

KENTSEL YERLEŞİM TASARIMINDA GEOTEKNİK ve SİSMİK MİKROBÖLGELEME

S.Feyza Çinicioğlu Prof.Dr. İstanbul Üni. İstanbul, Türkiye	M.Kubilay Keleşoğlu Araş.Gör. İstanbul Üni. İstanbul, Türkiye	Sadık Öztoprak Araş.Gör. İstanbul Üni. İstanbul, Türkiye	Cemil Özyazgan Araş.Gör. İstanbul Üni. İstanbul, Türkiye
--	--	---	---

ÖZET

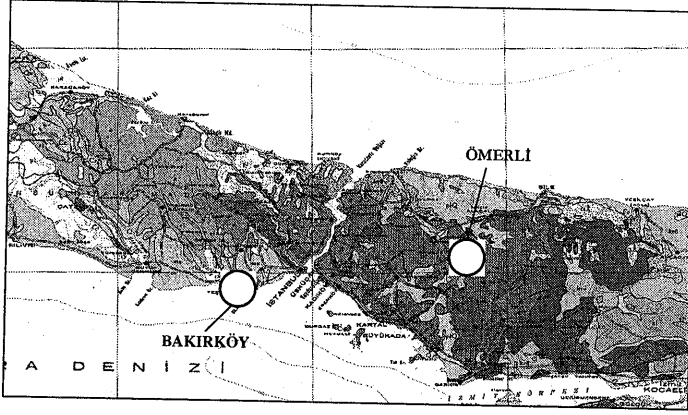
Yerleşime yeni açılacak bölgelerin yerleşime uygunluk bakımından değerlendirilmesi için sadece jeolojik yapıya bağlı olarak geliştirilen haritalar yeterli değildir ve yerleşime uygunluk çalışmaları sismik ve geoteknik mikrobölgelendirme çalışmalarını da kapsamalıdır. Bu durum imara açık bölgelerde hasar risk analizlerinin yapılabilmesi, onarım ve güçlendirme çalışmalarında önceliklerin tanımlanabilmesi için aynı ölçüde önemlidir. Bu görüşler bildiride İstanbul'da tamamen farklı zemin özelliklerine sahip iki bölgede yapılan zemin araştırma, sismik ve geoteknik mikrobölgelendirme çalışmaları ve sonuçları sunularak değerlendirilmiştir.

1. AMAÇ

Yerleşime açılacak yeni alanların yerleşime uygunluk bakımından değerlendirilmesi veya yerleşmiş bölgelerin deprem gibi doğal afetlerden nasıl etkileneceğinin tanımlanması ve gerekli önlemlerin alınabilmesi için bu bölgelere ait jeolojik tanımlama ve değerlendirmenin yanısıra kapsamlı bir geoteknik ve sismik değerlendirmenin yapılması büyük öneme sahiptir. Bu önem, topraklarının tamamına yakın bir bölümü deprem kuşağında olan ülkemizde yaşamsal bir gereklilik olarak dikkate alınmalıdır.

Bu bildiride İstanbul'da jeolojik yapılanma ve zemin özellikleri bakımından son derece farklı özellik arz eden, diğer taraftan son derece tipik yapıya sahip iki bölgede yapılan sismik ve geoteknik mikrobölgelendirme çalışmaları açıklanacaktır. Şekil 1'de konumları belirtilmiş olan Bakırköy (Basıncık-Florya, Yeşilköy-Yeşilyurt mevkilleri) ve Ömerli inceleme bölgelerinden Bakırköy'de yapı temelleri bakımından önem arz eden derinliklerde egemen zemin yapısı, kireçtaşı-kil ardalıdır. Yer altı su seviyesi kıyı kesimlerinde yüzeye daha yakın olmakla birlikte yüksek kesimlerde oldukça derindir. Arazi topoğrafik olarak sahilden kuzeye doğru yükselen bir yapı sergilemektedir. Diğer taraftan ikinci örnek bölge olan Ömerli bölgesi tipik bir çökme vadisi durumundadır. İncelenen bölgede alüvyon kalınlığı vadi kenarlarında 0-10 metreden başlayarak vadi ortalarında 30 metre mertebelerine çıkmaktadır. Alüvyon tabanında ise yer yer kömürlü ve siyah bantlı kil ve nihayet kaya yer almaktadır.

Sunulan bildiride bu iki bölgede yapılan geoteknik ve sismik mikrobölgelendirme çalışmalarının tanımının yanı sıra, çalışmalar için yapılan kabullerle ilgili değerlendirme ve irdemeler ayrıca elde edilen sonuçların coğrafi bilgi sistemleri ile bölge üzerindeki tanımlamaları sunulacaktır.

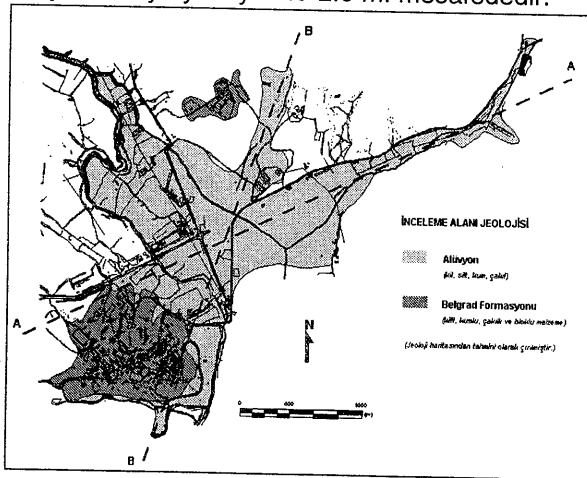


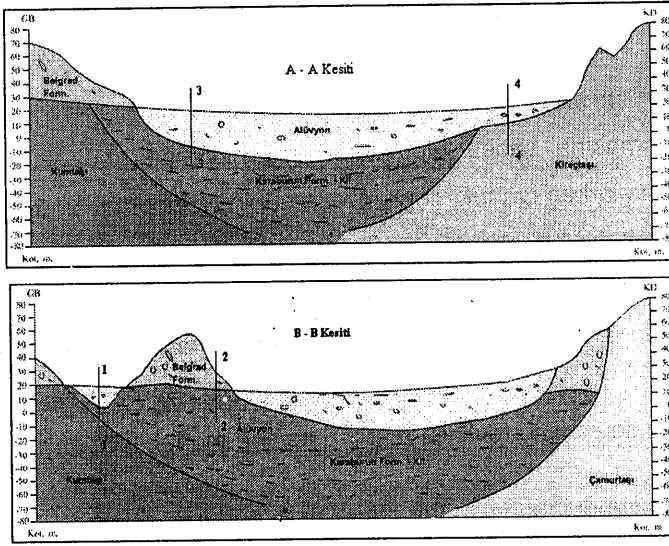
Şekil 1 : Ömerli ve Bakırköy inceleme bölgelerinin harita üzerindeki konumu

2. İNCELENEN BÖLGELERDE ZEMİN YAPISI VE TABAKALANMA

2.1. ÖMERLİ İNCELEME BÖLGESİ

Ömerli inceleme bölgesini oluşturan arazi yapısı alüvyonel bir vadi ile etrafını çevreleyen yükseltilerden ibarettir. İnceleme alanının jeoloji haritası Şekil 2'de verilmektedir. Şekil 2'de görüldüğü gibi inceleme bölgesi alüvyonel vadi ve vadinin güneybatısında yer alan Ömerli beldesinin mevcut yerleşim alanları ile vadinin kuzeyinde yer alan küçük bir bölgeyi kapsamaktadır. Bu haritadan alınan A-A ve B-B kesitleri de aynı şekilde sunulmaktadır. İncelenen bölgenin tamamında yeraltı su seviyesi zemin yüzeyinde veya yüzeye 1.0-2.0 m. mesafededir.





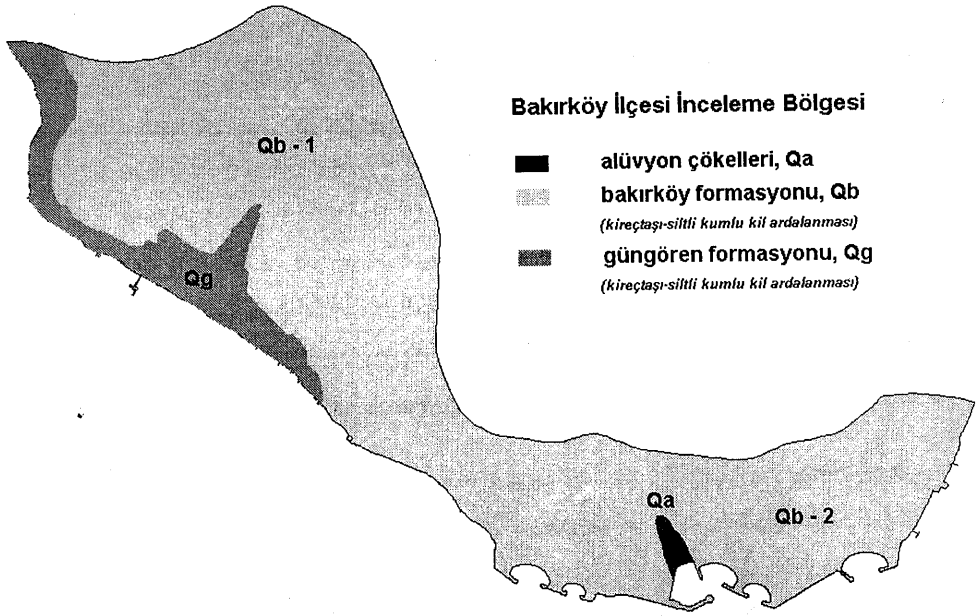
Şekil 2 : Ömerli inceleme bölgesi jeoloji kesitleri Şekil 2'de verilen kesit ve yüzey jeolojisinin değerlendirilmesinden görüleceği üzere yüzey zeminleri belli başlı iki tiptedir. Bunlar alüvyonel vadi içinde kalan alüvyon (kil,silt, kum,çakıl) ve çevre yükseltileri oluşturan Belgrad Formasyonu adı verilen az tutturulmuş killi, kumlu, çakıllı ve bloklu malzemedir. Alüvyonel tabaka içinde granülometri düzenli değildir ve kendi içinde kum, kil, çakıl oranları yer yer farklılaşmaktadır. Böylece kil hakimiyetli veya kum hakimiyetli alüvyonların kendi içinde karmaşık bir tabakalanması vardır. İnceleme alanı içinde kalan güneybatı ve kuzeyde yer alan alanlar kot olarak yükselen eğimli bir yapıdadır. Eğimin çok yüksek olduğu (%25-30) bölgelerde heyelan riski önemlidir. Derine inildikçe sıklık ve dolayısıyla SPT değerlerinin arttığı bölgeler bulunmaktadır. Kayma mukavemetleri düşük ve sıkışabilirliği oldukça yüksek zeminlerdir. Tamamen yeraltı suyu altında olmaları sebebiyle bu sorunlar daha da artmaktadır. Oldukça yüksek kil içerikleri sebebiyle bu zeminlerde statik yükler altında sadece kısa süreli oturmalar değil, aynı zamanda uzun süreli oturmalar da beklenir. Yeraltı su seviyesinin yüksek olmasından kaynaklanan bu sorunlar Belgrad Formasyonu için de geçerlidir. Alüvyonda yapılan üç eksenli basınç deneyi ve serbest basınç deneyi sonuçlarına göre de düşük kayma mukavemeti değerleri elde edilmektedir ($c \cong 0.10-1.20 \text{ kg/cm}^2$; $\phi \cong 2^\circ-10^\circ$).

Bölgeye hakim diğer zemin türü olan Belgrad formasyonu içindeki iri taş büyüklüğündeki bloklar SPT deneylerindeki vuruş sayılarının yanıltıcı büyük değerlere ulaşmasına sebep olmaktadır. Bu bakımdan bu zeminin geoteknik davranışını tanımlarken granülometrik özelliklerinin ve laboratuvar deneylerinin esas parametre olarak dikkate alınması gerekmektedir. Şekil 2'de B-B kesitinde yer alan 2-2 profilinin yüzey tabakalarına ait numunelerle yapılan laboratuvar üç eksenli basınç deneyleri ile elde edilen kayma mukavemeti parametrelerinin aralığının $c \cong 0.10-1.50 \text{ kg/cm}^2$; $\phi \cong 2^\circ-10^\circ$ olduğu ifade edilebilir. Serbest basınç mukavemeti değerlerinden elde edilen aralık ise $q_u \cong 2-5 \text{ kg/cm}^2$ mertebesinde.

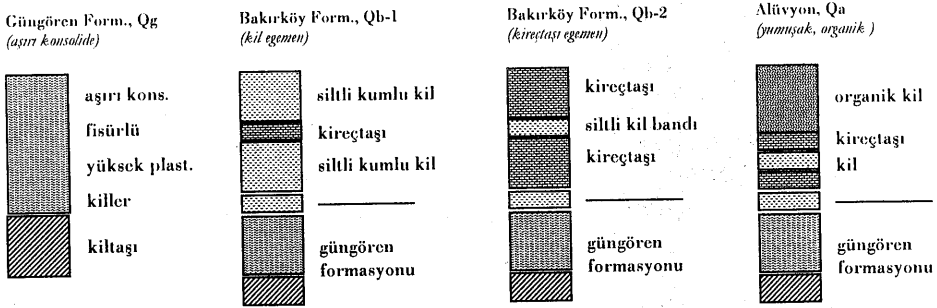
Alüvyonel vadi tabanında yer alan Karaburun formasyonunu oluşturan gölsel kil çökeller gri renklidir. Formasyonun içinde bulunan ince laminamsı kömür tabakaları kilaşları ile yanal ve düşey yönde aralanmalı bir yapı sergilemektedir. Granülometri ve kıvam limitlerini esas alan birleştirilmiş zemin sınıflandırmasına göre düşük plastisiteli kil (CL) grubuna girmektedir.

2.2. BAKIRKÖY İNCELEME BÖLGESİ

Bakırköy'de inceleme alanı içine giren bölgeleri oluşturan zemin yapısı Şekil 3'te gösterildiği gibi büyük oranda Güngören ve Bakırköy formasyonundan oluşmaktadır. Formasyonlara hakim olan kaya/zemin tipleri kireçtaşı ve kildir. Kireçtaşı ve kil genellikle aralanarak birbirini takip etmektedir. Aralanma kalınlıkları değişkendir. Topoğrafik olarak daha yüksek olan kuzey kesimlerinden güneye doğru gittikçe, hem kireçtaşındaki ayrışma düzeyinde artış, hem de kireçtaşı-kil aralanmasının daha sık ve ince tabakalar halinde birbirini takip ettiği ve yer yer kireçtaşı tabakaları arasında marn düzeylerinin yer aldığı gözlenmiştir. Yeşilköy bölgesinde yumuşak ve organik killerin oluşturduğu alüvyon çökeli bulunmaktadır. İncelenen bölgelerin genelinde yeraltı su seviyesi derindir. Sahile yaklaştıkça su seviyesi yükselmektedir.



Şekil 3 : Bakırköy inceleme bölgesi jeolojik formasyonları ve kesitleri

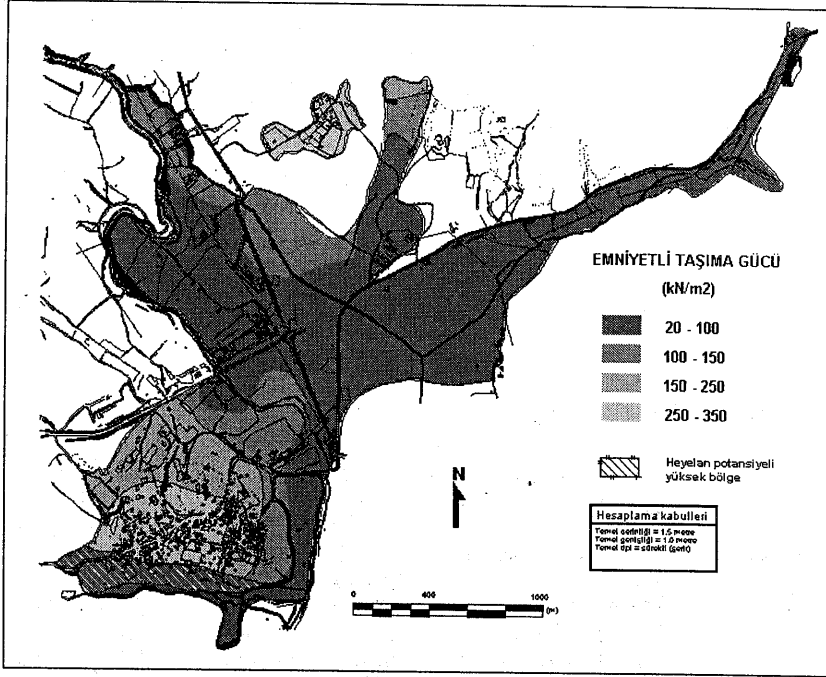


3. İNCELENEN BÖLGELERDEKİ ZEMİNLERİN STATİK ve DİNAMİK YÜKLER ALTINDAKİ DAVRANIŞI

3.1. ZEMİNLERİN STATİK YÜKLER ALTINDAKİ DAVRANIŞI

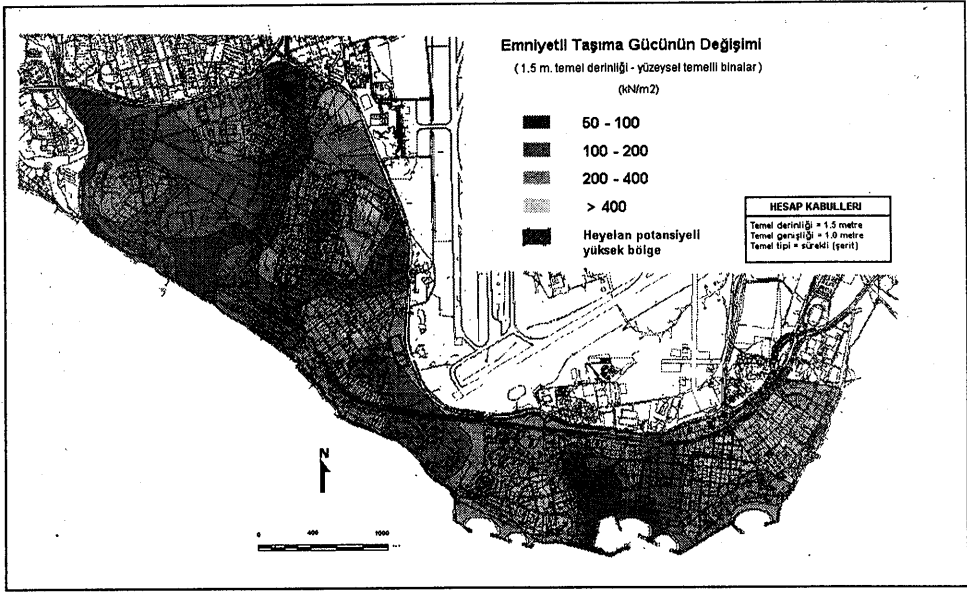
Her iki inceleme bölgesi için sondajlardan elde edilen bulgulardan yararlanılarak emniyetli taşıma gücü analizi yapılmıştır. Emniyetli taşıma gücü hesapları yapılırken SPT değerleri ve laboratuvar mukavemet deney parametreleri

bir arada kullanılmıştır. İncelenen bölgelerin emniyetli taşıma gücü değerleri 1.0 metre genişliğinde temel taban derinliği 1.5 m. olan yüzeysele sürekli (şerit) temel varsayımı ile bulunmuştur. Hesaplar yapılırken Terzaghi formülleri laboratuvar mukavemet parametreleri ile Meyerhoff formülleri ise SPT değerleri ile birlikte kullanılmıştır. Emniyetli taşıma gücü bulunurken ortalama SPT değerinin %60'ı seçilmiştir. %60 değeri Türkiye'de yapılan SPT enerji ölçümleri sonucunda elde edilen enerji düzeltmesi değeridir. Emniyetli taşıma gücünü bulmak için uygulanan güvenlik sayısı 3.0'tür. Elde edilen değerler Ömerli için Şekil 4'te, Bakırköy için Şekil 5'te verilmiştir.



Şekil 4 : Ömerli inceleme bölgesi emniyetli taşıma gücü değişimi

Böyle bir çalışma, kullanılabilecek emniyetli taşıma gücü değerleri bakımından bir rehber olarak değerlendirilmelidir. Dikkat edilmesi gereken husus yeni yapılacak yapılar için uygulanacak temel ve yapı tipine bağlı olarak noktasal zemin etüdlerinin yapılmasının gerekliliğinin göz ardı edilmemesidir.



Şekil 5 : Bakırköy inceleme bölgesi emniyetli taşıma gücü değişimi

Bakırköy bölgesinde önem arzeden deformasyon davranışı zemin yapısı itibarıyla konsolidasyon davranışı da dikkate alınmalıdır. Kireçtaşı düzeylerin geçirimli olması sebebiyle konsolidasyon üniform özellikli zemin yapılarına göre çok daha hızlı gelişebilecektir. Uygulanan yüklerin büyüklüğüne bağlı olarak özellikle kireçtaşının çok boşluklu olduğu bölgelerde kireçtaşı yapısı içindeki noktasal çökmeler de oturmaya ilave katkıda bulunabilecektir. Bunun yanı sıra kil tabakalarının, kireç taşları arasında oldukça ince tabakalar halinde bulunması konsolidasyon oturmalarını büyük ölçüde azaltan bir etkidir.

Zemin numunelerinden deneylerle elde edilen konsolidasyon parametrelerinin incelenmesi sonucunda bölgedeki killerin genellikle normal konsolide ve az aşırı konsolide olduğu, bazı noktalarda ise yüksek derecede aşırı konsolide killerin yer aldığı görülmektedir. Zeminler genellikle yüksek plastisiteye sahiptir, sıkışma indisleri de oldukça yüksektir.

3.2. ZEMİNLERİN DİNAMİK YÜKLER ALTINDAKİ DAVRANIŞI

Yurdumuzda ve dünyada geçmiş depremlerden edinilen tecrübe depremlerin etkisiyle oluşan yapısal hasar ve göçmelerin büyük ölçüde yerel zemin koşullarından kaynaklandığıdır. Bu durum çeşitli araştırmacılar tarafından da ifade edilmektedir. (Seed and Idriss, 1969, Seed et al., 1972, Chang, K. and Chang T., 1994) [1, 2, 3]. Deprem etkisi altındaki bir alanda yer alan herhangi bir yapı üzerindeki hasar yerel zemin koşullarına bağlı olan etkenlerin biri, birkaçı veya hepsinin ortak etkisi ile oluşabilir. Deprem kuvvetlerinin etkisi genel davranış biçimi olarak yapının bulunduğu yerin sarsıntı merkezinden olan uzaklığına bağlı olarak azalacaktır. Ancak bu konuda depremin büyüklüğü, süresi ve frekans içeriği gibi deprem özellikleri de hasar üzerinde etkilidir.

İncelenen alanların her ikisinde de yeterince sondaj yapılarak zemin profilleri belirlenmiş sismik deneyler ve SPT sonuçları kullanılarak tabakalara ait sismik hızlar tespit edilmiştir. Bu noktadan sonra yapılması gereken, zemin karakteristikleri belirlenmiş olan bu bölgelere etkimesi muhtemel depremin tanımlanmasıdır.

3.2.1. Tasarım Depreminin Tanımlanması

Sismik bölgeleme çalışmaları için ilk aşama olarak bölgenin depremselliğinin tanımlanması gereklidir. Sismik bölgeleme yapılırken amaç, bu bölgelerde yapılacak yapıların bu bölge için beklenen seviyedeki deprem sarsıntısına aşırı hasara uğramadan dayanabilmesinin sağlanmasıdır. Bunun için bu bölgeye uygun tasarım depreminin ve bu depreme ait parametrelerin tanımlanması gerekir. Elbette gelecekte olacak depremlerin büyüklük, zaman ve yerini önceden bilebilmek mümkün değildir. Sismik bölgeleme için kullanılacak tasarım depremi belirleyici bir yaklaşımla tanımlanabilir. Günümüzde olasılıksal yaklaşım tercih edilmektedir. Olasılıksal yaklaşımı uygulamak için incelenen bölge civarındaki deprem kayıtlarının belirlenmesi ve tanımlanması gereklidir. Bu kaynaklarda deprem olma olasılığının tanımlanmasının ardından kaynakların uzaklığı da hesaba katılarak kaynak uzaklığına bağlı olasılık dağılımı bulunur. Bundan sonra sismisite veya deprem

tekrarı ilişkileri kullanılarak yer hareketlerinin beklenen büyüklüğü tanımlanır. Sonra tüm bu olasılıklı ilişkileri değerlendirerek belli bir süre içinde belirlenen yer hareketleri parametresinin aşılma olasılığı tanımlanır. İstanbul bölgesinde tasarım depremi seçimine örnek olarak çeşitli araştırmacıların çalışmalarına değinilebilir. Ansal (2001) olasılıksal yöntemi uygulayarak Bağcılar bölgesi için 7.3 magnitüdlü depremin tasarım depremi olarak seçilebileceğini ifade etmiştir [4]. Bu depremin seçilmesinde etkili olan aşılma olasılığı %10'dur ve bu değer yapılar için 50 yıllık bir servis ömrü esas alınarak bulunmuştur. Diğer taraftan dış merkez uzaklığı 32 kilometre olarak bulunmuştur ve bunun için daha az olma olasılığı %10'dur. Bu tasarım depremi için anakayadaki pik ivmenin geçilme olasılığı %10'dur.

Ölçü alınmış dönem depremleri esas alındığında da Marmara bölgesinde $M \geq 7.0$ depremin olma olasılığının büyük olduğu çeşitli araştırmacılar tarafından ifade edilmektedir. Eyidoğan ve d. (2000), Parsons ve d. (2000) [5, 6]. Parsons ve d. (2000)'e göre İstanbul ve Marmara bölgesinde $M \geq 7.0$ depremin olma olasılığı Tablo 1'de sunulmuştur [6].

Tablo 1: Marmara bölgesinde beklenen ve büyüklüğü 7.0 ve daha büyük olabilecek depremin verilen zaman aralıklarında olma olasılıkları (Parsons ve diğ., 2000)

Fay Zonu	1 yıl (%)	10 yıl (%)	30 yıl (%)
Yalova	17 ± 1.7	14 ± 11	33 ± 21
Prens Adaları	2.1 ± 1.6	16 ± 9	35 ± 15
Marmara	0.6 ± 0.7	5 ± 5	13 ± 9
Tüm Faylar	4.4 ± 2.4	32 ± 12	62 ± 15

Eyidoğan ve d. (2000) denizde yapılan sismik çalışmalar sonucunda proje sahasının güneyinde deniz içinde Bakırköy ilçesinden en fazla 20 km. uzaklıkta aktif potansiyel faylar bulunduğunu ifade etmektedirler [5]. Tablo 1'de verilen faylardan bölgeyi en fazla etkileyebilecek fayın Kuzey Marmara fayı olduğu araştırmacılarca

ifade edilmektedir. Eyidoğan ve d. Bakırköy ilçesi için 15-20 km. deprem kaynağı uzaklığını, $M=7.5$ deprem büyüklüğünü tasarım depremi olarak uygun görmektedir.

3.2.2. İncelenen Bölgelerde Yerel Zemin Özelliklerinin Deprem Dalgalarını Büyütme Etkisinin Tanımlanması

Anakayadan yayılan deprem sarsıntısı içerisinde geçtiği zeminlerin özelliklerine bağlı olarak zemin yüzeyine çok farklılaşarak nakledilebilmektedir. Bölgesel jeoloji ve topoğrafik şartlar, zeminin tabakalanma şekli ve tabakaların özellikleri ana kayadan yayılan deprem dalgalarının özelliklerini önemli ölçüde değiştirebilmektedir. Deprem dalgaları içlerinden geçtikleri zeminden etkilenmekle birlikte aynı zamanda bu zeminleri etkilerler ve sarsıntı etkisiyle oluşacak dinamik deformasyonlar zeminlerde farklılaşmaya sebep olur. Tüm bu davranışların etkisi zemin yüzeyinde ve yapılarda gözlenir. Bu bakımdan anakayada etkili olan zemin parametrelerinin yerel zemin özelliklerine bağlı olarak yüzeye hangi enerjiyle ve ivmeyle taşınacağını, yüzeyde sarsıntı periyodunun ne olacağını hesaplanabilmesi gereklidir. Böylece yapıların dinamik tasarımı için gerekli olan yüzey sarsıntısı ivme ve hızının periyoda bağlı değişimi elde edilir. Elde edilen bu ilişki zemin tepki spektrumu olarak adlandırılır ve zemin tepki spektrumu belli bir zemine ait ivme/hız – periyot ilişkisini kapsayan zarftır.

Zemin tepki analizini yapabilmek için öncelikle ana kayadaki deprem özelliklerinin tanımlanması gerekmektedir. Ömerli ve Bakırköy bölgeleri için olası ana kaya deprem özellikleri Bölüm 3.2.1’de tanımlanmıştır. Bundan sonraki aşamada ana kaya üzerinde yer alan zemin tip ve özelliklerine bağlı olarak deprem dalgalarının yüzeye ivme, frekans veya periyot özellikleri ile nasıl nakledileceğinin hesaplanması gereklidir. Ömerli ve Bakırköy inceleme bölgeleri için zemin büyütme etkilerinin tanımlanması amacıyla Edu-Shake programı ve Borchardt (1994) yöntemi birarada kullanılmıştır [7]. Diğer taraftan 1998 Türkiye Deprem Şartnamesinde çeşitli yerel zemin sınıfları için spektral değerler (spektral büyütme, hakim periyot, uç periyotlar vb.) öngörülmüştür. İncelenen bölgelerde ilave noktasal deney, araştırma ve analizler yapılmamışsa deprem şartnamesinin öngördüğü değerler kullanılabilir. Ancak, inceleme alanlarında yapılan çalışmalardan elde edilen

spektral değerler daha gerçekçi değerlerdir.

Borcherdt, 1994'e göre yerel zemin özelliklerine bağlı zemin tepki spektrumu için,

$$S_a = \text{en küçük} \begin{cases} I_a F_a \\ I_v F_v (1/T)^x \end{cases} \quad (1)$$

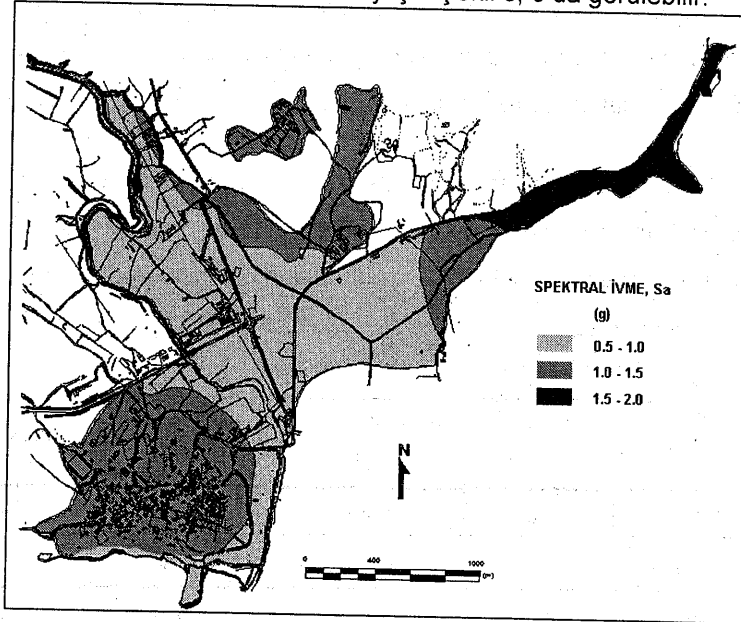
S_a değerleri ayrı ayrı hesaplanarak, bu değerlerden küçük olanı spektral ivme olarak seçilir. Burada; I_a ve I_v ivme ve hız bantlarındaki yer hareketi girdisidir. I_a ve I_v 'nin tanımında uniform zemin şartları varsayımı vardır. Diğer taraftan F_a ve F_v , I_a ve I_v 'nin elde edilmesi için tanımlanan uniform zemin şartlarına nazaran gerçek zemin şartlarında etkili olan ortalama büyütme değerleridir. Borcherdt (1994)'e göre kaya dışındaki zeminler için I_a ve I_v değerlerinin elde edilmesinde $I_a = S(0.3)$ ve $I_v = S(1.0)$ değerleri kullanılabilir [7]. Bunun için bu değerleri veren haritalardan yararlanılabilir, ancak ülkemiz ve inceleme bölgesi için bu haritalar mevcut değildir. Bu sebeple inceleme alanı için yapılan çalışmada anakaya ile yüzey arasındaki zemin özelliklerinin ve tabakalanmasının detaylı modelleri oluşturulmuş ve EduShake programı çalıştırılarak zemin tepki spektrumları elde edilmiştir.

EduShake programı ile Ömerli ve Bakırköy inceleme bölgelerine ait analizler yapılırken Tablo 2'de bazı önemli karakteristikleri tanımlanmış olan deprem kayıtları seçilmiştir. Ömerli inceleme bölgesi için iki, Bakırköy inceleme bölgesi için dört deprem kaydı kullanılmıştır.

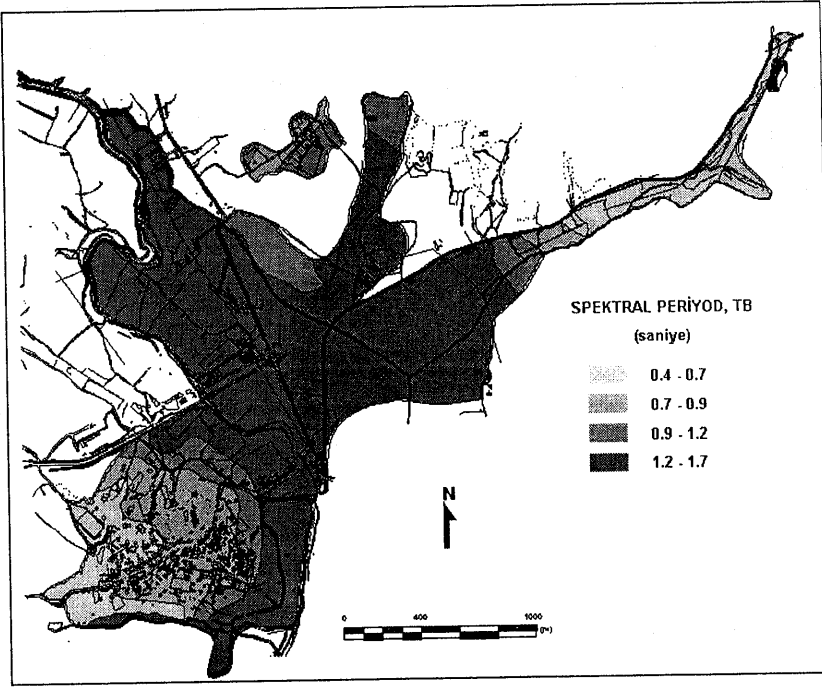
Tablo 2: Senaryo depremlerinin özellikleri

İnceleme Bölgeleri ve Kullanılan Kayıtlar		Büyüklik (M)	Dış Merkez Uzaklığı (R)	Anakaya İvmesi (a_p)	Arias Şiddeti
Ömerli	Kayıt 1	7.0	12.0 km.	0.32g	1.85 m/san.
	Kayıt 2	7.4	42.0 km.	0.28g	1.37 m/san.
Bakırköy	Kayıt 1	7.0	24.0 km.	0.42g	2.15 m/san.
	Kayıt 2	7.0	12.0 km.	0.34g	1.94 m/san.
	Kayıt 3	6.7	14.9 km.	0.33g	1.01 m/san.
	Kayıt 4	7.4	42.0 km.	0.19g	0.60 m/san.

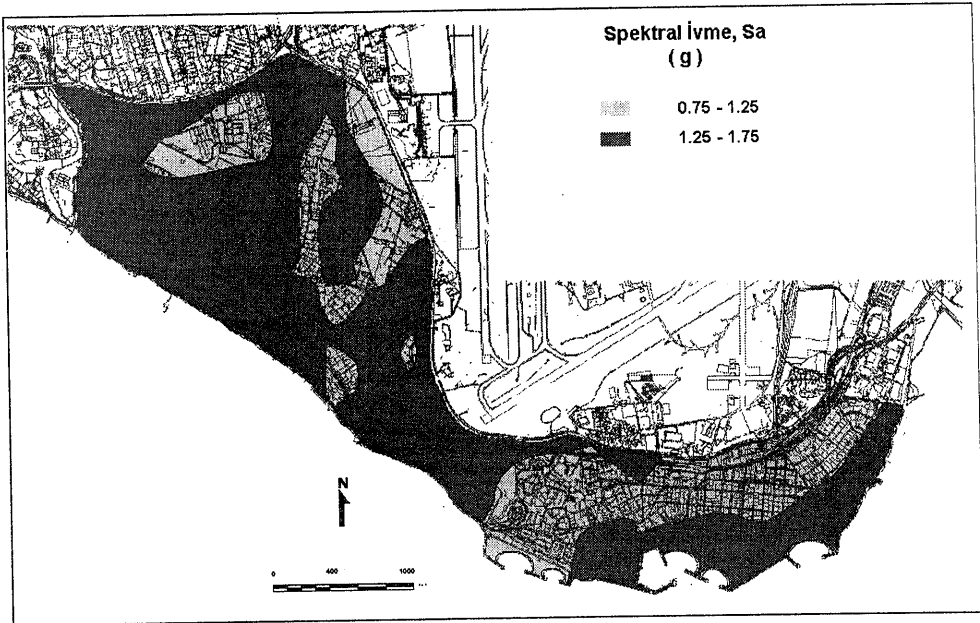
Her sondaj noktasında anakayadan itibaren yüzeye kadar o noktaya ait tabakalanma (sismik hız, plastisite, birim hacim ağırlık, kayma modülü vb.) için seçilen deprem kayıtları kullanılarak EduShake programı koşturulmuş ve farklı deprem kayıtları için elde edilen zemin tepki spektrumlarının ortalaması o noktaya ait zemin tepki spektrumu olarak tanımlanmıştır. Borchardt (1994) yönteminin takibiyle bu spektrumdan elde edilen $S(0.3)$ değeri I_a ve $S(1.0)$ değeri I_v olarak belirlenmiştir [7]. Bundan sonra Borchardt (1994)'un tanımladığı büyütme katsayıları tablolarından F_a ve F_v değerleri alınmış ve bu değerlerin uygulanması ile elde edilen S_a değerlerinden küçük olanı spektral ivme olarak seçilmiştir [7]. $I_a F_a = I_v F_v (1/T)^x$ yaklaşımı ile de T_B uç periyodu değerleri elde edilmiştir. Tepki spektrumundan elde edilen uç periyotları T_A ve T_B ile spektral büyütme ve spektral ivme değerleri, inceleme alanlarında yapılacak yapılar bakımından en önemli parametrelerdir. Bu değerlere göre mikrobölgeleme yapılması gerekmektedir. Coğrafi bilgi sistemleri yardımıyla Ömerli ve Bakırköy'deki inceleme bölgelerinde spektral ivme, T_B uç periyodu değerlerinin değişimi ve dağılımı tanımlanmıştır. Elde edilen haritalar Ömerli için sırasıyla Şekil 6, 7 ve Bakırköy için Şekil 8, 9'da görülebilir.



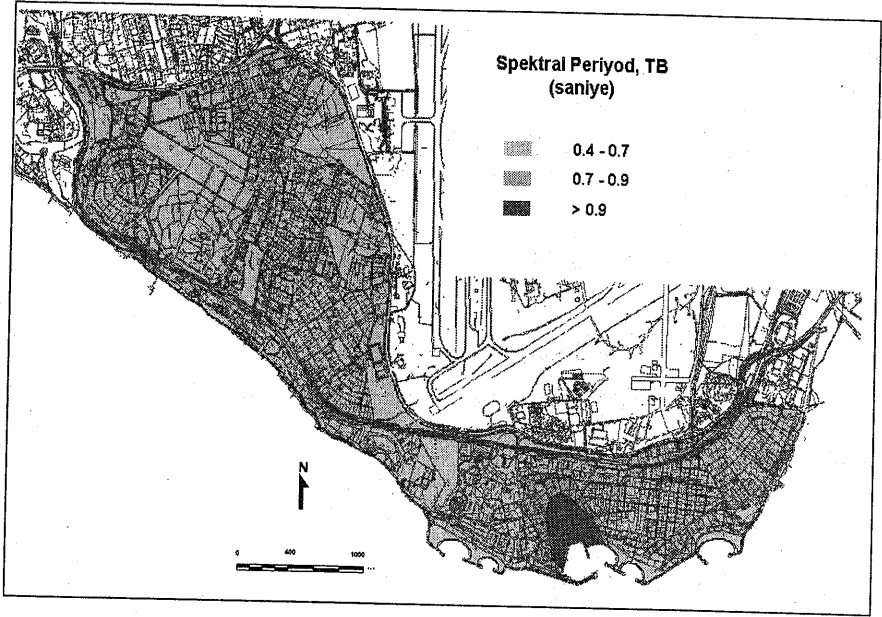
Şekil 6 : Ömerli inceleme bölgesi için spektral ivmenin değişimi



Şekil 7 : Ömerli inceleme bölgesi için spektral periyodun değişimi



Şekil 8 : Bakırköy inceleme bölgesi için spektral ivmenin değişimi



Şekil 9 : Bakırköy inceleme bölgesi için spektral periyodun değişimi

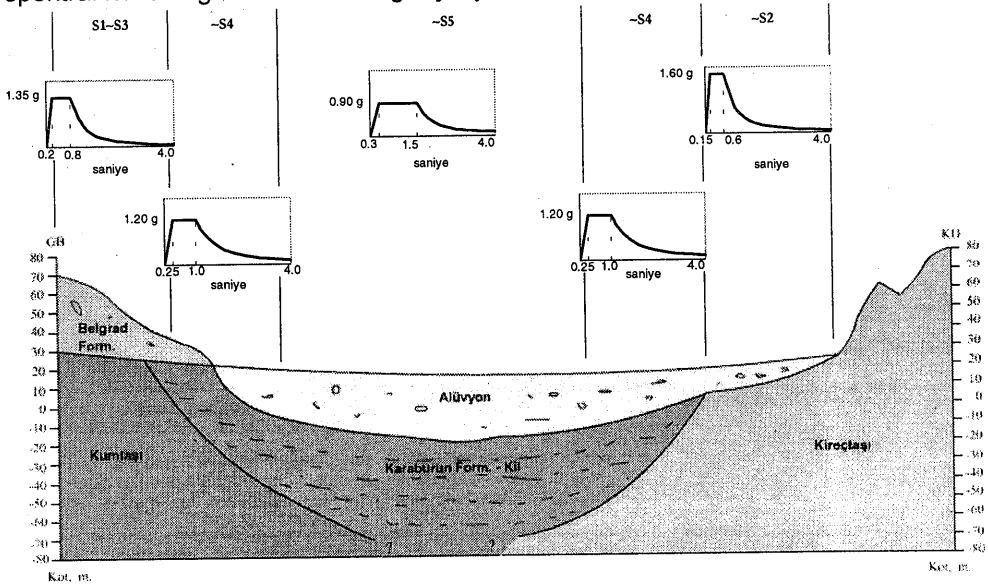
3.3.3. İnceleme Bölgelerinde Yerel Zemin Özelliklerinin Oluşturduğu Sonuçlar

Borcherdt (1997) zemin büyütmesi etkisinin zeminin yumuşaklığı oranında arttığını ifade ederek hakim periyod veya uç periyod değerlerinin zemin yüzeyinde 1.0 saniyeden daha yüksek seviyelere çıkabildiğini belirtmiştir [8]. Diğer taraftan tabakalı zeminlerde zemin içerisinde bir gerilme dalgasının yayılımı sırasında dalga zemin yüzeyi ile veya farklı empedans değerine sahip bir tabaka ile karşılaşılabilir. Farklı empedans değerine sahip tabaka su tablası veya kaya zemin yüzeyi olabilir. Bu ara yüzeylerden yansımalar zemin danelerinin hız büyüklüğünü veya süresini değiştirebilir ve yapı temellerine bu farklılaşmış gerilme dalgaları aktarılabilir. Düşük empedanslı ara yüzeylerden (zemin yüzeyi gibi) yansıyan basınç dalgaları, çekme dalgaları oluşturan dalga yansımalarına sebep olarak başlangıçtaki basınç dalgasının genliğini azaltıcı etki yapar. Diğer taraftan daha yüksek empedanslı kaya arayüzeylerinden yansıyan dalgalar yine basınç dalgaları olarak dönerler ve önceki basınç dalgaları ile birleşerek şiddetlerini artırırılar. (Rigas ve Sebas, 1999) [9]. Diğer taraftan kayma dalgaları için hangi tür ara yüzeyden yansıma olursa olsun etki

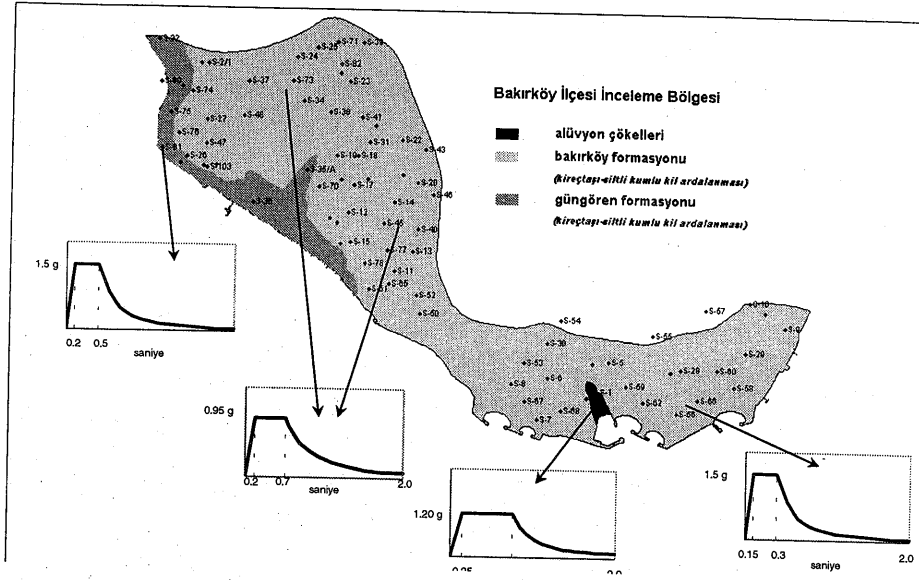
dalganın şiddetinin büyütülmesi yönünde olacaktır (Dowding, 1996) [10]. Burada tanımlanan davranış kireçtaşı-kil ar dalanmasında elde edilen zemin büyütme değerlerinin yüksek değerlere ulaşmasının sebebidir.

Şekil 10'da Ömerli bölgesinden alınan kesit içinde çeşitli bölgelerde elde edilen tepki spektrumları görülmektedir. Şekilden takip edilebileceği gibi uç periyotları 0.6 saniyeden 1.5 saniye mertebelerine kadar çıkabilmekte ve 0.15 – 0.30 saniye mertebelerindeki köşe periyodu değerleri ile birlikte spektrum zarfının geniş bir aralıkta maksimum spektral ivme değerlerini koruduğu görülmektedir.

İncelenen diğer bölge olan Bakırköy'de spektral parametrelerin bölge üzerindeki değişimi ise Şekil 11'de verilmiştir. Yumuşak zemin tabakalarından oluşan Ömerli bölgesine nazaran tabakalı zeminlerin hakim olduğu Bakırköy'de maksimum spektral ivme aralığı Ömerli'ye göre genellikle daha dardır ama yine de uç periyotları değerleri önemli büyüklüklere çıkabilmektedir. Ayrıca maksimum spektral ivme değerleri her iki bölge için yüksektir.



Şekil 10 : Ömerli inceleme bölgesine ait farklı tepki spektrumları



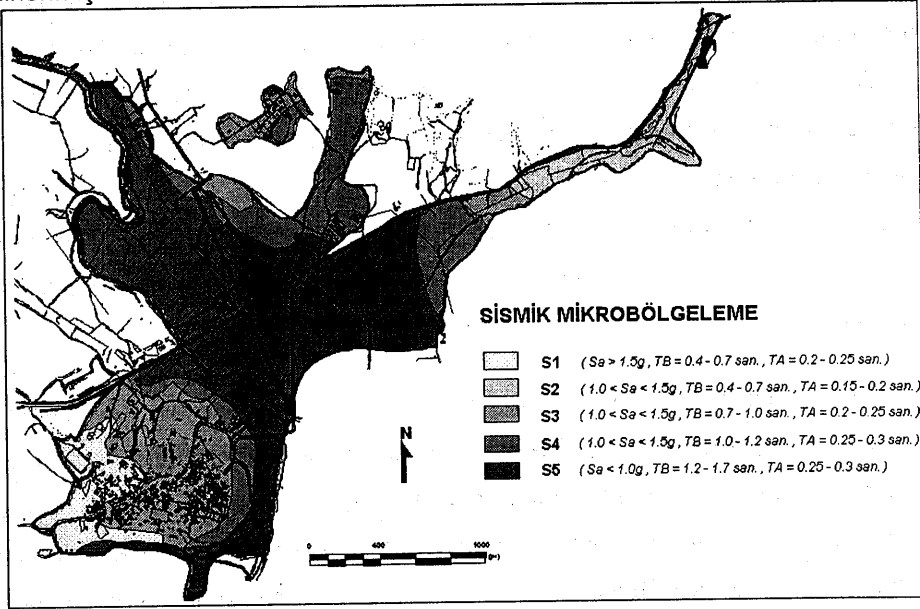
Şekil 11 : Bakırköy inceleme bölgesine ait farklı tepki spektrumları

4. MİKROBÖLGELEME ÇALIŞMALARI

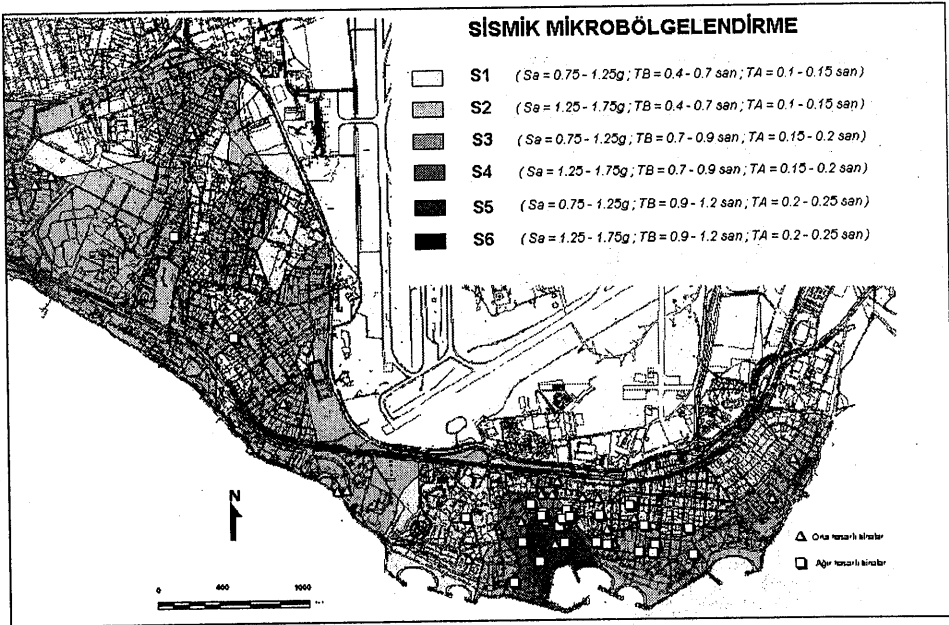
4.1. SİSMİK MİKROBÖLGELEME

Bölüm 3.2.2. deprem dalgaları üzerinde yerel zeminin büyütme etkisini tanımlamak üzere yapılan analizler sonucunda zemin tepki spektrumları elde edilmiş ve bulunan T_A , T_B spektrum karakteristik periyodları, spektral ivme ve spektral büyütme değerlerinin değişimi ve dağılımı inceleme alanının haritaları üzerinde gösterilmiştir. Mevcut ve yapılacak yapılar bakımından en önemli parametreler olan spektral ivme ile köşe ve uç periyotlarının bir arada değerlendirilmesi ve arazinin sismik davranışının bu anlayışla bölgenmesi gerekir. Bu amaçla bu projede incelenen bölgenin spektral ivme haritası ile uç periyodu (T_B) haritası karşılaştırılarak, spektral ivme ve uç periyodunu birarada tanımlayan sismik mikrobölgeleme haritası elde edilmiştir. Bu haritalar Ömerli ve Bakırköy için sırasıyla Şekil 12 ve 13'de verilmiştir.

Haritaların incelenmesi sonucunda görüldüğü üzere incelenen alan sismik davranış bakımından farklı bölgelere ayrılabilir. Ömerli için tespit edilen bölge sayısı 5 iken bu sayı Bakırköy'deki inceleme bölgesi için 6 olarak belirlenmiştir.



Şekil 12 : Ömerli inceleme bölgesine ait sismik mikrobölgeleme haritası



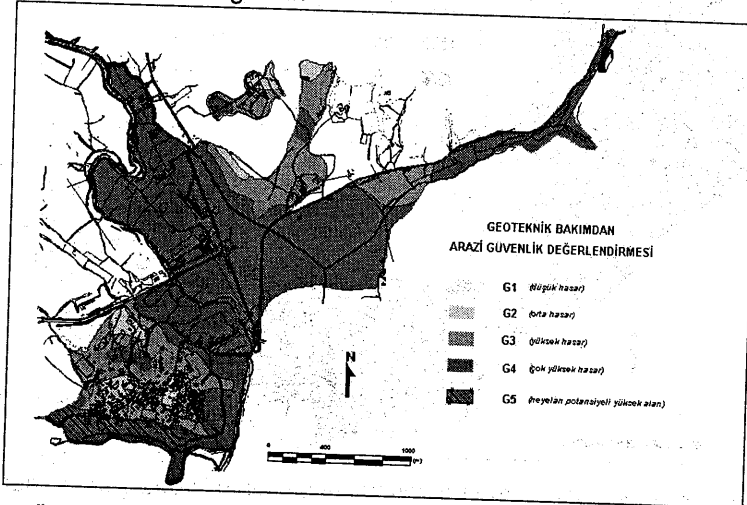
Şekil 13 : Bakırköy inceleme bölgesine ait sismik mikrobölgeleme haritası
(Kocaeli depreminden sonra bölgede hasar gören yapılar işaretlenmiştir.)

4.2. GEOTEKNİK BAKIMDAN ARAZİ GÜVENLİK DEĞERLENDİRMESİ

Zeminlerin statik ve dinamik yükler altında gösterdikleri tepkilerin ayrı ayrı tanımlanması sonucunda aynı bölgenin farklı davranış özellikleri sebebiyle yapılar bakımından içerdikleri risklerin entegrasyonu gereklidir. Hasar analizi veya arazi güvenlik değerlendirilmesi adı verilen bu çalışma incelenen bölgelerin statik yükler altında emniyetli taşıma gücü, dinamik yükler altında zemin büyütme davranışı, sıvılaşma potansiyeli, heyelan olasılığı gibi özellikleri esas alınarak yapılmıştır. Ayrıca, YASS, zemin tabakalanması, laboratuvar deney sonuçları ve gözlemler ile bölgenin zemin yapısı özelliklerine dayanan arazi güvenlik değerlendirilmesi yapılmıştır.

Değerlendirme için yukarıda tanımlanan davranış ve mukavemet özellikleri incelenen her nokta için önem ve etkinlik derecelerine göre puanlandırılmıştır. Daha önceden tanımlanan puan aralıklarının ifade ettiği güvenlik aralıkları esas alınarak bir noktaya ait elde edilmiş toplam puan değerine göre o noktanın güvenlik durumu belirlenmiş ve arazideki benzer güvenlik seviyelerini birleştiren arazi güvenlik değerlendirilmesi haritaları oluşturulmuştur.

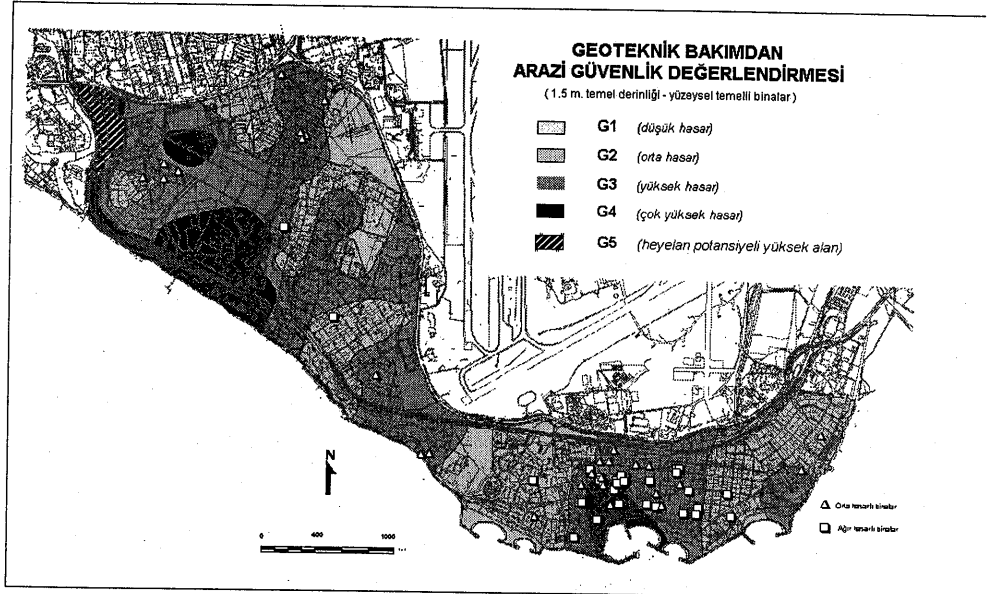
Yukarıda tanımlanan çalışmanın sonucu olarak elde edilen Ömerli ve Bakırköy inceleme bölgelerine ait geoteknik bakımdan arazi değerlendirme haritaları sırasıyla Şekil 14 ve 15'deki gibidir.



Şekil 14 : Ömerli inceleme bölgesine ait geoteknik arazi değerlendirme haritası

Ömerli bölgesine ait geoteknik değerlendirme haritasının incelenmesi sonucunda bölgenin genelinde çok katlı yapılaşmadan kaçınılmasının daha güvenli bir seçim olacağı görülmektedir. Güvenli olarak tanımlanan G1 bölgesi yok denecek kadar az alan kaplamaktadır. Diğer bölgelerde de yapılaşma bakımından özel önlem ve dikkate ihtiyaç vardır. Çok katlı yapıların yapılmasına ancak noktasal zemin etüdları, noktaya ait zemin tepki spektrumunun hesaplanması, özel tasarım ve inşaat yöntemlerinin uygulanması şartı ile izin verilebilir. Ömerli'de incelenen bölgelerin büyük bir kısmının yüksek derecede sivilaşma riski altında olması da sivilaşmaya karşı özel önlem alınmasını bu bölge için birincil öneme sahip kılmaktadır. Bu bölgede sadece binalar bakımından değil, aynı zamanda tüm yollar, park alanları, kanalizasyon, boru hatları vb. gibi yapılar için de zemin iyileştirme yöntemlerinin uygulanması gereklidir.

Bakırköy geoteknik değerlendirme haritasının incelenmesinden görüleceği üzere bölgede yüksek hasar olasılıklı alanlar geniş yer kapsamaktadır. Bakırköy bölgesi 1999 Kocaeli depreminden doğrudan etkilenmiş değildir. Buna rağmen bazı binalarda orta ve yüksek hasar oluşmuştur. Bu hasarların oluşmasında yerel zemin koşullarının etkisini tanımlamak üzere orta ve yüksek hasarlı yapılar haritalar üzerinde işaretlenmiştir. Elde edilen korelasyon dikkat çekicidir. Elbette bu analizi yaparken yapı özellikleri de hesaba katılmalıdır. Buna rağmen hasarlı yapıların tamamen hasar beklenen bölge sınırları içinde kalması arazi güvenlik haritalarının yerleşime uygunluk ve depreme karşı güvenlik çalışmalarındaki önemini vurgulamaktadır. Hasarlı yapıların sismik bölgeleme haritası üzerindeki dağılımı ise dağınık ve bölgelerden daha bağımsız görülmektedir. Buradan çıkarılan sonuç, sismik bölgelemenin tek başına arazi hasar olasılık durumunu tanımlamak için yeterli olmadığıdır.



Şekil 15 : Bakırköy inceleme bölgesine ait geoteknik arazi değerlendirme haritası
(Kocaeli depreminden sonra bölgede hasar gören yapılar işaretlenmiştir.)

5. SONUÇLAR

- Yerleşime uygunluk çalışmalarının kapsamının sismik ve geoteknik değerlendirmeyi de içerecek şekilde tanımlanması gereklidir. Bu gereklilik imara açık olan bölgeler için de aynı ölçüde önemlidir. Sadece jeolojik yapıya bağlı olarak geliştirilen haritalar bu gereksinime cevap verebilecek yeterlilikte değildir. Sismik ve geoteknik mikrobölgeleme haritaları jeolojik ve jeofizik çalışmalar, noktasal arazi ve laboratuvar etüdları, sayısal analizler ve geoteknik yorumların bir arada değerlendirilmesi ile oluşturulur.
- Bu bildiride İstanbul ili içinde zemin özellikleri bakımından çok büyük farklılık gösteren iki bölgede yapılan sismik ve geoteknik değerlendirme çalışmaları sunulmaktadır. Söz konusu inceleme bölgeleri Bakırköy ve Ömerli'de yer almaktadır. Elde edilen sonuçlar zemin özelliklerinin statik ve dinamik yükler altında zemin davranışını farklılaştırma seviyesini yansıtmaktadır.

- Sismik ve geoteknik mikrobölgelendirme çalışmaları geniş alan zemin araştırma çalışmaları olarak tanımlanabilir. Geniş alan araştırma çalışmalarında sonuçlar bölge haritaları üzerinde tanımlanmaktadır. Ancak elde edilen sonuçların geçerliliği ve arazideki davranışı temsil etme derecesi çalışmanın üç boyutlu zemin özelliklerini yansıtmaması ve araştırma noktalarının sıklığı ile doğru orantılıdır. Bu bakımdan bu bildiride sunulan iki örnek çalışma dünya literatüründe yer alan bu tür çalışmalar içerisinde nokta sıklığı ve üç boyutlu zemin özelliklerini yansıtmaması bakımından en fazla bilgi ve araştırma ile yapılmış çalışmalardan biri olma özelliğine sahiptir ve hatta bildiri yazarları daha sık bilgiyle hazırlanmış başka bir çalışmaya rastlamamışlardır.
- Her sondaj noktasında elde edilen bilgilerin incelenen bölge üzerindeki dağılım ve değişimi coğrafi bilgi sistemlerinden yararlanılarak haritalanmıştır. Sismik mikrobölgeleme haritalarının oluşturulmasındaki temel amaç büyütme özelliklerinin tanımlanması ve olası tasarım deprem etkilerine bağlı olarak tepki spektrumlarının elde edilmesidir. Tepki spektrumlarının iki temel parametresi olan spektral periyot ve spektral ivme değerlerinin karşılaştırılması ile sismik mikrobölgeleme haritaları oluşturulmuştur. Bu haritalar bölgede deprem kuvvetlerinin yapılar hangi kuvvet ve süreyle aktarılacağını tanımlanması bakımından çok önemlidir. Ancak arazi güvenlik değerlendirmesi çalışmaları statik ve dinamik yükler altında çeşitli davranış biçimlerini bir arada değerlendirebilmelidir. Bu anlayışla hazırlanan geoteknik mikrobölgelendirme haritalarında zemin büyütmesi, sıvılaşma, heyelan, emniyetli taşıma gücü gibi davranış özellikleri belli risk puanları ile birleştirilerek değerlendirilmiştir. Yerleşime açık Bakırköy bölgesinde 1999 Kocaeli depreminden etkilenen hasarlı yapıların sismik ve geoteknik mikrobölgelendirme haritaları üzerine yerleştirilmesinden elde edilen sonuçlarda geoteknik mikrobölgelendirmenin önemine işaret etmektedir. Nitekim geoteknik mikrobölgelendirme haritası üzerine yerleştirilen hasarlı binalarla yüksek korelasyon elde edilirken sismik bölgeleme haritasında aynı seviyede korelasyon elde edilememiştir. Bu da statik ve

dinamik yükler altında tüm hasar yapıcı etkenleri birleştirerek toplayan bir çalışmanın yerel zemin davranışı için en uygun yöntem olduğunu göstermektedir.

KAYNAKLAR

1. Seed , H.B., Whitman, R.V. Dezfulian, H., Dobry, R. and Idriss, I.M., 1972, "Soil Conditions and Building Damage in Caracas Earthquake" J. of the SMFE Div., ASCE, v. 98, SM8
2. Seed, H.B., 1987, "Design problems in Soil Liquefaction" ASCE J. of Geo. Eng. v. 113, n.8 pp.827-845
3. Chang, K.P. and Chang, T.S., 1994, "Liquefaction Induced Earth Movements and Mitigation in an Earthquake-Prone area Developments in Geotechnical Eng", Balasubramaniam et al. (eds) Balkana, ISBN 9054105224, pp. 291-299.
4. Ansal, A.M., 2001, "İstanbul'da Bir Sismik Bölgeleme Uygulaması"
5. Eyidoğan, H., Haessler, H., Polat, O., Cisternas, A., Gürbüz, C., Frogneux, M., Aktar, M., Üçer, B., Bouchon, M., Comte, D., Philip, H., Kaypak, B., Ergin, M., Karabulut, H., Akıncı, A., Kuleli, S. ve Yörük, A., 2000, "Analysis micro-seismicity in the Marmara region; fault kinematics and stress distribution" In: Boduroğlu, H. et al., (eds), Proceedings of the 3rd Japan-Turkey Workshop on Earthq. Engineering., Vol.1, 21-25 Feb. 2000, İstanbul, 483-492.
6. Parsons, T., Toda, S., Stein, R., Barka, A. Ve Dieterich, 2000. "Heightened odds of large earthquake near Istanbul: an interaction-based probability calculation", Science, vol:288, 661-665.
7. Borchardt, R.D., 1994, "New Developments in Estimating Site Effects on

Ground Motion" ATC-35-1 Report

8. Borchardt, R.D., 1997, "Spatial Ground-Motion Amplification Analysis" Proc. of GeoLogan'97 p 56-69
9. Rigas, F. and Sebas, I. 1999, "Amplification Effects of Soil Stratification on Ground Stress Waves" ASCE J. of Geotechnical Eng., July 1999, 611-614
10. Dowding, H.C., 1996, Construction Vibrations, Prentice Hall, Englewood Cliffs, N.J.

ABSTRACT

Site safety evaluation can not be solely based on geological investigation and evaluation, instead seismic and geotechnical microzonation studies should be included in the scope of the evaluation. This point has been strongly supported by the results of the site safety evaluation projects which were carried out for Bakirkoy and Omerli districts of Istanbul.

These two districts are chosen as typical examples to reflect the effects of different soil profiles and geological settings. The seismic and geotechnical microzonation works carried out for these districts are outlined in this paper to provide comprehensive examples for site safety evaluation works. The results indicated the necessity of the combination and integration of the primary and secondary effects of static and dynamic loading to assess the probable hazard or safety level of a site.

