

30 MIS 2012

35391

**Burulma ve Nonlinear Etkilere Maruz Betonarme Perde
Duvarlı Binaların Sismik Tasarımı ve Performans
Değerlendirmesi**

Proje No: 107M909

Prof.Dr. Ahmet YAKUT
Vesile Hatun AKANSEL
Saeideh NAZİRZADEH
Dr. İlker KAZAZ
Prof. Dr. Polat GÜLKAN

ŞUBAT 2012
ANKARA

Önsöz

Burulma etkisine sahip perde duvarlı betonarme binaların çok çalışılmamış olan burulma davranışı ve sismik performanslarını belirlemek üzere uluslararası bir proje tertiplenmiştir. Bu çerçevede, ¼ ölçekli bir model yapı tasarlanmış, imal edilmiş ve deneysel olarak sarsma tablası üzerinde sismik etkilere maruz bırakılmıştır. Model binanın tasarımı, imalatı ve deneyleri Fransanın, Saclay/Paris şehrinde bulunan CEA (Atom Enerji Enstitüsü) tarafından gerçekleştirilmiştir. Model bina deney sonuçlarının kullanılması ile yapının analitik modelinin oluşturulması, kalibrasyonu ve sismik davranışının incelenmesi yoluyla sismik performansının belirlenmesi konularının ele alınması amacıyla uluslararası katılımcılar davet edilmiştir. Bu kapsamda, TÜBİTAK'tan alınan 107M909 nolu proje kodu ve destek ile ekibimiz projeye dahil olmuştur. Öncelikle tüm katılımcı ekiplere model binanın özellikleri verilmiş ve ön analizlerin yapılması istenmiştir. Daha sonra yapılan deneyler sonrası elde edilen veriler ışığında tüm katılımcıların modellerini revize etmeleri istenmiştir. Projenin sonraki aşamalarında ise yapının sismik kırılma eğrileri elde edilmiş ve buna bağlı olarak yapı performansı konusunda değerlendirmeler yapılmıştır. Ayrıca, yapının deneysel performansı ve analitik sonuçlar baz alınarak perde duvarlar için Türk Deprem Yönetmeliğinde verilen performans sınır değerlerinin geçerliliği irdelenmiştir. Ekibimizin elde etmiş olduğu sonuçlar proje katılımcılarının yer aldığı çalışmada sunulmuş ve diğer ekipler ile karşılaştırma imkanı elde edilmiştir. Bu raporda yapılan çalışmaların ayrıntıları ve elde edilen sonuçlar sunulmakta ve değerlendirilmektedir.

İçindekiler

Önsöz.....	2
İçindekiler.....	3
Tablo ve Şekil Listeleri	4
Özet	6
Abstract.....	6
1. Giriş	7
2. Genel Bilgiler.....	7
2.1. Model Binanın Özellikleri.....	7
2.2. Binaya İlişkin Veriler	9
2.3. Deney Programı ve Sonuçlar	9
3. Modelleme ve Analiz	13
3.1. Başlangıç Hesapları.....	13
3.1.1. Başlangıç Analiz Sonuçları.....	15
3.1.2. Deneysel Sonuçlar ile Karşılaştırmalar	16
3.2. Bina Revize Modeli ve İkinci Aşama Hesapları	18
3.2.1. Revize Model	18
3.2.2. Analiz Sonuçları	20
3.2.3. Deneysel Ölçümler ile Revize Model Sonuçlarının Karşılaştırılması	23
3.4. Sarsma Tablası Modeli ve Analizler.....	27
3.4.1. Sarsma Tablalı Model.....	27
3.4.2. Sarsma Tablalı Model Analiz Sonuçları	28
3.5. Model ve Analiz Sonuçlarının İrdelenmesi.....	31
4. Kırılgenlik Eğrilerinin Hesaplanması	33
4.1. Genel.....	33
4.2. Kırılgenlik Analizleri	33
4.2.1. Hasar Göstergeleri ve Sınır Değerler	33
4.2.2. Yer Hareket Seti ve Parametreleri	33
4.2.3. Analiz Yöntemi.....	34
4.2.4. Regresyon Analizleri	35
4.2.5. Regresyon ve Kırılgenlik Analiz Sonuçları.....	36
4.3. HAZUS hasar seviyeleri için kırılgenlik eğrilerinin oluşturulması.....	43
4.4. HAZUS hasar seviyeleri ile CEA tarafından belirlenen hasar seviyelerinin karşılaştırılması ..	50
5. Türk Deprem Yönetmeliğine göre Birim Şekil Değiştirmelerin İrdelenmesi	51
6. Sonuç ve Değerlendirmeler	58
Referanslar	59
Proje Özet Bilgi Formu	60

Tablo ve şekil listeleri

Şekil listesi

Şekil 1. (b) Model Bina	8
Şekil 2. Deney sonrası ölçülen bazı ivme değerleri.....	11
Şekil 3. Deneylerde Ölçülen Maksimum İvmeler	11
Şekil 4. Deneylerde Ölçülen Maksimum Deplasmanlar	12
Şekil 5. 4 nolu deneyden elde edilen üst kat yatay deplasman dağılımı	12
Şekil 6. Deneylerde Meydana Gelen Çatlaklar.....	13
Şekil 7. Başlangıç Hesapları için Hazırlanan Model.....	14
Şekil 8. SOLID-65 Elemanı.....	14
Şekil 9. MASS21 elemanı koordinat sistemi.....	15
Şekil 10. Beton gerilme-birim uzama ilişkisi: a) Basınç, b) Çekme	15
Şekil 11. Hesaplanan Mod Şekilleri	16
Şekil 12. PGA=0.8g için üçüncü kat yer değiştirmelerinin deneysel sonuçlar ile karşılaştırılması....	17
Şekil 13. PGA=0.8g için üçüncü kattaki A, B, C ve D noktaların %5 sönümlenmiş tepki spektrumlarının deneysel sonuçlar ile karşılaştırılması	18
Şekil 14. Hesaplar için Hazırlanan Model;a) Başlangıç modeli, b)Revize model	19
Şekil 15. PGA=0.2g için Set 1 ve Set 2'den elde edilen farklı noktalardaki x doğrultusu deplasmanları.....	20
Şekil 16. PGA=0.2g için Set 1 ve Set 2'den elde edilen kat ötelenme değerleri	21
Şekil 17. PGA=0.7 g için üçüncü kat deplasmanlarının deneysel sonuçlar ile karşılaştırılması	24
Şekil 18. PGA=1.0 g için üçüncü kat deplasmanlarının deneysel sonuçlar ile karşılaştırılması.....	25
Şekil 19. PGA=0.7g için üçüncü kattaki noktaların %5 sönümlenmiş tepki spektrumlarının deneysel sonuçlar ile karşılaştırılması, fixed-base model	26
Şekil 20. PGA=1.0g için üçüncü kattaki noktaların %5 sönümlenmiş tepki spektrumlarının deneysel sonuçlar ile karşılaştırılması, fixed-base model	27
Şekil 21. Sarsma tablalı model.....	28
Şekil 22. PGA=0.7 g için üçüncü kat deplasmanlarının deneysel sonuçlar ile karşılaştırılması, Sarsma tablası modeli.....	29
Şekil 23. PGA=0.7 g için üçüncü kattaki noktaların %5 sönümlenmiş tepki spektrumlarının deneysel sonuçlar ile karşılaştırılması, sarsma tablası için	30
Şekil 24. İki değişkenli leinner analiz verileri (Ang ve Tang, 1975)	35
Şekil 25. A noktası kırılmanlık eğrileri.....	38
Şekil 26. B noktası kırılmanlık eğrileri	39
Şekil 27. C noktası kırılmanlık eğrileri	40
Şekil 28. D noktası kırılmanlık eğrileri.....	41
Şekil 29. E noktası kırılmanlık eğrileri	42
Şekil 30. Duvar hasar seviyeleri ile ilgili parametreler.....	43
Şekil 31. A noktası kırılmanlık eğrileri (HAZUS)	45
Şekil 32. B noktası kırılmanlık eğrileri (HAZUS)	46
Şekil 33. C noktası kırılmanlık eğrileri (HAZUS)	47
Şekil 34. D noktası kırılmanlık eğrileri (HAZUS)	48
Şekil 35. E noktası kırılmanlık eğrileri (HAZUS).....	49
Şekil 36. E noktası kırılmanlık eğrilerinin HAZUS hasar seviyeleri ile karşılaştırılması	50
Şekil 37. Deneylerden sonra oluşan çatlaklar	52
Şekil 38. Deneylerden sonra yapının son hali	52
Şekil 39. Duvar 1 Basınç ve çekme birim şekil değiştirmeleri	53
Şekil 40. Duvar 2 Basınç ve çekme birim şekil değiştirmeleri	53
Şekil 41. Duvar 3k Basınç ve çekme birim şekil değiştirmeleri.....	54
Şekil 42. Duvar 3u Basınç ve çekme birim şekil değiştirmeleri.....	54
Şekil 43. Duvar 4 Basınç ve çekme birim şekil değiştirmeleri	55
Şekil 44. Duvar 1 (Açıklık) Basınç ve çekme birim şekil değiştirmeleri.....	55

Şekil 45. Duvar 2 (Açıklık) Basınç ve çekme birim şekil değiştirmeleri.....	56
Şekil 46. Duvar 3k (Açıklık) Basınç ve çekme birim şekil değiştirmeleri.....	56
Şekil 47. Duvar 3u (Açıklık) Basınç ve çekme birim şekil değiştirmeleri.....	57
Şekil 48. Duvar 4 (Açıklık) Basınç ve çekme birim şekil değiştirmeleri.....	57

Tablo listesi

Tablo 1. Yapısal elemanların boyutları.....	9
Tablo 2. Uygulanan yer hareketlerine ait maksimum ivme değerleri.....	9
Tablo 3. Gerçek ivme kayıtlarının özellikleri.....	10
Tablo 4. Yapının Ölçülen Doğal frekansları (Lermitte et al., 2008).....	13
Tablo 5. Birinci kısım hesaplar için kullanılan malzeme parametreleri.....	15
Tablo 6. Modal Hesap sonuçları.....	16
Tablo 7. Parametrik çalışmada kullanılan parametreler.....	19
Tablo 8. Parametrik çalışma sonucu hesaplanan frekanslar.....	19
Tablo 9. Yeni Model için Modal Hesap Sonuçları.....	20
Tablo 10. Katlar arası ötelenme oranları.....	22
Tablo 11. Toplam yükseklik ile normalize edilmiş tepe noktası ötelenme oranları.....	22
Tablo 12. Frekans ve periyotların karşılaştırılması.....	28
Tablo 13. Frekansların karşılaştırılması.....	31
Tablo 14. Periyotların karşılaştırılması.....	31
Tablo 15. X-yönünde Hesaplanan Mutlak Deplasmanlar (mm).....	31
Tablo 16. Y-yönünde Hesaplanan Mutlak Maksimum Deplasmanlar (mm).....	32
Tablo 17. Maksimum kat arası ötelenme hasar sınır değerleri.....	33
Tablo 18. Kırılğanlık eğrileri için kullanılan yer hareketi parametreleri.....	34
Tablo 19. Olasılık Dağılımı Parametreleri.....	36
Tablo 20. A_m -Sismik medyan kapasite değerleri.....	37
Tablo 21. β –Logaritmik standard sapma değerleri.....	37
Tablo 22. Hesap sonuçları ile temsil eğrileri arasındaki korelasyon katsayıları.....	43
Tablo 23. HAZUS hasar seviyeleri.....	43
Tablo 24. A_m – Data için elde edilen sismik medyan kapasiteleri (HAZUS).....	44
Tablo 25. Hasar Seviyelerinin Geçilme Olasılıkları (HAZUS).....	44

Özet

Bu çalışmada bazı deprem hareketleri altında sarsma tablası deneyleri yapılmış perde duvarlı üç katlı bir model binanın analizleri yapılarak davranışı irdelenmiş ve yapıya özel kırılma eğrileri elde edilmiştir. Çalışmada binanın analitik modeli sonlu elemanlar metoduna dayanarak ANSYS programı ile elde edilmiştir. Modellemesi yapılan bina Fransa Saclay'de yer alan Atom Enerji Kurumu'nun (CEA) yürüttüğü proje kapsamında ¼ ölçekli olarak sarsma tablası deneylerine tabi tutulmuştur. Deney sonuçları ile yapının sonlu elemanlar yöntemi ile yapılan modellemesinin ne kadar uyumlu olduğu çalışmanın ilk bölümünde irdelenmiştir. Analitik modelleme sonucu elde edilen davranış parametreleri (kuvvet, yer değiştirme, deformasyon), deneylerde ölçülmüş olan değerler ile karşılaştırılarak model ve simülasyonun geçerliliği incelenmiştir. Bu karşılaştırmalar sonucunda analitik modelin revize edilmesi gerektiğine karar verilmiş ve model parametreleri değiştirilerek revize model elde edilmiştir. Revize model üzerinde tekrarlanan analizler sonucunda elde edilen davranış parametreleri deneysel sonuçlar ile karşılaştırılmıştır. Daha sonra istatistiksel analiz ile regresyon yöntemi kullanılarak yapının kırılma eğrileri analizi yapılmıştır. Kırılma eğrileri yapının burulma düzensizliği dikkate alınarak plan üzerinde farklı noktalarda elde edilmiştir. Kırılma eğrileri için kullanılan yöntemin ayrıntılarının ve sonuçlar da sunulmaktadır.

Anahtar Kelimeler: Perde Duvarlı Bina, Sarsma Tablası, Burulma Düzensizliği, Sonlu Elemanlar Metodu, Kırılma Eğrileri

Abstract

This study focuses on investigating behavior and obtaining fragility curves of a three story model shear wall building which has been tested in shaking table under a set of earthquake excitations. Analytical model of the building has been obtained in ANSYS program based on finite element modeling. The model building has been subjected to shaking table tests in the facilities of CEA located in Saclay, France. In the first phase of the study, experimental results were compared with the analytically computed ones to determine adequacy of the model. Response parameters such as force, displacement and deformations were used for the comparison. The analytical model has been revised based on the comparisons in the first phase. Response parameters obtained from revised model were compared with the experimental ones. Then, using the revised model a set of analyses have been carried out and the results were analyzed using statistical regression method to obtain the fragility curves. Fragility curves were obtained at three different points. Methods used for fragility analyses are explained and the results are also presented.

Keywords: Shear Wall Building, Shaking Table, Torsional Irregularity, Finite Element Method, Fragility Curves

1. Giriş

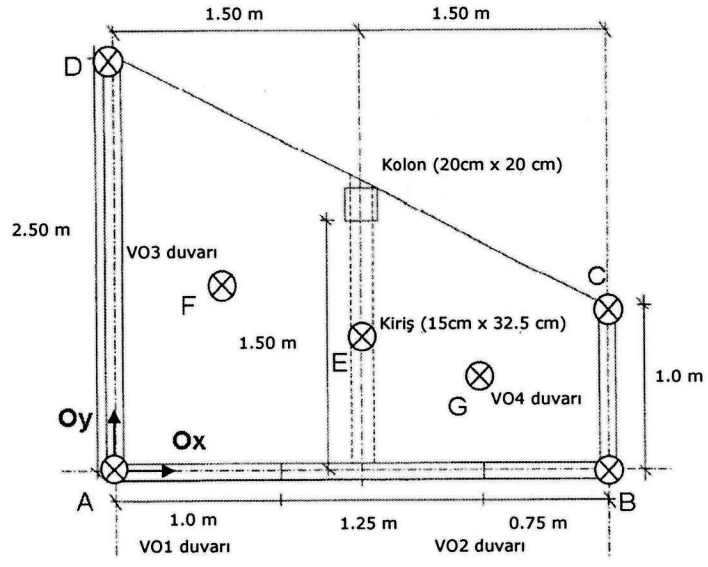
Betonarme binaların deprem davranışını iyileştirmek için eklenen perde duvarların bu tür yapıların davranışına etkisi oldukça önemlidir. Düzgün perde duvarlara sahip düzenli yapıların davranışı genel olarak bilinmekte olup bir çok araştırmaya konu teşkil etmiştir. Ancak, perde duvarların yerleşiminden kaynaklanan burulma düzensizliği bu tür yapıların davranışını oldukça karmaşık hale getirmektedir. Literatürde burulma etkisine sahip perde duvarlı yapıların deprem etkileri altındaki davranışını irdeleyen çalışma sayısı oldukça sınırlıdır. Bu tür yapıların davranışını ve performansını daha iyi anlayabilmek için sismik davranışının daha iyi anlaşılabilmesi için daha fazla çalışmaya ihtiyaç vardır. Bu amaçla CEA tarafından düzenlenen ve yönetilen "SMART 2008" adı verilen bir uluslararası proje başlatılmıştır. Bu proje kapsamında, burulma düzensizliği ve plan düzensizliği bulunan ¼ ölçekli üç katlı betonarme perde duvarlı bir bina tasarlanmış ve inşa edilmiştir. Bu yapı Fransa, Saclay de bulunan AZALEE sarsma tablası deneylerine tabi tutulmuştur. Yapının tepkisini farklı parametreler ile inceleyebilmek için bir takım zaman alanında tanımlı lineer olmayan deprem analizleri yapılmıştır. Model bina, iki doğrultuda etki ettirilmek üzere büyüklükleri 0.1g ile 1.0g arasında değişen bir takım gerçek ve sentetik yer hareketlerine maruz bırakılmıştır. Sarsma tablası deneyleri küçük genlikli yer ivmesinden başlayıp 1,0 g' ye kadar ard arda gerçekleştirilmiştir. Bu tür deneylerde parametrik çalışmaların yapılabilmesi genellikle yüksek bütçeler ve zaman gerektirdiği için mümkün değildir. Dolayısıyla, analitik çalışmalar ile deneysel çalışmalar birleştirilmektedir. Bu çerçevede, deneysel davranış ölçümlerle belirlenmiş olan binanın analitik modeli oluşturularak bu model üzerinde daha ayrıntılı parametrik çalışmalar yapılmış ve yapının deprem davranışı ve kırılma eğrileri elde edilmiştir. Plan üzerinde belirlenen belli noktalardan alınan deplasman ve ivme değerleri ile deneyden elde edilen sonuçları ANSYS v. 12.1'den elde edilen sonlu elemanlar modeli ile karşılaştırılmıştır.

2. Genel Bilgiler

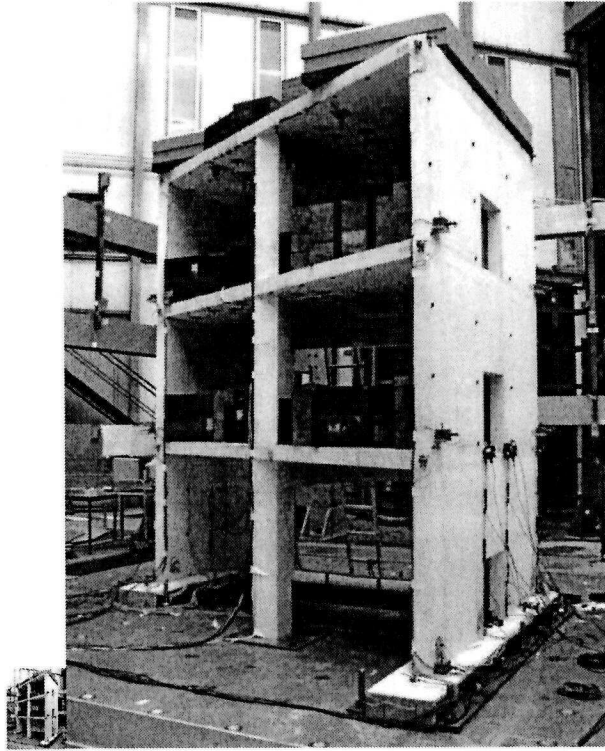
Bu bölümde, öncelikle model binanın özellikleri tanıtılmaktadır. Daha sonra binanın sarsma tablası deneyleri ve sonuçları üzerinde yoğunlaşmaktadır.

2.1. Model Binanın Özellikleri

Model yapı ¼ ölçekli, 3 katlı perde duvarlı betonarme bir binadır. Bina yamuk bir plana sahip olup, U şeklinde üç perde duvar ile çevrelenmektedir (Şekil 1a). Perde duvarların ikisinde boşluklar bulunmaktadır. Perde duvarın bulunmadığı kenarın ortasında bir adet kolon teşkil edilmiştir. Ayrıca, her katta yer alan döşeme bir kiriş ile desteklenmektedir. Ölçeklenmeden dolayı oluşan kütle kaybını elde etmek için her kata ilave yükler uygulanacaktır. Binanın tasarımı 0.2g'lik maksimum yer ivmesine sahip bir tepki spektrumu etkisi altında yapılmıştır. Söz konusu binanın sarsma tablası deneyleri Fransa Atom ve Enerji Kurumu'nun (CEA) yürüttüğü proje kapsamında, Saclay bölgesinde bulunan AZALEE sarsma tablasında gerçekleştirilmiştir. CEA tarafından inşa edilen Model Bina Şekil 1b' de gösterilmektedir. Binanın farklı yerlerine yerleştirilen ivme ve yer değiştirme ölçerler yardımıyla deney sonuçları kayıt edilmiştir. Hesaplarda dikkate alınacak noktalar Şekil 1'de dairelerle gösterilmektedir. Hesap sonuçları bu noktalar dikkate alınarak irdelenmektedir. Model bina taşıyıcı sistemini oluşturan yapısal eleman boyutları Tablo 1'de sunulmaktadır.



Şekil 1. (a) Model Binanın Plan Görünüşü



Şekil 1. (b) Model Bina

Tablo 1. Yapısal elemanların boyutları

	Uzunluk h (m)	Kalınlık (m)	Yükseklik (m)
Duvar (#V01+#V02)	3.1	0.1	3.65
Duvar #V03	2.55	0.1	3.65
Duvar #V04	1.05	0.1	3.65
Kiriş	1.45	0.15	0.325
Kolon	3.8	0.2	0.2

2.2. Binaya İlişkin Veriler

Başlangıç model ve analizlerini gerçekleştirmek için aşağıdaki veriler CEA tarafından tüm katılımcılara sağlanmıştır:

- Yapının geometrik özellikleri,
 - Plan çizimleri,
 - Döşeme, kolon, duvar, kiriş ve temel donatı detaylarını gösteren çizimler,
 - Ankrajlara ilişkin bilgiler,
- Ortalama malzeme özellikleri (Betonun: basınç ve çekme dayanımı, Elastisite modülü ve poisson oranı; Çelik için: akma gerilmesi, Eurocode 2 ye göre malzeme özellikleri,
- İlave yükleme tanımları,
- Uygulanan ölçekleme faktörleri (uzunluk, boyut, zaman, kütle ...),
- Deprem etkisi (farklı sönümlenmelerde tepki spektrumu ve sarsma tablası deneylerinde uygulanacak ivme-zaman verileri.

Yukarıda sunulan veriler deney öncesi bilgileri içermekte olup, genellikle yapının ön tasarımı esnasında kullanılan ve varsayılan değerlerdir.

2.3. Deney Programı ve Sonuçlar

Model yapının sarsma tablası deneyleri 3'ü gerçek 10'u sentetik olmak üzere toplam 13 adet yer hareketi altında yapılmıştır. Tablo 2'de genel özellikleri verilen bu yer hareketleri sırayla yapıya arka arkaya uygulanmıştır. Şekil 1a'da belirtilen noktalarda ve elemanlar üzerinde diğer bazı noktalarda ivme ve deplasman değerleri ölçülmüş ve proje ekibimize iletilmiştir.

Tablo 2. Uygulanan yer hareketlerine ait maksimum ivme değerleri

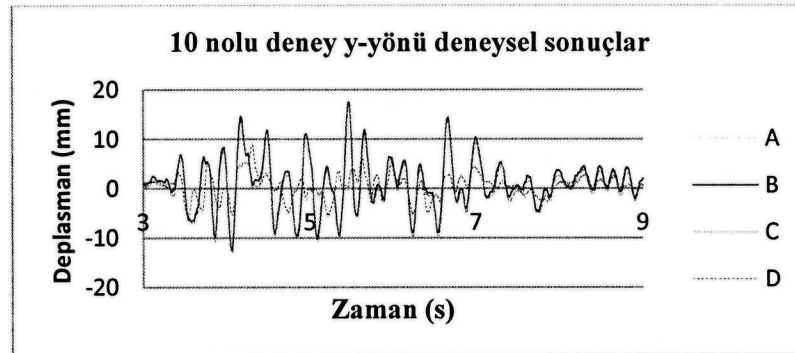
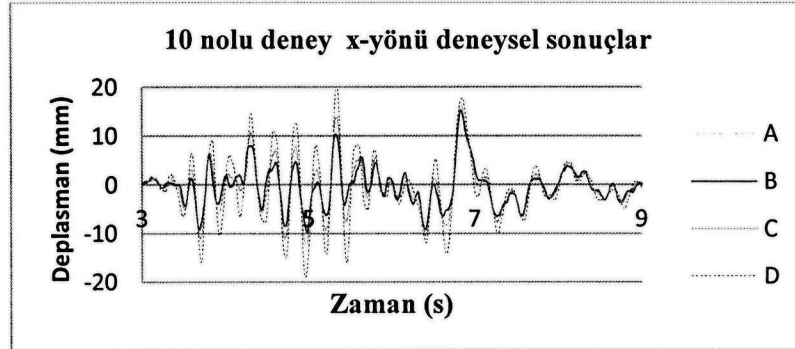
KAYIT	REA1	REA2	REA3	SYN1	SYN2	SYN3	SYN4	SYN5	SYN6	SYN7	SYN8	SYN9	SYN10
PGA(g)	0.05	0.05	0.05	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0
DENEY NO.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13

Deneylerde kullanılan gerçek ivme kayıtlarına ilişkin bilgiler Tablo 3'te özetlenmektedir. Deneylerde farklı noktalarda ölçülen deplasman değerlerinin bazıları Şekil 2'de gösterilmektedir. Bu şekilde, 10 ve 13 numaralı deneylerde plandaki A, B,C ve D noktalarında her iki yönde ölçülen deplasman ve ivme değerleri karşılaştırılmaktadır. Ayrıca, her deneyde üçüncü katta ölçülen maksimum ivme ve deplasman değerleri ise sırasıyla Şekil 3 ve Şekil

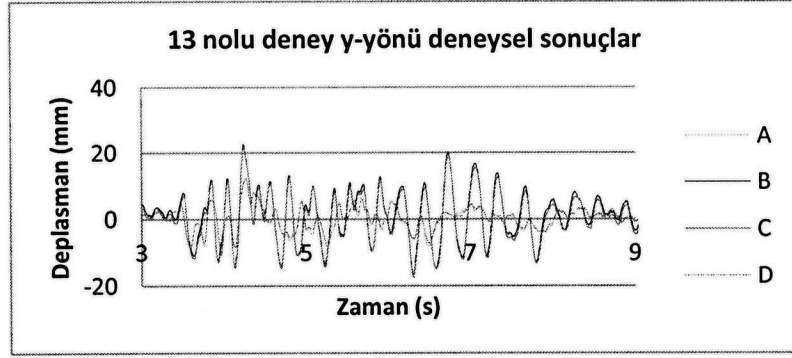
4'te verilmektedir. Bu sonuçlardan görüleceği gibi burulma etkisi nedeniyle farklı noktalardaki davranış da farklı olmaktadır. Burulma etkisinin çok daha belirgin olarak gösterilmesi için 0.1g'lik PGA değerine sahip 4 nolu deney sonuçlarından elde edilen davranış Şekil 5'te gösterilmektedir. Bu şekilden anlaşılacağı üzere, yapının rijitlik merkezi A noktasına yakındır.

Tablo 3. Gerçek ivme kayıtlarının özellikleri

Kayıt No	Deprem	Magnitüd	Uzaklık (km)	Pga (g)
1	Eq. UMBRO-MARCH(AS)	5.2	23	0.05
2	Eq. MANJIL(AS)	4.4	14	0.05
3	UMBRO-MARCHIGIANO	5.9	81.4	0.05

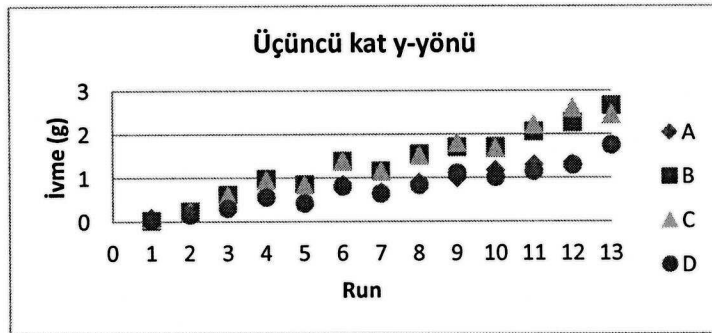
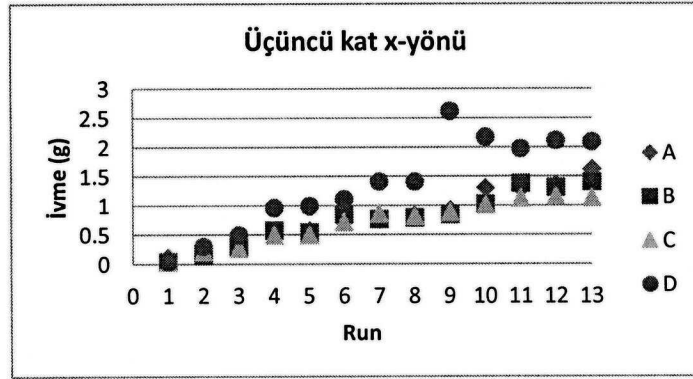


a) 10 nolu deney ivme sonuçları

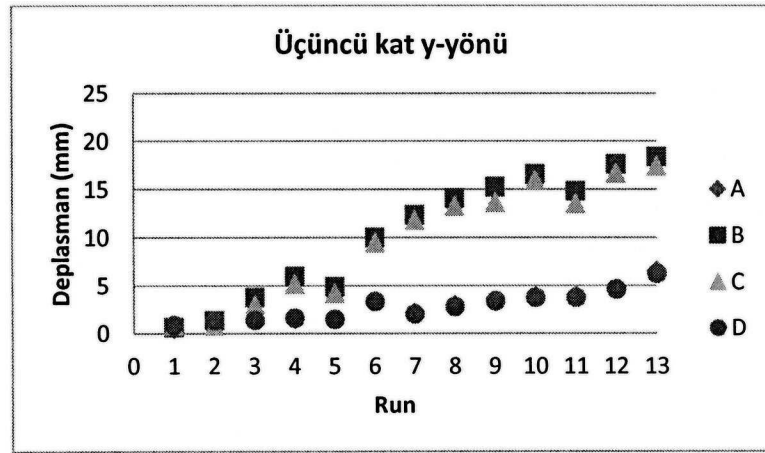
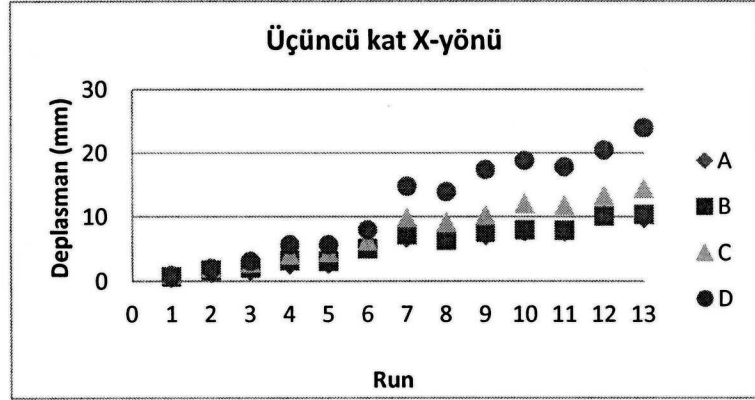


b) 13 nolu deney ivme sonuçları

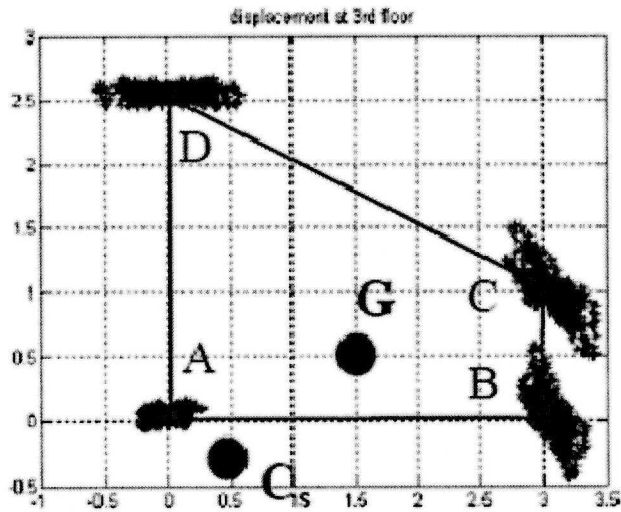
Şekil 2. Deney sonrası ölçülen bazı ivme değerleri



Şekil 3. Deneylerde Ölçülen Maksimum İvmeler



Şekil 4. Deneysel Ölçülen Maksimum Deplasmanlar



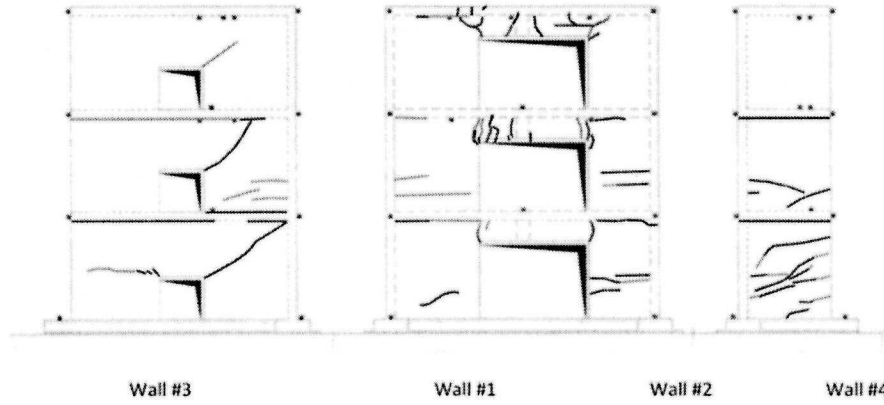
Şekil 5. 4 nolu deneyden elde edilen üst kat yatay deplasman dağılımı (G=kütle merkezi, Cs= Kayma merkezi)

Yapının ilk üç modda ölçülen frekansları Tablo 4'te gösterilmektedir. Binanın birinci modu x-yönünde eğilme, ikinci modu y-yönünde eğilme, üçüncü modu ise burulmadır.

Tablo 4. Yapının Ölçülen Doğal frekansları (Lermitte et al., 2008)

Modlar	f (Hz)	Tip
Mod 1	6.24	Eğilme (Ox)
Mod 2	7.86	Eğilme (Oy)
Mod 3	15	Burulma

Binaya uygulanan ilk beş yer hareketi kaydı altında yapı genellikle elastik sınırlar içerisinde kaldığından herhangi bir hasar veya çatlak gözlenmemiştir. Daha sonraki aşamalarda binada oluşan bazı çatlakların deneylere göre dağılımı Şekil 6'da gösterilmektedir.



Legang	kırmızı	yeşil	mavi	siyah	pembe	turuncu	kahve	gri
Çatlaklar	önce	sırasında	sırasında	sırasında	sırasında	sırasında	sırasında	sırasında
İvme (g)	0.3	0.35	0.55	0.56	0.67	0.77	1.06	1.13

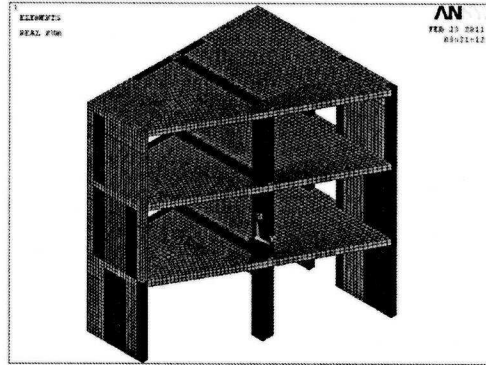
Şekil 6. Deneysel olarak Meydana Gelen Çatlaklar

3. Modelleme ve Analiz

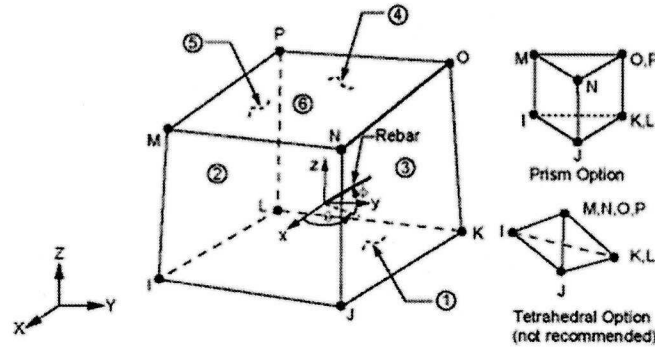
3.1. Başlangıç Hesapları

Binanın başlangıç modeli deney sonuçları olmaksızın verilen geometrik, malzeme ve yük bilgileri esas alınarak oluşturulmuştur. Bunun için ANSYS sonlu elemanlar programı kullanılarak yapının Şekil 7'de gösterilen 3-boyutlu modeli oluşturulmuştur. Modelleme yapılırken beton için gerekli özellikleri tanımlayabileceğimiz SOLID-65 eleman tipi seçilmiştir. Bu eleman tipinin seçilmesindeki amaç bina için tasarlanmış donatı oranlarının yapıyı teşkil eden her bir sonlu elemana hacimsel oran bazında ve gereken doğrultuda yerleştirilebilmesidir. Donatılar ise SOLID-65 elemanı içinde yayılmış (SMEARED) olarak tanımlanmıştır. Şekil 7'de farklı renklerle gösterilen bölgeler farklı donatı oranına sahiptir.

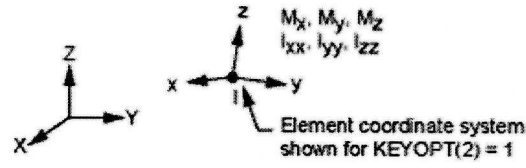
Şekil 8’de donatının SOLID-65 elemanı içindeki dağılımını göstermek için kullanılan parametreler görülmektedir. Ek kütleler için ise MASS-21 elemanı kullanılmıştır (Şekil 9). Hesaplarda tanımlanan ek yükler döşemenin üst noktalarına yayılı yük olarak girilmiştir. Model temel düzleminde sarsma tablasına ankastre olarak modellenmiştir. Lineer olmayan, zaman alanında tanımlı bir hesap için sonlu eleman modelinde; sonlu elemanların ve sonlu elemanlar için tanımlanan integrasyon noktalarının sayısı büyük önem teşkil etmektedir. Bu nedenle Şekil 7’deki gibi sonlu eleman yoğunluğuna sahip model için ekstra integrasyon noktaları tanımlanmıştır. Böylece elde edilecek sonuçların deneysel verilerle daha çok uyum sağlaması amaçlanmıştır. Malzeme modelleri için ANSYS geniş bir malzeme modeli veri tabanına sahiptir. Model için tanımlanan sargılı ve sargısız beton modellerini program kendi içinde birleştirerek kullanabilmektedir. Kullandığımız beton modeli, programın sağladığı özellikler yardımıyla beton basınç dayanımını tanımlamak için kinematik ve isotropik plastisite pekleşmesi özelliklerini Willam-Warnke Modeli ile birleştirmektedir. Betonun çekme dayanımı özelliklerinin hesaplara katılabilmesi için ise DP (Drucker-Prager malzeme modeli), ve MISO (Multi-lineer isotropik pekleşme plastisitesi), Willam- Warnke çekmede göçme kriterleri ile birleştirilmektedir (CONC). Plastisite modelleri Willam-Warnke modeli ile birleştirildiği zaman program plastisite kontrollerini, ezilme ve çatlama kontrollerinden önce yapmaktadır.



Şekil 7. Başlangıç Hesapları için Hazırlanan Model



Şekil 8. SOLID-65 Elemanı



Şekil 9. MASS21 elemanı koordinat sistemi

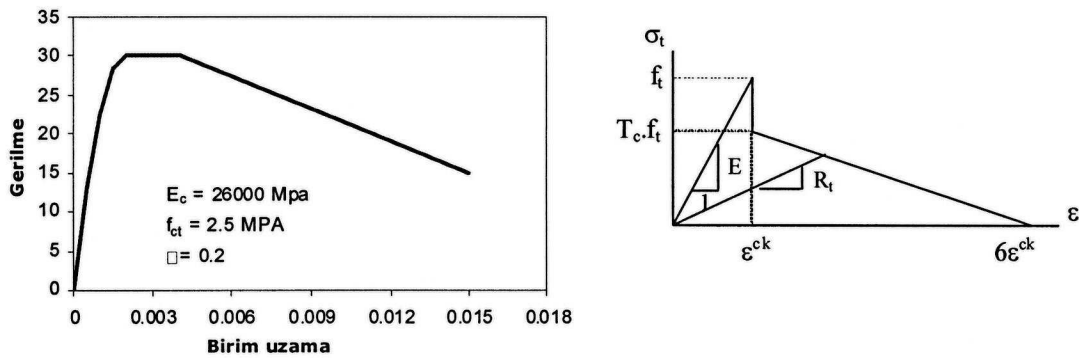
Başlangıç hesapları sarsma tablası deneylerinden önce gerçekleştirilmiştir. Bu nedenle başlangıç hesapları “kör tahmin” olarak ta geçmektedir. Bu kısımdaki modelin; geometrisi, sınır koşulları, malzeme özellikleri, yapı için kullanılacak yükler ve hesaplarda ve deneylerde kullanılacak yer hareketleri önceden belirlenmiştir.

Bu kısımdaki hesaplar için kullanılan malzeme parametreleri Tablo 5’te verilmiştir. Malzeme modelleri ise Şekil 10’da görülmektedir.

Birinci kısım hesaplar için kullanılması öngörülen ağırlıklar şöyledir: yapının toplam kütlesi 46.81 t, kendi kütlesi 9.31 t, temelin kütlesi 2.11 t, ek kütleler ise birinci, ikinci ve üçüncü katlar için sırasıyla; 12.06 t, 12.70 t ve 10.63 t olarak belirlenmiştir.

Tablo 5. Birinci kısım hesaplar için kullanılan malzeme parametreleri

f_c (MPa)	f_{ct} (MPa)	E_c (MPa)	ν	F_y (MPa)
30	2.5	26000	0.2	500



Şekil 10. Beton gerilme-birim uzama ilişkisi: a) Basınç, b) Çekme

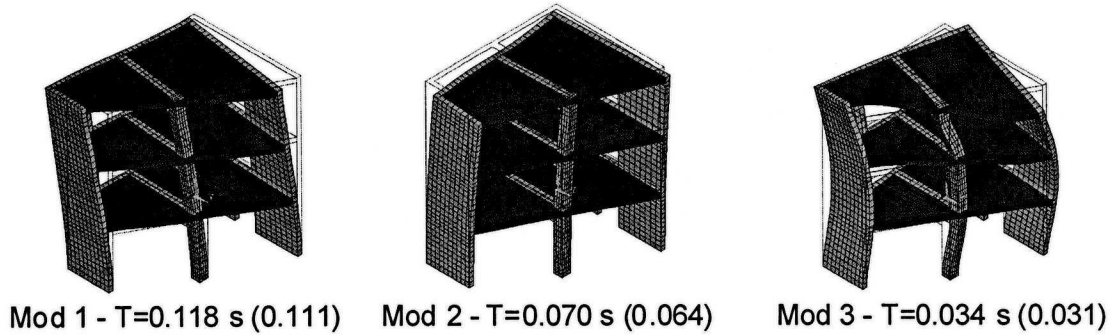
3.1.1. Başlangıç Analiz Sonuçları

Birinci kısım analizler farklı aşamalar halinde gerçekleştirilmiştir. Yapının kendi ağırlığı ve ek yükler altındaki davranışı, yatay kuvvetler altındaki davranışı, farklı durumlar için yapılan modal hesaplar ve 3’ü gerçek 10’u sentetik olmak üzere toplam 13 adet zaman alanında tanımlı dinamik hesap yapılmıştır. Modal hesap, yapının deney öncesinde davranışını tahmin

edebilmek için, sadece kendi ağırlığı altında ve ek yüklerle birlikte olmak üzere iki farklı şekilde yapılmıştır. Bu iki durum için modal hesap sonuçları Tablo 6 ve Şekil 11’de verilmiştir. İki farklı şekilde modal hesap yapılmasının sebebi deneyler için bir ön bilgi elde edilmesidir. Şekillerin altında parantez içerisinde verilen değerler CEA tarafından yapılan genel hesaplar çerçevesinde deneyde ölçülmesi beklenen periyotları göstermektedir (bu değerler Tablo 4’te verilen ölçülmüş değerlerden farklıdır). İlk etapta periyot bazında yapılan bu karşılaştırmalar başlangıç modelinin yeterli olduğunu göstermiştir.

Tablo 6. Modal Hesap sonuçları

Mod	Periyot (T)-saniye	
	Kendi ağırlığı	Kendi ağırlığı + Ek yükler
1	0.04898	0.118
2	0.02911	0.070
3	0.01585	0.034



Şekil 11. Hesaplanan Mod Şekilleri

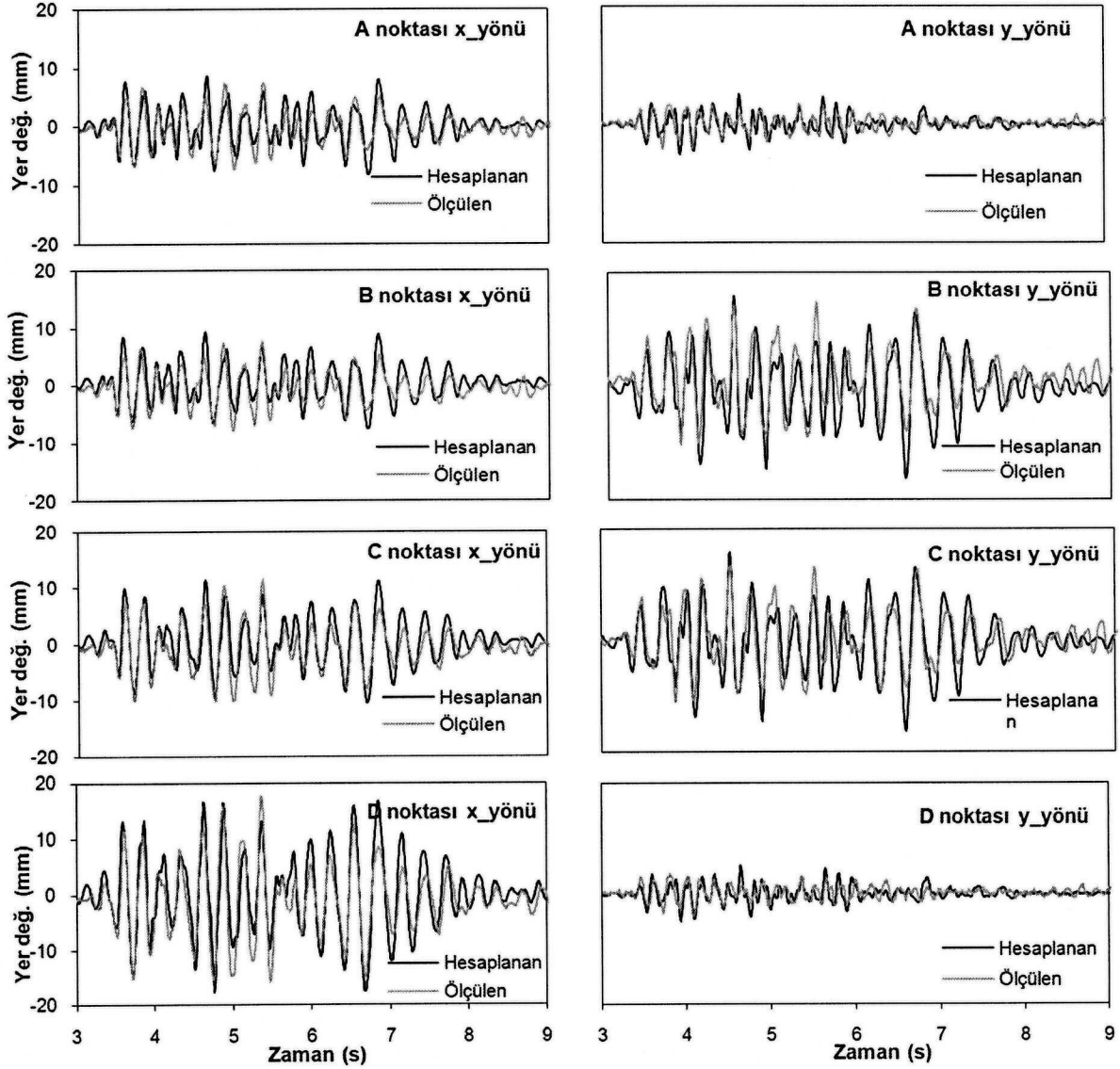
3.1.2. Deneysel Sonuçlar ile Karşılaştırmalar

Başlangıç modelinin deneysel davranışı yeterli olarak temsil edip etmediğini belirlemek için CEA tarafından bazı deneysel veriler tarafımıza iletilmiştir. Bu veriler ışığında deneysel olarak ölçülen değerler ile modelden hesaplanan değerler karşılaştırılmıştır. Analizler deneyler ile uyumlu olarak deprem kayıtlarının arka arkaya uygulanması ile yapılmış olup, sönüm oranı yüzde 2 alınmıştır. Yani 3 numaralı deneyin sonuçları analitik olarak hesaplanırken, ilk iki deneyde uygulanan depremler ve 3. deneyde uygulanan deprem arka arkaya eklenerek yapıya uygulanmıştır.

Maksimum yer ivmesi 0.05 g olan ilk deney sonuçlarına bağlı olarak yapılan modal hesaplar ile yapının gerçek frekansları belirlenmiştir (Tablo 4’de verilen değerler). Bu frekanslar deney öncesi tahmin edilen değerlerden oldukça farklıdır.

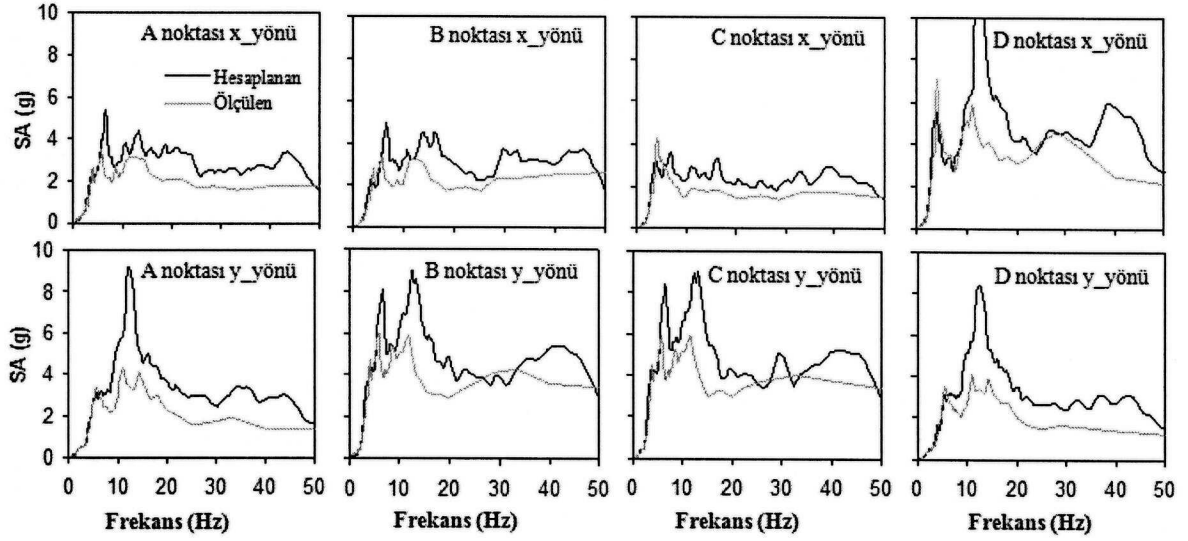
Şekil 12’de 0.8g’lik maksimum yer ivmesine sahip yer hareketi için yapılan zaman alanında tanımlı dinamik hesap sonuçları görülmektedir. Bu sonuçlar üçüncü katta bulunan A, B, C ve D noktalarındaki (Şekil 1) öteleme değişimini göstermekle birlikte yapılan diğer 12 depreme karşılık gelen hesap sonuçları ile aynı doğrultudadır. Şekil 12 dikkatle incelendiği takdirde yapının üçüncü katında bulunan bu noktaların aynı oranda yer değiştirmedeği görülmektedir.

Bu durum yapıda burulma davranışının bulunmasından kaynaklanmaktadır. Hesap sonuçlarındaki tepe noktası değerleri ile deney sonucundakiler aynı frekanslarda gerçekleşmektedir, ancak hesaplanan maksimum değerler daha büyüktür. Bu da yapılan sonlu eleman modelinin deneysel davranışı genel olarak bulabildiğini ancak bazı iyileştirmelere ihtiyacı olduğunu göstermektedir.



Şekil 12. PGA=0.8g için üçüncü kat yer değiştirmelerinin deneysel sonuçlar ile karşılaştırılması

Üçüncü katta Şekil 1’de belirtilen tepe noktaları için hesaplanan %5 sönümlenmiş tepki spektrumu grafikleri Şekil 13’te verilmiştir. Hesaplanan ivme değerleri deneylerde ölçülen değerlerden daha yüksek çıkmıştır. D noktası dışında kalan noktalarda y-yönünde maksimum ivme değerlerine ulaşılırken, D noktasında maksimum ivme değerine x doğrultusunda ulaşılmıştır. Yaklaşık olarak 10-15 Hz arasında maksimum değerlere ulaşılmıştır. En yüksek ivme değerleri ise x yönünde D noktasında; 12.29 g, y yönünde ise A noktasında; 9.25 g’dir. Bu değerler spektral ivme değerleridir.



Şekil 13. PGA=0.8g için üçüncü kattaki A, B, C ve D noktalarının %5 sönümlenmiş tepki spektrumlarının deneysel sonuçlar ile karşılaştırılması

Yapılan hesaplardaki asıl amaç analitik çalışmalarla ölçümlerin uyum göstermesini sağlamaktır. Birinci kısım hesap sonuçları mevcut modelin yapısal davranışı genel olarak sağlayabildiğini, ancak yer değiştirme ve tepki spektrumlarındaki farklılıkları göz önüne alarak model üzerinde çalışılması gerektiğini göstermektedir. Bu nedenle revize model hazırlanarak hesaplar tekrarlanmıştır.

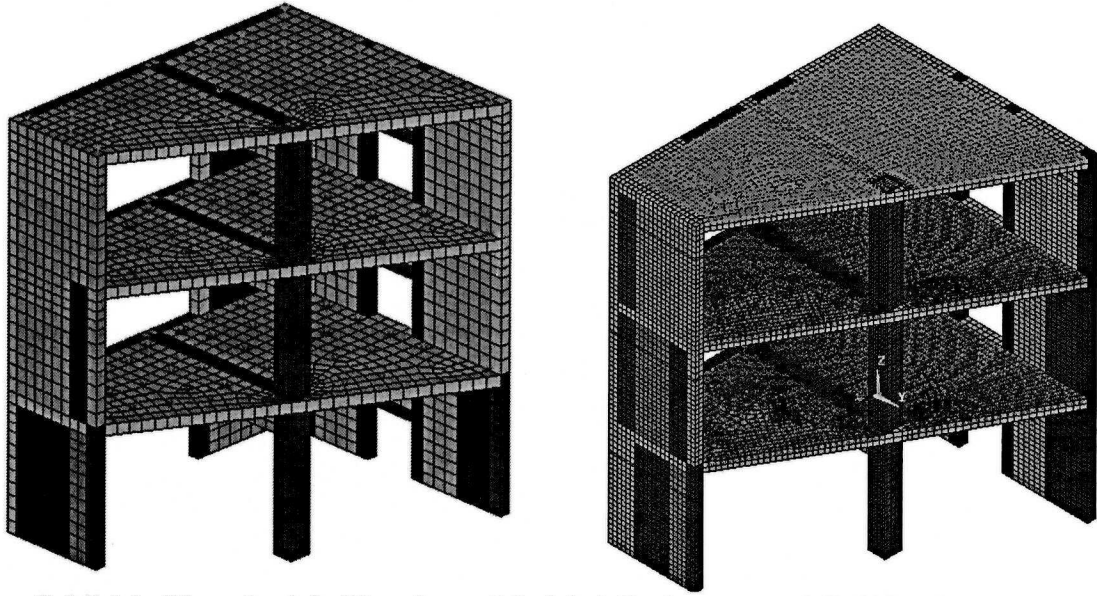
3.2. Bina Revize Modeli ve İkinci Aşama Hesapları

3.2.1. Revize Model

Projenin birinci aşamasında kullanılan modelin deneysel ölçümleri yeterli doğrulukta üretmediği görüldüğünden, model revize edilmiştir. İkinci aşamada model üzerinde parametrik değişkenlerle modeli etkileyen parametreler tespit edilmeye çalışılmıştır. Bu nedenle, mevcut model, hesap sonuçları ve ikinci kısmın yeni parametreleri göz önüne alınarak yeniden oluşturulmuştur. Revize modelin sonlu eleman sayısı artırılmıştır (Şekil 14b). ANSYS sonlu elemanlar programı kullanılarak oluşturulmuş olan yapının 3-boyutlu başlangıç ve revize modelleri Şekil 14’te gösterilmektedir.

Tablo 7’de detayları verilen parametre değişimlerine göre revize model kullanılarak duyarlılık analizleri yapılmıştır. Bu tabloda verilen referans durum revize modeli temsil etmektedir. Tablo 8’den görüleceği gibi beton elastisite modülü ve toplam kütle yapının frekanslarını belirgin şekilde etkilemektedir. Bu sonuçların irdelenmesi ile yapının ölçülmüş olan frekans değerine en yakın değeri referans parametre seti vermektedir.

Kullanılan malzeme modelleri ise betonun basınç davranışı için aynı, çekme davranışı için ise Drucker Prager (DP) ve çoklu-lineer kinematik pekleşme plastisitesi modeli (MKIN), Willam-Warnke çekmede göçme kriterleri (CONC) ile birleştirilmiştir.



Şekil 14. Hesaplar için Hazırlanan Model;a) Başlangıç modeli, b)Revize model

Tablo 7. Parametrik çalışmada kullanılan parametreler

Analiz set No.	E (MPa)	Fy (MPa)	Sönümlenme Katsayısı %	Ek kütleler (T)
1-Referans	32 000	500	2	33.85
2	25 600	500	2	33.85
3	28 800	500	2	33.85
4	35 200	500	2	33.85
5	38 400	500	2	33.85
6	32 000	425	2	33.85
7	32 000	575	2	33.85
8	32 000	650	2	33.85
9	32 000	500	0.5	33.85
10	32 000	500	5	33.85
11	32 000	500	2	30.46
12	32 000	500	2	37.23

Tablo 8. Parametrik çalışma sonucu hesaplanan frekanslar

Mod/Durum	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	9.2	8.3	8.8	9.7	10.1	9.2	9.2	9.2	9.2	9.2	9.6	8.9
2	15.9	14.3	15.1	16.7	17.4	15.9	15.9	15.9	15.9	15.9	16.6	15.3
3	32.8	29.3	31.1	34.4	35.9	32.8	32.8	32.8	32.8	32.8	34.2	31.5

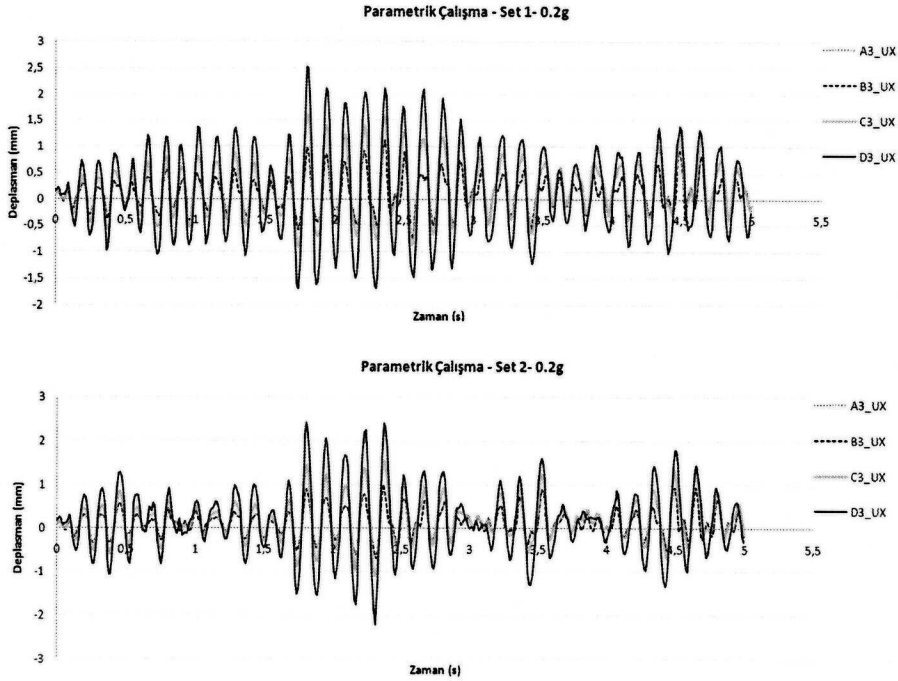
3.2.2. Analiz Sonuçları

Parametrik çalışma sonuçlarının davranış parametrelerine olan etkisini göstermek amacıyla Tablo 7'deki 1. ve 2. sırada yer alan durumlar için ayrıntılı karşılaştırmalar ele alınmıştır. Bu iki durum için hesaplanmış olan modal hesap sonuçları Tablo 9'da gösterilmektedir. İkinci takım modal hesap sonuçları başlangıç modal hesap sonuçları ile hemen hemen aynıdır. Oluşan bu küçük fark hem E_c 'deki 400 MPa'lık değişimden (ikinci takım analiz için; $E_c=25600$ MPa) hem de yeni model için kullanılan ek yüklerin, deneyde kullanılan yüklerle bağlı olarak değişmesinden kaynaklandığı düşünülmektedir. Birinci takım modal hesap sonuçlarına bakacak olursak E_c 'deki değişimin modal analiz üzerindeki etkisini görebiliriz. Özellikle birinci mod için bu fark kendini göstermektedir.

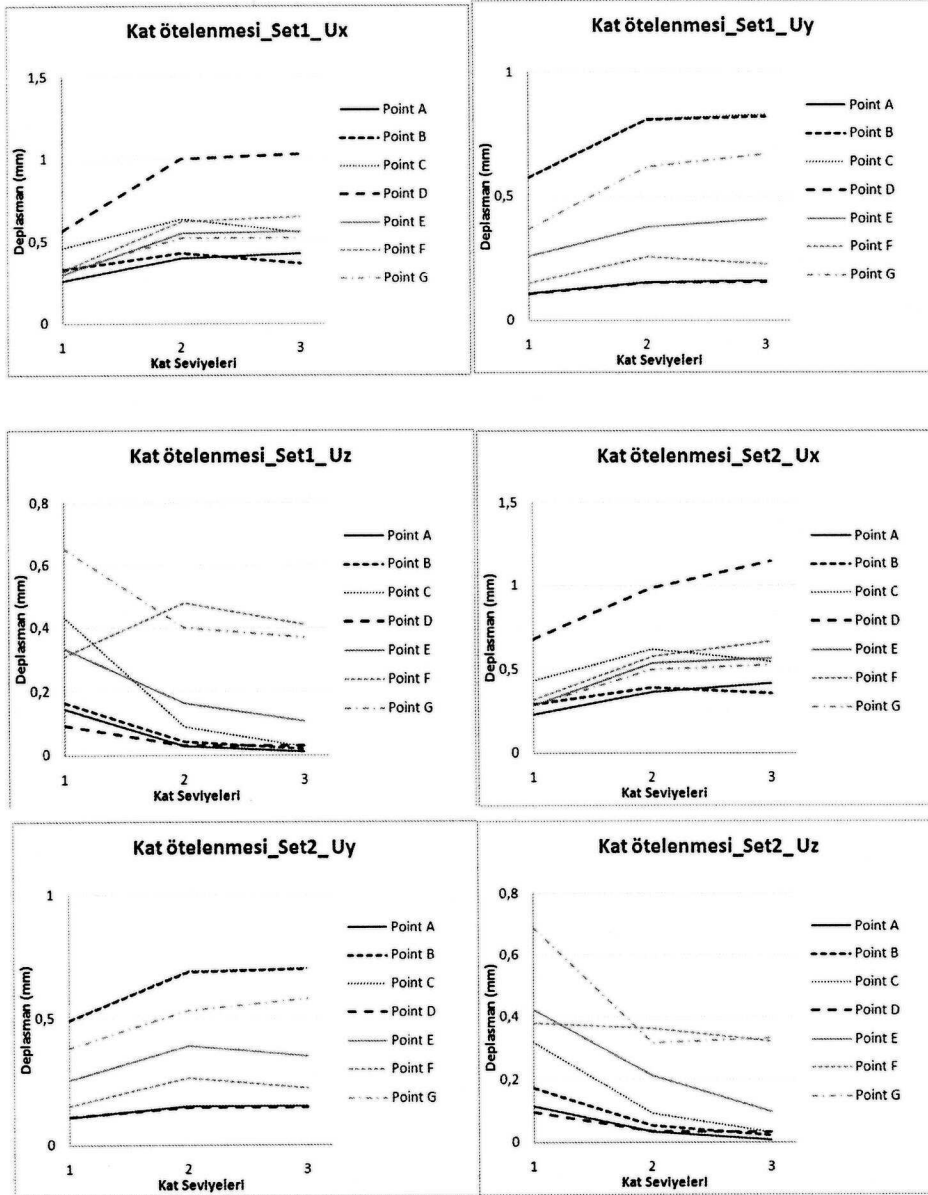
Tablo 9. Yeni Model için Modal Hesap Sonuçları

Modal Hesap Sonuçları (T-s)			
	Mod1	Mod2	Mod3
1-Referans	0.1083	0.0628	0.0305
2	0.1211	0.0702	0.0341

Şekil 15 ve Şekil 16'da 0.2g mertebesinde zaman alanında tanımlı hesap için yapılan iki takımın hesap sonuçları bulunmaktadır. Şekil 16'dan da görüleceği gibi farklı elastisite modüllerine sahip sistemler aynı deprem kuvvetleri altında farklı sonuçlar verebilmektedir. Bu da yapılan parametrik çalışmanın gerekliliğini ortaya koymaktadır.



Şekil 15. PGA=0.2g için Set 1 ve Set 2'den elde edilen farklı noktalardaki x doğrultusu deplasmanları



Şekil 16. PGA=0.2g için Set 1 ve Set 2'den elde edilen kat ötelenme değerleri

Planda belirlenmiş olan noktalarda hesaplanmış olan 1. ve 2. takım analizlere karşılık gelen kat arası ötelenme oranları Tablo 10'da verilmektedir. Bu tablodan görüleceği gibi x doğrultusunda A ve B noktaları; y doğrultusunda ise A ve D noktaları katlar arası ötelenme oranlarına bağlı olarak benzer bir davranış sergilemektedir.

Tablo 11'de toplam kat yüksekliği ile normalize edilmiş üçüncü kat seviyesinde belirlenen noktalardan elde edilen ötelenme oranlarına bakacak olursak bekleneceği gibi A ile B x yönünde yaklaşık olarak aynı değerlere sahiptir. C ve D noktalarındaki değerler ise x doğrultusunda birbirine yakın ötelenme davranışı göstermekle birlikte D noktasının yaptığı ötelenme oranı daha fazladır. Y yönünde ise A ile D ve B ile C yaklaşık olarak aynı ötelenme

değerlerine sahiptirler. X ve Y yönleri için kat ötelenme oranları perde duvarlı diğer yapılarda da olduğu gibi kat seviyesi arttıkça artmaktadır (Tablo 10). Yapının dayanırlılığı yüksek olduğu için yer değiştime değerleri küçük kalmaktadır.

Tablo 10. Katlar arası ötelenme oranları

1. Takım hesaplar için					
Katlar	A Noktası	B Noktası	C Noktası	D Noktası	
X	1. Kat	2.0875E-04	2.6358E-04	3.6827E-04	4.5519E-04
	2. Kat	3.2943E-04	3.5842E-04	5.3208E-04	8.3428E-04
	3. Kat	3.5352E-04	3.0673E-04	4.6212E-04	8.5985E-04
Y	1. Kat	8.6846E-05	4.6081E-04	4.6130E-04	8.5283E-05
	2. Kat	1.2853E-04	6.7294E-04	6.7464E-04	1.2741E-04
	3. Kat	1.3358E-04	6.8552E-04	6.9220E-04	1.2844E-04
Z	1. Kat	1.1690E-04	1.3260E-04	3.4741E-04	7.5627E-05
	2. Kat	2.3937E-05	3.5994E-05	7.5388E-05	2.5272E-05
	3. Kat	8.5499E-06	1.5381E-05	2.1740E-05	2.5388E-05
2. Takım hesaplar için					
Katlar	A Noktası	B Noktası	C Noktası	D Noktası	
X	1. Kat	1.8374E-04	2.3205E-04	3.4367E-04	5.4152E-04
	2. Kat	3.0284E-04	3.2437E-04	5.1329E-04	8.1778E-04
	3. Kat	3.4555E-04	2.9685E-04	4.5526E-04	9.5434E-04
Y	1. Kat	8.8030E-05	3.9459E-04	3.9451E-04	8.7310E-05
	2. Kat	1.2668E-04	5.7399E-04	5.7742E-04	1.2357E-04
	3. Kat	1.2895E-04	5.8270E-04	5.8380E-04	1.2525E-04
Z	1. Kat	9.2835E-05	1.3886E-04	2.5607E-04	7.7042E-05
	2. Kat	2.7414E-05	4.3266E-05	7.7566E-05	3.0035E-05
	3. Kat	7.4467E-06	1.7684E-05	2.5334E-05	2.7548E-05

Tablo 11. Toplam yükseklik ile normalize edilmiş tepe noktası ötelenme oranları

1. Takım hesaplar için				
	$\Delta_{tepe} / H_{toplam}$			
	A Noktası	B Noktası	C Noktası	D Noktası
X Yönü	2.9602E-04	3.0895E-04	4.3955E-04	6.8901E-04
Y Yönü	1.1592E-04	6.0443E-04	6.0735E-04	1.1332E-04
Z Yönü	4.7718E-05	5.5829E-05	1.3299E-04	2.8522E-05
2. Takım hesaplar için				
	$\Delta_{tepe} / H_{toplam}$			
	A Noktası	B Noktası	C Noktası	D Noktası
X Yönü	2.6854E-04	2.7641E-04	4.2687E-04	6.6243E-04
Y Yönü	1.1419E-04	5.0876E-04	5.1208E-04	1.1170E-04
Z Yönü	3.7724E-05	5.9425E-05	9.7695E-05	3.2313E-05

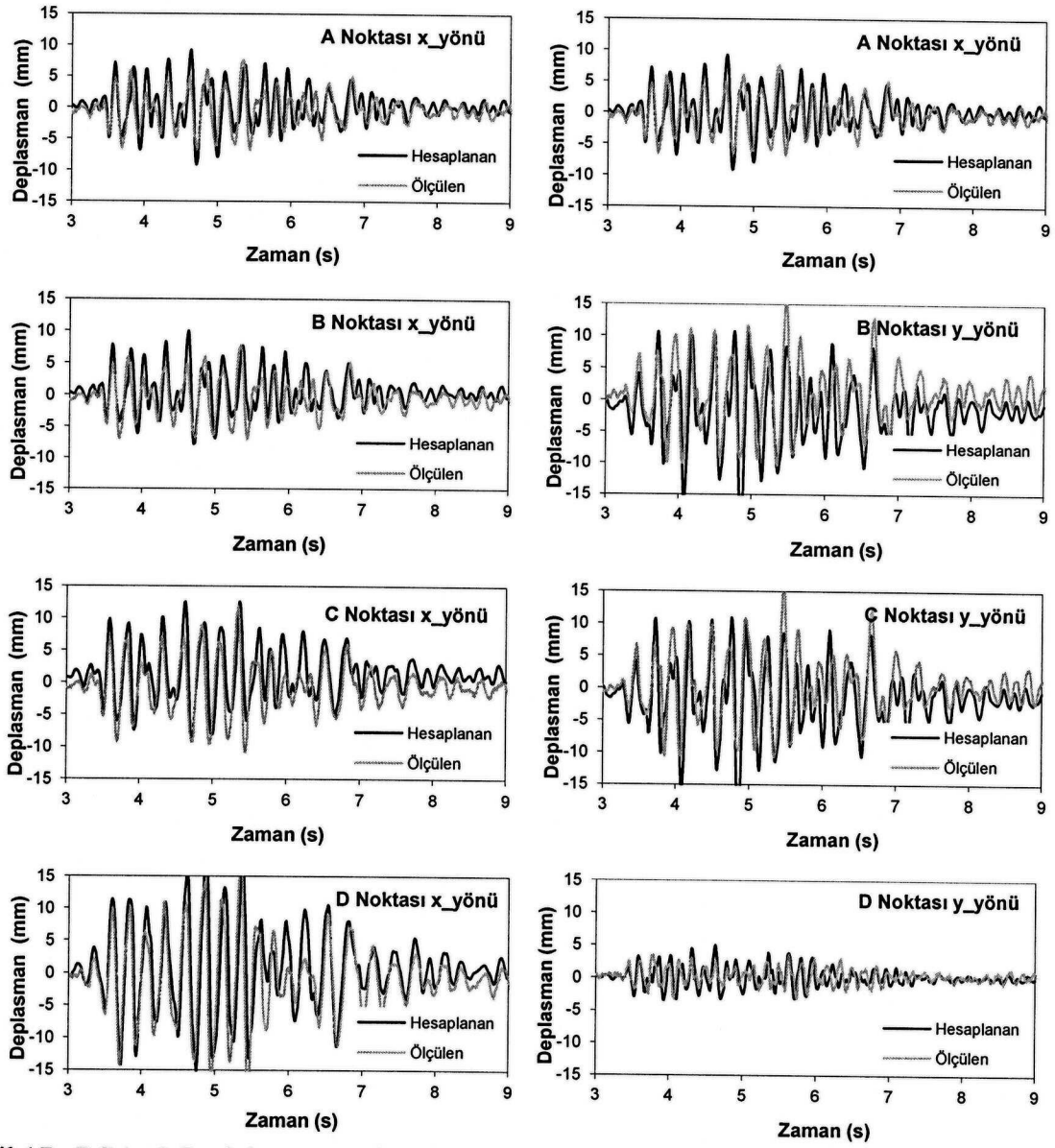
3.2.3. Deneysel Ölçümler ile Revize Model Sonuçlarının Karşılaştırılması

Projenin birinci aşamasında 13 deprem yer hareketi altında yapılan analizler revize model ile yeniden yapılmıştır. Elde edilen sonuçlar deneysel ölçümler ile karşılaştırılmış olup, bu raporda sadece seçilmiş yer hareketleri için sonuçlar verilmektedir.

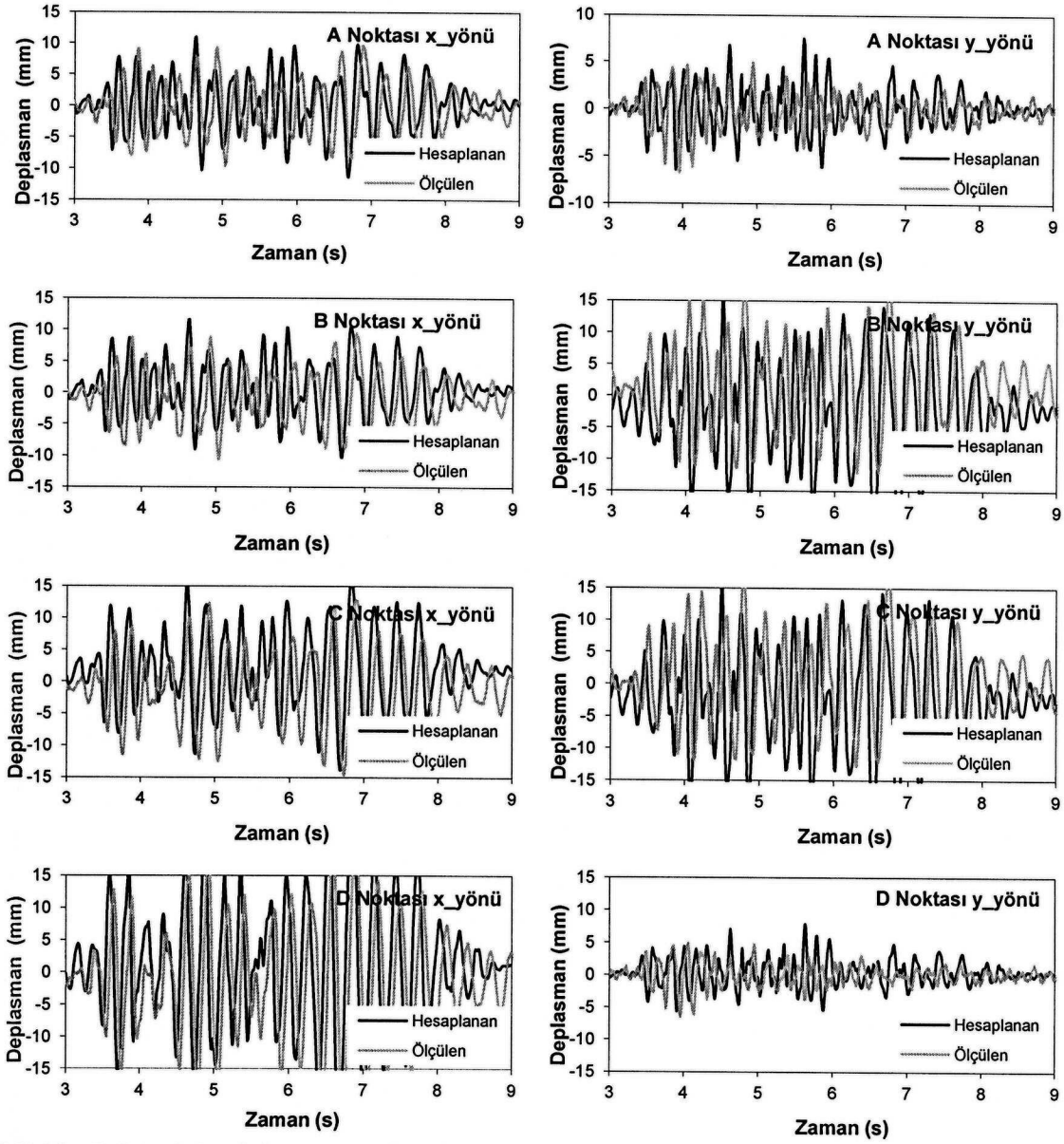
Şekil 17-20'de 0.7g ve 1.0 g'lik maksimum yer ivmesine sahip yer hareketi için yapılan zaman alanında tanımlı dinamik hesap sonuçları sunulmaktadır. Bu sonuçlar üçüncü katta bulunan A, B, C ve D noktalarındaki deplasman ve ivme değişimlerini göstermektedir. Şekil 17, ve 18 dikkatle incelendiği takdirde yapının burulma davranışından oluşan farklı deplasman görülmektedir. Revize model ile hesaplanan deplasman sonuçları genellikle deneysel sonuçlar ile uyumlu olup aynı frekanslarda gerçekleşmektedir. Genel olarak hesaplanan maksimum deplasman değerleri deneysel sonuçlardan biraz daha düşüktür.

Üçüncü katta Şekil 1'de belirtilen tepe noktaları için hesaplanan %5 sönümlenmiş tepki spektrumu grafikleri incelendiğinde, hesaplanan ivme değerlerinin deneylerde ölçülen değerlerden daha yüksek olduğu görülmüştür. Bunun yanı sıra, bazı durumlarda frekanslarda da sapma gözlenmiştir. Fransanın Saclay kentinde yapılan proje çalıştayında yapılan sunumlarda tüm katılımcıların benzer davranış elde ettikleri ve düşük deplasman yüksek ivme değerleri hesapladıkları görülmüştür. İvme ve deplasman sonuçlarının tutarsız olması bu durumun açıklanmasını zorlaştırmaktadır. Bu durumun açıklanabilmesi için deneysel ölçümlerin ve yapı davranışının daha ayrıntılı incelenmesi planlanmaktadır. D noktası dışında kalan noktalarda y yönünde maksimum ivme değerlerine ulaşılırken, D noktasında maksimum ivme değerine x doğrultusunda ulaşılmıştır. En yüksek ivme değerleri üçüncü ve yedinci analiz'lerde 5.99g ve 12.49g B noktasında ve y yönünde, sırasıyla 10.12 Hz ve 6.69 Hz frekansında'dır. Onuncu analiz'de bu değer 16.5g, 14.17 Hz frekansında, D noktasında ve x yönünde'dir.

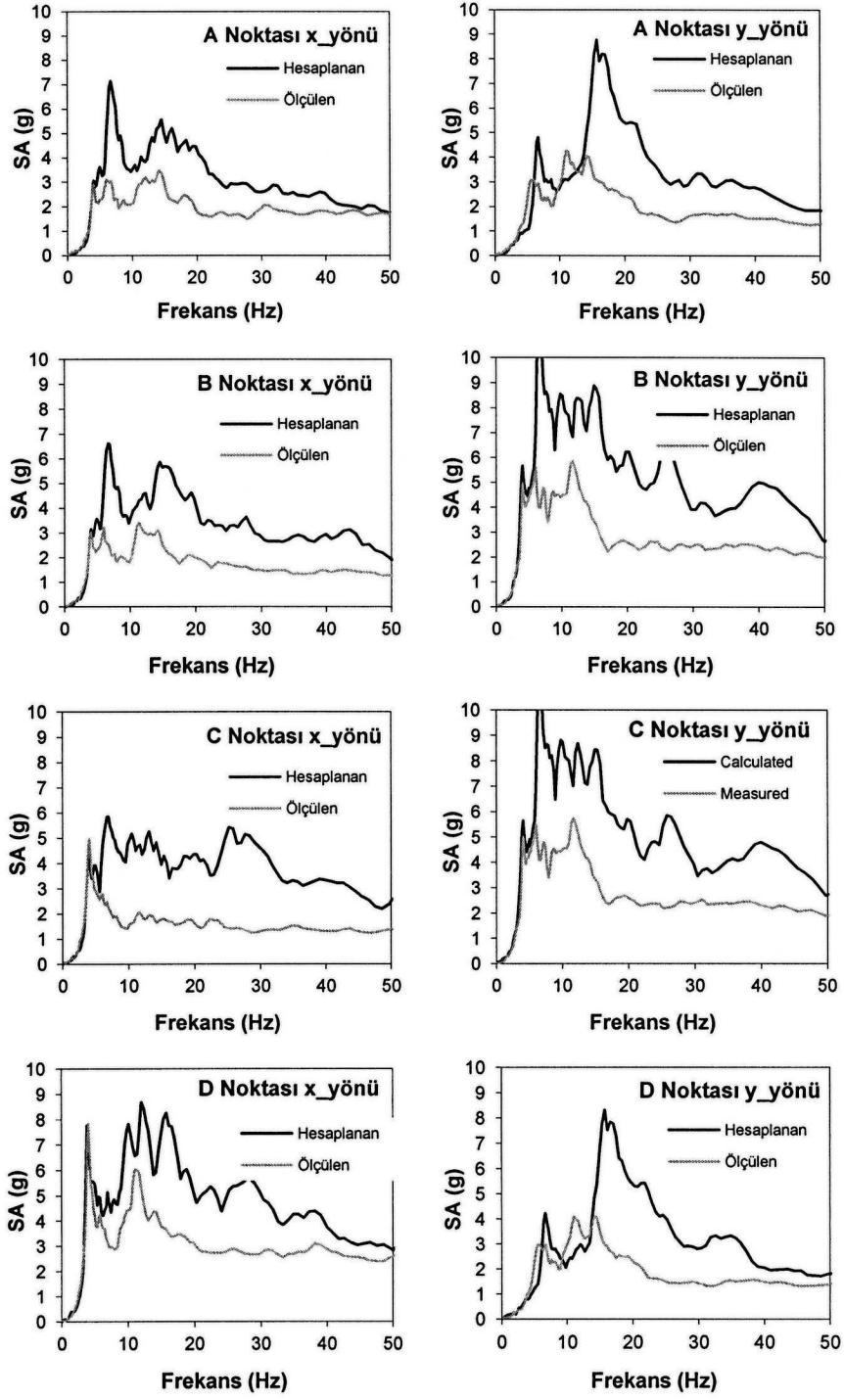
Revize modelin dahi deneysel davranışı yeterli doğrulukta temsil edemediği anlaşıldığından, sorunun sarsma tablası esneklendiğinden kaynaklanabileceği düşünülmektedir. Bu nedenle, revize modeline sabit taban yerine sarsma tablası da eklenerek analizler tekrarlanmıştır.



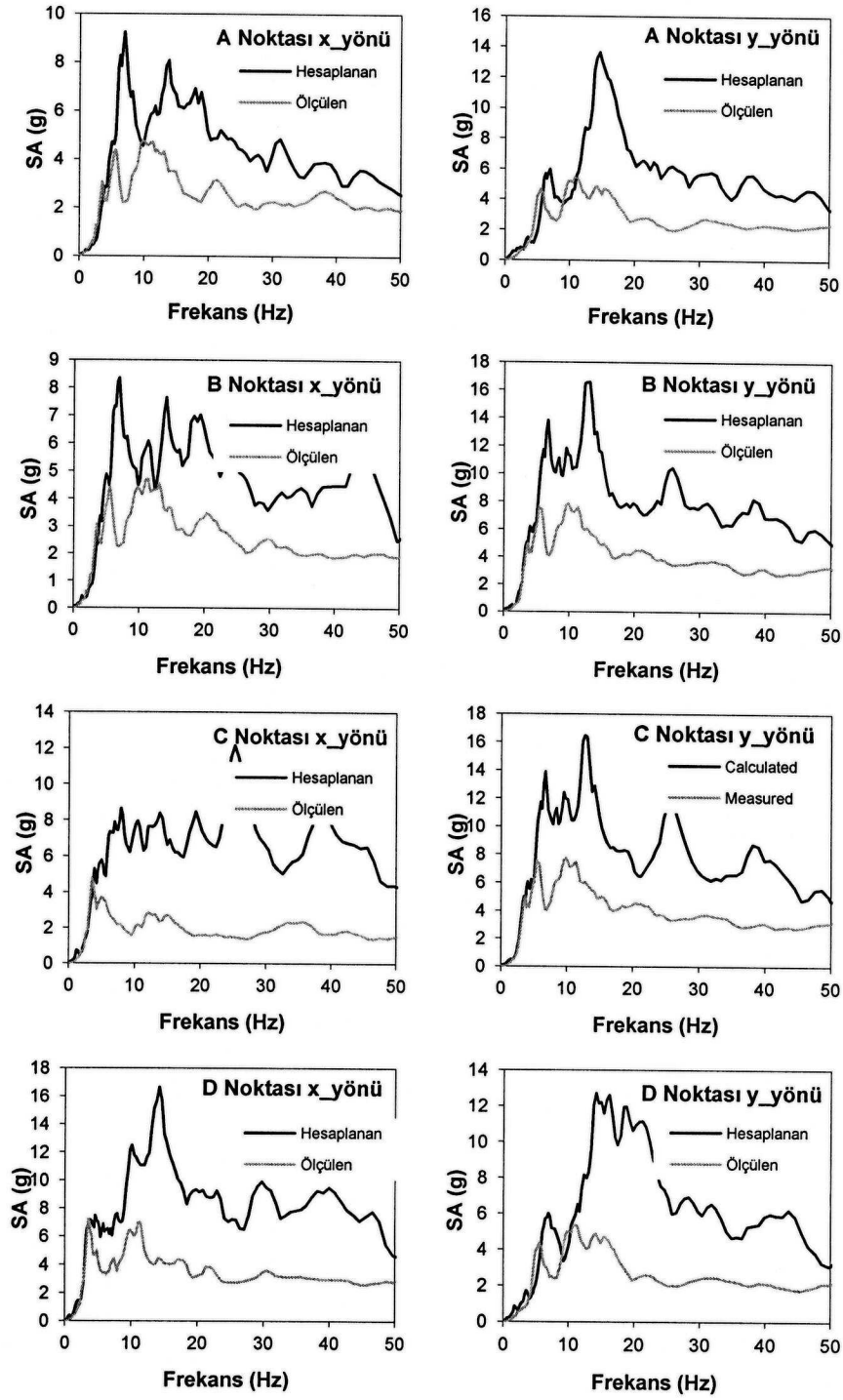
Şekil 17. PGA=0.7 g için üçüncü kat deplasmanlarının deneysel sonuçlar ile karşılaştırılması



Şekil 18. PGA=1.0 g için üçüncü kat deplasmanlarının deneysel sonuçlar ile karşılaştırılması



Şekil 19. PGA=0.7g için üçüncü kattaki noktaların %5 sönümlenmiş tepki spektrumlarının deneysel sonuçlar ile karşılaştırılması, fixed-base model



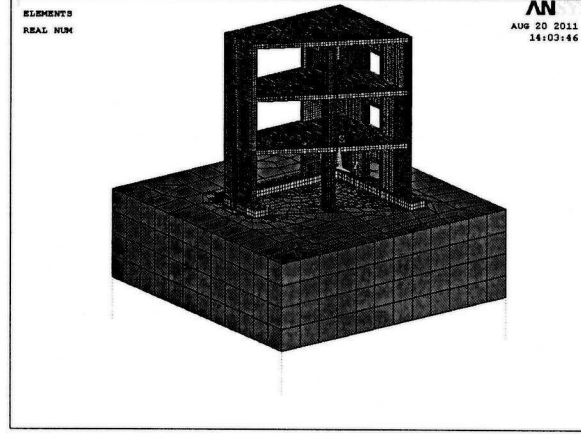
Şekil 20. PGA=1.0g için üçüncü kattaki noktaların %5 sönümlenmiş tepki spektrumlarının deneysel sonuçlar ile karşılaştırılması, fixed-base model

3.4. Sarsma Tablası Modeli ve Analizler

3.4.1. Sarsma Tablalı Model

Yapının daha gerçekçi olarak temsil edilebilmesi için sarsma tablası da modele dahil edilmiştir (Şekil 21). Sarsma tablası da SOLID 65 elemanı olarak modellenmiştir olup, lineer

davranacağı varsayılmıştır. Tablanın yük pistonları ile bağlantı noktalarına yaylar tanımlanmış olup, bu yayların rijitliği CEA önerisi üzerine 400 MN/m olarak alınmıştır. Bu yeni model 36074 SOLID 65, 5282 MASS 21 ve 4 COMBIN 14 eleman tipinden oluşmuştur. Modeldeki düğüm noktası sayısı 52008 olup, 78 gerçek sabit kullanılmıştır. Yapının toplam kütlesi 68,212 kg (model + sarsma tablası) dır.



Şekil 21. Sarsma tablalı model

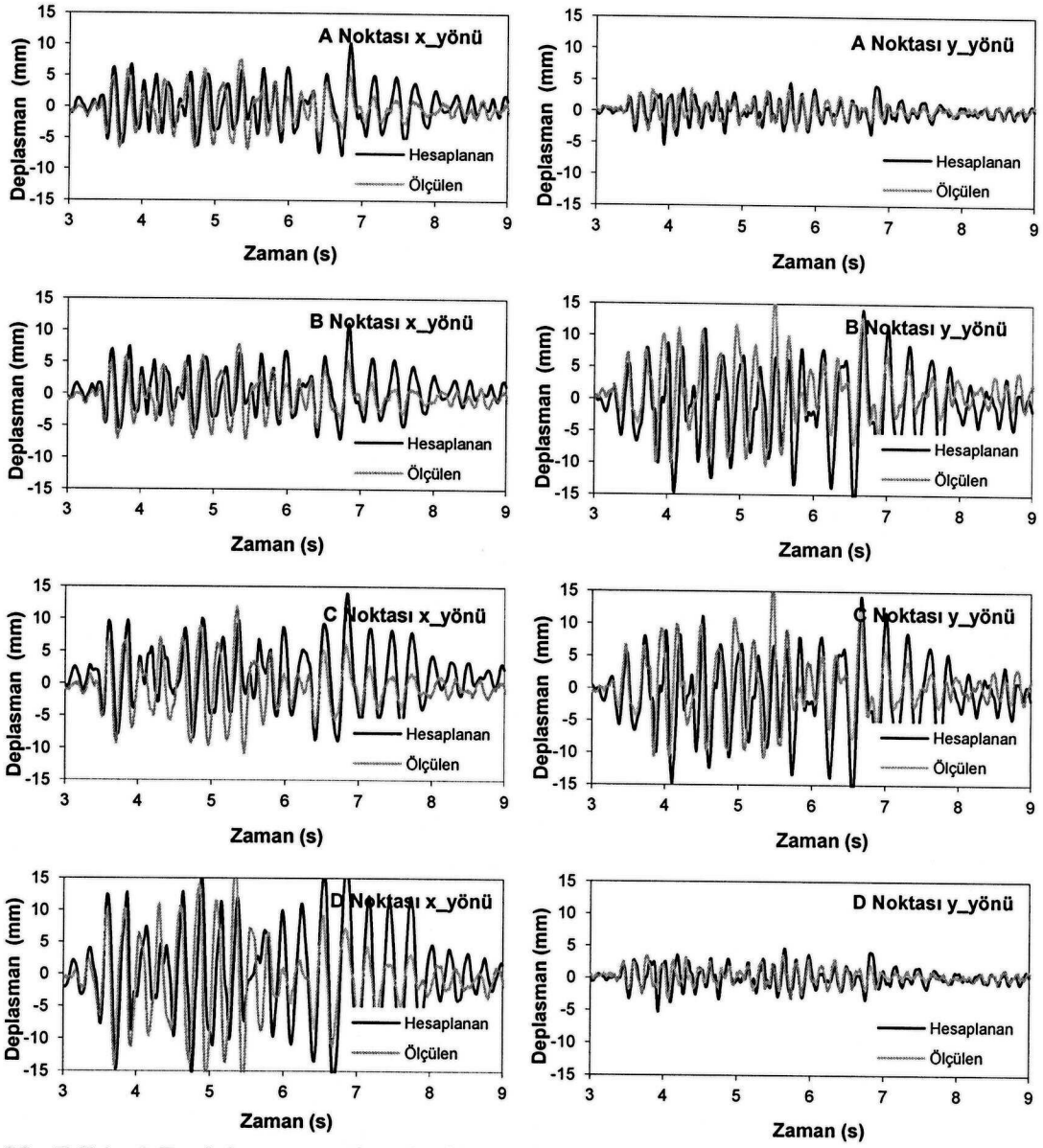
3.4.2. Sarsma Tablalı Model Analiz Sonuçları

Sarsma tablalı modelden hesaplanan frekans ve periyot değerleri deneysel sonuçlar ile Tablo 12’ de karşılaştırılmaktadır. Görüldüğü gibi sarsma tablalı model frekansları deneysel sonuçlara daha da yaklaştırmıştır.

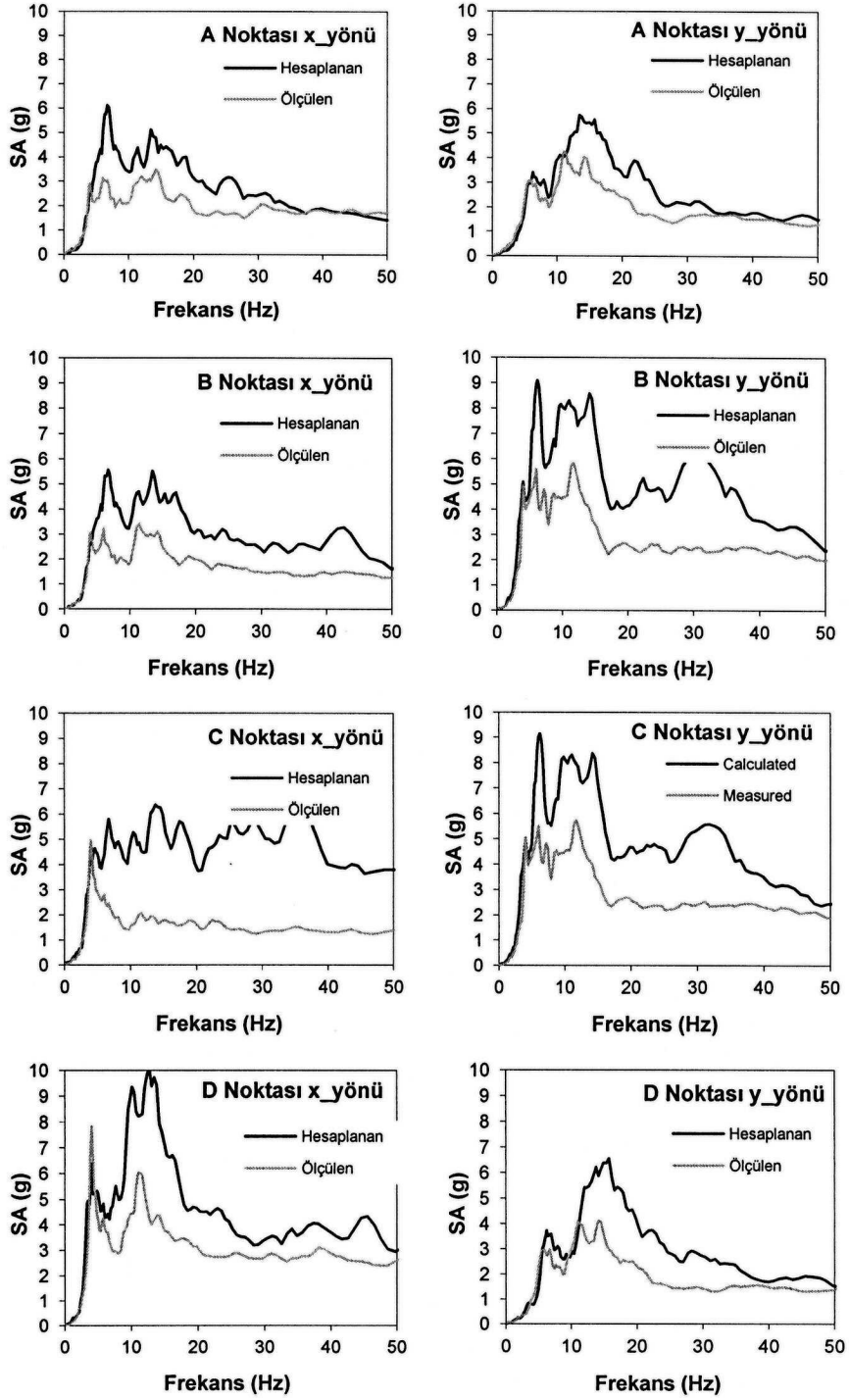
Tablo 12. Frekans ve periyotların karşılaştırılması

Mod/Deney	Deneysel		Sarsma tablalı model	
	Frekans-Hz	Periyot-Saniye	Frekans-Hz	Periyot-Saniye
Mod 1	6.24	0.16	7.87	0.13
Mod 2	7.86	0.13	10.62	0.09
Mod 3	15	0.07	16.61	0.06

Hesaplanan deplasman ve ivme değerleri sadece 0.7g’lik ivmeye sahip deney sonuçları ile Şekil 22 ve 23’te karşılaştırılmaktadır. Bu sonuçlardan görüleceği gibi sarsma tablalı model sonuçları iyileştirmekte ancak deneysel değerleri özellikle ivmeleri tam olarak tahmin edememektedir.



Şekil 22. PGA=0.7 g için üçüncü kat deplasmanlarının deneysel sonuçlar ile karşılaştırılması, Sarsma tablası modeli



Şekil 23. PGA=0.7 g için üçüncü kattaki noktaların %5 sönümlenmiş tepki spektrumlarının deneysel sonuçlar ile karşılaştırılması, sarsma tablsası için

3.5. Model ve Analiz Sonuçlarının İrdelenmesi

Deneysel sonuçların yeterli doğrulukta tahmini için oluşturulan modellerden elde edilen sonuçlar karşılaştırılarak değerlendirilmeler yapılmıştır. Burada deneysel sonuçlar olmaksızın oluşturulan başlangıç modeli dikkate alınmamıştır.

Tablo 13 ve 14'te hesaplanan modal değerler deneysel sonuçlar ile karşılaştırılmaktadır. Bu sonuçlardan görüleceği gibi sarsma tablası modeli dahi halen gerçek yapıya göre daha rijittir.

Tablo 13. Frekansların karşılaştırılması

	Deneysel (Hz)	Sarsma tablası modeli (Hz)	Sabit tabanlı model (Hz)
Mod 1	6.24	7.87	9.23
Mod 2	7.86	10.62	15.93
Mod 3	15	16.61	32.76

Tablo 14. Periyotların karşılaştırılması

	Deneysel (s)	Sarsma tablası modeli (s)	Sabit tabanlı model (s)
Mod 1	0.16	0.13	0.11
Mod 2	0.13	0.09	0.06
Mod 3	0.07	0.06	0.031

Tablo 15 ve 16'da A,B,C ve D noktalarında x- ve y-yönünde hesaplanan mutlak maksimum deplasmanlar karşılaştırılmaktadır. Görüldüğü gibi genellikle her iki model de deplasmanları düşük yer hareketi seviyelerinde deneysel sonuçlara göre daha düşük, yüksek yer hareketi seviyelerinde ise daha yüksek olarak hesaplamaktadır. Genel olarak sarsma tablası modeli daha yakın sonuçlar verse de, bazı durumlarda sabit taban modeli daha iyi sonuçlar vermektedir. Yapının x-yönündeki davranışı y-yönüne göre daha iyi hesaplanabilmektedir.

Model binanın davranışı genel olarak hesaplanabilse de deneysel sonuçlar tam olarak hesaplanamamaktadır. Bu durum deneysel koşulların yeterli olarak temsil edilemediği göstermektedir. Bu nedenle, sarsma tablası etkisinin ve özelliklerinin daha iyi belirlenmesi gerekmektedir.

Tablo 15. X-yönünde Hesaplanan Mutlak Deplasmanlar (mm)

Modeller		Uygulanan hareket maksimum yer ivmesi									
		0.1g	0.2g	0.3g	0.4g	0.5g	0.6g	0.7g	0.8g	0.9g	1g
Sabit taban	A	0.40	1.63	1.90	6.42	7.73	8.50	9.21	10.28	11.08	11.39
Sarsma-tablalı	A	0.58	2.66	2.17	6.58	7.00	8.16	10.24	11.77	11.95	12.58
Deneysel	A	2.47	2.72	5.39	6.78	6.58	6.84	7.57	7.42	10.02	9.74
Sabit taban	B	0.38	1.64	1.99	5.61	8.39	9.31	9.98	11.03	11.93	11.57

Sarsma-tablalı	B	0.57	2.85	2.26	7.05	6.75	8.87	11.20	12.84	13.03	12.62
Deneysel	B	3.11	3.00	5.10	7.30	6.19	7.39	7.81	7.75	10.40	10.70
Sabit taban	C	0.51	2.41	2.40	8.95	9.92	12.86	12.53	14.26	15.61	16.43
Sarsma-tablalı	C	0.73	4.01	2.67	8.45	9.23	10.68	13.97	17.02	18.91	21.92
Deneysel	C	4.02	4.41	6.38	9.94	9.29	10.49	11.91	11.55	13.10	14.73
Sabit taban	D	0.83	4.10	2.63	11.88	12.04	16.86	18.35	20.06	21.13	25.87
Sarsma-tablası	D	1.00	6.61	3.54	10.41	14.94	16.43	17.35	23.10	28.41	34.58
Deneysel	D	5.65	5.55	7.99	14.83	14.10	17.61	18.99	17.62	20.68	24.25

Tablo 16. Y-yönünde Hesaplanan Mutlak Maksimum Deplasmanlar (mm)

Modeller		Uygulanan hareket maksimum yer ivmesi									
		0.1g	0.2g	0.3g	0.4g	0.5g	0.6g	0.7g	0.8g	0.9g	1g
Sabit taban	A	0.18	0.78	0.88	6.40	3.60	4.23	4.94	5.69	6.51	7.50
Sarsma-tablası	A	0.42	1.00	0.95	3.32	4.14	4.87	7.33	7.33	9.37	10.63
Deneysel	A	1.38	1.28	3.46	2.14	2.86	3.21	4.12	4.12	4.88	6.70
Sabit taban	B	0.55	4.63	3.16	13.04	14.97	17.90	22.73	22.73	23.45	24.58
Sarsma-tablası	B	1.03	6.02	3.30	14.12	15.57	15.86	17.72	17.79	21.86	25.82
Deneysel	B	5.85	4.77	10.04	12.41	14.01	15.13	16.45	14.65	17.42	18.19
Sabit taban	C	0.56	4.64	3.16	13.02	14.95	17.86	22.60	22.60	23.32	24.56
Sarsma-tablası	C	1.04	6.05	3.31	14.15	15.60	15.86	17.69	17.94	22.35	25.87
Deneysel	C	5.03	4.06	9.56	11.86	13.13	13.51	15.77	13.38	16.47	17.17
Sabit taban	D	0.18	0.77	0.86	11.88	3.61	4.24	4.98	5.78	6.65	7.84
Sarsma-tablası	D	0.42	0.99	0.94	3.27	4.11	4.88	6.99	6.99	8.93	9.99
Deneysel	D	1.51	1.33	3.35	2.07	2.69	3.19	3.63	4.02	4.94	6.52

4. Kırılgenlik Eğrilerinin Hesaplanması

4.1. Genel

Projenin ikinci safhası model bina için kırılgenlik eğrilerinin çıkarılmasını kapsamaktadır. Bu aşamada, sabit tabanlı revize modelin analizleri yapılarak yapıya özel kırılgenlik eğrileri elde edilmiştir. Yapının revize edilen sonlu eleman modeli belirli deprem hareketleri altında analiz edilerek kat arası ötelenme oranları ayrı ayrı hesaplanmıştır. Daha sonra istatistiksel analiz ile regresyon yöntemi kullanılarak yapının kırılgenlik analizleri yapılmıştır. Kırılgenlik eğrileri yapının burulma düzensizliği dikkate alınarak plan üzerinde farklı noktalarda elde edilmiştir. Ayrıca, HAZUS tarafından verilen hasar sınır değerleri kullanılarak da kırılgenlik eğrileri elde edilmiş ve her iki yöntem sonuçları karşılaştırılmıştır.

4.2. Kırılgenlik Analizleri

Kırılgenlik analizleri yapının belirlenen deprem yükleri altında analizinin yapılmasını gerektirir. Bu analizler sonucunda hesaplanan bir hasar parametresinin belirlenmiş olan sınır değerler ile karşılaştırılması sonucu yapının maruz kalacağı hasar düzeyi belirlenir. Hasar parametresi olarak, kat deplasmanı, dönme, kat-arası ötelenme ve taban kesme kuvveti gibi binanın genel davranışını temsil eden parametreler kullanılmaktadır. Seçilen hasar parametresine bağlı olarak seçilmiş olan hasar düzeyleri için sınır değerler belirlenir. Daha sonra yapılan tüm analizlerin istatistiksel olarak değerlendirilmesi ile kırılgenlik eğrileri elde edilir. Kırılgenlik eğrileri, seçilen yer hareketi parametresine karşılık olan her hasar düzeyi için aşılma olasılığını gösteren grafiklerden oluşur. Bu çalışmada kullanılan yer hareketleri, hasar parametreleri, sınır değerleri ve uygulanan yöntemle ilişkin detaylar izleyen bölümlerde verilmektedir.

4.2.1. Hasar Göstergeleri ve Sınır Değerler

Bu çalışmada kullanılan hasar parametresi maksimum kat arası ötelenmedir (MKAÖ). Lineer olmayan dinamik analizler sonucunda Şekil 1'de gösterilen her noktada MKAÖ hesaplanmıştır. Bu parametreye karşılık gelen sınır değerler şemsiye kuruluş olan CEA tarafından oluşturulmuş olan proje ekibinin bize iletmış olduğu raporda belirtildiği gibi alınmıştır (RAPPORT DM2S, 2009). Kullanılan MKAÖ sınır değerleri Tablo 17'de sunulmaktadır. Bu tablodan anlaşılacağı üzere üç hasar sınırı belirlenmiştir; Hafif hasar, Kontrollü (Denetimli) hasar ve Yaygın hasar. Tabloda gösterilen H, kat yüksekliğini ifade etmekte olup, model bina için bu değer 1.2 m'dir.

Tablo 17. Maksimum kat arası ötelenme hasar sınır değerleri

Hasar düzeyi	(mm)
Hafif hasar	$H/400 = 3$
Kontrollü hasar	$H/200 = 6$
Yaygın hasar	$H/100 = 12$

4.2.2. Yer Hareket Seti ve Parametreleri

Kırılgenlik analizlerinde 30 adet çift doğrultulu yer hareketi kaydı kullanılmıştır. Kullanılan yer hareketleri, modelin tasarımında kullanılan tepki spektrumunun şekli baz alınarak sentetik olarak üretilmiştir. Üretilmiş olan ivme kayıtlarının genlikleri yapıda değişik düzeylerde hasar

oluşturabilecek düzeyde seçilmiştir. Bu yer hareketleri yapının her iki doğrultusunda aynı anda uygulanarak analizler yapılmıştır.

Yer hareketi kayıtlarını temsil eden dört yer hareketi parametresi seçilmiştir. Bunlar, maksimum yer ivmesi (PGV), Kümülatif mutlak hız (CAV), maksimum yer deplasmanı (PGD) ve maksimum yer hızı (PGA)'dır. Üretilmiş olan yer hareketleri ve seçilmiş olan parametreler Tablo 18'de listelenmektedir.

Tablo 18. Kırılgnlık eğrileri için kullanılan yer hareketi parametreleri

Yer hareketi kaydı (ms-2)	PGA (g)	PGV (s-1)	PGD (m)	CAV (ms-1)	Yer hareketi kaydı (ms-2)	PGA (g)	PGV (ms-1)	PGD (m)	CAV (ms-1)
ACC_VA_1X_a	0.6361	0.4640	0.2340	4.4840	ACC_VA_1Y_a	0.6707	0.3000	0.1900	3.7340
ACC_VA_2X_a	0.0754	0.0260	0.0060	1.0520	ACC_VA_2Y_a	0.1713	0.0640	0.0080	2.2100
ACC_VA_3X_a	0.6157	0.3660	0.0740	4.8880	ACC_VA_3Y_a	0.4506	0.4340	0.1520	5.6680
ACC_VA_4X_a	0.4179	0.2920	0.1300	3.9740	ACC_VA_4Y_a	0.4404	0.3960	0.1500	3.5120
ACC_VA_5X_a	0.6646	0.4380	0.1420	5.4560	ACC_VA_5Y_a	0.9276	0.5740	0.1940	6.4220
ACC_VA_6X_a	0.3833	0.1460	0.0300	10.6560	ACC_VA_6Y_a	0.5158	0.1660	0.0780	11.0540
ACC_VA_7X_a	0.1814	0.0880	0.0280	1.7680	ACC_VA_7Y_a	0.2120	0.1360	0.0300	3.6840
ACC_VA_8X_a	0.3609	0.2260	0.0460	6.8040	ACC_VA_8Y_a	0.4363	0.2100	0.0780	7.0480
ACC_VA_9X_a	0.1346	0.0440	0.0100	4.2800	ACC_VA_9Y_a	0.1142	0.0580	0.0220	3.8940
ACC_VA_10X_a	0.2671	0.4020	0.3620	2.1300	ACC_VA_10Y_a	0.2100	0.2760	0.1080	3.3080
ACC_VA_11X_a	0.2895	0.1460	0.0580	2.0320	ACC_VA_11Y_a	0.2181	0.2740	0.1720	3.9000
ACC_VA_12X_a	0.3282	0.2020	0.0640	8.6460	ACC_VA_12Y_a	0.7339	0.3780	0.2720	16.3240
ACC_VA_13X_a	0.8583	0.2320	0.1620	9.7440	ACC_VA_13Y_a	0.4404	0.1060	0.0280	5.6200
ACC_VA_14X_a	0.2222	0.2700	0.0640	2.8320	ACC_VA_14Y_a	0.2059	0.2120	0.0960	3.5880
ACC_VA_15X_a	0.3384	0.1460	0.0360	3.9880	ACC_VA_15Y_a	0.2936	0.1380	0.0420	2.6320
ACC_VA_16X_a	1.0296	0.2300	0.0860	16.4220	ACC_VA_16Y_a	0.9827	0.3300	0.2920	12.0500
ACC_VA_17X_a	1.1254	0.3440	0.2580	25.3440	ACC_VA_17Y_a	1.2049	0.3160	0.2740	19.7380
ACC_VA_18X_a	0.4098	0.4380	0.2360	13.9280	ACC_VA_18Y_a	0.9235	0.4460	0.2480	26.4360
ACC_VA_19X_a	0.2120	0.1100	0.0420	2.8560	ACC_VA_19Y_a	0.0734	0.1140	0.1100	1.9560
ACC_VA_20X_a	0.2426	0.1560	0.0240	6.1020	ACC_VA_20Y_a	0.3751	0.1300	0.0200	10.3900
ACC_VA_21X_a	0.3344	0.1380	0.0720	5.8940	ACC_VA_21Y_a	0.2487	0.0920	0.0100	5.0520
ACC_VA_22X_a	0.3874	0.2280	0.1920	19.9440	ACC_VA_22Y_a	0.7339	0.3160	0.1860	16.2160
ACC_VA_23X_a	0.9113	0.3560	0.0820	14.3900	ACC_VA_23Y_a	0.8277	0.5260	0.3160	6.6240
ACC_VA_24X_a	0.8155	0.2060	0.0260	17.0900	ACC_VA_24Y_a	0.7258	0.1780	0.0460	14.5260
ACC_VA_25X_a	1.1682	0.4040	0.1160	22.9060	ACC_VA_25Y_a	0.6381	0.4600	0.4480	8.5000
ACC_VA_26X_a	0.2243	0.1860	0.0860	2.1340	ACC_VA_26Y_a	0.2406	0.1960	0.1220	2.6420
ACC_VA_27X_a	0.2141	0.0680	0.0100	5.0480	ACC_VA_27Y_a	0.2875	0.0800	0.0300	5.5140
ACC_VA_28X_a	0.8705	0.4240	0.1300	11.7700	ACC_VA_28Y_a	0.4771	0.3560	0.0460	7.4380
ACC_VA_29X_a	0.5280	0.1680	0.0320	9.1900	ACC_VA_29Y_a	0.5362	0.1480	0.0300	12.3640
ACC_VA_30X_a	1.0805	0.3800	0.1140	16.9720	ACC_VA_30Y_a	1.0663	0.2880	0.1280	11.5080

4.2.3. Analiz Yöntemi

Yukarıda tanımlanan yer hareketleri altında lineer olmayan dinamik analizler yapılarak 3. Katta belirlenmiş olan her noktada MKAÖ hesaplanmıştır. Ötelenme parametresi için log-normal dağılım varsayılmış olup, kırılgnlık eğrileri dağılımının medyan kapasite ve standard sapma değerlerine göre hesaplanmıştır.

Kırılma eğrileri verilen bir yer hareketi parametresine karşılık (PGV, PGA, PGD ve CAV) belli bir hasar düzeyinin aşılma olasılığını ifade eder. Bir yapının veya bir elemanın kırılma eğrisi "A" olarak gösterilen kapasitesine bağlı olarak belirlenir. Burada kapasite rassal bir değişken olup, geçmeden önceki limit yük olarak tanımlanır. Yer hareketi altındaki istemin "a" olduğunu düşünürsek, yapının veya elemanın geçme olasılığı P_f denklem 1'deki gibi ifade edilir.

$$P_f \equiv P(\text{Failure}|a) = P(A < a) \quad (1)$$

Buradan anlaşılacağı gibi kapasite (A), yer hareketi isteminden daha düşük olunca geçme meydana gelir veya o hasar düzeyi aşılmış olur. Genellikle kırılma eğrileri, geçme veya aşılma olasılıklarının istatistiksel bir dağılım ile temsil edilmesiyle elde edilir. Bu çalışmada, kırılma modeli için log-normal dağılım kullanılmıştır. Bu modelde, kırılma eğrisi, medyan kapasite (A_m) ve logaritmik standard sapma (β) ile denklem 2'deki gibi tanımlanır.

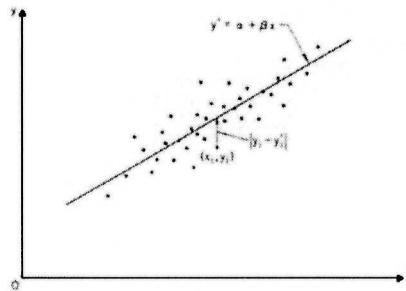
$$P_f = \Phi\left(\frac{\ln(a) - A_m}{\beta}\right) \quad (2)$$

Log-normal dağılıma karşılık gelen olasılık yoğunluk fonksiyonu denklem 3'ten elde edilir.

$$\Phi\left(\frac{\ln(a) - A_m}{\beta}\right) = \Phi(z) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \cdot \int_{-\infty}^z e^{-\frac{u^2}{2}} du \quad (3)$$

4.2.4. Regresyon Analizleri

Olasılık yoğunluk fonksiyonlarından kırılma eğrilerini elde etmek için, medyan kapasite (A_m) ve standard sapma (β) değerlerinin Tablo 17'de verilen sınır değerlere göre belirlenmesi gerekir. Bu değerlerin belirlenmesi için kullanılan en yaygın yöntemlerden biri Regresyon analizidir. Regresyon analizinde değişkenler arasında bir matematiksel ilişki kurulur. Şekil 24'de gösterilen veri noktalarına uygulanan lineer regresyon Denklem 4 ile ifade edilir. Bu denklem, α ve b katsayıları ile Y değerinin X değişkenine bağlı lineer regresyonunu ifade etmektedir. Farklı α ve b çiftleri için Y ile X arasındaki ilişkiyi temsil eden bir çok doğru elde edilebilir, ancak bu doğruların en iyisi en düşük hata değeri verenidir. Bu nedenle de en düşük hata yöntemi kullanılarak bu katsayılar elde edilir.



Şekil 24. İki değişkenli lineer analiz verileri (Ang ve Tang, 1975)

$$E(Y|X = x) = \alpha + bx \quad (4)$$

4.2.5. Regresyon ve Kırılgenlik Analiz Sonuçları

Log-normal dağılıma en düşük hata yöntemine dayalı lineer regresyon uygulanarak Denklem 5'teki ilişki elde edilmiştir. Bu eşitlikteki ε değeri normal dağılımlı rassal bir değişken olup standard sapması $\sigma_{\ln\varepsilon}$ 'dir.

$$\ln(Y) = \alpha + b\ln(X) + \varepsilon \quad (5)$$

Sonuçta Y ve X Denklem 6'daki gibi ilişkilendirilmiştir. Burada, $\tilde{\alpha} = \exp(\alpha)$ ve $\tilde{\varepsilon} = \exp(\varepsilon)$ medyanı bir ve logaritmik standard sapması $\sigma_{\tilde{\varepsilon}}$ olan log-normal dağılıma sahip değişkenlerdir.

$$Y = \tilde{\alpha}X^b \tilde{\varepsilon} \quad (6)$$

Regresyon analizleri sonucunda daha öncede belirtildiği gibi medyan kapasite (A_m) ve logaritmik standard sapma (β) değerleri elde edilir. Medyan kapasite değeri Denklem 7'deki bağıntıdan hesaplanır. Burada, Y_{crit} değeri Tablo 17'de verilen hasar sınır değerleridir.

$$\ln(A_m) = \frac{\ln(Y_{crit}) - \alpha}{b} \quad (7)$$

MKAÖ için hesaplanan olasılık dağılımı parametreleri Tablo 19'de verilmektedir. Görüldüğü gibi A, D ve F noktalarında yaygın hasar sınırı aşılmamıştır

Bu çalışmada kullanılan yer hareketi parametrelerine karşılık olarak 3. Kattaki hesap noktalarında belirlenen A_m ve β değerleri Tablo 20 ve 21'de verilmektedir.

Tablo 19. Olasılık Dağılımı Parametreleri

Nokta	X Yönü			Y Yönü		
	HH	DH	YH	HH	DH	YH
A	0.58	0.26	0.16	0.77	0.23	0.00
B	0.58	0.26	0.16	0.32	0.23	0.45
C	0.52	0.13	0.35	0.32	0.16	0.52
D	0.32	0.23	0.45	0.77	0.23	0.00
E	0.55	0.13	0.32	0.45	0.26	0.29
F	0.52	0.06	0.42	0.65	0.35	0.00
G	0.55	0.16	0.29	0.35	0.19	0.45

HH = Hafif Hasar; DH = Denetimli Hasar; YH = Yaygın Hasar

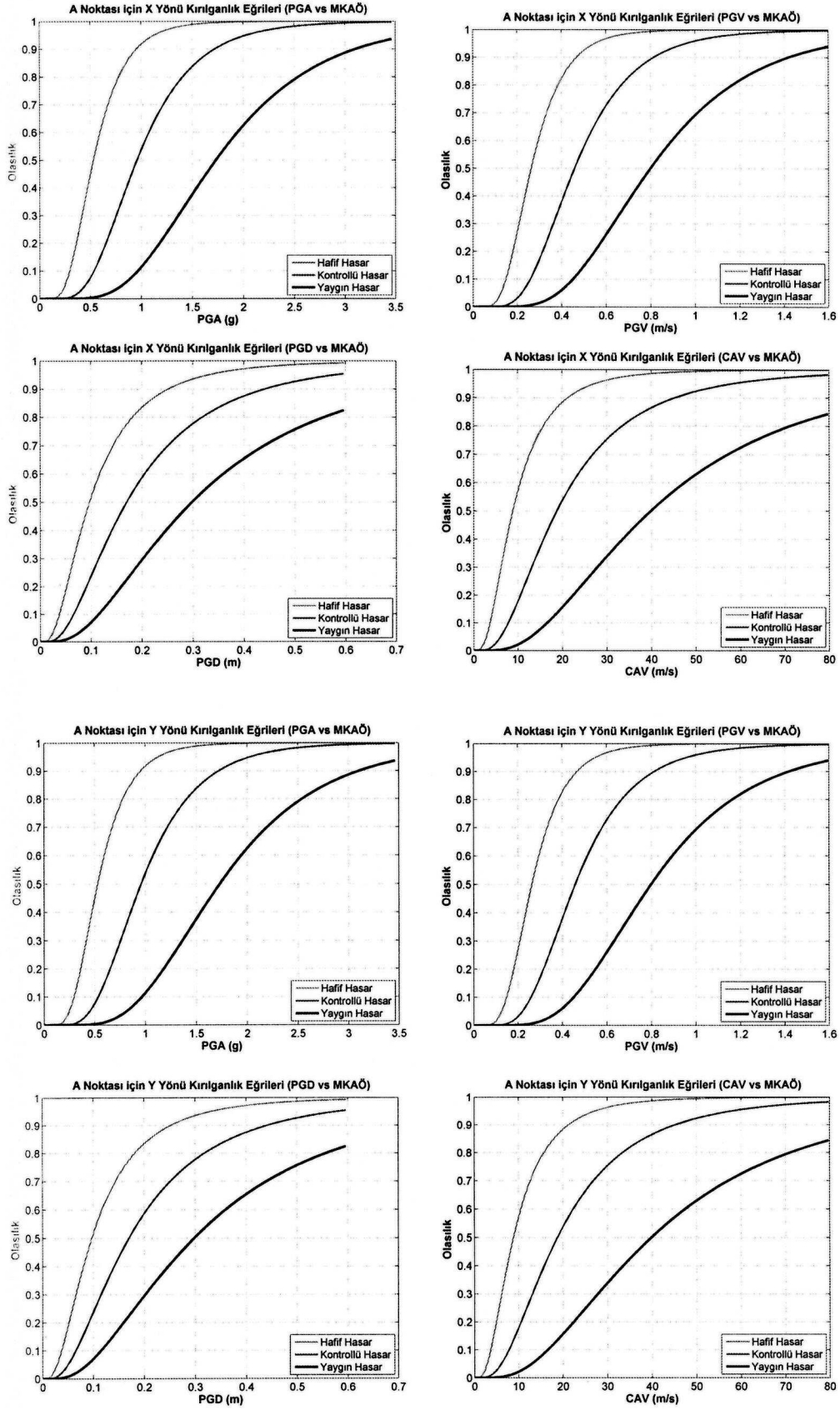
Tablo 20. A_m -Sismik medyan kapasite değerleri

		A	B	C	D	E	F	G
		noktası	noktası	noktası	noktası	noktası	noktası	noktası
PGA _x	LD	0.53	0.53	0.41	0.27	0.45	0.40	0.46
	CD	0.96	0.95	0.73	0.47	0.80	0.72	0.82
	ED	1.73	1.71	1.29	0.81	1.42	1.28	1.46
PGV _x	LD	0.26	0.26	0.21	0.14	0.22	0.20	0.23
	CD	0.46	0.45	0.35	0.23	0.39	0.35	0.39
	ED	0.80	0.79	0.61	0.39	0.66	0.60	0.68
PGD _x	LD	0.10	0.10	0.08	0.05	0.08	0.08	0.08
	CD	0.17	0.17	0.13	0.09	0.14	0.13	0.15
	ED	0.30	0.30	0.23	0.15	0.25	0.22	0.25
CAV _x	LD	8.84	8.73	6.32	3.67	7.09	6.26	7.29
	CD	18.78	18.54	13.22	7.49	14.91	13.11	15.34
	ED	39.87	39.40	27.67	15.28	31.36	27.44	32.27
PGA _y	LD	0.53	0.30	0.29	1.03	0.46	0.69	0.33
	CD	0.96	0.52	0.51	1.91	0.82	1.26	0.58
	ED	1.73	0.92	0.90	3.54	1.48	2.30	1.02
PGV _y	LD	0.26	0.15	0.15	0.50	0.23	0.34	0.17
	CD	0.46	0.26	0.25	0.89	0.40	0.60	0.29
	ED	0.80	0.44	0.43	1.59	0.70	1.07	0.49
PGD _y	LD	0.10	0.06	0.05	0.18	0.09	0.13	0.06
	CD	0.17	0.10	0.09	0.33	0.15	0.22	0.11
	ED	0.30	0.17	0.16	0.59	0.26	0.40	0.18
CAV _y	LD	8.84	4.21	4.10	20.55	7.32	12.19	4.76
	CD	18.78	8.64	8.40	45.00	15.37	26.13	9.82
	ED	39.87	17.75	17.22	98.56	32.27	56.03	20.23

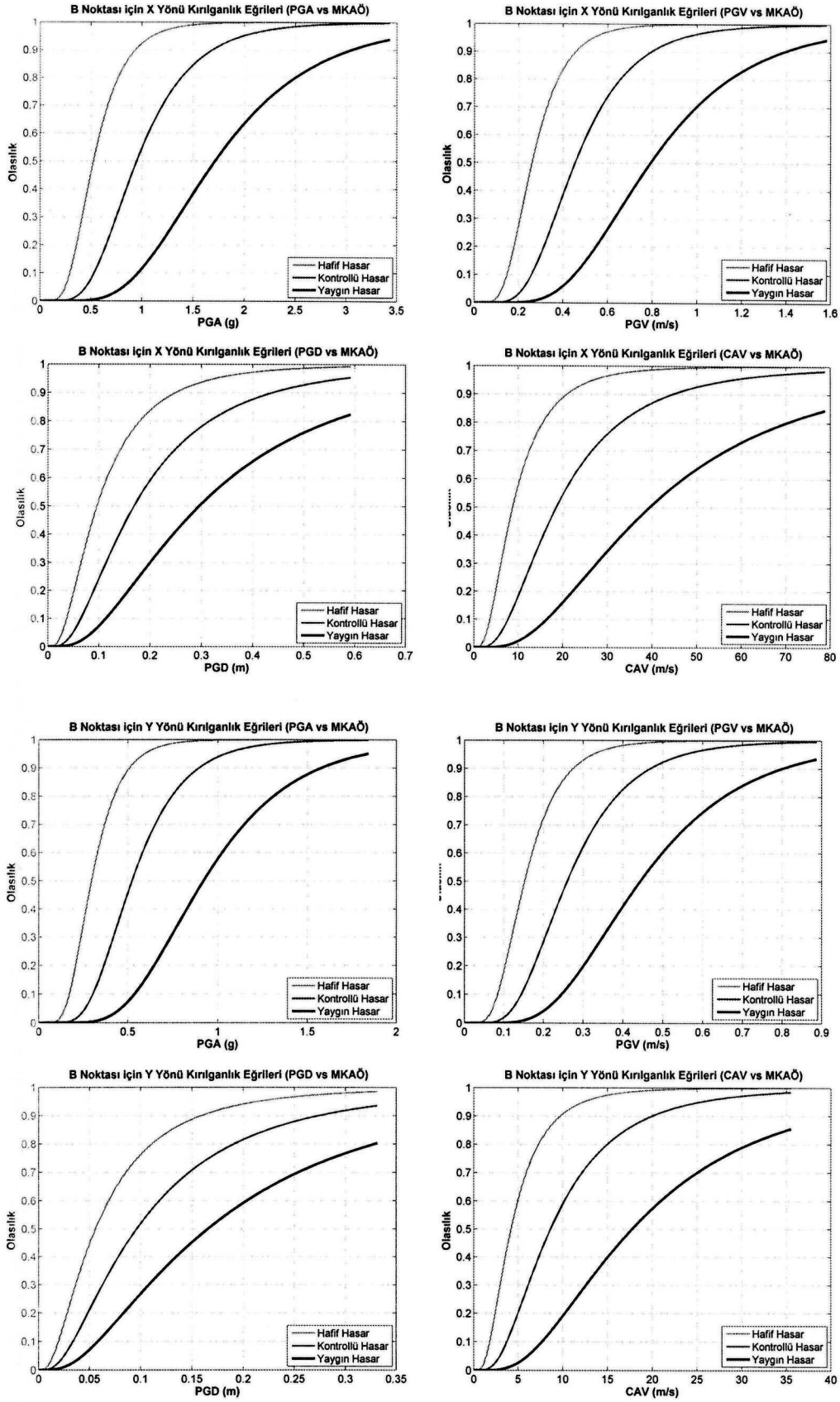
Tablo 21. β -Logaritmik standard sapma değerleri

	PGA _x	PGA _y	PGV _x	PGV _y	PGD _x	PGD _y	CAV _x	CAV _y
A noktası	0.46	0.46	0.44	0.44	0.74	0.74	0.69	0.69
B noktası	0.45	0.41	0.43	0.45	0.74	0.81	0.69	0.65
C noktası	0.45	0.42	0.43	0.46	0.74	0.82	0.72	0.65
D noktası	0.43	0.50	0.46	0.55	0.80	0.76	0.70	0.68
E noktası	0.46	0.41	0.45	0.49	0.73	0.80	0.73	0.62
F noktası	0.45	0.42	0.44	0.53	0.73	0.80	0.74	0.58
G noktası	0.47	0.42	0.46	0.47	0.73	0.81	0.73	0.64

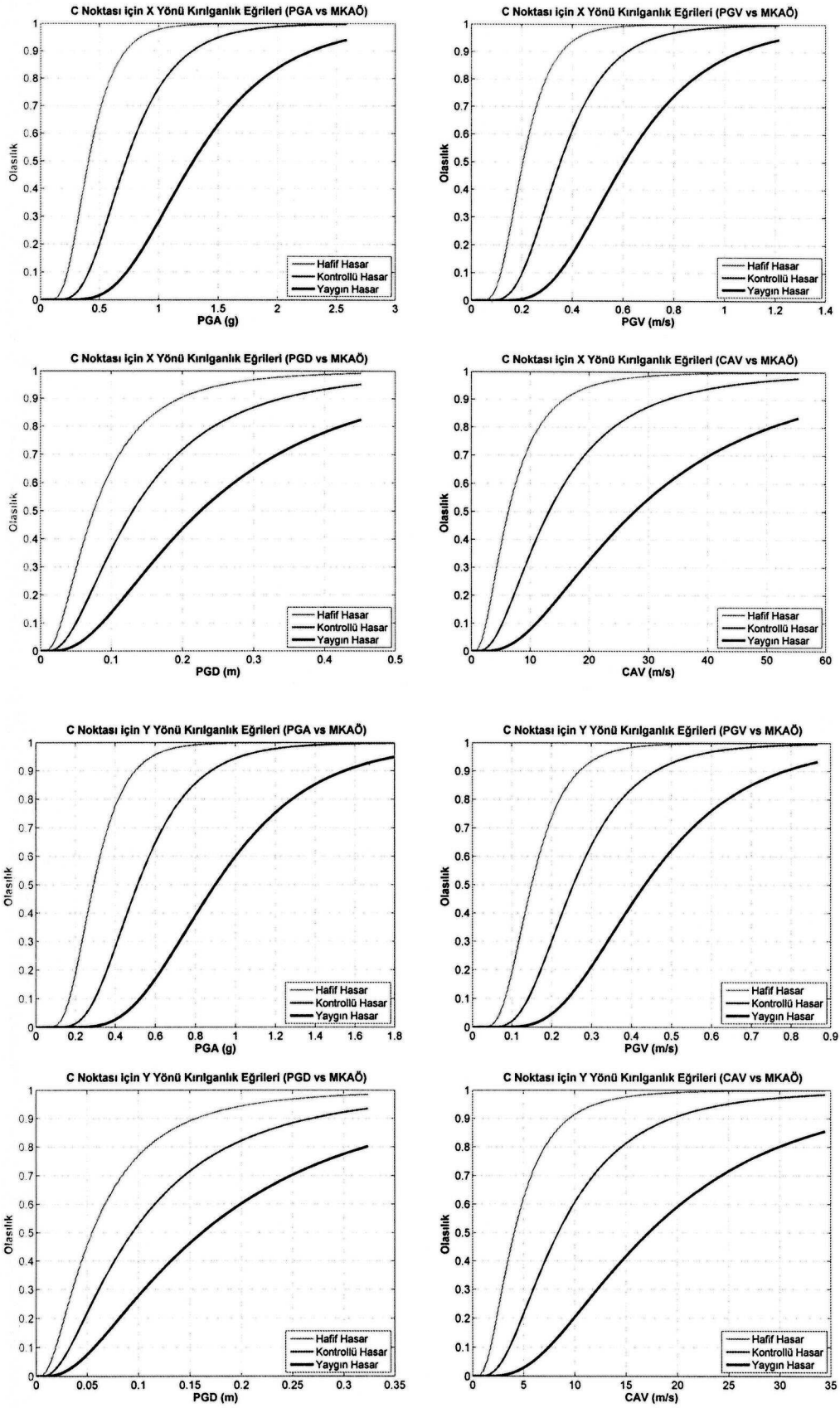
Tablo 19 ve 20'deki değerler kullanılarak kırılmalık eğrileri elde edilmiştir. Bu eğriler tüm yer hareketi parametreleri için her noktada ayrı ayrı hesaplanmıştır. Yapının köşe noktaları (A, B, C ve D) ve merkeze yakın noktası (E) için elde edilmiş olan kırılmalık eğrileri Şekil 25, 26, 27, 28 ve 29'da sunulmaktadır. Bu Őekillerden görüleceği üzere yapıdaki burulma nedeniyle farklı noktalardaki davranış da farklı olmaktadır. Regresyon analizlerinden elde edilen regresyon eğrileri ile hesap sonucu elde edilen sonuçlar arasındaki korelasyonlar Tablo 22'de verilmektedir. Yapının kütle merkezine en yakın noktada (E noktası) hesaplanmış olan korelasyon katsayıları diğer noktalara göre daha yüksektir.



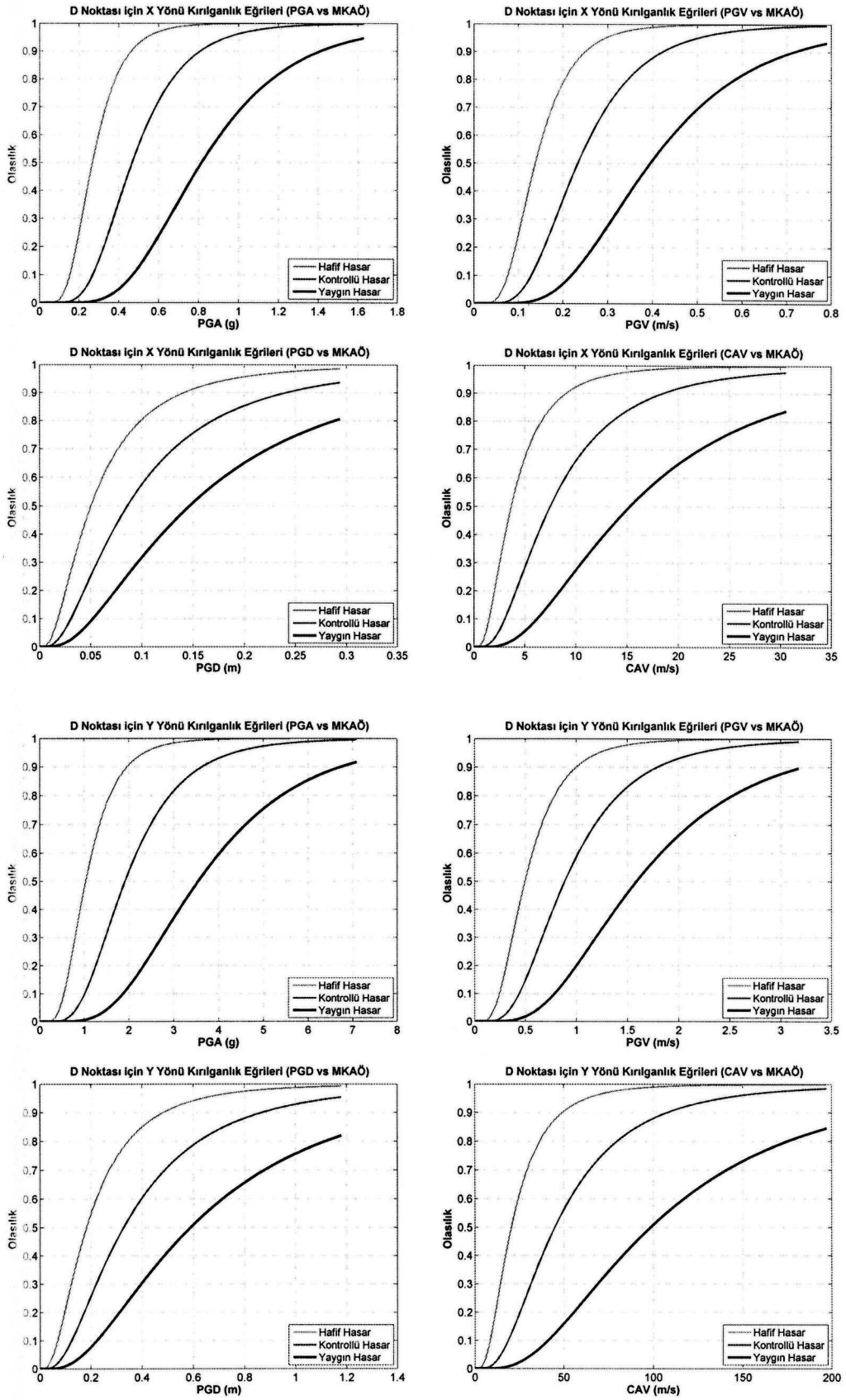
Şekil 25. A noktası kırılmalık eğrileri



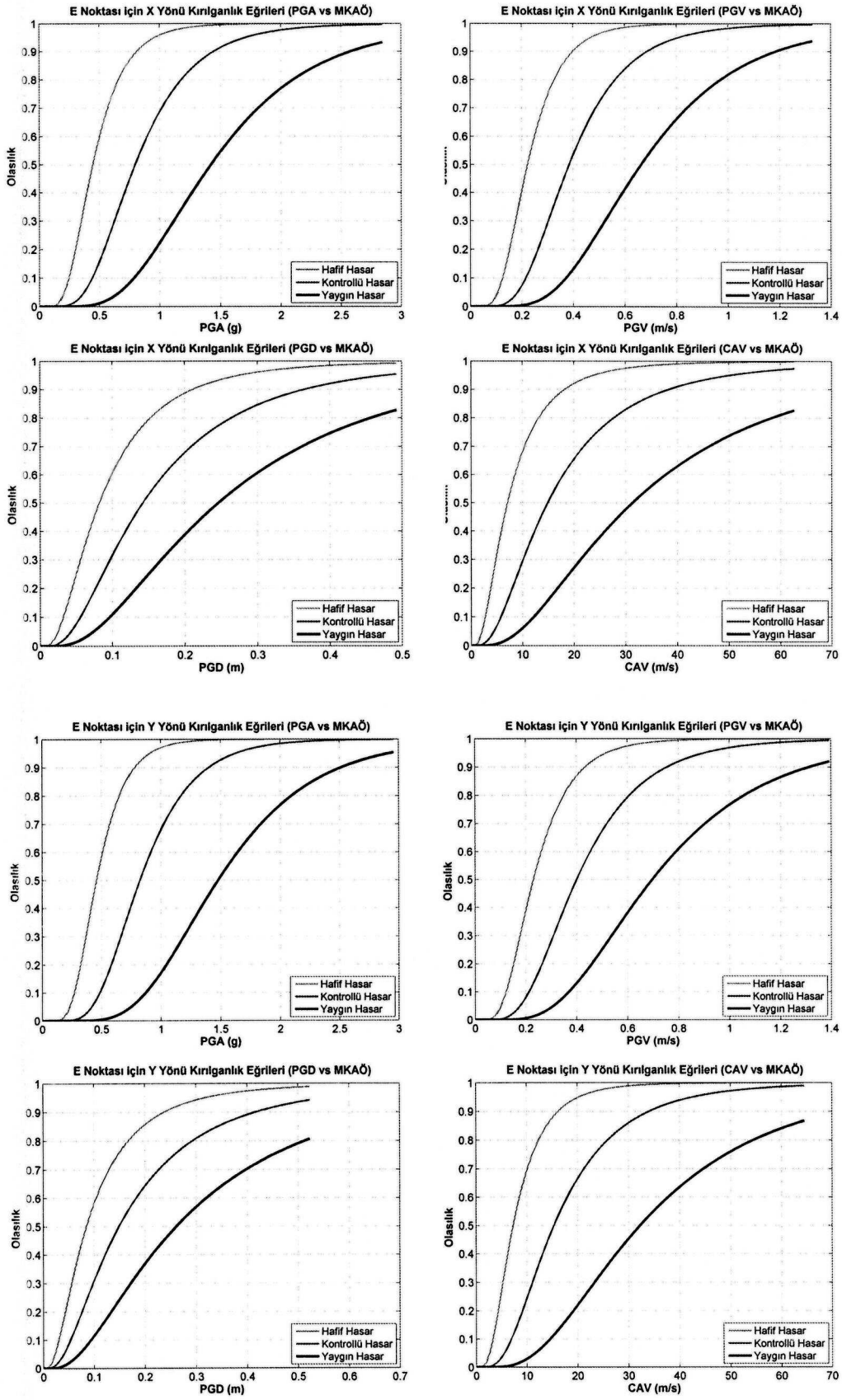
Şekil 26. B noktası kırılmalık eğrileri



Şekil 27. C noktası kırılmalık eğrileri



Şekil 28. D noktası kırılmalık eğrileri



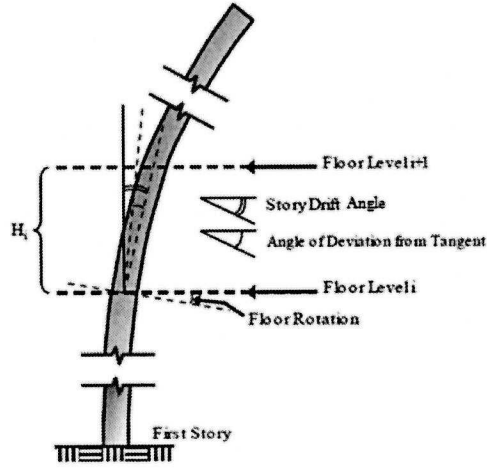
Şekil 29. E noktası kırılmalık eğrileri

Tablo 22. Hesap sonuçları ile temsil eğrileri arasındaki korelasyon katsayıları

Nokta	PGA_x	PGA_y	PGV_x	PGV_y	PGD_x	PGD_y	CAV_x	CAV_y
A	0.87	0.86	0.90	0.86	0.85	0.82	0.97	0.98
B	0.88	0.88	0.91	0.89	0.86	0.81	0.97	0.89
C	0.89	0.88	0.92	0.89	0.86	0.81	0.94	0.88
D	0.89	0.84	0.90	0.86	0.81	0.82	0.83	0.99
E	0.89	0.91	0.92	0.87	0.86	0.82	0.94	0.97
F	0.89	0.88	0.92	0.85	0.85	0.82	0.93	0.99
G	0.88	0.90	0.92	0.88	0.86	0.82	0.95	0.92

4.3. HAZUS hasar seviyeleri için kırılma eğrilerinin oluşturulması

HAZUS Amerika'nın kayıp tahmini için geliştirip standartlaştırdıkları bir yöntemdir. HAZUS-MH, birçok doğal felaket için kayıp tahminini mümkün kılmaktadır. Bu çalışmada deprem için kullanılan parametreler dikkate alınmıştır. HAZUS-MH' de belirlenen hasar seviyeleri katlar arası ötelenme değerlerine bağlıdır. Bu çalışmada orta yükseklikteki betonarme perde duvarlar için belirlenen HAZUS-MH-MR1 değerleri kullanılmaktadır (Tablo 23, Şekil 30). Bu hasar seviyeleri dikkate alınarak kırılma eğrileri yeniden oluşturulmuştur (Şekil 31-35).



Şekil 30. Duvar hasar seviyeleri ile ilgili parametreler

Tablo 23. HAZUS hasar seviyeleri

Hasar Seviyeleri	Az	Orta	Kapsamlı	Göçme (Complete)
Katlar arası ötelenme açısı	0.003	0.005	0.015	0.040
Katlar arası ötelenme (H=1200 mm)	3.6	6	18	48

HAZUS için kırılma eğrilerinin oluşturulmasında az, orta ve kapsamlı hasar seviyeleri dikkate alınmıştır. Böylece SMART için oluşturulan kırılma eğrileri ile karşılaştırma yapılabilecektir. HAZUS için hesaplanan sismik median kapasiteleri Tablo 24'te verilmiştir.

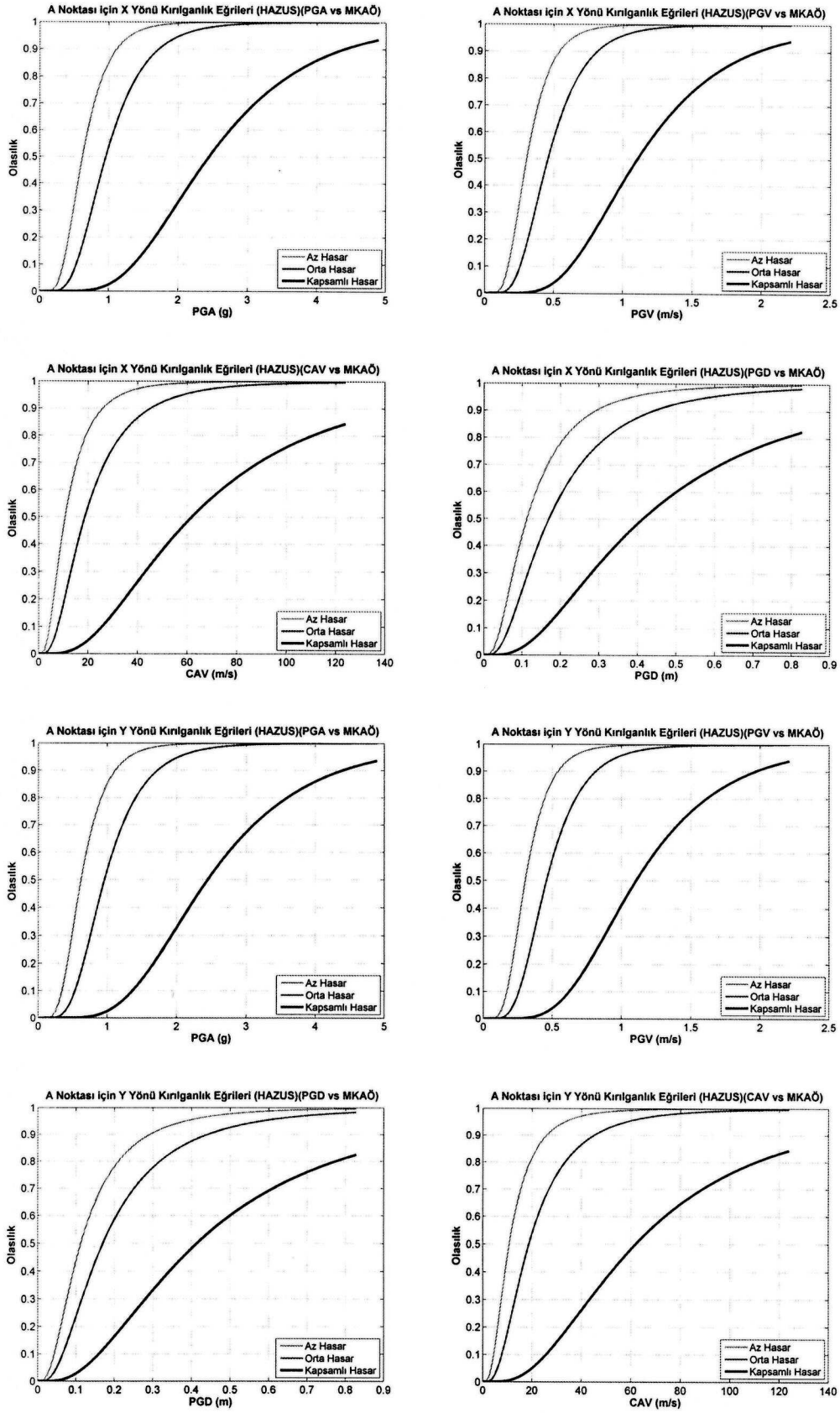
Tablo 24. A_m – Data için elde edilen sismik median kapasiteleri (HAZUS)

		A	B	C	D	E	F	G
		Noktası	Noktası	Noktası	Noktası	Noktası	Noktası	Noktası
PGA _x	AH	0.62	0.61	0.47	0.31	0.52	0.47	0.53
	OH	0.96	0.95	0.73	0.47	0.80	0.72	0.82
	KH	2.45	2.42	1.81	1.13	2.00	1.79	2.05
PGV _x	AH	0.30	0.30	0.24	0.16	0.26	0.24	0.26
	OH	0.46	0.45	0.35	0.23	0.39	0.35	0.39
	KH	1.11	1.10	0.83	0.54	0.91	0.83	0.93
PGD _x	AH	0.11	0.11	0.09	0.06	0.10	0.09	0.10
	OH	0.17	0.17	0.13	0.09	0.14	0.13	0.15
	KH	0.41	0.41	0.31	0.20	0.34	0.31	0.35
CAV _x	AH	10.78	10.64	7.67	4.43	8.63	7.61	8.87
	OH	18.78	18.54	13.22	7.49	14.91	13.11	15.34
	KH	61.95	61.23	42.63	23.18	48.43	42.28	49.87
PGA _y	AH	0.62	0.34	0.34	1.21	0.54	0.81	0.38
	OH	0.96	0.52	0.51	1.91	0.82	1.26	0.58
	KH	2.45	1.28	1.25	5.08	2.08	3.28	1.43
PGV _y	AH	0.30	0.18	0.17	0.58	0.27	0.39	0.19
	OH	0.46	0.26	0.25	0.89	0.40	0.60	0.29
	KH	1.11	0.61	0.59	2.23	0.96	1.49	0.67
PGD _y	AH	0.11	0.06	0.06	0.21	0.10	0.15	0.07
	OH	0.17	0.10	0.09	0.33	0.15	0.22	0.11
	KH	0.41	0.23	0.22	0.83	0.36	0.57	0.25
CAV _y	AH	10.78	5.08	4.95	25.25	8.89	14.89	5.76
	OH	18.78	8.64	8.40	45.00	15.37	26.13	9.82
	KH	61.95	27.04	26.21	155.91	49.80	87.54	30.88

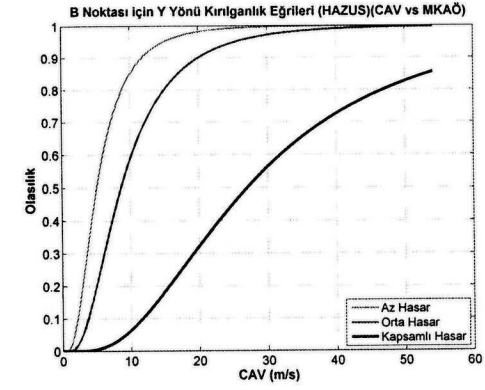
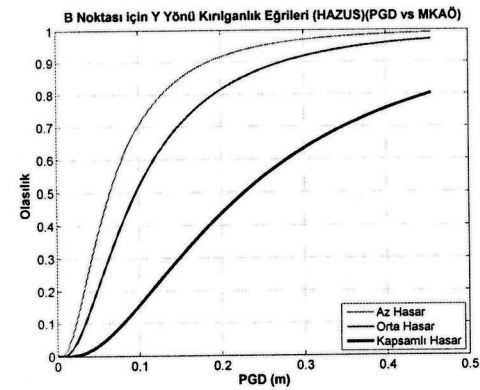
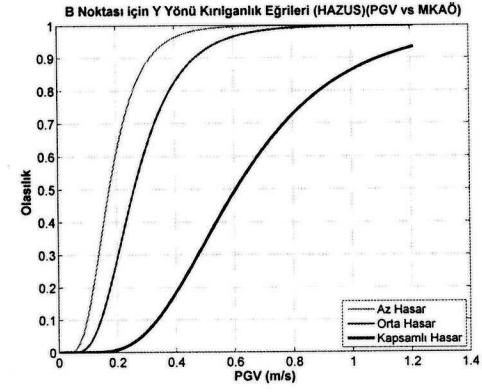
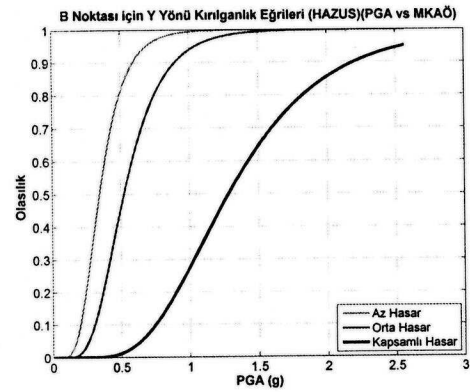
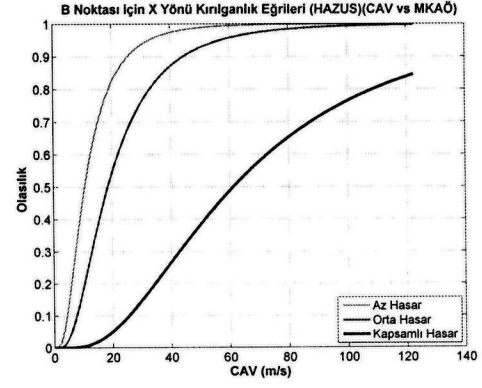
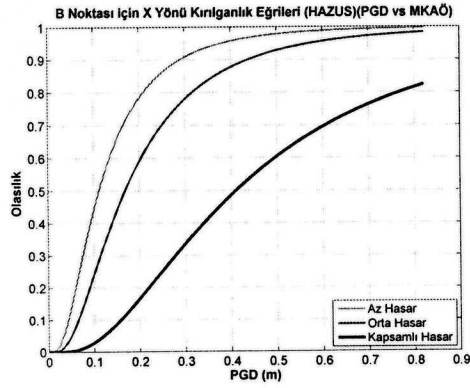
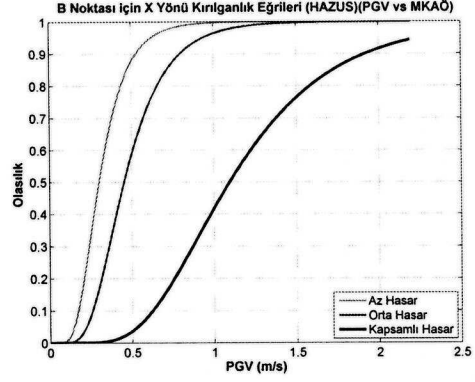
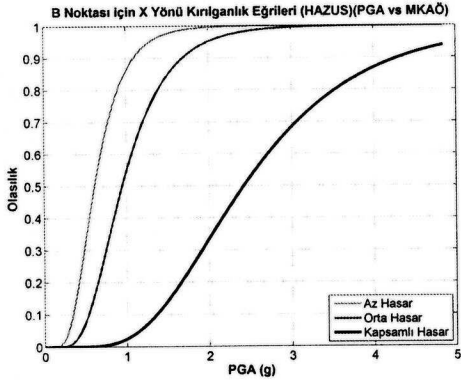
Tablo 25. Hasar Seviyelerinin Geçilme Olasılıkları (HAZUS)

	X Direction			Y Direction		
	AH	OH	KH	AH	OH	KH
A Noktası	0.58	0.26	0.16	0.87	0.13	0.00
B Noktası	0.58	0.26	0.16	0.35	0.19	0.45
C Noktası	0.55	0.10	0.35	0.35	0.13	0.52
D Noktası	0.32	0.23	0.45	0.94	0.06	0.00
E Noktası	0.55	0.13	0.32	0.52	0.19	0.29
F Noktası	0.55	0.03	0.42	0.71	0.29	0.00
G Noktası	0.55	0.16	0.29	0.39	0.16	0.45

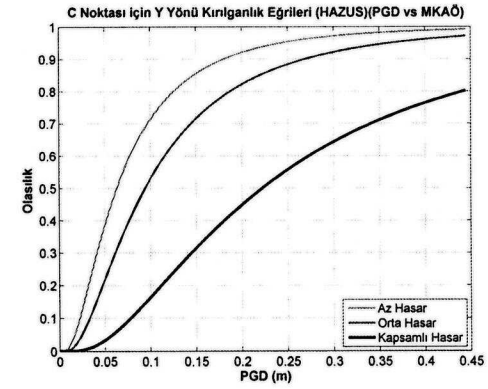
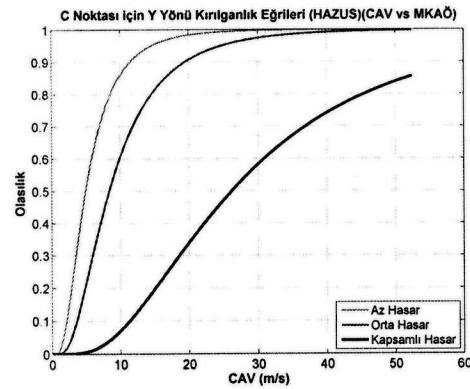
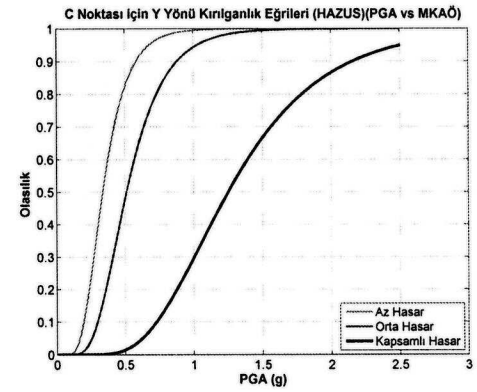
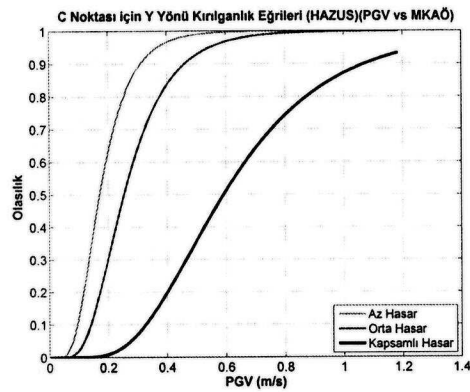
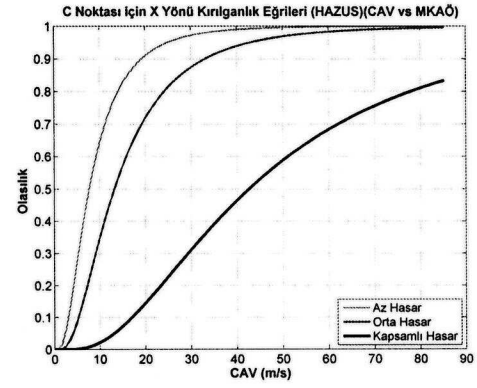
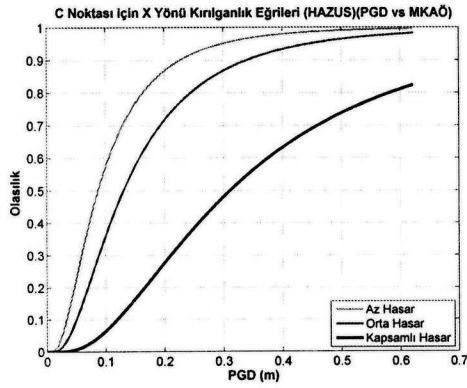
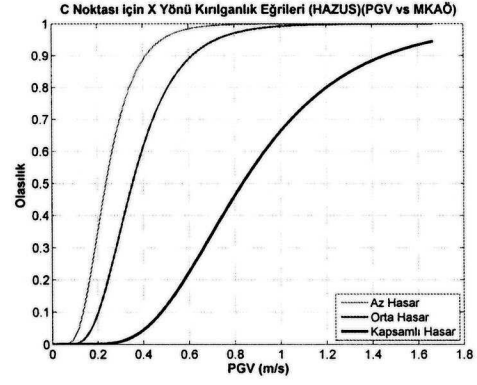
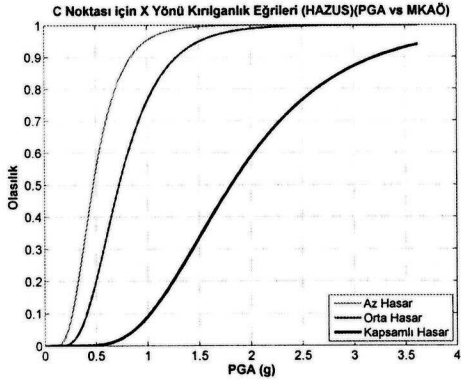
AH = Az Hasar; OH = Orta Hasar; KH = Kapsamlı Hasar



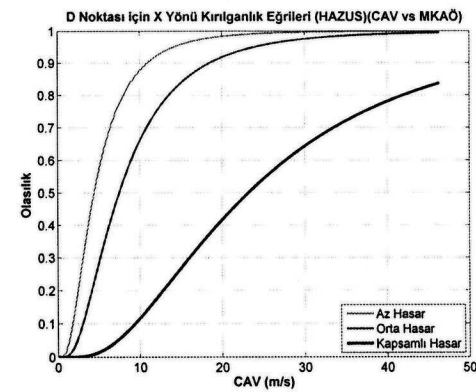
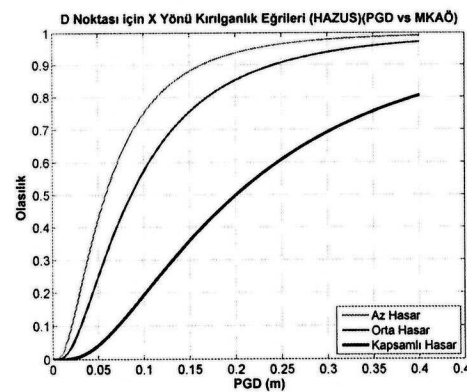
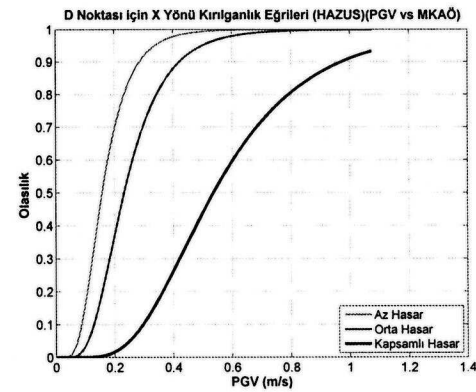
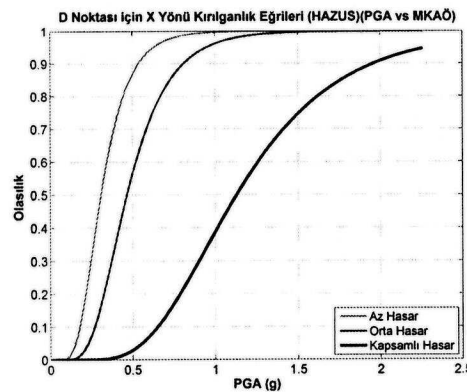
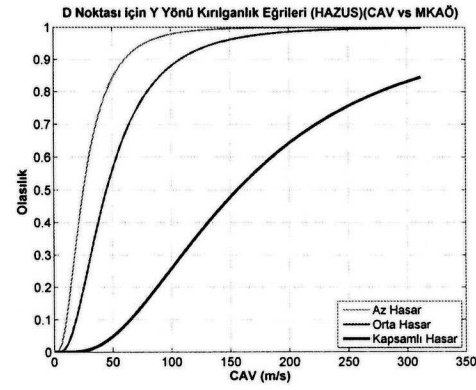
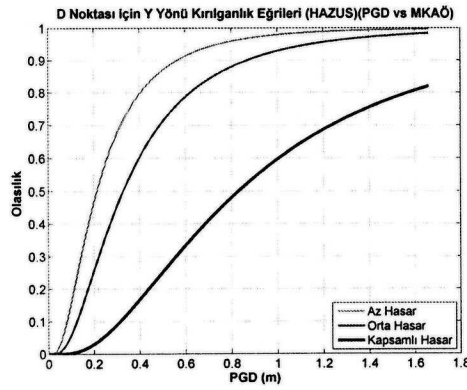
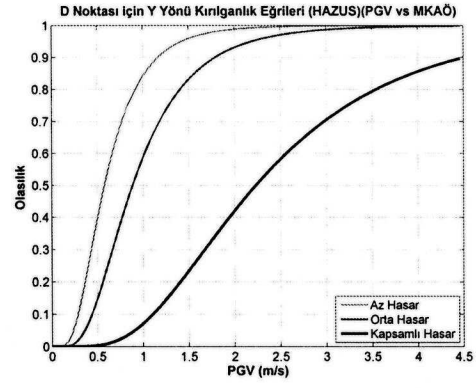
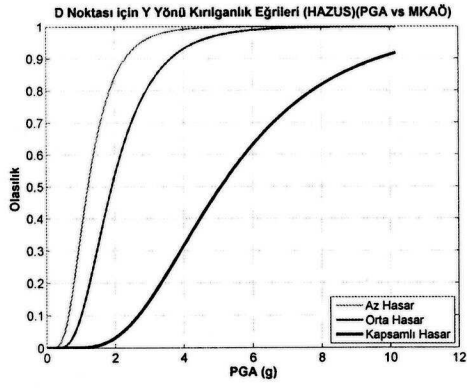
Şekil 31. A noktası kırılmalık eğrileri (HAZUS)



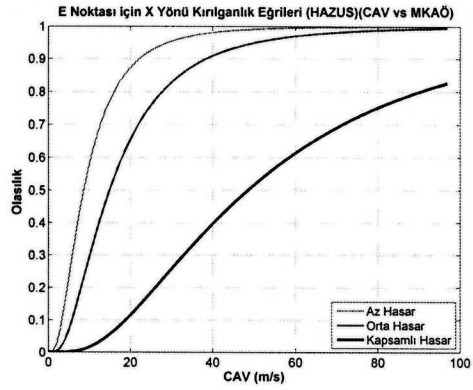
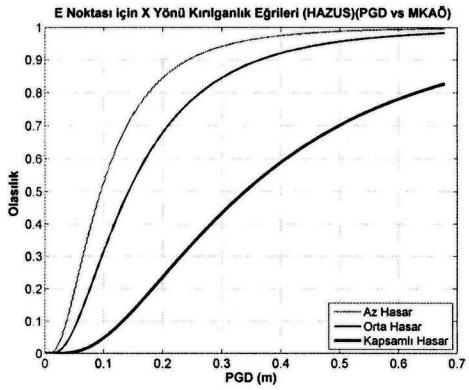
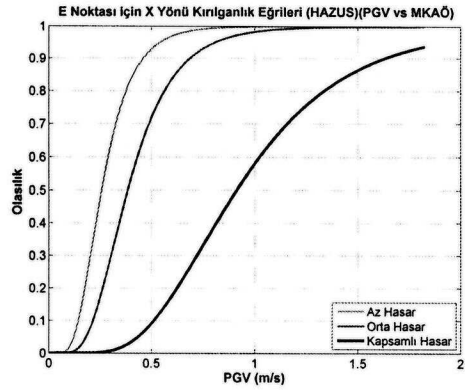
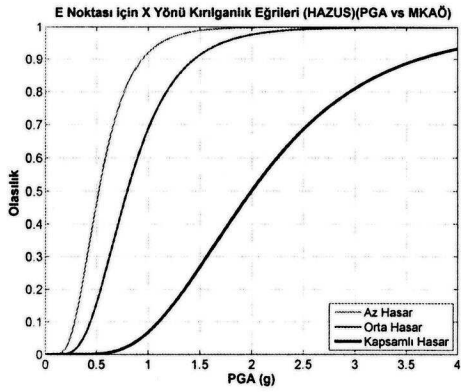
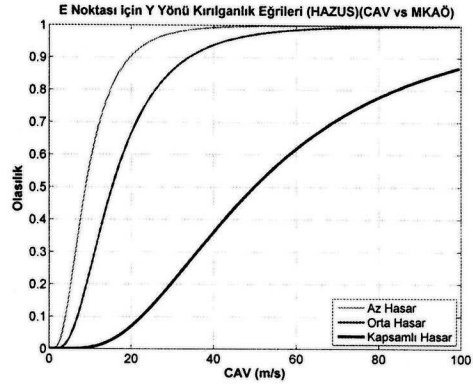
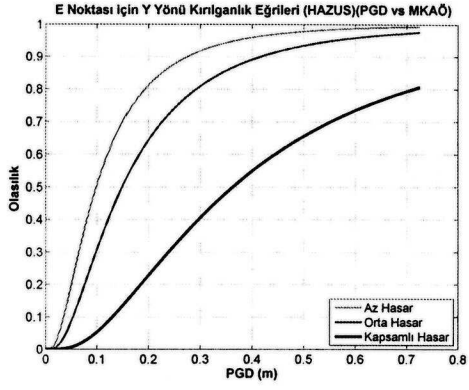
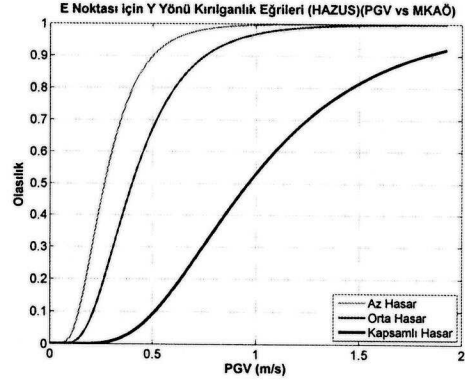
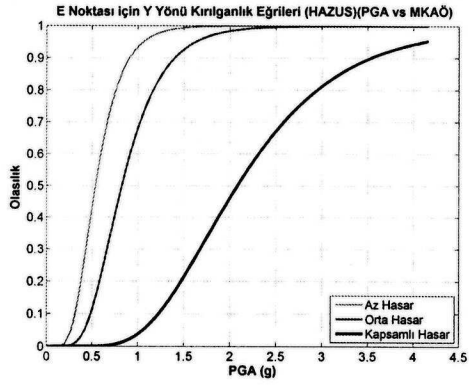
Şekil 32. B noktası kırılgnlık eğrileri (HAZUS)



Şekil 33. C noktası kırılmalık eğrileri (HAZUS)



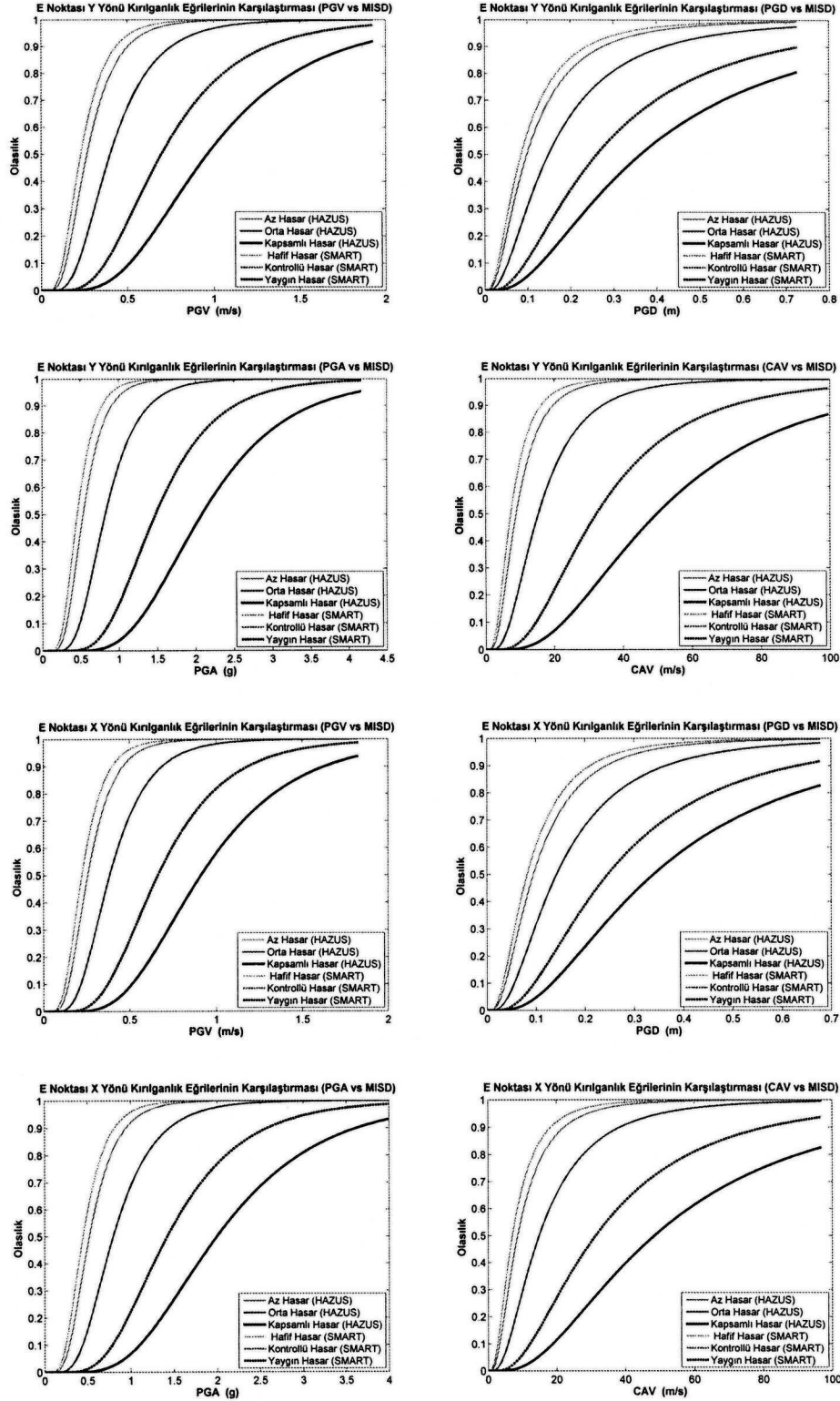
Şekil 34. D noktası kırılmalık eğrileri (HAZUS)



Şekil 35. E noktası kırılmalık eğrileri (HAZUS)

4.4. HAZUS hasar seviyeleri ile CEA tarafından belirlenen hasar seviyelerinin karşılaştırılması

Yapılan bu karşılaştırmaya göre HAZUS aynı sismik parametre altında daha düşük kırılma olasılığı vermiştir (Şekil 36).



Şekil 36. E noktası kırılma eğrilerinin HAZUS hasar seviyeleri ile karşılaştırılması

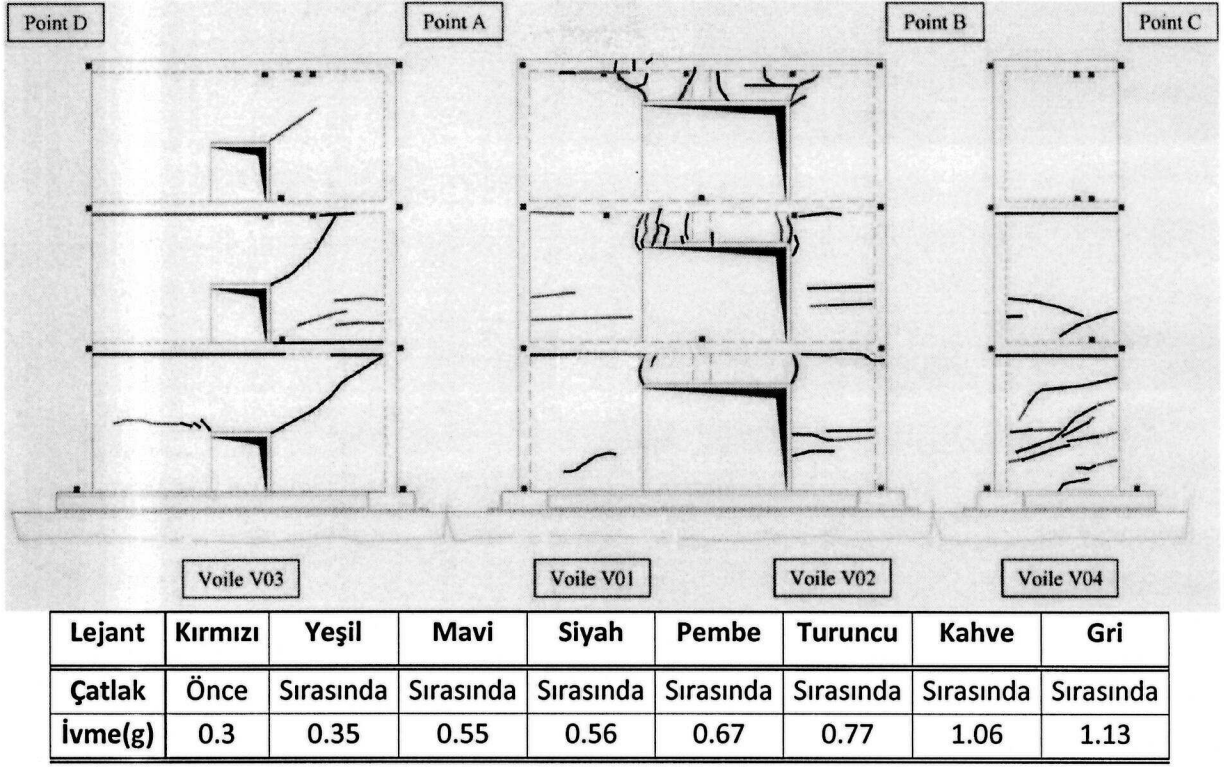
Kontrollü ve orta hasar seviyeleri katlar arası ötelenme değerleri aynı olduğundan dolayı çakışmaktadır. Az ve hafif hasar seviyeleri arasındaki fark oldukça azdır. En belirgin fark kapsamlı hasar seviyesi ile yaygın hasar seviyeleri arasında kendini göstermektedir.

E noktası üzerinden x yönü PGA kırılma eğrisi grafiği (Şekil 36) için bir örnekleme yapacak olursak; 0.52 g'lik bir PGA değeri altında, SMART, % 36.4 – hasar yok, % 45.24 – hafif hasar, %16.79 – kontrollü (Denetimli) hasar ve % 1.57 – yaygın hasar olma olasılığı bulunmaktadır. HAZUS için ise 0.52 g'lik bir PGA değeri altında, % 49 – hasar yok, %32.64 – az hasar, %18.16 – orta hasar, % 0.2 – kapsamlı hasar olma olasılığı bulunmaktadır.

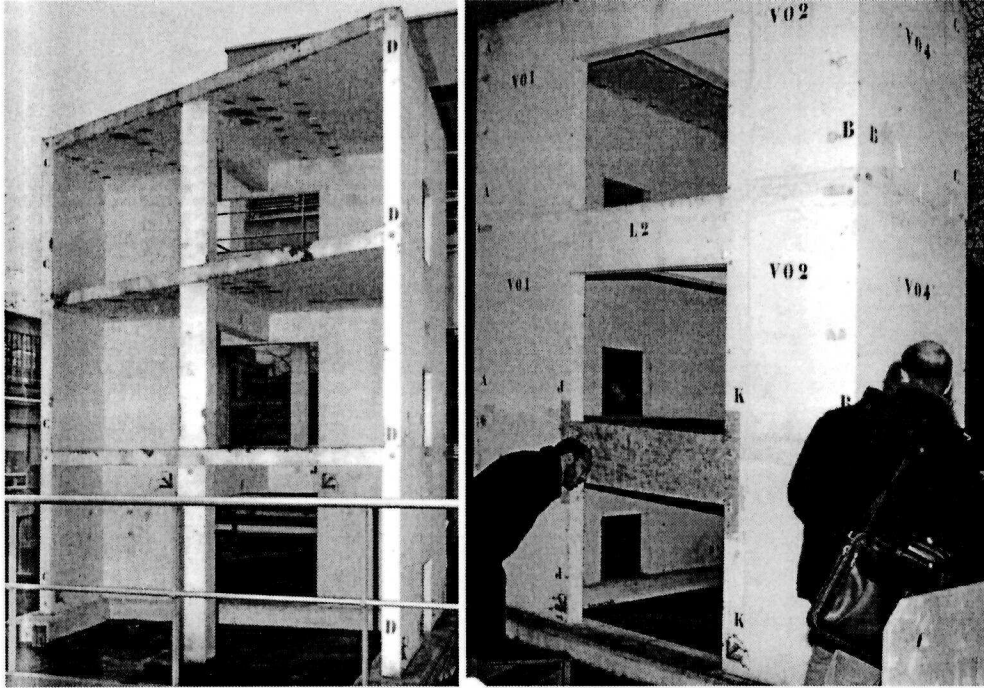
5. Türk Deprem Yönetmeliğine göre Birim Şekil Değiştirmelerin İrdelenmesi

SMART 2008 projesinin 1. Kısmı deneysel veriler ile analitik verilerin karşılaştırılmasından oluşmaktadır. Birinci kısımda katılımcılara sadece yer değiştirme ve ivme kayıtları verilmiştir. Bu nedenle Türk Deprem Yönetmeliğindeki birim şekil değiştirme değerleri ile karşılaştırabilmek için analitik model kullanılmıştır.

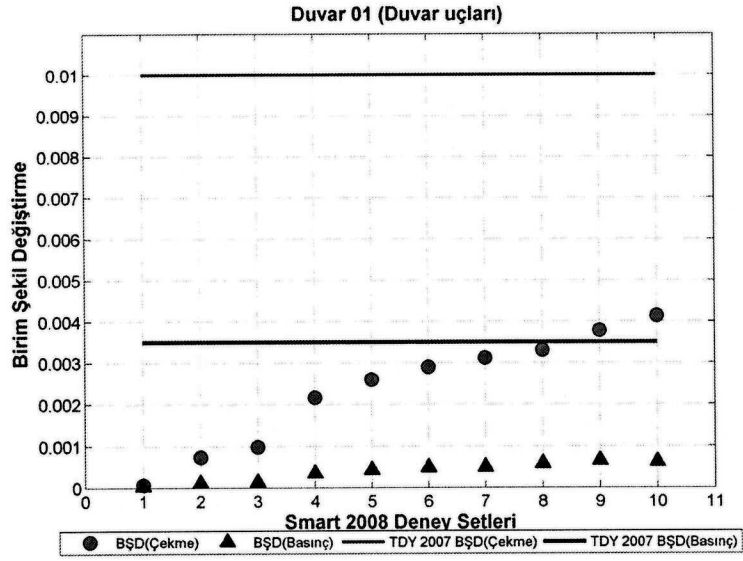
Deneylerde kullanılan parametreler göz önüne alınarak sonlu elemanlar metodu yardımı ile nümerik model üzerinden zaman alanında tanımlı dinamik analiz gerçekleştirilmiştir. Model binanın planı ve nümerik model Şekil 1 ve 14'te gösterilmiştir. Modelin genel olarak deneysel veriler ile uyumlu sonuçlar verdiği gözlemlenmiştir. Elde edilen sonuçlar çerçevesinde maksimum çekme ve basınç birim şekil değiştirme değerlerinin olduğu duvarların alt ve üst dış köşelerinden ve açıklıkların bulunduğu kritik bölgelerden elastik ve plastik birim şekil değiştirme değerleri hesaplanmıştır. Şekil 37 ve 38'de model binanın deneyler sonrası hasar durumu gösterilmektedir. Şekil 39-48'de ise perde duvar kesitlerinde hesaplanan birim şekil değiştirmeler Türk Deprem yönetmeliği (7.6.9. Betonarme Elemanların Kesit Birim Şekil Değiştirme Kapasiteleri) ile karşılaştırılmıştır. Bu karşılaştırmalardan görülmüştür ki, yapı minimum hasar sınırları içinde kalmaktadır. Bu da deneylerden gözlemlenen sonuçlar ile paralellik göstermektedir. En çok hasar alan ve çatlakların olduğu duvarlar 1 ve 2 nolu duvarlardır. Bu deneylerdeki sonuçlar bazında yapılan değerlendirmede, yönetmeliğimizde perde duvarlar için önerilen minimum hasar sınırları ancak kontrol edilebilmiştir ve bu sınırlar genellikle yeterli olduğu ancak biraz emniyetsiz tarafta kaldığı görülmüştür.



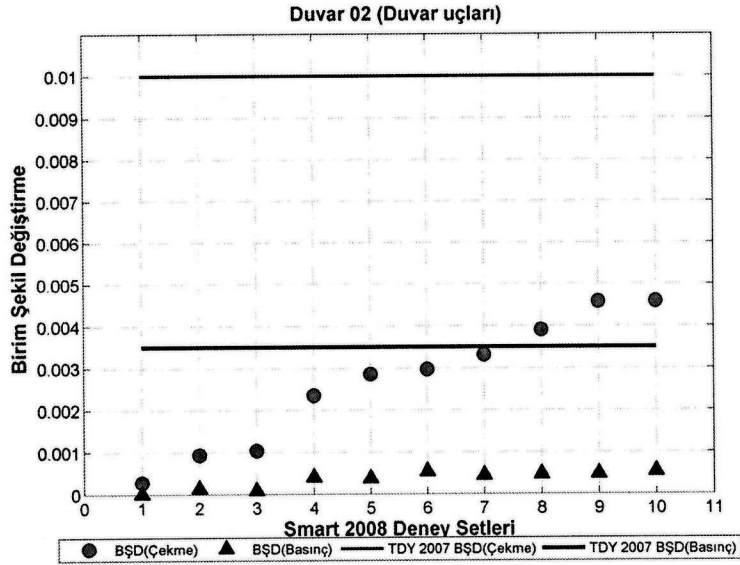
Şekil 37. Deneylerden sonra oluşan çatlaklar



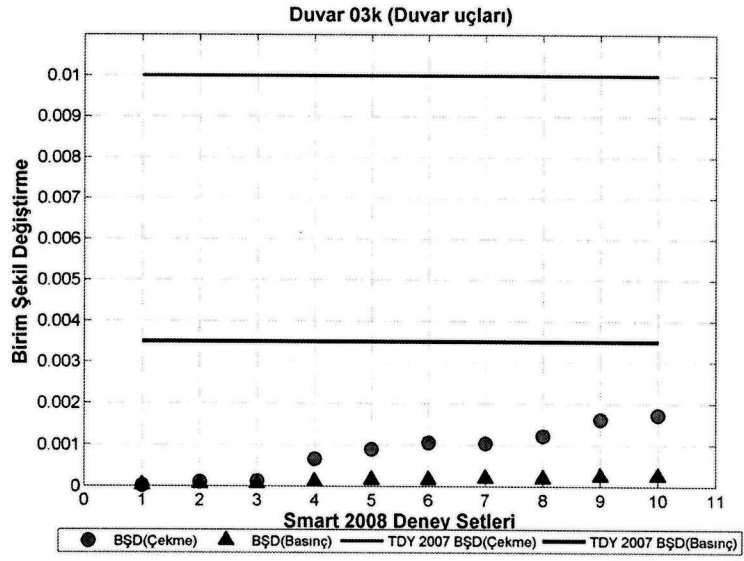
Şekil 38. Deneylerden sonra yapının son hali



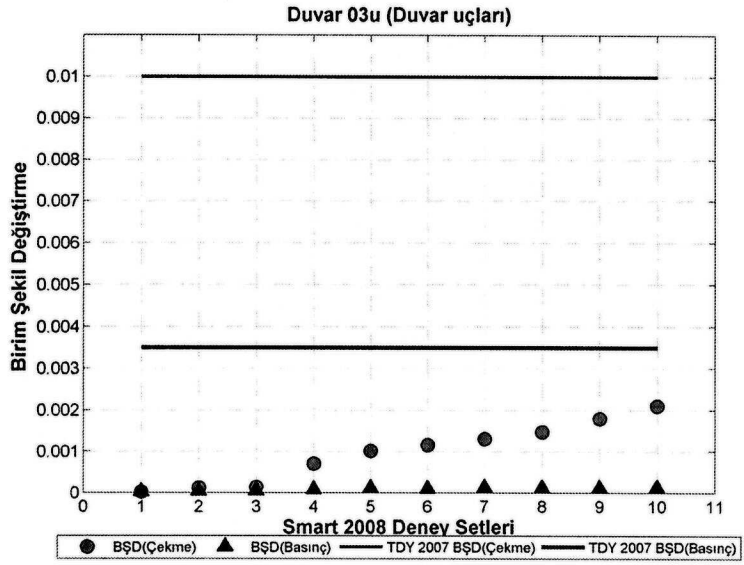
Şekil 39. Duvar 1 Basınç ve çekme birim şekil değiştirmeleri



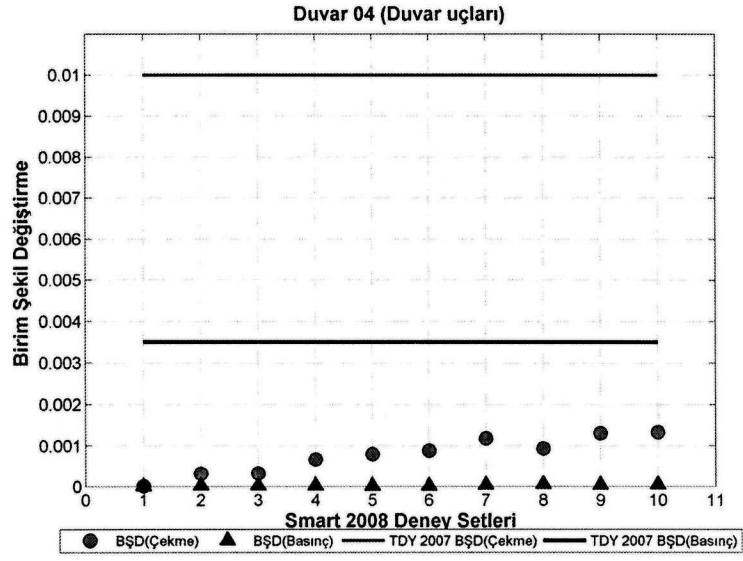
Şekil 40. Duvar 2 Basınç ve çekme birim şekil değiştirmeleri



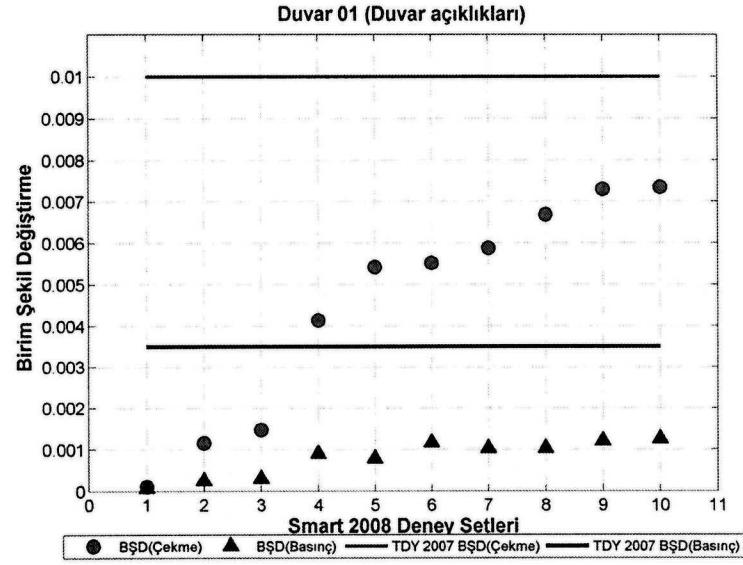
Şekil 41. Duvar 3k Basınç ve çekme birim şekil değiştirmeleri



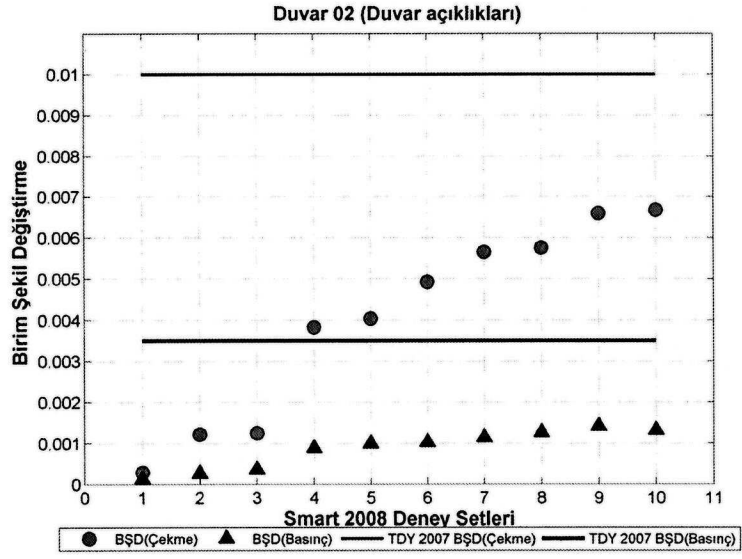
Şekil 42. Duvar 3u Basınç ve çekme birim şekil değiştirmeleri



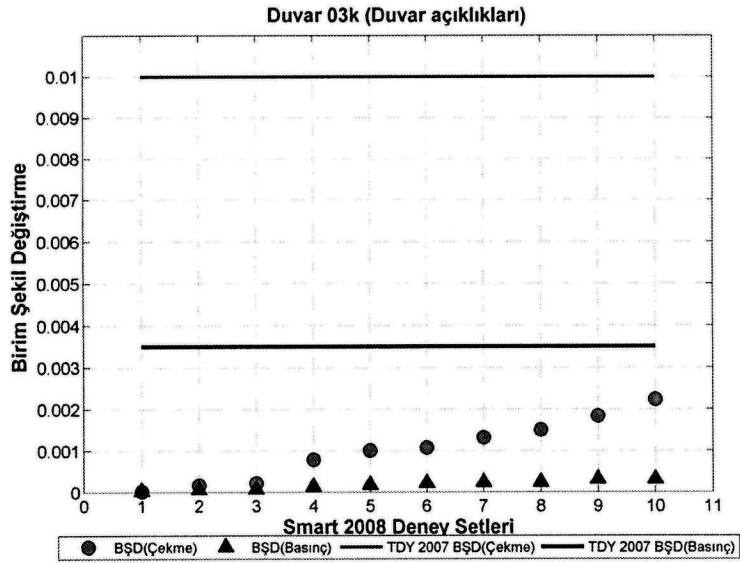
Şekil 43. Duvar 4 Basınç ve çekme birim şekil değiştirmeleri



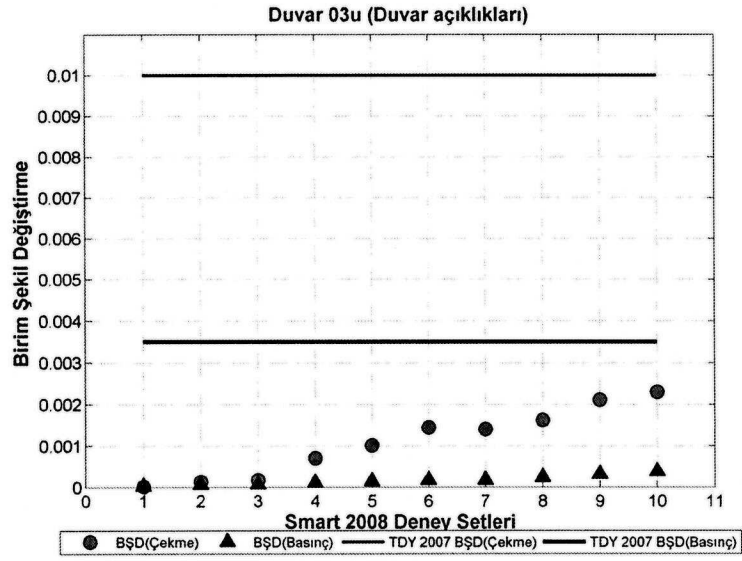
Şekil 44. Duvar 1 (Açıklık) Basınç ve çekme birim şekil değiştirmeleri



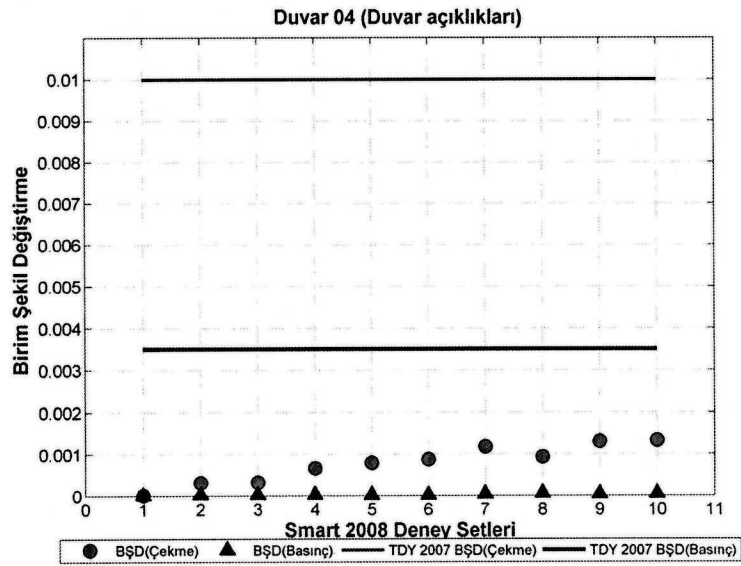
Şekil 45. Duvar 2 (Açıklık) Basınç ve çekme birim şekil değiştirmeleri



Şekil 46. Duvar 3k (Açıklık) Basınç ve çekme birim şekil değiştirmeleri



Şekil 47. Duvar 3u (Açıklık) Basınç ve çekme birim şekil değiştirmeleri



Şekil 48. Duvar 4 (Açıklık) Basınç ve çekme birim şekil değiştirmeleri

6. Sonuç ve Değerlendirmeler

Proje kapsamında incelenen yapı 3 katlı ¼ ölçekli perde duvarlı betonarme bir model binadır. Projenin ilk aşamasında, bu binanın sarsma tablası deneyleri yapılmış olup elde edilen sonuçlar analitik modellere dayalı hesap sonuçları ile karşılaştırılmıştır. Bu amaçla, sabit tabanlı ve sarsma tablalı iki model ANYSY programı kullanılarak oluşturulmuştur. Sarsma tablalı model sonuçları deneysel sonuçlara daha yakın olsa da deney sonuçları tam olarak elde edilememiştir. Bunun nedenleri arasında deney koşullarının tam olarak bilinmemesinden dolayı modelin gerçeği temsil etmede yeterli olmayışı muhtemeldir. Özellikle sarsma tablasının deney elemanı ile etkileşimi konusunda bazı sorunların olduğu anlaşılmaktadır. CEA yetkilileri de bu konunun önemini vurgulamışlardır. Genel olarak analitik modellerde hesaplanan deplasmanlar deneysel değerlere göre daha düşüktür ancak ivmeler daha yüksektir. Bu sonuç katılımcılar arasında tutarlıdır. Deneysel sonuçların daha iyi tahmin edilebilmesi için sarsma tablası davranışının daha iyi bilinmesi ve bu çerçevede modellerin revize edilmesi gerekmektedir.

Projenin ikinci aşamasında yapının farklı noktalarında kırılma eğrileri elde edilmiştir. Bu eğrilerin hesaplanması için uygulanan yöntem tüm proje katılımcıları tarafından şemsiye kuruluşun talebi doğrultusunda seçilmiştir. Burulma etkisi nedeniyle plandaki farklı noktalarda hesaplar yapılmıştır. Elde edilen eğriler bu yapıya özel olup, yapının herhangi bir yer hareketi altında göstereceği hasarın hesaplanması için kullanılır. Nükleer tesislerde bulunan benzer özelliklere sahip yapılar için de kullanılabilir olan bu eğriler, aynı zamanda risk analizlerinin en önemli bileşenlerindedir.

Şemsiye kuruluş tarafından verilen hasar seviyeleri, HAZUS – MH- MR1 (2003) orta seviyedeki perde duvarlı binalar için belirlenen hasar seviyeleri ile karşılaştırılmıştır. Yapılan bu karşılaştırmaya göre HAZUS hasar seviyeleri daha düşük hasar gerçekleşme olasılık değerleri vermiştir. Bunun sebeplerinden biri HAZUS'un bir yapı kitlesini temsil etmesi, diğeri ise, SMART binasının bir nükleer tesis binasını temsil etmesi ve elde edilen eğrileri yalnızca tek bir yapıya bağlı olması gösterilebilir. Ayrıca, yapının nükleer tesis binası hasar gerçekleşme olasılıklarının güvenli tarafta kalmak için yüksek çıkmasını açıklayabilir.

Projenin deneysel sonuçları ile analitik sonuçları karşılaştırdığımız nümerik modelden elde ettiğimiz birim şekil değiştirmeler, Türk Deprem yönetmeliği (7.6.9. Betonarme Elemanların Kesit Birim Şekil Değiştirme Kapasiteleri) ile karşılaştırıldığında görülmüştür ki, yapı minimum hasar sınırları içinde kalmaktadır. Bu da deneylerden gözlemlenen sonuçlar ile paralellik göstermektedir. Birim şekil değiştirme değerleri de en çok hasar gören duvarların 1 ve 2 nolu duvarlar olduğunu doğrulamaktadır. Perde duvarların minimum hasarın ötesine geçmemesinden dolayı yönetmeliğimizdeki diğer hasar sınır değerleri irdelenmemiştir. Minimum hasar için verilen sınır değerinin emniyetsiz tarafta kaldığı düşünölmektedir. Bu hasar sınırlarının daha iyi irdelenebilmesi için daha çok sayısında deneysel veriye ihtiyaç vardır.

Referanslar

ANSYS R 12.1, *Engineering Analysis System*, 2011, User and Theoretical Manual.

AKANSEL, V.H., *Fragility of a Shear Wall Building with Torsional Irregularity*, (Yüksek Lisans Tezi), Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Ağustos, (2011).

LERMITTE, S., Chaudat T., Payen T., Vandeputte D. and Viallet E., 2008, SMART 2008: Experimental tests of a reinforced concrete building subjected to torsion, The 14th World Conference on Earthquake Engineering, Beijing, China,(2008).

RAPPORT DM2S, Presentation of the Benchmark Contest –Phase 2 Project SMART 2008, COMMISSARIAT A L'ÉNERGIE ATOMIQUE, SEMT/EMSI/PT/09-011/A, (2009).

TDY 2007, Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik, Bayındırlık ve İskan Bakanlığı, Ankara, (2007).

WILLIAM, K. J. and Warnke, E. D., Constitutive Model for the Triaxial Behavior of Concrete, Proceedings, International Association for Bridge and Structural Engineering, Vol. 19, ISMES, Bergamo, Italy, (1975) pp. 174.

TÜBİTAK
PROJE ÖZET BİLGİ FORMU

Proje No: 109M707
Proje Başlığı: Burulma ve nonlinear etkilere maruz betonarme perde duvarlı binaların sismik tasarımı ve performans değerlendirmesi
Proje Yürütücüsü ve Araştırmacılar: Ahmet Yakut, Vesile Hatun Akansel, Saeideh Nazirzadeh, İlker Kazaz, Polat Gülkan
Projenin Yürütüldüğü Kuruluş ve Adresi: Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Üniversiteler Mahallesi, Dumlupınar Bulvarı, No:1, 06800 Çankaya, Ankara
Destekleyen Kuruluş(ların) Adı ve Adresi: TÜBİTAK, Atatürk Bulvarı No:
Projenin Başlangıç ve Bitiş Tarihleri: 01.03.2010-28.02.2012
Öz (en çok 70 kelime) Bu çalışmada bazı deprem hareketleri altında sarsma tablası deneyleri yapılmış perde duvarlı üç katlı bir model binanın analizleri yapılarak davranışı irdelenmiş ve yapıya özel kırılma eğrileri elde edilmiştir. Çalışmada binanın analitik modeli sonlu elemanlar metoduna dayanarak ANSYS programı ile elde edilmiştir. Modellemesi yapılan bina Fransa Saclay'de yer alan Atom Enerji Kurumu'nun (CEA) yürüttüğü proje kapsamında ¼ ölçekli olarak sarsma tablası deneylerine tabi tutulmuştur.
Anahtar Kelimeler: Perde Duvarlı Bina, Sarsma Tablası, Burulma Düzensizliği, Sonlu Elemanlar Metodu, Kırılma Eğrileri
Fikri Ürün Bildirim Formu Sunuldu mu? Evet <input type="checkbox"/> Gerekli Değil <input checked="" type="checkbox"/> Fikri Ürün Bildirim Formu'nun tesliminden sonra 3 ay içerisinde patent başvurusu yapılmalıdır.
Projeden Yapılan Yayınlar: V. H. Akansel ,İ. Kazaz, A. Yakut, ve P. Gülkan "Perde Duvarlı Binaların Deprem Kuvvetleri Altındaki Davranışlarının Modellenmesi ve Simulasyonu", BMYS 2010, 14-16 Ekim 2010, Diyarbakır, Bildiri No. 77. Vesile Hatun Akansel, Ahmet Yakut, İlker Kazaz ve Polat Gülkan "Perde Duvarlı Model Bir Binanın Dinamik Davranışına Yönelik Parametrik Çalışma", 1TDMSK 2010, 11-14 Ekim 2011, Ankara. Saeideh Nazirzadeh, *Ahmet Yakut ,Vesile Hatun Akansel and İlker Kazaz "Numerical Modeling of an Unsymmetrical Building tested on Shaking Table" ASEM 11, 18-22 Eylül 2011, Seoul, South Korea. Bildiri No: ES355_084.

V. H. Akansel, A. Yakut, P. Gulkan " Fragility of Shear Wall Buildings with Torsional Irregularity" 15WCEE, 24-28 Eylül 2012, Lisbon (Kabul edildi).

V. H. Akansel "Fragility of A Shear Wall Building With Torsional Irregularity" Yüksek Lisans Tezi, Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Ağustos 2011.

S. Nazirzadeh, "Dynamic Simulation of Shaking Table Tests for a Shear-Wall Building having Torsion" Yüksek Lisans Tezi, Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Şubat 2012.