

**DOĞRUSAL OLMAYAN TAŞIYICI SİSTEMLERDE RİJİT  
DİYAFRAM KABULÜNÜN ARAŞTIRILMASI**

**Pamukkale Üniversitesi  
Fen Bilimleri Enstitüsü  
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı  
Yüksek Lisans Tezi**

**Özlem ÖZPINAR**

**Danışman : Yrd. Doç. Dr. Şevket Murat ŞENEL**

**Temmuz – 2006  
DENİZLİ**



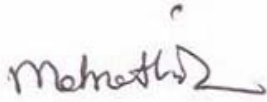
**YÜKSEK LİSANS TEZİ ONAY FORMU**

Özlem ÖZPINAR tarafından Yrd. Doç. Dr. Şevket Murat ŞENEL yönetiminde hazırlanan “**Doğrusal Olmayan Taşıyıcı Sistemlerde Rijit Diyafram Kabulünün Araştırılması**” başlıklı tez tarafımızdan okunmuş, kapsamı ve niteliği açısından bir Yüksek Lisans Tezi olarak kabul edilmiştir.



**Prof. Dr. Muzaffer TOPÇU**

**Jüri Başkanı**



**Yrd. Doç. Dr. Mehmet İNEL**

**Jüri Üyesi**



**Yrd. Doç. Dr. Şevket Murat ŞENEL**

**Jüri Üyesi (Danışman)**

Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun ...../...../.....  
Tarih ve ..... Sayılı kararıyla onaylanmıştır.

**Prof. Dr. Mehmet SARIGÖL**

**Müdür**

Bu tezin tasarımı, hazırlanması, yürütülmesi, araştırmalarının yapılması ve bulgularının analizlerinde bilimsel etiğe ve akademik kurallara özenle riayet edildiğini; bu çalışmanın doğrudan birincil ürünü olmayan bulguların, verilerin ve materyallerin bilimsel etiğe uygun olarak kaynak gösterildiğini ve alıntı yapılan çalışmalara atfedildiğini beyan ederim.



Özlem ÖZPINAR

## TEŞEKKÜR

Bu çalışmanın hazırlanması sırasında büyük bir sabır göstererek, yardımlarını ve ilgisini esirgemeyen, bilgi ve tecrübesinden faydalandığım değerli danışman hocam Sayın *Yrd.Doç.Dr. Şevket Murat ŞENEL* 'e teőekkürü bir borç bilirim.

Okulda aldığım mesleki eğitim süresince yardımları ve destekleri için Sayın *Yrd.Doç.Dr. Mehmet İNEL*, Sayın *Arő.Gör. Ali Haydar KAYHAN* ve Sayın *Arő.Gör. Salih YILMAZ* 'a teşekkür ederim.

Beni yalnız bırakmayan tüm dostlarıma ve bugüne gelene kadar maddi ve manevi desteklerini benden esirgemeyen aileme teşekkür ederim.

## ÖZET

### DOĞRUSAL OLMAYAN TAŞIYICI SİSTEMLERDE RİJİT DİYAFRAM KABULÜNÜN ARAŞTIRILMASI

Özpinar, Özlem

Yüksek Lisans Tezi, İnşaat Mühendisliği, Yapı Anabilim Dalı  
Tez Yöneticisi : Yrd. Doç. Dr. Şevket Murat ŞENEL

Temmuz 2006, 99 Sayfa

Bina türü yapılar genellikle, yatay kuvvet etkisi altında döşeme sistemlerinin rijit diyafram gibi çalıştığı kabul edilerek tasarımılandırılır ve çok katlı yapı sistemleri kat seviyelerinde toplanmış kütleler ile idealize edilir. Yapılan bu kabul rijitliğin planda düzgün dağıldığı elastik yöntemler kullanılarak hesaplanan binalarda gerçekçi sonuçlar vermektedir. Plan geometrisi açısından rijitliğin düzgün dağılmadığı, çerçevelerinin farklı rijitliklere sahip olduğu kolon ve kirişleri mafsallaşan sistemlerde söz konusu kabulün gerçekliği ise araştırılmalıdır.

Bu amaç doğrultusunda planda farklı boy/en oranlarına sahip üç bina modeli hazırlanmış (T1, T2, T3), hazırlanan bu modeller özdeş kolonlu ve dış çerçeveleri daha rijit kolonlu olmak üzere türetilmiştir (SW, FRM). Hazırlanan modeller hem rijit diyaframlı hem de mafsallı tanımlanan bağlantı elemanları sayesinde esnek diyaframlı olarak tanımlanmıştır. Oluşturulan modellerin Sap2000 programı kullanılarak kütle, mod şekli ve kütle\*mod şekli yükleme desenleri kullanılarak doğrusal olmayan itirme analizleri yapılmıştır.

Analizlerden elde edilen sonuçlar özdeş kolonlu sistemlerin esnek ve rijit diyafram kabulüne göre yapılan hesaplamalarından elde edilen sonuçların birbirine yakın olduğunu göstermiştir. Öte yandan dış aksları geniş kolonlu sistemlerde, itme şekli ve boy/en oranının diyafram davranışı üzerinde etkili olduğu tespit edilmiştir. Çerçeveler arasında oluşan büyük görelî deplasman farkları döşemelerde kesme deformasyonlarına sebep olmakta, kolonlar tarafından söndürülen enerji miktarları azalmaktadır.

**Anahtar Kelimeler:** Rijit diyafram, esnek diyafram, itirme analizi, plastik mafsallar

Prof. Dr. Muzaffer TOPÇU

Yrd. Doç. Dr. Şevket Murat ŞENEL

Yrd. Doç. Dr. Mehmet İNEL

## ABSTRACT

### INVESTIGATION OF THE RIGID DIAPHRAGM ASSUMPTION IN NONLINEAR LOAD-BEARING SYSTEMS

Özpinar, Özlem

Thesis of Postgraduate, Civil Engineering Department, Structural Division  
Advisor : Asst. Prof. Dr. Şevket Murat ŞENEL

July 2006, 99 Page

Buildings are generally designed according to rigid diaphragm assumption under lateral force effects idealized as a lumped masses at floor levels. This assumption gives reasonable results for elastic buildings with uniformly distributed stiffness in plan. However, for buildings which have irregular plan stiffness distribution with hinge formations at beams and columns, this assumption should be examined.

To examine the validity of rigid diaphragm assumption, three building models with different plan length/width ratio were prepared and these models are detailed as : (1) all columns have the same dimension (FRM) and (2) wider columns at the outer frames (SW). In order to make flexible diaphragm analysis link elements and link hinges are defined. By using mass, modal and mass\*modal push patterns, nonlinear static pushover analysis is applied to models by using Sap2000 program.

Results have shown that flexible and rigid diaphragm buildings with the same column dimensions have similar behavior. On the other hand, plan length/width ratio and selection of push pattern have significant effect on flexible buildings with wider columns at outer frames. Large relative displacements occurred between frames cause shear deformations at diaphragms and causes decrease in energy absorption in columns.

**Keywords :** Rigid diaphragm, flexible diaphragm, pushover analysis, plastic hinges

Prof. Dr. Muzaffer TOPÇU

Asst. Prof. Dr. Şevket Murat ŞENEL

Asst. Prof. Dr. Mehmet İNEL

## İÇİNDEKİLER

	Sayfa
Teşekkür.....	iii
Özet.....	iv
Abstract .....	v
İçindekiler .....	vi
Şekiller Dizini.....	viii
Tablolar Dizini.....	xii
Simgeler Dizini.....	xiii
1. GENEL.....	1
1.1. Çalışmanın Amacı.....	1
1.2. Çalışmanın Kapsamı.....	2
2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR.....	3
2.1. Perde Duvarlarla İlgili Yapılan Çalışmalar.....	3
2.2. Döşeme Diyaframlarıyla İlgili Yapılan Çalışmalar.....	5
3. DÖŞEMELERİN DAVRANIŞI.....	8
3.1. Düşey Yükler Altında Döşemelerin Davranışı.....	9
3.2. Yatay Yükler Altında Döşemelerin Davranışı.....	12
4. MODELLERİN OLUŞTURULMASI.....	16
4.1. Giriş.....	16
4.2. Rijit Diyaframlı Modellerin Tanımlanması .....	17
4.2.1. Bina Bilgileri.....	19
4.2.2. Analizde Kullanılan Yüklemeler.....	21
4.3. Kolon-Kiriş Mafsalların Oluşturulması .....	21
4.3.1. Plastik Mafsal Hipotezinin Esasları .....	21
4.3.2. Plastik Mafsal Bölgesi.....	23
4.3.3. Sargılı Beton Davranış Modeli.....	24
4.3.4. Kolon ve Kirişlerde M- $\theta$ İlişkilerinin Türetilmesi.....	26
4.4. Esnek Diyaframlı Modellerin Tanımlanması .....	27
4.5. Bağlantı Elemanlarında Kullanılan Mafsallar.....	30
4.5.1. Eksenel Kuvvet (N) Mafsalları.....	31
4.5.2. Moment (M3) Mafsalları.....	32
4.5.3. Kesme (V2) Mafsalları.....	32
5. YATAY YÜKLER ALTINDA DOĞRUSAL OLMAYAN ANALİZ.....	35
5.1. Giriş.....	35
5.1.1. Doğrusal Analiz Yöntemleri.....	35
5.1.2. Doğrusal Ötesi Analiz Yöntemleri.....	35
5.1.2.1 Statik İttirme Analizi ( Pushover Analizi ).....	37
5.2. Analiz Sonuçları.....	38



5.2.1. Rijit Döşemeli Sistemlerin Analiz Sonuçları.....	39
5.2.1.1. T1 Tipi Binalar İçin Analiz Sonuçları.....	39
5.2.1.2. T2 Tipi Binalar İçin Analiz Sonuçları.....	43
5.2.1.3. T3 Tipi Binalar İçin Analiz Sonuçları.....	47
5.2.2. Esnek Döşemeli Sistemlerin Analiz Sonuçları.....	52
5.2.2.1. T1 Tipi Binalar İçin Analiz Kuralları.....	52
5.2.2.2. T2 Tipi Binalar İçin Analiz Kuralları.....	58
5.2.2.3. T3 Tipi Binalar İçin Analiz Sonuçları.....	63
5.3. Rijit ve Esnek Döşemeli Sistemlerin Karşılaştırılması.....	69
5.3.1. Deplasmanların Karşılaştırılması.....	70
5.3.2. Kolonlar Tarafından Sönümlenen Enerjilerin Karşılaştırılması.....	72
6. SONUÇLAR.....	76
7. KAYNAKLAR.....	79
8. EK1.....	81
9. ÖZGEÇMİŞ.....	84

## ŞEKİLLER DİZİNİ

	<b>Sayfa</b>
Şekil 2.1 Tersinir yükleme altında duvar gövdesindeki ezilme.....	4
Şekil 2.2 Kayma kesmesi nedeni ile perde duvarda oluşan çatlaklar.....	4
Şekil 2.3 Perde duvarlarda kesme yetersizliği.....	5
Şekil 3.1 Negatif moment etkisi ile oluşan çatlakların üstten görünüşü.....	9
Şekil 3.2 Döşemede oluşan çatlakların alttan ve üstten görünüşü.....	10
Şekil 3.3 Kirişsiz döşemeli betonarme döşemelerde zımbalama etkisi.....	11
Şekil 3.4 Zımbalama etkisi ile döşemede oluşan hasar.....	11
Şekil 3.5 Kenarları süreksiz yığma duvara oturan, betonarme plakların davranışı.....	12
Şekil 3.6 Yatay yüklerin etkisi ile kiriş uçlarında mafsallaşma.....	12
Şekil 3.7 Mafsallaşan sisteme ait döşemede oluşan kuvvetler.....	13
Şekil 3.8 Mafsallaşan sisteme ait döşemede oluşan çatlaklar.....	14
Şekil 3.9 Döşeme-kiriş birleşim bölgelerinde oluşan hasarlar.....	15
Şekil 3.10 İleri derecede hasar gören yapıda döşeme çatlakları.....	15
Şekil 4.1 T1 SW Stiff.....	17
Şekil 4.2 T1 FRM Stiff.....	18
Şekil 4.3 T2 SW Stiff.....	18
Şekil 4.4 T2 FRM Stiff.....	18
Şekil 4.5 T3 SW Stiff.....	19
Şekil 4.6 T3 FRM Stiff.....	19
Şekil 4.7 Mafsallaşan bir yapı sisteminin artan yükler altındaki davranışı.....	22
Şekil 4.8 Konsol kirişte eğilme momenti-eğrilik ( $M - \Phi$ ) ilişkisi.....	23
Şekil 4.9 Kent – Park Modeli.....	25
Şekil 4.10 Kolon ve Kirişler için 3-3 ve 2-2 eksenleri.....	26
Şekil 4.11 Moment-Dönme ; Moment – Eğrilik Diyagramları.....	27
Şekil 4.12 Döşeme içinde tanımlanan bağlantı elemanlarının tipleri.....	28

<b>Şekil 4.13</b> Döşeme içinde tanımlanan bağlantı elemanlarının görünüşü.....	29
<b>Şekil 4.14</b> Bağlantı elemanlarına mafsal ataması yapılan noktalar.....	30
<b>Şekil 4.15</b> Eksenel kuvvet mafsalı (N).....	31
<b>Şekil 4.16</b> 10x125 bağlantı elemanının kesit görünüşü (Örnek).....	32
<b>Şekil 4.17</b> Moment mafsalı (M3).....	32
<b>Şekil 4.18</b> Kesme kuvveti mafsalı (V2).....	34
<b>Şekil 5.1</b> Rijit döşemeli geniş kolonlu sistemde (T1 SW Stiff) çerçevelere ait kapasite eğrileri.....	40
<b>Şekil 5.2</b> Rijit döşemeli çerçeveli sistemde (T1 FRM Stiff) çerçevelere ait kapasite eğrileri.....	41
<b>Şekil 5.3</b> Rijit döşemeli geniş kolonlu sistem ile rijit döşemeli çerçeveli sistemin, M itirme şekline göre çerçevelerinde oluşan kapasite eğrileri.....	42
<b>Şekil 5.4</b> Rijit döşemeli geniş kolonlu sistem ile rijit döşemeli çerçeveli sistemin, $\bar{O}_i$ itirme şekline göre çerçevelerinde oluşan kapasite eğrileri.....	42
<b>Şekil 5.5</b> Rijit döşemeli geniş kolonlu sistem ile rijit döşemeli çerçeveli sistemin, $M.\bar{O}_i$ itirme şekline göre çerçevelerinde oluşan kapasite eğrileri.....	43
<b>Şekil 5.6</b> Rijit döşemeli geniş kolonlu sistemde (T2 SW Stiff) çerçevelere ait kapasite eğrileri.....	44
<b>Şekil 5.7</b> Rijit döşemeli çerçeveli sistemde (T2 FRM Stiff) çerçevelere ait kapasite eğrileri.....	45
<b>Şekil 5.8</b> Rijit döşemeli geniş kolonlu sistem ile rijit döşemeli çerçeveli sistemin, M itirme şekline göre çerçevelerinde oluşan kapasite eğrileri.....	46
<b>Şekil 5.9</b> Rijit döşemeli geniş kolonlu sistem ile rijit döşemeli çerçeveli sistemin, $\bar{O}_i$ itirme şekline göre çerçevelerinde oluşan kapasite eğrileri.....	46
<b>Şekil 5.10</b> Rijit döşemeli geniş kolonlu sistem ile rijit döşemeli çerçeveli sistemin, $M.\bar{O}_i$ itirme şekline göre çerçevelerinde oluşan kapasite eğrileri.....	47
<b>Şekil 5.11</b> Rijit döşemeli geniş kolonlu sistemde (T3 SW Stiff) çerçevelere ait kapasite eğrileri.....	48
<b>Şekil 5.12</b> Rijit döşemeli çerçeveli sistemde (T2 FRM Stiff) çerçevelere ait kapasite eğrileri.....	50
<b>Şekil 5.13</b> Rijit döşemeli geniş kolonlu sistem ile rijit döşemeli çerçeveli sistemin, M itirme şekline göre çerçevelerinde oluşan kapasite eğrileri.....	51
<b>Şekil 5.14</b> Rijit döşemeli geniş kolonlu sistem ile rijit döşemeli çerçeveli sistemin, $\bar{O}_i$ itirme şekline göre çerçevelerinde oluşan kapasite eğrileri.....	51

<b>Şekil 5.15</b> Rijit döşemeli geniş kolonlu sistem ile rijit döşemeli çerçevesi sistemin, $M_0$ itirme şekline göre çerçevelerinde oluşan kapasite eğrileri.....	52
<b>Şekil 5.16</b> Esnek diyaframlı geniş kolonlu sisteme (T1 SW Flex) ait analiz sonucunda, $M$ , $\Delta$ ve $M_0$ itme şekillerinin karşılaştırılması.....	53
<b>Şekil 5.17</b> Esnek döşemeli geniş kolonlu sistemde (T1 SW Flex) çerçevelere ait kapasite eğrileri.....	54
<b>Şekil 5.18</b> Esnek döşemeli çerçevesi sisteme (T1 FRM Flex) ait analiz sonucunda, $M$ , $\Delta$ ve $M_0$ itme şekillerinin karşılaştırılması.....	55
<b>Şekil 5.19</b> Esnek döşemeli çerçevesi sistemde (T1 FRM Flex) çerçevelere ait kapasite eğrileri .....	56
<b>Şekil 5.20</b> Esnek döşemeli geniş kolonlu sistem ile esnek döşemeli çerçevesi sistemin, $M$ itirme şekline göre çerçevelerinde oluşan kapasite eğrileri.....	57
<b>Şekil 5.21</b> Esnek döşemeli geniş kolonlu sistem ile esnek döşemeli çerçevesi sistemin, $\Delta$ itirme şekline göre çerçevelerinde oluşan kapasite eğrileri.....	57
<b>Şekil 5.22</b> Esnek döşemeli geniş kolonlu sistem ile esnek döşemeli çerçevesi sistemin, $M_0$ itirme şekline göre çerçevelerinde oluşan kapasite eğrileri.....	57
<b>Şekil 5.23</b> Esnek diyaframlı geniş kolonlu sisteme (T2 SW Flex) ait analiz sonucunda, $M$ , $\Delta$ ve $M_0$ itme şekillerinin karşılaştırılması.....	58
<b>Şekil 5.24</b> Esnek döşemeli geniş kolonlu sistemde (T2 SW Flex) çerçevelere ait kapasite eğrileri.....	59
<b>Şekil 5.25</b> Esnek diyaframlı çerçevesi sisteme (T2 FRM Flex) ait analiz sonucunda, $M$ , $\Delta$ ve $M_0$ itme şekillerinin karşılaştırılması.....	60
<b>Şekil 5.26</b> Esnek döşemeli çerçevesi sistemde (T2 FRM Flex) çerçevelere ait kapasite eğrileri .....	61
<b>Şekil 5.27</b> Esnek döşemeli geniş kolonlu sistem ile esnek döşemeli çerçevesi sistemin, $M$ itirme şekline göre çerçevelerinde oluşan kapasite eğrileri.....	62
<b>Şekil 5.28</b> Esnek döşemeli geniş kolonlu sistem ile esnek döşemeli çerçevesi sistemin, $\Delta$ itirme şekline göre çerçevelerinde oluşan kapasite eğrileri.....	62
<b>Şekil 5.29</b> Esnek döşemeli geniş kolonlu sistem ile esnek döşemeli çerçevesi sistemin, $M_0$ itirme şekline göre çerçevelerinde oluşan kapasite eğrileri.....	63
<b>Şekil 5.30</b> Esnek diyaframlı geniş kolonlu sisteme (T3 SW Flex) ait analiz sonucunda, $M$ , $\Delta$ ve $M_0$ itme şekillerinin karşılaştırılması.....	64
<b>Şekil 5.31</b> Esnek döşemeli geniş kolonlu (T3 SW Flex) sisteme ait kapasite eğrileri .....	65

<b>Şekil 5.32</b> Esnek diyaframlı çerçevesi sisteme (T3 FRM Flex) ait analiz sonucunda, M , Øi ve M.Øi itme şekillerinin karşılaştırılması .....	66
<b>Şekil 5.33</b> Esnek döşemeli çerçevesi (T3 FRM Flex) sisteme ait kapasite eğrileri.....	67
<b>Şekil 5.34</b> Esnek döşemeli geniş kolonlu sistem ile esnek döşemeli çerçevesi sistemin, M itirme şekline göre çerçevelerinde oluşan kapasite eğrileri.....	68
<b>Şekil 5.35</b> Esnek döşemeli geniş kolonlu sistem ile esnek döşemeli çerçevesi sistemin, Øi itirme şekline göre çerçevelerinde oluşan kapasite eğrileri.....	68
<b>Şekil 5.36</b> Esnek döşemeli geniş kolonlu sistem ile esnek döşemeli çerçevesi sistemin, M.Øi itirme şekline göre çerçevelerinde oluşan kapasite eğrileri.....	69
<b>Şekil 5.37</b> Øi itme şekli için, esnek döşemeli sistemlerde kat seviyelerinde oluşan deplasmanların karşılaştırılması.....	71
<b>Şekil 5.38</b> M itme şekli için, esnek döşemeli sistemlerde kat seviyelerinde oluşan deplasmanların karşılaştırılması .....	71
<b>Şekil 5.39</b> M.Øi itme şekli için, esnek döşemeli sistemlerde kat seviyelerinde oluşan deplasmanların karşılaştırılması .....	72
<b>Şekil 5.40</b> M, Øi M.Øi itme şekilleri için, rijit döşemeli sistemlerde kat seviyelerinde oluşan deplasmanların karşılaştırılması.....	72
<b>Şekil 5.41</b> Øi itme şekli için, esnek döşemeli modellerde kolonlar tarafından söndürülen enerji miktarları .....	73
<b>Şekil 5.42</b> M itme şekli için, esnek döşemeli modellerde kolonlar tarafından söndürülen enerji miktarları .....	74
<b>Şekil 5.43</b> M.Øi itme şekli için, esnek döşemeli modellerde kolonlar tarafından söndürülen enerji miktarları .....	74
<b>Şekil 5.44</b> Øi itme şekli için, rijit döşemeli modellerde kolonlar tarafından söndürülen enerji miktarları .....	75
<b>Şekil 5.45</b> M itme şekli için, rijit döşemeli modellerde kolonlar tarafından söndürülen enerji miktarları .....	75
<b>Şekil 5.46</b> M.Øi itme şekli için, rijit döşemeli modellerde kolonlar tarafından söndürülen enerji miktarları .....	75

**TABLolar DİZİNİ**

	<b>Sayfa</b>
<b>Tablo 4.1.</b> Beton ve çelik malzeme bilgileri .....	20
<b>Tablo 4.2</b> Bağlantı elemanlarına atanan mafsal tipleri ve yerleri.....	31
<b>Tablo 4.2</b> Eksenel kuvvet seviyelerine göre kesme mafsallarının sınıflandırılması .....	33

## SİMGELER DİZİNİ

$A_g$	Brüt beton kesit alanı
$A_0$	Sargı donatı kesit alanı ( $\text{mm}^2$ )
$A_s$	Etriye alanı
$b_k$	Etriye dışından etriye dışına ölçülen çekirdek beton alanının küçük boyutu (mm)
$d$	Kesit yüksekliği
$f_{cc}$	Sargılı beton dayanımı (MPa)
$f_c$	Sargısız betonun basınç dayanımı (Genelde $f_c = f_{ck}$ alınır, MPa)
$f_{cd}$	Beton tasarım basınç dayanımı
$f_{ctd}$	Beton tasarım aksenal çekme dayanımı
$f_{ywd}$	Enine donatı tasarım akma dayanımı
$f_{ywk}$	Sargı donatısı çekme dayanımı
$h_k$	Etriye dışından etriye dışına ölçülen çekirdek beton alanının büyük boyutu (mm)
$L_p$	Plastik mafsal bölge uzunluğu
$l_s$	Kesitteki sargı donatısı ve çirozların toplam uzunluğu (mm)
$P_u$	Eksenal kuvvet
$s$	Sargı donatısı aralığı (mm)
$T_x$	Çekme kuvveti
$z$	Kesitin moment sıfır kesitinden uzaklığı
$z_c$	Sargılı beton $\sigma$ - $\epsilon$ eğrilerinin doğrusal bölümünün boyutsuz eğimi (eğim/ $f_c$ veya eğim/ $f_{cc}$ )
$z_u$	Sargısız beton $\sigma$ - $\epsilon$ eğrilerinin doğrusal bölümünün boyutsuz eğimi (eğim/ $f_c$ veya eğim/ $f_{cc}$ )
$\alpha$	Yapı diyafram esneklik indeksi
$\epsilon_{coc}$	Sargılı betonda maksimum gerilme altındaki birim deformasyon ( $\epsilon_{coc} = K \cdot \epsilon_{co}$ )
$\epsilon_{co}$	Sargısız betonda maksimum gerilme altındaki birim deformasyon ( $\epsilon_{co}=0.02$ )
$\epsilon_{cu}$	Sargısız betonda maksimum birim kısalma ( $\epsilon_{cu} = \epsilon_{50u}$ , $\epsilon_{cu} = 0.004$ )

$\theta_p$	Plastik dönme
$\theta_u$	Maksimum eğrilik
$\theta_y$	İlk akma anında oluşan eğrilik
$\theta_u$	Güç tükenmesi anında oluşan eğrilik
$\theta_y$	İlk akma anında oluşan eğrilik
$\rho_s$	Sargı donatısının hacimsel oranı (Etriye hacminin s uzunluğundaki göbek hacmine oranı)
$\Delta M$	Kolona aktarılan moment



## 1. GENEL

Bina türü yapıların analizi ve tasarımı sırasında bazı basitleştirmeler ve kabuller yapılmaktadır. Yapıların ekonomik ömürleri süresince maruz kalacakları yükler, özellikle deprem yükleri doğası gereği büyük belirsizlikler içermektedir. Hesaplama ve tasarım aşamasında yapılan kabuller ve basitleştirmeler ise büyük hatalar içermeyen çabuk ve gerçekçi çözümlere ulaşabilmeyi hedeflemektedir.

### 1.1. Çalışmanın Amacı

Yapıların analiz ve tasarımı sırasında yapılan basitleştirmelerden birisi rijit diyafram kabulüdür. Bu kabule göre döşemelerin yatay yükler altında sonsuz rijit davrandığı ve döşemenin yatay yük etkisi altında deformasyon yapmadan rijit bir kütle gibi ötelendiği varsayılmaktadır. Bu kabul sayesinde hesaplanması gereken bilinmeyen sayısı ve işlem süresi önemli ölçüde azalmaktadır.

Bina türü yapıların hesabı yapılırken, döşemeler öncelikle ele alınmaktadır. Buna göre düşey yük etkileri altında daha kritik sonuçlar verdiği kabul edilen döşemelerin analiz ve tasarımı yapılmakta, elde edilen sonuçlar kullanılarak döşemelerden kat seviyelerinde rijit ötelenmeler yapan çerçevelere yük aktarımı yapılarak çerçeve sistemin yatay ve düşey yükler altında hesabı gerçekleştirilmektedir. Günümüzde piyasada yaygın olarak kullanılan pek çok paket program, yapıya kat düzeyinde etkilediği kabul edilen yatay deprem yüklerini döşeme düzleminde bulunan ağırlık merkezine etkilerle hesap yapmakta, döşemelerin rijit diyafram olarak çalıştığını kabul etmektedir. Ancak yatay yüklemeler altında kiriş ve kolonlarda oluşabilecek mafsallaşmalara bağlı olarak döşemelerde oluşabilecek hasarlar ve rijitlik kayıpları altında yapılan bu kabulün geçerliliği sorgulanmalıdır. Yapılan bu çalışmada farklı geometrik özelliklere ve planda rijitlik dağılımlarına sahip binaların doğrusal olmayan analizleri yapılmış, mafsallaşan

kolon ve kirişlere bağlanan döşemelerde oluşan hasarın doğrusal olmayan modellerinden faydalanılarak rijit diyafram kabulü sorgulanmıştır.

### 1.3 Çalışmanın Kapsamı

Doğrusal olmayan analizlere başlamadan önce, piyasada yaygın olarak kullanılan ve rijit diyafram kabulü ile hesap yapan bir bilgisayar programı ile bina modellerinin analiz ve tasarımı yapılmıştır. Böylece kolon ve kirişlere ait eğilme ve kesme kapasiteleri elde edilmiş, plastik mafsallara ait Moment - Eğrilik ve Moment-dönme (  $M-\theta$  ) özellikleri belirlenmiş, plastik mafsalların oluşacağı mafsal bölgeleri tespit edilmiştir. Farklı plan boyutlarına sahip modellerin seçilmesi ile döşemelerin esneme davranışı üzerinde boyut etkisinin durumu araştırılmıştır. Planda yerleştirilen kolonların boyutlarının büyütülmesi ile düşey taşıyıcı eleman rijitliklerinin dağılımı ile esneme davranışı arasındaki ilişki araştırılmıştır. Bütün modellerde kullanılan deprem, düşey yük ve malzeme özellikleri ise aynı kabul edilmiştir. Doğrusal davranışa göre hesaplanan mod şekillerine uygun olarak seçilen yükleme şablonları kullanılarak, doğrusal olmayan itirme analizleri SAP2000 programı ile yapılmıştır.

## 2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

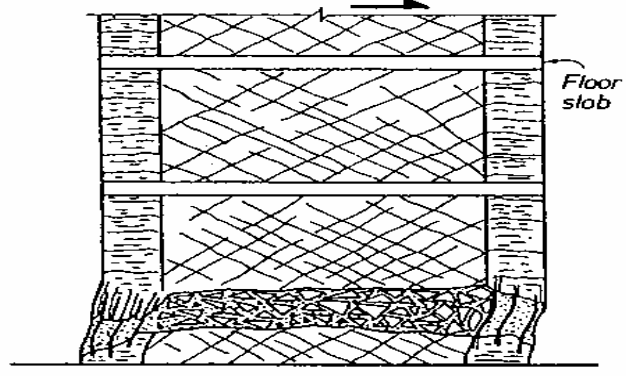
Bina türü yapılar; düşey elemanlar arasında kalan döşeme sistemlerinin rijit diyafram gibi çalıştığı farz edilerek analiz edilir ve tasarımılandırılır. Uzun döşeme açıklıklı ve rijitliğin planda düzgün dağılmadığı sistemlerde ise döşeme sistemlerinin davranışı bu kabulden uzaklaşır.

Bu bölümde, esnek/rijit diyaframlı sistemler ve tersinir deprem etkisine maruz kalan perde duvarlarla ilgili olarak, iki ayrı başlık altında daha önceden yapılmış olan araştırmalara değinilmiştir.

Kullanılan donatı ve yerleşimi açısından perde duvarlar döşeme sistemlerinden farklı olsalar da, tersinir deprem yüklemeleri altında sığ perde duvarlarda diyagonal kesme ve kayma kesmesi çatlaklarının oluşumu, döşemelerde aynı tür çatlakların oluşumu ile benzerlik göstermektedir ve perde duvarlar da döşemeler gibi kabuk elemanlardır. Analizi yapılan modellerde bu durum dikkate alındığı için, sığ perde duvarlarda kesme etkileri üzerine yapılmış çalışmalar hakkında bilgi vermek gerekli görülmüştür.

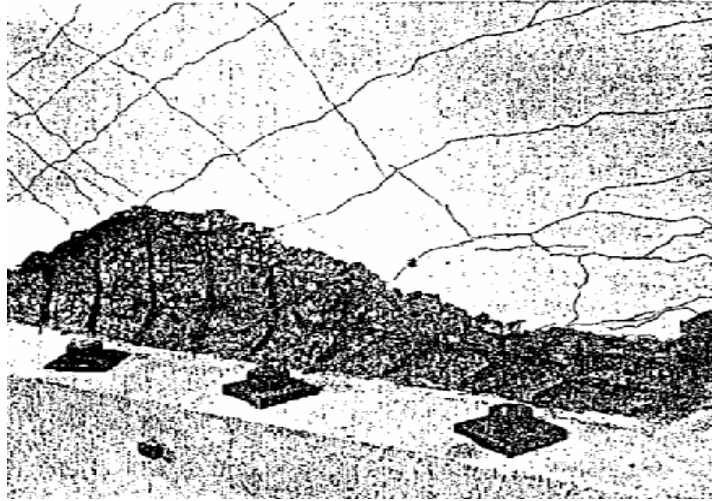
### 2.1. Perde Duvarlarla İlgili Yapılan Çalışmalar

*Porthland Çimento Grubu ve Kaliforniya Üniversitesi'nin (1979)* birlikte yaptığı araştırmanın sonucunda, maksimum kesme dayanımı limitlerine rağmen, birkaç periyodik tersinir yüklemekten sonra, plastik mafsal bölgesinde, gövdede ezilme oluştuğu ve bu ezilmenin tüm duvar uzunluğu boyunca yayıldığı görülmüştür (Şekil 2.1). Araştırmacılar sıklaştırılması iyi yapılmış donatı sayesinde, kolonlarda olduğu gibi, duvardaki ezilmeden sonra da önemli miktarda kesme kuvvetinin gövde tarafından taşınabildiğini tespit etmişlerdir.

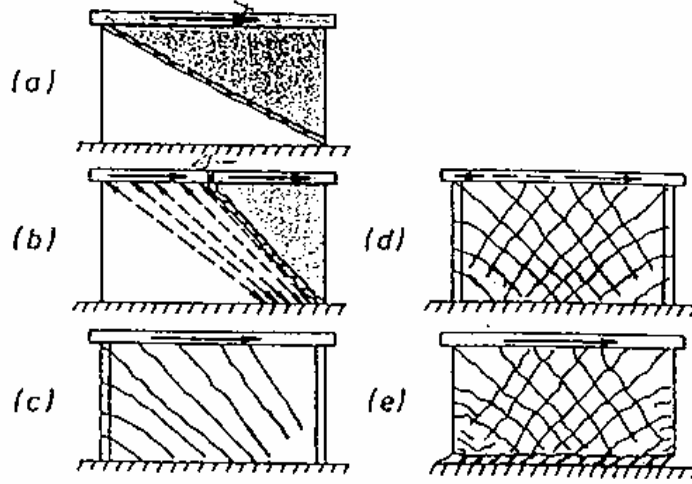


**Şekil 2.1** Tersinir yükleme altında duvar gövdesindeki ezilme

*Paulay, T., Priestley, M. J. N., ve Syng (1982);* çalışmalarında yüksekliği genişliğinden daha az olan sığ perde duvarları kullanmışlardır. Araştırmacılar tersinir yatay yüklemeler altında, kesme kuvvetinin de en az eğilme momenti kadar sığ perde duvarlar üzerinde etkili olduğunu göstermişlerdir. Ele alınan modelde, iki yönlü eğilme çatlaklarının oluşumu, eğilme donatısının akması ile perde tabanında oluşan mafsallaşma ve kayma gözlenmiştir (Şekil 2.2 – 2.3).



**Şekil 2.2** Kayma kesmesi ile perde duvarda oluşan çatlaklar (Paulay ve diğ. 1982)



Şekil 2.3 Perde duvarlarda kesme yetersizliği

## 2.2. Döşeme Diyaframlarıyla İlgili Yapılan Çalışmalar

*Cheung, P. C., Paulay, T., ve Park, R. (1982)*; 4 adet kirişin ortasında bulunan kolon ve kirişlerin ayırdığı 4 adet döşeme parçacığından oluşan modeli kullanan araştırmacılar, tersinir yüklemeler altında kirişlerde mafsallaşmalar oluştuğunu ve buna bağlı olarak döşemelerde büyük çekme gerilmeleri meydana geldiğini gözlemişlerdir. Yazarlar kirişlerde oluşan mafsallaşmanın, kirişler ile birlikte imal edilen döşemeler üzerindeki etkisini incelemişler, döşemelerde oluşan kesme ve eğilme çatlaklarının oluşumunu kirişlerin mafsallaşmasına bağlı olarak açıklamışlardır.

*Şenel, Ş.M., Kaplan, H., Atımtay, E.(1999)*; bir diyaframın hangi durumlarda sonsuz rijit olarak hesaba alınabileceğini araştırmışlardır. Farklı H/B oranlarına sahip, uç veya orta kısımlarda daha rijit kolonların bulunduğu sistemlerin elastik analizini yapan yazarlar, diyafram seviyesinde oluşan esnemenin kolon kesme kuvvetleri üzerindeki etkisini araştırmışlardır. (H/B oranı olarak tanımlanan diyafram geometrisi, aynı zamanda kolon kesme kuvvetlerinin büyüklüğünü etkileyen çok güçlü bir parametredir.)

\* Yapının uç kısımlarında daha rijit elemanların bulunduğu durum ile daha rijit elemanların binanın merkezinde yoğun olduğu durumu karşılaştıran yazarlar, ilk modeldeki kolonlarda oluşan kesme kuvvetlerinin daha büyük olduğunu tespit etmişlerdir.

Yazarlar,

\* en büyük kolon kesme kuvvetlerinin, görelî salınımın en büyük olduğu zemin kat kolonlarında oluştuğunu,

\* kesme kuvvetlerinin artması açısından; A2 (Döşeme Süreksizlikleri) ile A3 (Planda Çıkıntılar Bulunması) düzensizlikleri karşılaştırıldığında A2'nin daha kritik olduğunu,

\* sonsuz düzlem rijitlikli diyafram kuvvetlerinin, katlardaki tüm kolonlara eşit miktarda dağıldığını, esnek düzlemli diyafram kuvvetlerinin, kolonlara farklı değerlerle dağıldığını, böylece farklı kolon kesme kuvvetleri oluştuğunu,

\* yaygın olarak uygulanan analiz metotları ile bulunan kolon kesme kuvvetlerinin esnek diyafram hareketlerinde büyüdüğünü tespit etmişlerdir.

*Fleischman ve Farrow (2000); diyafram esnekliğinin, uzun açıklıklı döşemelerin dinamik özelliklerini değiştirdiğini açıklayarak, uzun açıklıklı yapılarda diyaframların sismik tasarımı için önerilerde bulunmuşlardır.*

Yazarlar döşemelerin sınıflandırılmasında; düzlem diyafram deformasyon oranını ( $\alpha$ ) kullanmışlardır. Diyaframları, rijitten ( $\alpha=0.00$ ) aşırı derecede esnek ( $\alpha=10.0$ ) bölgeye kadar değerlendirmişlerdir. Çalışmalarında diyafram esnekliğinin en üst limiti ( $\alpha=10.0$ ) için Northridge depreminde çöken bazı çok katlı otoparkları örnek olarak almışlardır.

$\alpha=10$  alınarak, aynı tasarım seviyesi depremlerde yapılan incelemede; elastik ötesi esnek diyafram yapıların, elastik esnek diyafram yapılarına benzer ötelenme geliştirdiği saptanmıştır. Bu çalışmada, elastik diyafram yapılarda yanal sisteme daha büyük kuvvetlerin aktarıldığı, sonuçta daha büyük plastik dönmelerin ve kalıcı kaymaların oluştuğu belirtilmiştir.

Fleischman ve Farrow 'un bu çalışmasında; yapıların dinamik davranışları üzerinde diyafram esnekliğinin etkisiyle ilgili olarak,

\* döşemelerdeki üniform donatının; elastik diyafram yapılar için katlar arası ötelenmeleri azalttığı,

\* elastik diyaframlı yapılarda büyük kuvvet taleplerinin ve elastik olmayan diyaframlı yapılarda ise büyük deformasyon taleplerinin daha düşük seviyelerde oluştuğu,

\* elastik ötesi diyaframlı yapılarda katlar arası ötelenmelerin ilk katlarda yoğunlaştığı sonuçlarına ulaşılmıştır.

*R. B. Fleischman, M. Eeri, K.T. Farrow ve K. Eastman (2002);* yüksek esnek diyaframlı yapıların sismik performansı üzerinde; diyafram esnekliği ve diyafram dayanımının ilişkisini açıklayarak, esnek diyaframlar için uygun tasarım dayanım seviyelerini saptamışlar, bu sistemlerde performans esaslı tasarım uygulamasını önermişlerdir. Bunu yaparken de diyafram esnekliğini tanımlayan üç farklı indeks kullanmışlardır.

Özellikle ötelenmesi kontrol edilmiş yanal sistemlerde, ötelenme hesabında, diyafram dağılımının dikkate alınması gerektiğini, kapasite tasarımlarında; hayat kurtarma tehlike seviyesinde, ekonomik olmayan, elastik diyafram tepkisine göre analizlerin yapılması gerektiğini vurgulamışlardır.

*Kim, S.C., White, D. W. (2003);* esnek diyaframlı alçak, kesme duvarlı yapıların sismik analizi için basit ve pratik bir yöntem olan yapısal ayrılma metodunu araştırmışlardır. Bu çalışmada kullanılan basitleştirilmiş lineer statik yöntem; esnek diyaframlı, tek katlı betonarme duvar test yapılarına ve iki katlı betonarme olmayan duvarlı ve diyaframlı yapılara uygulanmıştır.

Rijit olmayan diyaframlı alçak duvar yapıların tek serbestlik dereceli sistemler gibi davranamayacakları, bu bina tiplerinin rijit olmayan diyaframlarla birleştirilmiş düzlem içi ve düzlem dışı duvarları içeren çok serbestlik dereceli sistemler olarak değerlendirilmeleri gerektiği saptanmıştır.

### 3. DÖŞEMELERİN DAVRANIŞI

Betonarme yapılarda en güvenli elemanlar, büyük sehimler yaparak büyük yüklemeleri taşıyabilen döşemelerdir. Betonarme kirişlere oturan plak döşemelerin kendi ağırlığı ve hesaplarda alınan hareketli yükün toplamının 4-5 katını büyük sehim yaparak ve çatlayarak fakat göçmeden taşıyabildiği deneylerle gösterilmiştir (Gamble ve Diğerleri – 1969). Ancak döşemelerin; kirişsiz döşemeli yapılarda yatay yükler altında davranışı güvenli değildir.

Döşemeler; düşey yükleri ve deprem yüklerini karşılayarak düşey taşıyıcı sisteme ileten elemanlar olup, bu elemanlar yeterli dayanım ve rijitlikte olmalıdırlar. Yüklemelerin iletilmesi, döşemeler ve düşey taşıyıcı sistemin rijitliğine bağlıdır.

Piyasada yaygın olarak kullanılan pek çok analiz ve tasarım programı, döşemeleri kendi içinde analiz etmekte, ulaşılan tasarımın sonuçlarına göre kirişlere yük aktarımı yapmakta, çerçeve sisteminin döşemeler seviyesinde rijit ötelenmeler yaptığını kabul ederek tüm sistemin analiz ve tasarımını bu varsayıma göre sonuçlandırmaktadır. Özellikle yatay yükler altında yapılan bu çözümler esnasında döşemelerin rijit diyafram olarak davrandığını kabul etmek, hesaplama işlemi sırasında büyük kolaylık sağlamaktadır. Döşeme seviyelerinde hesaplanan kat deplasmanları kendi düzlemleri içinde iki ötelenme ve düzlem normali etrafında bir dönme olmak üzere üç serbestlik derecesi ile ifade edilmekte, bu da çözüm esnasında hesaplanması gereken bilinmeyen sayısında ciddi miktarda azalmaya ve dolayısıyla işlem yükünün büyük oranda hafiflemesine sebep olmaktadır.

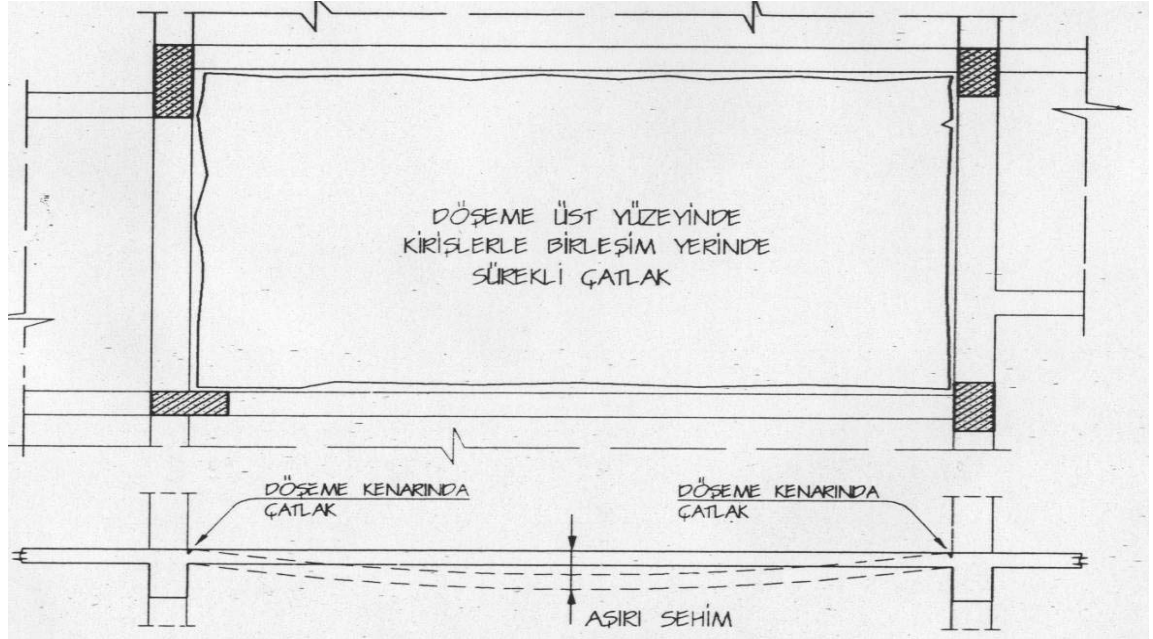
Pek çok durumda döşemenin düzlemi içinde şekil değiştirmesi diğer elemanlarınkinin yanında ihmal edilebilecek seviyelerde olduğu için, analizler sırasında



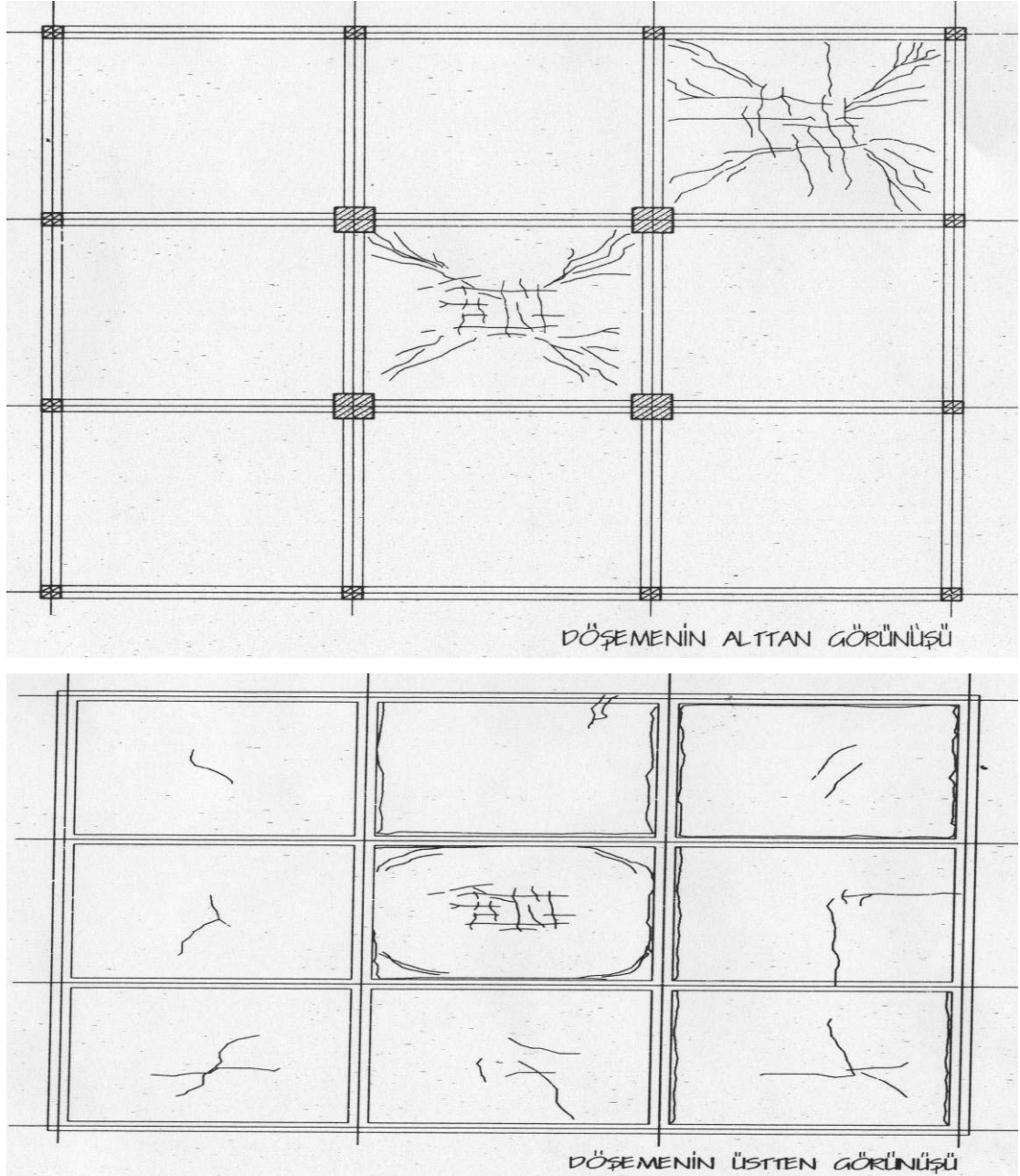
rijit diyafram davranışı kabulü genellikle gerçekçi sonuçlar vermektedir. Ancak döşemelerin rijit diyafram davranışından uzaklaştığı bazı özel durumların olabileceği göz önüne alınmış, hesap varsayımlarının geçerli olabilmesi için bu tür durumları engelleyen düzensizlik tarifleri yönetmeliklerde vurgulanmıştır. (Planda düzensizlik durumları, planda büyük boşluklar ve çıkıntılar bulunması durumları, v.b)

### 3.1. Düşey Yükler Altında Döşemelerin Davranışı

Düşey yük etkisi altında bulunan döşemelerin açıklık bölgeleri pozitif moment etkisi ile zorlanırken, mesnet bölgeleri negatif moment etkisi ile zorlanmaktadır. Çatlak oluşumları ise mesnet ve açıklıkta oluşan bu momentlerin göstergesi niteliğindedir. Şekil 3.1'de mesnet bölgelerinde negatif moment etkisi ile oluşan çatlaklar gösterilmektedir. Şekilden de anlaşılacağı gibi söz konusu çatlak oluşumları esas itibari ile döşemelerin mesnet bölgelerinden ayrılmasıyla oluşmakta ve döşemenin üstünden görülebilmektedir. Pozitif moment etkisi ise aynı mantık ile açıklık bölgesinde betonda asal çekme gerilmeleri oluşmasına sebep olmakta ve bu nedenle oluşan çatlaklar da döşemenin altından görülebilmektedir. Şekil 3.1-3.2 de düşey yükler altında, mesnet ve açıklık bölgelerinde döşemelerde oluşan çatlakların alttan ve üstten görünüşleri verilmektedir.

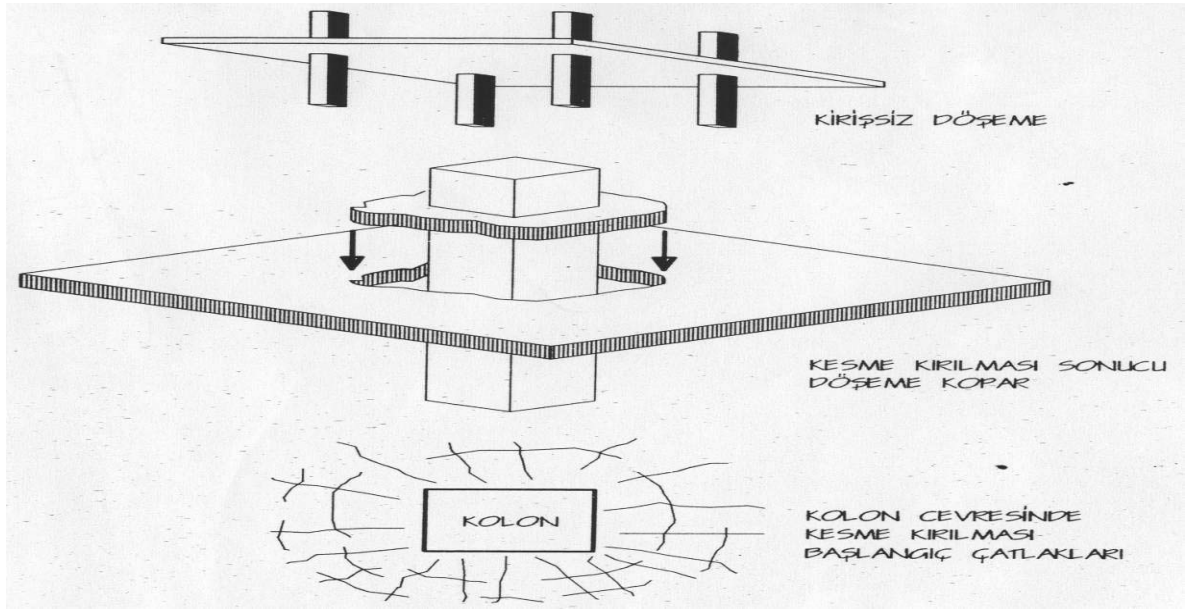


Şekil 3.1 Negatif moment etkisi ile oluşan çatlakların üstten görünüşü



**Şekil 3.2** Döşemede oluşan çatlakların alttan ve üstten görünüşü

Düşey yükler altında döşemelerin çatlamasına ve hasar görmesine sebep olan bir diğer önemli etki ise zımbalama etkisidir. Özellikle oluşan kesme etkilerini doğrudan döşemelerin karşıladığı kirişsiz döşemelerde bu durum daha kritik sonuçlar doğurmaktadır. Bir tür kesme kırılması olduğu için davranış gevrektir (Şekil 3.3- 3.4).

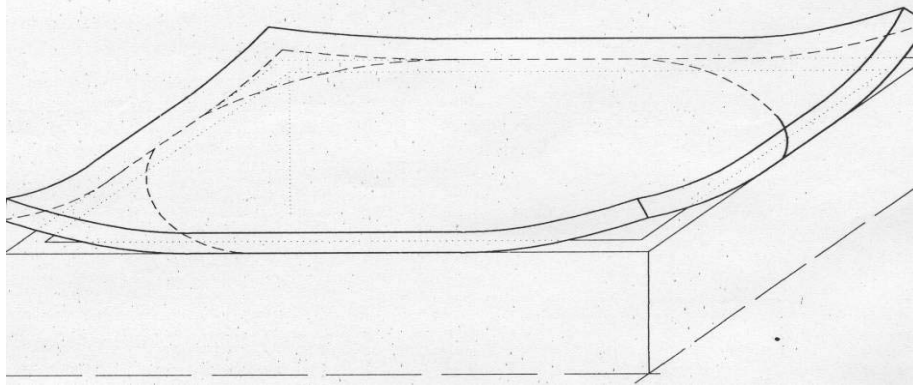


**Şekil 3.3** Kirişsiz, betonarme döşemelerde zimbalama etkisi



**Şekil 3.4** Zimbalama etkisi ile döşemede oluşan hasar

Kenarları sürekli olmayan ve yığma duvara oturan, betonarme plaklar ise yukarıya kalkma eğilimindedir. Bunun sonucu olarak, özellikle yığma yapı köşelerinde döşemenin duvara oturduğu yerde yatay çatlaklar oluşabilir (Şekil 3.5).

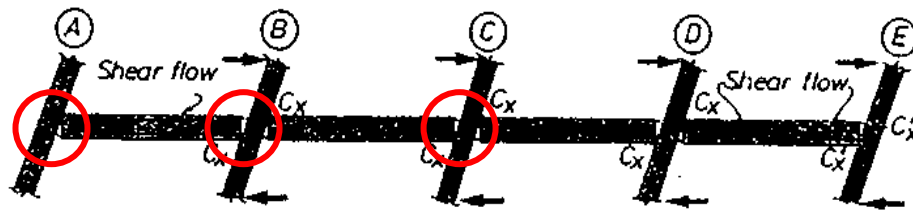


**Şekil 3.5** Kenarları süreksiz yığma duvara oturan, betonarme plakların davranışı

### 3.2. Yatay Yükler Altında Döşemelerin Davranışı

Yatay yükler altında döşemelerin davranışı ise daha karışık ve değişkendir. Karışıklık ve değişkenlik hem depremin doğasından, hem de çerçeve sistemde doğrusal dışı deformasyonların başlaması ile oluşan elastik ötesi davranıştan kaynaklanmaktadır. Yatay yük etkisi ile zorlanan döşeme sistemlerinin zaten düşey yükler ile yüklü olması, iki durumun bir nevi süperpozisyonunu gerektirmektedir. Çerçeve sistemi oluşturan kirişlerde meydana gelen mafsallaşma, sünek tasarımın vazgeçilmez koşullarından birisidir. Kirişlerin mafsallaşması ise kirişlerle bir döküm imal edilen döşemelerin de çatlamasını gerektirmektedir.

Yatay yüklerin etkisi ile kirişlerin mafsallaşması Şekil 3.6 'da idealize edilmiştir. Zaten sistemde mevcut bulunan düşey yüklerin oluşturduğu negatif mesnet momentleri, yatay yüklerin etkisi ile daha da artmakta veya azalmaktadır. Artan moment etkileri kolon-kiriş birleşim bölgelerinde büyük süneklik talebi oluşturmakta, negatif momentin büyüdüğü mesnetlerde döşemeler büyük çekme gerilmelerinin etkisi ile ayrılmaktadır.

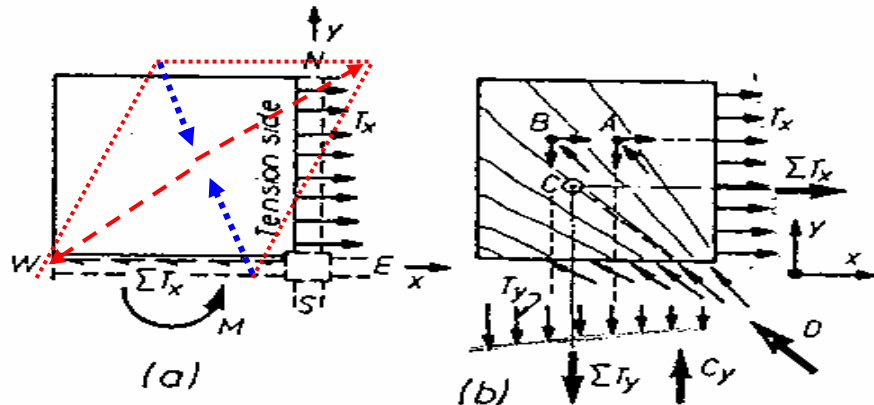


**Şekil 3.6** Yatay yüklerin etkisi ile kiriş uçlarında mafsallaşma

Şekil 3.6' da verilen kolon-kiriş-döşeme sistemi kuzey-güney ve doğu-batı yönlerinde uygulanan tersinir kuvvetler ile yüklenmiştir. Söz konusu deney düzeneği 4 adet kirişin ortasında bulunan kolon ve kirişlerin ayırdığı 4 adet döşeme parçacığından oluşmaktadır. Sistemin doğu-batı doğrultusunda (doğuya doğru) yüklenmesi ile birlikte negatif momentin olduğu kirişlerde mafsallaşma meydana gelmiştir. Oluşan bu mafsallaşma döşemelerde büyük çekme gerilmelerinin oluşmasına sebep olmaktadır.

Şekil 3.7-a da gösterilen  $T_x$  kuvvetleri döşeme demirlerinin akmasıyla ilişkilidir. Sisteme kuvvet uygulandığında kirişlerde mafsallaşmaların oluşmasıyla kiriş döşemeden ayrılır. Bu kısımlarda; betonun bir fonksiyonu kalmaz ve yalnızca döşeme donatıları kirişlerle bağlantıyı sağlar. Donatılar tarafından karşılanan kuvvet ise çekmedir. Bu durum söz konusu çatlakların olduğu kuzey-güney kenarı boyunca döşemeler tarafından taşınan kesme kuvvetinin ciddi oranda düşmesine sebep olmaktadır. Döşeme donatılarının akması ile ortaya çıkan  $\Sigma T_x$  kuvvetinin dengelenebilmesi için doğu-batı kenarı boyunca oluşacak reaksiyonlara ihtiyaç vardır. Birbirine dik kenarlar boyunca oluşan bu kuvvetlerin varlığı ise Şekil 3.7-a da gösterilen moment etkisini doğurmaktadır. Bu ise döşeme üzerinde basınç ve çekme gerilmelerinin oluşmasına sebep olmakta, düşük çekme dayanımı sebebiyle çekilen bölgede döşeme çatlamaktadır (Şekil 3.7-b).

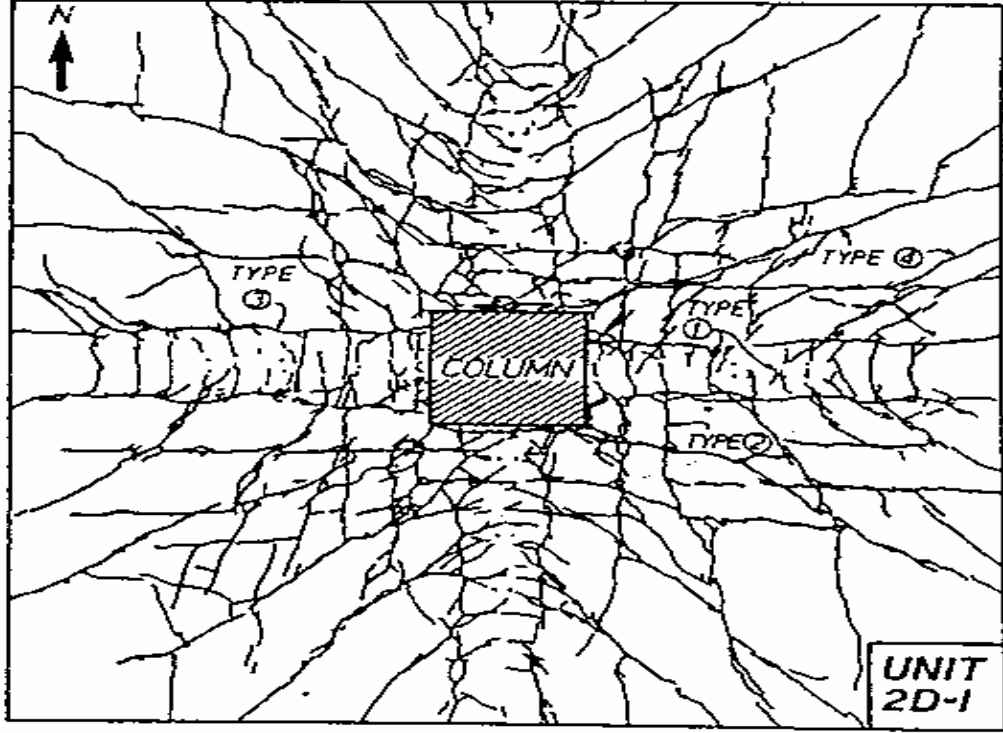
A ve B noktaları, donatı kuvvetlerinin aderans sayesinde betona iletiği bölgeleri idealize etmektedir. Bu durum yalnızca dikeyde, döşeme donatılarında çekme kuvvetlerinin ( $T_y$ ) gelişmesiyle mümkündür. Artan ve yön değiştiren kuvvetlerin etkisi ile birlikte çatlak gelişimi ilerlemekte ve Şekil 3.6 da görülen duruma ulaşılmaktadır.



Şekil 3.7 Mafsallaşan sisteme ait döşemede oluşan kuvvetler

Şekil 3.8’de gösterilen çatlak tipleri yukarıda özetlenen davranışa bağlı olarak aşağıdaki şekilde isimlendirilmiştir.

- |                                   |                                |
|-----------------------------------|--------------------------------|
| 1.Kiriş Eğilme Çatlağı            | 3.Kiriş-Döşeme Ara Yüz Çatlağı |
| 2.Döşeme Çatlaklarının İletilmesi | 4.Döşeme Çapraz Çatlakları     |



**Şekil 3.8** Mafsallaşan sisteme ait döşemede oluşan çatlaklar

Plastik mafsallaşmadan ve döşemelerin çatlamasından sonra kirişin eğilme ve burulma rijitliği azalmaktadır. Ayrıca döşemelerin sağladığı yük iletimi ise büyüyen çatlaklar sebebiyle sınırlanmaktadır. Bütün bu durum rijit diyafram davranışının özel durumlar söz konusu olduğunda sorgulanması gerektiğini göstermektedir. Yukarıda anlatılan kuvvetlerin dengelenmesi ile ilgili durum, özellikle farklı rijitliğe sahip çerçevelerin arasında bulunan döşemelerin bu türden çatlak oluşumlarına karşı daha riskli durumda olduğunu göstermektedir. Meydana gelen depremlerde oluşan döşeme çatlakları da Şekil 3.8’de verilen çatlak tiplerinden en az biri ya da daha fazlasının oluşabildiğini göstermektedir.



Deprem etkisi altında kiriş – döşeme birleşim bölgelerinde oluşan çatlaklar ve ayrılmalar Şekil 3.9 ‘da, ileri derecede hasar gören yapıda oluşan döşeme çatlakları ise Şekil 3.10 ‘da görülmektedir.



**Şekil 3.9** Döşeme-kiriş birleşim bölgelerinde oluşan hasarlar



**Şekil 3.10** İleri derecede hasar gören yapıda döşeme çatlakları

## 4. MODELLERİN OLUŞTURULMASI

### 4.1. Giriş

Farklı geometrik özelliklere, farklı yatay rijitliklere ve planda farklı rijitlik dağılımlarına sahip binaların esnek ve rijit diyafram davranışlarını özellikle doğrusal olmayan davranış sürecinde karşılaştırmak amacıyla toplam 12 farklı model hazırlanmıştır. Doğrusal olmayan davranışın incelenebilmesi için öncelikle binaların piyasada yaygın olarak kullanılan ve rijit diyafram kabulü ile hesap yapan programlardan biri ile tasarımı yapılmıştır. Tasarım aşamasında güdülen amaç pratik süreçte takip edilen yolu izleyerek kolon ve kiriş elemanların betonarme hesabını yapmaktan ibarettir. Böylelikle kritik kesitlerde oluşacak mafsallık özelliklerinin hesaplanabilmesi hedeflenmiştir. Bina modelleri tek katlı yapılardır ve tasarım işlemi piyasada yaygın olarak kullanılan STA4-CAD programı ile yapılmıştır.

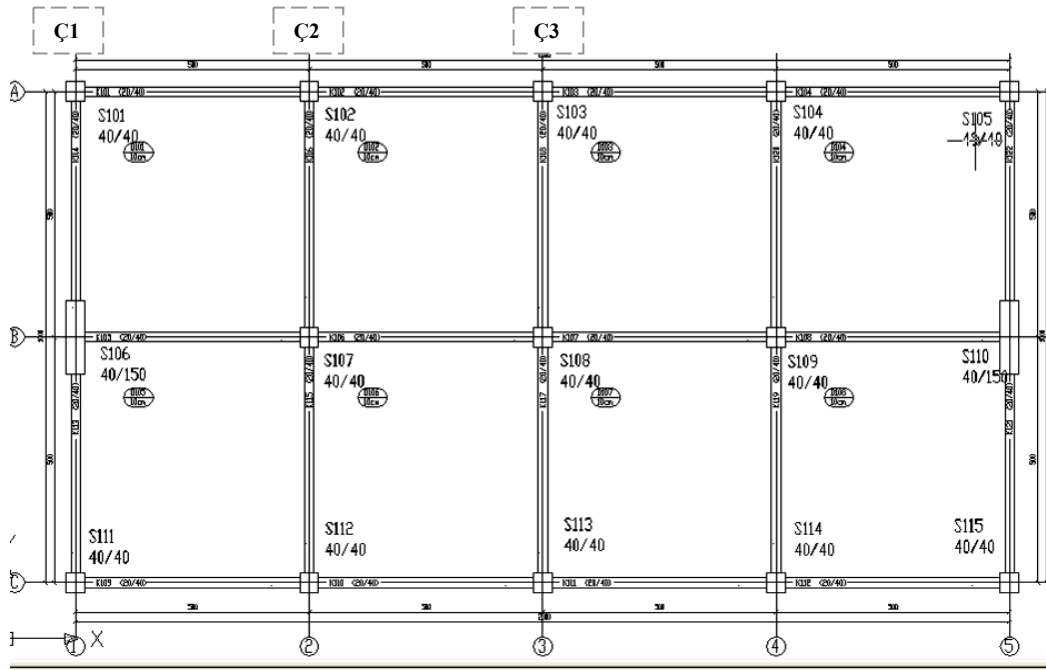
Bilgisayar ortamında tasarım ve analizlerin daha hızlı ve kolay çözülebilmesi için kullanılan yazılım tarafından yapılan ve bilinmeyen sayısının azaltılmasını hedefleyen birtakım kabuller aşağıda verilmiştir:

- Yapının kütlesi kat seviyelerinde toplanmıştır, yapı sistemleri kat seviyelerinde rijit davranır,
- Döşemeler düzlemleri içinde rijittirler ve birbirine dik iki yatay ötelenme ve bir düzlem normali etrafında dönme olmak üzere üç serbestlik derecesine sahiptirler,
- Yatay yüklemeler; yapıya gelen deprem kuvvetinin yatay bileşeni olup, depremin düşey bileşeni çok küçük değerde olduğundan, hesaplarda ihmal edilmektedir.

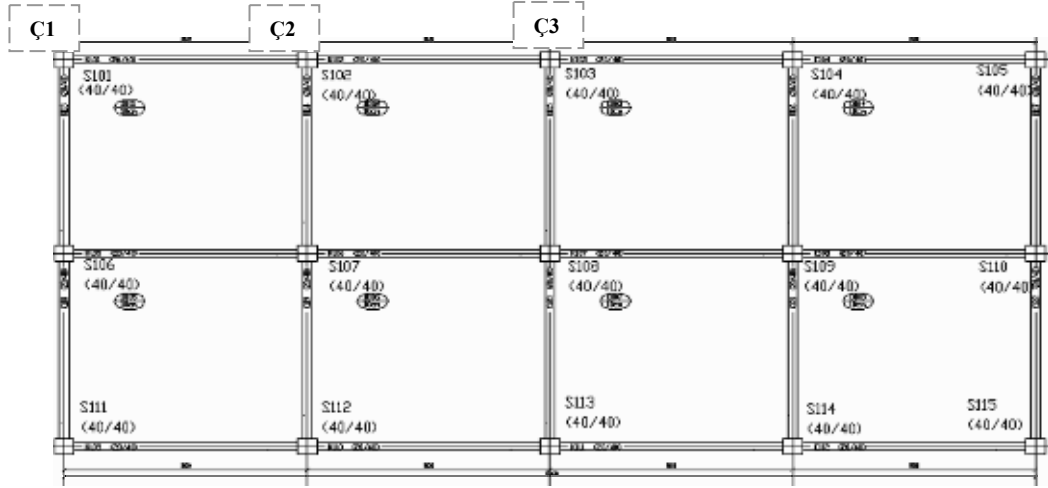


## 4.2. Rijit Diyaframlı Modellerin Tanımlanması

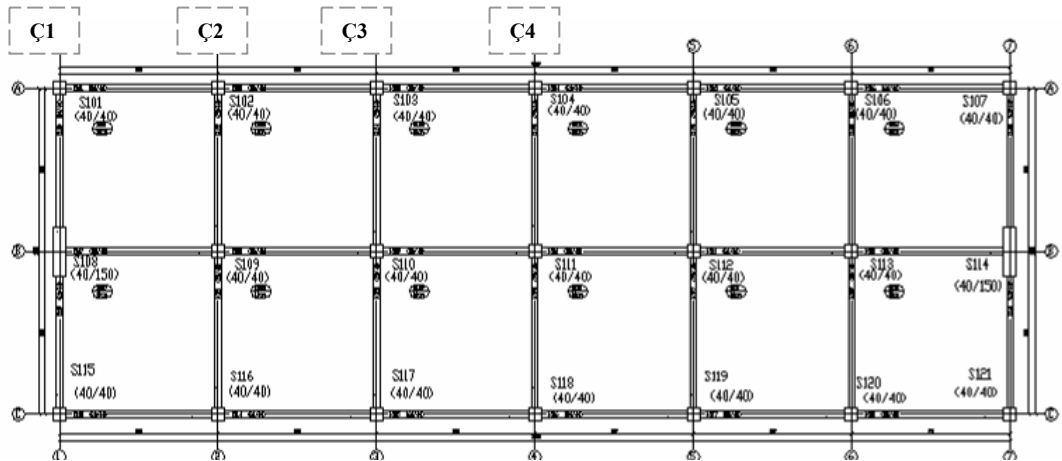
Hazırlanan bina modelleri Şekil 4.1-4.6 da verilmiştir. Şekillerden de görüldüğü gibi esas itibariyle 3 farklı plan boyutuna sahip model hazırlanmıştır. T1,T2 ve T3 ile gösterilen binalarda, plandaki boy/en oranı artırılarak geometrik oranların döşemelerin esnemesi üzerindeki etkisini araştırmak hedeflenmiştir. T1,T2, T3 binalarında boy/en oranı sırasıyla 2,3 ve 4 olacak şekilde ayarlanmıştır. FRM ile isimlendirilen modeller 40x40 (cm<sup>2</sup>) kolonlar ve 20x40 (cm<sup>2</sup>) kirişlerden oluşurken, SW ile isimlendirilen binalar ise uçlara yerleştirilen 40x150 (cm<sup>2</sup>) boyutundaki geniş kolonlar ile modellenmiştir. Böylelikle döşemelerde çerçevelerin rijitlik farkından doğacak esneme davranışını oluşturmak hedeflenmiştir. Modellerin hepsinde kullanılan döşemeler 5x5 (m<sup>2</sup>) boyutlarındadır.



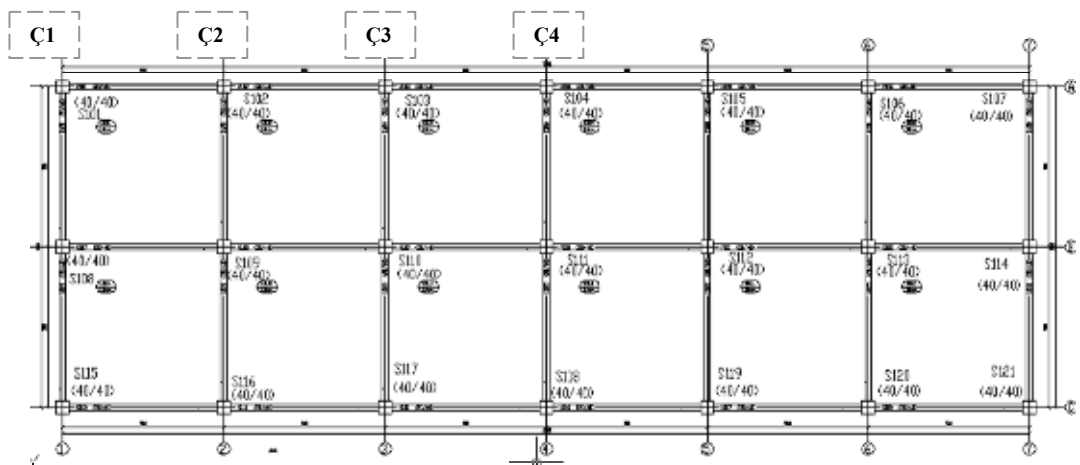
Şekil 4.1 T1 SW Stiff



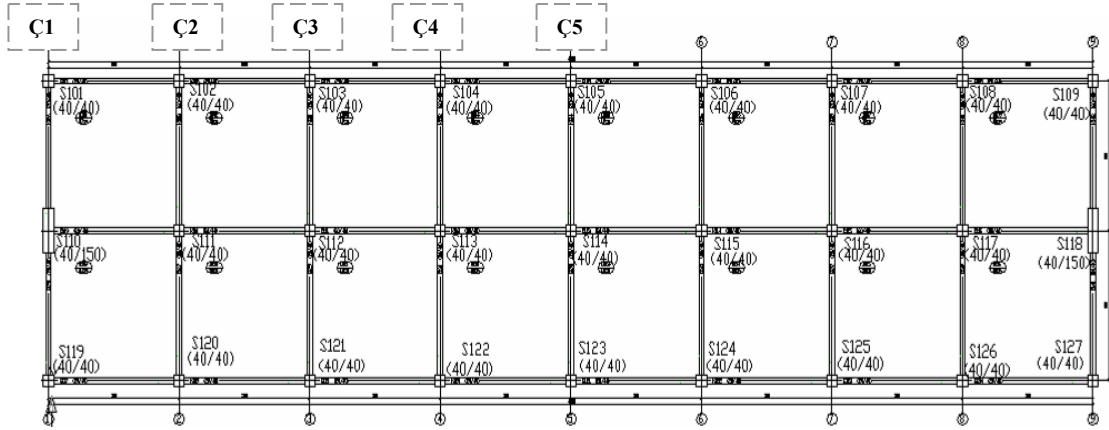
Şekil 4.2 T1 FRM Stiff



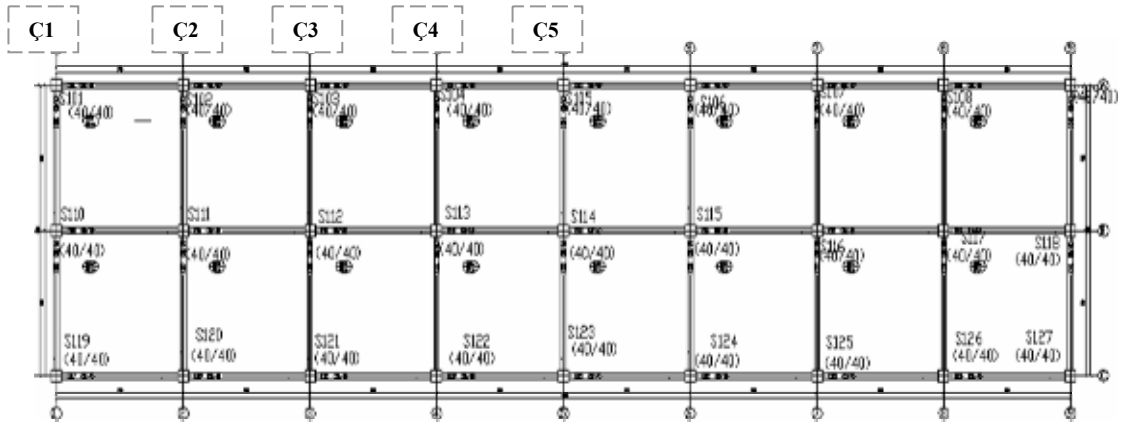
Şekil 4.3 T2 SW Stiff



Şekil 4.4 T2 FRM Stiff



Şekil 4.5 T3 SW Stiff



Şekil 4.6 T3 FRM Stiff

Aşağıda özellikleri verilen binalara ait düşey taşıyıcı elemanların boyutları tek katlı bir sistem için olması gerekenden daha büyüktür. Ancak bu çalışmada amaç tasarım yapmaktan ziyade, kirişlerin kolonlardan önce mafsallaşmasını sağlayacak şekilde “zayıf kiriş-güçlü kolon” mantığını irdeleyerek modelleri oluşturmaktır.

#### 4.2.1. Bina Bilgileri

Proje Adı : T1 SW Stiff , T1 FRM Stiff  
 T2 SW Stiff , T2 FRM Stiff  
 T3 SW Stiff, T3 FRM Stiff  
 T1 SW Flex , T1 FRM Flex  
 T2 SW Flex , T2 FRM Flex

T3 SW Flex , T3 FRM Flex

Kat Adedi (N)	: 1
X yönü aks aralığı (m)	: 5
Y yönü aks aralığı (m)	: 5
Kat yüksekliği (m)	: 3.50
Döşeme Kalınlığı (cm)	:10
Deprem Katsayısı (A <sub>o</sub> )	: 0.40
Yapı Tipi Katsayısı (R)	: 8
Yapı Önem Katsayısı (I)	: 1
Zemin Hakim Titreşim Periyodu (T <sub>a</sub> /T <sub>b</sub> )	: 0.15 / 0.60
Deprem düzeyi	: I. Bölge
Hareketli Yük Katsayısı (n)	: 0.30
Beton Yoğunluğu (t/m <sup>3</sup> )	: 2.50
Deprem Standardı	: TDY97
Betonarme Hesap Yöntemi	: Taşıma Gücü Yöntemi TS500-2000
Deprem Hesabı Yöntemi	:Mod Süperpozisyonuyla Dinamik Analiz

**Tablo 4.1** Beton ve çelik malzeme bilgileri (kgf/cm<sup>2</sup>)

Yapı Elemanı	Malzeme	Elastisite Modülü	Kayma Modülü	Beton dayanım gerilmesi	Çelik akma gerilmesi	
		E	G		Boyuna Donatı	Enine Donatı
Döşeme	BS20	285000	114000	200	4200	4200
Temel	BS20	285000	114000	200	4200	4200
Kiriş\Kolon	BS20	285000	114000	200	4200	4200
TAŞIMA GÜCÜ MALZEME KATSAYILARI					BETON	ÇELİK
					1.50	1.15
TAŞIMA GÜCÜ YÜK KATSAYILARI					SABİT YÜK	HAREKETLİ YÜK
					1.40	1.60

#### 4.2.2. Analizde Kullanılan Yüklemler

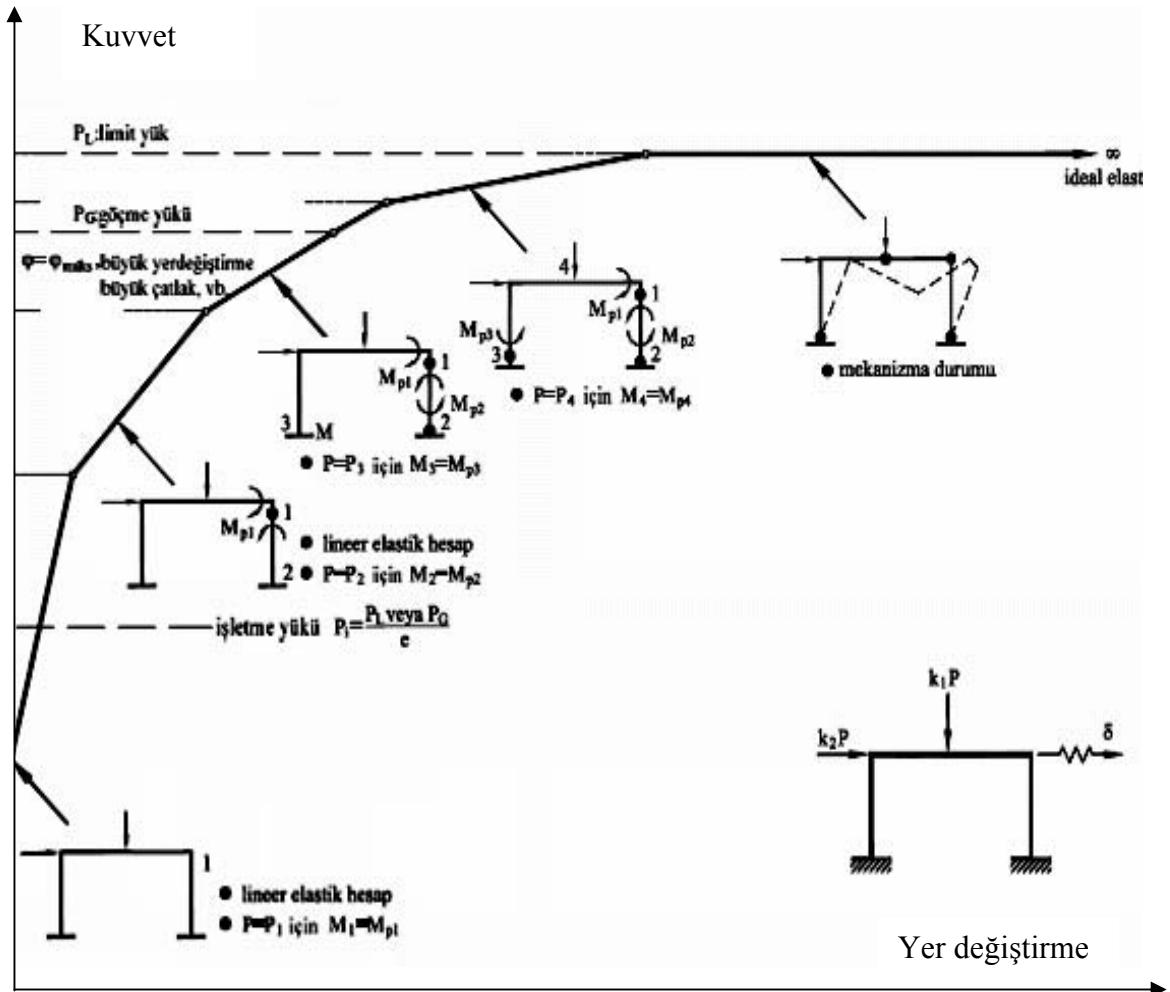
Dış aks duvar yükü (kg/m)	: 400
İç aks duvar yükü (kg/m)	: 200
G döşeme (kg/m <sup>2</sup> )	: 125
Q döşeme (kg/m <sup>2</sup> )	: 200
Q çatı (kg/m <sup>2</sup> )	: 80

#### 4.3. Kolon-Kiriş Mafsalların Oluşturulması

##### 4.3.1. Plastik Mafsal Hipotezinin Esasları

Doğrusal olmayan bina analizinin yapılabilmesi için, öncelikle doğrusal olmayan davranışın gerçekleşeceği plastik mafsalların tanımlanması, özelliklerinin belirlenmesi gerekmektedir. Plastik mafsalların türetilmesinde ve kullanılmasında esas alınan bazı kriterler aşağıda kısaca açıklanmıştır. (Prof. Dr. Özer, E., Plastik Mafsallarda Hipotez, İTÜ, 2005)

- 1- Bir kesitteki eğilme momenti artarak  $M_p$  plastik moment değerine eşit olunca, o kesitte bir plastik mafsall oluşur. Daha sonra, kesitteki eğilme momenti  $M = M_p$  olarak sabit kalır ve kesit serbestçe döner. Plastik mafsaldaki  $\theta$  plastik dönmesi artarak maks  $\theta_{pu}$  dönme kapasitesine erişince kesit kullanılamaz duruma gelir.
- 2- Plastik mafsallar arasında sistem lineer elastik davranır.
- 3- Kesitte eğilme momenti ile birlikte normal kuvvetin de etkimesi halinde,  $M_p$  plastik momentini yerine, kesitteki  $N$  normal kuvvetine bağlı olarak akma koşulundan bulunan indirgenmiş plastik mafsall ( $M'_p$ ) değeri esas alınır.



Şekil 4.7 Mafsallaşan bir yapı sisteminin artan yükler altındaki davranışı

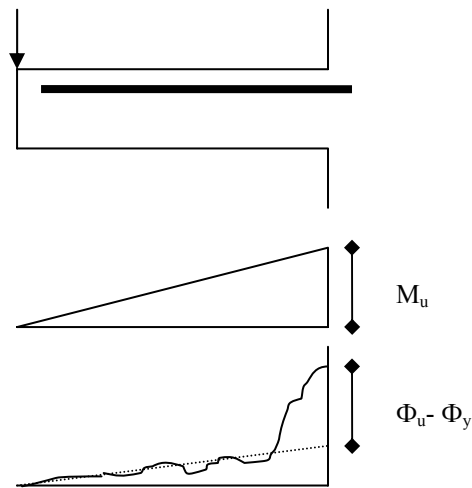
Artan yüklemeler altında mafsallaşan bir yapı sistemine ait kuvvet – yer değişirme eğrisi Şekil 4.7’de verilmiştir. Artan yükler altında, her plastik mafsalın oluşumundan sonra, o noktaya ait bir mafsal tanımlanır ve  $M_p$  plastik momenti dış yük olarak uygulanarak elde edilen sistem lineer-elastik teoriye göre hesaplanır. Sistemin lineer-elastik teoriye göre hesabı için kuvvet veya yer değişirme yöntemlerinden herhangi biri uygulanabilir.

Belirli sayıda plastik mafsalın oluşumundan sonra, sistem kısmen veya tamamen mekanizma durumuna ulaşır; yani stabilitesini yitirerek yük taşıyamaz hale gelir. Bu duruma karşı gelen  $P_L$  yük parametresi limit yük olarak tanımlanır. Bu tanıma göre, limit yük sistemin tümünü veya bir bölümünü mekanizma durumuna getiren yüküdür.

Bazı hallerde; limit yükten önce plastik mafsaldaki dönmelerin dönme kapasitesini aşması, büyük yer değiştirmelerin oluşması veya betonarme sistemlerde büyük çatlaklar oluşması nedeniyle sistem göçebilir. Bu duruma karşı gelen  $P_G$  yük parametresi göçme yükü olarak tanımlanır.

#### 4.3.2. Plastik Mafsallık Bölgesi

Sabit moment altında mafsallaşan bölgede eğrilik ve dolayısıyla dönme hızla artmaktadır (Şekil 4.8). Moment-alan teoremlerini kullanarak basitleştirilmiş hesaplar yapabilmek için plastik mafsallık uzunluğunun belirlenmesi gerekmektedir. Böylelikle Denklem 4.1 'deki ifade ile plastik dönme miktarını hesaplamak mümkün olacaktır.



**Şekil 4.8** Konsol kirişte eğilme momenti-eğrilik (  $M - \Phi$  ) ilişkisi

$$\theta_p = (\Phi_u - \Phi_y) \cdot L_p \quad \dots\dots\dots\text{Denklem (4.1)}$$

Plastik mafsallık boyunu etkileyen pek çok parametre bulunmaktadır. Bunlar:

- Kesit yüksekliği
- Sargılama etkisi
- Beton basınç dayanımı
- Donatı sınıfı ve türü (Nervürlü, düz)
- Kesitteki normal kuvvet değeri

şeklinde özetlenebilir.

Konu ile ilgili yapılan pek çok çalışma bulunmaktadır. Yapılan çalışmalar neticesinde, plastik mafsal boyu için,  $d$ : kesit yüksekliği,  $z$ : kesitin moment sıfır kesitinden uzaklığı olmak üzere, yaygın olarak kullanılan bağıntılar aşağıda verilmiştir (Celep ve Kumbasar - 2004).

$$L_p = 0.25 \cdot d + 0.075 \cdot z \quad \dots\dots\dots\text{Denklem (4.2)}$$

$$L_p = 0.50 \cdot d + 0.050 \cdot z \quad \dots\dots\dots\text{Denklem (4.3)}$$

$$L_p = 0.5 \cdot d \quad \dots\dots\dots\text{Denklem (4.4)}$$

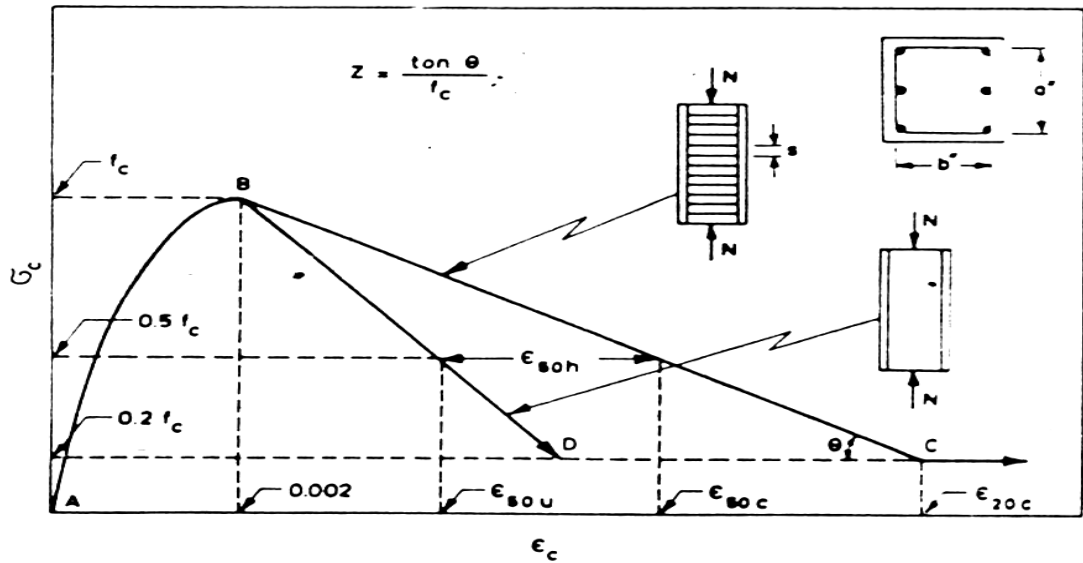
Bu çalışmada hazırlanan plastik mafsallar oluşturulurken Denklem 4.6 kullanılmış, mafsallar kiriş ve kolon uçlarına  $d/2$  mesafede atanmıştır.

### 4.3.3. Sargılı Beton Davranış Modeli

Mafsal özelliklerinin belirlenmesi sırasında Ersoy ve Özcebe tarafından geliştirilen ‘‘Sargılı.XLS’’ elektronik tablo yazılımından faydalanılmıştır. ‘‘SARGILI.XLS’’ yazılımı Kent-Park tarafından geliştirilen ve sargılanmış betonun  $\sigma$ - $\varepsilon$  ilişkisini tarif eden modeli kullanmaktadır (Şekil 4.9). Bu modelde  $\sigma$ - $\varepsilon$  eğrisi iki kısımdan oluşmaktadır. Eğrinin maksimum gerilmeye ( $f_c$ ) kadar olan kısmının parabolik olduğu varsayılmıştır. Eğride sargılı ve sargısız beton için iki ayrı doğrusal kısım bulunmaktadır. Kent-Park modeli sargılama işleminin dayanım üzerindeki etkisini göz önüne almamakta, sadece süneklik üzerinde etkili olduğunu kabul etmektedir.

Hesaplamalar sırasında sargılanmamış beton için  $\varepsilon_{c0} = 0.002$  kabul edilmiştir. Kent-Park modelinin betonun  $\sigma$ - $\varepsilon$  davranışı üzerindeki etkisi Şekil 4.11 de idealize edilmiştir. Model ile ilgili bağıntılar ise Denklem 4.5-4.18 de verilmiştir. Denklemlerde kullanılan sembollerin açıklamaları, simgeler dizininde verilmiştir.





Şekil 4.9 Kent – Park Modeli

*A-B Parçası :*

$$\sigma_c = f_c * [(2 * \epsilon_c / \epsilon_{c0}) - (\epsilon_c / \epsilon_{c0})^2] \quad (\text{Sargısız Beton}) \quad \dots\dots\dots \text{Denklem (4.5)}$$

$$\sigma_c = f_{cc} * [(2 * \epsilon_c / \epsilon_{cc}) - (\epsilon_c / \epsilon_{cc})^2] \quad (\text{Sargılı Beton}) \quad \dots\dots\dots \text{Denklem (4.6)}$$

$$K = 1 + (\rho_{sh} * f_{ywk} / f_{c0}) \quad \dots\dots\dots \text{Denklem (4.7)}$$

$$\rho_{sh} = (A_0 * I_s) / (s * b_k * h_k) \quad \dots\dots\dots \text{Denklem (4.8)}$$

*B-D ve B-C Parçası :*

$$\sigma_c = f_{c0} * [1 - z * (\epsilon_c - \epsilon_{c0})] \quad (\text{Sargısız beton}) \quad \dots\dots\dots \text{Denklem (4.9)}$$

$$\sigma_c = f_{cc} * [1 - z_c * (\epsilon_c - \epsilon_{cc})] \geq 0.2 * f_c \quad (\text{Sargılı beton}) \quad \dots\dots\dots \text{Denklem (4.10)}$$

$$\epsilon_{50u} = (3 + 0.0285 * f_c) / (14.2 * f_c - 1000) \geq \epsilon_{c0} \quad \dots\dots\dots \text{Denklem (4.11)}$$

$$\epsilon_{50h} = 0.75 * \rho_{sh} * (b_k / s)^{1/2} \quad \dots\dots\dots \text{Denklem (4.12)}$$

$$\epsilon_{cc} = K * \epsilon_{c0} \quad \dots\dots\dots \text{Denklem (4.13)}$$

$$f_{cc} = K * f_{c0} \quad \dots\dots\dots \text{Denklem (4.14)}$$

$$z_c = 0.5 / (\epsilon_{50u} + \epsilon_{50h} - \epsilon_{cc}) \quad \dots\dots\dots \text{Denklem (4.15)}$$

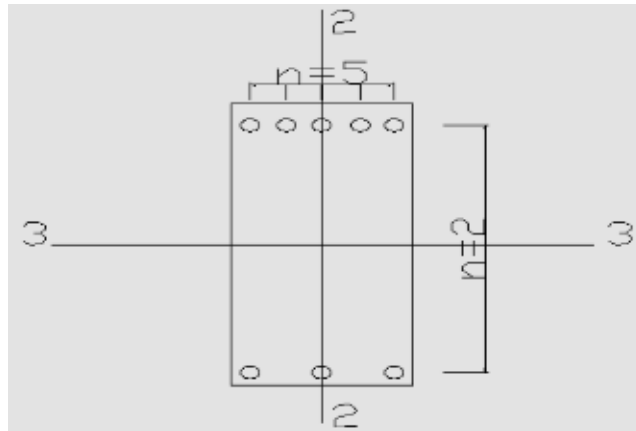
$$z_u = 0.5 / (\epsilon_{50u} - \epsilon_{c0}) \quad \dots\dots\dots \text{Denklem (4.16)}$$

#### 4.3.4. Kolon ve Kirişlerde M- $\theta$ İlişkilerinin Türetilmesi

Doğrusal olmayan itirme analizi işlemi SAP2000 programı yardımıyla yapılmıştır. Yazılım bu işlemi mafsal bölgeleri için tanımlanan M- $\theta$  ilişkileri ile yapabilmektedir.

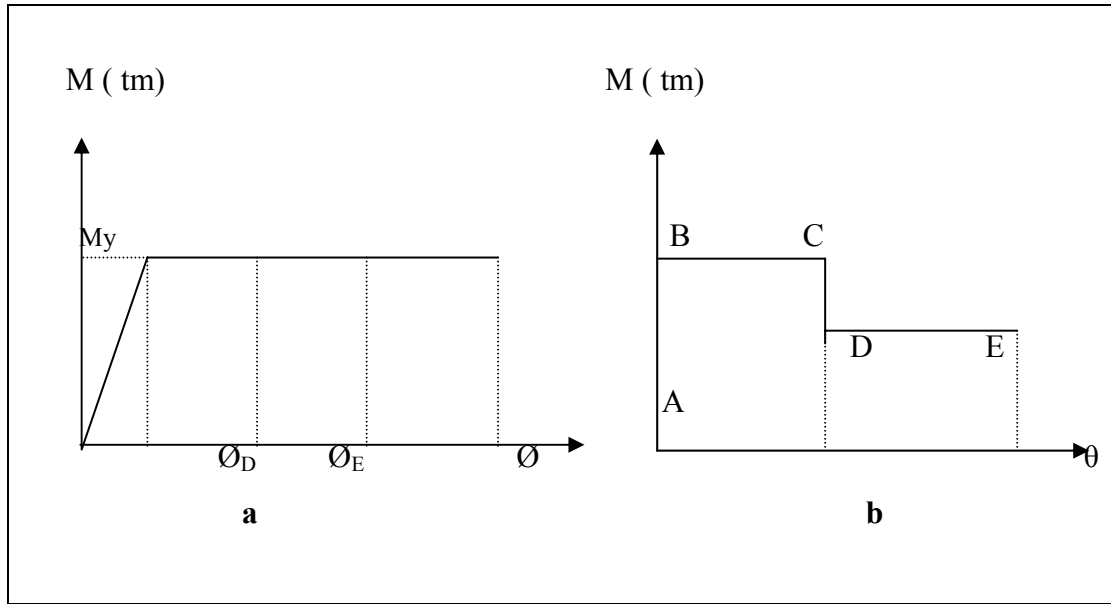
Şekil 4.10 da örnek bir betonarme kesit verilmektedir. Şekilden de anlaşılacağı gibi kesit 2 ve 3 eksenleri etrafında farklı donatı yerleşimlerine ve miktarlarına sahip olabilir. Ayrıca tersinir yükler altında basınç ve çekme bölgeleri de göz önüne alındığı zaman şekildeki gibi bir kesit için 4 ayrı M- $\theta$  ilişki hesabı yapılması gerektiği kolayca görülecektir. Bu durum esas itibari ile simetrisinin olmadığı kiriş kesitleri için uygulanmıştır. Simetrik kolon kesitlerinde ise eksenel yükün değişkenliği göz önüne alınarak her kolon için ayrı hesap yapılmıştır.

Yürütülen çalışma sırasında önce M- $\theta$  ilişkileri “SARGILI.XLS” programı ile hesaplanmış, ardından Denklem 4.3 kullanılarak plastik dönme değerleri elde edilmiştir.



**Şekil 4.10** Kolon ve Kirişler için 3-3 ve 2-2 eksenleri

M- $\theta$  ilişkilerinden M- $\theta$  ilişkisine geçerken Şekil 4.11’de belirtilen C ve D noktası dönmeleri için beton ve çelikte oluşan  $\epsilon$  seviyeleri kontrol edilmiştir. Hesaplamalar sırasında beton için maksimum şekil değiştirmenin;  $\epsilon_{cu}=0.02$ , çelik için ise;  $\epsilon_{su}=0.1$  olduğu kabul edilmiştir. Analiz işleminin devam etmesi, kullanılan yazılımın hata mesajı vermemesi için E noktasında oluşan dönme için herhangi bir sınır getirilmemiştir. Tarif edilen durumun idealize edilmiş hali Şekil 4.11 de verilmiştir.



**Şekil 4.11** Moment-Dönme ; Moment – Eğrilik Diyagramları

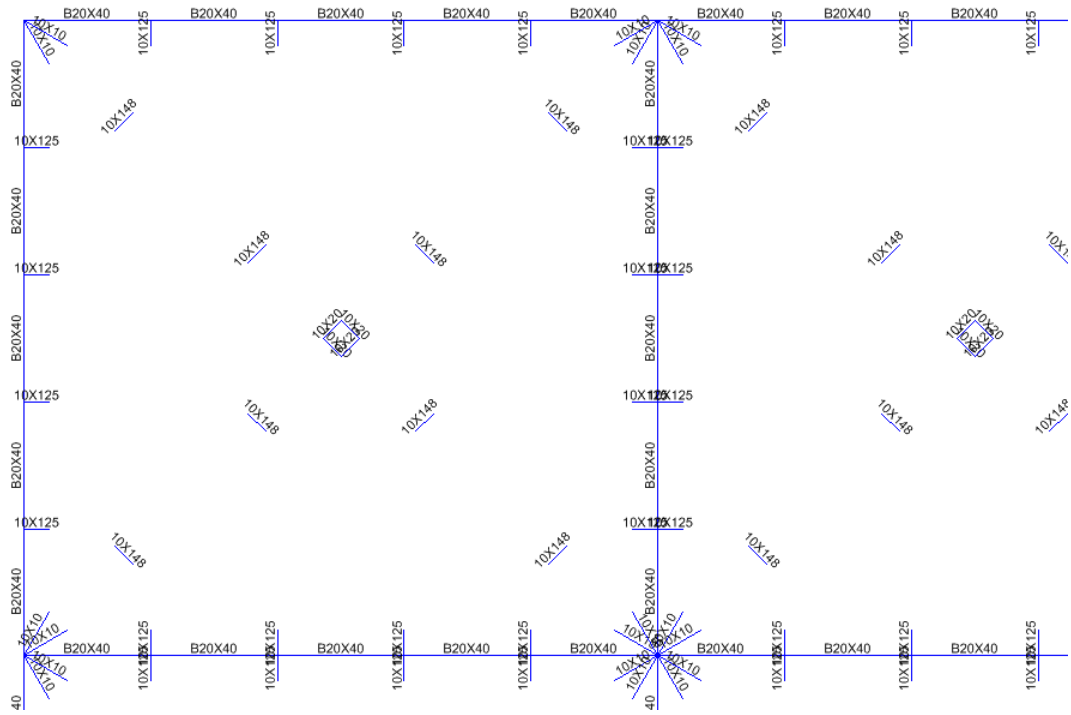
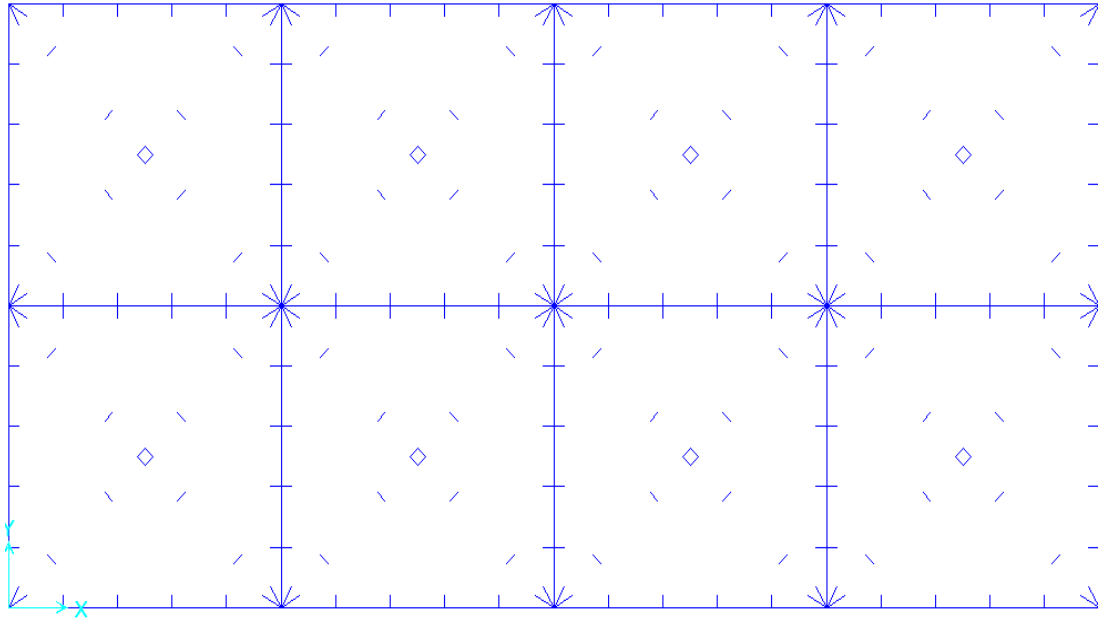
C, D ve E noktalarında oluşan ve SAP2000 programına tarif edilen dönme değerleri, Denklem 4.17- 4.18 bağıntıları kullanılarak hesaplanmıştır.

$$\theta_C = \theta_D = (\theta_y * L / 2) / 2 + (\theta_D - \theta_y) * L_p \quad \dots\dots\dots \text{Denklem (4.17)}$$

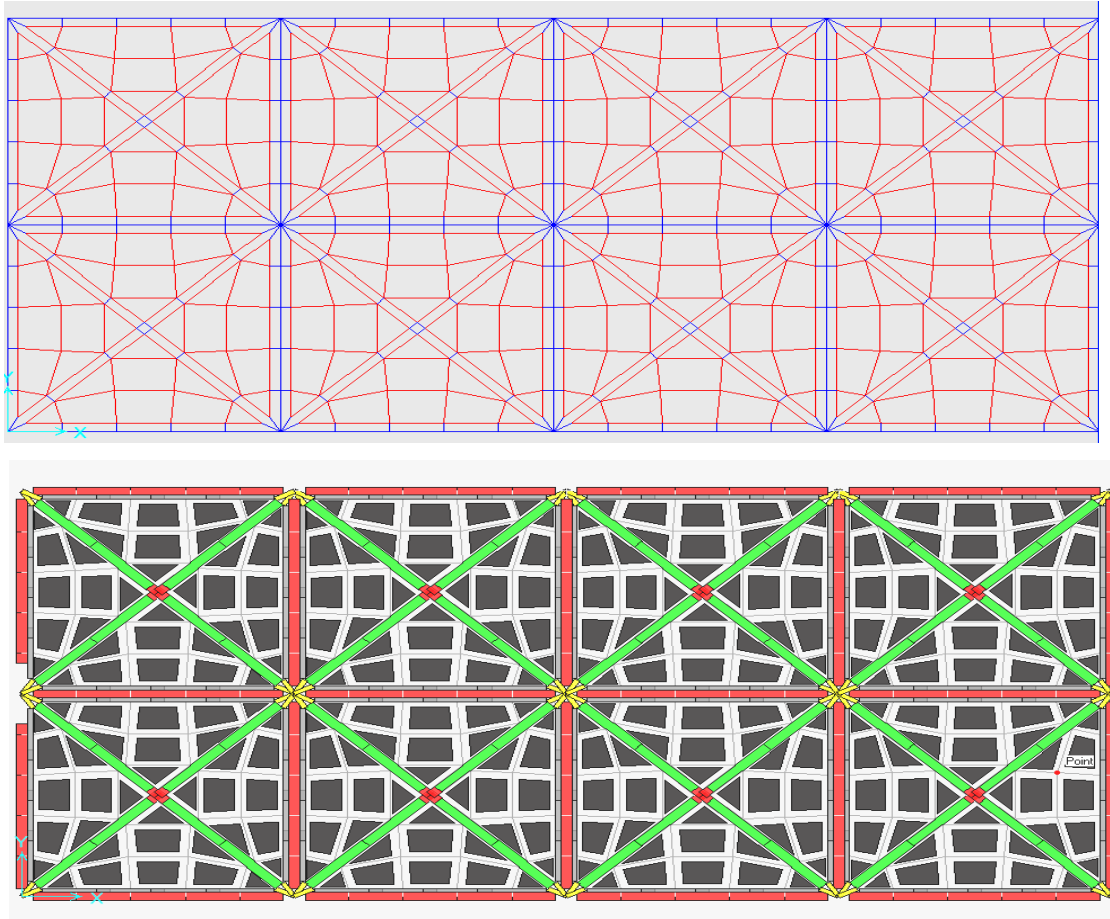
$$\theta_E = (\theta_y * L / 2) / 2 + (\theta_E - \theta_y) * L_p \quad \dots\dots\dots \text{Denklem (4.18)}$$

#### 4.4. Esnek Diyaframlı Modellerin Tanımlanması

Esnek diyaframlı modellerin tanımlanması işlemi, döşemenin kesme ve eğilme etkileri ile çatlamasının muhtemel olduğu kısımlara, sürekliliği sağlayan ve mafsalları tanımlamamıza imkan veren bağlantı elemanlarının atanması ile yapılmıştır. 3. bölümde belirtilen (Bkz. Şekil 3.6-3.7) yük aktarımı felsefesinden faydalanarak, kirişlerin mafsallaşmasının ardından döşemelerde oluşan kesme ve eğilme etkilerinin bu bağlantı elemanları tarafından taşınması sağlanmış, söz konusu elemanlara atanan kesme mafsalları ile döşemenin doğrusal dışı hareketi modellenmiştir. Bağlantı elemanlarının boyutları belirlenirken döşeme içinde boşluk bırakmayacak ebatların seçilmesine dikkat edilmiştir. Esnek diyaframlı modellerin isimlendirmesi yapılırken rijit diyaframlı modellerde kullanılan “Stiff” notasyonu yerine “Flex” notasyonu kullanılmıştır. Oluşturulan modelin plandaki görünüşü Şekil 4.12 - 4.13’te verilmiştir.



**Şekil 4.12** Döşeme içinde tanımlanan bağlantı elemanlarının tipleri



**Şekil 4.13** Döşeme içinde tanımlanan bağlantı elemanlarının görünüşü

Bağlantı elemanları 4 grupta toplanmıştır. (Eleman boyutları cm olarak verilmiştir. ) İsimlendirmede kullanılan değerler, söz konusu bağlantı elemanlarına ait kesit boyutlarını (boy\*en (cm)) temsil etmektedirler.

1. 10x125 elemanlar :5 m.lik döşeme kenarını temsil eden çubuk elemanlar
2. 10x148 elemanlar :Döşemelerin diyagonal kısmında bulunan çubuk elemanlar
3. 10x20 elemanlar :Döşemelerin diyagonal kısmında bulunan çubuk elemanlar
4. 10x10 elemanlar :Döşemeleri kolon - kiriş birleşimlerine bağlayan çubuk elemanlar

Tanımlanan bütün bağlantı elemanlarının boyu 20 cm.'dir. Söz konusu eleman tiplerinden 10x10 elemanlar hariç hepsine mafsal ataması yapılmıştır. 10x10 elemanlar

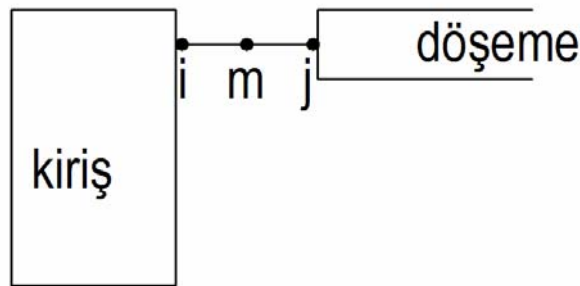
ise aksel rijitliđi dűşürűlműş (kolayca aksel deformatsyon yapabilen), esas itibariyle oluřan kuvvetleri birleřimlere aktarabilmek için tanımlanan elemanlardır.

Daha űnce rijit diyaframlı olarak tanımlanan 6 adet bina modelinde kullanılan dűşemeler, yukarıda belirtilen bağlantı elemanları ile modellenmiş, bűylece esnek diyaframlı binaları tarif eden 6 adet yapı modeli daha elde edilmiştir. Dolayısıyla toplamda 12 adet bina modeli kullanılarak analiz çalışması tamamlanmıştır.

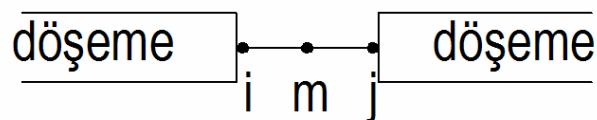
#### 4.5. Bağlantı Elemanlarında Kullanılan Mafsallar

Kesme ve eđilme etkileri ile zorlanan 10x125, 10x148 ve 10x20 cm. boyutlarındaki bađlantı elemanları tanımlandıkları bűlgelerde dűşemeyi oluřturan çubuk řeritleri gibi dűřűnűldűđü için, bu řeritlerin mafsal űzellikleri tanımlanırken her řeridin kesit alanı ve donatı űzellikleri kullanılmıřtır.

Elemanlara mafsal atamasının yapıldığı noktalar ve bu noktalara atanan mafsal tűrleri şekil 4.14 ve Tablo 4.2’de verilmiştir. Mafsallar ile ilgili ayrıntılı bilgi çalışmanın sonunda ek olarak verilmiştir.



10x125 elemanlarda mafsal noktaları



10x148 ve 10x20 elemanlarda mafsal noktaları

**şekil 4.14** Bağlantı elemanlarına mafsal ataması yapılan noktalar

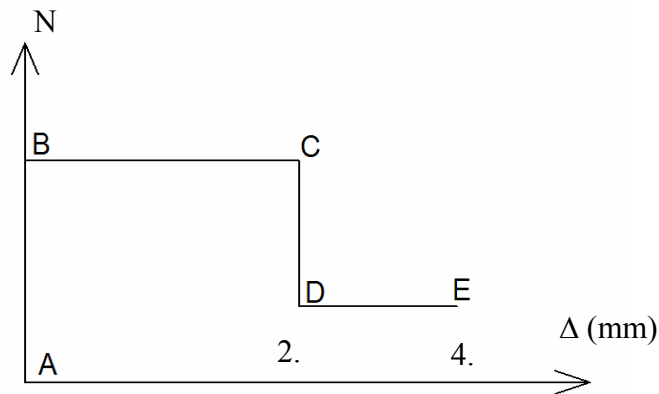
**Tablo 4.2** Bağlantı elemanlarına atanan mafsal tipleri ve yerleri

Eleman Tipi	Yer	Mafsal Türü
10x125	i	M3
10x125	j	V2
10x125	m	N
10x148	i	M3 & V2
10x148	j	M3 & V2
10x148	m	N
10x20	i	M3 & V2
10x20	j	M3 & V2
10x20	m	N

#### 4.5.1. Eksenel Kuvvet (N) Mafsalları

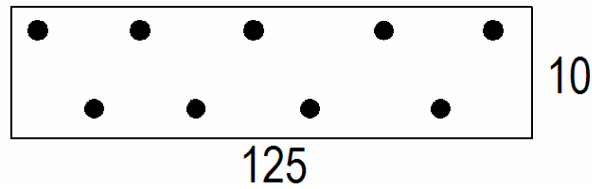
Eksenel kuvvet mafsalları tanımlanırken sadece çekme için eksenel kuvvet mafsalı kullanılmıştır. Hesaplama işlemi esnasında hem betonun çekme dayanımı, hem de döşeme için minimum donatı oranına karşılık gelen donatı alanı için akma gerilmesi ile hesaplanan donatı çekme kuvvetinin katkısı dikkate alınmıştır. (Denklem 4.19). Kullanılan donatıya ait  $\sigma$ - $\varepsilon$  eğrisinden faydalanılarak D ve E noktaları için hesaplanan eksenel deformasyon ( $\Delta$ ) değerleri, bütün eleman tipleri için aynı olduğu kabul edildi. Eksenel deformasyon değerleri;  $\Delta_D=2$  mm.,  $\Delta_E=4$  mm. alınmıştır (Şekil 4.15).

$$N_B = F_c + F_s = A_c * f_{ctd} + A_s * f_y \quad \dots\dots\dots\text{Denklem (4.19)}$$

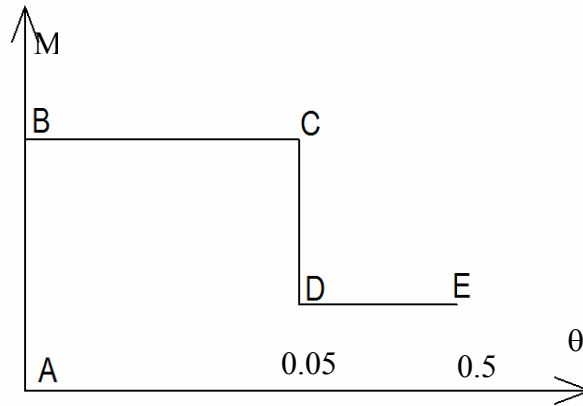
**Şekil 4.15** Eksenel Kuvvet Mafsalı (N)

#### 4.5.2. Moment (M3) Mafsalları

Moment mafsallarının tanımlanması sırasında bağlantı elemanları 10x125, 10x148 ve 10x20 cm ebatlarında yatık kirişler gibi düşünülmüş (Şekil 4.16), döşeme için hesaplanan minimum donatı oranlarına göre moment hesabı yapılmıştır. Bağlantı elemanları için elde edilen  $M-\theta$  eğrilerinden C ve D noktaları için elde edilen dönme değerlerinin ortalama olarak  $\theta_C$ : 0.05 rad/m ve  $\theta_D$ : 0.5 rad/m olduğu görülmüştür. Bu nedenle C (aynı zamanda D) ve E noktalarındaki dönmeler, bütün bağlantı elemanı tipleri için özdeş kabul edilmiş ve sırasıyla 0.05 ve 0.5 (rad/m) alınmıştır (Şekil 4.17)



Şekil 4.16 10x125 bağlantı elemanının kesit görünüşü (Örnek)



Şekil 4.17 Moment Mafsalı (M3)

#### 4.5.3. Kesme (V2) Mafsalları

Üzerinde en çok düşünülmesi gereken mafsallar ise şüphesiz kesme mafsallarıdır. Bağlantı elemanlarının hem kesme kuvveti kapasitesinin hem de kesme deformasyonlarının hesabı pek çok belirsizliği ve daha fazla sayıda parametrenin etkisini içermektedir. Döşeme türü elemanlarda etriye bulunmamaktadır. Fakat kesme



ile çatlayan betonun içindeki boyuna donatıların kesme dayanımı, kesme kuvvetinin karşılanmasında donatı katkısı olarak ortaya çıkmaktadır. Ayrıca eksenel kuvvetin varlığı sürtünme etkisini arttırdığı için kesme dayanımını yükselten bir etki sağlamaktadır. Sayılan bu faktörler kuvvet kapasitesi üzerinde etkili olduğu gibi, kesme deformasyonları üzerinde de etkili olduğu için göz önüne alınmış, çok sayıda bağlantı elemanı içeren esnek döşeme modellerinde hesap kolaylığı sağlamak ve çözümü kolaylaştırmak amacıyla bazı basitleştirmeler yapılmıştır.

Öncelikle kirişlerde mafsallaşmanın başladığı seviye esas alınmış ve bu seviyede link elemanlarda oluşan eksenel basınç ve çekme kuvvetleri hesaplanmıştır. Eksenel kuvvet oranlarına bakılarak bağlantı elemanları sınıflandırılmış, her bağlantı elemanı tipi için kesme mafsalları hesaplanırken eksenel kuvvet seviyesi göz önüne alınmıştır. Bağlantı elemanı tipleri ve eksenel kuvvet seviyesine göre yapılan sınıflandırma Tablo 4.3 'te verilmiştir.

**Tablo 4.3** Eksenel kuvvet seviyelerine göre kesme mafsallarının sınıflandırılması

Maf.Tipi	N (ton)	Maf. Tipi	N (ton)	Maf. Tipi	N (ton)
125 V2 -4	N>-40	148 V2 -3	N> -30	20 V2 -3	N> -3.2
125 V2 -3	-30 > N> -40	148 V2 -2	-20 > N> -30	20 V2 -2	-2.4 > N> -3.2
125 V2 -2	-20 > N> -30	148 V2 -1	-10 > N> -20	20 V2 -1	-1.2 > N> -2.4
125 V2 -1	-10 > N> -20	148 V2 0	-10>N & N<+10	20 V2 0	-1.2>N&N<1.2
125 V2 0	-10>N & N<+10	148 V2 +1	10 > N> 20	20 V2 +1	1.2 < N< 2.4
125 V2 +1	10 > N> 20	148 V2 +2	20 > N> 30	20 V2 +2	2.4 < N< 3.2
125 V2 +2	20 > N> 30	148 V2 +3	N> 30	20 V2 +3	N> 3.2
125 V2 +3	30 > N> 40				
125 V2 +4	N> 40				

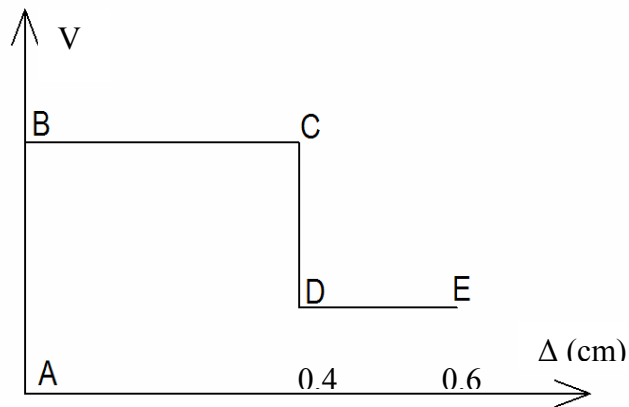
Mafsallarının kesme kuvveti kapasiteleri hesaplanırken donatıdan gelen kesme kuvveti bileşeni Denklem 4.20 ile elde edilmiştir.

$$V_s = \frac{A_s \cdot f_y}{\sqrt{3}} \quad \dots\dots\dots\text{Denklem (4.20)}$$

Eksenel kuvvet seviyesine ve Tablo 4.3'te verilen sınıflandırmaya bağlı olarak kesme kapasitesinin beton bileşeni ise Denklem 4.21 ile hesaplanmıştır. (Paulay ve Pristley,1992)

$$V_c = 0.27 \cdot \sqrt{f_c} + \frac{N}{4 \cdot A_g} \quad (\text{Mpa}) \quad \dots\dots\dots\text{Denklem (4.21)}$$

Yapılan hesaplamalar beton ve donatı katkısının kabaca birbirine yakın olduğunu göstermiştir (Beton katkısı  $\cong$  %45). Bilindiği gibi kesme kırılması sünek değil, gevrek bir kırılmadır. Perde duvarlarda yapılan kayma kesmesi deneyleri ise betonun kesme etkisi ile çatlamasına rağmen, duvarın yük taşıma kapasitesini kaybetmeden bir miktar kesme deformasyonu yapabildiğini göstermektedir (Paulay ve diğ. 1982). Bu noktadan hareketle kesme kuvveti kapasitesini hesaplarken, katkıları hemen hemen birbirine eşit olan beton ve donatıya ait kesme kuvveti bileşenlerini toplamak yerine, donatı katkısının beton çatladıktan ve kesme deformasyonları oluşmaya başladıktan sonra devreye girdiği kabul edilmiştir. Böylelikle kesme mafsalları döşeme kesme kapasitesine ulaştıktan sonra boyuna donatıların yapacağı kesme deformasyonu göz önüne alınarak Şekil 4.18 deki gibi tarif edilmiştir. Paulay ve diğerlerinin (1982) perde duvarlar için yapmış oldukları kayma kesmesi deneyleri sonucunda elde ettikleri eğrilere ait değerler alınarak, D ve E noktaları için deplasman değerleri sırasıyla 0.4 mm ve 0.6 mm olarak kabul edildi. Yapılan sınıflandırmalar esas alınarak tarif edilen kesme mafsalları çalışmanın sonunda ek olarak verilmiştir.



**Şekil 4.18** Kesme Kuvveti Mafsalı (V2)

## **5. YATAY YÜKLER ALTINDA DOĞRUSAL OLMAYAN ANALİZ**

### **5.1. Giriş**

Betonarme yapıların hesabında, elastik veya elastik ötesi davranışın kabul edildiği hesap yöntemleri kullanılmaktadır.

#### **5.1.1. Doğrusal Analiz Yöntemleri**

Pratikte genellikle bina türü yapıların hesabında, elemanların mafsallar oluşmadan yükleme süresince elastik davranış gösterdiğini kabul eden doğrusal analiz yöntemleri kullanılmaktadır. Doğrusal analizle betonarme elemanlarda oluşabilecek maksimum kesit zorlamaları yani yapının elastik kapasitesi ve ilk akmanın oluşacağı yer elde edilebilir. Binanın doğrusal elastik davranış gösterdiği durumda hesaplanan taban kesme kuvvetinin katlara dağıtılmasıyla da kat kesme kuvvetleri hesaplanır. Yapıların deprem hesabında sıklıkla kullanılan doğrusal analiz yöntemleri aşağıda verilmiştir.

- Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi
- Mod Birleştirme Yöntemi
- Doğrusal Zaman-Tanım Alanında Hesap Yöntemi(Time-History)

#### **5.1.2. Doğrusal Ötesi Analiz Yöntemleri**

Aşırı yüklemeler altında, elemanlarda iç kuvvetlerin artışıyla oluşan çatlaklarla (plastik mafsallar) birlikte elemanların eğilme ve kayma rijitliği azalır, kalıcı ötelenmeler ve hatta göçmeler oluşur. Bu durum elemanlarda oluşan iç kuvvetlerin yeniden dağılmasına sebep olur ki, bunu elastik hesap yöntemleri ile görebilmek mümkün değildir. Doğrusal ötesi analiz yöntemleri ile söz konusu değişimleri

izleyebilmek, yapısal performansı değerlendirebilmek, kapasite eğrisinin elde edilmesi ile birlikte bina elemanlarının aktıktan sonraki davranışı hakkında fikir sahibi olmak mümkündür. Kapasite eğrisi üzerinde ulaşılan deplasmanlar binanın uğrayacağı hasarın sınır durumları hakkında ipuçları içermektedir. Genelde kullanılan yapısal performans sınır durumları aşağıda belirtilmiştir.

- *Kullanılabilirlik Sınır Durumu*

Hafif şiddetli depremlerde; yapının taşıyıcı sisteminde onarım gerektiren hasar oluşmaması durumudur. Yani elemanlarda oluşacak gerilmeler elastik bölgede kalmalıdır. Elemanlarda çekme çatlaklarının oluşmasına izin verildiği gibi, betonda ezilme ve donatının akması istenmeyen durumdur.

- *Hasar Kontrolü Sınır Durumu*

Orta şiddetli deprem etkisinde taşıyıcı sistem elemanlarında onarılabılır çekme çatlakları oluşabilir, betonda hafif ezilmeler gözlenebilir ve bazı elemanlarda donatı akma noktasına gelebilir.

- *Göçme Kontrolü Sınır Durumu*

Seyrek oluşabilecek şiddetli depremlerde, taşıyıcı elemanlarda onarımı mümkün olmayan çok büyük elastik ötesi deformasyonlar oluşur. Yapıya aktarılan enerji sünek olarak tüketilmeli, can kaybı olmadan yapının kısmen veya tamamen göçmesi önlenmelidir.

Yönetmelikte de belirtildiği gibi sınır durumlar dikkate alınarak yapılar tasarlanmalı ve göçmenin oluşmasına izin verilmemelidir. Bu durumun sağlanması kolon-kiriş birleşim bölgelerinde oluşan ve deprem enerjisini sönümleyen plastik mafsallar yardımıyla mümkündür. Sıklıkla kullanılan belli başlı doğrusal olmayan analiz yöntemleri aşağıda verilmiştir.

- Statik İttirme Analizi (Pushover Analizi)
- Zaman-Tanım Alanında Doğrusal Olmayan Hesap Yöntemi (NL Time-History)

Yürütülen çalışmada, hazırlanan bina modellerinin analizi Statik İttirme Analizi kullanılarak yapılmıştır.

### 5.1.2.1. Statik İttirme Analizi ( Pushover Analizi )

Statik itirme analizi karmaşık bazı durumlarda yapı sistemlerinin yük - deformasyon taleplerini belirleyebilmek veya tahmin edebilmek için geliştirilmiş deplasman tabanlı bir analiz yöntemidir. Adından da anlaşılacağı üzere esas itibari ile yatay yüklerin veya deplasmanların artımsal olarak sisteme uygulanması ile elde edilen statik çözümler zinciridir. Dolayısıyla statik itirme analizi elde edilen statik çözümleri değerlendiren, bir araya getiren bir analiz yöntemidir.

Analiz işlemi sırasında sistem seçilen yük veya deplasman seviyelerine ulaşana dek adım adım statik olarak itilir. Her itirme seviyesinde elemanlarda ve elemanlara atanan mafsallarda ulaşılan kuvvet ve deformasyon seviyeleri kontrol edilir. Mafsal bölgelerinde kuvvet kapasitelerine ulaşılması ile birlikte yapı sisteminin söz konusu mafsal noktaları etrafında tanımlanan deplasmanları yapması sağlanır. Her adımda, mafsalların oluşması ile birlikte bina içinde oluşacak iç kuvvetlerin dengesi yeniden hesaplanarak yapı sistemine ait toplam taban kesme kuvveti yeniden elde edilir. Statik itirme analizi sonucunda, esas itibari ile binanın genel yük-deformasyon davranışını temsil ettiğini düşündüğümüz kapasite eğrisini elde etmek ve kritik kesitlerde oluşan hasarın seviyesini kontrol edebilmek hedeflenmektedir.

Statik itirme analizi sırasında önemli olan faktörlerden biri de statik itirme işleminin nasıl veya hangi yükleme desenine göre yapılacağıdır. Bina içindeki atalet kuvvetlerinin depremin şiddetine göre ve hatta depremin süresi içinde bile değişkenlik gösterdiği bilinmektedir. Sabit bir itirme şekli kullanarak bu değişkenliğin göz önüne alınmayacağı ise açıktır. Özellikle yüksek modların etkilerine daha açık olan binalarda bu durumun sonuçlar üzerinde daha etkili olacağı unutulmamalıdır. Ayrıca itirme şeklinin değişmesi, ulaşılan taban kesme kuvveti seviyesini de etkileyebilen bir faktördür. Bu tür olumsuzlukları engelleyebilmek için genellikle statik itirme analizi

sırasında birden fazla itirme şekli ile analiz yapmak tercih edilmelidir. En yaygın olarak kullanılan itirme şekilleri ise kısaca aşağıda verilmiştir.

- Kat seviyelerinden kat kütleleri ile orantılı kuvvetler ile itirme (M)
- Kat seviyelerinden ilgili yöndeki mod deplasmanlarını kullanarak itirme( $\emptyset_i$ )
- Kat seviyelerinden kütle\*mod şeklini kullanarak itirme ( $M^* \emptyset_i$ )

Yürütülen çalışma esnasında yukarıda belirtilen itirme şekillerinin hepsi kullanılmış, kapasite eğrileri her itirme şekli için elde edilmiştir.

Kapasite eğrisinin çiziminde genellikle toplam taban kesme kuvvetinin çatı seviyesinde oluşan deplasmanlar ile değişimi kullanılmaktadır. Bu durum için elde edilen kapasite eğrileri kat seviyelerinde rijit diyafram davranışı gösteren ve dolayısıyla çerçeveleri özdeş ötelenmeler yapan bina sistemleri için bir fikir verebilir. Bununla birlikte kat seviyelerinde esnek davranış gösteren, çerçeveleri farklı ötelenmeler yapan binalarda ise tek bir kapasite eğrisinin sistemin bütün davranışını temsil etmesi beklenmemelidir. Analiz işlemi sırasında bu durum göz önüne alınmış, tek bir kapasite eğrisi vermek yerine, bütün çerçevelerin kapasite eğrileri her itme şekli göz önüne alınarak ayrı ayrı verilmiştir.

## 5.2. Analiz Sonuçları

Modellerin doğrusal olmayan analizi sonucu sistemi oluşturan her çerçeveye ait taban kesme kuvveti-çerçeve deplasmanı grafikleri elde edilmiştir. Analiz sonuçlarına değinilirken önce rijit diyaframlı, sonra esnek diyaframlı sistemlerin çözümüne yer verilmiştir. Analizi yapılan 12 adet binaya ait çözümler, her bir çerçevenin farklı yükleme desenleri altındaki (M,  $\emptyset_i$  ve  $M.\emptyset_i$ ) yük-deplasman davranışını ve seçilen yükleme deseni için bütün çerçevelerin yük-deplasman grafiklerini içerecek şekilde hazırlanmıştır. Analiz modellerinde sistem simetrik olduğundan; çerçevelerin kıyaslanması modelde bulunan tüm çerçeveler üzerinden değil de, modelin yarı çerçeve sayısı üzerinde yapılmıştır.

SAP 2000'de modellenen binaların statik itirme ile analizleri yapılarak, yatay yüklemeler altında modellerde ilk mafsallaşmaların olduğu kısımlar ve modellere ait

Yatay Kuvvet – Deplasman eğrileri aşağıdaki şekillerde gösterilmiştir. Kapasite eğrilerinde; taban kesme kuvveti; ton, deplasman değeri; cm olarak verilmiştir. Grafikler hazırlanırken öncelikle ilgili her çerçevede itme şekline göre oluşan kapasite eğrileri hazırlanmış, böylelikle itme şeklinin çerçeve davranışı üzerindeki etkisi gösterilmiştir. Bundan sonra ise aynı itme şekli altında bütün çerçevelerin taban kesme kuvveti - deplasman değişimleri tek grafikte toplanmış, aynı itme şekli için paralel çerçevelerin davranışı gösterilmiştir.

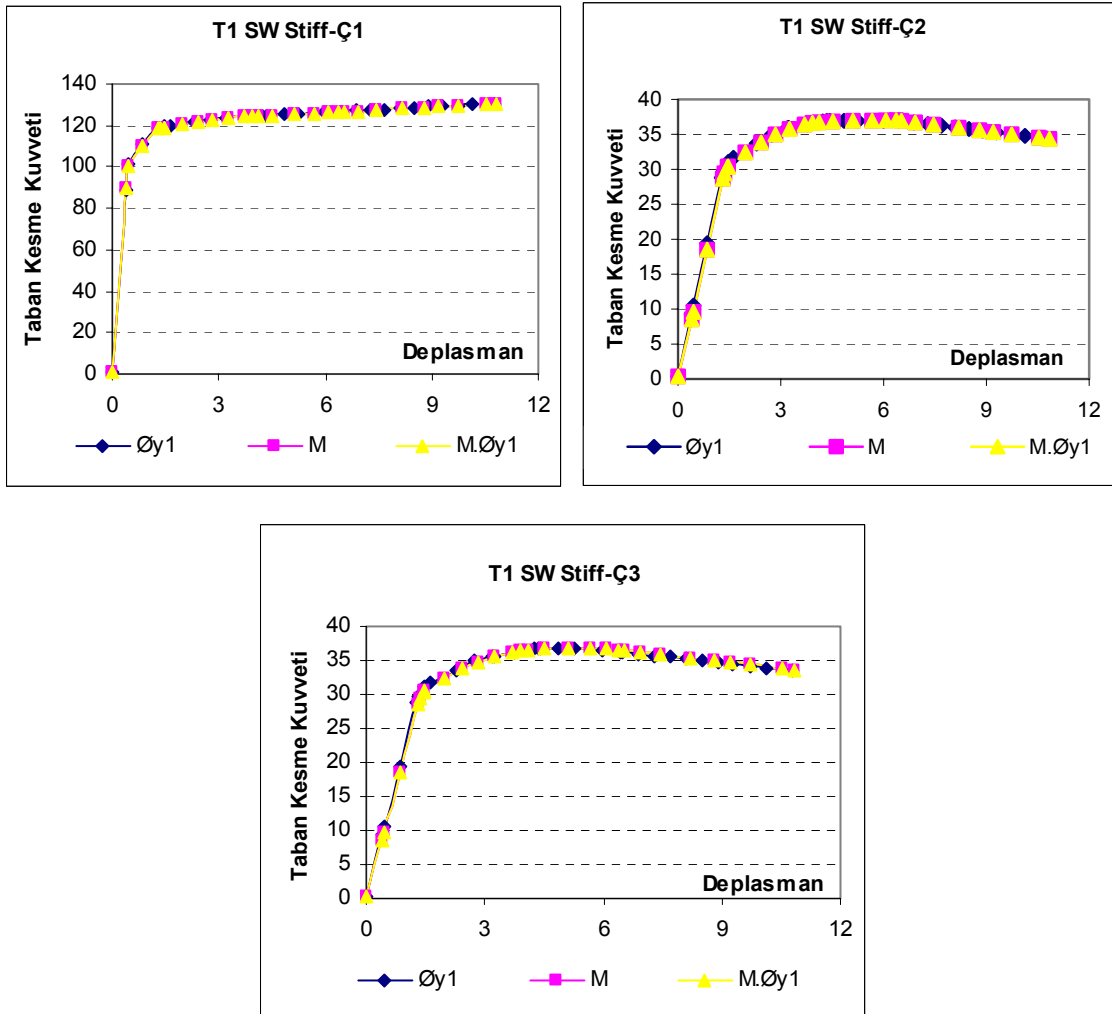
### **5.2.1. Rijit Döşemeli Sistemlerin Analiz Sonuçları**

Piyasada yaygın olarak kullanılan analiz programlarının da döşeme sistemlerini kabul ettiği şekilde, rijit diyaframlı olarak oluşturulan modellerde itirme analizi uygulandığında elde edilen sonuçlar aşağıda verilmektedir.

#### **5.2.1.1. T1 Tipi Binalar İçin Analiz Sonuçları**

Planda L/B oranı 2 olarak modellenen T1 tipi sistemlerin çerçeveleri için elde edilen kapasite eğrileri aşağıda verilmiştir. Sistemde simetri dikkate alınarak 3 çerçeve için karşılaştırmalar yapılmıştır.

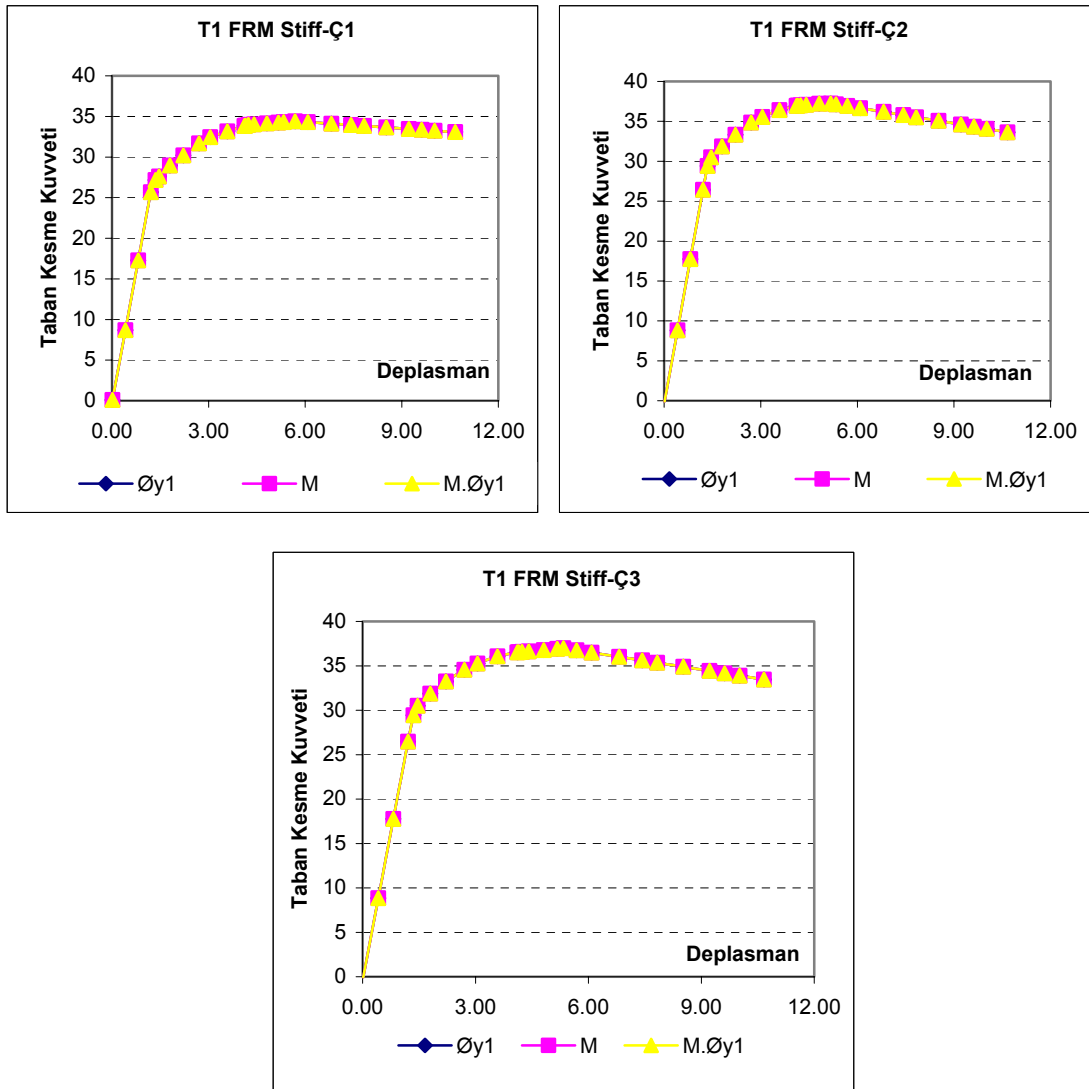
Şekil 5.1 'de kapasite eğrileri verilen, rijit döşemeli geniş kolonlu sistemde (T1 SW Stiff), her üç çerçeve için  $M$ ,  $\Delta_i$  ve  $M.\Delta_i$  itirme şekillerinde aynı miktarda taban kesme kuvvetleri altında oluşan deplasmanlar benzerdir. Ç1 çerçevesinde dayanımı ve rijitliği daha yüksek kolon bulunduğu için, bu çerçevedeki deplasman daha büyük kuvvet talebi ( $\approx 120$  ton) altında oluşmaktadır. Diğer iki çerçevede elde edilen nihai taban kesme kuvveti yaklaşık olarak aynıdır ve Ç1 çerçevesine göre daha düşüktür. Bununla birlikte, her üç çerçevede de nihai deplasman değeri yaklaşık olarak aynıdır.



**Şekil 5.1** Rijit döşemeli geniş kolonlu sistemde (T1 SW Stiff) çerçevelere ait kapasite eğrileri

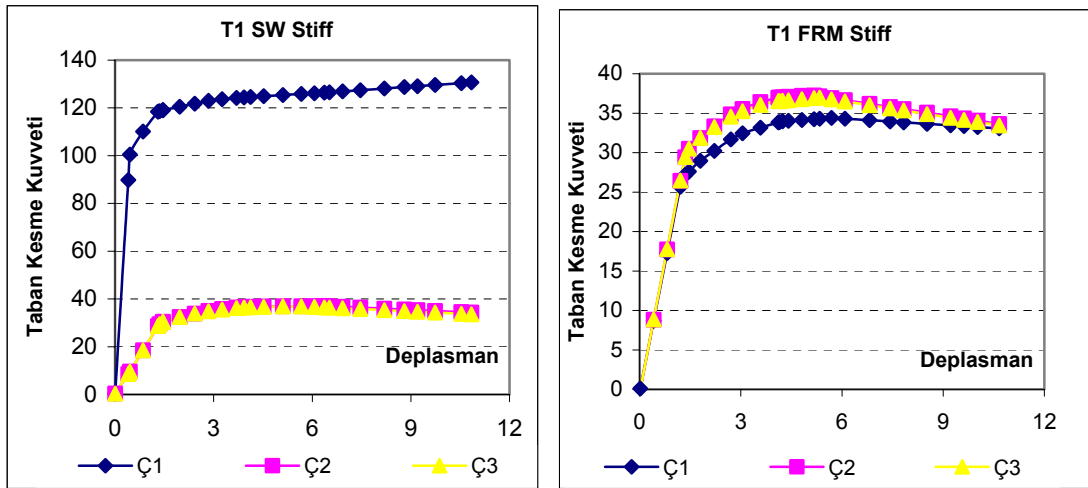
Şekil 5.2’de ise bütün kolonları aynı boyutta olan çerçeveli sisteme ait kapasite eğrileri verilmektedir. Verilen kapasite eğrilerine bakıldığında her üç itirme şeklinde de, Ç1, Ç2, Ç3 çerçevelerine etkiyen aynı miktardaki taban kesme kuvvetleri altında aynı oranlarda deplasmanların oluştuğu görülmektedir. Rijit döşemeli geniş kolonlu sistem ile rijit döşemeli çerçeveli sistem karşılaştırıldığında ise, her itme şekli için elde edilen kapasite eğrilerinin Ç1 çerçevesi hariç diğer çerçevelerde hemen hemen aynı özelliklere sahip olduğu görülmektedir.



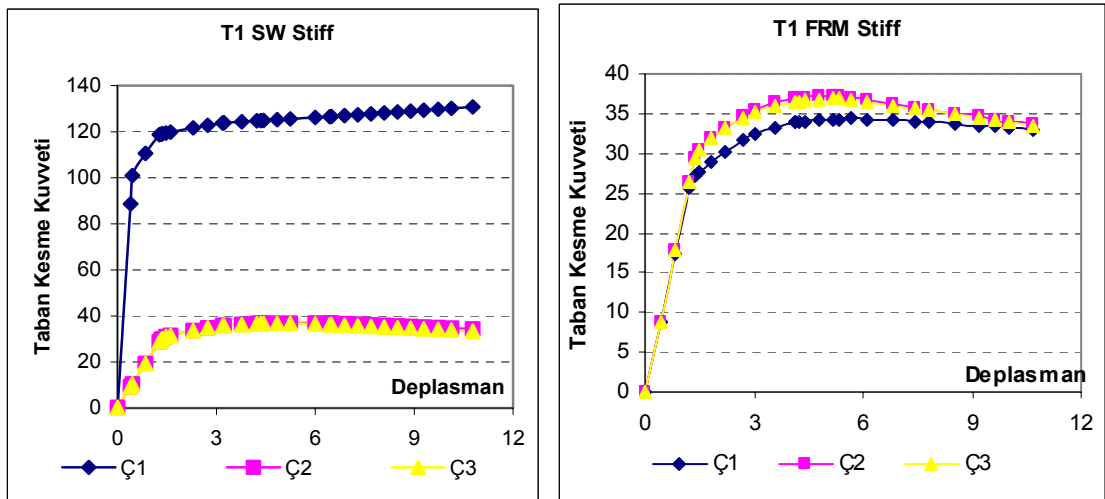


**Şekil 5.2** Rijit döşemeli çerçevesi sistemde (T1 FRM Stiff) çerçevelere ait kapasite eğrileri

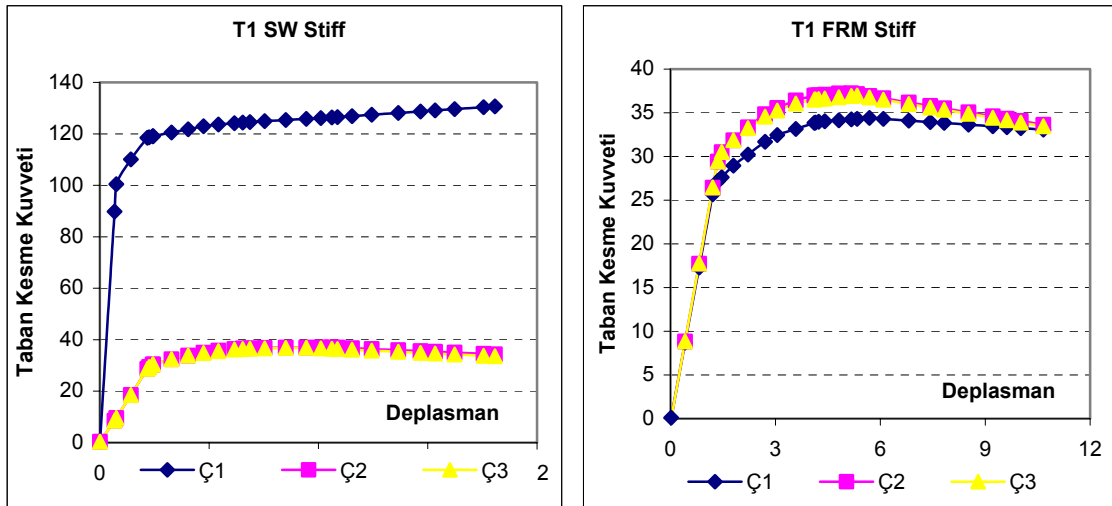
Çalışmanın bu aşamasında çerçevesi ve geniş kolonlu sistemlerin çerçevelerinde oluşan kapasite eğrileri her itme şekli için ayrı ayrı Şekil 5.3-5.5'te verilmiştir.



Şekil 5.3 Rijit döşemeli geniş kolonlu sistem ile rijit döşemeli çerçevesi sistemin, M itirme şekline göre çerçevelerinde oluşan kapasite eğrileri



Şekil 5.4 Rijit döşemeli geniş kolonlu sistem ile rijit döşemeli çerçevesi sistemin,  $\bar{O}_i$  itirme şekline göre çerçevelerinde oluşan kapasite eğrileri



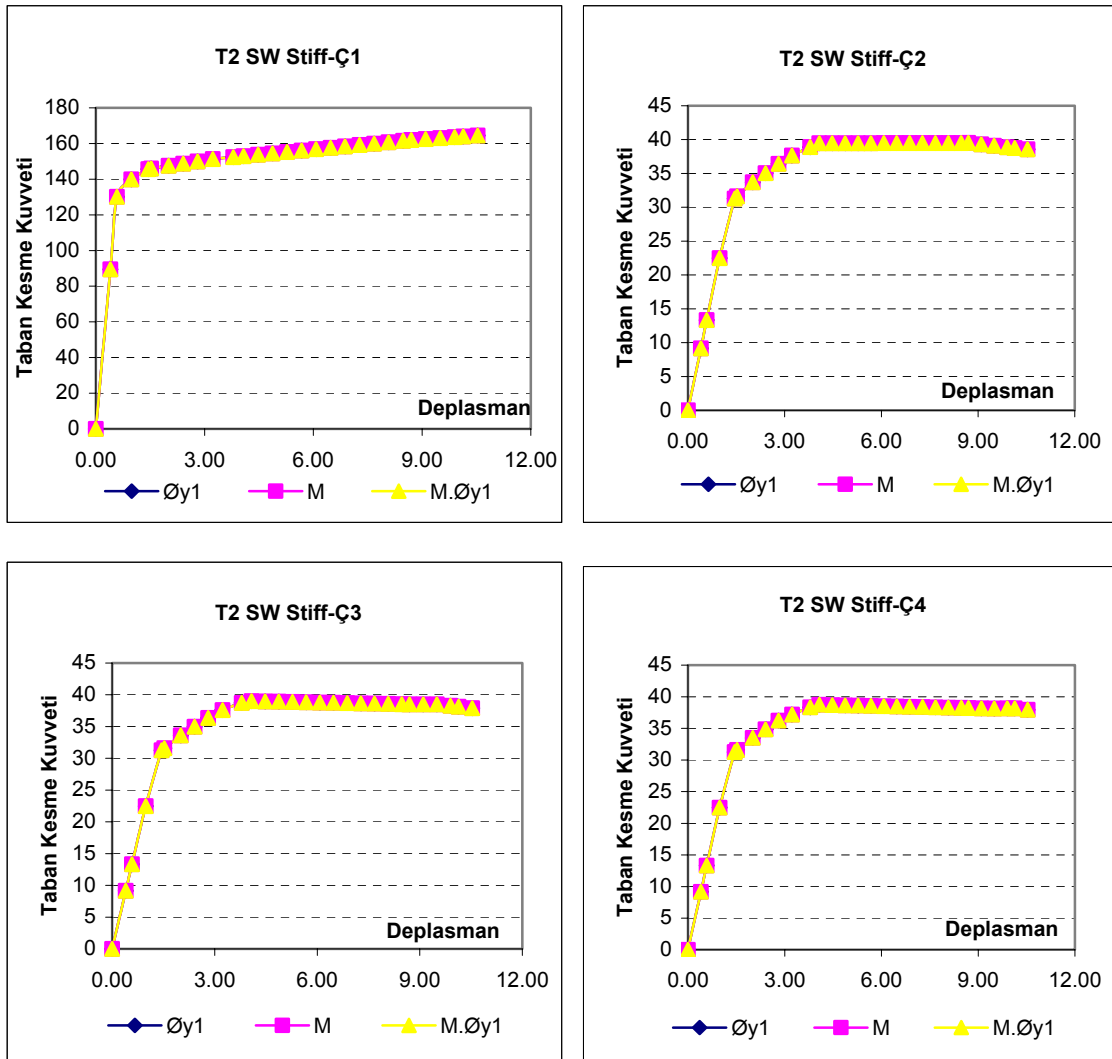
**Şekil 5.5** Rijit döşemeli geniş kolonlu sistem ile rijit döşemeli çerçevesi sistemin, M.Øi itirme şekline göre çerçevelerinde oluşan kapasite eğrileri

Rijit diyafram tanımlı T1 tipi sistemlerde, tüm itme şekilleri göz önüne alındığında, elde edilen kapasite eğrilerinin birbirine oldukça yakın sonuçlar verdiği görülmüştür. Başka bir ifade ile, kapasite eğrilerinin durumu rijit diyaframlı T1 sistemlerinde itirme şeklinden etkilenmemektedir. Sadece geniş kolonlu sistemin Ç1 çerçevesi, söz konusu kolonun yüksek dayanım ve rijitliği sebebiyle daha yüksek taşıma kapasitesine sahiptir.

### 5.2.1.2. T2 Tipi Binalar İçin Analiz Sonuçları

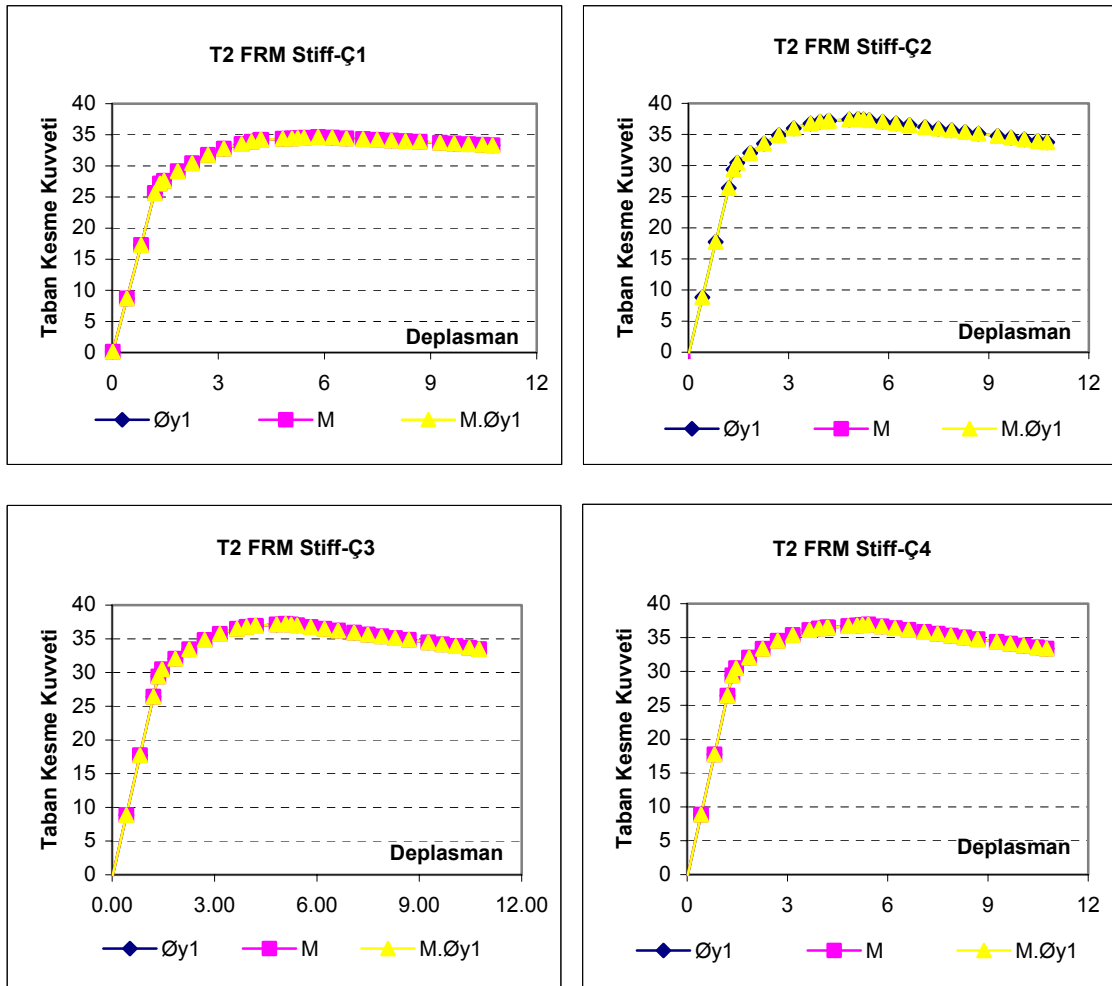
L/B oranı 3 olarak modellenen T2 tipi binalar için elde edilen kapasite eğrileri aşağıda verilmiştir. Sistemde simetri eksenini dikkate alınarak dört çerçeve için karşılaştırmalar yapılmıştır.

Şekil 5.6 'da T2 modeline ait kapasite eğrileri verilmiştir. Rijit döşemeli geniş kolonlu sistemde (T2 SW Stiff) her üç çerçeve için M , Øi ve M.Øi itirme şekilleri altında elde edilen kapasite eğrileri benzerdir. Ç1 çerçevesinde dayanımı ve rijitliği daha yüksek kolon bulunduğundan, bu çerçevedeki deplasman daha büyük kuvvet talebi ( $\approx 120$  ton) altında oluşmaktadır. Diğer iki çerçeveye ait kapasite eğrileri yaklaşık olarak aynı özellikte olup, bu çerçeveler için elde edilen nihai taban kesme kuvveti hemen hemen aynıdır ve Ç1 çerçevesine göre daha düşüktür ( $\approx 35$  ton). Ayrıca her üç çerçevede de nihai deplasman değeri yaklaşık olarak aynı değerdedir.



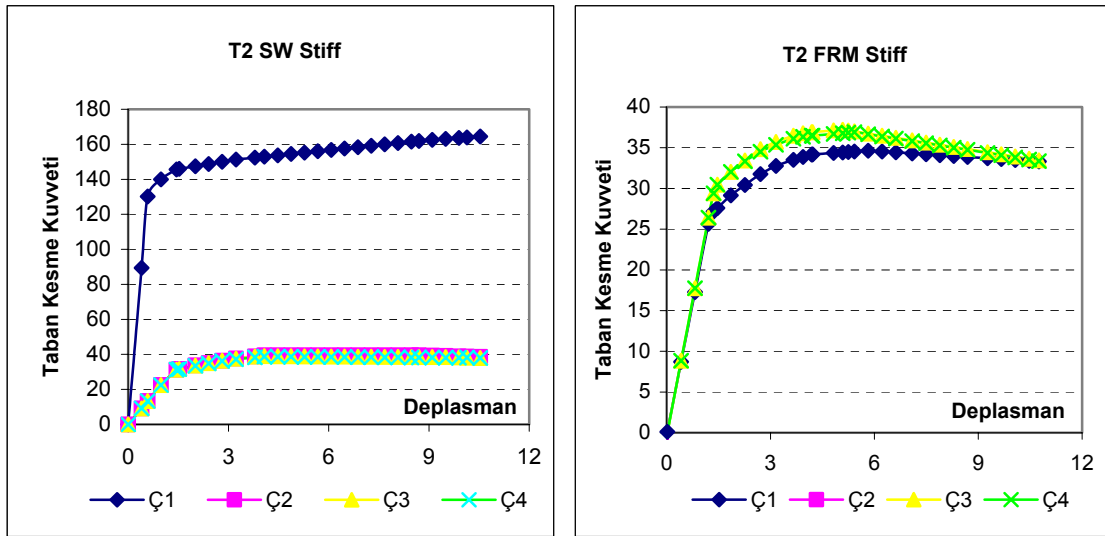
**Şekil 5.6** Rijit döşemeli geniş kolonlu sistemde (T2 SW Stiff) çerçevelere ait kapasite eğrileri

Şekil 5.7’de ise bütün kolonları aynı boyutta olan çerçeveli sisteme (T2 FRM Stiff) ait kapasite eğrileri verilmektedir. Bu modele ait kapasite eğrileri T1 modeli için Şekil 5.2’de verilen kapasite eğrileri ile benzer özellikler göstermektedir. Buna göre; verilen kapasite eğrilerine bakıldığında; her üç itirme şeklinde de; tüm çerçevelerde aynı miktardaki taban kesme kuvvetleri altında aynı oranlarda deplasmanların olduğu görülmektedir. Rijit döşemeli geniş kolonlu sistem ile rijit döşemeli çerçeveli sistem karşılaştırıldığında ise, her itme şekli için elde edilen kapasite eğrilerinin; daha rijit olan Ç1 çerçevesi hariç diğer çerçevelerde hemen hemen aynı özelliklere sahip olduğu görülmektedir.

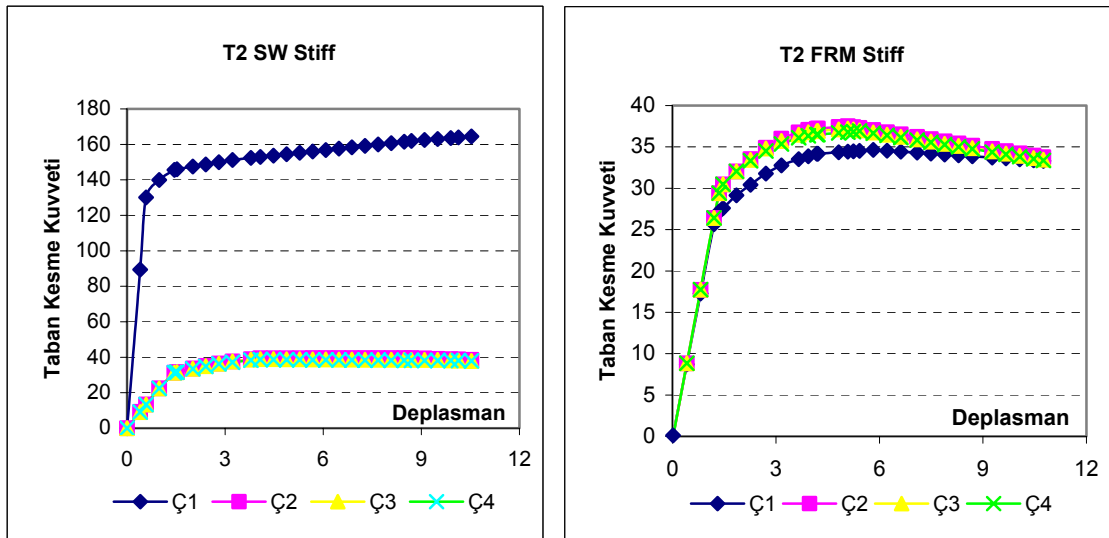


**Şekil 5.7** Rijit döşemeli çerçevesel sistemde (T2 FRM Stiff) çerçevelere ait kapasite eğrileri

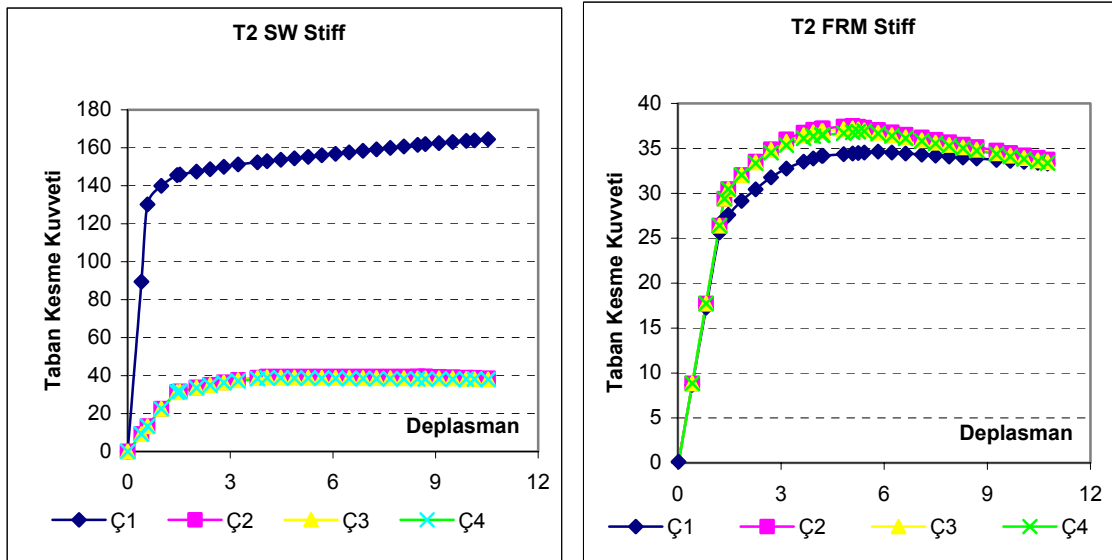
Rijit diyafram tanımlı T2 tipi sistemler için, Şekil 5.8'de M itirme şekli, Şekil 5.9'da  $\text{Ø}_i$  itirme şekli, Şekil 5.10'da  $M.\text{Ø}_i$  itirme şekli etkisinde çerçevelere ait kapasite eğrileri verilmiştir. Bu sistemlerde, tüm itme şekilleri göz önüne alındığında elde edilen kapasite eğrilerinin birbirine oldukça yakın sonuçlar verdiği görülmüştür. Kapasite eğrilerinin durumu; rijit diyaframlı T2 sistemlerinin de itirme şeklinden etkilenmediğini göstermektedir. Sadece geniş kolonlu sistemin Ç1 çerçevesi, söz konusu kolonun yüksek dayanım ve rijitliği sebebiyle daha yüksek taşıma kapasitesine sahiptir.



Şekil 5.8 Rijit döşemeli geniş kolonlu sistem ile rijit döşemeli çerçevesi sistemin, M itirme şekline göre çerçevelerinde oluşan kapasite eğrileri



Şekil 5.9 Rijit döşemeli geniş kolonlu sistem ile rijit döşemeli çerçevesi sistemin,  $\bar{O}_i$  itirme şekline göre çerçevelerinde oluşan kapasite eğrileri

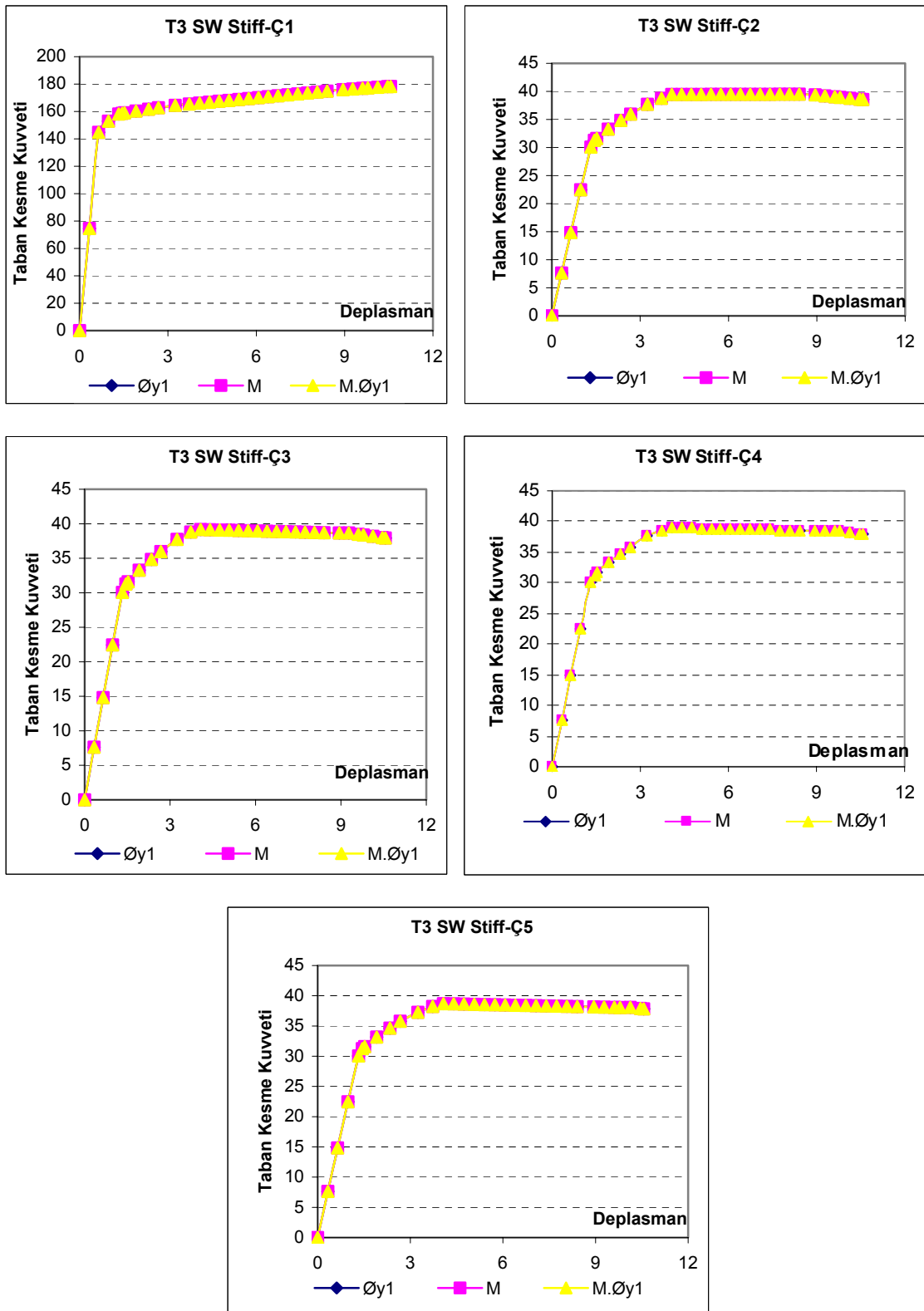


**Şekil 5.10** Rijit döşemeli geniş kolonlu sistem ile rijit döşemeli çerçevesi sistemin, M.Øi itirme şekline göre çerçevelerinde oluşan kapasite eğrileri

### 5.2.1.3. T3 Tipi Binalar İçin Analiz Sonuçları

L/B oranı 4 olarak modellenen T3 tipi binalar için elde edilen kapasite eğrileri aşağıda verilmiştir. Sistemde simetri eksenine dikkate alınarak beş çerçeve için karşılaştırmalar yapılmıştır.

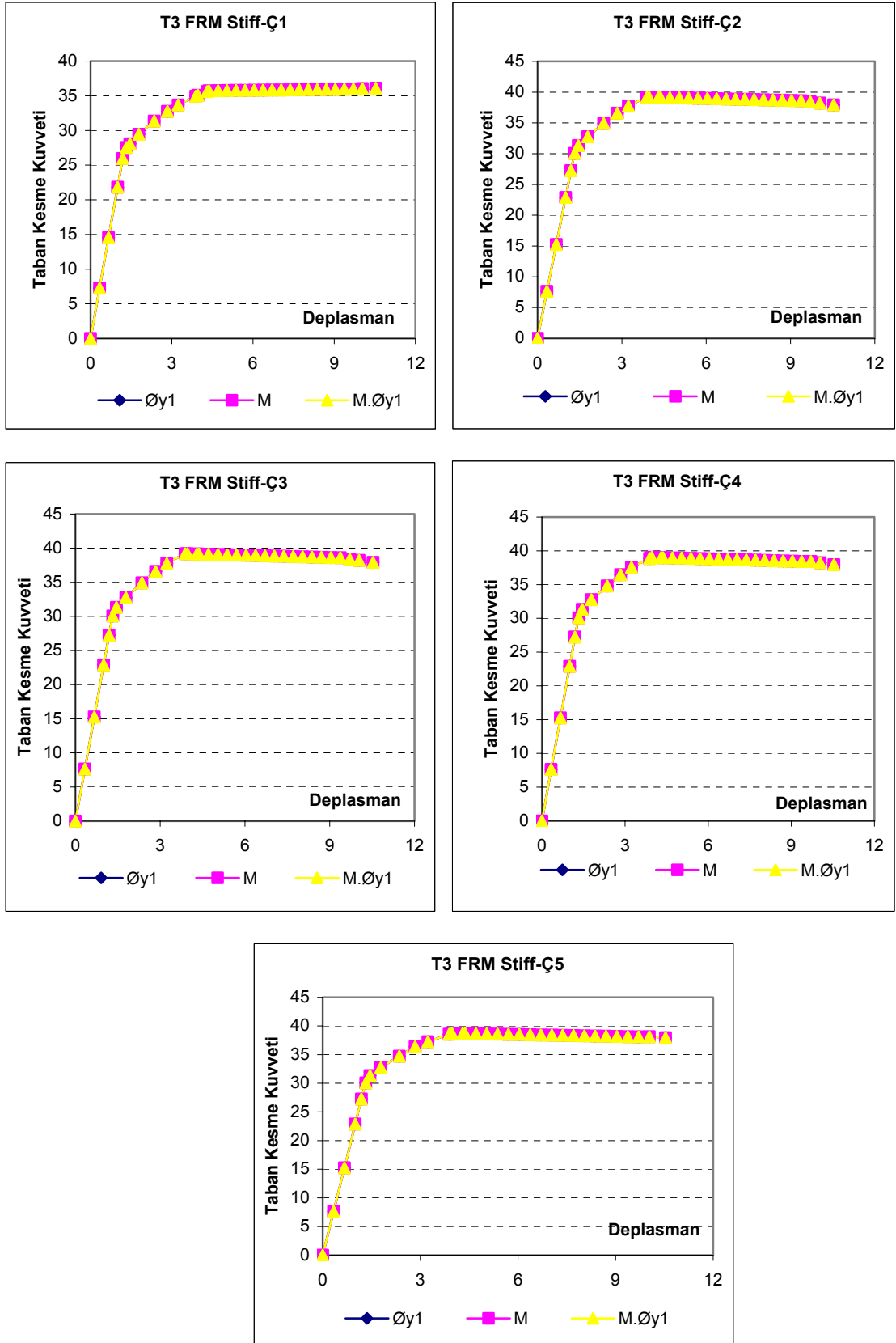
Şekil 5.11 'de T3 modeline ait kapasite eğrileri verilmiştir. Rijit döşemeli geniş kolonlu sistemde (T3 SW Stiff) her çerçevenin M , Øi ve M.Øi itirme şekilleri altında oluşan kapasite eğrileri benzerdir. Ç1 çerçevesinde dayanımı ve rijitliği daha yüksek kolon bulunduğundan, bu çerçevedeki deplasman daha büyük kuvvet talebi altında oluşmaktadır. Diğer dört çerçeveye ait kapasite eğrileri benzer özellikte olup, bu çerçeveler için elde edilen nihai taban kesme kuvveti yaklaşık olarak aynıdır ve Ç1 çerçevesine göre daha düşüktür ( $\approx 35$  ton). Ayrıca her üç çerçevede de nihai deplasman yaklaşık olarak aynı değerdedir. Buna göre, rijit diyaframa sahip T3 tipi geniş kolonlu ve özdeş çerçevesi binalardan elde edilen kapasite eğrileri, T1 ve T2 tipi binalarda olduğu gibi benzer şekilde oluşmaktadır.



Şekil 5.11 Rijit döşemeli geniş kolonlu sistemde (T3 SW Stiff) çerçevelere ait kapasite Eğrileri

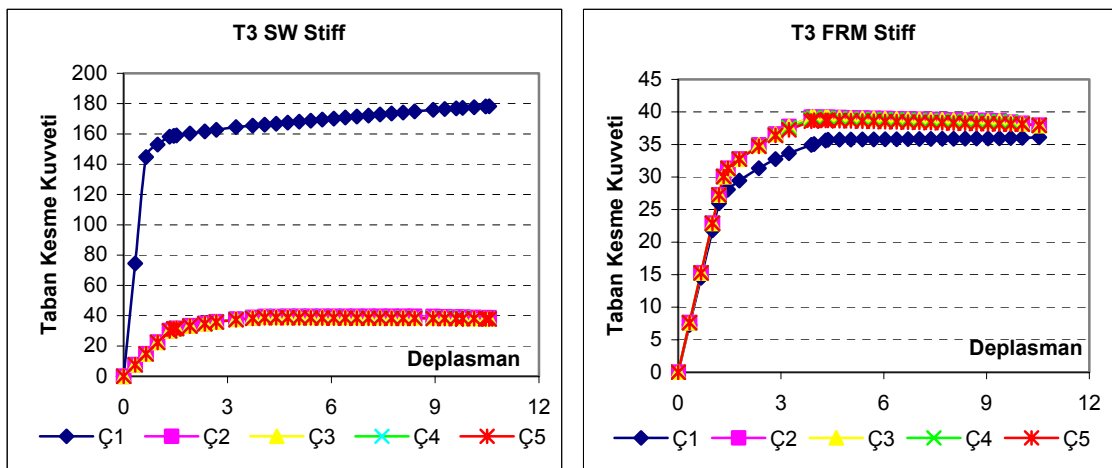


Şekil 5.12’de ise bütün kolonları aynı boyutta olan çerçevesi sisteme (T3 FRM Stiff) ait kapasite eğrileri verilmektedir. Bu modele ait kapasite eğrileri, T1 ve T2 modeli için verilen kapasite eğrileri ile benzer özellikler göstermektedir. Verilen kapasite eğrilerine bakıldığında, her üç itirme şeklinde de her bir çerçeveye etkiyen aynı miktardaki taban kesme kuvvetleri altında, aynı oranlarda deplasmanların oluştuğu görülmektedir. Rijit döşemeli geniş kolonlu sistem ile rijit döşemeli çerçevesi sistem karşılaştırıldığında; her itme şekli için elde edilen kapasite eğrileri, daha rijit olan Ç1 çerçevesi hariç, diğer çerçevelerle hemen hemen aynı özelliklere sahiptir.

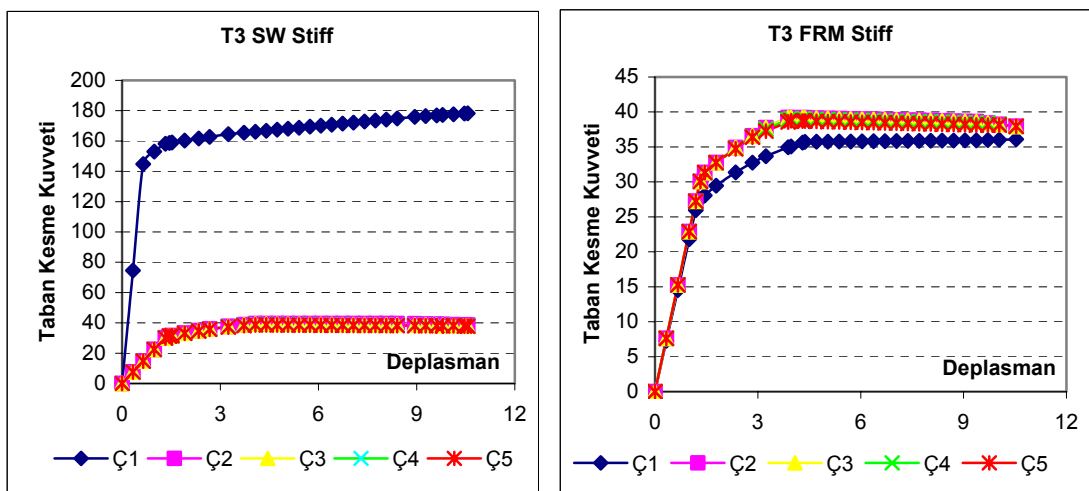


Şekil 5.12 Rijit döşemeli çerçevesi sistemde (T3 FRM Stiff) çerçevelere ait kapasite eğrileri

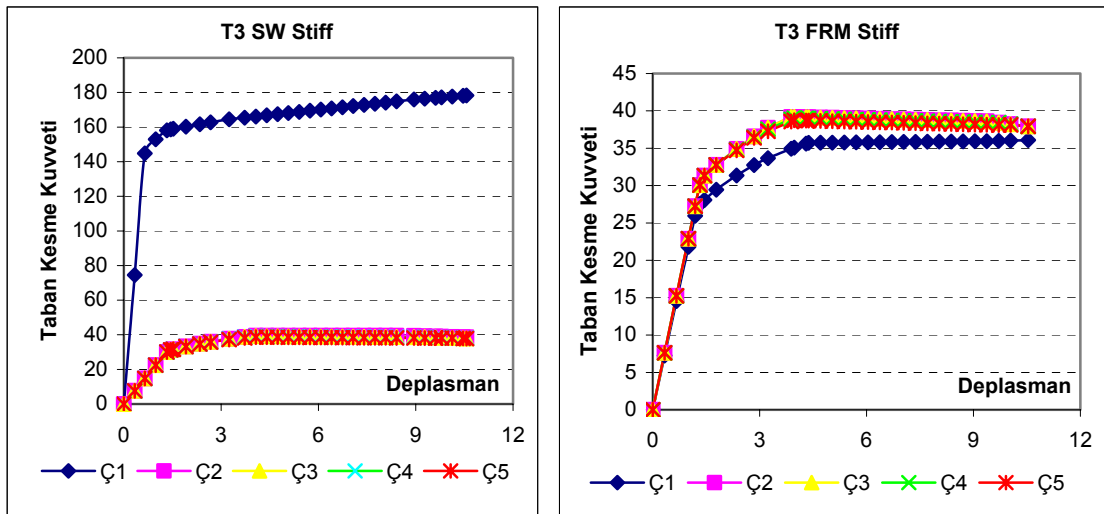
Rijit diyafram tanımlı T3 tipi sistemler için, Şekil 5.13'de M itirme şekli, Şekil 5.14'te  $\bar{O}$ i itirme şekli, Şekil 5.15'te M. $\bar{O}$ i itirme şekli için çerçevelere ait kapasite eğrileri verilmiştir. Bu sistemlerde, tüm itme şekilleri göz önüne alındığında, elde edilen kapasite eğrilerinin birbirine oldukça yakın sonuçlar verdiği görülmüştür. Yani, kapasite eğrilerinin durumu rijit diyaframlı T3 sistemlerinde de itirme şekline etkilenmemektedir. Sadece geniş kolonlu sistemin Ç1 çerçevesi, söz konusu kolonun yüksek dayanım ve rijitliği sebebiyle daha yüksek taşıma kapasitesine sahiptir.



**Şekil 5.13** Rijit döşemeli geniş kolonlu sistem ile rijit döşemeli çerçevesi sistemin, M itirme şekline göre çerçevelerinde oluşan kapasite eğrileri



**Şekil 5.14** Rijit döşemeli geniş kolonlu sistem ile rijit döşemeli çerçevesi sistemin,  $\bar{O}$ i itirme şekline göre çerçevelerinde oluşan kapasite eğrileri



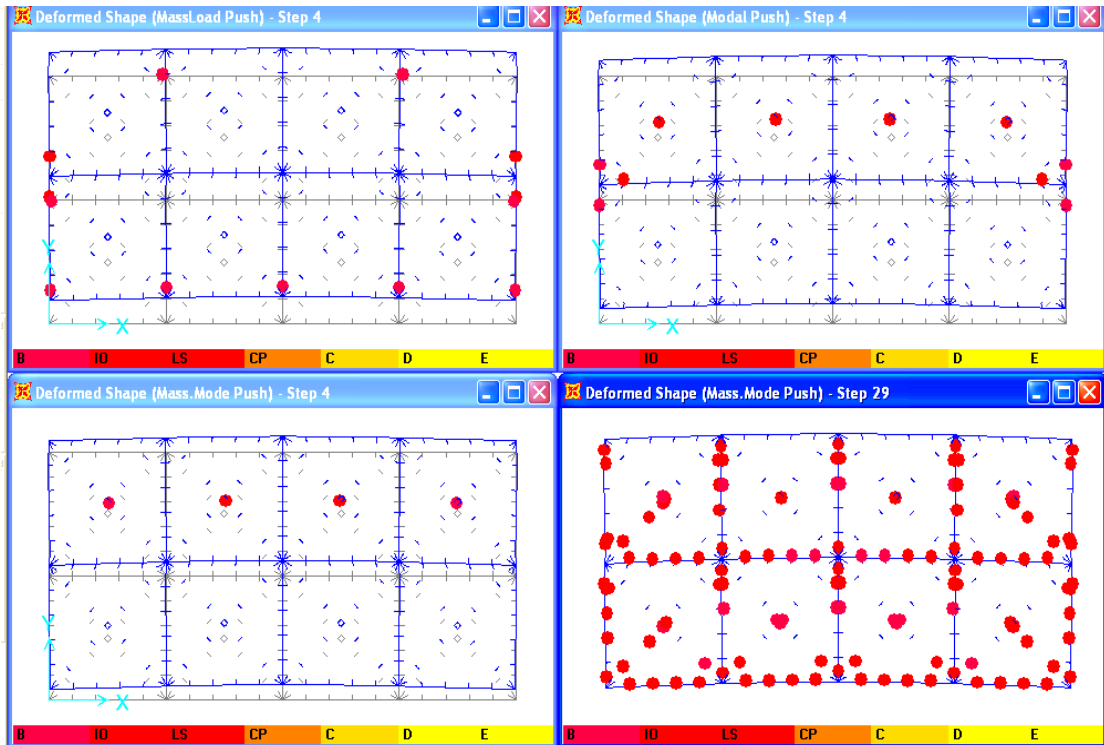
**Şekil 5.15** Rijit döşemeli geniş kolonlu sistem ile rijit döşemeli çerçevesi sistemin, M.Øi itirme şekline göre çerçevelerinde oluşan kapasite eğrileri

### 5.2.2. Esnek Döşemeli Sistemlerin Analiz Sonuçları

Esnek diyaframlı sistemlere ait analiz sonuçları verilirken, kirişler ve diyafram üzerinde tanımlanan bağlantı elemanlarında oluşan mafsalların durumları hakkında bilgi verilebilmesi amacıyla planda modellere ait deforme olmuş şekillerden faydalanılmıştır. Böylelikle hem diyaframların esnemesi, hem de itirme şekillerinin davranış üzerindeki etkisi görsel hale getirilmiş ve elde edilen grafiklerin desteklenmesi sağlanmıştır.

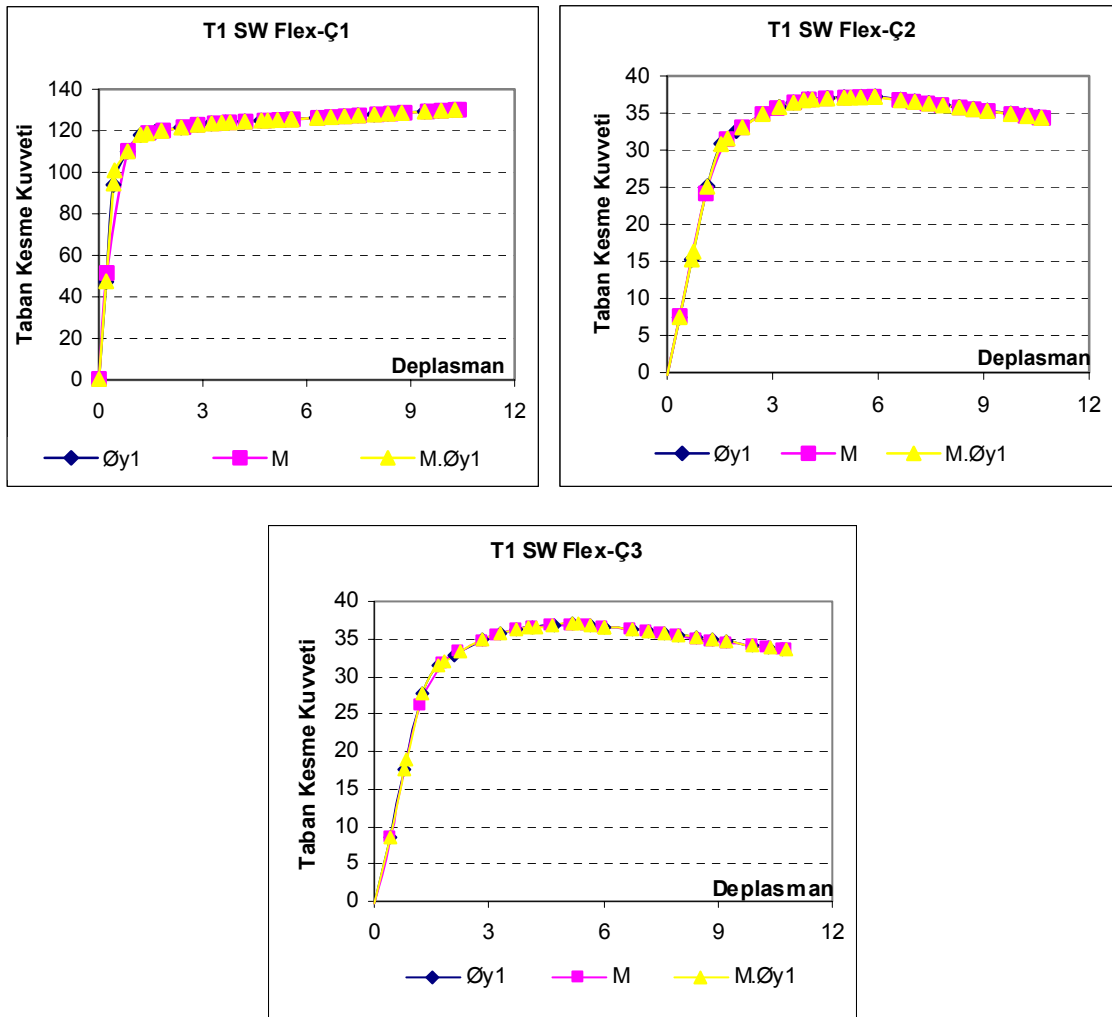
#### 5.2.2.1. T1 Tipi Binalar İçin Analiz Sonuçları

Şekil 5.16'da L/B oranı 2 olan geniş kolonlu T1 tipi modelinin döşemelerinde oluşan deplasmanlar ve mafsallaşma noktaları verilmektedir. Esnek diyaframlı geniş kolonlu sistemde M itme şeklinin 4. adımında ilk mafsallaşmalar kirişlerde oluşurken Øi ve M.Øi itme şekillerinde, aynı adımda döşemelerin ortalarında da mafsallaşmalar görülmektedir.



**Şekil 5.16** Esnek diyaframlı geniş kolonlu sisteme (T1 SW Flex) ait analiz sonucunda,  $M$ ,  $\delta_i$  ve  $M \cdot \delta_i$  itme şekillerinin karşılaştırılması

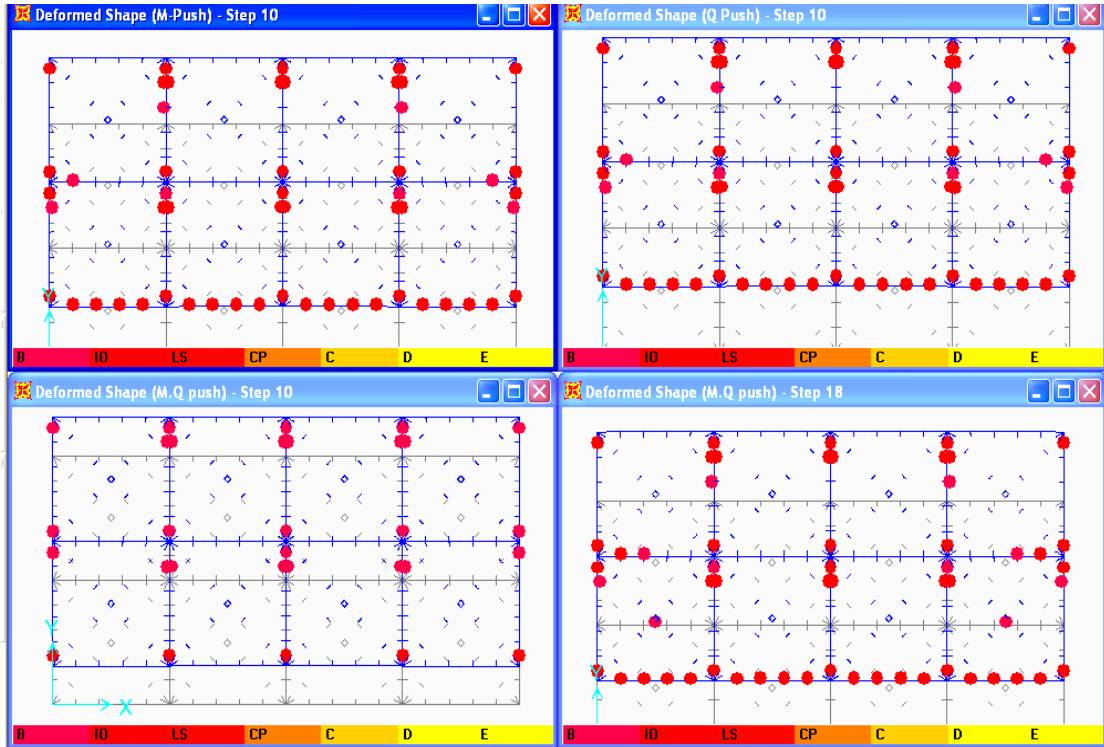
Şekil 5.17 'de ise söz konusu sistemin her bir çerçevesi için bütün itme şekillerine göre elde edilen kapasite eğrileri görülmektedir. Eğrilere bakıldığında esnek döşemeli geniş kolonlu sistemde, Ç1 çerçevesi yaklaşık 120 ton taban kesme kuvveti altında mekanizma durumuna geçerken, Ç2 ve Ç3 çerçevelerinin mekanizma durumuna geçmeleri yaklaşık olarak 35 tonluk taban kesme kuvveti altında olmaktadır. Her üç çerçevede de üç farklı itme şekli için hemen hemen aynı oranda deplasmanlar, aynı taban kesme kuvveti etkisi altında oluşmaktadır.



**Şekil 5.17** Esnek döşemeli geniş kolonlu sistemde (T1 SW Flex) çerçevelere ait kapasite eğrileri

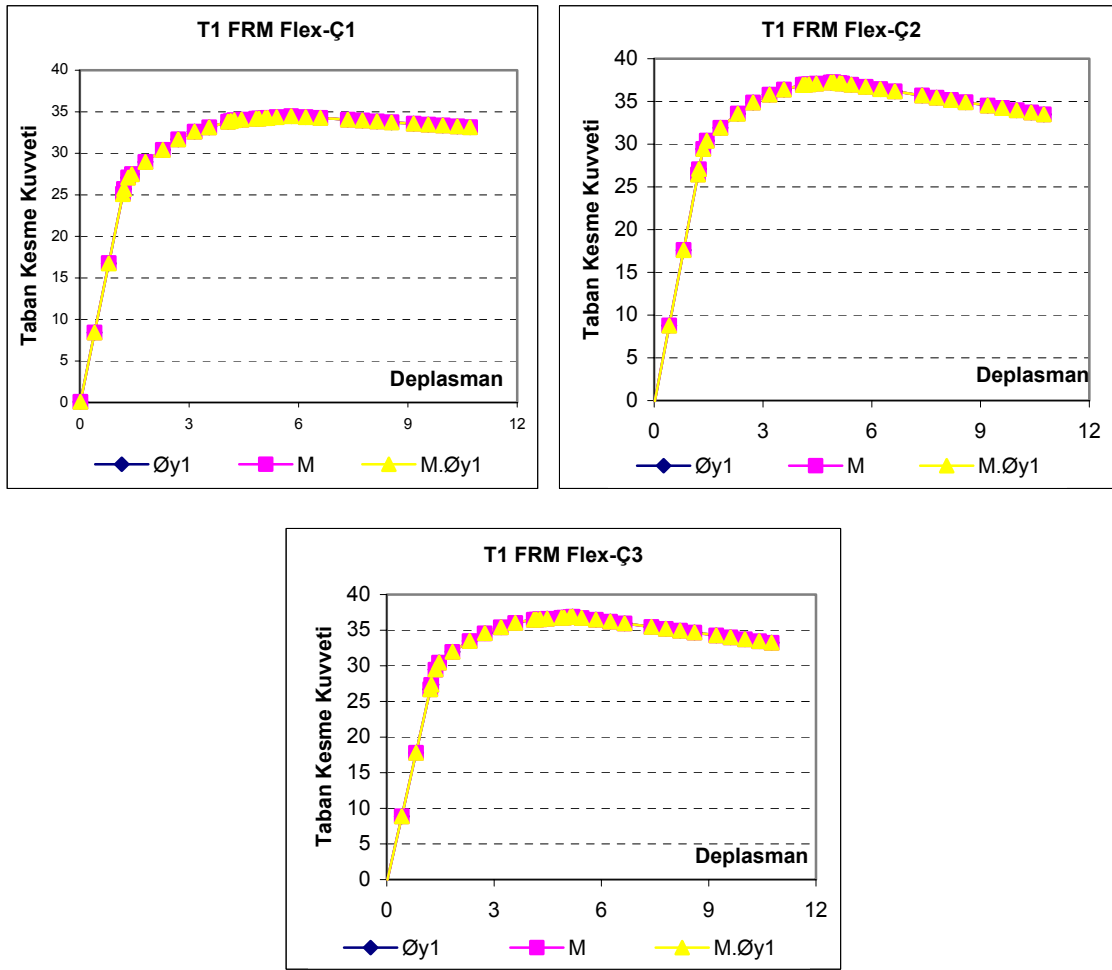
Şekil 5.18’de T1 modelinin esneyen döşemelerinde oluşan deplasmanlar ve mafsallaşma noktaları verilmektedir.

Esnek diyaframlı çerçeveli sistemde her üç itme şeklinde ilk mafsallaşmalar 10. adımda kirişlerde oluşmaktadır. Ancak şekilden de görüldüğü gibi,  $\text{Ø}_i$  ve M itme şekillerinde, aynı adımda özellikle sistemin x doğrultusunda dış çerçevede oluşan mafsal yoğunluğu göze çarpmaktadır. Söz konusu sisteme M.Øi itme şekli uygulandığında ise, hemen hemen aynı noktadaki benzer mafsallaşma yoğunluğu ve döşeme ortalarındaki mafsallaşma davranışı ancak 18. adımda oluşmaktadır.



**Şekil 5.18** Esnek döşemeli çerçevesi sisteme (T1 FRM Flex) ait analiz sonucunda,  $M$ ,  $\bar{O}i$  ve  $M.\bar{O}i$  itme şekillerinin karşılaştırılması

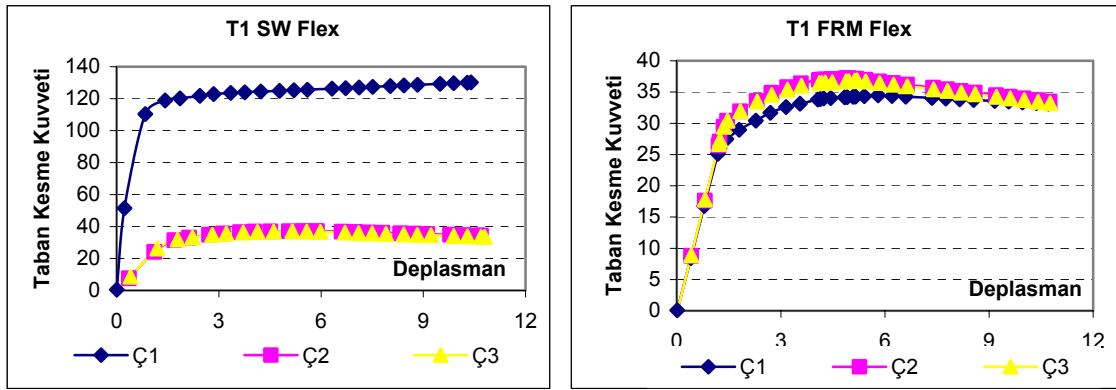
Şekil 5.19’da verilen çerçeveler için elde edilen kapasite eğrilerine bakıldığında esnek diyaframlı çerçevesi sistemde tüm çerçevelerin yaklaşık olarak aynı kuvvet etkisi altında aynı oranda ötelendiğini görülmektedir. İlgili sistemde, tüm çerçevelerde yaklaşık olarak aynı taban kesme kuvveti altında ( $\approx 35$  ton ) mekanizma oluşmaktadır. Yine bu modelde, üç farklı itme şekli için de hemen hemen aynı taban kesme kuvveti seviyeleri altında aynı oranda deplasmanlar oluşmaktadır.



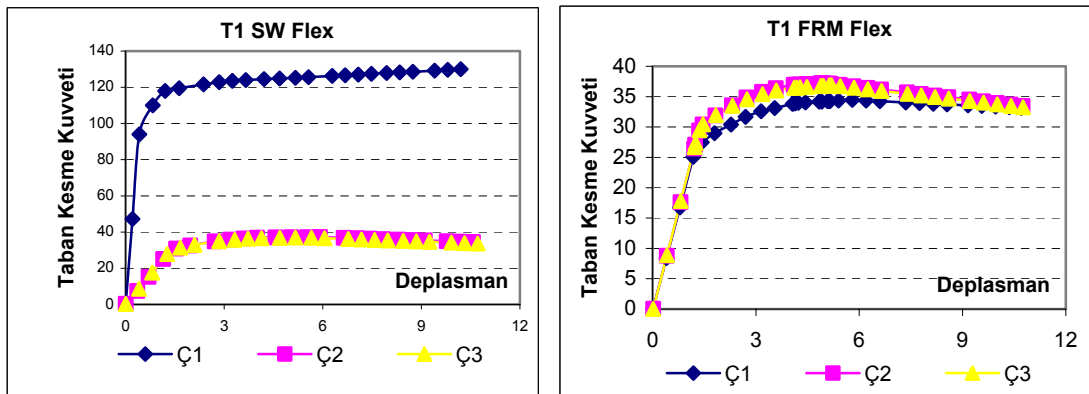
**Şekil 5.19** Esnek döşemeli çerçevesi sistemde (T1 FRM Flex) çerçevelere ait kapasite eğrileri

Esnek döşemeli geniş kolonlu ve çerçevesi T1 Modellerinde, her itme şekli için elde edilen kapasite eğrileri Şekil 5.20-5.22’de verilmiştir. Bu sistemlerde, tüm itme şekilleri göz önüne alındığında, elde edilen kapasite eğrilerinin birbirine oldukça yakın sonuçlar verdiği görülmüştür. Yani, esnek diyaframlı T1 sistemlerinde modeli oluşturan çerçevelere ait kapasite eğrileri üzerinde ittirme şekli etkili değildir. Sadece geniş kolonlu sistemin Ç1 çerçevesi, söz konusu kolonun yüksek dayanım ve rijitliği sebebiyle daha yüksek taşıma kapasitesine sahip olup, nihai deplasmanlar tüm çerçevelerde yaklaşık olarak aynıdır.

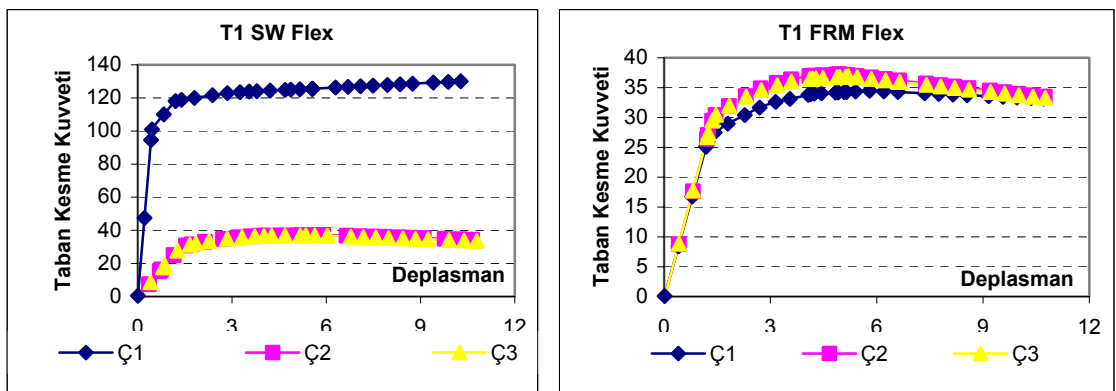




Şekil 5.20 Esnek döşemeli geniş kolonlu sistem ile esnek döşemeli çerçevesi sistemin, M itirme şekline göre çerçevesinde oluşan kapasite eğrileri



Şekil 5.21 Esnek döşemeli geniş kolonlu sistem ile esnek döşemeli çerçevesi sistemin, Øi itirme şekline göre çerçevesinde oluşan kapasite eğrileri

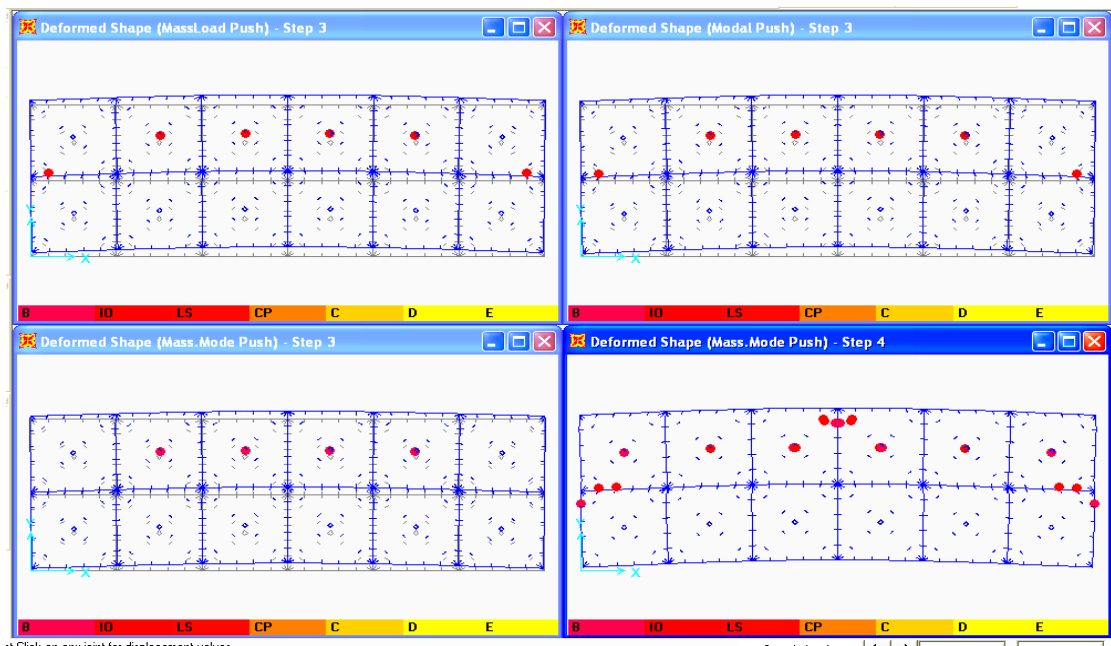


Şekil 5.22 Esnek döşemeli geniş kolonlu sistem ile esnek döşemeli çerçevesi sistemin, M.Øi itirme şekline göre çerçevesinde oluşan kapasite eğrileri

### 5.2.2.2. T2 Tipi Binalar İçin Analiz Sonuçları

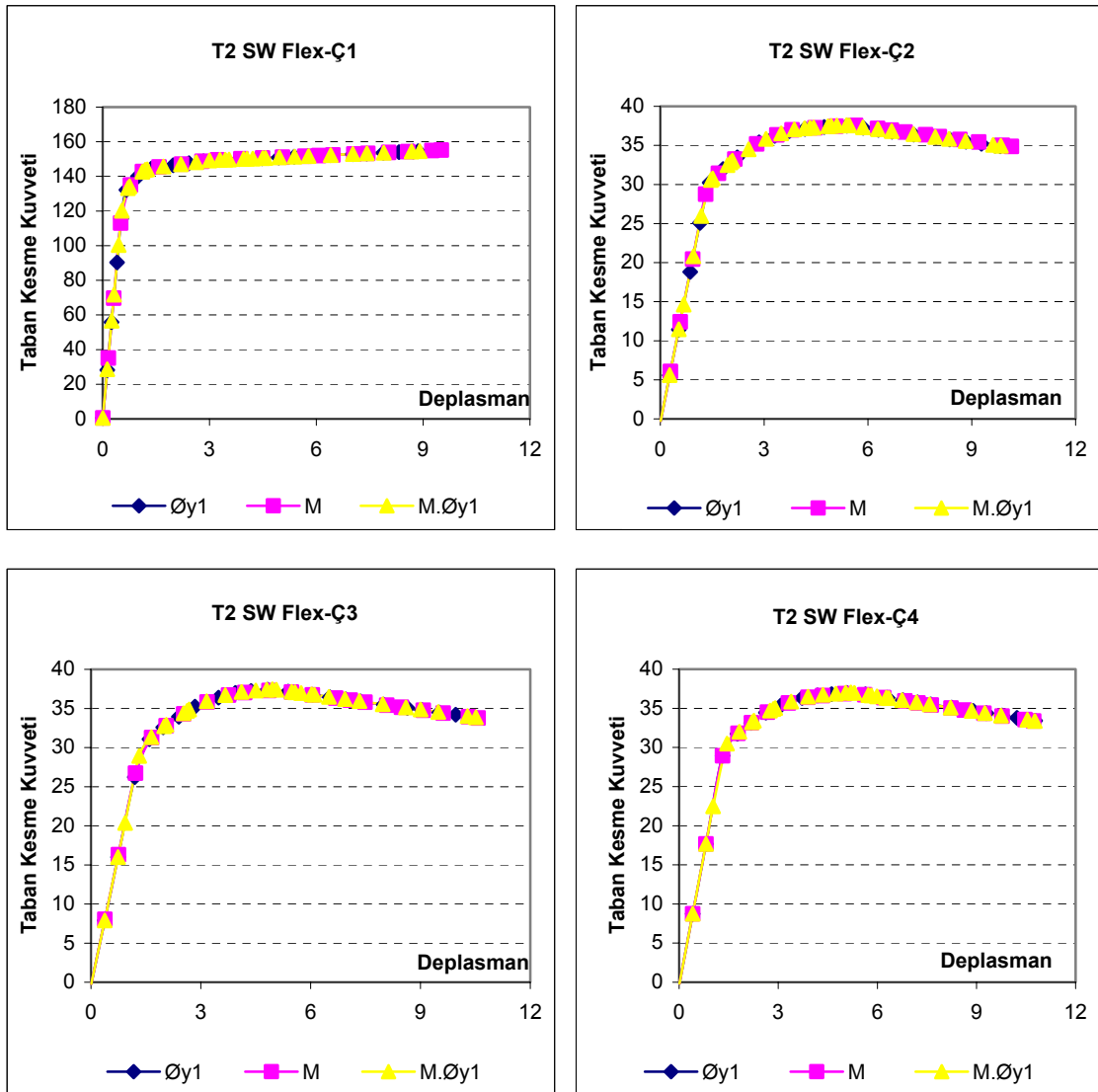
Şekil 5.23’de L/B oranı 3 olan, esnek diyaframlı geniş kolonlu T2 sistemine ait döşemelerde oluşan deplasmanlar ve mafsallaşma noktaları verilmektedir.

Esnek diyaframlı geniş kolonlu sistemde,  $\emptyset i$  ve M itme şekillerinde ilk mafsallaşmalar 3. adımda, döşeme ortaları ve kiriş uçlarında oluşmaktadır. M. $\emptyset i$  itme şeklinin aynı adımında ise, ilk mafsallaşmalar yalnızca döşeme ortalarında, bir sonraki adımda ise kiriş uçlarında da gözlenmektedir (Şekil 5.23).



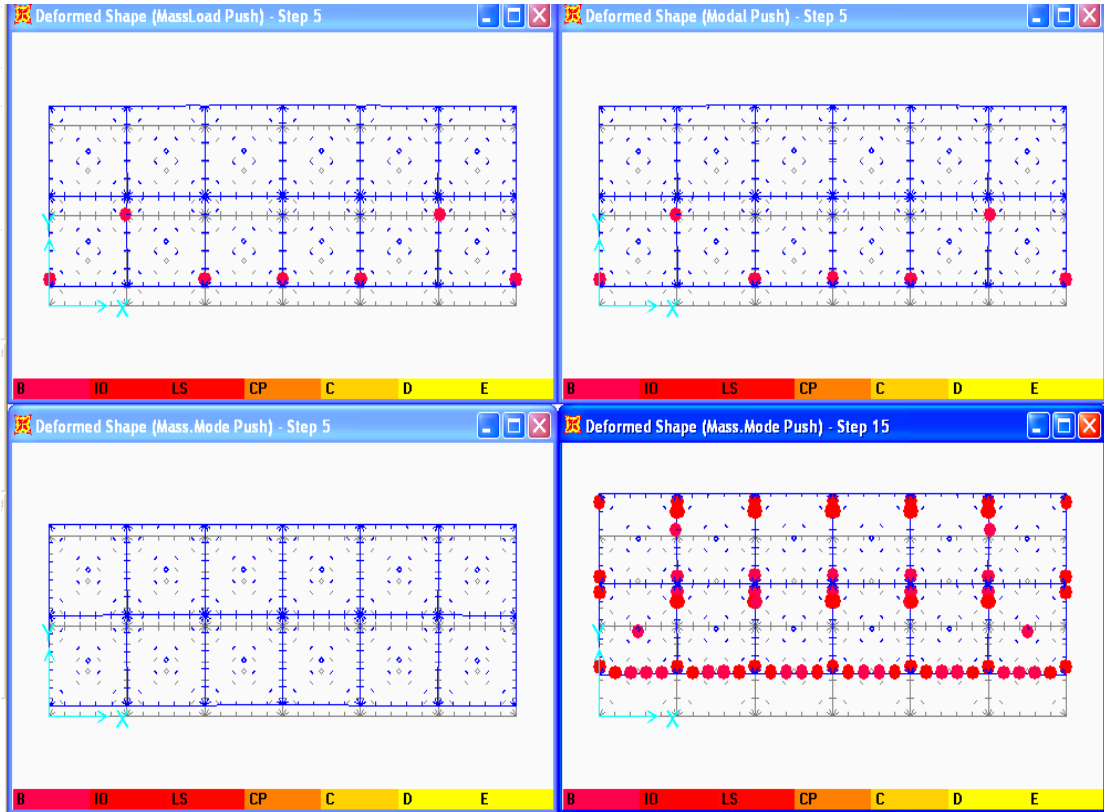
**Şekil 5.23** Esnek diyaframlı geniş kolonlu sisteme (T2 SW Flex) ait analiz sonucunda, M ,  $\emptyset i$  ve M. $\emptyset i$  itme şekillerinin karşılaştırılması

Şekil 5.24 ‘te verilen, söz konusu sistemin kapasite eğrilerine bakıldığında ise; sistemde daha rijit kolonların bulunduğu, kenar çerçevenin mekanizma durumuna geçmesine sebep olan maksimum taban kesme kuvveti yaklaşık olarak 150 ton iken, diğer çerçevelerde yaklaşık olarak aynı miktarda kuvvet etkisiyle ( $\approx 35$  ton) göçme durumu oluşmaktadır. Sistemde üç farklı yükleme şekli için de hemen hemen aynı oranda deplasmanlar aynı taban kesme kuvveti etkisi altında oluşmaktadır.



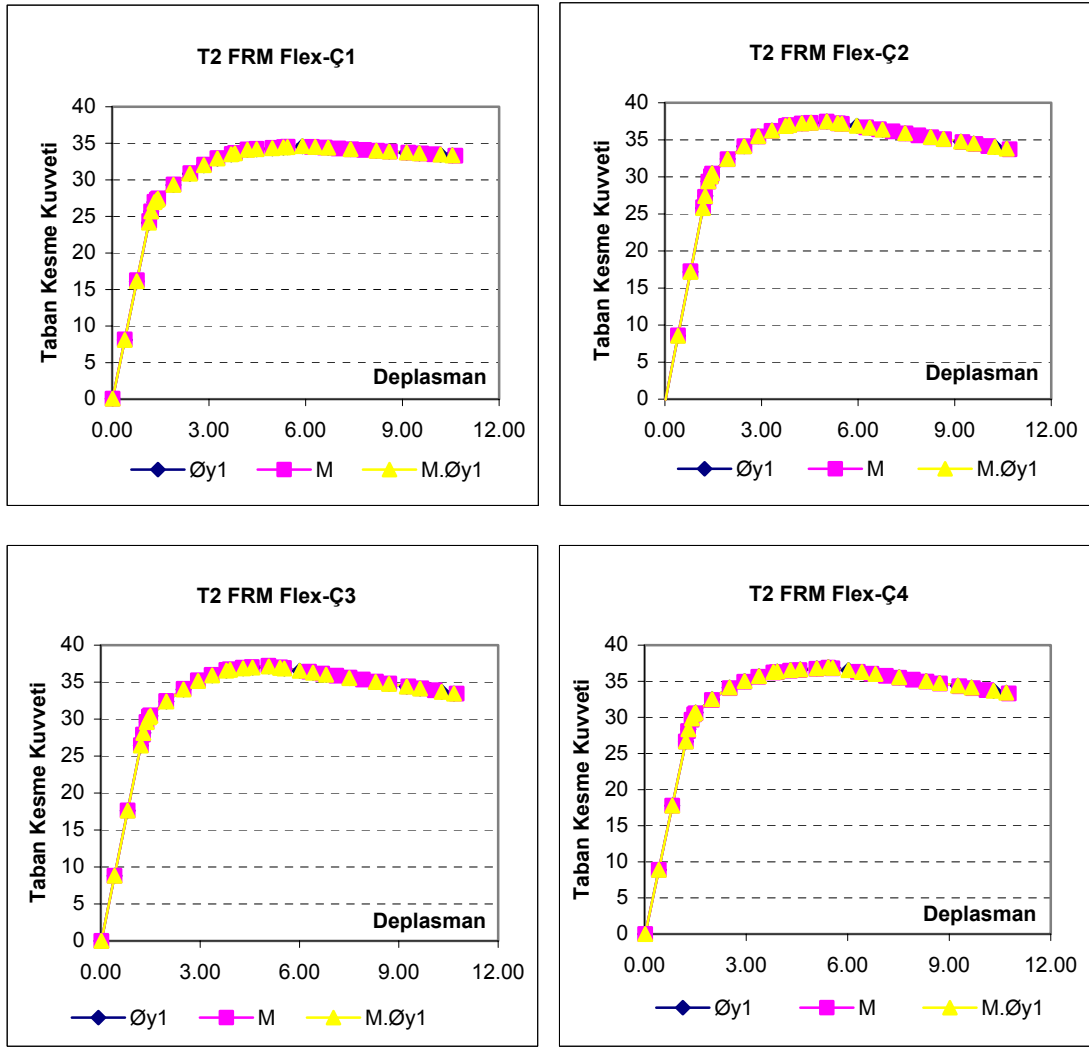
**Şekil 5.24** Esnek döşemeli geniş kolonlu sistemde (T2 SW Flex) çerçevelere ait kapasite eğrileri

Şekil 5.25’de çerçeveli sisteme sahip T2 modelinin esnek döşemelerinde oluşan deplasmanlar ve mafsallaşma noktaları verilmektedir. Şekilden görüldüğü gibi, analiz sonucunda M ve Øi itme şekillerinde kirişlerde aynı adımda (5. adım) aynı noktalarda mafsallaşmalar oluşurken, M.Øi itme şeklinde bu mafsallaşmalar 7. adımda oluşmaktadır. M.Øi itme şeklinde ise, döşeme ortasındaki mafsallaşmalar 15. adımda görülmektedir.



**Şekil 5.25** Esnek diyaframlı çerçevesi sisteme (T2 FRM Flex) ait analiz sonucunda,  $M$ ,  $\bar{O}_i$  ve  $M.\bar{O}_i$  itme şekillerinin karşılaştırılması

Şekil 5.26'da verilen esnek döşemeli çerçevesi sistem için elde edilen kapasite eğrilerine bakıldığında; tüm çerçevelerde yaklaşık olarak aynı kesme kuvveti altında ( $\approx 35$  ton) aynı oranda deplasmanlar ( $\approx 3$  cm) olduğu gözlenmektedir. Yine bu modelde üç farklı yükleme şekli için de hemen hemen aynı oranda deplasmanlar, aynı taban kesme kuvveti etkisi altında oluşmaktadır.

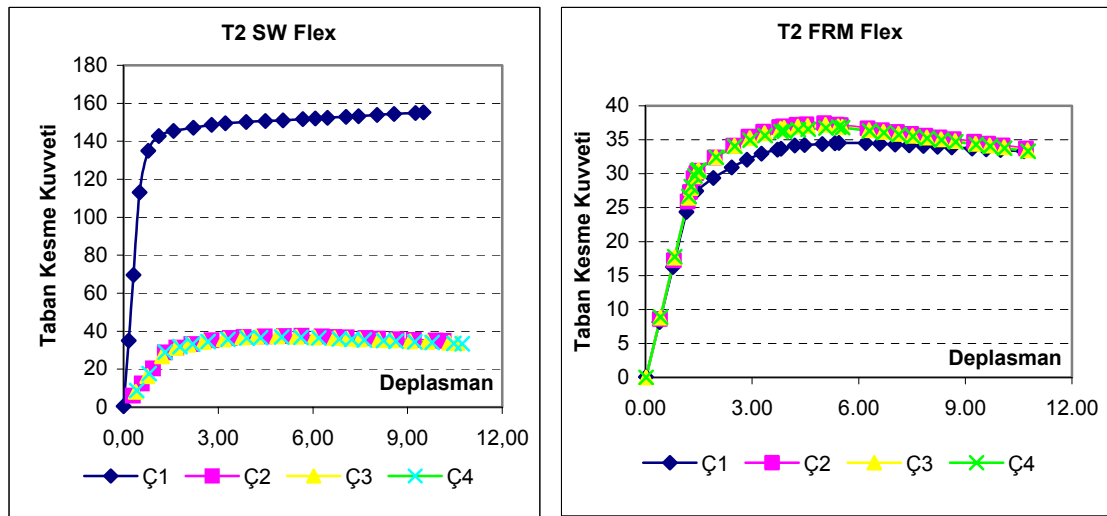


**Şekil 5.26** Esnek döşemeli çerçevesel sistemde (T2 FRM Flex) çerçevelere ait kapasite eğrileri

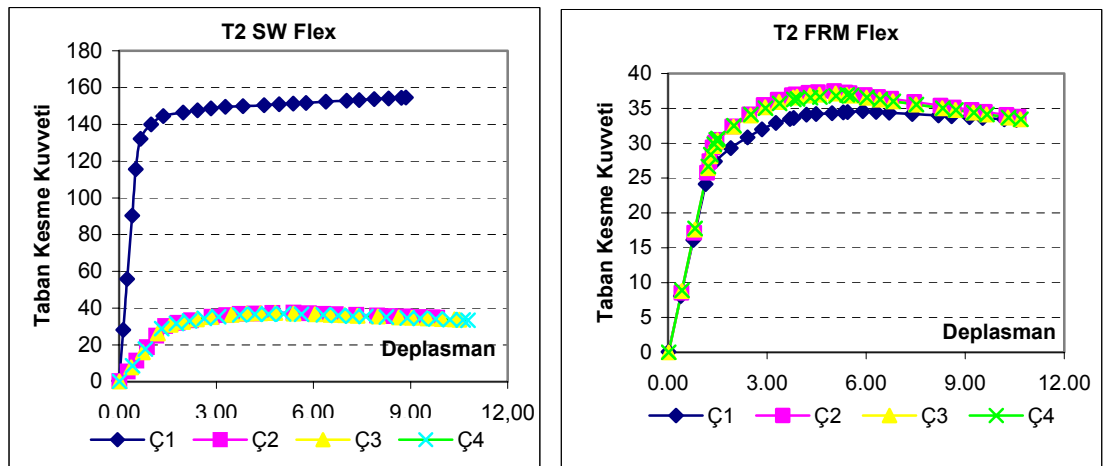
Esnek döşemeli geniş kolonlu ve esnek döşemeli çerçevesel T2 modellerinde, her itme şekli için elde edilen kapasite eğrileri Şekil 5.27-5.29’da verilmiştir.

Tüm itme şekilleri göz önüne alındığında geniş kolonlu sistemlerde Ç2, Ç3 ve Ç4 çerçevelerinin, çerçevesel sistemlerde ise tüm çerçevelerin yaklaşık olarak aynı taban kesme kuvveti altında aynı oranda ötelendiği gözlenmektedir. Geniş kolonlu sistemde ise daha rijit kolonun bulunduğu Ç1 çerçevesinde, Ø<sub>i</sub> ve M.Ø<sub>i</sub> itme şekillerinde oluşan nihai deplasman değeri; M itme şeklinde oluşan nihai deplasman değerine kıyasla daha küçüktür. Bu durum esnek diyaframlı geniş kolonlu T2 sistemini oluşturan çerçevelerin kapasite eğrileri üzerinde, çok az da olsa itme şeklinin etkili olduğunu göstermektedir.

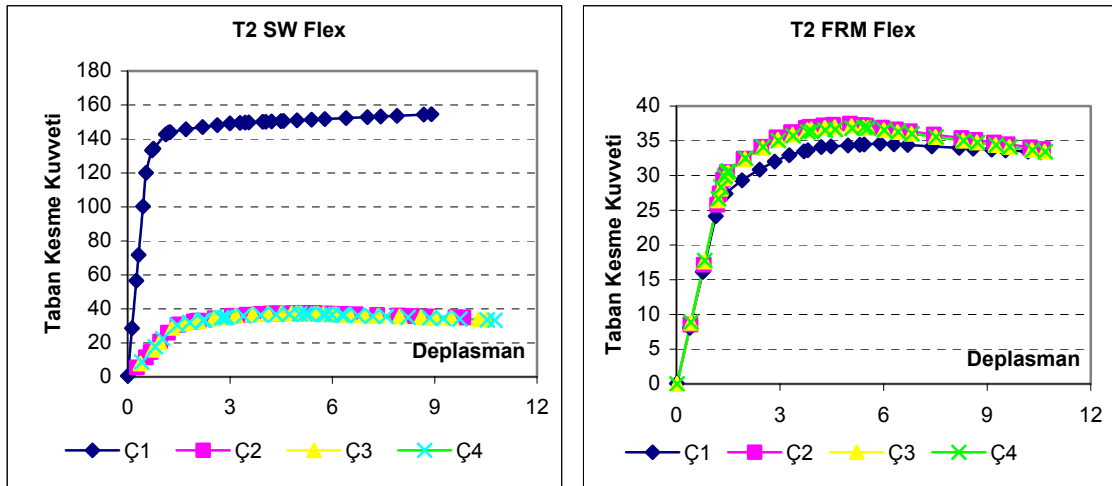
Ayrıca yine geniş kolonlu sistemin Ç1 çerçevesi, söz konusu kolonun yüksek dayanım ve rijitliği sebebiyle daha yüksek taban kesme kuvveti taşıma kapasitesine sahiptir.



Şekil 5.27 Esnek döşemeli geniş kolonlu sistem ile esnek döşemeli çerçevesi sistemin, M ittirme şekline göre çerçevelerinde oluşan kapasite eğrileri



Şekil 5.28 Esnek döşemeli geniş kolonlu sistem ile esnek döşemeli çerçevesi sistemin, Øi ittirme şekline göre çerçevelerinde oluşan kapasite eğrileri

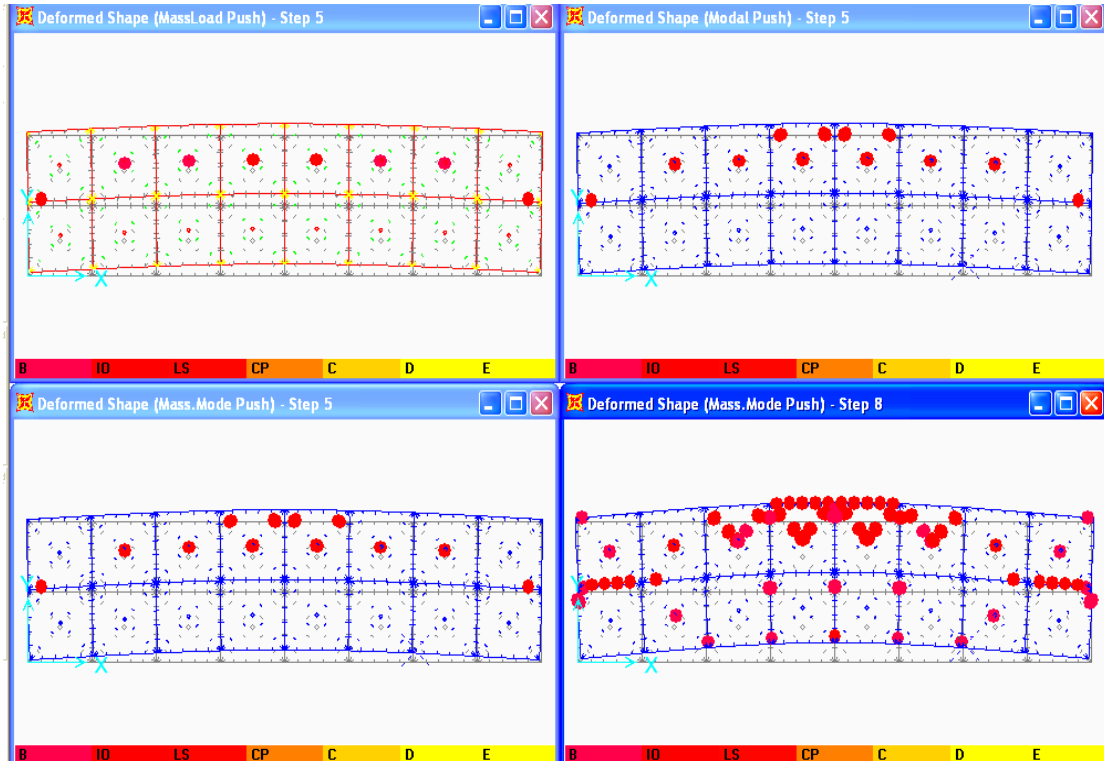


**Şekil 5.29** Esnek döşemeli geniş kolonlu sistem ile esnek döşemeli çerçevesi sistemin, M.Øi ittirme şekline göre çerçevelerinde oluşan kapasite eğrileri

### 5.2.2.3. T3 Tipi Binalar İçin Analiz Sonuçları

Şekil 5.30'da L/B oranı 4 olan, esnek diyaframlı geniş kolonlu T3 sistemine ait döşemelerde oluşan deplasmanlar ve mafsallaşma noktaları verilmektedir.

Esnek diyaframlı geniş kolonlu sistemde, Øi ve M.Øi itme şekillerinde ilk mafsallaşmalar 5. adımda, döşeme ortaları ve kiriş uçlarında oluşmaktadır. M itme şeklinin aynı adımında oluşan mafsallaşmalar ise yine diğer itme şekilleriyle benzer noktalarda olup, daha az yoğunluktadır. M.Øi itme şeklinin 8. adımında ise mafsallaşmaların özellikle orta açıklıklarda bulunan döşemelerde yoğunlaştığı gözlenmektedir (Şekil 5.30).

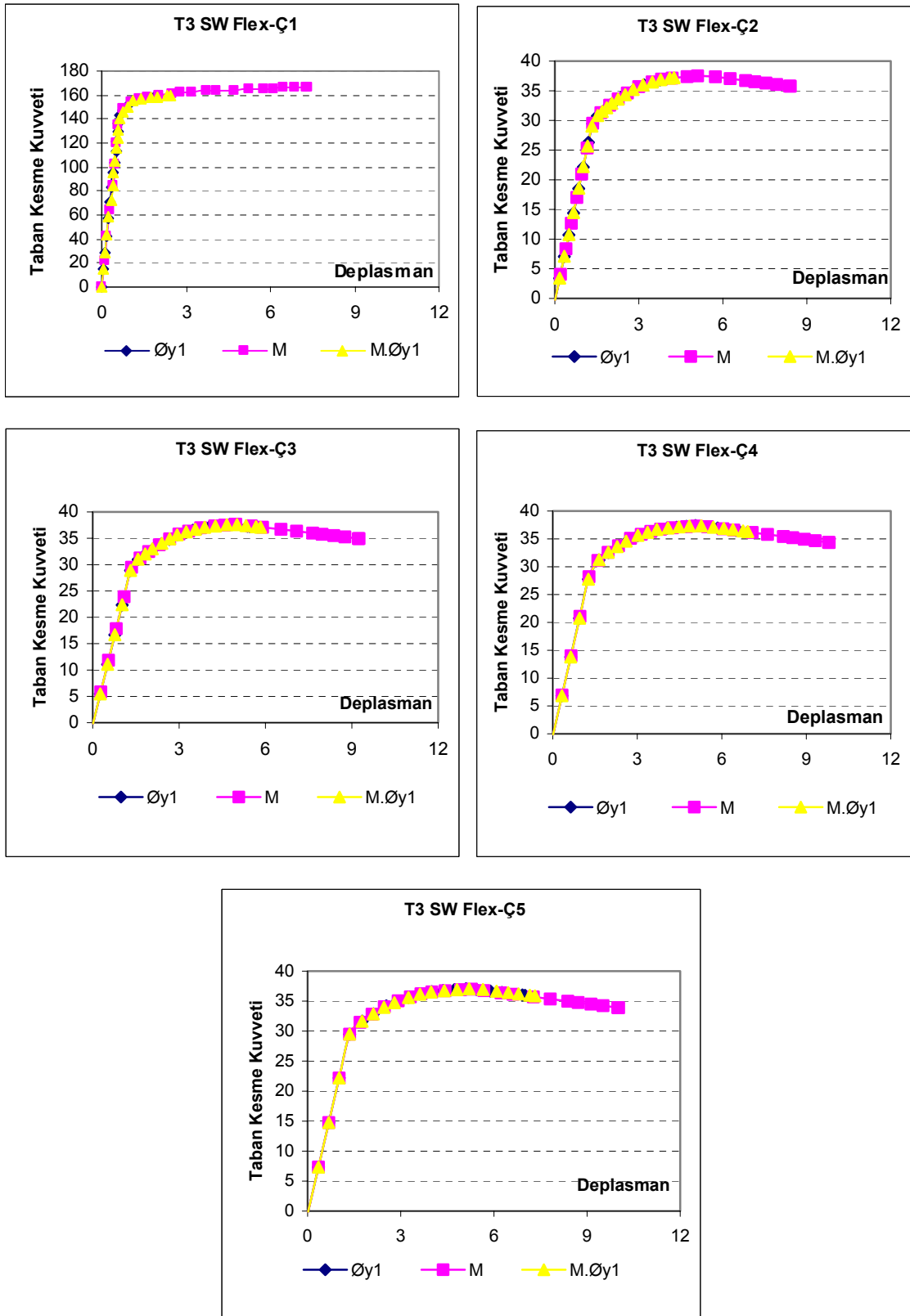


**Şekil 5.30** Esnek diyaframlı geniş kolonlu sisteme (T3 SW Flex) ait analiz sonucunda,  $M$  ,  $\text{Øi}$  ve  $M.\text{Øi}$  itme şekillerinin karşılaştırılması

Şekil 5.31'de esnek diyaframlı geniş kolonlu sistem için elde edilen kapasite eğrilerine bakıldığında ise; sistemde daha rijit kolonların bulunduğu kenar çerçevede sistemin mekanizma durumuna geçmesine sebep olan maksimum taban kesme kuvveti yaklaşık olarak 160 ton iken, diğer çerçevelerde bu değer ( $\approx 35$  ton) seviyelerinde oluşmaktadır.

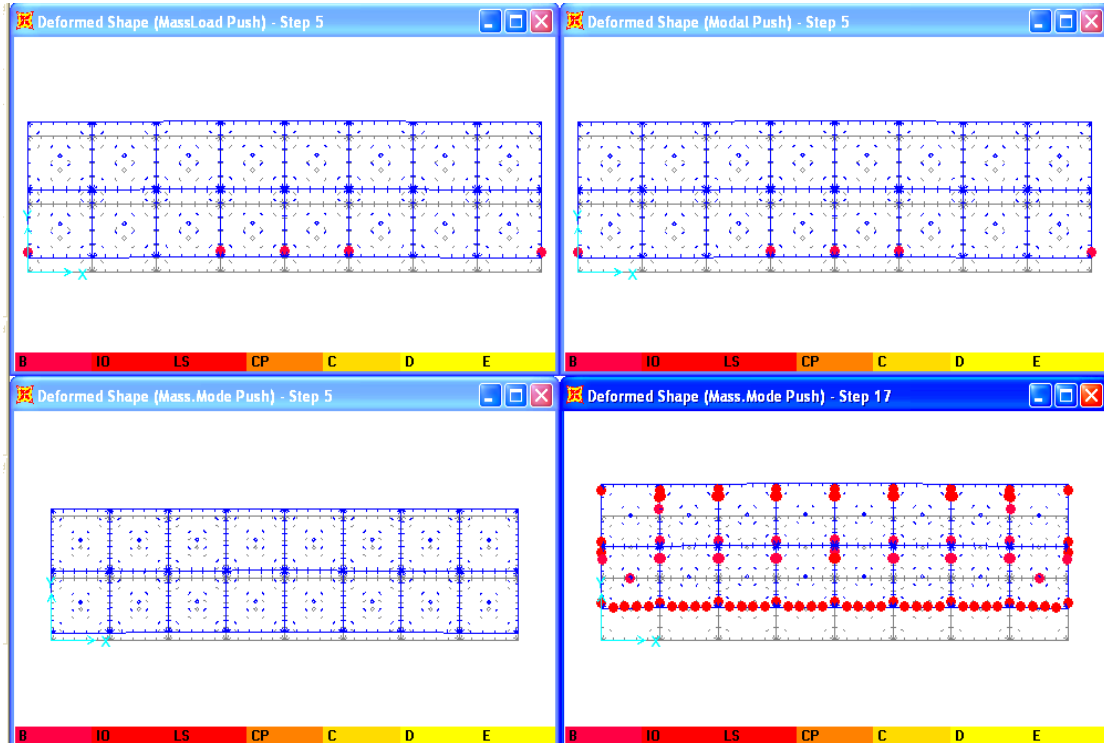
Söz konusu sistemde  $\text{Øi}$  ve  $M.\text{Øi}$  itirme şekillerinde sistemin mekanizma durumuna geçmesi daha az ötelenme ile oluşurken, nihai deplasmanların aynı oranda olduğu gözlenmiştir.  $M$  itirme şeklinde ise beş çerçevede de daha fazla deplasman oluşmakta, sistem mekanizma durumuna ulaşmaktadır.





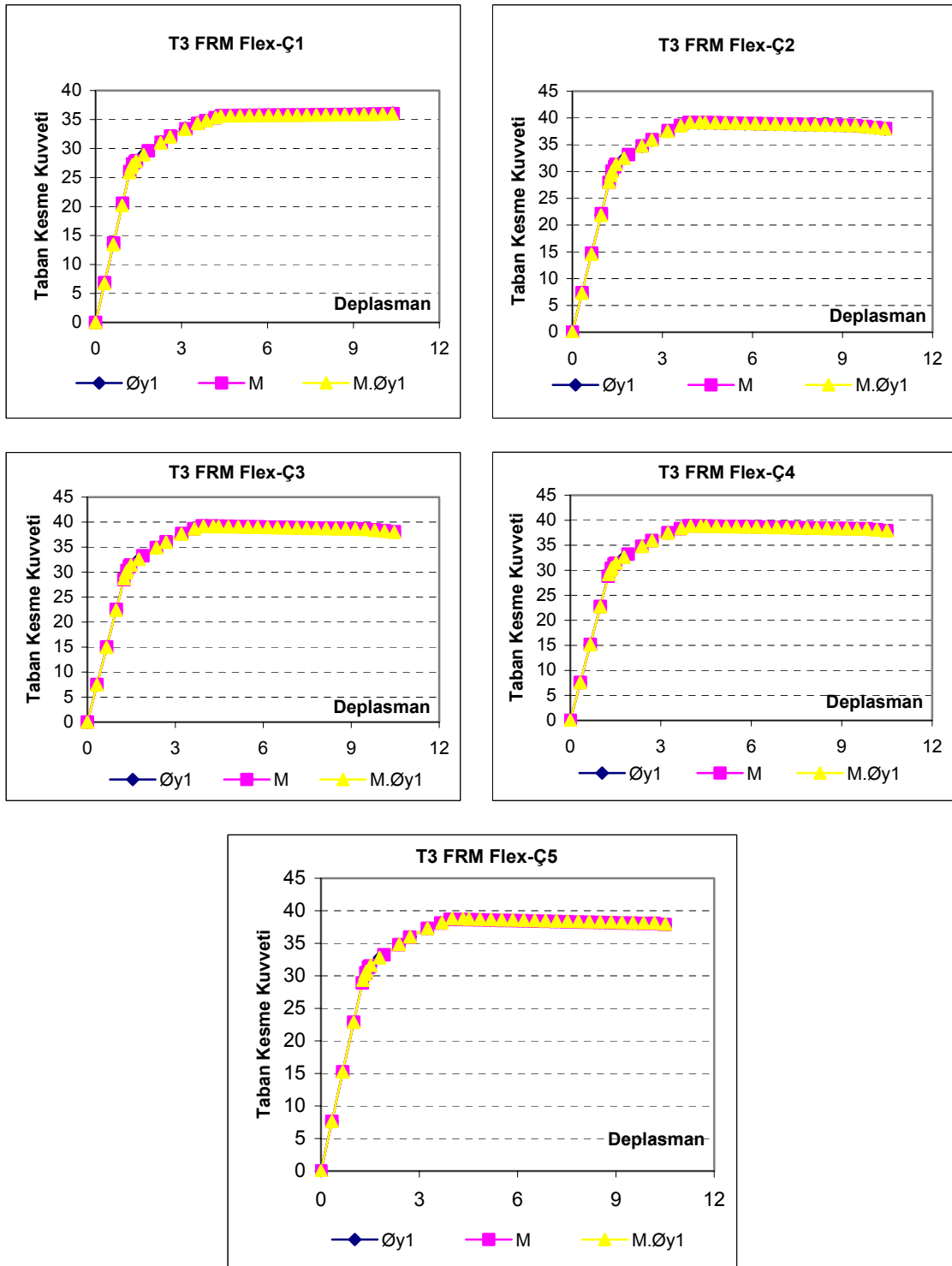
Şekil 5.31 Esnek döşemeli geniş kolonlu (T3 SW Flex) sisteme ait kapasite eğrileri

Şekil 5.32’de çerçevesi sistemine sahip esnek diyaframlı T3 modelinin döşemelerinde oluşan deplasmanlar ve mafsallaşma noktaları verilmektedir. Şekilden görüldüğü gibi, analiz sonucunda M ve  $\emptyset_i$  itme şekillerinde kirişlerde aynı adımda (5. adım) mafsallaşmalar oluşurken, M. $\emptyset_i$  itme şeklinde bu kirişlerde mafsallaşmalar 8. adımda oluşmaktadır. M. $\emptyset_i$  itme şekli altında, döşeme ortasında ve kirişlerde mafsallaşma yoğunluğunun artması, 17. adımda gözlenmektedir.



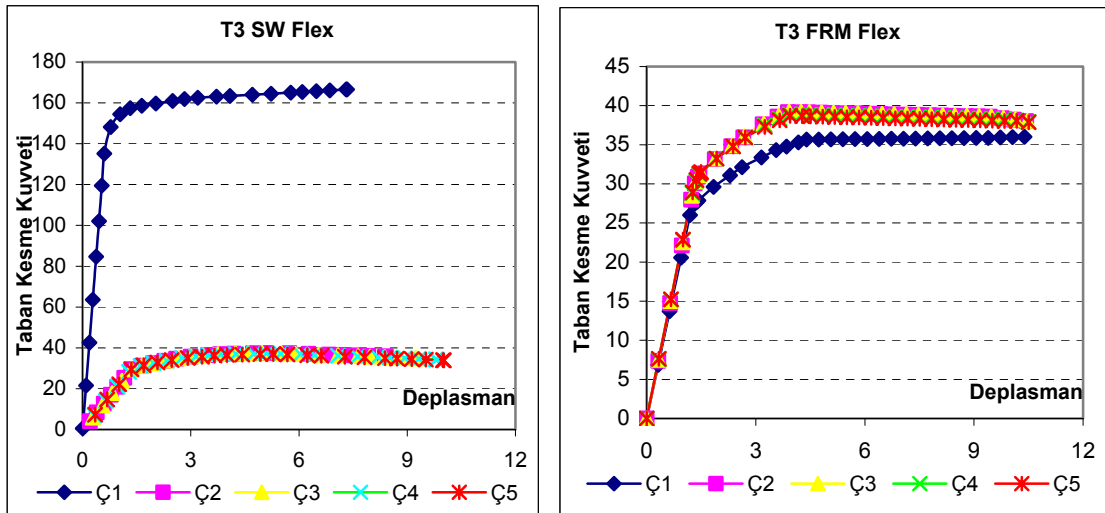
**Şekil 5.32** Esnek diyaframlı çerçevesi sistemine (T3 FRM Flex) ait analiz sonucunda, M ,  $\emptyset_i$  ve M. $\emptyset_i$  itme şekillerinin karşılaştırılması

Şekil 5.33’de esnek döşemeli çerçevesi model için elde edilen kapasite eğrilerine bakıldığında, Ç1 çerçevesinin göçme durumuna karşılık gelen maksimum taban kesme kuvveti yaklaşık olarak 160 ton iken, diğer çerçevelerde bu değer düşmektedir ( $\approx 35$  ton). Yine bu modelde de, üç farklı yükleme şekli için elde edilen kapasite eğrilerinin benzer olduğu görülmektedir.

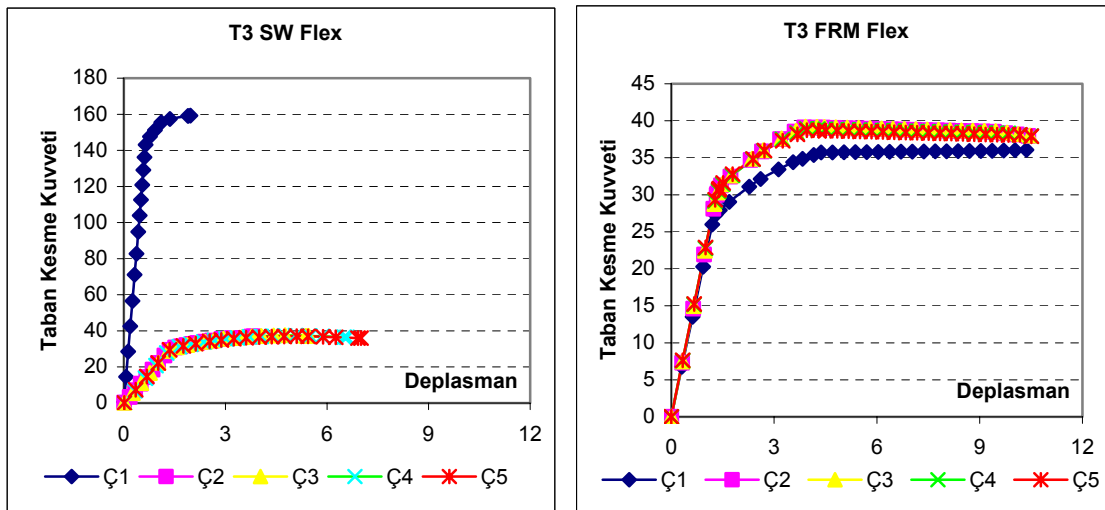


Şekil 5.33 Esnek döşemeli çerçevesi (T3 FRM Flex) sisteme ait kapasite eğrileri

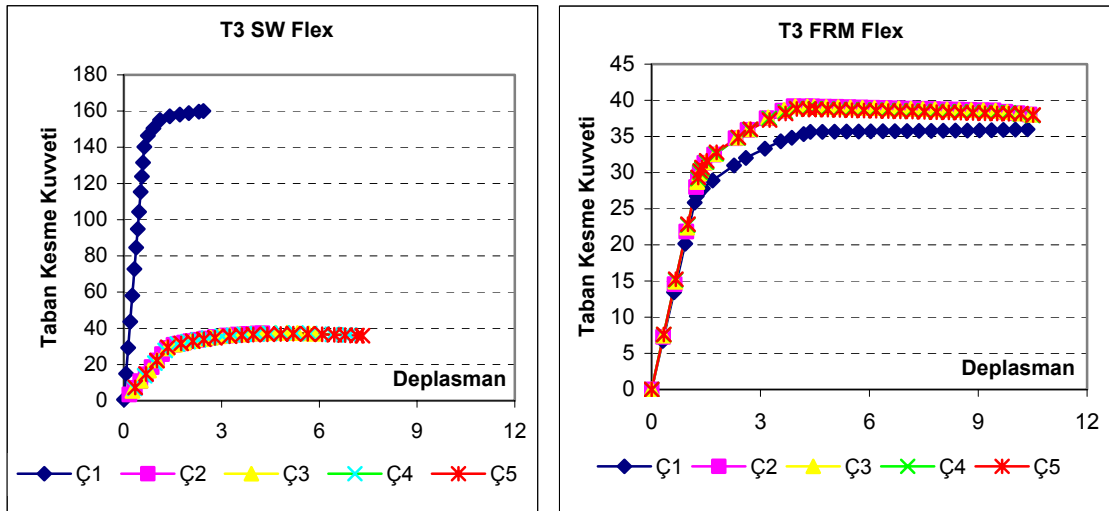
Esnek döşemeli, geniş kolonlu, çerçevesi T3 modellerinde, her itme şekli için elde edilen kapasite eğrileri Şekil 5.34-5.36’da verilmiştir.



**Şekil 5.34** Esnek döşemeli geniş kolonlu sistem ile esnek döşemeli çerçevesi sistemin, M ittirme şekline göre, çerçevelerinde elde edilen kapasite eğrileri



**Şekil 5.35** Esnek döşemeli geniş kolonlu sistem ile esnek döşemeli çerçevesi sistemin, Oı ittirme şekline göre çerçevelerinde oluşan kapasite eğrileri



**Şekil 5.36** Esnek döşemeli geniş kolonlu sistem ile esnek döşemeli çerçevesi sistemin, M.Øi itirme şekline göre çerçevelerinde oluşan kapasite eğrileri

Tüm itme şekilleri göz önüne alındığında, geniş kolonlu sistemlerde Ç2, Ç3, Ç4 ve Ç5 çerçevelerinin, çerçevesi sistemlerde ise tüm çerçevelerin yaklaşık olarak aynı taban kesme kuvveti altında aynı oranda ötelendiği gözlenmektedir. Geniş kolonlu sistemde daha rijit kolonun bulunduğu Ç1 çerçevesinde, özellikle Øi ve M.Øi itme şekillerinde oluşan nihai deplasman değeri, M itme şeklinde oluşan nihai deplasman değerine kıyasla çok daha küçüktür. Bu durum, esnek diyaframlı geniş kolonlu T3 sistemini oluşturan çerçevelerin kapasite eğrileri üzerinde itme şeklinin modellerin plandaki narinliğine bağlı olarak, daha etkili olduğunu açık bir şekilde göstermektedir. Ayrıca yine geniş kolonlu sistemin Ç1 çerçevesi, söz konusu kolonun yüksek dayanım ve rijitliği sebebiyle daha yüksek taban kesme kuvveti taşıma kapasitesine sahiptir. Diğer çerçevelere kıyasla Ç1 çerçevesinde daha düşük nihai deplasman değeri göze çarpmaktadır.

### 5.3. Rijit ve Esnek Döşemeli Sistemlerin Karşılaştırılması

Yukarıda esnek ve rijit döşemeli sistemlerin doğrusal olmayan analizi ile elde edilen kapasite eğrileri verilmiştir. Eğrilerden de görüldüğü üzere, rijit diyaframlı yapılarda modellere ait tüm çerçevelerde oluşan maksimum deplasman miktarı, her üç itirme durumu için de hemen hemen aynı oranda oluşmaktadır. Hem rijit diyaframlı hem de

esnek diyaframlı yapılarda kenar çerçevede (Ç1) daha rijit düşey taşıyıcı elemanın bulunmasından dolayı oluşan taban kesme kuvveti daha fazladır.

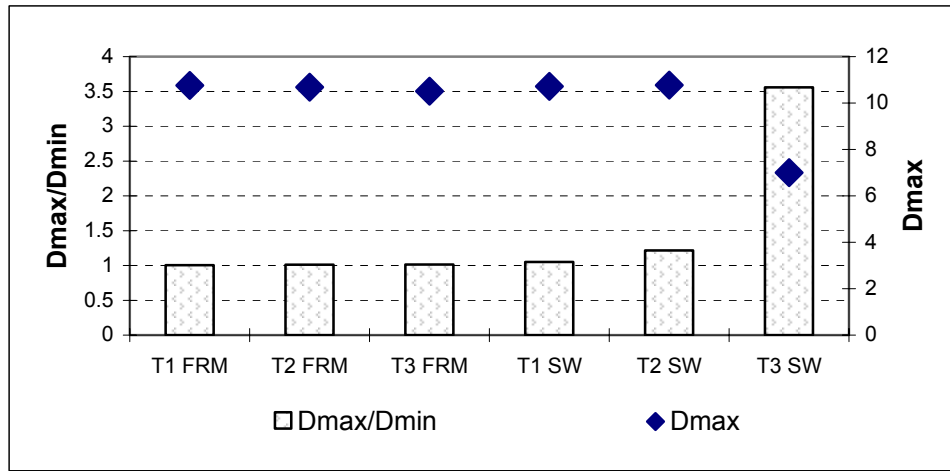
Esnek diyaframlı, L/B oranı 2 olan T1 modellerinde oluşan maksimum deplasman değerleri, rijit diyaframlı yapılarda gözlemlendiği gibi, tüm çerçevelerde yaklaşık olarak aynı orandadır. Ancak esnek diyaframlı, geniş kolonlu modellerde plandaki narinlik arttıkça (T2 SW Flex, T3 SW Flex); orta kısımlarda bulunan çerçevelerde oluşan deplasman değerleri, kenar çerçevede oluşan deplasman değerine kıyasla artmaktadır. Rijit diyaframlı modellerde plandaki narinlik artsa da çerçeveler arasında ötelenme farkı göz önüne alınmadığı için, tüm çerçevelerde ötelenme oranı aynı değerde olmakta, sistem bütün olarak hareket etmektedir.

Rijit ve esnek döşemeli sistemlerin karşılaştırılması; elde edilen kapasite eğrilerine bağlı olarak deplasmanların karşılaştırılması ve kolonlar tarafından sönmölenen enerjilerin karşılaştırılması olmak üzere iki grupta yapılmıştır.

### 5.3.1. Deplasmanların Karşılaştırılması

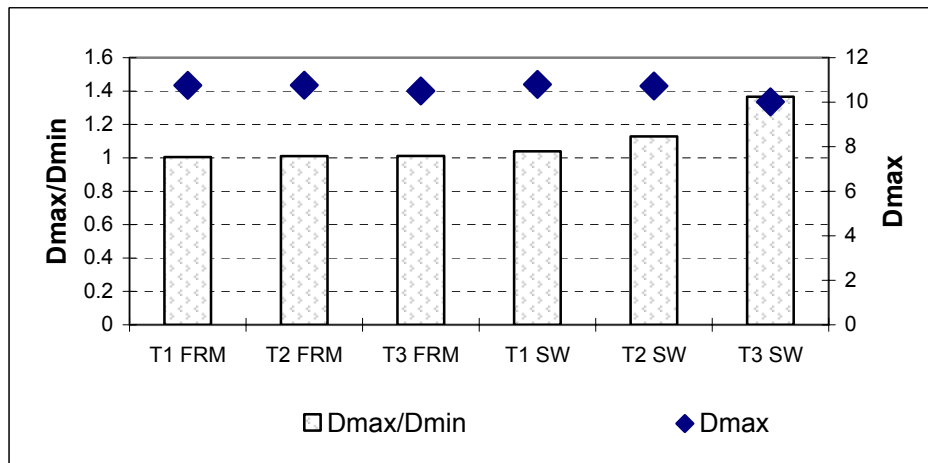
Bu bölümde, modellerin yapmış oldukları en büyük ve en küçük deplasman değerleri, rijit ve esnek diyaframlı sistemlerde ayrı ayrı incelenmiştir.

Şekil 5.37'de görüldüğü üzere,  $\Delta_i$  itme şeklinde sistemde oluşan en büyük ötelenmenin, en küçük ötelenmeye oranı ( $\Delta_{max}/\Delta_{min}$ ); esnek döşemeli geniş kolonlu sistemlerde L/B=3 (T2) ve L/B=4 (T3) modelleri hariç diğer modellerde aynı seviyededir. Özellikle L/B=4 (T3) için esnek döşemeli geniş kolonlu sistemde oluşan en büyük ötelenme miktarı ile en küçük ötelenme miktarı arasındaki fark oldukça fazladır. Yine T3 modeli için esnek döşemeli geniş kolonlu sistemde en büyük ötelenme miktarı diğer modellere kıyasla daha azdır.



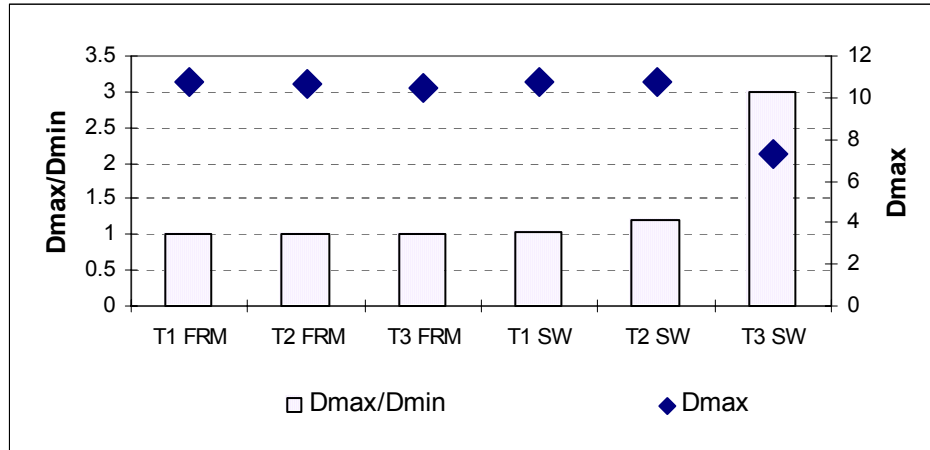
**Şekil 5.37** Øi itme şekli için, esnek döşemeli sistemlerde kat seviyelerinde oluşan deplasmanların karşılaştırılması

Şekil 5.38’de ise M itme şekli için deplasmanların karşılaştırılması yapıldı. Øi itme şeklinde olduğu gibi  $\Delta_{max}/\Delta_{min}$  oranı esnek döşemeli geniş kolonlu sistemlerde  $L/B=3$  (T2) ve  $L/B=4$  (T3) modelleri hariç diğer modellerde aynı seviyededir. Ancak bu grafikte; M itme şeklinde esnek döşemeli geniş kolonlu sistemlerden  $L/B=4$  (T3) modelinde oluşan maksimum ötelenme değeri diğer modellerde oluşan maksimum ötelenme değerine yakındır.



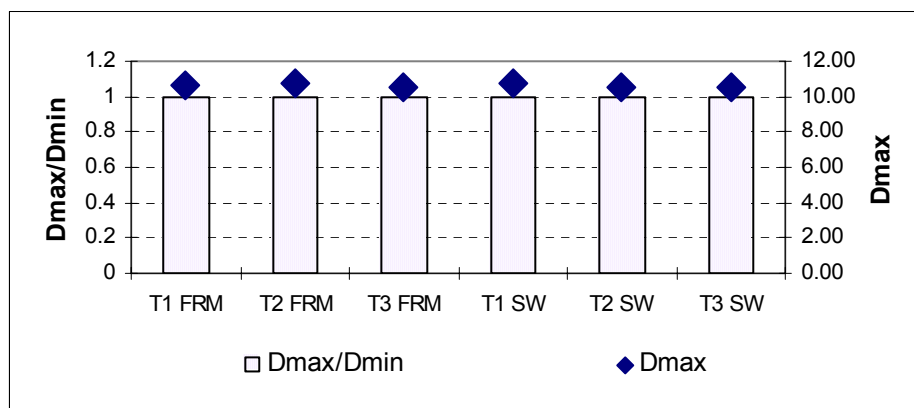
**Şekil 5.38** M itme şekli için, esnek döşemeli sistemlerde kat seviyelerinde oluşan deplasmanların karşılaştırılması

Şekil 5.39’da M.Øi itme şekli için elde edilen sonuçlar verilmektedir. Modellere ait ötelenme oranları Øi itme şeklinde oluşan ötelenme oranları ile aynıdır. Yine T3 modeli için esnek döşemeli geniş kolonlu sistemde maksimum ötelenme diğer ötelenmelere göre daha küçük değerde,  $\Delta_{max}/\Delta_{min}$  oranı ise daha büyük seviyededir.



**Şekil 5.39** M.Øi itme şekli için, esnek döşemeli sistemlerde kat seviyelerinde oluşan deplasmanların karşılaştırılması

Şekil 5.40’da M, Øi ve M.Øi itme şekilleri için elde edilen sonuçlar verilmektedir. Rijit döşemeli sistemlerde oluşan en büyük deplasman değeri ile en küçük deplasman değeri aynı olduğu için  $\Delta_{max}/\Delta_{min}$  oranı tüm modellerde 1’dir. Yani döşemelerin, rijit diyafram olarak tanımlanmasından dolayı sistem bir bütün olarak hareket etmektedir.



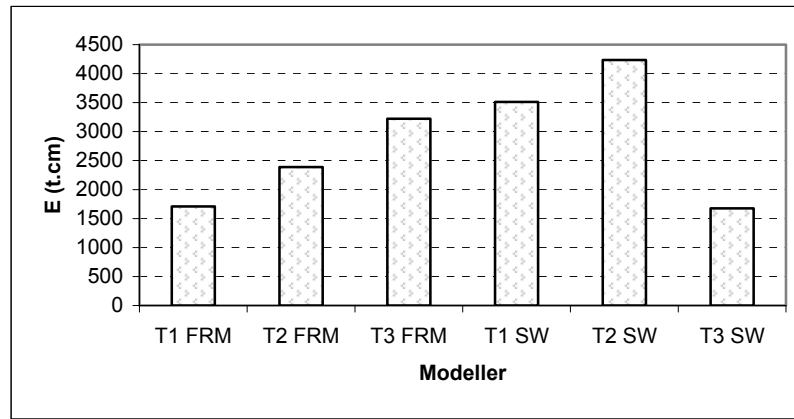
**Şekil 5.40** M, Øi ve M.Øi itme şekilleri için, rijit döşemeli sistemlerde kat seviyelerinde oluşan deplasmanların karşılaştırılması



### 5.3.2. Kolonlar Tarafından Sönümlenen Enerjilerin Karşılaştırılması

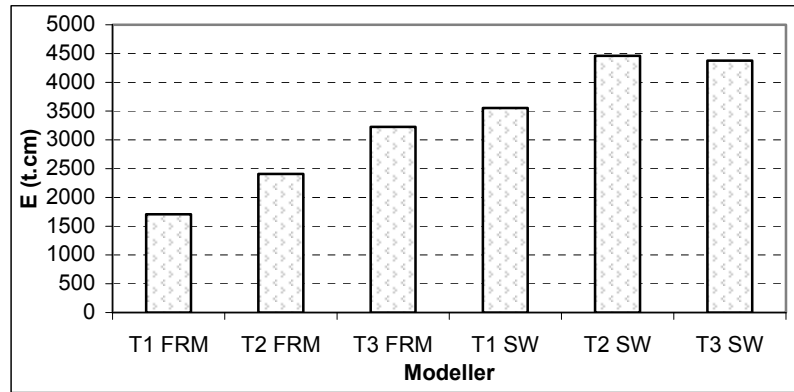
Kolonlar tarafından söndürülen enerji miktarları hesaplanırken, grafikleri daha önceki bölümlerde verilen çerçevelere ait kapasite eğrilerinin altında kalan alanların hesabından faydalanılmıştır.

Şekil 5.41’de Øi itme şekli altında esnek diyaframlı sistemler arasında çerçeveleri en fazla enerjiyi söndüren yapı modelinin T2 modeli olduğu görülmüştür. Geniş kolonlu T3 modelinin (T3SW) döşemelerinde oluşan kesme mafsalları tanımlanan limit deplasmanlara ulaştığı ve dolayısıyla esnediği için daha az deplasman yapmakta, bu da söndürülen enerji miktarını azaltmaktadır.



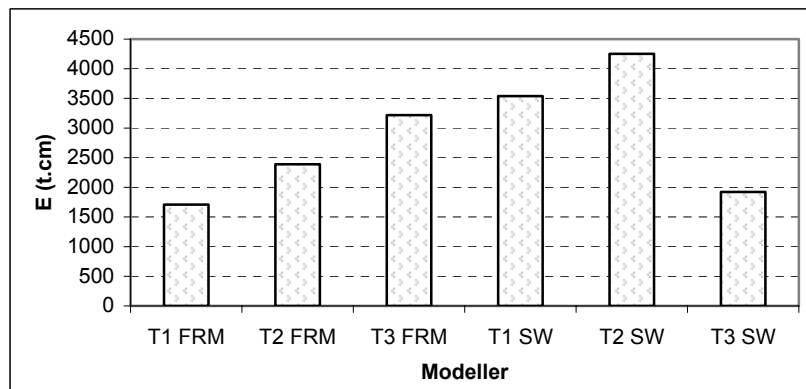
**Şekil 5.41** Øi itme şekli için, esnek döşemeli modellerde kolonlar tarafından söndürülen enerji miktarları

Şekil 5.42’de verilen M itme şekline bakıldığında ise; esnek döşemeli geniş kolonlu sistemlerden, T2 ve T3 modellerinde söndürülen enerji değerlerinin birbirine yakın değerlerde ve diğer modellerde söndürülen enerji miktarlarından daha fazla olduğu görülmektedir.



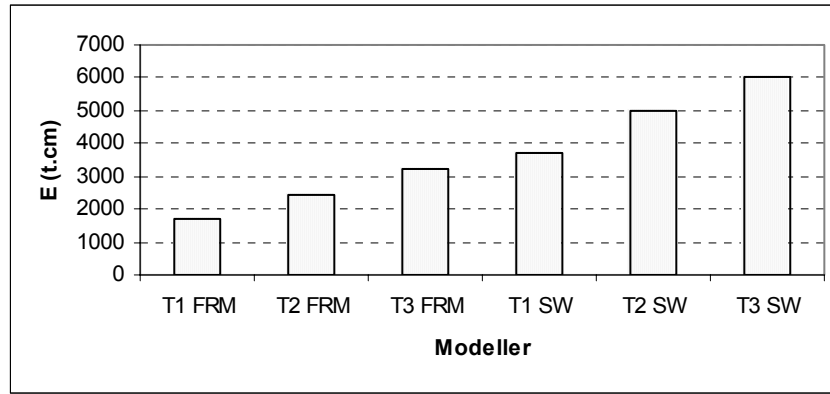
**Şekil 5.42** M itme şekli için, esnek döşemeli modellerde kolonlar tarafından söndürülen enerji miktarları

M.Øi itme şekli için, esnek döşemeli sistemlerde sönmölen enerji değeri, Øi itme şeklinde sönmölen enerji değeri ile benzerdir (Şekil 5.43).

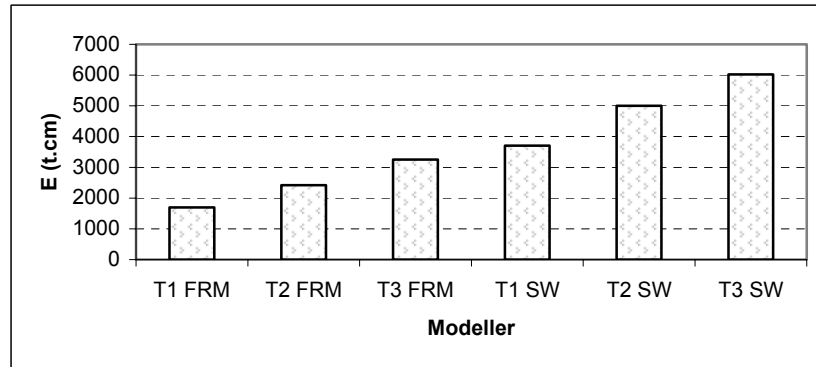


**Şekil 5.43** M.Øi itme şekli için, esnek döşemeli modellerde kolonlar tarafından söndürölen enerji miktarları

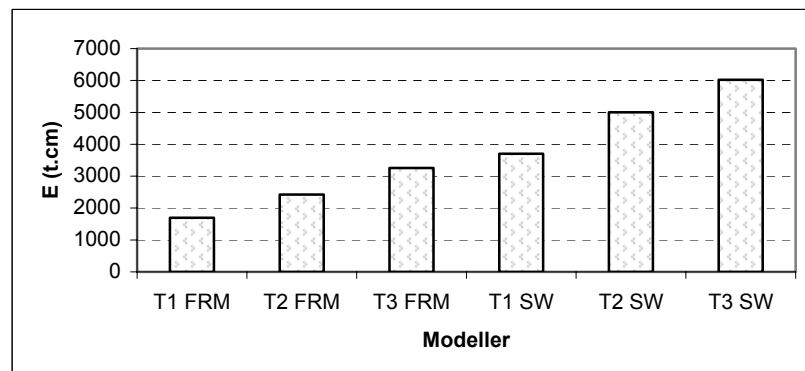
Şekil 5.44, 5.45 ve 5.46 'da göröldüğü gibi, rijit döşemeli sistemlerde her üç itme şekli için de tüm modellerde sönmölen enerji değeri aynı büyüklöktedir.



**Şekil 5.44** Øi itme şekli için, rijit döşemeli modellerde kolonlar tarafından söndürülen enerji miktarları



**Şekil 5.45** M itme şekli için, rijit döşemeli modellerde kolonlar tarafından söndürülen enerji miktarları



**Şekil 5.46** M.Øi itme şekli için, rijit döşemeli modellerde kolonlar tarafından söndürülen enerji miktarları

## 6. SONUÇLAR

Doğrusal olmayan davranışın, kiriş ve kolonlarda oluşan mafsallaşmanın, döşemelerin rijit diyafram davranışı üzerindeki etkileri yapılan bu çalışma ile araştırılmış, elde edilen sonuçlar bu bölümde irdelenmiştir. Analizi yapılan modeller planda hem farklı boy/en oranlarına, hem de farklı kolon rijitlik dağılımlarına sahip olacak şekilde hazırlanmıştır. Doğrusal olmayan itme analizi kullanılarak yapılan hesaplamalar sırasında deprem etkilerini idealize eden yatayda üç farklı yükleme deseni (kütlesel, modal, kütlesel\*modal) kullanılmıştır. Hem rijit diyafram hem de esnek diyafram kabulü ile bulunan sonuçlar karşılaştırılmış ve aşağıda maddeler halinde sunulmuştur.

1. T1, T2 ve T3 tipi çerçevesiz binalarda itme esnasında kullanılan yükleme deseni ne olursa olsun rijit diyafram ve esnek diyafram sonuçları arasında fazla bir fark oluşmamaktadır. Yani rijitliği planda düzgün dağılan, özdeş kolon boyutlarına sahip bu tip yapılarda plandaki boy/en oranı, oluşan deplasmanlar ve kolonların söndürdüğü enerji miktarları açısından çok fark oluşturmamıştır.
2. T1, T2 ve T3 tipi uçlarında geniş kolonlar bulunan esnek döşemeli binalarda ise durum farklılaşmaktadır. T1 tipi binalarda ortada bulunan çerçeve ile en dışta bulunan çerçevelerin deplasmanları yaklaşık olarak aynı seviyelerde oluşmaktadır. Başka bir ifadeyle çerçeveler arasında meydana gelen göreceli ötelenmelerin boyutu ihmal edilebilecek seviyelerdedir. T2 tip binalarda ise orta çerçevenin yaptığı yatay deplasman dış çerçevenin yatay deplasmanından 1.10 ile 1.20 kat daha fazladır. Aynı oran T3 tipi binalarda 1.4 ile 3.6 kat seviyelerinde oluşmaktadır. Aynı tip binalarda ötelenme oranlarındaki bu farklılık kullanılan itme deseninden kaynaklanmaktadır. Yapılan analizler mod şekline göre yapılan itmenin en kritik sonuçları verdiğini (T2 tip binalarda 1.22, T3 tip binalarda 3.6), kütle dağılımına göre yapılan itmenin ise

daha küçük görelî çerçeve ötelenme oranları verdiğini göstermektedir (T2 tip binalarda 1.13, T3 tip binalarda 1.36). Kütle dağılımı ve mod şekli etkilerinin çarpımı ile ifade edilen itme şeklinde ise elde edilen görelî çerçeve ötelenmeleri bu iki yükleme deseninin arasında sonuçlar vermiştir ((T2 tip binalarda 1.2, T3 tip binalarda 3.0).

3. Bina modellerinde çerçevelerin birbirine göre farklı ötelenmeler yapması, çerçeveler arasında bulunan döşemelerin kesme kuvvetleri etkisi ile zorlanmasına sebep olmaktadır. İlerleyen yükleme adımlarında çerçevelerde oluşan görelî deplasman farkları arttıkça, söz konusu kesme deplasmanları büyümekte ve özellikle geniş kolonlu T3 tipi modelde analiz işlemi kiriş ve kolonların deplasman kapasitesine ulaşmadan, tanımlanan bağlantı elemanlarının kesme deplasmanı kapasitesine ulaşması ile oluşmaktadır. T3 tipi geniş kolonlu rijit diyaframlı model söz konusu esneme davranışını dikkate almadığı için maksimum deplasman kolonların sünekliğine bağlı olarak 10.5 cm. seviyesinde oluşurken, esnek diyaframlı olarak hazırlanan aynı model mod ve mod\*kütle itme şekillerinde 7-7.5 cm. deplasman seviyelerine gidebilmektedir. Analiz işlemi ise bu deplasman seviyelerinde döşemelerde oluşan aşırı kesme deformasyonları sebebiyle son bulmaktadır.
4. Çerçevelerin yaptığı bu görelî ötelenme farkları sistemi oluşturan kolonların yük-deplasman davranışlarını da etkilemektedir. Dış akslarda bulunan kolonların iç çerçevelerde bulunan kolonlara göre esnemediğinden dolayı daha az deplasman yapması, döşemeleri birbirine bağlayan elemanlarda oluşan kesme mafsallarının deplasman kapasitesine ulaştığı anda kolon ve kirişlerin henüz ulaşmamış olması, kolonların yük deplasman eğrileri altında kalan alanların (kolonlar tarafından söndürülen enerji) azalmasına sebep olmaktadır. Rijit diyafram davranışı esnasında göz önüne alınmayan bu durum hem esneyen sistemin deplasman kapasitesini düşürmekte, hem de kolonların sistemdeki etkinliğini sınırlandırmaktadır.
5. Belirtilen hususların tümü taşıyıcı sistem çerçevelerinin birbirine göre yaptığı deplasmanların farklılaşmasından kaynaklanmaktadır. İtme esnasında kullanılan ve çerçeveleri farklı kuvvetler ile iten yükleme desenlerinin kullanılması ise esneme davranışının abartılmasına katkı sağlamaktadır. Depremde sabit bir yükleme deseninden bahsedilemeyeceği gibi, aynı deprem esnasında bile bina içinde oluşan iç

kuvvetlerin sürekli değiştiği bir gerçektir. Söz konusu belirsizlik içinde analizler sırasında karşılaşılan ve itme şeklinin sebep olduğu bu farklılıklar olağan kabul edilmeli, esnemesi muhtemel yapıların analizleri için en kritik sonuçları veren muhtemel itme şekilleri göz önüne alınmalıdır.

## KAYNAKLAR

- Amasralı, S. Sta4-cad Ver-8.0 Bilgisayar Paket Programı; p.3-89, 1999 (G. Gaylord, Structural Engineering Handbook, 1990)
- Arturo Tena ve Abrams, D. P. , Members, ASCE; Seismic Behaviour of Structures with Flexible Diaphragms
- Barda, F., “Shear Strength of Low-Rise Walls with Boundary Elements,”Ph. D. Dissertation, Lehigh University, Bethlehem, Pa.,1972, 278 p.
- Bayındırlık ve Iskan Bakanlığı, (1998), Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik, Ankara.
- Bayülke, N. ; Depremlerde Hasar Gören Yapıların Onarım ve Güçlendirilmesi; (TMMOB İnşaat Mühendisleri Odası,İzmir Şubesi 1995/1 Yayımlı),3. Baskı, syf 56-68
- Celep, Z. , Kumbasar , N. ; Deprem Mühendisliğine Giriş ve Depreme Dayanıklı Yapı Tasarımı; (İstanbul Teknik Üniversitesi, İnşaat Fakültesi Profesörleri; 2004)
- Cheung, P. C., Paulay, T., ve Park, R., Interior and Exterior Reinforced Concrete Beam-Coloumn Joints of a Prototype Two-Way Frame with Flor Slab Designed for Earthquake Resistance, Research Report 89-2, Department of Civil Engineering, University of Cantenbury, Christchurch, New Zeland, 165 p.
- Ersoy, U. ; Cilt-II, 4. Basım, Betonarme Temel İlkeler ve Taşıma Gücü Hesabı
- Fleischman, R. B. , EERI, M. , Farrow, K. T. , M. EERI, ve Eastman,K. , Seismic Performance of Perimeter Lateral-System Structures with Highly Flexible Diaphragms
- Fleischman R.B. ve Farrow, K.T. ;Dynamic behavior of Perimeter Lateral-System Structures with Flexible Diaphragms
- Park, P. ve Paulay, T. ; Reinforced Concrete Structures
- Paulay, T. , Priestley M.J.N. ; Seismic Design of Reinforced Concrete and Masonry Buildings, syf 162-164
- Paulay, T., Priestley, M. J. N., and Synge, A. J., “Ductility in Earthquake Resisting Squat Shearwalls,” Journal ACI, Vol. 79, No.4, July-August 1982, pp. 257-269.

Prof. Dr. Özer, E., Plastik Mafsal Hipotezi, İstanbul Teknik Üniversitesi,2005

Sang-Cheol Kim, White , D. W. ; Linear Static Analysis of Low-Rise Buildings with Flexible Diaphragms Using The Structural Separation Method

Şenel, Ş. M. , Kaplan, H. ve Atımtay E. ; Assessment of Lateral Diaphragms Irregularities

Vallenas, J. M., Bertero, V. V., and Popov, E: P., Hysteretic Behaviour of Reinforced Concrete Structural Walls, Report UCB/EERC-79/20, Earthquake Engineering Research Center, College of Engineering, University of California, Berkeley, August 1979,234 p.



**EK 1****KİRİŞ, KOLON VE BAĞLANTI ELEMANLARINDA  
KULLANILAN MAFSALLAR**

<b>KİRİŞLER</b>										
<b>MAFSALLAR</b>	<b>B</b>	<b>H</b>	<b>As</b>	<b>As'</b>	<b>MB</b>	<b>MC</b>	<b>MD</b>	<b>ME</b>	<b>φC</b>	<b>φE</b>
KM2M3T1	20	40	6.84	3.42	1	1.15	0.2	0.2	0.59	0.088
KM2M3T2	20	40	7.23	3.61	1	1.15	0.2	0.2	0.59	0.088
KM2M3T3	20	40	8.32	4.16	1	1.16	0.2	0.2	0.59	0.089
KM2M3T4	20	40	8.57	4.28	1	1.16	0.2	0.2	0.59	0.089
KM2M3T5	20	40	8.13	4.07	1	1.16	0.2	0.2	0.59	0.089
KM2M3T6	20	40	8.17	4.2	1	1.17	0.2	0.2	0.06	0.09
KM2M3T7	20	40	9.51	4.76	1	1.16	0.2	0.2	0.06	0.09
KM2M3T8	20	40	9.4	4.7	1	1.16	0.2	0.2	0.06	0.09
KM2M3T9	20	40	6.8	3.4	1	1.15	0.2	0.2	0.058	0.088
KM2M3T10	20	40	8.92	4.46	1	1.16	0.2	0.2	0.059	0.089
KM2M3T11	20	40	10.02	5.01	1	1.16	0.2	0.2	0.059	0.089
<b>KOLONLAR</b>										
<b>MAFSALLAR</b>	<b>B</b>	<b>H</b>	<b>As</b>	<b>MB</b>	<b>MC</b>	<b>MD</b>	<b>ME</b>	<b>φC</b>	<b>φE</b>	
SM33T01	40	40	16.08	1	0.88	0.2	0.2	0.058	0.086	
SM33T02	40	40	16.08	1	0.8	0.2	0.2	0.042	0.064	
SM33T03	40	40	16.08	1	0.7	0.2	0.2	0.034	0.052	
SM33T04	40	40	16.08	1	0.98	0.2	0.2	0.068	0.1	
SM33T05	40	40	16.08	1	0.98	0.2	0.2	0.06	0.09	
SM33T06	40	40	16.08	1	0.99	0.2	0.2	0.062	0.094	
SM33T04	40	150	64.31	1	0.98	0.2	0.2	0.068	0.1	
SM33T05	40	150	64.31	1	0.98	0.2	0.2	0.06	0.09	
SM33T06	40	150	64.31	1	0.99	0.2	0.2	0.062	0.094	

<b>DÖŞEMELERDE OLUŞTURULAN BAĞLANTI ELEMANLARINA TANIMLANAN MAFSALLAR</b>									
<b>MAFSALLAR</b>		<b>B</b>	<b>H</b>	<b>MB</b>	<b>MC</b>	<b>MD</b>	<b>ME</b>	<b>θC</b>	<b>θE</b>
<b>KESME</b>	125+1V	125	10	1	1	0.2	0.2	0.4	0.6
	125+2V								
	125+3V								
	125+4V								
	125+0V								
	125-1V								
	125-2V								
	125-3V								
	148+1V	148	10	1	1	0.2	0.2	0.4	0.6
	148+2V								
	148+3V								
	148+0V								
	148-1V								
	148-2V								
	148-3V								
20+1V	20	10	1	1	0.2	0.2	0.4	0.6	
20+2V									
20+3V									
20-1V									
20-2V									
20-3V									
<b>NORMAL KUVVET</b>	125-N	125	10	1	1	0.2	0.2	0.05	0.5
	148-N	148	10	1	1	0.2	0.2	0.05	0.5
	20-N	20	10	1	1	0.2	0.2	0.05	0.5
	B20*40N	20	40	1	1	0.2	0.2	0.4	0.6
<b>MAFSALLAR</b>		<b>B</b>	<b>H</b>	<b>MB</b>	<b>MC</b>	<b>MD</b>	<b>ME</b>	<b>φC</b>	<b>φE</b>
<b>MOMENT</b>	125-M3	125	10	1	1	0.2	0.2	0.2	0.4
	148-M3	148	10	1	1	0.2	0.2	0.2	0.4
	20-M3	20	10	1	1	0.2	0.2	0.2	0.4

**ÖZGEÇMİŞ**

Adı Soyadı : Özlem ÖZPINAR

Ana Adı : Hatice

Baba Adı : Rauf

Doğum Yeri ve Tarihi : Afyonkarahisar – 05.12.1981

Lisans : Pamukkale Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü,  
2003

Yabancı Dil : İngilizce