

5. OTURUM

Oturum Başkanı :

İnş. Yük. Müh. Enver ALTINOK

**“TARİHİ YARIMADANIN JEOLJİK, GEOTEKNİK YAPISI
VE SİSMİK MİKROBÖLGELEMESİ”**

Prof. Dr. Kutay ÖZAYDIN

(YTÜ İnşaat Fakültesi)

**“İSTANBUL'DAKİ YAPILARIN YAPI MALZEMESİ
AÇISINDAN DEĞERLENDİRİLMESİ”**

Prof. Dr. Mehmet Ali TAŞDEMİR (İTÜ İnşaat Fakültesi)

Prof.Dr. Hulusi ÖZKUL (İTÜ İnşaat Fakültesi)

Prof. Dr. KUTAY ÖZAYDIN
(Yıldız Teknik Üniversitesi, İnş. Fak. İnş. Müh. Bölümü, Geoteknik Anabilim Dalı) -



TARİHİ YARIMADANIN (İSTANBUL), JEOLJİK-GEOTEKNİK YAPISI VE SİSMİK MİKROBÖLGELEMESİ*

ÖZET

Bu çalışmada Eski İstanbul (Fatih-Eminönü İlçeleri) Bölgesi jeolojik ve geoteknik koşulları ayrıntılı olarak incelenerek sismik mikrobölgelemesi yapılmıştır. Bölgenin yerleşime uygunluğunun araştırılması kapsamında yapılan arazi çalışmaları ile, bölgenin jeolojik ve tektonik özellikleri belirlenip sondajlardan alınan örnekler incelenerek, bölgede yer alan zeminlerin geoteknik özellikleri araştırılmıştır. Ayrıca bölgede çeşitli amaçlar için yapılan zemin etüd sondajları ve sismik deneyler de bu kapsamda değerlendirilmiştir. Yerel zeminlerin geoteknik özelliklerindeki değişimin dinamik davranışa etkisini incelemek için arazi ve laboratuvar araştırmalarından elde edilen verilerden faydalanılarak ve 50 yılda % 10 ve % 40 aşılma olasılıklarına göre hesaplanmış deprem hareketleri kullanılarak dinamik davranış analizleri, sıvılaşma tahkikleri ve şev stabilitesi analizleri yapılmış, elde edilen veriler Coğrafi Bilgi Sistemi'ne (GIS) aktararak inceleme alanının yer sarsıntısı, sıvılaşma tehlikesi ve heyelan tehlikesi haritaları hazırlanmıştır.

1. GİRİŞ

Mevcut yerleşim alanlarının deprem tehlikesinin belirlenmesi ve yeni yerleşim alanlarının imara açılması çalışmalarında, yerel zemin koşullarından kaynaklanabilecek büyütme, sıvılaşma, yamaç kaymaları ve farklı oturmalar gibi risklerin sismik mikrobölgeleme çalışmaları ile göreceli tehlike bölgeleri olarak ortaya konmasının depremler sırasında meydana gelecek hasarların azaltılmasında etkili olacağı düşünülmektedir. Bu amaçla, ülkemiz ve hatta dünya açısından çok özel bir yeri olan İstanbul'un en önemli bölgesi olan Eski İstanbul (Fatih ve Eminönü İlçeleri) bölgesi için sismik mikrobölgeleme haritaları hazırlanmıştır.

Sismik mikrobölgeleme çalışmaları genel olarak, bölgenin depremselliği ve deprem riskinin ortaya konulması, bölgeye ait jeolojik ve faylanma özelliklerinin belirlenmesi ve geoteknik yerel koşullarının etkilerinin belirlenmesi olmak üzere üç aşamadan meydana gelmektedir. Geoteknik yerel zemin koşullarının etkisi ise zemin büyütmesi, şev stabilitesi ve sıvılaşma tehlikesi olmak üzere üç kısımda değerlendirilebilmektedir. Buna göre, öncelikle inceleme alanının deprem tehlikesi probabilistik bir yaklaşım ile GSHAP (1999) projesi kapsamında yapılmış olan çalışmalardan yararlanılarak ve SEISRISK III (Bender vd., 1987) programı kullanılarak 50 yılda %10 ve %40 aşılma ihtimaline göre 250m'lik aralıklarla hesaplanmıştır.

*Kutay ÖZAYDIN (Yıldız Teknik Üniversitesi, İnş. Fak., İnş. Müh. Bölümü, Geoteknik Anabilim Dalı), Gökçe Çiçek İNCE (Niğde Üniversitesi, Aksaray Müh. Fak., İnş. Müh. Bölümü, Geoteknik Anabilim Dalı), Mustafa YILDIRIM (Yıldız Teknik Üniversitesi, İnş. Fak., İnş. Müh. Bölümü, Geoteknik Anabilim Dalı),

Mikrobölgeleme çalışmalarının başarılı olabilmesi için bölgenin jeolojik ve faylanma koşullarının doğru olarak ortaya konulması gerekmektedir. Bu amaçla inceleme alanının jeoloji ve faylanma haritaları ve enine kesitler 125 adet sondaj bilgisi, arazi gözlemleri, topoğrafik bilgiler ışığı altında titizlikle hazırlanmıştır. Çalışma bölgesi 250m*250m'lik hücelere bölünmüş ve her bir hücre için temsili zemin profilleri jeoloji haritası ve enine kesitlerden yararlanılarak oluşturulmuştur. Ayrıca, dinamik zemin davranışı açısından kayma dalgası hızının önemli bir parametre olduğu göz önüne alınarak her bir hücre için kayma dalgası hız profilleri hazırlanmıştır.

Dinamik deprem yükü etkisi altında zemin davranışının modellenmesi için yarı sonsuz tabakalı viskoelastik bir ortamda dalga yayılması esasına dayanarak hazırlanmış olan EERA (Bardet, J.P. vd., 2000) programı kullanılmıştır. Deprem hareketini ifade etmek için spektrum uyumlu kayıt üretebilen yarı stokastik bir yöntem olan Tarscths (Papageorgiou, A. vd., 2000) programı kullanılmış ve yapay olarak deprem kayıtları üretilmiştir. Dinamik analiz sonucunda her bir hücredeki spektral ivme, spektral hız ve büyütme hesaplanmıştır. Zeminde ait büyütme değerleri ayrıca amprik bir yöntem olan Midorikawa (1987) eşitliği kullanılarak her bir hücre için hesaplanmıştır.

Zemin büyütmesine göre mikrobölgeleme haritalarının oluşturulması için Afet Risk Yönetimi için Dünya Enstitüsü (DRM) tarafından yürütülen “Deprem Riskini Azaltmak için Mikrobölgeleme” çalışmaları kapsamında hazırlanan sismik mikrobölgeleme yönetmeliğinde (MERM, 2003) önerilen yöntem kullanılmıştır. İnceleme alanı yer sarsıntısına göre A_{GS} , B_{GS} ve C_{GS} şeklinde % 10 ve % 40 aşılma olasılıklarına göre ayrı ayrı bölgenmiştir.

İnceleme alanının şev stabilitesi açısından değerlendirilmesi amacı ile Siyahi ve Ansal (1993) tarafından önerilen şev stabilitesi analiz yöntemine göre hazırlanmış KoeriSlope V1.0 (Fahjan, Y.M. vd., 2003) programı kullanılmış ve kaymaya karşı güvenlik faktörlerine göre şev stabilitesi açısından mikrobölgeleme haritaları oluşturulmuştur.

Sıvılaşma açısından tehlike oluşturabileceği düşünülen Haliç sahil kesimleri, Yenikapı ve Kumkapı sahil kesimleri ile Vatan Caddesi boyunca bulunan hücrelerde Seed vd., (1984, 1985) tarafından önerilen basitleştirilmiş yöntem kullanılarak sıvılaşmaya karşı mikrobölgeleme haritaları oluşturulmuştur.

2. TARİHİ YARIMADANIN TOPOĞRAFİK VE MORFOLOJİK DURUMU

Eminönü ve Fatih İlçelerinden oluşan Tarihi Yarımada kuzeyde Haliç, doğuda İstanbul Boğazı, güneyde Marmara Denizi ile çevrili olup, batısını ise tarihi surlar ile sınırlayan Eyüp ve Zeytinburnu İlçeleri oluşturmaktadır. Yöre deniz seviyesi ile maksimum +75m kotuna kadar yükselen kuzeybatı-güneydoğu gidişli yayvan tepe düzlükleri ve bunların arasında yer alan geniş ve eski bir dere yatağı olan yayvan bir vadiden (Vatan Caddesi) oluşan morfolojik bir yapı içermektedir. Yörenin bugünkü konuma ulaşmasında fayların yanında dayanımları farklı kayaların etken rol aldığı da gözlenmektedir. Temel kayalarının gözlemlendiği kesimlerde yamaç eğimleri ortalama 30° iken, diğer gevşek tutturulmuş litolojilerde bu eğim 10° civarında olmaktadır.

3. TARİHİ YARIMADANIN JEOLJİSİ

İnceleme alanı ve çevresinde yapılan jeolojik incelemeler ile bölgede çeşitli amaçlar için yapılmış toplam 125 adet sığ ve derin sondaj ve araştırma çukurları verileri değerlendirilerek, yörenin jeolojik yapısı ve zemin profili ortaya çıkarılmıştır. Yapılan incelemeler yörede iki farklı formasyonun yüzeylendiğini göstermektedir. Bunlardan ilki bölgenin temelinde yer alan ve ana kayayı oluşturan, Alt Karbonifer yaşlı, Trakya formasyonu olarak adlandırılan kumtaşı/silttaşı (grovak) ve kilaşı ardalanmasından oluşan litolojilerdir (Kaya, 1971, Vardar, Bayraktar, 1993). Diğer formasyon ise, grovaklar üzerinde diskordan oturan Üst Oligosen-Üst Miyosen yaşlı gevşek tutturulmuş kum-kil ardalanmalarından oluşan ve üst seviyelere doğru karbonat oranı artarak marn/kireçtaşı ardalanmasıyla kesiksiz devam eden düzenli bir istifdir. Bu çökel dizisi, Miyosen sonuna kadar kesintisiz devam etmektedir (Yıldırım, 2002-2003). Literatürde Sayar (1976) tarafından Gürpınar, Çukurçeşme, Güngören ve Bakırköy formasyonu olarak adlandırılmış bu çökeller tek bir çökel dizisi olup, alt seviyelerde yaygınca gözlenen çakıl-kum katmanları ile başlamakta, üste doğru aşırı konsolide yeşil killere geçmektedir. Kumlar ile ardalanan ve Sarmasiyen döneminde de yaygınca çökelimini sürdüren bu aşırı konsolide killer üst seviyelere doğru kum-kil litolojileri arasında karbonat katkıları artarak, gölsel ortamda gelişmiş marn ve killi kireçtaşları ile ardalanmalı bir dizi şeklinde devam etmektedir (Şekil 1, 2, 3). İstifin en üst düzeyi ise Üst Miyosen (Ponsiyen) dönemine ait karbonatlı kil ya da kumlu seviyelerle son bulmaktadır (Baykal, 1974; Yıldırım, 2003).

Tarihi Yarım Ada'nın görünür temelinde yer alan Trakya formasyonunun grimsi kahverengi grovakları Aksaray, Kumkapı-Sarayburnu arası ve Haliç'e bakan dik yamaçlarda kuzeybatı-güneydoğu ve kuzeydoğu-güneybatı doğrultuda gelişmiş düşey faylarla yer yer yüzeylenirler. Yer yer gri kireçtaşı mercceklerini içeren kumtaşı-silttaşı ve kilaşlarından oluşan bu istif, batıya dalımlı olmaları nedeniyle, batı kesimlerine doğru yüzeylenmeyip, kalınlığı ve yayılımı yine batı yöne doğru artan Üst Oligosen-Üst Miyosen yaşlı genç çökeller tarafından diskordan örtülüdürler. Tarihi Yarımada'da yüzeylenmeyen, ancak grovaklar üstünde diskordan oturan ve genç çökeller tarafından örtülü Orta Eosen-Alt Oligosen yaşlı Kırklareli formasyonunun, kalınlığı 5-15m arasında değişen kumlu killi bir taban seviyesi ile başlayan marn ve kireçtaşları ise, inceleme alanı güneybatı sınır köşesinde tarihi surların Marmara Denizi ile kesiştiği Yedikule civarında açılan derin sondajlarda (DSİ) tesbit edilmiştir. Bu yöre, Kırklareli formasyonu kireçtaşlarının rastlandığı en doğu uç sınırını oluşturması açısından önemlidir.

Üst Oligosen-Üst Miyosen yaşlı çökeller Trakya formasyonu grovakları üzerinde gri, sarımsı renkli çakıllı-kumlu seviyelerden oluşan bir taban çakıltaşı ile başlamakta üste doğru yeşil kil- gri-krem renkli kum ardalanmalarıyla (Gürpınar formasyonu) devam etmektedir. Çakıllı kumlu litolojilerden oluşan bu taban seviyeler, Aksaray ve Vatan Caddesi'nde de görüldüğü üzere hemen hemen tüm mostra ve sondajlarda grovakların üstünde kontakt zonunda görülmektedir. Bu seviyeler üste doğru yaygınca gözlenen aşırı konsolide yeşil renkli killi seviyelere geçmekte ve üstte birkaç düzeyde ardalanan kumlu (Çukurçeşme formasyonu) ve karbonatlı seviyelerle (Bakırköy formasyonu) devam etmektedir. Üst Oligosen-Üst Miyosen yaşlı kesiksiz çökelmiş ve yer yer ardalanan bu genç çökeller inceleme alanı batı dışında da yaygınca devam etmekte, kalınlıkları ise Tarihi Yarımada'yı oluşturan Eminönü İlçesi'nde

S E N O Z O Y İ K							
ÜST SİSTEM	SİSTEM	SERİ	FORMASYON	KALINLIK (m)	LİTOLOJİ	AÇIKLAMALAR	
PALEOZOYİK	KARBONİFER	KUTU- TİNER	KOLÇEH		5-20		ÇAKIL, KUM, SİLT, KİL (ALÜVYON) Uyumsuzluk
		T E R S İ Y E R	PLİYOSEN	SAMANDİRA	10-50		SİLTİLİ KİL: Kırmızı renkli, kumlu, yuvarlak - yarı yuvarlak kuvarsit çakıllı, çok katı - sert, gevşek tutturulmuş Uyumsuzluk
			U.OLİGOSEN - U. MIYÖSEN	BAKIRBOY	10-20		KİREÇTAŞI - MARN: Beyaz krem renkli, tebeşirimsi, poroz, ince - orta katmanlı, Maktalı, kil / kum arakatmanlı
				GÜN- BÖKEN	10-20		KİL: Koyu gri - boz renkli, karbonatsız veya az karbonatlı, sildi, bitki artıklı, yüksek plastisiteli orta katı - katı, mercekşel
					20-20		KUM: Sarımsı gri, açık kahverengi, çakıllı ve sildi, kil arakatmanlı, tutturulmamış veya çok gevşek tutturulmuş, çapraz katmanlı
T E R S İ Y E R	O.EOSEN-A.OLİGOSEN	KIRKLARELİ	GURPINAR	> 200		KİL / KİLTAŞI - KUM ARDALANMASI: Kil: Grimsi yeşil, aşırı konsolide, tuf seviyeli, fissürlü yer yer karbonatlı / kireçtaşı bantlı, kömür katlı Kiltaş: Gri - yeşil, ince - orta katmanlı Kum: Açık gri - sarımsı krem renkli, kuvars-kireçtaşı çakıl ve bloklu ÇAKILTAŞI: Grimsi kahverengi, kumlu, killi, kireçtaşı çakıllı, kömür arakatmanlı Uyumsuzluk	
						MARN - KİREÇTAŞI: Beyaz - sarımsı bej - gri renkli, orta-kalın katmanlı, karbonatlı kil arakatmanlı, fosilli KARBONATLI KUMTAŞI: Krem renkli, ince taneli, sert, som yapılı RESİFAL KİREÇTAŞI: Beyaz - bej renkli, sert, som yapılı, karsük, bol fisilli	
						ÇAKILTAŞI - MARN: Grimsi bej renkli, bol grovak çakıllı, kum - silt - kil ve kömür arakatmanlı Uyumsuzluk	
						KUMTAŞI (Grovak) - SİLTİTAŞI - KİLTAŞI: Mavimsi gri - kahverengi, kireçtaşı mercekli (Ölçeksiz)	
TRAKYA	> 1000						

(YILDIRIM, 2002)

dolgu tabakaları hariç 40 m'yi geçmez iken, batıya doğru gittikçe artarak, Fatih İlçesi'nde 90 m kalınlığa ulaşabilmektedir.

Tarihi Yarım Ada'yı diğer ilçelerden ayıran en önemli özelliklerinden biri de mühendislik açısından önem taşıyan ve geniş alanlar kaplayan yapay dolgulardır. Tarihi Yarım Ada'nın yerleşim tarihinden kaynaklanan yapay dolgular, bilhassa Eminönü İlçesi'nin hemen hemen tamamında yaygınca gözlenmektedir. Sondaj verileri önceki çalışmalarda grovak olarak harita alımı yapılan yerlerin birçoğunun 3 m ile 8 m arasında kalınlıkta kontrolsüz yapay dolgularla kaplı olduğunu göstermektedir. **Şekil 1**'de jeoloji haritasında görüldüğü üzere, 10 m kalınlığı aşan dolgular haritalandığında Eminönü İlçesi'nde yer alan Eminönü-Sarayburnu arası düzlükler ile güneye doğru devam eden yamaç ve Beyazıt Mevkii'ni oluşturan tepe düzlüklerinde yüzeyde çok geniş alanların yapay dolgu ile kaplandıkları gözlenmektedir.

Depremsellik açısından da önem kazanan bu yapay dolguların sahil kesiminde altlarında yer alan alüvyon ve sahil kumları ile kalınlıkları toplamı yer yer 30 m'yi aşabilmektedir. Halic sahil şeridinde yer alan düzlüklerde ise, dolgu ve alüvyonların altında kalan gevşek tutturulmuş kumlu killi Halic çökelleriyle bu kalınlık 40 m'yi aşmakta ve altta grovaklara rastlanılmaktadır. Kalınlığı 10 m'yi aşan yapay dolguların gözlendiği diğer bir alan ise Kocamustafapaşa, Yenikapı ve Kumkapı sahil şeridi ve düzlükleri olup, burada alüvyonlar ile karışmış yapay dolgular 25 m kalınlığa kadar ulaşmaktadır. **Şekil 4**'de yapay dolgu+alüvyal çökel-lerden oluşan dolgu kalınlığı haritası, **Şekil 5**'de ise ana kaya derinliği haritası gösterilmiştir.

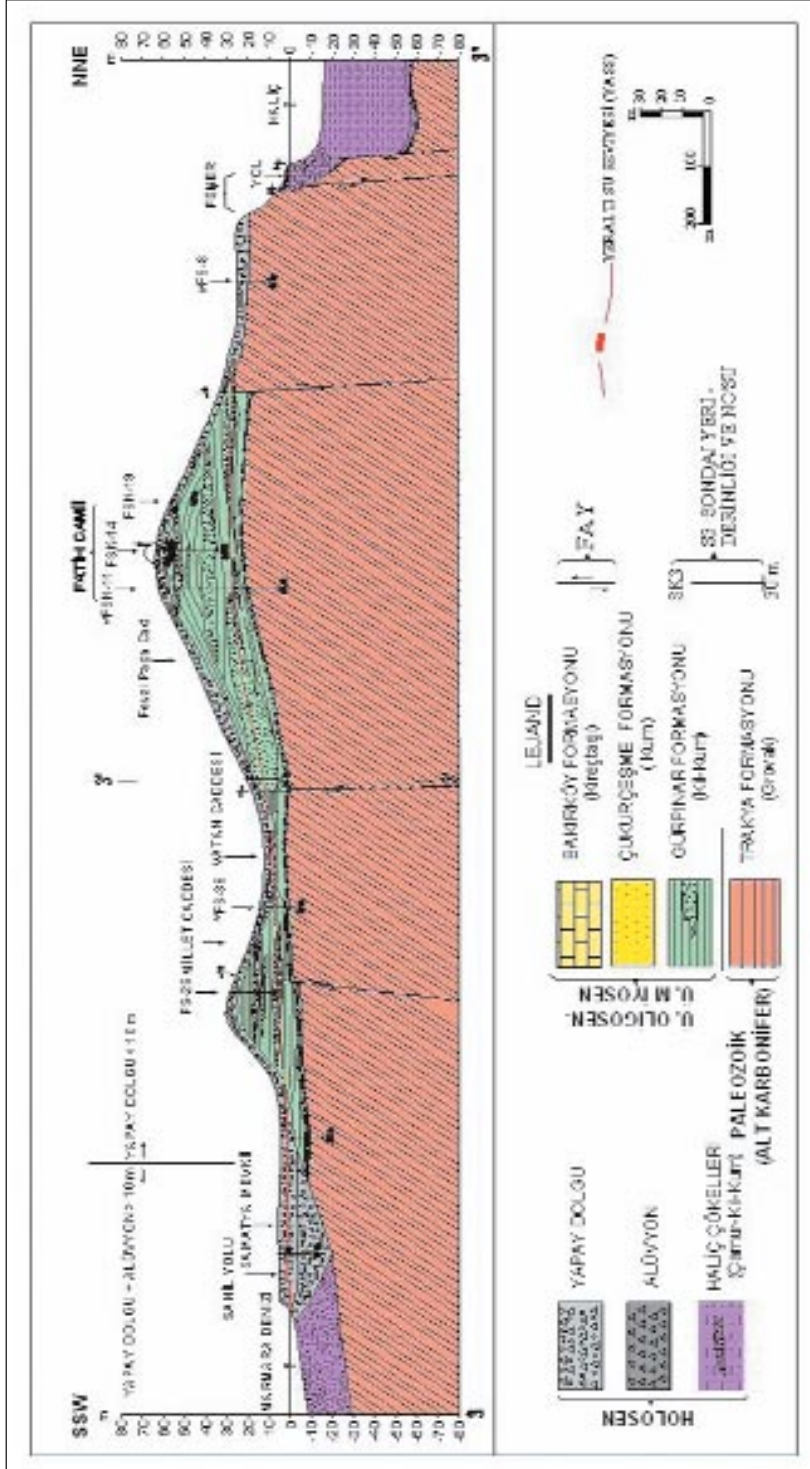
4. TARİHİ YARIMADANIN ZEMİN YAPISI

Tarihi Yarım Ada'da iki farklı gruba ait formasyonlar ile bunları örten alüvyon ve yapay dolgudan oluşan birimler yüzeylenmektedir. Bunlardan ilki bölgenin temelinde yer alan ve ana kayayı oluşturan Alt Karbonifer yaşlı kumtaşı/silttaşı (grovak) ve kilaşı ardalanmasından oluşan Trakya formasyonu, diğerleri ise grovaklar üzerinde diskordan oturan Üst Oligosen-Üst Miyosen yaşlı kum-kil-karbonat ardalanmasından oluşan formasyonlardır. Üst Oligosen-Üst Miyosen yaşlı çökeller, hem Tarihi Yarım Ada'nın, hem de İstanbul'un Avrupa Yakası'nda yaygınca gözlenen gevşek tutturulmuş kum-kil ardalanmalarından oluşan ve üst seviyelere doğru karbonat oranı artarak marn/kireçtaşı ve yer yer çakıllı kum ardalanmalarıyla kesiksiz çökelişini sürdürmüş (Gürpınar, Çukurçeşme, Güngören, Bakırköy, Belgrad fm.) formasyonlardan oluşmaktadır.

Aşağıda tabandan yüzeye doğru yer alan formasyonların özellikleri kısaca açıklanmıştır:

Trakya Formasyonu

Tarihi Yarım Ada'nın doğu ve kuzey alanlarında aşınmaya ve tektonizmaya bağlı olarak yüzeylenen ve görünür temelde yer alan Trakya formasyonu grovakları ve kilaşları çoğunlukla çok çatlaklı ve ayrışmaya uğramışlardır. Bu kayaların fiziksel ve mekanik özelliklerinin, uzun bir süreç sonunda meydana gelen bozuşma ya da tektonik hareketlerin etken olduğu yapısal bozukluklar sonucunda, çok geniş bir aralıkta değiştiği gözlenmektedir.



Şekil: 3 Fatih ilçesi Samatya-Fener Arası Zemin Kesiti

Gürpınar Formasyonu

Grovaklar üzerinde bir taban çakıltası ile başlayan ve üst seviyelere doğru kil oranı artarak devam eden kum merceklerini de içeren Gürpınar formasyonunun hakim litolojisi grimsi yeşil renkli aşırı konsolide killeri olup, daha çok Vatan Caddesi'ne bakan güney-kuzey yamaçlar ve doğu-batı uzantılarında yüzeylenmektedir (Özaydın vd., 2004). Casagrande sınıflamasına göre çoğunlukla yüksek plastisiteli kil (CH) sınıfına giren ve aşırı konsolide kil özelliği taşıdığı bilinen Gürpınar formasyonu, SPT darbe sayılarına göre "Kati-Çok Kati-Sert" kıvamında bir zemin niteliğindedir. İçinde kalınlığı yer yer 20 m'yi aşan mercekler halinde bulunan kum ve çakıl seviyelerinin SPT darbe sayısı $N=45$ civarındadır. 20 m derinlikten sonraki killi seviyelerin çok sert kıvamda ve $N>50$ olduğu yüzeye yakın seviyelerde ise $N=30$ civarında değerler ölçüldüğü gözlenmektedir.

Çukurçeşme Formasyonu

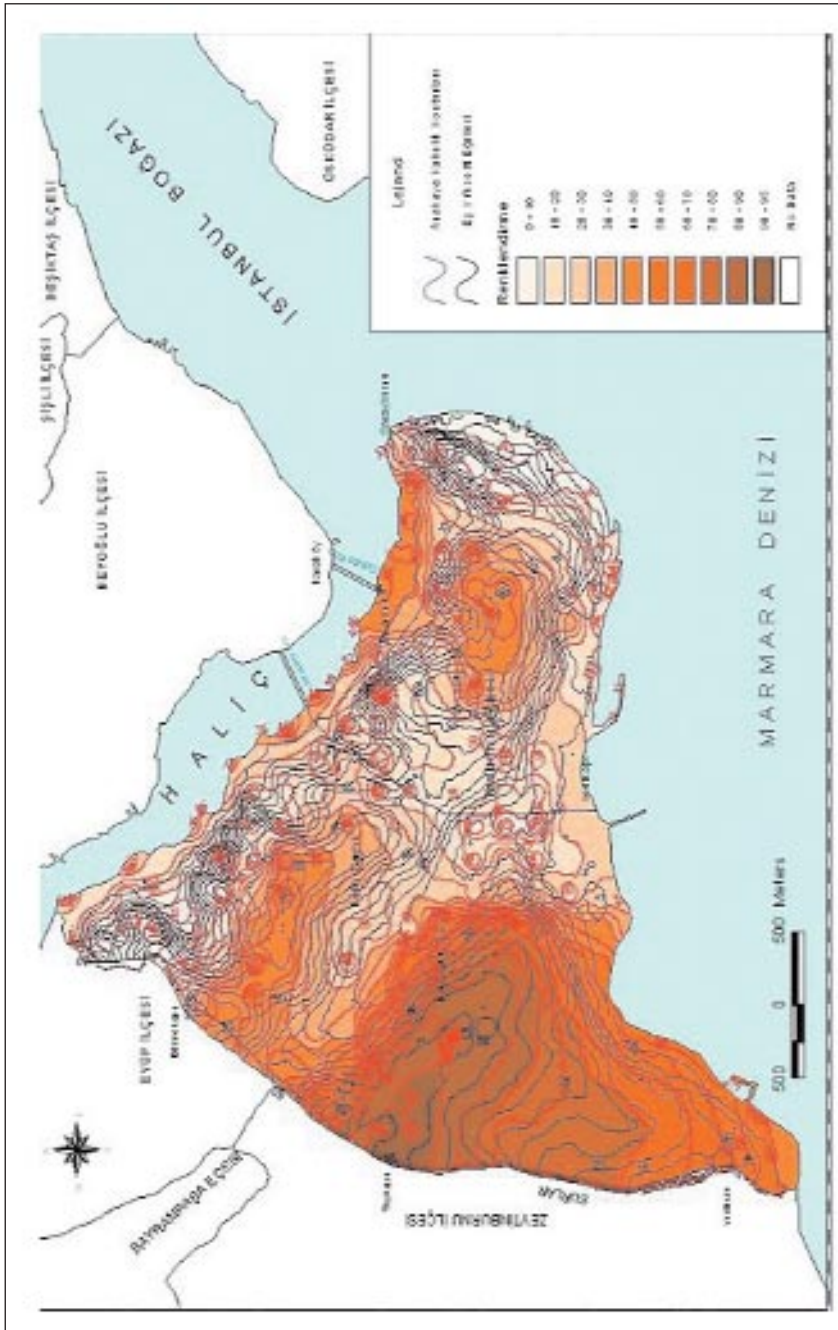
Gerek Gürpınar formasyonunun killeri arasında gerekse üst seviyelerinde, yanal sürekliliği sınırlı, mercekler halinde kumlar yer almaktadır. Çukurçeşme formasyonu olarak adlandırılan kumlar çoğunlukla Gürpınar formasyonu üst seviyelerini oluşturan Üst Miyosen yaşlı ve aşırı konsolide killeri arasında yer alan kum mercekleridir. Rami kuzeyindeki Çukurçeşme Mevkii'ne atfen adlandırılan açık sarımsı gri renkli, muskovitli, kuvarsça zengin bu birim, çimentosuz – gevşek çimentolu olup, kalınlığı 30m'yi aşmamaktadır (Sayar ve Pamir, 1933; Sayar 1976, Sakıncı v.d. 2001). İstif yer yer yeşil kil bantlıdır. Karasal nitelikli bu formasyonun kum, çakıllı kum ve serizitli kum seviyelerinde çapraz tabakalanma görülmektedir. İnce-daneli kum seviyelerinde, kuvarsın yanında, tali mineral olarak, çört, demir mineralleri, serizit ve muskovit bulunmaktadır. Birim "Kötü derecelenmiş, siltli, killi kumlar (SM, SC) ve killi çakıl (GC)" sınıfına girmektedir. Kil-kum-çakıl oranlarına göre SPT değerleri $N=20-50$ arasında değişmektedir (Eroskay ve Kale, 1986).

Güngören Formasyonu

Güngören formasyonu (Sayar 1976), litolojik olarak siyah – koyu gri, organik içerikli, şişme özelliği gösteren, yüksek plastisiteli killerden oluşmaktadır. İnceleme alanında haritalanamayacak ölçekte seyrek olarak mostra veren bataklık ortamı ürünü bu formasyonun yanal sürekliliği de sınırlıdır. Üst Miyosen yaşlı bu birim, aslında belirli bir seviyede değil, değişik seviyelerde rastlanılan organik içeriği yüksek, yüksek plastisiteli kil merceklerinden oluşmakta ve stratigrafik istifte de sadece üst seviyelerde değil, yer yer daha alt seviyelerde de görülebilmektedir (Yıldırım, 2003). Bu birimde SPT darbe sayıları genellikle 25-30 arasında ölçülmektedir.

Bakırköy Formasyonu

Stratigrafik kesitte kil-kum ardalanmalarının üst seviyelerinde birkaç düzeyde tekrarlanan karbonat mercekleri Bakırköy formasyonunun hakim litolojisini oluşturur. Bu hakim litoloji, görsel ortamda çökelmiş, kirli beyaz – krem renkli, yatay katmanlı, genellikle yeşil kil aratabakalı, orta – yüksek dayanımlı, Mactra'lı kireçtaşları ile zayıf – orta dayanımlı marnlardır. Üst seviyelerde yer alan ve Üst Miyosen yaşlı bu litolojiler, yukarıda da değinildiği



gibi, kil tabakaları ile bir kaç düzeyde ardalanmalı ve farklı doku ve dayanımında olabilmektedir. Yörede, aşınmaya dayanımı killere nazaran daha fazla olması nedeniyle yayvan tepe düzlüklerinde yüzeylenirler. Beyazıt Mevkii ve Millet Caddesi ile Yedikule Surları arası geniş tepe düzlük ve yamaçların tamamında yaygınca gözlenir ve bu kesimlerde kil ara katkılı karbonatlı seviyelerin kalınlığı yer yer 30m'yi aşabilmektedir.

Alüvyon ve Yapay Dolgular

Tarihi Yarım Ada'da sahil şeritlerine birleşen dere yatakları ve vadi düzlüklerinde (Vatan Caddesi) alüvyal çökeller yer almaktadır. Kalınlıkları 10 m'yi aşmayan kumlu killi litolojilerin egemen olduğu alüvyonlar çoğu yerde tarihi kalıntıları içeren kontrolsüz yapay dolgular tarafından örtülüdürler. Yapay dolgular yoğun olarak Eminönü İlçesi'nde yer almakta, Eminönü-Sarayburnu arası düzlükler ile güneye doğru devam eden yamaç ve Beyazıt Mevkii'ni oluşturan tepe düzlüklerinde yüzeyde çok geniş alanların yapay dolgu dolguların sahil kesiminde altlarında yer alan alüvyon ve sahil çökelleri kumları ile birlikte kalınlıkları toplamı yer yer 30 m'yi, Haliç sahil şeridinde yer alan düzlüklerde ise dolgu ve alüvyonların altında kalan killi Haliç çökelleriyle bu kalınlık 40 m'yi aşmaktadır. Kalınlığı 10 m'yi aşan yapay dolguların gözleendiği diğer bir alan ise Kocamustafapaşa, Yenikapı ve Kumkapı sahil şeridi ve düzlükleri olup, burada sahil kumu ve alüvyonlar ile karışmış yapay dolgular 25 m kalınlığa kadar ulaşmaktadır.

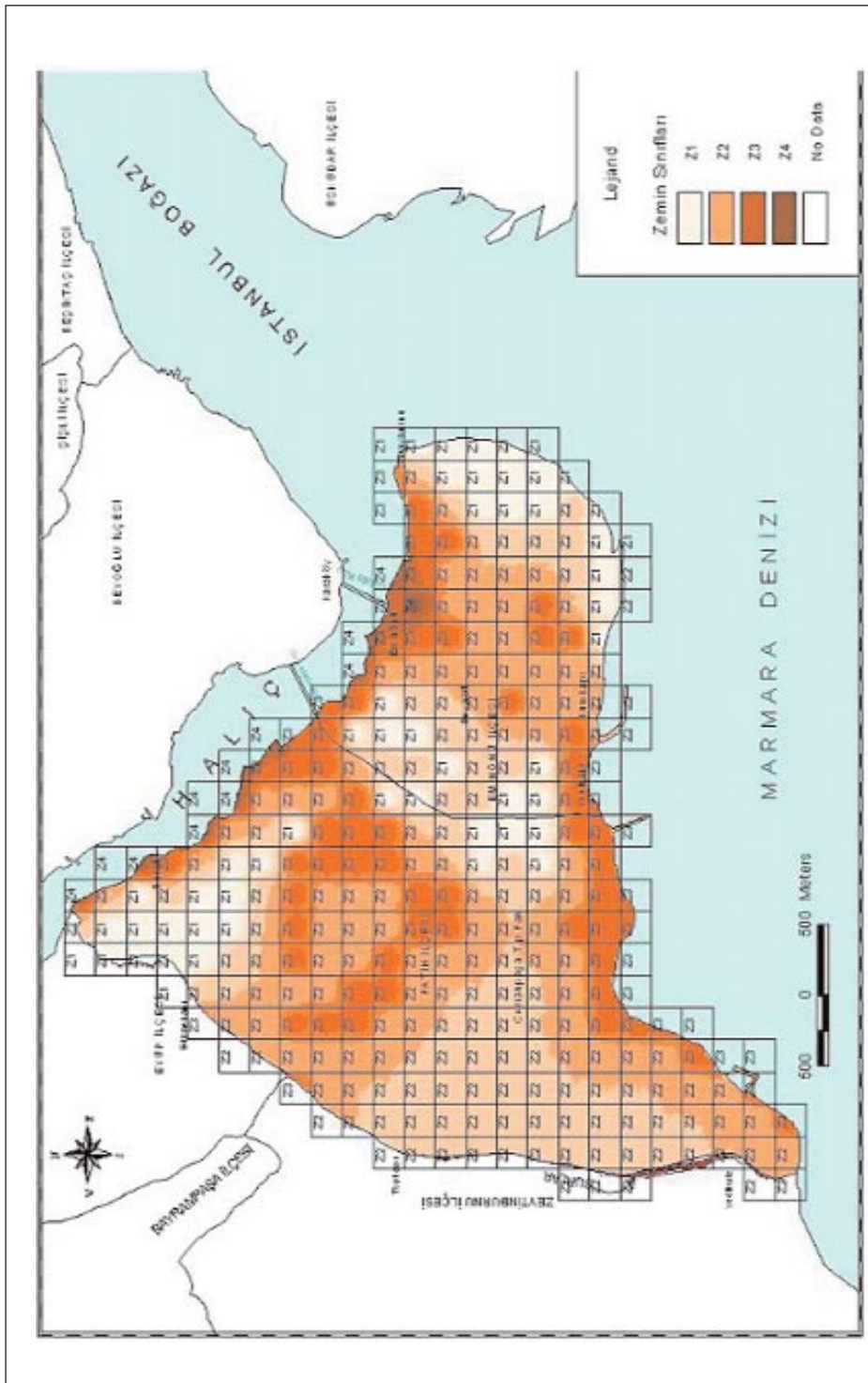
5. YERALTI SUYU DURUMU

Tarihi Yarım Ada yeraltı suyu açısından oldukça fakirdir. Gürpınar formasyonu aşırı konsolide killer içindeki kum mercikleri haricinde yeraltı suyu bulunmamaktadır. Tepe düzlüklerinde yer alan Bakırköy formasyonu kireçtaşları ise, havalanma bölgesinde yer aldıklarından akifer özelliği taşımamakta ya da yersel olarak killerle ardalanmış kumlu seviyelerde tünek akiferlere rastlanılmaktadır. Ancak, çoğunlukla geçirimsiz Trakya formasyonu grovakları üzerindeki Gürpınar formasyonu tabanını oluşturan çakıllı kumlu kesimlerde, havalanma bölgesinde yüzeylenmemesi durumunda yeraltı suyuna rastlanabilmektedir. Düşük kotlarda yer alan ve Vatan Caddesi'nin geçtiği vadi düzlüğü ile Yenikapı-Kumkapı ve Haliç sahil şeridini oluşturan kıyı düzlüklerinde alüvyon ve yapay dolgularda yüzeyden itibaren 2m-5m derinlikler arasında yeraltı suyu gözlenmektedir.

6. BÖLGENİN ZEMİN SINIFLANDIRMASI

İnceleme alanının zemin sınıflarının belirlenmesinde değişik kurum ve kuruluşlarca farklı tarihlerde açılmış toplam 125 adet sondaj bilgisinden faydalanılmıştır. Sondajlarda zemin tabakaları tanımlamaları ve kalınlıkları ile Standart Penetrasyon deneyi (SPT) sonuçları bulunmaktadır. İstanbul İli Sismik Mikro-Bölgeleme Dahil Afet Önleme/Azaltma Temel Planı çalışmaları (JICA ve IBB 2002) çalışması kapsamında Fatih ve Eminönü İlçeleri'nde açılmış olan 2 adet ve sınırlarında açılmış olan 4 adet derin sondajda yapılmış olan PS logging deneyleri sonuçları da bu çalışma kapsamında değerlendirilmiştir.

Türkiye Deprem Yönetmeliği (TDY) (Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik; AİGM, 1998) ve NEHRP (Ulusal Deprem Tehlikesini Azaltma Programı; BSSC, 2001)'e göre inceleme alanındaki yerel zemin sınıfları her hücre için oluşturulmuş zemin



Şekil 6: Türkiye Deprem Yönetmeliği (Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik; AİGM, 1998), göre Zemin Sınıflarının Değişimi

profili ve zemin özellikleri dikkate alınarak belirlenmiştir. **Şekil 6** ve **Şekil 7**'de her iki yöneme göre sınıflandırma sonuçları gösterilmiştir. Yapılan bölgeleme çalışması sonucunda genel olarak, Trakya formasyonu olarak belirlenen yerlerin Z1-Z2/C zemin sınıflarından oluştuğu, Bakırköy formasyonu olarak belirlenen yerlerin Z2/C-D zeminlerinden oluştuğu, Gürpınar formasyonunun bulunduğu bölgelerin Z2-Z3/C-D zeminlerden oluştuğu ve alüvyon ve yapay dolguların yer aldığı sahil kesimlerinde ise zemin sınıflarının Z3-Z4/D-E olduğu görülmektedir.

Önemli bir dinamik zemin parametresi olan kayma dalgası hızı değerlerinin inceleme alanındaki değişiminin belirlenmesi amacı ile JICA çalışması kapsamında yapılan arazi PS logging deneyi sonuçları ve SPT deneyi sonuçlarından yararlanılmıştır. Arazi PS logging sonuçlarından elde edilen kayma dalgası hızı profilleri ile SPT N değerlerinden amprik eşitliklerle elde edilen profillerin karşılaştırılmasından (**Şekil 8**) ölçülen değerler ile amprik eşitliklerle elde edilen sonuçların birbiri ile uyumlu olduğu görülmüştür.

SPT N darbe sayılarına göre İyisan (1996), Ohsaki-Iwasaki (1973), İmai (1977), Ohta-Goto (1978), Seed-İdriss (1970) tarafından önerilen eşitliklerden yararlanılarak kayma dalgası hızlarının derinlikle değişimi her bir hücre için bulunmuş ve hepsinin ortalaması alınarak kayma dalgası hızı profilleri oluşturulmuştur. Elde edilen kayma dalgası hızı profillerinden her hücre için hesaplanan eşdeğer kayma dalgası hızı değerlerinin inceleme bölgesindeki dağılımı **Şekil 9**'da gösterilmiştir.

Sonuç olarak elde edilen TDY zemin sınıfları, NEHRP zemin sınıfları ve eşdeğer kayma dalgası hızı değişimi haritalarının birbirleri ile ve jeoloji haritası ile uyumlu olduğu görülmüştür.

7. ZEMİN DAVRANIŞ ANALİZLERİ

İnceleme alanı zemin tabakalarının deprem hareketi etkisindeki davranışı tek boyutlu olarak incelenmiştir. Analizlerde geoteknik deprem mühendisliğinde çok yaygın olarak kullanılan bilgisayar programı Shake (Schnabel vd., 1972) içeriğine göre Excel'de hazırlanmış olan EERA (Equivalent-Linear Earthquake Response Analysis) (Bardet, vd., 2000) bilgisayar programı kullanılmıştır. Bu analiz yönteminde zeminlerin non-lineer davranışlarının sönümlendirilmiş lineer elastik model ile yaklaşık olarak temsil edilebileceği kabul edilmektedir. Zeminlerin gerilme-şekil değiştirme özellikleri ise, birim deformasyon seviyesine bağlı olarak değişen kayma modülü ve eşdeğer sönüm oranları ile tanımlanmaktadır. Davranışın ana kayadan yüzeye doğru düşey yönde yayılan kayma dalgası nedeni ile olduğu kabul edilmektedir. Kayma modülü ve sönümün deformasyona bağlılığı, her bir tabaka için hesaplanan ortalama efektif birim deformasyonlara dayanan bir eşdeğer lineer yöntem ile dikkate alınmaktadır.

7.1 Analizde Kullanılan Deprem Kaydı

İnceleme alanının bölgesel deprem tehlike analizi 50 yıllık bir yapı ömrü dikkate alınarak %10 ve %40 aşılma olasılığına göre GSHAP (1999) projesi kapsamında Boğaziçi Üniversitesi tarafından yapılmış olan tehlike zonları ve Gutenberg-Richter ilişkileri kullanılarak SE-ISRISKIII (Bender vd., 1987) programı ile hesaplanmış ve ana kaya deprem hareketi ivme parametreleri bulunmuştur. Her bir hücre için belirlenen spektral ivme değerlerine göre

NEHRP ivme davranış spektrumu ile uyumlu olarak sentetik deprem kayıtları TARCSTHS (Papageorgiou, A., v.d., 2000) programı ile üretilmiştir. Program 10. iterasyona kadar çalıştırılarak spektruma en uyumlu kayıt seçilmiştir.

7.2. Analizde Kullanılan Zemin Profili ve Malzeme Parametreleri

İnceleme alanı için tanımlanan 250*250 m'lik hücre için hazırlanmış olan temsili zemin profilleri, her bir zemin tabakasına ait kalınlık, birim hacim ağırlık, kayma dalgası hızı ve zemin cinslerine bağlı olarak literatürden seçilmiş olan G/Gmax ve sönüm ilişkileri EERA (Bardet, vd., 2000)'de tanımlanmıştır (**Çizelge 1**). Killi zeminler için plastisite indisi (I_p) göz önüne alınarak Vucedic ve Dobry (1991) tarafından önerilen G/Gmax ve sönüm ilişkileri kullanılırken, Çukurçeşme ve Gürpınar kumu için kumlar için önerilmiş olan Seed and Idriss (1970) ilişkileri kullanılmıştır. Bakırköy kireçtaşlarında ise kaya için önerilmiş olan Idriss (1990) ilişkisi kullanılmıştır.

8. YER HAREKETİNE GÖRE MİKROBÖLGELEME

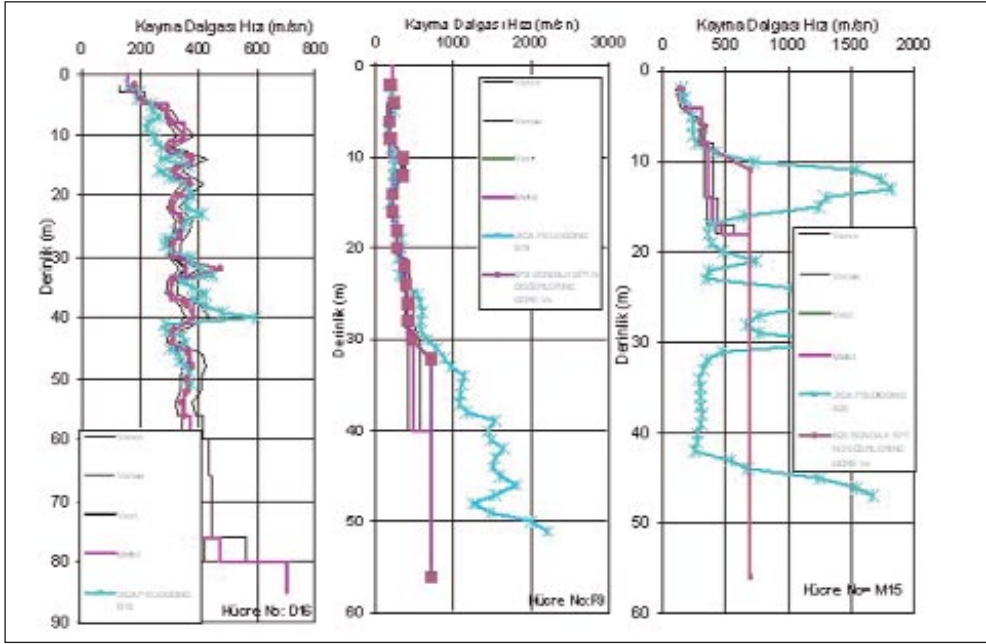
Yer sarsıntısı şiddetine göre yapılan mikrobölgelemede zemin davranış analizlerinden bulunan spektral ivmeler ve Midorikawa (1987) amprik eşitliği ile hesaplanan büyütme birliğinde dikkate alınmıştır. Bu şekilde yapılan bir mikrobölgelemede kullanılan parametrelerin mutlak değerleri bir anlam taşımamakta, ancak ayrıtlanan üç farklı bölge incelenen bütün saha genelinde göreceli olarak yer sarsıntısı tehlikesini göstermektedir (MERM, 2003).

8.1. Ortalama Spektral İvmelere Göre Bölgeleme

Zemin davranış analizlerinden 50 yılda % 10 ve % 40 aşılma olasılığına göre yüzeydeki ivme davranış spektrumları hesaplanmış, 0.1 ve 1.0s periyotları arasında kalan spektral ivme

FORMASYON	γ_n (kN/m ³)	TİP	ŞEKİL DEĞİŞTİRMEYE BAĞLI ALINAN DEĞERLER
Dolgu 1 (Alüvyon ve Yapay Dolgu)	18	Mat 1	G/Gmax : Vucetic ve Dobry (1991), I_p =%25 Sönüm : Vucetic ve Dobry (1991), I_p =%25
Dolgu 2 (Haliç Çökelleri)	18	Mat 2	G/Gmax : Vucetic ve Dobry (1991), I_p =%30 Sönüm : Vucetic ve Dobry (1991), I_p =%30
Bakırköy Kili	19	Mat 3	G/Gmax : Vucetic ve Dobry (1991), I_p =% 45 Sönüm : Vucetic ve Dobry (1991), I_p =% 45
Bakırköy Kireçtaşı	24	Mat 4	Kaya için sönüm oranı ve azalım için ortalama değerler (Idriss (1990))
Gürpınar Kili	20	Mat 5	G/Gmax : Vucetic ve Dobry (1991), I_p =% 40 Sönüm : Vucetic ve Dobry (1991), I_p =% 40
Çukurçeşme ve Gürpınar Kumu	20	Mat 6	G/Gmax : Seed ve Idriss (1970), Üst aralık Sönüm : (Idriss 1990)
Gürpınar Tabanı (kumlu, çakıllı)	21	Mat 7	G/Gmax : Seed ve Idriss (1970), Üst aralık Sönüm: Seed ve Idriss (1970), ortalama
Trakya Formasyonu (Anakaya)	25	-	

Çizelge 1: Formasyonlar için seçilen G/Gmax ve sönüm ilişkileri



Şekil 8: PS Logging Deneyinden Elde Edilen Kayma Dalgası Hızı Değerleri ile SPTN Değerlerinden Amprik Olarak Hesaplanan Değerlerin Karşılaştırılması

değerlerinin aritmetik ortalaması alınarak her hücre için ortalama spektral ivme değeri (S_{si}) bulunmuştur.

8.1.1. % 10 Aşılma Olasılığına Göre

50 yılda %10 aşılma olasılığına göre zemin davranış analizi sonucunda elde edilen ortalama spektral ivme değerleri her bir hücre için hesaplanarak S_s (%33) = 0.61 g ve S_s (%67) = 0.78 g olarak bulunmuştur. S_s (%67) > 1.3 S_s (%33) şartı bu durumda sağlanmadığından S_s (%50) = 0.71 g değeri kullanılarak inceleme alanı As ve Cs olmak üzere iki bölgeye ayrılmıştır. As alanları ortalama spektral ivmelerin 0.71 g'den büyük olduğu alanları, Cs alanları ise, ortalama spektral ivmelerin 0.71 g'den küçük olduğu alanları gösterecek şekilde bölgeleme yapılmış ve **şekil 10**'da gösterilmiştir.

8.1.2. % 40 Aşılma Olasılığına Göre

50 yılda % 40 aşılma olasılığına göre zemin davranış analizi sonucunda elde edilen ortalama spektral ivme değerleri her bir hücre için hesaplanarak S_s (%33) = 0.34 g ve S_s (%67) = 0.42 g olarak bulunmuştur. S_s (%67) > 1.3 S_s (%33) şartı bu durumda sağlanmadığı için inceleme alanı As ve Cs olmak üzere iki bölgeye ayrılmış ve S_s (%50) = 0.38 g değeri kullanılmıştır. As alanları ortalama spektral ivmelerin 0.38 g'den büyük olduğu alanları ve Cs alanları ortalama spektral ivmelerin 0.38 g'den küçük olduğu alanları gösterecek şekilde bölgeleme yapılmıştır.

8.2. Ortalama Spektral Büyütmelere Göre Bölgeleme

En büyük spektral büyütmeye değeri zemin tabakaları boyunca değişen kayma dalgası hızlarının ilk 30 m'si için hesaplanan eşdeğer kayma dalgası değerleri kullanılarak kestirilebilmektedir.

$$V_{sei} = \sum(V_{si} \cdot H_i) / \sum(H_i) \quad (8.1)$$

eşitliği ile hesaplanan eşdeğer kayma dalgası hızı, V_{sei} , Midorikawa (1987) tarafından önerilen amprik eşitlikte kullanılarak en büyük spektral büyütmeye S_{vi} ,

$$S_{vi} = 68 \cdot V_{sei}^{-0.6} \quad (8.2)$$

hesaplanmaktadır. Tüm hücreler için hesaplanan büyütmeye değerlerinden %33 ve %67'e karşı gelen değerler 1.84 ve 2.16 olarak bulunmuştur. $S_v(\%67) > 1.3$ $S_v(\%33)$ şartı sağlanmadığından $S_v(\%50) = 2.04$ değeri kullanılarak inceleme alanı A_v ve C_v olmak üzere iki bölgeye ayrılmıştır. A_v alanları pik spektral büyütmeye değeri 2.04'den büyük olan alanları, C_v alanları ise 2.04'den küçük olan alanları göstermektedir. **Şekil 11** elde edilmiş spektral büyütmeye haritasını göstermektedir.

8.3. Yer Sarsıntısı Özelliklerine Göre Mikrobölgeleme

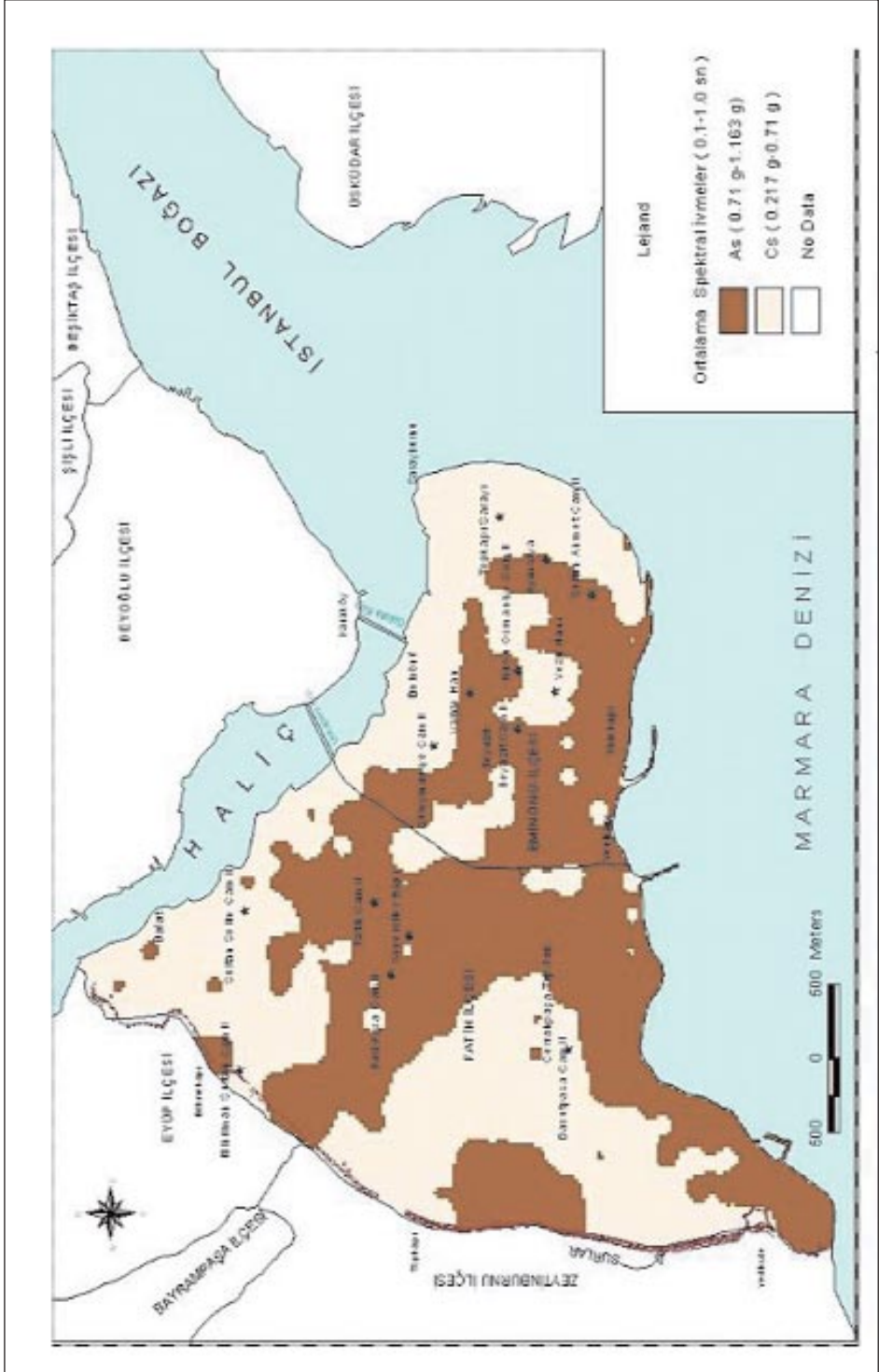
İnceleme alanının % 10 ve % 40 aşılma olasılıklarına göre yer sarsıntısı haritaları, zemin davranış analizlerinden elde edilen ortalama spektral ivmeler ile eşdeğer kayma dalgası hızından hesaplanan spektral büyütme birliktede değerlendirilerek elde edilmiştir. Zemin davranış analizlerinden bulunan ortalama spektral ivme değerlerine karşı gelen bölgeler (A_s , B_s ve C_s) ve eşdeğer kayma dalgası hızlarından hesaplanan spektral büyütme karşı gelen bölgeler (A_v , B_v ve C_v) arasında MERM, 2003'e göre bir değerlendirme yapılarak sonuçta A_{GS} , B_{GS} ve C_{GS} bölgeleri **Çizelge 2**'de gösterildiği şekilde tanımlanarak mikrobölgeler oluşturulmuştur (MERM, 2003). Elde edilen sonuç haritaları % 10 ve % 40 aşılma olasılıklarına göre sırası ile **Şekil 12** ve **Şekil 13**'de gösterilmiştir.

İnceleme alanının yer sarsıntısı için elde edilmiş mikrobölgeleme haritaları ile jeoloji haritası karşılaştırıldığında, oldukça değişken jeolojik ve topoğrafik koşullar olmasına karşın, genel olarak Trakya formasyonu olarak haritalanmış olan yerlerin B_{GS} ve C_{GS} bölgeleri olarak, yapay dolgu ve alüvyon olarak haritalanan bölgelerin A_{GS} ve B_{GS} bölgeleri olarak, Üst Oligosen-Üst Miyosen çökelleri ile kaplı bölgelerin ise A_{GS} , B_{GS} ve C_{GS} bölgeleri olarak tanımlandığı görülmektedir.

Sismik tehlike için zemin açısından mikrobölgeleme haritalarının hazırlanmasındaki amaç, incelenen bölgede zemin koşulları açısından göreceli olarak farklı tehlike bölgelerini ayırtlamaktır. Bu haritaların mevcut yapı stoğunun risk seviyesini belirleme ve imar planı çalışmalarına girdi sağlaması beklenilmektedir.

9. YAMAÇ TEHLİKESİNE GÖRE MİKROBÖLGELEME

İnceleme alanının yamaç tehlike analizinde Siyahi ve Ansal (1993) tarafından önerilen mikrobölgeleme için şev stabilitesi analiz yöntemi kullanılmıştır. Yöntemde kaymaya karşı güvenlik faktörü F_s aşağıdaki şekilde tanımlanmıştır.



Şekil 10: 50 Yılda %10 Aşılma Olasılığına Göre Belirlenen Ortalama Spektral İvme Değerlerine Göre Bölgeleme

Bölge	Kriter
A _{gs}	As ile Av ve As ile Bv ve Bs ile Av bölgelerinin örtüştüğü bölgeler
B _{gs}	As ile Cv ve Cs ile Av ve Bs ile Bv bölgelerinin örtüştüğü bölgeler
C _{gs}	Bs ile Cv ve Cs ile Bv ve Cs ile Cv bölgelerinin örtüştüğü bölgeler

Çizelge 2: Yer Sarsıntısına Göre Bölgeleme

$$F_s = \left(\frac{a_0}{\gamma} \right) * N_1 = \left(\frac{\gamma \tan \phi}{\gamma} \right) * N_1 = N_1 * \tan \phi \quad (9.1)$$

Burada ϕ , kayma mukavemeti açısı ve N_1 ise stabilite sayısıdır.

9.1 Yamaç Kayması Tehlikesi Analizinde Kullanılan Parametreler

İnceleme alanının topoğrafik durumu ve yükseklik haritaları beraber değerlendirilerek 250 *250 m'lik her bir hücre içindeki en dik şev açıları tespit edilmiştir. Her bir hücre için tek boyutlu dinamik analizden yüzey pik ivmeleri elde edilmiştir.

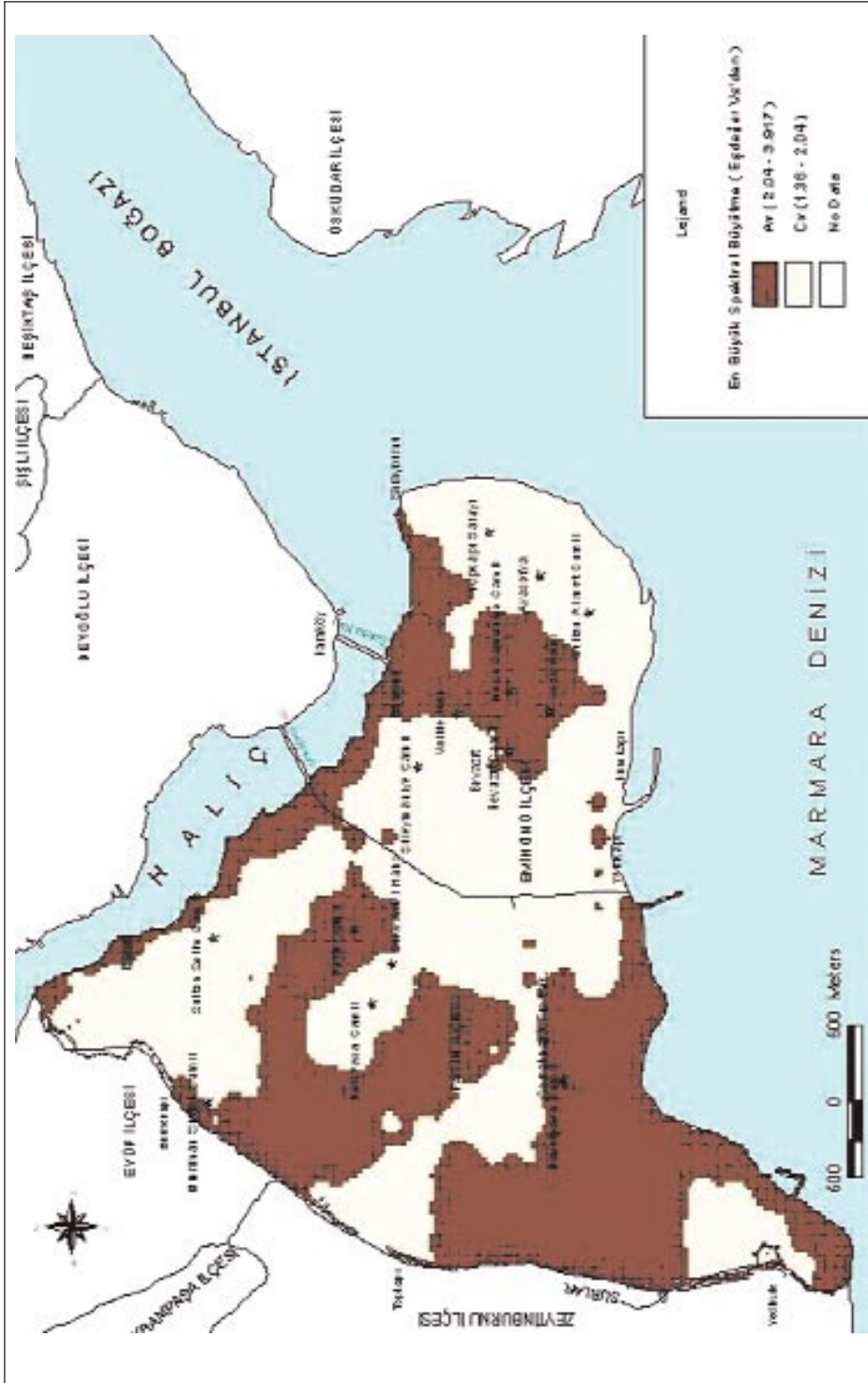
İnceleme alanında bulunan formasyonlara ait kayma mukavemeti açısı değerleri Yıldırım (2002) çalışmasından yararlanılarak tespit edilmiş ve **Çizelge 3'**de gösterilmiştir.

FORMASYON	γ_n (kN/m ³)	Φ'
Dolgu 1(alüvyon ve yapay dolgu)	18	20
Dolgu 2(Haliç Çökelleri)	18	18
Bakırköy Kili	19	17
Bakırköy Kireçtaşı	24	23
Gürpınar Kili	20	20
Çukurçeşme ve Gürpınar Kumu	20	25
Gürpınar Tabanı (kumlu, çakıllı)	21	25
Trakya Formasyonu (anakaya)	25	25

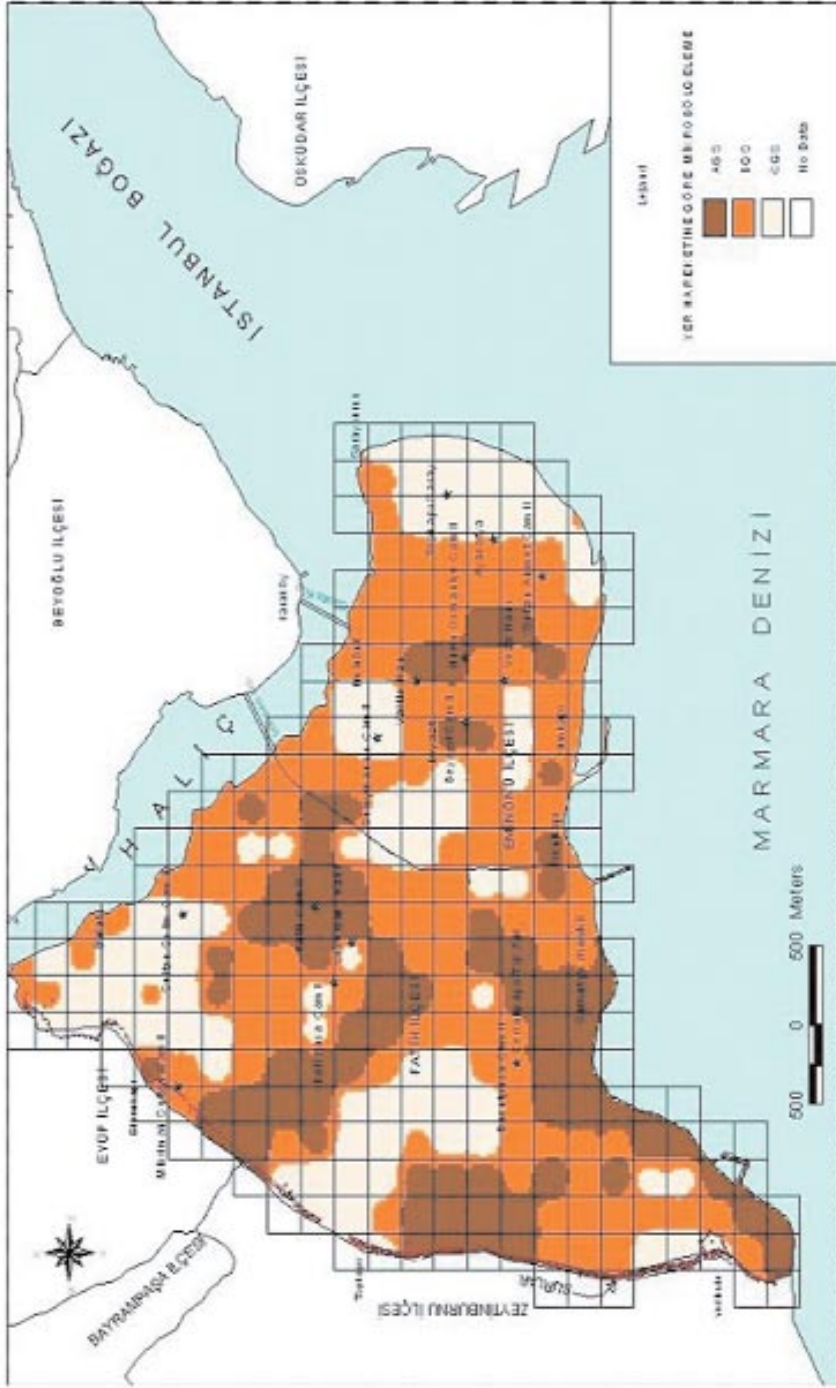
Çizelge 3: Yamaç Kayması Tehlikesi Analizinde Kullanılan Formasyonların Kayma Mukavemeti Açılırları (Φ')

9.2. Yamaç Kayması Tehlikesi Analizinde Kullanılan Bilgisayar Programı: KOERISLOPE V 1.0

Mikrobölgeleme amaçlı yamaç stabilitesi hesaplama programı olan KOERISLOPE V 1.0 (Fahjan, Y.M. vd., 2003), Siyahi ve Ansal (1993) yaklaşımına dayanmaktadır ve Y. M., Fahjan, B., Siyahi ve A., Ansal (2003) tarafından üretilmiş bir bilgisayar programıdır. Program MapInfo programında çalışan standart arayüzlü bir MapBasic uygulamasıdır. Program, coğrafi hücre sistemi (gridler) üzerinde çalışmaktadır. Programda girdi olarak şev açısı, zeminin kayma mukavemeti açısı ϕ ve dinamik analiz sonucu bulunan pik yüzey ivmesi (PGA)



Şekil 11: Eşdeğer Kayma Dalgası Hızından Midorikawa (1987) Eşitliği Kullanılarak Hesaplanan Spektral Büyütmeye Göre Bölgeleme



Şekil 12: 50 Yılda %10 Aşılma Olasılığına Göre Elde Edilmiş Yer Sarsıntısı için Mikrobölgeleme Haritası

değerleri kullanılmakta ve analiz sonucunda N_1 stabilite sayısı ve F_s güvenlik sayısı elde edilmektedir.

9.3. İnceleme Alanının KOERISLOPE V 1.0 ile Yamaç Kayması Tehlikesi Analiz Sonuçları

İnceleme alanının, KOERISLOPE V 1.0 (Fahjan, Y.M. vd., 2003) programı kullanılarak yamaç kaymasına karşı güvenlik sayıları 50 yılda %10 ve %40 aşılma olasılığına göre elde edilmiş ve güvenlik faktörlerine göre A_{SL} , B_{SL} ve C_{SL} olmak üzere üç bölge tanımlanmıştır. A_{SL} alanları, güvenlik faktörünün 1'den küçük olduğu yerleri, B_{SL} alanları, güvenlik faktörünün 1 ile 2 arasında kalan yerleri ve C_{SL} alanları ise, güvenlik faktörünün 2'den büyük olduğu yerleri göstermektedir. **Şekil 14'**de %10 aşılma olasılığına göre elde edilmiş yamaç tehlikesi haritası gösterilmiştir. İnceleme alanında yamaç kayması riskinin düşük olduğu görülmektedir.

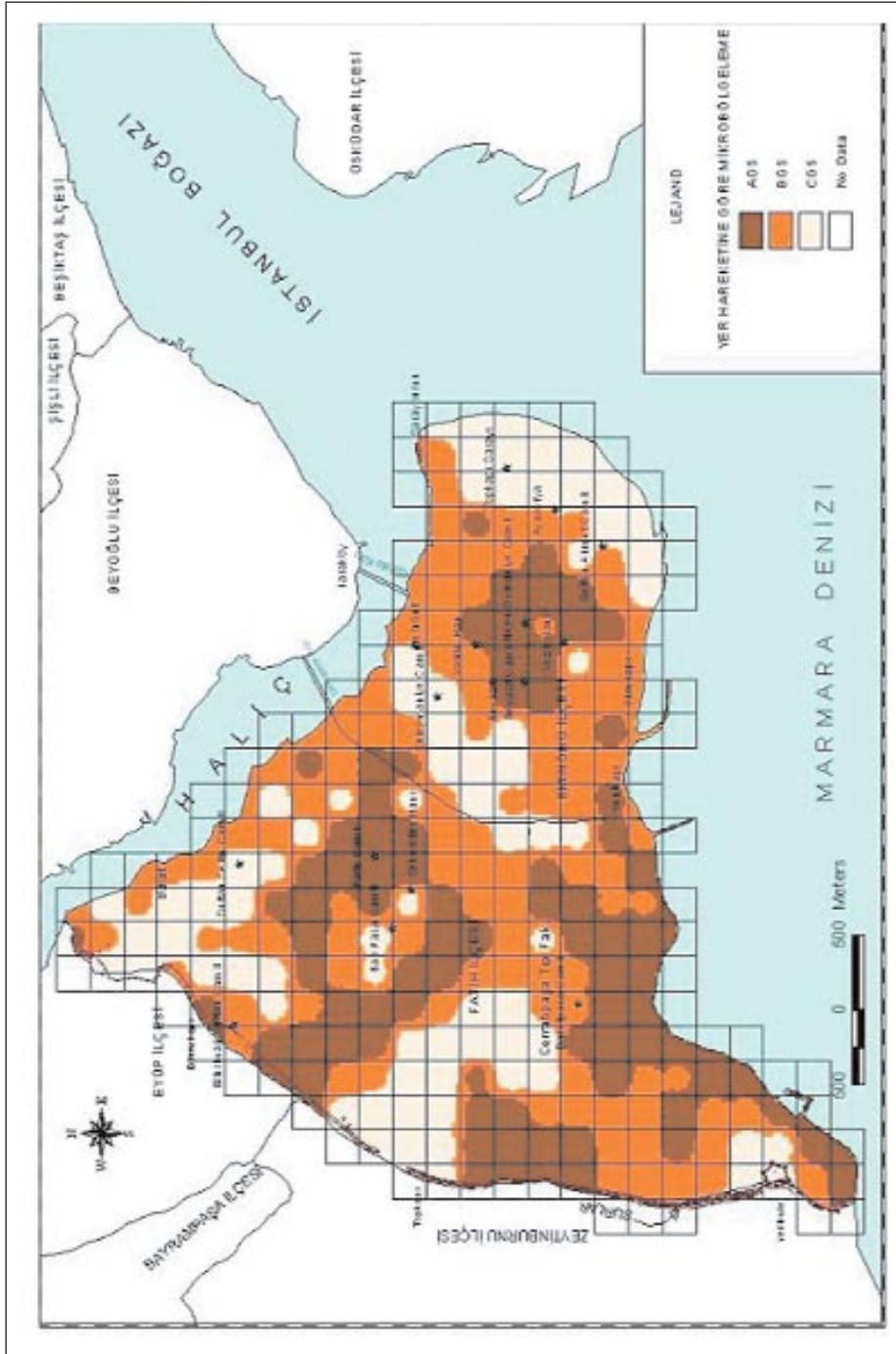
10. SIVILAŞMA TEHLİKESİNE GÖRE MİKROBÖLGELEME

Depremlerin en olumsuz etkilerinden birisi zeminin sıvılaşması ve buna bağlı olarak meydana gelen taşıma gücü kaybı, oturmalar ve zemin yayılması olasılığıdır. İnceleme alanında sıvılaşabilir zemin tabakalarının bulunduğu bölgelerde sıvılaşma tehlikesine göre mikrobölgeleme gerçekleştirilmiştir.

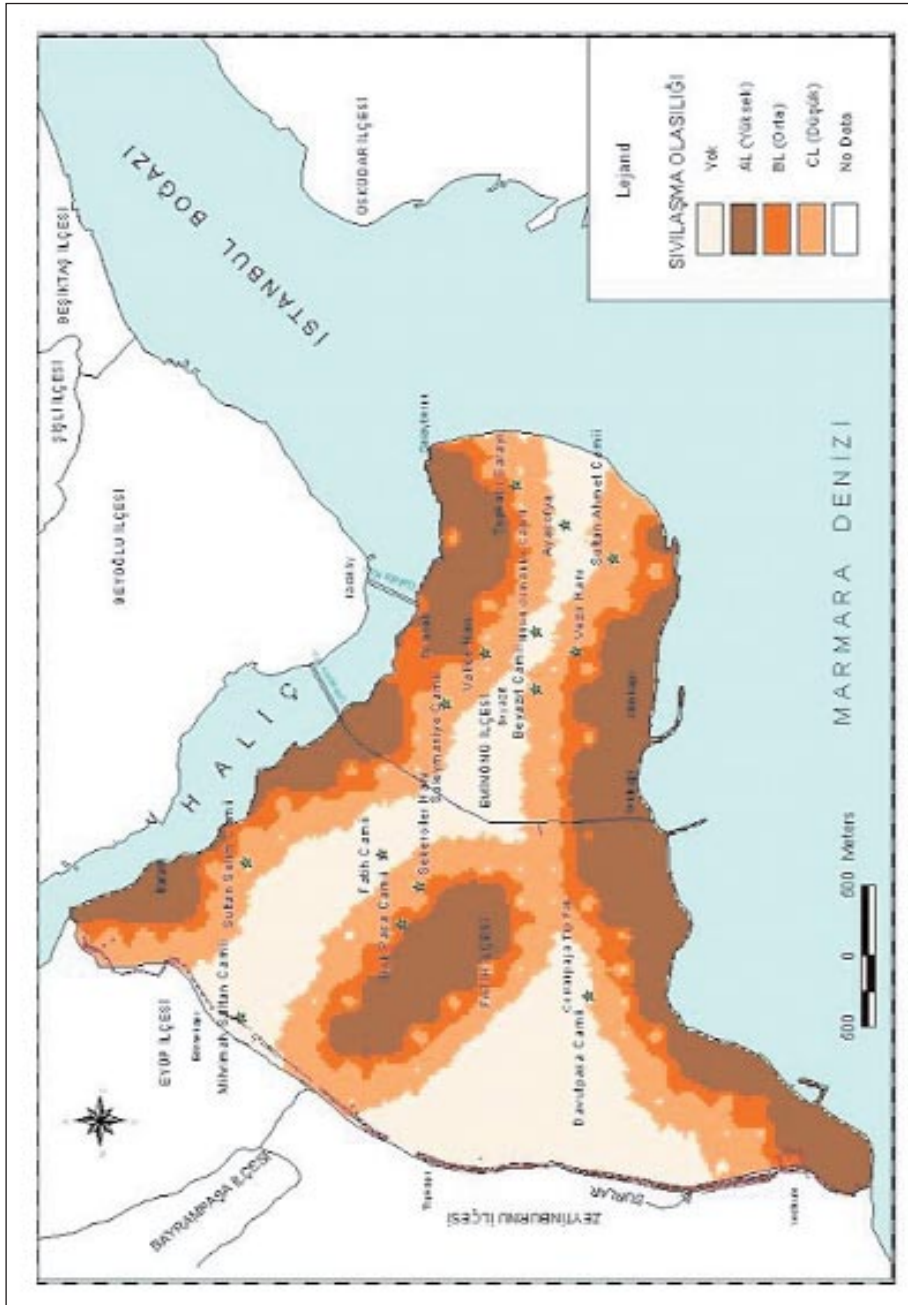
10.1. Seçilen Analiz Yöntemi

İnceleme alanının sıvılaşma olasılığına göre mikrobölgeleme haritasını oluşturmak için, bölgenin sıvılaşma potansiyeli Seed vd., (1984, 1985) tarafından geliştirilmiş olan Basitleştirilmiş Yöntem'in NCEER., (1997) ve Youd vd., (2001) tarafından iyileştirilmiş hali olan Geliştirilmiş Basit Yöntem kullanılarak belirlenmiştir.

İnceleme alanı sıvılaşma tehlikesi yönünden değerlendirildiğinde, yapay dolgu ve alüvyal zeminlerin yoğun olarak bulunduğu Fatih İlçesi sınırları içerisindeki Vatan Caddesi boyunca (Yeni Bahçe Deresi) ve Haliç sahil kesimi ile Kumkapı ve Yenikapı sahil kesimlerinin incelenmesine karar verilmiştir. Diğer bölgeler Bakırköy formasyonu, Gürpınar formasyonu ve Trakya formasyonundan oluşan içerisinde kum ve silt oranı düşük formasyonlar ile kaplı ve sıvılaşma riski bulunmayan bölgelerdir. Sıvılaşma riski bulunan bölgelerde toplam 108 adet hücrede Geliştirilmiş Basit Yöntem'e göre sıvılaşma açısından kritik derinlik olan üst 20 m'lik derinlik için sıvılaşma analizi yapılarak P_L (sıvılaşma potansiyel indeksi) değerleri elde edilmiştir. **Çizelge 4'**de P_L sıvılaşma potansiyel indeksine göre sıvılaşma potansiyeli verilmiştir. P_L değerine bağlı olarak inceleme alanı, A_L , B_L ve C_L olmak üzere üç bölgeye ayrılmıştır. A_L bölgesi $P_L > 15$ olan alanları, B_L bölgesi $5 > P_L > 15$ olan alanları ve C_L bölgesi ise $P_L < 5$ olan alanları göstermektedir. 50 yılda %10 aşılma olasılığına göre elde edilen sıvılaşma potansiyeli haritası **Şekil 15'**de gösterilmiştir.



Şekil 13: 50 Yılda % 40 Aşılma Olasılığına Göre Elde Edilmiş Yer Sarsıntısı için Mikrobölgeleme Haritası



Şekil 15. Yılda % 10 Aşılma Olasılığına Göre Elde Edilmiş Sıvılaşma Tehlikesi için Mikrobölgeleme Haritası

Sıvılaşma Potansiyeli	P_L
Yok	0
Düşük	$0 < P_L < 5$
Orta	$5 < P_L < 15$
Yüksek	$P_L > 15$

Çizelge 4: Sıvılaşma Potansiyel İndek-sine Göre Sıvılaşma Potansiyeli

SONUÇLAR

Bu çalışmada, ülkemiz ve dünya açısından her yönü ile önemli olan Eski İstanbul (Fatih ve Eminönü İlçe-leri) Bölgesi'nin olası bir İstanbul depreminden nasıl etkileneceğinin belirlenmesi amacıyla, öncelikle Tarihi Yarım Ada'da yapılmış jeolojik ve geoteknik araştırma verileri değerlendirilerek jeoloji haritası ve jeolojik kesitler hazırlanmıştır. Kalınlığı 10m'yi geçen dolgu (yapay+alüvyon) ve taban kayası derinliği haritaları hazırlanmış, 250m*250m hücrelere ayrıl-

arak her bir hücre için temsili zemin profili oluşturulmuştur. Her hücre için, Türkiye Deprem Yönetmeliği ve NEHRP (Ulusal Deprem Tehlikesini Azaltma Programı; BSSC, 2001)'e göre zemin sınıflandırması yapılmış ve zemin davranış analizleri gerçekleştirilmiştir.

Afet Risk Yönetimi için Dünya Enstitüsü (DRM) tarafından yürütülen “Deprem Riskini Azaltmak için Mikrobölgeleme” çalışmaları kapsamında hazırlanan yeni sismik mikrobölgeleme el kitabında (MERM, 2003) önerilen yöntem uygun olarak zemin büyütmelemleri, yamaç tehlikesi ve sıvılaşma tehlikesine göre mikrobölgeleme haritaları hazırlanmıştır. Yerel zeminlerin deprem davranış analizleri 50 yılda %10 ve %40 aşılma olasılığına göre belirlenen yer hareketleri kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

Tarihi Yarım Ada'da zemin büyütmesi açısından oldukça değişken bir yapı bulunduğu ve yerel zemin koşullarının depremler sırasında gözlenen yapısal hasar dağılımı üzerinde etkili olabileceği, Haliç ve Marmara Sahilleri ile Vatan Caddesi civarında sıvılaşma riski bulunabileceği, yamaç kayması riskinin ise oldukça düşük olduğu sonucuna varılmıştır.

REFERANSLAR

- Bardet, J.P., Ichii, K., and Lin, C. H., (2000), “EERA: A computer program for equivalent-linear earthquake site response analyses of layered soil deposits”, University of Southern California, Los Angeles.
- Bayındırlık ve İskan Bakanlığı Afet İşleri Genel Müdürlüğü, AIGM (1998) “Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik, Türkiye Deprem Yönetmeliği (TDY)”.
- Baykal, A. F., (1974), “Historik Jeoloji”, İstanbul Üniversitesi Fen Fakültesi Yayınları Sayı: 127, s:403.
- Bender, B., and D. M. Perkins, (1987) "SEISRISK III: A Computer Program for Seismic Hazard Estimation," USGS Bulletin 1772, U. S. Government Printing Office, Washington, 1987.
- Eroskay, O., Kale, S., (1986), "İstanbul Boğazı Tüp Geçiş Güzergahında Jeoteknik Bulgular", Uluslararası Mühendislik Jeolojisi Türk Milli Komitesi Bülteni, Sayı: 8, Sayfa: 2-7. İstanbul.
- Fahjan, Y.M., Siyahi, B.G. ve Ansal, A. (2003), KoeriSlope V1.0: Mikrobölgeleme Amaçlı Şev Stabilitesi Hesaplama Programı, Boğaziçi Üniversitesi, Deprem Mühendisliği Bölümü, Kandilli, İstanbul.

- Idriss, I. M. (1990) "Response of soft soil sites during earthquakes", Proceedings of the Symposium to Honor Professor Harry Bolton Seed, Berkeley California, Vol. II, pp.273-289.
- Iglesias, J. (1988) "Seismic Microregionalization of Mexico City after the 1985 Earthquake" Proc. Ninth World Conf. On Earthquake Eng., Vol.2, sayfa 127-132.
- Imai, T., (1977), "P and S wave velocities of the ground in Japan", Proc. of IX. International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering, Vol.2, pp. 257-260.
- İnce, G. Ç. (2005) "Sismik Bölgeleme ve İstanbul'un Deprem Zararlarının Tahmini", Yıldız Teknik Üniversitesi, Doktora Tezi, İstanbul.
- JICA and IMM (2002) "The Study on A Disaster Prevention/Mitigation Basic Plan in İstanbul Including Seismic Microzonation in the Republic of Turkey", Main Report.
- Kaya, O. (1971), "İstanbul'un Karbonifer Stratigrafisi, TJK Bül. 14/2, 143-201.
- MERM (2003), Microzonation Manual, World Institute for Disaster Risk Management.
- Midorikawa, S.,(1987), " Prediction of isoseismal map in the Kanto plain due to hypothetical earthquake.(In Japanese with English Abstract) Journal of Structural Engineering. Vol.33b, pp.43-48.
- NEHRP (1997), Recommended Provisions for Seismic Regulations for New Buildings and Other Structures, FEMA-303, Prepared by the Building Seismic Safety Council for the Federal Emergency Management Agency, Washington, DC.
- Ohsaki, Y. ve Iwasaki, R., (1973) "On Dynamic Shear Module and Poisson's Ratio of Soil Deposits", Soils and Foundations, 13849, sayfa 61-73.
- Ohta, Y. and Goto, N. (1978), "Empirical shear wave velocity equations in terms of characteristic soil indexes", Earthquake Engineering and Structural Dynamics, Vol. 6., pp.167-187.
- Özaydın, K.; Ansal, A.; Yıldırım, M.; Berilgen, M. (2004); "Fatih Camii ve Külliyesi Sahasına İlişkin Geoteknik Değerlendirme Raporu", TC. İstanbul Büyükşehir Belediyesi İstanbul Su ve Kanalizasyon İdaresi, Fatih Camii ve Külliyesi İnceleme Onarım ve Güçlendirme Projesi, Danışmanlık Hizmetleri, BÜ-YTÜ Döner Sermaye İşletmeleri, No: Fatih-03-1, 133 sayfa, İstanbul.
- Papageorgiou, A., Halldorsson, B. and Dong, G. (2000), "TARSCHTS: Target acceleration spectra compatible time histories" University of Buffalo, Dept. of Civil, Structural and Environmental Engrg., NY.
- Sakiç, M., Yaltırak, C, Oktay, F.Y. (2001), "Palaeogeographical Evolution of The Thrace Neogene Basin And The Tethys-Paratethys Relations At Northwestern Turkey (Thrace)", Geology of Western Anatolia, Stratigraphy And Tectonics of The Neogene Sequences, İstanbul Technical University, Faculty of Mines Dept. of Geology, University of Texas, Dept. of Anthropology, Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology 153 (1999) 17/40.
- Sayar, M.; Pamir, H. N., (1933), "Küçükçekmece fosil fıkralı hayvanlar mecmuası, İ.Ü. Fen Fak. Jeloji Enst. No: 8, s. 119.
- Sayar, C., (1976), "The Geology of the Golden Horn (Haliç) and Surrounding Region: Bosphorus University, National Symposium on the Golden Horn. S., 355-374.
- Schnabel, P.B., Lysmer, J. Ve Seed, H.B. (1972) " SHAKE- A Computer Program for Earthquake Response Analysis of Horizontal Layered Sites, Report No. EERC 72-12, University of California, Berkeley, sayfa 88.
- Seed H.B., ve İdriss, I.M. (1970) " Soil Moduli and Damping Factors for Dynamic Response Analyses", Report No:EERC 70-10, EERC, University of California, Berkley, California.

- Seed, H. B., Tokimatsu, K., Harder, L. F. and Chung, R. M. (1984), "Influence of SPT procedures in soil liquefaction resistance evaluations", Earthquake Engineering Research Center Report No. UCB/EERC-84/15, University of California at Berkeley.
- Seed, H. B., Tokimatsu, K., Harder, L. F. And Chung, R. M. (1985), "Influence of SPT procedures in soil liquefaction resistance evaluations", Journal of Geotechnical Engineering, ASCE, 111 (12), 1425-1445.
- Siyahi, B.G. ve Ansal, A.M. (1993) " Slope Stability by Koppula Method", Personal Communication.
- Seismic Hazard Program (GSHAP) (1999), <http://seismo.ethz.ch/GSHAP/>
- TDY (1998), Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik, IMO Yayınları, İzmir Şubesi, Yayın No:25.
- Vardar, M., Bayraktar, H., (1993), "İstanbul Metrosu Araştırma Galerisi Örneğinde İn-Situ Dayanım ile İTU-MJKM Sınıflaması, Uluslararası Mühendislik Jeolojisi Türk Milli Komitesi Bülteni, s. 14, İstanbul, 13-28.
- Vucetic, M., Dobry, R., (1991), "Effect of soil plasticity on cyclic response", American society of Civil Engineering , Journal of Geotechnical Engineering, (117):89-107.
- Yıldırım, M.; Savaşkan, E., (2002), "İstanbul Tersiyer Çökellerinin Stratigrafisi ve Mühendislik Özellikleri", Uluslararası Mühendislik Jeolojisi Türk Milli Komitesi (MJTMK) Bülteni, 25. Yıl, sayı 18, sayfa 48-62, İstanbul.
- Yıldırım, M.; Savaşkan, E., (2003), "İstanbul Bölgesi Tersiyer Çökellerinin Stratigrafisine Yeni Bir Yaklaşım ve Çökellerin Mühendislik Özellikleri", İstanbul'un Jeolojisi Sempozyumu, Bildiriler Kitabı, Sayfa: 87-102, TMMOB Jeoloji Mühendisleri Odası - İstanbul Şubesi, Yer: Kadir Has Üniversitesi-Konferans Salonları, Cibali-İstanbul.
- Youd, T.L., Idriss, I.M., Andrus, R.D., Arango, I., Castro, G., Christian, C.D., Dobry, R., Finn, W.D.L., Harde, L.F.Jr., Hynes, M.E., Ishihara, K., Koester, J.P., Liao, S.S.C., Marcuson, W.F.III., Martin, G.R., Mitchell, J.K., Moriawaki, Y., Power, M.S., Robertson, P.K., Seed, R.B. ve Stokoe, K.H.II. (2001) "Liquefaction Resistance of Soils: Summary Report from the 1996 NCEER and 1998 NCEER/NSF Workshops on Evaluation of Liquefaction Resistance of Soils", Journal of Geotechnical Engineering, ASCE, (127)10:817-833.

Prof. Dr. HULUSİ ÖZKUL

(İTÜ İnşaat Fakültesi Malzeme Ana Bilim Dalı Öğretim Üyesi)-

Sayın Başkan, Sayın Müsteşarımız, Değerli Konuklar; ben de konuşmamda İstanbul'daki yapılara yapı malzemesi açısından yaklaşılmaya çalışacağım.



İSTANBUL'DAKİ YAPILARIN YAPI MALZEMESİ AÇISINDAN DEĞERLENDİRİLMESİ*

ÖZET

İstanbul'daki yapıların bir bölümü 1999 yılındaki Marmara Depremi sırasında önemli hasarlara uğramıştır. Bu nedenle yapıların olası bir İstanbul depremi'ndeki davranışları açısından yapıldıkları malzemelerin durumları önemlidir. İstanbul'daki yapı stoku genellikle betonarme binalardan oluşmaktadır. Betonarme yapı sisteminde kullanılan iki taşıyıcı malzeme olan beton ve çeliğin durumu önem kazanmaktadır. Bu yazıda, yapılarda kullanılan bu iki malzeme dayanım ve dayanıklılık açısından ele alınmıştır.

1. GİRİŞ

Yurdumuzda son yıllarda oluşan depremlerde yıkılan ya da ağır hasar gören yapılarda temel olumsuzluklardan birisinin de kullanılan malzemelerin standard değerleri sağlamadıkları bilinmektedir. Erzincan, Dinar, Adana, Marmara, Afyon ve Bingöl depremlerinde yerinde yapılan gözlem ve malzemeler üzerinde gerçekleştirilen deneylerde malzeme sorununun önemli olduğu anlaşılmaktadır[1-4].

İstanbul'daki yapı stokunun büyük bir bölümünün betonarme sistemle yapıldığı söylenebilir. Bunun yanında yığma veya karma olarak yapılan yapılar da bulunmaktadır. Betonarme yapıların iki ana taşıyıcı malzemesi beton ve çeliktir. 1980 yılı öncesi üretilen yapılarda hazır beton yöntem ve araçlarından yararlanılmadığı bilinmektedir. Bu dönemde yapılan yapılarındaki beton üretim şekilleri şu şekilde özetlenebilir: Küçük bir bölümünde ağırlık veya hacim esasına dayalı malzeme ölçüm yöntemleri uygulanmaktaydı. Büyük bir bölümünde ise herhangi bir ölçü yönteminden yararlanılmadan göz kararı ile malzeme miktarları belirlenmekteydi. Her iki yöntemde de malzemeler betoniye ile karıştırılmaktaydı. Sonuncu yöntemde ise göz kararı belirlenen malzemeler insan gücü ile karıştırılmaktaydı. İlk yöntemde özenli davranmak koşulu ile belirli bir başarı beklenebilir. Ancak son iki yöntemde başarı şansa kalmıştır.

1980 yılı sonrasında öncelikle İstanbul'dan başlamak üzere hazır beton üretimi yaygınlaşmaya başlamıştır. 2004 yılı verilerine göre yurdumuzda 1 yılda 31.5 Milyon m³ hazır beton üretilmiş ve bunun yaklaşık 2/3'ü üretim süreci kalite güvence sistemine göre denetlenmiştir. Ancak hazır betonun geri kalan bölümünde 3. taraflarca uygulanan bir denetimin varlığından söz edilemez.

*M. Hulusi ÖZKUL (İstanbul Teknik Üniversitesi, İnşaat Fakültesi), M. Ali TAŞDEMİR (İstanbul Teknik Üniversitesi, İnşaat Fakültesi)

Bu nedenlerle, yapı stokumuzu beton açısından hazır betonun yaygınlaşmasından önce ve sonra olmak üzere iki bölüme ayırmak doğru olacaktır. Ancak, hazır betondan önce yukarıda belirtildiği şekilde ağırlık veya hacim yöntemi ile malzeme miktarlarının belirlendiği küçük bir bölüm de bulunmaktaydı. Diğer taraftan, hazır betonda da denetimsiz üretim yapan bir bölümden söz edilebilir.

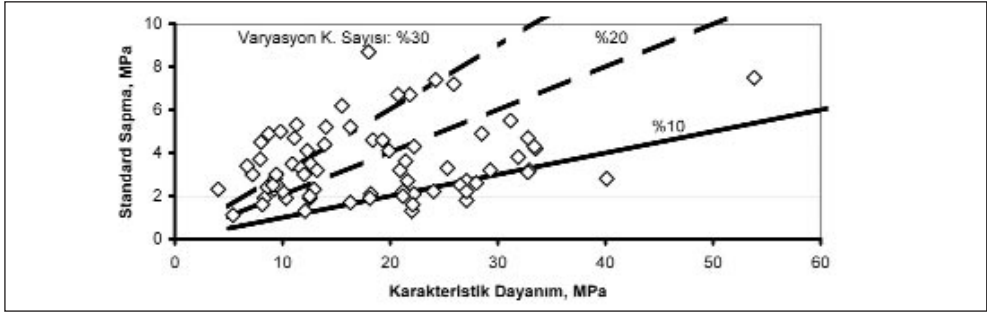
2. BETON ve SORUNLARI

Bilindiği gibi beton agrega, çimento, su, kimyasal katkıları ve varsa mineral katkıların karışımından oluşan bir malzemedir. Beton, bileşen malzemelerin ağırlık esasına göre ve %3'den daha duyarlı bir şekilde tartılarak yeterli şekilde karıştırılması ile TS EN 206-1'de belirtildiği gibi üretilir. Ağırlık yönteminin uygulanması beton santrali kurulmasını gerektirir. Günümüzde, yurdumuzda da beton hazır beton olarak tanımlanan yöntemle üretilmektedir. Betonun iletilmesi de önemlidir ve hazır beton genellikle tranmikserler ile şantiyeye taşınmakta ve pompa ile kalıplarına iletilmektedir. Kalıplara iletilen betonun iyi bir şekilde, vibratör kullanılarak yerleştirilmesi gerekir. Yerleştirilen betona doğru bir şekilde yüzey bitirme işlemi uygulandıktan sonra en az bir hafta süre ile (kış aylarında daha uzun süre) bakım (kür) yapılmalıdır. Puzolanlı çimentolarla yapılan betonlarda kür süresi uzatılmalıdır. Bakımın amacı betona çimento hidratasyonu için gerekli olan suyu sağlayabilmektir. Bunun dışında, yaz ve kış aylarında ayrı olmak üzere beton dökümü sırasında ve izleyen günlerde özel önlemler almak gerekir. Betonun üretim, döküm ve bakım aşamalarında kuralına uygun olmayan şekilde gerçekleşen uygulamalar önemli sorunlara yol açar.

Şekil 1'de İstanbul'da son yıllarda bazı betonarme yapıların betonları üzerinde gerçekleştirilen yıkıntılı-yıkıntısız deney sonuçlarına göre elde edilen karakteristik dayanım (%90 güvenlikli) ve standard sapma değerleri verilmiştir. Bu sonuçlar elde edilirken yapılardan yeterince karot alınmış, ayrıca ölçülen Schmidt sertlik değerleri, karot sonuçları ile düzeltilmiştir. Sonuçlar içinde geleneksel yöntemlerle üretilen betonların yanında hazır beton ile üretilen yapılar da yer almaktadır. Karakteristik dayanım sonuçları arasında 10 MPa'dan daha küçük olan değerler de bulunmaktadır. Söz konusu yapılarda geleneksel yöntemlerle üretilen beton kullanılmıştır. Ancak, karakteristik dayanımı 20 MPa ve üzerinde bulunan yapılar da vardır. Diğer bir nokta ise standard sapmanın ve dolayısı ile varyasyon katsayısının bazı betonlarda yüksek olmasıdır. Varyasyon katsayısı aşağıdaki bağıntıdan hesaplanmıştır:

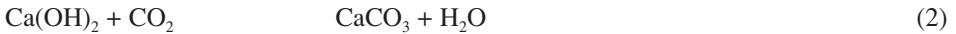
$$\text{Varyasyon Katsayısı} = \text{Standard sapma} / \text{Basınç dayanımı}. \quad (1)$$

Şekil üzerinde %10, %20 ve %30'luk varyasyon katsayı eğrileri verilmiştir. Varyasyon katsayısının %10'un altında kaldığı betonlarda ancak iyi bir üretim ve uygulama yapıldığından bahsedilebilir. **Şekil 1**'den görüldüğü gibi deney yapılan yapılardaki betonların önemli bir bölümünde varyasyon katsayısı % 10'un üzerindedir ve %30'a sahip betonlar bile vardır. Bu durum, söz konusu betonlarda üretim aşamasındaki düzensizliği, önemli bir bölümünde ağırlık yönteminin kullanılmadığını göstermektedir. Ancak, hazır beton ile üretilen yapılarda da yüksek varyasyon katsayıları bulunabilir; bu durum da daha çok yerleştirme ve bakım sorunlarından, bir bölümü ise denetimsiz üretimden kaynaklanabilir.



Şekil 1: Karakteristik dayanım ve standart sapmanın değişimi ve varyasyon değerleri.

Taşıyıcı malzeme olarak betondan iki işlev beklenir: Dayanım ve dayanıklılık (dürabilite). Aslında her taşıyıcı malzemeden beklenen bu iki özelliğten birincisi genel olarak mühendislik çevrelerinde kabul görmüş bir durumdur. Ancak yukarıda anlatıldığı şekilde üretim yönteminin doğru seçilmemiş olmasından kaynaklanan önemli sorunlar söz konusudur. Diğer yandan, ikinci konunun (dayanıklılık) önemi konusunda genel bir bilinç olduğu söylenemez. Oysa malzemeler ikinci sayılan özelliklerini (dayanıklılık) kaybettiklerinde birinci özelliklerini (dayanım) de taşıyamazlar. Bilindiği gibi betonarme yapıların en önemli dayanıklılık sorunu donatı korozyonudur. Beton, $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 'nin varlığından dolayı bazik bir ortamdır ve normal koşullarda çelik donatılar üzerinde bir pasivasyon tabakası oluşturarak korozyondan korur. Bu tabaka iki şekilde tahrip olabilir; klor etkisi ve karbonatlaşma etkisi. Klorlu ortamlarda, özellikle denize yakın bölgelerde ve buz çözücülerin kullanıldığı durumlarda klor etkisi ile korozyon oluşabilir. Ayrıca, beton bileşimine giren malzemelerin klor içermeleri sonucunda da korozyon gerçekleşebilir. Korozyonun ikinci başlama yolu paspayı betonunun tümüyle karbonatlaşmaya uğramasıdır. Havanın karbondioksiti ile reaksiyona giren $\text{Ca}(\text{OH})_2$ karbonata dönüşür:



Bu şekilde karbonatlaşan paspayı betonunda pH değeri 12-13 düzeyinden 8-9 düzeyine kadar düşer ve donatı yüzeyindeki koruyucu (pasivasyon) tabakası tahrip olur. Klor etkisi ya da karbonatlaşma nedeniyle pasivasyon tabakası tahrip olan donatıda korozyonun başlayabilmesi için iki ek koşul daha gerekir; bunlar nem ve oksijenin donatı etrafında yeterli ölçüde bulunması. Bu koşulların yerine gelmesi sonucu çelik donatının bazı bölümleri pas (Fe(OH)₃) dönüşür. Oluşan pasın hacmi, çeliğin hacminden 2-6 kat daha büyük olduğu için paspayı betonu çatlayarak ayrılır ve beton-donatı arasındaki aderans düşer, ayrıca donatı kesiti ve beton kesiti azalır. Görüldüğü üzere donatı korozyonunun başlaması (klor girişi ve karbonatlaşma) ve sürebilmesi (O₂ ve nem girişi) için Cl⁻, CO₂, O₂ ve H₂O'nun paspayı betonunu aşarak donatıya ulaşması gerekir. Bu nedenle donatı korozyonunda beton kalitesinin önemli etkisi vardır. Geçirimsiz bir betonda söz konusu zararlıların etkisi düşük düzeyde kalır. Betonda dayanım ve geçirimsizlik özelliklerinin öncelikle su/çimento oranına ve minimum çimento dozajına benzer şekilde bağlı oldukları düşünülürse dayanımı düşük olan betonların geçirimsizlik özelliklerinin de zayıf olduğu, yani geçirimli oldukları değerlendirme-

si yapılabilir. TS EN 206 Standardı değişik çevre koşulları altında betonların taşımaları gereken minimum beton sınıfları ile maksimum su/çimento oranları ve minimum çimento dozajları belirtilmiştir. Buna göre karbonatlaşma yolu ile korozyon etkisi altındaki betonlarda en zayıf çevre etkisi olan XC1 sınıfında bile C25 sınıfı, orta şiddetteki çevre etkisinde (XC2) ise C30 sınıfı betonlar öngörülmektedir. Bu nedenle yapı stokumuzda C 25-30'dan daha düşük dayanımlı beton kullanılmış yapıların, ki bu yapılar büyük bir bölümünü oluşturmaktadır, korozyona karşı korunmasız durumda oldukları söylenebilir.

3. DONATI ve SORUNLARI

Yapılarda kullanılan çelik donatılar önceki bölümde belirtildiği gibi korozyon riski altındadır ve yapı stokumuzun önemli bir bölümü bu sorunu taşımaktadır. Betonarme yapılardaki bir başka sorun ise kullanılan donatıların mekanik özelliklerinin standard değerleri taşımasıdır. Bilindiği gibi betonarme çeliklerinin standartta (TS 708, TS 500) verilen akma sınırı, çekme dayanımı ve kopma uzama oranı gibi değerleri taşıma zorunluluğu vardır.

İTÜ İnşaat Fakültesi Yapı Malzemesi Laboratuvarı'nda kişi ve firmaların başvurusuna bağlı olarak İstanbul'daki inşaatlarda kullanılması düşünülen çelikler üzerinde mekanik deneyler yapılmaktadır. Söz konusu laboratuvar 10'ar yıllık aralarla iki kez elde edilen deney sonuçları derlenerek değerlendirilmiştir. **Tablo 1**'de 1978-89 yılları arasında denenen BÇ IIIa sınıfı olması baklenen çeliklerin akma sınırı, çekme dayanımı ve kopma uzama oranları açısından TS 708 Standardına uygunlukları karşılaştırılmıştır[5]. Bu tabloya göre standardı sağlamama durumu en çok akma sınırı açısından ortaya çıkmakta ve denenen çubuklarda % 52.4'ünün minimum akma sınırı olan 420 MPa değerini sağlayamadıkları anlaşılmaktadır. Çekme dayanımı ve kopma uzama oranı açısından değerlendirildiğinde ise % 90'ın üzerinde standardı sağladığı görülmüştür. Aynı zaman diliminde BÇİ (düz) çelikleri incelenmiş [5] ve toplam 223 numune üzerinde yapılan deneylerde akma sınırı ve çekme dayanımının büyük ölçüde standardı sağladığı, ancak kopma uzama oranını sağlamayan numunelerin oranının %15'e ulaştığı belirlenmiştir.

TS 708'e uygun olanların oranı (%)			
Çelik Çapı (mm)	Akma Sınırı	Çekme Dayanımı Oranı	Kopma Uzama
Ø 8	77.0	100	97.0
Ø 10	59.5	93.8	98.5
Ø 12	52.5	91.1	94.9
Ø 14	39.9	93.2	96.4
Ø 16	44.8	90.6	97.6
Ø 18	37.9	90.3	96.0
Ø 20	42.9	93.7	98.4
Ø 22	47.8	87	95.7
Ø 24	30.5	86.9	95.7
Ø 26	33.9	96.8	96.6
Toplam numune sayısı: 751			

Tablo 1: 1978-88 yılları arasında deney yapılan çeliklerin TS 708'e uygunluğu[5]

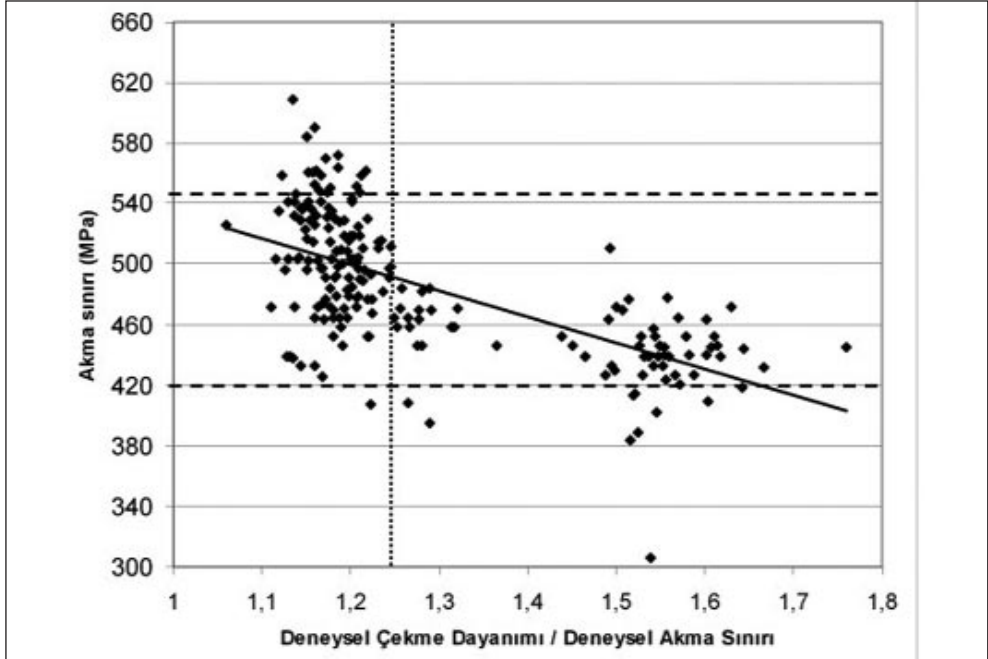
Yukarıda sözü edilen laboratuvar 1988-1998 yılları arasında yapılmış [6] ve **Tablo 2**'de özetlenen sonuçlar elde edilmiştir. Yine standardı sağlamama oranı akma sınırı açısından en yüksek değerdedir. Ancak, 1978-88 aralığı arasındaki sonuçlarla (**Tablo 1**) karşılaştırıldığında TS 708'e uygun olanların oranının arttığı görülmektedir; bu zaman diliminde denenen tüm çubuklar gözönüne alındığında uymayanların oranının % 30'a indiği (önceki on yıllık süreçte %52.4'dü), dolayısıyla

yaklaşık % 22'lik bir iyileşme gözlenmiştir. Bu zaman aralığında BÇİ çelikleri (numune sayısı: 514) için yapılan değerlendirmede [6] akma sınırı ve çekme dayanımlarının bir önceki dönemde (1978-88) olduğu gibi çok büyük oranda sağlandığı, ayrıca bu son dönemde kopma uzama oranlarında da iyileşmenin gerçekleştiği ve standarda uymayanların oranının %2.7'ye indiği gözlenmiştir.

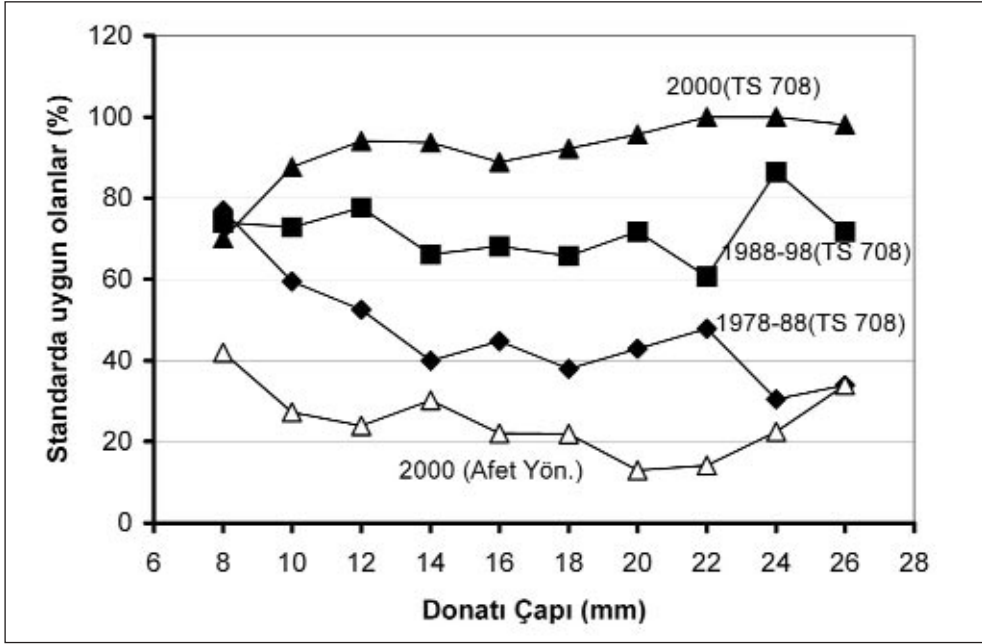
Öte yandan, “Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik”in 1998 tarihli yeni baskısında “7.2.5. Malzeme Dayanımları” bölümünde 7.2.5.4'te belirtilen elemanlar hariç olmak üzere, betonarme taşıyıcı sistem elemanlarında S420'den daha yüksek dayanımlı donatı çeliğinin kullanılamayacağı belirtilmiştir. Aynı zamanda çeliğin kopma uzama oranının %10'dan az olamayacağı kaydedilmiştir. Yönetmeliğin getirdiği diğer bir koşul, deneysel olarak bulunan ortalama akma dayanımının, standartta öngörülen karakteristik akma dayanımının 1.3 katından

TS 708'e uygun olanların oranı %			
Çelik Çapı (mm)	Akma Sınırı	Çekme Dayanımı	Kopma Uzama Oranı
Ø 8	74.0	89.5	95.9
Ø 10	72.8	89.5	98.0
Ø 12	77.7	92.4	98.2
Ø 14	66.1	85.2	99.8
Ø 16	68.1	90.0	98.5
Ø 18	65.8	89.0	99.0
Ø 20	71.7	84.4	98.5
Ø 22	60.7	96.5	99.7
Ø 24	86.5	86.9	100
Ø 26	71.7	91.2	99.0
Toplam numune sayısı: 4714			

Tablo 2: 1988-98 yılları arasında deney yapılan çeliklerin TS 708'e uygunluğu[6]



Şekil 2: “(Deneysel Çekme Dayanımı) / (Deneysel Akma Sınırı)” oranının akma sınırı ile değişimi (Ø 14 mm için).



Şekil 3: Değişik dönemlerde gerçekleştirilen deneylerde elde edilen sonuçların TS 708 ve Afet Yönetmeliğine uygunluk oranları

büyük olamayacağıdır. Ayrıca deneysel olarak bulunan ortalama kopma dayanımı, (çekme dayanımı olması gerekir) yine deneysel olarak bulunan ortalama akma dayanımının 1.25 katından daha az olamayacaktır.

2000 yılında İTÜ İnşaat Fakültesi Yapı Malzemesi Laboratuvarı'na getirilen çelikler üzerinde gerçekleştirilen deneylerin sonuçlarının değerlendirilmesi yapılmış [7] ve her bir anma çapı için elde edilen sonuçlar **Tablo 3'**de verilmiştir. Değerlendirmeler TS 708 Standardı ve Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkındaki Yönetmelik'e göre ayrı ayrı yapılmıştır. Ayrıca tabloda minimum akma sınırı koşulunu sağlayan çubukların, toplam denenen çubuk sayısına oranları, benzer şekilde Afet Yönetmeliği'nde verilen akma sınırı aralığında ($420 \leq \sigma_a \leq 546$ MPa) kalan çeliklerin sayısal oranı, ve aynı yönetmeliğin "(Deneysel Çekme Dayanımı) / (Deneysel Akma Sınırı) ≥ 1.25 " koşulunu sağlayan çeliklerin oranları da verilmiştir.

Tablo 3'de verilen sonuçların TS 708 "Beton Çelik Çubukları" Standardı'nı sağlama oranı %69.5 ile %100 arasında değişmektedir. Özellikle büyük çaplardaki çubuklarda %90'ın üzerinde standarda uygunluk sağlanmıştır. Benzer değerlendirme Afet Yönetmeliğine uygunluk açısından yapıldığında farklı bir durum ortaya çıkmakta ve oranlar önemli biçimde düşmektedir. Bazı çaplarda denenen numune sayısı 40-64 arasında değişirken diğer bazı çaplarda ise 200'ün üzerine çıkmıştır. Bu nedenle sonuçların genel eğilimini göstermek açısından yeterli oldukları düşünülebilir. Bu durumda, sonuçların TS 708 Standardı'na uygunluğu özellikle büyük çaplarda ($\phi \geq 12$ mm) % 90 oranlarına çıkabilirken ($\phi 16$: % 88.9), Afet Yönetmeliği koşullarını sağlayan çubukların oranları çok düşük kalmaktadır. $\phi 8$ ve ϕ

Çelik Çapı (mm)	Toplam Numune Sayısı	Akma Sınırı ≥ 420 MPa %	Akma Sınırı (420-546) MPa	Den.Ç.Da./ Den.A.Sın. ≤ 1.25 %	TS 708'e Uygun (%)	Afet Yönetmeliğine Uygun %
Ø 8	174	70.0	57.5	71.8	69.5	42.0
Ø 10	202	87.6	48.0	39.0	86.6	27.2
Ø 12	205	94.1	40.5	29.3	93.7	23.9
Ø 14	222	93.7	84.2	36.0	92.3	30.2
Ø 16	235	88.9	74.5	34.5	88.9	22.1
Ø 18	64	92.2	70.3	29.7	92.2	21.9
Ø 20	116	95.7	65.5	23.3	94.8	12.9
Ø 22	64	100	71.9	17.2	100	14.1
Ø 24	40	100	77.5	25.0	97.5	22.5
Ø 26	53	98.1	67.9	35.8	98.1	34.0

Tablo 3: 2000 yılında deney yapılan çelik çubuklarda standartları sağlama oranları[7]

26'lıklar dışındaki çubuklarda % 70 ve üzerindeki oranlarda söz konusu yönetmeliğin sağlanmadığı görülmektedir (sağlanmama oranları Ø 8: %58, Ø 26: %66). Bu aykırılıkta, bazı çeliklerde akma sınırının 420-546 MPa aralığına girememesi yanında asıl belirleyici olan etkenin “(Deneyisel Çekme Dayanımı) / (Deneyisel Akma Sınırı) ≥ 1.25 ” koşulunun sağlanamaması olduğu anlaşılmaktadır.

Şekil 2'de “(Deneyisel Çekme Dayanımı) / (Deneyisel Akma Sınırı)” oranının akma sınırı ile değişimi Ø 14 çelikleri için verilmiştir. Genel olarak, söz konusu oran arttıkça akma sınırının düştüğü görülmektedir. Deney sonuçlarının iki farklı öbek oluşturdıkları söylenebilir; birinci öbek yüksek akma sınırlı, ancak düşük “(Deneyisel Çekme Dayanımı) / (Deneyisel Akma Sınırı)” oranlı, ikincisi ise tam tersi özellikte olmak üzere. **Şekil 2'**de verilen grafik kesikli çizgilerle 6 bölgeye ayrılmıştır. Afet Yönetmeliğini sağlayan bölge sağ-ortada kalmaktadır. Sol-orta bölgede yer alan donatıların ise akma sınırları yönetmeliği sağlamakta birlikte “(Deneyisel Çekme Dayanımı) / (Deneyisel Akma Sınırı) ≥ 1.25 ” koşulu sağlanmadığı için Yönetmeliğe uymamaktadır.

Şekil 3'de 1978-88 ve 1988-98 dönemleri ile 2000 yılına ait çelikler üzerinde yapılan deneylerin sonuçlarının TS 708 Standardına uygunluk oranları ile sadece 2000 yılına ait olan sonuçların Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik'e uygunluk oranları birlikte gösterilmiştir. 1978-88 döneminden 1988-98 dönemine ve izleyen 2000 yılına geçildiğinde TS 708'e uygunluk açısından büyük gelişmeler olduğu gözlenmektedir. Ancak 2000 yılına ait sonuçlar Deprem Yönetmeliği açısından incelendiğinde aynı olumlu tablo oluşmakta, deney sonuçlarının büyük oranda yönetmeliği sağlamadığı gözlenmektedir.

4. SONUÇLAR

1- İstanbuldaki konut stokunun önemli bir bölümünde (özellikle hazır betonun yaygınlaşmasından önce) düşük dayanımlı beton ve donatı korozyonuna bağlı dürabilite sorunu vardır.

- 2- Beton dayanımlarında varyasyon katsayısı yüksektir; bu sorun üretimden kaynaklanacağı gibi uygulama ve yetersiz kür koşullarından da ileri gelebilir.
- 3- Betonların düşük dayanımlı ve geçirimli olmaları nedeniyle betonarme yapılarda korozyon sorunu vardır
- 4- Betonarme yapılarda kullanılan çelik donatılarını;
 - 1978-88 döneminde üretilenlerin yarısından çoğu,
 - 1988-98 döneminde üretilenlerin yaklaşık %30'u,
 - 2000 yılında üretilenlerin yaklaşık % 10'u TS 708 standardını sağlamamaktadır.
- 5- 2000 yılında deney yapılan çelik çubuklardan “Afet Bölgelerinde Yapılan Yapılar Hakkındaki Yönetmelik”e uyanların oranı ancak %26 (uymayanların oranı: % 74) dır.

KAYNAKLAR

- [1] M. H. Özkul ve A. Öztaş, “Adana Deprem Araştırma Raporu”, Hazır Beton Dergisi, THBB, Yıl 5, Sayı 28, 1998, 40-42.
- [2] M. A. Taşdemir, M. H. Özkul, “Marmara Depremi Beton Araştırması”, Hazır Beton Dergisi, THBB, Yıl 6, Sayı 35, 1999, 13-18.
- [3] F. Türker, “Afyon Depremi İzlenimleri”, Hazır Beton Dergisi, THBB, Yıl 9, Sayı 49, 2002, 10-12.
- [4] A. Öztaş, “2003 Bingöl Depremi Beton Araştırma Raporu”, Hazır Beton Dergisi, THBB, Yıl 10, Sayı 56, 2003, 93-95.
- [5] S. Akyüz, M. Uyan, “Türkiye’de Kullanılan Beton Çelik Çubuklar Üzerine Bir İnceleme”, İMO Teknik Dergi, Nisan, 1992.
- [6] S. Akyüz, M. Uyan, ve H. Yıldırım, Türkiye’de Kullanılan Çelik Çubuklar Üzerine İstatistik Bir Değerlendirme”, Hazır Beton Dergisi, THBB, Yıl 6, Sayı 35, 1999, 93-100.
- [7] M. H. Özkul, “Çelik Donatıların Deprem Yönetmeliği Açısından İncelenmesi”, Türkiye Mühendislik Haberleri Dergisi, TMMOB İMO, Yıl 48, Sayı 426, 2003, 52-55.