

Balıkesir’de Mikrobölgeleme Uygulaması

Banu YAĞCI*
Atilla ANSAL**

ÖZ

Bu çalışmada, derlenen sismolojik, jeolojik ve geoteknik verilere dayalı olarak belirlenen yaklaşımlar doğrultusunda Balıkesir için bir mikrobölgeleme yöntemi geliştirilmiştir. Yöntemin uygulaması BPH ve 18-02 Bölgesi olarak tanımlanan inceleme alanlarını kapsamaktadır. Çalışmanın ilk aşamasında, olası Balıkesir tasarım depremi için belirlenen hedef ivme spektrumları ile uyumlu ivme zaman kayıtları üretilmiş, ikinci aşamada geoteknik veri tabanlarına dayalı olarak, belirlenen hücre sisteminde temsili zemin profilleri modellenmiştir. Modellenen profiller için zemin büyütme analizleri ve NEHRP büyütme parametreleri kullanılarak iki farklı yaklaşım ile yüzeydeki spektral ivmeler hesaplanmıştır. Bu iki şekilde hesaplanan spektral ivmelerin inceleme bölgesi içindeki değişimi dikkate alınarak yer sarsıntısı şiddetine göre mikrobölgeleme haritaları oluşturulmuştur.

Anahtar Kelimeler; Mikrobölgeleme, spektral ivme, yer sarsıntısı şiddeti.

ABSTRACT

Microzonation Study in Balıkesir

In this study, microzonation methodology was developed for Balıkesir based on the existing data. The application of this methodology include areas defined as BPH and 18-02. Acceleration records were simulated compatible with target acceleration spectra estimated for Balıkesir design earthquake. Representative soil profiles were modeled by a grid system based on geotechnical data. Spectral accelerations on the ground surface were calculated by two different approaches based on site response analysis and NEHRP amplification factors. Microzonation maps were produced with respect to ground shaking intensity taking into account the variation of the spectral accelerations based on these two procedures.

Keywords; Microzonation, spectral acceleration, ground shaking intensity.

Not: Bu yazı

- Yayın Kurulu'na 12.12.2007 günü ulaşmıştır.
- 31 Mart 2009 gününe kadar tartışmaya açıktır.

* Balıkesir Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Balıkesir - byagci@balikesir.edu.tr

** Boğaziçi Üniversitesi, Kandilli Rasathanesi ve Deprem Arş. Ens., İstanbul - ansal@boun.edu.tr

1. GİRİŞ

Mikrobölgeleme olası bir depremde zemin yüzeyinde oluşacak deprem özelliklerinin tahmin edilmesinde deprem kaynak özellikleri, yol ve zemin koşullarının karşılıklı etkileşimini göz önüne alan çok boyutlu bir konudur. Zemin tabakalarının deprem etkileri altındaki davranışlarının ve dolayısıyla zemin yüzeyinde deprem özelliklerindeki değişimlerin belirlenmesi çalışmalarını kapsar. Bu doğrultuda mikrobölgeleme çalışmalarında, olası deprem özellikleri ve etkisinin göz önüne alınması gerekmektedir.

Bu çalışmada Balıkesir etrafındaki sismik geçmiş ve depremsellik ile ilgili mevcut veriler gözönüne alınarak, tasarım depremi olasılıksal bir yaklaşım ile belirlenmiştir. Belirlenen tasarım depremi için ana kaya seviyesindeki eş tehlike davranış spektrumları bölgesel sismik tehlike ile uyumlu farklı azalım ilişkileri kullanılarak hesaplanmış ve bu ivme spektrumları ile uyumlu yapay ivme zaman kayıtları üretilmiştir. Bu amaçla, frekans tanım alanındaki spektral uyuşum yöntemlerinden biri olan RASCAL (Response Spectra and Acceleration Scaling) programı [1] kullanılmıştır. RASCAL gerçek yer hareketi kaydına ait Fourier faz spektrumunun kullanımıyla birlikte rassal titreşim teorisine dayalı geliştirilen yarı-ampirik bir yöntemdir. Basit fonksiyonel formdaki kaynak özellikleri ve dalga yayılım ortamı için stokastik bir yaklaşımla, hedeflenen davranış spektrumlarıyla uyumlu ivme zaman kayıtları üretmektedir.

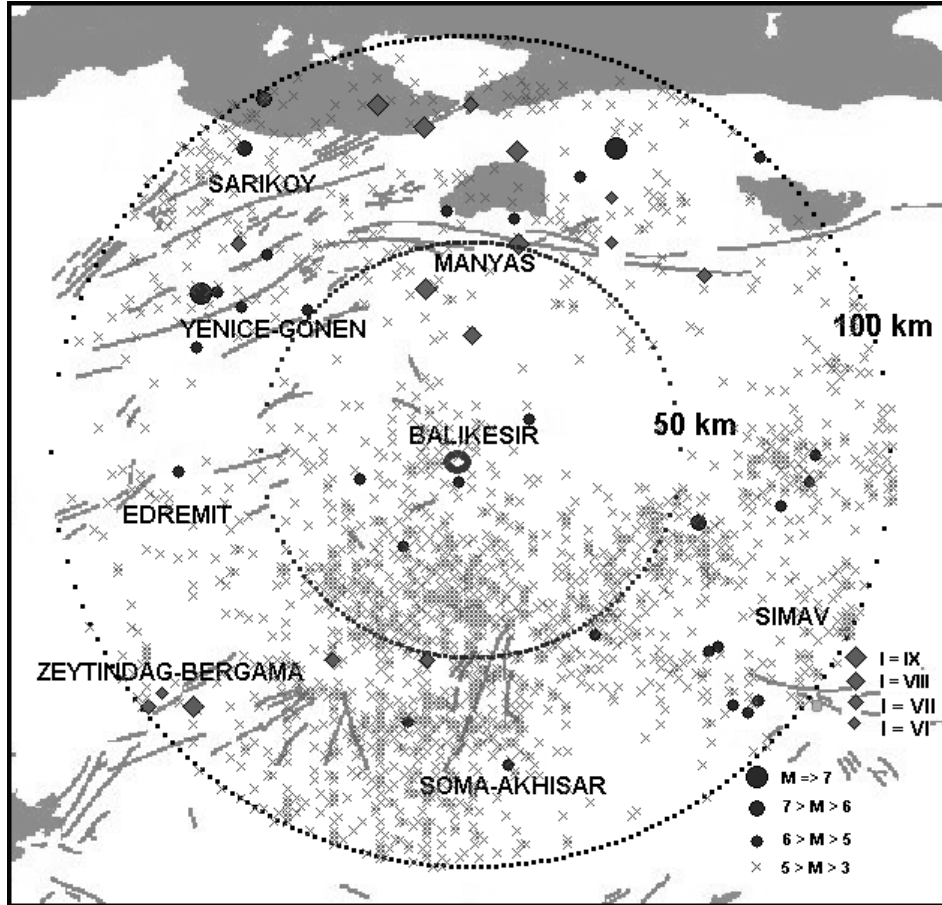
Balıkesir yerleşim alanı sınırları içindeki geoteknik veriler iki farklı kaynaktan sağlanmıştır. Bu kaynakların ilki, BPH Bölgesi (Bahçelievler, Plevne ve Hasan Basri Çantay mahallelerini kapsayan alan) ve 18-02 Bölgesi olarak tanımlanan inceleme alanlarında homojen bir dağılımda yer alan ve Balıkesir Belediyesi için yerleşime uygunluk çalışması [2] kapsamında yapılmış, sondajlar ve SPT deneylerini içermektedir. Diğer kaynak, Belediye sınırları içinde özel şirketler tarafından yapılmış toplam 802 zemin etüdünün derlenmesi ile oluşturulmuştur. Bu veri tabanlarına dayalı olarak geoteknik modelleme aşamasında, inceleme alanları, seçilen hücre sistemi (250m×250m boyutlu) ile karelere ayrılmış ve her hücrenin ortasına atanacak bir temsili zemin profili belirlenmiştir. Hücre boyutları, mevcut veri dağılımıyla uyumlu olarak düzenlenmiş ve seçilen konum hassasiyetine bağlı olarak çalışmanın ölçeğini belirlemiştir. Bu yaklaşım ile hücre içindeki tüm verilerin kullanılmasına dayalı olarak zemin profili ile ilgili daha kapsamlı ve güvenilir bilgi elde edilmekte ve haritalama aşamasında sondajlar ve/veya araştırma noktaları arasındaki farklı uzaklıklardan kaynaklanan etkiler ortadan kaldırılmaktadır [3].

Modellenen temsili profillerin zemin davranış analizleri SHAKE91 [4] programı ile yapılmıştır. Mikrobölgeleme parametrelerinden biri zemin davranış analizi sonuçlarına diğeri ise Borcherdt [5] ampirik ilişkisine dayalı olarak hesaplanan spektral ivmelerdir. İki farklı yaklaşım ile hesaplanan spektral ivmeler için Balıkesir yerleşim alanının tamamını göz önüne bir yaklaşımla belirlenen göreceli sonuçlar birleştirilmiş ve yer sarsıntısı şiddetine göre mikrobölgeleme amacıyla inceleme alanlarında 3 farklı bölge tanımlanmıştır.

2. TASARIM DEPREMİ VE YAPAY İVME ZAMAN KAYITLARI

Balıkesir’in etrafında 100km yarıçapındaki bir alan içinde kalan sismik etkinlikler ($M \geq 3$), çoğunlukla kuzeyde yer alan Yenice-Gönen, Manyas, Sarıköy, batıda yer alan Edremit, güney batıda yer alan Zeytindağ-Bergama, güneyde yer alan Soma-Akhisar ve

güneydoğuda bulunan Simav fay bölgelerinde oluşmaktadır. Geçmiş depremlerde bu faylarda gözlenen özellik genel olarak yanıl atım bileşeni olan normal faylanmadır. Bu sismotektonik bölge içinde tarihsel dönemde (M.S.29 ile 1900 arası) toplam 29, aletsel dönemde (1900 sonrası) ise toplam 164 depremin meydana geldiği gözlenmiştir (Şekil 1).



Şekil 1. Balıkesir çevresindeki 100 km yarıçaplı alan içinde tarihsel ve aletsel dönemde meydana gelen depremlerin büyüklüklerine ve konumlarına göre dağılımı

Bu bulgulara dayalı olarak sismik tehlike aşılma olasılıkları belirlenmiştir. Uygulanan yaklaşımda, depremlerin büyüklüklerine göre dağılımını model eden, Gutenberg-Richter frekans büyüklük ilişkisi regresyon analizleri, tarihsel ($I > VI$) ve aletsel ($M \geq 4$) dönemler için ayrı hesaplanmıştır. Bu aşamada, tarihsel döneme ait şiddet cinsinden verilen kayıtlar, Türkiye için Ansal [6] tarafından geliştirilmiş

$$M = 0.594 I_0 + 1.36 \quad (1)$$

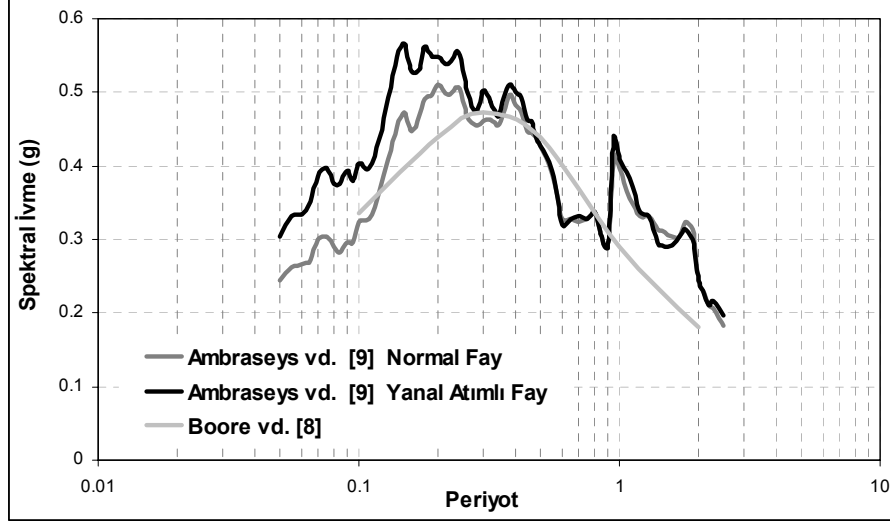
Balıkesir’de Mikrobölgeleme Uygulaması

bağıntısı kullanılarak büyüklük değerlerine dönüştürülmüştür. Tarihsel ve aletsel dönemler için deprem büyüklüğü cinsinden dönüşüm periyotları ve benzer şekilde Balıkesir Belediyesi sınırları içindeki bütün yapılar için yapı ömrü $T=50$ yıl kabul edilerek, deprem büyüklüğü cinsinden aşılma olasılıkları bulunmuştur. Tarihsel depremlerin %40, aletsel depremlerin %60 olarak alındığı bir ağırlıklı ortalama yönteminin benimsendiği hesaplar sonucu, Balıkesir Belediyesi sınırları içinde 50 yılda %10 aşılma olasılığına veya 475 yıllık dönüşüm periyoduna karşı gelen deprem büyüklüğü $M_s=7.5$ olarak belirlenmiştir [7].

İnceleme bölgesinin jeolojik ve tektonik özellikleri ile ilgili çalışmalar bölgedeki aktif fayların nispeten karmaşık bir yapısı olduğunu göstermektedir. Bu durumda büyük bir depremin olası dış merkezinin ve bununla ilişkili fayın, Balıkesir etrafındaki 100km yarıçaplı alan içinde herhangi bir noktada olabileceği varsayılmış ve tasarım deprem büyüklüğü seçilirken benimsenen tehlike mertebesine eşit genel bir tehlike mertebesinin sağlanabilmesi için deprem dış merkez uzaklığının seçiminde de olasılıksal bir yaklaşım izlenmiştir. Bu yaklaşımda, aletsel olarak kayıt edilmiş küçük ve orta büyüklükteki ($M \geq 2$) depremlerin dış merkezlerinin, olası dış merkezler olabileceği kabul edilmiş ve çeşitli olasılık modelleri kullanılarak yapılan değerlendirmeler sonucu tasarım depremi kaynak uzaklığı, $R=40$ km olarak hesaplanmıştır [7].

Anakaya seviyesindeki ivme spektrumlarının hesaplanmasında, bölgesel sismik tehlike ile uyumlu iki azalım ilişkisi (Boore vd. [8], Ambraseys vd. [9]) seçilmiştir. Balıkesir bölgesindeki faylarda geçmiş depremlerde gözlenen özelliğin genel olarak yanal atım bileşeni olan normal faylanma olduğu bilinmektedir. Diğer yandan seçilen iki azalım ilişkisinin veri tabanı farklılıklarına dayalı olarak fay tipi parametreleri de farklıdır. Boore vd. [8] azalım ilişkisinde normal ve yanal atımlı faylar tek bir grup altında, Ambraseys vd. [9] azalım ilişkisinde ise ayrı değerlendirilmektedir. Bu durum göz önüne alınarak, RASCAL ile yapılacak simülasyonlarda her iki azalım ilişkisinin de kullanılmasına karar verilmiş ve 3 ayrı hedef spektrum hesaplanmıştır (Şekil 2). Bu aşamada tasarım kriteri olarak belirlenmiş genel tehlike mertebesini koruyabilmek amacıyla azalım ilişkilerindeki değişkenlik ve saçılım da aşılma olasılıkları cinsinden değerlendirilmiştir.

RASCAL programının girdisi olan gerçek kayıtlar, Ambraseys vd. [9] çalışması veritabanından, Türkiye’deki moment büyüklüğü 5 den büyük ve faya olan uzaklıkları yaklaşık olarak $20\text{km} < R < 60\text{km}$ olan depremler arasından seçilmiştir (Tablo 1). Burada amaç, Balıkesir için belirlenen tasarım parametreleri ile büyüklük ve frekans içeriği açısından uyumun sağlanmasıdır. Kaynak ve yol özelliklerine ait bölgesel parametrelerden, gerilme farkı $\Delta\sigma=100$ bar, frekans bağımlı kalite faktörü $Q=300 f^{0.5}$ ve yüksek frekans azalım parametresi $\kappa=0.035$ alınmıştır. Simülasyonlarda her bir hedef spektrum için farklı iki gerçek ivme zaman kaydı kullanılmış ve 6 ivme zaman kaydı üretilmiştir (Tablo 2). İvme-zaman grafikleri Şekil 3’de sunulmuş olan yapay kayıtlara ait bazı yer hareketi parametrelerinin değişimi Tablo 3’de gösterilmiştir. Farklı azalım ilişkilerine dayalı hedef spektrumlar için farklı yer hareketi kayıtları kullanılarak, RASCAL ile üretilen kayıtlara ait yer hareketi parametresi değerlerinin genel olarak geniş bir dağılım gösterdiği söylenebilir.



Şekil 2. Ana kaya seviyesinde 50 yılda %10 aşılma olasılığı için hesaplanan eş tehlike ivme spektrumları

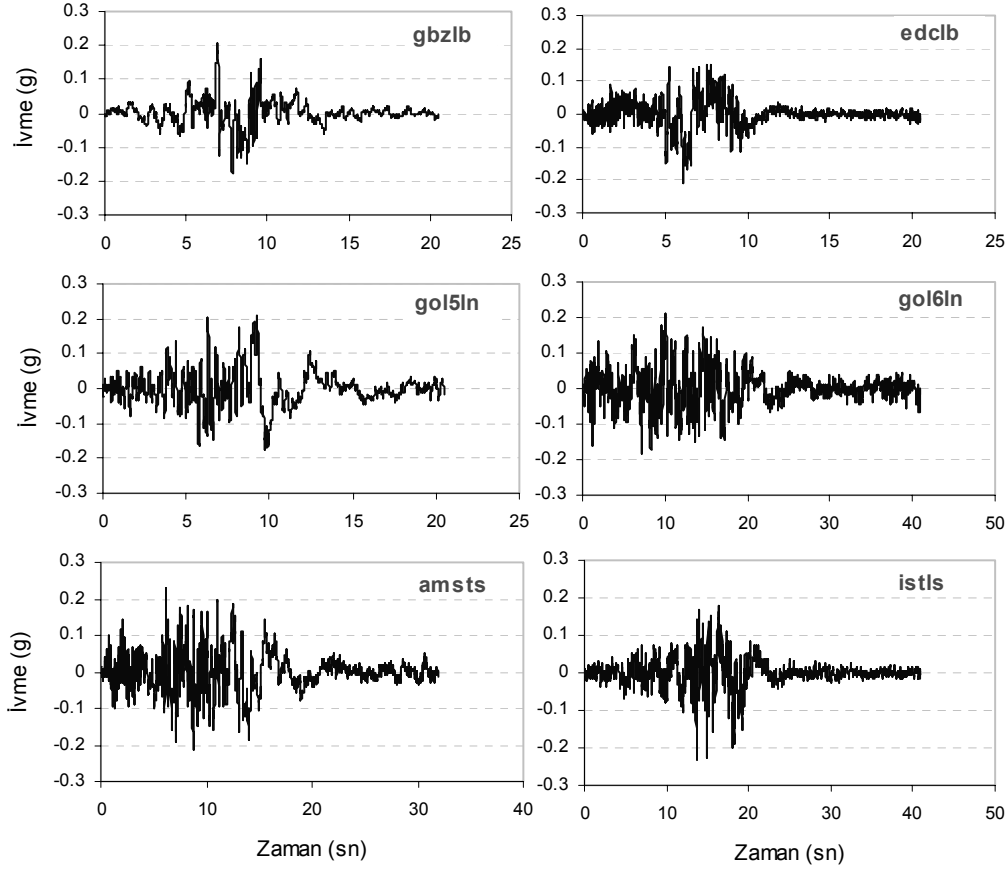
Tablo 1. Rascal programının girdisi gerçek yer hareketi kayıtları

| Deprem | Tarih | Zaman | M _w | Fay Kırılma Mekanizması | Kodu | İstasyon | Faya Uzaklık |
|--------------------|------------|----------|----------------|-------------------------|------|----------------------|--------------|
| Kocaeli | 17.08.1999 | 00:01:40 | 7.6 | yanal atım | gbz | Gebze-TMAM | 30 km |
| Kocaeli | 17.08.1999 | 00:01:40 | 7.6 | yanal atım | ist | İstanbul-B.İ.M. | 61 km |
| Biga-Çanakkale | 05.07.1983 | 12:01:27 | 6.1 | belirsiz | edc | Edincik-Kan.Göz.İst. | 56 km |
| Doğanşehir-Malatya | 05.05.1986 | 03:35:38 | 6 | belirsiz | gol5 | Gölbaşı-Dev. Has. | 27 km |
| Doğanşehir-Malatya | 06.06.1986 | 10:39:47 | 5.8 | yanal atım | gol6 | Gölbaşı-Dev. Has. | 34 km |
| Amasya | 14.08.1996 | 01:55:03 | 5.7 | yanal atım | ams | Amasya-Bay. Müd. | 33km |

Tablo 2. RASCAL programı ile üretilen yapay kayıtların girdileri

| RASCAL ile üretilen yer hareketi kaydı tanımlamaları | RASCAL programı girdileri | |
|--|----------------------------|--|
| | Kullanılan yer hareketi | Kullanılan hedef spektrum |
| gbzlb | Gebze kaydı L bileşeni | Boore vd. [8] |
| edclb | Edincik kaydı L bileşeni | Boore vd. [8] |
| gol5ln | Gölbaşı-5 kaydı L bileşeni | Ambraseys vd. [9], normal fay için |
| gol6ln | Gölbaşı-6 kaydı L bileşeni | Ambraseys vd. [9], normal fay için |
| İstls | İstanbul kaydı L bileşeni | Ambraseys vd. [9], yanal atımlı fay için |
| amsts | Amasya kaydı T bileşeni | Ambraseys vd. [9], yanal atımlı fay için |

Balukesir’de Mikrobölgeleme Uygulaması



Şekil 3. RASCAL programı ile üretilen ivme zaman kayıtları

Tablo 3. RASCAL programı ile üretilen ivme zaman kayıtlarına ait parametreler

| | Maks. İvme g | Maks. Hız cm/sn | Arias Şiddeti m/sn | RMS İvme g | İvme spektrum şiddeti g | Hız spektrum şiddeti cm/sn | Süre * sn | Süre ** sn |
|-----------------------------|-----------------|--------------------|-----------------------|---------------|----------------------------|-------------------------------|--------------|---------------|
| gbzlb | 0.2079 | 54.759 | 0.467 | 0.0385 | 0.166 | 91.43 | 20.43 | 8.06 |
| edclb | 0.2079 | 62.366 | 0.523 | 0.0407 | 0.172 | 99.529 | 20.40 | 7.59 |
| gol5ln | 0.2108 | 78.988 | 0.827 | 0.0512 | 0.212 | 148.61 | 20.48 | 9.63 |
| gol6ln | 0.2108 | 52.726 | 1.532 | 0.0493 | 0.202 | 154.09 | 40.95 | 24.56 |
| istls | 0.2317 | 52.106 | 0.907 | 0.0379 | 0.206 | 145.25 | 40.67 | 14.56 |
| amsts | 0.2317 | 59.318 | 1.301 | 0.0514 | 0.223 | 153.28 | 31.94 | 16.32 |
| * Bracketed , **Significant | | | | | | | | |

3. GEOTEKNİK MODELLEME

Balıkesir yerleşim alanında topoğrafik olarak düz olan kısımların büyük bir çoğunluğu, 1/25000 ölçekli jeolojik çalışmalara [2] göre neojen yaşlı, konglomera, kumtaşı, marn, kiltası, killi kireçtaşı ve kireçtaşı ardalansından meydana gelmiş, eş zamanlı tüf, aglomera ve lavlar ile yanall ve düşey geçişli, sediment birimlerle kaplıdır. Topoğrafik olarak daha yüksek olan bölgeler ise neojen yaşlı volkanik kayalar olarak tanımlanmaktadır. 1/2000 ölçekli çalışmalarda [2] BPH bölgesinin tamamı ve 18-02 bölgesinin büyük bir kısmı (Ayşebacı olarak bilinen bölgedeki alüvyonlar dışında) tüfit birimleri ile tanımlanmıştır. 1/5000 ölçekli bir diğer çalışmada [10] ise 18-02 bölgesinin tamamı alüvyon olarak tanımlanmaktadır.

Geoteknik veriler farklı iki veri tabanına dayanmaktadır. Özel şirketlerce yapılmış ve yerleşim alanı sınırları içindeki zemin etütlerinin çoğu; 5m ile 10m arasında bir sondaj, ortalama ilk 5-6m ile sınırlı kalan 3-4 noktada SPT deneyi, en fazla 3 veya 4 noktada zemin sınıflandırma deneyleri ve zemin cinsi ile bağlantılı olarak bir nokta için serbest basınç ve/veya konsolidasyon deneylerini içermektedir. İnceleme alanlarındaki (BPH ve 18-02 Bölgesi) yerleşime uygunluk çalışmaları kapsamında, 250-500m aralıklarla homojen bir dağılımda düzenlenmiş olan sondajlar ise ortalama 15m derinliğinde olup, çok az sayıda laboratuvar deneyi ve ortalama 10-15m lik SPT deneylerini kapsamaktadır. BPH Bölgesi, 18-02 Bölgesinden farklı olarak her iki veritabanına ait verilerin de yer aldığı bir bölgedir (Şekil 4). Dolayısıyla mikrobölgeleme çalışmaları için göz önüne alınan iki inceleme alanındaki veritabanları farklılık göstermektedir.

Geoteknik modelleme aşaması, farklı yöntemlere dayalı arazi ve laboratuvar deney sonuçlarının birleştirilmesini sağlayacak bir yaklaşımın belirlenmesini gerektirmektedir. Ancak kapsamlı arazi ve laboratuvar deneylerine dayalı çalışmalarda bile, geoteknik veri sentezindeki farklı kriterler ve yorumlar, zemin davranış modellerinde değişikliğe neden olabilmekte ve dolayısıyla model sonuçlarını değiştirebilmektedir [11, 12]. Diğer yandan yetersiz veri tabanı, geoteknik modelleme aşamasında farklı yaklaşımların denenmesini gerektirebilir [13,14].

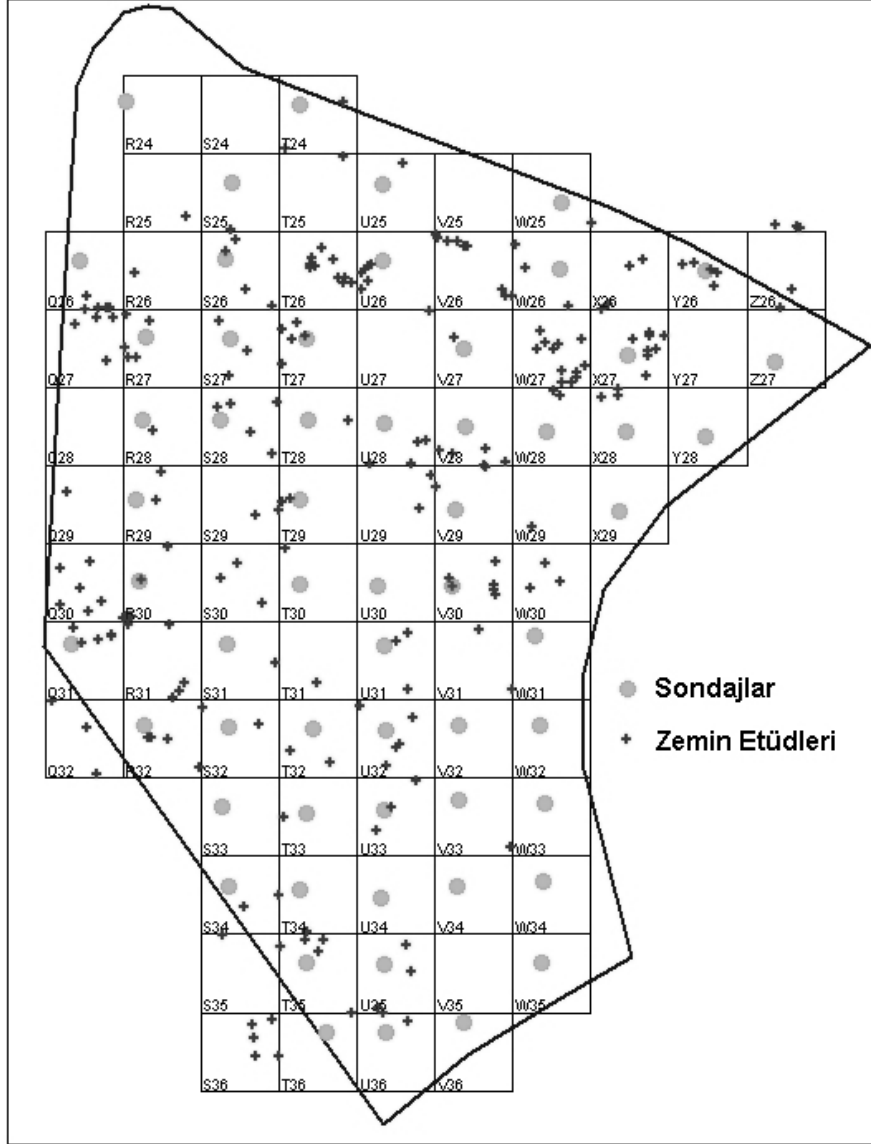
Bu çalışmada BPH Bölgesindeki farklı kaynaklı geoteknik verinin birlikte değerlendirilmesi ve yorumlanması sonucu belirlenen yaklaşımlar kullanılmış ve bölgedeki 58 sondaj ve 227 zemin etütünün Şekil 4'de gösterilmiş olan dağılımına dayalı olarak en uygun hücre boyutu 250m olarak belirlenmiştir.

Farklı veri gruplarının doğal sonucu olarak zemin tabakaları değişken seviyede bilgi ve detay içermektedir. Sondajlarda her bir zemin tabakası için arazi yorumlarını destekleyen laboratuvar deneyleri yok denecek kadar az iken, diğer veri grubunda yer alan zemin etütlerindeki sondajlar için tanımlamaları destekleyecek çok sayıda laboratuvar deneyi bulunmaktadır. İnceleme alanlarında homojen bir dağılım gösteren sondajlar tek bir çalışma grubu tarafından, homojen bir dağılımda olmayan zemin etütleri ise farklı şirketler ve dolayısıyla farklı kişiler tarafından yapılmıştır. Bu doğrultuda ilk 5-8m deki zemin tabakaları çok sayıda laboratuvar deneyine dayalı olarak belirlendikten sonra homojen dağılımdaki derin sondaj bilgileri göreceli olarak yorumlanmıştır.

18-02 Konut Bölgesi veri tabanında özel şirketlerden derlenen zemin etütlerinin olmayışı, BPH Bölgesindeki durumdan farklı olarak zemin tanımlamalarının desteklenmesi ve karşılaştırmalara dayalı olarak yorumlanması durumunu ortadan kaldırmıştır. Ancak derin

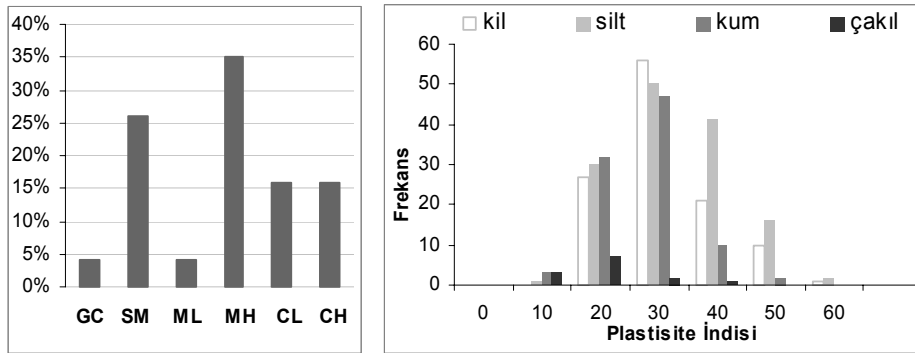
Balikesir’de Mikrobölgeleme Uygulaması

ve homojen dağılımdaki sondajların her iki bölge için de tek bir çalışma grubu tarafından yapıldığı ve BPH bölgesinde modellenen profillerin de temelde bu sondajlara dayandığı göz önüne alındığında; bölgesel olarak jeolojik farklılıkları da dikkate alan göreceli bir yaklaşım uygulanabilmiştir.



Şekil 4. BPH Bölgesi 250m×250m boyutlu hücre sisteminde sondajların ve zemin etütlerinin dağılımı

BPH Bölgesindeki zemin etütleri, üst tabakalarla sınırlı olmakla birlikte, zemin sınıflandırmasına yönelik olarak granülometri ve kıvam limitlerinin belirlendiği 362 laboratuvar deneyi içermektedir. Deney sonuçlarına göre zeminlerin %70'ini, birleştirilmiş zemin sınıflandırma sistemine dayalı olarak silt ve elastik silt (ML, MH) yalın ve yağlı kil (CL, CH) sınıfındaki zeminler, %26'sını killi kumlar (SC) ve %4'ünü killi çakıllar (GC) oluşturmaktadır (Şekil 5). Kum zeminlerdeki ince dane oranı genel olarak %30 un üstünde ve %50'ye yakın, diğer taraftan kil zeminlerdeki kum oranı da %30 ile %50 arasında kalmaktadır. %71'i kil-silt ve %26'sı %30' un üstünde kil içeren kum şeklinde dağılım gösteren bu zeminlerin plastisite indisleri 10 ile 50 arasında değişmektedir (Şekil 5).



Şekil 5. Birleştirilmiş Zemin Sınıflandırma Sistemine göre tanımlanan BPH Bölgesindeki zemin cinslerinin ve plastisite indislerinin frekans dağılımı

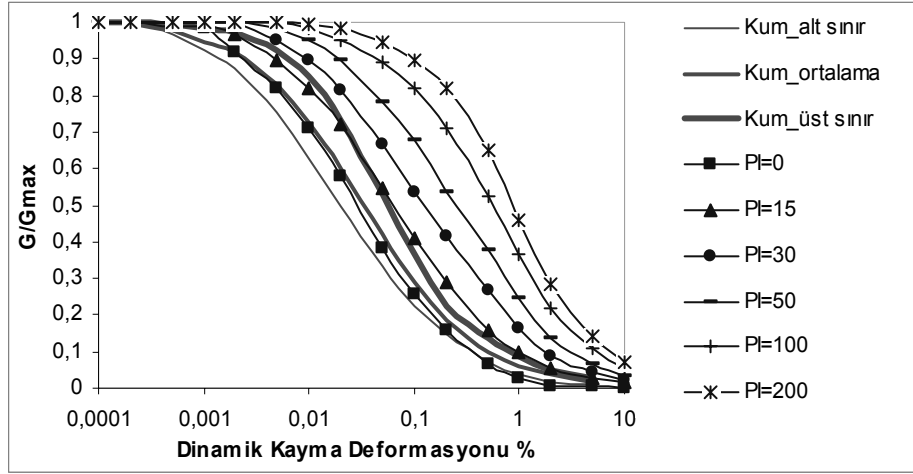
Birleştirilmiş zemin sınıflandırma sistemine göre tanımlanmış bölgedeki kum zeminlerin, ince dane oranı %30'un üstünde ve plastisite indisleri 20 ile 50 arasında değişmekte iken, literatürdeki kumların dinamik davranışlarını modelleyen eğriler çoğunlukla plastisite indisi en fazla 15 olan zeminler olarak yorumlanmaktadır [15, 16]. Diğer taraftan kil ve silt olarak tanımlanan zeminlerdeki kum oranının da %30 ile %50 arasında değiştiği göz önüne alındığında, bölgedeki zemin gruplarının ve dinamik davranış modellerinin farklı bir sınıflandırmaya dayalı olarak tanımlanmasının daha uygun olacağı düşünülmüştür.

Seed vd. [17] tarafından sismik analizler için önerilen sınıflandırma sisteminde zeminler, ince dane oranının %30 dan fazla ($15 \leq PI \leq 90$ kohezyonlu) ve %30 dan az (kohezyonsuz) olduğu iki ayrı grup altında değerlendirilmektedir. Benzer şekilde, İngiliz Zemin Sınıflandırma Sistemine göre, silt ve kil tanımlı zeminlerde ince dane oranı %35 ile %100 arasında kalmaktadır. Diğer yandan zeminlerin gerilme-deformasyon davranışları geoteknik deprem mühendisliğinin ilk yıllarında kaba ve ince daneli zeminler için ayrı değerlendirilirken; son araştırmalar, plastik olmayan kaba daneli zeminler ile plastik ince daneli zeminlerin dinamik davranışları arasında kademeli bir geçiş olduğunu göstermektedir [18].

Vucetic ve Dobry [15], 1985 Michoacan depremindeki Mexico City kilinin performansının değerlendirildiği bir araştırma sonuçlarına dayalı olarak, kayma modülü ve sönüm oranı

Balikesir’de Mikrobölgeleme Uygulaması

eğrilerini, plastisite indisinin fonksiyonu olarak önermişlerdir (Şekil 6). SM-ML, SM, MH ve ML olmak üzere 4 farklı grupta tanımlanan zeminlerin dinamik davranışlarının incelendiği bir diğer çalışmada da Vucetic ve Dobry [15] tarafından önerilen eğrilerle uyumlu sonuçlar elde edilmektedir [19].



Şekil 6. Vucetic ve Dobry [15] tarafından plastisite indisinin fonksiyonu olarak önerilen kayma modülü eğrilerinin, kumlar için Seed ve Idriss [16] tarafından önerilen eğrilerle karşılaştırılması

Sun vd. [20] tarafından geliştirilen modeller, plastisite indisine dayalı olarak 5 ayrı eğri içermektedir. Özellikle düşük plastisiteli zeminlerin kayma modülü ve sönüm özelliklerinin, efektif çevre basıncından etkilenmeleri nedeniyle; Ishibashi ve Zhang [21] model eğrileri, bu iki parametreye dayandırılmıştır. Türkiye'nin farklı bölgelerinden alınmış MH, CL ve CH zemin tipindeki numunelere dayalı bir çalışmada da, G/G_{max} eğrisi için plastisite indisine dayalı ampirik bir ilişki önerilmektedir [22]. Diğer taraftan Seed ve Idriss [16] tarafından kumlar için geliştirilen eğriler üç farklı sınırdan sunulmaktadır. Ayrıca çakıllar için Seed vd. [23], kayalar için ise Schnabel vd. [24], tarafından geliştirilen eğriler kullanılabilir.

Bu doğrultuda, literatürdeki dinamik davranış modelleri de göz önüne alınarak, BPH bölgesi için temsili zemin profillerinin modellenmesi aşamasında uygulanacak yaklaşımlar belirlenmiştir. Tablo 4 ve Tablo 5’de bu yaklaşıma dayalı olarak ortaya çıkan zemin grupları ve seçilen dinamik davranış modelleri gösterilmiştir. Modellemede, kil-silt oranı %30 un üstünde olan zeminler kil olarak tanımlanmakta ve plastisite indislerine göre gruplanmaktadır.

Tablo 4. Geoteknik modelleme için belirlenen zemin grupları

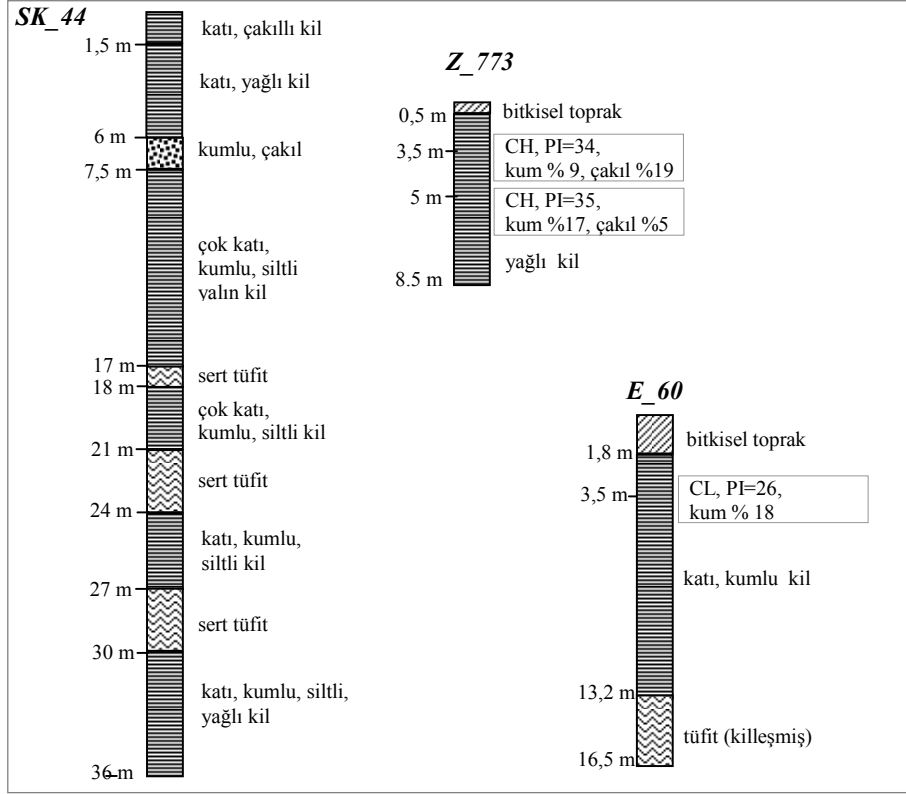
| Birleştirilmiş Zemin Sınıflandırma Sistemine göre tanımlanan zeminler | Zemin grupları | Dinamik Davranış Modelleri |
|---|-------------------------|---|
| SM-SC / GM-GC (FC < %30) | Kum / Çakıl | Seed ve Idriss LB [16] / Seed vd. [23] |
| SM-SC / GM-GC (%30 ≤ FC ≤ %49) | Kumlu Kil / Çakıllı Kil | Plastisite İndisine dayalı olarak Vucetic ve Dobry [15] |
| CL-CH (S > %30 / G > %30) | | |
| ML-MH (S > %30 / G > %30) | | |
| CL-CH (S < %30 / G < %30) | Kil | Plastisite İndisine dayalı olarak Vucetic ve Dobry [15] |
| ML-MH (S < %30 / G < %30) | | |

Tablo 5. Geoteknik modellemede kullanılan zemin gruplarının dinamik davranış modelleri

| Zemin No | Zemin Grubu | Dinamik Davranış Modeli |
|----------|------------------------------------|-----------------------------|
| 1 | Dolgu zemin | Vucetic ve Dobry [15] PI=0 |
| 2 | Kil-Kumlu kil $10 \leq PI \leq 20$ | Vucetic ve Dobry [15] PI=15 |
| 3 | Kil-Kumlu kil $20 \leq PI \leq 40$ | Vucetic ve Dobry [15] PI=30 |
| 4 | Kil-Kumlu kil $PI \geq 40$ | Vucetic ve Dobry [15] PI=50 |
| 5 | Kum | Seed ve Idriss [16] LB |
| 6 | Çakıl | Seed vd. [23] |

Belirlenen yaklaşıma dayalı olarak her bir hücredeki farklı veri gruplarına ait sondajların değerlendirilmesi ve temsili bir sondaj modelinin yorumlanması aşamasında, laboratuvar deneyleri ve arazideki gözleme dayalı tanımlamaların birbirini desteklediği ve desteklemediği durumlar incelenmiştir. İlk aşamada, farklı veri tabanlarına ait laboratuvar deney sonuçları ile gözleme dayalı zemin tanımlamalarının uyumlu olduğu hücreler için modellemeler yapılmıştır. İkinci aşamada, arazideki gözlemsel yorumları destekleyecek laboratuvar deneylerinin bulunmadığı yada deneylere ve yorumlara dayalı olarak sondaj verilerinin uyumsuz olduğu ve dolayısıyla alternatif bir modellemenin olabileceği durumdaki hücreler, etrafındaki profillerle birlikte tekrar değerlendirilerek modellenmiştir. S27 hücresi modellemesi, bölgedeki 3 derin sondajdan birini içeren ve modellemenin az sayıdaki sondaja dayalı olarak yapıldığı duruma örnek olarak gösterilebilir (Şekil 7).

Balukesir’de Mikrobölgeleme Uygulaması



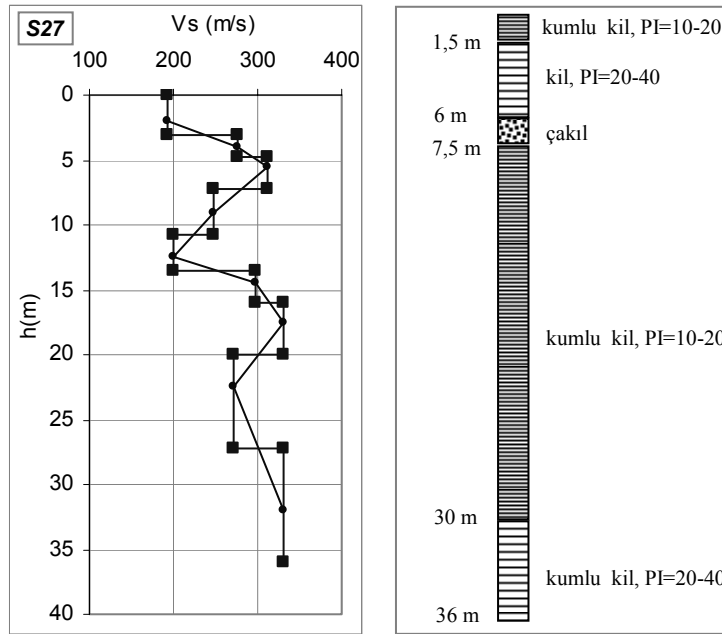
Şekil 7. S27 hücresi veri tabanı

36 m lik SK_44 sondajındaki tabakalar, 6-7,5m arasındaki çakıl tabakası ve yer yer 1m ile 3m olarak gözlenebilen tüfit bantları dışında, kil zemin olarak tanımlanmıştır. Bu sondaj için laboratuvar deneyi bulunmamaktadır, ancak 1,5-6 m arası ile 30-36 m arası yağlı kil olarak yorumlanmıştır. Bu yorumun, Z_773 ve E_60 olarak tanımlı sondajlarda uygulanmış ilk 5 m deki laboratuvar deney sonuçları ile desteklendiği görülmektedir. Diğer taraftan en sığ sondaj derinliği olan ilk 8,5 m deki zemin tabakalaşması açısından sondajların tam olarak uyumlu oldukları söylenemez. Bu durumun hücre içindeki koordinatlardan kaynaklanma olasılığı bulunmakla birlikte tüm sondajların aynı derinlikte olmaması nedeniyle tam bir değerlendirme yapma imkanı bulunmamaktadır. Bu doğrultuda S27 temsili zemin profili, daha derin olan SK_44 sondajını göz önüne alan göreceli bir yaklaşım ile modellenmiş ve tüfit olarak tanımlı tabakaların E_60 sondajında da belirtildiği gibi killeşmiş oldukları varsayılmıştır (Şekil 8).

Temsili sondajların kayma dalgası hız profilleri, SPT-N sayılarına dayalı olarak İyisan [25] tarafından önerilen formül kullanılarak belirlenmiştir;

$$V_s = 51.5 N^{0.516} \quad (\text{m/sn}) \quad (2)$$

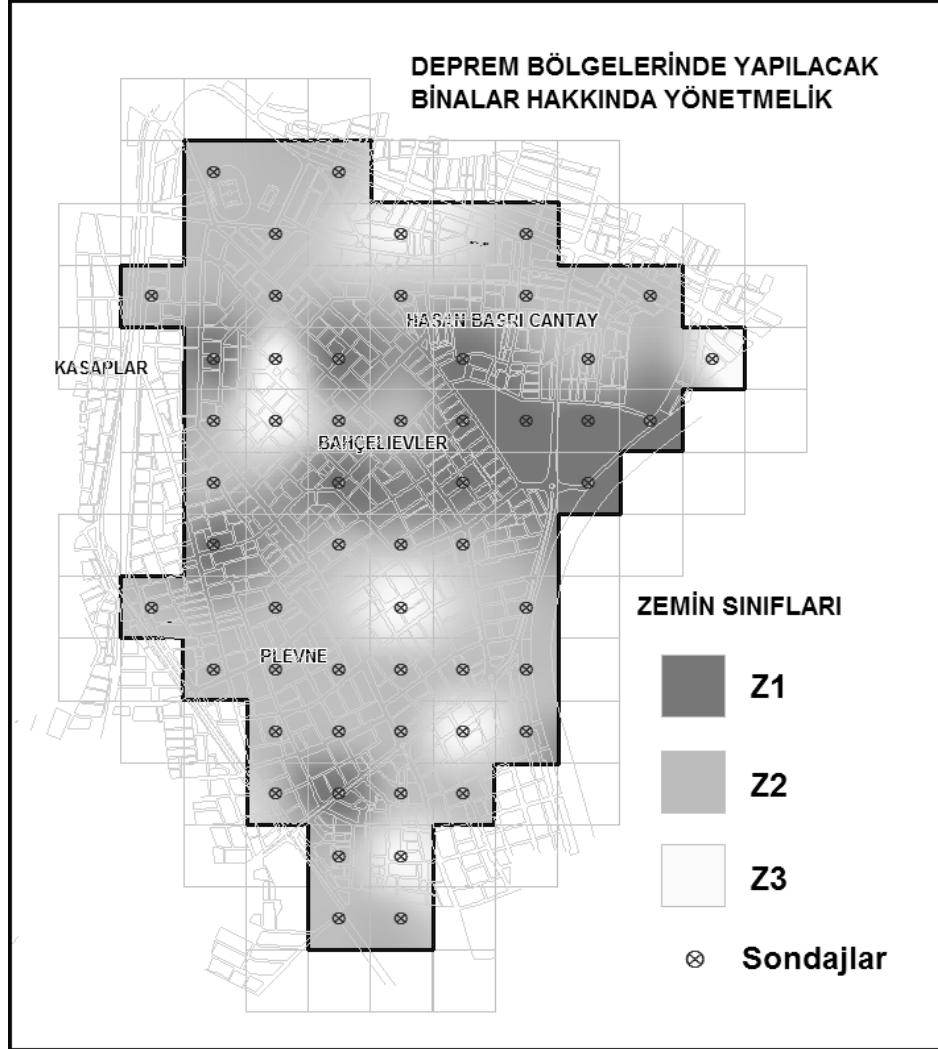
Burada N düzeltilmemiş SPT darbe sayısıdır. Bu ilişki tüm zemin tipleri için geçerlidir. Profillerde genellikle 10-15m de sonlanan kayma dalgası hızı değerleri, 200 ile 400m/sn arasında değişim göstermektedir. 15m gibi bir derinlikten sonra kayma dalgası hızının değişiminin ne olacağı konusunda, bölgedeki iki derin sondajın hız profilleri göz önüne alınmıştır. Bu iki sondajda 30 ve 36m derinliğindeki kayma dalgası hızları, 332m/sn ve 341m/sn dir. Bu doğrultuda, temsili zemin profillerinde 10-15m seviyesindeki kayma dalgası hızları 30m ye kadar sabit olarak uzatılmıştır. Diğer taraftan temsili profillerin eşdeğer kayma dalgası hızları genel olarak BPH Bölgesinde 223-392m/sn, 18-02 Bölgesinde 261-423m/sn arasında değişim göstermektedir.



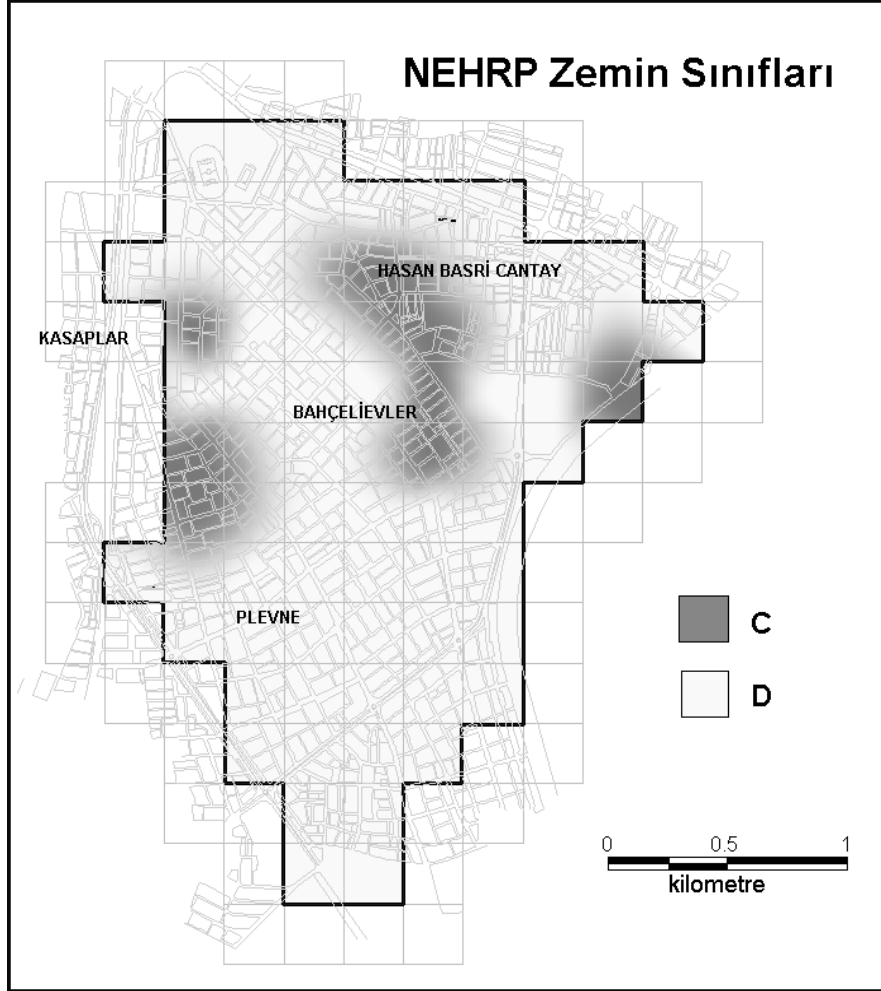
Şekil 8. S27 hücresi temsili zemin profili

4. TÜRKİYE DEPREM YÖNETMELİĞİ VE NEHRP'E GÖRE ZEMİN SINIFLARI

Modellenen temsili profiller için BPH ve 18-02 Bölgelerinin büyük bir çoğunluğunu Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalara ait Yönetmelik'e [26] göre Z1 ve Z2 sınıfındaki zeminler oluşturmaktadır. Z3 zemin sınıfı ile tanımlanan hücreler ise, BPH Bölgesinde dağınık bir dağılım gösterirken (Şekil 9), 18-02 Bölgesinde az sayıda sınırlı bir alan içinde kalmaktadır. Temsili profiller için NEHRP'e [27] göre yapılan sınıflandırmalar, 18-02 Bölgesinde C ve D zemin sınıfındaki hücrelerin yaklaşık olarak eşit bir dağılımda olduğunu, BPH Bölgesinde ise çalışma alanının tamamına yakın bir bölümünün D sınıfındaki zeminlerden oluştuğunu göstermektedir (Şekil 10).



Şekil 9. BPH Bölgesinde Türk Deprem Yönetmeliğine göre zemin sınıfları



Şekil 10. BPH Bölgesinde NEHRP' e göre zemin sınıfları

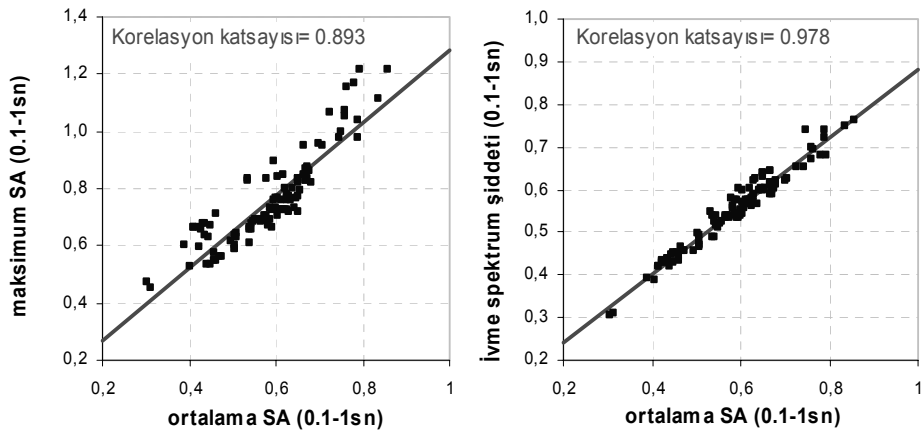
Yerel zemin tabakalarının Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik veya NEHRP yönetmeliğine göre sınıflandırılması, aslında birinci derecede bir mikrobölgeleme yöntemi olmaktadır. Bu açıdan bakıldığında, Şekil 9 ve Şekil 10'dan görüleceği gibi Türkiye Deprem Yönetmeliği, yerel zemin koşullarının sınıflandırılması konusunda NEHRP yönetmeliğine göre daha kapsamlı bir yaklaşım sunmaktadır. Ancak genede bir sismik mikrobölgeleme haritası olmaktan çok uzaktır. Çünkü literatürdeki bir çok çalışmada gözlenmiş olduğu üzere bu tür bir mikrobölgeleme haritası sadece yerel zemin şartlarına bağlı olarak oluşturulmuş olması nedeniyle, olası bir depremde gözlenebilecek davranış konusunda bir sonuç içermemektedir. Bu nedenle yerel zemin koşulları kadar olası bir depremin özellikleri ve etkisinin de göz önüne alınması mikrobölgeleme haritalarının oluşturulmasında önemlidir.

5. ZEMİN DAVRANIŞ ANALİZLERİ VE MİKROBÖLGELEME PARAMETRELERİ

Geoteknik olarak modellenen profillerin zemin davranış analizleri SHAKE 91 programı ile yapılmıştır. Program, her tabakada oluşan eşdeğer üniform deformasyon ile uyumlu kayma modülü ve sönüm değerlerini elde etmek amacıyla iteratif prosedüre dayalı olarak, zeminlerin lineer olmayan davranışlarının hesaplanmasında eşdeğer lineer bir yöntem kullanılmaktadır. Tek boyutlu analize dayalı programda, düşey yönde hareket eden kayma dalgalarının etkisi altındaki yatay zemin tabakalarının davranışı hesaplanmaktadır [11].

Anakaya yada sağlam zemin tabakalarına ait derinlikler, jeolojik veri kaynaklarının elde edildiği birimlerdeki uzman görüşleri doğrultusunda 50m ile 70m arasında değişmektedir. Buna göre zemin davranış analizlerinde, kayma dalgası hızının $V_s=700\text{m/sn}$ olduğu kabul edilen sağlam zemin tabakasının 70m derinlikte olduğu varsayılmış ve 30 m için tanımlanmış olan temsili profillerin kayma dalgası hız değişimleri, 70m derinliğe kadar lineer olarak arttırılmıştır.

BPH ve 18-02 Bölgesindeki toplam 105 temsili profilin davranış analizlerinde, RASCAL ile üretilmiş 6 yer hareketi kaydı kullanılmıştır. Analizler sonucu her hücre için yüzeyde elde edilen 6 davranış spektrumunun geometrik ortalaması alınmış ve bu ortalama spektrumlara ait 0.1-1 sn periyotları arasındaki aritmetik ortalamalar hesaplanmıştır. Hesaplanan bu ortalama spektral ivme değeri Türkiye’deki uygulamalar için önerilen bir mikrobölgeleme parametresidir [3]. Elde edilen bu parametre değerleri aynı zamanda yüzeydeki spektrumların geometrik ortalamaları için hesaplanmış olan maksimum spektral ivme ve ivme spektrum şiddeti parametreleri ile karşılaştırılmış ve korelasyonun yüksek olduğu görülmüştür (Şekil 11). Bu sonuca dayalı olarak, 0.1-1sn periyotları arasındaki ortalama spektral ivmenin bir mikrobölgeleme parametresi olarak seçilmesinin, gerçekçi bir yaklaşım olduğu söylenebilir.

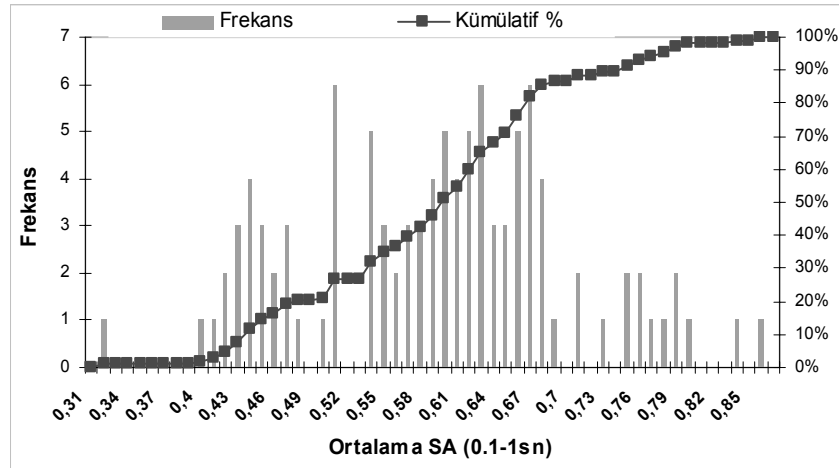


Şekil 11. Ortalama spektral ivmenin, maksimum spektral ivme ve ivme spektrum şiddeti ile karşılaştırılması

Seçilen periyot aralığındaki bu ortalama spektral ivme değerinin, mikrobölgeleme parametresi olarak kullanıldığı son çalışmalarda [3, 28, 29], haritalama için sayısal değerler yerine bölgedeki frekans dağılımlarına dayalı rölatif değerlerin kullanımı önerilmektedir.

Mikrobölgeleme haritaları, dikkate alınan parametrelerin göreceli değerlerine bağlı olarak incelenen alanın üç bölgeye (A, B ve C) bölünmesi ile hazırlanmaktadır. Parametrelerin hesaplanmasında kullanılan analizlerin çeşitli tahminler ve varsayımlar gerektirmesi nedeniyle, haritalamada mutlak sayısal değerler yerine göreceli değerlerin kullanılması tercih edilmektedir. Bu üç bölge göreceli haritalama yönteminde, A bölgesi, en elverişsiz %33'lük dilimi (küçük ortalama kayma dalgası hızları ve yüksek spektral ivmeler gibi), B bölgesi orta %34'lük dilimi ve C bölgesi de en elverişli %33'lük dilimi (yüksek ortalama kayma dalgası hızları, düşük spektral ivmeler gibi) göstermektedir.

Bu doğrultuda belirlenen 0.1-1sn periyotları arasındaki ortalama spektral ivmelerin inceleme alanlarındaki frekans dağılımı Şekil 12'de görülmektedir. Bu dağılıma göre yapılabilecek bir haritalama da önerilen yaklaşımlar doğrultusunda [3] göreceli bölgeleme haritası, istatistiksel dağılımın %50 değerine göre iki bölgeden oluşmaktadır. Çünkü ortalama spektral ivmelerin istatistiksel dağılıma göre %33 ve %67'ye karşı gelen değerleri arasındaki fark %20'den azdır.



Şekil 12. Ortalama spektral ivmelerin inceleme alanlarındaki frekans dağılımı

Genel olarak, davranış analizi sonuçları ampirik bağıntılara dayalı parametreler ile birlikte yorumlanmaktadır. Bu doğrultuda belirlenen diğer mikrobölgeleme parametresi, eşdeğer kayma dalgası hızına dayalı olarak Borcherdt [5] tarafından önerilen bağıntı ile hesaplanan spektral ivmeler olmuştur. Bu yaklaşımda, kısa periyot aralığındaki spektral ivmeler için büyütme faktörü F_a ,

$$F_a = (v_0 / v)^{m_a} \quad (3)$$

Balıkesir’de Mikrobölgeleme Uygulaması

bağıntısı ile belirlenmektedir. Bağıntıda, v_0 ana kaya kabul edilen tabakanın kayma dalgası hızı, v zemin profillerinin üst 30 metresi için eşdeğer kayma dalgası hızıdır. Üstel katsayı m_a , ana kayadaki yer hareketi seviyesine dayalı olarak belirlenmektedir.

Çalışmada, ana kaya seviyesindeki en büyük ivme değeri, kullanılmış olan azalım ilişkilerine [8, 9] dayalı olarak hesaplanan değerlerin en büyüğü alınarak belirlenmiştir. 0.23g olarak belirlenen bu ivme değeri için Borchardt [5] tarafından önerilen üstel katsayı $m_a=0.21$ olarak hesaplanmıştır. Ana kayadaki kayma dalgası hızı, zemin davranış analizlerinde de uygulandığı şekliyle $v_0=700\text{m/sn}$ olarak kabul edilmiştir. Sonuç olarak her hücre için eşdeğer kayma dalgası hızına dayalı olarak,

$$F_a = (700 / v)^{0.21} \quad (4)$$

bağıntısı ile hesaplanan büyütme faktörleri, ana kaya seviyesi için yine aynı azalım ilişkileri ve aynı yaklaşım ile hesaplanan spektral ivme değeri $SA=0.56$ g ile çarpılmış ve yüzeydeki spektral ivmeler bulunmuştur.

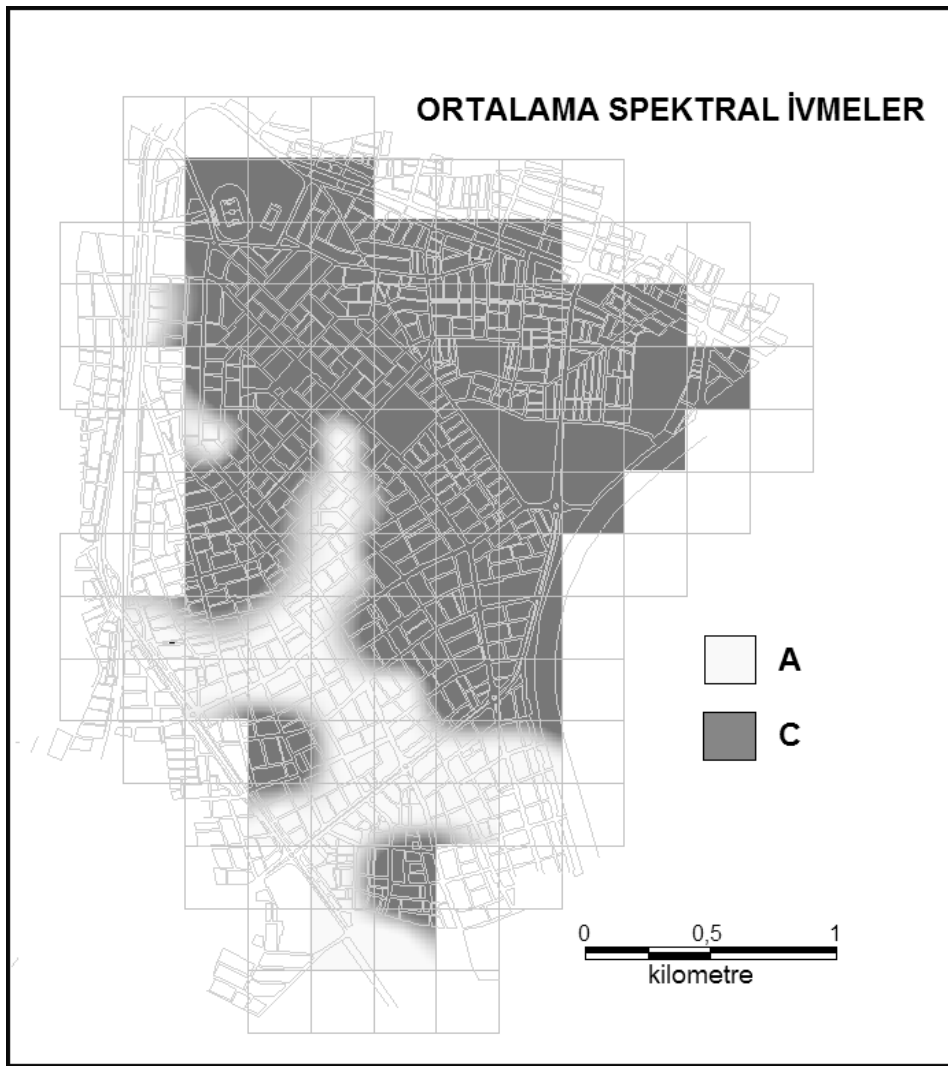
Yer sarsıntısı şiddetine göre mikrobölgelemede, birden fazla parametrenin karşılaştırılması ve birlikte yorumlanması tercih edilen bir yaklaşım olarak uygulanmaktadır [28,29,30]. Bu yaklaşıma yol açan başlıca iki neden bulunmaktadır. Bunlardan ilki zemin büyütme analizleri bir sayısal yöntem olup, sonuçlar kullanılan zemin özellikleri, deprem özelliklerinden önemli şekilde etkilenmektedir. Zemin büyütme analizlerinden elde olunan sonuçların güvenilirliği kullanılan zemin özellikleri ve ivme zaman kaydının özellikleri ile de çok ilgilidir. İkinci neden ise amprik olmakla birlikte Borchardt [5] yöntemi gözlemsel verilere dayanarak geliştirilmiş olması nedeniyle genel olarak olabilecek davranışlara yakın sonuçlar verecek bir yöntem olarak yorumlanmaktadır.

6. YER SARSINTISI ŞİDDETİNE GÖRE MİKROBÖLGELEME

Mikrobölgeleme parametrelerinden biri olarak belirlenen, zemin davranış analizlerine dayalı, 0.1-1sn periyot aralığındaki ortalama spektral ivmeler, literatürde [3, 28, 29] önerildiği gibi inceleme alanlarındaki frekans dağılımına dayalı rölatif bir değerlendirme ile haritalanabilir. Ancak bu çalışmada Balıkesir yerleşim alanının tamamı için geçerli olabilecek bir yaklaşımın uygulanması tercih edilmiştir. Bu amaçla uygulanan yaklaşım doğrultusunda öncelikle, Balıkesir yerleşim alanı sınırları içinde ancak davranış analizlerinin yapıldığı inceleme alanlarının dışında kalan bölgeler, özel şirketlerce yapılmış zemin etütlerine dayalı olarak NEHRP [27] zemin sınıflarına göre sınıflandırılmıştır. Kullanılan etütler, detaylı geoteknik veri içermemekle birlikte tüm yerleşim alanındaki değişimi yansıtmaktadır. Yapılan sınıflandırmaya göre, Balıkesir yerleşim alanı sınırları içinde zeminler B, C ve D sınıflarında değişim göstermektedir.

Ardından NEHRP Yönetmeliğine göre belirlenen zemin sınıfları için yine NEHRP yönetmeliğindeki yaklaşım doğrultusunda önerilen spektral büyütme faktörleri kullanılarak zemin yüzeyindeki spektral ivmeler hesaplanmıştır [27]. Bu aşamada Balıkesir için referans zemin yüzeyindeki 50 yılda %10 aşılma olasılığına karşılık gelen 0.2sn periyotlu spektral ivmenin belirlenmesinde, daha önceki yaklaşımlar doğrultusunda farklı azalım ilişkileri [8, 9] kullanılmış ve hesaplanan spektral ivmelerin en büyük değeri alınmıştır. Referans zemin yüzeyi için belirlenen bu spektral ivme değerine karşılık büyütme

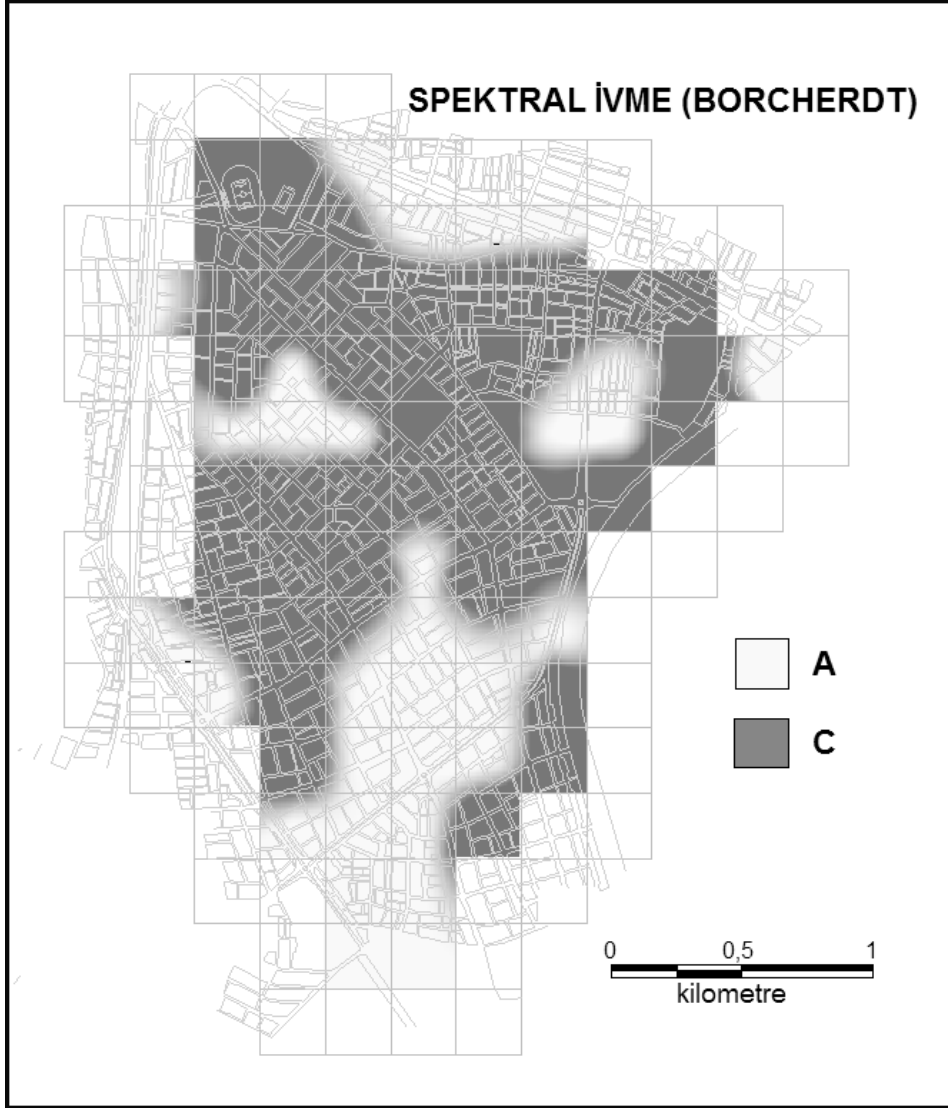
katsayısı, zemin sınıfı ile karşılıklı etkileşimine dayalı olarak değişmekte ve Balıkesir yerleşim alanı sınırları içinde zemin yüzeyindeki spektral ivmeler, yönetmelikteki katsayılar doğrultusunda 0.56 g ile 0.76 g arasında kalmaktadır. Bu değer aralığına ait ortalama 0.66 g değeri, mikrobölgeleme parametreleri için sınır değer kabul edilmiş ve inceleme alanlarının haritalanması aşamasında göreceli olarak iki ayrı bölge tanımlanmıştır. Buna göre spektral ivme değeri, 0.66 g nin üstünde olan hücreler A (yer sarsıntısı şiddetinin daha fazla olacağı tahmin edilen bölge), altında olan hücreler ise C (yer sarsıntısı şiddetinin daha az olacağı tahmin edilen bölge) ile temsil edilmiştir.



Şekil 13. BPH Bölgesinde zemin davranış analizleri ile belirlenen ortalama spektral ivmelerin değişimi

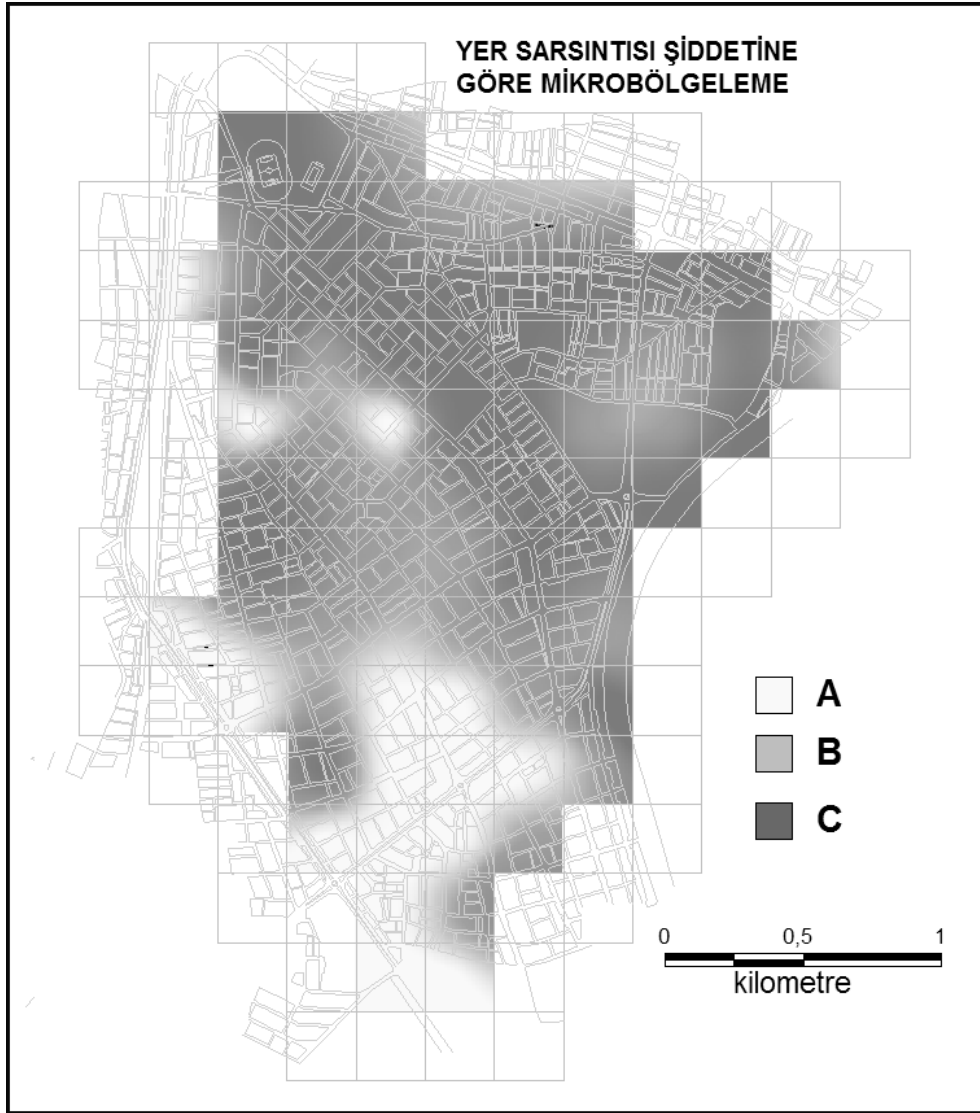
Balikesir'de Mikrobölgeleme Uygulaması

Bu yaklaşım doğrultusunda daha kapsamlı zemin bilgilerinin bulunduğu ve bu nedenle zemin büyütme analizlerinin yapıldığı BPH ve 18-02 Bölgelerinde, zemin büyütme analizlerinden hesaplanan 0.1-1sn periyot aralığındaki ortalama spektral ivme değerleri cinsinden, mikrobölgeleme haritaları oluşturulmuştur (Şekil 13).



Şekil 14. BPH Bölgesinde eşdeğer kayma dalgası hızlarına dayalı olarak Borchardt ilişkisi [5] ile belirlenen spektral ivmelerin değişimi

Diğer mikrobölgeleme parametresi olarak, Borcherdt [5] tarafından önerilen ampirik bağıntı ile hesaplanan spektral ivme değerleri de, davranış analizlerine dayalı mikrobölgeleme parametresi için uygulanan yaklaşım doğrultusunda ikiye ayrılmış ve BPH ve 18-02 Bölgeleri, göreceli olarak spektral ivmelerin daha yüksek olduğu A ve daha düşük olduğu C bölgeleri ile tanımlanmıştır (Şekil 14).



Şekil 15. BPH Bölgesinde yer sarsıntısı şiddetine göre bölgeleme

Balıkesir’de Mikrobölgeleme Uygulaması

Haritalanan bu bölgeler, zemin davranış analizi sonuçlarına dayalı bölgeler ile karşılaştırıldığında, A ve C ile tanımlanan bölgelerin dağılımında benzerlikler olduğu gibi bazı farklılıkların da olduğu görülmektedir. Sonuç haritalarda yer sarsıntısı şiddetine göre mikrobölgeleme için, sayısal ve ampirik olmak üzere iki farklı şekilde hesaplanmış olan spektral ivmelere dayalı olarak belirlenen bölgeler birleştirilmiştir. Bu aşamada A ve C olmak üzere farklı hücrelerin kesişmesi durumunda, bu hücreler B bölgesi ile tanımlanmıştır (Şekil 15). Bu şekilde yer sarsıntısı şiddetinin en yüksek olduğu bölgeler A, orta derecede olduğu bölgeler B, en düşük olduğu bölgeler C ile gösterilmiştir.

7. SONUÇLAR

Bu çalışma kapsamında, mikrobölgeleme yöntemlerine ait son yıllardaki gelişmeler ile uyumlu ve Balıkesir için uygulanabilecek bir metodoloji geliştirilmiştir. Yöntemin uygulaması yerleşim alanı sınırları içindeki BPH ve 18-02 Bölgesi olarak tanımlanan iki inceleme alanını kapsamaktadır.

Yerleşim alanı sınırlarında, olasılıksal olarak hesaplanmış tasarım depremi için RASCAL ile yapılan simülasyonlarda, bölgesel olarak uyumlu olabilecek farklı azalım ilişkileri ve gerçek yer hareketi kayıtlarının kullanılması ile davranış analizleri sonucunda, deprem ve zemin özelliklerinin karşılıklı etkileşimine dayalı değişimler göz önüne alınabilmektedir.

İnceleme alanlarında mevcut veri dağılımı ile uyumlu olarak belirlenen boyutlardaki hücreler için, temsili zemin profillerinin modellenmesindeki kriterler, iki farklı kaynaktan derlenen geoteknik verilerin birlikte yorumlanmasına dayalı bir yaklaşım ile belirlenmiştir. Veri tabanına dayalı olarak, bölgedeki zemin grupları ve dinamik davranış modellerinin, kohezyonlu ve kohezyonsuz zeminler arasında plastisite indisine dayalı kademeli bir geçiş ile temsil edilmesinin uygun olacağı saptanmıştır. Ancak, bölgedeki zemin tabakalaşmasının ve bu tabakaları oluşturan zeminlerin tekrarlı gerilmeler altındaki davranışlarının belirlenmesinde, kullanılan mevcut verinin bir mikrobölgeleme çalışması için gerekli hassasiyette ve kapsamda olmadığı göz önünde bulundurulmalıdır. Mikrobölgeleme çalışmaları için yerel geoteknik şartların gerçekçi bir şekilde temsil edilmesinde, arazi ve laboratuvar deneylerinin en azından 30 m derinliğe kadar yapılması gerekli olmaktadır.

Zemin davranış analizleri sonucunda, her hücre için hesaplanan 0.1-1sn periyot aralığındaki ortalama spektral ivmelerin, ivme spektrum şiddeti ve ortalama spektrumlara ait maksimum spektral ivmeler ile yüksek korelasyona sahip olduğu görülmüştür. Maksimum spektral ivmeler yer hareketine ait tek bir karakteristiği, ivme spektrum şiddeti ise büyüklük ve frekans içeriği olmak üzere iki karakteristiği yansıtmaktadır. 0.1-1sn periyot aralığındaki ortalama spektral ivmelerin de birden fazla yer hareketi karakteristiğini yansıtmaması açısından mikrobölgeleme için uygun bir parametre olduğu düşünülmektedir.

Her hücre için sayısal (0.1-1sn periyot aralığındaki ortalama spektral ivme) ve ampirik olarak belirlenen spektral ivmeler, Balıkesir yerleşim alanı içinde NEHRP’e göre değişen spektral ivme aralığı göz önüne alınarak yorumlanmış ve yer sarsıntısı şiddetine göre mikrobölgeleme parametresi için birleştirilmiştir. Bu yaklaşım doğrultusunda inceleme alanlarındaki mikrobölgeleme haritaları, Balıkesir yerleşim alanının tamamı için geçerli olan göreceli sonuçları yansıtmaktadır.

Kaynaklar

- [1] Silva, W., RASCAL, Response Spectrum and Accelerogram Scaling Manual, WES Rascal Code for Synthesizing Earthquake Ground Motions, US Army Corps of Engineers State-of-the-Art for Assessing Earthquake Hazards in the United States, Report 24, 1987.
- [2] Tufan, A., ve Çona, A., Balıkesir Belediyesi, Bahçelievler, Plevne, Hasan Basri Çantay, Akıncılar Mahalleleri ve 18-02 Konut Bölgelerinin Temel ve Zemin Araştırması Etüd Raporları, 2000.
- [3] DRM-World Institute for Disaster Risk Management, Belediyeler için Sismik Mikrobölgeleme, Türkiye Cumhuriyeti Bayındırlık ve İskan Bakanlığı, Afet İşleri Genel Müdürlüğü, 2004.
- [4] Idriss, I. M., Sun, J.I., SHAKE 91-A Computer Program for Conducting Equivalent Linear Seismic Response Analyses of Horizontally Layered Soil Deposits, 1992.
- [5] Borcherdt, R.D., Estimates of Site Dependent Response Spectra for Design Methodology and Justification, Earthquake Spectra, 11, 173-, 1994.
- [6] Ansal, A., İstanbul İçin Tasarım Deprem Özelliklerinin Belirlenmesi, Prof. Dr. Rifat Yarar Sempozyumu Kitabı, 1, 233-244, 1997.
- [7] Ansal, A., Balıkesir Şehri Bahçelievler, Plevne, Hasan Basri Çantay, Akıncılar Mahalleleri ve 18-02 Konut Bölgesinin Yerleşime Uygunluk Çalışmalarının, Depremsellik ve İnşaat Mühendisliği Açısından Değerlendirilmesi, İTÜ Geliştirme Vakfı, Uygulamalı Araştırma Raporu, 2001.
- [8] Boore D.M., Joyner W. B., Fumal T.E., Equations for Estimating Horizontal Response Spectra and Peak Acceleration from Western North American Earthquakes: A Summary of Recent Work, Seismological Research Letters, 68-1, 1997.
- [9] Ambraseys, N. N., Douglas, J., Sarma, S. K., Smit, P. M., Equations for estimation of strong motions from shallow crustal earthquakes using data from Europe and the Middle East: Horizontal peak ground acceleration and spectral acceleration, Bulletin of Earthquake Engineering, 3, 1-53, 2005.
- [10] MTA, Balıkesir Belediyesi 1802 nolu İmar Sahasının İmar Planlarına Esas Jeolojik Etüd Raporu, Kuzey Batı Anadolu Bölge Müdürlüğü, Balıkesir, 1999.
- [11] Ptilakis, K., Raptakis, D., Lontzetidis, K., Tika-Vassilikou, Th. & Jongmans, D., Geotechnical and Geophysical Description of Euro-Seistest, Using Field, Laboratory Tests, and Moderate Strong Motion Recordings, Journal of Earthquake Engineering, 3/3, 381-, 1999.
- [12] Raptakis, D., Chavez-Garcia, F.J., Makra, K. & Ptilakis, K., Site Effects at Euroseistest-I. Determination of The Valley Structure and Confrontation of Observations with 1D Analysis, Soil Dynamics and Earthquake Engineering, 19, 1-, 2000.

- [13] Khaled, A., Jun, K., Ryoji, I., Estimation of Uncertainties in The Dynamic Response of Urban Soils in Japon, Eleventh World Conference on Earthquake Engineering, 736-737, 1996.
- [14] Destegül, U., Sensitivity Analysis of Soil Site Response Modelling in Seismic Microzonation for Latitpur, Nepal, Thesis of Master of Science, International Institute for Geo-Information Science and Earth Observation, The Netherlands, 2004.
- [15] Vucetic, M. and Dobry, R., Effect of soil plasticity on cyclic response, Journal of Geotechnical Engineering, ASCE, 117-1, 89-107, 1991.
- [16] Seed, H.B. and Idriss, I.M., Soil moduli and damping factors for dynamic response analyses, Report No. EERC 70-10, Earthquake Engineering Research Center, University of California, Berkeley, 1970
- [17] Seed, R. B., Çetin, K. O., Moss, R.E.S, Kammerer, A.M., Wu,J., Pestana,J.M., Riemer, M.F., Recent Advances in Soil Liquefaction Engineering and Seismic Site Response Evaluation, Geotechnical Earthquake Engineering and Microzonation Seminar, Istanbul, 2001.
- [18] Kramer, S.L., Geotechnical Earthquake Engineering, ed. William J. H., Prentice-Hall International Series in Civil Engineering and Engineering Mechanics, New Jersey, USA, 1996.
- [19] Schneider, J.A., Hoyos, L., Jr., Mayne, P.W., Macari, E.J., and Rix, G.J., Field and Laboratory Measurements Of Dynamic Shear Modulus of Piedmont Residual Soils, GSP 92, ASCE, Reston, VA, 12-25, 1999.
- [20] Sun, J.I., Golesorkhi, R., and Seed, H.B., Dynamic moduli and damping ratios for cohesive soils, Report No. EERC-88/15, Earthquake Engineering Research Center, University of California, Berkeley, 1988.
- [21] Ishibashi, I. and Zhang, X., Unified dynamic shear moduli and damping ratios of sand and clay, Soils and Foundations, 33-1, 182-191, 1993.
- [22] Okur,V., Ansal, A., Dynamic Characteristics of Clays under Irregular Cyclic Loading, Lessons Learned from Recent Strong Earthquakes, Earthquake Geotechnical Engineering Satellite Conference, 267-270, 2001.
- [23] Seed, H.B., Wong, R.T., Idriss, I.M., and Tokimatsu, K., Moduli and damping factors for dynamic analyses of cohesionless soils, Journal of Geotechnical Engineering, ASCE, 112-11, 1016-1032, 1986.
- [24] Schnabel, P. B., Lysmer, J., and Seed, H. B., SHAKE: A Computer Program for Earthquake Response Analysis of Horizontally Layered Sites, Report No. UCB/EERC-72/12, Earthquake Engineering Research Center, University of California, Berkeley, December, 1972.
- [25] İyisan, R., Zeminlerde Kayma Dalgası Hızı ile Penetrasyon Deney Sonuçları Arasındaki Bağlımlar, İMO Teknik Dergi, 1187-1199, 1996.
- [26] Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik, TMMOB, İnşaat Mühendisleri Odası, İstanbul Şubesi, 2007

- [27] BSSC- Building Seismic Safety Council, NEHRP (National Earthquake Hazards Reduction Program) Recommended Provisions for Seismic Regulations for new buildings and other structures, 2000 Edition, Part 1: Provisions (FEMA 368), CH.4, Washington, D.C., 2001.
- [28] Ansal, A., Özyayın, K., Erdik, M., Yıldırım, H., Kılıç, H., Adatepe, Ş., Özener, P.T., Tonaroğlu, M., Şeşetyan, K., Demircioğlu, M., Seismic Microzonation for urban planning and vulnerability assessment, Kobe, (2005)
- [29] Ansal, A., Biro, Y., Erken, A., Gülerce, Ü., Seismic Microzonation: a case study, Recent Advances in Earthquake Geotechnical Engineering and Microzonation, ed. by A. Ansal, Kluwer Academic Publishers, 253-, 2004.
- [30] Ansal, A., Springman, S., Studer, J., Demirbaş, E., Önalp, A., Erdik, M., Giardini, D., Şeşetyan, K., Demircioğlu, M., Akman, H., Fah, D., Christen, A., Laue, J., Buchheister, J., Çetin, Ö., Siyahi, B., Fahjan, Y., Gülkan, P., Bakır, S., Lestuzzi, P., Elmas, M., Köksal, D., Gökçe, O., Adapazarı ve Gölcük için Mikrobölgeleme çalışmaları, 5. Ulusal Deprem Mühendisliği Konferansı, İstanbul, 2003.