutlu dalga yayılımı analizleri basit olmalarının yanı sıra güvenli tarafta kalan sonuçlar verdikleri inancıyla oldukça yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu tür analizlere dayanarak tasarlanmış pek çok proje depremlerde yeterli dayanımı göstermiştir (Ansal vd., 2011).

Bu çalışmada sahaya özel yüzey deprem özellikleri, temsili zemin profilleri için bir boyutlu eşdeğer lineer zemin büyütme analiz yöntemi için DeepSoil 6.1 programı kullanılarak belirlenmiştir. İnceleme alanında daha önceden yapılmış bir proje kapsamında 40 adet sondaj ve aynı bölgede arazide yapılan sismik çalışmalardan elde edilmiş gerçek kayma dalgası hızı değerleri kullanılarak bir boyutlu analizler yapılmıştır (Güney vd., 2013) (Mutlu, 2012) (Şekil 4).

Şekil 4. Çalışma Alanı Sondaj ve Sismik Hat Lokasyon Haritası.

3.1. Bir Boyutlu (1-B) Analizler:

Daha önceki çalışmalarda bir boyutlu dinamik davranış analizleri, DeepSoil (2004) programı ile EERA (2000) gibi programlar kullanılarak her bir kesit üzerinde arazide ki zemin formasyonları göz önünde bulundurularak seçilen noktalarda yapılmıştır (Selçuk vd., 2007). Bu noktalar için, zemin profili, tabaka kalınlıkları ve malzeme parametreleri tanımlanmıştır. Bu çalışmada Eskişehir şehir merkezinde yayılım gösteren alüvyon zemin için eşdeğer lineer analiz yöntemiyle değerlendirmeler yapılmıştır.

Analizleri yapabilmek için zeminin indeks özelliklerinin tanımlanmasının dışında dinamik özelliklerini tanımlamak gerekir, bu da malzemelerin kayma modülü azalımının farklı kayma birim deformasyon seviyelerinde doğru modellenmesini gerektirir. Yapılan çalışmalarda kum ve kil tabakalarının kayma modülü azalım eğrileri tanımlanırken Darendeli (2001) ilişkileri kullanılmıştır. Dinamik analizler Anadolu Üniversitesinin 080240 no.lu proje çalışmasından elde edilen 40 sondaj noktası için tabakalar zemin sınıfı, zeminin birim hacim ağırlığı değerleri ve zeminin kayma dalgası hızı değerleri kullanılarak yapılmıştır. Şekil 5'te modellenen örnek bir sondaj kesiti gösterilmektedir (Şekil 5).

Şekil 5. DeepSoil Programında Kullanılan Veriler.

Çalışmada anakaya seviyesinde 1999 $M_w=7.4$ Kocaeli-Yarımca istasyonundan elde edilmiş deprem kayıt verisi seçilerek bir boyutlu analiz metoduyla zemin tabanına uygulanmış ve yüzeydeki davranış incelenmiştir. Elde edilen

verilerin değerlendirilmesinde deprem yönetmelikleri tarafından belirlenen zeminin farklı sınıflandırılması dikkate alınmıştır. Çalışma kapsamında incelenen ulusal ve uluslararası deprem yönetmeliklerinde, zeminin dinamik özelliklerinin belirlenerek yapı-zemin etkisinin değerlendirilmesi gerekliliği belirtilmektedir. Bu çalışmada elde edilen veriler günümüze yakın tarihlerde kullanılan Türkiye Deprem Yönetmeliği 2007 ve 2016'ya göre değerlendirmeler yapılmıştır. 2007 Deprem Yönetmeliği'ne göre yerel zemin özellikleri belirlenen sondajlar Z1, Z2, Z3 ve Z4 olarak 4 farklı yerel zemin grubundan oluşmaktadır (TBDY, 2007). Yerel zemin özelliklerine göre elde edilen spektral ivme grafiklerine bakıldığında bölgenin daha çok Z2 ve Z3 grubu zemin sınıfının ağırlıkta olduğu ve en büyük spektral ivmelerin bu zemin sınıflarında oluştuğu görülmüştür (Şekil 6).

Şekil 6. Türkiye Deprem Yönetmeliği 2007'ye göre ayrılmış Sondajların Spektral İvme Değerleri.

Türkiye Deprem Yönetmeliği 2016'ya göre ayrılan yerel zemin sınıfı özelliklerine göre sondajların daha çok ZC ve ZD grubu zemin özelliklerine sahip olduğu belirlenmiştir (TBDY, 2016). Bu Yönetmelik'e göre sondajların spektral ivme değerlerinin başlangıçta yaklaşık 0.3 değerlerinden, 1.8 gibi maksimum değerlerine ulaştığı görülmektedir (Şekil 7).

Şekil 7. Türkiye Deprem Yönetmeliği 2016'ya göre ayrılmış Sondajların Spektral İvme Değerleri.

3.2. Sahaya Özel Zemin Büyütme Sonuçlarının Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) Kullanılarak Değerlendirilmesi

CBS, dünya üzerinde var olan nesnelere ve meydana gelen olaylara ait bilgileri toplamaya, bunları bilgisayar ortamında depolamaya, sorgulama yapmaya, istenilen format ve ölçekte haritalamaya ve analizlerini yapmaya yarayan yüksek performanslı bir bilgisayar sistemidir. Bu sistem, coğrafi konumu olan nesne ve olaylara ait tüm verilerin toplanmasının ve depolanmasının yanı sıra güncelleştirilmesini, sorgulanmasını, sentezlenmesini ve yeni seçenekler üretilmesini çok kısa bir sürede yapabilecek nitelikte bir teknolojik sistemler bütünüdür (Tosun ve Orhan, 2007).

CBS teknikleri ile her bir coğrafi nesne için veri girilebilmesi, bu veriler üzerinde değişik türde sorgulamalar yapılabilmesi ve haritalar üretilmesi özelliği kullanıcılara önemli kolaylıklar sağlamakta ve kullanım alanlarını arttırmaktadır. Araştırmacılar ve uygulamacılar, ortaya çıkan gereksinimler karşısında yazılımlarda çeşitli değişiklikler yaparak amaçları doğrultusunda kullanma imkânına sahip olabilmektedirler (Orhan, 2005).

Geoteknik mühendisliğinde CBS kullanılarak yapılan analizler ve haritalar, çalışma alanındaki zemin özelliklerinin değerlendirilmesinde, deprem risk haritalarının oluşturulmasında ve yeni yerleşim alanları kullanıma açılmadan önce gerekli önlemlerin alınmasında etkin rol oynamaktadır.

3.2.1. Coğrafi Bilgi Sistemlerinde Jeostatistiksel Analizler

Sismik mikrobölgeleme çalışmalarındaki en önemli nokta deprem tehlikesini belirlemeye yönelik farklı etkilerin nasıl birleştirileceği ve her bir etkinin ağırlıklarının birbirine göre hangi oranda olacağıdır. Bu işlemlerin gerçekleştirilmesine yönelik kapsamlı bir sismik tehlike ve sismik mikrobölgeleme çalışmaları için ideal bir ortam oluşturan CBS teknikleri kullanılmaktadır (Ulutaş ve ark. 2005).

Jeoistatistik, istatistiğin uygulamalı bir dalı olup, ilk olarak yerbilimlerinde karşılaşılan kestirim problemlerinin çözümüne yönelik olarak ortaya çıkmıştır. Jeostatistiğin temeli, Tobler'in (1979) coğrafyanın temel yasası olarak tanımladığı her şey her şeyle ilgilidir fakat yakın şeyler uzak şeylerden daha ilgilidir teorisine dayanır (Yaprak, 2007).

CBS'de konuma dayalı haritalar oluşturulurken, çeşitli enterpolasyon yöntemleri kullanılmaktadır. Bu yöntemler, veri olmayan konumların tahmin edilmesinde kullanılmakta ve jeostatistiksel analiz yöntemleri olarak tanımlanmaktadır. Geoteknik çalışmalar için CBS'de jeostatistiksel analiz yöntemlerinden en çok kullanılanlar, "Mesafenin Tersisi (IDW)" ve "Kriging" yöntemleridir.

Mesafenin Tersisi Yöntemi

Bu yöntemde, yakındaki bilinen bir noktanın değerini ve uzaklığını kullanarak bilinmeyen noktadaki değerler tahmin edilir (IDW bilinen bir noktanın enterpole edilmiş değere katkısını azaltır). Yerel bir yöntemdir ve kesindir. Doğrusal olabilir veya olmayabilir. Örneklenmiş bir veri değerinin ağırlığı (etkisi) tahmin edilen değerden uzaklığı ile ters orantılıdır. Bir başka deyişle, her bir örnek noktasının ağırlığı uzaklıkla ters orantılıdır (Bayraktar, 2007).

Bu çalışma kapsamında, veri dağılım modellenmesinde uzaklığa bağlı tahmin yöntemlerinden yararlanılmıştır. Bu algoritmaya göre, sınırlı bir alandaki örnekleme noktaları bölgesel enterpolasyon için kullanılabilir. IDW yönteminin temel prensibi, yakınındaki örnekleme noktalarının benzer olma olasılığının daha yüksek olması prensibine dayanmaktadır. Bu nedenle bu çalışmada, analiz sonucunda elde edilen verilerin konumsal örneklemler sonrasında, örnek alınmamış noktalar için tahminler yapılmaya çalışılmıştır. Bu yöntemler içinde uzaklığın tersiyle ağırlıklandırılarda örnek nokta değerlerinin ağırlıkları, uzaklığa bağlı olarak değişmektedir. Elde edilen sonuçların kendi içinde dağılımlarına bakılarak jeostatistik modelleme tekniklerinden yararlanılmıştır.

Çalışmada konumları tanımlı 40 adet her bir örnekleme noktası kullanılarak, 1999 Kocaeli depreminin Eskişehir zemininde etkisini görebilmek amacıyla dinamik analizlerden elde edilmiş büyütme değerlerinin IDW yöntemiyle alansal olarak sayısallaştırılması yapılmıştır (Şekil 8).

Şekil 8. Bir boyutlu lineer analiz çalışmaları sonucunda elde edilmiş zemin büyütme değerlerinin Eskişehir şehir merkezi temsili haritası.

Elde edilen harita incelendiğinde Porsuk Nehri etrafındaki, özellikle nüfusun fazla olduğu Sazova, Ertuğrulgazi, Vişnelik mahalleleri ile Bağlar, Deliklitaş, Gökmeydan gibi mahallerde yaklaşık 2,2 ile 2,5 değerini bulan zemin büyütme değerleri görülmektedir. Bu mahalleler Eskişehir’de yapılaşmanın ve yüksek katlı binaların en yoğun olduğu yerlerdir. Bu nedenle bölgedeki çok katlı yapılar belirlenen oranlardaki zemin büyütmesine maruz kalacaktır. Bu büyütme değerleri mikrobölgeleme çalışmalarında kullanılan tehlike düzeyi sınıflamasında B (orta tehlike) olarak nitelendirilmektedir (ISSMFE, 1993 ve Özçep, 2007). Bunun yanında, Aşağısöğütönü-Yukarısöğütönü mahalleleri civarının büyütme oranlarının diğerlerine kıyasla çok küçük olduğu, hatta anakayaya verilen deprem kaydının zemin tarafından yer hareketinin etkisinin büyümesi yerine, tam tersi olarak yer hareketinin etkisinin azaldığı görülmüştür (büyütmenin 1’den küçük olduğu bölgeler). Bu da zemin profilini oluşturan tabakalarının özelliklerinin değişmesinin yapının maruz kaldığı/kalacağı deprem yüklerinin ne kadar değiştiğini göstermektedir. Büyütmenin 1 seviyelerinden çok küçük mesafelerle 2 değerine yaklaştığı bölgelerin varlığı, bölgesel olarak birbirine çok yakın mahallelerde bile büyütme için ortalama bir değerin alınmasının doğru olmadığını kanıtlamıştır.

4. SONUÇLAR

Bu çalışmada Eskişehir şehir merkezi zemininde yapılan sondaj çalışmaları ve arazide sismik çalışmalar yapılarak elde edilen kayma dalgası hızı değerleri tamamen zemini temsil eden gerçek yöntemler kullanılarak belirlenmiş verilerdir. Çalışma alanı için şimdiye kadar yapılmış zemin büyütmesi çalışmaları, başka zeminler için öne sürülmüş ampirik yöntemler kullanılarak yapılmış çalışmalardır. Ancak bu çalışmada ampirik yöntemlere gerek duymaksızın eşdeğer lineer analiz yöntemiyle zeminin dinamik özellikleri belirlenerek büyütme değerleri elde edilmiştir.

Çalışma TBDY 2016, bölüm 16’da belirtilen zeminin sahaya özel dinamik özelliklerinin belirlenmesi yaklaşımına öncülük etmektedir. Coğrafi Bilgi Sistemleri kullanılarak çeşitli değişkenlere göre hazırlanan mikrobölgeleme haritaları, özellikle yeni yerleşim alanlarının belirlenmesinde ve mevcut yerleşim alanlarının zemin özelliklerinin ortaya çıkarılmasında, büyük yararlar sağlamaktadırlar. Hazırlanan haritalar, çalışma alanının genel yapısını ortaya koyduğundan, bu konuda çalışan araştırmacılara bölgenin sismitesi hakkında bilginin yanında zaman ve maliyet kazandırmaktadır. Bu nedenle bu çalışma sonucu elde edilen büyütme haritası, afet öncesi risk belirleme ve azaltma çalışmaları kapsamında, güvenli yapıların inşası için kullanılabilir veri sağlamaktadır.

TEŞEKKÜR

Bu çalışma Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Bilimsel Araştırmaları, Proje no: 2017-1480 ile desteklenmektedir.

KAYNAKLAR

- Akdeniz, E., Güney, Y., Pekkan, E., Avdan, U., Tün, M. ve Ecevitoglu, B.** 2011. Temel Zeminine Ait Jeo-Mühendislik Özelliklerin Coğrafi Bilgi Sistemi Kullanılarak Değerlendirilmesi: Eskişehir İli, Güllük, Yenibağlar ve Bahçelievler Mahalleleri Örneği. 6. *International Advanced Technologies Symposium (Iats'11)*. Elazığ, Turkey.
- Altunel, E. ve Barka, A.** 1998. Eskişehir Fay Zonunun İnönü-Sultandere Arasında Neotektonik Aktivitesi. *Geological Bulletin of Turkey*, 41, 41-52.
- Ansal, A. ve Tönük, G.,** 2007. Source and Site Effects for Microzonation. Theme Lecture, *4th International Conference on Earthquake Geotechnical Engineering*, Earthquake Geotechnical Engineering, Editör: K.Pitilakis, Bölüm4, 73-92, Springer.
- Ansal, A., Tönük, G., Kurtuluş, A.** 2011. Zemin Büyütme Analizleri ve Sahaya Özel Tasarım Depremi Özelliklerinin Belirlenmesi, 1. Türkiye Deprem Mühendisliği ve Sismoloji Konferansı 11-14 Ekim 2011, ODTÜ Ankara.
- Avdan, U. ve Alkış, A.,** 2011. Doğal Afetlere Yönelik Bütünleşik Konumsal Veri Tabanı Modelinin Geliştirilmesi, *Electronic Journal of Map Technologies*, 2011. 3(1): p. 17-26.
- Bayraktar, B.** 2007. Zemin Özelliklerinin Coğrafi Bilgi Sistemi Ortamında Mesafenin Tersi ve Kriging Yöntemiyle Kestirimi, *Yüksek Lisans Tezi*, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Eskişehir.
- Bol, E., Arel, E. ve Önalp, A.** 2007. Yerel Zemin Koşullarının Deprem Hasarına Etkisi-Adapazarı Örneği. *Altuncu Ulusal Deprem Mühendisliği Konferansı*, İstanbul, Türkiye.
- Building Seismic Safety Council.** 2003, *NEHRP Recommended Provisions for seismic Regulations for New buildings and other Structures, Part1: Provisions, FEMA 368*, Federal Emergency Management Agency, Washington, D.C.
- Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik**, T. C. Bayındırlık ve İskan Bakanlığı, Afet İşleri Genel Müdürlüğü, Deprem Araştırma Dairesi, <http://www.deprem.gov.tr>, 2007.
- Gözler, M. Z., Cevher, F., Küçükayman, A.,** 1985. *Eskişehir ve Civarının Jeolojisi ve Sıcak Su Kaynakları*.
- Gözler, M., Cevher, F., Ergül, E. ve Asutay, H.** 1997. *Orta Sakarya ve Güneyinin Jeolojisi. Mta Rapor*, 87.
- Güney, Y., Ecevitoglu, B., Pekkan, E., Avdan, U., Tün, M., Kaplan, O., Mutlu, S., Akdeniz, E. ve ...** 2013 ; *"Eskişehir Yerleşim Yerinde, CBS Teknikleri Kullanılarak Geoteknik, Yapı ve Jeofizik Bilgi Sisteminin Oluşturulması"*, Anadolu Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projesi, Proje No:080240.
- ISSMFE,** 1993. *Manual for Zonation on Seismic Geotechnical Hazards*, Published by Japanese Society of Soil Mechanics and Foundation Engineering.
- Koçyiğit, A.,** 2005. Türkiye ve yakın çevresinin neotektonik bölümlenmesi: Güneybatı Türkiye’de neotektonik rejimin gelişim tarihçesi, çok yönlü genişleme ve deprem tehlikesi, *Eskişehir Fay Zonu ve İlişkili Sistemlerin Depremselliği Çalıştayı*, Genişletilmiş Bildiri Özetleri Kitabı. Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Eskişehir: p. 1-2.
- MacMurdo, J.,** 1824, *Papers relating to the earthquake which occurred in India in 1819*, Philosophical Magazine, Vol. 63, pp. 105-177.
- Mutlu, S.** 2012. Sismik Kırılma Yöntemi ve Mikrotremör Ölçümlerinden Elde Edilen Dinamik Zemin Parametrelerinin Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) Kullanılarak Haritalanması, *Yüksek Lisans Tezi*, Anadolu Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Eskişehir.
- Ocakoğlu, F., Altunel, E., Yalçiner, C.** 2005. *Eskişehir Bölgesinin Neotektonik Dönemdeki Tektono-Stratigrafik ve Sedimentolojik Gelişimi. Final Raporu*. Osmangazi Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Komisyonu: Osmangazi Üniversitesi.
- Orhan, A.** 2005. Eskişehir İl Merkezi Güney Bölümü Temel Zemin Birimlerinin Jeo-Mühendislik Özellikleri ve Coğrafi Bilgi Sistemi'nin Uygulanması, *Doktora Tezi*, Osmangazi Üniversitesi.

Ölmez, E. Ve Yücel, B., 1985. *Eskişehir ve Yöresinin Jeotermal Enerji Olanakları*, Enerji Hammadde Etüd ve Arama Dairesi Başkanlığı: Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü.

Selçuk, M. E., Kılıç H., Özaydın, K, 2007, ‘‘Kalın Zemin Çökellerinde Eşdeğer-Linear Ve Nonlinear Analiz Sonuçlarının Karşılaştırılması ‘’, *Altıncı Ulusal Deprem Mühendisliği Konferansı*, 16-20 Ekim 2007, İstanbul Sixth National Conference on Earthquake Engineering, 16-20 October 2007, İstanbul, Turkey.

Tosun, H. ve Orhan, A. 2007. *Coğrafi Bilgi Sistemi Programlarının Temel Zemininin Jeo-Mühendislik Özelliklerin Belirlenmesinde Kullanımı: Eskişehir Örneği*. ESOGÜ Müh. Mim. Fakültesi Dergisi, Eskişehir, 20(2007/2): p. 43-64.

Tün, M. 2013. Mikrobölgeleme Çalışmalarında Yer Tepkisi ve Kayma Dalga Hız (Vs) Yapısının Yorumlanması: Eskişehir Örneği. *Doktora Tezi*, Jeofizik Müh. Bölümü, İstanbul Üniversitesi.

Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği (TBDY) 2016., Yayın tarihi: 00.00.2016, Resmî Gazete No.:00000.

Ulutaş, E., Çetinel T., Güven İ.T., Tunç B., Irmak T.S., Tunç S., Çaka D, Aşçı M., Özer, M.F. 2005. Sismik Mikrobölgeleme Çalışmalarında CBS (Coğrafi Bilgi Sistemi) Kullanım Yöntemi, *Deprem Sempozyumu*, Kocaeli.

Yaprak, S. 2007. Kriging Yönteminin Geoit Yüzeyi Modellemesinde Kullanılabilirliğinin Araştırılması ve Varolan Yöntemlerle Karşılaştırılması, *Doktora Tezi*, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

Yıldırım, A. ve Gürsoy, T. 1985. *Eskişehir İl Merkezi ve Yakın Çevresi Detay Jeotermal Gravite Etüdü*. Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü.