Bitişik Yapıların Deprem Performanslarının Ayrı Veya Bitişik Olarak Kırılganlık Eğrileri Yardımı ile İncelenmesi

Ali AKBULUT[*], M. Hasan BODUROĞLU[**]
*İstanbul Teknik Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği-Yapı Mühendisliği Bölümü, Maslak-İstanbul
**MEF Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölüm Başkanı, 34396 Maslak – İstanbul
(Geliş / Received : 01.12.2014 ; Kabul / Accepted : 14.01.2015)

ÖZ

Mevcut yapıların deprem performans, risk ve güçlendirme analizlerinde, yanındaki yapı ile olan ilişkisini uygun modelleme teknikleri ile analiz aşamasının içine dâhil ederek, sonuçların tekbaşına analiz edilmiş binalara göre olan farklılıklarını incelemek önemli bir konu olarak ortaya çıkmaktadır. Bu çalışmada, literatürdeki komşu binaların birbirleri ile olan etkileşim modelleri, statik itme analizi ve doğrusal olmayan hesap yöntemleri, deprem ivme kayıtlarının bir veri tabanından alınması ve tasarım spektrumuna göre ölçeklenmesi, zaman tanım alanına göre hesap yöntemi, hareket denkleminin Newmark-β yöntemi ile sayısal çözümü ve kırılganlık eğrileri ile bina performans seviyelerinin belirlenmesi konuları incelenmiştir. Bitişik (komşu) ve birbirine benzer binaların, deprem performanslarının birbirileri ile olan etkileşimli ve deprem yönüne göre değişen bir şekilde yapı blokları olarak ele alınıp, hasar görebilirlik-kırılganlık eğrileri yönünden değerlendirilmeleri incelenmiş ve binaların ayrı ayrı analiz edildikleri duruma göre daha farklı sonuçlar verdiği tespit edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Artımsal itme analizi, deprem kaydı ölçekleme, kırılganlık eğrisi, zaman tanım alanında lineer olmayan hesap, komşu binalar.

Evaluation of Building Type Adjacent Structures' Interacted and Single Seismic Performances by Fragility Curves

ABSTRACT

The performance-based analysis for the low-storey building type structures are generally carried out, as those buildings were isolated single standing buildings with no interaction with adjacent buildings. Incorporating the interaction of the adjacent buildings in seismic performance and risk (retrofitting) analysis by using proper modelling techniques seems important by means of obtaining the deviation of the results from the conventional analysis results of isolated single modelled structures. Literature review has been carried out for the following topics; adjacent building models, push-over analysis, earthquake acceleration, time series database analysis and scaled records, time history analysis of equation of motion with Newmark- β method and fragility curves for building performance levels. The aim of this study is the evaluation of vulnerability risk via fragility curves for seismic performance of adjacent buildings as interacting structures. Results show that interacted and isolated analysis types yields different seismic performance levels.

Keywords: Push-Over analysis, scaled accelograms, fragility curves, time history analysis, adjacent building interaction.

1.GİRİŞ (INTRODUCTION)

Deprem tehlikesine karşı mevcut yapı stoklarının performanslarının hızlı, doğru ve güvenilir biçimde belirlenmesi gerekmektedir. Mevcut yapı stokları içindeki bitişik yapıların, etkileşimli olarak birlikte modellenmesi yönünde çalışmalar İspanya, Yunanistan, İtalya'da yapılmakta ve her geçen gün konuya farklı bir bakış açısı getiren yayınlar ortaya çıkmaktadır. Bunlara örnek Pujades ve Barbat'ın Barcelona'nın EİXAMPLE bölgesindeki binaları blok olarak sınıflandırıp, modelleyerek deprem performanslarını kırılganlık eğrileri ile irdeledikleri çalışma verilebilir [1]. Abdel [2] binaların çekiçleme etkisini araştırmak için, binaları birbirleri ile etkileşimli olarak modellemiştir. Bhaskararo ve Jangid [3] birbirine komşu iki binayı birbirlerine sürtünme ile bağlı model üzerinde inceleyerek deprem performanslarını irdelemişlerdir. Chau ve Wei [4] komşu binaları tek serbestlik dereceli birer osilatör gibi tanımlayıp aralarındaki etkileşimi lineer olmayan bir şekilde açıklamışlardır. Christenson, Spencer, Johnson ve Seto [5] bitişik binaların birbirleri ile farklı şekillerde bağlandığında, yapısal açıdan davranış farklılıklarını hesaplamışlardır. Mouzakis ve Papadrakakis [6] komşu binaların deprem boyunca olan etkileşimi sürtünme elemanı ile modellemiş ve üç boyutlu lineer olmayan analizle sonuçlar elde

** Sorumlu Yazar (Corresponding Author)*
e-posta: boduroglu@itu.edu.tr
Digital Object Identifier (DOI) : 10.2339/2015.18.3 183-196

etmişlerdir. Athanassiadou, Penelis ve Kappos [7] komşu binaların deprem performanslarını araştırırken binaların dinamik karakteristiklerinin benzerliği veya farklılığının etkileşimlerine olan etkilerini belirlemişlerdir. Birbirine çarpan veya etkileşim halinde olan iki cisim için temel sayılabilecek, bu davranışın teorik ve fiziksel formülasyonlarının çıkartıldığı çalışma GoldSmith tarafından yapılmıştır [8]. Maison ve Kasai [9] çarpışan iki binanın dinamik özelliklerini inceleyen ve binaların birbirleri ile olan her farklı konumu için hareket denklemini buna uygun olarak modifiye ederek elde etmişlerdir.

2. MEVCUT BİNALAR HAKKINDA BİLGİ TOPLANMASI (SURVEY OF EXISTING BUILDINGS)

Binalar Küçükçekmece İlçesi, ISAT (İstanbul Şehircilik Atölyesi) planlarına göre 205 Nolu Bölgede bulunmaktadır. İstanbul Büyük Şehir Belediyesi tarafından yaptırılan, İstanbul Deprem Master Planı hazırlanması kapsamındaki veri toplama çalışmaları dâhilinde Küçükçekmece ilçesi, Engin sokakta bulunan iki mevcut ve komşu bina röleveleri ve karot deneyleri yapılarak incelenmiştir. Kiriş ve kolon donatıları donatı tespit cihakiriş ve kolonlarda aynı donatı tertibatı uygulanmıştır.

Binalardan alınan röleve çizimlerinden Çalışmada incelenen binalardan Bina-1'e ait taşıyıcı sistem rölevesi Şekil 1'de gösterilmiştir.

3. MEVCUT BİNALARA AİT STATİK İTME ANALİZİ (PUSH-OVER ANALYSIS FOR EXISTING BUILDINGS)

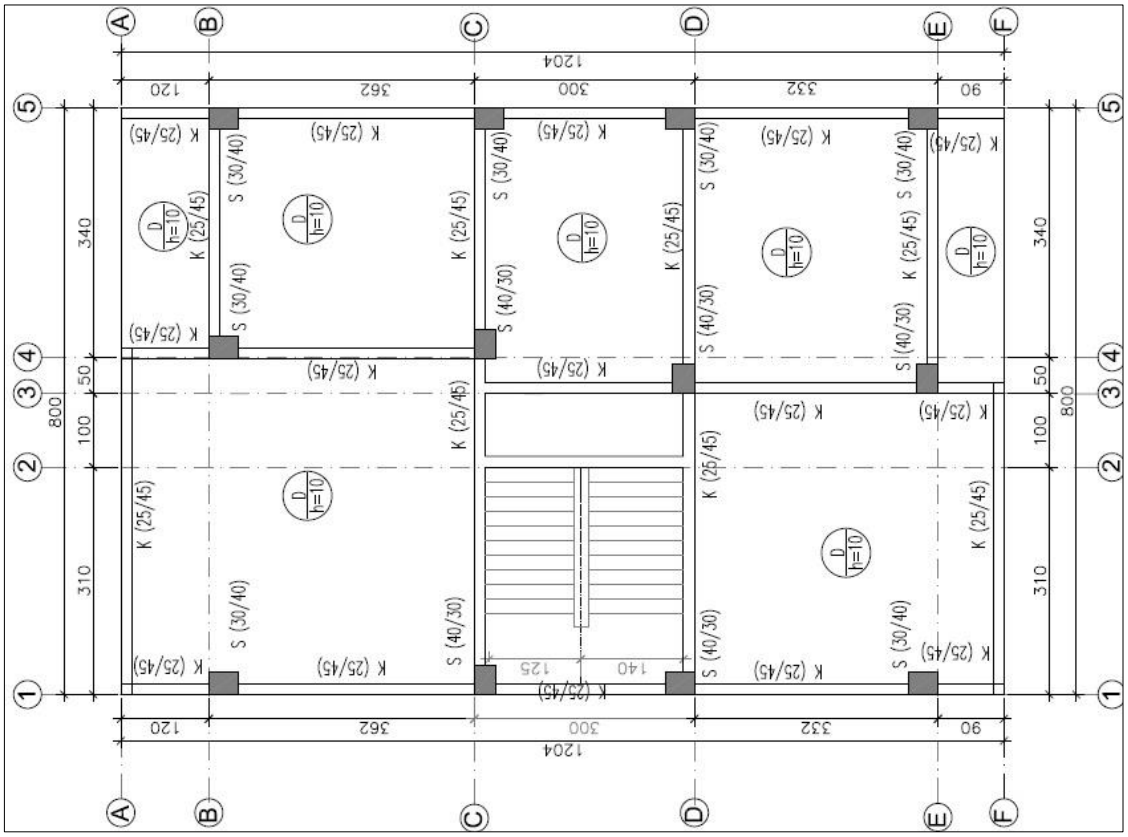
Mevcut binalara statik itme (Push-Over) analizi aşağıdaki adımlarda uygulanmıştır. Çizelge 1'de çalışmadaki 1 nolu binaya ait analiz öncesi yapısal veriler listelenmiştir.

3.1. Artımsal İtme Analizi Yükleri (Push-over loads)

Artımsal itme analizinde Çizelge-2'de verilen kat ağırlıkları hesaplanır. İtme yükleri Şekil-4 ve Şekil-5'te verilen mod şekillerine uygun olarak hesaplanır.

Çizelge 1: Mevcut Binaların Bilgileri (Informations about existing buildings)

A_0	0.4
T_A, T_B	0.15,0.4
Zemin Tipi	Z2
Bina Önem Katsayısı (I)	1
Bina Tipi	Mesken
Taşıyıcı Sistem Davranış Katsayısı (R)	4
Kiriş Donatı	2xφ12 Üst, 3xφ12 Alt, φ8/25 Sargı
Kolon Donatı	4x φ14, φ8/25 Sargı
Beton Sınıfı	C20



Şekil 1: Çalışmada incelenen Bina-1'e ait taşıyıcı sistem rölevelesi (Support system relievo of Building-1 examined in this study)

3.2. Çatlamış Kesit Hesabı (Cracked Section Calculation)

Çizelge 3 ve Çizelge 4'te X ve Y yönleri için ayrı ayrı hesaplanan push-over yükleri verilmiştir.

Analizde eğilme etkisindeki betonarme elemanlarda çatlamış kesite ait etkin eğilme rijitlikleri $(EI)_e$ kullanılacaktır.

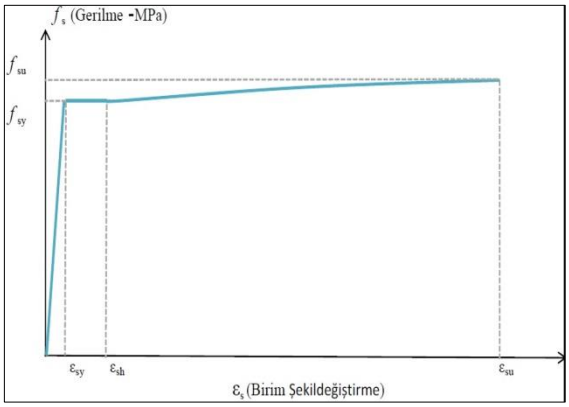
TDY 2007 Bölüm 7.4.13'te belirtildiği üzere daha kesin bir hesap yapılmadıkça , etkin eğilme rijitlikleri için aşağıda verilen değerler kullanılacaktır ;

Kirişlerde: $(EI)_e = 0.40\ (EI)_o$ (1)

Kolon ve perdelerde, $ND / (A_c\ f_{cm}) \leq 0.10$ (2)

olması durumunda:

Modelde kabuk betonu için sargısız, çekirdek betonu için sargılı model esas alınır.



Şekil 2: Donatı malzeme modeli (Model pf material outfit)

Çizelge 2: Bina ağırlığı hesabı (Calculation of building weight

DEĞERLER			KATLAR				
KAT	AÇIKLAMA	SEMBOL	1	2	3	4	5
KOLON	Ağırlık	G (kN)	202,5	202,5	202,5	202,5	202,5
KİRİŞ	Ağırlık	G (kN)	337,5	337,5	337,5	337,5	337,5
DÖŞEME ZATİ ve DİĞER YÜKLER	Döşeme Yükleri	g (kN/m^2)	3,11	3,11	3,11	3,11	3,77
		q (kN/m^2)	2	2	2	2	2
	Döşeme Zati	Υ_c (25kN/m^3)	360	360	360	360	360
	Dış Duvar Yükleri	Υ_{DD} (13kN/m^3)	473,28	473,28	473,28	473,28	473,28
	İç Duvar Yükleri	Υ_{ic} (13kN/m^3)	416,16	416,16	416,16	416,16	416,16
	Sabit	G(kN)	1697,28	1697,28	1697,28	1697,28	1792,32
	Hareketli	Q(kN)	288	288	288	288	288
	Yük	G+0.3Q(kN)	1783,68	1783,68	1783,68	1783,68	1878,72
KATLARIN TOPLAM AĞIRLIĞI(kN)			2323,68	2323,68	2323,68	2323,68	2418,72
TOPLAM BİNA AĞIRLIĞI (W) (kN)							**11713,44**

$(EI)_e = 0.40\ (EI)_o$ (3)

$ND / (A_c\ f_{cm}) \geq 0.40$ (4)

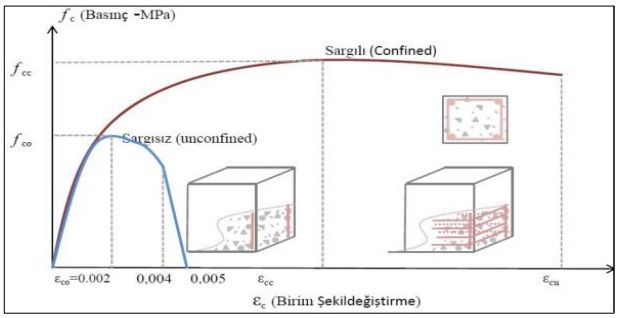
olması durumunda:

$(EI)_e = 0.80\ (EI)_o$ (5)

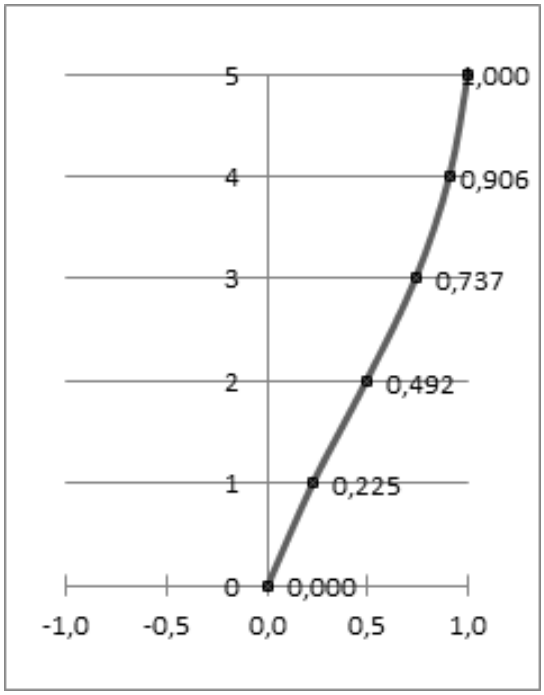
(1),(3),(5) formülleriyle hesaplanan çatlamış kesit rijitlikleri Çizelge 5'te örnek olarak verilmiştir. Diğer katlardaki elemanların çatlamış kesit rijitlikleri Çizelge-5'teki gibi hesaplanmaktadır.

3.3. Malzeme Modelleri (Material Models)

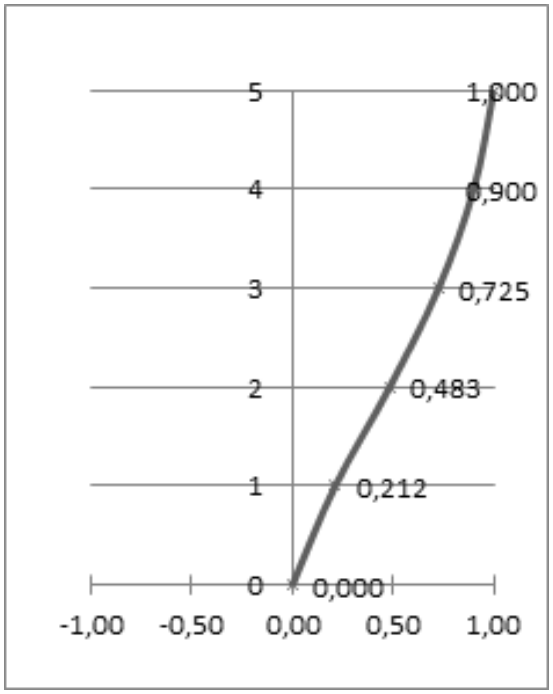
Yüksek eksenel kuvvet etkisindeki kesitin tarafsız eksen derinliği büyük olduğundan, kolonların eğilme kapasiteleri betonun basınç altındaki gerilme dağılımına daha çok bağlıdır.



Şekil 3: Beton malzeme modeli (Model of the concrete material



Şekil 4: 1.mod şekli (Figure of 1. Mode)



Şekil 5: 2.mod şekli (Figure of 2. Mode)

Çizelge 3: X yönü push-over yükleri (Push-over loads at X direction

X YONU PUSH OVER YUKLERI HESABI, T(1)x=0.69390 sn							
KATLAR	KAT AĞR.	KŰTLELER	MOD	U2(cm)	Φ (Normalize)	$PO_{LOADS-X}$	$PO^{NR}{}_{LOADS-X}$
5	2418,72	246,56	1	4,0975	1,0000	246,56	1,00
4	2323,68	236,87	1	3,7126	0,9061	214,62	0,87
3	2323,68	236,87	1	3,0197	0,7370	174,56	0,71
2	2323,68	236,87	1	2,0141	0,4915	116,43	0,47
1	2323,68	236,87	1	0,9226	0,2252	53,33	0,22
0	0,00	0,00	1	0	0,0000	0,00	0,00

Çizelge 4: Y yönü push-over yükleri (Push-over loads at Y direction)

Y YONU PUSH OVER YUKLERI HESABI, T(1)y=0.58396 sn							
KATLAR	KAT AĞIRLIKLARI	KŰTLELER	MOD	U1(cm)	Φ (Normalize)	$PO_{LOADS-Y}$	$PO^{NR}{}_{LOADS-Y}$
5	2418,72	246,56	2	-5,1013	1,0000	246,56	1,00
4	2323,68	236,87	2	-4,5927	0,9003	213,25	0,86
3	2323,68	236,87	2	-3,6995	0,7252	171,78	0,70
2	2323,68	236,87	2	-2,4622	0,4827	114,33	0,46
1	2323,68	236,87	2	-1,0814	0,2120	50,21	0,20
0	0,00	0,00	2	0	0,0000	0,00	0,00

3.4. Plastik Mafsal (Plastic Hinge)

Çizelge 5: Örnek 7 adet kolonda çatlamış kesit rijitliklerinin hesabı (Example, Calculation of cracked section rigidities in 7 columns)

KATLAR	KOLON	b (mm)	h(mm)	$f_{cm}(N/mm^2)$	$N_d(kN)$	$N_d/A_c x f_{cm}$	Çatlamış Rijitlik(EI_e)	
KAT NO 2 (ZEMİN KAT)	C26	300	400	20	-226,116	0,094	0,400	EI_o
	C27	300	400	20	-311,734	0,130	0,440	EI_o
	C28	300	400	20	-322,578	0,134	0,446	EI_o
	C29	300	400	20	-311,734	0,130	0,440	EI_o
	C30	300	400	20	-226,116	0,094	0,400	EI_o
	C31	300	400	20	-317,22	0,132	0,443	EI_o
	C32	300	400	20	-411,136	0,171	0,495	EI_o

Toplam şekil değiştirmelerin doğrusal şekil değiştirmelere oranı olarak tanımlanan süneklik oranının büyük olduğu ve doğrusal olmayan şekil değiştirmelerin küçük bir bölgeye yayıldığı sistemlerde, doğrusal olmayan eğilme şekil değiştirmelerinin plastik mafsal adı verilen belirli kesitlerde toplandığı, bunun dışındaki bölgelerde ise sistemin doğrusal-elastik davrandığı kabul edilebilir. Bu hipoteze, *plastik mafsal (plastik kesit) hipotezi* adı verilir.

Plastik dönme kapasitesi yaklaşık olarak:

$$\text{maks}\varphi_p = l_p \chi_{p,maks} \quad (6)$$

$$l_p \cong 0.5d \quad (7)$$

Bağıntıları ile hesaplanabilir. Burada

d : en kesit yüksekliği

l_p : plastik mafsal boyu

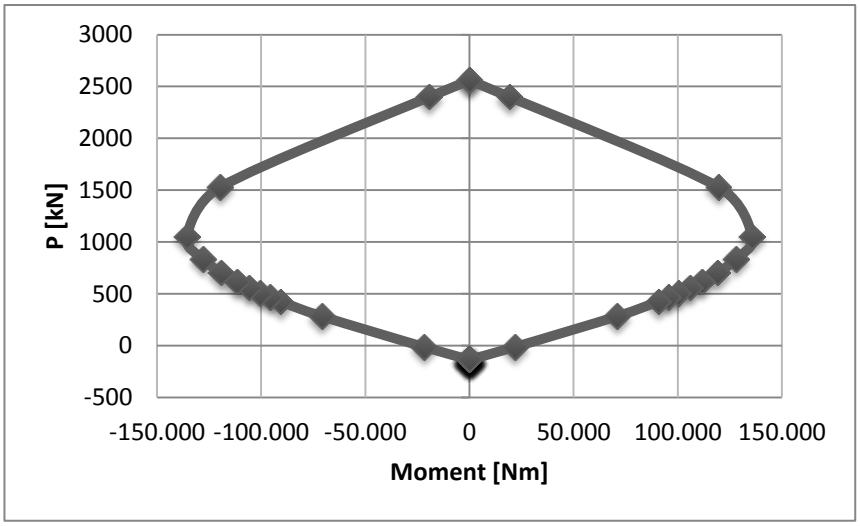
olarak tanımlanmaktadır.

Malzeme, moment-eğrilik ve karşılıklı etki diyagramları için XTRACT programından alınan sonuçlar idealleştirilerek Şekil 6'da karşılıklı etki diyagramı, Şekil 7'de moment-eğrilik diyagramı olarak gösterilmiştir, bu idealleştirilmiş plastik mafsal özellikleri, çatlamış kesit özellikleri ile birlikte SAP2000 programında oluşturulan taşıyıcı sistem modeline veri olarak atanır. Artımsal itme analizi için;

1.Hesap modeli oluşturulur.

2.Elemanların donatı yerleşimi ve mevcut alanları esas alınarak karşılıklı etki diyagramları ve moment eğrilik bağıntıları kullanıcı tarafından verilecektir.

3.Plastif mafsal bölümünde tanımlanan özellikler programa atanır.

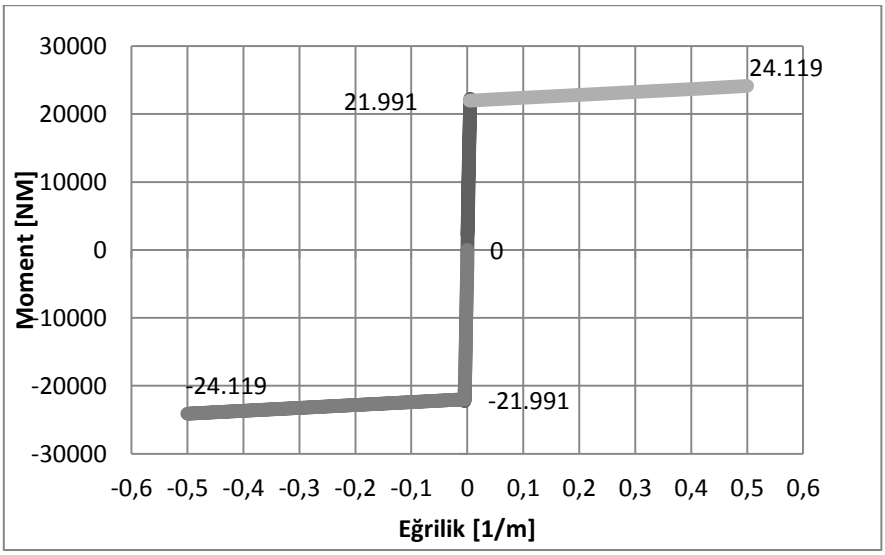


Şekil 6: SAP2000 Kolon plastik mafsal veri girişi (SAP 2000 Data input of column plastic link

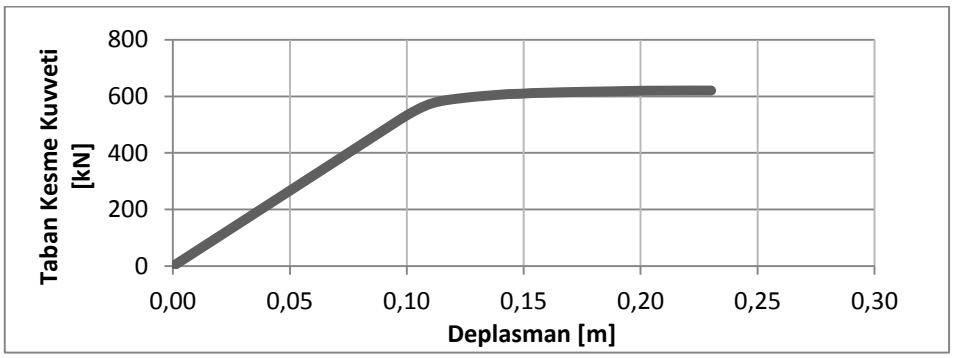
4. 3 boyutlu bilgisayar modeli üzerinde düşey ve yatay yükler tanımlanır. (G,Q,EX, EY...)

5.Statik itme analizi yükleri tanımlanır. Önce düşey, sonra bunun sonuçlarını kullanan planda birbirine dik iki doğrultu X ve Y yönünde ayrı ayrı push over analizleri yapılır.

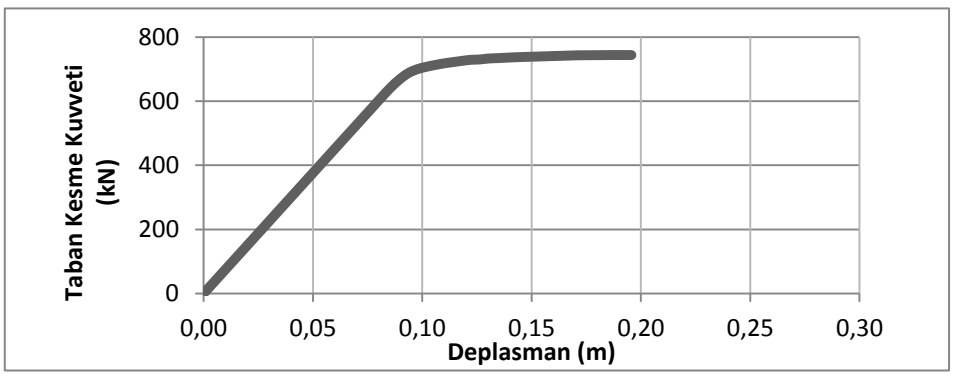
6. SAP 2000 programında yapılan analiz sonucu, plastik mafsal oluşumu sistemi göçme mekanizmasına geçirdiğinde analiz kesilir ve Şekil 8, 9, 10 ve 11'de gösterildiği gibi Bina-1 ve Bina-2'nin her iki doğrultusu için statik itme eğrileri elde edilmiş olur



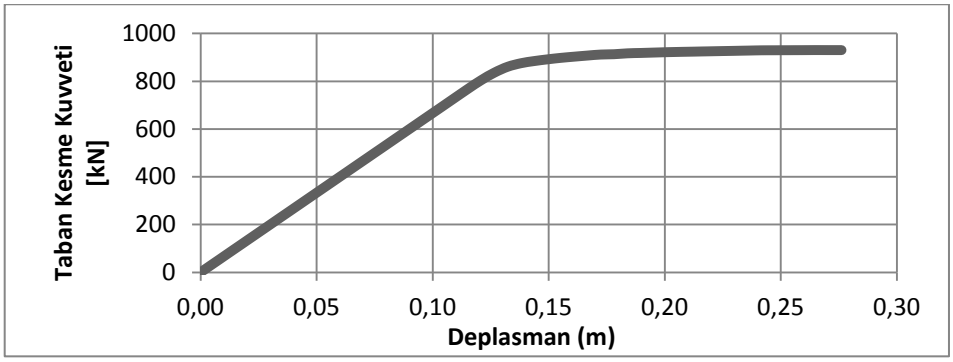
Şekil 7: SAP2000 Kiriş plastik mafsal veri girişi (SAP 2000 Data input of girder plastic link)



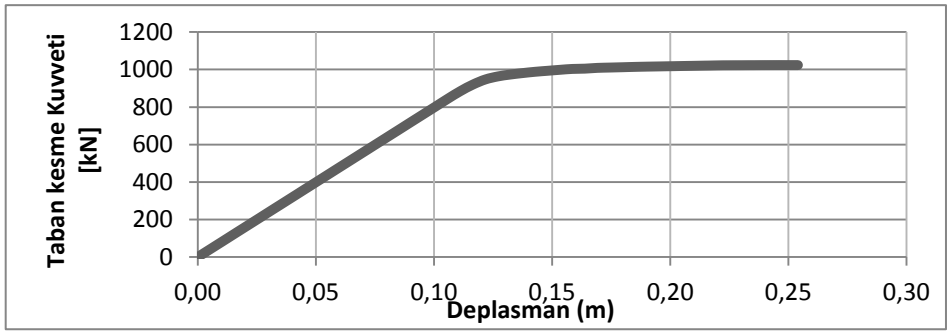
Şekil 8: Bina-1 X Yönü Statik itme (Push-Over) Eğrisi (Building 1 Curve of Push-Over at X direction)



Şekil 9: Bina-1 Y Yönü Statik itme (Push-Over) Eğrisi (Building 1 Curve of Push-Over at Y direction)



Şekil 10: Bina-2 X Yönü Statik itme (Push-Over) Eğrisi (Building 2 Curve of Push-Over at X direction)



Şekil 11: Bina-2 Y Yönü Statik itme (Push-Over) Eğrisi (Building 2 Curve of Push-Over at Y direction)

4. GERÇEK DEPREM KAYITLARININ ZAMAN TANIM ALANINDA ANALİZDE KULLANILMASI (EVALUATION OF SEISMIC RECORDS FOR TIME HISTORY ANALYSIS)

TDY 2007 Yönetmeliğinin [11] 2.9.2 bölümünde Zaman tanım alanında yapılacak deprem hesabı için kaydedilmiş depremler veya kaynak ve dalga yayılımı özellikleri fiziksel olarak benzeştirilmiş yer hareketleri kullanılabilir denilmektedir. Bu tür yer hareketleri üretilirken yerel zemin koşulları da uygun biçimde göz önüne alınmalıdır. Bu çalışma için PEER[12] veribankası'ndan seçilen depremler Çizelge 6'da sıralanmıştır.

No	Deprem	Tarih	İstasyon	Mag.	Mekanizma
1.	Imperial Valley-06	1979	El Centro Array #12	6.53	Strike-Slip
2.	Imperial Valley-06	1979	Westmorland	6.53	Strike-Slip
3.	Superstition Hills-02	1987	Westmorland	6.54	Strike-Slip
4.	Northridge_01	1994	El Monte –Fairview Av.	6.69	Strike-Slip
5.	Landers	1992	Amboy	7.28	Strike-Slip
6.	Northridge_01	1994	LA – Pico & Sentous	6.69	Reverse
7.	Imperial Valley-06	1979	El Centro Array #5	6.53	Strike-Slip
8.	Imperial Valley-06	1979	Brawley Airport	6.53	Strike-Slip
9.	Landers	1992	Baker Fire Station	7.28	Strike-Slip
10.	Imperial Valley-06	1992	Calipatria Fire Station	6.53	Strike-Slip

Kaydedilmiş veya benzeştirilmiş yer hareketlerinin kullanılması durumunda en az üç deprem yer hareketi üretilecek ve bunlar aşağıda verilen tüm koşulları sağlayacaktır denilmektedir.

(a) Kuvvetli yer hareketi kısmının süresi, binanın birinci doğal titreşim periyodunun 5 katından ve 15 saniyeden daha kısa olmamalıdır.

(b) Üretilen deprem yer hareketinin sıfır periyoda karşı gelen spektral ivme değerlerinin ortalaması Aog'den daha küçük olmamalıdır.

(c) Yapay olarak üretilen her bir ivme kaydına göre %5 sönüm oranı için yeniden bulunacak spektral ivme değerlerinin ortalaması, Sae(T) elastik spektral ivmelerinin %90'ından daha az olmamalıdır.

4.1.Veri Tabanından Kayıtların Seçilmesi (Seismic Records form Database)

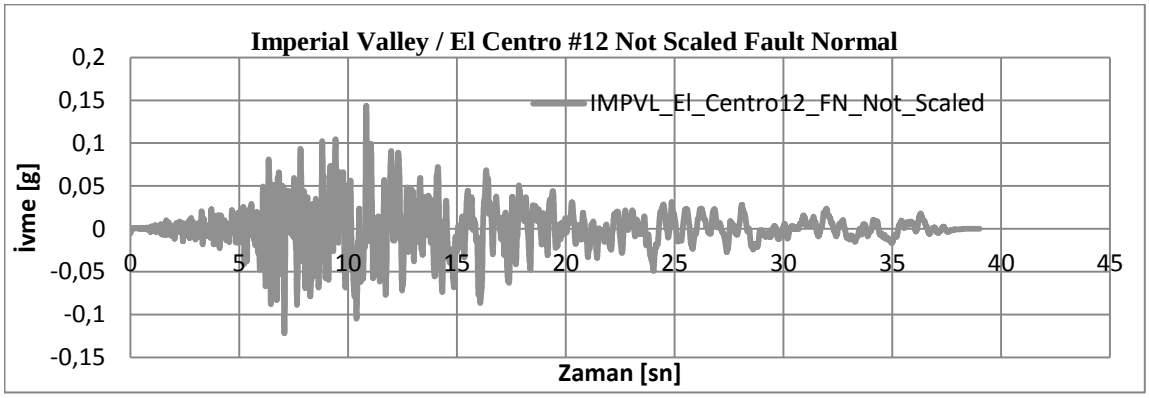
Bu çalışmada, Pasifik Deprem Mühendisliği Araştırma Merkezi (Pacific Earthquake Engineering Research (PEER) Center[11], kuvvetli yer hareketi veri bankasında bulunan deprem kayıtları kullanılmaktadır. Şekil-12'de faya dik Şekil-13'te ise faya paralel yönlerde seçilen depremlerden bazıları için ivme zaman grafikleri örnek olarak verilmiştir.

4.2. Yer Hareketinin Zaman Tanım Alanında Ölçeklenmesi (Scaled Records)

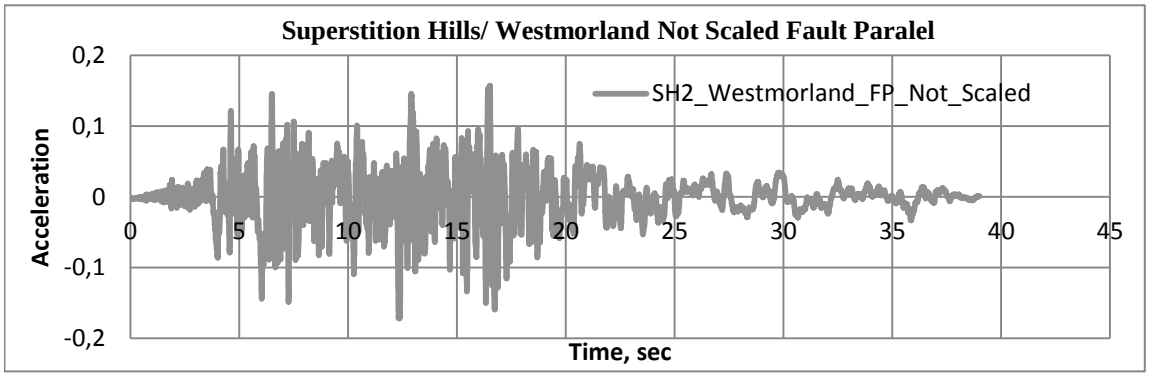
Bu yöntemde, yer hareketi kaydı aynı miktarda yukarı veya aşağı yönde ölçeklenerek istenilen periyot aralığında, hedef tasarım ivme spektrumuna en uygun eşleştirme yapılır. Bu işlem kaydın frekans içeriğini değiştirmez. Birden fazla deprem kaydı kullanılmak istendiğinde ise, her bir kayıt için ayrı ayrı ölçekleme işlemi yapılabileceği gibi hedef tasarım ivme spektrumuna en iyi uyan kayıtların ortalaması da kullanılabilir.

$$\alpha = \frac{\sum_{T=TA}^{TB} \left(Sa\ gerçek\ (T)\ \ Sa\ hedef\ (T)\right)}{\sum_{T=TA}^{TB} \left(Sa\ gerçek\ (T)\right)^2} \quad (8)$$

S_a^{hedef}:Hedef İvme Davranış Spektrumu
S_a^{hedef} : Kullanılacak gerçek deprem ivme kaydının ivme spektrumu
α :Doğrusal ölçekleme katsayısı
T: Salınım periyodu
TA: Ölçeklemenin yapılacağı periyot aralığının alt sınırı
TB: Ölçeklemenin yapılacağı periyot aralığının üst sınırı
Kayıtların Deprem Yönetmeliği'nde (DBYBHY, 2007)



Şekil 12: Imperial Valley Depremi El Centro istasyonu faya dik ölçeklenmemiş ivme kaydı (Imperial Valley Depremi El Centro station, acceleration record fault is not scaled vertically)



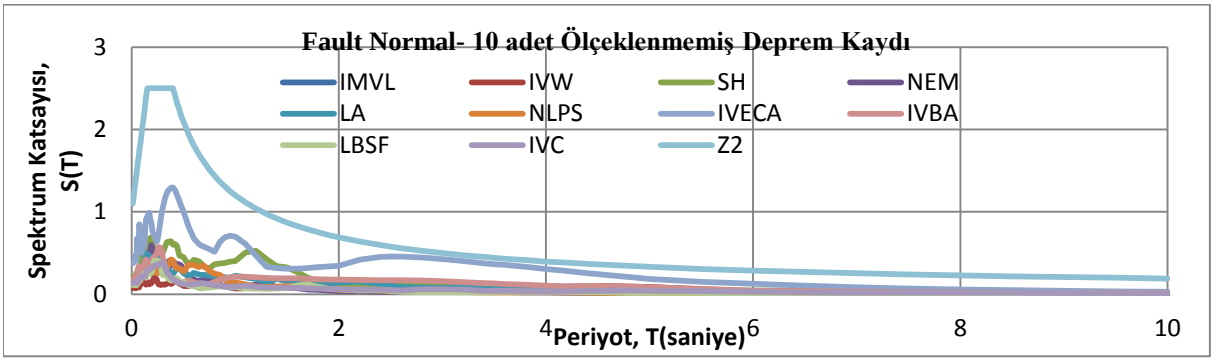
Şekil 13: Superstition Hills Dep. Westmorland ist. faya paralel ölçek. ivme kaydı (Superstition Hills Dep. Westmorland station, acceleration record fault scaled horizontally

Z2 zemin sınıfı için tanımlanmış tasarım ivme spektrumu ile uyuşumunu sağlamak için gereken α_{ST} katsayıları tablodan alınır. Seçilen deprem kaydının genlikleri, aşağıdaki formül ile hesaplanan α_{AT} ölçekleme katsayıları ile çarpılarak ölçeklenmiş kayıt elde edilmiş olur. Ölçekleme katsayıları, visual basic programında hazırlanmış bir program ile hesaplanmıştır. Ölçeklenmemiş kayıtların faya normal doğrultuda toplu gösterimine örnek Şekil-14'de verilmektedir. Ölçeklenmiş kayıtların faya paralel ve dik yönde toplu gösterimleri Şekil-15 ve Şekil-16'da verilmiştir.

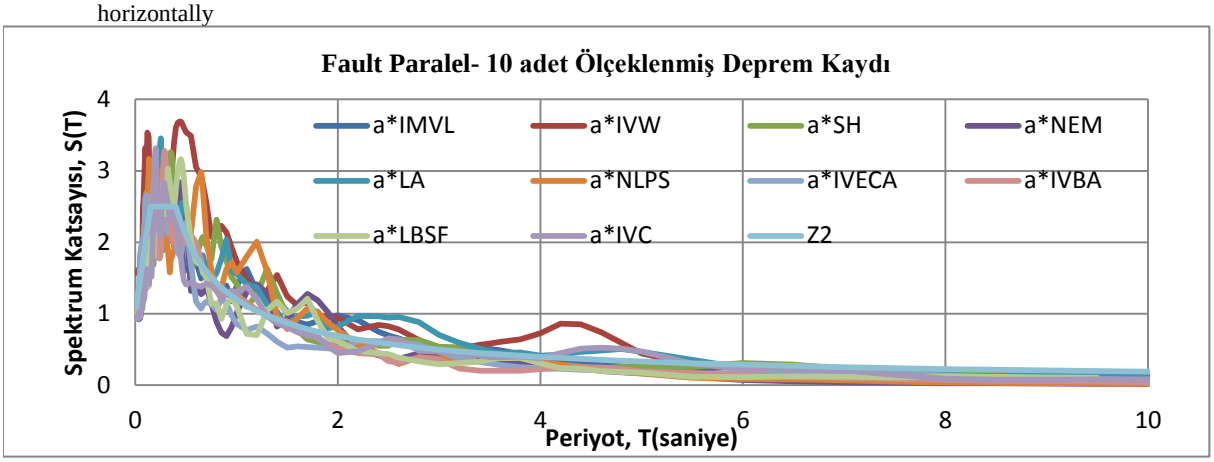
$$\alpha_{AT} = A_0 \, I \, \alpha_{ST} \quad (9)$$

4.3.Zaman Tanım Alanında Hesap İçin İvme Kaydı Verisinin Oluşturulması (Evaluation of Seismic Records for Time History Analysis)

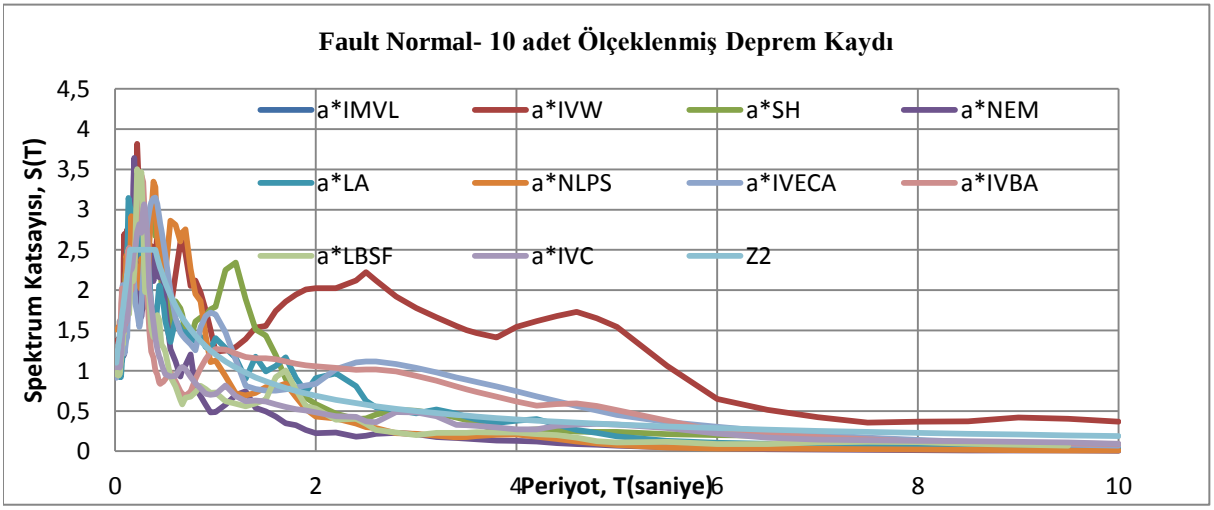
TDY 2007'nin 7.6.7 bölümünde detayları verildiği üzere Zaman Tanım Alanında Doğrusal Olmayan Hesap



Şekil 14: Faya normal yönde ölçeklenmemiş kayıtlar ve tasarım spektrumu (Records and design spectrum fault is not scaled horizontally



Şekil 15: Faya paralel yönde ölçeklenmiş kayıtlar ve tasarım spektrumu (Records and design spectrum fault scaled horizontally)



Şekil 16: Faya dik yönde ölçeklenmiş kayıtlar ve tasarım spektrumu (Records and design spectrum fault scaled vertically

Yönteminin amacı, taşıyıcı sistemdeki doğrusal olmayan davranış göz önüne alınarak sistemin hareket denkleminin adım adım entegre edilmesidir. Analiz sırasında her bir zaman artımında sistemde meydana gelen yer değiştirme, plastik şekil değiştirme ve iç kuvvetler ile bu büyüklüklerin deprem istemine karşı gelen maksimum değerleri hesaplanır.

Zaman tanım alanında doğrusal elastik olmayan analizde, taşıyıcı sistem elemanlarının tekrarlı yükler altındaki dinamik davranışını temsil eden iç kuvvet şekil değiştirme bağıntıları, teorik ve deneysel geçerlilikleri kanıtlanmış olmak kaydı ile ilgili literatürden yararlanılarak tanımlanır. Doğrusal veya doğrusal olmayan hesapta, üç yer hareketi kullanılması durumunda sonuçların maksimumu, en az yedi yer hareketi kullanılması durumunda ise sonuçların ortalaması tasarım ve değerlendirme için esas alınır.

TDY 2007'nin bölüm 2.9.3'de zaman tanım alanında doğrusal elastik olmayan hesap yapılması durumunda, taşıyıcı sistem elemanlarının tekrarlı yükler altındaki dinamik davranışını temsil eden iç kuvvet-şekil değiştirme bağıntıları, teorik ve deneysel geçerlilikleri kanıtlanmış olmak kaydı ile ilgili literatürden yararlanılarak tanımlanacaktır. Doğrusal veya doğrusal olmayan hesapta, üç yer hareketi kullanılması durumunda sonuçların maksimumu, en az yedi yer hareketi kullanılması durumunda ise sonuçların ortalaması tasarım için esas alınacaktır. Bu çalışmada 10 adet gerçek ölçeklenmiş deprem kaydı kullanıldığı için zaman tanım alanında hesap sonuçlarının ortalamalarının kullanılması TDY 2007'ye uygun olmaktadır.

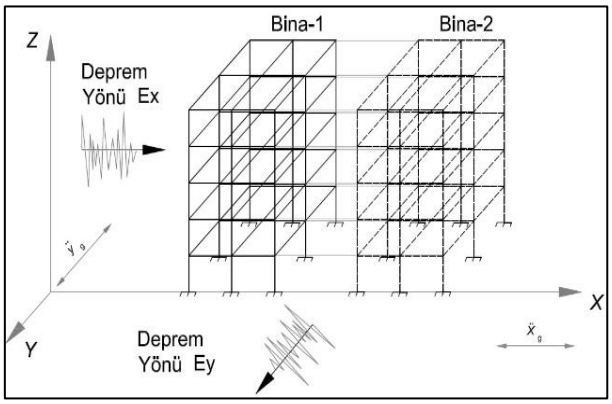
4.3.Blok Modeli ve Zaman Tanım Alanında Hesap (Interacted Model and Time History Analysis)

Deprem binalara Şekil-17'de gösterildiği gibi "X" yönünde geldiğinde, binalar arasında rijit bir linke bağlı bir sistem gibi hareket etmesi beklenmektedir."Y" doğrultusunda geldiğinde ise, binalar beton sürtünme kuvveti ile etkileşimde olması beklenmektedir.

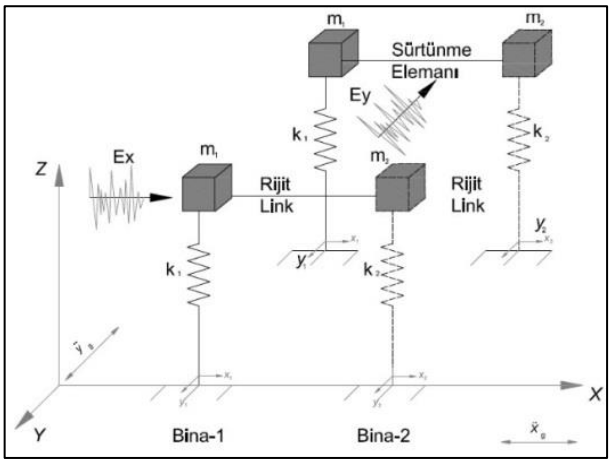
Birbirine komşu iki bina blok olarak incelenirken, Şekil 17 ve Şekil 18 'de gösterildiği gibi depremin geliş yönüne göre binaları birbirine bağladığı kabul edilen elemanlar rijit link ve sürtünme kuvveti olarak farklılık gösterirler. Blok modelinin hareket denklemlerini çıkartmak için Şekil- 19'da gösterildiği gibi tek serbestlik dereceli olarak modellenmiş binaların serbest cisim diyagramları çizilir.

Deprem kuvveti bu sürtünme kuvveti den büyük olduğunda binalar ayrı hareket eder.

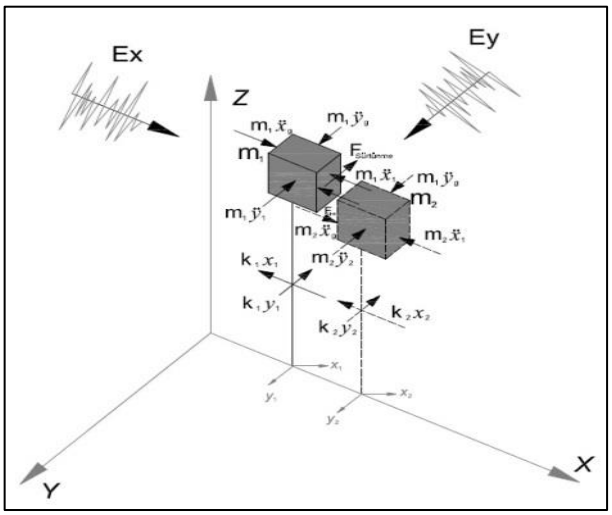
Eğer rijit linkte kuvvet varsa yani o yönde deprem varsa, sürtünme de vardır denilebilir. Rijit linkte kuvvet yoksa sürtünme de olmayacaktır.



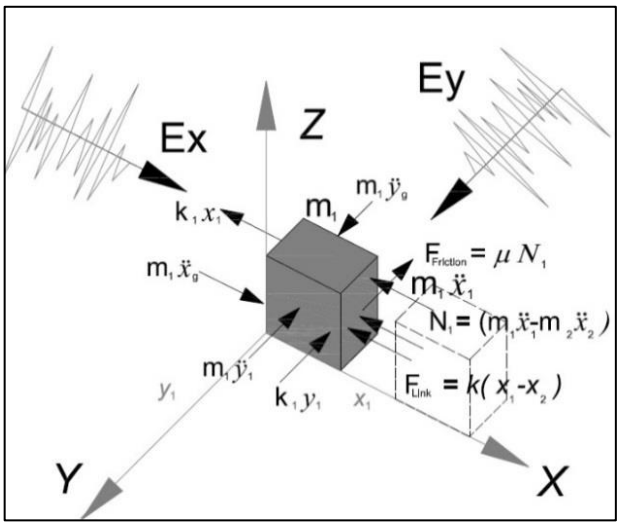
Şekil 17: Komşu iki binanın blok olarak modellenmesi Block modelling of two buildings side by side)



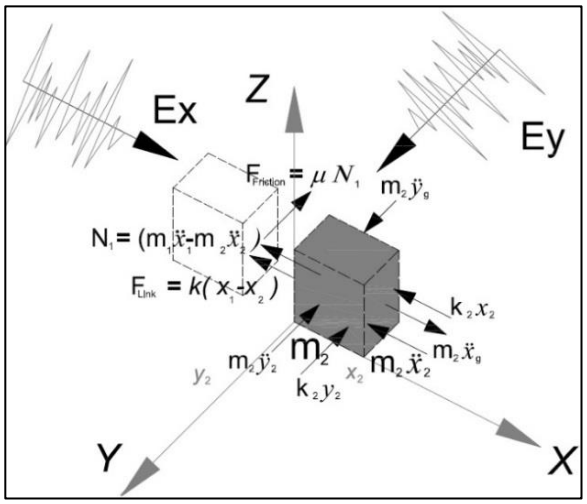
Şekil 18: Blok modelinin tek serbestlik dereceli (tsd) etkileşimli modeli (One degree of freedom interaction mode of block model)



Şekil 19: Serbest cisim diyagramı (Free body diagram)



Şekil 20: 1nolu kütle serbest cisim diyagramı (Free body diagram of No.1 object)



Şekil 21: 2nolu kütle serbest cisim diyagramı (Free body diagram of No.2 object)

Binalardaki sönüm kuvveti, etkileşim kuvvetlerini incelemek esas olduğundan ihmal edilmiştir.

$F_{Sürtünme} = F_S$, $F_S = -\mu\, N$,

$F_{Sürtünme} = F_S$

$F_S = -\mu\, N$ (10)

μ : Beton sürtünme katsayısı

N: Normal kuvvet

$F_{Link} = F_L$

$F_L = k\,(x_1 - x_2)$ (11)

$N = (m_1\ddot{x}_1 - m_2\ddot{x}_2)$ (12)

$F_S = -\mu\,(m_1\ddot{x}_1 - m_2\ddot{x}_2)$ (13)

$(m_1\ddot{x}_1 - m_2\ddot{x}_2) + k_1 x_1 + F_L = -m_1\ddot{x}_g$

$m_1\ddot{y}_1 + k_1 y_1 + F_S = -m_1\ddot{y}_g$ (14)

Aynı işlem m_2 kütlesi için Şekil-20'den hareket denklemlerini açılıp aşağıdaki şekilde düzenlenebilir;

$m_1\ddot{x}_1 - m_2\ddot{x}_2 + k\,x_1 + (k_2 - k)\,x_2 = -m_2\ddot{x}_g$

$m_2\ddot{y}_2 + k_2 y_2 - \mu\, m_1\ddot{x}_1 + \mu\, m_2\ddot{x}_2 = -m_2\ddot{y}_g$ (15)

m_1 ve m_2 kütlesi için hareket denklemlerini toplu olarak göstermek istersek matris formatında;

$$\begin{bmatrix} m_1 & 0 \\ 0 & m_2 \end{bmatrix}\begin{bmatrix} \ddot{y}_1 \\ \ddot{y}_2 \end{bmatrix} +$$

$$\begin{bmatrix} k_1 & 0 \\ 0 & k_2 \end{bmatrix}\begin{bmatrix} y_1 \\ y_2 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} -\mu\, m_1 & \mu\, m_2 \\ -\mu\, m_1 & \mu\, m_2 \end{bmatrix}\begin{bmatrix} \ddot{x}_1 \\ \ddot{x}_2 \end{bmatrix} = -$$

$$\begin{bmatrix} m_1 & 0 \\ 0 & m_2 \end{bmatrix}\ddot{y}_g \qquad (16)$$

$$\begin{bmatrix} m_1 & -m_2 \\ m_1 & m_2 \end{bmatrix}\begin{bmatrix} \ddot{x}_1 \\ \ddot{x}_2 \end{bmatrix} +$$

$$\begin{bmatrix} k_1 + 2k & -k \\ k & k_2 - 2k \end{bmatrix}\begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \end{bmatrix} = -\begin{bmatrix} m_1 & 0 \\ 0 & m_2 \end{bmatrix}\ddot{x}_g$$

Elastik olmayan sistemlerde hareket denklemi

$m\,\ddot{u} + c\,\dot{u} + f_s\,(u, \dot{u}) = p(t)$ (17)

Şeklini alır.

Denklem (17)'de **m** yapının kütlesini, **c** sönüm katsayısını, **k** rijitliğini, **u, u̇** ve **ü** sırayla yer değiştirme, hız ve ivmeyi göstermektedir. Doğrusal elastik sistemde dinamik harekete karşı koyan ve $\mathbf{f_s} = \mathbf{k\ u}$ bağıntısı ile tanımlanan kuvvetin elastik olmayan sistem için tek değerli olmayacağı, bu kuvvetin yapının yer değiştirme geçmişine ve hızına bağlı olduğu $\mathbf{f_s\ (u, \dot{u})}$ bağıntısı ile ifade edilmektedir.

Yapı sistemi **p(t)** dinamik kuvveti yerine yer hareketine maruz kalırsa,

$\underline{m}\,\underline{\ddot{u}} + \underline{c}\,\underline{\dot{u}} + \underline{f_s}\,(u, \dot{u}) = -\underline{m}1\ddot{u}_g\,(t)$ (18)

Denklemde **ı = [1 1 1....1]^T** etki vektörü, $\ddot{u}_g\ (t)$ yer ivmesidir.

t= 0 anında **u** = **u**(0) ve **u̇** = **u̇** (0) başlangıç koşulları dikkate alınarak yukarıda belirtilen hareket denkleminin çözümü ile zamana bağlı olarak değişen yer değiştirme vektörü **u**(t) elde edilir.

Newmark'ın [12] önerdiği sayısal integrasyon yöntemi bu çalışmada kullanılmıştır.

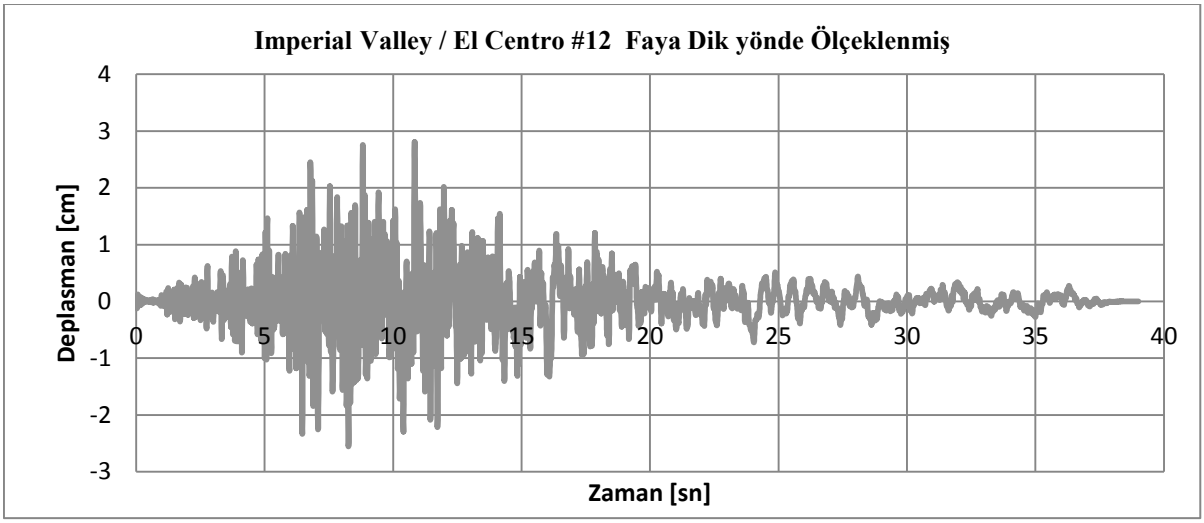
4.5. Faya Paralel(X) ve Faya Dik(Y) Yönde Sonuçların Özetlenmesi (Results at Fault Parallel and Fault Normal Directions)

Newmark-Beta [13] metot ile daha önceden ölçeklenmiş faya parallel ve faya dik yöndeki (FP & FN) ivme kayıtları kullanılarak Visual Basic'de yapılan program ile daha önceki bölümde verilmiş blok hareket denklemi sayısal olarak çözülmüştür. Burada gereksiz yer kaplamaması açısından PEER database 'den seçilen 10 adet depremden bir yöndeki ivme kaydı için sadece Bina-1'in deplasman grafiği Şekil-22'de verilmiştir.

4.6. Kırılganlık Eğrisi Analizi (Fragility Curve Analysis)

Depremlerde binalarda oluşabilecek çeşitli hasar seviyelerinin önceden tahmin edilmesinde kırılganlık eğrileri son dönemlerde uluslararası risk hesaplama merkezleri ve genel geçerlilik görmüş deprem yönetmelik ve enstitüleri tarafından yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu çalışmada İstanbul-Küçükçekmece ve, 5 katlı betonarme iki binaya ait mimari ve betonarme detaylar dikkate alınarak analitik Kırılganlık eğrileri oluşturulmuştur. Bu eğriler oluşturulurken genel kırılganlık eğrisi oluşturma yöntemlerinden farklı olarak Kırılganlık eğrileri itme eğrilerinin olasılıklı olarak ifade edilebilmesine imkân vermektedir. Kırılganlık analizlerinin yapılması, yapı kapasitesini ortaya koyan Medyan S^{-}AC ve logaritmik Standard sapma β_C sayesinde öteleme analizlerinin sonuçları ile yapının olası deprem karşısındaki davranışının daha iyi tahmin edilmesini mümkün hale getirmektedir.

Hafif Hasar sınırı, modal kapasite diyagramının doğrusallıktan ayrıldığı noktadaki modal yer değiştirme değeri olarak alınmıştır. Bu nokta yapı elemanlarında ilk akma durumuna karşılık gelir. Orta Hasar sınırı elastik rijitliği ve elastik ötesi rijitliği temsil eden iki doğru



Şekil 22: 1 no'lu bina için Imperial Valley depremi ElCentro istasyonu faya paralel yönde (X yönü) ölçeklenmiş ivme kaydına göre blok modelinden elde edilmiş sonuçlar (Imperial Valley Earthquake ElCentro station for No.1 Building, Results obtained from block model based on acceleration record scaled in parallel to the fault direciton (X direction

fazla sayıda bina verisi kullanmak yerine blok davranışı incelendiğinden aynı binaya (blok modeline) 10 adet farklı deprem etkitilerek veri havuzu oluşturulmuştur.

Yapısal güvenilirlik, olasılıklı model kullanılarak göçme olasılığının hesaplanması ile ifade edilebilir. Genellikle olasılıklı yapı kapasitesinin log-normal dağılım kullanılmaktadır. Bunun sebebi lognormal dağılımın nümerik uygulamalardaki kolaylığıdır. Olasılıklı modele göre yapı kapasitesi, iki ana parametreye bağlıdır Bunlar, Medyan ve logaritmik standard sapma β_C'dir. Bina kapasitesinin medyan değeri binaya etkiyen deprem yükünün Spektral ivmesi cinsinden öteleme eğrisinden elde edilir.

Yapıların kırılganlık analizleri, PGA değerleri ve limit durumları için SAR (Yapısal Tepki) ve SAC (Yapısal Kapasite)'yi geçme ihtimali üzerine kurulmuştur. Denklem 19'da bu gösterilmektedir.

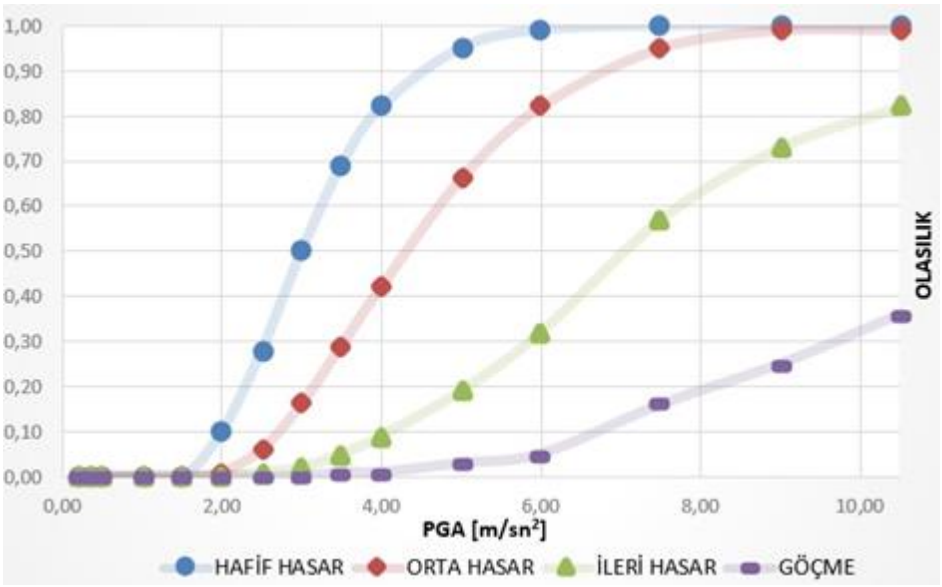
$$P_f = \phi \left[\frac{-ln\left(S_{\widetilde{AC}}/S_{\widetilde{AR}}\right)}{\sqrt{\left(\beta_C^2+\beta_R^2\right)}} \right] \qquad (19)$$

parçasının kesiştiği noktadaki modal yer değiştirme değeri olarak belirlenmiştir. Bu nokta aynı zamanda binanın akma taban kesme kuvveti kapasitesinin aşıldığı nokta olarak kabul edilmektedir. Göçme sınırı ise modal kapasite diyagramındaki nihai modal yer değiştirme değeri olarak alınmıştır. Bu noktaya gelindiğinde bina aşırı deformasyon sonucu göçer veya göçmeye çok yakın bir duruma gelir.

Depremde hasar-olasılık dağılımının lognormal dağılıma uyduğu varsayımına bağlı olarak Kırılganlık eğrileri genel olarak lognormal birikimli dağılım fonksiyonu ile ifade edilir. Blok için yapılan analizler sonucu olasılıklar Çizelge-9'da, kırılganlık eğrileride Şekil-23'te verilmiştir.

Çizelge 9: Olasılıkların Hesabı (Calculation of possibilities

I	II	III	IV
Hafif Hasar	Orta Hasar	İleri Hasar	Göçme
Normal Dağılım	Normal Dağılım	Normal Dağılım	Normal Dağılım
[(ln1-λ)/ζ]			
Olasılık-1	Olasılık-2	Olasılık-3	Olasılık-4
0,100	0,010	0,000	0,000
0,280	0,060	0,010	0,000
0,500	0,160	0,020	0,000
0,690	0,290	0,050	0,010
0,820	0,420	0,090	0,030
0,950	0,660	0,190	0,050
0,990	0,820	0,570	0,160
1,000	1,000	0,820	0,360



Şekil 23: Blok modeli için kırılganlık eğrileri (Fragility curves for block model

4. SONUÇLAR (RESULTS)

1)Zaman tanım alanında hesap yöntemi ile kırılganlık eğrileri ile belirlenen blok modelindeki 1 nolu ve 2 nolu bina için elde edilen sonuçlarda: özel bir durum olan taşıyıcı sistem elemanları, kütleleri, yükseklikleri benzer iki binanın blok modeline depremin blok boyunca geldiği durumda, binaların ayrı ayrı analizinden çıkan sonuçlarla karşılaştırıldığında, blok modelinin daha az deplasman yaptığı gözlemlenmiştir. Deprem kuvveti blok karşısından geldiğinde ise sonuçlarda önemli bir fark gözlemlenmemiştir.

2)Yapılan analizler sonucu olarak komşu binaların özel bir durumu olan çalışmada deprem etkisi ve hasarını azaltmak için birbirlerine bağlanması faydalı olabilmektedir.

3)Bitişik binaların özel bir durumu için yapılmış bu çalışmada deprem kuvveti blok boyunca geldiğinde birbirleri ile rijit bir link ile bağlı olduğu kabul edilen binaların, maruz kalması muhtemel deprem kuvvetine göre blok olarak davranabilmesi için optimum bir kuvvet bulunmaktadır. Bu nedenle komşu binaların blok davranışında deprem performansını artırmak için her katta bağlamak gerekmeyebilir.

5. KAYNAKLAR (REFERENCES)

[1] Pujades, L.G., Barbat, A.H., Gonza´lez-Drigo, R., Avila, J. and Lagomarsino, S. "Seismic performance of a block of buildings representative of the typical construction in the Eixample district in Barcelona (Spain)" ***Bulletin of Earthquake Engineering*** *10(1): 331–349,* (2012)

[2] Abdel Raheem S E., "Seismic Pounding Between Adjacent Building Structures" ***Electronic Journal of Structural Engineering***, pp. 66-74, (2006)

[3] Bhaskararao A.V. and Jangid R.S. "Seismic response of adjacent buildings connected with friction dampers" ***Bulletin of Earthquake Engineering,*** (2006)

[4] Chau, K. T., and Wei X. X. "Pounding of Structures Modeled as Non-linear Impacts of Two Oscillators" ***Earthquake Engineering and Structural Dynamics***, *Vol. 30:pp. 633 – 651,* (2001)

[5] Christenson, R. E., Spencer Jr., B. F., Johnson ,E. A. and Seto, K. "Coupled Building Control Considering the Effects of Building/Connector Configuration" ***Journal of structural engineering ASCE****, 132:6 (853),* (2006)

[6] Mouzakis, H.P. and Papadrakakis, M. "Three dimensional nonlinear building pounding with friction during earthquakes" ***Journal of Earthquake Engineering***. *8(1). 107-132,* (2004)

[7] Athanassiadou, C.J., Penelis, G.G., and Kappos A.J. "Seismic Response of Adjacent Buildings with Similar or Different Dynamic Characteristics" ***Earthquake Spectra***, *Vol. 10 (No. 2):pp. 293 – 317,* (1994)

[8] GoldSmith, W. "Impact: the Theory and Physical Behaviour of Colliding Solids" ***Edward Arnold, London, England***, (1960)

[9] Maison, B.F. and Kasai, K. Dynamics of pounding when two buildings collide. ***Earthquake Engineering & Structural Dynamics***. *21(9). 771-786*, (1992)

[10] Mander, J., Priestley, M.J.N., and Park.R. "Theoretical stress-strain model for confined concrete." ***Journal of structural engineering***, 114, 1804, (1988)

[11] TDY T. C. Bayındırlık ve İskan Bakanlığı, (2007)

[12] Pacific Earthquake Engineering Research (PEER) Center, http://peer.berkeley.edu/smcat/, (2006)

[13] Newmark, N.M and Hall, W.J., 1982, ***Earthquake Spectra and Design***, Earthquake Engineering Research Institute, Berkley,CA, (1982)