

Deprem Esnasında Çok Katlı Yapıların Çarpışması Etkisi

Hakan Özbaşaran

YÜKSEK LİSANS TEZİ

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Ağustos 2007

Pounding Effects of Multi-Storey Structures During Earthquakes

Hakan Özbaşaran

MASTER OF SCIENCE THESIS

Department of Civil Engineering

August 2007

Deprem Esnasında Çok Katlı Yapıların arpışması Etkisi

Hakan zbaşaran

Eskişehir Osmangazi Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Lisansüstü Yönetmeliğı Uyarınca
İnşaat Mühendisliğı Anabilim Dalı
Yapı Bilim Dalında
YÜKSEK LİSANS TEZİ
Olarak Hazırlanmıştır

Danışman: Yrd. Doç. Dr. Mizan DOĞAN

Ağustos 2007

Hakan Özbaşaran' ın YÜKSEK LİSANS tezi olarak hazırladığı “Deprem Esnasında Çok Katlı Yapıların Çarpışması Etkisi” başlıklı bu çalışma, jürimizce lisansüstü yönetmeliğinin ilgili maddeleri uyarınca değerlendirilerek kabul edilmiştir.

Üye : Yrd. Doç. Dr. Mizan DOĞAN

Üye : Prof. Dr. Eşref ÜNLÜOĞLU

Üye : Doç. Dr. Nevzat KIRAÇ

Üye : Yrd. Doç. Dr. D. Volkan OKUR

Üye : Yrd. Doç. Dr. İbrahim GÜNALTİ

Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun tarih ve sayılı kararıyla onaylanmıştır.

Prof. Dr. Abdurrahman KARAMANCIOĞLU

Enstitü Müdürü

ÖZET

Türkiye, yüksek sismik risk altında olan bir bölgede bulunmaktadır. Bu nedenle ülkemizde sürekli depremler olmakta ve bu depremler can ve mal kayıplarına sebep olmaktadır. Depremde yapıların hasar görmesinin en önemli sebeplerinden biri yapıların birbirine çarpmasıdır. Deprem esnasında hiç zarar görmeyecek kadar iyi projelendirilmiş ve imal edilmiş yapılar, yanlarındaki binanın çarpması sonucu hasar görmektedir. Bu çalışmada yapılar arasında meydana gelen çarpışmanın teorisi incelenmiş, bilgisayar ortamında değişik yapı modelleri üretilmiş ve çarpışmanın yapılar üzerindeki etkileri araştırılmıştır. Ayrıca yapıların çarpışmasını engellemek için bazı öneriler sunulmuştur.

Anahtar Kelimeler: Yapıların çarpışması, çarpışma hasarları

SUMMARY

Turkey is on a high seismic risk zone. As a reason of that, earthquakes happen in our country frequently and these earthquakes cause life and property loss. Pounding of structures is one of the important reasons of earthquake damages. Even well designed and properly constructed buildings which are capable for resisting such earthquakes are damaged because of structural poundings during earthquakes. In this paper; theory of structural pounding is studied, different structure types are modeled and solved by computer programs and effects of structural pounding on buildings are studied. Also some precautions are presented for preventing structural poundings.

Keywords: Structural pounding, pounding effects

TEŞEKKÜR

Lisans eğitimimden bu yana gerek derslerimde, gerek tez alıőmalarında, bana danıőmanlık ederek, beni ynlendiren ve her trl olanağı sağlayan danıőmanım Yrd. Do. Dr. Mizan DOĞAN 'a teőekkürü bir borç bilirim.

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
ÖZET	v
SUMMARY	vi
TEŞEKKÜR	vii
ŞEKİLLER DİZİNİ	x
ÇİZELGELER DİZİNİ	xiii
1. GİRİŞ	1
2. TÜRKİYE ‘NİN DEPREMSELLİĞİ	3
2.1. Türkiye ‘de sismik aktivite	3
2.2. Türkiye ‘de depremin sonuçları	5
3. ÇARPIŞMANIN TEORİSİ	8
3.1. Çarpışmanın tanımı	8
3.2. Çarpışmanın nedenleri	16
3.3. Yapılan çalışma ile ilgili kaynak taraması	27
3.4. Çarpışma durumunun modellenmesi	36
3.4.1. Tek serbestlik dereceli sistemler	39
3.4.2. İki serbestlik dereceli sistemler	44
3.5. Yapıların çarpışmasını engelleyici önlemler	47
3.5.1. Dilatasyon derzleri	47
3.5.2. Sismik izolatörler	54
4. ÇALIŞILAN MODEL	58
4.1. İzlenen yöntem	58
4.2. Sayısal sonuçlar	64
4.3. Sayısal sonuçların değerlendirilmesi	65
4.4. Çarpışma etkilerinin azaltması için bir yöntem	71
5. SONUÇLAR	80

İÇİNDEKİLER (devam)

	<u>Sayfa</u>
6. KAYNAKLAR DİZİNİ	81

ŞEKİLLER DİZİNİ

<u>Sekil</u>		<u>Sayfa</u>
2.1	Türkiye 'nin levha dizini	3
2.2	Türkiye deprem bölgeleri haritası	4
2.3	Türkiye 'de olmuş önemli depremler	5
2.4	Çeşitli bölgelerde çarpışma hasarları	7
3.1	Çarpışma durumu illüstrasyonları	8
3.2	Çarpışma sonucu hasar gören taşıyıcı sistem	9
3.3	Tek katlı yapının dinamik modeli	10
3.4	Farklı kat seviyesinde çarpışma durumu	10
3.5	İki katlı katı çerçeve modeli	11
3.6	Kat seviyesinde çarpışma durumu	12
3.7	1/2 kat yüksekliğinde çarpışma durumu	13
3.8	1/3 kat yüksekliğinde çarpışma durumu.....	14
3.9	2/3 kat yüksekliğinde çarpışma durumu	15
3.10	Deprem sırasında bitişik yapıların davranışı	16
3.11	Bitişik yapıların çarpışması ile meydana gelen hasarlar	17
3.12	Titreşim modları incelenen bitişik yapı modelleri	18
3.13	İki farklı yapının titreşim modlarının girişimi	19
3.14	4 ve 5 katlı modellerin kat deplasmanları	20
3.15	Çarpışma etkisi altında ara yapı	21
3.16	Devrilme sonucu meydana gelen çarpışma	22
3.17	Burulma düzensizliği sebebiyle çarpışma	24
3.18	Zayıf katın çökmesi sonucu meydana gelen çarpışma	26
3.19	Bitişik 4 köprü modeli	28
3.20	Matematik model	28
3.21	Elastik bağlantı elemanları	29
3.22	Çarpışma durumunun modellenmesi	30
3.23	Tek serbestlik dereceli çarpışma modeli	31
3.24	Çarpışma tehlikesi altında farklı kütleli bitişik yapılar	32
3.25	Farklı rijitliklerde iki bitişik yapı modeli	34
3.26	Viskoelastik sönümleyicide kuvvet dağılımı	36
3.27	Bir depremin İvme – Zaman grafiği	36

ŞEKİLLER DİZİNİ (devam)

<u>Şekil</u>	<u>Sayfa</u>
3.28 Tepki ivmesi grafiği	37
3.29 Yükleme durumları	38
3.30 Çeşitli yüklerin Kuvvet – Zaman grafikleri	38
3.31 Tek serbestlik dereceli çarpışma durumu	39
3.32 m_1 , m_2 ve m_3 kütlelerinin serbest cisim diyagramları	40
3.33 İki serbestlik dereceli çarpışma durumu modeli	44
3.34 Dilatasyon derzi	47
3.35 Bitişik yapılar	52
3.36 Yapı temelinde sismik izolasyon uygulaması	54
3.37 Yapı temelinde sismik izolasyon etkisi	55
3.38 Bazı sismik izolasyon yöntemleri	55
3.39 Sismik izolatörler	56
3.40 Çapraz bağlantılar	57
4.1 Çarpışma modelleri kabulü	58
4.2 Özel düğüm noktası modeli	59
4.3 Oluşturulan yapı modelleri	59
4.4 3 boyutlu modellerin genel kalıp planı	60
4.5 Oluşturulan bazı modellerin yatay deplasmanları	61
4.6 Oluşturulan bazı modellerin görelî deplasmanları	62
4.7 Kat sayısı – Çarpışma kuvveti grafiği	64
4.8 Çarpışma kuvvetlerinin iletimi	65
4.9 İki 20 katlı yapının çarpışma analizi	66
4.10 20 katlı ve 10 katlı iki yapının çarpışma analizi	67
4.11 20 katlı ve 4 katlı iki yapının çarpışma analizi	68
4.12 İki 10 katlı yapının çarpışma analizi	69
4.13 10 katlı ve 4 katlı iki yapının çarpışma analizi	70
4.14 2 katlı bitişik çerçeve modeli	71
4.15 Çarpışma anında oluşan maksimum gerilmeler	72
4.16 5 cm kalınlığında kauçukla yalıtılmış iki bitişik çerçeve	73
4.17 Çarpışma anında oluşan maksimum gerilmeler	74

ŞEKİLLER DİZİNİ (devam)

<u>Şekil</u>		<u>Sayfa</u>
4.18	10 cm kalınlığında kauçukla yalıtılmış iki çerçeve modeli	75
4.19	Çarpışma anında oluşan ani gerilmeler	76
4.20	5 cm sismik izolasyonlu farklı kat yükseklikli model	77
4.21	İzolasyonsuz farklı kat yükseklikli modelin çarpışma gerilme durumu	78
4.22	10 cm izolasyonlu farklı kat yükseklikli modelin çarpışma gerilme durumu	79

ÇİZELGELER DİZİNİ

<u>Çizelge</u>		<u>Sayfa</u>
2.1	Türkiye 'de olmuş önemli depremlerde görülen can ve mal kaybı	6
3.1	Modellerin titreşim modları	18
3.2	Titreşim modları ve kat deplasmanları analizi	20
3.3	Yapının planındaki (A Grubu) düzensizlikler	23
3.4	Düşey doğrultuda düzensizlik durumları	25
4.1	Oluşturulan bazı modellerde B2 düzensizliği kontrolü	63

BÖLÜM 1

GİRİŞ

Türkiye, deprem açısından çok aktif bir bölgede bulunmaktadır. Yüzölçümü olarak Türkiye'nin %42'si 1. derece, %25'ü 2. derece, %18'i 3. derece, %13'si 4. derece ve %2'si 5. derece deprem bölgesindedir. Dolayısı ile nüfusun %44'ü 1. derece, %26'sı 2. derece, %15'i 3. derece, %13'ü 4. derece ve %2'si 5. derece deprem bölgesinde yaşıyor.

Türkiye'deki endüstri alanlarının %51'i 1. derece deprem bölgesinde bulunmaktadır. %25'i 2. derece, %11'i 3. derece, %11'i 4. derece ve %2'si 5. derece deprem bölgesindedir. Bu denli yüksek sismik risk altında olan ülkemizde depreme dayanıklı yapılar inşa etmek için, yapıların projelendirme ve imalat aşamalarında daha çok özen gösterilmesi gerektiği açıktır.

Türkiye'de bugüne kadar yürürlüğe giren depreme dayanıklı yapı tasarımı ile ilgili yönetmeliklerde yapılar arasında bırakılması gereken boşluklar ve yapı düzensizlikleriyle ilgili maddeler olmasına rağmen, bugün bile şu an yürürlükte olan Deprem Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik (2007) [1] kurallarına uymayan yapı inşaatları devam etmektedir. Yönetmelikte bulunan yapı planında ve yapı boyunca olarak gruplandırılmış düzensizlik maddelerine dikkat edilmemekte ve kontrolleri yapılmamaktadır. Bu maddelere yapının projelendirme aşamasında uyulsa bile imalat çoğunlukla doğru yapılmamaktadır. Deprem esnasında düzensiz yapılarda burulmalar, farklı kat ötelenmeleri oluşmakta ve bu olumsuzluklar yapıyı depreme dayanıksız kılmaktadır. Ayrıca iki yapı arasında bırakılması gereken boşluk miktarı kurallarına da uyulmayarak olası bir depremde adeta yapıların çarpışmasına davetiye çıkarılmaktadır.

Bu çalışmada; aralarında boşluk bırakılmamış ya da yetersiz boşluk bırakılmış yapıların deprem sırasında farklı davranmaları sonucu meydana gelen yapısal çarpışmalar incelenmiştir. Yapısal çarpışmanın teorisi açıklanmış ve iki yapının değişik noktalarda çarpışması durumu için yapı elemanlarında oluşacak gerilme durumları, katı çerçeve modelleri üretilerek açıklanmıştır. Değişik ülkelerin yönetmeliklerinde bulunan çarpışma ile ilgili maddeler incelenmiş ve Türkiye'de yapılar arasında bırakılacak

boşluk hakkındaki maddeler bir örnek üzerinde irdelenmiştir. Çarpışmanın ana sebepleri incelenip etkileri tartışılmıştır. Bilgisayar ortamında 2, 4, 6, 8, 10, 12, 14, 16, 18 ve 20 katlı yapı modelleri üretilerek bu yapıların serbest salınım halinde yapacakları yer değiştirmeler hesaplanmış ve çarpışma simülasyonları yapılmıştır. Bütün bu çözümler ve analizlerin sonucu olarak yapısal çarpışmaların ortaya çıkardığı çarpışma kuvvetleri ve yapı elemanları üzerindeki etkileri hesaplanmış, alınması gereken önlemler sunulmuştur.

1. bölümde, çalışmaya bir giriş yapılmış ve çalışmada değinilen noktalar özetlenmiştir. 2. bölümde, Türkiye'nin sismik aktivitesi ve fay yerleşiminden, Türkiye'de olmuş depremlerin sonuçlarından bahsedilmiştir. 3. bölümde, bir matematik model üzerinde çarpışmanın teorisi ve farklı kat seviyelerinde çarpışma durumları için yapı elemanları üzerindeki gerilme değişimleri incelenmiştir. Ayrıca bu bölümde çarpışmanın nedenleri, çarpışmayı engellemek için alınabilecek önlemler açıklanmış ve konuyla ilgili yapılmış diğer çalışmalar incelenmiştir. 4. bölümde, farklı kat sayılarında yapı modelleri üretilerek, bilgisayar ortamında bu modellerin çarpışma simülasyonları yapılarak sonuçlar değerlendirilmiştir.

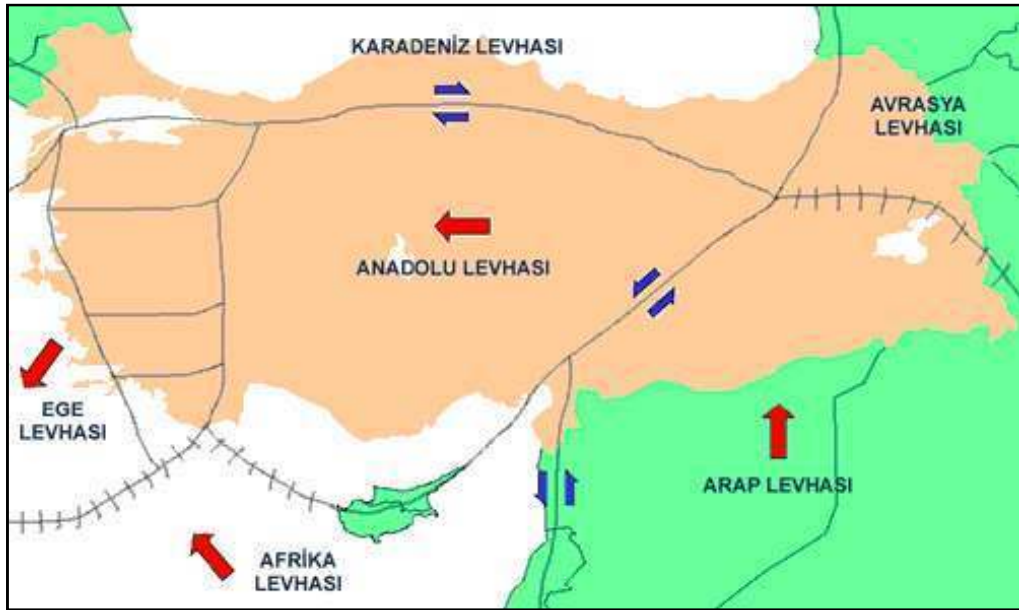
BÖLÜM 2

TÜRKİYE’NİN DEPREMSELLİĞİ

2.1 Türkiye’de sismik aktivite

Yerküre üzerinde oluşan depremlerin büyüklüğü ve neden oldukları zararlar göz önüne alındığında iki ana deprem kuşağı en çok ilgi çeken bölgelerdir. Bunlardan biri Büyük Okyanus’u çevreleyen ve özellikle Japonya üzerinde etkili olan Pasifik Deprem Kuşağı, diğeri ise Cebelitarık’tan Endonezya adalarına uzanan ve Türkiye’nin de içinde bulunduğu Akdeniz – Himalaya deprem kuşağıdır.

Türkiye’nin bulunduğu bölgede büyük levhalar arasında küçük birçok levha olması, Türkiye’nin büyük bir bölümünün deprem kuşağı içinde yer almasına neden olur. Türkiye üç büyük levhanın etkisi altındadır. Avrasya, Afrika ve Arap levhaları, Anadolu’nun büyük bir kısmının yer aldığı Anadolu levhası, Avrasya levhasının küçük bir bölümüdür (Şekil 2.1).

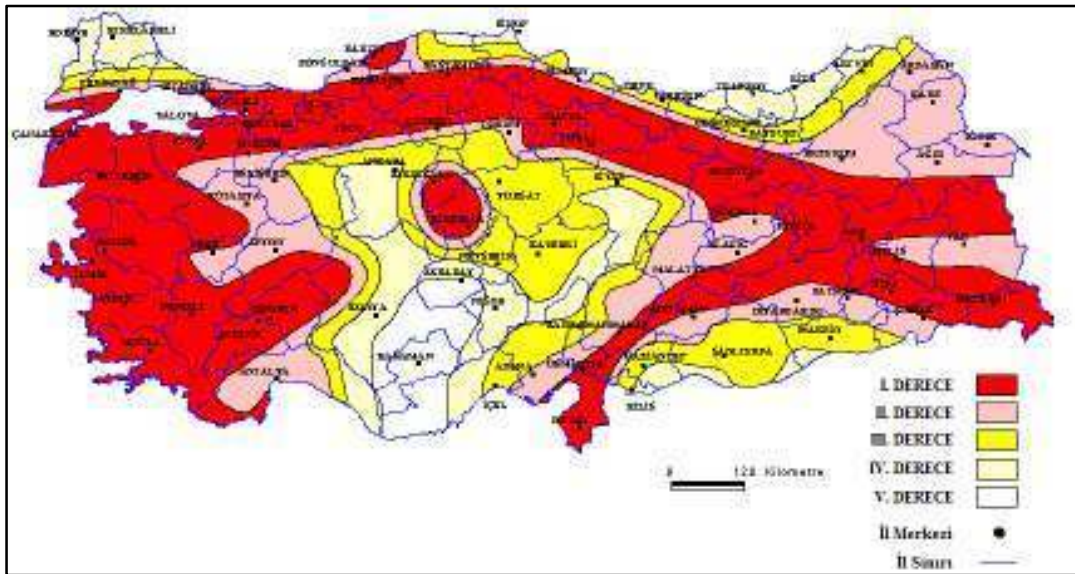


Şekil 2.1. Türkiye’nin levha sistemi

Bu levhalar arasındaki etkileşim şöyledir; Afrika levhası, Akdeniz’de Helenik – Kıbrıs denilen bölgede, Avrasya (veya onun bir parçası olan Anadolu) levhasının altına dalar. Arap levhası ise Kızıldeniz’deki açılma nedeniyle Kuzey’e doğru hareket eder ve Anadolu levhasını sıkıştırır. Bu sıkıştırma sonucu Bitlis Bindirme Zonu (Bitlis Kenet Kuşağı) oluşmuştur. Sıkıştırma halen sürdüğü için, Anadolu levhası Kuzey ve Güney’deki fay hatları boyunca batıya doğru hareket eder. Anadolu levhasının Kuzey sınırı, bir bölümünde 17 Ağustos depreminin oluştuğu Kuzey Anadolu Fayı’dır. Güney sınırını ise Helenik – Kıbrıs Yayı ile Doğu Anadolu Fayı oluşturur.

Arap levhasının sıkıştırması sonucu Batı’ya kayan Anadolu levhasının sınırlarında ve Afrika levhasının altına dalması sonucu Akdeniz’de ve Ege Graben Sistemi içerisinde depremler meydana gelir. Ancak Arap levhasının sıkıştırması bu bölgelerdeki hareketlenme ile tamamen telafi edilemediği için İç Anadolu ve Doğu Anadolu bölgelerinde de içsel deformasyon nedeniyle depremler olabilmektedir.

İşte bu levha sistemi ve levhaların aktiviteleri göz önünde bulundurularak hazırlanan Türkiye Deprem Bölgeleri Haritası; 18 Nisan 1996 tarihinde yürürlüğe girmiştir. Türkiye Deprem Bölgeleri Haritası; yapının projelendirilme aşamasında, yapının bulunduğu bölgeye göre hesaba katılması gereken deprem kuvvetlerini belirlemede en önemli rolü oynar (Şekil 2.2).



Şekil 2.2. Türkiye deprem bölgeleri haritası [24]

Harita, olası bir depremde karşılaşılabilecek beklenen ivme değerlerine göre 5 ayrı bölgeye ayrılmıştır. Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmeliğe (2007) göre hesap ivmeleri; 1. Derece deprem bölgesi için 0,40g, 2. Derece için 0,30g, 3. Derece için 0,20g ve 4. Derece deprem bölgesi için 0,10g olarak belirlenmiştir. 5. Derece deprem bölgesinde yapılacak yapılarda deprem hesabı yapılması zorunlu değildir.

2.2 Türkiye’de depremin sonuçları

Türkiye’de bugüne kadar olmuş depremlere bakıldığında (Şekil 2.3) büyüklüğü 6,0’ın üzerinde birçok depremin olduğu görülmektedir.



Şekil 2.3. Türkiye’de olmuş önemli depremler

Boğaziçi Üniversitesi Kandilli Rasathanesi ve Deprem Araştırma Enstitüsü Ulusal Deprem İzleme Merkezi kayıtlarına göre; Türkiye’de, 1900 yılından bu yana olan depremlerde toplam 82412 can kaybı olmuştur ve 550831 bina hasar görmüştür. Türkiye’de olmuş bazı önemli depremler Çizelge 2.1 ’de verilmiştir.

Çizelge 2.1. Türkiye’de olmuş önemli depremlerde görülen can ve mal kaybı

No	Tarih	Saat	Yer	Şiddet	Mag (Ms)	Can Kaybı	Hasarlı Bina
1	27.12.1939	01:57	ERZİNCAN	X-XI	7,9	32968	116720
2	17.08.1999	03:01	Gölcük (KOCAELİ)	X	7,8	17480	73342
3	24.11.1976	14:22	Muradiye (VAN)	IX	7,5	3840	9232
4	17.11.1999	18:57	DÜZCE	IX	7,5	763	35519
5	09.08.1912	03:29	Mürefte (TEKİRDAĞ)	X	7,3	216	5540
6	07.05.1930	00:34	TÜRK - İRAN SINIRI	X	7,2	2514	-
7	27.11.1943	00:20	Ladik (SAMSUN)	IX-X	7,2	4000	40000
8	01.02.1944	05:22	Gerede-Çerkeş (BOLU)	IX-X	7,2	3959	20865
9	18.03.1953	21:06	Yenice (ÇANAKKALE)	IX	7,2	265	6750
10	28.03.1970	23:02	Gediz (KÜTAHYA)	IX	7,2	1086	19291
11	25.04.1957	04:25	Fethiye Rodos (MUĞLA)	IX	7,1	67	3200
12	26.05.1957	08:33	Abant (BOLU)	IX	7,1	52	5200
13	20.12.1942	16:03	Erbaa (TOKAT)	IX	7,0	3000	32000
14	06.10.1964	16:31	Manyas (BALIKESİR)	IX	7,0	23	5398
15	04.10.1914	00:07	BURDUR	IX	6,9	300	6000

Depremlerde ağır hasar gören veya yıkılan yapıların sayısının çokluğu, ülkemizin deprem felaketine hazırlıksız yakalandığını göstermektedir. Bugüne kadar olan depremlerde yaşanan acı olaylara rağmen hala inşaat sektöründe deprem bilinci tam olarak yerleşmemiştir. İleri tarihlerde olabilecek depremlerde hasarı en aza indirmek için, büyük bir bölümü yüksek sismik risk altında olan ülkemizde, yeni yapılacak binaların projelendirme ve imalat aşamalarında gerek teknik kadro gerek imalat ekibi daha çok özen göstermeli ve yüksek performanslı yapılar inşa edilmelidir.

Bitişik olarak yapılmış yapıların sarsıntı sırasında çarpışarak birbirlerine zarar vermesi Çizelge 2.1 ‘deki can ve mal kaybı sayılarının önemli nedenlerindedir. Türkiye’de ve dünyada olmuş depremlerde gözlenen birçok çarpışma hasarı bu durumun kanıtıdır (Şekil 2.4). Cisimlerin çarpışma kuvvetleri, kütleleriyle orantılı olduğu için binalar birbirlerine büyük kütleleri sebebiyle çok büyük kuvvetlerle çarpılmaktadırlar. Bu çarpışmalar sonucu çarpışmanın şiddetine ve çarpışma noktasına bağlı olarak binalar hasar görür ya da çöker. Çarpışma durumunun çok ciddi bir tehlike olduğunun ve büyük çarpışma kuvvetlerinin ortaya çıkardığı enerjinin yapı elemanları tarafından hasarsız bir şekilde yutulmasının imkansız olduğunun bilincine varılmalıdır.



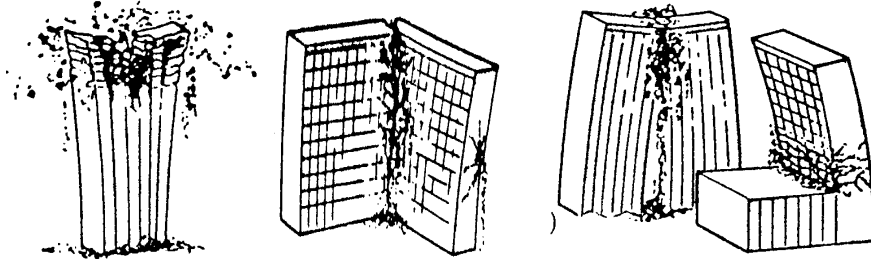
Şekil 2.4. Çeşitli bölgelerden çarpışma hasarları [21]

BÖLÜM 3

ÇARPIŞMANIN TEORİSİ

3.1 Çarpışmanın tanımı

Aralarında boşluk bırakılmamış ya da yetersiz boşluk bırakılmış yapıların deprem sırasında farklı davranmaları sonucu çarpışmaları, yapıların çarpışması başlığı altında incelenir (Şekil 3.1).



Şekil 3.1. Çarpışma durumu illüstrasyonları [21]

Çarpışmanın etkisi, çarpışan binaların kütlelerinin farklı olması, çarpışma etkisi altında olan binanın diğer binaların arasında olması veya köşe bina olması, çarpışan binaların toplam yüksekliklerinin farklı olması, çarpışan binaların kat yüksekliklerinin farklı olması, binalar arasında eksantrik çarpışma olması gibi durumlara göre değişkenlik gösterir.

Türkiye 'de şehir planlarına yukarıda bahsedilen durumlar hakimdir. Genel görünüm olarak toplam yükseklikleri farklı binalardan oluşan bitişik nizamlı hatlar caddeleri oluşturur. Bu hatlar içerisinde, yan yana inşa edilmiş farklı kat yüksekliklerine sahip birçok yapı bulunmaktadır. Elbette bu sözü geçen yapıların kütlelerinin aynı olmasını beklemek doğru değildir.

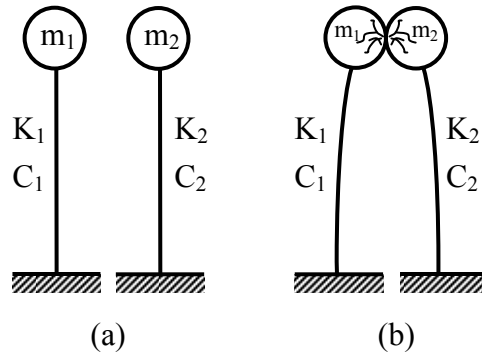
Bu kadar olumsuzluğun bir arada bulunması olası bir depremde binalarda oluşabilecek hasarlar açısından düşündürücüdür.

Çarpışma anında ortaya çok büyük bir enerji çıkar ve bu enerji çarpışan yapıların elemanları tarafından yutulur. Çoğunlukla bu enerji yığılması bazı yapı elemanlarının göçmesi ile sonuçlanır (Şekil 3.2). Bu sebeple, Türkiye’de bugüne kadar olmuş depremlerde çarpışma sebebiyle yüzlerce yapı ağır hasar görmüş ve onlarcası yıkılmıştır.



Şekil 3.2. Çarpışma sonucu hasar gören taşıyıcı sistem [21]

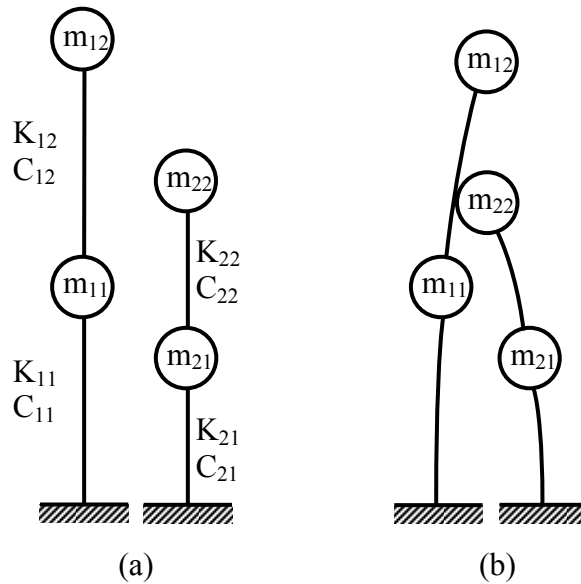
Yapıların dinamik davranışı incelenirken, hesap kolaylığı için yapıların kütlelerinin bir noktada yığıldığı düşünülmektedir (Şekil 3.3). Binalarda bu noktalar, kat seviyeleri olarak alınır. Böylelikle binanın her katı için bir kütle yığını tanımlanmış olur. Elbette her katın bir rijitliği ve sönümlenme katsayısı vardır.



Şekil 3.3. Tek katlı yapının dinamik modeli

a) Çarpışmadan önce, b) Çarpışma anı

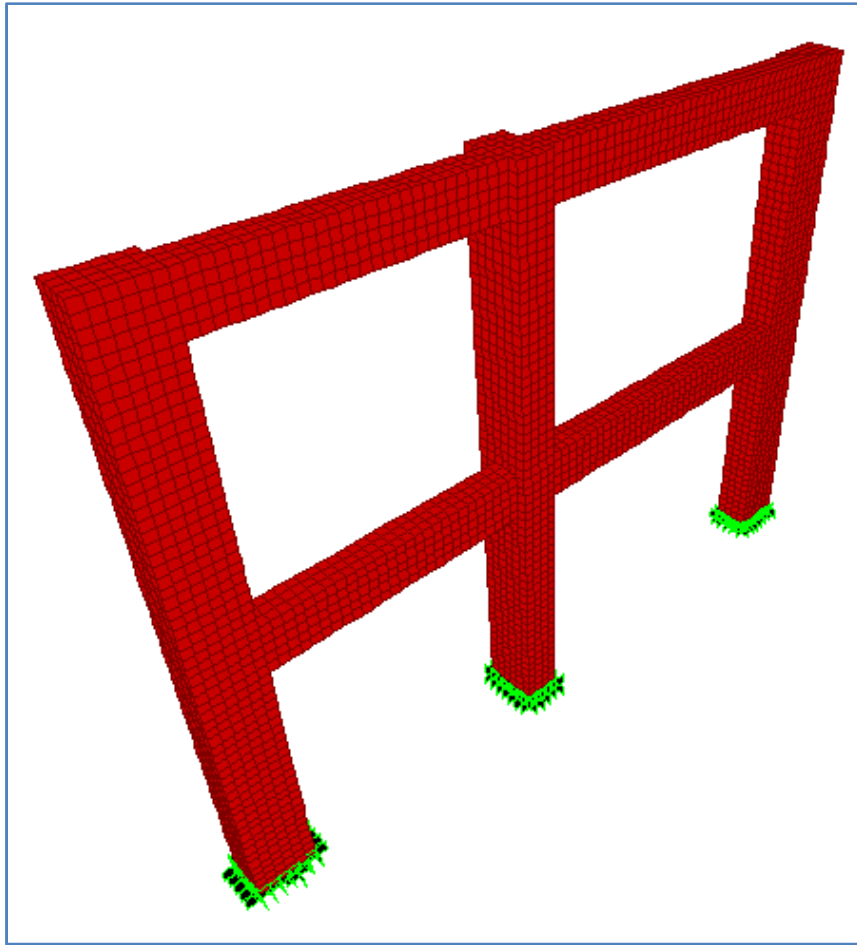
Çarpışma anında, ortaya çıkan enerjinin bir kısmı sönümlenir, geri kalanı ise çarpışma kuvvetini oluşturur. Bu durumun nasıl modelleneceği Bölüm 2.2 'de anlatılmıştır. Çarpışmanın etki derecesi, yapıların değişik kat seviyelerinde çarpışma durumları için farklıdır (Şekil 3.4).



Şekil 3.4. Farklı kat seviyesinde çarpışma durumu

a) Çarpışmadan önce, b) Çarpışma anı

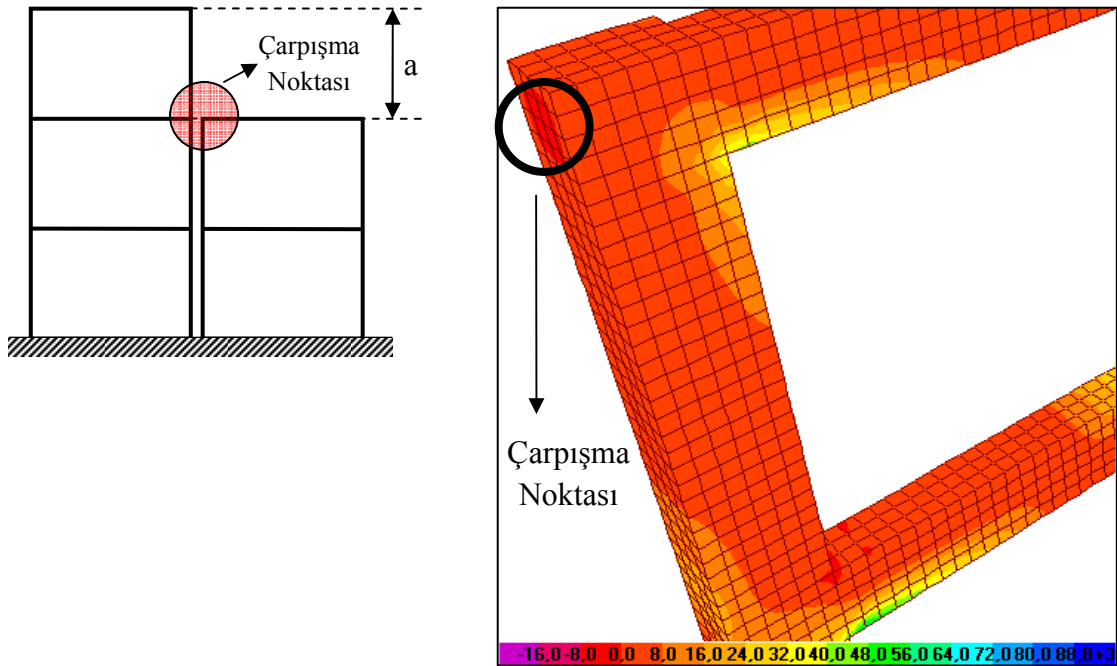
Çarpışma noktasına bağlı olarak, yapı elemanlarında farklı gerilmeler oluşur. İki yapının kat seviyesinde, 1/3, 1/2 ve 2/3 kat yüksekliklerinde çarpışma durumları arasındaki farklılıkları incelemek için SAP2000 (Structural Analysis Program) ile iki katlı bir katı çerçeve modeli üretilmiş ve çözülmüştür (Şekil 3.5). Model 40x60 kolonlardan ve 30x50 kirişlerden oluşmaktadır.



Şekil 3.5. İki katlı katı çerçeve modeli

Çerçeve modelini oluşturan yapı elemanları 10 x 10 x 10 cm 'lik küp elemanlardan oluşmaktadır. Yapı elemanlarının davranışını daha iyi inceleyebilmek için birim eleman boyutları küçük tutulmuştur.

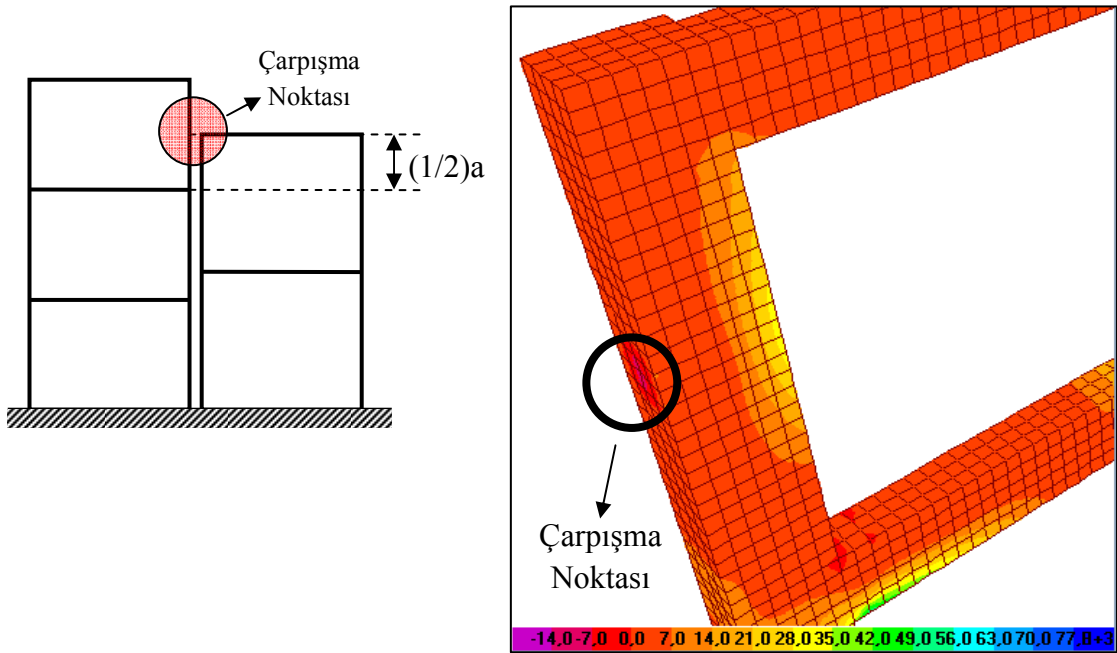
Şekil 3.6 'da iki bitişik yapının kat seviyesinde çarpışma durumu modellenmiştir. Siyah daire içine alınmış bölgeye 100 kN 'luk bir çarpışma kuvveti etkimesi sonucu oluşan gerilme durumu görülmektedir.



Şekil 3.6. Kat seviyesinde çarpışma durumu

Beklendiği üzere, düğüm noktasına etkiyen bir yatay yük sonucu maksimum gerilmeler düğüm noktalarında oluşmuştur. Eğer bir çarpışma durumu kesinlikle oluşacaksa, iki yapının düğüm noktalarının çarpışması istenen durumdur. Böylelikle çarpışma kuvveti direkt olarak bütün çerçeve elemanlarına aktarılır ve çarpışma kuvvetini sadece bir yapı elemanı değil, bütün çerçeve elemanları üstlenir. Kirişlerin çarpışma yükünü aksenal kuvvet olarak karşılaması bu durumun diğer durumlara göre daha olumlu olmasına yardım eder.

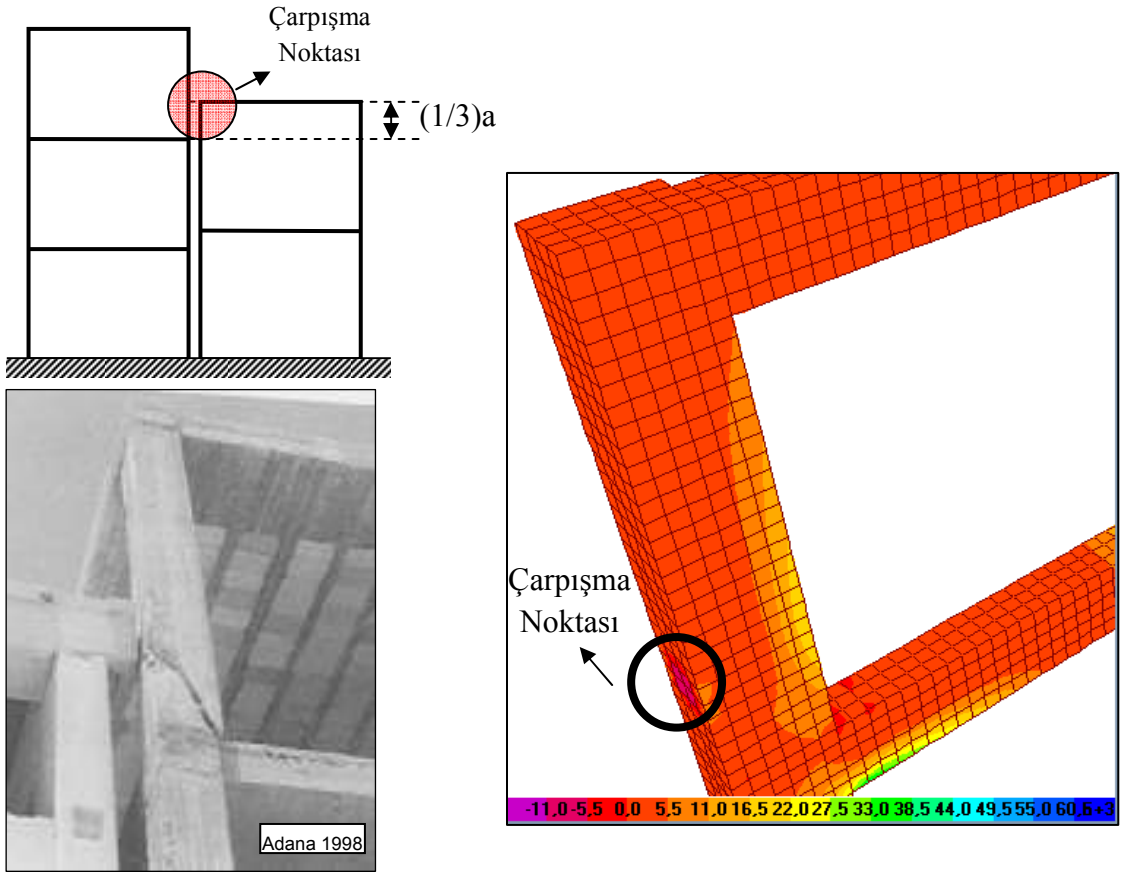
Şekil 3.7 'de ise bir binanın bitişiğindeki diğer binaya kat yüksekliğinin yarısında yine 100 kN 'luk bir kuvvetle çarpma durumu modellenmiştir.



Şekil 3.7. 1/2 kat yüksekliğinde çarpışma durumu

Bu durumda maksimum gerilmeler, yapının çarptığı kolonun orta kısmında toplanmıştır. Bu çarpışma durumunda çarpışma kuvvetini çarpışma elemanının yapıya aktarması gerekmektedir. Biliyoruz ki; bir cismin artan yükler altındaki davranışı, bu yüklerin artış hızına göre farklılık gösterir. Çarpışma, çok ani bir yükleme durumudur. Eğer çarpışma kolonun orta noktalarında meydana gelmişse, çarpışmaya maruz kalan kolonun orta kısmında toplanan gerilmeler kolonu çok hızlı bir şekilde eğilmeye zorlar. Bu ani yükleme durumuna, çarpışmaya maruz kalan yapı elemanı çoğunlukla cevap veremez ve kırılır. Kolon ortalarında sargı donatısı aralığının fazla olması sebebiyle dayanım açısından zayıf olması gibi nedenlerle bu çarpışma durumunun en kritik çarpışma durumu olduğu söylenebilir.

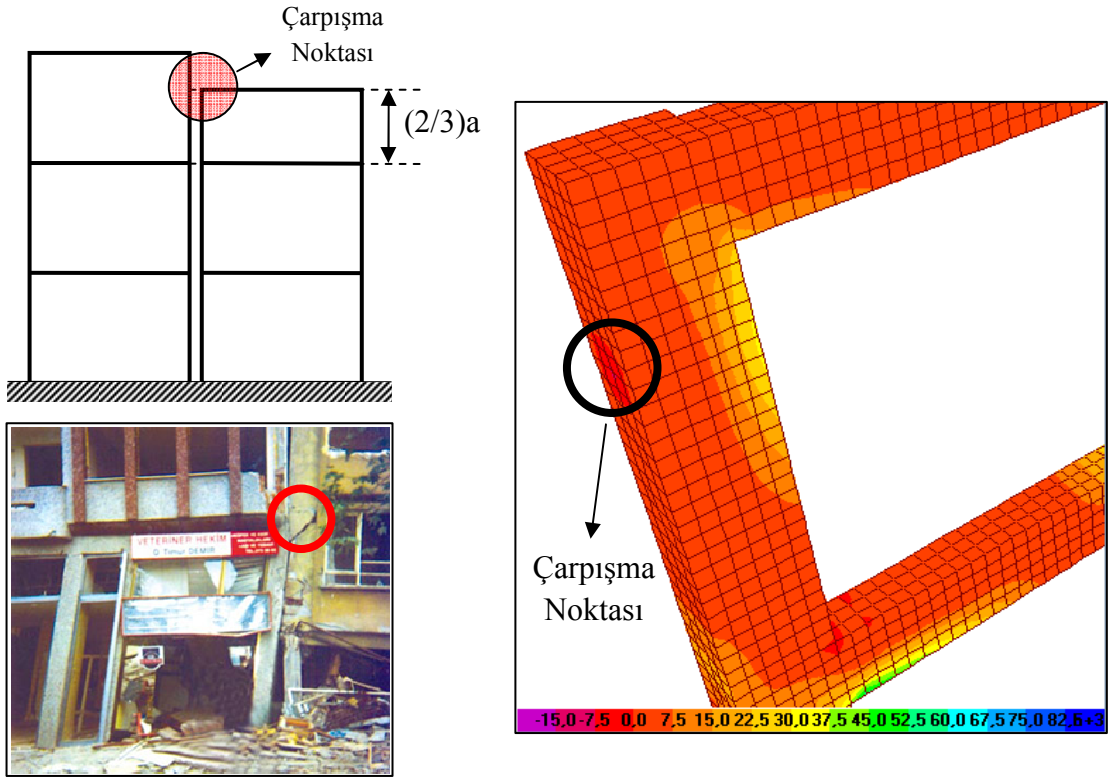
Şekil 3.8 'de bir binanın, diğer bitişik binaya 1/3 kat yüksekliğinde 100 kN 'luk bir kuvvetle çarpma durumu modellenmiştir.



Şekil 3.8. 1/3 kat yüksekliğinde çarpışma durumu

Şekil 3.8 'deki durumda maksimum gerilme bölgesi düğüm noktasına doğru kaymıştır. Bu durum orta nokta çarpışmasına göre daha olumludur. Yine bu çarpışma durumunda da kolonun çarpışma kuvvetini çerçeveye aktarması gerekmektedir. Fakat kolonların alt ve üst uçlarında etriye sıklaştırması yapılır ve bu bölgelerde üst (eğer varsa) ve alt katlardaki kolonların boyuna donatı filizleri uzanır. Bu nedenle kolonların alt ve üst uçlarından alınacak kesitlerin dayanımları kolon ortalarına göre daha yüksektir.

Aynı kuvvetle bir binanın, bitişiğindeki diğer binaya 2/3 kat yüksekliğinde çarpma durumu Şekil 3.9 'da verilmiştir.



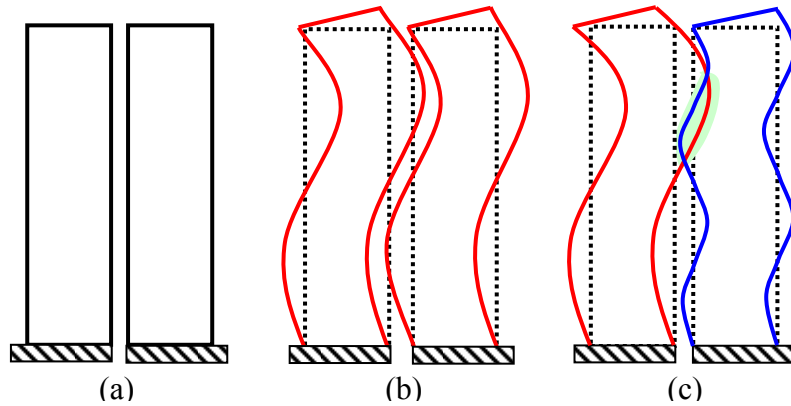
Şekil 3.9. 2/3 kat yüksekliğinde çarpışma durumu

Bu çarpışma durumunda da gerilmeler kolonun üst bölgesinde yığılmıştır ve karşılaşılan şartlar 1/3 kat yüksekliğinde çarpışma durumu ile hemen hemen aynıdır. Tabii ki bu durum da, orta bölge çarpışmasına göre daha olumlu bir durumdur.

Uygulamada, eğer binaların kat seviyeleri farklı olarak inşa edilmişse genellikle bu farklılıkların kat yüksekliğinin 1/3 'ü ya da 2/3 'ü kadar olduğu görülür. Bu durum bazı binalarda en alt katın iş yeri olarak dizayn edilmesi sonucu diğer katlardan biraz daha yüksek yapılması sonucu oluşur. Çünkü binalarda kat yükseklikleri şehir imar yönetmeliği kuralları ve maliyet sebebiyle neredeyse her binada aynıdır.

3.2 Çarpışmanın nedenleri

Yapısal çarpışmalar, yapılar arasında boşluk (dilatasyon derzi) bırakılmaması ya da yetersiz boşluk bırakılması sonucu, yapıların sismik yükler altında farklı periyotlarla salınması esnasında meydana gelmektedir (Şekil 3.10).



Şekil 3.10. Deprem sırasında bitişik yapıların davranışı

a) depremden önce, b) aynı sismik davranış, c) farklı sismik davranış

Yapıların deprem sırasındaki salınım periyotları yapının taşıyıcı sistemi, kütlesi gibi değişkenlere bağlı olduğundan iki bitişik yapının aynı periyotta salınma olasılığı yok denecek kadar azdır. Salınım esnasında, yapılar sanıldığı gibi her zaman en üst noktalarından çarpışmayabilir. Yapılar titreşim modlarına bağlı olarak farklı yüksekliklerde çarpışarak hasar görebilir. Bu da çarpışma kuvvetlerini ve çarpışmanın karakterini daha karmaşık hale getirir.

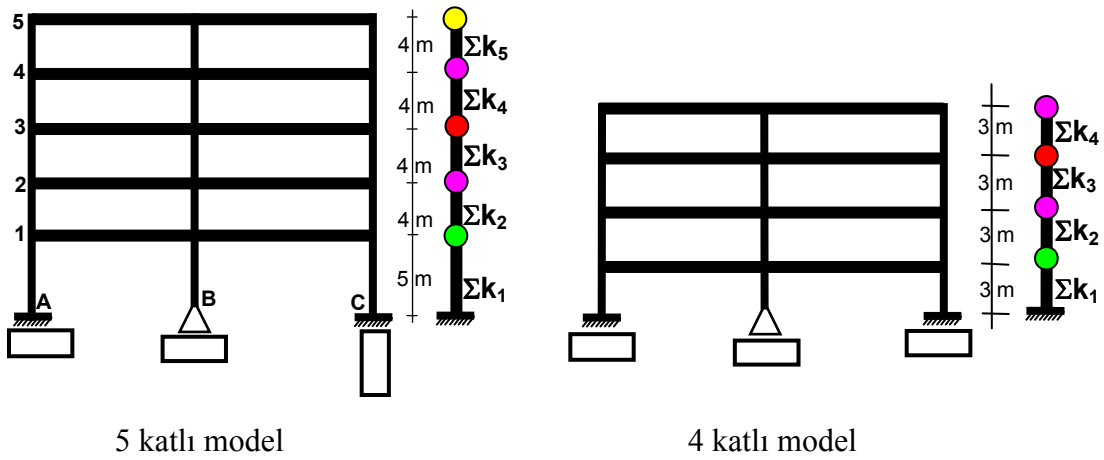
Fakat 1999 yılından önce, Türkiye’de yapıların statik ve dinamik hesapları yapılırken çarpışma durumu göz ardı edilmiştir. Hatta yapıların bitişik yapılmasının, deprem esnasında birbirlerinin yatay yük taşıma kapasitesini artırarak fayda sağlayacağı gerekçesiyle doğru olduğu düşünülmüştür. Bu düşüncenin yanlış olduğunu tarih boyunca olan depremler bize göstermiştir (Şekil 3.11).



Şekil 3.11. Bitişik yapılmış yapıların çarpışması ile meydana gelen hasarlar [21]

Şekil 3.11 'de görülen yapılar sarsıntı esnasında farklı periyotlarda ve karakterlerde salınmak istedikleri ve aralarında yetersiz boşluk bırakılarak inşa edildikleri için çarpışmışlardır.

Farklı salınım periyotları sebebiyle meydana gelen çarpışma durumunu daha açık ifade etmek gerekir. Bunun için; Depreme dayanıklı yapı tasarımı ders notları (Doğan, 2007) [21] derlemesinde bulunan, biri 5, diğeri 4 katlı olarak düzenlenmiş iki çerçeve modelinin ilk iki modlarının girişim durumunu ve buna bağlı olarak kat seviyelerinde yapacakları deplasmanları gösteren örneği inceleyelim (Şekil 3.12).



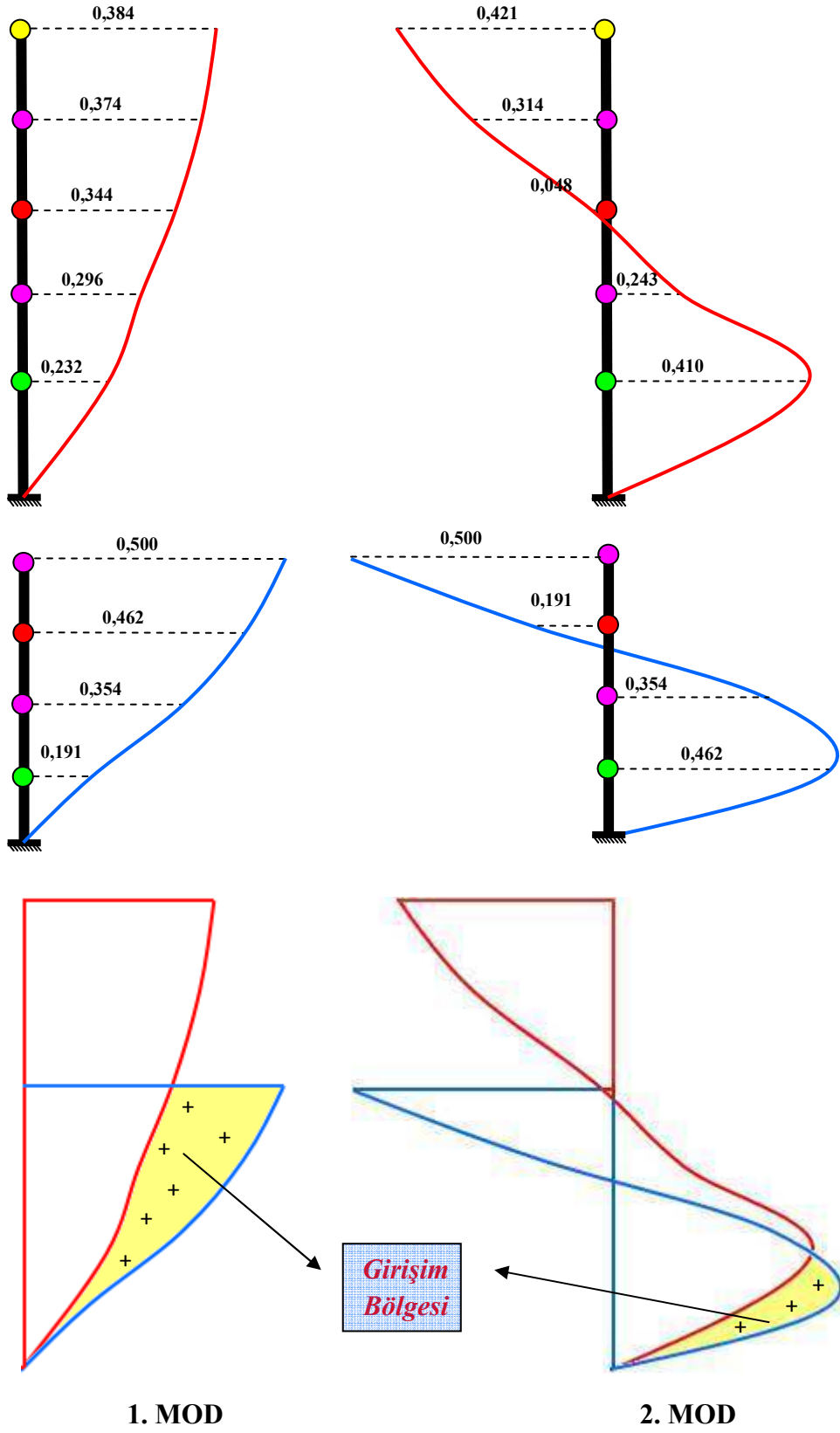
Şekil 3.12. Titreşim modları incelenen bitişik yapı modelleri [21]

Bu modellerin hesaplanan titreşim modları Çizelge 3.1 'de verilmiştir.

Çizelge 3.1. Modellerin titreşim modları

5 Katlı	Kat	Φ_1	Φ_2	Φ_3	Φ_4	Φ_5
	1	0.232	0.410	0.291	0.157	0.049
	2	0.296	0.243	-0.286	-0.473	-0.219
	3	0.344	-0.048	-0.417	0.277	0.359
	4	0.374	-0.314	0.102	0.219	-0.451
	5	0.384	-0.421	0.462	-0.478	0.483
4 Katlı	Kat	Φ_1	Φ_2	Φ_3	Φ_4	
	1	0.191	0.462	0.462	0.191	
	2	0.354	0.354	-0.354	-0.354	
	3	0.462	-0.191	-0.191	0.462	
	4	0.500	-0.500	0.500	-0.500	

Bulunan modların girişim durumu Şekil 3.13 'te şematize edilmiştir.



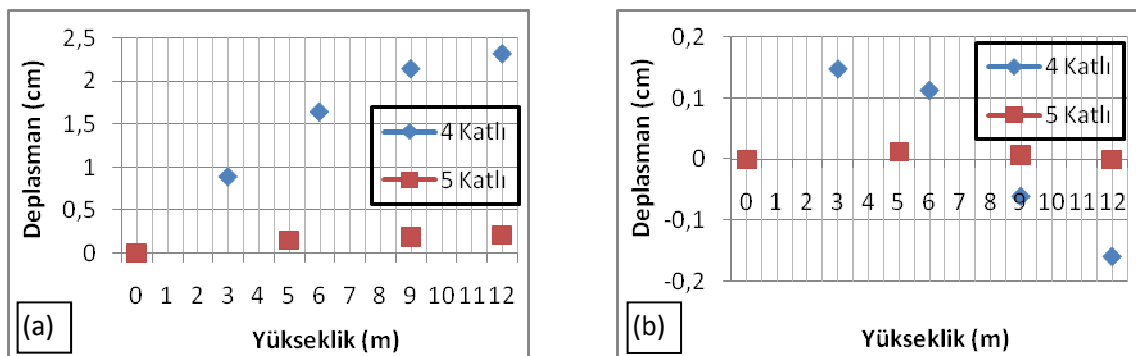
Şekil 3.13. İki farklı yapının titreşim modlarının girişimi

Bu iki yapının kat seviyelerindeki yer değiştirmeler ise Çizelge 3.2 'de verilmiştir.

Çizelge 3.2. Titreşim modları ve kat deplasmanları analizi

4 KATLI BİNA				5 KATLI BİNA			
Mod	Kat	Yükseklik (cm)	Deplasman (cm)	Mod	Kat	Yükseklik (cm)	Deplasman (cm)
1	1	300	0,888	1	1	500	0,150
	2	600	1,646		2	900	0,191
	3	900	2,148		3	1300	0,222
	4	1200	2,325		4	1700	0,241
2	1	300	0,148	2	5	2100	0,247
	2	600	0,113		1	500	0,012
	3	900	-0,061		2	900	0,007
	4	1200	-0,160		3	1300	-0,001
			4		1700	-0,009	
			5	2100	-0,012		

Sözü geçen biri 4 diğeri 5 katlı iki yapının bitişik olarak yapıldığını düşünürsek, Çizelge 3.2 'de de görüldüğü gibi yapacakları farklı deplasmanlar sebebiyle çarpışmaları kaçınılmazdır (Şekil 3.14).



Şekil 3.14. 4 ve 5 katlı modellerin kat deplasmanları a) 1. mod, b) 2. mod

Çözülen iki çerçeve modeli gösteriyor ki; iki farklı yapının deprem esnasındaki davranışlarının aynı olması çok zordur. Pratikte iki bitişik yapının sismik davranışlarının farklı olacağı gerçeğinden yola çıkılarak, yapılaşmanın bitişik nizam olduğu yerleşim yerlerinde – örneğin Eskişehir – deprem sırasında yapıların çarpışmasının kaçınılmaz olduğu söylenebilir (Şekil 3.15).



Şekil 3.15. Çarpışma etkisi altında ara yapı [22]

Bazen yapılar arasında bırakılması gereken boşluklar doğru hesaplanırsa bile, imalat ekibi bu boşlukları bırakma konusunda hassas davranmayabilir. Bu tür durumlara engel olmak için teknik ekip, inşaat aşamasında sürekli yapıyı gözetim altında tutmalı ve imalat ekibine gereken eğitimi vermelidir.

Çarpışmalar, yapılar arasında yetersiz boşluk bırakılmasından veya hiç boşluk bırakılmamasından kaynaklanacağı gibi yeterli boşluk bırakıldığı halde bir yapının diğerinin üzerine devrilmesi sonucunda da meydana gelebilir (Şekil 3.16)



Şekil 3.16. Devrilme sonucu meydana gelen çarpışma [22]

Hesapları yaparken, yapının devrilme olasılığını da göz önünde bulunduracak olursak, yapılar arasında bırakılması gereken boşluğun en yüksek yapının yüksekliği kadar olması gerektiği gündeme gelir ki; böylesine bir düzenleme de bir yapı için kullanılması gereken alan konusunda verimli değildir.

Daha önceden var olan bir binanın yanına yapılacak yeni bir binanın projelendirme aşamasında, bu iki bina arasında bırakılacak boşluk hesap edilirken daha önceden yapılmış binanın deprem davranışı tahmin edilmeye çalışılır. Çünkü çoğu zaman mevcut binanın taşıyıcı sistem çözümlerine ulaşmak çok zordur. Eğer daha önceden yapılmış binada düzensizlikler bulunuyorsa, depremde yapacağı şekil değiştirmeler üzerinde fikir yürütmek zorlaşır. Yapıda bulunan düzensizliklerin, yapının deprem sırasındaki davranışına olan etkilerini iyi kavramak için önce yapısal düzensizlikleri iyi incelemek gerekir.

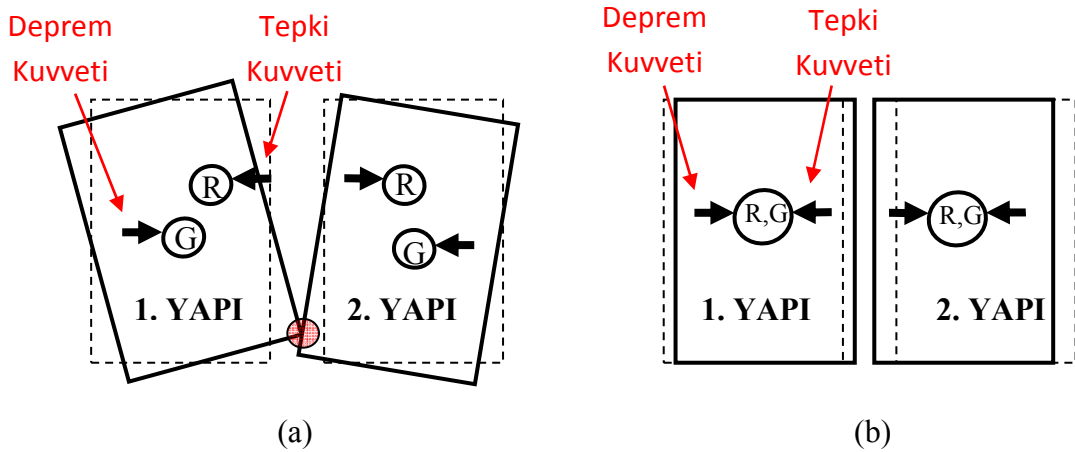
Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik (2007) [1] 'e göre yapıda bulunabilecek düzensizlikler A ve B grubu düzensizlikler olmak üzere ikiye

ayrılmıştır. A grubu düzensizlikler planda, B grubu düzensizlikler ise düşey doğrultuda görülen düzensizliklerdir. A Grubu düzensizlikler, Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik (2007) [1] 'de tanımlandığı haliyle Çizelge 3.3 'te verilmiştir.

Çizelge 3.3. Yapının planındaki (A Grubu) düzensizlikler

<p><u>A1 - Burulma Düzensizliği :</u></p> <p>Birbirine dik iki deprem doğrultusunun herhangi biri için, herhangi bir katta en büyük görelî kat ötelemesinin o katta aynı doğrultudaki ortalama görelî ötelemeye oranını ifade eden Burulma Düzensizliği Katsayısı η_{bi} 'nin 1,2'den büyük olması durumu.</p>
<p><u>A2 - Döşeme Süreksizlikleri :</u></p> <p>Herhangi bir kattaki döşemede;</p> <p>I - Merdiven ve asansör boşlukları dahil, boşluk alanları toplamının kat brüt alanının 1/3'ünden fazla olması durumu,</p> <p>II - Deprem yüklerinin düşey taşıyıcı sistem elemanlarına güvenle aktarılabilmesini güçleştiren yerel döşeme boşluklarının bulunması durumu,</p> <p>III - Döşemenin düzlem içi rijitlik ve dayanımında ani azalmaların olması durumu.</p>
<p><u>A3 - Planda Çıkıntılar Bulunması :</u></p> <p>Bina kat planlarında çıkıntı yapan kısımların birbirine dik iki doğrultudaki boyutlarının her ikisinin de, binanın o katının aynı doğrultulardaki toplam plan boyutlarının %20'sinden daha büyük olması durumu.</p>

İki bitişik yapının birinde veya her ikisinde A1 – Burulma Düzensizliği bulunduğu takdirde, bu yapı veya yapılarda rijitlik ve ağırlık merkezleri çakışık olmadığından deprem sırasında yapıda burulma şekil değiştirmeleri meydana gelecektir. Bu burulma şekil değiştirmeleri çarpışmalara neden olabilir (Şekil 3.17).



Şekil 3.17. Burulma düzensizliği sebebiyle çarpışma a) Rijitlik ve ağırlık merkezleri çakışık olmayan bitişik yapılar, b) Rijitlik ve ağırlık merkezleri çakışık bitişik yapılar

Yapılarda birbirinden farklı dayanım gösteren katlar, birbirinden farklı deplasman yapan kat seviyeleri ve süreksiz taşıyıcı elemanlar yüzünden, yapılar düzensiz davranış gösterebilirler. Örneğin diğerlerinden daha yüksek yapılmış bir kat diğer katlara göre daha fazla deplasman yapacaktır veya tuğla örülmemiş bir katın yatay yöndeki dayanımı diğer tuğla örülmüş katların dayanımına göre daha az olacaktır. Bu tip düzensizlikleri yapının düşey doğrultusunda bulunan düzensizlikler olarak sınıflandırmak mümkündür.

Düşey doğrultudaki düzensizlikler, Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik (2007) [1] 'de tanımlandığı haliyle Çizelge 3.4 'te verilmiştir.

Çizelge 3.4. Düşey doğrultuda düzensizlik durumları

B1 - Komşu Katlar Arası Dayanım Düzensizliği (Zayıf Kat) :

Betonarme binalarda, birbirine dik iki deprem doğrultusunun herhangi birinde, herhangi bir kattaki etkili kesme alanı'nın, bir üst kattaki etkili kesme alanı'na oranı olarak tanımlanan Dayanım Düzensizliği Katsayısı η_{ci} 'nin 0,80'den küçük olması durumu.

B2 – Komşu Katlar Arası Rijitlik Düzensizliği (Yumuşak Kat) :

Birbirine dik iki deprem doğrultusunun herhangi biri için, herhangi bir i'inci kattaki ortalama görelî kat ötelemesinin bir üst kattaki ortalama görelî kat ötelemesine oranı olarak tanımlanan Rijitlik Düzensizliği Katsayısı η_{ki} 'nin 1,5'tan fazla olması durumu.

B3 - Taşıyıcı Sistemin Düşey Elemanlarının Süreksizliği :

Taşıyıcı sistemin düşey elemanlarının (kolon veya perdelerin) bazı katlarda kaldırılarak kirişlerin veya guseli kolonların üstüne veya ucuna oturtulması, ya da üst kattaki perdelerin altta kolonlara veya kirişlere oturtulması durumu.

Komşu katlar arası rijitlik düzensizliği bulunan yapılardaki yumuşak katlar, deprem sırasında çok fazla ötelenerek yapıların çarpışmasına sebep olabilir (Şekil 3.18).



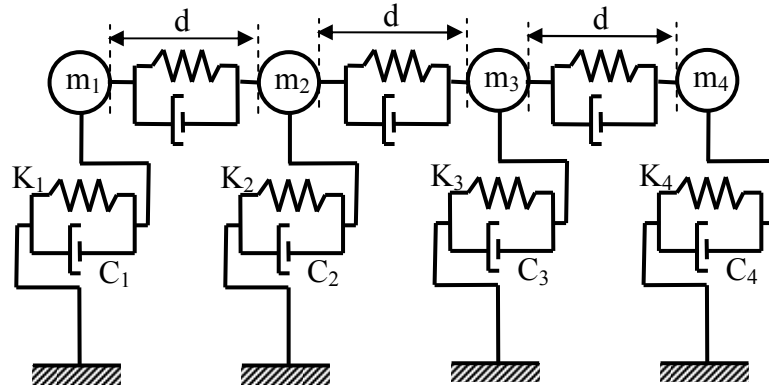
Şekil 3.18. Zayıf katın çökmesi sonucu meydana gelen çarpışma [22]

3.3 Yapılan çalışma ile ilgili kaynak taraması

Türkiye’de olan önemli depremlerde hasar gören yapılar incelendiğinde birçok yapısal hasarın, ilgili yapının yanındaki diğer yapı veya yapılar ile çarpışması sonucu meydana geldiği görülmüştür. Deprem sırasında serbestçe salınım yapabilse iyi bir performans sergileyebilecek kapasitede olan yapılar, çarpışma sebebiyle yıkılmış ya da ağır hasar görmüştür. Aslında gerekli önlemler alındığında asla karşılaşılmayacak olan bu durum, ülkemizde büyük can ve mal kaybına neden olmuştur. Bu nedenle yapısal çarpışmalar, üzerinde durulması gereken bir konu haline gelmiştir.

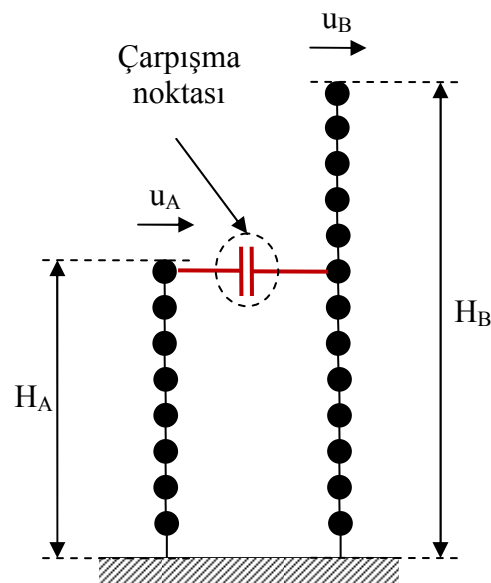
Bu sebeple, bugüne kadar yapısal çarpışmaların modellenmesi, yapısal çarpışmaları önlemek için alınması gereken tedbirler ve yapısal çarpışma sonuçları ile ilgili birçok çalışma yapılmıştır.

Bitişik yapıların çarpışma durumları için geliştirilen Stereo-mekanik, Lineer yay, Kelvin ve Hertz analitik modellerinin dayandığı esasları ve bu modeller ile hesap yapılırken kabul edilen eşitlikleri inceleyen bir çalışma mevcuttur. Bu çalışmada, bu incelemeye ek olarak, Hertz modeli üzerine kurulu ve yapısında lineer olmayan sönümleyici de bulunduran bir model önerilmiştir. Bugüne kadar olmuş 13 depremden alınan toplam 27 yer hareketi kaydı kullanılarak, 4 adet köprüden oluşan bir sistemin çarpışma durumu ve yer değiştirmeleri sözü geçen modeller ile hesaplanmıştır (Şekil 3.19). Yapılan çalışma sonucunda çarpışmanın, daha rijit olan yapının tepkisini arttırdığı görülmüş ve ayrıca Kelvin modeli ile önerilen modelin (Hertzdamp Model) benzer sonuçlar verdiği görülmüştür (Muthukumar and DesRoches, 2006) [5].



Şekil 3.19. Bitişik 4 köprü modeli

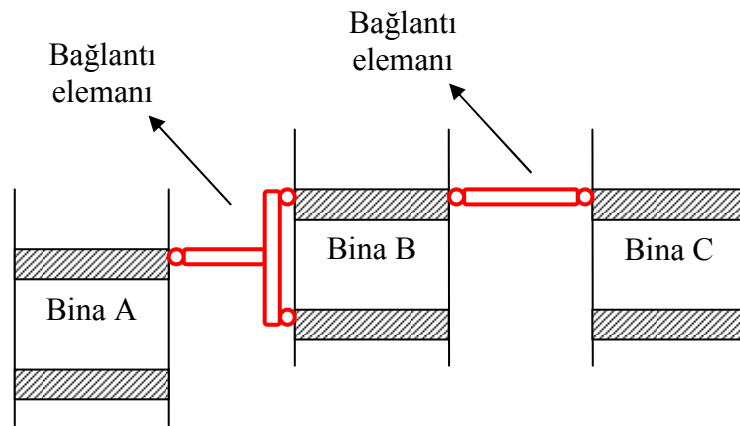
Çarpışmanın yapılar üzerindeki etkilerini inceleyen bir çalışmada yüksek, orta ve düşük şeklinde üç kategoriye ayrılmış deprem kayıtları kullanılmıştır. Değişik dilatasyon derzi değerleri için lineer ve lineer olmayan çarpışma kuvveti modelleri kullanılarak, biri 8 katlı diğeri 13 katlı olan iki yapıdan oluşan bir sistemde çarpışma etkisi incelenmiş ve çarpışmanın söz konusu olmadığı bir modelle karşılaştırılmıştır (Şekil 3.20).



Şekil 3.20. Matematik model

Bu karşılaştırmalar esnasında görülmüştür ki; çarpışma, farklı kat seviyelerinde, çarpışmanın olmadığı modelden alınan ivme ve kesme kuvveti değerlerinden daha büyük ivme ve kayma etkisi üretmektedir. Çarpışmanın önlenmesi konusunda alınabilecek en etkili önlemin iki yapı arasındaki boşluğun arttırılması olduğuna karar verilmiştir (AbdelRaheem, 2006) [6].

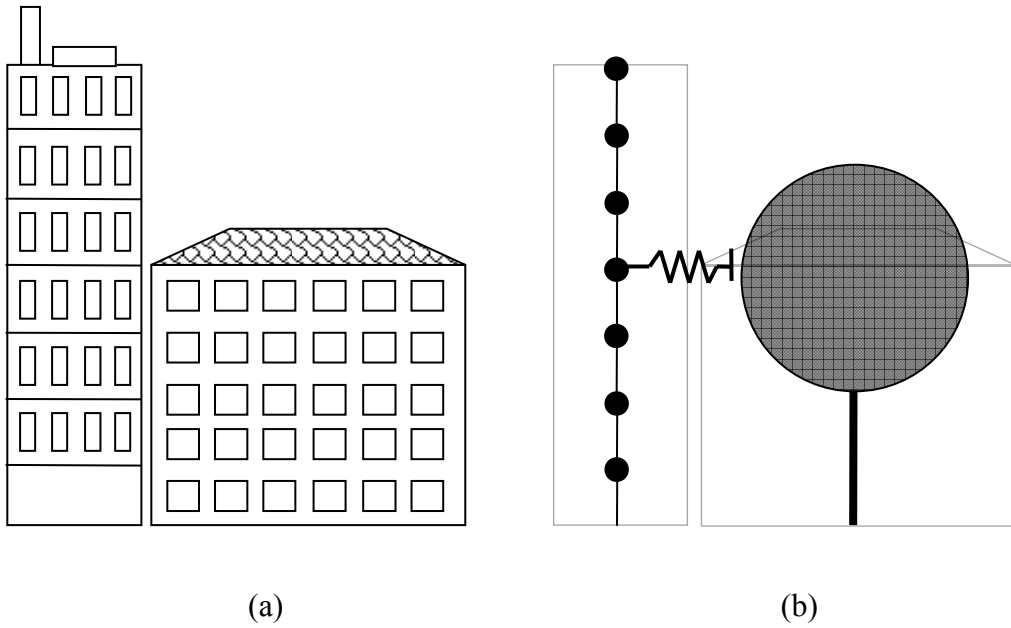
Başka bir çalışmada, aralarında yetersiz boşluk bulunan yapıların çarpışmasını önlemek için iki yapıyı birbirine bağlayan ve beraber davranmasını sağlayan bağlantı elemanları önerilmiştir. Bağlantı esası iki yapıyı birbirine düğüm noktalarından bağlamak olan bu elastik bağlantı elemanları, iki binanın kat seviyelerinin aynı ya da farklı olmasına göre değişik yapıda düzenlenmiştir (Şekil 3.21).



Şekil 3.21. Elastik bağlantı elemanları

Farklı kat sayılarına ve farklı yüksekliklere sahip yapıların titreşim modları hesaplanmıştır. Bu yapılardan oluşan sistemin söz edilen elastik bağlantı elemanlarla bağlanması durumunda şu sonuçlar ortaya çıkmıştır; elastik bağlantı elemanları, yapıların, büyüklüğü fazla olan sarsıntılar esnasında yaptıkları deformasyonları azaltmıştır. Fakat salınan iki yapıdan daha rijit olanında kayma etkisi artışı görülmüştür (Westermo, 1989) [7].

Çarpışma durumunun modellenmesi konusunda yapılmış başka bir çalışmada çok serbestlik dereceli iki sistemin çarpışma durumunun formülasyonu yapılmıştır ve bir bilgisayar programı yardımı ile çözülmüştür. 15 katlı bir binanın, bitişiğindeki rijit kabul edilen bir yapıya 4., 8., 12. ve 15. kat seviyelerinde çarptığı düşünülerek etkileri incelenmiştir (Şekil 3.22). Yapılan hesaplar sonucunda, çarpma noktasından daha yukarıdaki seviyelerde, yapı elemanlarındaki kesme kuvveti ve moment değerlerinin çarpışma öncesi değerlerden çok daha büyük olduğu görülmüştür. Başka yapı sistemlerinin de çarpışma durumunda benzer tepkiler vereceği ve projelendirme aşamasında, olası bir çarpışmanın etkilerini ihmal etmenin, mantıksız bir projenin üretilmesine yol açacağı sonucuna varılmıştır (Maison and Kasai, 1990) [8].

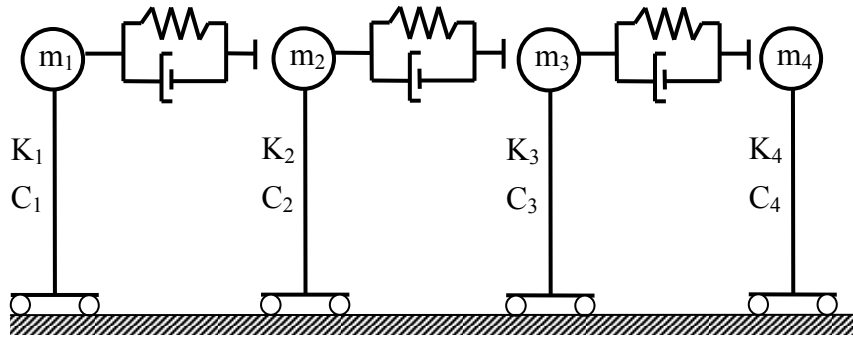


Şekil 3.22. Çarpışma durumunun modellenmesi a) Gerçek durum, b) Matematik model

Deprem esnasında iki veya daha fazla yapının çarpışma durumunun modellenmesi için yeni ve oldukça etkili bir yöntem sunan bir çalışmada, yapıların birbirine dokunması anındaki geometrik uygunluk şartlarından faydalanılmıştır. Ayrıca yöntem geliştirilirken cisimlerin çarpışma yasaları ve çarpışma sırasında bölgesel enerji yutma durumu da göz önünde bulundurulmuştur. Bir Lagrange çarpanı yaklaşımı ile

üretilen bu yöntemin uygulanabilirliği, birkaç örnek durum üzerinde gösterilmiştir. Bu yeni yöntem kullanılarak elde edilen sonuçlar incelendiğinde, yöntemin oldukça tatmin edici olduğu görülmüştür (Papadrakakis, et al., 1991) [9].

Tek serbestlik dereceli dört bitişik yapının modellendiği bir çalışmada, çarpışma sonuçlarını etkileyen ana etmenler ve bu etmenlerin sonuçları nasıl etkilediği araştırılmıştır. Çarpışmanın sonuçlarının; bitişik yapı sayısı ve bu yapıların periyotları, yapılar arasındaki boşluk miktarı, yapıların bağlı kütleleri, yapıların sönümleme katsayısı ve rijitliği değişkenlerine bağlı olduğu düşünülmüştür. Bütün yapılar arasında bir yay ve bir sönümleyici bulunduğunu kabul ederek modeller üretilmiş ve bu modellerin zamana bağlı yer değiştirmeleri hesaplanmıştır (Şekil 3.23).



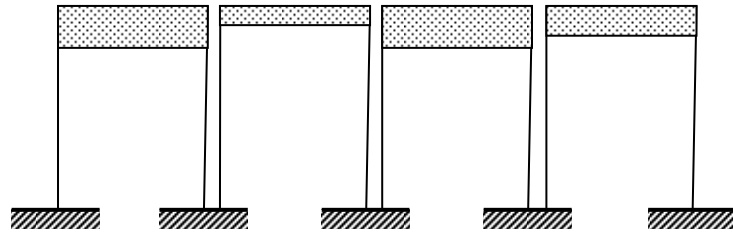
Şekil 3.23. Tek serbestlik dereceli çarpışma modeli

Sonuç olarak köşede kalan yapıların, ortadaki yapılara göre çarpışmadan daha fazla etkilendiklerine ve yapıları çarpışmanın olumsuz etkilerinden korumak için yapılar arasında yeterince boşluk bırakılması gerektiğine dikkat çekilmiştir (Anagnostopoulos, 1988) [10].

5 adet deprem kaydının çok serbestlik dereceli sistem modelleri üzerine uygulandığı bir çalışmada, çarpma sonuçlarının, yapının taşıyıcı sistemi, bağlı kütlesi, dilatasyon derzi miktarı ve çarpışma elemanı özelliklerine göre nasıl değiştiği araştırılmıştır. Özellikle çarpışan yapıların belirgin şekilde farklı yükseklikleri, kütleleri

veya salınım periyotları olması durumunda, çarpışmanın; yapı elemanları üzerinde aşırı gerilmeye sebep olduğu sonucu ortaya çıkmıştır. Yine bu çalışmada, farklı kat yüksekliklerine sahip bitişik yapılarda çarpışmanın çok daha kritik sonuçlar doğuracağına, modern yönetmeliklerde önerilen yapılar arasında bırakılması gereken boşluk miktarının yeterli olduğuna fakat yine de bazı özel durumlarda çarpışma olabileceğine dikkat çekilmiştir (Anagnostopoulos, 1992) [11].

Başka bir çalışmada, yüksek sismik risk altında olan Taipei City’de yumuşak zemin üzerine yapılmış ve aralarında yeterli boşluk bırakılmayan binalar incelenmiştir. Çalışmaya göre; farklı kat seviyelerinde çarpışma, çarpışan binalardan birinin kütesinin ve/veya yüksekliğinin daha büyük olması, çarpışan yapıların ağırlık merkezinin çakışmaması ve köşe bina çarpışması çarpışmanın sonucunu etkileyen önemli etmenlerdir (Şekil 3.24). Ayrıca yapıların hesaplanan kayma artışı, ölçülen dilatasyon derzi ve yapıların birbirlerine göre olan pozisyonu göz önünde bulundurularak her yapı için bir hasar değeri belirlenmiştir. Sonuç olarak, Taipei City’de bulunan çok sayıda mevcut yapı için acilen çarpışma tehlikesine karşı önlem alınması üzerinde durulmuştur (Jeng and Tzeng, 2000) [12].



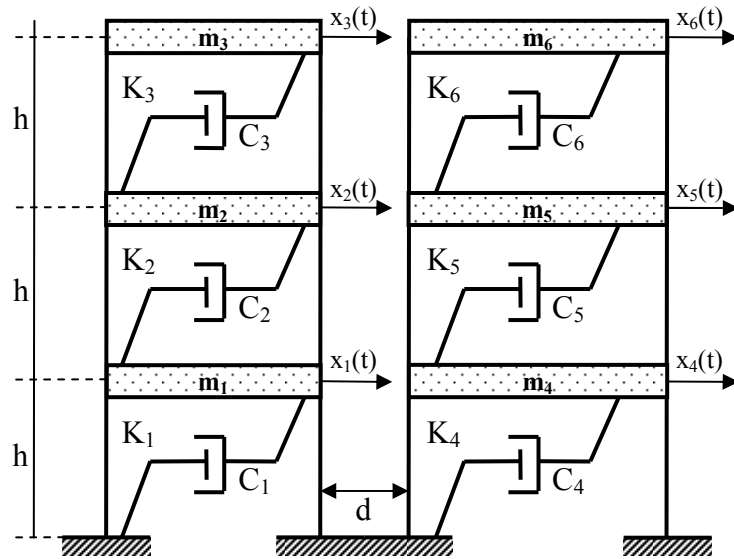
Şekil 3.24. Çarpışma tehlikesi altında farklı kütleli bitişik yapılar

17 Ağustos 1999 tarihinde Türkiye'nin Kuzeybatısını vuran 7,4 büyüklüğündeki depremde çöken ya da ağır hasar gören yapıların sismik performansını konu alan bir çalışmada, 0,3g – 0,4g civarlarında olan maksimum yer ivmelerinin, yapılarda görülen hasarlar göz önünde bulundurulduğunda küçük olduğu öne sürülmüştür. Kaydedilen zemin hareketlerinden alınan ivme spektrumu ile Türkiye'nin deprem yönetmeliğinde belirtilen ivme spektrumunun kıyaslanabilir oluşu ve yönetmelik gerekleri, gözlenen yapı detaylarıyla birlikte çalışılmış ve tartışılmıştır. Çoğu yapısal hasarın; yeteri kadar etriye kullanılmamış kolonlar, kancaları yönetmelikte belirtildiği gibi kıvrılmamış etriyeler, kolon-kiriş birleşim bölgelerinde uygunsuz donatı düzenlemesi, zayıf kolon – güçlü kiriş hatası ve kötü işçilik sebebiyle oluştuğu sonucuna varılmıştır (Sezen, et al., 2003) [13].

1 Mayıs 2003 Bingöl depreminde hasar gören ya da çöken yapıları inceleyen başka bir çalışmada da yapıların, ortalama sarsıntı süresi diğer yıkıcı depremler göz önünde bulundurulduğunda kısa sayılabilecek olan depremden bu denli etkilenmesinin sebepleri araştırılmıştır. Yer ivmeleri ve ivme spektrumlarının grafikler halinde verildiği çalışmada, tespit edilen yapısal hasarlar göz önünde bulundurulurken yönetmelik gerekleri tartışılmıştır. Söz konusu depremde oluşan yapısal hasarların sebeplerinin; sünekliği yetersiz olan kesitler, yumuşak ve zayıf kat düzensizlikleri, kötü beton kalitesi, kısa kolon oluşumları, zayıf kolon – güçlü kiriş oluşumları ve ağır ve büyük çıkmalar olduğu sonucuna varılmıştır (Doğangün, 2004) [14].

Yine yapılan başka bir çalışmada da yüzlerce betonarme ve yığma yapının 1 Mayıs 2003 yılında Bingöl'de olan 6,4 büyüklüğündeki depremde hasar görmesinin sebepleri araştırılmıştır. Son beş yılda inşa edilen okullarda oluşan ciddi hasarlara ve bu hasarların sebeplerinin yenilenen yönetmelikte belirtildiği gibi tasarlanması ve imal edilmesi gerektiği halde kötü kalitede beton kullanılması ve yanlış betonarme donatı dizaynı olmasına dikkat çekilmiştir. Yapılan gözlemler ve incelemeler sonucu bu deprem sırasında meydana gelen hasarların; kötü beton kalitesi, etriye kancalarının yönetmelikte belirtildiği gibi düzenlenmemesi, yapı elemanlarının gevrek olması, etriye aralıklarının çok fazla olması, Bingöl'deki karasal iklimin getirdiği sert hava koşullarına karşı önlem alınmaması sebebiyle oluştuğu görülmüştür (Kaplan, et al., 2004) [15].

Farklı dinamik özellikleri olan ve aralarındaki yetersiz boşluk bırakılan iki yapının deprem sırasında çarpışmasını inceleyen bir çalışmada, çarpışmanın iki yapıdan daha elastik ve hafif olanının sismik davranışında kalıcı deformasyonlara sebep olabilecek, dikkate değer farklılıklar yarattığı savunulmuştur. Çalışmada, daha rijit ve kütlece büyük olan yapının çarpışmadan etkilenme derecesinin ihmal edilebilir olduğu söylenmiştir ve nümerik bir model kullanılarak, farklı sistemler değişik dilatasyon derzi değerleri alınarak çözülmüş ve sonuçların grafikleri çizilmiştir (Şekil 3.25). Ayrıca çarpışmaları incelemekte kullanılan non-lineer ve viskoelastik modelin oldukça etkili olduğu ve hassas sonuçlar verdiği üzerinde durulmuştur (Jankowski, 2004) [16].



Şekil 3.25. Farklı rijitliklerde iki bitişik yapı modeli

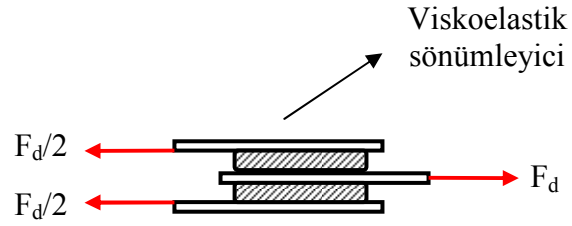
Başka bir çalışmada, birbirine yakın yapılan binaların aralarında bırakılması gereken boşluk hesaplanırken kullanılan Kübik Karesel Birleştirme (CQC) kuralının uygulanabilirliği iki farklı yapıdan oluşan bir sistem ele alınarak incelenmiştir (Garcia, 2005) [17].

Başka bir çalışma da 1989 yılında olan Loma prieta depreminde yapıların çarpışması sonucu oluşan hasarları incelemiş ve bu hasarları kategorilere ayırmıştır.

Genellikle çarpışmaya maruz kalan yapıların, 1930 yılından önce düşey yük taşıyıcı çelik iskelet sistemleri olmayan yığma yapılar oldukları ve çarpışmaya maruz kalan modern yapıların da yapılar arasında yetersiz boşluk bırakılması sebebiyle çarpıştıkları gözlenmiştir. Çoğu güncel yönetmelikte binalar arasında bırakılacak boşluklar konusunda kurallar bulunmasına rağmen, bu konuda daha fazla rehberliğin gerektiğine karar verilmiştir. Ayrıca çarpışma tehlikesini azaltmak için; binanın yapıldığı zeminin durumunu, mevcut yapının taşıyıcı sistemini ve bitişiğindeki diğer bina ile arasındaki boşluk miktarını göz önünde bulunduran metotlar geliştirilmesi gerektiği sonucuna varılmıştır (Kasai and Maison, 1996) [18].

Yan yana inşa edilmiş iki yapının çarpışmasında bu yapıların salınım periyotlarının birbirine oranının büyük rol oynadığını savunan bir çalışmada da 1997 Uniform Building Code (UBC97) 'da bulunan, bitişik yapılar ile alakalı maddelerden hiç birinin bu oranı göz önünde bulundurmadığından söz edilmiştir. Çalışma; bitişik yapıların çarpışma risk analizine yeni bir nümerik yaklaşım getirip, bu yeni nümerik yaklaşım ile bugüne kadar aralarında yönetmelikte belirtildiği üzere boşluk bırakılan yapıların çarpışma riski üzerinde durmuştur. Yapılan hesaplar ve incelemeler sonucunda; bitişik yapıların çarpışma riskinin bu yapıların periyotlarının oranına bağlı olduğu, bitişik yapılar arasında UBC97 'de belirtildiği gibi bırakılan boşlukların çoğu zaman yetersiz olduğu ve yapıların periyotlarının zemin periyotuna yaklaştıkça çarpışma riskinin arttığı ortaya çıkmıştır (Lin and Weng, 2001) [19].

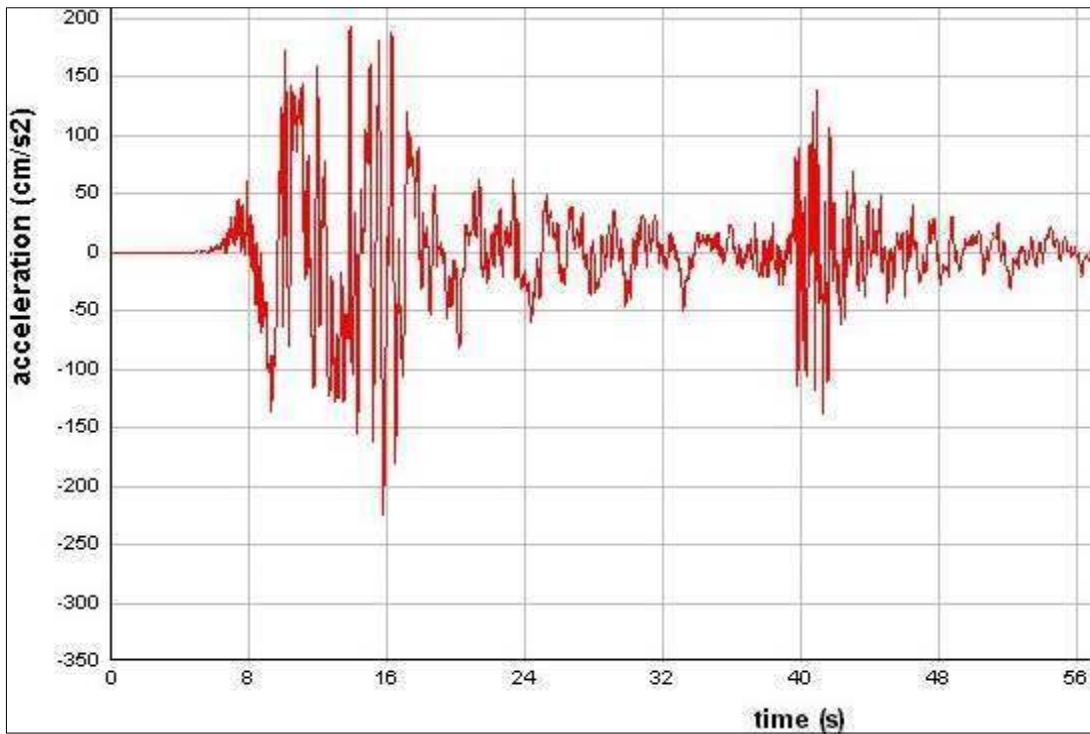
Başka bir çalışmada çok katlı yapılar kayma çerçevesi şeklinde modellenip birbirlerine farklı kat seviyelerinde viskoelastik sönümleyiciler ile bağlanarak hesapları yapılmıştır (Şekil 3.26). Bu sistemlerin hareket denklemleri belirlenip, Newmark'ın geliştirdiği integrasyon yöntemi ile çözülmüş ve 1989 yılında olan Loma prieta depreminin kayıtları kullanılarak birbirlerine viskoelastik sönümleyicilerle bağlanmış olan yapıların davranışları belirlenmiştir. İki yapı arasında yukarıda sözü geçen viskoelastik sönümleyicileri kullanmanın yapıların yatay deplasmanını kontrol etmede çok etkili bir yöntem olduğu görülmüştür (Matsagar and Jangid, 2005) [20].



Şekil 3.26. Viskoelastik sönümleyicide kuvvet dağılımı

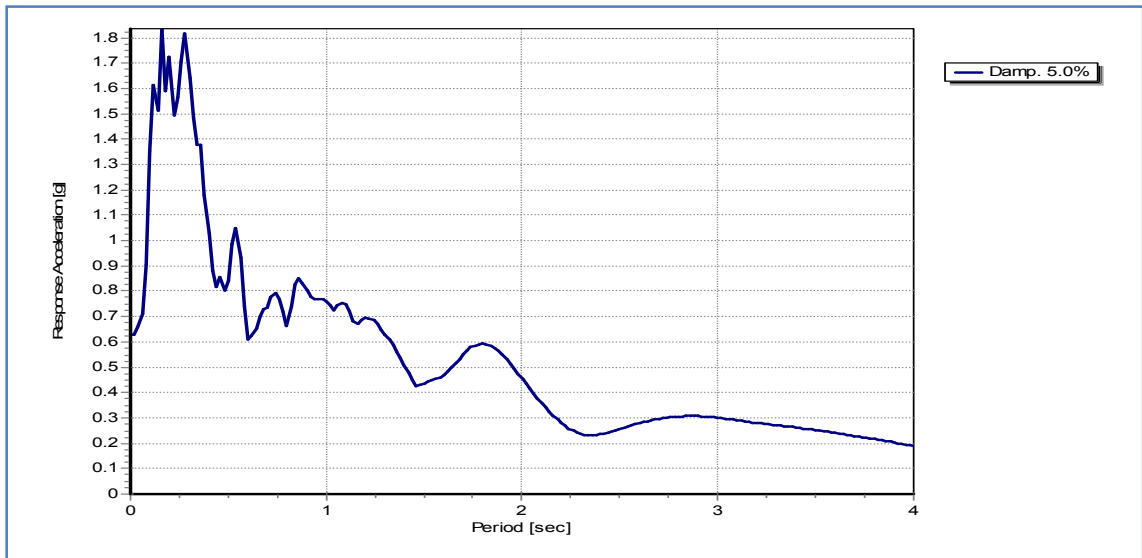
3.4 Çarpışma durumunun modellenmesi

Deprem sırasında yapı, çok hızlı bir şekilde yönü ve şiddeti değişen karmaşık yer ivmelerine maruz kalır ve bu karmaşık ivmeler yapıyı belirli deformasyonlar yapmaya zorlar (Şekil 3.27).



Şekil 3.27. Bir depremin ivme – zaman grafiği [21]

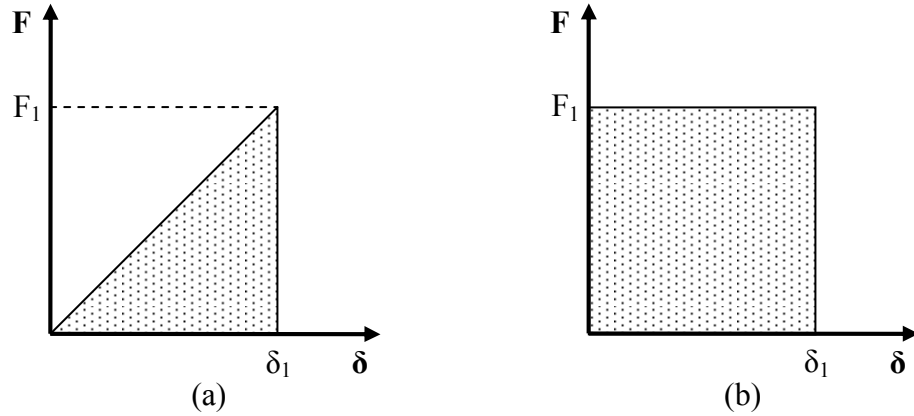
Bu değişken ivmeler farklı özelliklere sahip yapılarda farklı tepkilere neden olur. Şekil 3.27 'deki yer ivmesi kaydı için, periyodu 0,1 saniyeden 4,0 saniyeye kadar olan tek serbestlik dereceli sistemlerin maksimum tepki ivmeleri Şekil 3.28 'de verilmiştir. (Sönüm oranı %5 alınmıştır.)



Şekil 3.28. Tepki ivmesi grafiği

Yapının sismik performansını zorlayan karmaşık deprem yüklemelerine, bitişiğindeki bir yapıyla çarpışması sonucu oluşan ani dış kuvvetlerde eklendiğinde yapıdan iyi bir performans beklemek mümkün değildir.

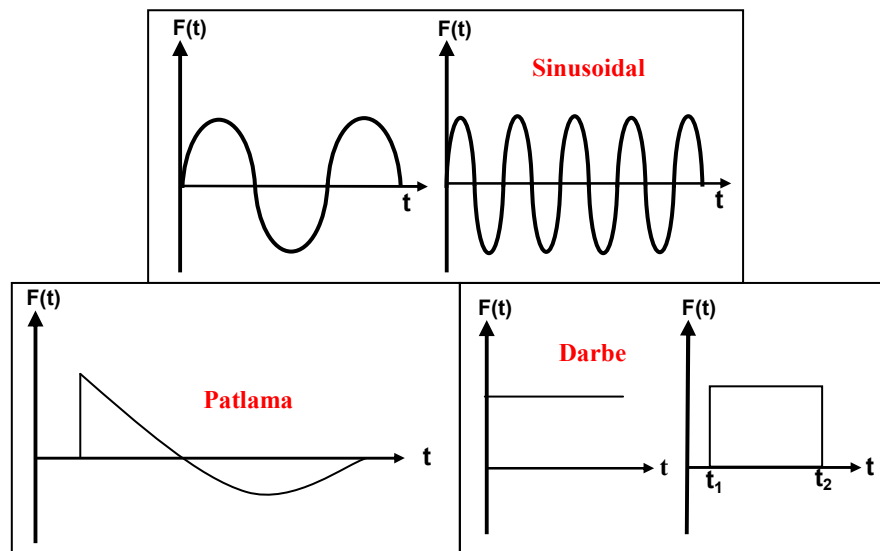
Yapı elemanlarının, aynı yüke farklı yükleme hızlarında gösterdiği tepki farklıdır. Bir yükün, bir sisteme aniden çarpması ile yavaş yavaş yüklenmesi arasında açığa çıkan enerji bakımından iki kat fark vardır (Şekil 3.29). Bu enerji farkı, yapının ve çarpma etkisi altında olan yapı elemanının absorbe edebileceği enerjiden çok daha fazlası olabilir.



Şekil 3.29. Yükleme durumları a) Yavaş yükleme, b) Ani yükleme

Lineer bir sisteminin yavaş yavaş yüklenmesi halinde olası Kuvvet – Şekil Değişirme grafiği Şekil 3.29a’da verilmiştir. Sistem δ_1 şekil değiştirme değerine ulaştığında, yük değeri de F_1 ’e ulaşır. Böylelikle yapılan iş $F_1\delta_1/2$ olacaktır. Eğer sistem aniden F_1 yükü ile yüklenirse (Şekil 3.29b), sistem δ_1 şekil değişirmesine ulaştığında açığa çıkan enerji $F_1\delta_1$ olacaktır.

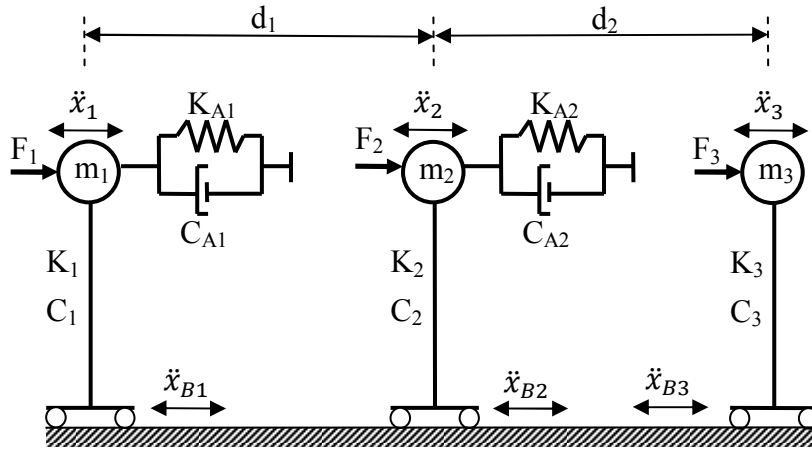
Darbe ve çeşitli yüklerin zamana bağlı grafikleri ise Şekil 3.30 ’da verilmiştir.



Şekil 3.30. Çeşitli yüklerin Kuvvet – Zaman grafikleri

3.4.1 Tek serbestlik dereceli sistemler

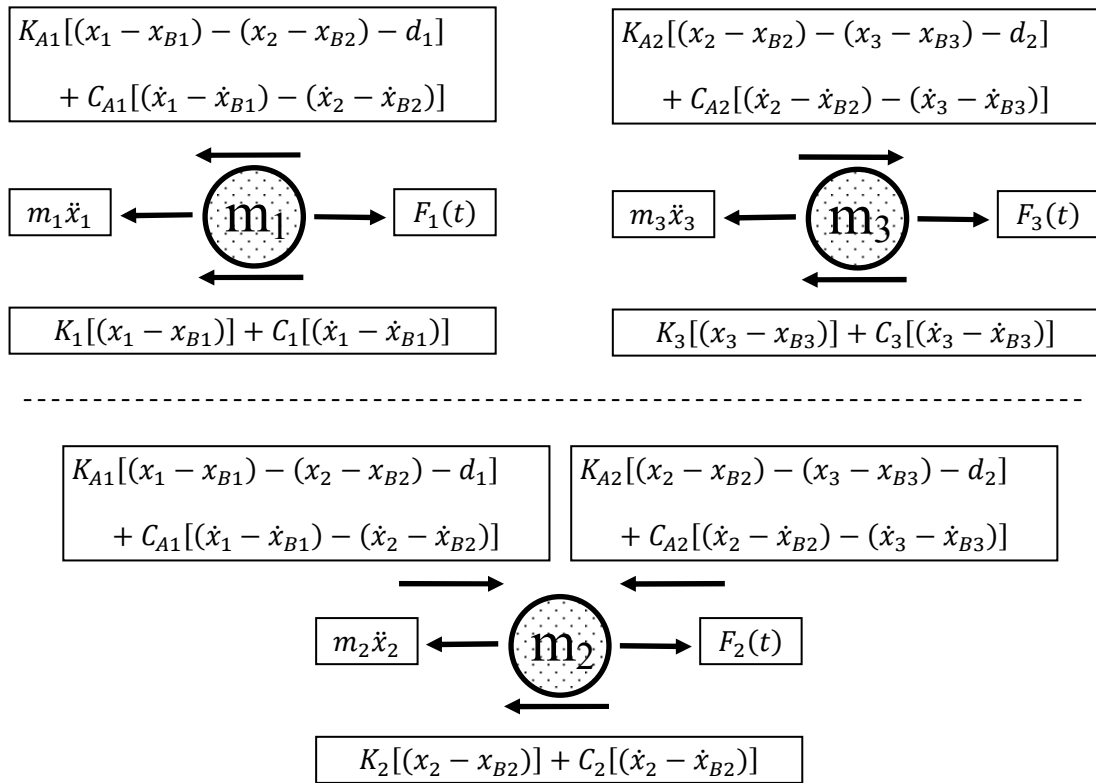
Anagnostopoulos (1988), tek serbestlik dereceli n adet yapının çarpışma durumunun incelenmesi için etkili bir model sunmuştur. Bu modelin şematize edilmiş hali Şekil 3.31 'de verilmiştir. Bu modelde; her iki yapının arasında bir yay ve bir lineer sönümleyici olduğu varsayılmıştır.



Şekil 3.31. Tek serbestlik dereceli çarpışma durumu

m_1 , m_2 ve m_3 değişkenleri kat kütlelerini gösterir. Elbette kütlelerin kat seviyesinde toplandığı düşünülmektedir. K_1 , K_2 ve K_3 yapıların rijitliklerini, C_1 , C_2 ve C_3 değişkenleri ise yapıların lineer sönümlenme katsayılarını göstermektedir. K_{A1} ve K_{A2} yapıların arasındaki yayların rijitliğidir. Yapıların arasındaki sönümleyicilerin lineer sönümlenme katsayıları da C_{A1} ve C_{A2} ile gösterilmiştir. Yapılar arasındaki boşluklar ise d_1 ve d_2 ile gösterilmiştir.

Yapılar arasındaki sönümleyicilerin sönümlenme katsayıları, ilgili yapı elemanının sönümlenme katsayısının bir fonksiyonu olarak, yapıların arasındaki yayların katsayısı ise çarpışan binaların rijitliğinin bir fonksiyonu olarak düşünülebilir.



Şekil 3.32. m_1 , m_2 ve m_3 kütlelerinin serbest cisim diyagramları

m_1 , m_2 ve m_3 kütlelerinin serbest cisim diyagramları ve etkisi altında buldukları kuvvetler Şekil 3.32’de verilmiştir.

Öyle ise m_1 kütleli yapı için;

$$m_1 \ddot{x}_1 + C_1(\dot{x}_1 - \dot{x}_{B1}) + K_1(x_1 - x_{B1}) + K_{A1}[(x_1 - x_{B1}) - (x_2 - x_{B2}) - d_1] + C_{A1}[(\dot{x}_1 - \dot{x}_{B1}) - (\dot{x}_2 - \dot{x}_{B2})] = F_1(t) \dots \mathbf{(1)}$$

denge denklemini yazılabilir.

Bu denklem düzenlenirse;

$$m_1(\ddot{x}_1 - \ddot{x}_{B1}) + C_1(\dot{x}_1 - \dot{x}_{B1}) + K_1(x_1 - x_{B1}) + K_{A1}[(x_1 - x_{B1}) - (x_2 - x_{B2}) - (d_1)] + C_{A1}[(\dot{x}_1 - \dot{x}_{B1}) - (\dot{x}_2 - \dot{x}_{B2})] = F_1(t) - m_1\ddot{x}_{B1} \dots (2)$$

halini alır.

Aynı şekilde iki yapının arasında kalan m_2 kütleli yapı için denge;

$$m_2\ddot{x}_2 + C_2(\dot{x}_2 - \dot{x}_{B2}) + K_2(x_2 - x_{B2}) - K_{A1}[(x_1 - x_{B1}) - (x_2 - x_{B2}) - (d_1)] + C_1[(\dot{x}_{11} - \dot{x}_{B1}) - (\dot{x}_2 - \dot{x}_{B2})] + K_{A2}[(x_2 - x_{B2}) - (x_3 - x_{B3}) - (d_2)] + C_{A2}[(\dot{x}_2 - \dot{x}_{B2}) - (\dot{x}_3 - \dot{x}_{B3})] = F_2(t) \dots (3)$$

şeklinde yazılabilir. Denklem düzenlenirse;

$$m_2(\ddot{x}_2 - \ddot{x}_{B2}) + C_2(\dot{x}_2 - \dot{x}_{B2}) + K_2(x_2 - x_{B2}) - K_{A1}[(x_1 - x_{B1}) - (x_2 - x_{B2}) - (d_1)] + C_1[(\dot{x}_{11} - \dot{x}_{B1}) - (\dot{x}_2 - \dot{x}_{B2})] + K_{A2}[(x_2 - x_{B2}) - (x_3 - x_{B3}) - (d_2)] + C_{A2}[(\dot{x}_2 - \dot{x}_{B2}) - (\dot{x}_3 - \dot{x}_{B3})] = F_2(t) - m_2\ddot{x}_{B2} \dots (4)$$

olur. Son olarak m_3 kütleli yapı için denge;

$$m_3\ddot{x}_3 + C_3(\dot{x}_3 - \dot{x}_{B3}) + K_3(x_3 - x_{B3}) - K_{A2}[(x_2 - x_{B2}) - (x_3 - x_{B3}) - (d_2)] + C_{A2}[(\dot{x}_2 - \dot{x}_{B2}) - (\dot{x}_3 - \dot{x}_{B3})] = F_3(t) \dots (5)$$

şeklinde yazılabilir.

Denklem düzenlenirse;

$$m_3(\ddot{x}_3 - \ddot{x}_{B3}) + C_3(\dot{x}_3 - \dot{x}_{B3}) + K_3(x_3 - x_{B3}) - K_{A2}[(x_2 - x_{B2}) - (x_3 - x_{B3}) - (d_2)] + C_{A2}[(\dot{x}_2 - \dot{x}_{B2}) - (\dot{x}_3 - \dot{x}_{B3})] = F_3(t) - m_3\ddot{x}_{B3} \dots (6)$$

Denklemlerdeki x_1 , x_2 ve x_3 değişkenleri m_1 , m_2 ve m_3 kütlelerinin mutlak yer değiştirmeleridir. Eğer yapılar arasında çarpışma yoksa bu durumda, yapılar arasında çarpışma durumunu matematiksel olarak tanımlayan yay sabitleri K_{A1} , K_{A2} ve sönümlenme katsayıları C_{A1} , C_{A2} değişkenlerinin değerleri 0 olarak alınabilir.

Daha sade ve düzenli bir ifade elde etmek için çıkarılan denklemleri matris formunda yazalım;

$$\begin{aligned} & \begin{bmatrix} m_1 & 0 & 0 \\ 0 & m_2 & 0 \\ 0 & 0 & m_3 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} (\ddot{x}_1 - \ddot{x}_{B1}) \\ (\ddot{x}_2 - \ddot{x}_{B2}) \\ (\ddot{x}_3 - \ddot{x}_{B3}) \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} C_1 & 0 & 0 \\ 0 & C_2 & 0 \\ 0 & 0 & C_3 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \dot{x}_1 - \dot{x}_{B1} \\ \dot{x}_2 - \dot{x}_{B2} \\ \dot{x}_3 - \dot{x}_{B3} \end{bmatrix} + \\ & \begin{bmatrix} K_1 & 0 & 0 \\ 0 & K_2 & 0 \\ 0 & 0 & K_3 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_1 - x_{B1} \\ x_2 - x_{B2} \\ x_3 - x_{B3} \end{bmatrix} + \\ & \left[\begin{array}{l} K_{A1}[(x_1 - x_{B1}) - (x_2 - x_{B2}) - (d_1)] + C_{A1}[(x_1 - x_{B1}) - (\dot{x}_2 - \dot{x}_{B2})] \\ -\{K_{A1}[(x_1 - x_{B1}) - (x_2 - x_{B2}) - (d_1)] + C_{A1}[(\dot{x}_{11} - \dot{x}_{B1}) - (\dot{x}_2 - \dot{x}_{B2})]\} \\ +\{K_{A2}[(x_2 - x_{B2}) - (x_3 - x_{B3}) - (d_2)] + C_{A2}[(\dot{x}_2 - \dot{x}_{B2}) - (\dot{x}_3 - \dot{x}_{B3})]\} \\ K_{A2}[(x_2 - x_{B2}) - (x_3 - x_{B3}) - (d_2)] + C_{A2}[(x_2 - x_{B2}) - (\dot{x}_3 - \dot{x}_{B3})] \end{array} \right] = \\ & \begin{bmatrix} F_1 \\ F_2 \\ F_3 \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} m_1 & 0 & 0 \\ 0 & m_2 & 0 \\ 0 & 0 & m_3 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \ddot{x}_{B1} \\ \ddot{x}_{B2} \\ \ddot{x}_{B3} \end{bmatrix} \dots (7) \end{aligned}$$

Bu matris takımını düzenlersek;

$$\begin{aligned}
 & \begin{bmatrix} m_1 & 0 & 0 \\ 0 & m_2 & 0 \\ 0 & 0 & m_3 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} (\ddot{x}_1 - \ddot{x}_{B1}) \\ (\ddot{x}_2 - \ddot{x}_{B2}) \\ (\ddot{x}_3 - \ddot{x}_{B3}) \end{bmatrix} + \\
 & \left\{ \begin{bmatrix} C_1 & 0 & 0 \\ 0 & C_2 & 0 \\ 0 & 0 & C_3 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} C_{A1} & -C_{A1} & 0 \\ -C_{A1} & C_{A1} + C_{A2} & -C_{A2} \\ 0 & -C_{A2} & C_{A2} \end{bmatrix} \right\} \begin{bmatrix} \dot{x}_1 - \dot{x}_{B1} \\ \dot{x}_2 - \dot{x}_{B2} \\ \dot{x}_3 - \dot{x}_{B3} \end{bmatrix} + \\
 & \left\{ \begin{bmatrix} K_1 & 0 & 0 \\ 0 & K_2 & 0 \\ 0 & 0 & K_3 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} K_{A1} & -K_{A1} & 0 \\ -K_{A1} & K_{A1} + K_{A2} & -K_{A2} \\ 0 & -K_{A2} & K_{A2} \end{bmatrix} \right\} \begin{bmatrix} x_1 - x_{B1} \\ x_2 - x_{B2} \\ x_3 - x_{B3} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} F_1 \\ F_2 \\ F_3 \end{bmatrix} - \\
 & \begin{bmatrix} m_1 & 0 & 0 \\ 0 & m_2 & 0 \\ 0 & 0 & m_3 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \ddot{x}_{B1} \\ \ddot{x}_{B2} \\ \ddot{x}_{B3} \end{bmatrix} \dots \textbf{(8)}
 \end{aligned}$$

ifadesini elde ederiz. İşte bu ifade, yukarıda belirtilen modelin denge denklemdir. m_1 ve m_2 kütleleri arasındaki çarpışma kuvveti;

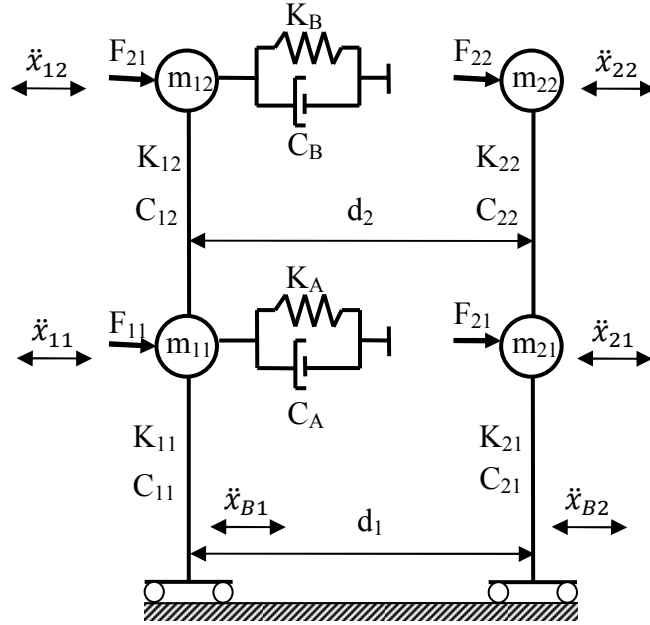
$$K_{A1}[(x_1 - x_{B1}) - (x_2 - x_{B2}) - (d_1)] + C_{A1}[(\dot{x}_1 - \dot{x}_{B1}) - (\dot{x}_2 - \dot{x}_{B2})] \dots \textbf{(9)}$$

olur. Aynı şekilde m_2 ve m_3 kütleleri arasındaki çarpışma kuvveti;

$$K_{A2}[(x_2 - x_{B2}) - (x_3 - x_{B3}) - (d_2)] + C_{A2}[(\dot{x}_2 - \dot{x}_{B2}) - (\dot{x}_3 - \dot{x}_{B3})] \dots \textbf{(10)}$$

olarak bulunur.

3.4.2. İki serbestlik dereceli sistemler



Şekil 3.33. İki serbestlik dereceli çarpışma durumu modeli

Şekil 3.33 'te görülen sistemde, m_{11} ve m_{12} kütleleri için denge denklemleri

$$\begin{aligned}
 & \begin{bmatrix} m_{11} & 0 \\ 0 & m_{12} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \ddot{x}_{11} - \ddot{x}_{B1} \\ \ddot{x}_{12} - \ddot{x}_{B1} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} C_{11} + C_{12} & -C_{12} \\ -C_{12} & C_{12} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \dot{x}_{11} - \dot{x}_{B1} \\ \dot{x}_{12} - \dot{x}_{B1} \end{bmatrix} + \\
 & \begin{bmatrix} K_{11} + K_{12} & -K_{12} \\ -K_{12} & K_{12} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_{11} - x_{B1} \\ x_{12} - x_{B1} \end{bmatrix} + \\
 & \left[K_A[(x_{11} - x_{B1}) - (x_{21} - x_{B2}) - (d_1)] + C_A[(\dot{x}_{11} - \dot{x}_{B1}) - (\dot{x}_{21} - \dot{x}_{B2})] \right] = \\
 & \left[K_B[(x_{12} - x_{B1}) - (x_{22} - x_{B2}) - (d_2)] + C_B[(\dot{x}_{12} - \dot{x}_{B1}) - (\dot{x}_{22} - \dot{x}_{B2})] \right] = \\
 & \begin{bmatrix} F_{11} \\ F_{12} \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} m_{11} & 0 \\ 0 & m_{12} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \ddot{x}_{B1} \\ \ddot{x}_{B1} \end{bmatrix} \dots \text{(11)}
 \end{aligned}$$

olur. Aynı şekilde m_{21} ve m_{22} kütleleri için denge denklemleri

$$\begin{aligned}
& \begin{bmatrix} m_{21} & 0 \\ 0 & m_{22} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \ddot{x}_{21} - \ddot{x}_{B2} \\ \ddot{x}_{22} - \ddot{x}_{B2} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} C_{21} + C_{22} & -C_{22} \\ -C_{22} & C_{22} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \dot{x}_{21} - \dot{x}_{B2} \\ \dot{x}_{22} - \dot{x}_{B2} \end{bmatrix} + \\
& \begin{bmatrix} K_{21} + K_{22} & -K_{22} \\ -K_{22} & K_{22} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_{21} - x_{B2} \\ x_{22} - x_{B2} \end{bmatrix} - \\
& \begin{bmatrix} K_A[(x_{11} - x_{B1}) - (x_{21} - x_{B2}) - (d_1)] + C_A[(\dot{x}_{11} - \dot{x}_{B1}) - (\dot{x}_{21} - \dot{x}_{B2})] \\ K_B[(x_{12} - x_{B1}) - (x_{22} - x_{B2}) - (d_2)] + C_B[(\dot{x}_{12} - \dot{x}_{B1}) - (\dot{x}_{22} - \dot{x}_{B2})] \end{bmatrix} = \\
& \begin{bmatrix} F_{21} \\ F_{22} \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} m_{21} & 0 \\ 0 & m_{22} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \ddot{x}_{B2} \\ \ddot{x}_{B2} \end{bmatrix} \dots \text{(12)}
\end{aligned}$$

olur. Bu iki denklemi toplarsak;

$$\begin{aligned}
& \begin{bmatrix} m_{11} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & m_{12} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & m_{21} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & m_{22} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \ddot{x}_{11} - \ddot{x}_{B1} \\ \ddot{x}_{12} - \ddot{x}_{B1} \\ \ddot{x}_{21} - \ddot{x}_{B2} \\ \ddot{x}_{22} - \ddot{x}_{B2} \end{bmatrix} + \\
& \begin{bmatrix} C_{11} + C_{12} & -C_{12} & 0 & 0 \\ -C_{12} & C_{12} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & C_{21} + C_{22} & -C_{22} \\ 0 & 0 & -C_{22} & C_{22} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \dot{x}_{11} - \dot{x}_{B1} \\ \dot{x}_{12} - \dot{x}_{B1} \\ \dot{x}_{21} - \dot{x}_{B2} \\ \dot{x}_{22} - \dot{x}_{B2} \end{bmatrix} + \\
& \begin{bmatrix} K_{11} + K_{12} & -K_{12} & 0 & 0 \\ -K_{12} & K_{12} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & K_{21} + K_{22} & -K_{22} \\ 0 & 0 & -K_{22} & K_{22} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_{11} - x_{B1} \\ x_{12} - x_{B1} \\ x_{21} - x_{B2} \\ x_{22} - x_{B2} \end{bmatrix} + \\
& \begin{bmatrix} K_A[(x_{11} - x_{B1}) - (x_{21} - x_{B2}) - (d_1)] + C_A[(\dot{x}_{11} - \dot{x}_{B1}) - (\dot{x}_{21} - \dot{x}_{B2})] \\ K_B[(x_{12} - x_{B1}) - (x_{22} - x_{B2}) - (d_2)] + C_B[(\dot{x}_{12} - \dot{x}_{B1}) - (\dot{x}_{22} - \dot{x}_{B2})] \\ -K_A[(x_{11} - x_{B1}) - (x_{21} - x_{B2}) - (d_1)] - C_A[(\dot{x}_{11} - \dot{x}_{B1}) - (\dot{x}_{21} - \dot{x}_{B2})] \\ -K_B[(x_{12} - x_{B1}) - (x_{22} - x_{B2}) - (d_2)] - C_B[(\dot{x}_{12} - \dot{x}_{B1}) - (\dot{x}_{22} - \dot{x}_{B2})] \end{bmatrix} = \\
& \begin{bmatrix} F_{11} \\ F_{21} \\ F_{21} \\ F_{22} \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} m_{11} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & m_{12} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & m_{21} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & m_{22} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \ddot{x}_{B1} \\ \ddot{x}_{B1} \\ \ddot{x}_{B2} \\ \ddot{x}_{B2} \end{bmatrix} \dots \text{(13)}
\end{aligned}$$

olur.

Denklemleri daha düzenli yazarsak;

$$\begin{aligned}
& \begin{bmatrix} m_{11} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & m_{12} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & m_{21} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & m_{22} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \ddot{x}_{11} - \ddot{x}_{B1} \\ \ddot{x}_{12} - \ddot{x}_{B1} \\ \ddot{x}_{21} - \ddot{x}_{B2} \\ \ddot{x}_{22} - \ddot{x}_{B2} \end{bmatrix} + \\
& \left\{ \begin{bmatrix} C_{11} + C_{12} & -C_{12} & 0 & 0 \\ -C_{12} & C_{12} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & C_{21} + C_{22} & -C_{22} \\ 0 & 0 & -C_{22} & C_{22} \end{bmatrix} \right\} + \\
& \left. \begin{bmatrix} C_A & 0 & -C_A & 0 \\ 0 & C_B & 0 & -C_B \\ -C_A & 0 & C_A & 0 \\ 0 & -C_B & 0 & C_B \end{bmatrix} \right\} \begin{bmatrix} \dot{x}_{11} - \dot{x}_{B1} \\ \dot{x}_{12} - \dot{x}_{B1} \\ \dot{x}_{21} - \dot{x}_{B2} \\ \dot{x}_{22} - \dot{x}_{B2} \end{bmatrix} + \\
& \left\{ \begin{bmatrix} K_{11} + K_{12} & -K_{12} & 0 & 0 \\ -K_{12} & K_{12} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & K_{21} + K_{22} & -K_{22} \\ 0 & 0 & -K_{22} & K_{22} \end{bmatrix} \right\} + \\
& \left. \begin{bmatrix} K_A & 0 & -K_A & 0 \\ 0 & K_B & 0 & -K_B \\ -K_A & 0 & K_A & 0 \\ 0 & -K_B & 0 & K_B \end{bmatrix} \right\} \begin{bmatrix} x_{11} - x_{B1} \\ x_{12} - x_{B1} \\ x_{21} - x_{B2} \\ x_{22} - x_{B2} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} -K_A d_1 \\ -K_B d_2 \\ K_A d_1 \\ K_B d_2 \end{bmatrix} = \\
& \begin{bmatrix} F_{11} \\ F_{21} \\ F_{21} \\ F_{22} \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} m_{11} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & m_{12} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & m_{21} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & m_{22} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \ddot{x}_{B1} \\ \ddot{x}_{B1} \\ \ddot{x}_{B2} \\ \ddot{x}_{B2} \end{bmatrix} \dots (14)
\end{aligned}$$

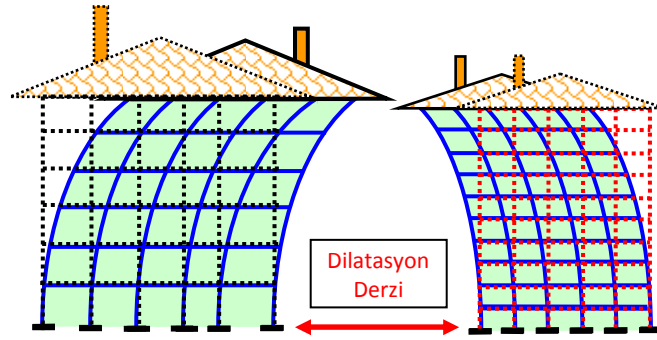
haline gelir.

Bu kadar karmaşık diferansiyel ifadeler içeren bir denklem takımını sabit yer ivmesi değerleri için bile çözmek çok zordur. Bu ifadenin sadece 2 katlı ve her katında sadece tek serbestlik derecesi bulunan iki sistem için olduğunu da düşünersek, uygulamadaki yapılar için bu tür çarpışma problemlerini çözmenin ne kadar güç olduğu anlaşılır. 0,3g sabit yer ivmesi ve her katı 1 kNs²/m kütleli olan iki yapı sistemi için 0,4 kN değerine ulaşan çarpışma kuvvetleri bulunmuştur.

3.5 Yapıların çarpışmasını engelleyici önlemler

3.5.1 Dilatasyon derzleri

Bağımsız yapı bölümlerini birbirinden ayıran boşluklara dilatasyon derzi denilmektedir (Şekil 3.34). Yapıların projelendirilme aşamasında hesaplanan dilatasyon derzleri sadece yapıların deprem esnasında çarpışmasını önlemekle kalmayıp aşağıdaki ek görevleri de üstlenmektedir;



Şekil 3.34. Dilatasyon derzi [21]

a) Yapıda ısı ve rötire etkilerini azaltmak

Isının etkili olduğu yapı elemanlarında ısıdan dolayı bir boy değişimi ve bunun sonucunda şekil değiştirmeler olmaktadır. Bu boy değişimi elemanın boyuna bağlı olduğu için elemanların boyları ne kadar kısa olursa boy değişimi o denli az olur. Yapının belli kısımlarının yüksek ısıya maruz kalması durumunda buradaki elemanların boy değişimi diğer elemanlara etki etmemesi için dilatasyon derzi ile ayrılmalıdır. Bu durumun dez avantajları da olabilir. Ayrıca yapıda bulunan perdelerin yapının dış kenarlarında olması halinde ısıdan dolayı genişemeyeceği için yapı elemanlarında büyük iç gerilmeler oluşabilir. Bu nedenle perdelerin iç kısımlarda olması yapı elemanlarında genişmeden dolayı iç gerilme oluşturmayabilir. Bu yapının yapım ve kullanım aşamaları için tahkik edilmelidir.

b) Yapı temelindeki farklı oturmaların üst yapıya etkisini azaltmak

Yapı temel sisteminin ve yapı yükünün simetrik ve zeminin davranışının homojen olmadığı durumlarda farklı oturmalar olabileceği için yapıların tamamının bu farklı oturmalardan etkilenmemesi için dilatasyon derzi yapılmalıdır. Yapı temelinin bir tarafının su ile teması, kazı ve diğer bazı etkilerden dolayı da olabilir.

c) Isı, ses ve titreşimi yapının belirli bölümlerinde tutmak

Yapının bölümleri arasındaki farklı etkileri kendi hacimleri içinde tutmak esastır. Aksi halde yapının kullanım ve konfor özelliği ortadak kalkmaktadır. Bunun için hacimler arasındaki her türlü tecriti yapmak ısı, ses ve titreşimi ortadan kaldıracaktır. Bu uygulama yapının maliyetini artırır gibi algılanmamalıdır. Örneğin ısı yalıtımı ile yakıt tasarrufu sağlanır. Son zamanlarda insanların depreme karşı duyarlılığı artmasından dolayı özellikle ses ve titreşimden insanlar psikolojik olarak büyük rahatsızlık duymaktadır.

Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik (2007) [1], yapılar arasında bırakılması gereken boşluklar konusunda şu düzenlemeleri getirmiştir;

2.10.3. Deprem Derzleri

Farklı zemin oturmalarına bağlı temel öteleme ve dönmeleri ile sıcaklık değişmelerinin etkisi dışında, bina blokları veya mevcut eski binalarla yeni yapılacak binalar arasında, sadece deprem etkisi için bırakılacak derz boşluklarına ilişkin koşullar aşağıda belirtilmiştir:

2.10.3.1 – 2.10.3.2'ye göre daha elverişsiz bir sonuç elde edilmedikçe derz boşlukları, her bir kat için komşu blok veya binalarda elde edilen yerdeğiştirmelerin karelerinin toplamının karekökü ile aşağıda tanımlanan α katsayısının çarpımı sonucunda bulunan değerden az olmayacaktır. Gözönüne alınacak kat yerdeğiştirmeleri, kolon veya perdelerin bağlandığı düğüm noktalarında hesaplanan azaltılmış d_i yerdeğiştirmelerinin kat içindeki ortalamaları olacaktır. Mevcut eski bina

için hesap yapılmasının mümkün olmaması durumunda eski binanın yerdeğiştirmeleri, yeni bina için aynı katlarda hesaplanan değerlerden daha küçük alınmayacaktır.

(a) Komşu binaların veya bina bloklarının kat döşemelerinin bütün katlarda aynı seviyede olmaları durumunda $\alpha = R / 4$ alınacaktır.

(b) Komşu binaların veya bina bloklarının kat döşemelerinin, bazı katlarda olsa bile, farklı seviyelerde olmaları durumunda, tüm bina için $\alpha = R / 2$ alınacaktır.

2.10.3.2 – Bırakılacak minimum derz boşluğu, 6 m yüksekliğe kadar en az 30 mm olacak ve bu değere 6 m'den sonraki her 3 m'lik yükseklik için en az 10 mm eklenecektir.

2.10.3.3 – Bina blokları arasındaki derzler, depremde blokların bütün doğrultularda birbirlerinden bağımsız olarak çalışmasına olanak verecek şekilde düzenlenecektir.

UBC97 [2] yapılar arasında bırakılacak boşluklar konusunda şu maddeleri içerir;

1633.2.11 Building separations. All structures shall be separated from adjoining structures. Separations shall allow for the displacement Δ_M . Adjacent buildings on the same property shall be separated by at least Δ_{MT} where

$$\Delta_{MT} = \sqrt{(\Delta_{M1})^2 + (\Delta_{M2})^2} \quad (33-2)$$

and Δ_{M1} and Δ_{M2} are the displacements of the adjacent buildings. When a structure adjoins a property line not common to a public way, that structure shall also be set back from the property line by at least the displacement Δ_M of that structure.

EXCEPTION: Smaller separations or property line setbacks may be permitted when justified by rational analyses based on maximum expected ground motions.

Eurocode 8 (1998) [3] ise yapılar arasında bırakılacak boşluklar konusunda şu şartları koşmuştur;

4.3.4 Displacement analysis

(1)P If linear analysis is performed the displacements induced by the design seismic action shall be calculated on the basis of the elastic deformations of the structural system by means of the following simplified expression:

$$d_s = q_d d_e \quad (4.23)$$

where d_s is the displacement of a point of the structural system induced by the design seismic action; q_d is the displacement behaviour factor, assumed equal to q unless otherwise specified;

d_e is the displacement of the same point of the structural system, as determined by a linear analysis based on the design response spectrum in accordance with 3.2.2.5.

The value of d_s does not need to be larger than the value derived from the elastic spectrum.

NOTE In general q_d is larger than q if the fundamental period of the structure is less than T_c (see Figure B.2).

(2)P When determining the displacements d_e , the torsional effects of the seismic action shall be taken into account.

(3) For both static and dynamic non-linear analysis, the displacements determined are those obtained directly from the analysis without further modification.

4.4.2.7 Seismic joint condition

(1)P Buildings shall be protected from earthquake-induced pounding from adjacent structures or between structurally independent units of the same building.

(2) (1)P is deemed to be satisfied:

(a) for buildings, or structurally independent units, that do not belong to the same property, if the distance from the property line to the potential points of impact is not less than the maximum horizontal displacement of the building at the corresponding level, calculated in accordance with expression (4.23);

(b) for buildings, or structurally independent units, belonging to the same property, if the distance between them is not less than the square root of the sum- of the squares (SRSS) of the maximum horizontal displacements of the two buildings or units at the corresponding level, calculated in accordance with expression (4.23).

(3) If the floor elevations of the building or independent unit under design are the same as those of the adjacent building or unit, the above referred minimum distance may be reduced by a factor of 0,7.

Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik (2007) [1], yapılar arasında bırakılacak boşluklar hakkında yeni düzenlemeler getirmesine rağmen, yeni yapılan yapılar arasında bırakılan boşluklar yönetmelikte bulunan şartlara uygun değildir (Şekil 3.35).



Şekil 3.35. Bitişik Yapılar

Şekil 3.35 'te bitişik olarak yapılmış üç adet 8 katlı yapı görülüyor. Kat seviyeleri eşit olan iki yapı arasında bırakılması gereken boşluk - eğer her iki yapının da en üst katının deplasmanının 8 cm. olarak hesaplandığını kabul edersek - Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik (2007) 'e göre;

$$\sqrt{8^2 + 8^2} = 11,31 \quad \alpha = \frac{8}{4} = 2 \quad d = 2 * 11,31 = 22,62 \text{ cm}$$

Kontrol;

$$\text{Toplam yapı yüksekliği} = 5,00 + 7 \times 2,80 = 24,60 \text{ m.}$$

$$24,60 - 6,00 = 18,60$$

$$2 \times [3,00 + (18,60 / 3)] = 18,40 \text{ cm.}$$

22,62 > 18,40 olduğuna göre, iki yapı arasında 22,62 cm. boşluk bırakılması gerekmektedir.

Kat seviyeleri farklı olan bitişik iki 8 katlı yapı arasında bırakılması gereken boşluk miktarı;

$$\sqrt{8^2 + 8^2} = 11,31 \quad \alpha = \frac{8}{2} = 4 \quad d = 4 * 11,31 = 45,24 \text{ cm}$$

Kontrol;

$$\text{Toplam yapı yüksekliği} = 5,00 + 7 \times 2,80 = 24,60 \text{ m.}$$

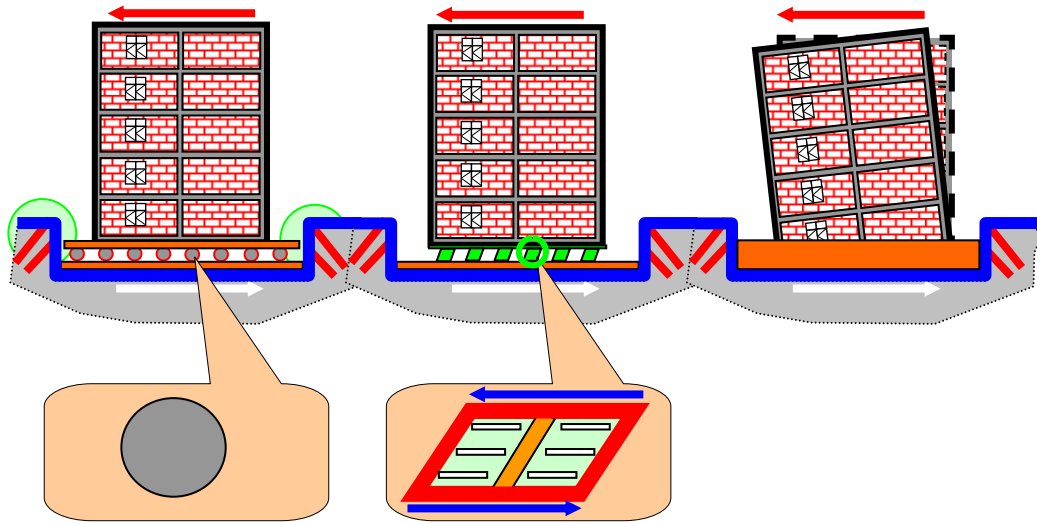
$$24,60 - 6,00 = 18,60$$

$$2 \times [3,00 + (18,60 / 3)] = 18,40 \text{ cm.}$$

$45,24 > 18,40$ olduğuna göre, iki yapı arasında 22,62 cm. boşluk bırakılması gerekmektedir.

3.5.2 Sismik izolatörler

Sismik yapı yalıtımı yapıların deprem etkilerinden korunması amacıyla geliştirilmiş bir sistemdir. Sistemin amacı, bir yapıya etkiyen deprem yüklerinin azaltılmasıdır. Bu cihazların özel tasarımları sayesinde deprem hareketi sırasında üstyapıya etkiyen deprem yükleri temele ankastre bağlı yapılara oranla önemli ölçüde azaltılabilmektedir (Şekil 3.36).



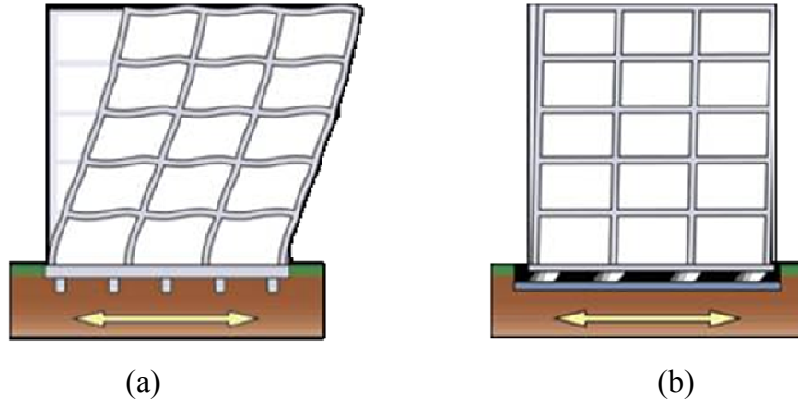
Şekil 3.36. Yapı temelinde sismik izolasyon uygulaması [21]

Normal bir yapıda, deprem sırasında katlar arası oluşan farklı deplasmanlar sonucu kolon – kiriş birleşim bölgelerinde büyük hasarlar meydana gelmektedir (Şekil 3.37a). Sismik izolasyon yapılmış bir yapıda katlar arası farklı deplasmanlar normal bir yapıda oluşacak olandan çok daha az olacağı için kolon ve kirişlerde minimum zorlanma olacaktır (Şekil 3.37b).

Sismik izolasyonun sağladığı avantajları maddeler halinde yazacak olursak;

- Yüksek can güvenliği
- Yapının taşıyıcı sistemi ve mimari elemanlarında minimum deprem hasarı

- Şiddetli depremlerden sonra bile hemen kullanım
- Yapının değerli eşya ve cihaz içeriğine etkin koruma
- Minimum bakım gereksinimi



Şekil 3.37. Yapı temelinde sismik izolasyon etkisi a) Sismik izolasyon yapılmamış yapı, b) Sismik izolasyon yapılmış yapı [23]

Sismik izolasyonda; kauçuk esaslı sismik izolatörler, sürtünme esaslı izolatörler, vibrasyon kontrol cihazları veya sönmümlendiriciler kullanılabilir (Şekil 3.38).

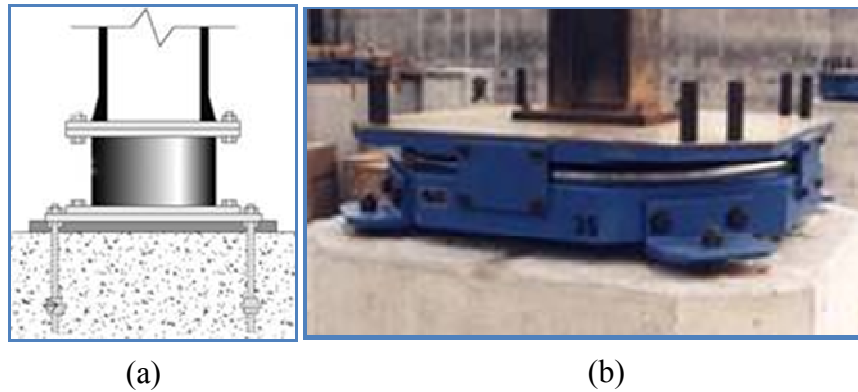


Şekil 3.38. Bazı sismik izolasyon metotları [21]

Kauçuk esaslı sismik izolatörler, yatay birim şekil değiştirmesi ve kayma deformasyonu yüksek olan doğal kauçuğun içine rijitlik ve sönüm artışı için karbon siyahı eklenerek üretilir (Şekil 3.39a). Ayrıca dinamik sönümü ve yatay stabilitesini yükseltmek amacıyla kurşun çekirdek yerleştirilir.

Kauçuk esaslı sismik izolatörlerde yatayda her yönde kayma deformasyonu 150% 'ye yakındır. İzolatör cihazının deformasyondan sonra eski konumuna geri dönmesi üzerindeki düşey yüke, içindeki elik levhalara ve kurşun çekirdeğe bağlıdır.

Sürtünme esaslı sismik izolatörler, içbükey küresel yüzey üzerinde kayabilen özel metallere imal edilmiş bir mesnet elemanının yatay hareket sırasında binayı yükseltmesi esasına dayanır (Şekil 3.39b). Böylelikle deprem enerjisi sönümlenir ve depremin etkisi 80% azaltılır.

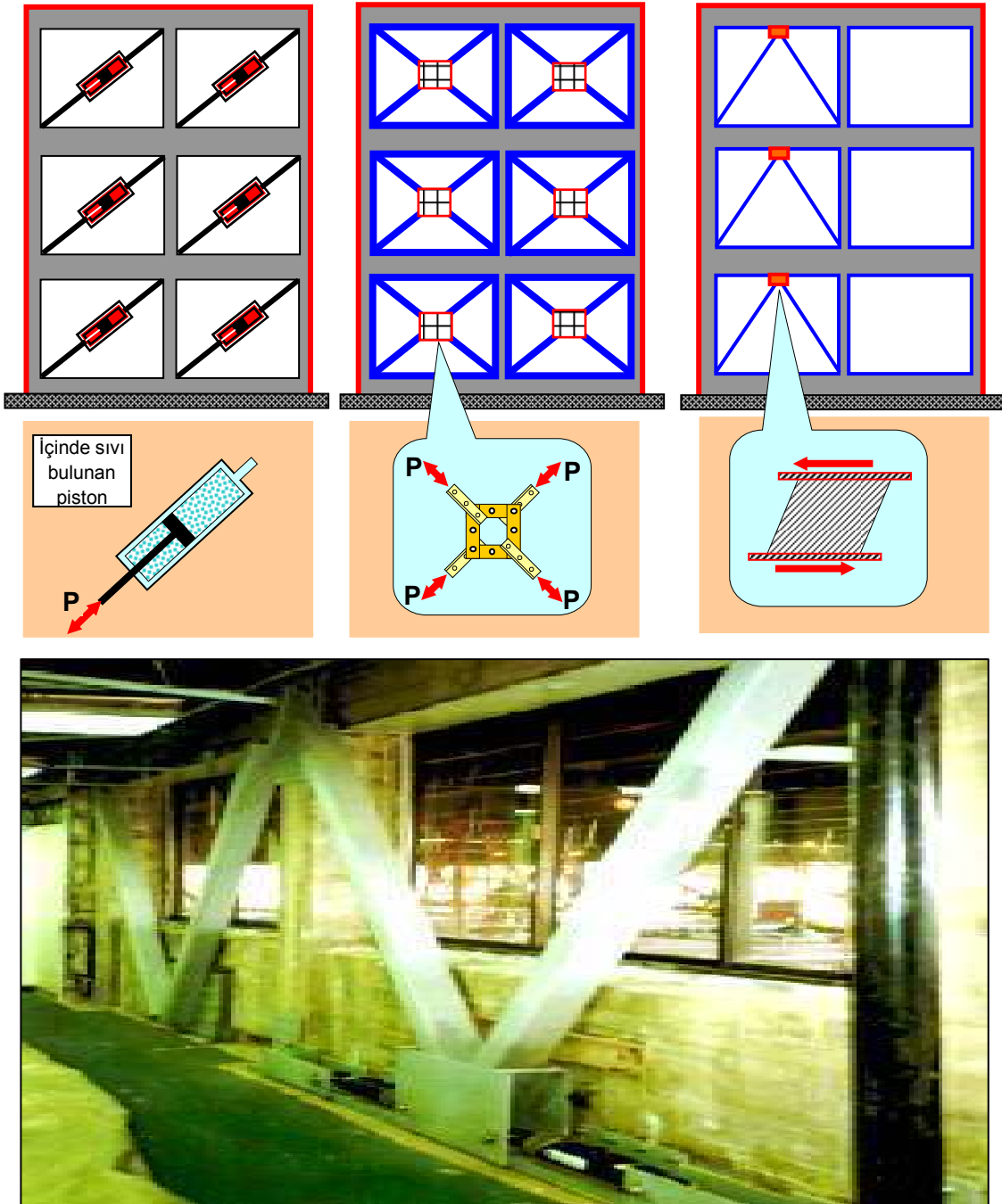


Şekil 3.39. Sismik izolatörler a) Kauçuk esaslı sismik izolatör,
b) Sürtünme esaslı sismik izolatör [23]

Vibrasyon kontrol cihazları, yapının en üstüne konan kütleler yardımıyla, yapının deprem sırasında yapacağı deplasmanlara uyumlu ve ters yönde hareket ederek yapının yatay deplasmanlarını minimuma indirmeye çalışır.

Yapıda yatay hareketleri minimuma indirmek ve deprem enerjisini absorbe etmek amacıyla kullanılan sönümleyiciler yatay rijitlik sağlamanı gereken akslara yerleştirilir. Yatay yükleri lineer olmayan bir mantıkla sönümledikleri için rijit bağlantılardan daha kullanışlı ve elverişlidirler.

Yine yapıların deprem esnasında yapacakları yatay deformasyonları minimuma indirmek için düğüm noktaları arasında çapraz bağlantılar oluşturulabilir (Şekil 3.40).



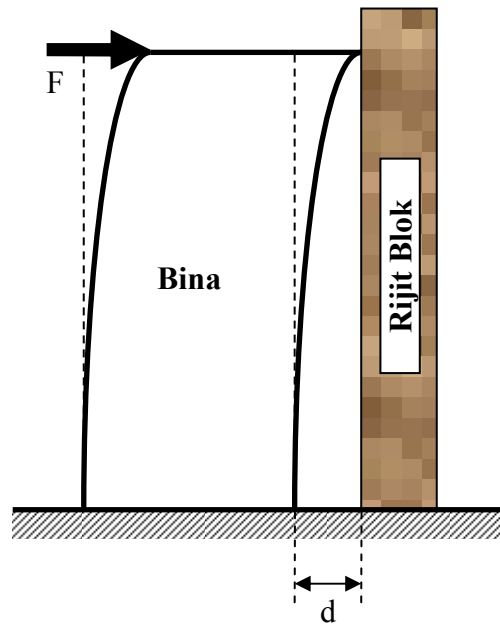
Şekil 3.40. Çapraz bağlantılar [21]

BÖLÜM 4

ÇALIŞILAN MODEL

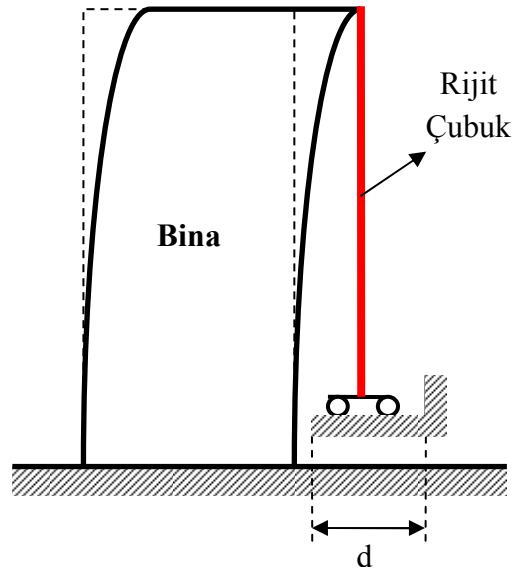
4.1 İzlenen yöntem

SAP2000 (Structural Analysis Program) ile üretilen farklı yapı modellerinin yanlarındaki rijit bir yapıya çarptıkları düşünülmüştür (Şekil 4.1). Çarpışma enerjisinin hiç sönümlenmeyip tamamen yapıya aktarıldığı varsayılarak aktarılan enerji bakımından en olumsuz durum düşünülmüştür. Modeller ve bu rijit yapı arasında bırakılmış farklı boşluk miktarlarına göre değişen çarpışma kuvvetleri bulunmuştur.



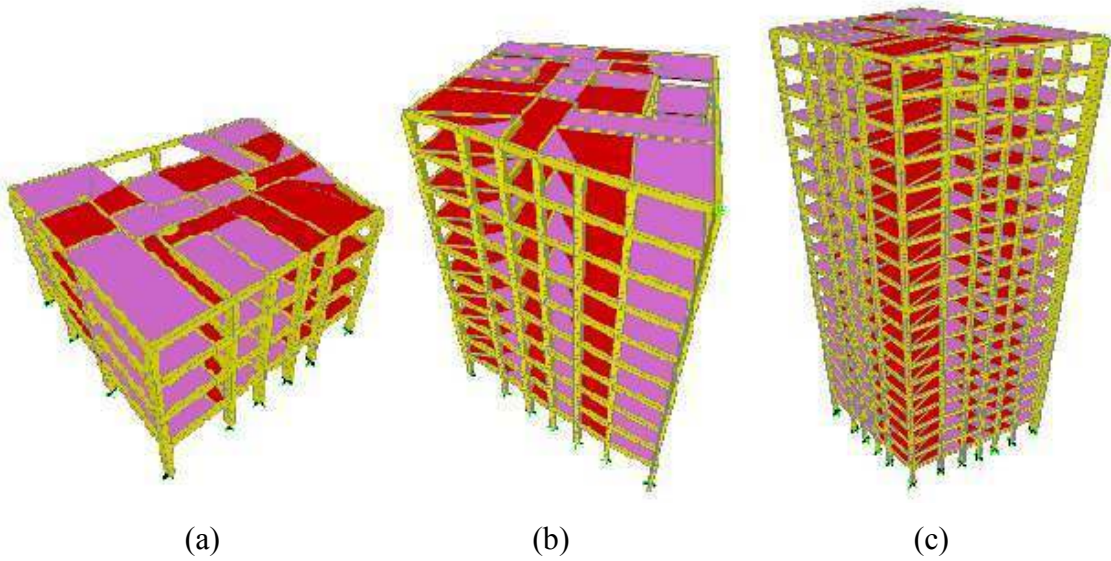
Şekil 4.1. Çarpışma modelleri kabulü

Farklı dilatasyon derzleri için çarpışma durumunu incelemek için de; belirli bir yere kadar yer değiştirme yapabilen özel düğüm noktaları tanımlanmıştır (Şekil 4.2). Bu özel düğüm noktalarına izin verilen yer değiştirme miktarı elbette dilatasyon derzi kadardır.



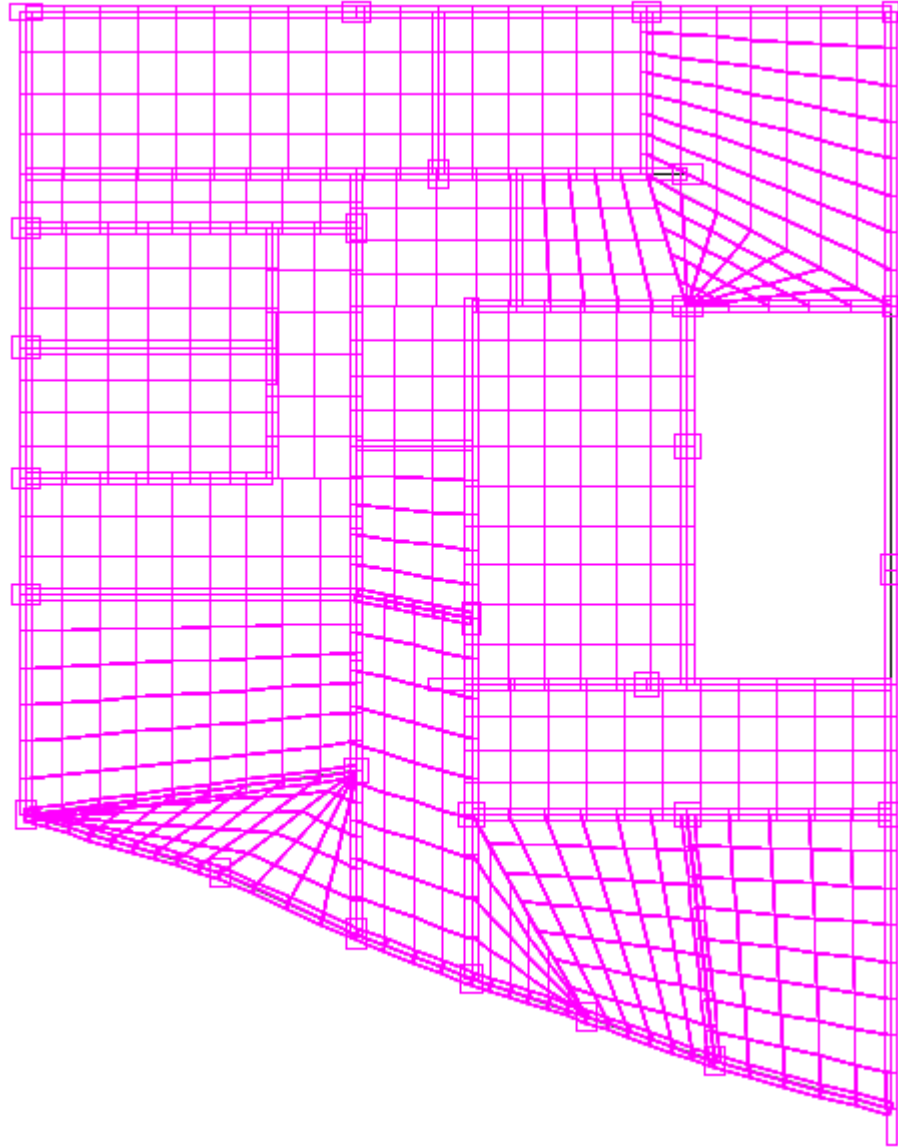
Şekil 4.2. Özel düğüm noktası modeli

2, 4, 6, 8, 10, 12, 14, 16, 18 ve 20 katlı olmak üzere 10 adet model üretilmiştir (Şekil 4.3).



Şekil 4.3. Oluşturulan yapı modelleri a) 4 Katlı, b) 10 Katlı, c) 20 Katlı

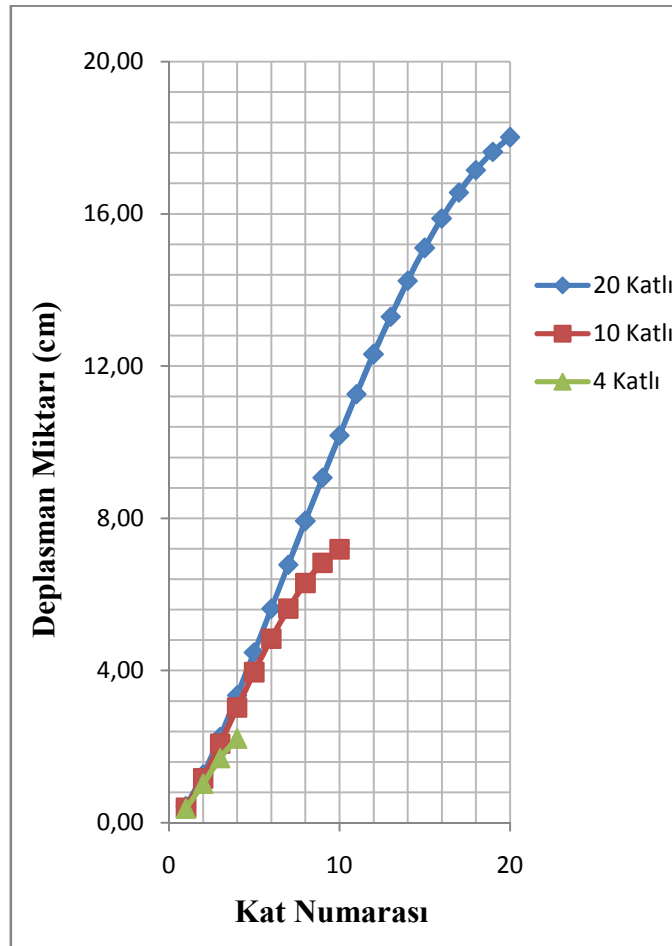
Bu modellerin genel kalıp planı karakteri Şekil 4.4 'te verilmiştir. Elbette modellerin kat sayıları arttıkça taşıyıcı eleman kesitleri uygun şekilde büyütülmüştür.



Şekil 4.4. 3 boyutlu modellerin genel kalıp planı

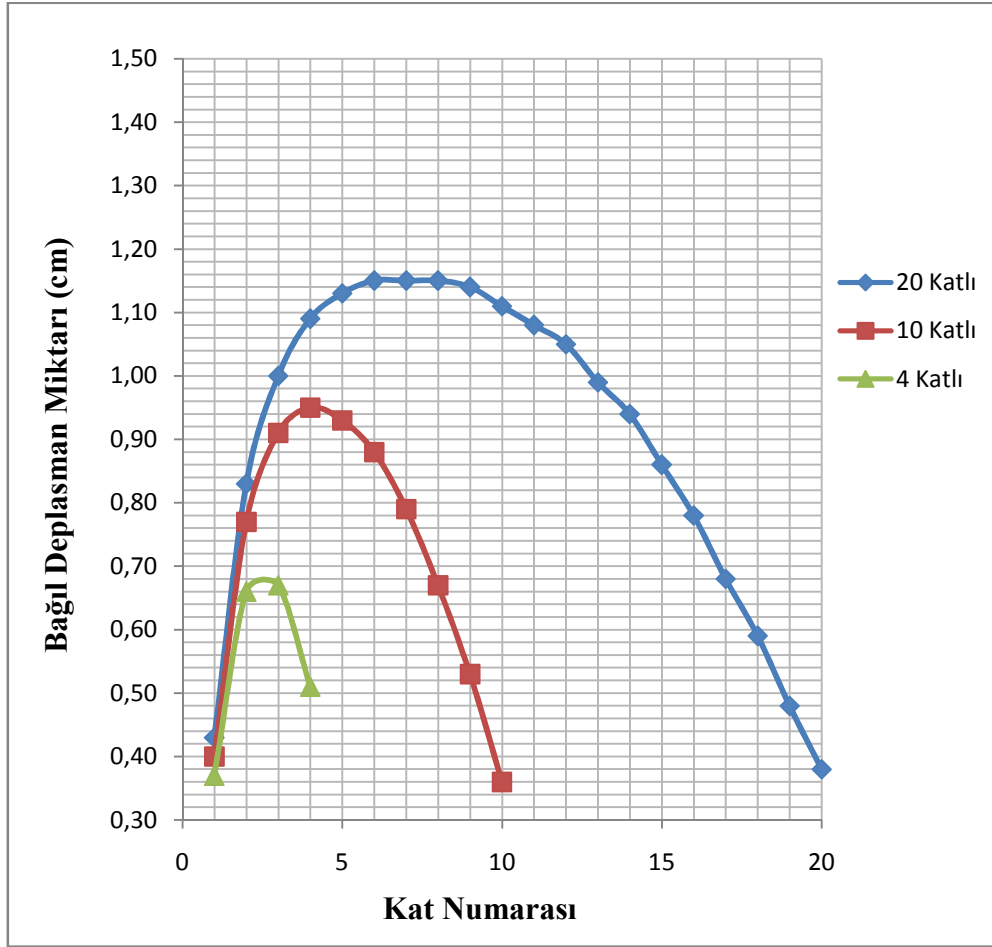
Yapı modelleri seçilirken, modellerin Türkiye 'deki mevcut yapılarda görülen genel kalıp planı özelliklerini taşımasına ve en olumsuz durumları görmek için modellerin düzensizlikler bulundurmasına dikkat edilmiştir.

Bu modellerin serbest salınım durumunda sabit, hareketli ve deprem yükleri altında yaptığı yatay ve düşey yer değiştirmeler hesaplanmıştır (Şekil 4.5).



Şekil 4.5. Oluşturulan bazı modellerin yatay deplasmanları

Yine oluşturulan modellerin serbest salınım durumlarında, katların birbirlerine göre yer değiştirmeleri hesaplanıp grafik haline getirilmiştir (Şekil 4.6).



Şekil 4.6. Oluşturulan bazı modellerin görelî deplasmanları

Bu hesaplanan görelî deplasmanlara göre modellerde B2 düzensizliği kontrolü yapıp B2 düzensizliğinin bulunmadığı saptanmıştır (Çizelge 4.1).

Çizelge 4.1. Oluşturulan bazı modellerde B2 düzensizliği kontrolü

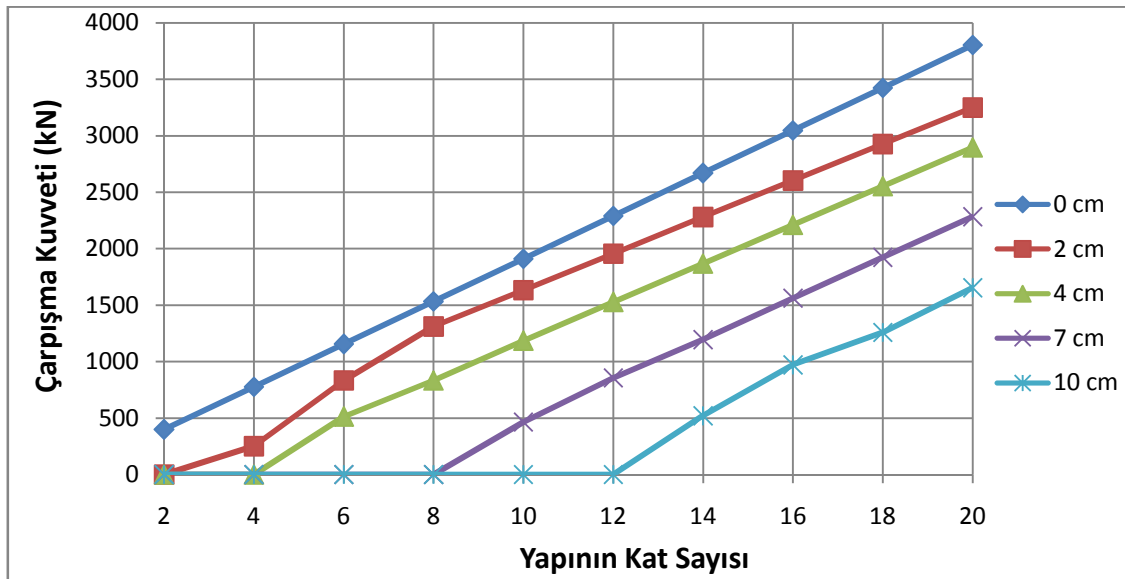
20 KATLI MODEL						10 KATLI MODEL					
<u>Kat</u>	<u>Δ_i</u>	<u>h_i</u>	<u>Δ_i/h_i</u>	η_{ki}	η_{ki}	<u>Kat</u>	<u>Δ_i</u>	<u>h_i</u>	<u>Δ_i/h_i</u>	η_{ki}	η_{ki}
<u>1</u>	0.43	3	0.14		0.52	<u>1</u>	0.40	3	0.13		0.52
<u>2</u>	0.83	3	0.28	1.93	0.83	<u>2</u>	0.77	3	0.26	1.93	0.85
<u>3</u>	1.00	3	0.33	1.20	0.92	<u>3</u>	0.91	3	0.30	1.18	0.96
<u>4</u>	1.09	3	0.36	1.09	0.96	<u>4</u>	0.95	3	0.32	1.04	1.02
<u>5</u>	1.13	3	0.38	1.04	0.98	<u>5</u>	0.93	3	0.31	0.98	1.06
<u>6</u>	1.15	3	0.38	1.02	1.00	<u>6</u>	0.88	3	0.29	0.95	1.11
<u>7</u>	1.15	3	0.38	1.00	1.00	<u>7</u>	0.79	3	0.26	0.90	1.18
<u>8</u>	1.15	3	0.38	1.00	1.01	<u>8</u>	0.67	3	0.22	0.85	1.26
<u>9</u>	1.14	3	0.38	0.99	1.03	<u>9</u>	0.53	3	0.18	0.79	1.47
<u>10</u>	1.11	3	0.37	0.97	1.03	<u>10</u>	0.36	3	0.12	0.68	
<u>11</u>	1.08	3	0.36	0.97	1.03						
<u>12</u>	1.05	3	0.35	0.97	1.06						
<u>13</u>	0.99	3	0.33	0.94	1.05						
<u>14</u>	0.94	3	0.31	0.95	1.09						
<u>15</u>	0.86	3	0.29	0.91	1.10						
<u>16</u>	0.78	3	0.26	0.91	1.15						
<u>17</u>	0.68	3	0.23	0.87	1.15						
<u>18</u>	0.59	3	0.20	0.87	1.23						
<u>19</u>	0.48	3	0.16	0.81	1.26						
<u>20</u>	0.38	3	0.13	0.79							

Deprem sırasında, yapıların yapacakları hesaplanan yer değiştirmelerin dilatasyon derzi kadar olan kısmına izin verilip geri kalan kısmı sınırlandırılarak, söz konusu bina ve rijit yapı arasındaki çarpışma kuvvetleri hesaplanmıştır.

Ayrıca çarpışma noktasının kat seviyesinde ve 1/2, 1/3, 2/3 kat yüksekliklerinde olması durumu için de söz konusu yapının çarpışma elemanlarında oluşan Şekil değiştirme miktarları ve çarpışma kuvvetleri de hesaplanmıştır.

4.2 Sayısal sonuçlar

Çalışmada hesaplanan 2, 4, 6, 8, 10, 12, 14, 16, 18 ve 20 katlı modellerin, değişik dilatasyon derzi değerleri için çok rijit bir yapıya en üst kat seviyesinde çarpması durumunda bulunan çarpışma kuvvetleri grafik haline getirilmiştir (Şekil 4.7).



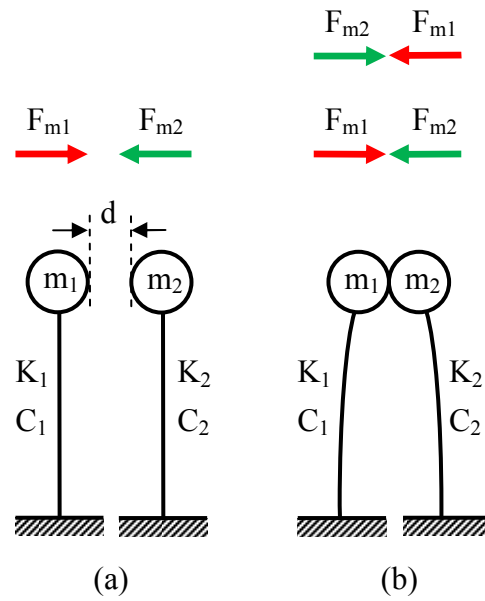
Şekil 4.7. Kat sayısı – Çarpışma kuvveti grafiği

Şekil 4.7. 'de görülen grafikte, seriler dilatasyon derzi miktarını göstermektedir. Örneğin; aralarında 10 cm dilatasyon derzi bulunan 20 katlı bir yapı ile sözü geçen rijit blok arasındaki çarpışma kuvveti 1650 kN olarak okunur.

4.3 Sayısal sonuçların değerlendirilmesi

Bir önceki bölümde de belirtildiği gibi yapı modellerinin çarpışma kuvvetlerini bulurken, yapının çok rijit ve salınım yapmayan bir bloğa çarptığını ve çarpışma kuvvetinin hiç sönümlenmeden tamamının yapıya aktarıldığı kabul edilmiştir.

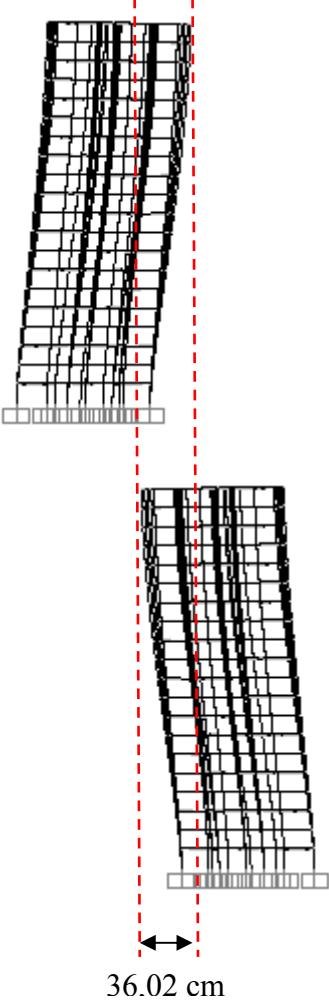
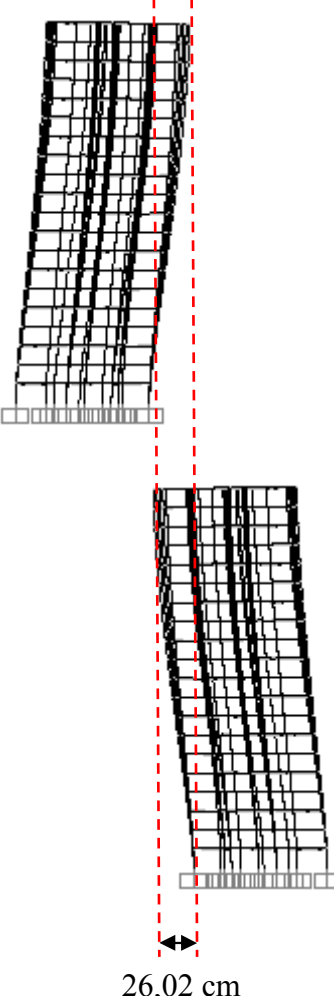
Deprem sırasında salınım yapan iki yapının çarpışma kuvvetini hesaplamak için de, her iki yapının da çarpışma kuvvetine eşit tepki gösterdiğini ve bu kuvvetin tamamının kütleyle iletildiğini kabul edelim (Şekil 4.8).



Şekil 4.8. Çarpışma kuvvetlerinin iletimi

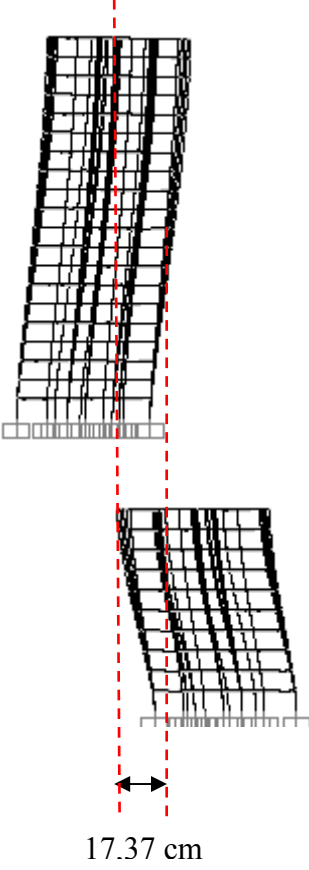
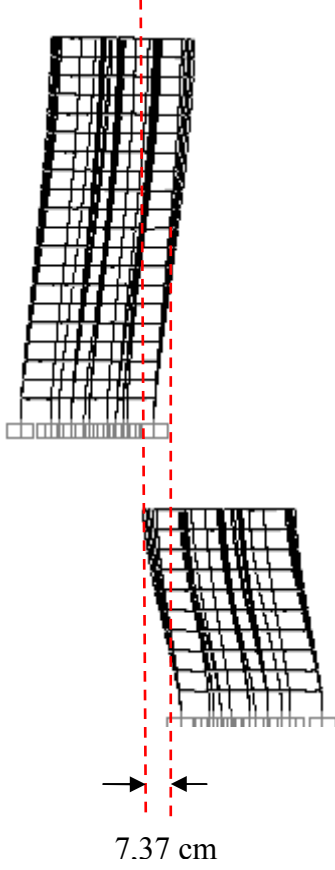
a) Çarpışmadan önce, b) Çarpışma anı

Şekil 4.8’de görülen iki yapının çarpışma kuvvetini $F_{m1} + F_{m2}$ olarak buluruz. Öyle ise oluşturulan modellerden elde edilen sonuçları özetleyecek olursak iki 20 katlı yapının çarpışma durumu Şekil 4.9 ’daki gibi olacaktır.

<u>Dilatasyon</u>	0 cm	10 cm
<u>Miktarı</u>		
<u>Girişim Durumu</u>	 <p>36.02 cm</p>	 <p>26.02 cm</p>
<u>Çarpışma Kuvveti</u>	7607,65 kN	2076,18 kN

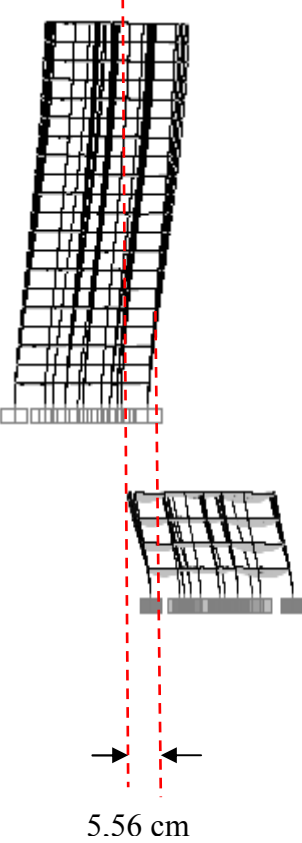
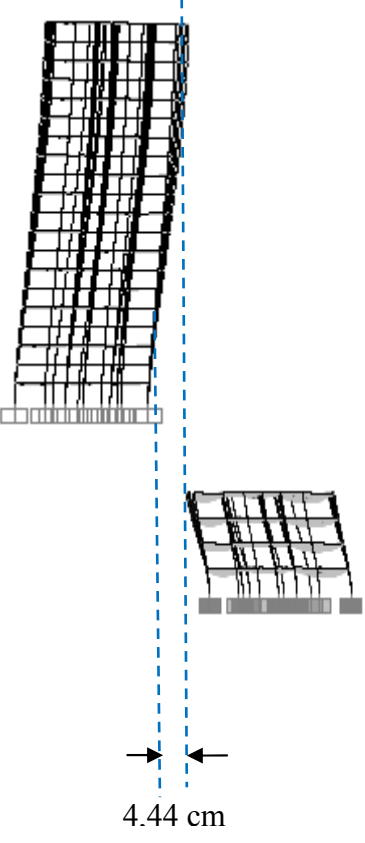
Şekil 4.9. iki 20 katlı yapının çarpışma analizi

20 katlı ve 10 katlı iki yapının çarpışma durumu Şekil 4.10 'daki gibi olacaktır.

<u>Dilatasyon</u>	0 cm	10 cm
<u>Miktarı</u>		
<u>Girişim</u> <u>Durumu</u>	 <p>17.37 cm</p>	 <p>7.37 cm</p>
<u>Çarpışma</u> <u>Kuvveti</u>	4329,15 kN	1026,18 kN

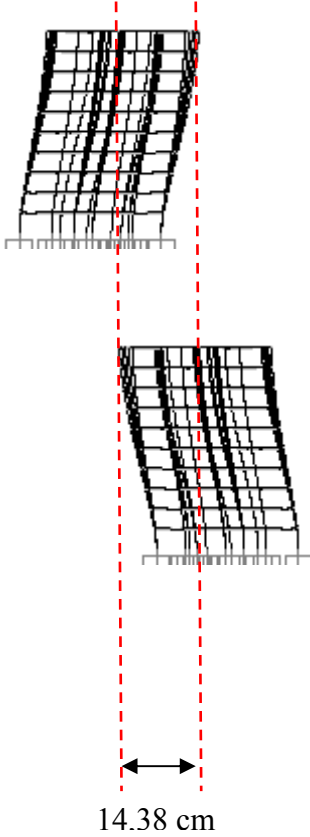
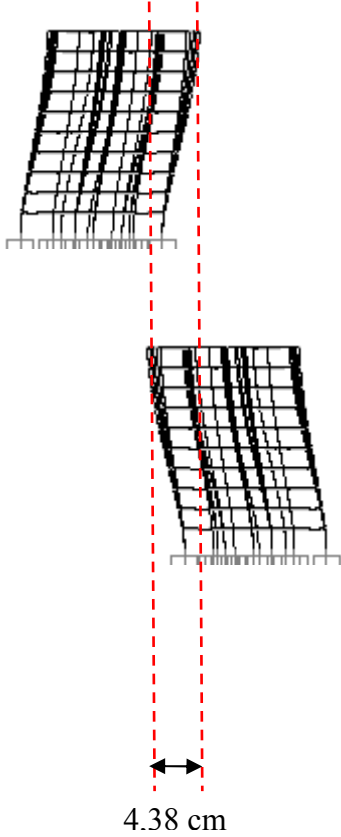
Şekil 4.10. 20 katlı ve 10 katlı iki yapının çarpışma analizi

20 katlı 4 katlı iki yapının çarpışma durumu Şekil 4.11 'deki gibi olacaktır.

<u>Dilatasyon</u>	0 cm	10 cm
<u>Miktarı</u>		
<u>Girişim Durumu</u>		
<u>Çarpışma Kuvveti</u>	1337,46 kN	ÇARPIŞMA YOK

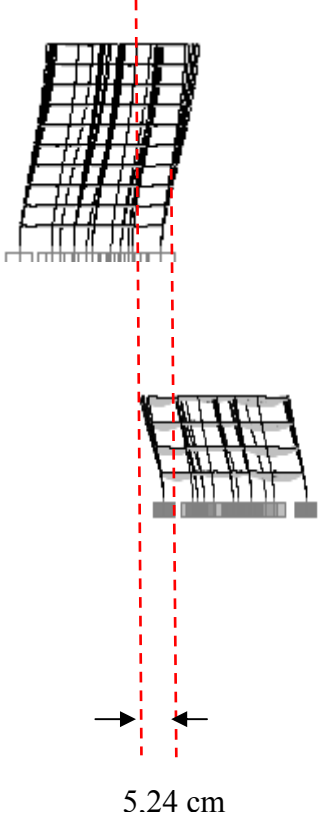
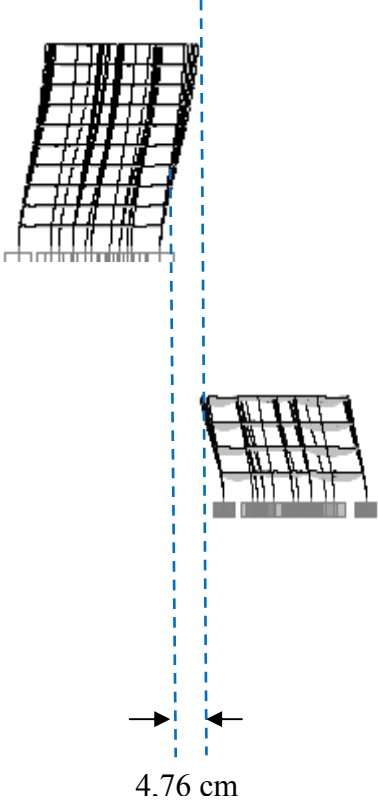
Şekil 4.11. 20 katlı ve 4 katlı iki yapının çarpışma analizi

İki adet 10 katlı yapının çarpışma durumu Şekil 4.12 'deki gibi olacaktır.

<u>Dilatasyon</u>	0 cm	10 cm
<u>Miktarı</u>		
<u>Girişim Durumu</u>	 <p>14.38 cm</p>	 <p>4.38 cm</p>
<u>Çarpışma Kuvveti</u>	3105,12 kN	955,77 kN

Şekil 4.12. iki 10 katlı yapının çarpışma analizi

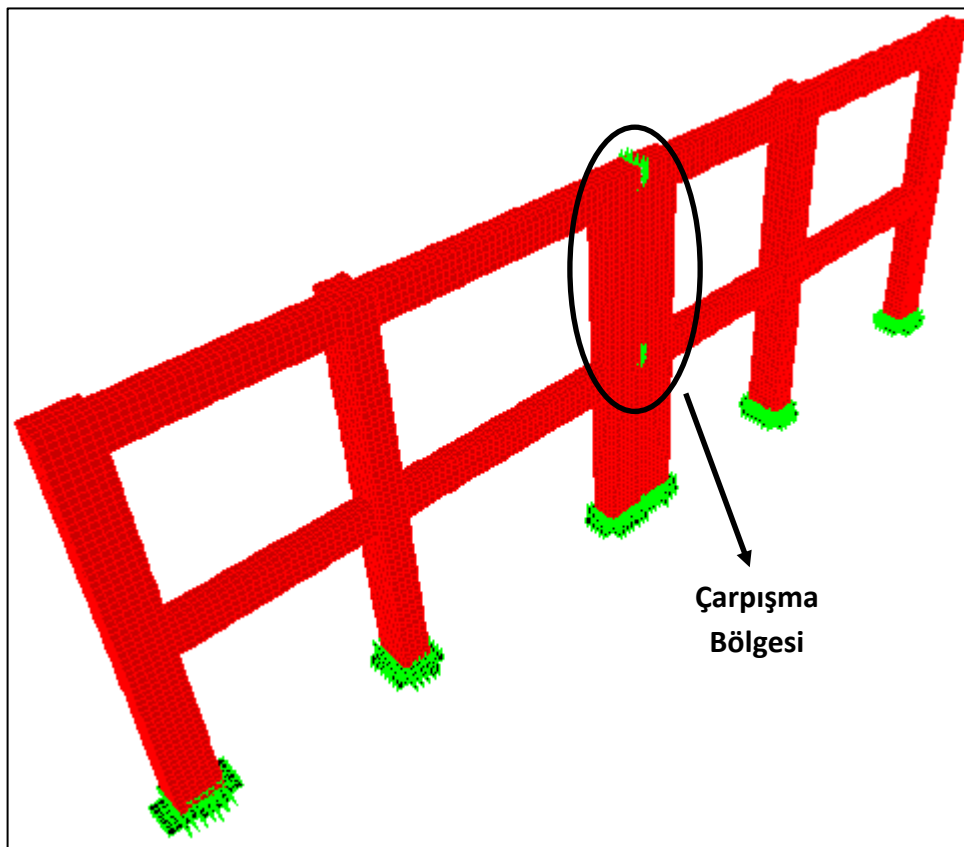
Biri 10 diğer 4 katlı iki yapının ise çarpışma durumu Şekil 4.13 'teki gibi olur.

<u>Dilatasyon</u>	0 cm	10 cm
<u>Miktarı</u>		
<u>Girişim Durumu</u>		
<u>Çarpışma Kuvveti</u>	1810,64 kN	ÇARPIŞMA YOK

Şekil 4.13. 10 katlı ve 4 katlı iki yapının çarpışma analizi

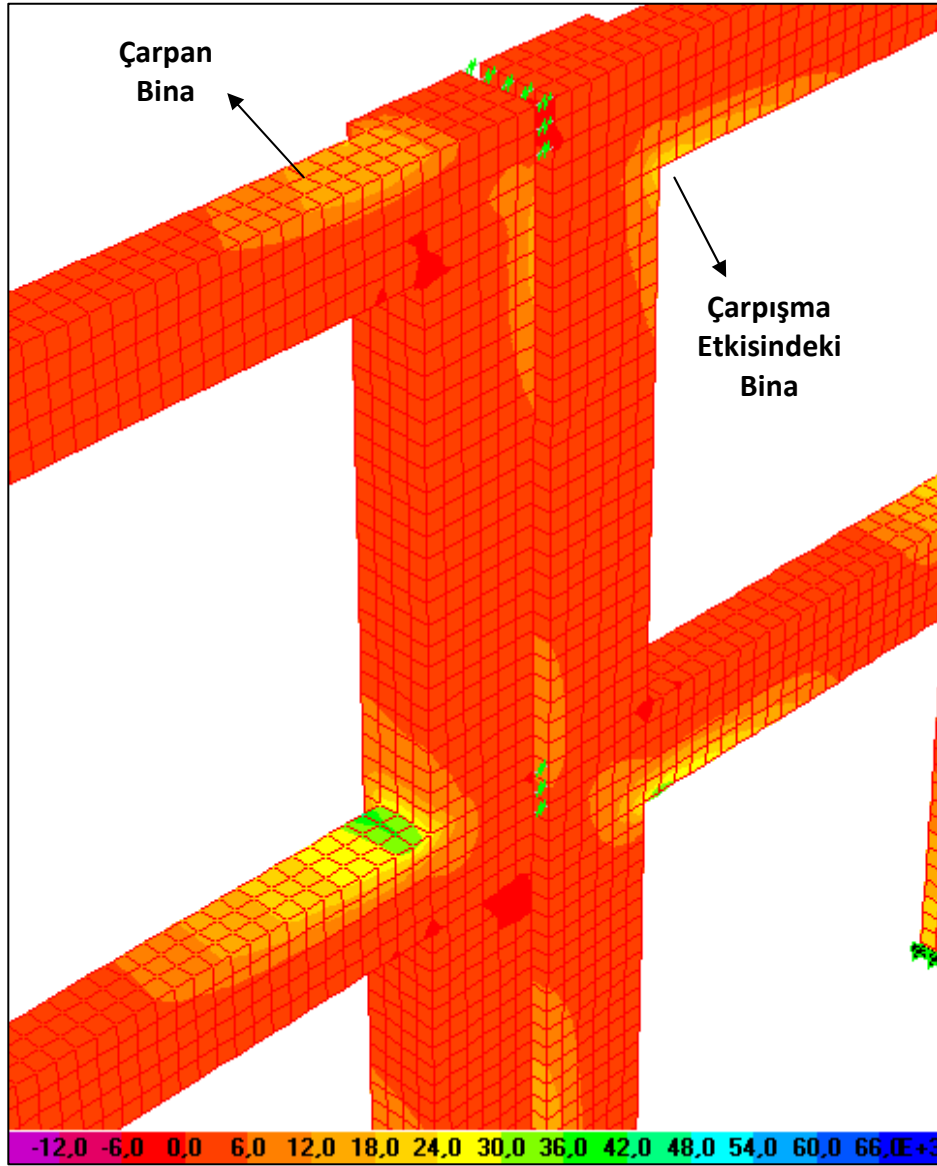
4.4 Çarpışma etkilerinin azaltılması için bir yöntem

Aralarında yeterli boşluk bırakılmadan inşa edilen yapılar çarpışma tehlikesi altındadır. Bitişik olarak yapılmış yapıların arasına konulacak elastik bir malzeme, çarpışma enerjisinin sönümlenmesinde yardımcı olabilir. Bu durumu incelemek için iki adet, bitişik iki katlı çerçeve modeli üretilmiştir (Şekil 4.14).



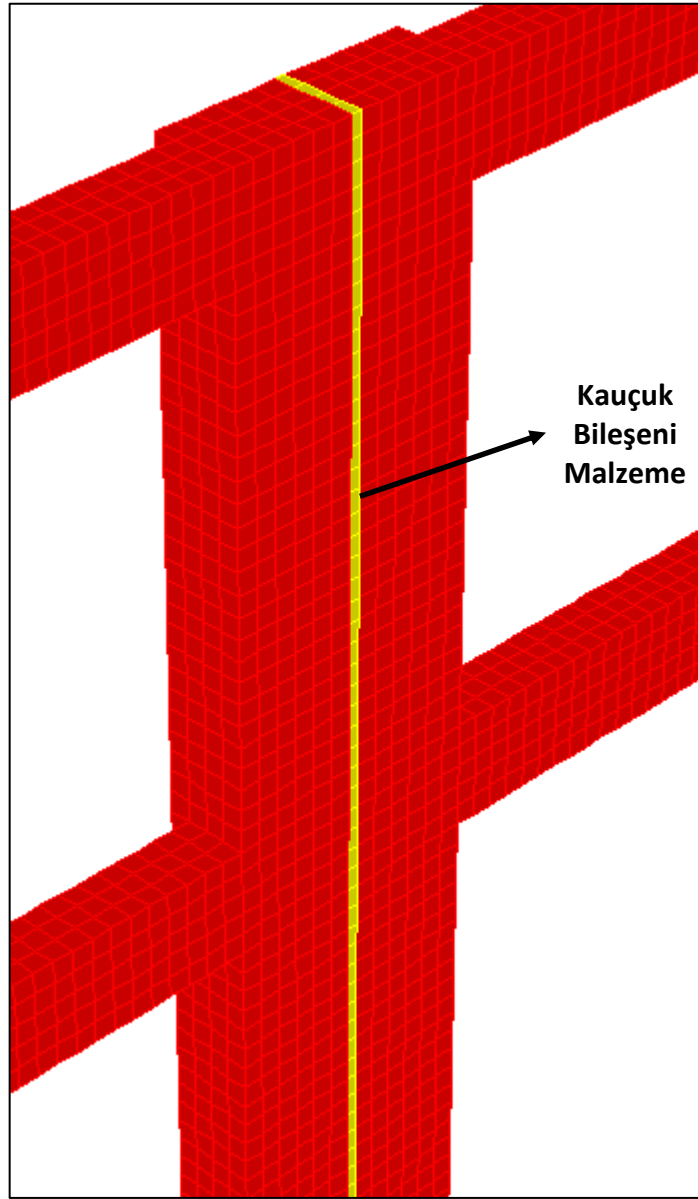
Şekil 4.14. 2 katlı bitişik çerçeve modelleri

Bu iki çerçevenin arasında 5 cm boşluk varken, 1800 kN 'luk yatay kuvvet altında çarpışma durumunun oluşturduğu gerilmeler Şekil 4.15 'teki gibi olmaktadır.



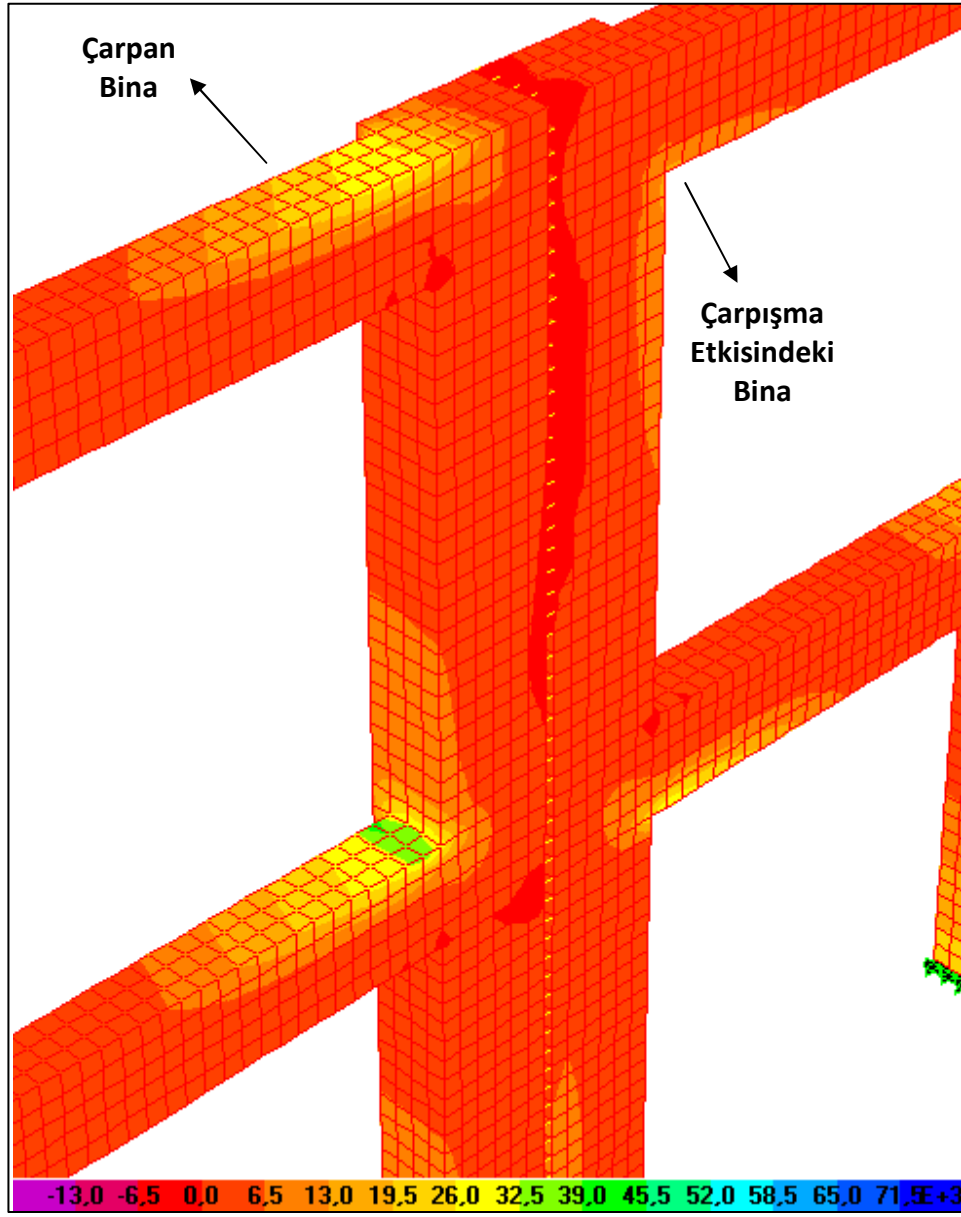
Şekil 4.15. Çarpışma anında oluşan maksimum gerilmeler (kN/m^2)

Aralarında 5 cm boşluk bulunan bu iki yapının arasına, sismik izolasyon sağlayacak elastisite modülü 4470 kN/m^2 ve kayma modülü 1500 kN/m^2 olan özel bir kauçuk eleman konulabilir (Şekil 4.16). Bu kauçuk elemanın yüksek sönümleme katsayısı ve elastik yapısı çarpışma kuvvetinin yutulmasına ve üniform bir şekilde dağıtılmasına yardım edecektir.



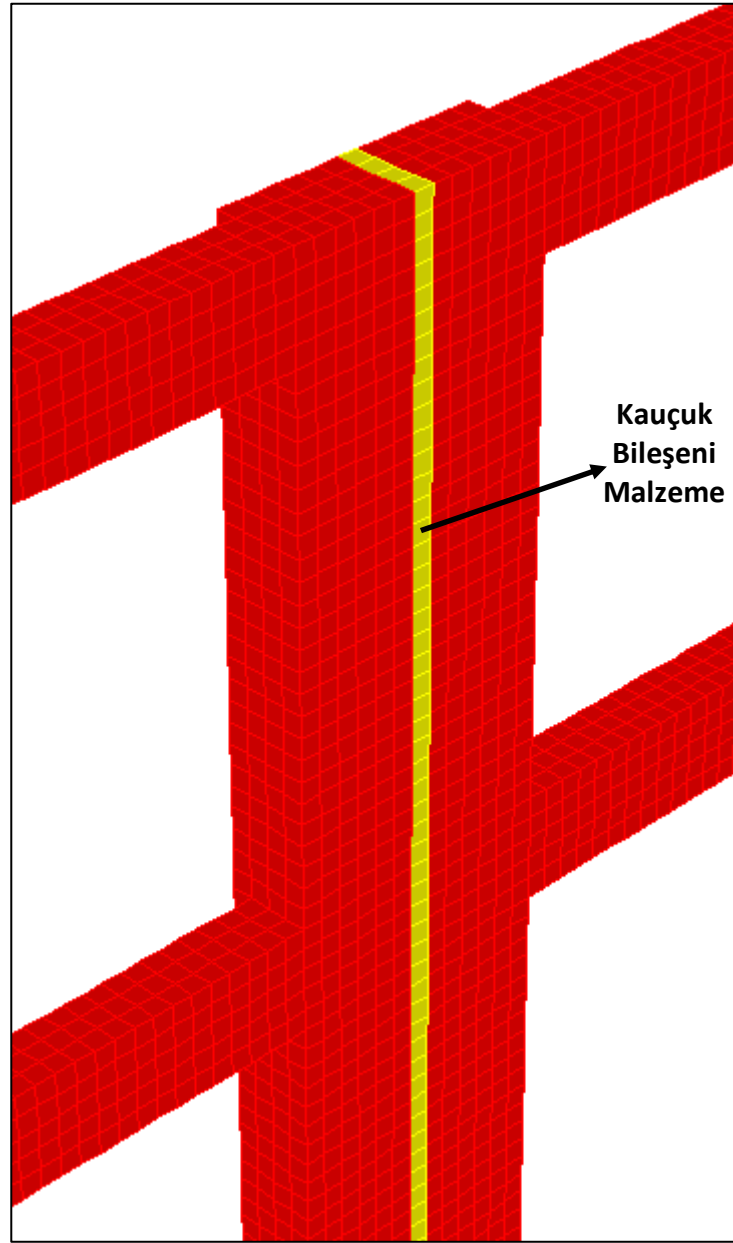
Şekil 4.16. 5 cm kalınlığında kauçukla yalıtılmış iki bitişik çerçeve

İki yapı arasındaki 5 cm 'lik boşluğa bu kauçuk elemanların yerleştirilmesi sonucu değişen gerilme durumu ise Şekil 4.17 'de verilmiştir. Özellikle düğüm noktalarında, sismik izolasyonun olumlu etkisi açıkça görülmektedir.



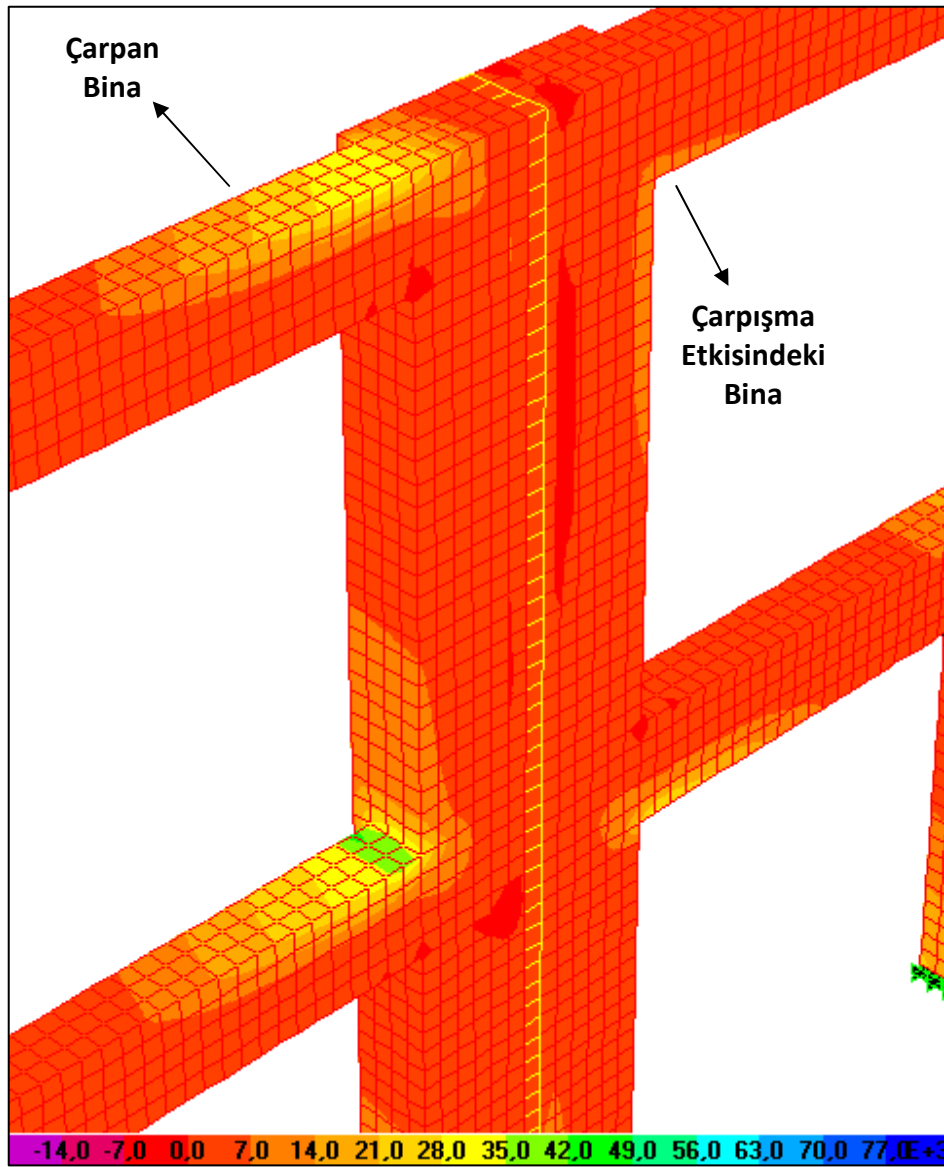
Şekil 4.17. Çarpışma anında oluşan maksimum gerilmeler (kN/m²)

İki yapı arasına aynı kauçuk elemandan 10 cm. kullanarak oluşturulan bir çarpışma modeli de Şekil 4.18 'de görülmektedir. Kauçuk elemanın kalınlığının artmasının sismik izolasyonu daha etkili kılması beklenir.



Şekil 4.18. 10 cm kalınlığında kauçukla yalıtılmış iki çerçeve modeli

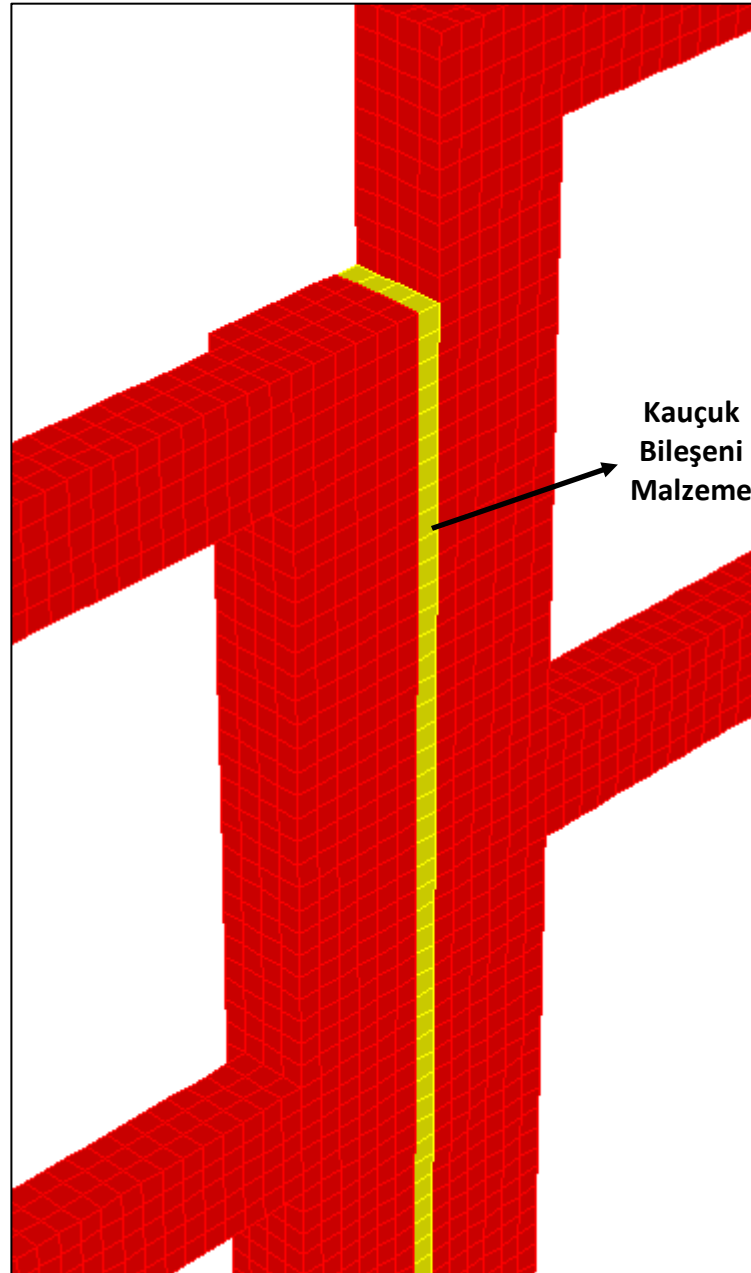
Bu modelin, 5 cm. kauçuk eleman kullanılarak oluşturulan modelle aynı çarpışma koşullarına maruz kalması sonucu oluşacak gerilme durumu Şekil 4.19 'da verilmiştir. Yine düğüm noktalarındaki gerilme yığınının 5 cm. kauçuk eleman kullanılarak yapılan sismik izolasyona göre kısmen dağılması, izolasyon malzemesinin kalınlığının artmasıyla oluşan olumlu etkidir.



Şekil 4.19. Çarpışma anında oluşan maksimum gerilmeler (kN/m^2)

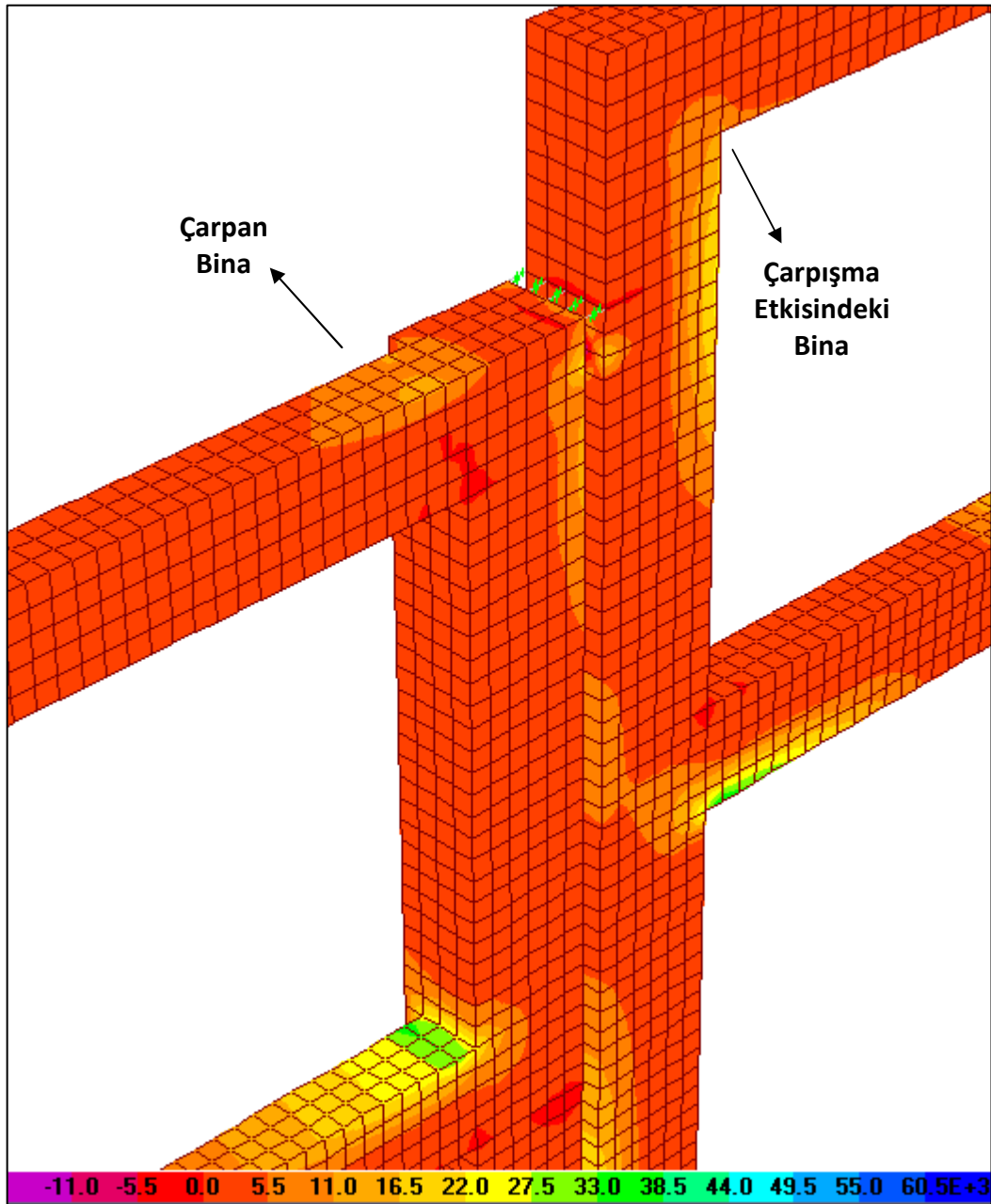
Araya konan kauçuk eleman sayesinde çarpma etkisinde olan çerçevedeki gerilmelerin dikkate alınır ölçüde azaldığı görülmektedir. Sayısal sonuçlardan faydalanılarak, bu denli yüksek sönümlenme özellikleri bulunan malzemelerin çarpışma etkilerini azaltmada büyük katkıları olduğu söylenebilir.

Aynı şekilde farklı kat seviyelerinde olan çerçeveler arasında da kullanıldığında olumlu etkiler görülmektedir (Şekil 4.20)



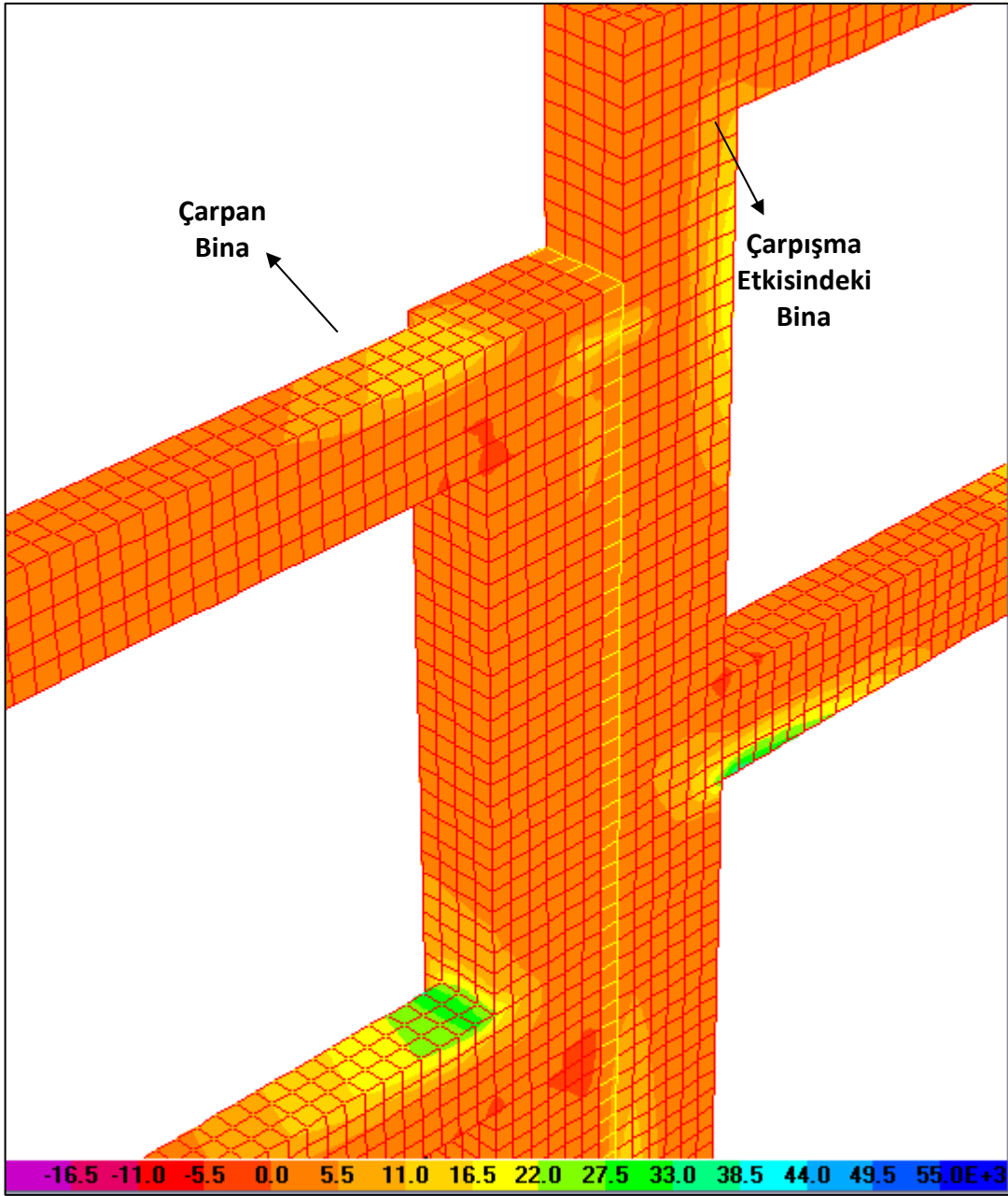
Şekil 4.20. 10 cm sismik izolasyonlu farklı kat yükseklikli model

Şekil 4.20 'de görülen çarpışma durumu, çözülen düğüm çarpışma durumlarından daha kritiktir. Sismik izolasyon yapılmamış bir çerçevede gerilme düğüm noktalarında değil çarpışma elemanının açıklığında toplanır (Şekil 4.21). Çarpışma elemanı büyük bir kuvveti düğüm noktaları ile sisteme dağıtmaya zorlanır.



Şekil 4.21. İzolasyonsuz farklı kat yükseklikli modelin çarpışma gerilme durumu

Şekil 4.21 'de görüldüğü gibi çerçeveler arasında izolasyon bulunmadığı zaman, çarpışma kuvvetleri, çarpışma noktasında bir gerilme yığılması oluşturuyor. İki çerçeve arasında poisson oranı ve sönümlenme katsayısı yüksek bir malzeme bulunduğunda çarpışma elemanında noktasal gerilme yığılmaları oluşmuyor (Şekil 4.22).



Şekil 4.22. 10 cm izolasyonlu farklı kat yükseklikli modelin çarpışma gerilme durumu

BÖLÜM 5

SONUÇLAR

Bilgisayar ortamında oluşturulan yapı modelleri üzerinde yapılan sayısal çözümlerinde de açıkça görülebileceği gibi yapıların çarpışması sonucu ortaya çarpan yapının veya yapıların kütesine ve taşıyıcı sistemine bağlı olarak çok büyük kuvvetler çıkmaktadır. Bu denli büyük kuvvetlere yapının taşıyıcı sisteminin dayanması mümkün değildir ve çarpışma kuvveti etkisinde kalan yapı elemanı çoğunlukla kırılarak görevini yapamaz hale gelir.

Çarpışma noktasının yeri de çarpışmanın yapı üzerindeki etkisini belirleyen faktörlerden biridir. Modeller üzerinde yapılan sanal çarpışma deneylerinin sonuçlarından görülebileceği gibi en olumsuz durum, bir yapının düğüm noktasının diğer yapının kolunun ortasına gelmesi sonucu oluşmaktadır. Eğer bir çarpışma olacaksa, en olumlu durum ise iki düğüm noktasının çarpışmasıdır.

Elbette istenen durum, çarpışma olmamasıdır. Bunun için yapılar arasında yeterli boşluk bırakılması ve düzensiz yapılar yapılmaması gerekir. Türkiye ve diğer ülkelerin yönetmeliklerinde yapılar arasında bırakılması gereken boşluklar ile alakalı maddeler bulunmaktadır buna rağmen hala aralarında yeterli boşluk bırakılmadan hatta hiç boşluk bırakılmadan binalar yapılmaktadır. Çalışılan modellerden de görüldüğü üzere, yapılar arasında yetersiz boşluk bırakmak, hiç boşluk bırakılmamış duruma göre elbette daha olumludur.

Daha önce yapılmış çalışmalardan da açıkça görülebileceği gibi; düzensiz yapılar, deprem esnasında tahmin edilmesi güç karakterde deformasyonlar yapabilecekleri için diğer binalar ile aralarında bırakılması gereken boşluğun hesabı zorlaşır ve doğru sonuca ulaşmak pek mümkün olmaz.

Aralarında yetersiz boşluk bırakılmış yapıların, olası bir depremde çarpışma etkilerini azaltmak için yapılar arasına kauçuk sismik izolasyon elemanları yerleştirilebilir. Üretilen katı çerçeve modelleri arasına bu kauçuk eleman konulduğunda, yapı elemanlarındaki gerilmelerin azaldığı görülmüştür. Fakat yine de çarpışma kuvveti ve oluşan gerilmeler tehlikeli tarafta kalmaktadır.

KAYNAKLAR DİZİNİ

- 1) Bayındırlık ve İskan Bakanlığı, 2007, Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik, T.C. Bayındırlık ve İskan Bakanlığı Afet İşleri Genel Müdürlüğü Deprem Araştırma Dairesi, 159 s.
- 2) I.C.B.O., 1997, Uniform Building Code Volume 2 (Structural Engineering Design Provisions), International Conference of Building Officials, 545 p.
- 3) C.E.N., 1998, Eurocode 8: Design of Structures for Earthquake Resistance, European Committee for Standardization
- 4) C.S.I., 2007, SAP2000 Advanced v10.0.7 (Structural Analysis Program), Computers and Structures Inc.
- 5) Muthukumar, S. and DesRoches, R., 2006, A Hertz contact model with non-linear damping for simulation, Earthquake Engineering and Structural Dynamics, 35, 811-828.
- 6) AbdelRaheem, S.E., 2006, Seismic pounding between adjacent building structures, Electronic Journal of Structural Engineering, 6, 66-74.
- 7) Westermo, B.D., 1989, The Dynamics of interstructural connection to prevent pounding, Earthquake Engineering and Structural Dynamics, 18, 687-699.
- 8) Maison, B.F., Kasai, K., 1990, Analysis for type of structural pounding, Journal of Structural Engineering, 116, 4, 957-975.
- 9) Papadrakakis, M., Mouzakis, H., Plevris, N. and Bitzarakis, S., 1991, A Langrange multiplier solution method for pounding of buildings during earthquakes, Earthquake Engineering and Structural Dynamics, 20, 981-998.
- 10) Anagnostopoulos, S.A., 1988, Pounding of buildings in series during earthquakes, Earthquake Engineering and Structural Dynamics, 16, 443-456.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- 11) Anagnostopoulos, S.A., 1992, An Investigation of earthquake induced pounding between adjacent buildings, *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, 21, 289-302.
- 12) Jeng, V., Tzeng, W.L., 2000, Assesment of seismic pounding hazard for Taipei City, *Engineering Structures*, 22, 459-471.
- 13) Sezen, H., Whittaker, A.S., Elwood, K.J. and Mosalam, K.M., 2003, Performance of reinforced concrete buildings during the August 17, 1999 Kocaeli, Turkey earthquake, and seismic design and construction practice in Turkey, *Engineering Structures*, 25, 103-114.
- 14) Doğangün, A., 2004, Performance of reinforced concrete buildings during the May 1, 2003 Bingöl earthquake in Turkey, *Engineering Structures*, 26, 841-856.
- 15) Kaplan, H., Yilmaz, S., Binici, H., Yazar, E. and Çetinkaya, N., 2004, May 1, 2003 Turkey – Bingöl earthquake: damage in reinforced concrete structures, *Engineering Failure Analysis*, 11, 279-291.
- 16) Jankowski, R., 2004, Non-linear modeling of earthquake induced pounding of buildings,
- 17) Garcia, D.L., 2005, Discussion on: Critical building separation in reducing pounding risk under earthquake excitation, *Structural Safety*, 27, 393-396.
- 18) Kasai, K. and Maison, B.F., 1996, Building pounding damage during the 1989 Loma Prieta earthquake, *Engineering Structures*, 19, 3, 195-207.
- 19) Lin, J.H. and Weng, C.C., 2001, Probability analysis of seismic pounding of adjacent buildings, *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, 30, 1539-1557.
- 20) Matsagar, V.A. and Jangid, R.S., 2005, Viscoelastic damper connected to adjacent structures involving seismic isolation, *Journal of Civil Engineering and Management*, 11, 4, 309-322.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- 21) Doğan, M., 2007, Depreme dayanıklı yapı tasarımı ders notları, 677 s.
- 22) <http://www.kiptas.com.tr>
- 23) <http://www.serki.com>
- 24) <http://www.deprem.gov.tr>

