YÜKSEK BİNALAR İÇİN DEPREM TEHLİKE DEĞERLENDİRMESİ VE ZEMİN BAĞIMLI TASARIM DEPREM YER HAREKETLERİNİN BELİRLENMESİ

Yasin Fahjan[1], Bülent Akbaş[1], Bilge Siyahi[2]

[1]*Doç.Dr., Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü, Deprem ve Yapı Mühendisliği Anabilim Dalı*
[2]*Prof.Dr., Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü, Deprem ve Yapı Mühendisliği Anabilim Dalı*
Email: fahjan@gyte.edu.tr

ÖZET:

Türkiye'de büyük şehirlerde (İstanbul, Ankara, İzmir, v.b.) yüksek binalar giderek artan bir hızla inşa edilmektedir. Yüksek binaların tasarımında sahaya özel deprem tehlike değerlendirmesi yapılarak farklı deprem düzeyleri için zemin bağımlı tasarım yer hareketleri belirlenmeli ve doğrusal olmayan dinamik zaman geçmişi analizleri ile binanın deprem performansı değerlendirilmelidir. İstanbul'da 2008 yılında hazırlanan "İstanbul Yüksek Binalar Deprem Yönetmeliği (İYBDY, 2008)", farklı deprem düzeyleri için tasarım yer hareketlerinin nasıl seçilmesi gerektiği konusunda yol gösterici olmaktadır. İYBDY (2008), binanın inşa edileceği saha için probabilistik (olasılıksal) deprem tehlike değerlendirmesinin yapılarak zemin bağımlı tasarım yer hareketlerinin elde edilmesini gerektirmektedir. Deprem tehlikesinin değerlendirilmesinde bölgenin sismotektonik yapısı, bölgede geçmişte yaşanmış tarihsel ve aletsel deprem kayıtları, bölgenin yerel jeolojisi ve zemin koşulları dikkate alınmalıdır. Doğrusal olmayan zaman geçmişleri için ise spektrum uyumlu yedi adet deprem yer hareketi seçilerek farklı deprem düzeyleri için ölçeklenmeli ve spektral ivme bileşke spektrumları elde edilmelidir. Bu çalışmada, İstanbul, Esenyurt ilçesinde inşa edilecek yüksek bir bina için deprem tehlike değerlendirmesi yapılarak zemin bağımlı tasarım yer hareketleri belirlenmiştir.

ANAHTAR KELİMELER: Probabilistik Deprem Tehlike Değerlendirmesi, Zemin Bağımlı Tasarım Yer Hareketi, Yüksek Binalar

1. GİRİŞ

Türkiye'de büyük şehirlerde (İstanbul, Ankara, İzmir, v.b.) yüksek bina sayısı giderek artmaktadır. edilmektedir. Yüksek binaların tasarımları alçak ve orta yükseklikteki yapılardan farklı olarak farklı deprem düzeylerinde doğrusal olmayan dinamik zaman geçmişi analizleri kullanılarak yapılmalı ve deprem performansları değerlendirilmelidir. Bunun için, binanın yapılacağı sahaya özel deprem tehlike değerlendirmesi yapılması ve farklı deprem düzeyleri için zemin bağımlı tasarım yer hareketlerinin belirlenmesi gerekir. İstanbul'da 2008 yılında hazırlanan "İstanbul Yüksek Binalar Deprem Yönetmeliği (İYBDY, 2008)", farklı deprem düzeyleri için tasarım yer hareketlerinin nasıl seçilmesi gerektiği konusunda yol gösterici olmaktadır.

Bu çalışmada, İstanbul, Esenyurt ilçesindeki bir bölge seçilerek probabilistik deprem tehlike değerlendirmesi yapılmış ve zemin bağımlı tasarım yer hareketleri elde edilmiştir. Bu amaçla öncelikle D1, D2 ve D3 gibi üç farklı deprem etkisi tanımlanmıştır. Deprem tehlikesinin değerlendirilmesinde bölgenin sismotektonik yapısı,

bölgede geçmişte yaşanmış tarihsel ve aletsel deprem kayıtları, bölgenin yerel jeolojisi ve zemin koşulları dikkate alınmıştır. Deprem tasarım spektrumlarının belirlenmesinde İYBDY (2008) kullanılmıştır. Son olarak, İYBDY'nde (2008) tanımlandığı şekilde PEER veritabanından spektrum uyumlu yedi adet deprem yer hareketi seçilerek üç farklı deprem düzeyi için ölçeklenmiş ve spektral ivme bileşke spektrumları elde edilmiştir.

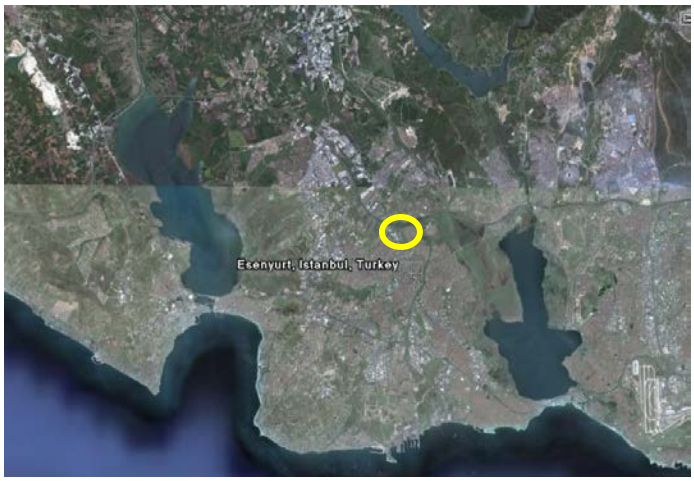
2. DEPREM ETKİSİNİN TANIMLANMASI

Yapılarda deprem tasarımı yapabilmek amacıyla tasarım bazlı yer hareketinin elde edilmesindeki esaslar mevcut deprem yönetmeliklerinde yer almaktadır. Bu yönetmeliklerden 2008 senesinde İstanbul Büyük Şehir Belediyesi için hazırlanan İstanbul Yüksek Binalar Deprem Yönetmeliği (İYBDY, 2008), yüksek binaların performansa göre tasarımında esas alınacak üç farklı deprem seviyesi (D1, D2, D3) tanımlamaktadır. Bu çalışmada, İYBDY'nde (2008) tanımlanan üç seviyeli deprem etkisi için spektrum uyumlu deprem yer hareketleri seçilerek ölçeklendirilmiştir. D1, D2 ve D3 deprem düzeyleri için kısa doğal titreşim periyodu (0.2s) ve 1.0s'lik doğal titreşim periyoduna karşılık gelen yatay deprem spektral ivme değerleri Ss ve S1 referans olarak alınan B zemin sınıfı için belirlenmiştir. Bölgenin zemin sınıfına bağlı olarak yatay deprem spektrumunu belirlenmesinde kullanılacak olan spektral ivme değerleri, yukarıda belirtilen Ss ve S1 spektral ivme değerleri Fa ve Fv zemin etki parametreleri ile çarpılarak elde edilmiştir.

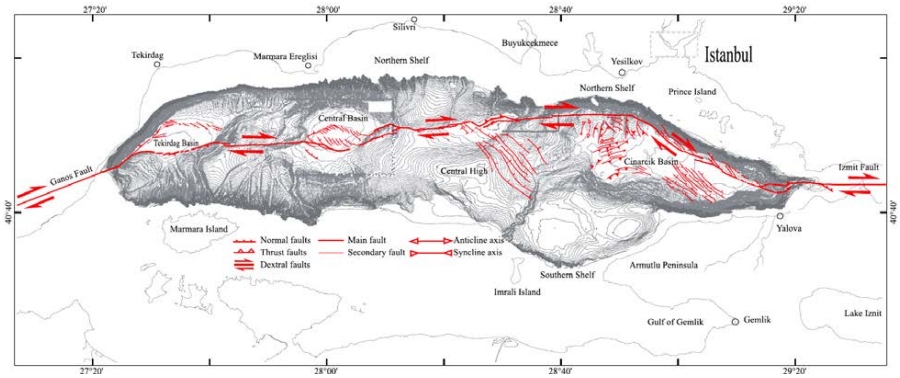
3. MEVCUT DEPREM TEHLİKESİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ

İstanbul ve çevresinin deprem tehlikesi analizleri detaylı olarak çalışılmış konulardan biridir. Bu konuda mevcut çalışmalar Atakan vd., (2002); Erdik vd., (2004); JICA-İBB (2002); Kalkan vd., (2009) olarak sıralanabilir. Bir bölgede deprem tehlikesinin değerlendirilmesi aşamasında, bölgenin sismotektonik yapısı (faylanma mekanizmaları ve fay özellikleri), bölgede geçmişte yaşanmış tarihsel ve aletsel deprem kayıtları, bölgenin yerel jeolojisi ve zemin koşulları göz önüne alınmalıdır. Bölgenin (İstanbul, Esenyurt) lokasyonu Şekil 1'de verilmiştir. Bölgede yapılan çalışmalardan arazi yüzeyini oluşturan dolgunun altında hakim jeolojik formasyonun Gürpınar formasyonu olduğu anlaşılmaktadır. Trakya havzasında geniş alanlar kapsayan formasyon İstanbul yarımadasında Büyükçekmece Gölü'nün güneybatısında Mimarsinan, Güzelce-Türkoba köyleri arasında geniş yüzlekler halindedir. Ayrıca Büyükçekmece-Küçükçekmece-Karaağaç Köyü arasında geniş alanlar kapsar. Gürpınar formasyonu sarımsı gri, gri renkli, kahvemsi gri mikalı kumtaşı ve kumtaşı ardalanmalı gri marn-kil-silttaşı, nadiren çakıltaşı ve linyit damarlarından oluşur. Bölgede gerçekleştirilen 9 adet 50m uzunluğunda sondaj ve sismik kırılma deneylerinden arazi yüzeyini oluşturan dolgu tabakasının eskiden hafriyat döküm alanı olarak kullanılan sahaya ait yerel ve inşaat atığı malzemeden oluşmuş, yer yer ince taneli, yer yer çakıllı, heterojen yapıda ve kontrolsüz olduğu anlaşılmıştır. Bölgenin jeolojisi ve yerel zemin koşulları irdelenmiş, eldeki veriler yapılan sismik kırılma deneyleri sonuçları ile birlikte gözden geçirilmiş, proje sahasının üst 30m kısmındaki TDY'ne (2007) göre genel zemin grubu "C" olarak değerlendirilmiştir.

Bölgeyi etkileyecek büyüklükte depremlerin Marmara Denizinde bulunan aktif fay sisteminden kaynaklanması öngörülmektedir. Marmara Fay Sistemi'ndeki tektonik birimler ve bu birimlerin bağlı olduğu Kuzey Anadolu Fay Zonu birçok araştırmacı tarafından incelenmiş olup bu zon ile ilgili olarak iki önemli model geliştirilmiştir. Le Pichon vd. (2003) tarafından yapılan çalışmada Kuzey Anadolu Fayı Marmara denizinin kuzeyine doğru boydan boya uzanan sağ yanal atımlı bir fay olarak tanımlanır (Şekil 2). İstanbul tarihsel dönemlerde birçok yıkıcı depreme maruz kalmıştır (Ambraseys ve Finkel, 1991). İstanbul 4. ve 19. yüzyıllar arasında 32 adet depremden etkilenmiştir. Bu durum ortalama her 50 yılda bir orta şiddette depreme, her 300 yılda bir de çok şiddetli depreme maruz kaldığını göstermektedir. Marmara bölgesini etkilemiş olan tarihsel depremlerin makrosismik verilere göre bulunan tahmini kaynaklar Parsons (2004)'de ayrıntılı olarak verilmiştir.



Şekil 1. Bölgenin lokasyonu



Şekil 2. Le Pichon vd. (2003) modeline göre Marmara Denizinin tektonik yapısı

4. OLASILIKSAL (PROBABİLİSTİK) DEPREM TEHLİKESİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ

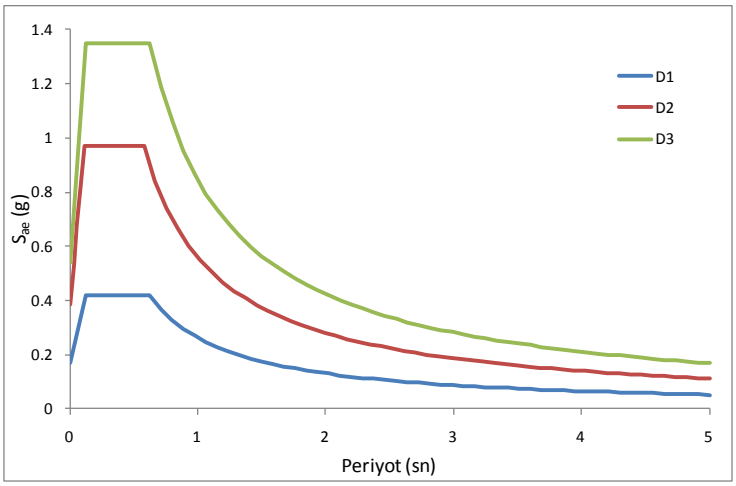
Bölgenin deprem tehlikesinin olasılıksal değerlendirilmesinde İYBDY, Ek A'da (2008) verilen Deprem Tehlikesi Haritaları kullanılmıştır. Bölgenin lokasyonu (Şekil 1) için D1, D2 ve D3 deprem düzeylerine karşılık gelen S_s ve S_1 spektral ivme değerleri Tablo 1'de verilmiştir.

Tablo 1. Olasılıksal Spektral ivme Değerleri (V_{s30}=760m/sn)

Tasarım Depremi	**Ortalama Dönüş Periyotu-Aşılma Olasılığı**	**S_S=0.2 sn Spektral İvme**	**S_1=1.0 sn Spektral İvme**
D1-Depremi	72yıl-50 yılda %50	0.35	0.16
D2-Depremi	475yıl-50yılda%10	0.95	0.40
D3-Depremi	2475yıl-50yılda%2	1.35	0.65

5. DEPREM TASARIM SPEKTRUMLARININ BELİRLENMESİ

Tasarımda esas alınacak D1, D2 ve D3 deprem düzeyleri için Deprem Tasarım Spektrumları'nın elde edilmesinde İYBDY'de (2008) tanımlanan kısa doğal titreşim periyodu ve 1.0s'lik doğal titreşim periyoduna karşı gelen yatay deprem spektral ivme değerleri S_S(0.2s) ve S_1(1.0s) kullanılmıştır. C Zemin Sınıfı için kısa ve 1.0s'lik doğal titreşim periyotlarına karşı gelen spektral ivme değerleri S_{MS} ve S_{M1}, S_S ve S_1'in sırası ile F_a ve F_v zemin etkisi parametreleri ile çarpılması ile edilmiştir (İYBDY, 2008). D1, D2 ve D3 deprem düzeyleri için elde edilen Deprem Tasarım Spektrumları sırası ile Şekil 3'de verilmiştir. Deprem Tasarım Spektrumları'nın çizilmesinde Tablo 1'de verilen S_S ve S_1 değerleri kullanılmıştır. F_a ve F_v zemin etki parametreleri D1, D2 ve D3 deprem düzeyleri için sırasıyla 1.2 ve 1.64, 1.02 ve 1.40, 1.0 ve 1.3 alınmıştır.



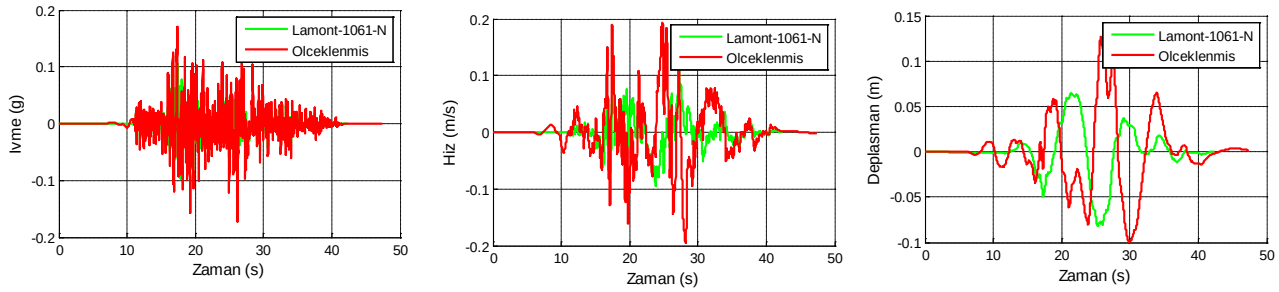
Şekil 3. Deprem Tasarım Spektrumları

6. SPEKTRUM UYUMLU DEPREM YER HAREKETLERİNİN SEÇİLMESİ

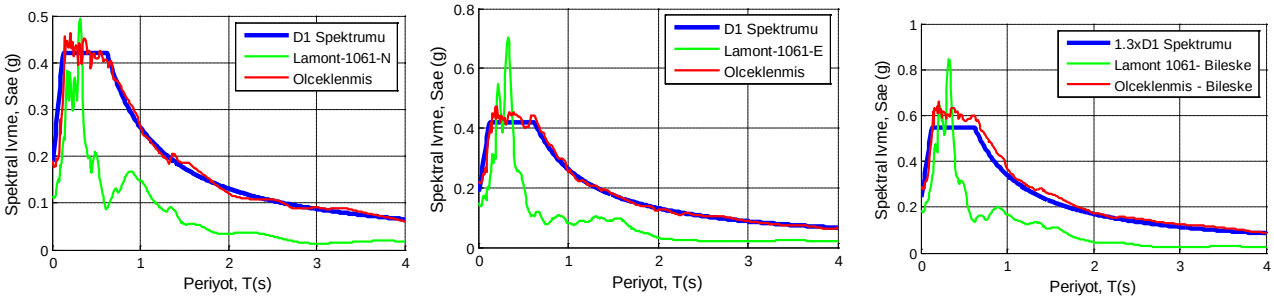
Deprem yer hareketlerinin seçilmesinde Peer NGA Veri Bankası (PEER, 2006) kullanılmıştır. Deprem moment büyüklüğü, M_W=7.0-7.5 arasında olan, deprem kaynak mekanizması yanal atımlı olan, Zemin Sınıfı B veya C olan 7 deprem yer hareketi seçilmiştir (Tablo 2). Seçilen deprem yer hareketlerinden elde edilen bileşke spektrumun D1, D2 ve D3 deprem düzeyleri için 0.2s–4s periyotları arasındaki genlikleri İYBDY'ne (2008) uygun olarak ölçeklendirilmiştir (Fahjan, 2008). Seçilen deprem yer hareketleri Hector Mine (1999) (2 farklı istasyon); Manjil, İran (1990); Düzce (1999) (3 farklı istasyon) ve Landers (1992) depremine ait deprem yer hareketi kayıtlarıdır. Şekil 4 ve 5'de Düzce (1999) deprem yer hareketi kaydına ait orijinal ve D1 deprem düzeyi için ölçeklenmiş ivme, hız, deplasman, spektral ivme, spektral deplasman, D1 düzeyi tasarım spektrumları ve Bileşke spektrumlara ait grafikler verilmiştir. Şekil 6'de ise her deprem yer hareketine ait (D1 deprem düzeyi için ölçeklenmiş) D1 deprem düzeyine ait spektral ivme ve spektral deplasman Bileşke spektrumları ve ortalamaları verilmiştir. Şekil 7 ve 8'de Hector Mine (1999) deprem yer hareketi kaydına ait orijinal ve D2 deprem düzeyi için ölçeklenmiş ivme, hız, deplasman, spektral ivme, spektral deplasman, D2 düzeyi tasarım spektrumları ve Bileşke spektrumlara ait grafikler verilmiştir. Şekil 9'da ise her deprem yer hareketine ait (D2 deprem düzeyi için ölçeklenmiş) D2 deprem düzeyine ait spektral ivme ve spektral deplasman Bileşke spektrumları ve ortalamaları verilmiştir. Şekil 10 ve 11'de Manjil, İran (1990) deprem yer hareketi kaydına ait orijinal ve D3 deprem düzeyi için ölçeklenmiş ivme, hız, deplasman, spektral ivme, spektral deplasman, D3 düzeyi tasarım spektrumları ve Bileşke spektrumlara ait grafikler verilmiştir. Şekil 12'de ise her deprem yer hareketine ait (D3 deprem düzeyi için ölçeklenmiş) D3 deprem düzeyine ait spektral ivme ve spektral deplasman Bileşke spektrumları ve ortalamaları verilmiştir.

Tablo 2. Seçilen Deprem Yer Hareketlerinin Karakteristik Özellikleri

Deprem	Moment Büyüklüğü	Fay Mekanizması	İstasyon	Bileşen (H1)	Bileşen (H2)	Epicentral Uzaklık (km)	En Kısa Uzaklık (km)	Zemin (NEHRP)
Hector Mine 16.10.1999	7.1	Yanal Atımlı	Hector	HEC000.AT2	HEC090.AT2	26.5	11.7	C
Manjil, Iran 20.06.1990	7.4	Yanal Atımlı	Abbar	ABBAR--L.AT2	ABBAR--T.AT2	40.4	12.6	C
Duzce 12.11.1999	7.1	Yanal Atımlı	Lamont 362	362-N.AT2	362-E.AT2	43.5	23.4	C
Duzce 12.11.1999	7.1	Yanal Atımlı	Lamont 1060	1060-N.AT2	1060-E.AT2	44.4	25.9	B
Duzce 12.11.1999	7.1	Yanal Atımlı	Lamont 1061	1061-N.AT2	1061-E.AT2	31.6	11.5	C
Landers 28.06.1992	7.3	Yanal Atımlı	Barstow	BRS000.AT2	BRS090.AT2	94.8	34.9	C
Hector Mine 16.10.1999	7.1	Yanal Atımlı	Joshua Tree	22170090.AT2	22170360.AT2	52.3	31.1	C



Şekil 4. Düzce depremi, Lamont istasyonu 1061-N bileşeni deprem yer hareketine ait ivme, hız ve deplasman grafikleri (orijinal ve D1 deprem düzeyi için ölçeklenmiş)

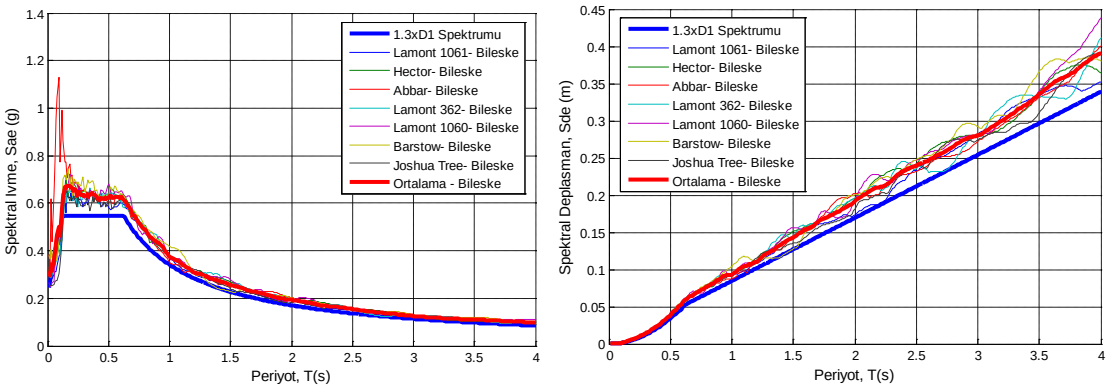


Şekil 5. Düzce depremi, Lamont istasyonu 1061-N ve –E bileşenleri deprem yer hareketleri (orijinal ve D1 deprem düzeyi için ölçeklenmiş) için spektral ivme ve D1 Deprem Düzeyi Tasarım Spektrumları ve Bileşke Spektrumlar

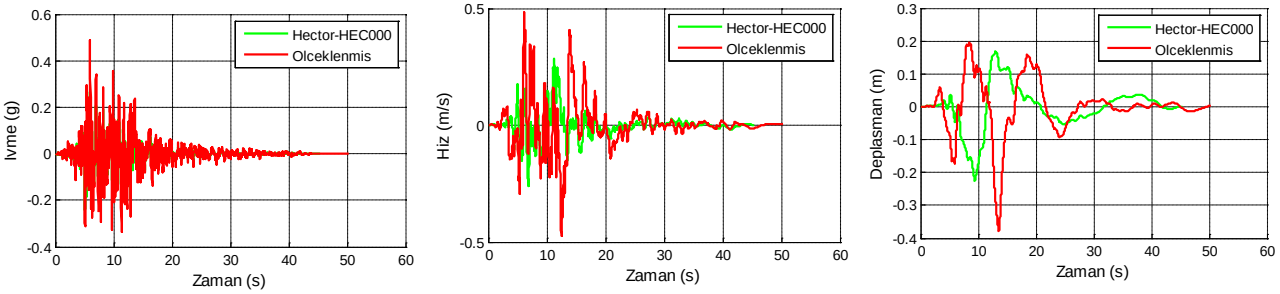
7. SONUÇLAR

Bu çalışmada, İstanbul ili, Esenyurt ilçesindeki bir konut yerleşkesi ile ilgili deprem tehlike değerlendirmesi yapılmış ve zemin bağımlı tasarım yer hareketleri belirlenmiştir. Çalışmada ilk olarak deprem etkisi tanımlanarak mevcut deprem tehlikesi değerlendirilmiştir ve üç seviyeli deprem etkisi önerilmiştir. D1, D2 ve

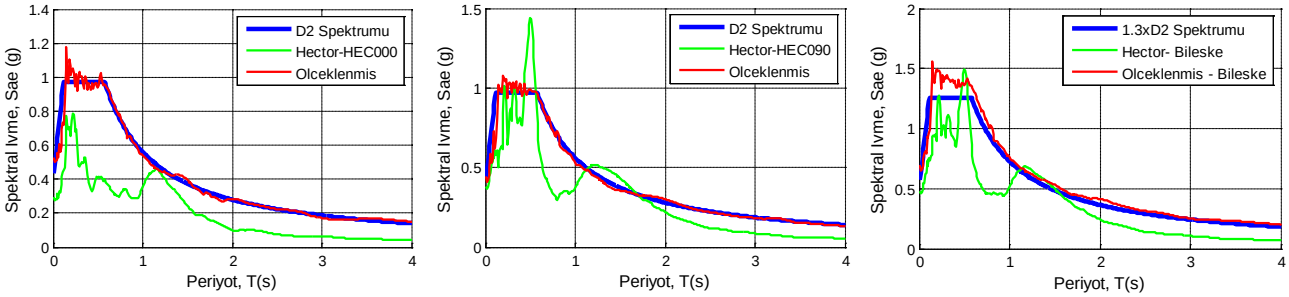
D3 deprem düzeyleri için kısa doğal titreşim periyodu (0.2s) ve 1.0s'lik doğal titreşim periyoduna karşılık gelen yatay deprem spektral ivme değerleri S_s ve S_1 referans olarak alınan B zemin sınıfı için belirlenmiştir. Bölgenin jeolojisi ve yerel zemin koşulları incelenmiş, eldeki veriler yapılan sismik kırılma deneyleri sonuçları ile birlikte gözden geçirilerek TDY'ne (2007) göre genel zemin grubu **"C"** olarak değerlendirilmiştir. Olasılıksal deprem tehlikesi İYBDY, EkA'da (2008) verilen Deprem Tehlikesi Haritaları kullanılarak değerlendirilmiştir. Son olarak ise deprem tasarım spektrumları belirlenerek İYBDY'nde (2008) tanımlandığı şekilde spektrum uyumlu deprem yer hareketleri seçilmiştir. Seçilen deprem yer hareketlerine ait D1, D2 ve D3 deprem düzeyleri için spektral ivme ve spektral deplasman bileşke spektrumları ve ortalamaları elde edilmiştir.



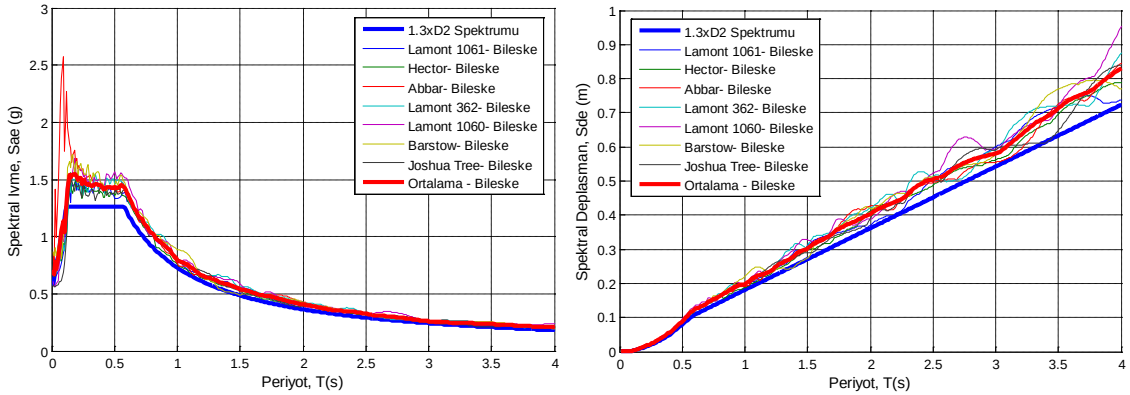
Şekil 6. Seçilen deprem yer hareketlerine ait (D1 deprem düzeyi için ölçeklenmiş) D1 deprem düzeyi için spektral ivme ve spektral deplasman Bileşke Spektrumları ve ortalamaları



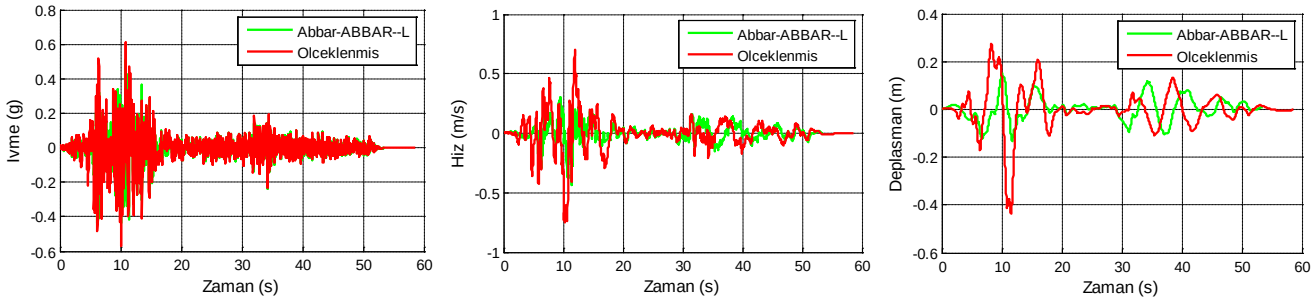
Şekil 7. Hector Mine, Hector istasyonu HEC000 bileşeni deprem yer hareketlerine ait ivme, hız ve deplasman grafikleri (orijinal ve D2 deprem düzeyi için ölçeklenmiş)



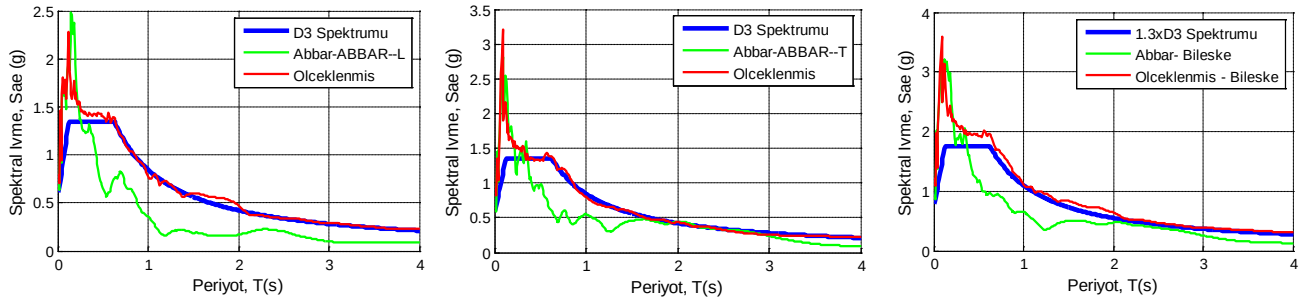
Şekil 8. Hector Mine, Hector istasyonu HEC000 ve -HEC090 bileşenleri deprem yer hareketleri (orijinal ve D2 deprem düzeyi için ölçeklenmiş) için spektral ivme ve D2 Deprem Düzeyi Tasarım Spektrumları ve Bileşke Spektrumlar



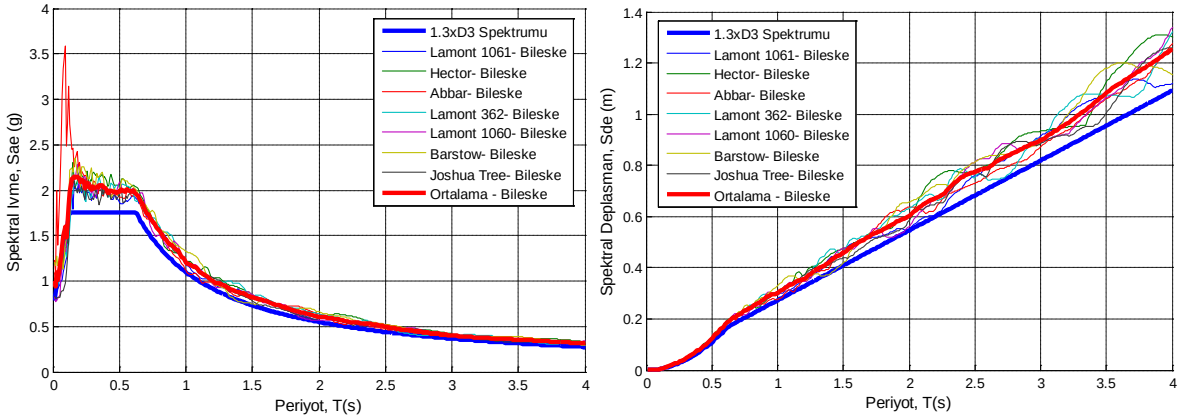
Şekil 9. Seçilen deprem yer hareketlerine ait (D2 deprem düzeyi için ölçeklenmiş) D2 deprem düzeyine ait için spektral ivme ve spektral deplasman Bileşke Spektrumları ve ortalamaları



Şekil 10. Manjil, İran depremi Abbar istasyonu ABBAR-L bileşeni deprem yer hareketlerine ait ivme, hız ve deplasman grafikleri (orijinal ve D3 deprem düzeyi için ölçeklenmiş)



Şekil 11. Manjil, İran depremi Abbar istasyonu Abbar-L ve -T bilşenleri deprem yer hareketleri (orijinal ve D3 deprem düzeyi için ölçeklenmiş) için spektral ivme ve D3 Deprem Düzeyi Tasarım Spektrumları ve Bileşke Spektrumlar



Şekil 12. Seçilen deprem yer hareketlerine ait (D3 deprem düzeyi için ölçeklenmiş) D3 deprem düzeyine ait için spektral ivme ve spektral deplasman Bileşke Spektrumları ve ortalamaları

KAYNAKLAR

Ambraseys, N.N. and Finkel, C.F. (1991). Long-Term Seismicity of Istanbul and of The Marmara Sea Region. *Terra Nova*, **3**, 527-539.

Atakan, K., Ojeda, A., Meghraoui, M., Barka, A.A., Erdik, M., and Bodare, A. (2002). Seismic Hazard in Istanbul Following the 17 August 1999 Izmit and 12 November 1999 Duzce Earthquakes. *Bull. Seismol. Soc. Am.*, **92:1**, 466-482.

Erdik, M., Demircioglu, M., Sesetyan, K., Durukal, E., and Siyahi, B. (2004). Assessment of Probabilistic Earthquake Hazard In The Marmara Region. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, **24**, 605-631.

Fahjan, Y. (2008). Selection and Scaling of Real Earthquake Accelerograms to Fit the Turkish Design Spectra. *Teknik Dergi*, **19:3**, 4423-4444.

İYBDY (2008). İstanbul Yüksek Binalar Deprem Yönetmeliği. Kandilli Rasathanesi ve Deprem Araştırma Enstitüsü, Deprem Mühendisliği Anabilim Dalı.

JICA-İBB (2004). The Study on A Disaster Prevention / Mitigation Basic Plan in Istanbul Including Seismic Microzonation in the Republic of Turkey, Main Report.

Kalkan, E., Gülkan, P., Yilmaz, N., and Çelebi, M. (2009). Reassessment of Probabilistic Seismic Hazard in the Marmara Region. *Bull. Seismol. Soc. Am.*,, **99:4**, 2127-2146.

Le Pichon, X., Chamot-Rooke, N., Rangin, C., and Sengor, A.M.C. (2003). The North Anatolian Fault In The Sea of Marmara. *J. Geophys. Res.*, **108**, B4, 2179, doi:101029/2002JB0011862.

Parsons, T. (2004). Recalculated Probability of M>7 Earthquake Beneath The Sea of Marmara, Turkey. *J. Geophys. Res.*, **109**, B05304, doi:10.1029/2003JB002667.

PEER (2006), NGA database, http://peer.berkeley.edu/nga/index.html.

TDY (2007). Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkındaki Yönetmelik. T.C. Bayındırlık ve İskan Bakanlığı