

DOKUZ EYLÜL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**BETONARME BİNALARIN DEPREM HASAR
MALİYETİNİN PERFORMANSA DAYALI
TASARIM YÖNTEMLERİ İLE BELİRLENMESİ**



Gülşah OLGUN

Temmuz, 2017

İZMİR

BETONARME BİNALARIN DEPREM HASAR MALİYETİNİN PERFORMANSA DAYALI TASARIM YÖNTEMLERİ İLE BELİRLENMESİ

Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü

Yüksek Lisans Tezi

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Yapı Programı

Gülşah OLGUN

Temmuz, 2017

İZMİR

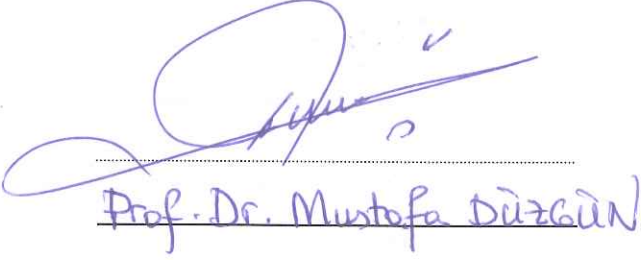
YÜKSEK LİSANS TEZİ SINAV SONUÇ FORMU

GÜLŞAH OLGUN, tarafından PROF. DR. YILDIRIM ERTUTAR yönetiminde hazırlanan “BETONARME BİNALARIN DEPREM HASAR MALİYETİNİN PERFORMANSA DAYALI TASARIM YÖNTEMLERİ İLE BELİRLENMESİ” başlıklı tez tarafımızdan okunmuş, kapsamı ve niteliği açısından bir Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

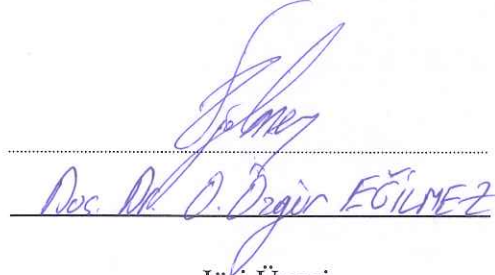


Prof. Dr. Yıldırım ERTUTAR

Yönetici



Jüri Üyesi



Jüri Üyesi



Prof. Dr. Emine İlknur CÖCEN

Müdür

Fen Bilimleri Enstitüsü

TEŞEKKÜR

Yüksek lisans eğitimimin başından sonuna kadar her zaman engin bilgi ve birikimleriyle yanımda olan değerli tez danışmanım Prof. Dr. Yıldırım Ertutar'a,

Lisans eğitimimden bu yana yol gösterici fikir ve yorumlarıyla bana her konuda yardımcı olan, her sorumu büyük bir özveri ile cevaplayan ve tezimin hazırlanmasında büyük katkısı olan değerli hocam Öğr.Gör. Dr. Özgür Bozdağ'a,

Hayatta her zaman yanımda olup bana destek olan sevgili annem Seher Olgun'a, babam Okan Olgun'a ve her zaman yol göstericim olan ablam Arş. Gör. Gülce Olgun Susta'ya ve tüm aileme,

Bu süreçte, bilgi ve birikimleriyle yanımda olup, her zaman varlıklarını hissettiren arkadaşlarım İnşaat Y. Mühendisi Uğur Can Erginağ ve İnşaat Y. Mühendisi Yunus Seyrek'e ,

Sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Gülşah OLGUN

BETONARME BİNALARIN DEPREM HASAR MALİYETİNİN PERFORMANSA DAYALI TASARIM YÖNTEMLERİ İLE BELİRLENMESİ

ÖZ

Son yıllarda deprem mühendisliğinde kullanılan tasarım ölçütleri değişmeye başlamış ve ekonomik faktörlerin tasarımdaki rolü giderek artmıştır. Özellikle deprem bölgesi olan ülkelerde, deprem sonrası oluşan hasarın giderilmesi devletleri büyük bir finansal yük altına sokmaktadır. Bu durum yapı performansının geliştirilmesini zorunlu hale getirmiştir. Buna yönelik çalışmalar performansa dayalı tasarım adı altında sürmektedir. Bu tasarım kavramında, oluşması muhtemel farklı şiddetteki depremler göz önünde bulundurularak, yapının sınıfına ve yatırımcının isteğine bağlı farklı performans seviyelerine göre tasarım yapılarak ekonomik kayıpların önüne geçilmesi amaçlanmaktadır. Ancak, esas ilkesi can güvenliğinden ödün vermeksizin makul fiyatlı tasarım yapılmasını sağlamak olan performansa dayalı tasarım yönetmeliklerinde, belirlenen performans seviyeleri maliyet ile ilişkilendirilmemektedir.

Bu çalışmada temel olarak, bir binada farklı şiddetteki depremlerin oluşma olasılığını göz önünde bulundurarak, binaların deprem hasar maliyetinin hesaplanması amaçlanmaktadır. Bunun için benimsenen yaklaşımda, olasılıksal yöntemlerle belirlenen sismik yük altında binada oluşacak hasarın çeşitli hasar seviyelerinde bulunması olasılığı ve bu seviyelerde oluşacak deprem hasar maliyeti belirlenmiştir. Binadaki hasarı ölçmek için ise, tasarım aşamasında kolaylık sağlayacak görelî kat öteleme oranı değişkeni kullanılmıştır.

Bahsedilen deprem hasar maliyeti, onarım/yenileme, varlık kaybı, yeniden yerleşme masrafı, can kayıpları ve yaralanmaların sebep olduğu ekonomik kayıp gibi bileşenlerden oluşmaktadır. Bu maliyetin hesaplanması amacıyla, 1.derece deprem bölgesi olan İzmir ilinin Bornova İlçesinde bulunan orta yükseklikte betonarme bir bina örnek olarak seçilmiş ve görelî kat ötelemelerinin belirlenmesi için doğrusal ve doğrusal olmayan çeşitli analiz yöntemleri uygulanmıştır. Bu yöntemler; tepki

spektrumu, artımsal itme ve zaman tanım alanında analiz yöntemleridir. Farklı analiz yöntemleri kullanılarak elde edilen görelî kat ötelemelerinin, binanın deprem hasar maliyetini nasıl etkilediğı karşılaştırmalı sonuçlar ile gösterilerek tartışılmıştır. Aynı zamanda, belli bir bölgede oluşması muhtemel deprem şiddetlerinin deprem hasar maliyetine etkileri tartışılmıştır.

Anahtar kelimeler: Olasılıksal sismik tehlike, binalar için deprem hasar maliyeti, hasar seviyeleri, performansa dayalı tasarım



INVESTIGATION OF EARTHQUAKE DAMAGE COST OF REINFORCED CONCRETE BUILDINGS BY USING PERFORMANCE BASED DESIGN METHODS

ABSTRACT

Design objectives in earthquake engineering has altered in recent years. Loss estimation of future earthquakes is of boosting importance since governments faces enormous financial burden to compensate for the damage incurred, especially in countries periodically affected by earthquakes. In order to deal with this, performance improvement of buildings is indispensable which already has been named as performance based design but is still not being used widely. In this concept, performance level of the building is described in terms of damage severity. However; as it is not a design parameter, damage cost corresponding to the performance level is not calculated in any stage of this method.

This paper mainly focuses on the earthquake induced cost of the building associated with the probability of structural response being in different limit states due to moderate to strong seismic events. The cost here includes diverse loss components such as economic, casualties, loss of function etc. In order to obtain this cost, an example mid-rise building residing in İzmir, which frequently undergoes different levels of earthquakes, has been selected. Although there are different approaches to associate earthquake induced cost with different damage levels buildings are exposed to, in this paper inter-story drift has been used as an effective response. Those structural analysis methods are response spectrum, time history and push-over analyses methods. Comparison of the results associated with inter-story drifts indicates that these methods provide a good estimation of earthquake induced cost.

To sum up, the main objective of this thesis is improving building's performance by considering the earthquake induced cost. Besides; various structural analysis methods have been suggested to obtain final results. Hence, one can opt for the

simpler method rather than cumbersome tasks. Advantages and disadvantages of those methods have been discussed in detail as a part of concluding remarks. Moreover, the contribution of each earthquake intensity level to earthquake induced cost has been discussed.

Keywords: Probabilistic seismic risk, earthquake damage cost, limit states, performance based design.



İÇİNDEKİLER

	Sayfa
YÜKSEK LİSANS TEZİ SINAV SONUÇ FORMU	ii
TEŞEKKÜR	iii
ÖZ	iv
ABSTRACT	vi
ŞEKİLLER LİSTESİ	xi
TABLolar LİSTESİ	xiii
BÖLÜM BİR - GİRİŞ.....	1
1.1 Çalışmanın Amacı	3
1.2 Çalışmanın Kapsamı.....	4
1.3 Literatürde Konu ile İlgili Yapılmış Çalışmalar.....	5
BÖLÜM İKİ - MÜHENDİSLİK YAPILARININ TASARIMINDA DEPREM HASAR MALİYETİNİN HESAPLANMASI	9
2.1 Yaşam Döngüsü Maliyet Analizi	9
2.2 Hasar Sınırlarının Belirlenmesi	10
2.2.1 Deprem Oluşumundaki Belirsizliğin Hesaba Katılması.....	15
2.2.1.1 Sismik Tehlike Eğrisi.....	16
2.2.2 Beklenen Deprem Hasar Maliyeti	17
2.2.2.1 Net Bugünkü Değer ve Faiz Oranı.....	17
2.2.2.2 Beklenen Deprem Hasar Maliyetinin Hesaplanması	19
2.2.3 Binanın Her Bir Hasar Seviyesinde Bulunma Olasılığı	22

2.2.4 Bina Yapım Maliyeti ve Her Bir Hasar Seviyesinde Oluşacak Deprem Hasar Maliyeti	23
2.2.4.1 Bina Yapım Maliyeti.....	24
2.2.5 Her Bir Hasar Seviyesinde Oluşacak Deprem Hasar Maliyeti	25
BÖLÜM ÜÇ - BİNALARIN DEPREM HASAR MALİYETİNİN BELİRLENMESİ İÇİN TEZ KAPSAMINDA KULLANILAN YÖNTEM	27
3.1 Olasılıksal Sismik Tehlike Analizi.....	27
3.2 Sismik Tehlike Eğrisi	28
3.3 Deprem Kayıtlarının Seçimi ve Ölçeklenmesi	32
BÖLÜM DÖRT - SAYISAL UYGULAMA	35
4.1 İncelenen Binanın Özellikleri.....	35
4.1.1 Analizlerde Kullanılan Modelin Oluşturulması.....	38
4.2 Sismik Girdinin Oluşturulması.....	40
4.3 Tepki Spektrumlarının Elde Edilmesi	44
4.3.1 Deprem Kayıtlarının Seçimi	45
4.4 Yapısal Analizler	58
4.5 Binanın Her Bir Hasar Seviyesinde Bulunma Olasılığı	65
4.6 Her Bir Hasar Seviyesinde Oluşacak Maliyetler.....	71
4.6.1 Yapım Maliyetinin Tahmini	71
4.6.2 Deprem Hasar Maliyetinin Tahmini	72
BÖLÜM BEŞ - SONUÇLAR VE ÖNERİLER	79
5.1 Sonuçlar.....	79

5.2 Öneriler ve Tartışma.....	81
KAYNAKLAR	83



ŞEKİLLER LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2.1 ATC-58 (2012a) tarafından bölgesel sismik riskin belirlenmesi amacıyla önerilen sismik tehlike eğrisi yaklaşımı.....	17
Şekil 3.1 DLH (2008) kapsamında verilen tasarım spektrumu.....	31
Şekil 4.1 Kat planı.....	37
Şekil 4.2 Binanın düşey görünüşü.....	37
Şekil 4.3 Kolon donatı detayları	39
Şekil 4.4 P101-P102 perdeleri donatı detayları.....	40
Şekil 4.5 P103-P104-P105-P106 perdeleri donatı detayları	40
Şekil 4.6 D1, D2 ve D3 deprem seviyelerine ait tepki spektrumları.....	42
Şekil 4.7 Sismik tehlike eğrisi.....	43
Şekil 4.8 Tasarım ivme-tepki spektrumu	44
Şekil 4.9 Normalizasyon ile 5 adet deprem şiddeti (e_i) için elde edilen tepki spektrumları.....	45
Şekil 4.10 Türkiye geneli kaynak bölgelendirmesi modeli (DLH, 2008).....	47
Şekil 4.11 Hedef spektrum, seçilen deprem kayıtlarına ait spektrumlar ve ortalama spektrum.....	51
Şekil 4.12 1979 Imperial Valley depreminin faya dik bileşenine ait ivme kaydı	52
Şekil 4.13 1979 Imperial Valley depreminin faya paralel bileşenine ait ivme kaydı	52
Şekil 4.14 1990 Manjil depreminin faya dik bileşenine ait ivme kaydı.....	53
Şekil 4.15 1990 Manjil depreminin faya paralel bileşenine ait ivme kaydı.....	53
Şekil 4.16 1984 Morgan depreminin faya dik bileşenine ait ivme kaydı.....	54
Şekil 4.17 1984 Morgan depreminin faya paralel bileşenine ait ivme kaydı.....	54
Şekil 4.18 1992 Landers depreminin faya dik bileşenine ait ivme kaydı	55
Şekil 4.19 1992 Landers depreminin faya paralel bileşenine ait ivme kaydı	55
Şekil 4.20 1992 Big Bears depreminin faya dik bileşenine ait ivme kaydı	56
Şekil 4.21 1992 Big Bears depreminin faya paralel bileşenine ait ivme kaydı	56
Şekil 4.22 1999 Hector Mine depreminin faya dik bileşenine ait ivme kaydı.....	57
Şekil 4.23 1999 Hector Mine depreminin faya paralel bileşenine ait ivme kaydı	57
Şekil 4.24 1999 Chi-Chi depreminin faya dik bileşenine ait ivme kaydı	58

Şekil 4.25 1999 Chi-Chi depreminin faya paralel bileşenine ait ivme kaydı	58
Şekil 4.26 PGA=0,15 g için ortalama ve ortalama+1ss spektrumları	60
Şekil 4.27 PGA=0,34 g için ortalama ve ortalama+1ss spektrumları	61
Şekil 4.28 0,50 g için ortalama ve ortalama+1ss spektrumu	61
Şekil 4.29 PGA=0,72 g için ortalama ve ortalama+1ss spektrumları	62
Şekil 4.30 PGA=0,90 g için ortalama ve ortalama+1ss spektrumları	62
Şekil 4.31 PGA=0,15 g için katlardaki maksimum yer değiştirme ve görelî kat ötelemeleri	63
Şekil 4.32 PGA=0,34 g için katlardaki maksimum yer değiştirme ve görelî kat ötelemeleri	63
Şekil 4.33 PGA=0,50 g için katlardaki maksimum yer değiştirme ve görelî kat ötelemeleri	64
Şekil 4.34 PGA=0,72 g için katlardaki maksimum yer değiştirme ve görelî kat ötelemeleri	64
Şekil 4.35 PGA=0,90 g için katlardaki maksimum yer değiştirme ve görelî kat ötelemeleri	65

TABLÖLAR LİSTESİ

Sayfa

Tablo 2.1 Çeşitli raporlarda belirtilen performans düzeyi ve kat öteleme oranları ...	11
Tablo 2.2 ATC-13 (1985) kapsamında verilen hasar durumları ve merkezi hasar çarpanları.....	12
Tablo 2.3 Hasar çarpanlarına karşılık gelen göreceli kat ötelemesi sınırları.....	12
Tablo 2.4 ATC-13 (1985) ve FEMA-227 (1992) tarafından önerilen hasar parametreleri.....	14
Tablo 3.1 Kısa periyot zemin katsayısı F_a	30
Tablo 3.2 1.0 s periyodu zemin katsayısı F_v	30
Tablo 4.1 Bina genel özellikleri	35
Tablo 4.2 Malzeme özellikleri	36
Tablo 4.3 Bina analizlerinde kullanılan yükler	36
Tablo 4.4 Y yönü analiz sonuçları	38
Tablo 4.5 X yönü analiz sonuçları	38
Tablo 4.6 Kolon en kesit boyutları ve donatıları	39
Tablo 4.7 Perde en kesit boyutları ve donatıları	39
Tablo 4.8 Deprem seviyelerine karşılık gelen yıllık aşılma oranları	41
Tablo 4.9 Kısa periyot ve 1,0 sn periyoduna karşı gelen spektral ivme değerleri	41
Tablo 4.10 Tasarım spektral ivme değerleri	42
Tablo 4.11 Pik zemin ivmesi (PGA) değerleri.....	43
Tablo 4.12 Belirlenen yer ivmesi şiddetleri ve karşılık gelen yıllık aşılma oranları ..	44
Tablo 4.13 Kaynak bölgelerinin karakteristik özellikleri	46
Tablo 4.14 Seçilen deprem kayıtları ve bu kayıtlara ait belirleyici parametreler	51
Tablo 4.15 PGA=0,15 g için zaman tanım alanında analiz ile elde edilen sonuçlara göre P_{ij} değerleri	66
Tablo 4.16 PGA=0,15 g için artımsal ivme analizi ile elde edilen sonuçlara göre P_{ij} değerleri.....	66
Tablo 4.17 PGA=0,15 g için tepki spektrumu analizi ile elde edilen sonuçlara göre P_{ij} değerleri.....	66

Tablo 4.18 PGA=0,34 g için zaman tanım alanında analiz ile elde edilen sonuçlara göre P_{ij} değerleri	67
Tablo 4.19 PGA=0,34 g için artımsal itme analizi ile elde edilen sonuçlara göre P_{ij} değerleri.....	67
Tablo 4.20 PGA=0,34 g için tepki spektrumu analizi ile elde edilen sonuçlara göre P_{ij} değerleri.....	67
Tablo 4.21 PGA=0,50 g için zaman tanım alanında analiz ile elde edilen sonuçlara göre P_{ij} değerleri	68
Tablo 4.22 PGA=0,50 g için artımsal itme analizi ile elde edilen sonuçlara göre P_{ij} değerleri.....	68
Tablo 4.23 PGA=0,50 g için tepki spektrumu analizi ile elde edilen sonuçlara göre P_{ij} değerleri.....	68
Tablo 4.24 PGA=0,72 g için zaman tanım alanında analiz ile elde edilen sonuçlara göre P_{ij} değerleri	69
Tablo 4.25 PGA=0,72 g için artımsal itme analizi ile elde edilen sonuçlara göre P_{ij} değerleri.....	69
Tablo 4.26 PGA=0,72 g için tepki spektrumu analizi ile elde edilen sonuçlara göre P_{ij} değerleri.....	69
Tablo 4.27 PGA=0,90 g için zaman tanım alanında analiz ile elde edilen sonuçlara göre P_{ij} değerleri	70
Tablo 4.28 PGA=0,90 g için artımsal itme analizi ile elde edilen sonuçlara göre P_{ij} değerleri.....	70
Tablo 4.29 PGA=0,90 g için tepki spektrumu analizi ile elde edilen sonuçlara göre P_{ij} değerleri.....	70
Tablo 4.30 Hasar maliyetlerinin hesaplanmasında kullanılan birim fiyatlar	76
Tablo 4.31 Farklı analiz yöntemleri ile elde edilen deprem hasar maliyetleri.....	78

BÖLÜM BİR

GİRİŞ

Ülkemizde en sık görülen doğal afetlerden biri olan depremler, tasarım ölçütlerindeki yeniliklere ve gelişen malzeme ve yapım tekniklerine rağmen günümüzde hala önemli can ve mal kayıplarına sebep olmaktadır. Örneğin, ülkemizin yakın geçmişinde meydana gelen 1999 Marmara depremi, ciddi ölçüde yaralanma ve can kaybına, bunun yanısıra etkisi uzun süre devam eden ekonomik kayıplara neden olmuştur. İçişleri Bakanlığı Afet Bölge Koordinatörlüğü tarafından açıklanan resmi rakamlara göre bu depremde, 17.840 kişi hayatını kaybetmiş 43.953 kişi de yaralanmıştır. Ayrıca, deprem sonrası yapılan hasar tespit çalışmaları sonucunda 120.000 konutun onarılamayacak şekilde hasarlı, 30.000 konutun ağır hasarlı olduğu belirlenmiştir. Deprem sonrasında ise, gelir kaybı, yapı stoklarının yenilenmesi, altyapıdaki hasarın giderilmesi, sosyal hizmet giderleri, kriz yönetimi giderleri ve endüstriyel kayıplar gibi dolaylı ekonomik sonuçlar ortaya çıkmıştır. Bu nedenle, deprem sonrası yaşanacak maddi kaybın öngörülebilmesi ve önlenmesi Türkiye gibi deprem tehlikesi altındaki ülkelerin ekonomisi için oldukça önemlidir.

Son yıllarda depreme dayanıklı bina tasarımı ölçütleri de, depremlerde yaşanan can ve mal kayıplarını azaltmak amacıyla sıklıkla güncellenmektedir. Yenilenen yönetmeliklerde maliyet faktörü oldukça önemli hale gelmiştir. Bunun temel sebebi, tasarım deprem seviyesinin altında kalan küçük ve orta büyüklükteki depremlerin bile binalarda önemli yapısal ve yapısal olmayan hasara neden olması ve bu durumun ciddi ölçüde ekonomik kayba yol açmasıdır. Bu durum depreme dayanıklı bina tasarımında can güvenliğinden ödün vermeyecek şekilde maliyet faktörünü temel alan yeni bir bakış açısının oluşmasını sağlamıştır. Bu yaklaşım daha sonra performansa dayalı tasarım adı altında geliştirilerek günümüzde pek çok depreme dayanıklı bina tasarım yönetmeliğinde kullanılır hale gelmiştir. Yeni nesil bir tasarım şekli olan performansa dayalı tasarımda, makul bir fiyatla arzu edilen yapı performansının sağlanması hedeflenmektedir. Bu yöntemin uygulanmasında, tasarım mühendisi yatırımcının arzusunu da göz önünde bulundurarak ekonomik ve arzu edilen performans talebini karşılayan tasarımı yapmakla yükümlüdür. Bu yöntem,

yeni yapılacak binaların tasarımında veya mevcut binaların sismik olarak güçlendirilmesinde kullanılabilir. Bu tasarım yaklaşımında, oluşması muhtemel farklı şiddetteki depremler göz önünde bulundurularak, yapının sınıfına göre talep edilen performans seviyesi için hesap yapılmaktadır. Bu şekilde beklenmedik ekonomik kayıpların önüne geçilmesi amaçlanmaktadır. Bu yöntemde yaygın olarak kullanılan kesintisiz kullanım, hemen kullanım, can güvenliği, göçmenin engellenmesi olmak üzere dört adet performans seviyesi dikkate alınmaktadır. Bu seviyelere karşılık gelen deprem şiddetleri ise farklı yineleme olasılıklarına sahiptir ve bir binanın servis ömrü boyunca karşılaşılabileceği çeşitli deprem senaryolarını hesaba katacak şekilde belirlenmiştir.

Ülkemizde, günümüzde halen yürürlükte olan Türk Deprem Yönetmeliği [TDY], 2007 kapsamında tek bir performans seviyesine göre tasarım yapılmaktadır. Bu yönetmelikte, belli bir şiddetin üstündeki depremlerde can güvenliğinin sağlanması tasarımın gerek ve yeter koşulu olarak ele alınmaktadır. Ancak bu yaklaşımda, deprem sonucunda oluşacak yapısal ve yapısal olmayan hasar maliyetleri, doğrudan tasarım kriteri olarak dikkate alınmamaktadır. Bu nedenle, yapının kullanım sınıfına da bağlı olarak, arzu edilen performans seviyesine göre esnek bir tasarıma imkan veren performansa dayalı tasarım ilkesinin ülkemizdeki yapı stoğunun yenilenmesinde ve yeni yapılacak tasarımlarda esas alınması oldukça önemlidir.

Performansa dayalı tasarım yaklaşımı, yeni nesil depreme dayanıklı bina tasarımında oldukça önemli bir gelişme olmasına karşın, performans ölçütlerinde, deprem sonrası oluşacak hasarın sebep olacağı maliyet bir tasarım parametresi olarak göz önüne alınmamaktadır. Dolayısıyla bu yönetmelikler, tasarımı yapan mühendisin performans seviyesini belirlerken en ekonomik tasarımı yapmasına yardımcı olmamaktadır. Bu nedenle bu yönetmeliklerde maliyet parametresinin de bulunması önemli bir ihtiyaçtır.

Bu çalışmada öncelikle belli bir bölgenin sismik özellikleri (aktif fay kaynaklarına olan mesafesi, aktif fay kaynaklarının karakteristik özellikleri, zemin özellikleri) dikkate alınarak bu bölgede gelecekte oluşabilecek deprem şiddetlerinin belirlenmesi

için bir yaklaşım anlatılmıştır. Daha sonra belirlenen deprem şiddetlerinin oluşması durumunda binada oluşacak hasarın sebep olacağı maddi kaybın n görülebilmesi için pratik bir yöntem ele alınmıştır. Bu yöntemde binanın deprem sonrası önceden belirlenen hasar seviyelerinden her birinde bulunması durumunda ortaya çıkacak maliyet olasılıksal olarak hesaplanmaktadır.

Açıklanan yöntem daha sonra, İzmir'in Bornova ilçesinde bulunan 7 katlı betonarme bir konut binasına uygulanmıştır. Bunun için öncelikle depremin oluşumundaki belirsizlikleri hesaba katmak amacıyla olasılıksal sismik tehlike eğrisinden faydalanılmıştır. Daha sonra, bu eğriye göre belirlenen deprem şiddetlerine bağlı olarak elde edilen sismik yükler analiz modeline etkitilmiştir. Doğrusal ve doğrusal olmayan yöntemlerin, deprem hasar maliyetini nasıl etkilediğini görebilmek amacıyla üç farklı analiz yöntemi kullanılmıştır. Kullanılan yöntemler, tepki spektrumu, statik itme ve zaman tanım alanı analiz yöntemleridir. Bu yöntemlerin her biriyle ölçülen yapısal tepkinin, önceden tanımlanmış olan her bir hasar seviyesinde bulunması durumunda oluşması beklenen deprem hasar maliyeti olasılıksal olarak hesaplanmıştır. Burada bahsedilen deprem hasar maliyeti; binada oluşan yapısal ve yapısal olmayan hasarın onarım maliyeti, onarım süresince yaşanacak gelir kaybı ve taşınma/kira masrafı gibi deprem sonrası oluşabilecek çeşitli maddi kayıpları içermektedir.

1.1 Çalışmanın Amacı

Günümüz deprem yönetmeliklerinde binaya etkimesi olası deprem yükleri, belirli bir yinleme sıklığına sahip deprem şiddetlerine göre belirlenmektedir. Ancak bu deprem yükleri altında, binada oluşacak hasarın düzeyi ve buna bağlı ortaya çıkması beklenen maliyet doğrudan belirlenememektedir. Bu nedenle, hem yapısal güvenliği hem de hasar maliyetini dikkate alan yeni tasarım yöntemlerine ihtiyaç vardır.

Bu çalışmada, binalarda olası bir deprem sonucu yaşanacak maddi kaybın öngörülebilmesi için literatürde yer alan çalışmalardan derlenen bir hesap yöntemi, ülkemize adapte edilmiştir. Bu yöntemde, binalar için yaşam döngüsü maliyetinin de

bir parçası olan deprem hasar maliyetinin olasılıksal yöntemle hesaplanması amaçlanmaktadır. Yaşam döngüsü maliyetinde bunun dışında yapım maliyeti ve sürdürme maliyeti bileşenleri de bulunmaktadır. Bu çalışmada, depremle ilgili olmayan sürdürme maliyeti ihmal edilerek, tasarım aşamasında tasarımcıya fayda sağlayacak ve maliyeti doğrudan tasarımın bir aşaması haline getirecek bir yaklaşım incelenmiştir.

1.2 Çalışmanın Kapsamı

Bu çalışma 5 bölümden oluşmaktadır. Birinci bölümde, konu ile ilgili genel bilgi verilerek, çalışmanın amacı, yöntemi ve kapsamı açıklanmış ve literatürde konuyla ilgili yapılan çalışmalar özetlenmiştir.

İkinci bölümde; yaşam döngüsü maliyeti anlatılarak, binalarda, bu maliyetin bir bileşeni olan deprem hasar maliyetinin öngörülmesi için bir yaklaşım anlatılmıştır. Ayrıca bu yaklaşımın uygulamasında kullanılan yönetmelik ve önemli raporlar incelenmiştir.

Üçüncü bölümde, bu yaklaşımın Türkiye’de bulunan bir binaya nasıl uyarlanabileceği ile ilgili bu tez kapsamında kullanılan yaklaşım ve kaynaklar açıklanmıştır. Bu kapsamda, depremlerin oluşumundaki belirsizliklerin bölgesel olarak nasıl hesaba katılacağı, bunun için kullanılacak yönetmelikler ve binada deprem sonrası oluşacak çeşitli maliyet bileşenlerinin yerel verilerle nasıl hesaplanabileceği anlatılmaktadır.

Dördüncü bölümde, anlatılan yöntemin İzmir’de bulunan 7 katlı betonarme bir konut binası için uygulaması yapılmıştır. Binanın olasılıksal yöntemlerle elde edilen deprem şiddetlerine maruz kalması durumunda, hangi hasar seviyesinde kalacağının belirlenmesi için doğrusal ve doğrusal olmayan analiz yöntemlerine başvurulmuştur. Bu yöntemler, zaman tanım alanında analiz, artımsal itme analizi ve tepki spektrumu analizidir.

Beşinci bölümde ise, farklı yapısal analiz yöntemleri kullanılarak elde edilen yapısal tepki değerlerinin maliyet üzerindeki etkisi sayısal değerlerle karşılaştırılmıştır. Buna bağlı olarak, uygulanması daha pratik olan doğrusal analiz yönteminin, deprem hasar maliyetinin hesaplanmasındaki etkinliği incelenerek sonuçlar tartışılmıştır. Ayrıca, farklı seviyelerdeki deprem şiddetlerinin bu maliyete etkisi tartışılmıştır.

1.3 Literatürde Konu ile İlgili Yapılmış Çalışmalar

Performansa dayalı tasarımda oldukça hassas bir konu olan performans seviyelerinin belirlenmesi konusunda Structural Engineers Association of California (SEAOC, 1995) tarafından yayınlanan raporda günümüzde de sıklıkla kullanılan dört adet performans seviyesi belirlenmiştir. Bunlar, kesintisiz kullanım, hemen kullanım, can güvenliği, göçmenin engellenmesi performans seviyeleridir. Burada dikkat edilmesi gereken konulardan birisi performans seviyelerinin nasıl mühendislik verilerine dönüştürüleceğidir. Bununla ilgili yapılan çalışmalar sonucu ortaya çıkan yaygın görüşlerden bir tanesi, bina performansının görece kat ötelemeleri kullanılarak ölçülmesidir. Bu konuda SEAOC (1995) ve FEMA (FEMA-273, 1997; FEMA-274 1997; FEMA-356, 2000) tarafından yayımlanan ve yer değiştirmeye dayalı tasarımı esas alan raporlar bulunmaktadır. Ancak bu raporlarda, hedef performans seviyesinde tasarım yapılması durumunda karşılaşılabilecek ekonomik kayıp ile ilgili herhangi bir bilgi verilmemektedir. Oysa bu ekonomik kaybın öngörülüp performans seçiminde göz önünde bulundurulabilmesi uzun vadede ekonomik yapılar üretebilmek için oldukça önemlidir.

Whitman, Hong, ve Reed (1973) tarafından, San Fernando depreminde oluşan hasarı inceleyen çalışma, deprem hasarının standardize edilebilmesi amacıyla yapılmış önemli çalışmalardan biridir. Bu çalışmada, her bir hasar seviyesinin farklı şiddetteki depremler altında oluşma olasılığını göz önünde bulunduran ve bu hasar seviyelerine karşılık gelen hasar şiddetini temsil eden hasar çarpanlarının kullanımı önerilmiştir. Daha sonra bu yaklaşım ATC-13 (1985) tarafından 40 binadan oluşan

78 tesis için revize edilip geliştirilerek deprem hasar değerlendirmelerinde kullanılması için rapor halinde sunulmuştur.

FEMA raporları (FEMA-227, 1992; FEMA-228, 1992) da ATC-13 (1985)'de verilen yaklaşıma benzer bir yaklaşımla, deprem tehlikesi altındaki binaların fayda maliyet analizine ilişkin veri ve yöntem sunmaktadır. Bu raporlarda da, farklı şiddetlerdeki depremlerin sebep olduğu hasar seviyeleri, çeşitli binalardan toplanan verilerle oluşturulan hasar çarpanları ve diğer hasar parametreleri (yaralanma-can kaybı oranı, işlev kaybı süresi vs.) ile hesaba katılmıştır. Bu rapor, deprem veya benzeri bir tehlike sonrası oluşacak hasar maliyetini minimize etmeyi amaçlamaktadır ve bu maliyetin hesabında yükün oluşumundaki zaman, şiddet, süre gibi belirsizlikler hesaba katılmaktadır.

Kanda ve Ellingwood (1991) tarafından yapılan çalışmada, deprem güvenilirliğine dayalı optimum tasarımın yönetmeliklerde uygulanabilmesi için tasarım yük ve yük çarpanları önerilmiştir. Yapılan optimizasyonda, minimum maliyet kriteri kullanılmıştır.

Hendawi ve Frangopol (1994) tarafından yapılan çalışmada, binaların deprem güvenilirliğine, malzeme davranışı, yük ve dayanım değişkenliği, yapısal hasar, eleman sayısı gibi faktörlerin etkisi incelenmiştir. Bu çalışmada, her bir bina için değişken olan yapısal bileşenlerin standardize edilerek güvenilirliğe dayalı tasarımda kullanılması amaçlanmıştır.

Collins, Wen ve Foutch (1996) tarafından yapılan çalışma, binaların deprem güvenilirliği konusunu ele almaktadır. Bu çalışmada özellikle, performans hedeflerinin, hasar seviyesi olasılıklarına bağlı olarak belirtilmesinin ve daha sonra bu performans hedefine karşılık gelen maliyetin bulunmasının gerekliliğine vurgu yapmışlardır. Bu çalışmada, güvenilirlik ile maliyet arasındaki ilişkinin kurulması ve yönetmeliklerde bulunması gerektiği vurgulanmıştır.

Ang ve Leon (1997), tarafından yapılan çalışmada, daha önce mevcut binalar için yapılan fayda-maliyet analizlerini tasarım aşamasında kullanmak hedeflenmiştir. Bu amaçla, Mexico City ve Tokyo’da bulunan betonarme binaların maliyet esaslı tasarımına yönelik bir çalışma yapılmıştır. Bu kapsamda, deprem sonrası oluşan yapısal ve yapısal olmayan hasarın yanı sıra yaralanma ve can kayıpları da göz önünde bulundurulmuştur. Yapılan çalışma sonucunda toplam maliyet ve optimum dizaynı etkileyen en önemli maliyetin binadaki yapısal ve yapısal olmayan hasar olduğu görülmüştür.

Wen ve Foutch (1997) tarafından yapılan çalışmada bina güvenilirliği konusu ele alınmış ve çeşitli öneriler sunulmuştur. Bu çalışmada, bina performans hedeflerinin, deprem sonrası oluşacak yapısal tepkinin belirli hasar seviyelerinde kalma olasılıklarına göre belirlenmesi gerektiği ve fayda maliyet ilişkisinin performans hedefi seçimindeki önemi vurgulanmıştır.

Wen ve Kang (2001a; 2001b) tarafından yapılan çalışmada, makul maliyetle, arzu edilen performans seviyesinin elde edilmesi için, bina yaşam döngüsü maliyetinin ve binanın karşılaşacağı yüklemdeki belirsizliğin hesaba katılması gerektiği vurgulanmıştır ve bu maliyetin hesaplanabilmesi için pratik bir yaklaşım önerilmiştir. Bu yöntemle, binanın maruz kalabileceği rüzgar ve/veya deprem gibi tehlikelerin sonucunda oluşacak maddi kaybın hesaplanması amaçlanmaktadır. Bu yöntemde, deprem sonrası oluşacak hasara bağlı olarak, doğrudan yapısal ve yapısal olmayan elemanların işlevlerini geri kazanması için yapılan onarım ve yenileme maliyetinin yanı sıra bu hasarın sonucunda dolaylı olarak oluşacak kayıplar da ele alınmaktadır. Bu kayıplar; gelir kaybı, taşınma ve kira maliyeti, can kaybı ve yaralanmaların sebep olacağı maddi kayıp gibi bileşenlerden oluşmaktadır.. Binalar için yaşam döngüsü maliyetinin bir bileşeni olan sürdürme maliyeti bu yaklaşımda ihmal edilerek yalnızca bahsedilen tehlikelerden birinin veya daha fazlasının binanın servis ömrü boyunca ortaya çıkması durumunda oluşacak maddi kayıp ele alınmaktadır.

ATC-58 (2012a; 2012b; 2012c) tarafından hazırlanmış, oldukça kapsamlı bir fayda-maliyet analizi yöntemi öneren çeşitli raporlar bulunmaktadır. Bu raporlarda,

performansa dayalı tasarıma katkı sağlayacak maliyet parametresi üzerinde çalışılmıştır. Önerilen yöntemde, depremin oluşumundaki ve binanın bu depreme vereceği yapısal tepkideki belirsizlik hesaba katılarak, bina performansı deprem sonucunda oluşması muhtemel ekonomik kayıplarla ilişkilendirilmektedir. Burada bahsedilen ekonomik kayıplar, depremde oluşacak hasarın doğrudan sebep olduğu binanın onarımı veya yenilenmesi için gereken maliyet ve oluşan hasar sebebiyle dolaylı olarak ortaya çıkacak taşınma ve kira masrafı, gelir kesintisi, varlık kaybı, yaralanma ve can kayıplarının sebep olacağı maliyet gibi başlıkları içermektedir. Bu raporlarda anlatılan yöntem, herhangi bir binaya uygulanabilecek kadar genelleştirilmiştir, ancak deprem sonrası oluşacak hasarı performans hasar seviyeleri ile ilişkilendirebilmek için her bir elemanın detaylı bir şekilde kırılma özelliklerinin belirlenmesi gerekmektedir. Bu süreç, çeşitli laboratuvar testlerini ve bu testlerin sonuçlarının analitik olarak değerlendirilmesini ve aynı zamanda geçmiş depremlerle ilgili istatistiksel verilerin kullanımını gerektirmektedir.

Shin ve Singh (2014) tarafından yapılan çalışmada, binaların deprem performansının geliştirilmesi amacıyla viskoz sönüm cihazlarının, optimum kullanımını sağlamak hedeflenmiştir. Bunun için, daha önce Wen ve Foutch (1997) tarafından önerilen yaklaşım ile binanın yaşam döngüsü maliyeti hesaplanarak, bu maliyetinin minimum değerini veren viskoz sönüm kullanım belirlenmiştir. Yaşam döngüsü maliyetinin hesabında farklı seviyelerdeki hasar ve sonuçları, depremlerin oluşumundaki belirsizlik hesaba katılarak, Wen ve Kang (2001a; 2001b) tarafından önerilen yaklaşıma benzer bir yaklaşım kullanılmıştır.

BÖLÜM İKİ

MÜHENDİSLİK YAPILARININ TASARIMINDA DEPREM HASAR MALİYETİNİN HESAPLANMASI

2.1 Yaşam Döngüsü Maliyet Analizi

Günümüzde köprüler, binalar gibi birçok mühendislik yapısının tasarımında, yapım maliyeti ve yapının servis ömrü boyunca karşılaştacağı maliyetleri hesaba katarak yapılan yaşam döngüsü maliyet analizi oldukça önemli hale gelmiştir. Buradaki maliyet, sistemin ilk yapıldığındaki fonksiyonlarını servis ömrü boyunca devam ettirebilmesi için harcanacak paranın günümüz değeridir. Dolayısıyla deprem mühendisliği için bu maliyet genel olarak; yapım maliyeti, sürdürme maliyeti ve deprem hasar maliyeti bileşenlerini içermektedir.

Yapım maliyeti binanın yapısal ve yapısal olmayan elemanlarının inşası, mimari giderler dahil olmak üzere ruhsat alınıncaya kadar binaya yapılan her türlü masrafı ifade eder.

Sürdürme maliyeti, binanın ilk günkü işlevlerini koruyabilmesi için gerekli masrafı ifade etmektedir ve yapısal olmayan elemanların onarımı veya yenilenmesi gibi pek çok masraf kalemini içermektedir.

Deprem hasar maliyeti, gelecekte oluşabilecek bir deprem sonrasında ortaya çıkabilecek her türlü doğrudan ve dolaylı maliyetin günümüz değerine çevrilmiş halini ifade etmektedir. Bu kapsama giren maddi kayıplar ATC-13 (1985) ve FEMA-227 (1992) tarafından hazırlanan raporlarda, onarım/yenileme maliyeti, taşınma maliyeti, kişisel varlığın kaybı, gelir kaybı, yaralanma ve can kayıplarının sebep olduğu maddi kayıp şeklinde sınıflandırılmıştır.

Bu çalışma kapsamında anlatılan yöntemde, yaşam döngüsü maliyetinin depremle ilgili olmayan sürdürme bileşeni ihmal edilmiştir. Dolayısıyla, yapım maliyeti ve deprem hasar maliyetini içeren toplam ekonomik kayıp elde edilmiştir.

2.2 Hasar Sınırlarının Belirlenmesi

Depremde oluşacak hasarın tahmini, performansa dayalı tasarım da dahil olmak üzere günümüzde kullanılan birçok mühendislik çalışmasının önemli basamaklarından biridir. Performansa dayalı tasarım kapsamında güvenilir hasar tahmini yapılabilmesi için oldukça detaylı bir çalışma gerekmektedir. Örneğin, yapının yük-deformasyon talebini belirlemek için, beklenen şiddetlerde depremler için kapsamlı dinamik analizler yapılmalıdır. Ayrıca yapısal tepkiyi performans seviyeleri ile ilişkilendiren hasar seviyelerinin sınırlarını belirlemek için, elemanların belli şiddetlerdeki sismik etkiye maruz bırakılması sonucu oluşacak hasarın titiz deneysel çalışmalarla sınıflandırılması gerekmektedir. Ancak bu yapısal parametrelerin belirlenmesindeki güçlük ve depremin oluşumundaki belirsizlik, bu detaylı çalışmanın etkinliğini azaltmaktadır. Bu nedenle tasarım aşamasında daha basit ama gerçekçi bir yöntem ihtiyacı duyulmaktadır.

Sismik yükler altında yapı çeşitli şekillerde deforme olur. Örneğin; düğüm noktalarındaki dönme, kayma deformasyonu, yapısal elemanlardaki eğilme vs. yapılan analizler sonucu elde edilebilecek yapısal tepkilerden bazılarıdır. Bu deformasyonlardan herhangi birinin gereğinden fazla olması, yapısal ve yapısal olmayan elemanlarda aşırı gerilmelere neden olacak ve yapı hasar görecektir. Detaylı bir maliyet hesabında bu deformasyonlar kullanılarak hasar seviyeleri belirlenebilir. Ancak tasarımın ön aşaması olarak maliyet hesabı yapılıyorsa, daha pratik bir değişkene ihtiyaç vardır. Bu nedenle hasar tahmini ile ilgili yapılan birçok çalışmada kullanılan hasar seviyesi değişkeni yer değiştirme veya görel kat ötelemesidir.

Performansa dayalı tasarımda da yer değiştirme değişkeni özellikle son yıllarda daha da önem kazanmaya başlamıştır. Yaşam döngüsü analizlerinde kullanılan yaygın bir yazılım olan HAZUS (2015)'da kullanılan kapasite spektrumu yönteminin de temelini yer değiştirmeye dayalı tasarım oluşturmaktadır. Bu şekilde yer değiştirmeye dayalı tasarımı esas alan birçok rapor (FEMA-273, 1997; FEMA-356, 2000; SEAOC, 1995) bulunmaktadır. Bu raporlarda, tamamen işlevsel, hemen kullanım, can güvenliği ve göçmenin önlenmesi olmak üzere dört adet performans

seviyesi tanımlanmıştır. Bahsedilen yönetmeliklerde, en sık kullanılan üç seviye için verilen görelî kat ötelemesi sınırları Tablo 2.1’de verilmiştir. Dördüncü performans seviyesi olan tamamen işlevsel durum için görelî kat ötelemesi sınırları verilmemiş ancak yönetmelikler kapsamında öneri sunulmuştur.

Tablo 2.1 Çeşitli raporlarda belirtilen performans düzeyi ve kat öteleme oranları (Shin, 2010)

REFERANS	Performans Düzeyi ve Görelî Kat Ötelemesi Oranları		
	Göçmenin Önlenmesi	Can Güvenliği	Hemen Kullanım
FEMA-356	%5	%2,5	%0,7
FEMA-273	%4	%1,5	%0,6
SEAOC Vision 2000	%2,5	%1,5	%0,5

Yukarıda bahsedilen raporlarda da olduğu gibi binaların performansa dayalı tasarımı için genellikle üç ya da dört adet performans düzeyi yeterli görülmektedir. Buradaki can güvenliği performans seviyesi minimum performans düzeyi olup, yapısal ve yapısal olmayan elemanlarda önemli hasara sebep olmaktadır. Maksimum performans seviyesi olan hemen kullanım performans seviyesinde ise yapısal ve yapısal olmayan elemanların alacağı hasar, yönetmelik tarafından hasar seviyesi çok düşük mertebelerde olacak şekilde sınırlandırılmıştır. Bu durum, arzu edilen ara performans seviyeleri için oldukça masraflı olabilmektedir.

Bir bölgede herhangi bir tehlike sonucu oluşması muhtemel en büyük maddî kaybı tahmin etmek amacıyla yapılan istatistiksel çalışmada (Whitman ve ark., 1973), farklı deprem senaryolarından oluşması beklenen çeşitli hasar seviyelerini ve bu hasar seviyelerinin oluşma olasılığını gösteren bir matris oluşturulmuştur. Bu matriste aynı zamanda, her bir hasar seviyesine ait hasar çarpanları da yer almaktadır. Bu yöntem, daha sonra ATC (ATC-13, 1985) tarafından, matristeki verilerin 40 adet bina için yapılan deneysel verilerle güncellenmesiyle tekrar gündeme gelmiştir. Bu rapor daha sonra yayımlanan FEMA raporlarına (FEMA-227, 1992; FEMA-228, 1992) da temel oluşturmuştur. Bahsedilen raporlarda verilen, yedi adet hasar seviyesi ve bu hasar seviyelerine karşılık gelen hasar çarpanı aralığı Tablo 2.2’de verilmiştir. Buradaki hasar çarpanı, beklenen hasar maliyetinin, hasar

sebebiyle ortaya çıkacak yenilenme maliyetine oranıdır. Bu çarpan daha sonraki bölümlerde, deprem hasar maliyetinin hesaplanmasında kullanılacaktır.

Tablo 2.2 ATC-13 (1985) kapsamında verilen hasar durumları ve merkezi hasar çarpanları

Hasar Seviyesi	Hasar Çarpanı (%)	Merkezi Hasar Çarpanı (%)
Hasar Yok	0	0
Çok Az	0-1	0,5
Az	1-10	5
Orta	10-30	20
Ağır	30-60	45
Çok Ağır	60-100	80
Göçme	100	100

Tablo 2.3 Hasar çarpanlarına karşılık gelen görelî kat ötelemesi sınırları (Shin, 2010)

Hasar Seviyesi	Görelî Kat Öteleme Oranı (%)	Hasar Çarpanı
Hasar Yok	$\Delta < 0,2$	0,0
Çok Az	$0,2 < \Delta < 0,4$	0,005
Az	$0,4 < \Delta < 0,7$	0,05
Orta	$0,7 < \Delta < 1,5$	0,20
Ağır	$1,5 < \Delta < 2,5$	0,45
Çok Ağır	$2,5 < \Delta < 5,0$	0,80
Göçme	$\Delta < 5,0$	1,0

Tablo 2.3’de ise, binada oluşacak yapısal deformasyonun, hasar çarpanı ile ilişkilendirilmesi için farklı kaynaklardan elde edilen görelî kat öteleme oranlarının sınırları verilmiştir. Bu tablodaki göçme hasar seviyesinin, Tablo 2.1’de FEMA-356 (2000) için verilen göçmenin önlenmesi seviyesinin sınırından büyük durumları kapsadığı varsayılmıştır (Shin, 2010). Aynı yönetmelikteki can güvenliği seviyesinin görelî kat öteleme sınırı olan %2,5 değerinin ise Tablo 2.3’de verilen çok ağır hasar

seviyesine karşılık geldiği kabul edilmiştir (Bonowitz ve Maison, 1998). Aynı tablodaki, %5 görelî kat öteleme oranını aşan durumlarda oluşan göçme hasar seviyesi, Tablo 2.1’de, FEMA-356 (2000) için verilen göçmenin önlenmesi performans düzeyine denk gelmektedir. Aynı şekilde bu tablodaki az hasar seviyesinin, FEMA-356 (2000) kapsamındaki hemen kullanım seviyesinin üst sınır olan %0,7 değerine karşılık geldiği kabul edilmiştir (Shin, 2010). Tablo 2.3’de, hemen kullanım, can güvenliği ve göçmenin önlenmesi seviyelerine karşılık gelen görelî kat ötelemesi sınırlarının dışında ara değerlere de yer verilmiştir. Bu değerleri ise Wen ve Kang (2001a, 2001b) tarafından optimum performans seviyesini seçmek amaçlı yapılan çalışmalarda önerilen değerlerden alınmıştır.

ATC-13 ve FEMA-227’de verilen 7 adet hasar seviyesi, Tablo 2.3’de olduğu gibi görelî kat ötelemeleri ile ilişkilendirilmiştir. Tablo 2.4’de verilen diğer hasar parametreleri ise ATC-13 (1985) ve FEMA-227 (1992) kapsamında verilmiştir. Tablo 2.4’deki her bir hasar seviyesi farklı bir hasar senaryosuna karşılık gelmektedir. Yani her bir hasar seviyesinde oluşabilecek onarım bedeli, süresi, yaralı ve ölü sayısı değişkenlik göstermektedir ve her bir hasar seviyesinin bu performans ölçütlerine katkısı farklıdır. Örneğin, bir performans ölçütü (onarım bedeli) için önemli olan hasar seviyesi, diğer bir performans ölçütü (yaralanma, can kaybı) için aynı derecede önem arz etmemektedir. Bu tablodaki can kaybı ve yaralanma oranları, her bir binanın tasarımına, inşa şartlarına ve deprem sırasında binada bulunan insan sayısına bağlı olarak değişmektedir. Ayrıca bu değerler sadece hedef binadaki yaralanma ve can kayıpları ile bağlantılıdır, bitişik binalarda veya bina dışındaki insanlar hesaba katılmamaktadır. Tabloda görülen değerler standart betonarme yapılar için kullanılabilir.

Tablo 2.4 ATC-13 (1985) ve FEMA-227 (1992) tarafından önerilen hasar parametreleri

Hasar Sınırı Seviyesi	Hasar Seviyesi	Kat Öteleme Oranı (%)	Hasar Çarpanı	İşlev Kaybı (gün)	Hafif Yaralanma (%)	Ağır Yaralanma (%)	Can Kaybı (%)
1	Yok	$\Delta < 0,2$	0,0	0	0	0	0
2	Çok az	$0,2 < \Delta < 0,4$	0,005	3,4	0,003	0,0004	0,0001
3	Az	$0,4 < \Delta < 0,7$	0,05	12,08	0,03	0,004	0,001
4	Orta	$0,7 < \Delta < 1,5$	0,2	44,72	0,3	0,04	0,01
5	Ağır	$1,5 < \Delta < 2,5$	0,45	125,66	3	0,4	0,1
6	Çok ağır	$2,5 < \Delta < 5,0$	0,8	235,76	30	4	1
7	Göçme	$5,0 < \Delta$	1,0	346,93	40	40	20

2.2.1 Deprem Oluşumundaki Belirsizliğin Hesaba Katılması

Binaların ve diğer yapıların tasarımında zamanla deterministik yani belli kabul ve deneyimlere bağlı yöntemlerden, olasılıksal yani, depremin oluşumundaki belirsizliklerin hesaba katıldığı yöntemlere geçilmiştir. Ancak olasılıksal yöntemlere dayalı pek çok yönetmelikte de, bu belirsizlikler sadece deprem yükünün, binanın servis ömrü boyunca yineleme olasılığının göz önünde bulundurulması ile sınırlıdır. Bu şekilde tasarlanan yapıların, uzun vadedeki risk-fayda ilişkileri bilinmemektedir. Örneğin, servis ömrü uzun olmayan bir yapı için kısa yineleme periyoduna sahip, düşük şiddetli depremlere göre tasarım yapıldığında alınan risk oldukça fazladır ve şiddetli bir deprem oluşması durumunda can kaybı, yaralanma gibi ağır sonuçlarla karşılaşılabilir. Bu gibi durumlarda sadece depremin yineleme periyodunun hesaba katıldığı bir olasılıksal yöntem yeterli olmamaktadır. Bunun yanı sıra, bu yönetmeliklerde temel olarak seçilen tasarım yükünde can güvenliğinin sağlanması ilkesi esas alınmaktadır ancak seçilen tasarım yükünün altındaki şiddetlerde bile meydana gelen önemli ekonomik zarar göz önünde bulundurulmamaktadır. Bu yetersizliklerin giderilmesiyle ilgili, devletlerin de desteğiyle birçok çalışma yapılmış ve halen yapılmaktadır. Bu çalışmaların sonucunda performansa dayalı tasarım yöntemi ortaya çıkmıştır.

Performansa dayalı tasarım yönetmeliklerinde, sismik tehlike analizleri sonucunda elde edilen bölgesel verilerden faydalanılarak deprem yükü belirlenmektedir. Bu yönetmeliklerdeki risk hesaplarında oldukça yaygın kullanılan dağılım modellerinden biri olan Poisson modelidir. Bu model, bir kaynak bölgesi içinde oluşan depremlerin konum ve zaman açısından birbirinden bağımsız meydana geldiğini kabul eder. Bu modele göre, t kadarlık sürede, λ yıllık aşılma oranına sahip N veya daha fazla depremin oluşma olasılığının kümülatif dağılımı aşağıdaki gibidir (Feller, 1968).

$$F(N, t) = P(k; \lambda t) = \sum_{k=0}^N \frac{(\lambda t)^k}{k!} e^{-\lambda t} \quad (2.1)$$

Bu durumda hiç deprem oluşmama olasılığı ($N=0$);

$$P(0; \lambda t) = e^{-\lambda t} \quad (2.2)$$

temel olasılık teoremine göre bir veya daha fazla deprem oluşma olasılığı ise,

$$F(t) = 1 - e^{-\lambda t} \quad (2.3)$$

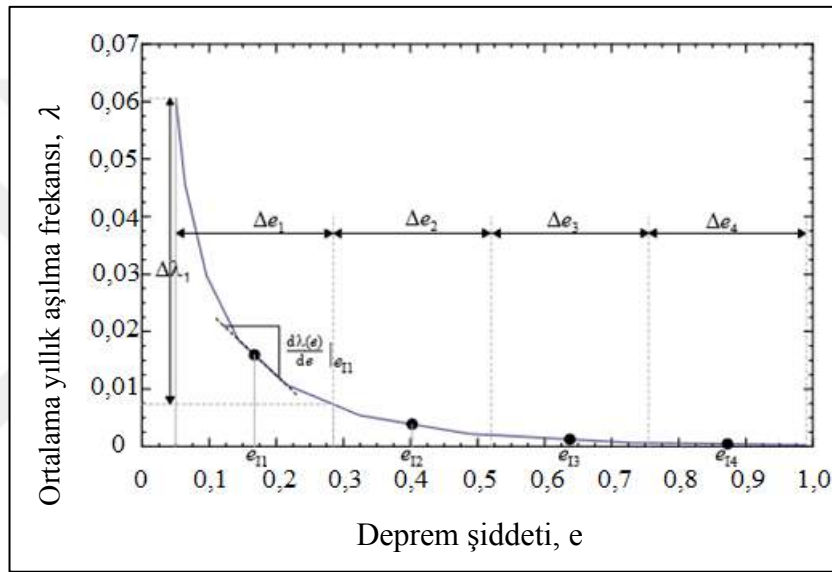
olacaktır.

2.2.1.1 Sismik Tehlike Eğrileri

Sismik tehlike analizi sonucunda elde edilen en kullanışlı sonuçlardan biri de sismik tehlike eğrileridir. Bu eğriler, belirli bir deprem şiddetine karşılık, o şiddettin yıllık aşılma oranını (frekansını) veya olasılığını göstermektedir. Bölgesel verilere göre oluşturulan sismik tehlike eğrilerinde şiddet değişkeni olarak genellikle, deprem tehlikesinin belirlenmesinde en yaygın kullanılan değişken olan PGA (pik zemin ivmesi) kullanılır. Bölgesel olarak değişen PGA değerleri, sismik tehlike analizleriyle veya bu analizlere dayanan yönetmeliklerden elde edilecek bölgesel spektral ivme değerleri ile elde edilebilir.

Binalar, servis ömürleri boyunca farklı şiddetlerdeki depremlere maruz kalabilmektedir. Ancak sismik riskin belirlenmesi amacıyla yapılacak çalışmalarda oluşma olasılığı çok düşük deprem şiddetlerinin hesaba katılması, çalışmanın etkinliğini azaltmaktadır. ATC-58 (2012a) kapsamında, zamana dayalı performans analizlerinde sismik tehlike eğrisinden faydalanmak için bir yöntem önerilmiştir (Şekil 2.1). Bu yöntemde, çok şiddetli depremler nadir görülmesi, çok düşük şiddetli depremler ise yapıda önemli bir hasar oluşturmaması sebebiyle dikkate alınmamaktadır. Bunun için aynı raporda alt ve üst sınırlar önerilmiştir. Buna göre, alt sınır 0,05g iken üst sınır, 2×10^{-4} aşılma frekansına karşılık gelen şiddet olarak alınabilir. Dikkate alınacak aralığın alt ve üst sınırı, daha hassas sonuçlar elde etmek için yapının bulunduğu yere göre belirlenebileceği de raporda belirtilmiştir. Buradaki

alt sınır, binada yapısal veya yapısal olmayan hiçbir hasar oluşturmayacak eşik değere karşılık gelmektedir. Üst sınır ise, binanın servis ömrü boyunca karşılaşma olasılığı neredeyse sıfır olan şiddetli yer ivmesini ifade etmektedir. Bu şekilde elde edilen aralık, daha sonra 'n' adet eş aralığa bölünerek her birinin orta noktaları, e_i , o aralığı temsil eden yer ivmesi şiddeti olarak ele alınır. Bu noktalara karşılık gelen yıllık aşılma oranları ise, $(v_i = \lambda_{(i+1)} - \lambda_i)$ o aralığın alt ve üst sınırı olan yıllık aşılma oranlarının farkı alınarak hesaplanır. Yani, her biri v_i aşılma oranına sahip, 'n' adet e_i şiddetindeki yer ivmesinden oluşan bir set elde edilir.



Şekil 2.1 ATC-58 (2012a) tarafından bölgesel sismik riskin belirlenmesi amacıyla önerilen sismik tehlike eğrisi yaklaşımı

2.2.2 Deprem Hasar Maliyeti

2.2.2.1 Net Bugünkü Değer ve Faiz Oranı

Bölümün başında anlatıldığı gibi, bu çalışmada deprem hasar maliyetinin hesaplanmasında olasılıksal bir yaklaşım kullanılmaktadır. Yani belli bir bölgede, gelecekte oluşması muhtemel deprem şiddetlerinin maliyeti oluşum olasılıklarına göre hesaba katılmaktadır. Bu depremin gelecekte ne zaman oluşacağı bilinemediği için, çeşitli senaryolarda elde edilen deprem hasar maliyetlerinin karşılaştırılabilmesi

amacıyla, bu değerlerin, referans zaman noktasına göre hesaplanması gerekmektedir. Bu zaman noktası, fayda/maliyet analizlerinde genel olarak, $t=0$ anı, yani binanın yapımına başlanması anı olarak alınmaktadır.

Paranın değeri, zamana, faiz oranına ve başka ekonomik faktörlere bağlı olarak değişmektedir. Dolayısıyla gelecekte oluşması beklenen bir maliyetin net bugünkü değerini bulmak için, paranın gelecekteki değerinin bir indirim çarpanı ile çarpılması gerekmektedir. Bu çarpan, sabit bir faiz oranı (r) için aşağıdaki gibi yazılır:

$$D(t) = \left\{ \lim_{n \rightarrow \infty} \left(1 - \frac{r}{n} \right)^n \right\}^t = e^{-rt} \quad (2.4)$$

Buradaki n , depremin kaçınıcı kez oluştuğunu ifade etmektedir. Buna göre, t anında oluşacak deprem hasar maliyetlerinin ($C(t)$) net bugünkü değerleri (NBD), aşağıdaki gibi elde edilir (Shin, 2010):

$$NBD(t) = C(t).D(t) = C(t).e^{-rt} \quad (2.5)$$

Deprem tehlikesi, binanın servis ömrü boyunca t_i anlarında ($i=1,2,3 \dots, N$) N kez oluşacak olursa ve deprem hasar maliyeti de her bir deprem için (N kez) hesaplanır. Bu durumda, toplam net bugünkü değerin ifadesi aşağıdaki gibi olacaktır.

$$NBD = \sum_{i=1}^N C(t_i).e^{-rt_i} \quad (2.6)$$

Bu hesaplamalarda kullanılacak faiz oranının seçilmesi, deprem hasar maliyetinin gerçekçi bir şekilde hesaplanabilmesi için oldukça önemlidir. Ancak, faiz oranının hesaplanması oldukça karmaşık bir konudur ve birçok parametreye bağlıdır. Gelecekteki projelerin günümüz değerinin hesaplanması ekonomistler arasında da tartışmalı bir konudur. Bu nedenle tez kapsamında, bu değer seçimiyle ilgili detaylı bir araştırmaya girilmemiştir.

Net bugünkü değerin hesaplanmasına örnek verilecek olursa, 20 yıl sonra oluşacak bir depremin, 1. 000. 000 TL hasar maliyetinin, %5 faiz oranına (r) göre günümüz değerine dönüştürülmüş değeri; $1.000.000 \text{ TL} \times e^{-(0,05 \times 20)} = 367.879 \text{ TL}$ olacaktır.

2.2.2.2 Beklenen Deprem Hasar Maliyetinin Hesaplanması

Deprem sırasında veya sonrasında yaşanacak maddi kayıplar pek çok başlık altında incelenebilir. Ancak bu kayıpları, binada deprem sonrası oluşacak olan hasar seviyeleri ile ilişkilendirmek oldukça güçtür. Bu nedenle yaşam döngüsü maliyetinin, deprem hasar maliyeti bileşenini hesaplamak amaçlı yapılan çalışmalarda, genellikle bu kayıplar daha genel olarak ele alınmaktadır.

Bu bölümde, daha önce deprem hasar maliyetinin hesaplanması amacıyla Wen ve Kang (2001a; 2001b) tarafından, ilgili çalışmaları takiben (Wen ve Ang, 1991; Wen ve Shinozuka, 1998) önerilen pratik bir yaklaşım açıklanmıştır. Bu yaklaşıma göre, bir binanın T kadarlık bir zaman periyodunda (yeni yapılacak bir binanın servis ömrü veya mevcut binanın kalan ömrü) yaşam döngüsü maliyeti, tasarım değişkeni X 'e bağlı olarak aşağıdaki şekilde ifade edilebilir:

$$E[C(t, X)] = C_0(X) + E \left[\sum_{i=1}^{N_L} \sum_{j=1}^{N_i} C_j e^{-rt_j} P_{ij}(X, t_i) \right] + \int_0^t C_m(X) e^{-r\tau} d\tau \quad (2.7)$$

Burada $E[.]$ beklenen toplam maliyet değerini, C_0 ilk yapım maliyetini, X yapısal tepkinin bağlı olduğu tasarım parametrelerini içeren vektörü, t_i tehlikenin oluşum zamanını, N_i tehlikenin servis ömrü boyunca toplam oluşum sayısını, C_j gelecekte oluşacak ve j . hasar seviyesinde yapısal hasara sebep olacak olan tehlikeden hasar maliyetinin (onarım veya yenileme maliyeti, taşınma maliyeti, ekonomik kayıp, yaralanma-can kaybı maliyeti vs.) günümüz değeri, $e^{(-\lambda t)}$ t zamanında oluşacak olan maliyeti günümüz değerine dönüştürmek amaçlı kullanılan çarpanı, r yıllık enflasyon oranını, P_{ij} bir tehlikenin i . oluşumunda, j . hasar seviyesi sınırının aşılma olasılığı, N_L toplam hasar seviyesi sayısını, C_m ise binanın ekonomik ömrü süresince işlevini

koruyabilmesi için gerekli olan maliyeti ifade etmektedir. C_m bileşeni, pek çok faktörden etkilenen oldukça kompleks bir bileşen olması ve deprem kaynaklı bir maliyet içermemesi sebebiyle bu çalışmada ihmal edilmektedir. Buna göre, deprem hasar maliyetinin beklenen değeri aşağıdaki gibi olacaktır.

$$E[C(t, \mathbf{X})] = C_0(\mathbf{X}) + E \left[\sum_{i=1}^{N_L} \sum_{j=1}^{N_i} C_{ij} e^{-rt_j} P_{ij}(\mathbf{X}, t_i) \right] \quad (2.8)$$

Verilen bu formülde, binanın servis ömrü boyunca karşılaşılabilecek deprem yükünde ve kapasitesindeki belirsizlikler hesaba katılmaktadır. Kullanılan bu yaklaşımda, binanın her bir deprem oluşumundan sonra orijinal fonksiyonlarını geri kazandığı düşünülmektedir.

Bu toplamdaki ilk terim yapım maliyetini, ikinci terim ise deprem hasar maliyetinin beklenen değerini ifade etmektedir. Deprem oluşumundaki belirsizliğin de hesaba katılabilmesi amacıyla, buradaki ikinci terime, sismik tehlike eğrisinin n adet eş aralığa bölünmesiyle elde edilen deprem şiddetlerinin her birinden gelen katkıyı ifade eden üçüncü bir toplam ifadesi (N_e) eklenirse (Shin, 2010), toplam maliyet değeri aşağıdaki gibi olacaktır.

$$E[C(t, \mathbf{X})] = c_0(\mathbf{X}) + \sum_{i=1}^{N_e} \sum_{j=1}^{N_L} \sum_{k=1}^{N_i} e^{-rt_k} C_{ij} P_{ij}(\mathbf{X}, t_k) \quad (2.9)$$

Görüldüğü gibi bu formülde C_{ij} ve P_{ij} ifadeleri zamandan bağımsızdır. Dolayısıyla beklenen değer ifadesini t_k anlarında oluşan N_i sayıda deprem oluşturmaktadır. Bu durumda beklenen değer ifadesi, bu iki değişkenin olasılık dağılımları kullanılarak aşağıdaki şekilde yazılabilir.

$$E[C(t, \mathbf{X})] = c_0(\mathbf{X}) + \sum_{i=1}^{N_e} \sum_{j=1}^{N_L} C_{ij} P_{ij}(\mathbf{X}) \sum_{N_i=1}^{\infty} \left(\sum_{k=1}^{n_i} \int_0^T e^{-rt_k} f_{T_k}(t_k) dt_k \right) p_{N_i}(n_i) \quad (2.10)$$

Burada $p_{(N_i)}(n_i)$ ifadesi T süresince oluşacak deprem sayısının olasılık kütle fonksiyonunu, $f(T_k)(t_k)$ ifadesi depremin oluşum anlarını belirten t_k 'nin olasılık yoğunluk fonksiyonu ifade etmektedir. Oluşacak deprem sayısının önceki bölümlerde anlatılan Poisson modeli ile tanımlandığını kabul edersek olasılık kütle fonksiyonu aşağıdaki gibi olacaktır.

$$p_{N_i}(n_i) = \frac{(v_i t)^k}{k!} e^{-v_i t}; \quad k = 0, 1, 2 \dots \quad (2.11)$$

Önceki kısımlarda anlatıldığı gibi, buradaki v_i değeri ($v_i = \lambda_{(i+1)} - \lambda_i$) sismik tehlike eğrisinden elde edilen e_i şiddetlerine ait yıllık aşılma oranıdır. Poisson oluşumları için $(f_{(T_k)}(t_k))$ ifadesi, 0-T aralığında üniform dağılımlı bir değişkendir, dolayısıyla bu ifade aşağıdaki gibi alınabilir.

$$f_{T_k}(t_k) = \frac{1}{T}; \quad 0 \leq t_k \leq T \quad (2.12)$$

Denklem 2.11 ve denklem 2.12; denklem 2.10'da yerine konursa beklenen toplam maliyet değeri aşağıdaki gibi elde edilmektedir.

$$E[C(X)] = C_0(X) + \sum_{i=1}^{N_e} \sum_{j=1}^{N_L} C_{ij} P_{ij}(X) \frac{v_i(1 - e^{-rT})}{r} \quad (2.13)$$

2.2.3 Binanın Her Bir Hasar Seviyesinde Bulunma Olasılığı

Deprem hasar maliyetini oluşturan bileşenlerden birisi de, i . şiddetteki deprem sonucunda oluşacak deformasyonun Tablo 2.4’de verilen, görelî kat ötelemesi değerlerine göre sınırlandırılmış yedi adet hasar seviyesinden j .’de bulunma olasılığını temsil etmekte olan $P_{ij}(X)$ ’dir. Daha önce Newmark ve Hall (1982) tarafından ortalama (μ) ve ortalama artı bir standart sapma ($\mu+1\sigma$) spektrumlarının elde edilmesinde de benimsenen görelî kat ötelemelerinin lognormal dağılıma uyması yaklaşımı bu amaçla kullanılabilir. Bu dağılım, özellikle görelî kat ötelemesi gibi maksimum büyüklükleri nitelenmek için oldukça uygundur. Lognormal dağılım, k . kat için P_{ij} değerini (P_{ij}^k) bulmak için de kullanılabilir (Shin, 2010). Buna göre, $\phi(\cdot)$, standart Gauss değişkeninin kümülatif dağılım fonksiyonu ve λ_k ve ς_k lognormal dağılım parametreleri olmak üzere, sismik tehlike eğrisinin bölünmesiyle elde edilen her bir e_i şiddetindeki depremin oluşması durumunda, k . katın görelî kat ötelemesinin (Δ_{ik}), j . hasar seviyesinin sınırları ($\Delta_{(j-1)}, \Delta_j$) içinde kalması olasılığı aşağıdaki gibi tanımlanır.

$$P_{ij}^k = P(\Delta_{j-1} < \Delta_{ik} < \Delta_j) = \Phi\left(\frac{\ln \Delta_j - \lambda_k}{\varsigma_k}\right) - \Phi\left(\frac{\ln \Delta_{j-1} - \lambda_k}{\varsigma_k}\right) \quad (2.14)$$

Lognormal dağılımın parametreleri (λ_k ve ς_k) ise, μ_k ve σ_k , sırasıyla k . kata ait görelî kat ötelemelerinin ortalama ve standart sapma değerleri olmak üzere aşağıdaki gibi tanımlanmaktadır.

$$\lambda_k = \ln(\mu_k) - \frac{1}{2} \ln\left(1 + \frac{\sigma_k^2}{\mu_k^2}\right) \quad (2.15)$$

$$\varsigma_k = \sqrt{\ln\left(1 + \frac{\sigma_k^2}{\mu_k^2}\right)} \quad (2.16)$$

Bu bileşenin elde edilebilmesi için öncelikle sismik tehlike eğrisinin bölünmesiyle elde edilen her bir e_i şiddeti için dinamik analizler yapılarak, görelî kat ötelemelerine

ait istatistiksel dağılımlar (ortalama ve standart sapma) elde edilmelidir. Bu değerler, zaman tanım alanında analizde doğrudan analiz sonuçlarından elde edilen görelî kat ötelemelerinin ortalama ve standart sapmasının bulunması ile elde edilebilir. Ancak, tepki spektrumu ve artımsal itme analiz yöntemlerinde bu değerleri elde etmek için tepki spektrumlarının kullanılması gerekmektedir. Bunun için geçmişte yapılmış çalışmalarda kullanılan bir yaklaşımdan faydalanılabilir. Bu yaklaşıma göre, yapılacak olan analizlerde ortalama spektrumun kullanımı, görelî kat ötelemelerin ortalamasını, ortalama artı bir standart sapma spektrumun kullanımı ise, görelî kat ötelemelerinin ortalama artı bir standart sapma değerini elde edilmek için kullanılabilir (Maldonado ve Singh, 1991). Daha sonra bu iki spektrum kullanılarak elde edilen görelî kat ötelemelerinin farkı alınarak, hesaplamalar için gerekli olan standart sapma değeri de bulunmuş olur.

2.2.4 Bina Yapım Maliyeti ve Her Bir Hasar Seviyesinde Oluşacak Deprem Hasar Maliyeti

Bu çalışma kapsamında ele alınan örnek binanın, yapım maliyeti ve deprem hasar maliyetinin hesaplanmasında kullanılan yöntem bu bölümde açıklanacaktır. Yapım maliyeti, deprem hasar maliyetini minimize edebilmek için kullanılan hasar maliyetinin bir bileşeni olmasa da, deprem sonucu oluşan bazı kayıplar yapım maliyeti ile ilişkilendirilmiştir, dolayısıyla hesaplarda kullanılması gerekmektedir.

Deprem hasar maliyeti ise, deprem sonrası binadaki hasar seviyesine göre değişen maliyet bileşenidir. Bu değerleri hesaplamak için, deprem sonucu oluşacak kayıpların (yenileme/onarım, taşınma, yaralanma ve can kaybı vs.) sebep olacağı ekonomik kayıp ile Tablo 2.4'te verilen hasar parametreleri ile çarpımı sonucu bulunur. Bu hasar parametreleri binadaki yapısal deformasyonun (görelî kat ötelemesi) hangi hasar seviyesinde bulunduğuyla bağı olarak değişmektedir.

2.2.4.1 Bina Yapım Maliyeti

Bina yapım maliyeti yaşam döngüsü analizinin sabit maliyet bileşeni olarak düşünülebilir. Çünkü bu değer $t=0$ anında oluşacak ve binanın geri kalan servis ömrü boyunca herhangi bir değişkenden etkilenmeyecektir. Bu değer genel olarak binanın inşası için gereken tutarı ifade etmektedir ve aşağıdaki bileşenlerden oluşur.

- Yapısal elemanların malzeme, fabrikasyon ve yapım maliyeti
- Temel yapısal olmayan elemanların maliyeti
- İsteğe bağlı olarak kullanılan yapısal olmayan elemanların maliyeti
- Dolaylı maliyet

Burada bahsedilen yapısal elemanlar yapıdaki düşey (sabit yük ve hareketli yük) ve yatay yükleri taşıyacak elemanları ifade etmektedir. Yapısal elemanlar binadaki kolon, perde, kiriş ve döşemelerden oluşmaktadır. Ayrıca alt-yapı sistemleri de bu sınıfa dâhildir. Yapısal olmayan elemanlar ise isminden de anlaşılacağı üzere, taşıyıcılığı olmayan elemanları ifade etmektedir. Bu elemanlar, binanın işlevini devam ettirebilmesi için gerekli olan mimari, mekanik ve elektriksel bileşenlerdir. Mimari bileşenler, bölme duvarlar, pencereler, kapılar, tavan, parapetler gibi elemanlardan oluşmaktadır. Mekanik bileşenler, tesisat, asansörler, su depoları, ısıtma, havalandırma, soğutma vs. elemanlardan oluşmaktadır. Elektriksel bileşenler ise, çeşitli güç kaynakları, aydınlatmalar, telekomünikasyon hatları, şalterler, yangın detektörleri gibi elemanları ifade etmektedir. Ayrıca mal sahibinin isteğine bağlı olarak kullanılan yapısal olmayan elemanlar da vardır. Mobilyalar, beyaz eşya vb. elemanlar bu sınıfa girmektedir.

Dolaylı maliyet ise, tüm bu yapım maliyeti bileşenlerin binaya aktarılması için gereken işçilik maliyeti, üstenci karları, proje bedelleri, vergiler gibi binanın inşası sırasında ortaya çıkan birçok dolaylı yatırımı ifade etmektedir.

2.2.5 Her Bir Hasar Seviyesinde Oluşacak Deprem Hasar Maliyeti

Binanın Tablo 2.4’te verilen hasar seviyelerinden herhangi birinde bulunması durumunda oluşacak ekonomik kayıp farklıdır. Bu tabloda verilen hasar seviyeleri, hasarsız durumdan, göçmeye kadar geniş bir aralıkta tanımlanmıştır ve her bir hasar seviyesinde, aynı tabloda verilen hasar parametrelerinin değerleri de değişmektedir.

Tablo 2.4’te verilen hasar parametreleri FEMA-227 (1992) ve ATC-13 (1985) tarafından geçmiş depremler sonucu oluşmuş çeşitli kayıplardan derlenerek oluşturulmuştur. Bu kayıplar, yapısal ve yapısal olmayan hasarın onarımı veya yenilenmesi gibi doğrudan kayıpların yanı sıra depremde oluşacak hasar sebebiyle ortaya çıkacak onarım/yenilenme süresince taşınma masrafı, gelir kaybı, yaralanma, can kaybı gibi pek çok dolaylı masrafı da içermektedir. Bu kapsamdaki başlıklar aşağıda tek tek açıklanmıştır.

Onarım maliyeti, deprem sonucu oluşacak yapısal ve yapısal olmayan hasarın onarımı için gerekli olan maliyeti ifade etmektedir. Eğer binadaki hasar, hasar seviyelerinden biri olan göçme durumuna ait sınırlar içinde ise, onarım maliyeti, binanın tamamının işleviyle birlikte taşınması yani yenilenmesi anlamına gelmektedir.

Kişisel varlık kaybı, deprem sırasında binada bulunan, kişilere ait her türlü taşınabilir malın kaybindan/ hasarından kaynaklı ekonomik kaybı ifade eder.

Taşınma maliyeti, deprem sonrası binanın işlevinin kısmen veya tamamen kaybolması durumunda binanın onarımı veya yenilenmesi sürecinde ortaya çıkacak dolaylı masrafı ifade eder. Dolayısıyla bu maliyet, binada yaşayan kişilerin bu süreçte aynı standartlara sahip başka bir konut binasına yerleştirilmesinden dolayı ortaya çıkacak nakliye ve kira masraflarını içermektedir.

Gelir kaybı, kişilerin binada malik oldukları hakları üzerinden elde ettikleri gelirin (kira, ticari gelir vs.) binanın onarımı veya yenilenmesi sürecinde kesilmesinden dolayı oluşacak ekonomik kaybı ifade etmektedir.

Yaralanmalar sonucu oluşacak maddi kayıp, deprem sonucu hafif veya ağır yaralanan kişilerin hastane ve ilkyardım masraflarını içeren maliyettir. Bu maliyetin hesaplanabilmesi için, deprem sırasında binada bulunan kişi sayısının öngörülmesi gerekmektedir.

Can kayıpları sonucu oluşacak maddi kayıp ise, deprem sırasında veya sonrasında çeşitli sebeplerden dolayı (binanın çökmesi, deprem sonrası oluşabilecek yangın, vb.) insanların hayatını kaybetmesinin devletlere olan ekonomik yükünü ifade etmektedir. Bu maliyetin hesaplanması, pek çok yönden ele alınabilecek, birçok parametreye bağlı, oldukça hassas bir konudur. Bu maliyet bileşeninin hesaplanabilmesi için de deprem sırasında binada bulunan kişi sayısının öngörülmesi gerekmektedir.

BÖLÜM ÜÇ

BİNALARIN DEPREM HASAR MALİYETİNİN BELİRLENMESİNDE TEZ KAPSAMINDA KULLANILAN YÖNTEM

Ülkemizde depremler sonucu ortaya çıkabilecek can kaybı ve ekonomik kayıpları en aza indirebilmek için tasarım aşamasında bölgenin sismik özelliklerinin göz önünde bulundurulması oldukça önemlidir. Bunun için, zeminin maruz kalabileceği deprem yükünü belirlemek ve yapısal analizlerde kullanılacak deprem yüklemesini, bu verilere göre uygulamak gerekmektedir.

İkinci bölümde anlatılan yöntemin temel hedeflerinden bir tanesi, depremin oluşumundaki belirsizliğin hesaba katılması ve binanın bulunduğu konumda oluşması muhtemel deprem şiddetlerine göre deprem hasar maliyetinin belirlenmesidir. Bu amaca yönelik olarak, tez kapsamındaki sayısal uygulama bölümünde ele alınan örnek binanın bulunduğu bölge için yapılan çalışmalarda izlenen yöntem bu bölümde açıklanmıştır.

3.1 Olasılıksal Sismik Tehlike Analizi

Deprem mühendisliğinde amaç genel olarak, belli bir deprem seviyesinde yapının arzu edilen performans seviyesini sağlamasıdır. Ancak bu deprem seviyesinin nasıl belirleneceği oldukça karmaşık bir konudur. Bunun sebebi oluşacak yer hareketinin yeri, büyüklüğü ve bunlara bağlı olarak şiddeti ile ilgili birçok belirsizliğin olmasıdır. Bu konudaki yaklaşımlardan biri, deterministik tehlike yaklaşımı olarak bilinen ve bölgede oluşabilecek en kötü deprem senaryosuna göre tasarım yapılmasını temel alan yaklaşımdır. Bu yaklaşım teoride mantıklı olsa da, uygulanmasında bazı sıkıntılarla karşılaşılmaktadır. Bunlardan biri, bir bölgede en kötü senaryoyu kontrol eden birden fazla kaynak olduğu durumlarıdır. Dolayısıyla, farklı kaynaklar, farklı periyotlarda hâkim spektral ivme genlikleri oluşturabilir. Ayrıca bu yöntemde karşılaşılan bir başka sorun da, seçilen en kötü senaryonun, depremin şiddeti ile nasıl ilişkilendirileceğidir.

Konuyla ilgili yapılan çalışmalarda, belli bir senaryo için oluşturulan tepki spektrumu, o bölgeye ait geçmiş deprem kayıtları ile karşılaştırıldığında, önemli sapmalar olduğu gözlenmiştir. Olasılıksal sismik tehlike analizinde ise depremin yeri, büyüklüğü gibi belirsizlikleri görmezden gelmek yerine belli bir bölgede, gelecekte oluşabilecek yer hareketi ile ilgili bir dağılım tanımlamak amaçlanmaktadır.

Olasılıksal sismik tehlike analizi, belli bir bölge için çeşitli deprem seviyelerinin aşılma olasılıklarını bulmayı amaçlamaktadır. Bunun için de, öncelikle bölgedeki tüm hasara sebep olabilecek deprem üretme potansiyeli olan kaynaklar belirlenmelidir. Daha sonra, bu kaynakların proje alanına uzaklıklarına, oluşturabilecekleri deprem büyüklüklerine ve kaynak mekanizmasına bağlı olarak, oluşacak depremin şiddetini veren dağılım elde edilmelidir. Ülkemizde bu yolla elde edilmiş sismik tehlike haritalarını esas alan Kıyı ve Liman Yapıları, Demiryolları ve Havameydanları İnşaatları Deprem Teknik Yönetmeliği [DLH], 2008 tarafından sağlanan veri, sismik tehlike analizlerinden elde edilen bölgesel verileri içermektedir. Bu haritalarda, konuma (enlem, boylam) bağlı olarak, farklı aşılma olasılıklarına (50 yılda %2, 50 yılda %10, 50 yılda %50) sahip depremlere ait spektral ivme değerleri elde edilebilmektedir.

3.2 Sismik Tehlike Eğrisi

Olasılıksal tehlike analizinin sonuçları; pik zemin ivmesine karşılık ortalama yıllık aşılma olasılığı veya oranını veren sismik tehlike eğrileri ile ifade edilebilir. Buradaki aşılma oranı (frekans), yineleme periyodunun tersi olarak tanımlanabilir. Örneğin, belli bir yer hareketi 0,01 yıllık aşılma oranına sahipse, bu hareketin yineleme periyodu 1/0,001 yani 100 yıl olacaktır. Ancak buradaki 100 yıl, bu yer hareketinin 100 yılda bir kesin olarak tekrarlanacağını değil, her oluşumu arasında ortalama 100 yıl geçeceğini ifade etmektedir. Dolayısıyla buradaki değerler, ortalama yineleme periyodu ve ortalama yıllık aşılma oranı şeklinde ifade edilmektedir.

Bu çalışmada, farklı şiddetlerdeki depremler için, DLH (2008) kapsamında sağlanan bölgesel verilerden yararlanılarak pik zemin ivmeleri ve bu ivmelere karşılık gelen ortalama yıllık aşılma oranları elde edilmiştir. Daha sonra, eğri uydurma yaklaşımı ile bu noktalardan geçen sismik tehlike eğrisi oluşturulmuştur.

Bu yönetmelikte, sık, orta sıklıkta ve seyrek görülen depremleri temsil eden D1, D2, D3 depremleri tanımlanmıştır. D1 seviyesinin, 50 yılda aşılma olasılığı %50 (yineleme periyodu 72 yıl), D2 seviyesinin, 50 yılda aşılma olasılığı %10, (yineleme periyodu 475 yıl) ve D3 seviyesinin, 50 yılda aşılma olasılığı %2 (yineleme periyodu 2475 yıl) olarak verilmiştir. Bu veriler kullanılarak yineleme periyodunun tersi olan aşılma oranı rahatlıkla bulunabilir.

Sismik tehlike eğrisinin diğer bileşeni olan pik zemin ivmesini bölgesel olarak elde edebilmek için ise, yine aynı yönetmelikte D1, D2, D3 deprem seviyeleri için konuma bağlı olarak değişen spektral ivme değerleri kullanılabilir. Bu değerlerin elde edilmesinde yukarıda anlatılan olasılıksal yaklaşım kullanılmıştır, yani kaynak bölgelendirmesi yapılarak çeşitli kaynakların bölgenin sismik etkinliğine katkısı, azalım ilişkileri kullanılarak alınmıştır. Bu yönetmelikte konuma (boylam, enlem) bağlı olarak verilen spektral ivme değerleri (S_s , S_1) kullanılarak, tasarım ivme spektrumları ve bu spektrumlarda $T=0$ saniye periyoduna karşılık gelen PGA (pik zemin ivmesi) değerleri elde edilebilir. Spektral ivme değerlerini elde edebilmek için kullanılan aşağıdaki ilişkiler bu yönetmelik kapsamında aşağıdaki gibi verilmiştir:

$$S_{MS} = F_a \times S_s \quad (3.1)$$

$$S_{M1} = F_v \times S_1 \quad (3.2)$$

Burada F_a ve F_v zemin sınıfına bağlı olarak değişen değerlerdir ve sırasıyla Tablo 3.1 ve Tablo 3.2'ye göre bulunur.

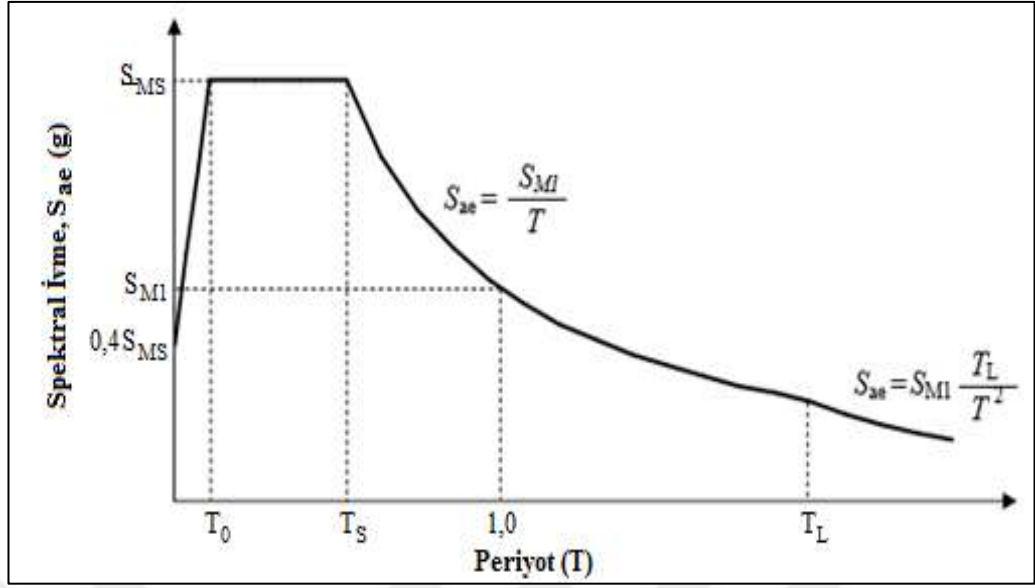
Tablo 3.1 Kısa periyot zemin katsayısı F_a (DLH, 2008)

Zemin Sınıfı	Kısa Periyot Spektral İvme (g) ^a				
	$S_s \leq 0,25$	$S_s = 0,50$	$S_s = 0,75$	$S_s = 1,0$	$S_s \geq 1,25$
A	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
B	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
C	1,2	1,2	1,1	1,0	1,0
D	1,6	1,4	1,2	1,1	1,2
E	2,5	1,7	1,2	0,9	0,9
F	_{-b}	_{-b}	_{-b}	_{-b}	_{-b}
^a : S_s 'in ara değerleri için lineer interpolasyon yapılacaktır.					
^b : Sahaya özel geoteknik inceleme ve dinamik zemin davranış analizi yapılacaktır.					

Tablo 3.2 1.0 s periyodu zemin katsayısı F_v (DLH, 2008)

Zemin Sınıfı	1,0 saniye Periyoduna Karşılık Gelen Spektral İvme (g) ^a				
	$S_1 \leq 0,10$	$S_1 = 0,20$	$S_1 = 0,30$	$S_1 = 0,40$	$S_1 \geq 0,50$
A	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
B	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
C	1,7	1,6	1,5	1,4	1,3
D	2,4	2,0	1,8	1,6	1,5
E	3,5	3,2	2,8	2,4	2,4
F	_{-b}	_{-b}	_{-b}	_{-b}	_{-b}
^a : S_1 'in ara değerleri için lineer interpolasyon yapılacaktır.					
^b : Sahaya özel geoteknik inceleme ve dinamik zemin davranış analizi yapılacaktır.					

Elde edilen spektral ivme değerleri kullanılarak tasarım spektrumu Şekil 3.1'de görüldüğü gibi oluşturulur. Bu spektrum, performansa dayalı tasarımı temel alan birçok yaygın yönetmelikte (ASCE, 2006, 2010; NEHRP, 2009) de benzer şekilde kullanılmaktadır.



Şekil 3.1 DLH (2008) kapsamında verilen tasarım spektrumu

$$S_{ae}(T) = 0,4 S_{MS} + 0,6 \frac{S_{MS}}{T_0} T \quad T \leq T_0 \quad (3.3)$$

$$S_{ae}(T) = 0,4 S_{MS} \quad T_0 \leq T \leq T_S \quad (3.4)$$

$$S_{ae}(T) = \frac{S_{M1}}{T} \quad T_S \leq T \leq T_L \quad (3.5)$$

$$S_{ae}(T) = \frac{S_{M1} T_L}{T^2} \quad T_L \leq T \quad (3.6)$$

Tasarım spektrumunu oluşturmak için kullanılacak olan yukarıdaki formüllerde, uzun periyot bölgesine geçiş periyodu, $T_L=12$ sn alınacaktır. Spektrum köşe periyodları T_0 ve T_S ise aşağıdaki şekilde tanımlanır:

$$T_S = \frac{S_{M1}}{S_{MS}} \quad \text{ve} \quad T_0 = 0,2 T_S \quad (3.7)$$

Bu şekilde, elde edilen spektrumlar daha sonra da deprem kayıtlarının seçilmesi ve ölçeklenmesinde de kullanılacaktır.

3.3 Deprem Kayıtlarının Seçimi ve Ölçeklenmesi

Bir binanın deprem hasar maliyetini hesaplayabilmek için, o binanın bulunduğu bölgeye göre değişen yük talebi göz önünde bulundurulmalıdır. Bunun için de bölgenin jeolojik ve sismolojik özellikleri yani, o bölgedeki faylanma tipi, bu fayların oluşturabileceği deprem büyüklükleri, yerel zemin koşulları gibi özellikleri bilinmelidir. Ayrıca, proje alanının bu fay kaynaklarına uzaklığı da belirlenmelidir. Daha sonra bu özelliklere uygun deprem kayıtları seçilerek ölçeklenmelidir. Deprem kayıtlarının, sahanın sismolojik parametrelerini ve yer hareketlerinin doğasına ait özelliklerini (genlik, süre, fay özellikleri vb.) göz önünde bulundurularak seçimi için gerçek deprem kayıtları kullanmak meydana gelebilecek depremlerin sonuçlarını öngörebilmek açısından önemlidir.

Deprem kayıtlarının seçimi için sıkça kullanılan yöntemlerden biri, spektrum uyumlu deprem kaydı seçimidir. Kayıtların kuvvetli yer hareketi parametrelerine göre seçildiği bu yöntem, birçok deprem yönetmeliğinde de çeşitli yönlendirmeler ile birlikte verilmektedir.

Bu hedef spektrum, bir önceki başlık altında anlatıldığı gibi bölgesel spektral ivme değerleri kullanılarak oluşturulmuştur. Bu değerler, bölgede bulunan kaynaklar düşünülerek belli bir spektral ivmenin, seçilen bir periyod değeri için aşılma durumunu gösteren probabilistik tehlike haritalarından elde edilmektedir. Bu haritalarda meydana gelecek yer hareketinin şiddeti, büyüklüğün artan ve mesafenin azalan fonksiyonu olarak ifade edilen azalım ilişkisinin interpolasyonu ile hesaplanır. Yani bu haritalarda farklı kaynaklara ait yer ivmeleri hesaba katılmazken, bu kaynakların deprem oluşturma olasılığı diğer parametrelerle birlikte dağılım fonksiyonunu oluşturmaktadır. Dolayısıyla sadece yönetmelikten elde edilen spektral ivme parametrelerini kullanarak, belirli bir bölgedeki sismik riski oluşturan hâkim kaynağın (veya kaynakların) özelliklerini belirlemek mümkün değildir. Bu nedenle,

haritalama aşamasında süperpoze edilmiş olan fayların yeri, oluşturabilecekleri deprem büyüklükleri, kaynak mekanizması gibi parametrelerden oluşan yer ivmesi tekrar bileşenlerine ayrılarak deprem kaydı seçimleri buna göre yapılmalıdır. Bu analiz sonucunda, belli dönüş periyodlarına karşılık gelen deterministik tasarım depremlerinin bulunması mümkün olur. Bu ayrıştırma işlemine literatürde ayrıştırma (deaggregation) adı verilmektedir. Ancak bu yöntemi yazılım kullanmadan uygulamak oldukça zahmetlidir. Bu nedenle, bu çalışmada, birden çok kaynağın hâkim olduğu farklı bölgeler için yapılan birçok ayrıştırma analizinin sonucunda ortaya çıkan genel sonuçtan faydalanılmıştır.

Bahsedilen kaynak özelliklerinin spektral ivme üzerindeki etkisine bakıldığında, genellikle, kısa periyod yer ivmesi değerlerine en fazla katkının yakın mesafeli ve büyüklüğü fazla olmayan yer hareketi oluşturan kaynaklardan; uzun periyod yer ivmesi değerlerine ise bu katkının, uzak mesafeli ve büyük yer hareketleri oluşturabilen kaynaklardan geldiği görülmüştür (McGuire, 1995; Reiter, 1991). Buna paralel olarak, bu çalışmadaki sayısal uygulama bölümünde ele alınan örnek binanın bulunduğu bölgede spektral ivme değerlerinin oluşumuna katkıda bulunan fay kaynaklarının özellikleri incelenerek, elde edilen bilgiler doğrultusunda seçim yapılmıştır.

Bu çalışma kapsamındaki yapısal analizlerde kullanılan deprem kayıtları, Pasifik Deprem Mühendisliği Araştırma Merkezi (PEER, 2016) tarafından sağlanan kuvvetli yer hareketi veri bankasından seçilmiştir. Burada, dünyanın çeşitli yerlerindeki diri fay hatlarında meydana gelen depremlerin kaydı tutulmaktadır.

Bahsi geçen kayıtlar, fay tipi, mesafe, derinlik, zemin koşulları gibi bilgiler ile birlikte listelenmektedir. Seçilen kayıtların ölçeklenmesi için ise orijinal kaydın frekans içeriği aynı kalacak şekilde, tepki spektrumunun şeklini değiştirmeyen doğrusal bir çarpan uygulanmaktadır. Doğrusal ölçekleme esnasında hedef spektrum ile seçilen kayıtlardan oluşturulan ortalama spektrumun benzerliği, iki spektrum arasındaki standart sapma ile belirlenir. Bu konuda, DLH (2008) tarafından verilen kısıtlamaya göre, seçilen yer hareketlerinin %5 sönümlü davranış spektrumlarının

ortalamasının, $0,2T$ ile $1,5T$ aralığında, binanın bulunduğu konuma ait tasarım spektrumdan daha düşük olmayacak şekilde ölçeklendirilmesi gerekmektedir. Buradaki T , yapının incelenen doğrultudaki birinci doğal periyodudur.

Seçilecek olan deprem kaydı sayısı ise, gerçeğe daha yakın sonuçlar elde etmek amacıyla olabildiğince fazla olmalıdır. Bununla ilgili, günümüzde halen geçerli olan deprem yönetmeliğimizin (TDY, 2007) mevcut binaların performans değerlendirmesi ile ilgili olan 7. bölümünde, zaman tanım alanında yapılacak analizlerde 7 adet yer hareketi kaydı kullanılması yeterli görülmektedir.



BÖLÜM DÖRT

SAYISAL UYGULAMA

Bu bölümde, daha önceki bölümlerde deprem hasar maliyetinin hesaplanması amacıyla anlatılan yaklaşım kullanılarak İzmir ilinin Bornova ilçesinde bulunan 7 katlı betonarme bir konut binasının deprem hasar maliyeti hesaplanmıştır. Bu binanın seçilmesinin sebebi, İzmir ilinin bina stokunu oluşturan standart yapılara örnek teşkil etmesidir. İzmir ilinin birinci derece deprem bölgesi olmasının yanı sıra ele alınan binanın bulunduğu bölgedeki zemin koşulları da oldukça elverişsizdir. Bu nedenle, bu bölgede oluşması muhtemel bir deprem sonucunda ortaya çıkacak maddi kaybın öngörülebilmesi oldukça önemlidir.

4.1 İncelenen Binanın Özellikleri

Bu çalışmadaki sayısal hesaplar, 1.derece deprem bölgesi olan İzmir'in, Bornova ilçesinde (38.45°K, 27.20° D) bulunan 7 katlı bir betonarme konut binası için yapılmıştır. Seçilen binanın genel özellikleri, malzeme özellikleri ve yapısal analizlerde kullanılan yük ve dinamik parametreler sırasıyla Tablo 4.1, Tablo 4.2 ve Tablo 4.3'de verilmiştir. Bina kat planı ve yandan görünüşü ise sırasıyla Şekil 4.1 ve Şekil 4.2'de verilmiştir.

Tablo 4.1 Bina genel özellikleri

Bina Genel Özellikleri	
Konum (Enlem- Boylam)	38,4° – 27,2°
Kullanım Amacı	Konut
Kat Sayısı	1 Zemin Kat + 6 Normal Kat
Kat Yükseklikleri	2,80 m (Zemin Kat + Normal Kat)
Toplam Bina Yüksekliği	19,60 m
Döşeme Tipi/ Kalınlığı	Kirişli Döşeme/ 15 cm
Bina Taşıyıcı Sistemi	Betonarme Perde + Çerçeve
Bina Oturma Alanı	270,56 m ²

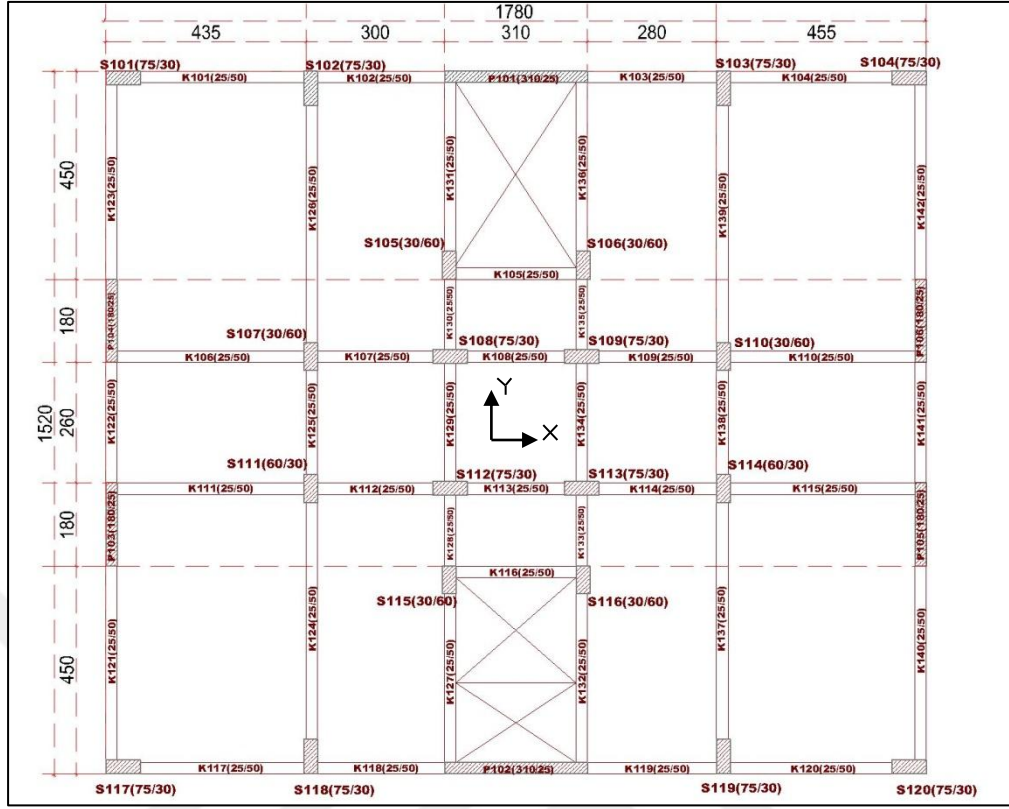
Tablo 4.2 Malzeme özellikleri

Binanın Taşıyıcı Sisteminin Malzeme Özellikleri	
Beton Sınıfı	C30
Çelik Sınıfı	S420

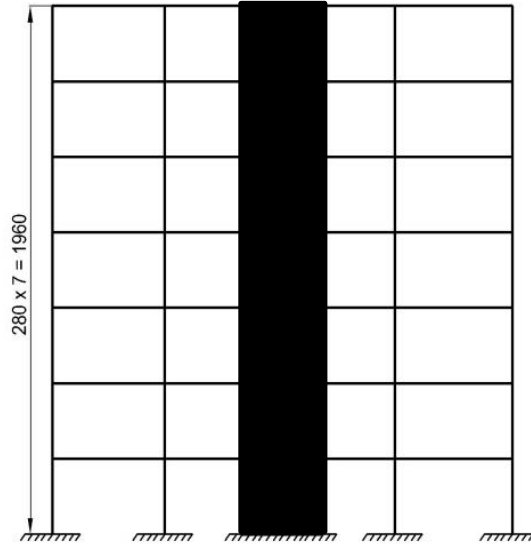
Tablo 4.3 Bina analizlerinde kullanılan yükler

Binanın Dinamik Analizlerinde Kullanılan Parametreler	
Yerel Zemin Sınıfı	Z4
Sabit Yükler	
19 cm Tuğla Duvar	3,27 kN/m
13 cm Tuğla Duvar	2,10 kN/m
Tesviye+Kaplama+Sıva	5,68 kN/m ²
Hareketli Yükler	
Normal Kat Döşemeleri	3,50 kN/m ²
Merdivenler	5,00 kN/m ²

Bina kat planı ve X yönüne ait düşey görünüşü Şekil 4.1 ve Şekil 4.2’de takdim edilmiştir.



Şekil 4.1 Kat planı



Şekil 4.2 X yönü düşey görünüş

4.1.1 Analizlerde Kullanılan Modelin Oluşturulması

Çalışma kapsamında yapılan doğrusal ve doğrusal olmayan analizlerde SAP2000 v18 bilgisayar programı kullanılmıştır. Oluşturulan modelde, kolon ve kirişler çubuk eleman, perdeler ise çok katmanlı kabuk eleman olarak tanımlanmıştır. Temel-zemin bağlantısı ankastre mesnet olarak modellenmiştir. Tüm döşemelerin rijit diyafram özelliği gösterdiği kabul edilmiştir. Binanın dinamik analizler sonucu elde edilen doğal titreşim periyodları ve kütle katılım oranları Tablo 4.4’de verilmiştir.

Tablo 4.4 Y yönü analiz sonuçları

Mod	Periyod	X Yönü Toplam Kütle Katılım Oranı	Y Yönü Toplam Kütle Katılım Oranı
1	0,62	0,00	0,77
2	0,58	0,74	0,77
3	0,18	0,74	0,89
4	0,16	0,88	0,89
5	0,09	0,88	0,94
6	0,08	0,91	0,94

Yapılan dinamik analizlerin sonucuna göre dizayn edilen kesitlerin donatıları belirlenmiştir. Kiriş elemanlar için ana boyuna donatılar ve enine donatı Tablo 4.5’de verilmiştir. Verilen donatılar tüm katlarda aynı şekilde devam etmektedir.

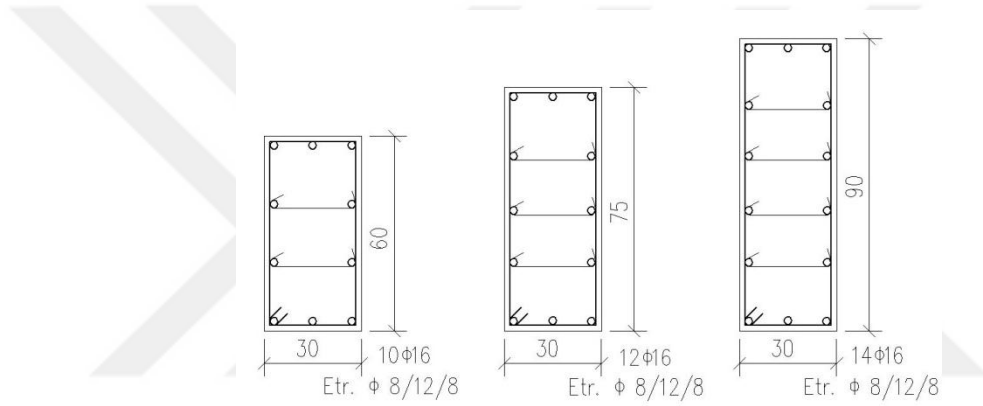
Tablo 4.5 Kiriş donatıları

KIRIŞ NO	ÜST DONATI	ALT DONATI	ETRİYE
K01- K04-K05- K08- K12-K13- K14- K17-K18- K20-K21-K22- K23-K27-K28-K29-K30-K31-K32- K33-K34-K35-K36-K40- K42	3Φ12	3Φ12	Φ8/20/10
K02-K03-K06- K07- K09- K16- K19- K41-	3Φ12	3Φ12	Φ8/10/10
K06-K10-K11-K15	3Φ12	5Φ12	Φ8/20/10
K24-K26-K37-K39	3Φ16	5Φ16	Φ10/10/10
K25-K38	3Φ16	3Φ16	Φ8/10/10

Kolonlara ait donatılar ise Tablo 4.6’da verilmiştir. Bu kolonların donatı detayları Şekil 4.3’te gösterilmektedir.

Tablo 4.6 Kolon en kesit boyutları ve donatıları

Kolon Boyutu (cm)	Seçilen Donatı
60/30	10 Φ 16
75/30	12 Φ 16
90/30	14 Φ 16

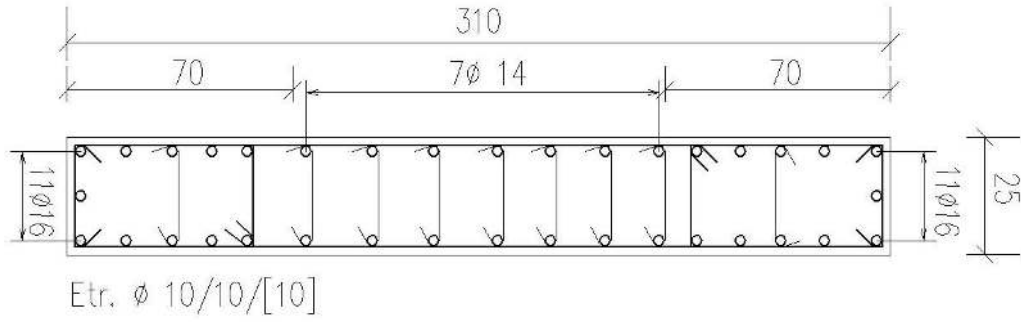


Şekil 4.3 Kolon donatı detayları

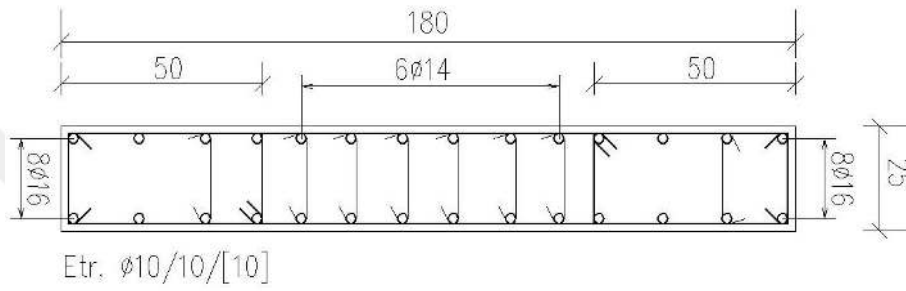
Sistemin yanal rijitliğini arttıran perdelerin donatıları, Tablo 4.7’de donatı detayları ise Şekil 4.4 ve Şekil 4.5’de verilmiştir.

Tablo 4.7 Perde en kesit boyutları ve donatıları

Perde	Perde Boyutu (cm)	Başlık Bölgeleri (cm)	Seçilen Başlık Bölgesi Donatısı	Seçilen Gövde Donatısı
P101-P102	25/310	25/70	11 Φ 16	Φ 14/20
P103-P104 P105-P106	25/180	25/50	8 Φ 16	Φ 14/20



Şekil 4.4 P101-P102 perdeleri donatı detayları



Şekil 4.5 P103-P104-P105-P106 perdeleri donatı detayları

4.2 Sismik Girdinin Oluşturulması

Bu tez kapsamında incelenen örnek binanın bulunduğu bölge olan İzmir ili, ülkemizin üçüncü büyük ili olup üç milyona yakın nüfusa ve yaklaşık bir buçuk milyon bina stokuna sahip önemli bir finans merkezidir. Aynı zamanda bu bölge, Türkiye'nin deprem bölgeleri haritasına göre birinci derece deprem bölgesi olduğu için önemli bir sismik risk altındadır. Dolayısıyla, tasarım aşamasında bu riskin göz önünde bulundurulabilmesi oldukça önemlidir.

Bu çalışmada, sismik tehlike eğrisini elde edebilmek için önceki bölümde anlatıldığı gibi performansa dayalı tasarımı esas alan DLH (2008) yönetmeliği tarafından sağlanan veriler kullanılmıştır. Bu eğriyi elde edebilmek için öncelikle D1, D2 ve D3 depremlerinin yıllık aşılma oranları belirlenmelidir. 50 yılda aşılma olasılıkları sırasıyla %50, %10 ve %2 olan bu depremlere ait yineleme periyotları ise sırasıyla, 72, 475 ve 2475 yıldır. Bu veriler kullanılarak, bu depremlere ait ortalama

yıllık aşılma oranları belirlenebilir. Bu şekilde elde edilen, D1, D2, D3 depremlerine ait yıllık aşılma oranları Tablo 4.8’de verilmiştir.

Tablo 4.8 Deprem seviyelerine karşılık gelen yıllık aşılma oranları

Deprem Seviyeleri	Yineleme Periyodları (Yıl)	Yıllık Aşılma Oranları
D1	72	0,0138
D2	475	0,0021
D3	2475	0,0004

Bu yönetmelikte (DLH, 2008), konuma bağlı olarak değişen D1, D2, D3 depremlerine ait spektral ivme değerleri (S_S ve S_1) tanımlanmıştır. Bu çalışmada ele alınan binanın konumu ($38.45^\circ K$, $27.20^\circ D$) için elde edilen spektral ivme değerleri Tablo 4.9’da verilmiştir.

Tablo 4.9 Kısa periyot ve 1,0 sn periyoduna karşı gelen spektral ivme değerleri

Konum		Kısa Periyot için Spektral İvme (g) - S_S			1.0 saniye Periyodu için Spektral İvme (g) – S_1		
Boylam	Enlem	% 50	% 10	% 2	% 50	% 10	% 2
27,2°	38,4°	0,49	1,17	2,03	0,15	0,46	0,97

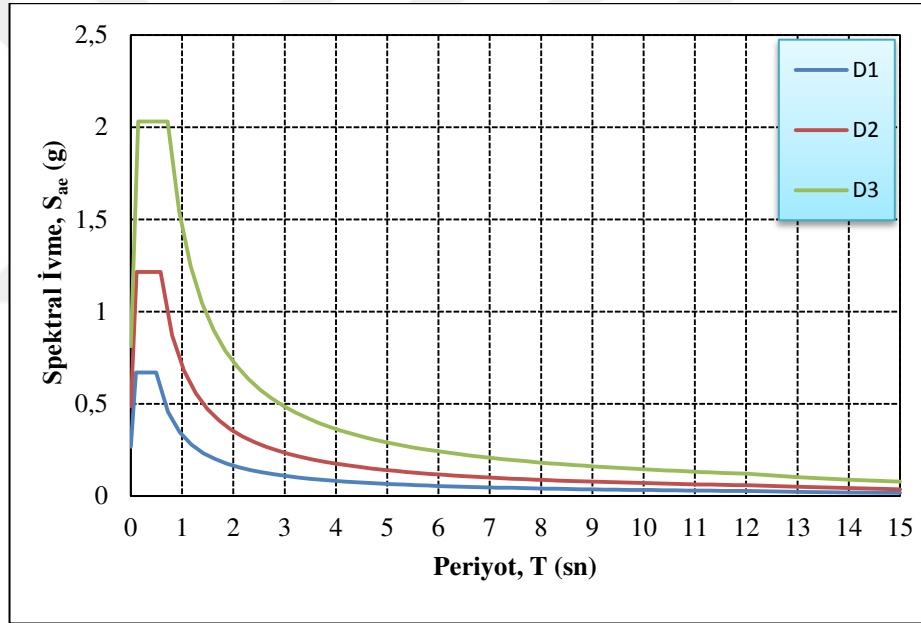
Burada F_a , kısa periyot zemin katsayısı ve F_v , 1.0 saniye periyodu zemin katsayısıdır. Bu değerler, ele alınan binanın konumu için belirlenen D^1 . yerel zemin sınıfı için ikinci bölümde verilen tablolar yardımıyla elde edilmiştir Bu şekilde elde edilen tasarım spektral ivme değerleri Tablo 4.10’da verilmiştir.

¹ $180 \text{ m/sn} < \bar{v}_s \leq 360 \text{ m/sn}$ veya $15 \leq \bar{N} \leq 50$ olan katı zeminler. Buradaki, $\bar{v}_s$ sismik kayma dalgası hızı; $\bar{N}$ standart penetrasyon sayısını ifade etmektedir.

Tablo 4.10 Tasarım spektral ivme değerleri

Konum		Kısa Periyot için Spektral İvme (g) - $S_{MS}=F_a * S_{SS}$			1.0 sn Periyodu için Spektral İvme (g) – $S_{M1}=F_v * S_1$		
Boylam	Enlem	% 50	% 10	% 2	% 50	% 10	% 2
27,2°	38,4°	0,67	1,22	2,03	0,33	0,70	1,46

Bu değerler kullanılarak elde edilen, üç farklı deprem seviyesine (D1, D2, D3) ait tepki spektrumları önceki bölümde açıklandığı gibi DLH (2008)'de tanımlanan spektrum katsayılarına göre, önceki bölümde anlatıldığı gibi elde edilmiştir. Elde edilen bu spektrum Şekil 4.6'da verilmiştir.



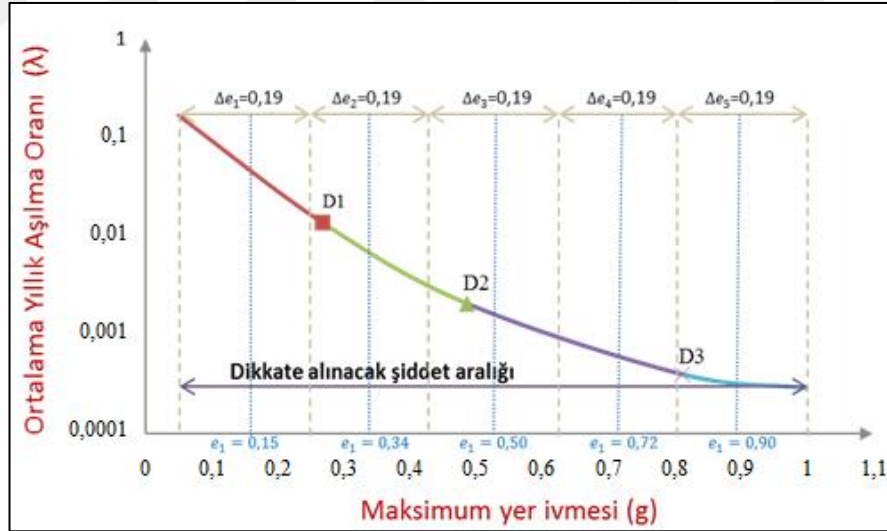
Şekil 4.6 D1, D2 ve D3 deprem seviyelerine ait tepki spektrumları

Sismik tehlike eğrisinin bir diğer bileşeni olan pik zemin ivmesi (PGA) Şekil 4.6'da verilen spektrumlarda $T=0$ saniyeye karşılık gelen spektral ivme değerini ifade etmektedir. Bu değeri bulabilmek için, önceki bölümde anlatıldığı gibi DLH kapsamında verilen spektrum katsayıları kullanılır. Burada, $T=0$ sn için spektral ivme değeri $0,4*S_{MS}$ olarak tanımlanmıştır. Bu şekilde bulunan değerler Tablo 4.10'da verilmiştir.

Tablo 4.11 Pik zemin ivmesi (PGA) değerleri

Deprem Seviyesi	S_{MS} (g)	$0,4*S_{MS}$ (PGA,g)
D1	0,67	0,2679
D2	1,22	0,4863
D3	2,03	0,8120

D1, D2 ve D3 deprem seviyelerine ait Tablo 4.8’de verilen yıllık aşılma oranları ve bunlara karşılık gelen Tablo 4.11’deki pik zemin ivmesi değerleri kullanılarak, eğri uydurma yaklaşımı ile Şekil 4.7’ de verilen sismik tehlike eğrisi elde edilmiştir. Bu eğri kullanılarak, yapılacak olan yapısal analizlerde uygulanacak yer hareketleri belirlenerek, binanın maruz kalabileceği çeşitli şiddetlerdeki depremler oluşum oranlarıyla birlikte maliyet hesabına katılmış olacaktır. Bunun için daha önce açıklanan, ATC-58 (2012a) tarafından önerilen yaklaşıma göre, sismik tehlike eğrisi belli sayıda eş aralığa bölünmelidir.



Şekil 4.7 Sismik tehlike eğrisi

Bu çalışmada, sismik tehlike eğrisini 5 adet eş aralığa bölmek uygun görülmüştür. Bu aralıkların her birinin orta noktalarındaki maksimum yer ivmeleri (e_i) ve bu değerlere karşılık gelen ortalama yıllık aşılma oranları şekil üzerinde gösterilmiştir.

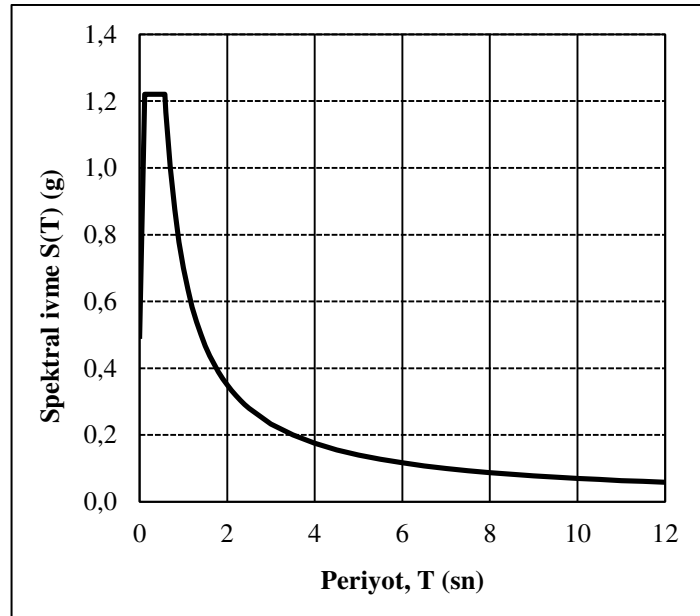
Yukarıda anlatıldığı şekilde elde edilen orta noktaların şiddetleri ve bunlara karşılık gelen yıllık aşılma oranları Tablo 4.12’de verilmiştir.

Tablo 4.12 Belirlenen yer ivmesi şiddetleri ve karşılık gelen yıllık aşılma oranları

Aralık	Yıllık Aşılma Oranı (v_i)	Orta noktanın şiddeti (e_i),g
Δv_1	0,15090	0,15
Δv_2	0,01523	0,34
Δv_3	0,00202	0,50
Δv_4	0,00049	0,72
Δv_5	0,00011	0,90

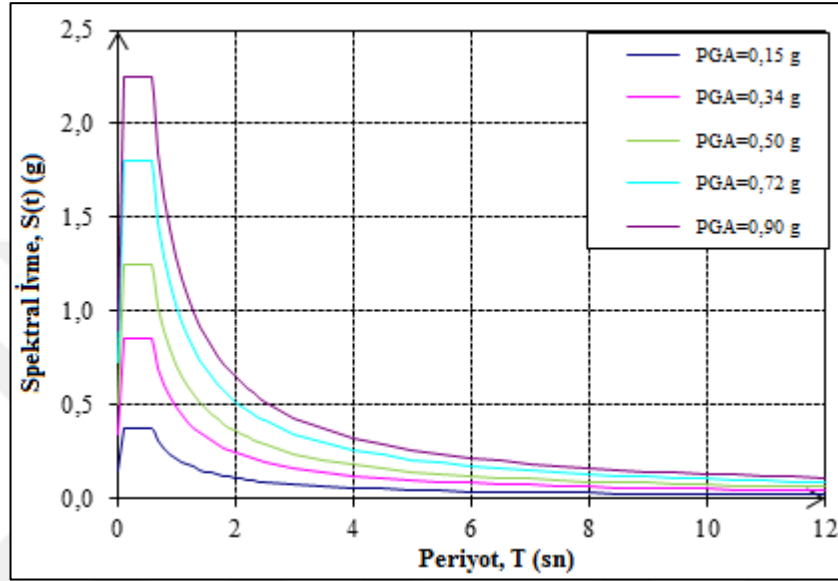
4.3 Tepki Spektrumlarının Elde Edilmesi

Tablo 4.10’da, 3 adet deprem seviyesine (D1, D2 ve D3) ait tasarım spektral ivme değerleri yer almaktadır. Bu üç adet deprem seviyesinden, tasarım deprem seviyesi olan D2 esas alınarak hesaplanmış spektral ivme değerleri kullanılarak oluşturulan referans tepki spektrumu Şekil 4.8’de verilmiştir.



Şekil 4.8 Tasarım ivme-tepki spektrumu

Daha sonra bu spektrum, pik zemin ivmesine (PGA) göre normalize edilerek, sismik tehlike eğrisinin bölünmesiyle elde edilmiş, 5 adet deprem şiddeti (e_i) için ivme spektrumları elde edilmiştir. Bu şekilde oluşturulan tepki spektrumları Şekil 4.9’da verilmiştir. Bu spektrumlar daha sonra analizlerde kullanılacak olan deprem kayıtlarını seçmek için kullanılacaktır.



Şekil 4.9 Normalizasyon ile 5 adet deprem şiddeti (e_i) için elde edilen tepki spektrumları

4.3.1 Deprem Kayıtlarının Seçimi

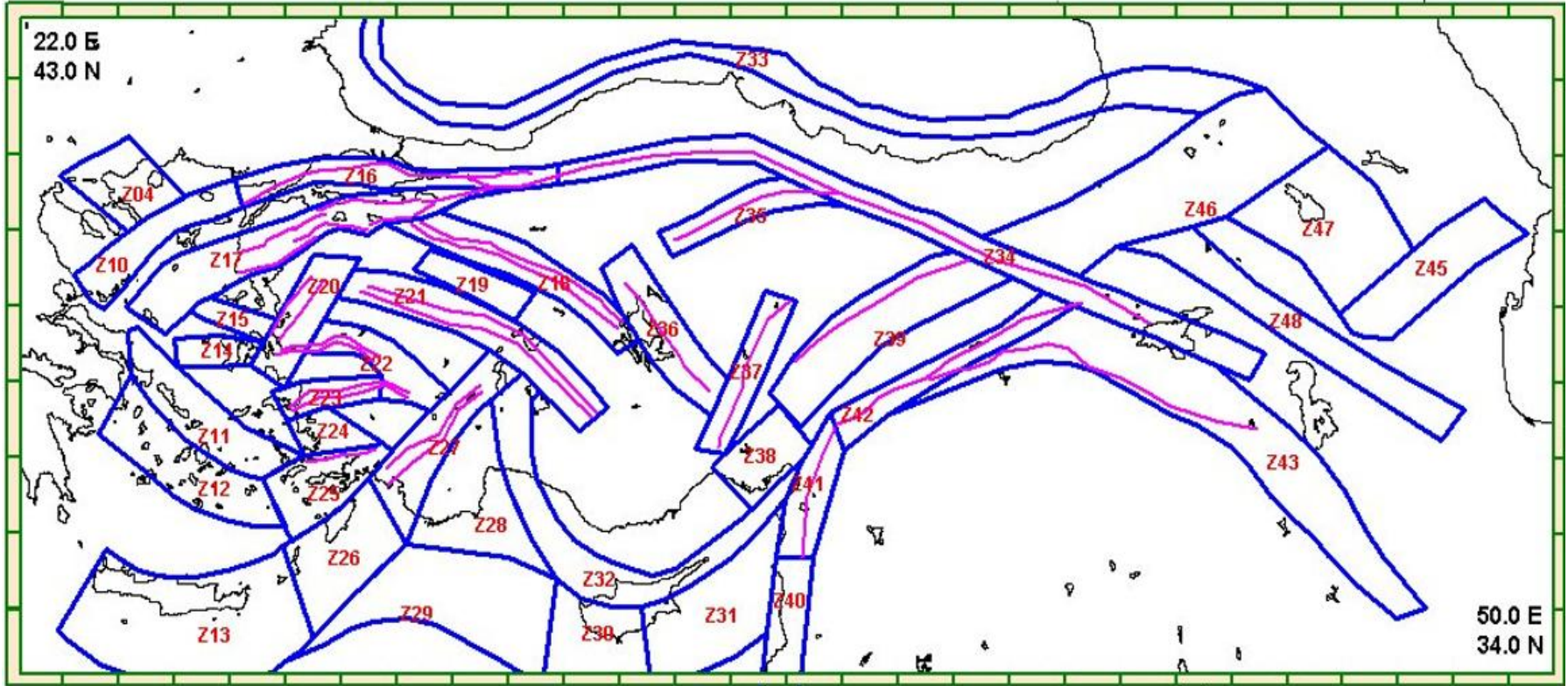
Bu çalışmada deprem hasar maliyeti hesaplanacak olan bina İzmir’in Bornova ilçesinde bulunmaktadır. Bu bölge sismik açıdan oldukça aktif bir bölgedir. Ege bölgesi, çevresindeki tektonik levhaların etkisiyle karmaşık ve hızla değişen bir tektonik yapı sergilemektedir (Akıncı, Eyidoğan, Göktürkler, Akyol ve Ankaya, 2000). Batı Anadolu’da bulunan faylar sismik açıdan oldukça önemli bir potansiyele sahiptir.

Bu bölge için yapılacak deprem kaydı seçiminde, yukarıda anlatılan metoda uygun olarak, kaynak seçiminde, DLH (2008) tarafından sağlanan sismik tehlike haritaları esas alınmıştır. Bu yönetmelik tarafından sağlanan Türkiye geneli kaynak bölgelendirme modeli Şekil 4.10’da verilmiştir. İlgili bölgede bulunan kaynakların

karakteristik özellikleri ile ilgili aynı yönetmelik tarafından verilen bilgiler ise Tablo 4.13’de verilmiştir.

Tablo 4.13 Kaynak bölgelerinin karakteristik özellikleri (DLH, 2008)

Kaynak Bölge Kodu	Mekanizma	M_{min}-M_{max} (Büyüklik)
Z14		5,0-7,0
Z15		5,0-6,8
Z20 Dış Bölge	Sol yanal atımlı	5,0-6,6
Z20 İç Bölge		6,7-7,0
Z22 Dış Bölge	Normal	5,0-6,9
Z22 İç Bölge		7,0-7,3
Z23 Dış Bölge	Normal	5,0-6,8
Z23 İç Bölge		6,9-7,6



Şekil 4.10 Türkiye geneli kaynak bölgelendirmesi modeli (DLH, 2008)

Bu kaynak bölgelerinde bulunan fayları inceleyecek olursak;

Ege Denizi Fayları: Bu bölgede, Karaburun Yarımadası ve Çandarlı Körfezi fayları, Sisam fayı, Midilli fayı, Sakız fayı gibi önemli faylar bulunmaktadır. Bu fayların, Şekil 4.10'da verilen kaynak modelinde Z14 ve Z15 bölgelerinde bulunduğu söylenebilir

Bergama-Foça Fay Zonu: RADIUS (1997) kapsamında sağlanan verilere göre, bu fay zonu Bergama kuzeyinden başlayarak Foça'ya kadar birbirine paralel KKD doğrultulu bir fay zonudur. Bu sistem özellikle Kütahya, Simav ve Gediz grabenlerinin batı uçlarını sınırlamaktadır. Güneybatıda ise bu fayın ucu İzmir körfezine kadar uzanmaktadır. Bu fay zonunun Şekil 4.10'da verilen kaynak bölgelendirme modelinde Z20 bölgesinde bulunduğu söylenebilir

Gediz Grabeni Fay Zonu: İzmir ve yakın çevresinin depremselliği ile ilgili yapılan bir çalışma (Emre ve ark., 2005) kapsamında oluşturulan rapora göre, Gediz grabeni doğuda Sarıgöl ile batıda Manisa ve Kemalpaşa arasında D-B genel uzanımında yaklaşık 150 km uzunluğundaki normal fay sistemine bağlı olarak şekillenmiştir.

Bu grabendeki fay kaynakları ile ilgili aşağıdaki bilgiler, DLH (2008) yönetmeliğinde, deprem tehlikesinin belirlenmesi amacıyla yapılan analizlerde esas alınan rapora (Erdik, Şeşetyan, Demircioğlu, ve Durukal, 2006) göre verilmiştir. Gediz grabeni batı ucunda yer alan faylar grabenin Kemalpaşa ve Manisa kollarını oluşturur. Manisa kolu doğu ucunda Turgutlu fayının KB devamlılığı şeklinde izlenen Manisa fayına bağlı olarak şekillenmiştir. Kemalpaşa kolundaki aktif yapıların başlıcaları ise graben ana sıyrılma fayı, Kemalpaşa fayı ve bir transfer yapısı olan Dağkızılca faylarından oluşur. Bunların yanı sıra İzmir fayı, Gediz graben sisteminin batıya doğru devamında yer alır.

Manisa Fayı: Manisa'da bulunan fay KB-GD doğrultusunda uzanmaktadır. Doğrultu atımlı fay özelliği göstermektedir. Gediz grabeni fay zonunda bulunan bu

fayın, Şekil 4.10'da verilen kaynak modelinde, Z22 (İç Bölge) bölgesinde bulunduğu söylenebilir.

Kemalpaşa Fayı: Yaklaşık 20 km uzunluğundaki fay, Turgutlu civarı ile Kemalpaşa arasında, DB doğrultusunda uzanmaktadır. Normal fay özelliği göstermektedir. Gediz grabeni fay zonunda bulunan bu fayın, Şekil 4.10'da verilen kaynak modelinde, Z22 (İç Bölge) bölgesinde bulunduğu söylenebilir.

İzmir Fayı: İzmir Körfezi ile Kemalpaşa arasında DB doğrultusunda uzanmaktadır. Bu fay iki bölümden oluşur ve uzunluğu yaklaşık 35 km'dir. Doğu segmenti Gediz grabeninin batı ucundaki Kemalpaşa Fayı kuzey kolunun devamı şeklindedir. Fay karakteristiği olarak, olası fay ve normal fay özelliklerini bir arada göstermektedir. Şekil 4.10'da verilen kaynak modelinde, Z22 (Dış Bölge) bölgesinde bulunduğu söylenebilir.

Tuzla Fayı: RADIUS (1997) kapsamında sağlanan verilere göre, KD-GB uzanımlı fay Cumaovası ile Doğanbey Burnu arasında yer almaktadır ve buradan Ege Denizi'ne ulaşmaktadır. Bu fay İzmir için önemli bir sismik risk oluşturmaktadır. Geçmişte oluşan depremlerin birçoğu da bu fayda oluşmuştur. Doğrultu atımlı fay özelliği göstermektedir. Şekil 4.10'da verilen kaynak modelinde, Z20 bölgesinde bulunduğu söylenebilir.

Gümüldür Fayı: İzmir ve yakın çevresinin depremselliği ile ilgili yapılan bir çalışma (Emre ve ark., 2005) kapsamında oluşturulan rapora göre, İzmir'in güneybatısında Gümüldür ile Özdere beldeleri arasında uzanır. Normal fay özelliği göstermektedir. Bu fayın, Şekil 4.10'da verilen kaynak modelinde Z23 (Dış Bölge) bölgesinde olduğu söylenebilir.

Küçük Menderes Fayı: RADIUS (1997) kapsamında sağlanan verilere göre, Bu fay batıda Efes Antik şehri güneydoğusundan geçerek Ege Denizi'ne kadar uzanmaktadır. Buradan Sisam adası kuzeyinden gelen fay zonu ile birleşmektedir.

Bu fayın Şekil 4.10'da verilen kaynak modelinde Z23 (İç Bölge) bölgesinde olduğu söylenebilir.

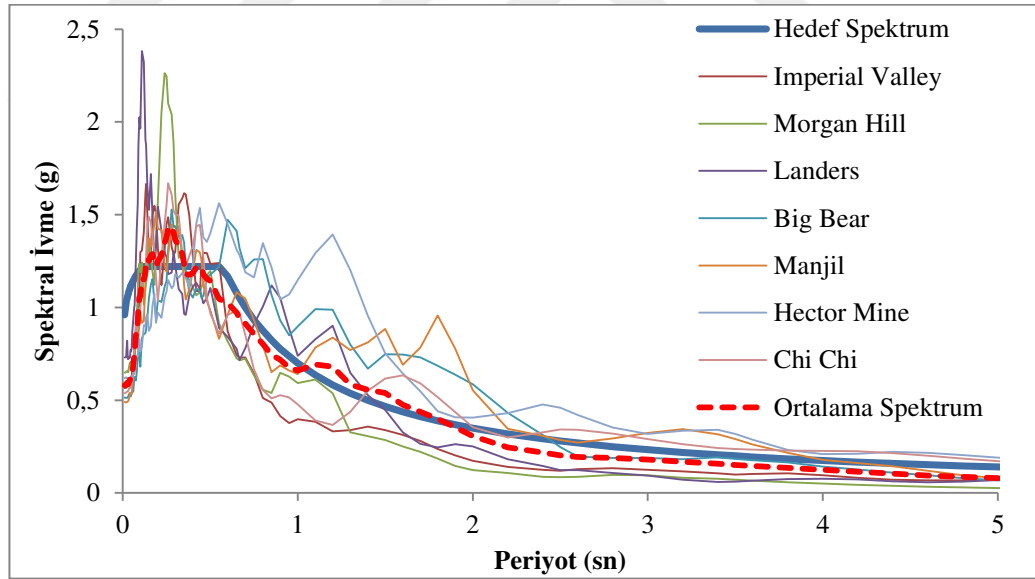
Yukarıda anlatılan ayrıştırma metoduna dayanarak, Tablo 4.12'de verilen kaynakların oluşturabilecekleri maksimum ve minimum deprem büyüklükleri incelendiğinde, Z14, Z15, Z20, Z22 (Dış Bölge) ve Z23 (Dış Bölge) bölgelerinin küçük-orta büyüklükteki depremlere, Z22 (İç Bölge) ve Z23 (İç Bölge) bölgelerinin ise orta-büyük depremlere sebep olduğu söylenebilir. Bölgedeki aktif faylar incelendiğinde, Z14, Z15, Z20, Z22 (Dış Bölge) ve Z23 (Dış Bölge) bölgelerindeki fayların, incelenen binanın bulunduğu İzmir'in Bornova ilçesine yakın mesafede oldukları görülmektedir. Z22 (İç Bölge) ve Z23 (İç Bölge) bölgeleri ise, İzmir kenti merkez olmak üzere yaklaşık 40-80 km yarıçapındaki bir alanda bulunmaktadır.

Deprem kaydı seçimi yapılırken, yukarıda verilen farklı kaynak bölgelerinden gelen katkı hesaba katılarak büyüklük ve mesafe kriterleri göz önünde bulundurulmuştur. Belirlenen özelliklerdeki deprem kayıtlarının seçilebilmesi ve hedef spektrumlara göre ölçeklenmesi için ise, Pasifik Deprem Mühendisliği Araştırma Merkezi (PEER, 2016) tarafından sağlanan, oldukça kullanışlı ve pratik bir veri tabanı kullanılmıştır. Buna göre, analizlerde kullanılmak üzere seçilen ivme kayıtları, 1979 Imperial Valley, 1990 Manjil, 1984 Morgan Hill, 1992 Landers, 1992 Big Bear, 1999 Hector Mine, 1999 Chi-Chi depremlerine aittir. Bu depremlerle ilgili belirleyici özellikler Tablo 4.14'te verilmiştir.

Tablo 4.14 Seçilen deprem kayıtları ve bu kayıtlara ait belirleyici parametreler

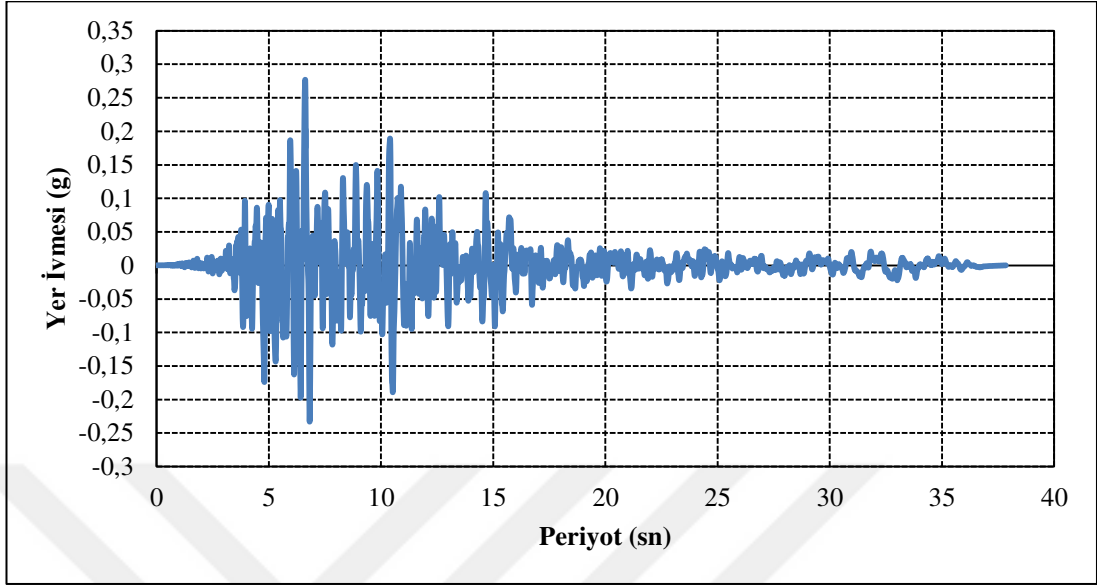
No	İstasyon	Yıl	Büyüklik (M)	Mekanizma	Mesafe (R)	Vs30 (m/sn)
1	Imperial Valley	1979	6,53	Doğrultu atımlı	10,45	231,23
2	Manjil	1990	7,37	Doğrultu atımlı	63,96	348,69
3	Morgan Hill	1984	6,19	Doğrultu atımlı	11,53	221,78
4	Landers	1992	7,28	Doğrultu atımlı	68,66	328,09
5	Big Bear	1992	6,46	Doğrultu atımlı	34,98	296,97
6	Hector Mine	1999	7,13	Doğrultu atımlı	73,55	339,02
7	Chi-Chi	1999	6,20	Doğrultu atımlı	21,62	258,89

Hedef spektrum ile uyumlu olacak şekilde ölçeklenmiş deprem kayıtlarına ait spektrumlar ve ortalaması Şekil 4.11’de verilmiştir.

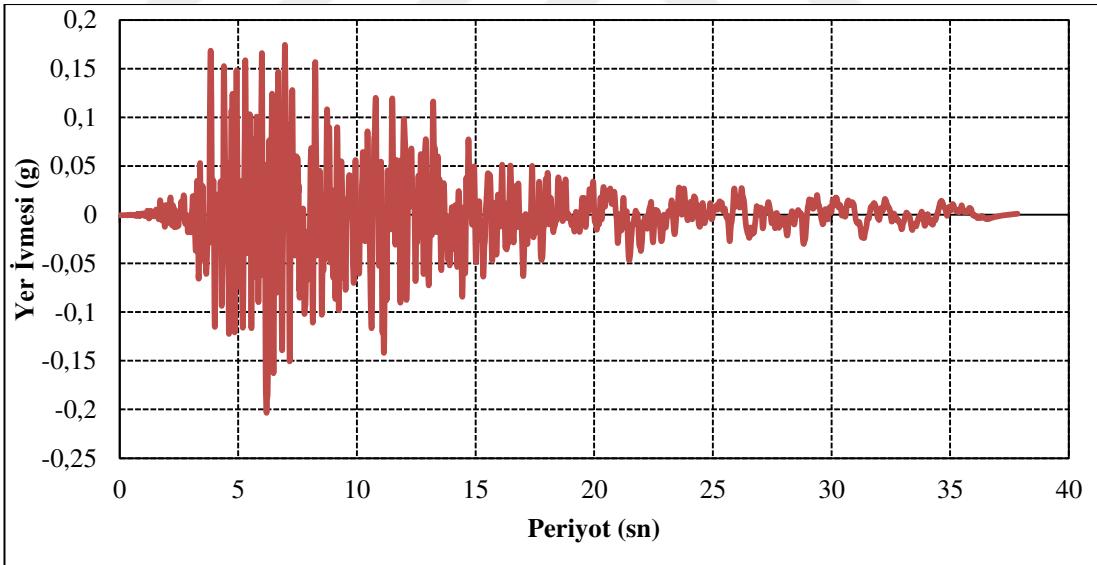


Şekil 4.11 Hedef spektrum, seçilen deprem kayıtlarına ait spektrumlar ve ortalama spektrum

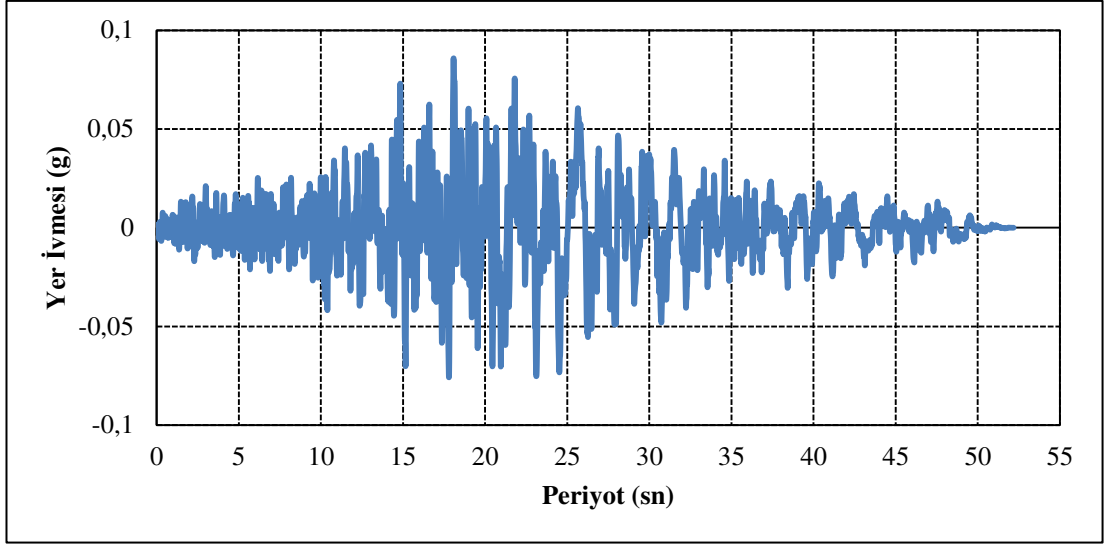
Bu depremlere ait ivme kayıtları, yatay yönde faya dik ve faya paralel bileşenler olmak üzere Şekil 4.12, 4.13, 4.25’te verilmiştir.



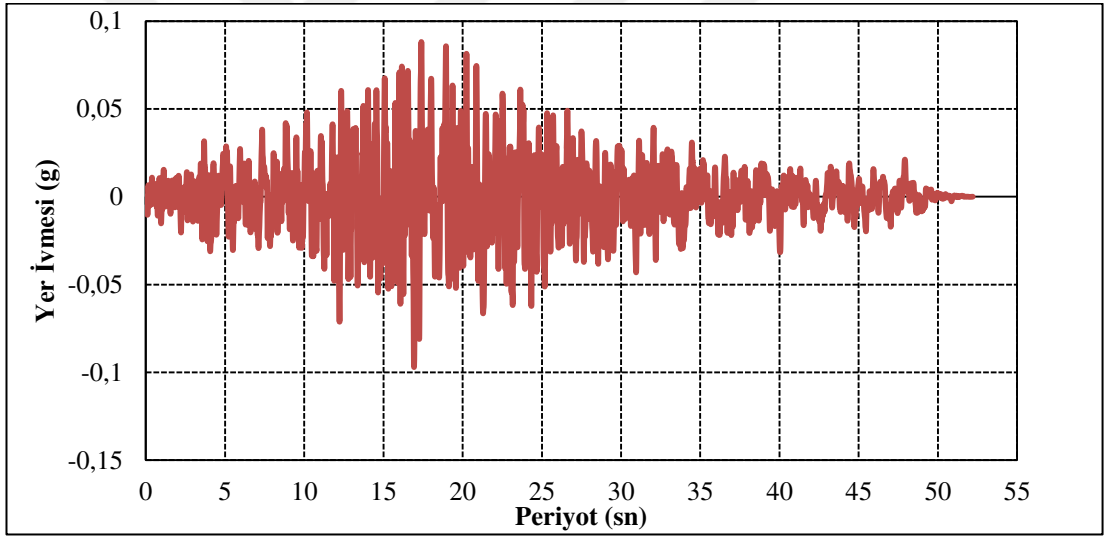
Şekil 4.12 1979 Imperial Valley depreminin faya dik bileşenine ait ivme kaydı



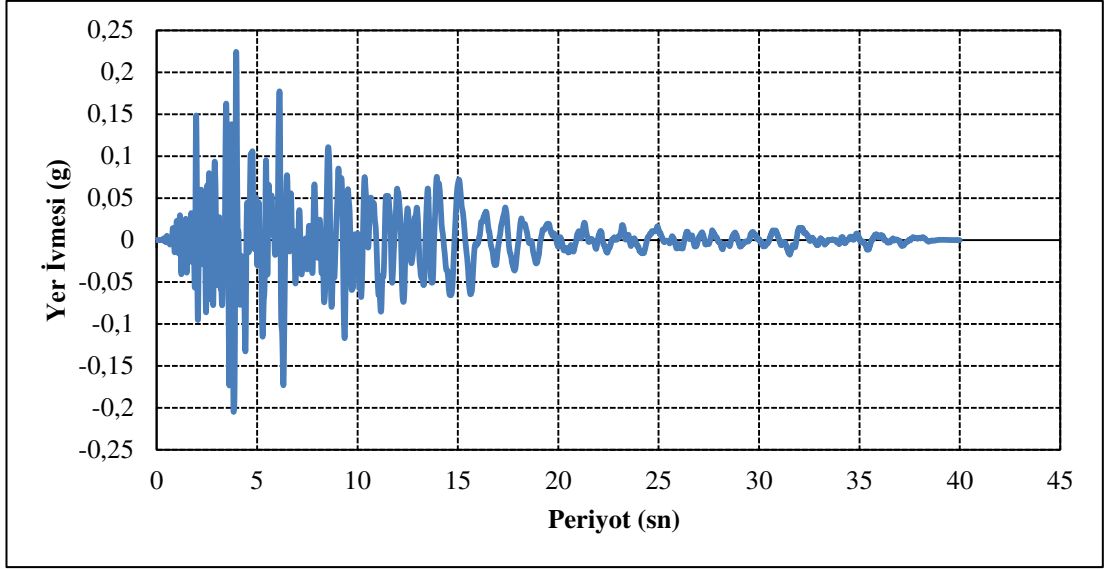
Şekil 4.13 1979 Imperial Valley depreminin faya paralel bileşenine ait ivme kaydı



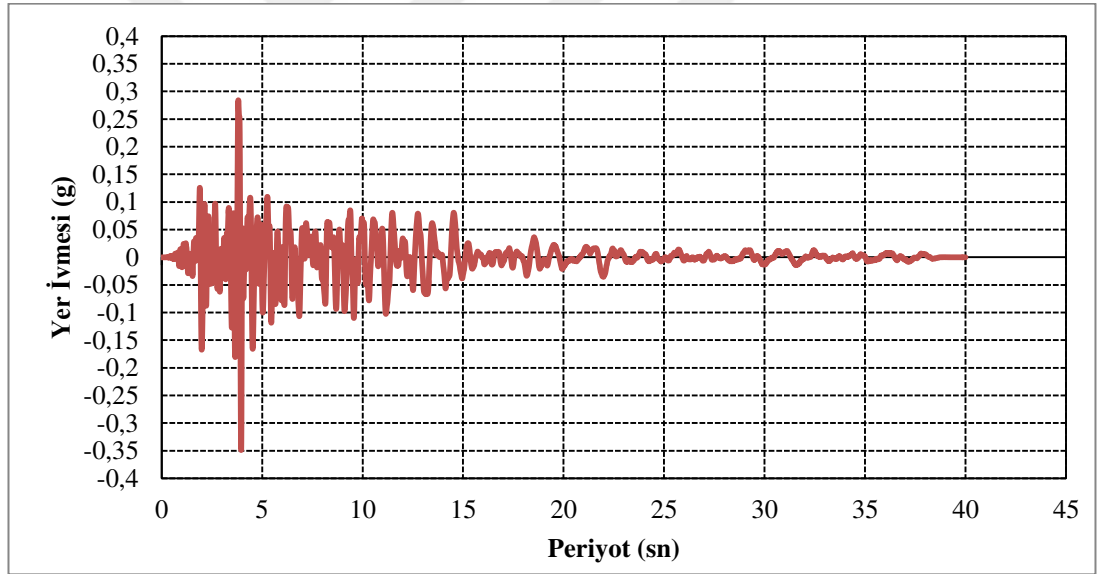
Şekil 4.14 1990 Manjil depreminin faya dik bileşenine ait ivme kaydı



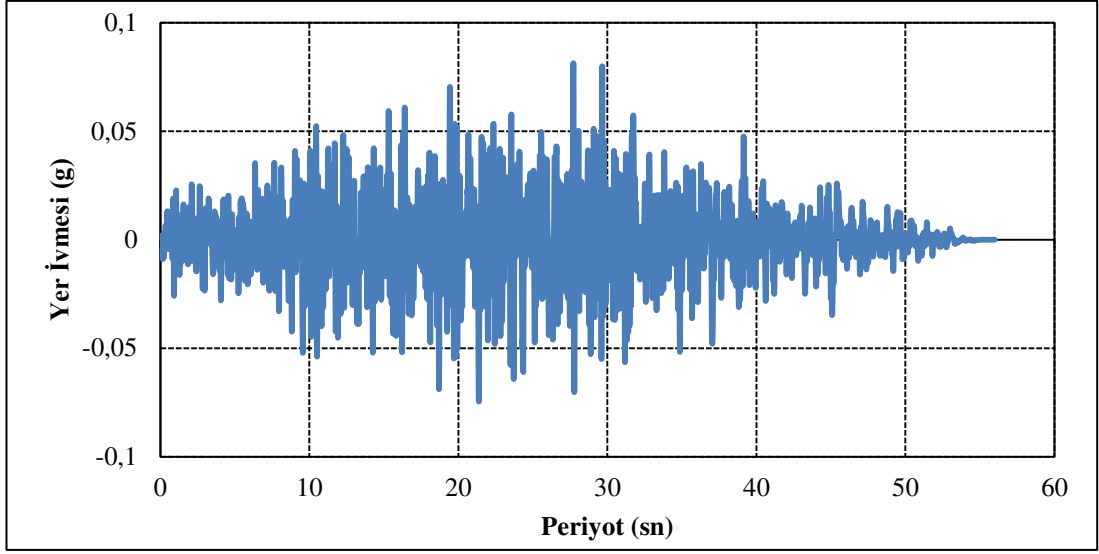
Şekil 4.15 1990 Manjil depreminin faya paralel bileşenine ait ivme kaydı



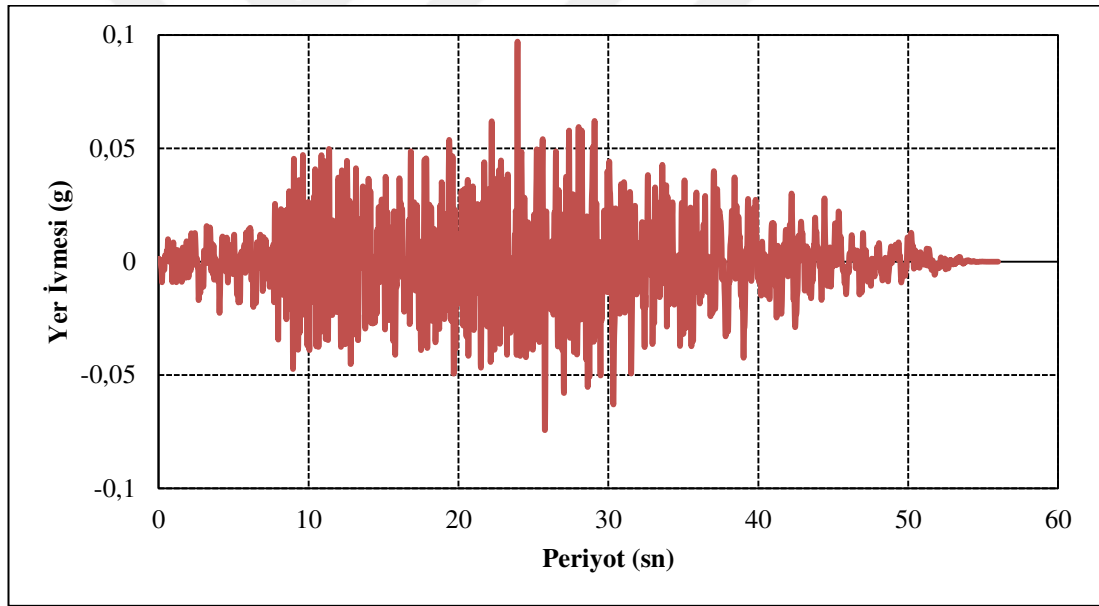
Şekil 4.16 1984 Morgan depreminin faya dik bileşenine ait ivme kaydı



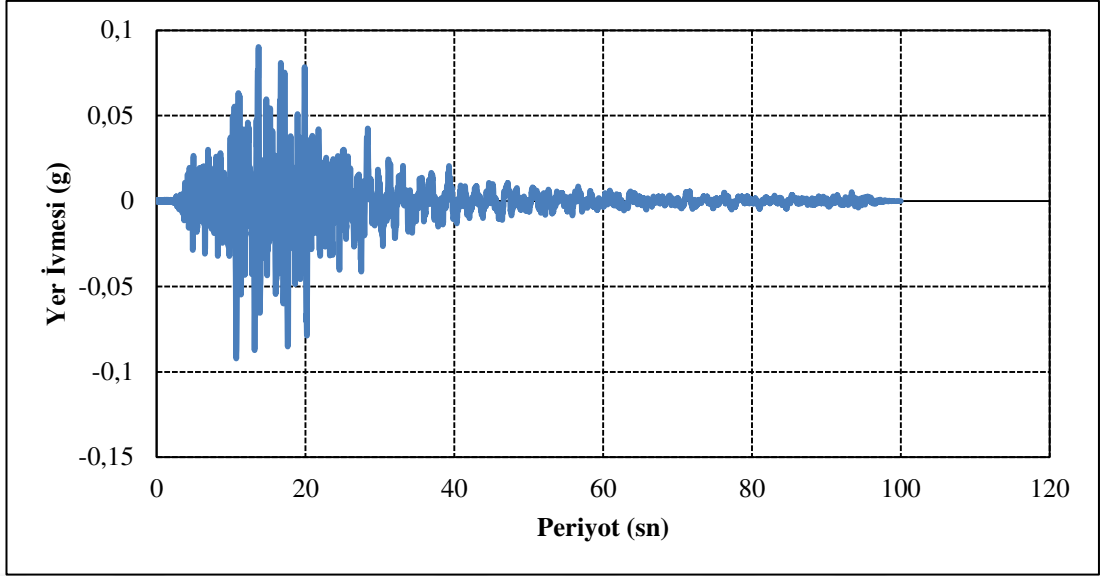
Şekil 4.17 1984 Morgan depreminin faya paralel bileşenine ait ivme kaydı



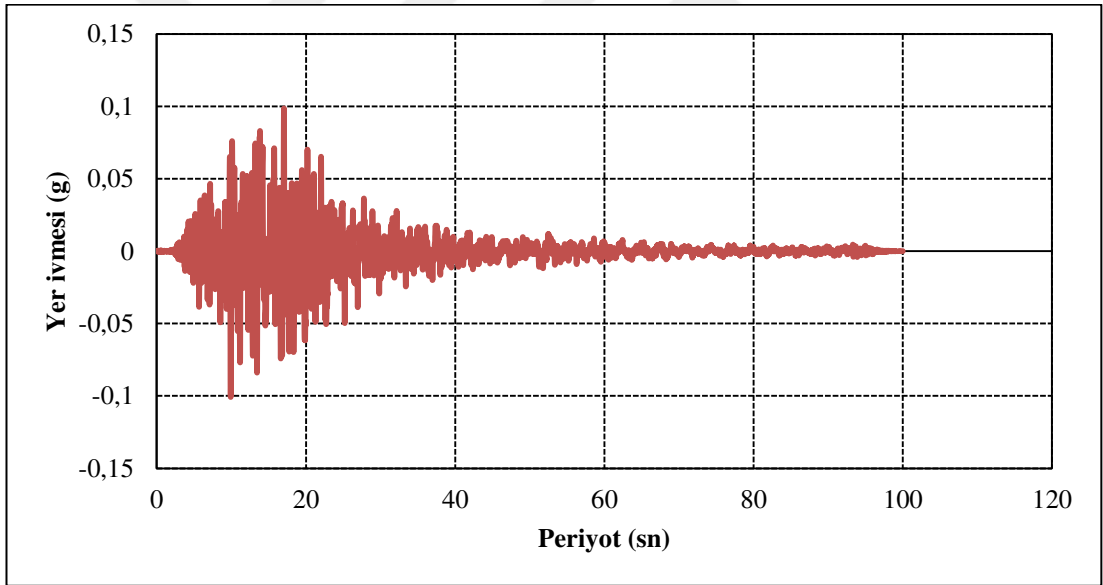
Şekil 4.18 1992 Landers depreminin faya dik bileşenine ait ivme kaydı



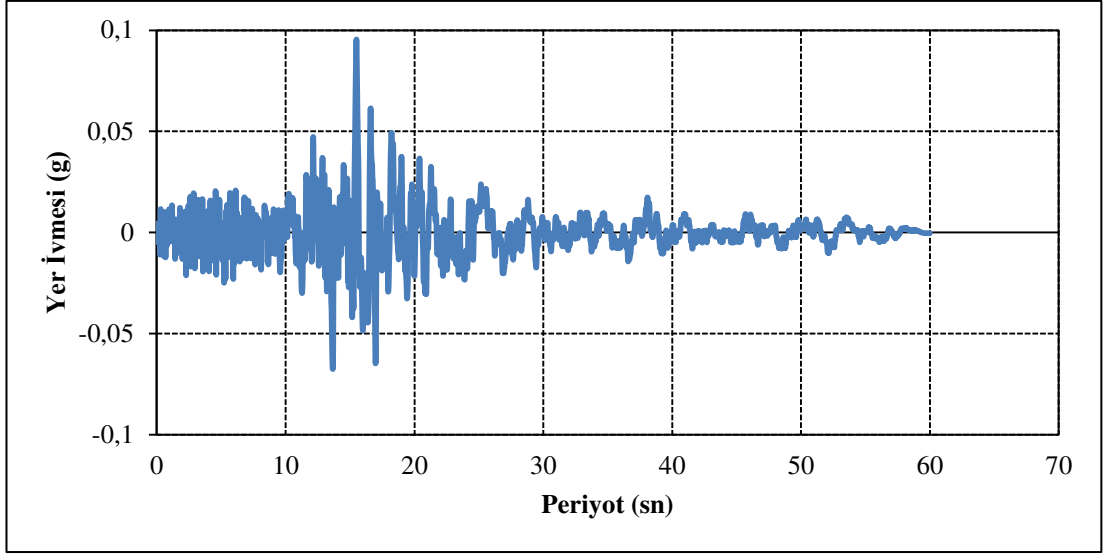
Şekil 4.19 1992 Landers depreminin faya paralel bileşenine ait ivme kaydı



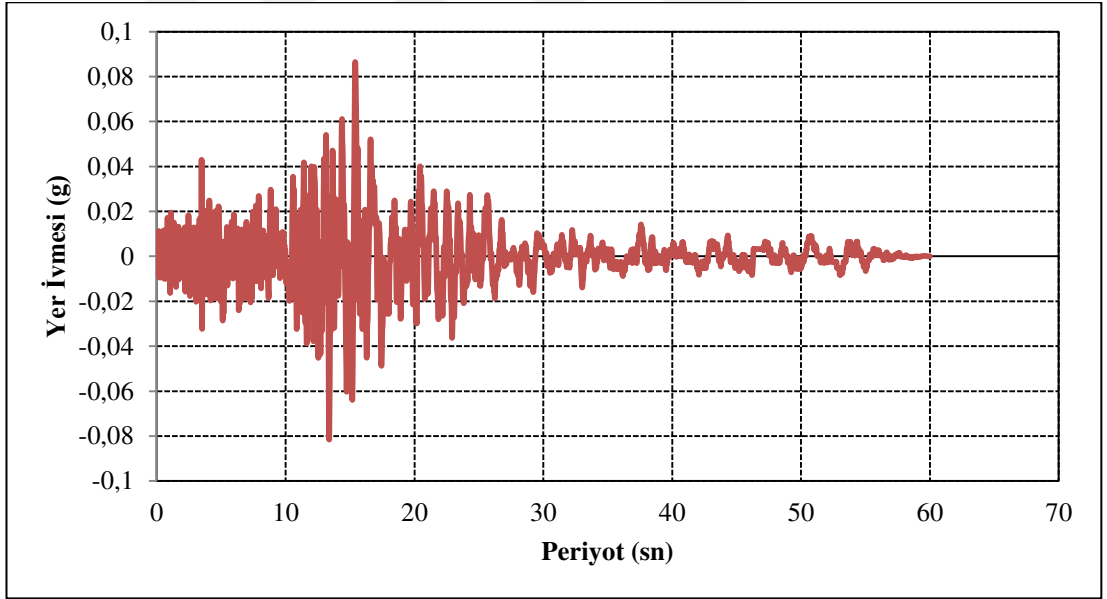
Şekil 4.20 1992 Big Bears depreminin faya dik bileşenine ait ivme kaydı



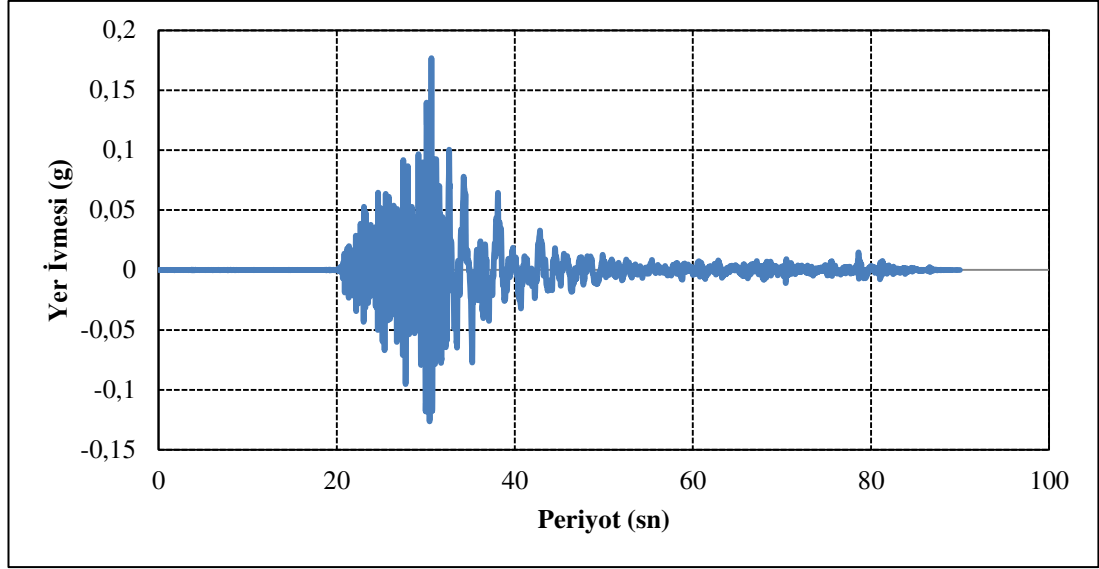
Şekil 4.21 1992 Big Bears depreminin faya paralel bileşenine ait ivme kaydı



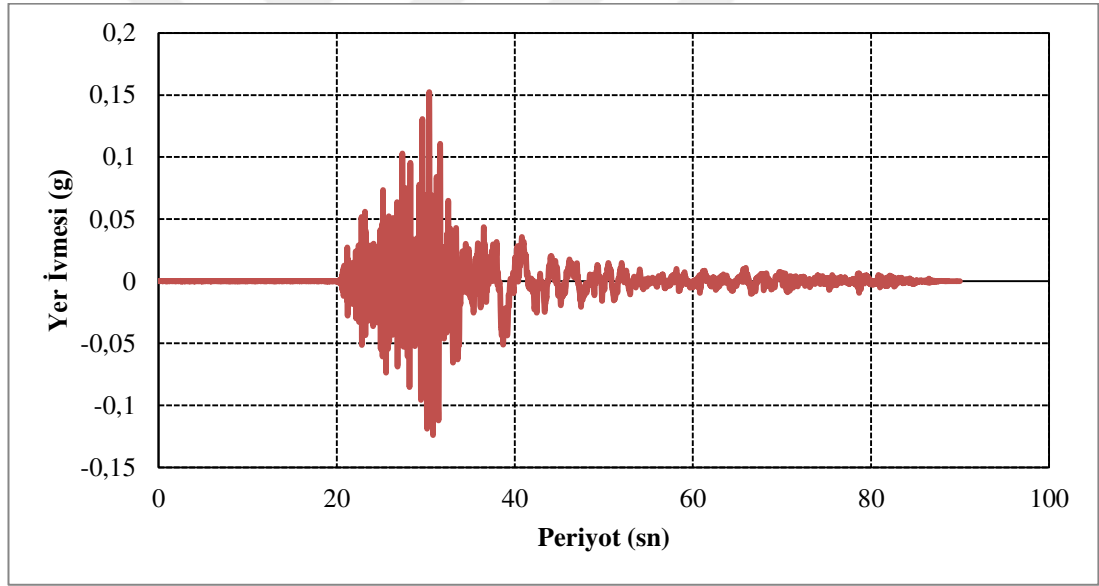
Şekil 4.22 1999 Hector Mine depreminin faya dik bileşenine ait ivme kaydı



Şekil 4.23 1999 Hector Mine depreminin faya paralel bileşenine ait ivme kaydı



Şekil 4.24 1999 Chi-Chi depreminin faya dik bileşenine ait ivme kaydı



Şekil 4.25 1999 Chi-Chi depreminin faya paralel bileşenine ait ivme kaydı

4.4 Yapısal Analizler

Bu çalışmada yapısal hasarın ölçütü olarak, göreceli kat ötelemesi oranları kullanılmıştır. Bu değerleri elde etmek için ise doğrusal ve doğrusal olmayan çeşitli analiz yöntemleri kullanılmıştır. Bu yöntemler, tepki spektrumu analizi (RS), zaman tanım alanında analiz (TH) ve artımsal ivme analizleridir (PO). Bu yöntemlerin her

biriyle elde edilen görelî kat ötelemeleri, deprem hasar maliyeti hesaplarında kullanılarak toplam maliyete etkilerini elde etmek amaçlanmaktadır.

Zaman tanım alanında analizde (TH), öncelikle seçilen deprem kayıtları bina modeline uygulanarak, her bir kat için görelî kat öteleme oranları elde edilmelidir. Daha sonra her bir deprem kaydından elde edilen görelî kat ötelemelerinin ortalama ve standart sapma değerleri bulunarak, her bir katın, Tablo 2.4'te verilen hasar seviyelerinde kalma olasılığı P_{ij}^k bulunmalıdır.

Artımsal itme (PO) ve tepki spektrumu (RS) yöntemlerinde görelî kat ötelemelerinin ortalama ve standart sapmalarını bulmak için ise, daha önce Maldonado ve Singh (1991) tarafından benimsenen yaklaşım esas alınmıştır. Buna göre, ortalama (μ) tepki spektrumu kullanarak görelî kat ötelemelerinin ortalamasının ve ortalama artı bir standart sapma ($\mu+1\sigma$) spektrumu kullanılarak görelî kat ötelemelerinin ortalama artı bir standart sapma ($\mu+1\sigma$) değerinin bulunacağı varsayılabilir. Daha sonra, bu iki spektrum kullanılarak yapılan analizler sonucu elde edilen görelî kat ötelemelerinin farkı alınarak, standart sapma değerleri elde edilmiş olur.

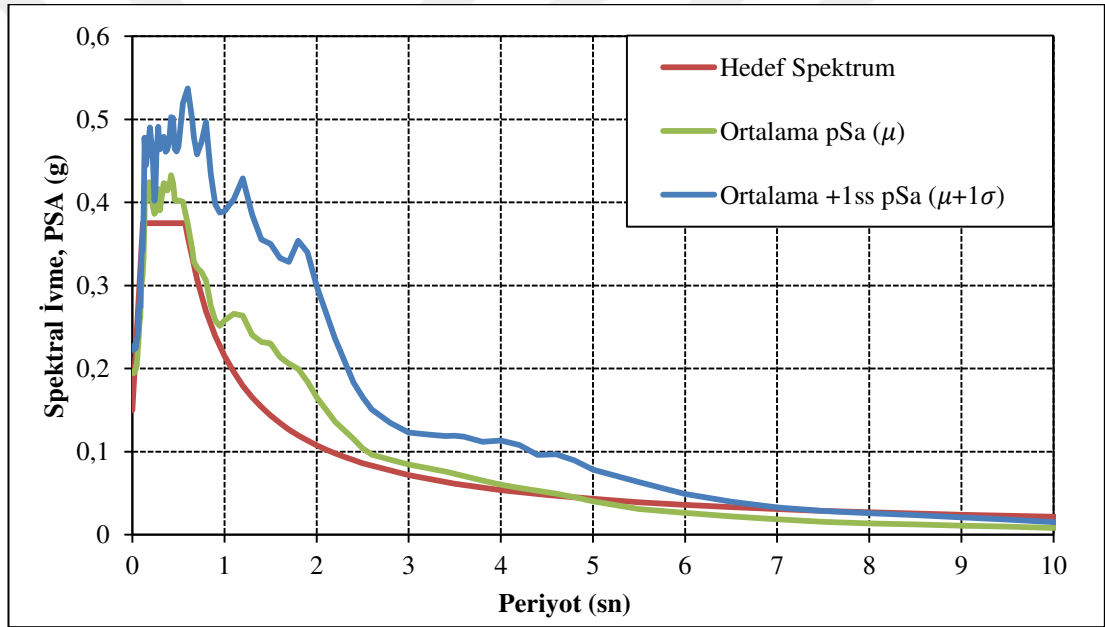
Tepki spektrumu yönteminde, seçilen deprem kayıtlarının ortalama (μ) ve ortalama artı bir standart sapma ($\mu+1\sigma$) spektrumları analiz modeline uygulanarak, her bir doğal titreşim periyodundan gelen katkı sonucu elde edilen görelî kat ötelemeleri elde edilir.

Artımsal itme analizinde ise, bu spektrumlar hedef çatı yer değiştirmesini bulmak için kullanılır. Yani, binaya 1.doğal periyodu şeklinde önceden tanımlanan yatay yük uygulanır ve binanın tepe noktası, her bir deprem şiddeti için yük talebine göre belirlenen hedef yer değiştirmeye ulaşana kadar yük arttırılır (Bozdağ ve Seçer, 2007). Buradaki yük talebi, ortalama (μ) ve ortalama artı bir standart sapma ($\mu+1\sigma$) spektrumlarından elde edilir. FEMA-356'da (FEMA-356, 2000), hedef yer değiştirmenin belirlenmesi için aşağıdaki formül önerilmiştir:

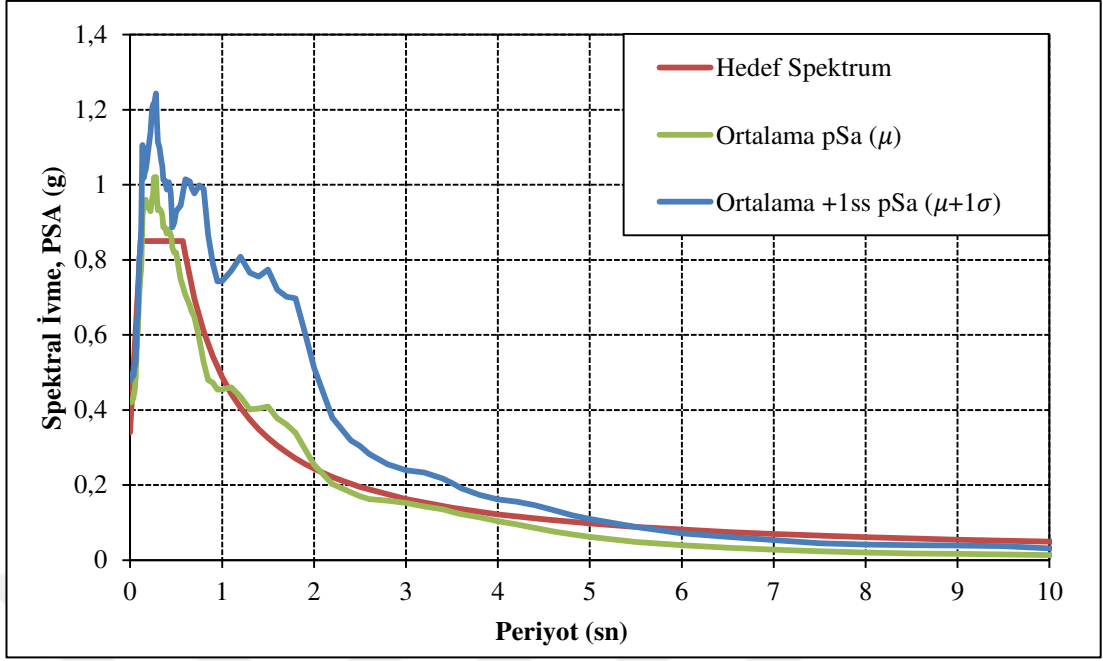
$$\delta_t = C_0 C_1 C_2 C_3 S_a \frac{T_e^2}{4\pi^2} g \quad (4.1)$$

Burada T_e ; binanın yükün etkidiği yöndeki doğal periyodunu, S_a , T_e periyoduna karşılık gelen, g 'ye göre normalize edilmiş spektral ivmeyi, C_0 , C_1 , C_2 ve C_3 ise deprem şiddetinin yük talebinin hesaplanmasında kullanılan katsayılarıdır.

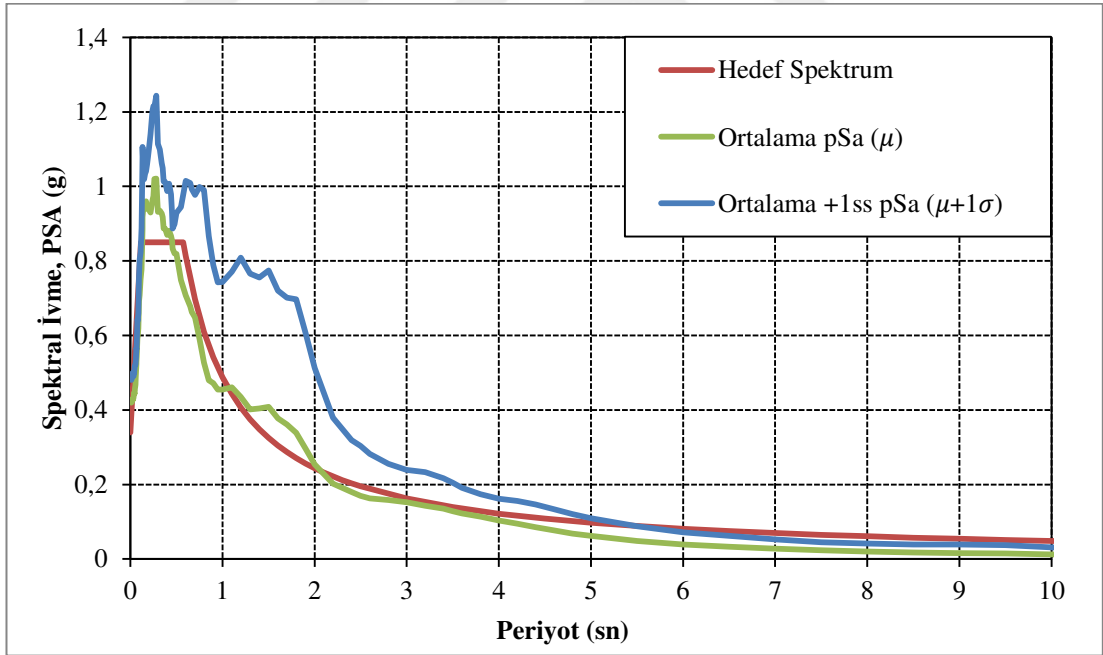
Aşağıda her bir deprem şiddeti için, tepki spektrumu ve artımsal itme analizlerinin uygulanmasında kullanılan deprem kayıtlarına ait ortalama (μ) ve ortalama artı bir standart sapma ($\mu+1\sigma$) spektrumları Şekil 4.26, 4.27.....4.30'de verilmiştir.



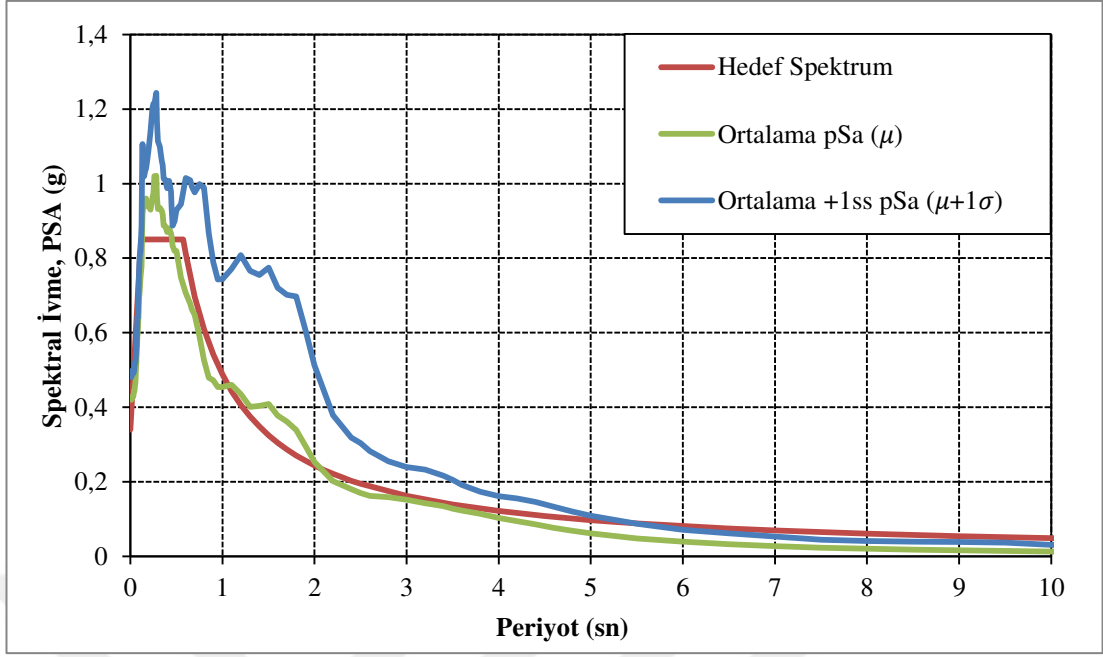
Şekil 4.26 PGA=0,15 g için ortalama ve ortalama+1ss spektrumları



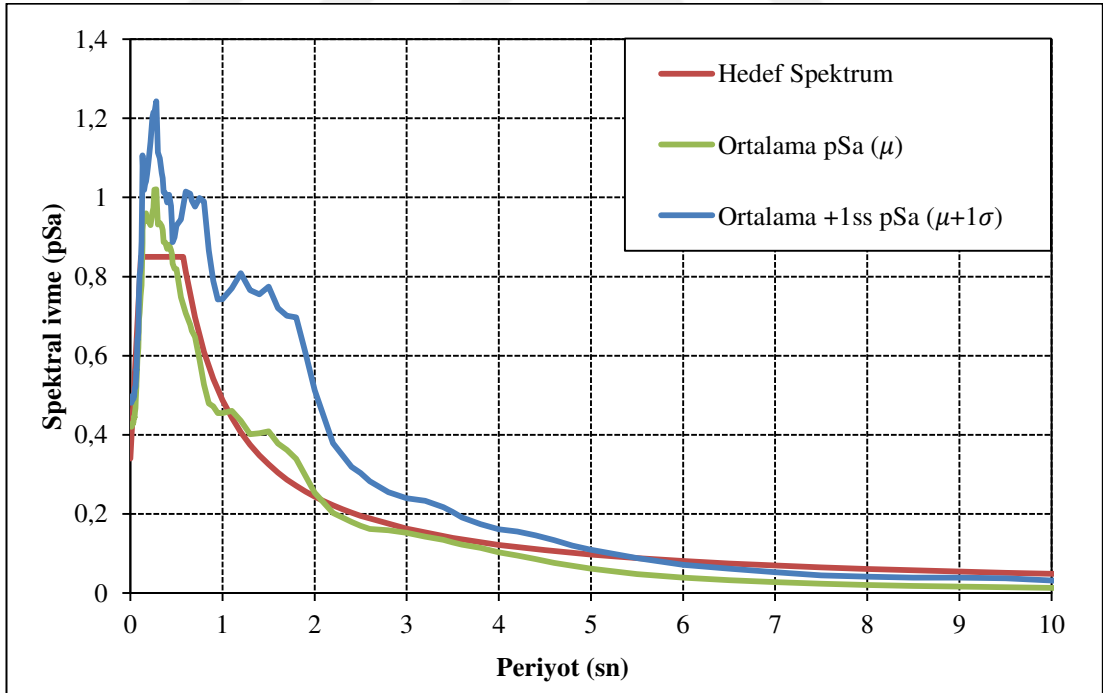
Şekil 4.27 PGA=0,34 g için ortalama ve ortalama+1ss spektrumları



Şekil 4.28 0,50 g için ortalama ve ortalama+1ss spektrumu



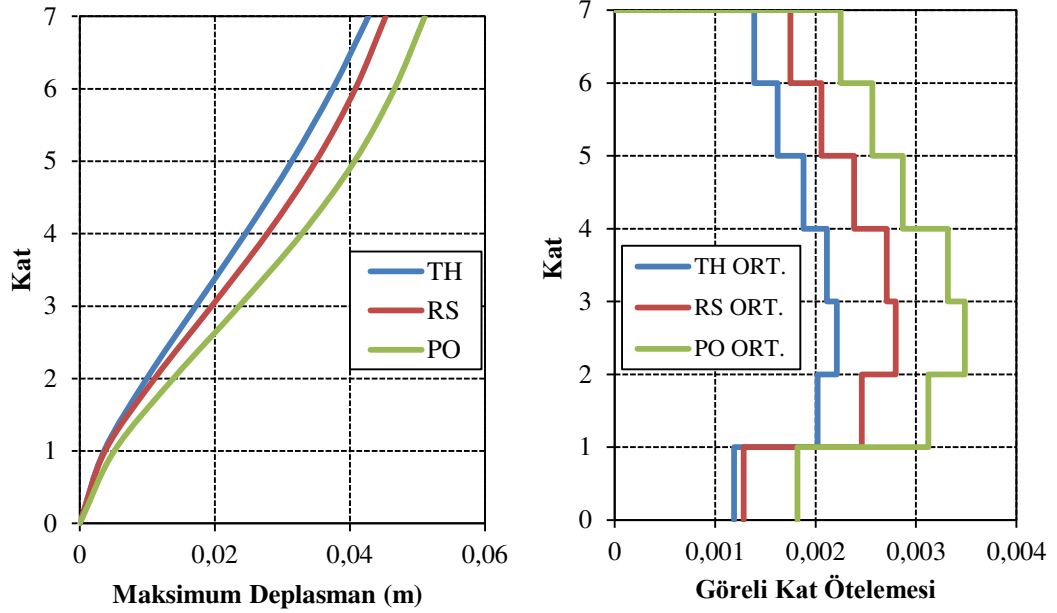
Şekil 4.29 PGA=0,72 g için ortalama ve ortalama+1ss spektrumları



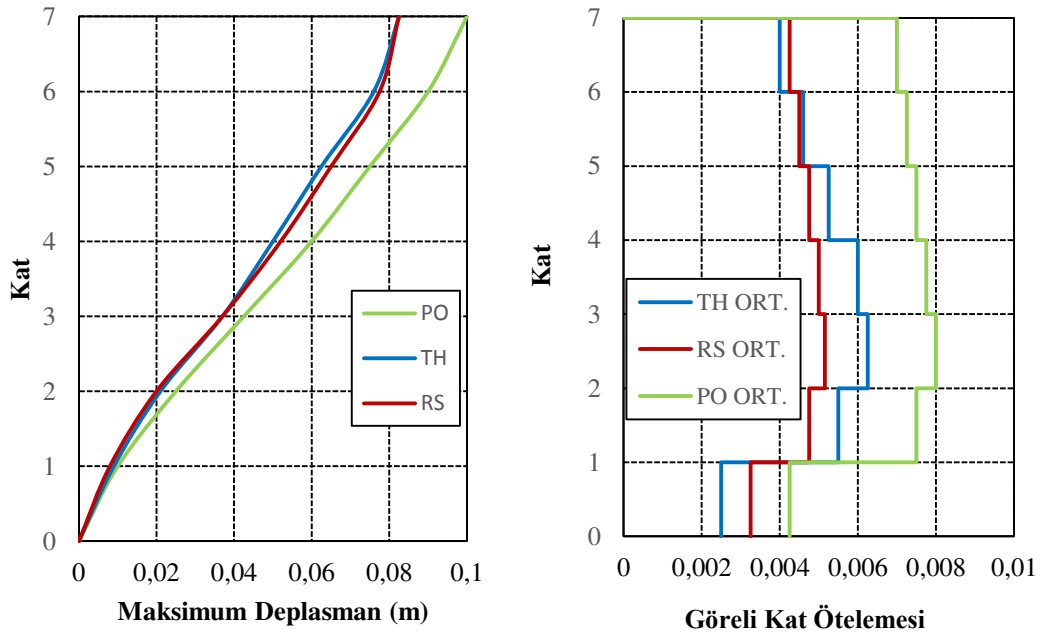
Şekil 4.30 PGA=0,90 g için ortalama ve ortalama+1ss spektrumları

Tepki spektrumu (RS) ve artımsal itme analizlerinden (PO) deprem kayıtlarına ait ortalama (μ) spektrum kullanılarak, zaman tanım alanında analizde ise her bir

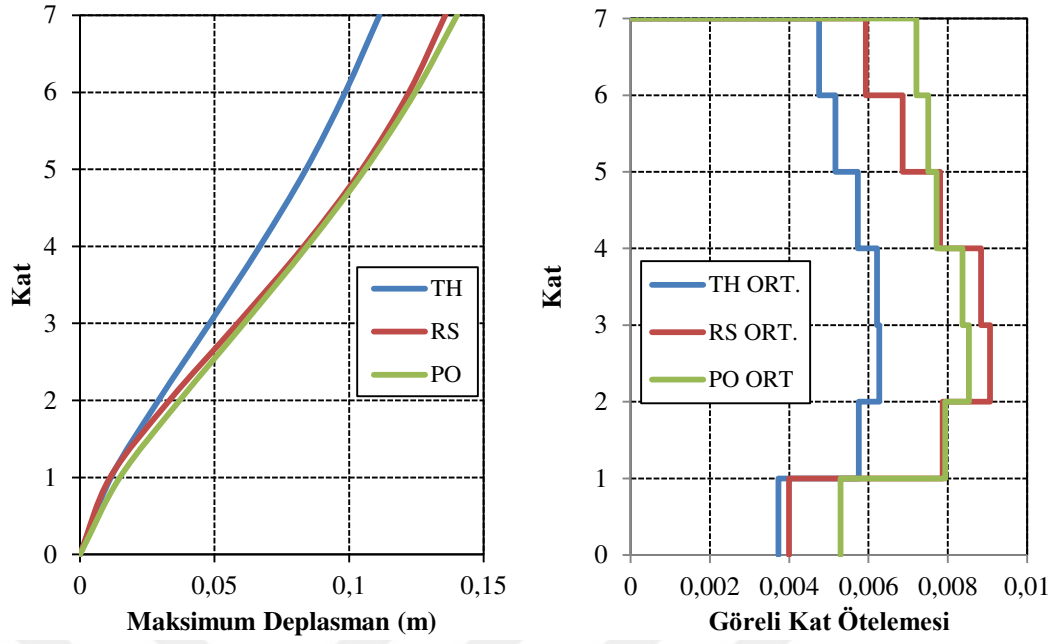
deprem kaydı için elde edilen yer değıştirme ve göreli kat ötelemelerinin ortalaması alınarak elde edilen değerler Şekil 4.31, 4.32,4.35' dekarşılaştırmalı olarak verilmiştir.



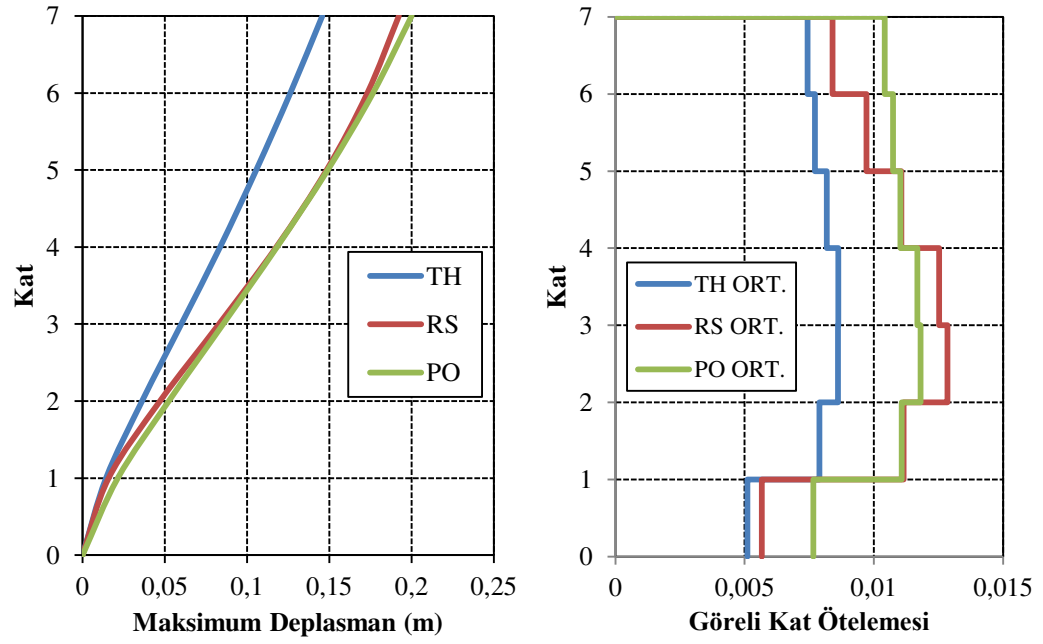
Şekil 4.31 PGA=0,15 g için katlardaki maksimum yer değıştirme ve göreli kat ötelemeleri



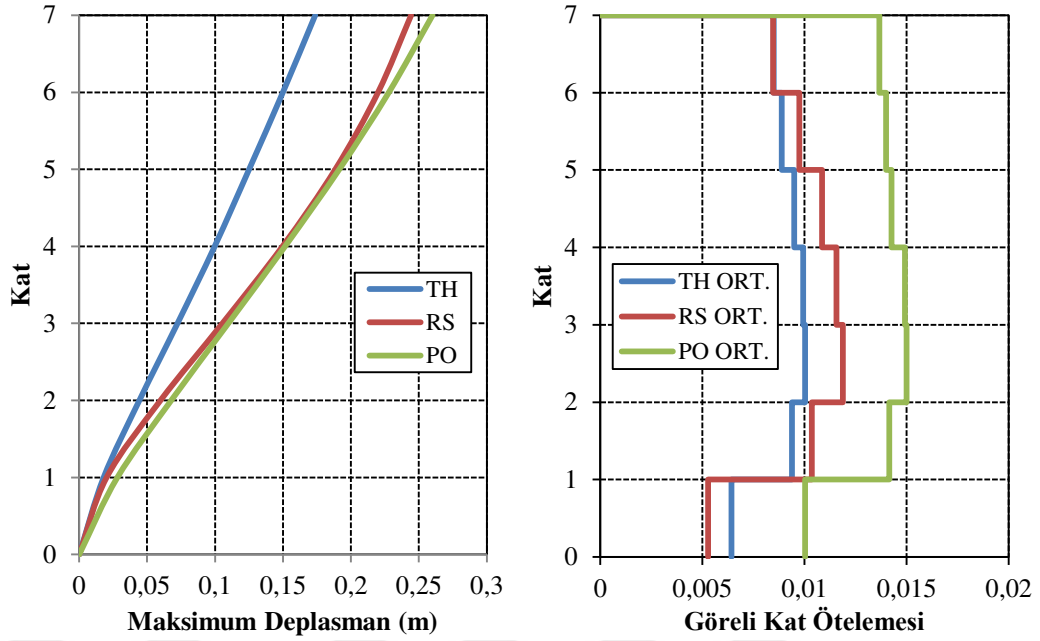
Şekil 4.32 PGA=0,34 g için katlardaki maksimum yer değıştirme ve göreli kat ötelemeleri



Şekil 4.33 $PGA=0,50\text{ g}$ için katlardaki maksimum yer değıştirme ve görelî kat ötelemeleri



Şekil 4.34 $PGA=0,72\text{ g}$ için katlardaki maksimum yer değıştirme ve görelî kat ötelemeleri



Şekil 4.35 PGA=0,90 g için katlardaki maksimum yer değiştirme ve görel kat ötelemeleri

4.5 Binanın Her Bir Hasar Seviyesinde Bulunma Olasılığı

Deprem hasar maliyetinin hesaplanmasında kullanılan bileşenlerden biri olan ve binadaki yapısal tepkinin, bu çalışma için görel kat ötelemelerinin, sismik tehlike eğrisinin 5'e bölünmesiyle elde edilen i. şiddet için, Tablo 2.4'te verilen j. hasar seviyesinde bulunması olasılığını ifade eden P_{ij} değeri her bir kat için elde edilmelidir. Bunun için önceki bölümde anlatıldığı gibi görel kat ötelemelerinin lognormal dağılıma uyduğu varsayılarak aşağıdaki gibi kümülatif dağılım fonksiyonundan yararlanılmıştır.

$$P_{ij}^k = P(\Delta_{j-1} < \Delta_{ik} < \Delta_j) = \Phi\left(\frac{\ln \Delta_j - \lambda_k}{\zeta_k}\right) - \Phi\left(\frac{\ln \Delta_{j-1} - \lambda_k}{\zeta_k}\right) \quad (4.2)$$

Her bir analiz yöntemiyle (TH, PO, RS) elde edilen görel kat ötelemeleri için hesaplanan P_{ij} ($P_{i,j}$ şeklinde, her bir kat için) değerleri Tablo 4.154.29'da verilmiştir.

Tablo 4.15 PGA=0,15 g için zaman tanım alanında analiz ile elde edilen sonuçlara göre P_{ij} değerleri

KAT	$P_{0,15;1}$	$P_{0,15;2}$	$P_{0,15;3}$	$P_{0,15;4}$	$P_{0,15;5}$	$P_{0,15;6}$	$P_{0,15;7}$
1	0,7918	0,1770	0,0278	0,0033	0,0001	0,0000	0,0000
2	0,5027	0,3662	0,1095	0,0211	0,0006	0,0000	0,0000
3	0,4375	0,4110	0,1282	0,0229	0,0005	0,0000	0,0000
4	0,4895	0,3899	0,1044	0,0159	0,0003	0,0000	0,0000
5	0,6074	0,3229	0,0626	0,0070	0,0001	0,0000	0,0000
6	0,7249	0,2265	0,0427	0,0058	0,0001	0,0000	0,0000
7	0,8024	0,1607	0,0314	0,0053	0,0002	0,0000	0,0000

Tablo 4.16 PGA=0,15 g için artımsal itme analizi ile elde edilen sonuçlara göre P_{ij} değerleri

KAT	$P_{0,15;1}$	$P_{0,15;2}$	$P_{0,15;3}$	$P_{0,15;4}$	$P_{0,15;5}$	$P_{0,15;6}$	$P_{0,15;7}$
1	0,7186	0,2116	0,0560	0,0131	0,0007	0,0001	0,0000
2	0,4337	0,3616	0,1527	0,0487	0,0030	0,0003	0,0000
3	0,3587	0,3968	0,1831	0,0580	0,0032	0,0003	0,0000
4	0,3873	0,3912	0,1687	0,0501	0,0026	0,0002	0,0000
5	0,4963	0,3443	0,1242	0,0334	0,0016	0,0001	0,0000
6	0,6492	0,2346	0,0839	0,0291	0,0026	0,0004	0,0000
7	0,7420	0,1645	0,0621	0,0267	0,0037	0,0009	0,0001

Tablo 4.17 PGA=0,15 g için tepki spektrumu analizi ile elde edilen sonuçlara göre P_{ij} değerleri

KAT	$P_{0,15;1}$	$P_{0,15;2}$	$P_{0,15;3}$	$P_{0,15;4}$	$P_{0,15;5}$	$P_{0,15;6}$	$P_{0,15;7}$
1	0,8065	0,1595	0,0293	0,0045	0,0001	0,0000	0,0000
2	0,4552	0,3739	0,1357	0,0338	0,0014	0,0001	0,0000
3	0,3604	0,4160	0,1753	0,0463	0,0018	0,0001	0,0000
4	0,3733	0,4207	0,1654	0,0392	0,0013	0,0001	0,0000
5	0,4537	0,3998	0,1234	0,0225	0,0005	0,0000	0,0000
6	0,5946	0,3226	0,0724	0,0102	0,0002	0,0000	0,0000
7	0,7336	0,2161	0,0434	0,0067	0,0002	0,0000	0,0000

Tablo 4.18 PGA=0,34 g için zaman tanım alanında analiz ile elde edilen sonuçlara göre P_{ij} değerleri

KAT	$P_{0,34;1}$	$P_{0,34;2}$	$P_{0,34;3}$	$P_{0,34;4}$	$P_{0,34;5}$	$P_{0,34;6}$	$P_{0,34;7}$
1	0,4444	0,2299	0,1493	0,1192	0,0351	0,0173	0,0045
2	0,2587	0,2555	0,2072	0,1881	0,0576	0,0269	0,0057
3	0,2153	0,2612	0,2254	0,2065	0,0606	0,0260	0,0046
4	0,2348	0,2604	0,2178	0,1974	0,0585	0,0258	0,0049
5	0,2785	0,2561	0,2014	0,1789	0,0541	0,0252	0,0054
6	0,3505	0,2410	0,1752	0,1531	0,0484	0,0248	0,0066
7	0,3690	0,2367	0,1690	0,1470	0,0468	0,0244	0,0068

Tablo 4.19 PGA=0,34 g için artımsal itme analizi ile elde edilen sonuçlara göre P_{ij} değerleri

KAT	$P_{0,34;1}$	$P_{0,34;2}$	$P_{0,34;3}$	$P_{0,34;4}$	$P_{0,34;5}$	$P_{0,34;6}$	$P_{0,34;7}$
1	0,4039	0,2345	0,1602	0,1337	0,0411	0,0209	0,0057
2	0,1935	0,2530	0,2291	0,2204	0,0679	0,0304	0,0057
3	0,1428	0,2489	0,2509	0,2494	0,0737	0,0298	0,0045
4	0,1571	0,2520	0,2453	0,2402	0,0713	0,0294	0,0047
5	0,2176	0,2563	0,2217	0,2072	0,0631	0,0285	0,0056
6	0,3282	0,2409	0,1807	0,1624	0,0527	0,0276	0,0076
7	0,4339	0,2147	0,1464	0,1281	0,0433	0,0249	0,0087

Tablo 4.20 PGA=0,34 g için tepki spektrumu analizi ile elde edilen sonuçlara göre P_{ij} değerleri

KAT	$P_{0,34;1}$	$P_{0,34;2}$	$P_{0,34;3}$	$P_{0,34;4}$	$P_{0,34;5}$	$P_{0,34;6}$	$P_{0,34;7}$
1	0,5252	0,1936	0,1215	0,1007	0,0330	0,0190	0,0070
2	0,2046	0,2563	0,2266	0,2136	0,0647	0,0287	0,0054
3	0,1228	0,2469	0,2620	0,2622	0,0746	0,0280	0,0036
4	0,1372	0,2515	0,2562	0,2517	0,0719	0,0277	0,0038
5	0,2078	0,2599	0,2275	0,2108	0,0623	0,0268	0,0048
6	0,3384	0,2384	0,1770	0,1589	0,0519	0,0275	0,0078
7	0,4683	0,2014	0,1348	0,1189	0,0415	0,0252	0,0099

Tablo 4.21 PGA=0,50 g için zaman tanım alanında analiz ile elde edilen sonuçlara göre P_{ij} değerleri

KAT	$P_{0,50;1}$	$P_{0,50;2}$	$P_{0,50;3}$	$P_{0,50;4}$	$P_{0,50;5}$	$P_{0,50;6}$	$P_{0,50;7}$
1	0,1528	0,3236	0,2879	0,1983	0,0311	0,0061	0,0003
2	0,0638	0,2104	0,2836	0,3193	0,0901	0,0300	0,0029
3	0,0599	0,1954	0,2713	0,3274	0,1029	0,0387	0,0045
4	0,0707	0,2060	0,2695	0,3140	0,0978	0,0374	0,0046
5	0,0873	0,2258	0,2722	0,2942	0,0857	0,0312	0,0036
6	0,0630	0,2562	0,3311	0,2894	0,0505	0,0095	0,0003
7	0,0528	0,2658	0,3565	0,2817	0,0380	0,0051	0,0001

Tablo 4.22 PGA=0,50 g için artımsal itme analizi ile elde edilen sonuçlara göre P_{ij} değerleri

KAT	$P_{0,50;1}$	$P_{0,50;2}$	$P_{0,50;3}$	$P_{0,50;4}$	$P_{0,50;5}$	$P_{0,50;6}$	$P_{0,50;7}$
1	0,1250	0,2894	0,2903	0,2365	0,0467	0,0114	0,0007
2	0,0272	0,1614	0,2942	0,3817	0,1045	0,0291	0,0018
3	0,0178	0,1336	0,2829	0,4100	0,1199	0,0337	0,0020
4	0,0223	0,1446	0,2835	0,3962	0,1167	0,0344	0,0023
5	0,0418	0,1813	0,2850	0,3530	0,1029	0,0332	0,0028
6	0,0255	0,2004	0,3595	0,3521	0,0547	0,0077	0,0001
7	0,0685	0,2817	0,3431	0,2637	0,0372	0,0056	0,0001

Tablo 4.23 PGA=0,50 g için tepki spektrumu analizi ile elde edilen sonuçlara göre P_{ij} değerleri

KAT	$P_{0,50;1}$	$P_{0,50;2}$	$P_{0,50;3}$	$P_{0,50;4}$	$P_{0,50;5}$	$P_{0,50;6}$	$P_{0,50;7}$
1	0,2537	0,3175	0,2337	0,1580	0,0290	0,0075	0,0006
2	0,0319	0,1684	0,2907	0,3715	0,1045	0,0308	0,0022
3	0,0157	0,1205	0,2663	0,4165	0,1353	0,0427	0,0031
4	0,0197	0,1325	0,2714	0,4038	0,1286	0,0410	0,0031
5	0,0402	0,1801	0,2868	0,3555	0,1024	0,0323	0,0026
6	0,0465	0,2364	0,3419	0,3126	0,0532	0,0092	0,0003
7	0,0882	0,2979	0,3289	0,2437	0,0354	0,0057	0,0002

Tablo 4.24 PGA=0,72 g için zaman tanım alanında analiz ile elde edilen sonuçlara göre P_{ij} değerleri

KAT	$P_{0,72;1}$	$P_{0,72;2}$	$P_{0,72;3}$	$P_{0,72;4}$	$P_{0,72;5}$	$P_{0,72;6}$	$P_{0,72;7}$
1	0,1073	0,2522	0,2779	0,2692	0,0689	0,0223	0,0022
2	0,0060	0,0764	0,2327	0,4597	0,1685	0,0533	0,0034
3	0,0016	0,0418	0,1949	0,5044	0,1986	0,0562	0,0025
4	0,0037	0,0638	0,2281	0,4830	0,1711	0,0480	0,0023
5	0,0151	0,1253	0,2805	0,4198	0,1233	0,0340	0,0019
6	0,0699	0,2146	0,2802	0,3123	0,0892	0,0306	0,0031
7	0,1766	0,2529	0,2364	0,2293	0,0696	0,0301	0,0053

Tablo 4.25 PGA=0,72 g için artımsal itme analizi ile elde edilen sonuçlara göre P_{ij} değerleri

KAT	$P_{0,72;1}$	$P_{0,72;2}$	$P_{0,72;3}$	$P_{0,72;4}$	$P_{0,72;5}$	$P_{0,72;6}$	$P_{0,72;7}$
1	3E-06	2E-02	4E-01	6E-01	9E-03	2E-05	4E-11
2	3E-06	4E-03	1E-01	7E-01	2E-01	1E-02	2E-05
3	3E-06	3E-03	1E-01	7E-01	2E-01	2E-02	6E-05
4	2E-05	7E-03	1E-01	6E-01	2E-01	3E-02	2E-04
5	6E-04	3E-02	2E-01	5E-01	2E-01	4E-02	1E-03
6	4E-02	1E-01	2E-01	3E-01	1E-01	8E-02	2E-02
7	1E-01	2E-01	2E-01	3E-01	1E-01	7E-02	2E-02

Tablo 4.26 PGA=0,72 g için tepki spektrumu analizi ile elde edilen sonuçlara göre P_{ij} değerleri

KAT	$P_{0,72;1}$	$P_{0,72;2}$	$P_{0,72;3}$	$P_{0,72;4}$	$P_{0,72;5}$	$P_{0,72;6}$	$P_{0,72;7}$
1	0,0155	0,2412	0,4556	0,2742	0,0130	0,0004	0,0000
2	0,0002	0,0171	0,1656	0,5881	0,1966	0,0321	0,0004
3	0,0000	0,0081	0,1069	0,5545	0,2683	0,0609	0,0012
4	0,0001	0,0098	0,1189	0,5630	0,2529	0,0543	0,0010
5	0,0002	0,0201	0,1770	0,5846	0,1874	0,0303	0,0004
6	0,0016	0,0615	0,2899	0,5305	0,1042	0,0123	0,0001
7	0,0272	0,1950	0,3457	0,3580	0,0635	0,0105	0,0003

Tablo 4.27 PGA=0,90 g için zaman tanım alanında analiz ile elde edilen sonuçlara göre P_{ij} değerleri

KAT	$P_{0,90;1}$	$P_{0,90;2}$	$P_{0,90;3}$	$P_{0,90;4}$	$P_{0,90;5}$	$P_{0,90;6}$	$P_{0,90;7}$
1	0,0500	0,1866	0,2760	0,3409	0,1052	0,0375	0,0039
2	0,0095	0,0689	0,1741	0,3858	0,2120	0,1250	0,0246
3	0,0065	0,0545	0,1535	0,3795	0,2291	0,1456	0,0312
4	0,0101	0,0699	0,1731	0,3811	0,2116	0,1277	0,0265
5	0,0219	0,1076	0,2107	0,3735	0,1748	0,0939	0,0176
6	0,0279	0,1425	0,2592	0,3805	0,1335	0,0510	0,0055
7	0,0711	0,2091	0,2726	0,3129	0,0950	0,0352	0,0041

Tablo 4.28 PGA=0,90 g için artımsal itme analizi ile elde edilen sonuçlara göre P_{ij} değerleri

KAT	$P_{0,90;1}$	$P_{0,90;2}$	$P_{0,90;3}$	$P_{0,90;4}$	$P_{0,90;5}$	$P_{0,90;6}$	$P_{0,90;7}$
1	0,002	0,051	0,234	0,524	0,158	0,032	0,001
2	0,003	0,041	0,144	0,404	0,245	0,140	0,023
3	0,003	0,036	0,132	0,389	0,253	0,158	0,029
4	0,003	0,039	0,135	0,386	0,249	0,157	0,030
5	0,006	0,052	0,151	0,382	0,232	0,147	0,031
6	0,001	0,029	0,147	0,465	0,248	0,101	0,008
7	0,002	0,041	0,187	0,494	0,208	0,065	0,004

Tablo 4.29 PGA=0,90 g için tepki spektrumu analizi ile elde edilen sonuçlara göre P_{ij} değerleri

KAT	$P_{0,90;1}$	$P_{0,90;2}$	$P_{0,90;3}$	$P_{0,90;4}$	$P_{0,90;5}$	$P_{0,90;6}$	$P_{0,90;7}$
1	0,0447	0,1980	0,3013	0,3430	0,0873	0,0241	0,0016
2	0,0039	0,0443	0,1468	0,3974	0,2407	0,1419	0,0249
3	0,0023	0,0300	0,1145	0,3674	0,2632	0,1826	0,0400
4	0,0027	0,0334	0,1218	0,3734	0,2579	0,1739	0,0370
5	0,0046	0,0484	0,1529	0,3978	0,2350	0,1371	0,0241
6	0,0054	0,0654	0,2040	0,4471	0,1949	0,0763	0,0069
7	0,0273	0,1458	0,2671	0,3829	0,1274	0,0452	0,0043

4.6 Her Bir Hasar Seviyesinde Oluşacak Maliyetler

Bu bölümde, yapım maliyeti ve binanın Tablo 2.4'te verilen 7 adet hasar seviyesinin her birinde bulunması durumunda oluşacak deprem hasar maliyetinin hesaplanmasında kullanılan yaklaşım ve veriler açıklanmıştır. Bu maliyetlerin hesaplanabilmesi için öncelikle, binanın inşası aşamasında yapılan yatırımı ifade eden yapım maliyeti belirlenmelidir. Yapım maliyeti deprem hasar maliyetinin bir parçası olmasa da, bazı hasar maliyetlerini belirleyebilmek için bu değere ihtiyaç duyulmaktadır.

Her bir hasar seviyesinde oluşması beklenen maliyeti hesaplamak için, öncelikle depremin sebep olabileceği kayıpların ekonomik karşılığı birim fiyat olarak belirlenmelidir. Daha sonra bu birim fiyatlar üzerinden elde edilen maliyetler, Tablo 2.4'te verilen ve binanın bulunduğu hasar seviyesine göre değişen hasar parametreleri ile çarpılarak her bir hasar seviyesinde oluşacak deprem hasar maliyeti hesaplanır.

Bu çalışmada ele alınan binanın deprem hasar maliyetini hesaplamak için kullanılan birim fiyatlar, çeşitli kaynaklardan ve yerel verilerden yararlanarak elde edilmiştir. Kullanılan birim fiyatların çoğu 2016 yılına aittir, daha eski tarihli fiyatlar ise, faiz oranları göz önünde bulundurularak, 2016 yılına güncellenmiştir.

4.6.1 Yapım Maliyetinin Tahmini

Önceki bölümlerde bahsedildiği gibi yapım maliyeti, binanın yapımında kullanılan yapısal ve yapısal olmayan elemanların maliyetini ve yapım aşamasında ortaya çıkan çeşitli harcamaları içerir. Yapısal maliyet, binanın inşasında kullanılacak malzeme ve taşıyıcı sistemin özelliklerine göre değişmektedir ve malzeme bedeli, işçilik bedeli, ekipman bedeli gibi kalemlerden oluşmaktadır. Yapısal olmayan elemanların maliyeti, binanın boyutları, sınıfı, mimari detayları vb. özelliklerine göre değişiklik göstermektedir. Bunların dışında binanın yapım

aşamasında ortaya çıkan proje bedeli, yüklenici karı, dosya masrafları vs. giderler de yapım maliyetine dâhil edilmelidir.

Bu çalışmada yapım maliyeti olarak, Çevre ve Şehircilik Bakanlığı (ÇŞB, 2017) tarafından yapı yaklaşık bedelini hesaplamaya yönelik verilen birim fiyatlar kullanılmıştır. Yapı sınıflarına göre verilen bu fiyat ele alınan örnek bina için yaklaşık 2000 TL/m² olup, bu maliyete mimarlık ve mühendislik hizmetlerinin niteliği ve karşılığında ödenmesi gereken bedeller de dâhildir. Ayrıca, burada verilen birim fiyatlar, %25 yüklenici karı ve genel giderleri de içermektedir.

4.6.2 Deprem Hasar Maliyetinin Tahmini

Binanın her bir hasar seviyesinde olması durumunda oluşacak maliyetlerin hesaplanabilmesi için, öncelikle depremin sebep olacağı çeşitli kayıpların ekonomik karşılığı belirlenmelidir. Deprem sonrası yaşanabilecek maddi kayıplar FEMA tarafından fayda-maliyet ilişkisini konu alan raporlarda (FEMA-227, 1992; FEMA-228, 1992) öngörülmüştür. Bu raporlara göre, standart bir binada deprem sonucu ortaya çıkabilecek kayıplar; onarım maliyeti, taşınma maliyeti, kişisel varlık kaybı, yaralanmaların ve can kayıplarının sebep olacağı maddi kayıp başlıkları altında incelenmiştir. Bu başlıklar, Tablo 2.4’te verilen 7 adet hasar seviyesinden her birinde farklı miktarda maddi kayba sebep olmaktadır. Bu farklılığı hesaplara yansıtabilmek için Tablo 2.4’te verilmiş olan hasar parametreleri kullanılır. Deprem sonucu oluşacak, yukarıda bahsedilen maddi kayıpların, çeşitli kaynaklardan sağlanan fiyatlandırması, bu hasar parametreleriyle çarpılarak, her bir hasar seviyesinde oluşacak maliyetler C_{ij} elde edilir. Bu değer daha sonra binanın bu hasar seviyelerinden her birinde olma olasılığını ifade eden P_{ij} ile birlikte aşağıdaki formülün ikinci bileşeni olan beklenen deprem hasar maliyetinin hesaplanmasında kullanılır.

$$E[C(X)] = C_0(X) + \sum_{i=1}^{N_e} \sum_{j=1}^{N_L} C_{ij} P_{ij}(X) \frac{v_i(1 - e^{-rT})}{r} \quad (4.3)$$

Bu bölümde yapılan hesaplamalarda, gelecekte oluşması beklenen bir maliyet değeri hesaplanmaktadır. Bunun için de, bu maliyetlerin günümüz değerine çevrilmesi gerekmektedir. Bu işlemi yapabilmek için faiz oranını (r) tahmin etmek gerekmektedir. Ancak, ekonomik bir boyut olan bu değerın saptanması, bu tezin kapsamında değildir. Bu nedenle, konuyla ilgili olarak Birleşik Devletler 'de gerçekleştirilen bir panelde (Weinstein, Siegel, Gold, Kamlet ve Russell, 1996) fayda/maliyet analizi içeren konularda %3 sosyal faiz oranı kullanılması önerilmiştir. Bu çalışmadaki hesaplarda da bu değer esas alınmıştır.

ATC-13 (1985) ve FEMA-227 (1992) tarafından önerilen, standart bir binada deprem sonrası oluşması beklenen maddi kayıplar aşağıda tek tek incelenmiştir

Onarım maliyeti, binanın depremde hasar görmeden önceki fonksiyonunun devam ettirilebilmesi için gerekli maliyeti ifade etmektedir. Eğer binada onarılamayacak kadar ağır bir hasar oluşmuşsa yani bina göçme hasar seviyesinde ise, binanın onarım maliyeti, yenileme maliyetine eşit olacaktır. Buradaki yenileme maliyeti, göçmüş binanın hafriyat bedelini ve yerine aynı işleve sahip bir binanın yapılması bedelini içermektedir. Buna göre, j. katın onarım maliyeti aşağıdaki gibi hesaplanır:

$$C_j^o = (\text{kat yapım maliyeti} + \text{birim yıkım maliyeti}) \times \text{kat alanı} \times \text{hasar çarpanı} \quad (4.4)$$

Bu maliyetin hesaplanmasında kullanılan birim yıkım fiyatı, ÇŞB (2016) tarafından yayınlanan birim fiyat listesinden alınmıştır ve 50₺/m²'dir. Bu fiyata hafriyat masrafı da dâhildir.

Taşınma maliyeti, deprem sonrası, binanın işlevi tamamen veya kısmen kaybolmuşsa ortaya çıkan maliyettir. Bu durumda, binanın onarımı veya yenilenmesi sürecinde, binadaki tüm hanelerin içindeki eşyalarla birlikte, geçici bir süre için aynı özellikteki başka bir binaya taşınması gerekmektedir. Yani, birim taşınma maliyeti, nakliye ve kiralama bedellerini içermektedir. Bu bedeli hesaplayabilmek için kattaki yaşam alanına yani katta bulunan dairelerin toplam alanına ihtiyaç vardır. Bu değer

standart bir konut binası için toplam kat alanının %85'i olarak alınabilir. Buna göre, taşınma maliyeti, j . kat için aşağıdaki şekilde hesaplanır:

$$C_j^t = (kat\ yaşam\ alanı \times birim\ taşınma\ maliyeti) \times onarım\ süresi \quad (4.5)$$

Bu maliyetin hesaplanmasında kullanılan taşınma ve nakliye maliyetleri, örnek binanın bulunduğu bölgedeki ortalama rayiç bedeller göz önünde bulundurularak toplam 35₺/m² olarak alınmıştır.

Kişisel varlık kaybı, deprem sırasında binada bulunan, kişilere ait her türlü mal varlığının deprem sırasında zarar görmesi sonucu yaşanır. Bu kayıp, binanın ekonomik ve sosyal işlevine göre değişmektedir. Bununla ilgili olarak, FEMA 227 (1992)' de bu kaybın, emlak sigortası bedelleri dikkate alınarak hesaplanabileceği önerilmiştir. Bu kayıp, j . kat için aşağıdaki şekilde hesaplanır:

$$C_j^v = (kat\ yaşam\ alanı \times birim\ mal\ varlığı\ değeri) \times hasar\ çarpanı \quad (4.6)$$

Bu maliyetin hesaplanmasında kullanılan birim mal varlığı değeri, çeşitli sigorta şirketlerinden alınan konut sigortası fiyat tekliflerinin ortalaması alınarak 300₺/m² kabul edilmiştir. Bu fiyat, standart bir konut için, yangın, deprem, fırtına, sel ve su baskını gibi durumlar için, evdeki eşyaların teminat altına alınmasını kapsamaktadır.

Gelir kaybı, depremin verdiği hasar dolayısıyla kesintiye uğrayan her türlü geliri kapsar. Binanın onarımı veya yenilenmesi süresince kesintiye uğrayan ticari etkinlikten dolayı oluşacak kayıp da buna dâhildir. Ancak bu çalışmada ele alınan bina konut binası olduğu için, yalnızca kira getirisindeki kesinti hesaba katılmaktadır. Bu kaybın hesaplanabilmesi için, binadaki kiracı sayısı bilinmelidir. Türkiye İstatistik Kurumu (TÜİK, 2013) tarafından yapılan bir çalışma kapsamında İzmir'in Bornova ilçesi için kiracıların ev sahiplerine oranı %37 olarak gösterilmiştir. Bu çalışmada, bu oranın tek bir bina için kullanımının da uygun olacağı varsayılmıştır. Dolayısıyla, her katta 2 adet olmak üzere toplam 14 dairenin yaklaşık

6 tanesi, yani 3 kat yaşam alanı kiralanabilir alan olarak düşünülmüştür. Buna göre gelir kaybı j . kat için aşağıdaki şekilde hesaplanmaktadır:

$$C_j^k = (\text{kiralanabilir alan} \times \text{birim kira bedeli}) \times \text{onarım süresi} \quad (4.7)$$

Bu maliyetin hesaplanmasında kullanılan birim kira bedeli, binanın bulunduğu bölgedeki rayiç kira bedelleri göz önünde bulundurularak 20₺/m² olarak alınmıştır.

Yaralanma ve can kaybı sebebiyle oluşması beklenen maliyetin hesaplanabilmesi için öncelikle, binada bulunan kişi sayısı ve deprem sırasında binada bulunması beklenen kişi oranının öngörülmesi gerekmektedir. Bunun için, TÜİK (2013) verilerinde 3,25 olarak Bornova ilçesi için ortalama hane halkı büyüklüğünün tek bir bina için de kullanılabileceği uygun görülmüştür. Depremde binada bulunması muhtemel kişi sayısı için ise, Un, Erberik ve Askan (2015) tarafından yapılan bir çalışmada, daha önce Coburn, Spence ve Pomonis (1992) tarafından önerilen popülasyon dinamiklerinin Türkiye'ye uyarlanmasıyla elde edilen %54 değeri esas alınmıştır. Buna göre her bir katta bulunması beklenen kişi sayısı 3,51 değerine karşılık gelmektedir.

Tablo 4.14'te yaralanma ve can kaybı oranları için verilen değerler yalnızca hasar seviyesi ve kişi sayısına bağlı olarak değişmektedir, binanın kullanım amacı (sınıfı) bu değerleri etkilememektedir (FEMA-227, 1992).

Buna göre, yaralanma ve durumlarında kişi başına yapılması gereken sağlık masrafı aşağıdaki gibi hesaplanır:

$$C_j^y = \text{kişi sayısı} \times \text{yaralanma oranı} \times \text{birim yaralanma bedeli} \quad (4.8)$$

$$C_j^{\dot{}} = \text{kişi sayısı} \times \text{can kaybı oranı} \times \text{birim can kaybı bedeli} \quad (4.9)$$

Yaralanma maliyetinin hesaplanmasında kullanılacak birim maliyet, yaralının durumunun ciddiyetine göre değişmektedir. Bu çalışmada, yaralının hastane ve

doktor masraflarını içeren bu maliyet, hafif yaralanma durumunda 2000₺, ağır yaralanma durumunda ise 15.000₺ olarak alınmıştır.

Can kaybı sebebiyle oluşması beklenen maddi kaybın hesaplanabilmesi ise oldukça hassas bir konudur. Ekonomistler, insan hayatının maddi değerine belirleyebilmek için çeşitli tahmin teknikleri kullanarak çalışmalar yapmışlardır. Ancak, bu değerler bölgesel ve kişisel birçok parametreye bağlı olarak değişmektedir. Un ve ark. (2015) tarafından İstanbul’da bulunan bir konut binası için yapılan çalışmada, kişi başı can kaybı maliyeti için sınır değerler önerilmiştir. Bu çalışmadaki hesaplarda, bugünkü değeri bu sınır değerler aralığında kalan, 6.000.000 ₺/kişi can kayıplarının ekonomik karşılığı olarak alınmıştır. Ayrıca, farklı analiz yöntemleri ile elde edilen deprem hasar maliyetleri Tablo 4.30’da takdim edilmiştir.

Tablo 4.30 Hasar maliyetlerinin hesaplanmasında kullanılan birim fiyatlar

Ekonomik Kayıp	Birim Fiyat (₺)	Birim
Yıkım	50	/m ²
Kişisel Varlık	300	/m ²
Taşınma	35	/m ²
Kira	20	/m ²
Hafif Yaralanma	2.000	/kişi
Ağır Yaralanma	15.000	/kişi
Can kaybı	6.000.000	/kişi

Farklı analiz yöntemleri kullanılarak yapılan analizler sonucunda bulunan deprem hasar maliyeti ve yapım maliyetini içeren toplam maliyet değerleri Tablo 4.31’de verilmiştir.

Doğrusal olmayan analiz yöntemlerine kıyasla oldukça pratik ve hızlı olarak uygulanabilen tepki spektrumu analizinin (RS), deprem hasar maliyetine etkisini görmek amacıyla, zaman tanım alanında analiz (TH) ve artımsal itme analizi (PO)

yöntemleri ile elde edilen sonuçlar tepki spektrumu analizi (RS) ile elde edilen sonuçlar ile yüzde fark bulunarak karşılaştırılmıştır



Tablo 4.31 Farklı analiz yöntemleri ile elde edilen deprem hasar maliyetleri

PGA (g)	TEPKİ SPEKTRUMU (RS)	ZAMAN TANIM ALANI (TH)	ARTİMSAL İTME (PO)	%FARK ²	
				TH	PO
0,15	263.014,95₺	167.367,67₺	355.557,05₺	-57	26
0,34	390.136,73₺	283.223,33₺	411.958,30₺	-38	5
0,50	60.284,62₺	47.964,91₺	78.326,34₺	-26	23
0,72	18.275,76₺	14.821,71₺	22.315,15₺	-23	18
0,90	6.841,74₺	5.763,31₺	7.081,58₺	-19	3
Toplam Hasar Maliyeti (A)	738.553,80₺	519.140,93₺	875.238,43₺	-42	16
Yapım Maliyeti (B)	3.570.000,00₺	3.570.000,00₺	3.570.000,00₺	-	-
A/B	0,21	0,15	0,25	-	-
TOPLAM MALİYET	4.308.553,80₺	4.089.140,93₺	4.445.238,30₺	-5	3

² % FARK = (TH ile elde edilen maliyet –RS ile elde edilen maliyet)/ TH ile elde edilen maliyet×100
 (PO ile elde edilen maliyet –RS ile elde edilen maliyet)/ PO ile elde edilen maliyet×100

BÖLÜM BEŞ

SONUÇLAR VE ÖNERİLER

5.1 Sonuçlar

Geçmişte ve günümüzde tasarlanmış birçok bina, yönetmelik tarafından belirlenmiş tek bir performans seviyesine göre inşa edilmiştir ve pek çoğu hedeflenen performans düzeyi olan can güvenliğinin sağlanmasında başarılı sonuçlar vermiştir. Ancak, böyle bir tasarımda, orta şiddetteki bir depremde bile ortaya çıkabilecek önemli maddi kayıplar ihmal edilmektedir. Bir binanın servis ömrü boyunca maruz kalabileceği farklı şiddetlerdeki depremler sonucunda ortaya çıkacak toplam hasar maliyetinin hesaplanarak minimize edilmesi ve bu şekilde binaların deprem performansının artırılması oldukça önemlidir. Bu çalışmada bu amaca yönelik olarak kullanabilecek bir yöntem açıklanmıştır.

Bu çalışma kapsamında ele alınan yöntemde, tasarlanan binanın bulunduğu bölgenin depremselliği göz önünde bulundurularak depremde göreceği hasar ve bu hasarın sebep olacağı ekonomik kayıp yaklaşık olarak hesaplanabilmektedir. Bunun için öncelikle binanın karşılaşılabileceği deprem yükü, bölgenin sismolojik ve geoteknik özelliklerine göre öngörülmelidir. Bunun için de proje bölgesi için, birincil ürünü sismik tehlike eğrisi olan olasılıksal sismik tehlike analizleri yapılmalıdır. Bu çalışmada bu eğrilerin edilmesi için pratik bir yöntem kullanılarak, DLH (2008) kapsamında verilen ve olasılıksal sismik tehlike analizi sonucunda elde edilmiş spektral ivme değerleri kullanılarak, eğri uydurma yoluyla sismik tehlike eğrisi elde edilmiştir. Daha sonra, bu eğri belli sayıda aralığa bölünerek, binada hasara sebep olacak farklı seviyelerde deprem şiddetleri için yapısal analizler yapılmıştır. Böylece depremin oluşumundaki belirsizlik, ekonomik kaybın hesaplanmasında göz önünde bulundurulmaktadır.

Farklı şiddetteki depremlerin binada sebep olacağı hasar miktarı ise göreceli kat öteleme oranı parametresine bağlı olarak ölçülmüştür. Bu değerleri elde etmek için ise, doğrusal ve doğrusal olmayan çeşitli analiz yöntemleri kullanılmıştır. Bu

yöntemler, tepki spektrumu analizi, zaman tanım alanında analiz ve artımsal itme analizi yöntemleridir. Bu üç yöntemden doğrusal olan tepki spektrumu analizi ve doğrusal olmayan zaman tanım ve statik ivme analizleri uygulama açısından birbirinden oldukça farklıdır. Doğrusal olmayan yöntemlerde, elemanlara plastik özelliklerin doğru bir şekilde tanımlanması için, analiz öncesinde her bir elemanın moment-eğrilik, hasar sınırı vb. ilişkilerinin belirlenmesi için detaylı bir çalışma yapmak gerekir. Ayrıca, doğrusal olmayan analizlerin çözümü de doğrusal yöntemlerle karşılaştırıldığında oldukça uzun sürmektedir. Dolayısıyla, deprem maliyetini minimize etmek amacıyla yapılan hesaplamalarda, doğrusal analiz yöntemlerinin kullanılabilmesi, maliyetin performans bileşenlerinden biri olarak, pratik şekilde hesaplanabilmesi oldukça önemlidir. Yapılan doğrusal ve doğrusal olmayan analizler sonucu, binada oluşacak hasarı temsil eden göreceli kat ötelemesi oranları, mertebe olarak birbirine yakındır. Bu değerlerin hasar maliyetini nasıl etkilediği ise Tablo 4.31’de verilmiştir.

Tablo 4.31 incelendiğinde, tepki spektrumu yöntemiyle elde edilen deprem hasar maliyetinin, doğrusal olmayan analiz yöntemleriyle elde edilen değere yakın olduğu gözlenmektedir. Tablonun sağ tarafında, zaman tanım alanında analiz (TH) ve artımsal itme analizi (PO) ile elde edilen değerlerin tepki spektrumu (RS) ile elde edilen değerlerden farkı yüzde olarak verilmiştir. Bu değerler incelendiğinde, tasarımın ön aşamasında, çeşitli performans seviyelerinin karşılaştırılmasında pratik olarak kullanılabilecek olan, yapım maliyeti ve deprem hasar maliyetini içeren toplam maliyet değerinin her üç analiz yöntemiyle de kabul edilebilir seviyede yakın çıktığı görülmüştür.

Aynı tabloda A/B oranı ile verilen değer binanın deprem hasar maliyetinin yapım maliyetine oranını vermektedir. Bu değerın hesaplanması, mevcut binaların deprem performansının değerlendirilmesinde oldukça önemlidir. Bu değer küçüldükçe binanın deprem performansı artmaktadır.

Deprem hasar maliyetine bölgenin sismik tehlikesi göz önünde bulundurularak belirlenmiş olan 5 adet deprem şiddetinin, her birinin katkısı farklı olmaktadır.

Tablodan görülebileceği gibi en fazla maliyete sebep olan deprem şiddeti, 0,34 g pik zemin ivmesi (PGA) değerinde oluşmaktadır. Bu değerden sonra, şiddet arttıkça hasar maliyetinin düştüğü görülmektedir. Bunun sebebi, bu şiddetlerdeki depremlerin yıllık oluşma oranının (Δv) düşük olmasıdır. Çok düşük şiddetli depremler ise, binada önemli bir hasara sebep olmayacağı için deprem hasar maliyetleri de düşük olmaktadır.

Tablodan görülebileceği üzere, en düşük maliyet zaman tanım alanında analiz yönteminde ortaya çıkmıştır. Artımsal itme analizi sonuçları ise tepki spektrumu analizinin sonuçlarına daha yakındır. Ancak toplam maliyete bakıldığında, her üç yöntem ile birbirine oldukça yakın sonuçlar elde edilmiştir. Buradaki toplam maliyet binanın yapım maliyeti ve deprem hasar maliyetini içermektedir.

5.2 Öneriler ve Tartışma

Günümüzde halen kullanılmakta olan ve tek bir performans seviyesine göre tasarım yapılmasına olanak veren yönetmeliklerin yeterince ekonomik tasarım yapılmasını sağlayamaması sebebiyle performansa dayalı tasarım yöntemleri oldukça yaygınlaşmıştır. Performansa dayalı tasarım yöntemleri esas olarak, can güvenliğinden ödün vermeksizin, maliyeti azaltmayı amaçlamaktadır. Ancak bu yönetmeliklerde, binanın deprem performansı ile maliyet arasında bir ilişki kurulmamaktadır.

Bu tez kapsamında anlatılan, deprem hasar maliyetinin, tasarım aşamasında pratik olarak uygulanabilmesi oldukça önemlidir. Tez kapsamında ele alınan örnek bina için yapılan deprem hasar maliyeti hesaplamaları, doğrusal olmayan analiz yöntemlerine kıyasla oldukça zahmetsiz olan tepki spektrumu yönteminin bu amaçla kullanılabileceğini göstermektedir.

Binaların ve diğer yapıların tasarımında temel alınan kavramlar zamanla değişip gelişmektedir. Bu değişimin gözlemlendiği en önemli konulardan biri de, depremin oluşumundaki belirsizliğin tasarım aşamasında hesaba katılmasıdır. Deterministik

yöntem olarak bilinen ve deneysel verilere dayanarak karar verilen yöntem, günümüzde yerini yavaş yavaş olasılıksal yani deprem yükü talebindeki ve yapı kapasitesindeki belirsizliklerin göz önünde bulundurulduğu yönetime bırakmaktadır. Ancak, performansa dayalı tasarım yöntemleri de dâhil olmak üzere, bu sismik tehlikenin belirlenmesi, belli bir yineleme periyoduna sahip deprem yükünün tasarım yükü olarak seçilmesi ile sınırlı kalmıştır.

Bu çalışmada, bir bölgenin sismolojik özellikleri sebebiyle maruz kalabileceği deprem şiddetleri (belirli alt ve üst sınırları olmak üzere), sismik tehlike eğrisinden faydalanarak hesaba katılmıştır. Böylece, binanın deprem hasar maliyeti, gelecekte oluşması muhtemel farklı deprem şiddetlerinin, oluşma olasılıklarına göre hesaba katılmasıyla hesaplanmıştır. Her bir deprem şiddetinde oluşması beklenen deprem hasar maliyetinin belirlenmesi, tasarım aşamasında performans düzeyinin belirlenmesinde oldukça faydalı olacaktır.

KAYNAKLAR

Akıncı, A. Eyidoğan, H. Göktürkler, G. Akyol, N. ve Ankaya, O. (2000). İzmir ili çevresinin depremselliği ve deprem tehlikesinin incelenmesi. *Batı Anadolu'nun Depremselliği Sempozyumu (BADSEM 2000), Bildiriler Kitabı*, 231-238.

Ang, A.-S. ve De Leon, D. (1997). Determination of optimal target reliabilities for design and upgrading of structures. *Structural Safety*, 19(1), 91-103.

American Society of Civil Engineers (ASCE). (2006). *Minimum design loads for buildings and other structures* (ASCE Standard ASCE/SEI 7-05). Reston, Virginia.

American Society of Civil Engineers (ASCE). (2010). *Minimum design loads for buildings and other structures* (ASCE Standard ASCE/SEI 7-10). Reston, Virginia.

Applied Technology Council (ATC-13). (1985). *Earthquake Damage Evaluation Data for California*. Redwood City, CA.

Applied Technology Council (ATC-58). (2012a). *Seismic performance assessment of building supporting electronic materials and background documentation*. Redwood City, CA.

Applied Technology Council (ATC-58). (2012b). *Seismic Performance Assessment of Buildings Volume 2-Implementation Guide*. Redwood City, CA.

Applied Technology Council (ATC-58). (2012c). *Seismic Performance Assessment of Buildings. Volume 1-Methodology*. Redwood City, CA.

- Bonowitz, D. ve Maison, B. (1998). Are steel frames safe? Probabilistic seismic evaluation of existing WSMF buildings. *Proceedings of the Sixth US National Conference on Earthquake Engineering*.
- Boğaziçi Üniversitesi Kandilli Rasathanesi. (1997). *İzmir Master Planı (RADIUS)*. İzmir: İzmir Büyükşehir Belediyesi.
- Bozdağ, Ö. ve Seçer, M. (2007). Energy consumption of RC buildings during their life cycle. *Sustainable construction, materials and practices (SB07)*. ISBN, 978-1.
- Coburn, A. W., Spence, R. J. S. ve Pomonis, A. (1992). Factors determining human casualty levels in earthquakes: mortality prediction in building collapse. *Proceedings of the 10th World Conference on Earthquake Engineering* (pp. 5989-5994).
- Collins, K. Wen, Y. K. ve Foutch, D. (1996). Dual- level seismic design: a reliability- based methodology. *Earthquake Engineering & Structural Dynamics*, 25(12), 1433-1467.
- Çevre ve Şehircilik Bakanlığı. (2017). *İnşaat ve Tesisat Analiz ve Birim Fiyatları*. 10 Ocak 2017, <https://birimfiyat.csb.gov.tr/>.
- Türkiye Cumhuriyeti Ulaştırma Bakanlığı. (2008). *Kıyı ve Liman Yapıları, Demiryolları ve Havameydanları İnşaatları Deprem Teknik Yönetmeliği (DLH)*.
- Feller, W. (2008). *An introduction to probability theory and its applications* (Vol. 2). John Wiley & Sons.
- Emre, Ö., Özalp, S., Doğan, A., Özaksoy, V., Yıldırım, C. ve Göktaş, F. (2005). İzmir yakın çevresinin diri fayları ve deprem potansiyelleri. *MTA Rapor(10754)*

Erdik, M., Şeşetyan, K., Demircioğlu, M. ve Durukal, E. (2006). Ulaştırma Bakanlığı Demiryolları, Limanlar ve Havameydanları İnşaatı Genel Müdürlüğü. *Kıyı Yapıları Demiryolları ve Havameydanları İnşaatları Deprem Teknik Yönetmeliği için Deprem Tehlikesi Belirlenmesi*. Rapor. İstanbul: Boğaziçi Üniversitesi, Kandilli Rasathanesi ve Deprem Araştırma Enstitüsü

Federal Emergency Management Agency (FEMA-227). (1992). *A Benefit–Cost Model for the Seismic Rehabilitation of Buildings* (Vol. 1). Washington, DC: Federal Emergency Management Agency, Building Seismic Safety Council.

Federal Emergency Management Agency (FEMA-228). (1992). *A Benefit–Cost Model for the Seismic Rehabilitation of Buildings* (Vol. 2). Washington, DC: Federal Emergency Management Agency, Building Seismic Safety Council.

Federal Emergency Management Agency (FEMA-273). (1997). *NEHRP Guidelines for the Seismic Rehabilitation of Buildings*. Washington, DC: Federal Emergency Management Agency, Building Seismic Safety Council.

Federal Emergency Management Agency (FEMA-274) (1997). *NEHRP Commentary on the Guidelines for the Seismic Rehabilitation of Buildings*. Reston, VA: Federal Emergency Management Agency, Building Seismic Safety Council.

Federal Emergency Management Agency (FEMA-356). (2000). *Prestandard and Commentary for the Seismic Rehabilitation of Buildings*. Washington, DC: Federal Emergency Management Agency, Building Seismic Safety Council.

Federal Emergency Management Agency. (1997). *Multi-Hazard Loss Estimation (HAZUS)*. 10 Kasım 2016, <https://www.fema.gov/hazus>.

Hendawi, S. ve Frangopol, D. M. (1994). System reliability and redundancy in structural design and evaluation. *Structural Safety*, 16(1-2), 47-71.

- Kanda, J. ve Ellingwood, B. (1991). Formulation of load factors based on optimum reliability. *Structural Safety*, 9(3), 197-210.
- Maldonado, G. ve Singh, M. (1991). An improved response spectrum method for calculating seismic design response. Part 2: Non- classically damped structures. *Earthquake Engineering & Structural Dynamics*, 20(7), 637-649.
- McGuire, R. K. (1995). Probabilistic seismic hazard analysis and design earthquakes: closing the loop. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 85(5), 1275-1284.
- National Earthquake Hazards Reduction Program (NEHRP). (2009). *Recommended provisions for seismic regulations for new buildings and other structures*. Washington, DC: Federal Emergency Management Agency, Building Seismic Safety Council.
- Newmark, N. M. ve Hall, W. J. (1982). Earthquake spectra and design. *Earth System Dynamics*, 1.
- Pasific Earthquake Engineering Research Center (PEER). (2016). *PEER strong ground motion database*. 18 Aralık 2016, http://ngawest2.berkeley.edu/users/sign_in?unauthenticated=true.
- Reiter, L. (1991). *Earthquake hazard analysis: issues and insights*: Columbia University Press.
- Structural Engineers Association of California (SEAOC). (1995). *Performance Based Seismic Engineering of Buildings*. Sacramento, CA.
- Shin, H. (2010). *Life-cycle cost-based optimal seismic design of structures with energy dissipation devices*. Doktora tezi. Virginia Polytechnic Institute and State University, Virginia.

Shin, H. ve Singh, M. (2014). Minimum failure cost-based energy dissipation system designs for buildings in three seismic regions–Part I: Elements of failure cost analysis. *Engineering Structures*, 74, 266-274.

Türk Deprem Yönetmeliği (TDY). (2007). *Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik*. Ankara: TC Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, Afet İşleri Genel Müdürlüğü, Deprem Araştırma Dairesi.

Türkiye İstatistik Kurumu (TÜİK). (2013). *İstatistiksel Göstergelerle İzmir*. 10 Ocak 2017, <http://www.tuik.gov.tr/ilGostergeleri/iller/IZMIR.pdf>.

Un, E. M. Erberik, M. A. ve Askan, A. (2015). Performance Assessment of Turkish Residential Buildings for Seismic Damage and Loss Estimation. *Journal of Performance of Constructed Facilities*, 29(2), 04014063. doi:10.1061/(asce)cf.1943-5509.0000547.

Weinstein, M. C. Siegel, J. E. Gold, M. R. Kamlet, M. S. ve Russell, L. B. (1996). Recommendations of the Panel on Cost-effectiveness in Health and Medicine. *Jama*, 276(15), 1253-1258.

Wen, Y. K. ve Ang, A. H. S. (1991). Reliability and cost-effectiveness of structures with active control. *Proceedings of the International Workshop on Intelligent Systems* (pp. 63-76).

Wen, Y. ve Foutch, D. A. (1997). *Proposed statistical and reliability framework for comparing and evaluating predictive models for evaluation and design, and critical issues in developing such framework*: SAC Joint Venture.

Wen, Y. ve Kang, Y. (2001a). Minimum building life-cycle cost design criteria. I: Methodology. *Journal of Structural Engineering*, 127(3), 330-337.

Wen, Y. ve Kang, Y. (2001b). Minimum building life-cycle cost design criteria. II: Applications. *Journal of Structural Engineering*, 127(3), 338-346.

Wen, Y. ve Shinozuka, M. (1998). Cost-effectiveness in active structural control. *Engineering Structures*, 20(3), 216-221.

Whitman, R. V. Hong, S.-t. ve Reed, J. W. (1973). *Damage statistics for high-rise buildings in the vicinity of the San Fernando Earthquake*: Department of Civil Engineering, School of Engineering, Massachusetts Institute of Technology.

