



30 EKİM 2020 SİSAM DEPREMİ VE İZMİR'E ETKİLERİ

TMMOB JEOLojİ MÜHENDİSLERİ ODASI İZMİR ŞUBE

Hazırlayanlar

Jeoloji Müh. Özgür YILMAZ

Yük. Jeoloji Müh. Berna ŞENGÖÇMEN GEÇKİN



30 EKİM 2020

SİSAM DEPREMİ VE İZMİR'E ETKİLERİ

Hazırlayanlar

Jeoloji Müh. Özgür YILMAZ

Yük. Jeoloji Müh. Berna ŞENGÖÇMEN GEÇKİN



TMMOB
JEOLOJİ MÜHENDİSLERİ ODASI
İZMİR ŞUBESİ

550.4 jeo

TMMOB Jeoloji Mühendisleri Odası

30 EKİM 2020 SİSAM DEPREMİ VE İZMİR'E ETKİLERİ

İzmir: Jeoloji Mühendisleri Odası Yayınları, 2021

24 s.: 17 cm

Anahtar Kelimeler: İzmir, İzmir Depremi, Deprem, Sisam Depremi

TMMOB Jeoloji Mühendisleri Odası

ISBN: 978-625-7653-08-4

İÇİNDEKİLER

SUNUŞ.....	5
ÖZET	7
GİRİŞ	9
DEPREME AİT BİLGİLER	10
BÖLGENİN GEÇMİŞ DÖNEM DEPREM AKTİVİTESİ.....	11
Bölgenin Deprem Tehlikesi ve Risk Analizi	13
BÖLGENİN GENEL JEOLJİSİ.....	22
İnceleme Alanın Jeolojisi	24
İNCELEME ALANIN ZEMİN ÖZELLİKLERİ	25
İnce Tane Oranı ve Aktivite.....	31
Zeminlerin Katılık Derecesi	32
Depremi ölçülen ivme değerleri (AFAD)	34
Zemin Büyütmesi ve Hakim Titreşim Periyodu.....	41
SONUÇLAR.....	50
KAYNAKÇA.....	55

SUNUŞ

İzmir için hüznü ve zor bir gün olan 30 Ekim Cuma, Sisam Depremi sonrası, Cumartesi JMO İzmir Şube’de yönetim kurulu üyeleri ile bir araya gelindi. Deprem ve genel durum değerlendirildi. O günün akşamı, 1 Kasım Pazar 11:00 için tüm meslektaşlarımıza toplantı çağrısı yapıldı.

İmkânları dâhilinde çağrımıza cevap veren meslektaşlarımızla 1 Kasım’da yapılan toplantıda deprem bölgesinde inceleme yapmak için iki grup lideri seçildi. Özgür YILMAZ ve Berna ŞENGÖÇMEN GEÇKİN’in liderliğinde 15 kişilik bir meslektaş grubumuzla (aşağıda isimleri verilen) 13:00 civarında deprem bölgesinde incelemeye başlandı. Akşamüstüne doğru inceleme sonucu elde edilen gözlemler, sahada bir araya getirilerek grup liderlerine teslim edildi.

Grup liderlerinin diğer günler JMO İzmir Şubesi’nde yaptıkları birebir çalışmalar ile bu rapor hazırlandı. Bu zor süreç içerisinde birlikte olmak isteyip gelen ve gelemeyen ancak katkılarını ve emeklerini esirgemeyen tüm meslektaşlarımıza teşekkür ederiz.

Deprem sahasında önceden yaptığı çalışmalar dolayısı ile doğru verilere ulaşmamıza yardımcı olan, elindeki rapor ve kaynakları paylaşan, meslektaşımız Sinan BİNBOĞA’ya verdiği destek için ayrıca teşekkür ederiz.

Taslakları inceleyen öneriler getiren, yerli ve yabancı kaynakları bize ileten Ankara’dan Yazgan KIRKAYAK’a; olumlu eleştirilerini esirgemeyen raporumuzun niteliğini arttırıcı desteklerini esirgemeyen Prof. Dr. Nihat Sinan IŞIK hocamıza şükranlarımızı sunarız.

Tüm aktarılan gözlemleri, verileri, kaynakları ve eleştirileri göz önünde bulundurarak, inceleme ve raporlama konusunda saat mefhumu gözetmeden özverili bir şekilde çalışan grup liderlerimize kocaman bir teşekkürü hak ettiklerini belirtmeliyiz.

Adını sayamadığımız bu çalışmada emeği geçen herkese tekrar teşekkür ederiz. Bu raporun şehrimiz ve ülkemiz için katkı sağlamasını dileyerek saygılarımızı sunarız.

TMMOB Jeoloji Mühendisleri Odası
İzmir Şube Yönetim Kurulu Adına
Alim Murathan.



Deprem Sahası İnceleme grubu katılımcıları:

Çağrı AYDINEL

Mustafa Kemal GÜMÜŞ

Atakan SÜLER

Yücel KORKMAZ

Çisem DURKAL

Turgay KOÇAK

İrfan Timur KARAMAN

Sinan BİNBOĞA

Alican COŞGUN

Bora SONUVAR

Özgür YILMAZ

Barış YILDIZ

Berna ŞENGÖÇMEN GEÇKİN

Aysun YILDIZ

Alim MURATHAN

ÖZET

Uzak odaklı (yaklaşık 70 km) 30 Ekim Sisam depremi bize öncelikle şunu göstermiştir. İzmir'in depremselliğine ilişkin bugüne kadar çok sayıda bilimsel çalışma yürütülmüş, bu çalışmalar sonucunda deprem üretme potansiyeline sahip birçok fay tanımlanmıştır. Ancak Sisam depremini üreten fay da göstermiştir ki bu fayların tümüne dair detaylı jeolojik bilgilere sahip değiliz. Bu nedenle İzmir ve yakın çevresinde deprem üretme potansiyeli olan ve kentimizde yıkıcı etkisi olabilecek tüm bu fayların daha detaylı tanımlanması; deprem tehlikelerinin, risk ve etkilerinin belirlenmesi İzmir kentinin deprem riskinin azaltılması önem taşımaktadır.

Sisam depremi kentimizde en büyük hasarı zayıf mühendislik özelliklerine sahip olan alüvyon zeminlerde vermiştir. Depremlerde yapısal hasarlara neden olan dört temel etki vardır; deprem üreten faylar ve yerel zemin koşulları, taşıyıcı sistem yapısının özellikleri, malzeme ve işçilikteki kalite ile yapı denetim süreçleri. Zemin koşulları bölgesel jeoloji ve topoğrafik şartlar, deprem dalgalarının özelliklerinin önemli ölçüde değiştirerek aynı sismik harekete maruz birbirine yakın bölgelerde aynı tip yapılarda farklı düzeylerde hasara neden olabilmektedir. Nitekim depremde en çok etkilenen Bayraklı ve Karşıyaka yerleşim yerlerinde bu durum görülmüştür.

Depremde yıkılan ve hasar gören binaların esas olarak taşıyıcı sistem yapısının deprem yönetmeliklerinin öngördüğü sisteme uygun yapılmamasının yanında kullanılan malzeme ve işçiliğinin niteliğinden kaynaklı olmakla birlikte bu kadar yaygın hasarın meydana gelmesindeki en büyük etkenlerden biri de yapı tasarımlarının zemin koşullarına uygun olmamasıdır.

İzmir'de binalar her yıl ortalama 4,2 büyüklüğünde depremlere maruz kalmaktadır. En çok, alüvyon (ovalık-düzlük alanlarda) zemin üzerine inşa edilmiş ve uygun tasarlanmamış binalar sürekli tekrar eden bu depremler nedeni ile yıpranmaktadır. Aynı zamanda yeraltı su seviyesinin yüzeye yakın olduğu bölgelerdeki binaların yapı ömürleri ve dayanıklılığını olumsuz olarak etkilenmektedir.

Depremim yakın bölgelerde aynı tip yapılarda farklı düzeylerde hasara neden olmasının nedeninin kentin yapı güvenlik düzeyi koşulları ile birlikte zemin koşulları, zemin yapı etkileşimi açısından Meksico City depremi örneğinde olduğu gibi uzak alan etkileri de dikkate alınarak ayrıntılı araştırmalarla belirlenmelidir.



Mevcut yapı denetim sistemi, binanın oturacağı zeminin özelliklerini, sondajlar, arazide yapılan yerinde deneyler ve sondaj esnasında zeminden alınan numuneler üzerinde yapılan laboratuvar çalışmaları ile ortaya koyan jeolojik jeoteknik çalışmaların etüt ve proje denetimini içermemektedir.

Uygulamada yapı denetim sistemi sadece bina inşa sisteminin denetimini kapsamakta zemin araştırmalarının ise arazi, sondaj ve laboratuvar çalışmaları denetim dışı bırakılmaktadır.

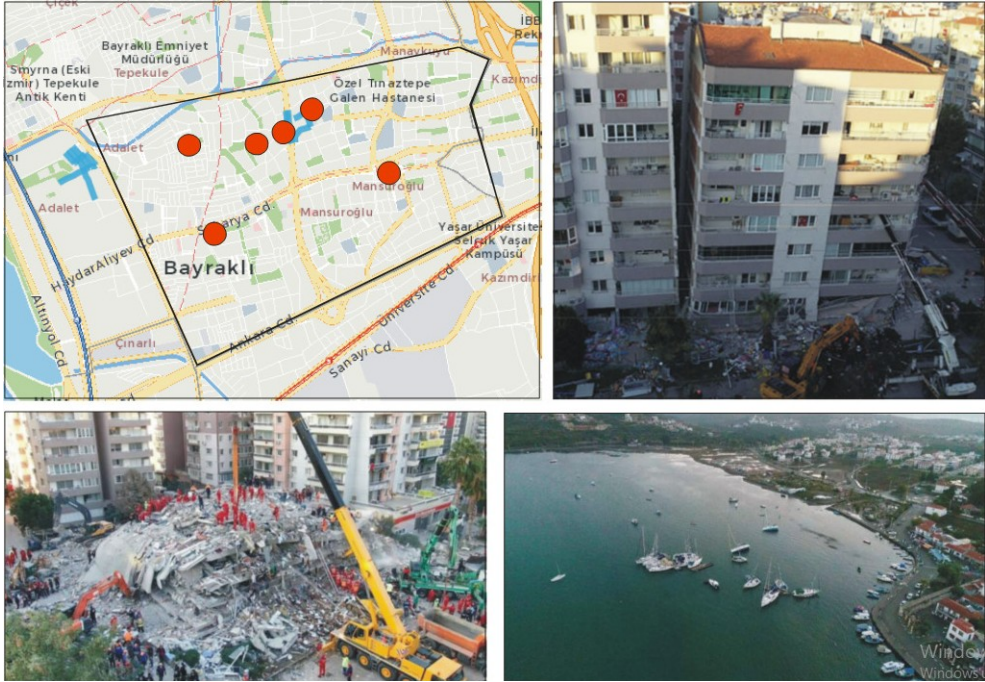
Yapı denetim sistemi sadece bina inşasının denetimi ile sınırlı kalmamalı, gelişmiş ülke örneklerinde olduğu gibi bina projelerinin hazırlanmasına esas teşkil eden zemin ve temel (jeoteknik) etütleri de yapı denetim sisteminin içine alınarak denetlenmelidir. Bu kapsamda yapı denetim kanunu başta olmak üzere ilgili mevzuat revize edilmelidir.

Yapı denetim sisteminin özel sektörde ticari bir sistem olduğu dikkate alınarak zemin ve temel etütlerinin yerel yönetimlerde jeoloji mühendisi istihdamı yoluyla etkin kamusal denetimin yapılmalıdır.

Ülkemizde deprem risklerinin azaltılma sürecinde can ve mal güvenliği açısından Fay yasası, ivedilikle çıkarılmalıdır.

1. GİRİŞ

Sisam adası kuzeyinde meydana gelen moment büyüklüğü 6.6 ve odak derinliği 14.9 km olan (AFAD) deprem Seferihisar İlçesi Sığacık kıyılarında tsunamiye, Gediz çöküntü havzasının en batı ucunda yer alan İzmir’de yapılarda hasara neden olmuştur. Deprem odak noktası İzmir şehir merkezine 70 km uzaklıktadır. Çevre ve Şehircilik İl Müdürlüğü çalışmalarına göre İzmir genelinde yıkık bina sayısı 54 (6’sı deprem anında yıkılmış olan), acil yıkılacak bina sayısı 40, ağır hasarlı bina sayısı 676, orta hasarlı bina sayısı 789, az hasarlı bina sayısı 7.683 adettir. İncelenen 158.374 binada ise hasar görülmemiştir. Hasar tespit çalışmaları devam etmektedir. Bayraklı İlçesi’ne ait, Adalet, Mansuroğlu ve Manavkuyu Mahalleri sınırları içerisinde yer alan yaklaşık 3.4 km²’lik kısım depremden en çok etkilen alandır (Şekil 1). Alan batıda Manas Bulvarı doğuda Yüzbaşı İbrahim Hakkı Caddesi, güneyde Ankara Caddesi ve doğuda E87 Çevre yolu ile sınırlanmaktadır. İzmir JMO tarafınca bir deprem inceleme heyeti oluşturulmuş ve incelemeler sonucunda bu rapor hazırlanmıştır.

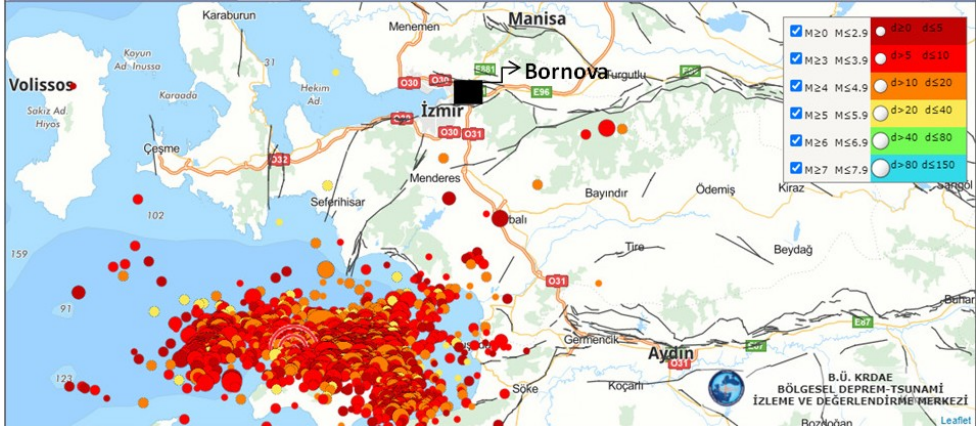


Şekil 1. Adalet ve Manavkuyu mahallerinde yıkılan binaların lokasyon ve fotoğrafları



DEPREME AİT BİLGİLER

30/10/2020 tarihinde yerel saat ile 14:51’de Ege Denizi’nde Sisam adasının kuzeyi ile Doğanbey-İzmir açıkları arasında (37.9020 Kuzey, 26.7942 Doğu) aletsel büyüklüğü $M_w=6.6$, şiddeti $I=8$ ve odak derinliği yaklaşık 14.9 km olan bir deprem meydana gelmiştir.



Şekil 2. 30/10/2020 tarihinde saat 14:51 de meydana gelmiş olan Sisam Depremi ve 02/11/2020 tarihine kadar büyüklükleri $M=1.0 - 5.1$ arasında değişen toplam 1230 artçı depremin lokasyonu (Kaynak: B.Ü. KRDAE).

Depremın odak uzaklığı, Seferihisar ilçesine 23 km, Bornova/Bayraklı ilçelerine 70 km mesafededir. Deprem İzmir ili ve ilçeleri başta olmak üzere Ege ve Marmara bölgelerinde hissedilmiştir.

Deprem BKB-DGD gidişli yaklaşık 30 km uzunlukta Sisam Fayı üzerinde meydana gelmiştir. Artçı deprem dağılımı ve odak mekanizması Şekil 2’de sunulmuştur.

Çizelge 1 Moment tensör çözümü (deprem.afad.gov.tr)



Doğrultu 1	Eğim 1	Rake 1	Doğrultu 2	Eğim 2	Rake 2
95	43	-87	270	46	-91



BÖLGENİN GEÇMİŞ DÖNEM DEPREM AKTİVİTESİ

İnceleme alanı çevresinde depremselliğe neden olan en önemli yapısal unsurlar; kuzeyde, Bornova Fayı, Menemen Fay Zonu, Güneyde İzmir Fayı, Tuzla Fayı, güneybatıda Seferihisar Fayı'dır (Şekil 3).

Tarihsel dönemlerde söz konusu faylar boyunca büyük depremler olmuştur. İzmir ve yakın çevresi, tarihsel çağlarda pek çok uygarlığın hüküm sürdüğü bir bölge olması nedeniyle 1900 yılı olarak kabul edilen aletsel dönem başlangıcından önce bölge için birçok tarihsel dönem deprem kaydı bulunmaktadır. Kayıtlar, Bayraklı ve yakın çevresindeki çoğu yerleşmenin tarihsel dönemde çok sayıda depremden etkilendiğini ortaya koyar (Şekil 3).

Tarihsel dönemde kent ve yakın çevresinde yıkıcı hasar yapan büyük depremler Çizelge 2'de sunulmuştur. Kayıtlar, İzmir kentinin çoğu depremden etkilenebilir olmasına rağmen özellikle bazı depremlerde çok büyük hasarların meydana geldiğini göstermektedir.

M.S. 17 yılında, 38.40 enlem ve 27.50 boylamlarında X şiddetinde ($M_s=7.0$) meydana gelen deprem, İzmir, Efes, Aydın, Manisa, Alaşehir ve Sart şehirlerinde, Gediz ve Büyük Menderes nehirlerinin vadilerinde tahribat yapmıştır. Ege bölgesindeki büyük felaketlerden biri olduğu söylenir. Batı Anadolu'da Efes'le birlikte 13 önemli İyon şehri tamamen yıkılmıştır.

M.S. 178 yılında, 38.30 enlem ve 27.10 boylamlarında VIII şiddetinde ($M_s=6.5$) meydana gelen deprem, İzmir şehri harap olmuş, pek çok yangın çıkmış, zeminde çatlaklar açılmış ve küçük iç liman kapanmıştır. Şehir tekrar inşası için 10 yıl süreyle vergilerden muaf tutulmuştur.

10 Temmuz 1688 yılında, 38.40 enlem ve 26.90 boylamlarında X şiddetinde ($M_s=6.8$) meydana gelen deprem İzmir'de büyük tahribat olmuştur. Kıyıda kaymalar olmuştur. Bunun neticesinde, 30 m genişliğinde bir kanal açılmıştır. 15-20.000 kişinin öldüğünden bahsedilir. Deprem büyük bir alanda hissedilmiş ve tsunami oluşmuştur.

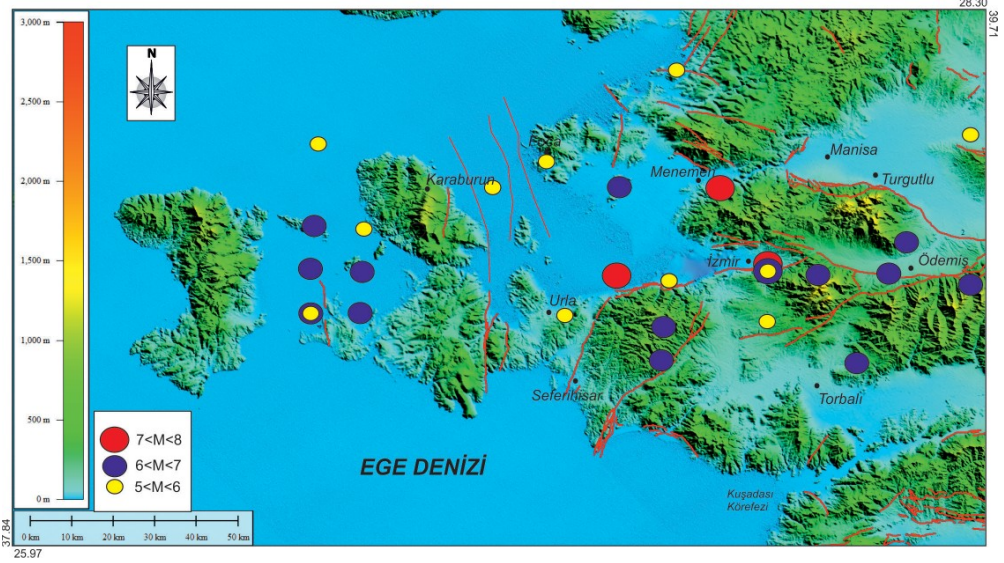
29 Temmuz 1880 yılında, 38.60 enlem ve 27.10 boylamlarında IX şiddetinde ($M_s=6.7$) meydana gelen deprem İzmir ve Gediz çukurluklarında, Menemen, Bornova, Karşıyaka'da fazla miktarda hasar yapmıştır. İzmir-Turgutlu demiryolu yarıklarla kesilmiştir. Depremi merkezi Menemen civarındadır.



Çizelge 2. İzmir ve yakın çevresinde tarihsel dönemde hasara yol açmış büyük depremler (İDSDMP).

TARİH	ENLEM (N)	BOYLAM (E)	ŞİDDET	BÜYÜKLÜK
17	38.40	27.50	X	7.0
105	38.90	27.00	VIII	6.4
176 ve 177	38.60	26.65	VII	5.8
178	38.30	27.10	VIII	6.5
688	38.41	27.20	IX	6.5
1039	38.40	27.30	VIII	6.8
20.03.1389	38.40	26.30	VIII	6.7
20.05.1654	38.50	27.10	VIII	6.4
02.06.1664	38.41	27.20	VII	5.8
1668	38.41	27.20	IX	
14.02.1680	38.40	27.20	VII	6.2
10.07.1688	38.40	26.90	X	6.8
13.01.1690	38.60	27.40	VII	6.4
1723	38.40	27.00	VIII	6.4
04.04.1739	38.50	26.90	IX	6.8
24.11.1772	38.80	26.70	VIII	6.4
03-5.07.1778	38.40	26.80	IX	6.4
13.10.1850	38.40	27.20	VIII	
03.11.1862	38.50	27.90	X	6.9
01.02.1873	37.75	27.00	IX	
29.07.1880	38.60	27.10	IX	6.7
15.10.1883	38.30	26.20	IX	6.8
01.11.1883	26.30		VIII	

Bölgede tarihsel dönem boyunca 332 adet deprem kaydının (Şekil 3) ve aletsel döneme ait $M \geq 4.5$ büyüklüğünde toplam 183 adet depremin meydana geldiği belirlenmiştir (Şekil 4).



Şekil 3. İzmir ve yakın çevresinde 5 < M < 8 arasında meydana gelmiş tarihsel döneme ait depremler (mta).

Bölgenin Deprem Tehlikesi ve Risk Analizi

Depremlerin önemli bir kısmı, tektonik etkinliklerin sonucunda meydana gelir. Değişik tektonik özelliklere sahip bölgelerin depremselliği de farklılık gösterir. Dolayısıyla gelecekte meydana geleme olasılığı büyük, konum ve oluş zamanlarında belirsizlikler mevcuttur. Stokastik modeller, deprem oluşumlarını modellemede kullanılan bu belirsizliği yansıtmaktadır. Bu projede deprem risk potansiyelinin belirlenmesinde probabilistik metod olarak basit Poisson Modeli kullanılmıştır. Bu model deprem oluşumlarının hafızasız olduğunu ve bir kaynak bölgesi içinde depremlerin gerek konum ve gerekse zaman açısından birbirinden bağımsız olarak meydana geldiğini kabul eder.

Deprem risk hesaplanmasında ilk aşama, incelenen bölgenin etkilenebileceği sınırlar içinde geçmişte meydana gelmiş depremlerin magnitüdlerine göre dağılımlarının bulunması ve bölgenin depremselliğini yansıtan parametrelerin hesaplanmasıdır. Bu yaklaşımda deprem magnitüdlerine göre ortalama dönüşüm periyotları ve seçilen bir zaman süresi içinde olma olasılıkları bulunabilmektedir.

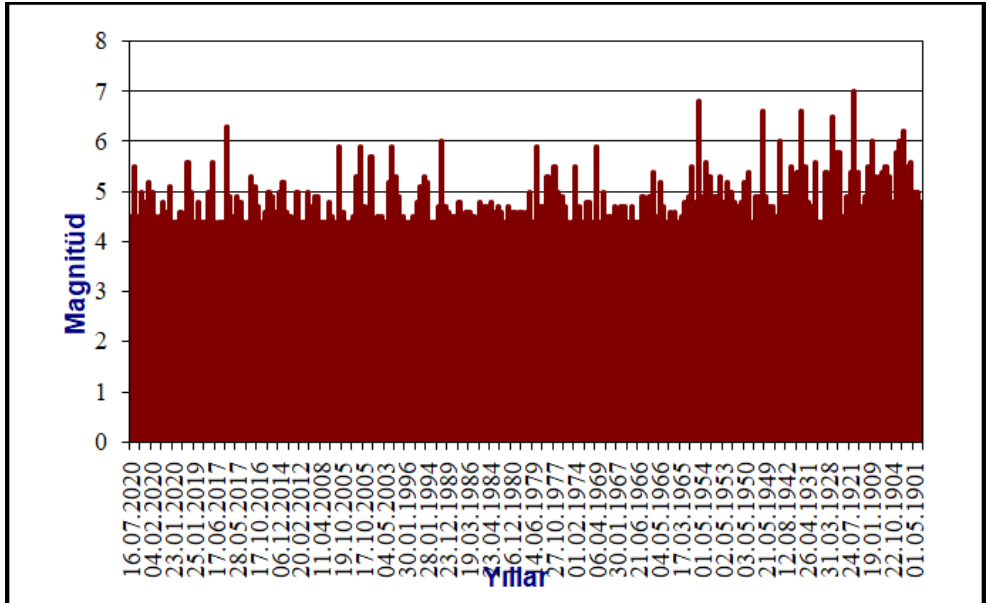
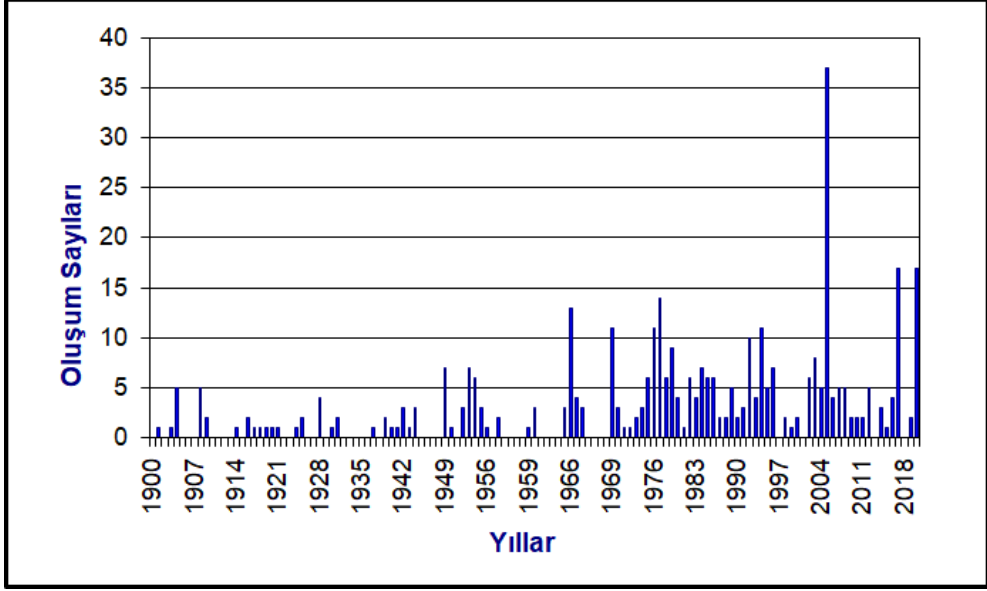


Depremlerin oluş sayıları ile magnitüdü arasında doğrusal bir ilişki vardır. Bu ilişki Gutenberg-Richter (1954) tarafından aşağıdaki bağıntıyla tanımlanmıştır.

$$\text{Log } N = a - b M \quad (1)$$

Bu bağıntıda N frekansı, M ise magnitüdü göstermektedir. “a” ve “b” ise sabit katsayılardır. “a” katsayısı inceleme alanının genişliğine, gözlem dönemine ve deprem etkinliğinin düzeyine bağlı olarak değişmektedir. “b” katsayısı sismotektonik parametre olup deprem oluşunun fiziği ile doğrudan ilişkili olduğundan depremlerin istatistik analizinde önemli bir yere sahiptir. Hesaplanan “b” değerleri kullanılan verilere, yöntemlere, depremlerin normal ve kümülatif frekanslarına bağlı olarak değişmektedir. Yapılan incelemelerle büyük b değerinin zayıf bir gerilim düşmesini, küçük b değerinin ise büyük bir gerilim düşmesini gösterdiği saptanmıştır. Ancak, Poisson modelinin kullanıldığı durumlarda, deprem oluşumları bağımsız kabul edildiği için, deprem kataloglarının artçı şok ve deprem fırtınası gibi deterministik unsurlardan arındırılması gerekir. Bayraklı Manavkuyu Merkezi için magnitüd-frekans bağıntısı en küçük kareler yöntemiyle magnitüd aralığı $\Delta M = 0.5$ alınarak hesaplanmıştır.

Bayraklı için 1900-2020 yılları arasında Bayraklı-Manavkuyu olmak üzere 100 km yarıçapındaki alanda 120 yıllık zaman aralığında meydana gelen magnitüdü $M \geq 4.5$ olan depremler kullanılarak magnitüd-frekans ilişkisi saptanmıştır. Bu deprem kayıtları Kandili Rasathanesi deprem kataloğundan alınmıştır (Grafik 1.).



Grafik 1. a-)Yıllara göre oluşan deprem sayıları, b-)Yıllara göre büyüklükler

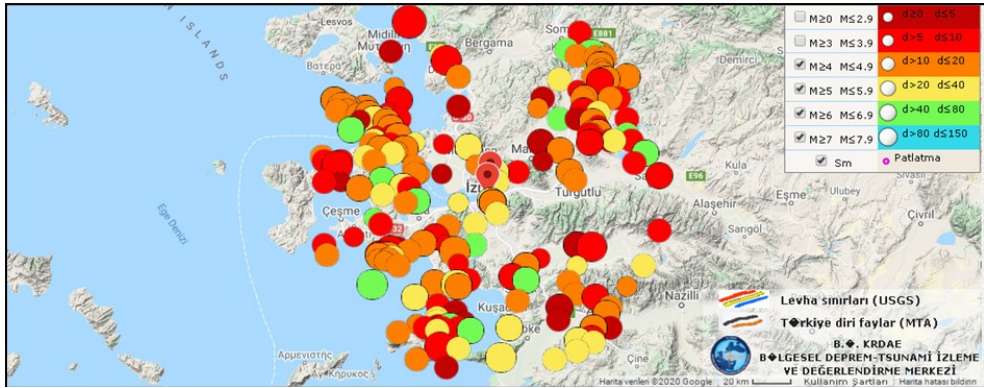
Hesaplamalarda Probabilistik Deprem Tehlike Analizi programı kullanılmıştır. $M \geq 4.5$ olan ve artçı şoklardan ayıklanmış ve deprem magnitüdləri 0.5 birim

aralık içeren sınıflara ayrılarak her bir aralığa karşılık gelen normal ve yığınsal frekanslar, LogN değerleri belirlenmiştir (Çizelge 3.).

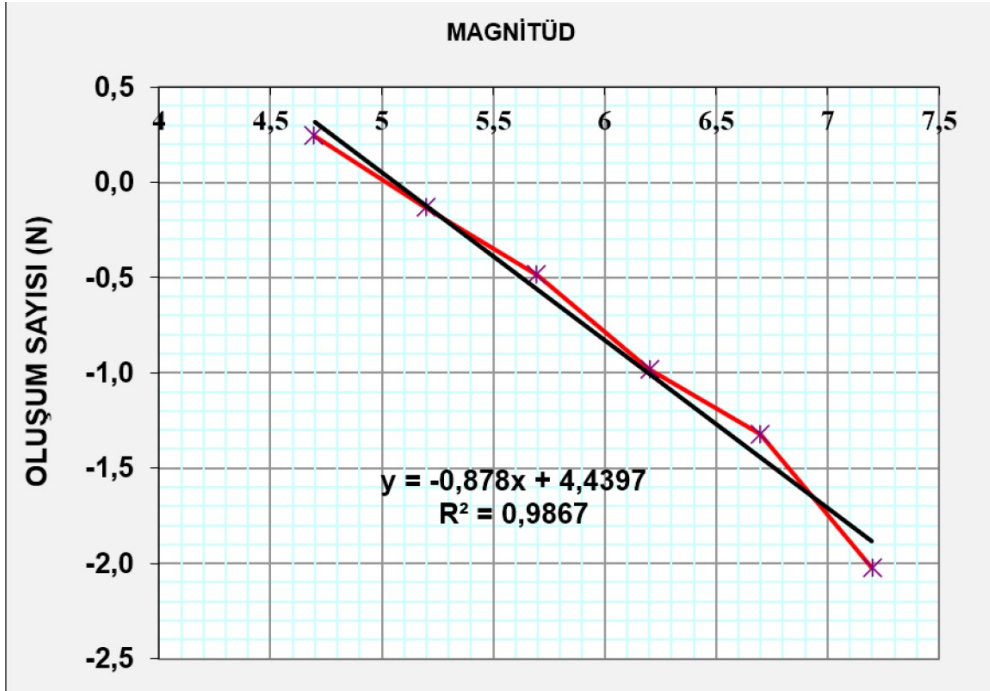
Çizelge 3. 0.5 birim magnitüd aralıkları ile sıralanan depremlerin oluş sayıları ve yığınsal frekans değerleri

M=0.5	Ortalama Aralık	Oluşum sayıları (Ni)	Kümülatif oluş sayısı ($\sum Ni$)	$\text{Log}\sum Ni/t$
$4.5 \leq M < 5$	4.7	106	183	0.24
$5 \leq M < 5.5$	5.2	43	77	-0.13
$5.5 \leq M < 6$	5.7	23	34	-0.48
$6 \leq M < 6.5$	6.2	6	11	-0.97
$6.5 \leq M < 7$	6.7	4	5	-1.32
$7 \leq M < 7.5$	7.2	1	1	-2.021

Bayraklı için, Magnitüd frekans bağıntısı; $\text{Log}N = 4.439 - 0.878 M$, olarak bulunmuştur (Grafik 2.). Burada regresyon uyumluluk parametresi $r = \% 98.6$ 'dır. Büyük b katsayısı, bölgede sismik faaliyetin çok yüksek olmadığını, gerilimin sürekli olarak boşalmadığını göstermektedir.

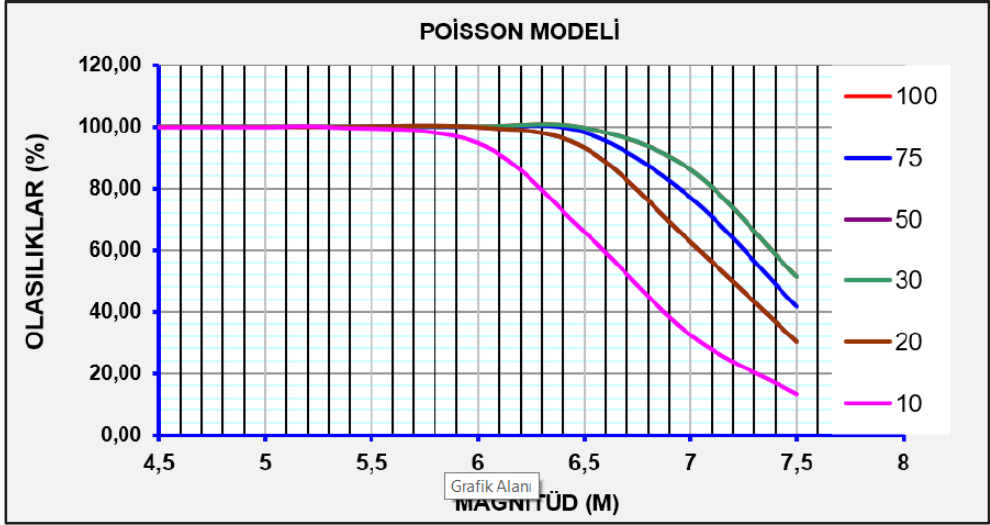


Şekil 4. İnceleme alanını merkez alan 100 km yarıçapında aletsel dönemde meydana gelmiş depremler (B.Ü. KRDAE)



Grafik 2. İzmir İli Bayraklı Merkezimagnitüd-oluşum sayısı ilişkisi

Risk analizinin ikinci aşamasında, muhtemel deprem büyüklüklerinin, belirli ekonomik yapı ömürlerindeki (1 yıl, 10 yıl, 20 yıl, 30 yıl, 50 yıl, 75 yıl, 100 yıl için) aşılma olasılıkları hesaplanmıştır. Bu belli büyüklükteki bir depremin belirli sürelerde en az bir kez meydana gelme olasılıklarının bilinmesi demektir. Çizelge 4.'de ,sismotektonik bölge için yapılan karakteristik bir çözüme ait 4.5 büyüklü- ğünden 7.5 büyüklüğüne kadar herhangi bir büyüklükte meydana gelebilecek depremlerin, söz konusu yapı ömürlerinde aşılma olasılıkları verilmiştir. Çizel- ge 4'deki değişimlere göre 5.0'den daha küçük bir depremle her zaman karşılaş- manın kaçınılmaz olduğu, en az 5.0 büyüklüğündeki depremlerle 20 yılda % 100 karşılaşma olasılığının bulunduğu görülmektedir. Süre uzadıkça bu olasılıklar daha da artmaktadır (Grafik 3.). 10 yıllık sürede 5.5'den küçük depremlerin daha yoğun olacağı, 20 yıllık sürede 6.0'dan küçük depremleri yaşanmanın daha olası görüldüğü, 50 yılda 6.5'e kadar olan depremlerle karşılaşılabilceği, 100 yılda 7'ye kadar olan depremlerle karşılaşmanın % 86.01 olasılığı görülmektedir. Di- ğer büyüklüklere ait olasılık değerleri, Çizelge 4. ve Grafik 3.'de verilmiştir.



Grafik 3. Deprem büyüklüklerinin belli ekonomik yapı ömürlerindeki aşılma olasılıkları

Çizelge 4. Poisson dağılıma modeliyle hesaplanan yıla bağlı magnitüd aşılma olasılıkları

$$R_m = 1 - e^{-n(M) \times D}$$

D yıl için Olasılık				
Magnitüd	10	20	50	100
4.5	100.00	100.00	100.00	100.00
5	100.00	100.00	100.00	100.00
5.5	98.31	99.97	100.00	100.00
6	77.35	94.87	99.94	100.00
6.5	41.75	66.07	93.29	99.55
7	17.85	32.52	62.59	86.01
7.5	6.91	13.34	30.08	51.11

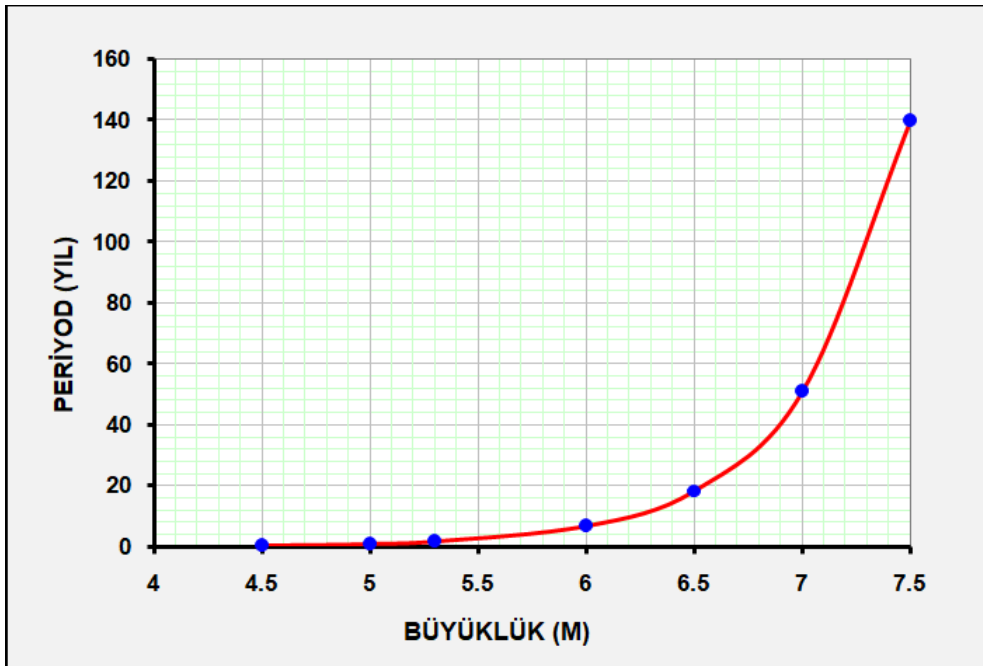
Risk analizinin üçüncü aşamasında sismotektonik bölgede meydana gelebilecek muhtelif deprem büyüklüklerinin karakteristik bir çözüme ait dönüş periyodları saptanmaktadır. Buradan elde edilen sonuçlar Çizelge 5’de verilmiştir. Grafik 4.’deki değişime göre 5.5 büyüklüğündeki bir deprem, sismotektonik bölgede 2 yılda bir yaşanabilecektir. Böyle bir depremle bu sürede karşılaşılabilme olasılığı ise % 55.78’dir. 6.0 büyüklüğündeki bir depremle 7 yılda bir karşılaşılabilceği, % 64.64 olasılıkla hesaplanmıştır. 6.5 büyüklüğü için yinelenme periyodu 19 yıl olup, gerçekleşme olasılığı % 64.18 olarak hesaplanmaktadır. Bayraklı



ve çevresinde 7.0 büyüklüğündeki bir depremin yenilenme periyodu 51 yıl olup gerçekleşme olasılığı % 63.32'dir. Diğer büyüklükler için dönüş periyodları Grafik 4.'deki eğriden edinilebilir. Bu analizler sonucuna göre her yapı ömründe 6.5 ve daha küçük bir deprem görme olasılığına sahiptir.

Çizelge 5. Bayraklı depremselliğinin tekrarlanma periyodları

Magnitüd	Ortalama Tekrarlama Periyodu	Gerçekleşme olasılığı (%)
4.5	0	85.54
5	1	67.41
5.5	2	55.78
6	7	64.64
6.5	19	64.18
7	51	63.32
7.5	140	63.28



Grafik 4. Deprem büyüklüklerine karşılık gelen dönüş periyodlarının değişimi



Bayraklı ve çevresindeki tarihsel deprem kayıtlarında 6 büyük 6 küçük depremin olduğu gözlenmektedir. Bu depremlerin enlem, boylam, derinlik (km), episantral uzaklık (km), büyüklük özellikleri ve bu depremlerin 75 yıl için aşılma olasılıkları Çizelge 6'da verilmiştir.

Çizelge 6. Bayraklı depremselliğini etkileyen yıkıcı depremler

Magnitüd	Enlem	Boylam	Derinlik (km)	Uzaklık	75 yıl için aşılma olasılığı (%)
7.0	39.26	26.71	10	98.97	77.12
6.8	37.65	27.26	40	90.50	89.03
6.6	39.07	26.94	10	71.10	96.35
6.5	38.57	26.29	10	61.15	98.26
6.3	38.84	26.32	14.4	87.40	99.77
6.0	38.16	26.99	17	37.86	99.99
5.3	38.41	27.19	24	6.6	100

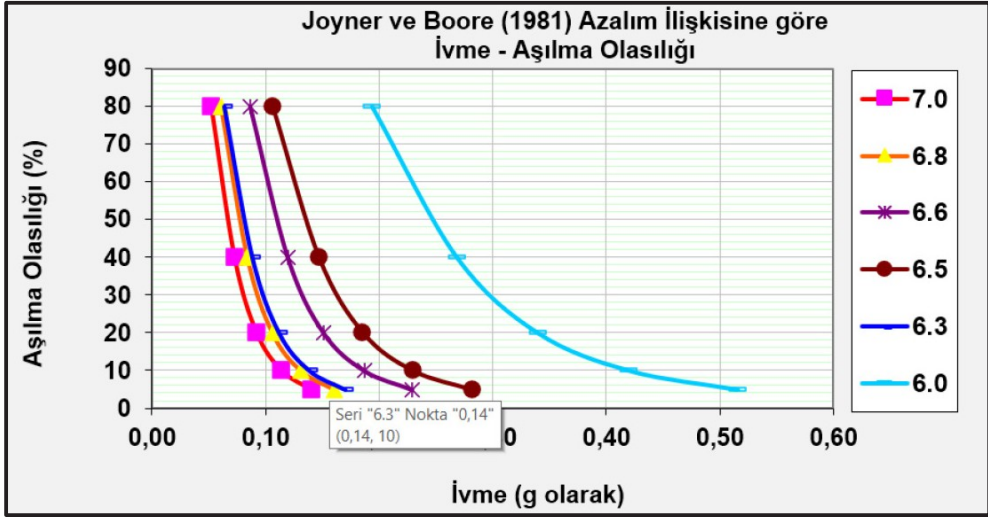
Bu depremlerin Bayraklı merkez alınarak Joyner ve Boore (1981), Campbell (1997)'e göre azalım ilişkisi ve ivme değerleri aşağıda çizelge olarak verilmiştir.

Çizelge 7. Yıkıcı depremlere karşılık gelen ivme değerleri

Magnitüd	Derinlik (km)	Uzaklık (km)	Joyner ve Boore (1981) İvme, (g)	Campbell (1997) İvme, (g)
7.0	10	98.97	0.05	0.11
6.8	40	90.50	0.06	0.09
6.6	10	71.10	0.07	0.10
6.5	10	61.15	0.08	0.11
6.3	14.4	87.40	0.04	0.07
6.0	17	37.86	0.12	0.10
5.3	24	6.6	0.38	0.09



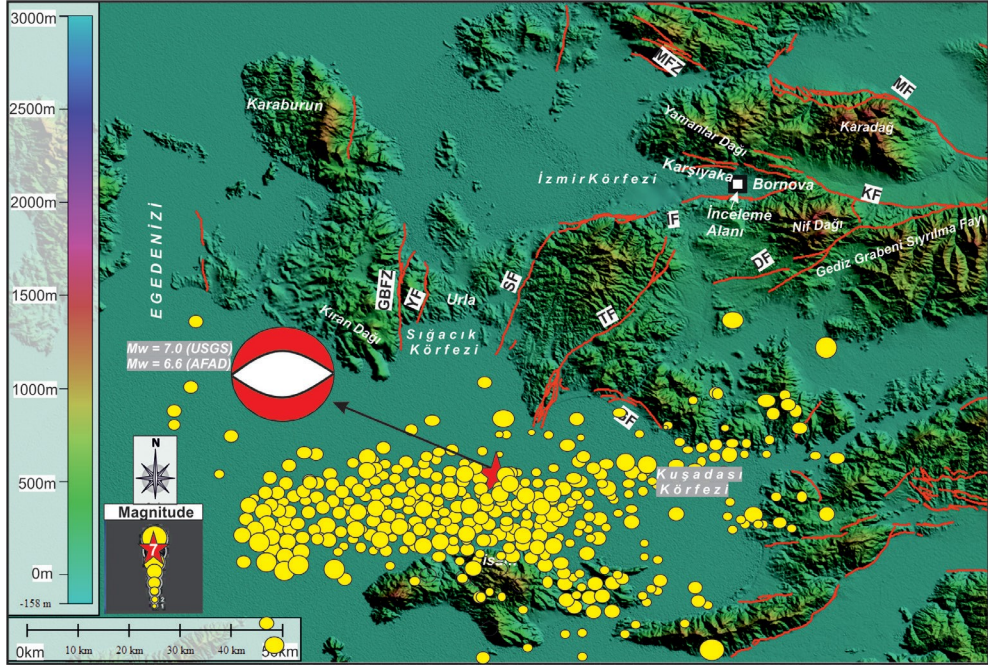
Tarihsel dönemde meydana gelmiş depremlerin yarattığı en büyük ivme Campbell (1997) modeline göre 0.11 g., Joyner ve Boore (1981) modeline göre 0.38 g.'dir. Bu yıkıcı depremlerin Joyner ve Boore (1981) azalım ilişkisine göre, İvme (g)-Aşılma olasılıkları ilişkisi Grafik 5'de verilmiştir.



Grafik 5. Joyner ve Boore (1981) azalım ilişkisine göre İvme-Aşılma olasılığı

Buna göre bölgede 15 km uzunluğundaki bir fayda meydana gelebilecek olası deprem büyüklüğü doğrultu atımlı fay için (Tuzla segmenti) Wells Coppersmith (1994)'e göre 6.5, normal fay için ise (İzmir Fayı segmenti) 6.4'dür. Bölgede ikinci varsayıma göre 30 km uzunluğundaki fayda meydana gelebilecek olası deprem büyüklüğü doğrultu atımlı (Seferhisar Fayı) ve normal fay (İzmir fayı) için Wells Coppersmith (1994)'e göre 6.8'dir. İzmir ve çevresinde yer alan diri fayların konumu Şekil 5'te verilmiştir.

Bayraklı için 1900-2020 yılları arasında Bayraklı-Manav kuyu olmak üzere 100 km yarıçapındaki alanda 120 yıllık zaman aralığında meydana gelen magnitudü $4.5 \leq M < 5$ arasında 106, $5 \leq M < 5.5$ arasında 43, $5.5 \leq M < 6$ arasında 23, $6 \leq M < 6.5$ arasında 6, $6.5 \leq M < 7$ arasında 4, $7 \leq M < 7.5$ arasında 1 adet deprem görülmektedir. Her yapı kendi ömründe çok sayıda 5.0-6.0 büyüklüğünde deprem görmektedir. Bir bina yapı ömründe en az iki adet 6.00-7.00 arasında deprem görebilir. Bu durum İzmir'in her yönden çok sayıda diri fayla çevrili olduğunun en önemli göstergesidir. Sürekli olarak meydana gelen depremlerle binaların dinamik performansları zayıflamaktadır.



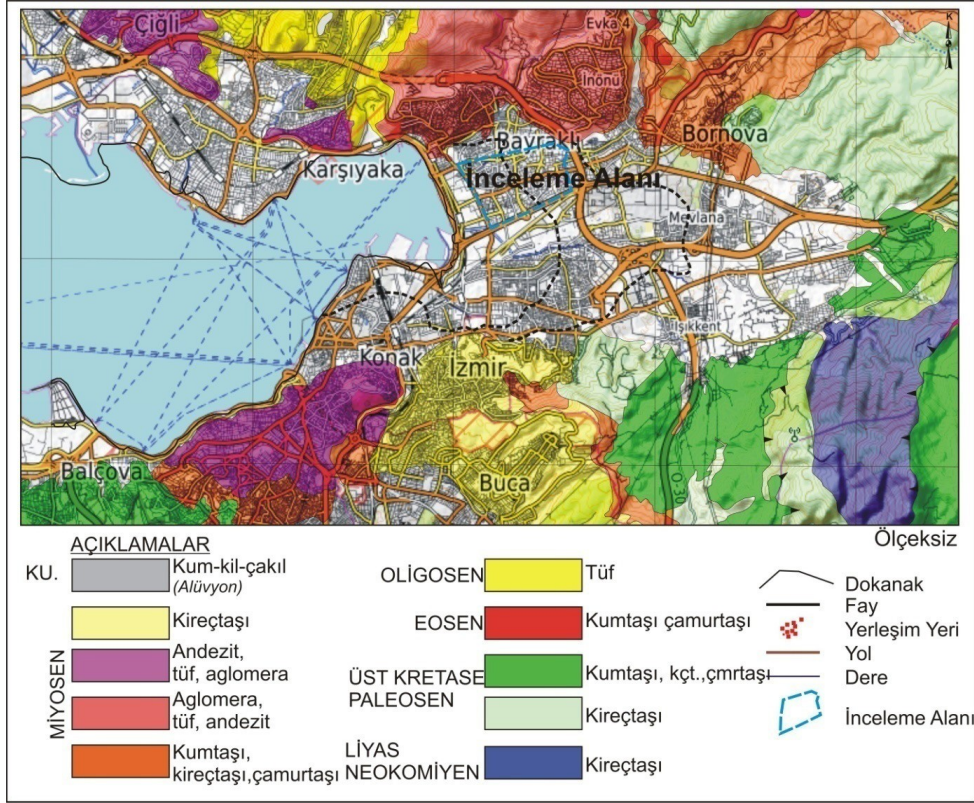
Şekil 5. İzmir ve yakın çevresine ait diri fay haritası (MTA'dan değiştirilerek). Sisam Adasında 30/10/2020 tarihinde meydana gelen $M=7.0$ (USGS) büyüklüğündeki depremin ardından 02/11/2020 tarihine kadar meydana gelen $M_w \geq 4.0$ büyüklüğündeki depremler (AFAD) (GBFZ: Gülbahçe Fay Zonu; YF: Yağcılar Fayı; SF:Seferihisar Fayı; İF:İzmir Fayı; TF:Tuzla Fayı; GF: Gümüldür Fayı; DF: Dağkızılca Fayı, KF:Kemalpaşa Fayı; MF: Manisa Fayı; MFZ: Menemen Fay Zonu)

BÖLGENİN GENEL JEOLJİSİ

Bölgenin temelini İzmir-Ankara kenet kuşağı (Okay ve Siyako, 1991) birimleri oluşturur. Bornova flişzonu (Okay ve Siyako, 1991) veya Bornovakarmaşığı (Erdoğan, 1990) olarak adlandırılmış olan bu birimler Üst Kretase–Paleosen yaşlı kaya topluluklarından oluşur. Flişfasiyesindeki kırıntılı kayalar ile bunlar içerisinde irili ufaklı bloklar oluşturan serpantin, çört, diyabaz ve kireçtaşları Bornova karmaşığını oluşturan litolojilerdir (Erdoğan, 1990). Doğuda Nif ve Spil dağı yükselimlerinde flişli kayalar içerisindeki serpanit ve kireçtaşı blokları dağ boyutuna ulaşan küresel yükselimler oluşturur. İnceleme alanının kuzey ve güneyinde Üst Kretase–Paleosen yaşlı Bornova karmaşığı üzerine uyumsuz bir



dokanak boyunca oturan Yamanlar Volkanitleri, kırıntılılar ve lav akmaları ile küçük ölçekli yarı volkanik sokulum ve dayklardan yapılıdır. Kaya (1979), andezit-dasit-riyodasit-latit bileşim alanı içindeki lav akmaları, aglomera, tuf, dayk girmelerinden yapılı karmaşığı Yamanlar Volkaniti olarak adlandırmıştır. Aynı araştırmacı volkanitlerin miyosen yaşlı olduğunu belirtir. Yamanlar Volkanitini oluşturan beş üyeden biri olan en alttaki dasitik tuf üyesi sarımsı-beyaz renkte olup alt düzeyleri belirgin katmanlanma sunar ve kısmen yuvarlaklaşmış kayaç kırıntıları içerir. Dasit lavı üyesi yeşilimsi-gri renkli, porfirik dokuludur ve belirgin akma yapıları sunar. Birim dasitik tuf üyesini aşmalı olarak örterek Bornova karmaşığı üzerine aşıl uyumsuz olarak oturur. Andezitik tuf-aglomera üyesi sarımsı-kahverengi renklidir. Andezit bileşimli, az yuvarlaklaşmış çakıl ve blokların tuf ara madde ile tutturulmasından oluşmuştur. Alt düzeylerinde tuf mercekleri ile üst düzeyinde volkanoklastik çakıltaşı katmanları içeren andezitik tuf-aglomera üyesinin tabanında akma yapıları sunan, porfiritik dokulu, andezit bileşimli bir lav düzeyi bulunur. Bu üye üzerine uyumlu olarak gelen andezit lavı üyesi siyahımsı-koyu gri renkli, porfirik dokulu lav akmalarından yapılıdır. Alt düzeylerinde belirgin akma yapıları sunan bu üye üst düzeylere doğru masif görünüm kazanır. Bornova karmaşığını uyumsuzlukla üstleyen ve volkaniklerle yer yer yanall geçişli olan Neojen çökel ve kırıntılı kayaçlar yer almaktadır. Neojen'e ait birimler, alttan üste doğru çakıltaşı, kumtaşı ve kireçtaşlarından oluşmaktadır. Birimin yaşı çeşitli araştırmacılar tarafından Orta-Üst Miyosen olarak verilmiştir. Körfezin doğusunda yer alan Bornova ovası kuvaterner yaşlı Alüvyon birimi üzerinde yer almaktadır. Dağ arası gelişmiş derelerin taşıdıkları malzemelerden oluşmaktadır. Özellikle kıyı kenarına yakın alanlarda yer yer denizin karaya girişiyle denizel ve bataklık çökellerde görülmektedir (Şekil 6).



Şekil 6. Bornova ovası ve çevresinin jeoloji haritası (MTA'dan değiştirilerek)

İnceleme Alanının Jeolojisi

Yıkılan veya hasar gören yapıların büyük bir çoğunluğu Bornova alçak ova tabanında yer almakta olup iç körfez kıyı şeridinden Yüksek ova tabanına doğru uzanan yaklaşık 3.4 km²'lik bir alanı kapsamaktadır. İnceleme alanında yer alan alüvyon birimi Holosen yaşlı alüvyon yelpazesi çökelleridir. Bornova'ya inen dağ dereleri taşıdıkları kaba yükü dağ eteklerindeki birikinti konilerinde bırakmakta, sonra ovaya yayılan sular ince sedimanlarını da bu alana yaymaktadır. Çok az ince yükü denize ulaşan dere suları, denizden gelen şekillendirici etkilerin çok zayıf olduğu sığ bir su ortamında yayılmaktadır. Bununla birlikte Bornova kıyıları, bütün Batı Anadolu kıyılarında izlenen Holosen'deki kıyı çizgisi gelişme ve değişmelerine benzer bir gelişme göstermiştir (İlhan Kayan 1999a).



Bornova'ya inen üç büyük dağ deresi yer almaktadır. Bunlar, kuzeyde Yamanlar Dağı'ndan gelen ve Bornova birikinti konisini oluşturan Kocaçay, güneyde Kurudağ batısından gelen ve Işıkkent birikinti konisini oluşturan Arap Çayı ve doğuda Kemalpaşa Dağı ile Kurudağ arasındaki alanın sularını getiren Mandacı Çayı'dır. Alanın güneydoğusunda ise Melez Çayı yer almaktadır. İnceleme alanında içerisinde yer aldığı Bornova ovası özellikle bu dört derenin getirdiği sediman birikimiyle şekillenmiştir.

İnceleme alanı kıyı şeridinde yakın yer alması nedeniyle çok çeşitli jeomorfolojik ortamlarda biriken sediman istiflerinden oluşmaktadır. Düşey ve yanal yönde sürekli değişen seviyeler bu rapor kapsamında sadeleştirilmiştir.

İNCELEME ALANIN ZEMİN ÖZELLİKLERİ

Bornova ovası morfolojik yüksek ova tabanı, orta ova tabanı ve alçak ova tabanı olmak üzere üç kısımdan oluşmaktadır (İlhan Kayan 1999a). Yüksek ova tabanında bloklu alüvyon ve yamaç önlerinde birikmiş birikinti konilerinden oluşmaktadır. Bu alanlarda yapılarda hasar görülmemiştir.

Orta ova tabanında yer altı su seviyesi 4-5 m.'dir. Genel olarak en üst seviyede kalınlığı 7-10 m. arasında değişen derinliklerde ince taneli orta ve düşük plastisiteli yumuşak ve orta kıvamlı siltli kil (CI-CL) ve yüksek plastisiteli killi silt (MH) ve bu seviyeler arasında gevşek sıkılıkta killi kum ve siltli kum (SC-SM) mercer ve bantları yer almaktadır. Bu seviyeler genel olarak grimsi mavi renklidir. Bu seviyelerde SPT-N30 değerleri 3-8 arasında Vs değerleri ise 110-350 m/sn arasında değişmektedir.

10 m.-20 m. arasında ise genel olarak katı ve çok katı kıvamlı, düşük-orta plastisitelisiltli KİL (CI-CL) seviyeleri kumlu çakıl ve killi çakıl (GP-GW-GC) seviyeleriyle ardalanmalı olarak yer almaktadır. Bu seviyelerin SPT-N30 değerleri 20-55 arasında Vs hız değerleri ise 350-500 m/sn arasında değişmektedir. Bu tabakaların genel olarak renkleri grimsi siyah ve sarımsı kahverengidir. Bu tabakanın altında ise çok katı-sert kıvamda yüksek plastisitelisiltli KİL (CH) ve çok sıkı killi Çakıl (GC) seviyeleri yer almaktadır.

Alçak ova tabanı kıyı şeridi boyunca bir zonü temsil etmektedir. Bu alanda yer altı su seviyesi 1.00-4.00 m. arasında değişmektedir. En üst seviyede 0.00-5.00 m. arasında değişen kalınlıkta gevşek sıkılıkta siltli KUM (SM), siltli kumlu Çakıl (GM-GW-GP) seviyesi yer almaktadır. Bu seviyenin altında 12-0.00-20.00



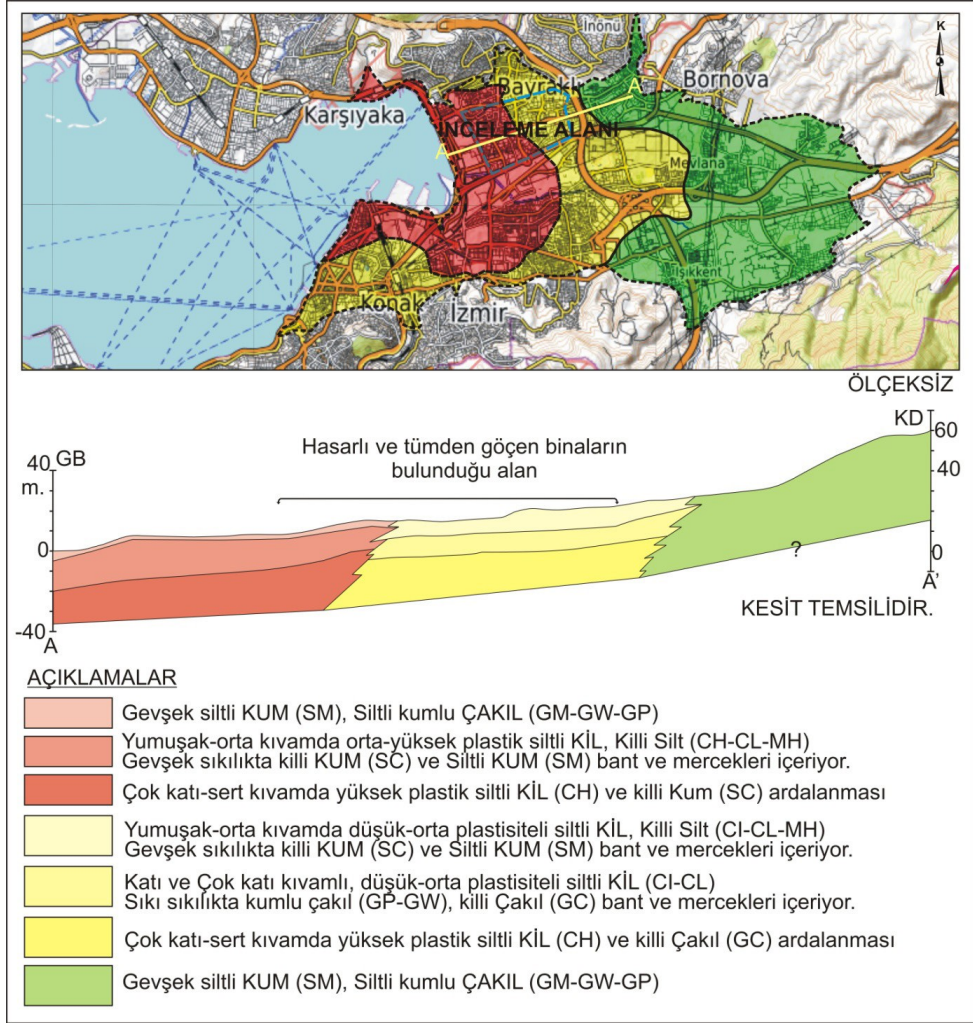
m. derinliklere kadar devam eden yumuşak-orta kıvamda, düşük ve yüksek plastisi- telisitli KİL (CL), killi SİLT (MH) seviyeleri ve bu seviyeler arasında yer alan killi kum (SC) ve siltli KUM (SM) seviyeleri görülmektedir. Bu seviyelerin SPT-N30 değerleri 2-8 arasında Vs hız değerleri ise 96-200 m/sn arasında değişmektedir. Bu tabakaların genel olarak renkleri grimsi siyah ve sarımsı kahverengidir.

Esasen orta ova tabanının üst seviyesinde yer alan kalınlığı 7-10 m. arasında değişen yumuşak-orta kıvamlı kohezyonlu zeminler kıyaya doğru kalınlığı artmış ve 14-20 m. derinliklere mertebelerine ulaşmıştır. İnceleme alanındaki zayıf zemin özelliklerini taşıyan seviyedir. Bu seviyenin altında ise çok katı-sert kıvamda orta-yüksek plastik siltli KİL (CH) ve Siltli KUM (SC) ardalanması yer almaktadır. SPTN30 değerleri 20-50 arasında değişmektedir. Bu seviyenin kalınlığı 70 m'yi bulmaktadır.

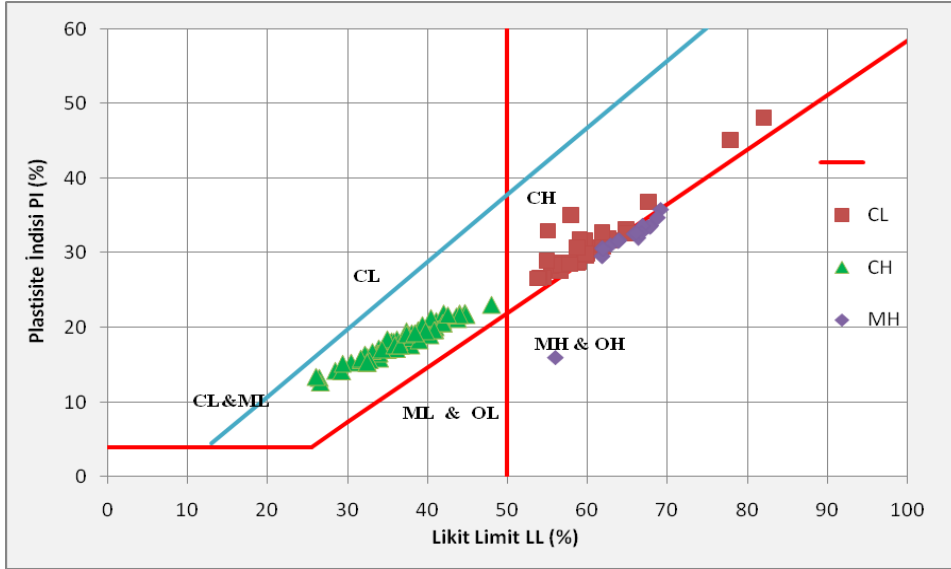
Bu raporda özellikle Aykut Tuncel'e ait Sismik kırılma yöntemi ve mikrotremör ölçümlerinden elde edilen dinamik zemin parametrelerinin karşılaştırılması konulu yüksek lisans tezi verilerinden, Özgür Yılmaz, Tuncay Tımarcı, Erhan İçöz taraflarınca yazılan Yeni kent merkezi imar planına esas jeolojik jeoteknik etüt raporu verilerinden ve alan içerisinde yapılan zemin etüd raporlarından yararlanılmıştır.

Bu raporda geçmişte yapılan imar planına esas jeolojik jeoteknik araştırma ve zemin etütleri verileri kullanılarak zemin parametrelerinin tespiti yapılmıştır. Bölgede geçmişte yapılan sondajlardan alınan örselenmiş ve örselenmemiş numuneler üzerinde yapılan Atterberg Limitleri sonuçlarına göre Alüvyon biriminin ince taneli zeminleri genelde CL, CH ve MH zemin sınıfındadır (Grafik 6). CL= Düşük plastisiteli inorganik killer ve siltli killer, CH= Yüksek plastisiteli inorganik killer ve siltli killer, MH= Yüksek plastisiteli inorganik siltler ve killi siltlerdir.

CL= Düşük plastisiteli inorganik killer ve siltli killerdir. Alüvyona ait, CL grubu zeminlerin Likit Limitleri %26-48 aralığında genel yoğunlaşma ise %32-42 arasındadır. Plastisite İndisi ise %13-23 arasında olup genel yoğunlaşma %15-22 arasındadır. CH grubu zeminlerin Likit Limitleri %54-82 aralığında genel yoğunlaşma ise %55-63 arasındadır. Plastisite İndisi ise %27-48 arasında olup genel yoğunlaşma %28-32 arasındadır. MH grubu zeminlerin Likit Limitleri %62-69 aralığında genel yoğunlaşma ise %62-68 arasındadır. Plastisite İndisi ise %30-36 arasında olup genel yoğunlaşma %31-35 arasındadır.



Şekil 7. Bornova Ovası'nın jeolojisi ve temsili kesiti (Kayan İ., 2000'den değiştirilerek)



Grafik 6. İnceleme alanındaki alüvyona ait ince daneli zeminlerin Likit Limit(LL)-Plastisite İndisi (PI) ilişkisi

MH zemin grubu zeminler Casagrande abağında A hattına oldukça yakındırlar. CL ve CH grubu zeminler sınır çizgisi olan %50 likit limit değerine her iki yönde de yakın yoğunlaşmış ve bu yoğunlaşma A hattına paraleldir (Grafik 6). Grafikte görüldüğü gibi A hattına paralel yoğunlaşma Likit Limit (LL) ile Plastisite İndisi (PI) arasında yaklaşık yarı yarıya fark olduğunu göstermektedir. Atterberg Limitlerinden yararlanılarak alandaki ince taneli zeminlerin, Likitlik İndeksi (LI), Kıvamlılık İndeksi (I_c) değerleri amprik olarak bulunmuştur. Bu görgül ilişkiler tek başlarına büyük bir anlam taşımamakla birlikte, ince tanelerin sınıflandırılmasında kullanılırlar ve mühendislik özelliklerine ışık tutarlar. Bu indeksler için önerilen formüller kullanılmış ve Atterberg Limitleri deney sonuçlarında yararlanılmıştır.

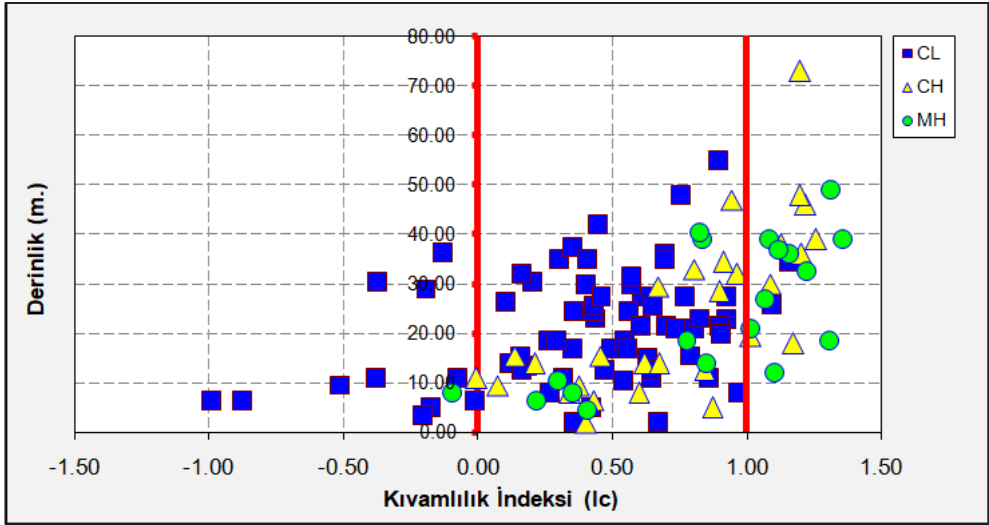
$$\text{Likitlik İndeksi (LI)} = \frac{w_n - PL}{IP}, \quad (2)$$

$$\text{Kıvamlılık İndeksi (I}_c\text{)} = \frac{LL - w_n}{IP} \quad (3)$$

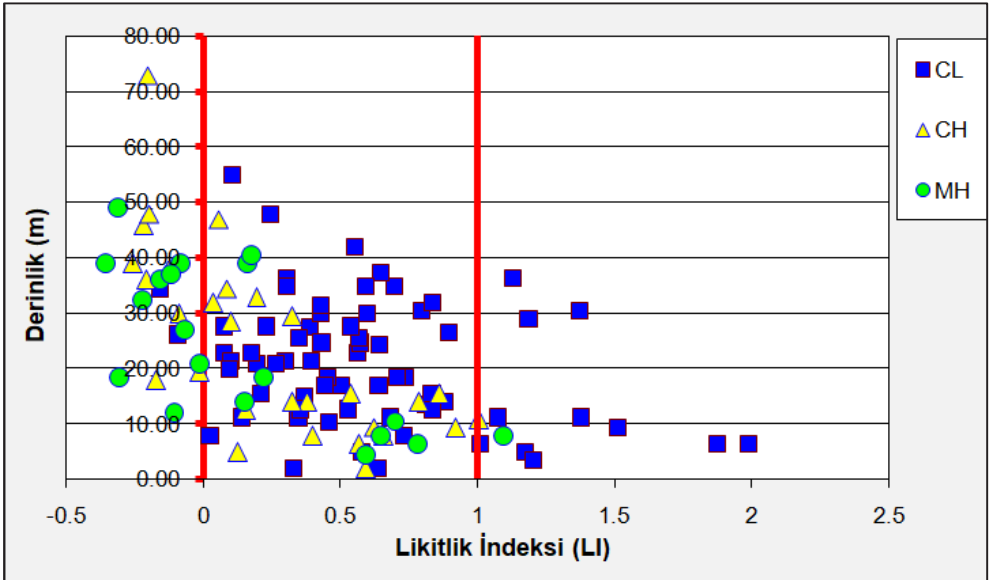
CL grubu 67, CH grubu 28 ve MH grubu 19 numune üzerinde yapılan At-



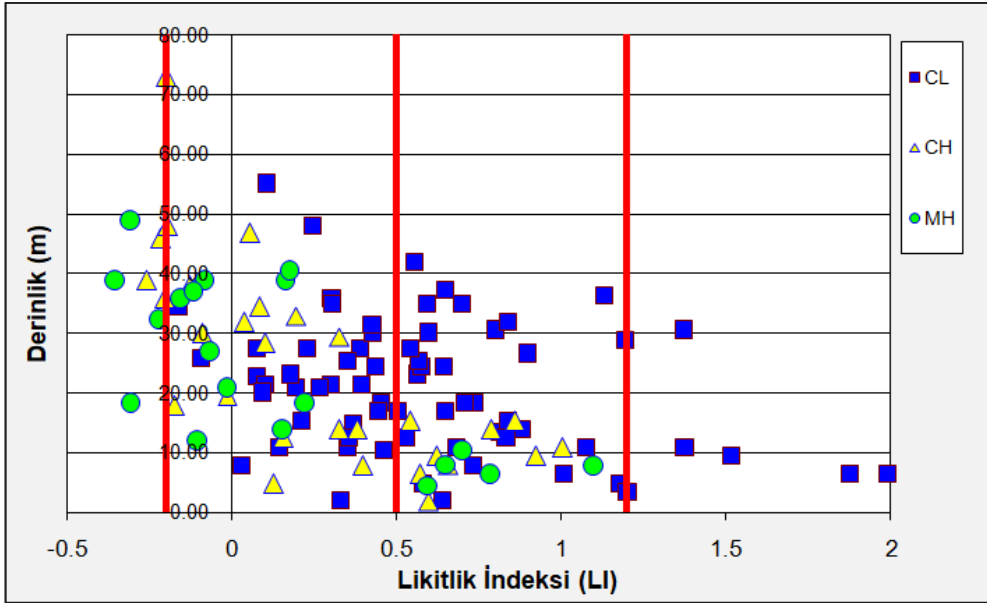
terberg Limitleri deney sonuçlarına göre yukarıdaki formüller kullanılarak elde edilen Likitlik İndeksi (LI), Kıvamlılık İndeksi (I_c) değerleri grafik olarak verilmiştir. LI'nın değeri 1'den büyük ise zeminin likit kıvamda, 0 ile 1 arasında ise plastik kıvamda, 0 'dan küçükse katı veya yarı katı kıvamda olduğu anlaşılır. I'nın değeri 1'den büyükse zemin yarı katı veya katı, 0 ile 1 arasında plastik (1'e yaklaşıncaya daha sert olarak) ve sıfırdan küçük ise likit durumdadır. İnceleme alanındaki Alüvyona ait CL grubu zeminlerde; Kıvamlılık İndeksi (I_c)= değerleri (-0.99)-1.16, ağırlıklı olarak ise 0.10-0.97 arasında (Grafik 7), Likitlik İndeksi (LI) değerleri (-0.15)-1.98, ağırlıklı olarak ise 0.00-1.00 arasındadır (Grafik 8). CH grubu zeminlerde; Kıvamlılık İndeksi (I_c)= değerleri 0.00-1.26, ağırlıklı olarak ise 0.38-0.1.22 arasında, Likitlik İndeksi (LI) değerleri (-0.25)-1.00, ağırlıklı olarak ise (-0.20)-0.62 arasındadır. MH grubu zeminlerde; Kıvamlılık İndeksi (I_c)= değerleri (-0.10)-1.36, ağırlıklı olarak ise 0.78-0.1.22 arasında, Likitlik İndeksi (LI) değerleri (-0.35)-1.09, ağırlıklı olarak ise (-0.22)-0.70 arasındadır. Kıvamlılık ve Likitlik İndeksine göre; CH grubu zeminler 0.00-15.00 m. arasında plastik kıvamda, >15.00 m. de plastik (serte yakın), katı kıvamdadır. MH grubu zeminler, 0.00-18.00 m. arasında plastik kıvamda, >18.00 m.'de katı kıvamdadır. CL grubu zeminler 0.00-11.00 m. arasında likit-plastik kıvamda, >11.00 m.'de plastik-katı kıvamdadırlar. İnceleme alanında yer alan ince taneli zeminlerin likitlik indeksi konsolide ilişkisine göre; MH grubu zeminler 0.00-10.00 m. arasında normal konsolide, >10 m. derinlikte genel olarak aşırı konsolide yer yer yüksek düzeyde aşırı konsolidedirler. CH grubu zeminler 0.00-15.00 m. arasında aşırı-normal konsolide, 15.00-35.00 m. arasında aşırı konsolide, >35.00 m. ise yüksek düzeyde aşırı konsolidedirler. CL grubu zeminler ise 0.00-11.00 m. arasında aşırı-normal-hasaskonsolide, >11.00 m. aşırı-normal konsolidedirler (Grafik 9).



Grafik 7. Alüvyona ait CL-CH-MH grubu zeminlerin Kıvamılık İndeksi (Ic) değerleri



Grafik 8. Alüvyona ait CL-CH-MH grubu zeminlerin Likitlik İndeksi (LI) değerleri

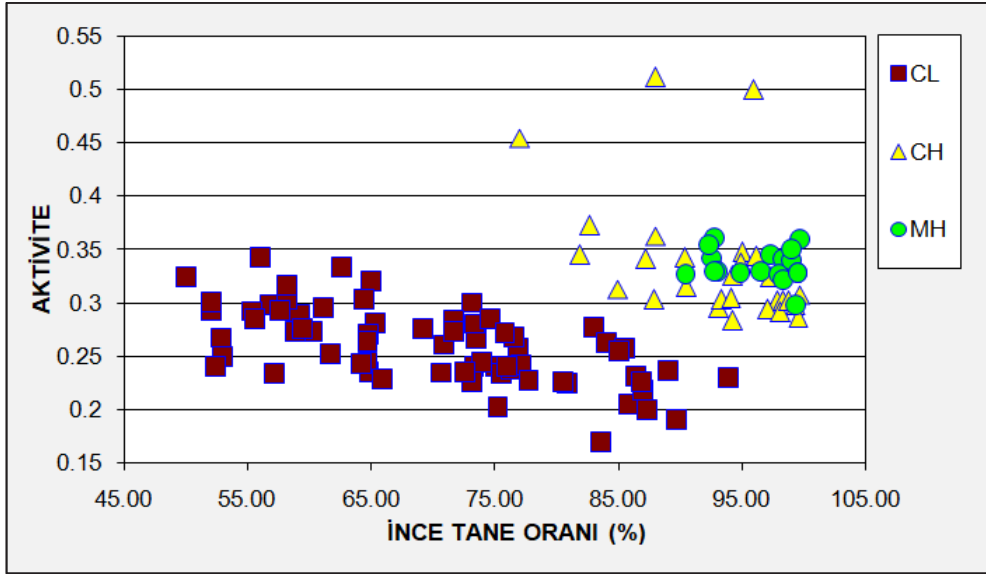


Grafik 9. Alüvyona ait CL-CH-MH grubu ince taneli zeminlerin Likitlik İndeksi konsolide ilişkisi

İnce Tane Oranı ve Aktivite

İnceleme alanındaki ince taneli zeminlerin ince tane yüzdeleri, CL grubu zeminlerde genel olarak % 50-% 94 arasında, CH grubu zeminlerde % 77-% 99.50 arasında, MH grubu zeminlerde % 90-100 arasındadır (Grafik 10).

İnce taneli zeminlerde aktivite $A = PI / \% < 2\mu$ bağıntısıyla ifade edilmektedir. Elde edilen sonuç < 0.75 ise aktif olmayan killer (kaolinit), $0.75-1.25$ arasında ise Normal killer (illit), > 1.25 ise Aktif killer (montmorillonit) tanımlaması yapılmaktadır. İnceleme alanında yer alan CL grubu zeminlerin aktivite değerleri $0.16-0.34$ arasında, CH grubu zeminlerin aktivite değerleri $0.28-0.51$ arasında, MH grubu zeminlerin aktivite değerleri $0.16-0.56$ arasında olup genel yoğunlaşma $0.29-0.35$ arasındadır (Grafik 10). Buna göre inceleme alanında ki killer aktif olmayan killerdir.



Grafik 10. İnceleme alanında ki CL-CH-MH grubu zeminlerin İnce Tane Oranı ve Aktivite değerleri

Zeminlerin Katılık Derecesi

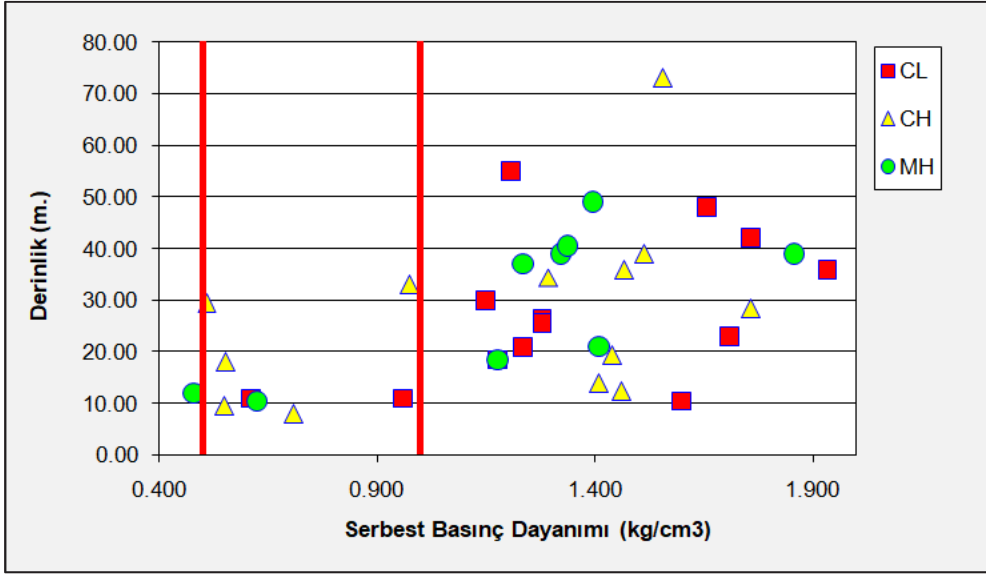
İnce daneli zeminlerin katılık derecesinin ölçülmesi için genellikle serbest basınç mukavemeti kullanılmaktadır.

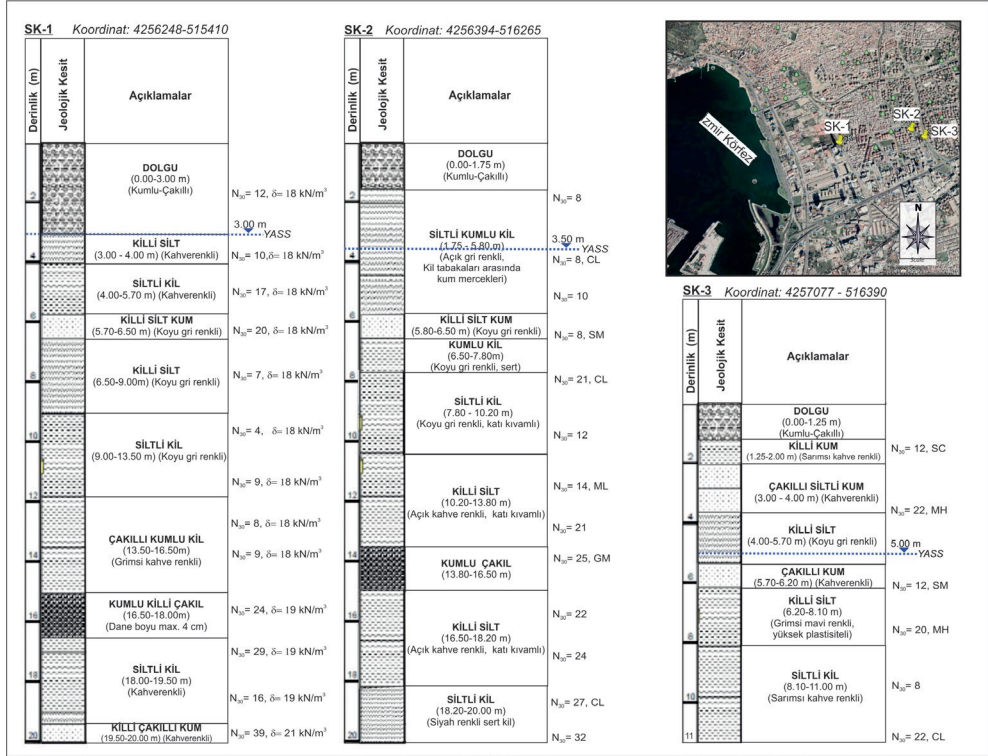
Alüvyona ait ince taneli CL grubu zeminlerde serbest basınç değerleri 0.611-1.93 kg/ cm² arasında değişmektedir. Doğal birim hacim ağırlıkları, deney sonuçlarına göre 1.719-1.428 gr/cm³ arasındadır. **Üç eksenli basınç deneylerinden elde edilen kohezyon (c)** değerleri 0.34-0.67 kg/cm² ve içsel sürtünme açısı değerleri ise 6.1⁰ -14.98⁰ arasındadır.

Alüvyona ait ince taneli CH grubu zeminlerde serbest basınç değerleri 0.55-1.759 kg/ cm² arasında değişmektedir. Doğal birim hacim ağırlıkları, deney sonuçlarına göre 1.660-1.840 gr/cm³ arasındadır. **Üç eksenli basınç deneylerinden elde edilen kohezyon (c)** değerleri 0.38-0.77 kg/cm² ve içsel sürtünme açısı değerleri ise 4.1⁰ -10.18⁰ arasındadır.

Alüvyona ait ince taneli MH grubu zeminlerde serbest basınç değerleri 0.48-1.858 kg/ cm² arasında değişmektedir. Doğal birim hacim ağırlıkları, deney so-

nuçlarına göre 1.639-1.801 gr/cm³ arasındadır. **Üç eksenli basınç deneylerinden elde edilen** kohezyon (c) değerleri 0.38-0.53 kg/cm² ve içsel sürtünme açısı değerleri ise 5.27° -9.30° arasındadır.

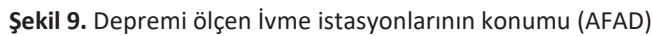




Şekil 8. 30/10/2020 tarihinde saat:14:51 de meydana gelen Mw= 6.9 büyüklüğündeki Sisam Depreminin yıkıma ve ağır hasar verdiği bölgedeki sondaj verilerine dayalı İdealize Zemin Profilleri (Sondaj ve deney verileri Kıncal, C. (2005), Adalı Y. (2019), Bayraklı –Bornova Böl-gelerinde yapılan İmara Esas Projelerinden derlenmiştir)

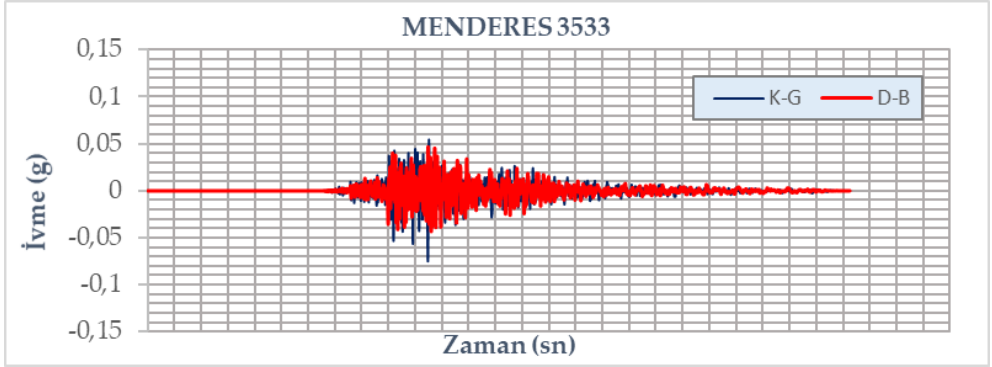
Depremin ölçülen ivme değerleri (AFAD)

Deprem odak noktasına yakın ivme ölçer istasyonlarıyla en büyük ivme değerleri ölçülmüştür (AFAD). İvme ölçer istasyonlarının konumu Şekil 9'da verilmiştir.

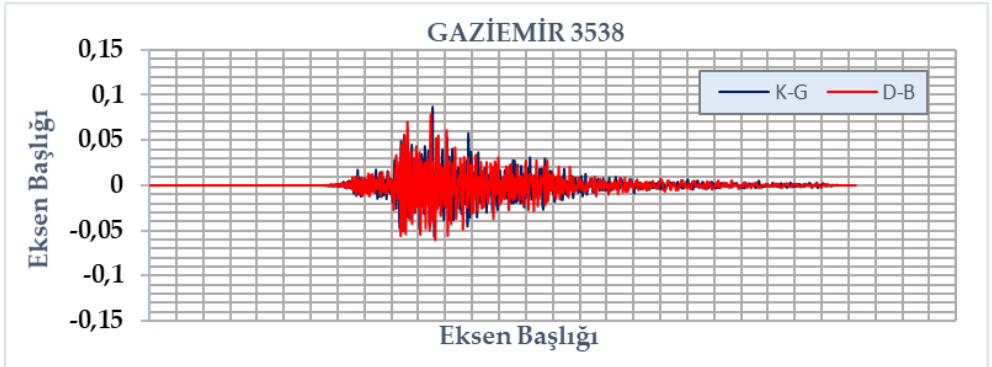


Kodu	İlçe	Enlem	m	K-G	D-B	Düşey	Uzaklık	Ao(g)
905	Kuşadası	378599	272650	179,3	144	79,84	42,95	0,18
3512	Buca	384009	271516	57,54	56,75	28,16	65,76	0,06
3538	Gaziemir	383187	271233	85,48	76,95	39,26	56,67	0,09
3533	Menderes	382572	271302	73,64	45,9	37,46	51,38	0,08
3522	Bornova	384357	271987	73,72	63,94	24,65	71,18	0,08
3519	Karşıyaka	384525	271112	150,1	110	34,17	69,22	0,15
3513	Bayraklı	384584	271671	106,3	94,66	44,18	70,01	0,11
3514	Bayraklı	384762	271581	39,42	56,02	25,15	73,39	0,06

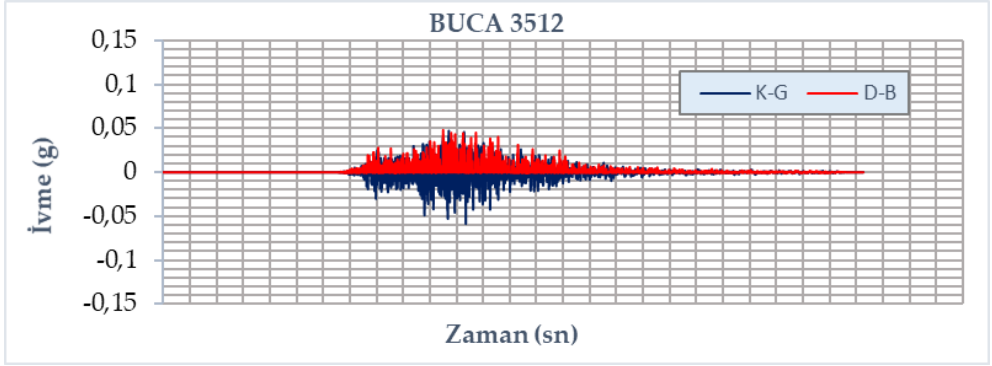
Menderes 3533 nolu ivme ölçer istasyonunda en yüksek ivme değeri K-G bileşeninde 73.64 gal (cm/sn^2) olarak ölçüldüğü görülmektedir. Etkin yer ivmesi katsayısı 0.07g'ye karşılık gelmektedir. Vs30 değeri 415 m/s'dir.



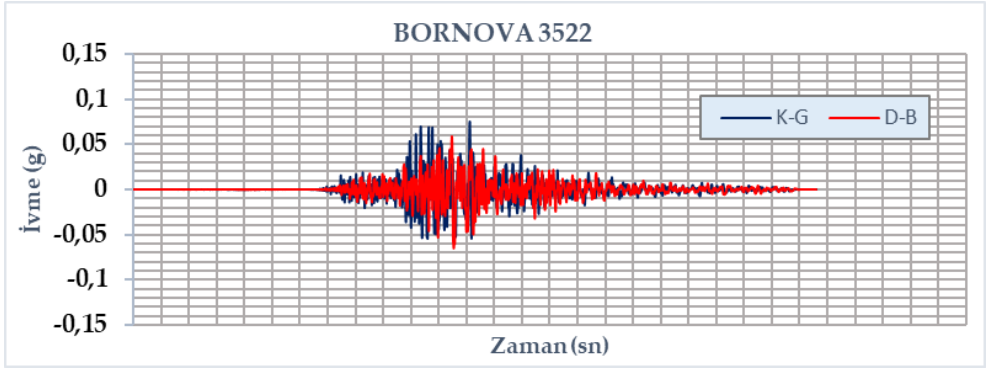
Gaziemir 3538 nolu ivme ölçer istasyonunda en yüksek ivme değeri K-G bileşeninde 85.48 gal (cm/sn^2) olarak ölçüldüğü görülmektedir. Etkin yer ivmesi katsayısı 0.08g'ye karşılık gelmektedir. Vs30 değeri 415 m/s'dir.



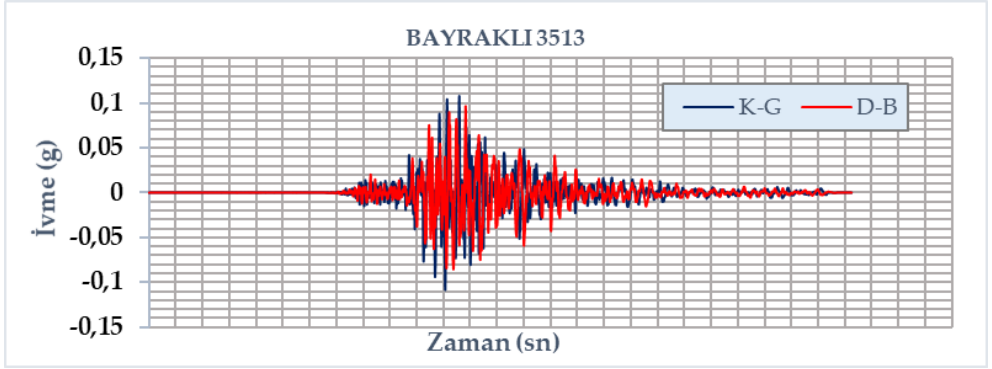
Buca 3512 nolu ivme ölçer istasyonunda en yüksek ivme değeri K-G bileşeninde 57.54 gal (cm/sn^2) olarak ölçüldüğü görülmektedir. Etkin yer ivmesi katsayısı 0.058g'ye karşılık gelmektedir. Vs30 değeri 468 m/s'dir.



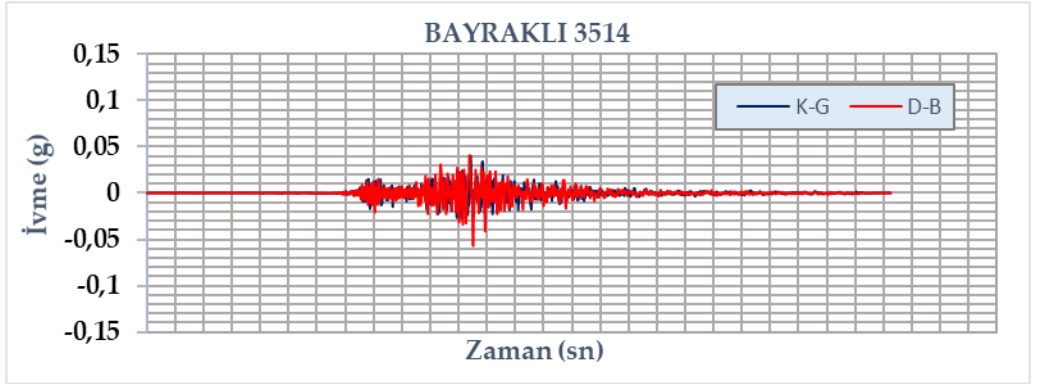
Bornova 3522 nolu ivme ölçer istasyonunda en yüksek ivme değeri K-G bileşeninde 73.72 gal (cm/sn^2) olarak ölçüldüğü görülmektedir. Etkin yer ivmesi katsayısı 0.075g'ye karşılık gelmektedir. Vs30 değeri 249 m/s'dir.



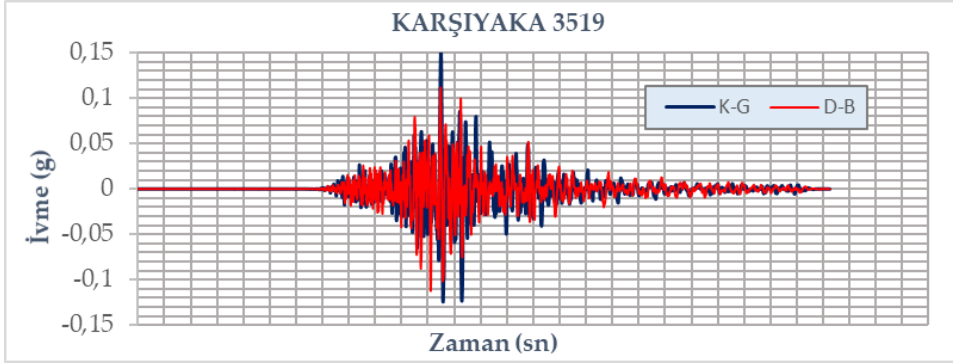
Bayraklı 3513 nolu ivme ölçer istasyonunda en yüksek ivme değeri K-G bileşeninde 106.28 gal (cm/sn^2) olarak ölçüldüğü görülmektedir. Etkin yer ivmesi katsayısı 0.075g'ye karşılık gelmektedir. Vs30 değeri 196 m/s'dir.



Bayraklı 3514 nolu ivme ölçer istasyonunda en yüksek ivme değeri D-B bileşeninde 56.02 gal (cm/sn^2) olarak ölçüldüğü görülmektedir. Etkin yer ivmesi katsayısı 0.057g'ye karşılık gelmektedir. Vs30 değeri 196 m/s'dir.



Karşıyaka3519 nolu ivme ölçer istasyonunda en yüksek ivme değeri K-G bileşenli 150.09 gal (cm/sn^2) olarak ölçüldüğü görülmektedir. Etkin yer ivmesi katsayısı 0.15g'ye karşılık gelmektedir. Vs30 değeri 131 m/s'dir.



Karşıyaka 3519 nolu ivme ölçer istasyonunda en yüksek ivme değeri 150.08 gal (cm/sn^2) olarak ölçüldüğü görülmektedir. Etkin yer ivmesi katsayısı 0.15 g'ye karşılık gelmektedir. Bayraklı 3513 nolu ivme ölçer istasyonunda en yüksek ivme değeri 150.08 gal (cm/sn^2) olarak ölçüldüğü görülmektedir.

Etkin yer ivmesi katsayısı 0.10g'ye karşılık gelmektedir. Bornova 3522 nolu ivme ölçer istasyonunda en yüksek ivme değeri 73.72 gal (cm/sn^2) olarak ölçüldüğü görülmektedir. Etkin yer ivmesi katsayısı 0.08 g'ye karşılık gelmektedir. Bu ivme ölçer istasyonları suya doymuş kalın alüvyal çökeller üzerinde yer almaktadır. Menderes, Gaziemir, Buca deprem odak noktasına daha yakın olmalarına karşın kalınlığı fazla olmayan çok sıkı pliyo-kuvaterner çökelleri üzerinde yer almaları nedenleriyle en yüksek ivme değeri 56,75-85,48 gal (cm/sn^2) olarak ölçüldüğü görülmektedir. Etkin yer ivmesi katsayısı 0,06-0,09'aralığına karşılık gelmektedir. Doğrudan kayalık zemin üzerinde yer alan Bayraklı 3514 nolu ivme ölçer istasyonunda en yüksek ivme değeri 56,02 gal (cm/sn^2) olarak ölçüldüğü görülmektedir. Etkin yer ivmesi katsayısı 0.06 g'ye karşılık gelmektedir. Sağlam zemin veya Kaya ortamlarda düşük ivme değeri açıkça görülmektedir. Bu tür alanlarda yıkımlar olmamış olup bu durumun yıkımla ilişkisi araştırılması gerekmektedir. Kuşadası'nda yer alan 0905 nolu ivme ölçer istasyonu verilerine göre ise en yüksek ivme değeri 179.31gal'dir. Bu değere karşılık gelen Etkin yer ivmesi katsayısı normal binalara göre 0.18 g'dir.

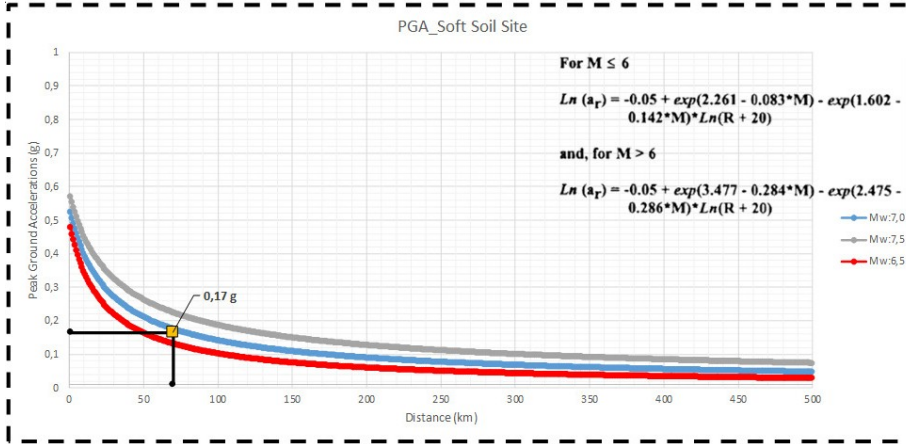
AFAD kayıtları baz alındığında odak noktasında M_w : 6,6 büyüklüğünde yaşanırken, Bayraklı'da yaklaşık olarak 1000 kat enerji kaybederek $M_w=4,5-5,5$ aralığına karşılık gelmektedir. Bu durumun dolaylı sonucu ise yine PGA değerlerinin uzaklığa bağlı dramatik şekilde azalımı olmuştur.



Earthquake Ground Motions at Soft Soil Sites / I. M. Idriss

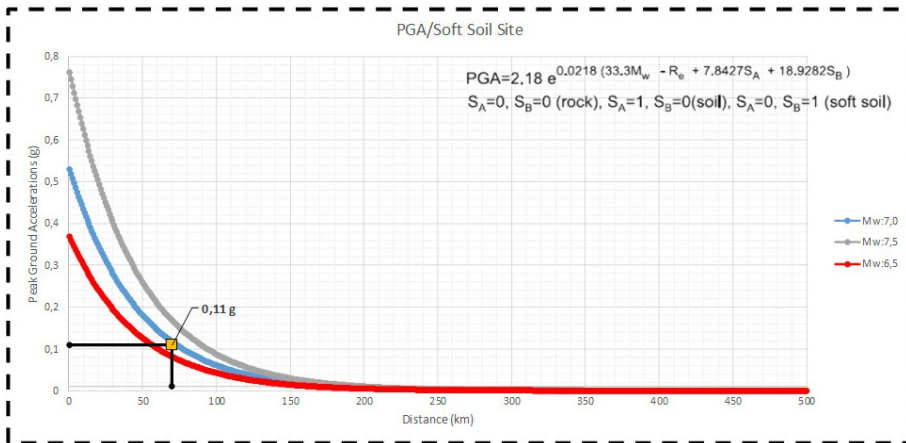
R	70	km
Mw	6,6	

Soft soil site ar 0,165 g

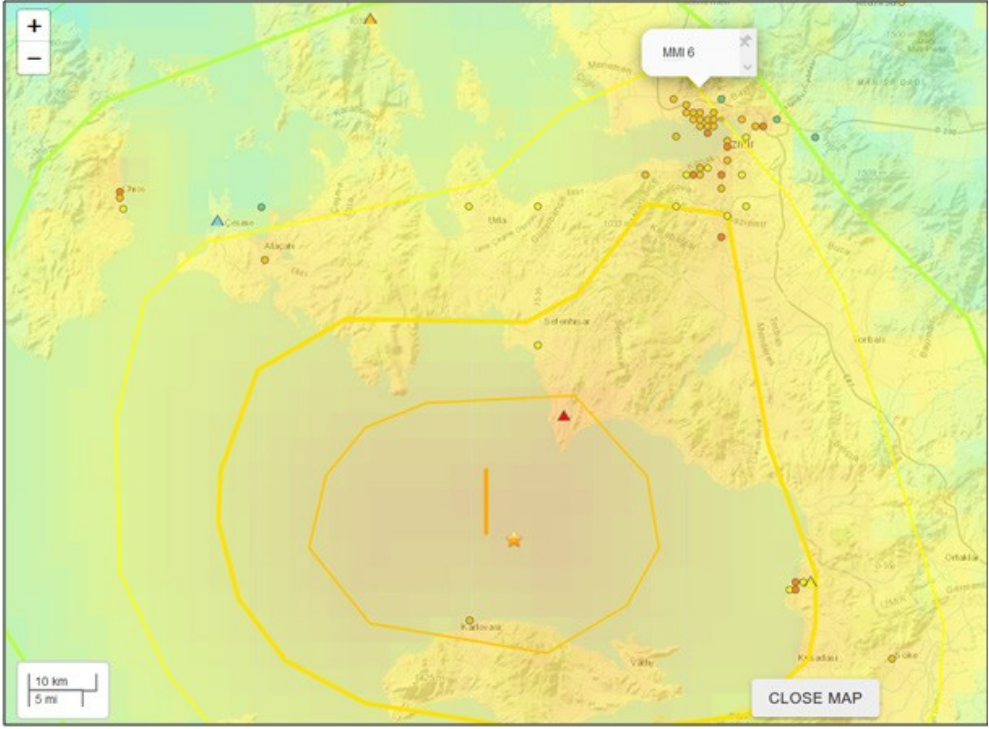


An Attenuation Relationship Based on Turkish Strong Motion Data and Iso-Acceleration Map of Turkey / R. Ulusay, E. Tuncay, H. Sönmez, C. Gökçeoğlu (2004)

R	70	km
Mw	6,6	
	amax, g	
Soft Soil	0,109	



Şekil 10. Yumuşak zemin alanlarında deprem yer hareketleri



Şekil 11. Samos depremi merkez üssü ve şiddet haritası kontur görünümü (USGS, 2020)

Depremin merkez üssüne en yakın nokta olan, Ege Denizi içerisindeki Samos Adasında ve merkez üssünden yaklaşık 30 km uzaktaki sağlam kaya temelli Seferihisar’da hasar sifıra yakinken (tsunami nedeniyle yaşanan akıntı sebebiyle meydana gelen 1 vefat ve maddi zarar hariç) yaklaşık 70 km uzaktaki İzmir/Bayraklı içerisinde onlarca vefat ve yıkım meydana gelmiştir.

Zemin Büyütmesi ve Hakim Titreşim Periyodu

Zemin hakim periyodu için Karşıyaka, Bornova Ovası ve Buca ilçesinin alüvyon üzerinde ki bölümleri incelenmiştir. Bornova ovası ve Karşıyaka için DEÜ, Jeofizik Mühendisliği Bölümü Aykut TUNÇEL tarafınca hazırlanan aynı sırayla Yüksek Lisans tezi ile Doktora tezi, Bornova ovası için ilave olarak Özgür YILMAZ, Tuncay TIMARCI ve Erhan İÇÖZ taraflarınca hazırlanan Yeni Kent Merkezi 1/1000 ölçekli İmar Planına Esas Jeolojik-Jeoteknik Etüt Raporu, Buca için ise Ulusal Deprem Mühendisliği Konferansı,

H. Bostaner ve C. SARI taraflarınca hazırlanan Buca (İzmir) İlçesinde Uygulanan Mikrotremör Ölçümleri ve Dinamik Davranış Özellikleri isimli makale verilerinden yararlanılmıştır.

Buca İlçesinde yapılan 37, Karşıyaka İlçesinde yapılan 89 ve Bornova ovasında yapılan 118 adet, olmak üzere toplam 244 mikrotremör ölçü verisi kullanılmıştır (Şekil 12). Mikrotremör ölçü verilerinde elde edilen Zemin Hakim Periyodu Haritası Şekil 13'de verilmiştir.

Buca ilçesinin doğu bölümlerinde Zemin Hakim Titreşim Periyodu, 0,1-0,4 sn, batısında Yeşildere vadi tabanı ve taşkın düzlüklerinde sınırlı bir alanda 0,8-1 sn arasındadır. Buca doğusunda Kuvaterner çökellerinin kalınlığı 2-10 m. arasında iken Yeşildere vadi tabanına doğru yaklaşık 30 m. kalınlığa ulaşmaktadır.



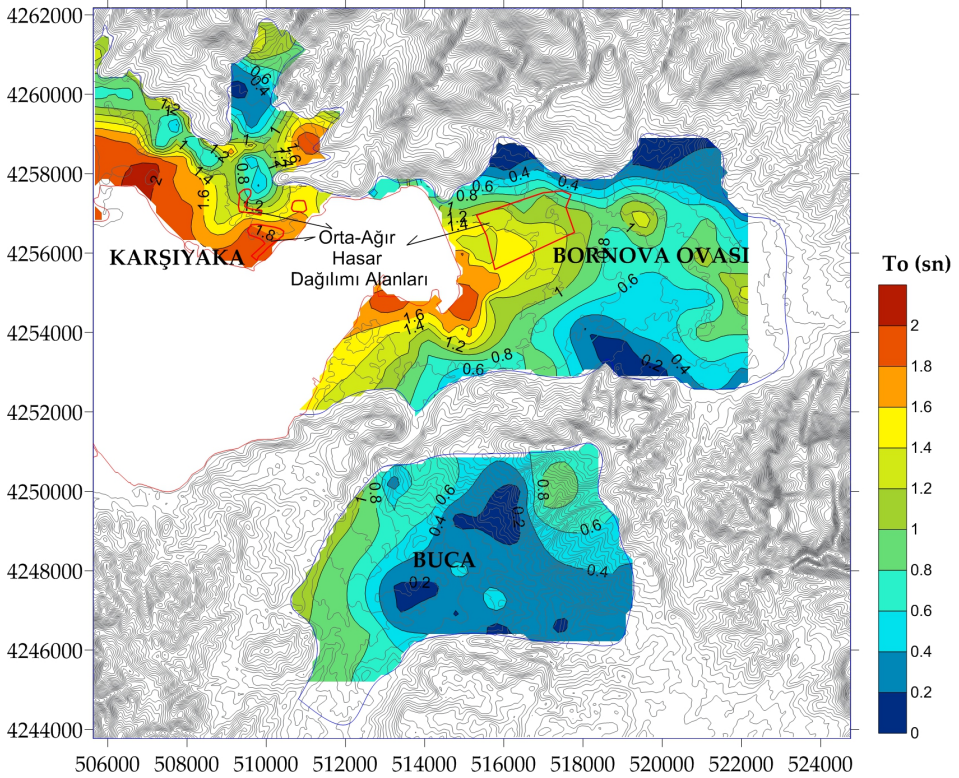
Şekil 12. Mikrotremör Lokasyon Haritası

Karşıyaka İlçesinde Zemin Hakim Periyodu, Kıyı şeridi boyunca doğuda 1,4-2 sn arasında, orta bölümlerde 0,8-1,4 sn kuzeye doğru Soğukkuyu-Postacılar-Örnekköy mahallelerinde ağırlıklı olarak 0,4-0,8 sn arasında değişmektedir. Bu değerler temel kayası üzerinde yer alan zeminin jeoteknik özellikleri ve kalınlığı ile uyumludur.



Karşıyaka da suya doygun alüvyon kalınlığı batıda yer alan Tersane Mahallesi ile Atakent ve Maltepe Mahalleri arasında 30-40 m. olup doğuya doğru ani derinleşerek Mavişehir Mahallesi kadar kalınlığı yaklaşık 300 m. civarına ulaşmaktadır. Konak bölgesinde zemin hakim periyodu 1,2-1.8 sn arasında değişmektedir.

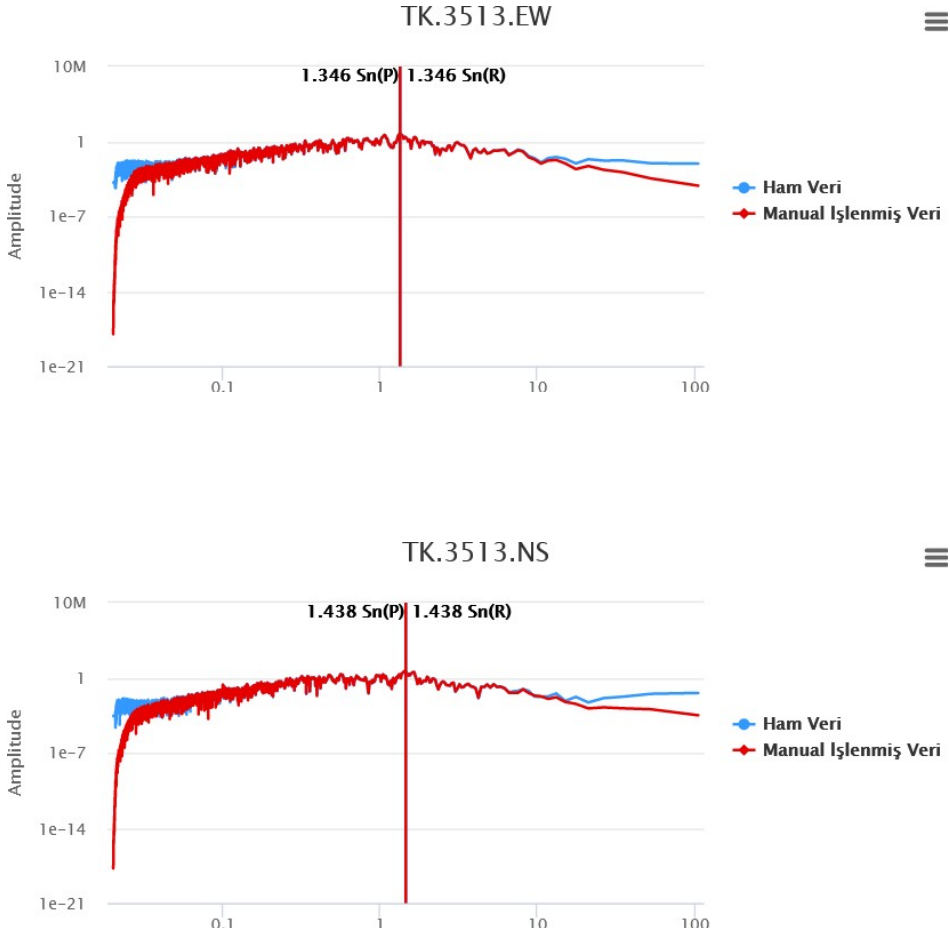
Bornova ovasında ağırlıklı olarak zemin hakim titreşim periyodu kıyı boyunca ve 1.4-1.8 doğuya doğru gidildikçe değerler 0,6-0,4 sn. arasında değişmektedir. Zemin hakim periyodu depremin en çok etkilediği alanlarda 0.8-1.50 s'dir. Bu değerler hasar meydana gelen yapıların periyodlarıyla uyumluluk göstermektedir. Bornova ovasında zeminde büyütme değerleri ise 2-4 arasındadır. Batıya doğru kıyı şeridinde yaklaşıldığında ise zemin büyütme oranları 4-10 değerleri arasında değişmektedir.



Şekil 13. Bölgenin Zemin Hakim Periyodu Haritası.

Örnek graben havzasında gözlenebileceği üzere zayıf toprak zemin ($V_{s30} \leq 300 \text{ m/s}$) kalınlığının artması ve özellikle 20 m kalınlığı geçmesi durumunda, zemin hakim periyotları dramatik bir şekilde değişebilmekte, zayıf toprak zemin periyodu artabilmekte (1 – 10 arası olabilmekte) ve buna bağlı olarak dalga boyu da genişeserek artabilmektedir.

Bu değerlendirmeden yola çıkarak, Bayraklı istasyonu AFAD kayıtlarından alınan veriler incelendiğinde yukarıda yapılan tanımlamaya paralel bir sonuç elde edilebilmiştir.

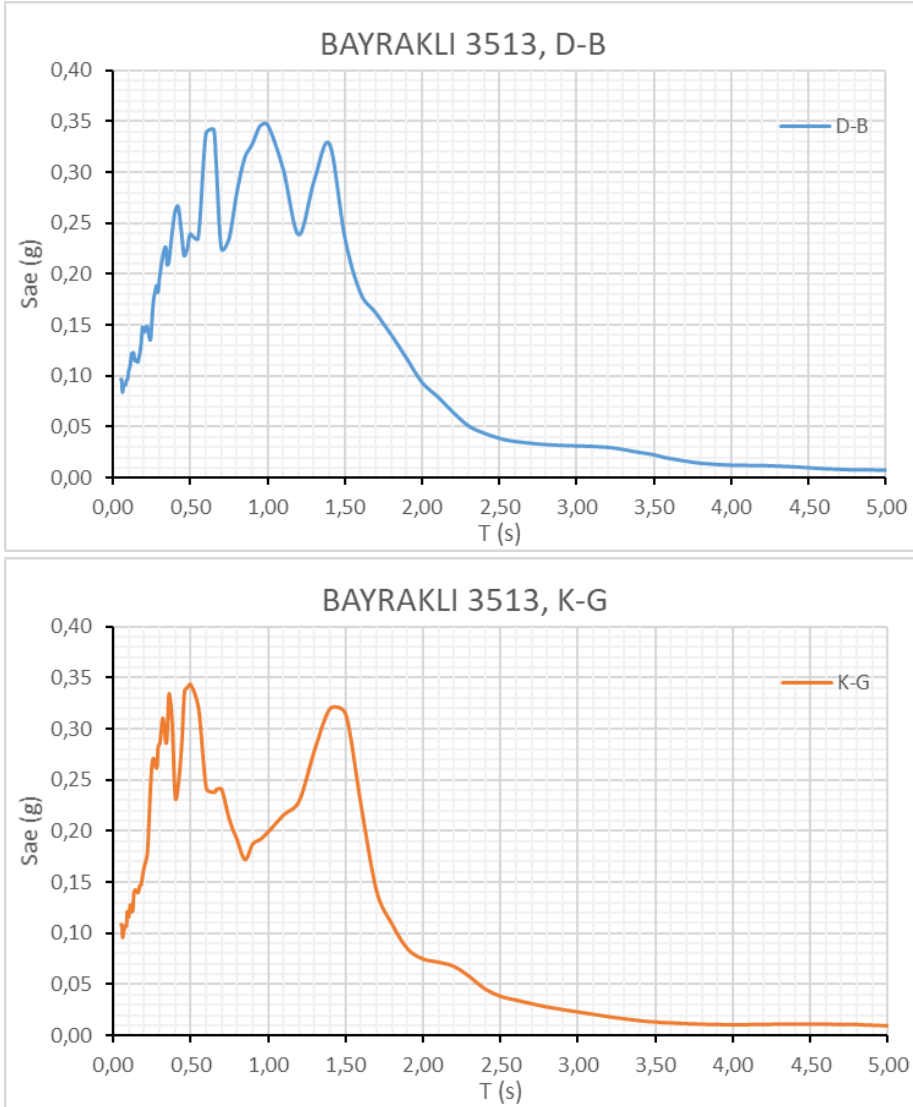


Şekil 14. Bayraklı zemin hakim periyotları



Yukarıda sunulan grafikler incelendiğinde zemin hakim periyotlarının yaklaşık 1.5 s olduğu açıkça görülebilecektir.

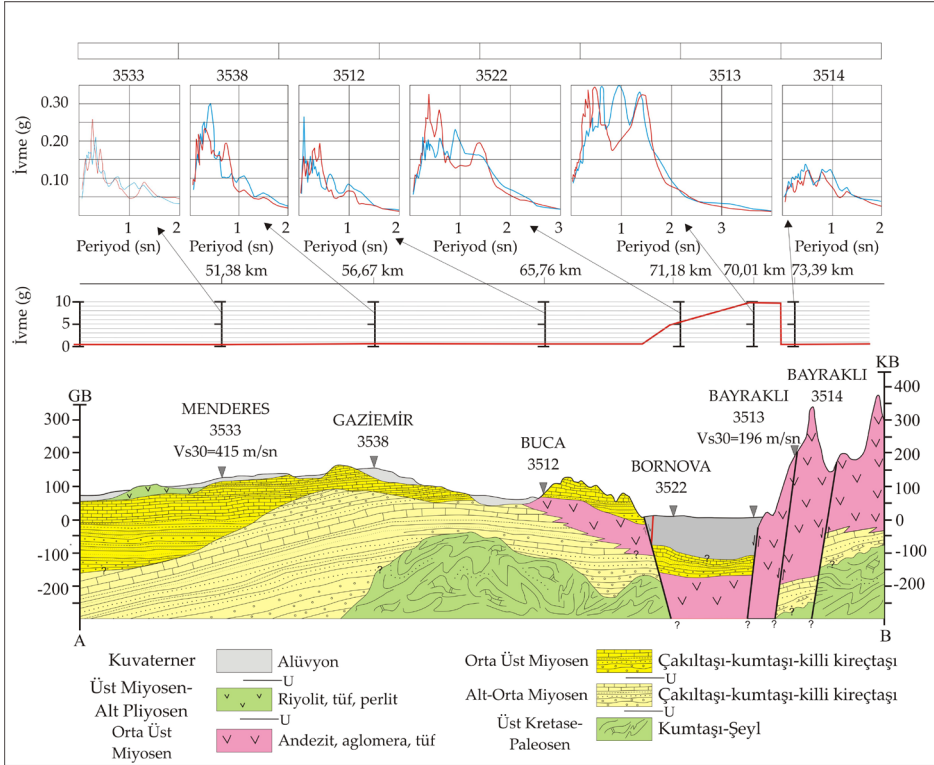
Yine zemin tepki spektrum (spektral ivme – periyod) grafikleri ise aşağıdaki gibi olacaktır;



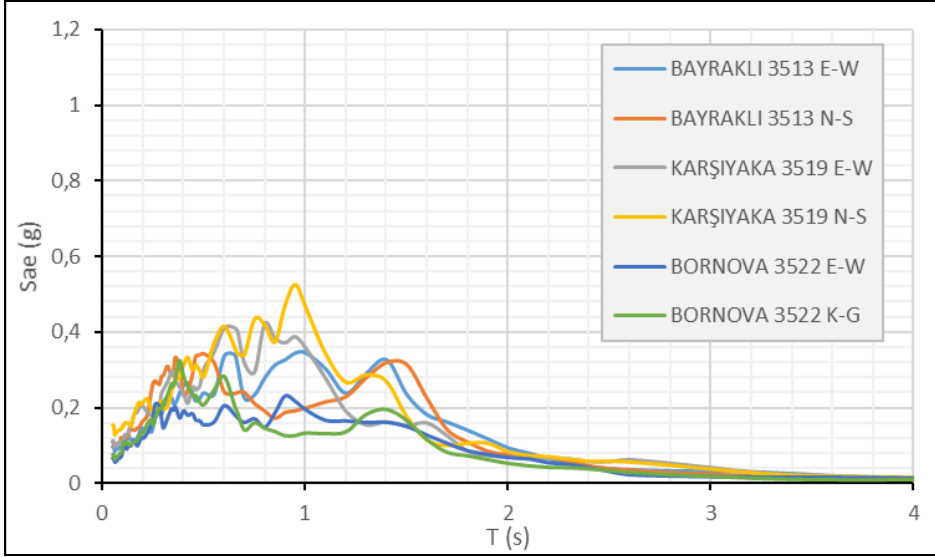
Şekil 15. Doğu-Batı ve Kuzey-Güney Spektral İvme-Periyot Grafikleri

Bu noktada yapılacak zemin büyütmesi açısından en can alıcı yorum ise, grafiklerden görebileceğiniz üzere alüvyal çökellerde yer alan istasyondaki PGA değeri yaklaşık olarak 0,1 g olmaktadır. Özellikle deprem dalgalarında graben havzasının etkisi ile yaşanan genleşme nedeniyle 1 sn'lik uzun zemin periyodu tasarım spektrum değerleri çok büyük spektral ivmeler ortaya çıkmaktadır ($Sa1s=340$). Bu durumda deprem bölgesinde yaklaşık 1 s doğal periyoda sahip, orta katlı yapılarda hasarlara sebebiyet vermiştir. Zemin büyütmesinin niceliksel sonuçlarını bu şekilde tasvir edebiliriz (Kırkayak, Y., 2020).

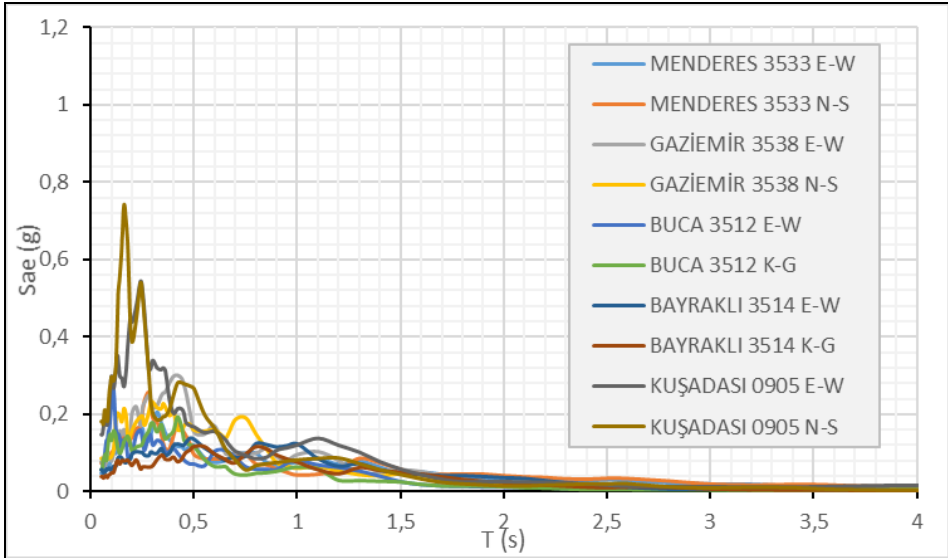
Deprem odak noktasına yakın ivme ölçer istasyonlarıyla ölçülen en büyük etkin yer ivme değerlerine bakıldığında sağlam zemin/kaya ortamlarda (Menderes, Gaziemir, Buca, Bayraklı yamaçları) 0.06-0.09 g'dir. Çöküntü alanı içerisinde yer alan Bornova ovasında ve Karşıyaka'da aynı sırayla 0.10 ve 0.15 g'dir (Şekil 16).



Şekil 16. Deprem yer hareketinin güneyden kuzeye alınan kesit üzerinden değişimi



Şekil 17. Doğu-Batı ve Kuzey-Güney Spektral İvme-Periyot Grafikleri



Şekil 18. Doğu-Batı ve Kuzey-Güney Spektral İvme-Periyot Grafikleri

Dinamik ortamlarda zayıf zemin davranışlarının ortaya çıkabilmesi için bu durumu tetikleyecek yeterli büyüklükte ivme değerinin oluşmasına ihtiyaç vardır. Sahada yapılan gözlemlerde deprem etkisiyle meydana gelebilecek



sıvılaşma, yanal yayılma, yumuşama, göçme ve yüzeysel zemin deformasyonları görülmemiştir. Bu durum yıkımların ve ağır hasarlı yapıların olduğu alanlarda yeterli ivme seviyelerinin oluşmamasıyla örtüşmektedir. Bu durumda yapısal tasarım ve uygulama özellikleri ile zayıf zemin etkisinden kaynaklanan büyütme unsuru ön plana çıkmaktadır. Bornova ovasında, 6 adeti depremde yıkılan olmak zere 42 adet acil yıkılacak, 186 adet ağır, 242 adet orta hasarlı bina, Karşıyaka bölgesinde, 6 adet acil yıkılacak, 25 adet ağır, 105 adet orta hasarlı bina, Konak bölgesinde ise 4 adet acil yıkılacak, 40 adet ağır, 55 adet orta hasarlı bina tespit edilmiştir. Bu üç bölgede suya doygun kalın alüvyon tabakası üzerinde yer almaktadır. Bayraklı'da özellikle depremde etkilenen yapıların periyodu ile bu bölgelerde alınmış Mikrotremör ölçü verilerinde elde edilen zemin hakim periyodu yaklaşık olarak örtüşmekte olup 0.8 sn- 1.50 sn. arasında değişmektedir. Depremde hasar gören yapıların büyük bir çoğunluğu 1998 öncesi olup 8-14 katlıdır.

Karşıyaka bölgesinde ağır ve orta hasar gören yapılar Şekil 13'de lokasyonları genel olarak işaretlenmiştir. Bu yapıların büyük bir çoğunluğu bitişik nizamdır. Özellikle Atatürk Bulvarı ve yakın çevresinde orta-ağır hasar gören yapıların da periyodları, zemin hakim periyodu ile yaklaşık uyumludur. Bayraklı, Karşıyaka ve Konak bölgesinde kıyı şeridi boyunca iç kesimlere göre çok daha kötü zemin olmasına karşın hasarlar ağırlıklı olarak daha çok iç kesimlerde yer alan yapılarda olmuştur. Şekil 12'de verilen Mikrotremör ölçü verilerinde elde edilen zemin hakim periyodu dağılım haritasına bakıldığında bu üç bölgede de kıyı şeridi boyunca zemin hakim periyodunun >1.4 sn olduğu görülmektedir. Kıyı şeridi boyunca genel olarak <10 katlı yapılar yer almaktadır. Bu durumda yapı periyodları rezonans bölgesi dışında kalmaktadır. Kıyı şeridi boyunca yapıların daha az zarar görmeleri bu şekilde açıklanabilir. Dolayısıyla, Karşıyaka ve Konak'ta kıyı şeridine yakın bölgelerde zemin hakim periyodu ile rezonans bölgesi kat adeti muhakkak araştırılmalıdır. Bayraklı kıyı kısımlarda çok katlı yapılar yer almaktadır. Bu yüksek katlı binaların da, yapı-rezonans ilişkileri de araştırmaya değer bir konudur.

ZF grubu zeminlerde sahaya özel spektrum geliştirilmesinin önemi bu depremde bir kez daha anlaşılmıştır. Suya doygun kalın alüvyal çökellerde, dinamik ortamda zemin periyodu 1 s -1.5 s olması dolayısıyla periyodu bu aralığa yerleşen binaların daha yüksek deprem kuvvetlerine maruz kalmış olabileceği durumu detaylı olarak araştırılması önemlidir.



Samos depreminin 70 km uzaklıkta, çöküntü ovası içinde yer alan Bayraklı bölgesine olan etkileriyle Mexcio City depreminin kurutulmuş göl bataklığı üzerine kurulmuş olan Mexico City yerleşkesinde yaptığı etki benzer sonuçlar taşımaktadır. Zeminin hakim periyodunun 1.5 saniye olduğu bölgede 1985 Mexcio City depreminde, 6-20 katlı binalarda çok ağır rezonans hasarı olmasına karşın, bu katların dışındaki daha yüksek katlı binalarda çok az hasar oluşmuştur (Arnold, 2013).



SONUÇLAR

30/10/2020 tarihinde yerel saat ile 14:51'de Ege Denizi'nde Sisam Adası'nın ku- zeyi ile Doğanbey-İzmir açıkları arasında (37.9020 Kuzey, 26.7942 Doğu) aletsel büyüklüğü $M_w=6.6$, şiddeti $I = 8$ ve odak derinliği yaklaşık 14.9 km olan bir deprem meydana gelmiştir. Gediz çöküntü havzasının en batı ucunda yer alan İzmir'de can kaybı ve yapılarda hasara neden olmuştur.

Deprem odak merkezi İzmir şehir merkezine 70 km uzaklıktadır. Çevre ve Şehircilik İl Müdürlüğü çalışmalarına göre İzmir genelinde yıkılan bina sayısı 54 (6'sı deprem anında yıkılmış olan), acil yıkımı gerçekleştirilecek bina sayısı 40, ağır hasarlı bina sayısı 676, orta hasarlı bina sayısı 789, az hasarlı bina sayısı 7.683 adettir. İncelenen 158.374 binada ise hasar görülmediği tespit edilmiştir. İncelenen 25036 binada ise hasar görülmediği tespit edilmiştir. Hasar tespit çalışmaları devam etmektedir. Bayraklı İlçesi'ne ait, Adalet ve Manavkuyu Mahalleleri sınırları içerisinde yer alan yaklaşık 3.4 km²'lik kısım depremden en çok etkilenen alan olmuştur.

Yıkılan veya hasar gören yapıların büyük bir çoğunluğu Bornova alçak ve orta ova tabanında yer almakta olup iç körfez kıyı şeridinden Yüksek ova tabanına doğru uzanan yaklaşık 3.4 km²'lik bir alanı kapsamaktadır.

İnceleme alanı kıyı şeridine yakın yer alması nedeniyle çok çeşitli jeomorfolojik ortamlarda biriken sediman istiflerinden oluşmaktadır. Yanal ve düşey yönde zeminler geçişlidir. İnceleme alanında yeraltı su seviyesi 4-5 m'dir. Kıyı şeridine doğru yeraltı su seviyesi 1 m' derinliğe kadar düşmektedir. Bölge çok zayıf zeminlerden oluşmakta ve kalınlığı 7 m'den başlayıp kıyı şeridine doğru 20 m. derinliklere kadar ulaşmaktadır. İnceleme alanında ağırlıklı olarak kohezyonlu zeminler yer almakta olup derine doğru dayanımları artmaktadır.

Yapıların yıkıldığı alanlarda zemin büyütme oranı değerleri 2-4 arasındadır. Bu alanlarda batıya doğru kıyı şeridine yaklaşıldığında zemin büyütme oranı değerleri 4-10 olup çok yüksek çıkmaktadır.

Kaya ve görece daha dayanımlı zeminlerde çok düşük ivme değerleri nedeniyle hasarların az olduğu söylenebilir. Deprem dalgaları kaya ortamlarda hızlı geçmektedir. İzmir deprem odak merkezine yaklaşık 70 km uzaklıkta olmasına karşın alüvyon zeminler üzerinde yer alan yapılarda yıkım ve ağır - orta hasarlar meydana gelmiştir.



Kaya ortamlarda etkin yer ivme katsayısı 0.04-0.08 g olmasına karşın bu değer suya doygun kalın alüvyon çökelleri üzerinde 0.10-0.15 g'e yükselmiştir. Buna karşın bu etkin yer ivme katsayısı değeri de yüksek değildir.

Düşük ivme değerlerinde, yapıların ağır hasar görmesi ve bazılarının yıkılması zayıf zemin parametrelerine uygun tasarlanmaması ve/veya yapısal unsurlarının yetersizliklerinden kaynaklı olabilmektedir. Kaya ortamda da kötü mühendislik hizmeti almış yapı (riskli yapı) özelliğine sahip buna benzer çok sayıda yapılar bulunabilir. Ancak bu depremde kaya ortamlarda statik koşullara yakın ivme değerleri oluşmuştur. Mühendislik açısından kötü tasarlanmış veya inşa edilmiş yapıların, yapıya özgü kritik dinamik yükler aşıldığında kaya türü zeminler üzerinde dahi olsa tümenden göçme meydana gelebilmektedir. Kaya zeminler üzerinde genel olarak düşük ivme değerlerinin meydana gelmesi bu durumun oluşma olasılığını azaltmaktadır. Güvenli yapı tasarımında zemin parametreleri yadsınmayacak kadar önemlidir ama bu depremde kötü yapı stoğu faktörü daha fazla ön plana çıkmaktadır. Ağır hasar gören ve yıkılan yapılar genel olarak 1990-1998 yılları arasında inşa edilmiştir. Bu yapıların 1980-1990 yılları arasında yapılanlarla kıyası yapılmalı ve dönemin deprem yönetmeliği mevzu- atına uygun olup olmadığı mutlaka araştırılmalıdır. Yapı doğru mühendislik parametreleri ve yönetmeliklere uygun yapılmışsa eski olması belirleyici faktör olmayacaktır.

Dinamik ortamlarda zayıf zemin davranışlarının ortaya çıkabilmesi için bu durumu tetikleyecek yeterli büyüklükte ivme değerinin oluşmasına ihtiyaç vardır. Sahada yapılan gözlemlerde deprem etkisiyle meydana gelebilecek sıvılaşma, yanıl yayılma, yumuşama, göçme ve yüzeysel zemin deformasyonları görülmemiştir. Bu durum yıkımların ve ağır hasarlı yapıların olduğu alanlarda yeterli ivme seviyelerinin oluşmamasıyla örtüşmektedir. Bu durumda yapısal tasarım ve uygulama özellikleri ile zayıf zemin etkisinden kaynaklanan büyütme unsuru ön plana çıkmaktadır. Bayraklı'da özellikle depremden etkilenen yapıların periyodu ile bu bölgelerde alınmış Mikrotremör ölçü verilerinde elde edilen zemin hakim periyodu yaklaşık olarak örtüşmekte olup 0.8 sn- 1.50 sn. arasında değişmektedir. Depremde hasar gören yapıların büyük bir çoğunluğu 1998 öncesi olup 8-14 katlıdır.

Karşıyaka bölgesinde ağır ve orta hasar gören yapıların büyük bir çoğunluğu bitişik nizamdır.



Özellikle Atatürk Bulvarı ve yakın çevresinde orta-ağır hasar gören yapıların da periyodları, zemin hakim periyodu ile yaklaşık uyumludur. Bayraklı, Karşıyaka ve Konak bölgesinde kıyı şeridi boyunca iç kesimlere göre çok daha kötü zemin olmasına karşın hasarlar ağırlıklı olarak daha çok iç kesimlerde yer alan yapılarda olmuştur. Şekil 12’de verilen Mikrotremör ölçü verilerinde elde edilen zemin hakim periyodu dağılım haritasına bakıldığında bu üç bölgede de kıyı şeridi boyunca zemin hakim periyodunun >1.4 sn olduğu görülmektedir. Kıyı şeridi boyunca genel olarak <10 katlı yapılar yer almaktadır. Bu durumda yapı periyodları rezonans bölgesi dışında kalmaktadır. Kıyı şeridi boyunca yapıların daha az zarar görmeleri bu şekilde açıklanabilir. Dolayısıyla Karşıyaka ve Konak’ta kıyı şeridine yakın bölgelerde zemin hakim periyodu ile rezonans bölgesi kat adeti muhakkak araştırılmalıdır. Bayraklı kıyı kısımlarda çok katlı yapılar yer almaktadır. Bu yüksek katlı binaların da, yapı-rezonans ilişkileri de araştırmaya değer bir konudur.

ZF grubu zeminlerde sahaya özel spektrum geliştirilmesinin önemi bu depremde bir kez daha anlaşılmıştır. Suya doygun kalın alüvyal çökellerde, dinamik ortamda zemin periyodu 1 s -1.5 s olması dolayısıyla periyodu bu aralığa yerleşen binaların daha yüksek deprem kuvvetlerine maruz kalmış olabileceği durumu detaylı olarak araştırılması önemlidir.

Samos depreminin 70 km uzaklıkta, çöküntü ovası içerisinde yer alan Bayraklı bölgesine olan etkileriyle Mexcio City depreminin kurutulmuş göl bataklığı üzerine kurulmuş olan Mexico City yerleşkesinde yaptığı etki benzer sonuçlar taşımaktadır. Zeminin hakim periyodunun 1.5 saniye olduğu bölgede 1985 Mexcio City depreminde, 6-20 katlı binalarda çok ağır rezonans hasarı olmasına karşın, bu katların dışındaki daha yüksek katlı binalarda çok az hasar oluşmuştur (Arnold, 2013).

Bu depremin verdiği orta ve ağır hasara bir sonraki deprem etkisi de eklendiğinde yorulan binalarda yıkıcı etkiler artabilmektedir. Örneğin İzmir’de geçmişte meydana gelen depremlerde hasar alan yapılar bu depremde daha çok etkilenmişlerdir. Özellikle yıkılan yapıların temel altına denk gelecek şekilde yeterli derinlikte sondaj çalışması yapılarak o noktalara ait zemin parametreleri detaylı bir şekilde tespit edilmeleri gereklidir. Bölgesel olarak ise çöküntü ovasının taban topoğrafyasının çıkarılmasına yönelik çalışmalar yapılmalıdır. Taban topoğrafyasının ve bu derinliklere kadar (ana kaya) zemin profilinin çıkarılması, elastik deprem yüklerinin detaylı tanımlanması, deprem üzerine yapılacak çalışmaları ve



yeni planlama çalışmalarına önemli bir altlık oluşturacaktır.

İzmir'e yakın konumlanmış deprem üretebilecek büyüklükte çok sayıda aktif fay hattı veya zonlu bulunmaktadır. Yerleşimlerinin önemli bir bölümü suya doymuş gevşek ve kalın alüvyon çökelleri üzerinde yer alan bir şehir için bundan daha büyük bir tehdit olamaz. İzmir körfezinin güneyinde yer alan İzmir ve Tuzla Fay zonunda olası bir hareket, yerleşim alanlarının içinden geçmesi nedeniyle özellikle alüvyon çökellerde çok büyük ivme değerleri yaratabilir. Bu fayların bazılarının uzantıları İzmir kent yerleşiminden geçmektedir. Böyle bir durumda binaların dinamik performanslarına fay zonunun tektonik deformasyon zonunda meydana gelen oturma, çökme, kabarma, kırılma veya ötelenmeden kaynaklanan etkilerini de maruz kalacaktır. Hendek tabanlı paleosismolojik çalışmalar yapılarak bu tür yüzey kırıklar üzerinde meydana gelen deprem sayısı, deprem yinelenme süresi, son büyük depremden sonra geçen zaman miktarı, kayma hızı, kayma miktarı ve depremin büyüklüğü gibi bazı parametrelerin tespitinin yapılması önemlidir.

İzmir gibi sismik aktivitesi yüksek yerleşimlerin kentleşme stratejileri muhakkak olmalıdır. Kentsel dönüşümler bu stratejiler üzerine kurulmalıdır. İzmir'de yıpranmış veya her depremde yorulmuş yapıların sürekli yenilenmesi sürdürülebilir değildir. İzmir yerleşim alanı ve çevresinin tehlike ve buna bağlı risk haritaları yapılarak yeni yapılaşma stratejilerine altlık hazırlanmalıdır. Yeni ve güvenli yapı stoğunun hangi alanlarda yoğunlaşması gerektiği bu çalışmalarla tanımlanmalıdır. Bu durum dinamik durumlarda daha az etkilenen ve ömrü uzun güvenli yapı stoğunun artışına sebebiyet verecektir. Zayıf zemin üzerinde yapı yapmaya son derece ciddi yaklaşılmalı, kontrol süreçleri; etüt ve projelendirme ve uygulama aşamalarında belirleyici olmalıdır. Kamusal denetim tavizsiz ve kalıcı kontrolünü genişletmelidir. İzmir özelinde yapıların sıklıkla 5-6 büyüklüğünde depremlere maruz kaldığı unutulmamalıdır.

Güvenli yapı tasarımının önemli bir ayağını oluşturan zemin etütleri, imar planına esas jeolojik ve jeoteknik etütlerinin tüm aşamalarını içeren esaslı ve ulusal bir teknik şartname oluşturulmalıdır. Bu şartname tüm işlerin yapılmasında kalite ve kontrol süreçlerinin yürütülmesinde ana omurga görevi görecektir.



İzmir’de özellikle alüvyon zemin üzerinde yer alan kötü mühendislik hizmeti almış yapı stoğu envanteri çıkarılmalıdır. CBS tabanlı akıllı haritalar oluşturularak süreçler takip edilmelidir. Bu depremin etkisinde iyi bir istatistikse sonuç elde edilebilmesi için başta hasar gören yapıların teknik özelliklerinin belirlenmesinde yarar vardır. Hasarlı yapı dağılımı ve bunların ortak paydaları ile hasarsız yapılar arasında ki kıyası bize ayrışmanın hangi noktalarda olduğu konusunda ışık tutacaktır.

Deprem kaynağı aynı da olsa bir depremin etkisi, oluşum noktasına eşit uzaklıkta olan bölgelerde farklı şekillerde özellikler göstermektedir. Özellikle suya doygun kalın alüvyon tabakalarının olduğu alanlarda jeofizik, jeolojik ve jeoteknik özelliklerini yansıtan mikrobölgelendirme çalışmaları yapılmalıdır. Mikrobölgeleme çalışmaları deprensellik ve bölgesel yer koşullarıyla ilgili mekânsal olarak çok detaylı ve geniş bilgiler içerdiğinden ilgili tüm mühendislik bilimleri için kaynak ve rehber olma özelliği taşıyacaktır.

Mevcut mevzuata göre Yapı Denetim Firmaları sadece üst yapıyı kontrol etmektedir. Zemin etütleri ve zemin iyileştirme çalışmaları sadece proje üstünden değerlendirilmektedir yani bu alanda herhangi bir denetim yapılmamaktadır. Zemin etütleri ve zemin iyileştirme çalışmaları da acilen yapı denetim firmalarının alanına girmeli ve bu firmalarda jeoloji mühendisleri çalıştırılmaya başlanmalıdır. İlçe belediyelerinde de jeoloji mühendisleri bu denetimin içinde yer almalıdır. Bu şekilde etkin kamu denetimi arttırılmalıdır.



KAYNAKÇA

- Afet İşleri Genel Müdürlüğü (1996), Türkiye Deprem Bölgeleri Haritası, Bayındırlık ve İskân Bakanlığı, Ankara.
- Akartuna M. (1962): "İzmir-Torbalı-Seferihisar-Urla Bölgesinin Jeolojisi Hakkında", MTA Derg, S. 62.1-17.
- Ambraseys, N.N., and Finkel, C.F. 1987. Seismicity of Turkey and neighbour ingregions, 1899-1915. *Annales Geophysicae* 87, 701-725.
- Ambraseys, N. N. anda Jackson, J. A., 1998. Fault in gassociated with historical and recent earthquakes in the eastern Mediterranean region. *Geophysical Journal International*.
- Ansal L, J., Buchheister, J., Erdik, M., Springman, S.M., Studer, J., Köksal, D., 2004, Site Characterization and Site Amplification For A Seismic Microzonation Study in Turkey, 11th International Conference on Soil Dynamics and Earthquake Engineering and 3rd Earthquake Geotechnical Engineering, San Francisco, 7-9 Jan. 2004.
- Arnold C., 2013, Earthquake Effects on Buildings. Chapter 4, Federal Emergency Management Agency, USA. www.fema.gov/.../fema454_ch...2013.
- Baba A., Sözbilir H. (2001): "KD-Doğrultulu Kemalpaşa-Torbalı Havzasının Jeolojisi ve Yeraltı suyu Kalitesi", Batı Anadolu, Çevre ve Jeoloji Sempozyumu, 21-23 Mart.
- Candan O., Kun N. (1989): "Menderes Masifinin Batısında Paleo-Melanj Kuşağının Varlığı", TPJD Bülteni, C.1/3.
- Bostaner. H., Coşkun S., (2015) Buca (İzmir) İlçesinde Uygulanan Mikrotremor Ölçümleri ve Dinamik Davranış Özellikleri, Sekizinci Ulusal Deprem Mühendisliği Konferansı.
- Erdoğan, B., 1990. İzmir-Ankara Zonu'nun İzmir ile Seferhisar Arasındaki Bölgede Stratigrafik Özellikleri ve Tektonik Evrimi. TPJD dergisi, 2(1), s.1-20.
- Erdoğan B. (1990): "İzmir- Ankara Zonu ile Karaburun Kuşağının Tektonik İlişkisi", MTA Derg. 119, 1-15.
- Erguvanlı, K., 1995. Mühendislik Jeolojisi, Seç Yayın Dağıtım.
- Joyner, W.B. and, T., 1984, Use of measured shear-wavevelo city for prediction geological site effects on strongmotion, Proc. Eighth World Conf. On EarthquakeEng., Vol.2, Pp.777-783.
- ISRM (International Society for Rock Mechanics), ISRM Suggested Methods: Rock Characterization, Testing and Monitoring; E.T.. Brown (ed.), PergamonPress, London, İzmir ve Yakın Çevresinin Diri Fayları. Rapor No:10754, 2005, MTA.
- Kaya, O., 1993. İzmir ve Çevresinin Yer Yapısı. İzmir ve Çevresinin Jeoteknik Sorunları Sempozyumu, JMO İzmir Şubesi Yayını, İzmir, 1-4.
- Kayan, İ., (1999a) İzmir Çevresinin Morfotektonik Birimleri ve Alüvyal Jeomorfolojisi, Batı Anadolu Depremselliği Sempozyumu., S 103-111
- Keçeli, A., 2001, Sismik Yöntemle Kabul Edilebilir veya Güvenli Taşıma kapasitesi Sap-



- tanması, TMMOB Jeofizik Mühendisleri Odası Dergisi, C 14 S 1-2.
- Keçeli A., Cevher M., 2018, Zemin Hakim Periyodu ve Bina Yüksekliği Rezonans İlişkisi, Uygulamalı Yerbilimler Dergisi, Cilt:17, No:2, S:203-224
- Ketin, İ. 1993. Türkiye Jeolojisine Genel Bir Bakış, İTÜ Maden Fakültesi Yayını.
- Kırkayak, Y. 2020. Sisam Depremi Raporu, JMO, (Yayımlanmamış)
- Kıncal, C. (2005). İzmir iç körfezi çevresinde yer alan birimlerin coğrafi bilgi sistemleri ve uzaktan algılama teknikleri kullanılarak mühendislik jeolojisi açısından değerlendirilmesi. Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, İzmir.
- Kumbasar, V. ve Kip, F., 1999, Zemin Mekaniği Proplemleri, Çağlayan Kitabevi, İstanbul
- Özaydın, K., 1997. Zemin Mekaniği, Yıldız Teknik Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü Geoteknik Ana Bilim Dalı. Birsan Yayınevi, İstanbul
- Özaydın, K., 1996, Yer Hareketleri Üzerinde Yerel Zemin Koşullarının Etkisi ve Zemin Büyütmesi: Türkiye Deprem Vakfı Yayını 96-003
- Özer S. (1993): "Upper Cretaceous Rudists from the Menderes Masif", Bull. Geol. Soc. Greece, Vol. XXVIII/3, pp. 55-73, Athens.
- Özçep, F., 2005, "Zemin Jeofizik Analiz", Microsoft Excel Programı, İÜ Müh. Fak. Jeofizik Müh. Böl., İstanbul.
- Savaşçın, Y., 1978. Foça-Urla Neojen Volkanitlerinin Mineralojik-Jeokimyasal İncelenmesi ve Kökensel Yorumu. Ege Üniversitesi Yerbilimleri Fakültesi İzmir, Doktora Tezi, 63s.
- Şengör., A.M.C., 1980. Türkiye'nin Neotektoniğinin Esasları. TJK Konferansları Serisi 2-5
- Şekercioğlu, E., 1998 Yapıların Projelendirilmesinde Mühendislik Jeolojisi, TMMOB Jeoloji Mühendisleri Odası Yayını No; 28
- Tuncel A., 2008, Sismik kırılma yöntemi ve mikrotremör ölçümlerinden elde edilen dinamik zemin parametrelerinin karşılaştırılması, DEÜ. Jeofizik Müh. Böl. Yüksek Lisan Tezi,
- Tuncel A., 2014, Jeofizik Yöntemlerle Zemin-Anakaya Sınırının Belirlenmesi ve Dinamik Zemin Parametrelerinin Elde Edilmesi, Karşıyaka ve Güzelbahçe (İzmir) Örneği, DEÜ. Jeofizik Müh. Böl. Doktora Tezi
- Tokimatsu, K., Seed, H.B., 1984, Simplified procedures for the evaluation of settlements in sands due earthquake shaking , report no. UBB/EERC-84/16, Earthquake Engineering Research Center, University of California, Berkeley.
- Tokimatsu, K., (1988). Penetration Tests for Dynamic Problems, Proceedings of 1 st International Symposium on Penetration Testing, 117-136, Rotterdam.
- Ulusay, R., 1989, Pratik Jeoteknik Bilgiler, Teknomad yayınları.
- Ulusay, R., 2001, Uygulamalı Jeoteknik Bilgiler, TMMOB Jeoloji Mühendisleri Odası yayınları:38, Ankara.



Uzuner, B.A. 1995, Temel Mühendisliğine Giriş, Derya Kitabevi.

www.deprem.gov.tr.

www.izmir.bel.tr

<http://www.koeri.boun.edu.tr/>

www.afad.gov.tr



TMMOB

JEOLOJİ MÜHENDİSLERİ ODASI

Hatay 2 Sok. No. 21 Kocatepe/ANKARA
Tel: 0312 432 30 85- Faks: 0312 434 23 88
www.jmo.org.tr
e-posta: jmo@jmo.org.tr

