

4. EK (RAPOR)

1. Giriş

Belirli sismik etkiler altında yapıların göstereceği performansın tahmini, yapıların o sismik tehlike seviyesine göre seçilmiş ve ölçeklendirilmiş gerçek yer hareketi kayıtları ile analiz edilmesini ve sonuçların olasılık esaslı yöntemler ile değerlendirilmesini gerektir. Seçilen yer hareketi kayıtları belirli bir sismik şiddet değerine ölçeklendirilirken, yapısal davranıştaki yer hareketi değişkenliğine bağlı belirsizliğin azaltılması da hedeflenir. Bu sayede, gerçekçi davranış tespiti için yapılan analizlerde kullanılacak kayıt sayısı azaltılabilir.

Proje kapsamında geliştirilen ölçeklendirme metodu jeofiziksel parametreleri belli kayıtları ölçeklendirmek için yer hareketi tahmin denklemi (GMPE) kullanır. Yapısal analizde kullanılacak kayıtların gruplandırılması ve farklı yer hareketi şiddet değerleri kullanılarak yapılacak ölçeklendirmenin yapısal davranıştaki saçılıma olan etkisi projenin önceki safhalarında incelenmiştir. Projenin dördüncü yarıyılında ise belli bir sismik şiddet hedefine uygun olacak şekilde ölçeklendirilecek kayıtlar arasından yeterli sayıda kaydın yapısal saçılımı azaltacak şekilde seçilmesi için yeni bir yöntem önerilmiştir. Hedef sismik şiddet seviyesinin ve yeterli kayıt sayısının tespiti, yapının önemi, uygulanan şartname, kullanılacak analiz metodu gibi parametrelere bağlı olarak değişiklik göstermektedir ve bu çalışmanın kapsamı dışındadır. Bu yüzden, önerilen seçme ve ölçeklendirme metodu kayıt sayısı ve hedef sismik şiddet değerlerinden bağımsız olarak geliştirilmiştir. Ayrıca önerilen seçme metodu kullanılarak belirlenen kayıtlar ölçeklendirildiğinde elde edilecek yapısal davranıştaki saçılım değerinin tahmin denklemleri de projenin dördüncü yarıyılı içerisinde türetilmiştir. Bu rapor Haziran 2010–Aralık 2010 döneminde yapılan çalışmaları ve elde edilen sonuçları içermektedir.

2. Proje Ekibi

Proje Yürütücüsü

Doç. Dr. Sinan Akkar

Araştırmacı:

Bekir Özer Ay

3. Projedeki Bilimsel Gelişmeler ve/veya Sonuçlar

Çalışmanın birinci yarıyılında Türkiye'deki betonarme yapı stoğunu temsil eden veritabanları istatistikî yöntemler kullanılarak değerlendirilmiştir. Planlar, kat sayısı, kat alanı/boyutları, zemin/ara kat yükseklikleri, yapısal elemanların boyutları, sürekli/sürekli kırımlar vb. gibi parametreler açısından incelenmiş, elde edilen istatistikî sonuçlar ışığında analizlerde kullanılacak 3 boyutlu analitik modellerin tasarımı tamamlanmıştır. Birinci yarıyılının sonunda elde edilen veriler ve buna göre hazırlanmış analitik modeller ilk altı aylık gelişme raporunda açıklanmıştır.

Çalışmanın ikinci yarıyılında yer hareketi gruplama ve ölçeklendirme yöntemleri incelenmiş, geliştirilen ölçeklendirme metodu, tek serbestlik dereceli sistemlerin elastik ve elastik ötesi dinamik analiz sonuçlarındaki saçılıma göre değerlendirilmiştir. Sonuçlar ikinci altı aylık gelişme raporunda sunulmuştur.

Üçüncü yarıyılıda maksimum yer ivmesi, maksimum yer hızı ve spektral yer değiştirme parametreleri ile yapılan ölçeklendirme sonunda elde edilen yapısal davranıştaki saçılım sonuçları incelenmiştir. Ayrıca bu sonuçların yer hareketi gruplarının oluşturulması için kullanılan büyüklük ve faya olan uzaklık değerleri ile etkileşimi de araştırılmış, elde edilen sonuçlar üçüncü altı aylık gelişme raporunda açıklanmıştır.

Dördüncü yarıyıl içerisinde daha önce geliştirilen ölçeklendirme metodu kullanılarak hedef yer hareketi şiddet seviyesine getirilen kayıtlar incelenmiş, ölçeklendirilmiş kayıt setleri kullanılarak yapılacak elastik spektral analizlerde ortalama deplasman talebi değerinin ve buna bağlı standart sapma değerinin matematiksel olarak kesin bir şekilde hesap edilebileceği görülmüştür. Böylece detaylı analizlere gerek kalmaksızın, yapısal davranıştaki saçılımı azaltacak ve gerçekçi ortalama deformasyon değerini verebilecek bir yer hareketi kayıt seçim yöntemi önerilmiştir. Ayrıca projede önerilen yöntemler ile seçilen ve ölçeklendirilen kayıtlar ile yapılacak elastik ötesi analizler için yapısal davranıştaki ortalama saçılımın yaklaşık tahmin denklemleri de türetilmiştir. Bu denklemler ile sadece kayıtların birtakım birincil parametrelerini kullanarak ve hiç elastik ötesi analiz yapmadan tahmini saçılım değerleri elde edilebileceğinden; bu değerlerin sismik performans tespitini hedefleyen çalışmalarda sıkça karşılaşılan daha detaylı analizlere gerek olup olmadığı veya hazırlanan veri setinin yeterli olup olmadığı sorularına cevap bulunmasına yardımcı olacağı düşünülmektedir.

3.1. Analizlerde kullanılacak kayıt setinin belirlenmesi

Projenin daha önceki safhalarında belirli bir sismik şiddet seviyesi için kayıt grubunun oluşturulması ve bu grup içerisindeki her bir kaydın hedef sismik şiddet seviyesine ölçeklendirilmesi metodu geliştirilmiştir. Hedef sismik şiddet seviyesine uygun olacak şekilde gruplandırılmış “n” kayıt arasından yeterli sayıda (k) kaydın ölçeklendirme sonrası yapılacak analizlerde yapısal saçılımı azaltacak şekilde seçilmesi gerekebilir. Örneğin ülkemizde yürürlükte olan Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik (2007) incelenirse doğrusal veya doğrusal olmayan hesapta, üç (k=3) yer hareketi kullanılması durumunda sonuçların maksimumu, en az yedi (k=7) yer hareketi kullanılması durumunda ise sonuçların ortalaması kullanılır maddesi görülür. ASCE 4-98 (2000) ele alındığında ise eğer analiz edilecek yapı yüksek periyotlu harekete duyarlı değil ise en az bir (k=1) kaydın kullanılabilmesi ifadesi ile karşılaştırılır (Beyer ve Bommer, 2007). ATC-58 (2009) incelendiğinde analiz seti hazırlanırken en az on bir (k=11) yer hareketi kaydının seçilmesi gerektiği görülür. Buna göre yeterli kayıt sayısının tespiti uygulanan şartname ya da kullanılacak analiz metodu gibi parametrelere bağlı olarak değişiklik göstermektedir ve bu çalışmanın kapsamı dışındadır. Bu sebeple proje kapsamında yapısal analizlerde kullanılacak kayıt seti seçme yöntemi gerekli kayıt sayısı parametresinden bağımsız olacak şekilde geliştirilmiştir.

Yeni bir yapının tasarımında veya mevcut bir yapının performans tespitinde belli hedef büyüklük (M_w) ve mesafe (R_{jb}) parametreleri göz önüne alınarak hazırlanan gruptaki “n” kadar kayıt içerisinde “k” kadar kayıt analizlerde kullanılmak üzere seçilecek ve belli bir sismik şiddet değerine ölçeklendirilecektir. Bu işlemde seçilen kayıtların sırası önemli olmadığı için matematiksel olarak bu bir kombinasyon problemini ifade eder ve oluşturulabilecek farklı yer hareketi kayıt seti sayısı Denklem 3.1 ile hesaplanır. Bir başka ifade ile “n” elemanlı bir kümenin “k” elemanlı altküme sayısı Denklem 3.1’de verilen $C(n,k)$ değerine eşittir.

$$C(n,k) = \binom{n}{k} = \frac{n!}{k!(n-k)!} \quad (3.1)$$

Denklem 3.1 ile verilen $C(n,k)$ adet altküme (kayıt seti) içerisinde yapısal analizde en düşük saçılımı verecek olanı seçmek yapıların sismik performans tahmini çalışmaları için oldukça

önemlidir. Proje kapsamında daha önce geliştirilen ölçeklendirme metodu kullanıldığında “k” elemanlı her bir altkümenin analizi sonucunda elde edilecek ortalama elastik spektral yer değiştirme değeri ve buna ait standart sapma değerinin yeni bir analize gerek duyulmaksızın matematiksel olarak hesaplanması mümkündür. Bunun için projede geliştirilen ölçeklendirme metodu için kullanılan $\varepsilon\sigma(T_i, \xi)$ değeri (Denklem 3.2) kullanılır. Bir başka ifade ile “n” sayısı kadar kaydın bulunduğu grup için “n” adet $\varepsilon\sigma(T_i, \xi)$ değeri hesaplanır bunlar içerisinde seçilecek “k” adet kayda ait $\varepsilon\sigma(T_i, \xi)$ değerleri kullanılarak, ölçeklendirme sonrası elastik spektral analiz yapmaya gerek kalmaksızın, elde edilecek spektral deplasman ortalama değeri ve buna bağlı standart sapma değeri sırasıyla Denklem 3.3 ve Denklem 3.4 ile hesaplanır.

$$\varepsilon\sigma(T_i, \xi) = \log_{10} \left(SD(T_i, \xi)_{\text{rec}} \right) - \log_{10} \left(SD(T_i, \xi)_{\text{GMPE, median}} \right) \quad (3.2)$$

$$\mu_{\ln SD_GM}(T_i, \xi) = \ln(10) \left(\log_{10}(f_\theta(T_i, \xi)) + \mu_{\varepsilon\sigma}(T_i, \xi) \right) \quad (3.3)$$

$$\sigma_{\ln SD_GM}(T_i, \xi) = \ln(10) \sqrt{\frac{1}{k-1} \sum_{j=1}^k (\varepsilon\sigma_j(T_i, \xi) - \mu_{\varepsilon\sigma}(T_i, \xi))^2} \quad (3.4)$$

Denklem 3.2’de $SD(T_i, \xi)_{\text{rec}}$ kaydın belli bir periyot ve sönüm için hesaplanmış spektral deplasman (SD) değerini, $SD(T_i, \xi)_{\text{GMPE, median}}$ kullanılan tahmin denkleminde elde edilen SD değerini ifade eder. Denklem 3.3’te kullanılan $\mu_{\varepsilon\sigma}$ “k” adet kaydın $\varepsilon\sigma(T_i, \xi)$ değerlerinin ortalamasını ifade eder ve Denklem 3.5 ile verilmiştir. Denklem 3.3’teki $f_\theta(T_i, \xi)$ ise belli bir periyot ve sönüm için bulunmuş hedef ölçeklendirme değerini ifade eder ve Denklem 3.6 kullanılarak bulunur.

$$\mu_{\varepsilon\sigma}(T_i, \xi) = \frac{\sum_{j=1}^k \varepsilon\sigma_j(T_i, \xi)}{k} \quad (3.5)$$

$$\log_{10}(f_\theta(T_i, \xi)) = \frac{\ln(SD(T_i, \xi)_{\text{target}}) - \frac{1}{2} \sigma_{\ln SD_GM}(T_i, \xi)}{\ln(10)} - \mu_{\varepsilon\sigma}(T_i, \xi) \quad (3.6)$$

Daha önce belirtildiği gibi Denklem 3.6’da kullanılan $SD(T_i, \xi)_{\text{target}}$ değerinin tespiti bu çalışmanın kapsamı dışındadır. Bu değer örneğin olasılıksal veya deterministik yöntemler ile elde edilmiş olabilir. Bu sebeple çalışmada önerilen yöntemler bu değer elde edilmiş biçiminden bağımsız olacak şekilde geliştirilmiştir.

Denklem 3.3 ve Denklem 3.4 daha önce ifade edildiği gibi ölçeklendirilen “k” adet kaydın belli bir periyot ve sönüm için elastik spektral analizi sonucunda elde edilecek ortalama spektral deplasman ve buna bağlı standart sapma değerini verir. Bu denklemlerin hesabı iki temel kabule dayanır. Bunlardan ilki “k” adet kaydın spektral analiz sonuçlarının log-normal dağılım gösterdiğidir. Mühendislik uygulamalarında, özellikle yapılarda deprem etkisi sonucu oluşan deplasman değeri için oldukça sık kullanılan bu kabul, bu denklemler türetilirken de kullanılmıştır. Eğer sonuçların normal dağılım gösterdiği kabul ediliyorsa, “k” adet kaydın ortalama elastik spektral deplasman değeri ve buna bağlı standart sapma değeri literatürdeki dönüşüm denklemlerini kullanılarak kolayca bulunabilir. İkinci kabul ise kullanılan yer hareketi tahmin denkleminin geometrik ortalama değerler için türetilmiş olmasından kaynaklanır. Bu çalışmada Akkar ve Bommer (2007) tarafından önerilen GMPE (metin içerisinde AB07 olarak kısaltılacaktır) kullanılmıştır. AB07 tahmin denklemi SD değerini kaydın yatay ivme bileşenlerinin geometrik ortalaması olarak verir. Ancak önerilen metod herhangi bir şiddet parametresinin tahmini için türetilmiş, farklı yer hareketi tahmin denklemleri ile de kullanılabilir, kısacası kullanılan GMPE’den bağımsızdır. “k” adet kaydın “2k” adet yatay bileşeni için yapılan elastik spektral deplasman analizi ortalaması ve buna bağlı standart sapma değeri bulunacaksa, literatürde önerilen dönüşüm denklemleri (örn. Beyer ve Bommer, 2006) kullanılabilir. Buna göre, yapısal analizde düşük saçılım verecek “k” adet kaydın “n” adet kayıt arasından seçilme işi, standart sapma değeri Denklem 3.4 ile hesaplanan altkümeler arasından en düşük standart sapma değerine sahip olan altkümenin belirlenmesi işidir. Seçim işleminden sonra bu yer hareketi seti içerisindeki kayıtların hedef sismik şiddet değerine ölçeklendirilmesi ile önerilen yöntem tamamlanmış olur.

3.2.Önerilen kayıt seçme yönteminin uygulanması

Örneğin olasılıksal sismik risk analizi (PSHA) çalışmasında hesaplanan hedef sismik şiddet değeri için senaryo büyüklük (M_w) 7.1 ve uzaklık (R_{jb}) 10 km bulunmuş olsun. Kayıt grubunu oluşturmak için kullanılan $6.6 \leq M_w \leq 7.6$ ve $0 \text{ km} \leq R_{jb} \leq 20 \text{ km}$ kriterlerini sağlayan 20 kayıt için M_w , R_{jb} ve $\varepsilon(T_i, \xi)$ değerleri Tablo 3.1’de verilmiştir.

Tablo 3.1 Senaryo M_w ve R_{jb} dikkate alınarak bulunan 20 yer hareketi kaydı

NO	KAYIT İSMİ	M_w	R_{jb} (km)	$\varepsilon\sigma(0.3,\xi)$	$\varepsilon\sigma(0.9,\xi)$
1	TGMB1585	7.1	0.00	-0.4867	-0.7289
2	TGMB1594	7.1	0.00	0.2330	-0.4706
3	TGMB1583	7.1	0.00	-0.0090	0.0710
4	TGMB1584	7.1	3.71	-0.2952	-0.7020
5	TGMB1106	7.6	10.14	-0.1915	-0.0922
6	TGMB1591	7.1	6.10	-0.1818	-0.3461
7	TGMB1104	7.6	8.30	0.0345	0.0203
8	PEER1078	6.7	1.69	-0.2006	-0.3064
9	PEER0809	6.9	12.15	-0.0186	-0.1041
10	PEER0801	6.9	14.18	-0.0085	0.3021
11	PEER0827	7.0	15.97	-0.3179	0.0425
12	PEER0848	7.3	19.74	0.3546	0.1452
13	PEER1546	7.6	9.35	-0.2064	-0.0206
14	PEER1006	6.7	13.80	0.0243	0.1692
15	PEER0764	6.9	10.27	-0.0621	-0.0419
16	PEER1116	6.9	19.14	0.0344	0.2457
17	PEER0864	7.3	11.03	0.0847	0.4124
18	PEER0139	7.4	0.00	-0.3269	-0.2845
19	PEER1633	7.4	12.56	0.3640	0.2994
20	PEER1532	7.6	17.18	-0.2973	-0.0033

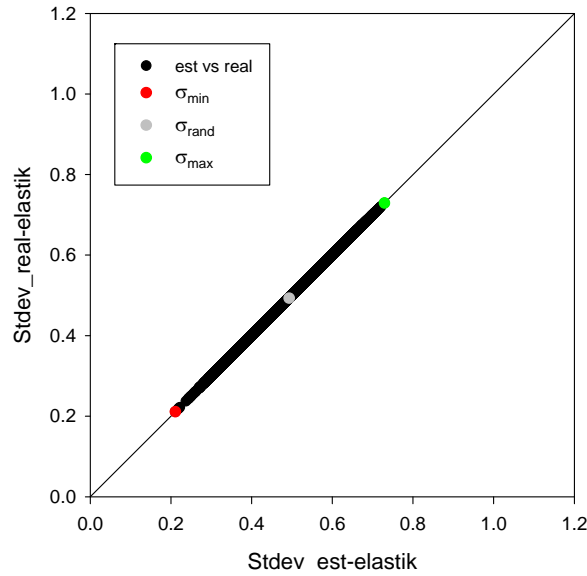
Tablo 3.1’de verilen 20 kayıt içerisinde $T_i=0.3$ saniye için yapısal analizde gerekli 10 adet kayıt seçilecektir. Bu işlem bir kombinasyon problemini ifade eder ve Denklem 3.1 kullanılarak hesaplandığında $C(20,10)=184756$ farklı seçim işlemi yapılabileceği görülür. Bir başka ifade ile 20 elemanlı kayıt kümesinin 10 elemanlı 184756 adet altkümesi vardır ve bu altkümelerin her biri için standart sapma değeri Denklem 3.4 kullanılarak bulunabilir. En düşük standart sapma değerini veren altkümenin bulunması ile yapısal analizlerde kullanılacak 10 yer hareketi kaydı seçilmiş olur.

Tablo 3.2 yukarıda bahsedilen 184756 altküme arasından üç tanesini ve bu üç alt kümenin elemanları kullanılarak yapılacak elastik spektral deplasman analizinin sonunda bulunacak standart sapma değerini vermektedir. Tablodaki standart sapma değeri Denklem 3.4 kullanılarak söz konusu 184756 alt küme için ayrı ayrı hesaplanmış bunlar arasından üçü (minimum ($\sigma_{\ln SD_GM,min}$), maksimum ($\sigma_{\ln SD_GM,max}$) ve rastgele ($\sigma_{\ln SD_GM,rand}$) örnek olarak Tablo 3.2’de verilmiştir.

Tablo 3.2 Farklı altküme seçimleri ve bunların standart sapma sonuçları

SET_{min}	SET_{rand}	SET_{max}
TGMB1583	TGMB1585	TGMB1585
TGMB1106	TGMB1594	TGMB1594
TGMB1591	TGMB1583	TGMB1584
TGMB1104	TGMB1106	PEER0827
PEER0809	TGMB1591	PEER0848
PEER0801	PEER0801	PEER1546
PEER1006	PEER1546	PEER0864
PEER0764	PEER0864	PEER0139
PEER1116	PEER0139	PEER1633
PEER0864	PEER1532	PEER1532
$\sigma_{lnSD_GM,min} = 0.21$	$\sigma_{lnSD_GM,rand} = 0.49$	$\sigma_{lnSD_GM,max} = 0.73$

Tablo 3.2’de verilen ve SET_{min} olarak adlandırılan altkümenin elemanlarının (yer hareketi kayıtlarının) tespiti ile yer hareketi kayıt seçme işlemi tamamlanır. Tablo 3.2’de verilenler dahil toplam 184756 altküme için Denklem 3.4 kullanılarak hesaplanan standart sapma değeri (Stdev_est-elastik) ve her bir set için yapılan elastik spektral deplasman analizi sonucu bulunan standart sapma değeri (Stdev_real-elastik) Şekil 3.1’de verilmiştir.



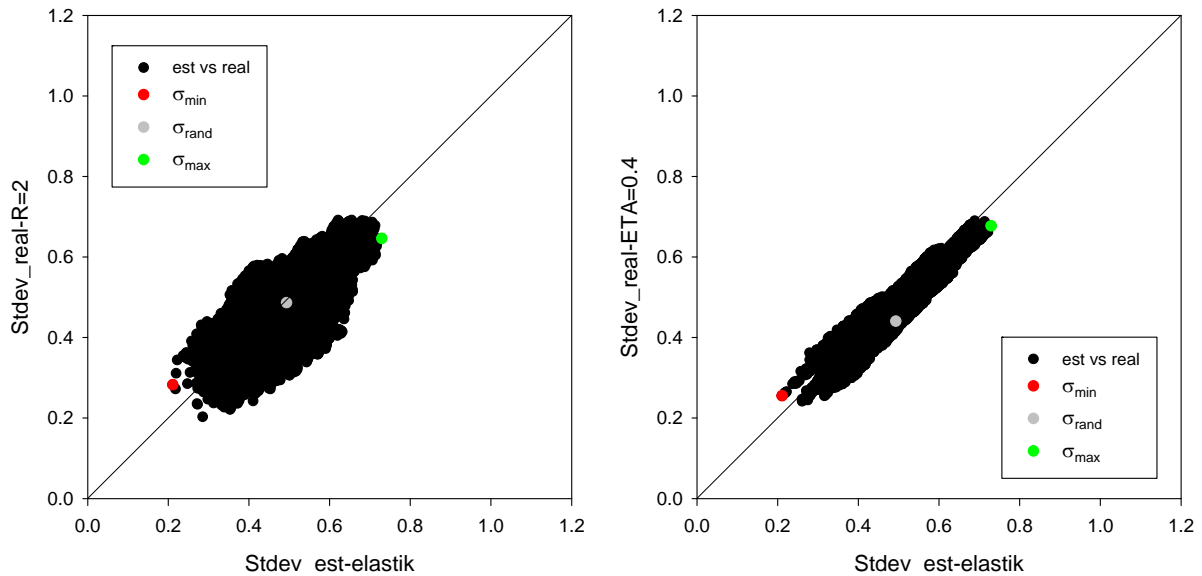
Şekil 3.1 184756 altküme için hesaplanan (Stdev_est-elastik) ve elastik spektral analiz ile bulunan (Stdev_real-elastik) standart sapma değerleri

Şekil 3.1 incelendiğinde 184756 altküme için standart sapma değerinin geniş bir bantta değişim gösterdiği görülür. Düşük elastik ötesi seviyelerde, elastik saçılıma yakın değerler

elde edildiği projenin önceki kısımlarında gözlemlenmiştir. Buradan hareketle ek yapısal analizlere gerek kalmadan elastik saçılımın kesin olarak hesaplanması ve buna göre seçim yapılması düşük elastik ötesi seviyeler için de faydalı bir ön bilgi olacaktır. Elastik ötesi analiz sonuçları ile ilgili daha detaylı karşılaştırmalar ve gözlemler raporun bundan sonraki bölümünde verilmiştir.

3.3.Elastik ötesi analizler ile elde edilecek sonuçlar

Proje kapsamında önerilen yer hareketi kayıt seçme ve ölçeklendirme yöntemi ile tek serbestlik dereceli sistemlerin elastik analizleri sonucunda elde edilecek ortalama yer değiştirme değeri ve buna bağlı standart sapma değeri sırasıyla Denklem 3.3 ve 3.4 ile verilmiştir. Bu kayıt setleri kullanılarak tek serbestlik dereceli sistemlerin elastik ötesi analizleri de tamamlanmış ve elde edilen sonuçlar incelenmiştir. Buna göre proje kapsamında geliştirilen yöntemin özellikle düşük elastik ötesi seviyeler için (sabit dayanım; $R=2$ veya sabit taban kesme kuvveti; $ETA=0.4$) başarılı sonuçlar verdiği gözlemlenmiştir. Şekil 3.2, 184756 altkümü için hesaplanan standart sapma tahmin değerlerine ($Stdev_est-elastik$) karşılık $R=2$ (sol) ve $ETA=0.4$ (sağ) analizlerinde elde edilen standart sapma değerlerini ($Stdev_real-R=2$ ve $Stdev_real-ETA=0.4$) göstermektedir. Buna göre seçilen kayıt seti (SET_{min}) ile yapılan analizler özellikle düşük elastik ötesi seviyeler için nispeten düşük saçılım göstermeye devam etmektedir.



Şekil 3.2 184756 altkümü için hesaplanan ($Stdev_est-elastik$) ve elastik ötesi spektral analizler ile bulunan ($Stdev_real-R=2$ ve $Stdev_real-ETA=0.4$) standart sapma değerleri

Öte yandan elastik ötesi seviye arttıkça, Denklem 3.4 ile hesap edilen elastik standart sapma değeri ile elastik ötesi analizler sonucu bulunan standart sapma değeri arasındaki farkın arttığı görülmüştür. Özellikle hedef sismik şiddet değeri yüksek olan analizlerde yada zayıf yapılarda elastik ötesi davranış sergileneceği göz önüne alınarak, sabit dayanım (R) ve periyot (T) parametrelerine bağlı, elastik ötesi analizlerdeki ortalama standart sapma değerini “ $(\sigma_{\ln SD_GM}(T_i, \xi))_{ie}$ ”, elastik standart sapma değerini “ $(\sigma_{\ln SD_GM}(T_i, \xi))_e$ ” kullanarak tahmin eden denklemler türetilmiştir. Elastik ötesi standart sapma değerinin hesaplanması Denklem 3.7’de verilmiştir.

$$(\sigma_{\ln SD_GM}(T_i, \xi))_{ie} = CF(T_i, R) (\sigma_{\ln SD_GM}(T_i, \xi))_e \quad (3.7)$$

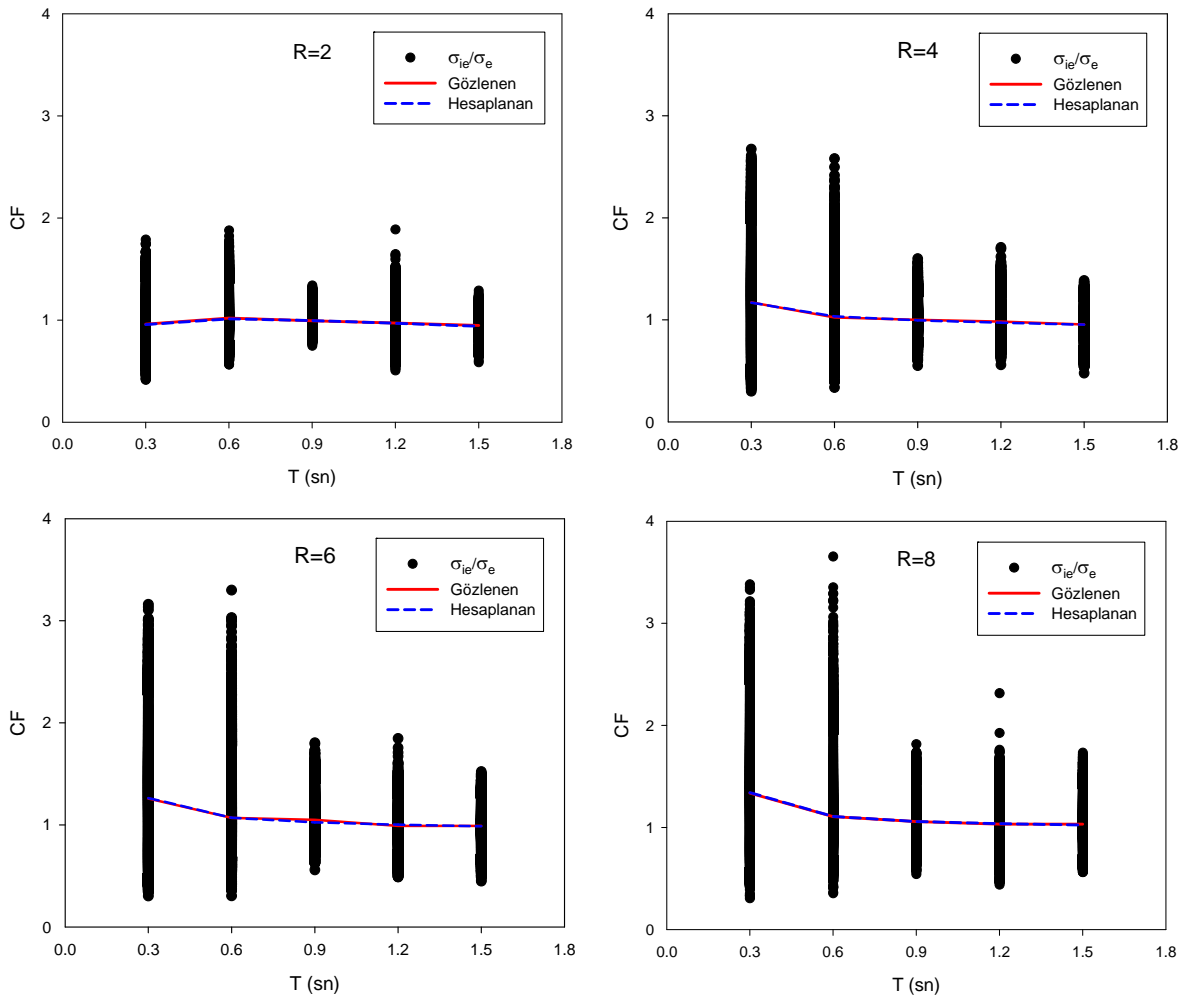
Denklem 3.7’deki $CF(T_i, R)$ fonksiyonunun türetilmesi için farklı elastik ötesi seviyeler ve temel periyot değerleri ($T_i=0.3, 0.6, 0.9, 1.2, 1.5$ saniye) için yapılan analizler sonucu elde edilen elastik ötesi standart sapma değerleri, elastik standart sapma değerine bölünmüş ve sonuçların ortalaması gözlenmiştir. Matematiksel olarak $CF(T_i, R)$ fonksiyonu belli bir sabit dayanım değeri için elastik ötesi standart sapma değerinin elastik standart sapma değerine oranını temsil eder (bkz. Denklem 3.8).

$$CF(T_i, R) = \left(\frac{(\sigma_{\ln SD_GM}(T_i, \xi))_{ie}}{(\sigma_{\ln SD_GM}(T_i, \xi))_e} \Big|_R \right) \quad (3.8)$$

Elastik ötesi analizlerdeki standart sapma değerinin ortalamasını tahmin etmek için kullanılacak $CF(T_i, R)$ fonksiyonunun türetilmesi için öncelikle elde edilen oranların ortalaması bulunmuş, bu ortalama değeri en iyi temsil eden denklem formu araştırılmış ve Denklem 3.9’da terimleri verilen denklem uygun bulunmuştur. Denklem 3.9’da a, b ve c tahmin denklemleri sabitlerini, T_i ve R ise sırasıyla periyot ve sabit dayanım katsayısını ifade eder.

$$CF(T_i, R) = \left(a_1 + b_1 R + \frac{c_1}{R^2} \right) + \left(a_2 + b_2 R + \frac{c_2}{R^2} \right) T + \frac{\left(a_3 + b_3 R + \frac{c_3}{R^2} \right)}{T^2} \quad (3.9)$$

CF(T_i, R) fonksiyonunun türetilmesi için hesaplanan değerler, bu değerlerin ortalaması ve Denklem 3.9 ile verilen fonksiyon ile hesaplanan CF(T_i, R) değeri farklı sabit dayanım katsayıları ve periyot değerleri için Şekil 3.3'te verilmiştir. Şekil 3.3 incelendiğinde sabit dayanım katsayısı arttıkça (elastik ötesi davranış seviyesi yükseldikçe) CF oranlarının ve buna bağlı saçılımının da arttığı görülür. Bu sebeple tahmin denkleminin ortalama CF değeri için türetildiği unutulmamalıdır. CF(T_i, R) fonksiyonundaki katsayı sabitleri Tablo 3.3'te verilmiştir.



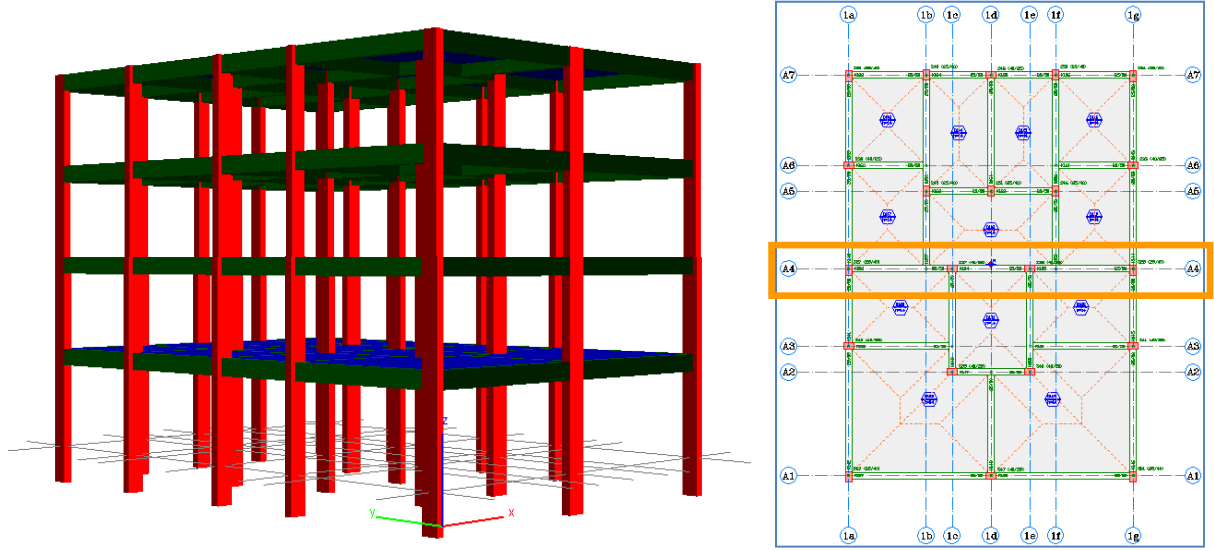
Şekil 3.3 Elastik ötesi standart sapma değerinin elastik standart sapma değerine oranı (CF), bu oranın ortalama değeri (Gözlenen) ve bunu temsil eden fonksiyon değeri (Hesaplanan)

Tablo 3.3 CF(T_i, R) fonksiyonu katsayı sabitleri

CF(T_i, R)	a	b	c
1	0.95	0.011	0.53
2	-0.06	0.005	-0.23
3	0.013	0.002	-0.11

3.4.Önerilen yöntemin çok serbestlik dereceli sitemler ile analizi

Çalışmada daha önce Türkiye’deki betonarme yapı stoğunu temsil eden veritabanları incelenmiş ve sonuçlar istatistikî yöntemler kullanılarak değerlendirilmiştir. Bu bilgiler ışığında 3 boyutlu analitik modeller hazırlanmış, tasarımda ülkemizde yürürlükte olan şartnameler ve karakteristik yapım özellikleri dikkate alınmıştır. Hazırlanan 3 boyutlu analitik modellerden 4 katlı, yüklerin tamamının çerçeveler ile taşındığı (4MRF) yapı, yukarıda önerilen seçme ve ölçeklendirme yöntemi ile hazırlanan kayıtlar kullanılarak analiz edilmiştir. 4MRF modelinin 3 boyutlu resmi, kat planı ve analizlerde kullanılan çerçeve Şekil 3.4’te verilmiştir. Modellerin hazırlanması ve özellikleri ile ilgili daha detaylı şekiller ve açıklamalar projenin birinci gelişme raporunda verilmiştir.



Şekil 3.4 Analizler için seçilen 4MRF yapısının 3 boyutlu modeli (solda) ve kat planı (sağda)

Şekil 3.4’te verilen 4MRF yapısının A4-A4 (4MRF-A4) çerçevesi ile statik itme ve zaman tanım alanı analizleri yapılmıştır. Bu çerçeve 3 açıklıklı, 4 katlı, sürekli bir çerçevedir ve yapının temel davranışını temsil ettiği kabul edilmiştir. Bu kabuller ve analiz çerçevesi ile ilgili ayrıntılı bilgi projenin birinci gelişme raporunda bulunabilir.

Öncelikle 4MRF-A4 çerçevesinin statik itme analizi yapılmış, buradan elde edilen değerler kullanılarak yapıyı temsil eden tek serbestlik dereceli sistem tanımlanmıştır. Buna göre 4MRF-A4 çerçevesinin birinci hâkim periyodu 0.90 saniye olarak bulunmuştur. Raporda daha önce belirtildiği gibi hedef sismik şiddet değerinin tespiti bu çalışmanın kapsamı dışındadır.

Ancak önerilen yer hareketi kayıt seçme ve ölçeklendirme yönteminin incelenebilmesi için başka bir çalışma için hazırlanan PSHA sonuçları kullanılmıştır. Bu PSHA çalışmasında hesaplanan hedef sismik şiddet değeri 0.90 saniye için 7.00 cm ($SD(0.9, \xi) = 7.00$ cm) ve buna göre senaryo büyüklük (M_w) 7.1 ve uzaklık (R_{jb}) 10 km bulunmuştur. Kayıt grubunu oluşturmak için kullanılan $6.6 \leq M_w \leq 7.6$ ve $0 \text{ km} \leq R_{jb} \leq 20 \text{ km}$ kriterlerini sağlayan 20 kayıt için M_w , R_{jb} ve $\varepsilon\sigma(0.9, \xi)$ değerleri Tablo 3.1’de verilmiştir. Bu değerler kullanılarak 7 yer hareketi kaydı seçilmiştir. Buna göre elde edilen kayıtlar ve bu kayıtların hedef sismik şiddet değerine ölçeklendirilmesi sonrası elde edilecek elastik standart sapma değeri Tablo 3.4’te verilmiştir.

Tablo 3.4 En düşük elastik standart sapma değeri hedeflenerek seçilen 7 adet kayıt

SET _{analiz}
TGMB1583
TGMB1106
TGMB1104
PEER0827
PEER1546
PEER0764
PEER1532
$\mu_{\varepsilon\sigma}(0.9, \xi) = -0.00346$
$\sigma_{\ln SD_GM} = 0.1257$

Tablo 3.4’te verilen ve çalışma kapsamında önerilen metot ile seçilen 7 adet kayıt önce hedef sismik şiddet değerine uygun olacak şekilde projede geliştirilen metot ile ölçeklendirilmiş, sonra bu kayıtlar kullanılarak yapıyı temsil eden tek serbestlik dereceli sistemin elastik analizi yapılmıştır. Ölçeklendirme hedef değeri (f_0) Denklem 3.6’ya göre Tablo 3.4’te verilen $\sigma_{\ln SD_GM}$ ve $\mu_{\varepsilon\sigma}(0.9, \xi)$ değerleri kullanılarak hesaplandığında 7.005 cm bulunur. $f_0 = 7.005$ cm Denklem 3.3’te yerine konulduğunda $\mu_{\ln SD_GM}(0.9, \xi)$ değeri 1.9380 bulunacaktır. Bu sonuç aşağıda Tablo 3.5’te üçüncü kolonda verilen değerlerin ($\ln[SD(0.9, \xi)_{GM}]$) ortalamasına eşittir. Ayrıca PSHA çalışmasından elde edilen hedef sismik şiddet değeri (7.000 cm) ve ölçeklendirme sonrası elde edilen ortalama elastik spektral deplasman değeri (6.992 cm) oldukça yakındır. Buradaki fark (% 0.12) raporda daha önce bahsedilen “k=7” adet kaydın spektral analiz sonuçlarının log-normal dağılım gösterdiği kabulünden kaynaklanmaktadır. Elde edilen sonuçlar incelendiğinde bu kabulün uygun olduğu değerlendirilmektedir.

Tablo 3.5 Seçilen 7 adet kaydın elastik spektral deplasman analizi sonuçları ile bunların ortalama ve standart sapma değerleri

KAYIT İSMİ	SD(0.9, ξ) _{GM} (cm)	ln[SD(0.9, ξ) _{GM}] (cm)
TGMB1583	8.2443	2.1095
TGMB1106	5.6611	1.7336
TGMB1104	7.3349	1.9926
PEER0827	7.7195	2.0437
PEER1546	6.6765	1.8986
PEER0764	6.3573	1.8496
PEER1532	6.9477	1.9384
ORTALAMA	6.9916	1.9380
STANDART SAPMA	0.8652	0.1257

Seçilen ve ölçeklendirilen 7 kayıt ile 4MRF-A4 çerçevesini temsil eden tek serbestlik dereceli sistemin zaman-tanım alanı analizleri de yapılmıştır ve sonuçlar Tablo 3.6’da verilmiştir. Elastik ötesi analizlerde sabit dayanım değeri R=2 olarak kabul edilirse (sabit dayanım değeri elastik hedef sismik ivme değeri, sistemin akma ivme değerine bölünerek bulunmuştur), ortalama standart sapma değerini tahmin etmek için türetilen Denklem 3.9 kullanıldığında CF(0.9,2) katsayısı 0.995 olarak bulunur. Bu değer ile elastik analizlerden elde edilen standart sapma değeri çarpılır (0.1257x0.995) ve elastik ötesi analiz ortalama standart sapma değeri 0.1250 olarak bulunur. Bu değer Tablo 3.6’da verilen ve elastik ötesi analizler sonucu elde edilen gerçek değerden (0.1064) büyüktür ancak özellikle Şekil 3.3’te gösterilen saçılımlar ve türetilen denklemlerin ortalama elastik ötesi standart sapma değeri için tahmin yaptığı göz önünde alınırsa elde edilen sonucun kabul edilebilir olduğu değerlendirilebilir.

Tablo 3.6 Seçilen 7 adet kaydın 4MRF-A4 çerçevesini temsil eden tek serbestlik dereceli sistem ile zaman-tanım alanı analizi sonucunda bulunan deplasman ve standart sapma değeri

KAYIT İSMİ	ln[Die(0.9, ξ) _{GM}] (cm)
TGMB1583	1.9918
TGMB1106	1.7648
TGMB1104	1.9684
PEER0827	1.9433
PEER1546	2.0471
PEER0764	1.8632
PEER1532	2.0707
STANDART SAPMA	0.1064

Çalışmanın son kısmında Şekil 3.4'te verilen 4MRF-A4 çerçevesinin zaman-tanım alanı analizleri OPENSEES (McKenna ve Fenves, 2006) kullanılarak yapılmıştır. Elde edilen tepe deplasmanı sonuçları ve buna bağlı standart sapma değeri Tablo 3.7'te verilmiştir.

Tablo 3.7 Seçilen 7 adet kaydın 4MRF-A4 çerçevesi ile zaman-tanım alanı analizi sonucunda bulunan tepe deplasman değerleri ile bunlara ait ortalama ve standart sapma değeri

KAYIT İSMİ	$\ln[TepeDeplasmanı_{GM}]$ (cm)
TGMB1583	2.3908
TGMB1106	2.2994
TGMB1104	2.1807
PEER0827	2.3463
PEER1546	2.3536
PEER0764	2.0315
PEER1532	2.3312
ORTALAMA	2.2762
STANDART SAPMA	0.1269

Tablo 3.5 ve Tablo 3.6 karşılaştırıldığında elastik ötesi davranışın tek serbestlik dereceli sistemlerin analizindeki saçılma olan etkisi görülmektedir. Tablo 3.5 ve Tablo 3.7 karşılaştırıldığında ise, elastik ötesi davranış ile beraber yapısal özelliklere bağlı değişkenliğin de sonuçlara olan etkisi örneklenmiş olur. Proje kapsamında önerilen yer hareketi seçme ve ölçeklendirme yöntemi ve bu yöntem ile yapılan analizler sonucu elde edilen bilgiler, yer hareketine bağlı saçılımı azaltırken; ortalama yapısal deformasyon talebi, buna bağlı standart sapma değeri (yapısal davranıştaki değişkenlik) ve bu değişkenliğin kökenine dair bilgiler de vermektedir. Dolayısıyla bu yöntem kullanarak hazırlanan kayıtlar ve elde edilen veriler kolaylıkla Türkiye'deki yapıların deprem dayanımını olasılık esaslı yöntemler kullanılarak inceleyen çalışmalarda kullanılabilir. Olasılık esaslı yöntemlerin temel iki bileşeni belirli bir sismik şiddet seviyesindeki kayıtlar ile yapılacak analizler sonucu elde edilecek ortalama yapısal deformasyon talebi ve bu değere bağlı standart sapmadır. Bu değerlerin en doğru şekilde bulunması ile sismik performans tahminini hedefleyen çalışmalarda sıkça karşılaşılan daha detaylı analizlere gerek olup olmadığı, hazırlanan veri setinin ve yapısal modellerin yeterli olup olmadığı veya yapısal modellemeden kaynaklanan değişkenliğin sonuçlara etki mertebesi sorularına cevap bulunabilir ve yapıların belirli hasar sınırlarının aşılma olasılığı hesaplanabilir. Böylece yapıların hedef sismik şiddet değeri için hasar bölgeleri yani performansları tahmin edilebilir.

4. Projedeki Mali Gelişmeler (Satın Alınan Teçhizat ve Diğer Harcamalar)

Projede kullanılmak üzere tahsis edilen ödenek 2250,00 TL'dir. Bu ödenek kullanılarak ilk üç yarıyılıda toplam 2203,90 TL karşılığında teçhizat ve sarf malzemesi alımı yapılmıştır. Projenin dördüncü yarıyılı içerisinde herhangi bir harcama yapılmamıştır.

5. Proje Kapsamında Yapılan Yayınlar

Projede elde edilen sonuçları içeren bildiri 25-29 Temmuz, 2010 tarihinde yapılan "9th US National and 10th Canadian Conference on Earthquake Engineering: Reaching Beyond Borders" adlı uluslararası konferansta Bekir Özer Ay tarafından sözlü olarak sunulmuş ve konferans kitabında yayınlanmıştır.

Ayrıca proje kapsamında yapılan çalışmalar, 30 Ağustos-03 Eylül, 2010 tarihinde yapılan "14th European Conference on Earthquake Engineering" adlı uluslararası konferansta Bekir Özer Ay tarafından sözlü olarak sunulmuş ve konferans bildirisi olarak yayınlanmıştır.

6. Proje Kapsamında Yürütülen Lisansüstü Tezler Hakkında Bilgiler

Proje ekibinde araştırmacı olarak görev alan doktora öğrencisi Bekir Özer Ay, Aralık 2010 içinde tez izleme komitesi tarafından değerlendirilmiştir. Proje çalışmaları ve söz konusu doktora tezi proje süresi boyunca koordineli olarak yürütülmüştür.

7. Değerlendirme

Çalışma dördüncü altı ay için öngörülen hedefler doğrultusunda ilerlemiş, analizler ve buradan elde edilen sonuçlara dair istatistikî çalışmalar tamamlanmıştır. Bu sonuçlar projenin hedefleri için yeterli görülerek çok serbestlik dereceli bir sistemin analizi ile karşılaştırılmıştır. Böylece ülkemizdeki yapıları temsil eden model ile yapılan analizler sonucu, yapıların deprem davranışı ve bu davranıştaki değişkenliğin kökeni örneklenmiştir.

8. Sonuç

Proje kapsamında Türkiye'deki betonarme binaları temsil eden veritabanları incelenmiş ve yapıların deprem davranışında etkili olduğu düşünülen parametrelerin istatistikî değerleri elde edilmiştir. Bu bilgiler ışığında 3 boyutlu analitik modeller ülkemizde yürürlükte olan şartnameler ve karakteristik yapım özellikleri dikkate alınarak tasarlanmıştır. Bu modeller içerisinde 3 boyutlu yapının temel davranışını temsil ettiği kabul edilen 2 boyutlu çerçeve sistemleri seçilmiştir.

Daha sonra yer hareketi kayıtlarının hedef sismik şiddet değerlerine ölçeklendirilmesi yöntemleri incelenmiş, yeni bir ölçeklendirme metodu geliştirilmiştir. Geliştirilen ölçeklendirme metodu jeofiziksel parametreleri belli kayıtları ölçeklendirmek için yer hareketi tahmin denklemi kullanır. Analizlerde tek serbestlik dereceli sistemler kullanılmış böylece yapısal özelliklere bağlı karmaşık faktörlerin sonuçlara olan etkisi en aza indirgenmeye çalışılmıştır. Geliştirilen ölçeklendirme metodu elastik ve elastik ötesi dinamik analiz sonuçlarındaki saçılıma ve ölçeklendirme katsayılarına göre değerlendirilmiştir.

Yer hareketi kayıtlarının projede geliştirilen metoda göre ölçeklendirilmesi için kullanılacak farklı yer hareketi şiddet değerleri de incelenmiştir. Yapısal tepki saçılımı, farklı periyot değerleri ve elastik ötesi davranış seviyeleri için hesaplanmış, buna göre en efektif yer hareketi şiddet değeri araştırılmıştır. Ayrıca ölçeklendirme yöntemi ile elde edilen saçılım sonuçlarının yer hareketi gruplarının sınıflandırılması için seçilen büyüklük ve faya olan uzaklık değerleri ile olan ilişkisi incelenmiştir.

Sonuç olarak, bu projede deprem mühendisliği alanında çalışan araştırmacıların sıklıkla karşı karşıya kaldığı yer hareketi seçme ve ölçeklendirme yöntemleri ele alınmış, yapısal davranımdaki saçılımın azaltılmasını hedefleyen bir yöntem geliştirilmiştir. Projede önerilen yöntemler ile seçilen ve ölçeklendirilen kayıtlar kullanılarak yapılan elastik ötesi analizler için yapısal davranıştaki ortalama saçılımın yaklaşık tahmin denklemleri türetilmiştir. Elde edilen veriler çok serbestlik dereceli modellerin analiz sonuçları ile karşılaştırılmış, böylece deprem davranışının rassal doğasından kaynaklanan belirsizlik ile yapısal modellerdeki değişkenlik ülkemizdeki yapıları temsil eden modeller ile örneklenmiştir.

9. Öneriler

Proje kapsamında yürütülen çalışmalarda özellikle yer hareketi değişkenliği ve bu değişkenliğin farklı parametreler ile ilişkisi detaylı bir şekilde incelenmiştir. Ayrıca ülkemizdeki betonarme yapıları temsil eden modeller hazırlanmış, bunların analizleri ile yerel yapısal özelliklerimiz de hesaplamalarda göz önüne alınmıştır. Öte yandan, yapısal performans tahmini çalışmalarının önemli bileşenlerinden olan hedef sismik şiddet seviyesinin ve yeterli kayıt sayısının tespiti ile bunların elde edilecek sonuçlar üzerindeki etkisi bu çalışmanın kapsamı dışında olduğu için incelenmemiştir. Bu projeyi takip edecek, yapısal davranıştaki değişkenliği anlamayı ve azaltmayı hedefleyen gelecek çalışmalarda bu parametrelerin incelenmesi yerinde olacaktır.

10. Referansalar

- Akkar, S. ve J. J. Bommer, (2007). Prediction of Elastic Displacement Response Spectra in Europe and the Middle East Earthquake Engineering and Structural Dynamics, 36, 1275–1301.
- ASCE, (2000). Seismic analysis of safety-related nuclear structures and commentary, ASCE Standard No. 004-98, American Society of Civil Engineers.
- ATC-58, (2009). Guidelines for Seismic Performance Assessment of Buildings ATC-58 50% Draft, The Applied Technology Council, Redwood City, CA.
- Beyer, K. ve J. J. Bommer, (2006). Relationships between Median Values and between Aleatory Variabilities for Different Definitions of the Horizontal Component of Motion Bulletin of the Seismological Society of America, 96, 1512–1522.
- Beyer, K. ve J. J. Bommer, (2007) Selection and Scaling of Real Accelerograms for Bi-Directional Loading: A Review of Current Practice and Code Provisions Journal of Earthquake Engineering, 11, 13–45.
- McKenna, F. ve G. L. Fenves, (2006) Open System for Earthquake Engineering Simulation (OpenSees) User Manual, University of California, Berkeley.
- Türkiye Cumhuriyeti Bayındırlık ve İskan Bakanlığı, (2007). Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik.