

Uygulamada Kullanılan Profesyonel Bir Statik-Betonarme Hesap ve Çizim Yazılımının  
İrdelenmesi II: Y-Pro

İbrahim Torunoğlu

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

KASIM 2010

Examination of a Professional Structural Analysis-Reinforced Concrete Design and  
Drawing Software Which is Used in Practise II: Y-Pro

İbrahim Torunoğlu

**MASTER OF SCIENCE THESIS**

Department of Civil Engineering

NOVEMBER 2010

Uygulamada Kullanılan Profesyonel Bir Statik-Betonarme Hesap ve Çizim Yazılımının  
İrdelenmesi II: Y-Pro

İbrahim Torunoğlu

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

Danışman: Prof. Dr. Ahmet Topçu

KASIM 2010

## ONAY

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı Yüksek Lisans öğrencisi İbrahim TORUNOĞLU'nun YÜKSEK LİSANS tezi olarak hazırladığı “Uygulamada Kullanılan Profesyonel Bir Statik-Betonarme Hesap ve Çizim Yazılımının İrdelenmesi II: Y-Pro” başlıklı bu çalışma, jürimizce lisansüstü yönetmeliğin ilgili maddeleri uyarınca değerlendirilerek kabul edilmiştir.

**Danışman** : Prof. Dr. Ahmet TOPÇU

**İkinci Danışman** :-

**Yüksek Lisans Tez Savunma Jürisi:**

**Üye** : Prof. Dr. Ahmet TOPÇU

**Üye** : Prof. Dr. Yunus ÖZÇELİKÖRS

**Üye** : Prof. Dr. Eşref ÜNLÜOĞLU

**Üye** : Doç. Dr. Nevzat KIRAÇ

**Üye** : Doç. Dr. Yücel GÜNEY

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

Prof. Dr. Nimetullah BURNAK

Enstitü Müdürü

## ÖZET

Bilgisayar teknolojisinin ilerlemesiyle, her alanda olduğu gibi inşaat mühendisliği alanında da bilgisayar yazılımlarının kullanımı vazgeçilmez hale gelmiştir. Buna bağlı olarak artan inşaat mühendisliği yazılımlarının sayısı ve bu yazılımları kontrol eden herhangi bir kurumun bulunmayışı, beraberinde telafisi olmayan sorunlar doğurabilmektedir. Bu çalışma ile günümüzde yaygın olarak kullanılan bir statik – betonarme hesap ve çizim yazılımı irdelenmiştir.

Bu çalışma esnasında ilk olarak yazılıma ait genel özellikler ve yazılımın yaptığı kabuller incelenmiştir. Devamında, yazılımın kullandığı statik – betonarme hesap yöntemleri ve yazılımın bulduğu sonuçların ülkemizde kullanılan standart ve yönetmelikler açısından uygun olup olmadığı basit yapı modelleri kullanılarak araştırılmıştır.

Sonuç olarak yazılımın statik hesaplarda ve yönetmeliklere ait hesaplamalarda bazı hatalar yaptığı, program çıktıları ve hesap raporlarından bazılarının standart ve yönetmeliklerde sunulan sınır koşullara uygun olmadığı görülmüştür. Yapılan bu tespitler dikkate alındığında, kullanıcının, kullandığı yazılımın artılarını ve eksilerini bilmesi, yazılımı doğru yönlendirebilmesi gerekmektedir. Bu bilinçle hareket edilmesi durumunda yazılımın kullanılmasının herhangi bir sakınca doğurabileceği düşünülmemektedir.

**Anahtar Kelimeler:** Statik, Betonarme, Yazılım

## SUMMARY

With the improvements in computer technology, the use of computer software has become indispensable in the area of civil engineering as is the case in all areas. Accordingly, the increasing number of softwares in civil engineering and the lack of an institution to supervise these softwares may produce irreparable problems. In this study, a structural analysis - reinforced concrete counting and drafting software that is widely used nowadays has been examined.

In the course of this study, firstly the general features regarding the software and the recognitions the software made have been examined. Afterwards, the structural analysis - reinforced concrete counting methods that the software uses and whether or not the consequences that the software has found are appropriate in terms of the standards and the regulations adopted in our country have been analysed by using simple structural samples.

Consequently, it has been observed that the software made some mistakes in calculations of static and regulations and some of the program outputs and the counting reports are not appropriate for the limit conditions provided in standards and regulations. Afterall, user should know the advantages and disadvantages of the program and use the program that way. If the user is aware of these conditions about the program, there would be no objections to use of the software.

**Keywords:** Structural Analysis, Reinforced Concrete, Software

## TEŞEKKÜR

Çalışmalarım sırasında benden desteğini esirgemeyen aileme, arkadaşlarıma, lisans ve yüksek lisans öğretimim süresince bana bilgilerini aktaran hocalarıma ve bana mühendisliğin hesaptan çok düşünmek olduğunu öğreten danışmanım Sayın Prof. Dr. Ahmet TOPÇU'ya teşekkürlerimi sunmayı bir borç bilirim.

İbrahim TORUNOĞLU

Kasım 2010

## İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
<b>ÖZET .....</b>	<b>V</b>
<b>SUMMARY .....</b>	<b>VI</b>
<b>TEŞEKKÜR .....</b>	<b>VII</b>
<b>ŞEKİLLER DİZİNİ .....</b>	<b>XI</b>
<b>ÇİZELGELER DİZİNİ.....</b>	<b>XV</b>
<b>SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ.....</b>	<b>XVII</b>
<b>GİRİŞ .....</b>	<b>1</b>
<b>GENEL BİLGİLER .....</b>	<b>3</b>
2.1    Y-PRO YAZILIMI YAPISAL ELEMAN MODELLERİ .....	6
2.1.1    Akslar.....	6
2.1.2    Kolon eleman modeli.....	7
2.1.2.1    Kolon yönleri .....	8
2.1.2.2    Kolon lokal eksenleri ve pozitif yön kabulü.....	9
2.1.2.3    Kolon malzeme bilgileri .....	10
2.1.2.4    Mesnet şartları .....	11
2.1.2.5    Mafsal tipleri.....	11
2.1.2.6    Yükler .....	11
2.1.3    Kiriş Eleman Modeli.....	12
2.1.3.1    Kiriş lokal eksenleri ve pozitif yön kabulü.....	13
2.1.3.2    Kiriş malzeme bilgileri .....	14
2.1.3.3    Mafsal bilgileri.....	14
2.1.3.4    Kiriş yükleri.....	15
2.1.4    Rijit bölge varsayımı.....	16
2.1.5    Perde Eleman Modeli.....	17
2.1.5.1    Perde lokal eksenleri ve işaret kabulü .....	19
2.1.5.2    Malzeme bilgileri.....	19
2.1.5.3    Mesnet şartları .....	20
2.1.5.4    Mafsal bilgileri.....	20
2.1.5.5    Perde eleman yükleri .....	20
2.1.6    Döşeme Eleman Modeli .....	21
2.1.7    Temel Modeli .....	22
<b>İRDELEME .....</b>	<b>23</b>
3.1    MALZEME VE KESİT VARSAYIMLARININ İRDELENMESİ.....	23



## İÇİNDEKİLER (devam)

### Sayfa

3.1.1	<i>Malzeme varsayımlarının irdelenmesi</i> .....	23
3.1.2	<i>Kesit varsayımlarının irdelenmesi</i> .....	25
3.2	YÜK VARSAYIMLARI VE YÜK AKTARIMLARININ İRDELENMESİ.....	26
3.2.1	<i>Saplama Kirişlerden Ana Kirişlere Yük Aktarımının İrdelenmesi</i> .....	30
3.2.2	<i>Döşemelerden Kirişlere Moment Aktarımının İrdelenmesi</i> .....	32
3.2.3	<i>Yük kombinasyonlarının irdelenmesi</i> .....	33
3.3	RIJİT DİYAFRAM KABULÜNÜN İRDELENMESİ.....	35
3.4	DEPLASMANLARIN VE İÇ KUVVETLERİN İRDELENMESİ .....	39
3.4.1	<i>Kolon lokal eksen takımının döndürülmesi</i> .....	39
3.4.2	<i>Düzlem çerçeve iç kuvvet ve deplasmanların irdelenmesi</i> .....	42
3.4.3	<i>Uzay çerçeve iç kuvvet ve deplasmanlarının irdelenmesi</i> .....	53
3.4.4	<i>Perde Elemanların Deplasman Ve İç Kuvvetlerinin İrdelenmesi</i> .....	59
3.4.4.1	Perde elemanlarda kolon modeli .....	59
3.4.4.2	Perde elemanlarda kabuk modeli.....	63
3.4.5	<i>L Döşemelerde Moment Katsayıları Yönteminin İrdelenmesi</i> .....	66
3.4.6	<i>Rijitlik Merkezi Kavramının İrdelenmesi</i> .....	69
3.4.7	<i>Poligon Perde Kavramının İrdelenmesi</i> .....	71
3.4.8	<i>Kiriş Betonarme Hesaplarının İrdelenmesi</i> .....	73
3.4.8.1	Kiriş boyuna donatı hesaplarının irdelenmesi .....	73
3.4.8.2	Kiriş enine donatı hesabının irdelenmesi.....	81
3.4.9	<i>Kolon Betonarme Hesaplarının İrdelenmesi</i> .....	87
3.4.9.1	Boyuna donatı hesapları: .....	87
3.4.9.2	Kolon enine donatı hesapları .....	90
3.4.10	<i>Perde Elemanlarda Boyuna Donatı Hesaplarının İrdelenmesi</i> .....	93
3.5	Y-PRO YAZILIMININ YÖNETMELİKLERDEKİ SINIR DEĞERLER AÇISINDAN İRDELENMESİ .....	95
3.5.1	<i>Kirişlerde sınır değerlerin irdelenmesi</i> .....	97
3.5.2	<i>Kolonlarda sınır değerlerin irdelenmesi</i> .....	100
3.5.3	<i>Perdelere sınır değerlerin irdelenmesi</i> .....	104
3.5.4	<i>Döşemelerde sınır değerlerin irdelenmesi</i> .....	108
3.5.5	<i>Y-Pro nun TDY 2007 de Tanımlanan Planda Düzensizlikler Bakımından İrdelenmesi</i> ....	113
3.5.5.1	A1 düzensizliği .....	113
3.5.5.2	A2 Düzensizliği .....	122
3.5.5.3	A3 Düzensizliği .....	123
3.5.5.4	B1 Düzensizliği .....	124
3.5.5.5	B2 Düzensizliği .....	128
3.5.5.6	B3 Düzensizliği .....	133

## İÇİNDEKİLER (devam)

### Sayfa

3.5.6	<i>Etkin Görelî Kat Ötelenmelerinin Sınırlandırılmasının İrdelenmesi</i> .....	135
3.5.7	<i>İkinci Mertebe Etkilerinin İrdelenmesi (P-Δ Etkisi)</i> .....	137
3.5.8	<i>Y-Pro da Taşıyıcı Sistemlerin Süneklik Düzeyi Bakımından İrdelenmesi</i> .....	139
3.5.9	<i>Taşıyıcı Sistem Davranış Katsayısı (R) Seçiminin İrdelenmesi</i> .....	142
3.5.9.1	Y-Pro nun TDY 2007 Madde 2.5.2 ye göre irdelenmesi .....	146
3.5.9.2	Y-Pro nun TDY 2007 Madde 2.5.3 e göre irdelenmesi.....	148
3.5.9.3	Y-Pro nun TDY 2007 Madde 2.5.4 e göre irdelenmesi.....	149
3.5.10	<i>Kolonları Kirişlerden Güçlü Olması Koşulunun İrdelenmesi</i> .....	153
3.5.11	<i>Kısa Kolon Oluşumunun İrdelenmesi</i> .....	157
3.5.12	<i>Kolon-Kiriş Birleşim Bölgelerinin Kesme Güvenliğinin İrdelenmesi</i> .....	160
3.5.13	<i>Eşdeğer Deprem Yüğü Yönteminin İrdelenmesi</i> .....	166
3.5.13.1	Eşdeğer Deprem Kuvvetlerinin İrdelenmesi .....	166
3.5.14	<i>Mod Birleştirme Yönteminin İrdelenmesi</i> .....	176
3.5.15	<i>Y-Pro nun Sunduğı Hesap Raporlarının İrdelenmesi</i> .....	180
3.5.16	<i>Y-Pro nun Sunduğı Çizimlerin İrdelenmesi</i> .....	183
3.5.16.1	Donatıların Kenetlenmesi ve Düzenlenmesinin İrdelenmesi .....	188
<b>SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRME</b> .....		<b>194</b>
<b>KAYNAKLAR DİZİNİ</b> .....		<b>196</b>

## ŞEKİLLER DİZİNİ

<u>Şekil</u>	<u>Sayfa</u>
2.1 Düğüm noktası deplasmanları .....	5
2.2 Açısal deprem kuvveti .....	5
2.3 Global eksen takımı .....	6
2.4 Aks yönleri.....	7
2.5 Tanımlanabilen kolon kesitleri .....	7
2.6 Kolon yönleri.....	8
2.7 a) 1 yönü aksında tanımlanmış kolon, b) 2 yönü aksında tanımlanmış kolon, c) ½ yönü aksında tanımlanmış kolon .....	9
2.8 a) Hesap teorik pozitif yönleri, b) Çıktı teorik pozitif yön kabulleri .....	10
2.9 Moment mafsalı tipleri.....	11
2.10 Düğüm noktası dış yük pozitif yönleri .....	12
2.11 Kiriş modelleri.....	13
2.12 a) Hesap pozitif iç kuvvet yönleri, b) Çıktı pozitif iç kuvvet yönleri .....	14
2.13 Kiriş mafsal tipleri .....	15
2.14 a) Kiriş yük uygulama yönü, b) Tanımlanabilen kiriş yükleri .....	16
2.15 a) Kolon-kiriş birleşim düğümü geometrik modeli, b) Rijit bölge kabulü yapılmamış analitik model, c) Tam rijit bölge kabulü yapılmış analitik model, .....	17
2.16 Perde elemanın kolon olarak modellenmesi.....	18
2.17 a) Perde geometrik modeli, b) Analitik kabuk modeli .....	18
2.18 Kabuk elemana ait deplasmanların pozitif yönleri.....	19
2.19 a) Perdeye uygulanan tekil yük, b) Kabuk modeli .....	20
2.20 Tekil yüklerin dönüştürülmesi.....	21
2.21 Plak elemanlara ait deplasman ve dönmelerin pozitif yönleri .....	22
2.22 Sürekli ve tekil temel için ampatman tipi .....	22
3.1 'i' noktasının akstan kaçıklığa göre değişimi .....	26
3.2 Eksantrik kolonların dış kuvvet etki noktaları .....	27
3.3 a) Kalıp planı, b) Analitik model .....	28
3.4 a) Kalıp planı, b) Kirişin 1-4 aksları arasında tanımlanması durumunda kiriş yükleri .....	29
3.5 Kalıp planı ve perspektif.....	31
3.6 Kalıp planı ve perspektif.....	33
3.7 Kalıp planı ve yapı özellikleri.....	34
3.8 Geometrik modelleme .....	36
3.9 a) Düzlem çerçeve ve sistem deplasman vektörleri b) Rijit diyafram kabulü yapılmamış deplasman matrisi.....	36

## ŞEKİLLER DİZİNİ (devam)

<u>Şekil</u>	<u>Sayfa</u>
3.10 Uzak çerçeve sistem.....	37
3.11 a) Kolon analitik modeli, b) Kolon kesiti, c) Y-Pro da kesitin $\beta$ açısı kadar döndürülmesi.....	39
3.12 a) Y-Pro ile analiz sonuçları, b) SAP 2000 ile analiz sonuçları.....	41
3.13 a) Kolon analitik modeli, b) Kolon kesiti, c) Y-Pro da Aks döndürülmesi sonrasında lokal eksen takımının değişimi.....	42
3.14 İç kuvvet ve deplasmanların irdelenmesi için hazırlanmış düzlem çerçeve örneği.....	43
3.15 $\beta=0^0$ için Y-Pro ve SAP 2000 de hesaplanan iç kuvvetler .....	44
3.16 $\beta=30^0$ için Y-Pro ve SAP 2000 de hesaplanan iç kuvvetler .....	45
3.17 $\beta=45^0$ için Y-Pro ve SAP 2000 de hesaplanan iç kuvvetler .....	46
3.18 $\beta=90^0$ için Y-Pro ve SAP 2000 de hesaplanan iç kuvvetler .....	47
3.19 $\beta=180^0$ için Y-Pro ve SAP 2000 de hesaplanan iç kuvvetler .....	48
3.20 $\beta=270^0$ için Y-Pro ve SAP 2000 de hesaplanan iç kuvvetler .....	49
3.21 $\beta=30^0$ için düzlem çerçeve örneği.....	52
3.22 Uzak çerçeve örneği.....	54
3.23 Düzlem perde + çerçeve örneği.....	60
3.24 Düzlem çerçeve + kabuk modeli .....	64
3.25 Kabuk eleman iç kuvvet pozitif yönleri .....	66
3.26 'L' forma sahip döşeme planı .....	67
3.27 Dörde ayrılmış L döşeme .....	68
3.28 Kalıp planı.....	70
3.29 (a) Kalıp planı, (b) Asansör perdesi açılımı .....	72
3.30 Tablasız kirişe ait sistem.....	74
3.31 Tablalı kirişe ait sistem.....	77
3.32 Mesnette ve açıklıkta tablalı kirişe ait sistem .....	80
3.33 Kesme tasarımı yapılacak sistem .....	83
3.34 Yazılım tarafından sunulan giriş donatı detay açılımı .....	84
3.35 Donatı planı, iç kuvvetler ve malzeme bilgileri.....	87
3.36 a) Şekil 3.14 e ait kalıp planı, b) Şekil 3.21 e ait kalıp planı.....	89
3.37 Kesme donatısı hesaplanacak donatı planı, iç kuvvetler ve malzeme bilgileri .....	91
3.38 Perde donatı planı, iç kuvvetler ve malzeme bilgileri .....	94
3.39 Kolon sınırları.....	100
3.40 Perde sınırları.....	104
3.41 TDY 2007 Şekil 2.1 .....	113

## ŞEKİLLER DİZİNİ (devam)

<u>Şekil</u>	<u>Sayfa</u>
3.42 TDY 2007 Şekil 2.7.....	114
3.43 TDY 2007 Şekil 2.8.....	114
3.44 Dış merkezli yatay kuvvet uygulama formları.....	115
3.45 $\eta_b \leq 1.2$ durumu için örnek kalıp planı.....	116
3.46 $2 \geq \eta_b > 1.2$ durumu için örnek kalıp planı.....	117
3.47 $\eta_b > 2$ durumu için kalıp planı örneği.....	121
3.48 TDY 2007 Şekil 2.2.....	123
3.49 TDY 2007 Şekil 2.3.....	124
3.50 B1 düzensizliğine ait kalıp planı.....	126
3.51 B2 düzensizliğine ait kalıp planı.....	129
3.52 B2 düzensizliğine ait kalıp planı örnekleri.....	132
3.53 TDY 2007 Şekil 2.4.....	134
3.54 İkinci merteye etkilerinden dolayı oluşan moment.....	137
3.55 TDY 2007 Tablo 2.5.....	142
3.56 Taşıyıcı sistem davranış katsayısının kontrolü için hazırlanmış kalıp planı.....	145
3.57 Süneklik düzeyi normal perde+çerçeve sistemine ait kalıp planı.....	149
3.58 Süneklik düzeyi karma perde+çerçeve sistemine ait kalıp planı.....	151
3.59 Süneklik düzeyi karma perde+çerçeve sistemine ait kalıp planı.....	153
3.60 TDY 2007 Şekil 3.4.....	155
3.61 TDY 2007 Şekil 3.6.....	158
3.62 Kısa kolon oluşumuna ait düzlem çerçeve.....	159
3.63 Kuşatılmış-kuşatılmamış düğüm noktasına ait kalıp planı örneği.....	161
3.64 TDY 2007 Şekil 3.10.....	163
3.65 TDY 2007 Madde 2.5.2 n in irdelenmesine ait kalıp planı.....	164
3.66 TDY 2007 Şekil 2.6.....	166
3.67 Deprem kuvvetlerinin irdelenmesi için hazırlanmış kalıp planı.....	167
3.68 SAP 2000 ve Y-Pro ya ait kat kütlelerinin dağılım modeli.....	168
3.69 Şekil 3.61 deki örneğe ait X yönü spektrum grafiği.....	170
3.70 Şekil 3.68 e ait dinamik model ve deprem kuvvetleri.....	171
3.71 Serbest titreşim periyotlarının karşılaştırılmasına ait kalıp planı.....	173
3.72 TDY 2007 Şekil 2.7.....	175
3.73 TDY 2007 Şekil 2.8.....	175
3.74 Kiriş donatı açılımlarının irdelenmesine ait kalıp planı.....	186
3.75 Şekil 3.74 e ait pilyesi kiriş detay açılımı.....	187

**ŞEKİLLER DİZİNİ (devam)**

<b><u>Şekil</u></b>	<b><u>Sayfa</u></b>
3.76 Şekil 3.74 e ait pilyeli giriş detay açılımı .....	187
3.77 TDY 2007 Şekil 3.2.....	190
3.78 TDY 2007 Şekil 3.7.....	191

## ÇİZELGELER DİZİNİ

<u>Cizelge</u>	<u>Sayfa</u>
3.1	Düğüm noktası deplasmanları ..... 31
3.2	K101 kirişi burulma momenti değerleri ..... 32
3.3	Y-Pro da kullanılan yük kombinasyonları ..... 33
3.4	Zati, hareketli ve deprem yükleri sonucu oluşan S1 kolonu 'i' ucu momentleri ..... 35
3.5	Uzay çerçevedeki kiriş elemanların eksenel yük sonuçları ..... 38
3.6	Uzay çerçeve +400 kotu düğüm deplasmanları ..... 38
3.7	$\beta=0^0$ için Y-Pro ve SAP 2000 de hesaplanan deplasman ve dönmeler ..... 50
3.8	$\beta=30^0$ için Y-Pro ve SAP 2000 de hesaplanan deplasman ve dönmeler ..... 50
3.9	$\beta=45^0$ için Y-Pro ve SAP 2000 de hesaplanan deplasman ve dönmeler ..... 50
3.10	$\beta=90^0$ için Y-Pro ve SAP 2000 de hesaplanan deplasman ve dönmeler ..... 51
3.11	$\beta=180^0$ için Y-Pro ve SAP 2000 de hesaplanan deplasman ve dönmeler ..... 51
3.12	$\beta=270^0$ için Y-Pro ve SAP 2000 de hesaplanan deplasman ve dönmeler ..... 51
3.13	$\beta=0^0$ için Y-Pro ve SAP 2000 de hesaplanan iç kuvvetler ..... 54
3.14	$\beta=30^0$ için Y-Pro ve SAP 2000 de hesaplanan iç kuvvetler ..... 55
3.15	$\beta=45^0$ için Y-Pro ve SAP 2000 de hesaplanan iç kuvvetler ..... 55
3.16	$\beta=90^0$ için Y-Pro ve SAP 2000 de hesaplanan iç kuvvetler ..... 56
3.17	$\beta=0^0$ için Y-Pro ve SAP 2000 de hesaplanan deplasman ve dönmeler ..... 56
3.18	$\beta=30^0$ için Y-Pro ve SAP 2000 de hesaplanan deplasman ve dönmeler ..... 57
3.19	$\beta=45^0$ için Y-Pro ve SAP 2000 de hesaplanan deplasman ve dönmeler ..... 57
3.20	$\beta=90^0$ için Y-Pro ve SAP 2000 de hesaplanan deplasman ve dönmeler ..... 58
3.21	Perde eleman kolon modeli iç kuvvetleri ..... 61
3.22	Perde eleman kolon modeli deplasman ve dönmeleri ..... 61
3.23	Perde eleman kabuk modeli eleman iç kuvvetleri ..... 64
3.24	Perde eleman kabuk modeli deplasman ve dönmeleri ..... 65
3.25	Moment katsayıları yöntemine ait sonuçlar ..... 69
3.26	Rijitlik merkezi koordinatları ..... 71
3.27	Asansör perdesi atalet momentleri ..... 73
3.28	Tablasız kiriş betonarme hesap sonuçları ..... 75
3.29	Tablalı kiriş betonarme hesap sonuçları ..... 78
3.30	Mesnette ve açıklıkta tablalı kiriş betonarme hesap sonuçları ..... 81
3.31	Analiz sonrası elde edilen değerler ..... 84
3.32	Kiriş enine donatı hesabında kullanılacak kesme kuvvetleri ..... 85
3.33	Beton katkısı hesap tablosu ..... 86
3.34	Hesaplanan ve seçilen kolon donatı alanları ..... 88

## ÇİZELGELER DİZİNİ (devam)

<u>Cizelge</u>	<u>Sayfa</u>
3.35	Kolon boyuna donatı alanları..... 90
3.36	Enine donatılar ..... 93
3.37	Perde boyuna donatıları ..... 94
3.38	Kiriş sınır değerleri tablosu..... 97
3.39	Kiriş sınır değerleri tablosu (Devam)..... 98
3.40	Kolon sınır değerleri tablosu..... 101
3.41	Kolon sınır değerleri tablosu (Devam)..... 102
3.42	Perde sınır değerleri tablosu..... 105
3.43	Perde sınır değerleri tablosu (Devam)..... 106
3.44	İki doğrultuda çalışan döşemelerde sınır değerler ..... 109
3.45	Tek doğrultuda çalışan döşemelerde sınır değerler ..... 111
3.46	Tek doğrultuda çalışan döşemelerde sınır değerler (Devam)..... 112
3.47	Dış merkezlilikten dolayı oluşan burulma momenti ..... 117
3.48	Y-Pro X ve Y yönü $\eta_b$ burulma düzensizliği kontrolü ..... 117
3.49	Dış merkezlilikten dolayı oluşan burulma momenti ..... 118
3.50	Y-Pro Y yönü $\eta_b$ burulma düzensizliği kontrolü ..... 118
3.51	Y-Pro Y yönü $\eta_b$ burulma düzensizliği kontrolü ..... 121
3.52	B1 düzensizliğine ait Y-Pro ve el hesabı sonuçları..... 127
3.53	Şekil 3.44 için X yönü B2 düzensizliği katsayıları ..... 130
3.54	Şekil 3.44 için Y yönü B2 düzensizliği katsayıları ..... 130
3.55	Şekil 3.45 (a) ve (b) ye ait B2 düzensizliği katsayıları..... 132
3.56	Y-Pronun sunduğu süneklik düzeyi normal sistemler için R katsayısı ..... 143
3.57	Y-Pronun sunduğu süneklik düzeyi yüksek sistemler için R katsayısı ..... 144
3.58	Y-Pronun sunduğu süneklik düzeyi karma sistemler için R katsayısı ..... 144
3.59	Şekil 3.67 deki yapıya ait serbest titreşim periyotları..... 168
3.60	Şekil 3.67 deki yapıya ait kat ağırlıkları ..... 169
3.61	Şekil 3.67 için bulunan X ve Y yönü deprem kuvvetleri ..... 172
3.62	Şekil 3.71 deki yapıya ait serbest titreşim periyotları ..... 173
3.63	Şekil 3.71 deki yapıya ait kat ağırlıkları ..... 174
3.64	Şekil 3.71 deki örneğe ait etkin kütleler ..... 178



## SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

<b><u>Simgeler</u></b>	<b><u>Açıklamalar</u></b>
$A(T)$	Spektral İvme Katsayısı
$A_0$	Etkin Yer İvme Katsayısı
$A_{s1}$	Kiriş Açıklık Çekme Donatısı Alanı
$A_{s2}$	Kiriş Mesnet Çekme Donatısı Alanı
$A_{s1}'$	Kiriş Açıklık Basınç Donatısı Alanı
$A_{s2}'$	Kiriş Mesnet Basınç Donatısı Alanı
$A_{st}$	Kolon Boyuna Donatı Alanı
$A_{sw}$	Enine Donatı Alanı
$b_w$	Kiriş Gövde Genişliği
$d$	Faydalı Yükseklik
$f_{cd}$	Betonun Tasarım Basınç Dayanımı
$f_{ck}$	Betonun Karakteristik Basınç Dayanımı
$f_{ctd}$	Betonun Tasarım Çekme Dayanımı
$f_{yd}$	Boyuna Donatı Tasarım Akma Dayanımı
$f_{yk}$	Boyuna Donatı Karakteristik Akma Dayanımı
$f_{ywd}$	Enine Donatı Tasarım Akma Dayanımı
$h$	Kiriş Yüksekliği
$I$	Bina Önem Katsayısı
$M$	Eğilme Momenti
$M_d$	Tasarım Eğilme Momenti
$N$	Eksenel Kuvvet
$n$	Hareketli Yük Katılım Katsayısı
$N_d$	Tasarım Eksenel Kuvveti
$R$	Taşıyıcı Sistem Davranış Katsayısı
$R_a(T)$	Deprem Yüğü Azaltma Katsayısı
$S(T)$	Spektrum Katsayısı
$T, M_b$	Burulma Momenti
$V$	Kesme Kuvveti
$V_d$	Tasarım Kesme Kuvveti
$V_e$	Enine Donatı Hesabına Esas Alınan Kesme Kuvveti

## SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ (devam)

<b><u>Simgeler</u></b>	<b><u>Açıklamalar</u></b>
W	Hareketli Yük Katılım Katsayısı İle Bulunan Bina Ağırlığı
X	Global X eksen
Y	Global Y eksen
YZS	Yerel Zemin Sınıfı
Z	Global Z eksen
$\theta$	Kabuk Eleman Düğüm Noktası Dönme Açısı
$\rho$	Kiriş Çekme Donatısı Oranı
$\rho'$	Kiriş Basınç Donatısı Oranı
$\rho_b$	Kiriş Dengeli Donatı Oranı
$\rho_{max}$	Kiriş Maksimum Donatı Oranı
$\rho_{min}$	Kiriş Minimum Donatı Oranı
$\omega$	Kabuk Eleman Düğüm Noktası Deplasmanı

<b><u>Kısaltmalar</u></b>	<b><u>Açıklamalar</u></b>
cm	Santimetre
m	Metre
mm	Milimetre
kN	Kilonewton
TDY 1997	Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik, 1997
TDY 2007	Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik, 2007

## BÖLÜM 1

### GİRİŞ

Bilgisayarların kullanımına başlanması birçok alanda olduğu gibi inşaat mühendisliği alanında da büyük bir çığır açmıştır. Özellikle el hesaplarında kullanımı son derece zahmetli olan, matris notasyonuna dayanan sonlu elemanlar metodunun bilgisayar programcılığında işlevsel olarak kullanılabilmesi, yapıların statik hesaplarının daha hızlı yapılabilmesine olanak sağlamıştır. Karmaşık ve zorlu bir süreç olan yapısal analiz ve boyutlandırma, artık en karmaşık yapı sistemleri için dahi problem olmaktan çıkmıştır.

Dünyadaki birçok ülkede olduğu gibi ülkemizde de yapıların statik ve betonarme hesapları, pratikte paket programlar olarak tabir edilen 3 adet yazılımlarla yapılmaktadır. Bu yazılımlar geniş kapsamlı yapı modellerinden ziyade, betonarme bina türü yapıların analiz ve boyutlandırmasında kullanılması için hazırlanmıştır.

Ülkemizdeki inşaat mühendisliği yazılımları arasında en büyük kullanıcı kitlesine sahip olan bu üç yazılımı denetleyecek bir kurum veya yönetmelik bulunmamaktadır. Bu nedenle yazılımların kendilerini revize etmesi için kullanıcıları ve yazılımı yazarlar dışında herhangi bir kontrol mekanizması bulunmamaktadır. Böyle bir kontrol mekanizması olmadığına göre akla şu sorular gelmektedir: Bu tür yazılımlar seçtikleri hesap yöntemine göre doğru analiz ve boyutlandırma yapabiliyorlar mı? Yönetmelik ve standartların sağlanmasını istedikleri alt ve üst sınırları dikkate alıyorlar mı? Çizim çıktılarını şantiye uygulamaları için yeterli mi?

Bu sorulara yanıt aranabilmesi için uygulamada kullanılan bu üç programdan biri bu amaçla irdelenmiş idi (Kaplan, O., Uygulamada Kullanılan Profesyonel Bir Statik-Betonarme Hesap ve Çizim Yazılımının İrdelenmesi). Bu tez çalışmasında, X-Pro yazılımının irdelenmesi için yapılan çalışmanın devamı niteliğinde olan ve geriye kalan iki paket programından biri olan Y-Pro yazılımı ele alınmıştır.

Y-Pro nun irdelenmesi esnasında ilk olarak yazılımla ilgili genel bilgiler verilmiş, yazılımın kullandığı işaret kabulleri, yapısal elemanlar ve kullanılan malzemelerin özellikleri incelenmiştir. İrdeleme bölümünde farklı yapı modelleri

kullanılarak statik, dinamik ve betonarme hesaplar üzerinde durulmuş, sunulan sonuçların TS 500–2000 ve TDY 2007 deki koşulları sağlayıp sağlamadığı kontrol edilmiştir. TDY 2007 de bulunan düzensizlik durumları farklı örnekler yardımıyla irdelenmiş, yönetmeliğin yapılmasını istediği kontrollerin doğru yapılıp yapılmadığı üzerinde detaylı olarak durulmaya çalışılmıştır. Son olarak yazılımın sunduğu hesap raporları ve çizimlere ait çıktılar irdelenmiştir.

Yapılan bu irdelemeler sırasında SAP 2000 ve ETABS yazılımları kullanılmış ve Y-Pro ya ait sonuçlar bu yazılımlar kullanılarak karşılaştırılmıştır.

## BÖLÜM 2

### GENEL BİLGİLER

Y-Pro yazılımı; betonarme yapıların statik, dinamik analizlerini yapabilen, uygulama çizimlerini ve metrajlarını hazırlayıp çıktı almaya hazır hale getirebilen, analitik modeli sonlu elemanlar deplasman yöntemine göre çözen bir üç boyutlu analiz ve boyutlandırma yazılımıdır. Bu tez 2007 lisanslı bir sürüm ile hazırlanmıştır. Elemanlar yazılıma grafik editörler yardımıyla tanıtılmaktadır. Yazılımda kullanılan yapısal elemanlar kolonlar, kirişler, perdeler, döşemeler olarak sıralanabilir. Bu elemanlar akslar yardımıyla grafik editörde düzenlenir.

**Akslar:** Y-Pro da akslar aplikasyonun temelini teşkil eder. Yapısal elemanların tamamı; kolon, kiriş, perde, döşeme ve döşeme boşlukları akslar referans alınarak tanımlanır.

**Kolonlar:** Y-Pro da kolon elemanlar; dikdörtgen, dairesel, poligon, çokgen ve içi boşluklu eleman olarak tanımlanabilmekte, düşey düzlemde eğik kolon modellenebilmektedir.

**Perdeler:** Perde elemanlar sadece dikdörtgen kesitli olarak tanımlanabilmekte, poligon perde tanımlanamamaktadır. Modellemede düşey düzlemde eğik perde oluşturulabilmektedir.

**Kirişler:** Kiriş elemanlar sadece dikdörtgen kesitli olarak tanımlanabilir. Ancak üzerinde bir döküm döşeme bulunması halinde tabla kabulü yapılabilmektedir. Eğik kiriş ve planda eğrisel forma sahip kiriş modellenebilmektedir.

**Döşemeler:** Planda, dikdörtgen ve çokgen olarak kirişli, kirişsiz, dişli, kaset ve asmolen döşemeler tanımlanabilmektedir.

**Temeller:** Tekil temel, tek ve çift yönlü sürekli temel, kirişli - kirişsiz radye ve kazık temel tanımlanabilmektedir.

**Merdivenler:** Tek ve çift kollu merdiven, içten veya dıştan mesnetli helis merdiven, taşıyıcı ayrık-birleşik basamaklı merdiven çözümleri sadece statik olarak analiz edilip donatı boyutlandırması yapılabilmekte fakat merdiven sistemi bina

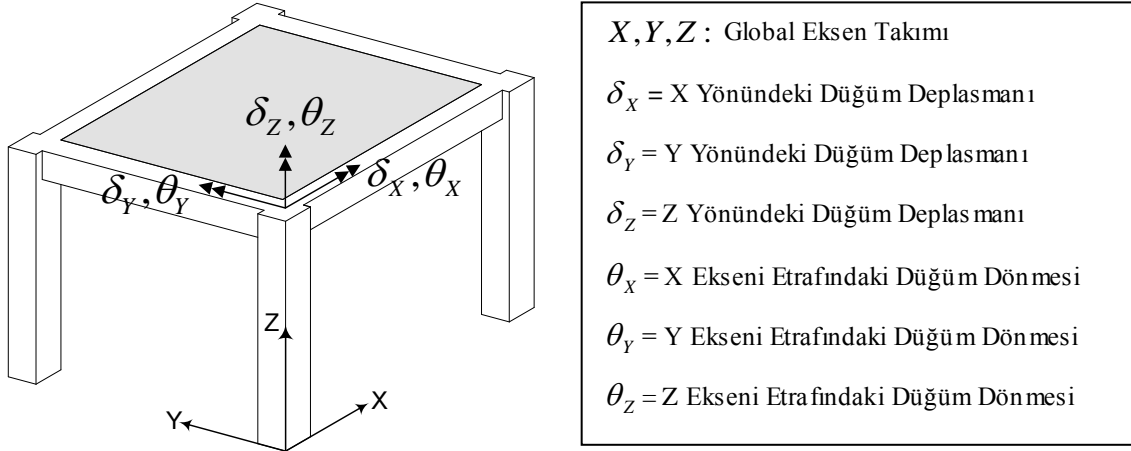
modeline analitik olarak işlenememektedir. Bu nedenle bina ile merdiven bir bütün olarak modellenememektedir.

**Malzeme:** Malzeme olarak beton ve donatı çeliği tanımlıdır. Farklı bir yapı malzemesi tanımlanmak istenildiğinde, gerekli bilgilerin tamamının verilmesi gerekmemektedir. Beton ve donatı çeliği dışında tanımlanmış malzemelerin taşıyıcı eleman olarak modellenmesi durumunda, sadece eleman iç kuvvetleri hesaplanabilmekte, boyutlandırma ve çizim yapılamamaktadır.

**Yükler:** Düzgün yayılı, trapez, üçgen, kısmi yayılı ve tekil yük tanımlanabilmektedir. Ayrıca kolon üst düğüm noktalarında, düğüm serbestlik derecesi sayısı kadar düğüm yükü tanımlanabilmektedir. Yükler sabit, hareketli, deprem, rüzgâr, toprak itkisi olarak gruplandırılabilir. Sıcaklık etkisine bağlı yükleme ve mesnet çökmesi mevcut değildir.

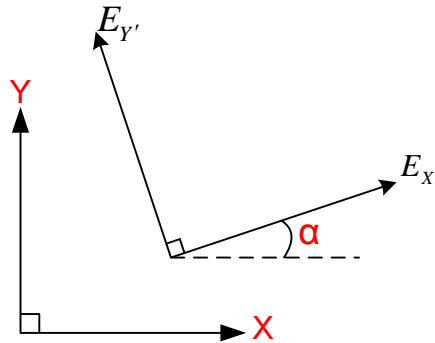
**Mesnet Şartları:** Mesnetlenme sadece kolon alt ucunda yapılabilmektedir. Mesnet düğümlerinde istenilen serbestlik bırakılıp, istenilen serbestlikler tutulabilmektedir. Ayrıca serbest bırakılan yönlerde yay katsayıları tanımlanabilmektedir.

**Analiz Şekli:** Kolon, kiriş ve perdelerden oluşan taşıyıcı sistem aynı anda sonlu elemanlar metoduna göre analiz edilebilmektedir. Kullanıcı tercihinin bağlı olarak, kaset ve nervür döşemeler taşıyıcı sisteme dâhil edilebilmekte ve kolon, kiriş ve perdelerle birlikte sonlu elemanlar analizi yapılabilmektedir. Ancak plak döşemeler taşıyıcı sisteme yük ve diyafram olarak dâhil edilebilmektedir. Her düğümde altı deplasman varsayılmaktadır (Şekil 2.1). İsteğe bağlı olarak kat seviyesinde kısmi ya da tek rijit diyafram kabulü yapılabilmektedir. Ayrıca rijit diyafram özelliği ihmal edilebilmektedir.



Şekil 2.1 Düğüm noktası deplasmanları

**Deprem hesabı:** Deprem hesapları eşdeğer deprem yükü ve mod birleştirme yöntemine göre yapılabilmektedir. Zaman tanım alanında hesap yöntemi ile deprem hesabı yapılmamaktadır. Bununla beraber, kullanıcı tanımlı yatay yük etki ettirilebilir. Kullanıcı tanımlı bu yükler isteğe bağlı olarak kolon düğüm noktalarına veya kat kütle merkezlerine uygulanabilir. Kullanıcı tanımlı yatay yükler sabit, hareketli, deprem ve rüzgâr yükü, zemin itkisi olarak etki ettirilebilir. Planda açılı olarak deprem kuvveti etki ettirilebilmektedir.  $X'$  yönü deprem kuvveti  $X$  eksenine  $\alpha$  açısı yapacak şekilde tanımlanabilmektedir (Şekil 2.2).  $Y'$  yönü deprem kuvveti  $X'$  yönündeki deprem kuvvetine dik olmak zorundadır.  $X'$  ve  $Y'$  yönleri arasındaki açı  $90^\circ$  den farklı tanımlanamaz.



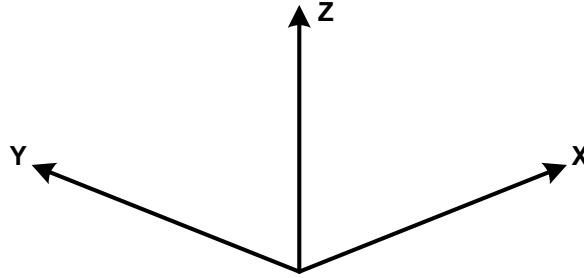
Şekil 2.2 Açılı deprem kuvveti

**Betonarme hesap:** Betonarme hesaplar taşıma gücü ilkesine göre yapılmaktadır. TS 500-2000 ve TDY 2007 dikkate alınmaktadır.

**Çıktılar:** Kullanıcı tercihine bağlı olarak bütün çizim, metraj ve hesap raporları alınabilmektedir.

**Global ve lokal eksen takımları:** Y-Pro da X, Y, Z kartezyen koordinat sistemini kullanmaktadır ve bu koordinat sistemine hiçbir şekilde müdahale edilememektedir (Şekil 2.3). Yapı, planda X-Y düzleminde, Z daima düşey eksenidir.

Lokal eksen takımı yönleri bütün elemanlar için 1, 2, 3 olarak adlandırılmaktadır.



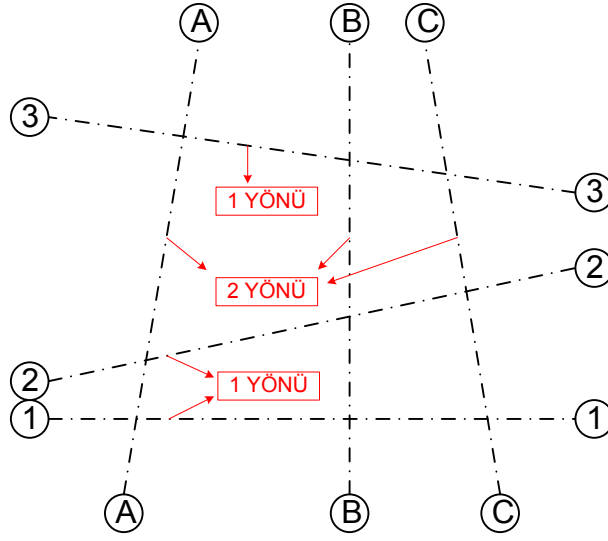
Şekil 2.3 Global eksen takımı

## 2.1 Y-Pro Yazılımı Yapısal Eleman Modelleri

### 2.1.1 Akslar

Yazılımda akslar aplikasyonun temel unsurudur. Elemanlar akslar vasıtasıyla tanımlanır, eğik düzlemler ve döşeme boşlukları akslara göre düzenlenir. Statik hesaplarda elemanların akslara oturuş şekli göz önüne alınır. Akslar kendi içinde 1 ve 2 yön koduna sahiptir. Y-Pro, global X eksenine en yakın açığa sahip aksları 1 yönü, bu aksları kesen aksları ise 2 yönü aksları olarak tanımlanması konusunda kullanıcıyı uarmaktadır. Yazılım yatayla  $45^0$  den fazla açı yapan aksları 2 yönü aksı olarak tanımlamaktadır. Kullanıcı bu tanımları değiştirip 1 yönü aksını 2, 2 yönü aksını da 1 yönü olarak düzenleyebilmektedir.

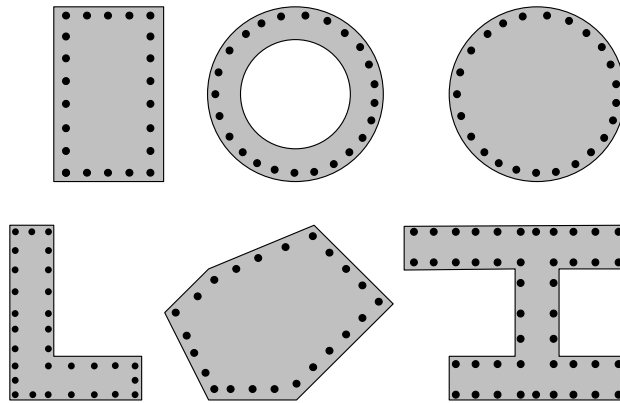




Şekil 2.4 Aks yönleri

### 2.1.2 Kolon eleman modeli

Y-Pro da kolonlar analitik model olarak 12 adet serbestlik derecesine sahip çubuk eleman olarak modellenmektedir. Kesitler farklı geometride olabilmektedir (Şekil 2.5).



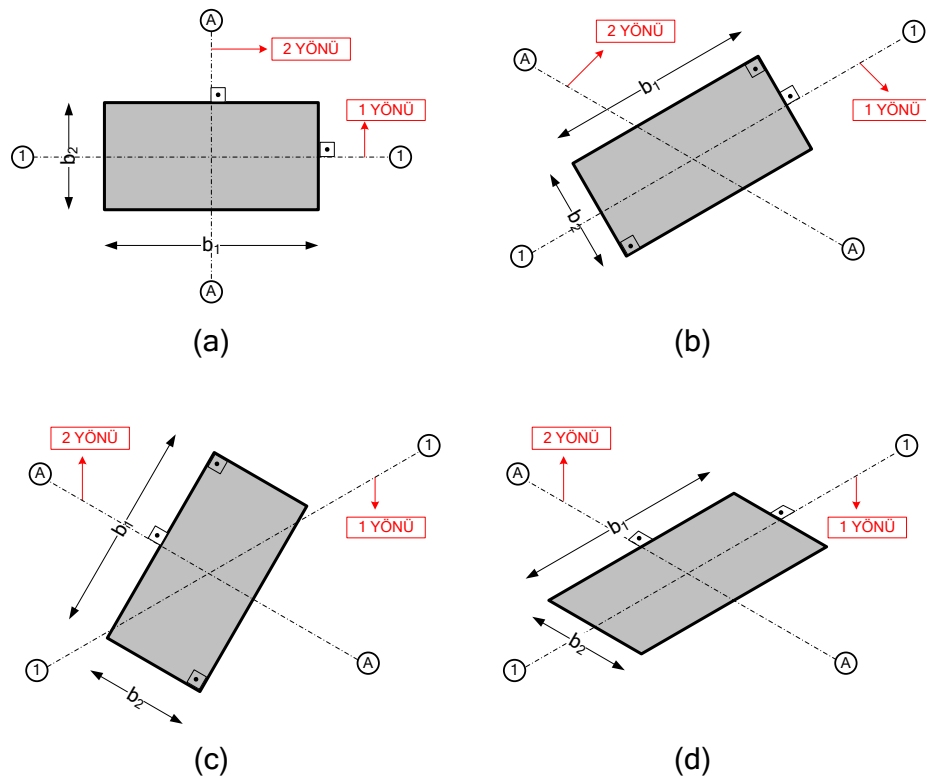
Şekil 2.5 Tanımlanabilen kolon kesitleri

Düşey eksen boyunca değişken kesitli kolon tanımlanamamaktadır. Kirişsiz

döşemelerde kolon tablası tanımlanabilmektedir. Yapı düşey düzleminde eğik kolon tanımlanabilmektedir.

### 2.1.2.1 Kolon yönleri

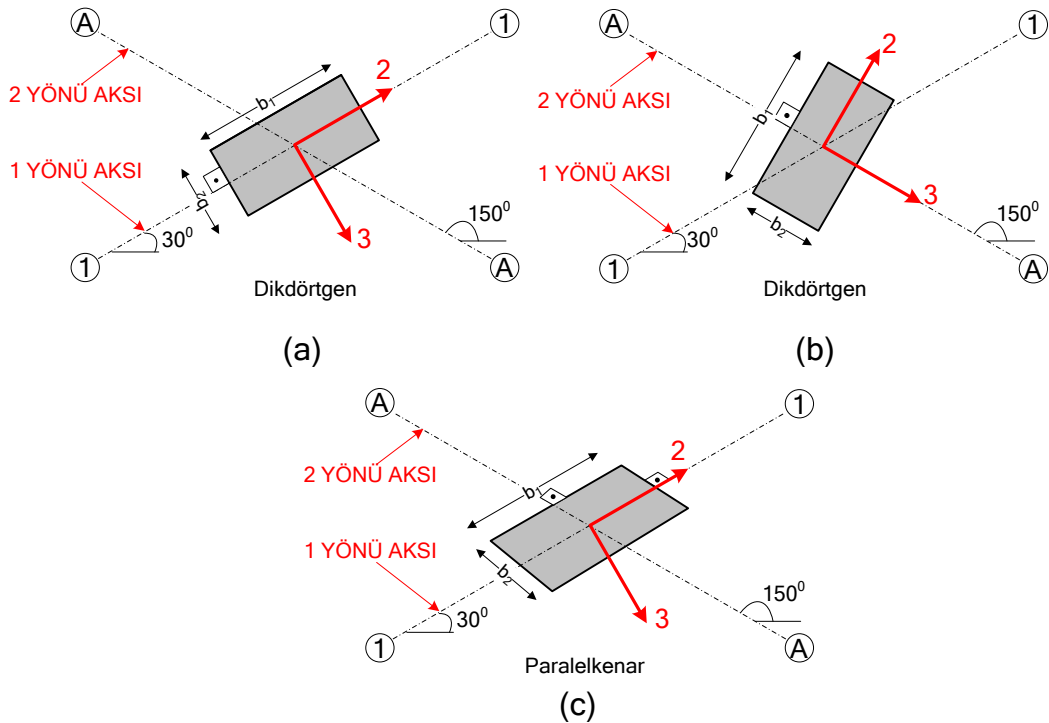
Kolonlar 1 ve 2 yönü akslarının kesişiminde tanımlanır. Kolonun 1 yönü aksındaki boyutu  $b_1$ , 2 yönü aksındaki boyutu ise  $b_2$  dir (Şekil 2.6 a). Yazılım kolonları akslarda olduğu gibi yön kodlarıyla yerleştirmektedir. Kolon yönleri 1 yönü, 2 yönü ve  $\frac{1}{2}$  yönü olmak üzere üç adettir. Kolon yönünün 1 olması durumunda  $b_1$  boyutu 1 yönü aksına paralel,  $b_2$  boyutu ise  $b_1$  boyutuna diktir (Şekil 2.6 b). Kolon yönü 2 olması durumunda ise  $b_2$  boyutu 2 yönü aksına paralel,  $b_1$  boyutu da  $b_2$  ye dik olarak yerleştirilir (Şekil 2.6 c). Kolon yönü  $\frac{1}{2}$  olarak tanımlanırsa,  $b_1$  boyutu 1 yönü aksına,  $b_2$  boyutu da 2 yönü aksına paralel olarak yerleştirilir (Şekil 2.6 d).



Şekil 2.6 Kolon yönleri

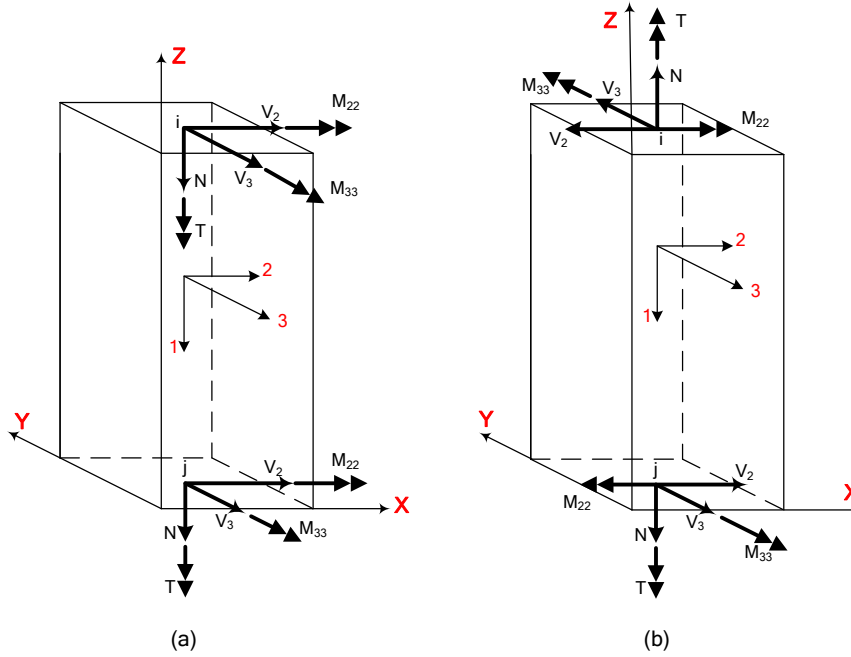
### 2.1.2.2 Kolon lokal eksenleri ve pozitif yön kabulü

Y-Pro kolonların analitik çözümlerini çubuk eleman olarak yapmaktadır. Kolon 'i' ucu daima üst kotta, 'j' ucu ise alt kotta olarak yerleştirilmektedir. 'i' ve 'j' uçları her zaman aks kesişiminde tanımlıdır. Lokal eksen orijini 'i' ucundadır. 1 nolu lokal eksen 'i' ucundan 'j' ucuna doğru (yukarıdan aşağı doğru) yönelir. 2 ve 3 nolu lokal eksenler ise kolon yönlerine göre yerleştirilmektedir. Şekil 2.7 de aynı kolonun aynı akslar üzerinde 3 farklı şekilde tanımlanması gösterilmektedir. Kolon 1 yönü kolonu olarak tanımlanır ise 2 lokal eksen 1 yönü aksı doğrultusuna paralel olarak yerleştirilmektedir (Şekil 2.7 a). Eğer kolon 2 yönü olarak tanımlanırsa, 3 lokal eksen 2 yönü aksı doğrultusuna paralel olarak yerleştirilmektedir (Şekil 2.7 b). Kolonun  $\frac{1}{2}$  yönü olarak tanımlanması durumunda ise 2 lokal eksen 1 yönü aksına paralel, 3 lokal eksen de 2 lokal eksenine dik olarak yerleştirilmektedir.



Şekil 2.7 a) 1 yönü aksında tanımlanmış kolon, b) 2 yönü aksında tanımlanmış kolon, c)  $\frac{1}{2}$  yönü aksında tanımlanmış kolon

Y-Pro, kolon elemanın teorik pozitif iç kuvvet yönlerini hesap ve çıktıları için iki farklı şekilde sunmaktadır. Hesaplarda Şekil 2.8 a daki, çıktılarıda Şekil 2.8 b deki işaret kuralı kullanılmaktadır.



Şekil 2.8 a) Hesap teorik pozitif yönleri, b) Çıktı teorik pozitif yön kabulleri

### **2.1.2.3 Kolon malzeme bilgileri**

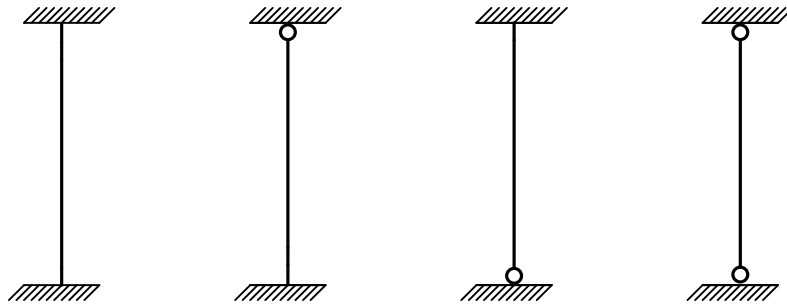
Kolon elemanlar için yapı malzemesi olarak beton ve donatı çeliği tanımlıdır. Buna karşın farklı malzeme tanımlama imkânı da sunulmaktadır. Beton dışında farklı bir malzeme kabulü yapıldığı durumda (çelik, ahşap, alüminyum, vs.), sadece eleman iç kuvvetleri bulunabilmekte, fakat kesit boyutlandırması yapılamamaktadır. Yeni malzeme tanımlanması halinde, sadece elastisite modülüne (E) ait değer girilmekte, poisson oranı ( $\mu$ ) veya kayma modülü (G) tanımlanmamaktadır. Yeni bir malzeme tanımlanması durumunda poisson oranı her zaman 0.2 alınmaktadır.

#### **2.1.2.4 Mesnet şartları**

Kolonlar sadece ‘j’ ucundan mesnetlenmektedir. Mesnet şartları kullanıcı modellemesine bağlı olarak değiştirilebilir. Mesnet düğümünde 6 serbestlik derecesinden biri veya birçoğu serbest bırakılıp, tutulabilir. Serbest bırakılan yönlerde yay katsayısı tanımlanabilir.

#### **2.1.2.5 Mafsal tipleri**

Y-Pro da kolon elemanlarda, ‘i’ ve ‘j’ uçlarında moment mafsalı tanımlanabilir (Şekil 2.9). Tanımlanan moment mafsalları her iki yöndeki eğilme için de geçerli olmaktadır. Bir yön mafsalı, diğer yön ise mafsalsız olarak kolon modellenememektedir.



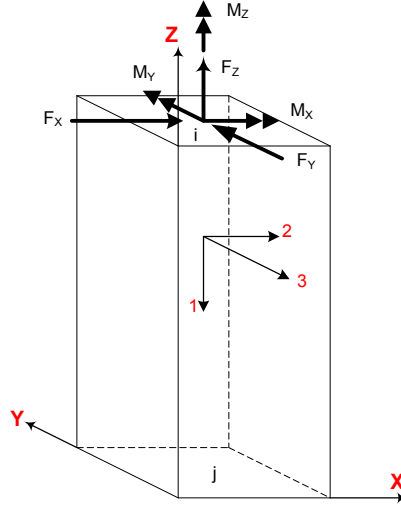
**Şekil 2.9 Moment mafsalı tipleri**

Diğer mafsal tipleri (kesme, aksenal yük ve burulma mafsalları) ise modellenememektedir.

#### **2.1.2.6 Yükler**

Kolonun ‘i’ noktasına 6 serbestlik derecesinden herhangi biri veya birçoğu doğrultusunda düğüm yükü tanımlanabilir. Düğüm yükü pozitif yönü global eksen

yönüdür. Şekil 2.10 da kolon düğüm noktası yüklerinin pozitif yönleri verilmiştir.

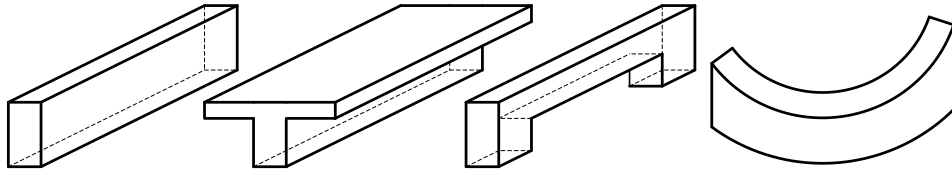


Şekil 2.10 Düğüm noktası dış yük pozitif yönleri

Şekilde görüldüğü gibi düğüm noktalarının eksen takımları eleman lokal eksen takımlarından bağımsızdır. Düğüm noktalarının eksen takımı global eksen takımıdır.

### 2.1.3 Kiriş Eleman Modeli

Kiriş elemanlar 12 adet serbestlik derecesine sahip çubuk eleman olarak modellenmektedir. Kesit eleman uzunluğu boyunca dikdörtgendir. Kirişlere oturan bir döküm döşemeler bulunması durumunda kiriş betonarme hesapları tablalı veya tablasız olarak yapılabilmektedir. Döşeme ile bağlantısız kirişlerde ise tablalı kiriş analizi yapılamamaktadır. Planda yay kiriş tanımlanabilir. Sabit kesitli guse modellenenilmekte, fakat lineer veya parabolik değişken kesitli guseler modellenememektedir. 'i' ve 'j' uçları farklı kotlara oturan kirişler tanımlanabilir. Şekil 2.11 de Y-Pro da modellenenilen kirişler gösterilmektedir.

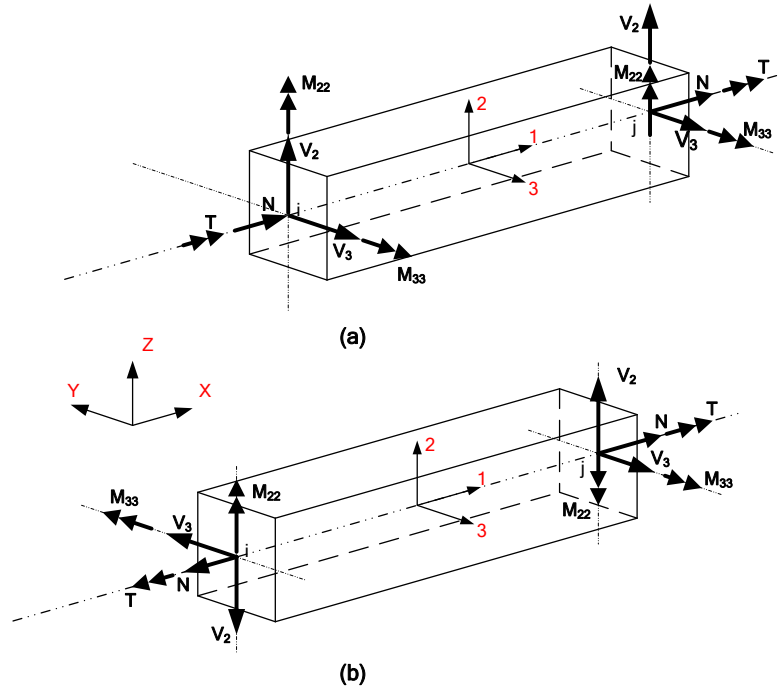


Şekil 2.11 Kiriş modelleri

### **2.1.3.1 Kiriş lokal eksenleri ve pozitif yön kabulü**

Kiriş elemanların uç noktaları, global X eksenini doğrultusunda tanımlanan kirişlerde sol 'i', sağ ise 'j' ucudur. Global Y eksenini doğrultusunda tanımlanan kirişlerde de sol uç 'i', sağ 'j' ucudur. Bu yön kuralı değiştirilemez. Lokal eksen orijini 'i' ucu ile çakışır. 1 nolu lokal eksen 'i' ucundan 'j' ucuna doğru yönelir.

Y-Pro kiriş elemanların pozitif iç kuvvet yönlerini hesap ve çıktılar için iki farklı şekilde sunmaktadır. Şekil 2.12 de kiriş lokal eksenleri ve pozitif iç kuvvet yönleri hesap ve çıktılar için ayrı ayrı verilmiştir.



Şekil 2.12 a) Hesap pozitif iç kuvvet yönleri, b) Çıktı pozitif iç kuvvet yönleri

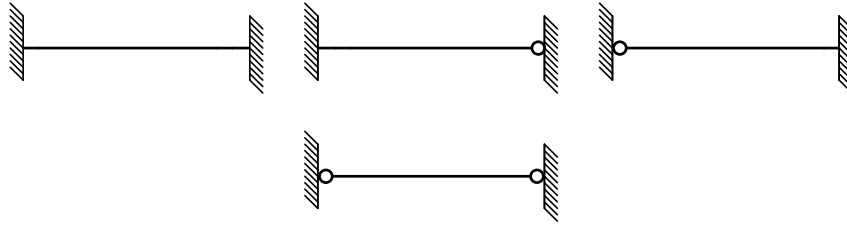
### 2.1.3.2 Kiriş malzeme bilgileri

Kiriş elemanlarda malzeme tanımı kolonlarda kullanılan malzeme tanımlarıyla aynıdır. Beton ve yapı çeliğinin birlikte kullanıldığı betonarme dışında, farklı malzeme de tanımlanabilir. Farklı malzemeler için sadece elastisite modülü tanımlanır. Bu tür malzemelerle yapılan analizlerde sadece kiriş iç kuvvetleri bulunmakta, boyutlandırma yapılamamaktadır.

### 2.1.3.3 Mafsal bilgileri

Kiriş elemanların 'i' ve 'j' uçlarında sadece  $M_{33}$  moment mafsalı tanımlanabilir.  $M_{22}$  moment mafsalı, eksenel yük, kesme ve burulma mafsalı tanımlanamaz.



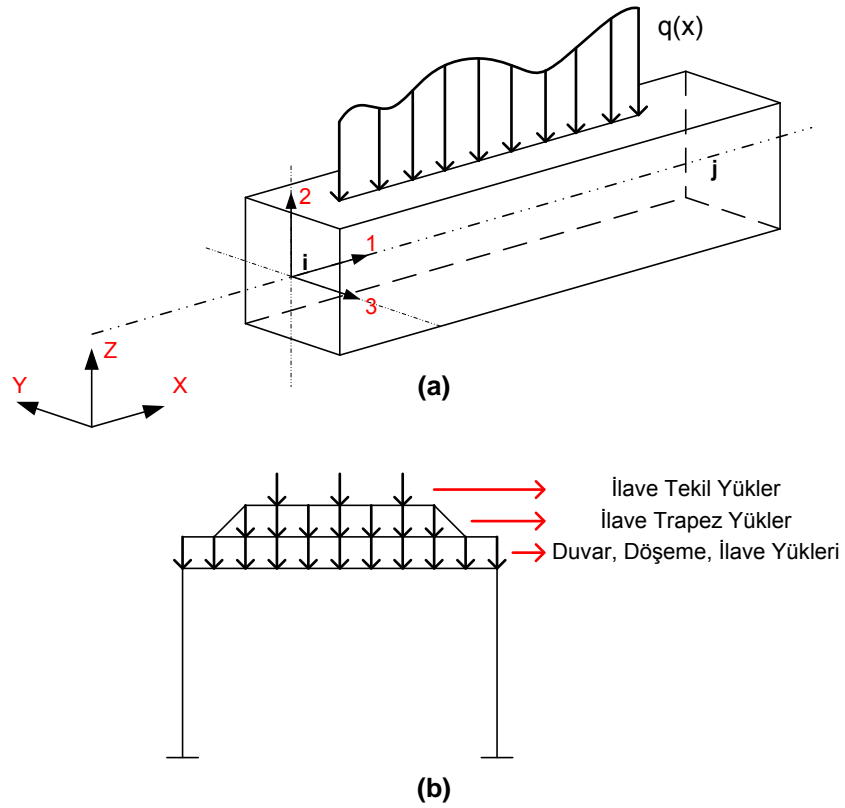


**Şekil 2.13 Kiriş mafsal tipleri**

Mafsallaşma miktarı veya oranı tanımlanamamaktadır. Kesit ya tam ankastre ya da tam mafsallı olarak modellenenmektedir.

#### **2.1.3.4 Kiriş yükleri**

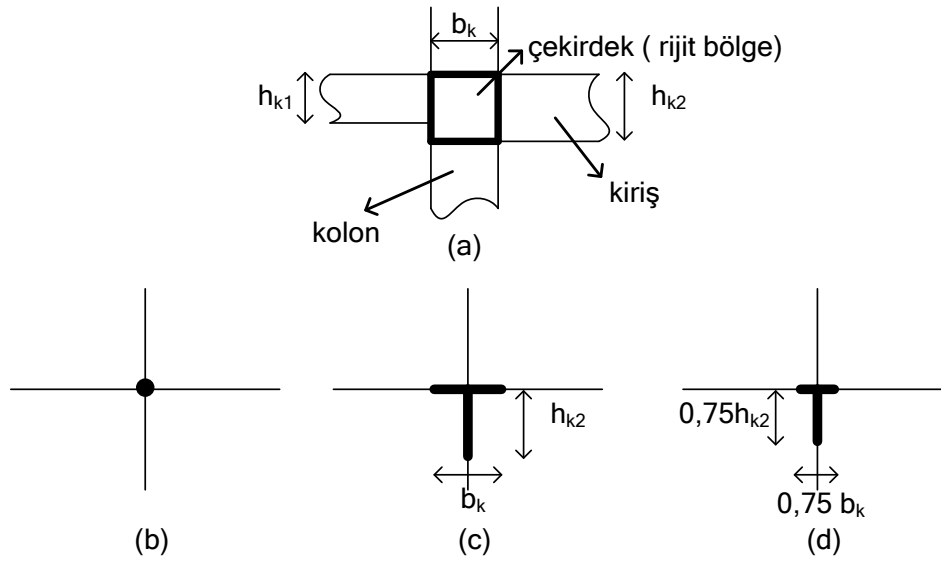
Kiriş yükleri 1–2 lokal eksen düzleminde, 1–3 lokal eksen düzleminde yük tanımlanamamaktadır. Yükler; döşeme, duvar yükleri ve kullanıcı tanımlı olarak, düzgün yayılı, noktasal, trapez, kısmi yayılı yükler şeklinde ayrı ayrı veya birlikte etkitilebilir. Tekil veya düzgün yayılı eğilme ve burulma momentleri ve sıcaklık etkisi tanımlanamamaktadır. İlave zati ve hareketli yükler, duvar ve döşeme yükleri kiriş aks açıklığı boyunca tanımlanmaktadır. Şekil 2.14 de lokal koordinat takımına bağlı yük uygulama yönü ve tanımlanabilen kiriş yükleri verilmiştir.



Şekil 2.14 a) Kiriş yük uygulama yönü, b) Tanımlanabilen kiriş yükleri

#### 2.1.4 Rijit bölge varsayımı

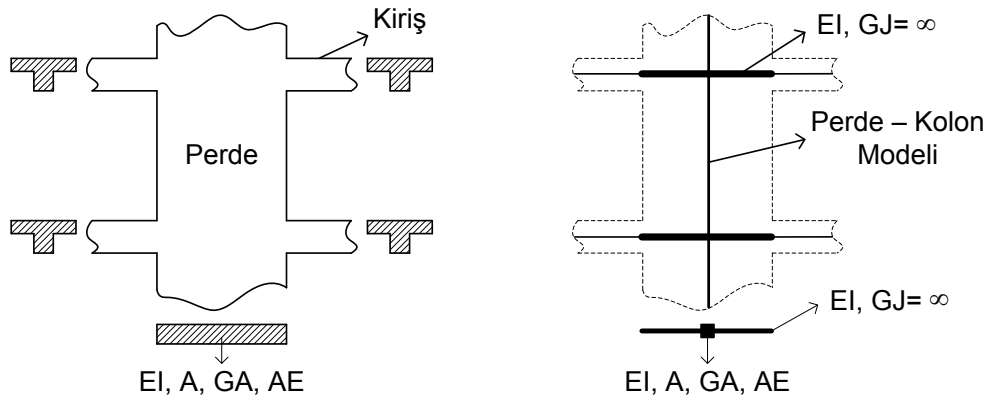
Y-Pro kolon kiriş birleşim noktalarında kullanılan rijit bölge kabulünü kullanıcı tercihine bırakmaktadır. Düğüm noktalarında rijit bölgenin olmadığı kabulü yapılabilir. Rijit bölge varsayımı yapılması durumunda kolon kiriş birleşimi içinde kalan tüm bölgenin sonsuz rijit davrandığı varsayımına göre model oluşturulur. Rijit bölge kabulünde diğer bir alternatif ise rijit bölgenin %25 azaltılmasıdır. Şekil 2.15 de rijit bölge kabulleri gösterilmiştir.



**Şekil 2.15 a) Kolon-kiriş birleşimi geometrik modeli, b) Rijit bölge kabulü yapılmamış analitik model, c) Tam rijit bölge kabulü yapılmış analitik model, d) Rijit bölgenin %25 azaltıldığı analitik model**

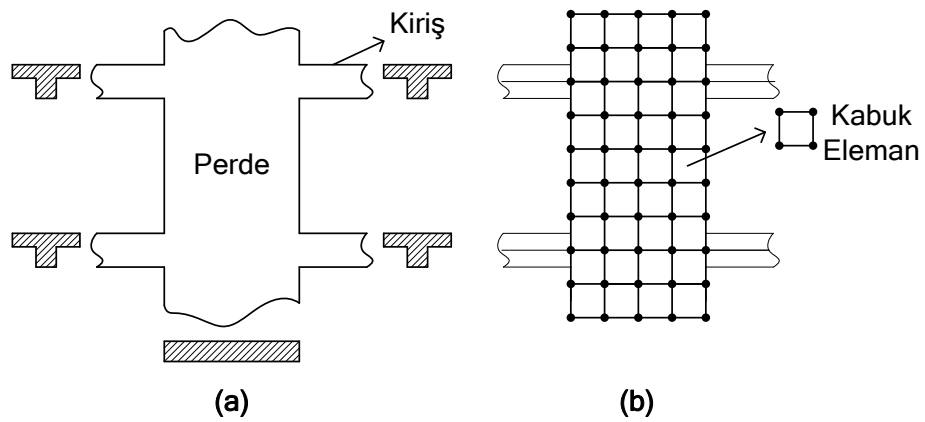
### 2.1.5 Perde Eleman Modeli

Perde elemanlar analitik olarak iki şekilde modellenmektedir. Bunlar kolon ve kabuk modelleridir (Şekil 2.16 ve 2.17). Modellerden hangisinin kullanılacağı kullanıcıya bırakılmıştır. Perde elemanlar kolon modeli olarak analiz edilmek istendiğinde, perde kesit özellikleri çubuk olarak modellenmiş elemana aktarılmakta, çubuk eleman-kiriş bağlantısı perde düşey ekseninden perde-kiriş birleşim düğümüne kadar eğilme ve burulma rijitliği çok büyük çubuk elemanlarla yapılmaktadır.



Şekil 2.16 Perde elemanın kolon olarak modellenmesi

Kabuk eleman modelinde perde, dikdörtgen sonlu kabuk elemanlara bölünmekte ve köşe noktalarından düğümlerle birbirine bağlanmaktadır. Kabuk elemanların boyutlarının seçimi kullanıcıya bırakılmıştır.

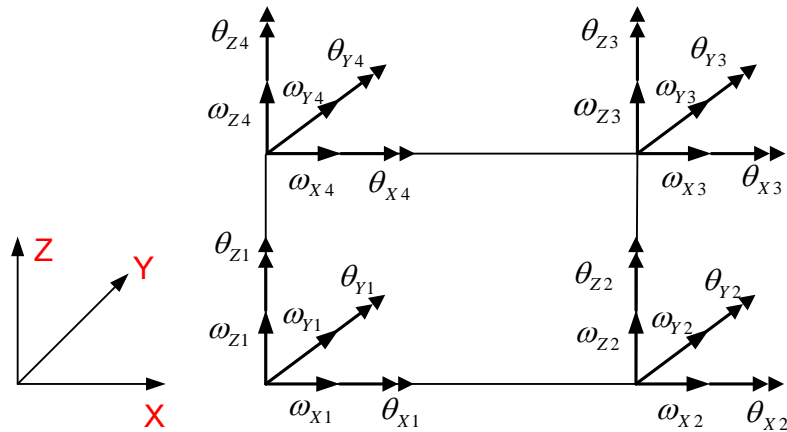


Şekil 2.17 a) Perde geometrik modeli, b) Analitik kabuk modeli

Y-Pro da sadece dikdörtgen kesitli perde elemanlar tanımlanmakta, poligon perde (asansör perdesi, vb.) tanımlanamamaktadır. Poligon formuna sahip perdeler iki veya daha çok perde elemanın düğüm noktalarının birleştirilmesiyle tanımlanabilir. Perde düşey eksenini boyunca lineer değişken kesit tanımlanabilir.

### **2.1.5.1 Perde lokal eksenleri ve işaret kabulü**

Perde elemanlarda kolon modeli kullanıldığı takdirde hesap ve çıktı işaret kuralı kolon elemanlarda olduğu gibidir (Şekil 2.8). Kabuk eleman kullanılması durumunda kabuk eleman işaret kuralları geçerli olacaktır. Kabuk elemanlarda iç kuvvet (çekme-basınç, kesme kuvvetleri, momentler ve gerilmeler) işaret kabulleri yerine deplasman ve dönmelerin işaret kabulleri sunulmaktadır. Şekil 2.18 de kabuk eleman deplasman ve dönmelerine ait pozitif yön kabulleri verilmiştir.



**Şekil 2.18 Kabuk elemana ait deplasmanların pozitif yönleri**

İç kuvvetlerin işaret kabulleri sunulmadığı için bu kabuller Bölüm 3.4.4 de araştırılmış ve çıkan sonuçlar sunulmuştur.

### **2.1.5.2 Malzeme bilgileri**

Perde elemanlarda yapı malzemesi olarak beton ve yapı çeliği tanımlıdır. Kolon ve kiriş elemanlardan farklı olarak perde gövdelerinde hasır çelik kullanılabilir. Perde elemanlarda, kolon ve kirişlerde olduğu gibi, farklı malzeme tanımlanabilir. Farklı malzemeler ile yapılan analizde iç kuvvetler sunulmakta fakat herhangi bir boyutlandırma yapılamamaktadır.

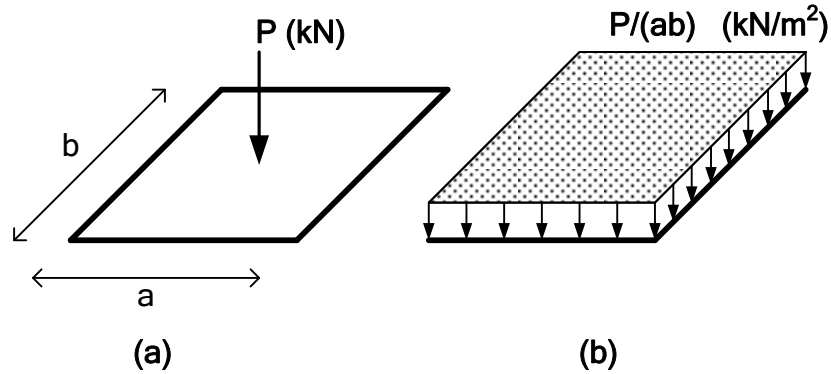


### 2.1.6 Döşeme Eleman Modeli

Y-Pro da döşemeler üçgen, dörtgen veya çokgen geometriye sahip, kirişli, kirişsiz, dişli, asmolen veya kaset döşeme olarak modellenebilir. Eğimli plak veya köşe düğümleri farklı kotlarda plak modellenebilmektedir. Düşük döşemeler tanımlanabilmektedir. Döşeme tipi kullanıcı veya yazılım tarafından belirlenebilmektedir.

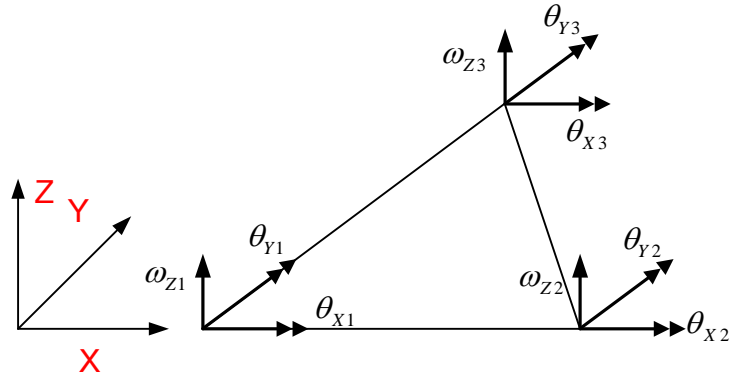
Döşeme statik hesapları TS500–2000 moment katsayıları yöntemi veya sonlu elemanlar metodu ile yapılabilir. Bu yöntemlerden hangisinin tercih edileceği kullanıcıya bırakılmıştır.

Döşemelere düzgün yayılı alansal, düzgün yayılı çizgisel yükler ve tekil yük tanımlanabilmektedir. Tekil veya düzgün yayılı moment tanımlanamaz. TS500–2000 moment katsayıları yönteminin kullanılması durumunda kullanıcı tanımlı çizgisel, tekil yükler ve alansal yayılı yükler, yüklendikleri döşemenin yüzey alanına bölünerek düzgün yayılı yüke dönüştürülmektedir (Şekil 2.20).



Şekil 2.20 Tekil yüklerin dönüştürülmesi, a) Tekil yükle yüklenmiş döşeme, b) Tekil yükün döşeme alanına dağıtılması

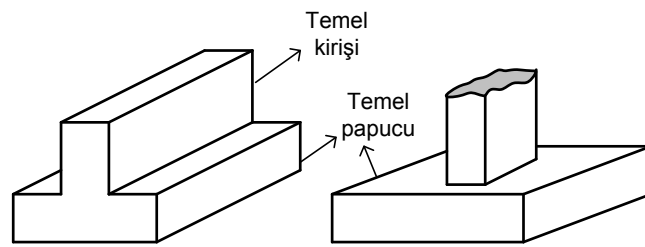
Sonlu elemanlar metodu kullanılması durumunda yükler dönüştürülmeden, olduğu gibi hesaplara dâhil edilmektedir. Bu metodun kullanılması halinde yazılım, döşemeleri üçgensel plak elemanlara bölmektedir. Yazılım sunumunda plak elemana ait deplasman ve dönmeleri sunmakta (şekil 2.21), iç kuvvet ve gerilmeleri ise sunmamaktadır.



Şekil 2.21 Plak elemanlara ait deplasman ve dönmelerin pozitif yönleri

### 2.1.7 Temel Modeli

Y-Pro da yüzeysel ve derin temeller modellenebilir. Derin temel olarak sadece kazık temel tanımlanmaktadır. Yüzeysel temelerde ise tekil, sürekli, kirişli ve kirişsiz radye temeller modellenebilir. Tekil ve sürekli temeller farklı kotlarda tanımlanabilir. Bitişik nizamlı yapılarda temel kirişlerinin veya kolonların pabuçlara eksantrik olarak oturduğu temel elemanlar modellenemez.



Şekil 2.22 Sürekli ve tekil temel için ampatman tipi

Y-Pro da bağ kirişi tanımlanamaz. Bağ kirişlerinin çizim ve detayları yardımcı bir çizim yazılımı ile proje üzerinde kullanıcı tarafından ayrıca gösterilmek zorundadır.



## BÖLÜM 3

### İRDELEME

#### 3.1 Malzeme ve Kesit Varsayımlarının İrdelenmesi

##### 3.1.1 Malzeme varsayımlarının irdelenmesi

Y-Pro da yapı malzemesi olarak beton ve donatı çeliği tanımlıdır. Ayrıca kullanıcı kolon, kiriş ve perde elemanlar için farklı yapı malzemesi (çelik, ahşap, vb.) tanımlayabilir. Tanımlanacak yeni malzeme için sadece malzemeye ait elastisite modülü istenmektedir. Poisson oranı ise her zaman 0.20 alınmaktadır. Örneğin yapı çeliği tanımlanması durumunda çeliğin Poisson oranı 0.3 iken 0.2 alınmaktadır. Döşeme elemanı için ise beton ve donatı çeliği dışında farklı yapı malzemesi tanımlanamaz. Betonla ilgili malzeme varsayımları aşağıda verilmiştir.

**Beton birim ağırlığı:** Beton birim ağırlığı olarak  $25 \text{ kN/m}^3$  tanımlıdır. İstenildiği takdirde bu değer değiştirilebilmekte, hatta sıfır alınabilmektedir.

**Beton sınıfı:** Taşıyıcı elemanlar için C10 ile C50 arasındaki beton sınıfları tanımlanmıştır. Kullanıcı, mevcut beton sınıflarının dışında ara değerlerdeki beton sınıflarını (C23, C38 gibi) veya C50'den büyük beton sınıflarını tanımlayabilmektedir. TDY. 2007'nin beton dayanımıyla ilgili maddelerinde şu hususlara değinilmektedir:

*TDY. 2007 Madde 3.2.5.1*

*...Deprem bölgelerinde yapılacak tüm betonarme binalarda C20'den daha düşük dayanımlı beton kullanılamaz...*

*TDY. 2007 Madde 3.1.4*

*...Beton dayanımının C50'den daha yüksek olduğu betonarme binalar ile taşıyıcı sistem elemanlarında donatı olarak çelik profillerin kullanıldığı binalar bu bölümün kapsamı dışındadır...*

Y-Pro bu kapsam dışındaki beton sınıfları için de betonarme hesap yapmaktadır. C20'den daha düşük dayanımlı beton sınıfı için analiz yapılmak istendiğinde yazılım herhangi bir uyarı vermeden analiz yapmaktadır. C50 den yüksek dayanımlı betonlar ve C8, C33, C80 gibi standart dışı değerler için uyarı verilmemektedir.

**Karakteristik basınç dayanımı ( $f_{ck}$ ):** Y-Pro karakteristik basınç değerlerini TS500–2000 den almaktadır. Betonarme hesaplarda karakteristik basınç dayanımının sayısal değeri kullanılmaktadır. Beton sınıfındaki değer hesaplarda göz önüne alınmamaktadır. Tanımlanmış değerler değiştirilebilmekte ve farklı değerler girilebilmektedir. Yazılımın sunduğu  $f_{ck}$  değerinin değiştirilip farklı bir değerle analiz yapılması durumunda yazılım uyarı vermemektedir. Fakat beton sınıfına karşılık gelen  $f_{ck}$  değerinin kontrolü raporlardan yapılabilmektedir.

Y-Pro taşıma gücü ilkesine göre betonarme hesap yapmaktadır. Hesap yöntemi eşdeğer basınç bloğudur. Bu nedenle beton sınıfları ve karakteristik basınç dayanımlarıyla birlikte  $k_1$  katsayıları da sunulmaktadır.  $k_1$  katsayılarının TS 500-2000 den alınmıştır. C16 dan düşük beton sınıfları için verilen  $k_1$  katsayısının nereden alındığı veya nasıl hesaplandığı konusunda bir bilgi sunulmamaktadır. Ara değerler ve C50 den büyük değerler için  $k_1$  katsayısının kullanıcı tarafından tanımlanması gerekmektedir.

**Karakteristik çekme dayanımı ( $f_{ctk}$ ):** Yazılım karakteristik çekme dayanımını TS500–2000 deki  $f_{ctk} = 0.35\sqrt{f_{ck}}$  bağıntısı ile hesaplamaktadır. Bu değere müdahale edilememektedir. Karakteristik çekme dayanımı çıktılarda rapor edilmektedir.

**Malzeme katsayısı ( $\gamma_{mc}$ ):** Y-Pro da malzeme katsayısının değer aralığı belirtilmemiştir. Kullanıcı birden büyük herhangi bir değer, örneğin 2 girilebilmektedir.

**Elastisite modülü ( $E_c$ ):** C10 ile C50 arası bütün beton sınıflarının Elastisite modülleri yazılımda tanımlıdır. Elastisite modülüne ait değerler TS500–2000 deki  $E_c = 3250\sqrt{f_{ck}} + 14000 N/mm^2$  bağıntısı ile hesaplanmaktadır. Kullanıcı isterse mevcut beton sınıflarının elastisite modüllerini değiştirebilmektedir.

**Poisson oranı ( $\mu_c$ ):** Y-Pro da Poisson oranı 0.2 olarak alınmıştır. Kullanıcı bu değere müdahale edememektedir.

**Kayma modülü (G):** Kayma modülünü elastisite modülü ve Poisson oranına bağlı

olarak  $G_c = \frac{E_c}{2(1 + \mu_c)}$  bağıntısından hesaplamaktadır.

Y-Pro da donatı çeliği olarak S220, S400, S420, S500 ve S500Q150 sınıfları tanımlıdır. ‘a’ veya ‘b’ hadde sınıfı olarak bir tanımlama yapılmamıştır. Elastisite modülü, TS500–2000 de tanımlı  $200000 \text{ N/mm}^2$  olarak tanımlıdır. Karakteristik çekme dayanımı ( $f_{yk}$ ), TS500–2000 den alınmıştır. Malzeme katsayısı ( $\gamma_{ms}$ ) 1.15 tir. Kullanıcı, isterse, tanımlanmış olan elastisite modülünü, karakteristik akma dayanımını ve malzeme katsayısını değiştirebilmektedir. Yazılım kolon, kiriş ve perdelerde boyuna donatılar için S220 veya S500 sınıfı donatı çeliğinin seçilmesi durumunda uyarı verilmeksizin analiz yapmaktadır. TDY 2007 nin donatı çeliği seçimiyle ilgili maddesinde bu duruma müsaade edilmediği açıktır.

*TDY. 2007 madde 3.2.5.3*

*...Etriye ve çiroz donatısı ile döşeme donatısı dışında, nervürsüz donatı çeliği kullanılamaz. Ayrıca 3.2.5.4 te belirtilen elemanlar hariç olmak üzere, betonarme taşıyıcı sistem elemanlarında S420 den daha yüksek dayanımlı donatı çeliği kullanılmayacaktır...*

### 3.1.2 Kesit varsayımlarının irdelenmesi

**Kayma alanı ( $A_{kayma}$ ):** Kayma gerilmelerinin de deformasyonlara katkısı dikkate alınmaktadır. Küçük kesitlerde kayma gerilmelerinden dolayı meydana gelen deformasyonlar çok küçüktür. Fakat kesit boyutları arttıkça kayma deformasyonları önem kazanmaktadır. Bu durum bilhassa perde ve yüksek kirişlerde görülmektedir.

Kayma alanı  $\gamma = \frac{V}{GA_{kayma}}$  bağıntısında kullanılmaktadır. Burada  $A_{kayma} = \frac{5}{6} A_{kesit}$

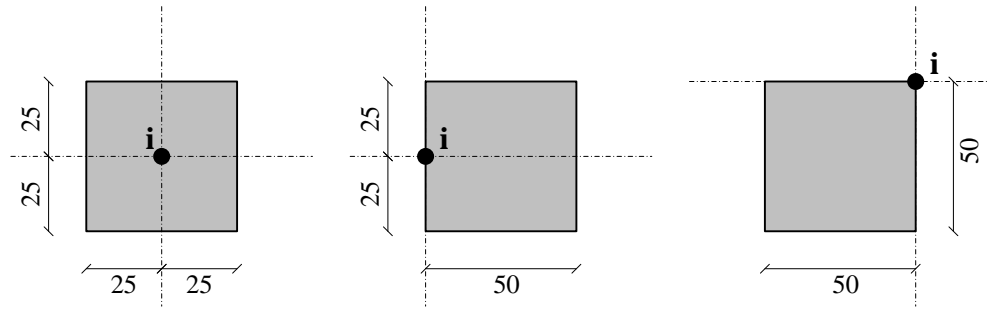
olarak hesaplanmaktadır. Kayma alanı kullanıcı tarafından değiştirilebilmektedir. Yazılım kolon, kiriş ve perdelerin kayma alanını, bütün kesitlerde (daire, I, L, Z kesitler

v.b.) kesit alanının  $5/6$  sı olarak almaktadır.  $5/6$  değeri gerçekte sadece dikdörtgen kesitler için geçerlidir. Dikdörtgen dışında kesit modellenmesi durumunda kullanıcı bu durumu dikkate almalıdır.

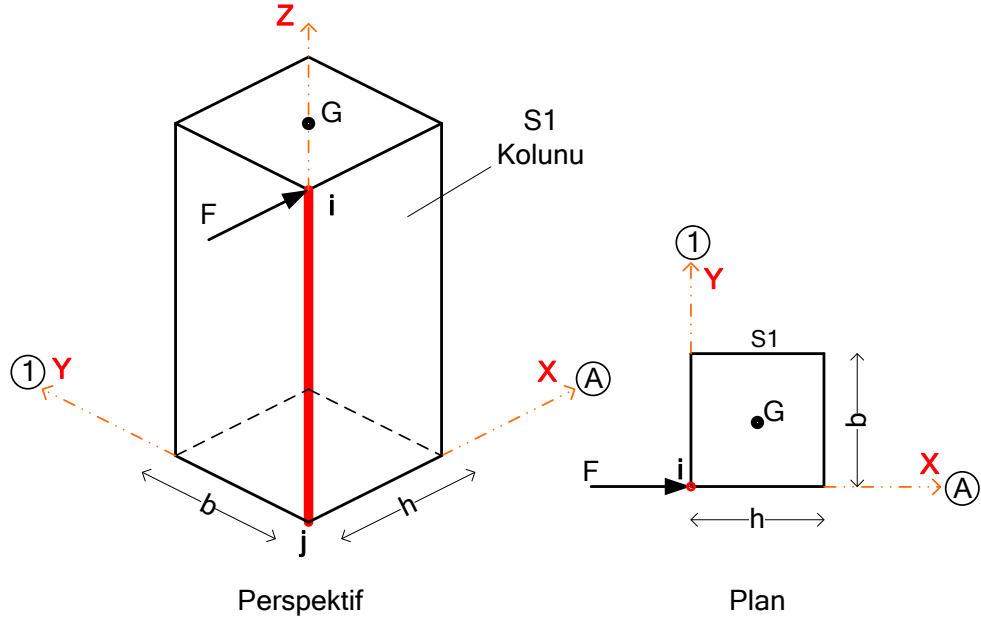
### 3.2 Yük Varsayımları ve Yük Aktarımlarının İrdelenmesi

Y-Pro da sabit-hareketli yük, zemin itkisi, deprem yükü, rüzgâr yükü ve kullanıcı tanımlı yatay yükler tanımlanabilmektedir. Sıcaklık etkisine bağlı yüklem tanımlanamaz. Zemin itkisi, rüzgâr yükü, deprem yükü ve kullanıcı tanımlı yatay yükler, yapıya kat diyafram merkezlerine yüklenerek etki ettirilebilmektedir. Diyafram kabulü yapılmayan yapılarda, yükler kolon ve perdelerin kat düğüm noktalarına etki ettirilmektedir. Deprem yükleri yazılım tarafından hesaplanabildiği gibi kullanıcı tarafından ayrı olarak hesaplanıp kat diyaframlarına veya kolon üst düğüm noktalarına deprem yükü olarak tanımlanabilmektedir.

Kolon ve perde üst düğüm noktalarına ('i' ucu) 6 serbestlik derecesi kadar tekil dış kuvvet etki ettirilebilir. Etki ettirilen bu kuvvetler, sabit-hareketli yük, deprem-rüzgâr yükü, zemin itkisi olarak tanımlanabilmektedir. Kolon, kiriş ve perdelerde 'i' ve 'j' uçları her zaman aks kesişim noktasında tanımlıdır. Kolon akstan kaçık olarak modellenirse bile kolon 'i' ve 'j' uçlarının yeri değişmemektedir (Şekil 3.1).



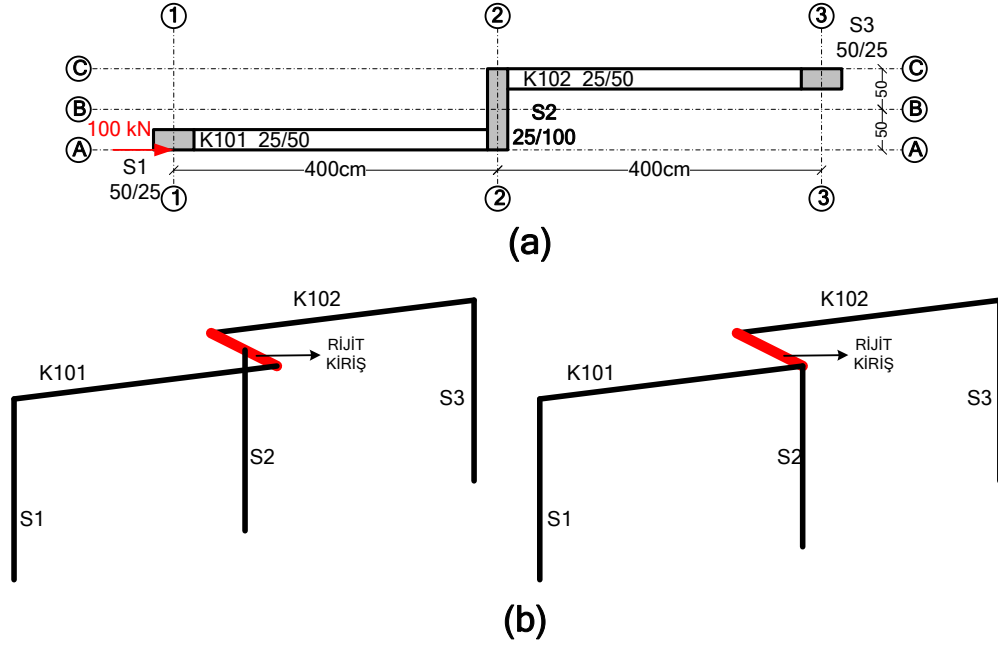
Şekil 3.1 'i' noktasının akstan kaçıklığa göre değişimi



Şekil 3.2 Eksantrik kolonların dış kuvvet etki noktaları

Özellikle analiz sonuçlarının başka bir yazılımla (SAP 2000 vs.) karşılaştırılması halinde bu durum dikkate alınmalıdır. Şekil 3.2 de 1-A aks kesişiminde tanımlı kolon Y-Pro ile analiz edilmiştir. Kolona uygulanan tekil kuvvetlerin her zaman 'i' noktasına etkitildiği (Bkz. Bölüm 2.1.2.6 Yükler) ve kolon 'i' ucunun daima aks kesişiminde bulunduğu (Bkz. Bölüm 2.1.2.2 Kolon lokal eksenleri ve pozitif yön kabulü) dikkate alındığında, S1 kolonunda akstan kaçıklıktan dolayı eğilme momenti ile birlikte burulma momentinin de oluşması beklenmektedir. Fakat yazılım, hesaplarda kolonun 'i' noktasını geometrik merkez gibi görmektedir. Yazılım bu durum için akslardan kaçıklığı hesaplarda dikkate almamaktadır.

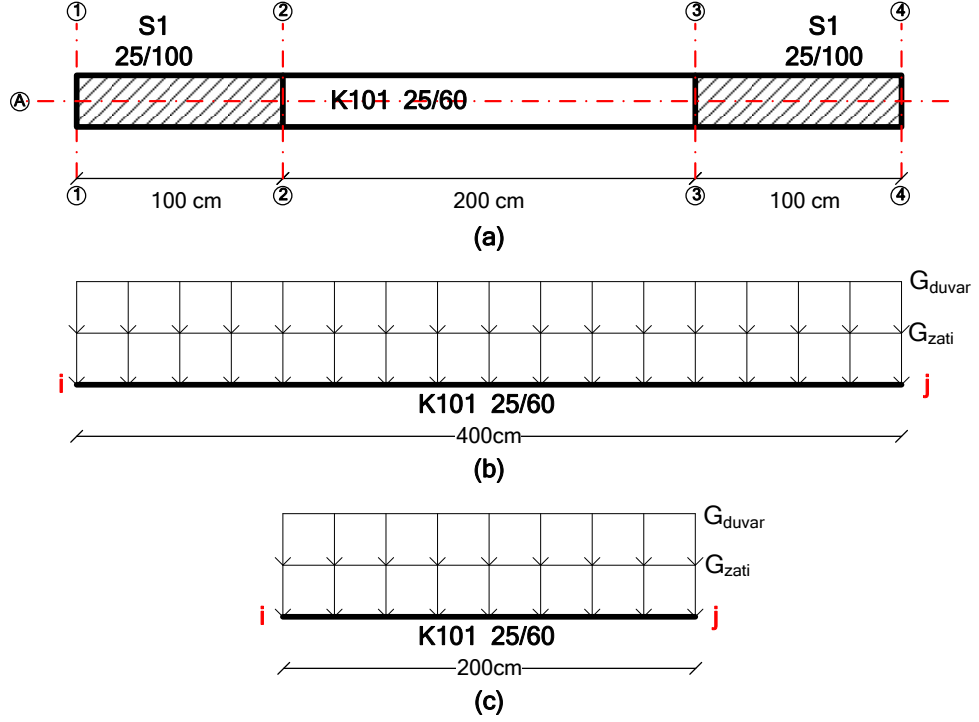
Dikkat edilmesi gereken bir diğer nokta da kolonun geometrik sınırları içinde birden fazla aks kesişiminin bulunması durumunda kolonun tanımlanacağı aks kesişiminin seçilmesidir.



Şekil 3.3 a) Kalıp planı, b) Analitik model

Şekil 3.3 a daki S2 kolonunun geometrik sınırları içinde üç farklı aks kesişimi mevcuttur. S2 kolonu bu üç aks kesişiminde de tanımlanabilmektedir. S2 kolonu Y-Pro da 2/B ve 2/A aks kesişimlerinde ayrı ayrı tanımlanıp sistem analiz edilmiştir. İki modelin de analiz sonuçları karşılaştırıldığında elemanların iç kuvvetlerinin farklı çıktığı görülmüştür. Yazılım, sunumunda bu tür modellemelerde kolonun, kirişlerin tam ortasından modellenmesinin daha doğru olacağı konusunda kullanıcıyı uyarılmaktadır. Bu örnekte yapının gerçeğe en yakın davranışının, S2 kolonunun 2/B aks kesişiminde tanımlanmasıyla elde edileceği görülmektedir.

Kiriş elemanlarda düzgün yayılı, kısmi yayılı, tekil ve trapez yükler etki ettirilebilmektedir. Tekil veya çizgisel yayılı moment etki ettirilemez. Duvar yükleri ve döşemelerden kirişlere aktarılan yükler otomatik olarak boyutlara bağlı hesaplanabilmektedir. Duvar yüklerinden pencere, kapı, vs. boşlukları düşürülebilmektedir. Kiriş zati yükü ve duvar yükü kiriş 'i' ve 'j' uçları boyunca yayılmaktadır. Bu durum özellikle büyük kesitli kolon ve perdeler oturan kirişlerin üzerindeki duvar yüklerinin olduğundan daha fazla hesaplanmasına neden olmaktadır.



Şekil 3.4 a) Kalıp planı, b) Kirişin 1-4 aksları arasında tanımlanması durumunda kiriş yükleri, c) Kirişin 2-3 aksları arasında tanımlanması durumunda kiriş yükleri

Şekil 3.4 de görüldüğü gibi kirişin 1–4 aksları arasında modellenmesi kat ağırlığının gerçek dışı artmasına neden olmaktadır. Aynı zamanda kolon-kiriş keşişimindeki kolon hacmi ihmal edilmediğinden analiz sırasında fazladan bir ağırlık hesaplanmaktadır.

Y-Pro da hareketli yükler X ve Y global yönleri için dolu-boş-dolu ve boş-dolu-boş olarak yüklenmektedir. Dama yüklemesi için kullanıcı tanımlı yeni yükleme desenleri tanımlanabilmektedir.

Döşemelerde düzgün yayılı, kısmi yayılı, çizgisel ve tekil yükler zati veya hareketli yük grubunda etki ettirilebilmektedir. Hesaplanan döşeme yükleri kirişlere kırılma çizgileri veya sonlu elemanlar yöntemi ile aktarılabilir. Kırılma çizgilerinin kullanılması durumunda yükler kirişe, kiriş 'i' ve 'j' uçları arasında kalan döşeme parçasından aktarılmaktadır.

### 3.2.1 Saplama Kirişlerden Ana Kirişlere Yük Aktarımının İrdelenmesi

Saplama kirişler yapının yatay yükler altındaki davranışı esnasında olumsuz etkilere neden olsa da, gerek mimari nedenlerden, gerekse yapının oturduğu parselin şekli nedeniyle modellenmesi mecburiyet gerektiren elemanlardır. Saplama kirişlerden kaynaklanan bir diğer problem; saplama kirişin mesnedinde oluşan dönmeye dolayısıyla ana kirişte oluşan burulma momentidir. Yapı elemanlarının boyutlandırma aşamasında genelde burulma momentinden kaynaklanan etkiler ihmal edilebilecek kadar küçüktür. Burulma altında betonarme eleman çatlamakta ve burulma rijitliği önemli ölçüde azalmakta, böylelikle uyum sayesinde kuvvet diğer elemanlara aktarılmaktadır. Ersoy ve Özcebe (2001, s.649), konuyla ilgili olarak şöyle demektedir:

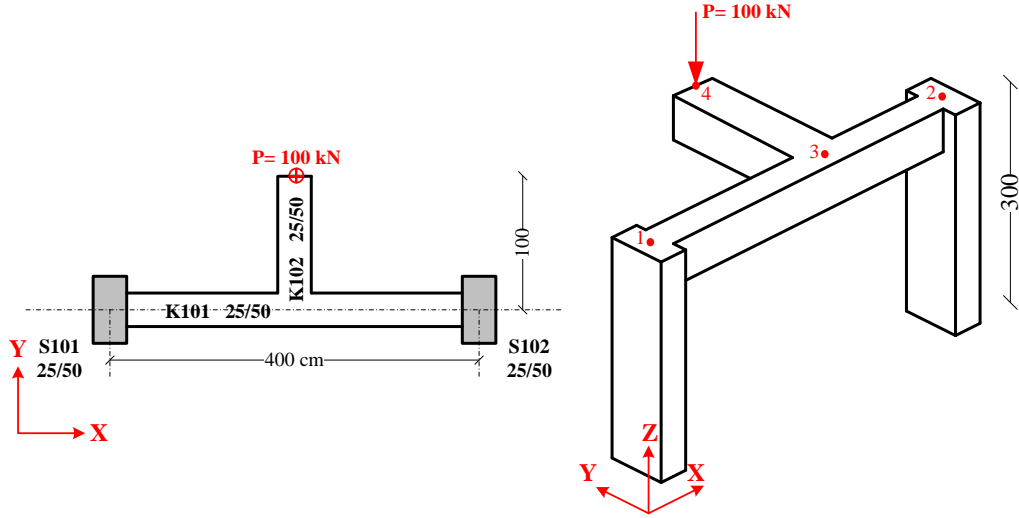
*‘Hiperstatik bir sistemde yapı elemanına etkiyen burulma momentinin malzemenin doğrusal elastik davrandığı varsayımına göre hesabı, gerçekçi sonuçlar vermemektedir. Burulma nedeniyle çatlayan bir betonarme elemanın burulma rijitliği önemli ölçüde azaldığından sistemde, ihmal edilemeyecek derecede bir uyum oluşmakta ve bu aşamadan sonra malzemenin doğrusal elastik davrandığı varsayımına dayanan yöntemlerle hesaplanan burulma momentleri, gerçek değerlerin çok üstünde çıkmaktadır.’*

Y-Pro ile yapılan analizler sırasında yazılımın kiriş burulma rijitliklerini elastisite teorisine göre hesaplanan değerlerin %1 i olarak kullandığı görülmüştür. Bu durum Ersoy ve Özcebe nin açıklamasıyla örtüşmektedir. Konuyla ilgili olarak Şekil 3.5 deki örnek Y-Pro ve SAP 2000 yazılımlarında analiz edilmiş ve +3.00 kotunda bulunan düğüm deplasman ve dönmeleri karşılaştırılmıştır. Analiz öncesinde aşağıdaki kabuller yapılmıştır:

- Kolon ve kiriş zati ağırlıkları ihmal edilmiştir.
- Sistemin sadece 100 kN luk yük altında statik analizi yapılmış, deprem analizi yapılmamıştır.
- Kolon-kiriş birleşim bölgesinin sonsuz rijit olduğu kabulü yapılmamıştır.



- Rijit diyafram kabulü yapılmamıştır.
- Kesit kayma alanı, kesit alanının 5/6 sı olarak hesaplanmıştır.
- Sap 2000 de kiriş burulma rijitlikleri 0.01 ile çarpılmıştır.



Şekil 3.5 Kalıp planı ve perspektif

Çizelge 3.1 Düğüm noktası deplasmanları

Y-PRO		DÜĞÜM NOKTASI DEPLASMANLARI				
DÜĞÜM NOKTASI	U1	U2	U3	R1	R2	R3
	mm	mm	mm	radyan	radyan	radyan
1	0.005	2.717	-0.038	-0.001811	0.000730	0
2	-0.005	2.717	-0.038	-0.001811	-0.000730	0
3	0.000	2.717	-1.242	-0.423883	0	0
4	0.000	2.717	-425.600	-0.424486	0	0

SAP 2000		DÜĞÜM NOKTASI DEPLASMANLARI				
DÜĞÜM NOKTASI	U1	U2	U3	R1	R2	R3
	mm	mm	mm	radyan	radyan	radyan
1	0.005	2.717	-0.038	-0.001811	0.000730	0
2	-0.005	2.717	-0.038	-0.001811	-0.000730	0
3	0.000	2.717	-1.242	-0.423883	0	0
4	0.000	2.717	-425.600	-0.424486	0	0

Çizelge 3.2 K101 kirişi burulma momenti değerleri

	T (kNm)
Y-PRO	100
SAP2000	100

Çizelge 3.1 ve 3.2 den de görüldüğü gibi deplasman, dönme ve burulma momenti sonuçları iki yazılımda da eşit çıkmıştır. Fakat kullanıcı modelleme yaparken kiriş burulma rijitliklerinin elastik yöntemle göre hesaplanan değerlerin %1'i olarak alındığının farkında olması gerekmektedir. Yazılım kolonlarda azaltma yapılmamakta, burulma rijitliği hesaplanan değer aynısı olarak kullanılmaktadır.

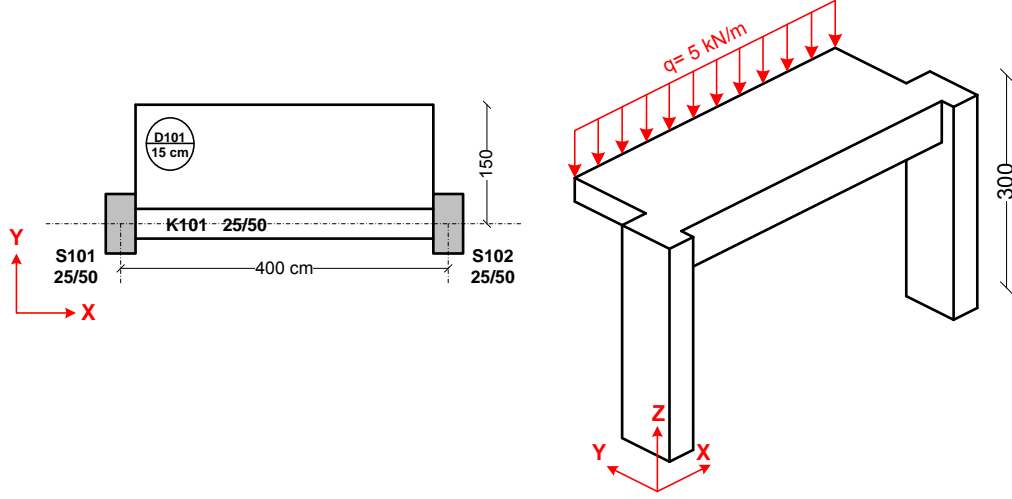
### 3.2.2 Döşemelerden Kirişlere Moment Aktarımının İrdelenmesi

Kirişli döşemelere sahip taşıyıcı sistemlerde döşemelerden kirişlere düşey yüklerin aktarılması esnasında döşeme mesnet momentlerinin etkisiyle kirişlerde burulma momentleri oluşmaktadır. Taşıyıcı sistemde sürekli döşemeler arasında kalan kirişlerde döşemelerden kaynaklanan burulma momentleri ihmal edilebilecek büyüklükte dirler. Fakat süreksiz döşemelere mesnetlik yapan kirişlerde ve sadece konsol döşeme taşıyan kirişlerde bu değerler ihmal edilemeyecek büyüklükte dirler. Burulma momentinin ihmal edilemeyecek büyüklükte olması durumunda taşıma gücü hesaplarında burulma etkilerinin de göz önüne alınarak hesap yapılması gerekmektedir.

Döşemelerde meydana gelen mesnet momentlerinin kirişlere aktarılıp aktarılmadığını kontrol etmek amacıyla Şekil 3.6 daki sistem Y-Pro da analiz edilmiştir. Analiz öncesinde aşağıdaki kabuller yapılmıştır:

- Kolon ve kiriş zati ağırlıkları ihmal edilmiştir.
- Döşemeden kirişe yük aktarımı sonlu elemanlar yöntemiyle yapılmıştır.
- Sistemin statik analizi yapılmış, deprem analizi yapılmamıştır.
- Kolon kiriş birleşim bölgesinin sonsuz rijit davrandığı kabulü yapılmamıştır.
- Rijit diyafram kabulü yapılmamıştır.
- Kesit kayma alanı, kesit alanının 5/6 s ı olarak hesaplanmıştır.

- Sap 2000 de kiriş burulma rijitlikleri 0.01 ile çarpılmıştır.



Şekil 3.6 Kalıp planı ve perspektif

Analizi sonrasında konsol plaktaki eğilme momentinin K101 kirişine burulma momenti olarak aktarılmadığı görülmüştür. Y-Pro sunumunda da plak döşemelerin taşıyıcı sisteme sadece yük ve diyafram olarak aktarıldığını belirtilmektedir.

### 3.2.3 Yük kombinasyonlarının irdelenmesi

Y-Pro da dikkate alınan yük kombinasyonları aşağıda verilmiştir:

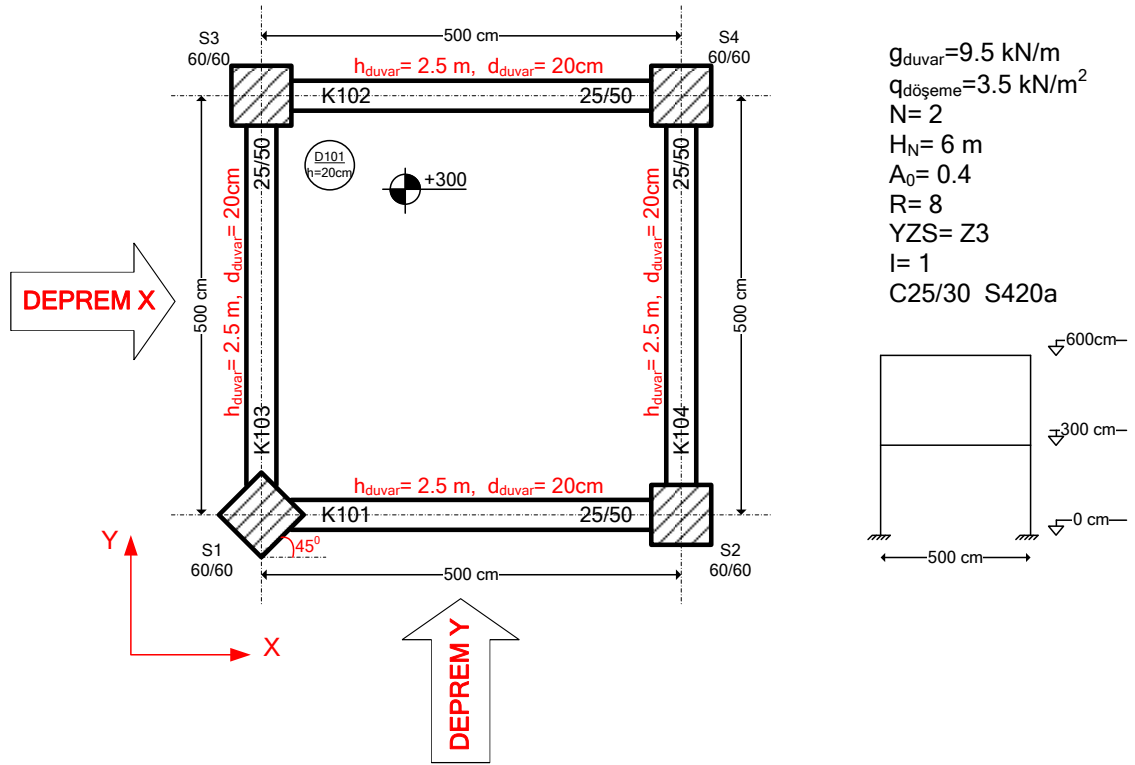
Çizelge 3.3 Y-Pro da kullanılan yük kombinasyonları

$1.4G+1.6Q$   
 $G+1.3Q\pm 1.3W$   
 $0.9G\pm 1.3W$   
 $G+Q\pm E_X\pm 0.3E_Y$   
 $G+Q\pm 0.3E_X\pm E_Y$   
 $0.9G\pm E_X\pm 0.3E_Y$   
 $0.9G\pm 0.3E_X\pm E_Y$   
 $1.4G+1.6Q+1.6H$   
 $0.9G+1.6H$

#### Semboller

G: Sabit yük etkisi  
Q: Hareketli yük etkisi  
W: Rüzgar yükü etkisi  
E: Deprem yükü etkisi  
H: Toprak yükü etkisi

Çizelge 3.3 de görüldüğü gibi, Y-Pro da TS 500–2000 de bulunan T (sıcaklık değişimi, büzülme, farklı oturma v.s.) yük etkisi mevcut değildir. Kullanıcı Çizelge 3.3 deki kombinasyonlara ilave olarak istediği sayıda kendi ürettiği kombinasyonları oluşturabilmektedir. Yazılım, TS 500–2000 den farklı olarak TDY 2007 Madde 2.7.5 den dolayı  $\pm E_X \pm 0,3 E_Y$  ve  $\pm E_Y \pm 0,3 E_X$  yük etkilerini eklemiştir. TDY 2007 Madde 2.7.5 in dikkate alınıp alınmadığını kontrol etmek amacıyla Şekil 3.7 deki kalıp planı eşdeğer deprem yükü yöntemine göre Y-Pro ile çözülmüştür. Analiz sonrasında S1 kolonunun üst ucu ('i' ucu) için M2 momentinin kombinasyonlara bağlı sonuçları kontrol edilmiştir. Analiz sonuçları Çizelge 3.4 de verilmiştir.



Şekil 3.7 Kalıp planı ve yapı özellikleri

Çizelge 3.4 Zati, hareketli ve deprem yükleri sonucu oluşan S1 kolonu 'i' ucu momentleri

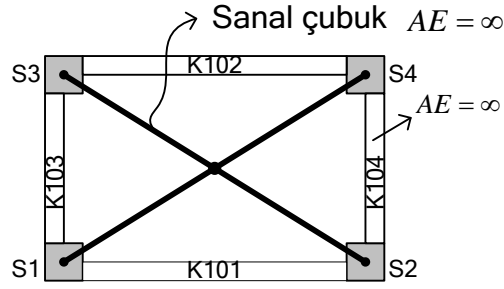
MOMENT (kNm)	$M_{2G}$	$M_{2Q}$	$M_{2EX+}$	$M_{2EX-}$	$M_{2EY+}$	$M_{2EY-}$	OLMASI GEREKEN	Y-PRO
$M_{2G}+M_{2Q}+M_{2(EX+)}+0.3M_{2(EY-)}$	-7.82	-1.37	66.09	71.86	2.89	-2.89	56.04	56.04
$M_{2G}+M_{2Q}-M_{2(EX+)}-0.3M_{2(EY-)}$	-7.82	-1.37	66.09	71.86	2.89	-2.89	-74.41	-74.41
$M_{2G}+M_{2Q}+M_{2(EX-)}+0.3M_{2(EY+)}$	-7.82	-1.37	66.09	71.86	2.89	-2.89	63.55	63.55
$M_{2G}+M_{2Q}-M_{2(EX-)}-0.3M_{2(EY+)}$	-7.82	-1.37	66.09	71.86	2.89	-2.89	-81.91	-81.91
$M_{2G}+M_{2Q}+0.3M_{2(EX-)}+M_{2(EY+)}$	-7.82	-1.37	66.09	71.86	2.89	-2.89	15.26	15.26
$M_{2G}+M_{2Q}-0.3M_{2(EX-)}-M_{2(EY+)}$	-7.82	-1.37	66.09	71.86	2.89	-2.89	-33.63	-33.63
$M_{2G}+M_{2Q}+0.3M_{2(EX+)}+M_{2(EY-)}$	-7.82	-1.37	66.09	71.86	2.89	-2.89	7.75	7.76
$M_{2G}+M_{2Q}-0.3M_{2(EX+)}-M_{2(EY-)}$	-7.82	-1.37	66.09	71.86	2.89	-2.89	-26.12	-26.12

Sonuç olarak Y-Pro yazılımının TDY madde 2.7.5 i dikkate aldığı görülmektedir.

### 3.3 Rijit Diyafram Kabulünün İrdelenmesi

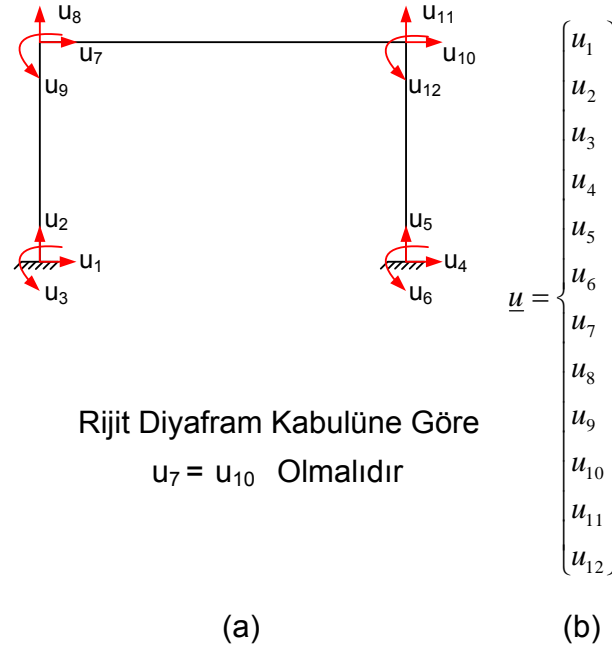
Yapılarda betonarme döşemeler kendi düzlemlerinde genelde çok rijittir. Yatay yükler altında döşemeye bağlı bütün noktalar aynı deplasmanı yaparlar. Bu durum döşemelerin yatay düzlemde rijit bir diyafram olarak çalışabileceği sonucuna götürür. Bir döşemenin rijit diyafram olarak davranabilmesi için döşeme üzerindeki yerel boşlukların küçük olması, döşemelerin süreklilik arz etmesi ve düzleminde yatay kuvvetleri aktaracak yeterlilikte kalın olması gerekmektedir.

Basit olarak rijit diyafram modelini açıklamak gerekirse; aksinel rijitliği sonsuz kabul edilen kiriş ve sanal diyagonal elemanlarla birbirine bağlanmış kat düğüm noktalarının, yatay doğrultudaki kuvvetler altında aynı deplasmanı yapması ilkesine dayanmaktadır.



Şekil 3.8 Geometrik modelleme

Sonlu elemanlar metodunda rijit diyafram kabulü, diyaframla birbirine bağlı düğümlerin yatay deplasmanlarının, deplasman vektöründe aynı deplasman bilinmeyişi olarak tanımlanmasıyla modellenir.



Şekil 3.9 a) Düzlem çerçeve ve sistem deplasman vektörleri b) Rijit diyafram kabulü yapılmamış deplasman matrisi

Rijit diyafram kabulü yapılan taşıyıcı sistemlerde yatay ve düşey kuvvetler altında kiriş elemanlarda aksel deformasyonlar oluşmaz. Yatay ve düşey yükler

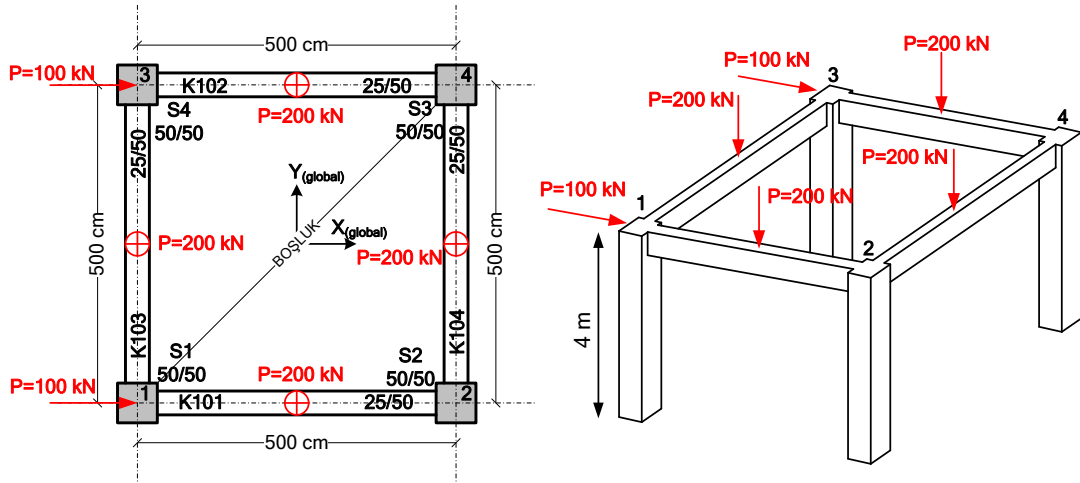
altında diyaframın bağıladığı düğüm noktaları, yatay düzlemde eşit deplasmanlar yapmak zorundadır.

Y-Pro da rijit diyafram kabulü için üç farklı seçenek sunulmaktadır;

- Rijit diyafram kabulü yapılmaması,
- Kat seviyesinde tek bir rijit diyafram kabulü,
- Her döşemenin ayrı ayrı rijit diyafram olarak çalışması kabulü

'b' ve 'c' seçenekleri benzer sonuca götürüyor gibi gözükse de aslında farklıdır. 'c' seçeneğine göre kabul yapılması durumunda, kalıp planında sadece aynı döşemeye bağlı düğüm noktaları eşit deplasman yapmakta, döşeme olmayan düğüm noktaları farklı deplasman yapmaktadır.

Y-Pro sadece kolon ve kirişlerden oluşan, döşemesiz sistemlerde de rijit diyafram kabulü yapılmasına müsaade etmektedir. Şekil 3.10 de verilen uzay döşemesiz çerçeve sistem Y-Pro ve SAP2000 de iki kez analiz edilecektir. Birinci analizde diyafram kabulü yapılacak, ikincisinde ise diyaframın olmadığı varsayılacaktır. Elemanların zati ağırlıkları ihmal edilmiştir.



Malzeme bilgileri

Beton: C30/37,  $E_c=3.18 \times 10^7$  kN/m<sup>2</sup>,  $G_c=1.325 \times 10^7$  kN/m<sup>2</sup>,  $\mu_c=0.20$ ,  $k=1$ ,  
 $A_{kayma}=5/6 A_{kesit}$ ,  $\alpha_c=0$  1/C<sup>0</sup>

Şekil 3.10 Uzay çerçeve sistem

Yapılan analizler sonrasında çıkan sonuçlar irdelenmiştir. Buna göre Y-Pro da rijit diyafram kabulü yapıldığında kirişlerde eksenel yükü sıfır bulmaktadır.

Çizelge 3.5 Uzak çerçeve deki kiriş elemanların eksenel yük sonuçları

KİRİŞ EKSENEL YÜKLERİ (kN)				
KİRİŞ	RİJİT DİYAFRAM YOK		RİJİT DİYAFRAM VAR	
	Y-PRO	SAP 2000	Y-PRO	SAP 2000
K101	-87.76	-87.76	0	0
K102	-87.76	-87.76	0	0
K103	-38.14	-38.14	0	0
K104	-38.14	-38.14	0	0

Çizelge 3.6 Uzak çerçeve +400 kotu düğüm deplasmanları

DÜĞÜM NO		DÜĞÜM NOKTASI DEPLASMAN VE DÖNMELERİ (mm, radyan x 10 <sup>-7</sup> )											
		RİJİT DİYAFRAM YOK						RİJİT DİYAFRAM VAR					
		U <sub>X</sub>	U <sub>Y</sub>	U <sub>Z</sub>	R <sub>X</sub>	R <sub>Y</sub>	R <sub>Z</sub>	U <sub>X</sub>	U <sub>Y</sub>	U <sub>Z</sub>	R <sub>X</sub>	R <sub>Y</sub>	R <sub>Z</sub>
Y-PRO	1	3.195	0.024	-0.087	-6537	1392	0	3.14	0	-0.087	-6463	1375	0
	2	3.085	0.024	-0.115	-6537	653	0	3.14	0	-0.087	-6463	822	0
	3	3.195	-0.024	-0.087	6537	1392	0	3.14	0	-0.087	6463	1375	0
	4	3.085	-0.024	-0.115	6537	653	0	3.14	0	-0.087	6463	822	0
SAP 2000	1	3.195	0.024	-0.087	-6537	1392	0	3.144	0	-0.087	-6470	1376	0
	2	3.085	0.024	-0.115	-6537	653	0	3.144	0	-0.087	-6470	822	0
	3	3.195	-0.024	-0.087	6537	1392	0	3.144	0	-0.087	6470	1376	0
	4	3.085	-0.024	-0.115	6537	653	0	3.144	0	-0.087	6470	822	0

Sonuç olarak yazılım, döşemeli veya döşemesiz sistemlerde rijit diyaframlı veya rijit diyaframsız analiz yapmaktadır. Şekil 3.10 deki örnekteki sistemler gibi döşemesiz sistemlerin rijit diyafram varmış gibi analiz edilmesi doğru değildir. Bu durumda kirişlerde oluşan eksenel yükler hesaba katılmamakta, kolon davranışı gösterebilecek elemanlar kiriş olarak boyutlandırılmaktadır.

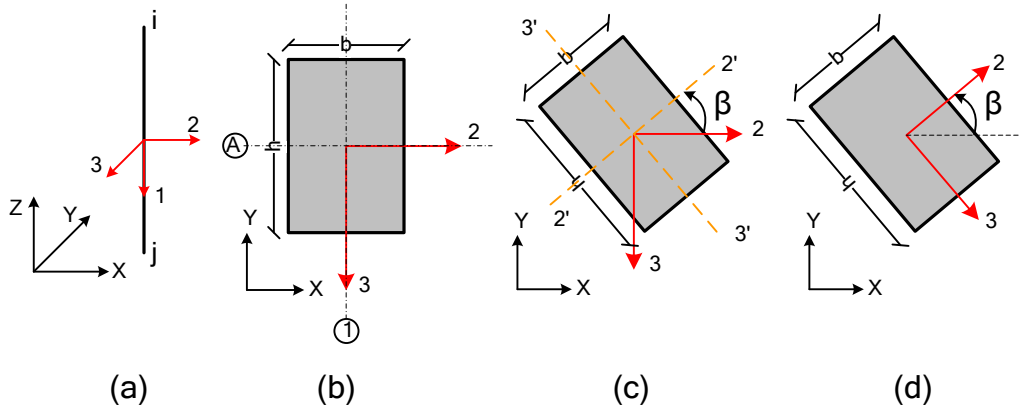


### 3.4 Deplasmanların ve İç Kuvvetlerin İrdelenmesi

Deplasmanların ve iç kuvvetlerin irdelenmesi amacıyla düzlem çerçeve (Şekil 3.14) ve uzay çerçeve (Şekil 3.22) sistemler Y-Pro ve SAP 2000 yazılımlarında ayrı ayrı analiz edilip sonuçları karşılaştırılacaktır. Her iki sistemde seçilen S101 kolonu global X eksenini ile  $\beta = 0, 30, 45, 90, 180, 270^\circ$  lik açılar yapacak şekilde analiz edilecektir. Sistemlerin bilgileri ve analiz sonuçları verilmeden önce Y-Pro da kolon lokal eksen takımının döndürülmesi irdelenecektir. Böylelikle analiz sonuçlarının yorumlanması kolaylaştırılmış olacaktır.

#### 3.4.1 Kolon lokal eksen takımının döndürülmesi

Kolon lokal eksen takımının tanımı bölüm 2.1.2.1 de yapılmıştır. Bu başlık altında kolon lokal eksen takımının döndürülmesi irdelenecektir.



Şekil 3.11 a) Kolon analitik modeli, b) Kolon kesiti, c) Y-Pro da kesitin  $\beta$  açısı kadar döndürülmesi, d) SAP2000 de kesitin  $\beta$  açısı kadar döndürülmesi

Şekil 3.11 de A/1 aksları kesişiminde tanımlanmış b/h cm boyutlu bir kolon incelenmektedir. Kesit 1 lokal eksenini etrafında  $\beta$  açısı yapacak kadar döndürüldüğünde, 2 ve 3 lokal eksenlerinin Şekil 3.11 d deki gibi olması gerektiği halde, doğrultularını korumaktadırlar. Yazılım geometrik kesit döndürüldüğünde lokal eksenleri

döndürmemektedir. Y-Pro lokal eksenlere göre, döndürülmemiş kesitin atalet momentini (Şekil 3.11 b) denk. 3.1 e göre, döndürülmüş kesitin atalet momentini (Şekil 3.11 c) denk. 3.2 ye göre hesaplanmaktadır.

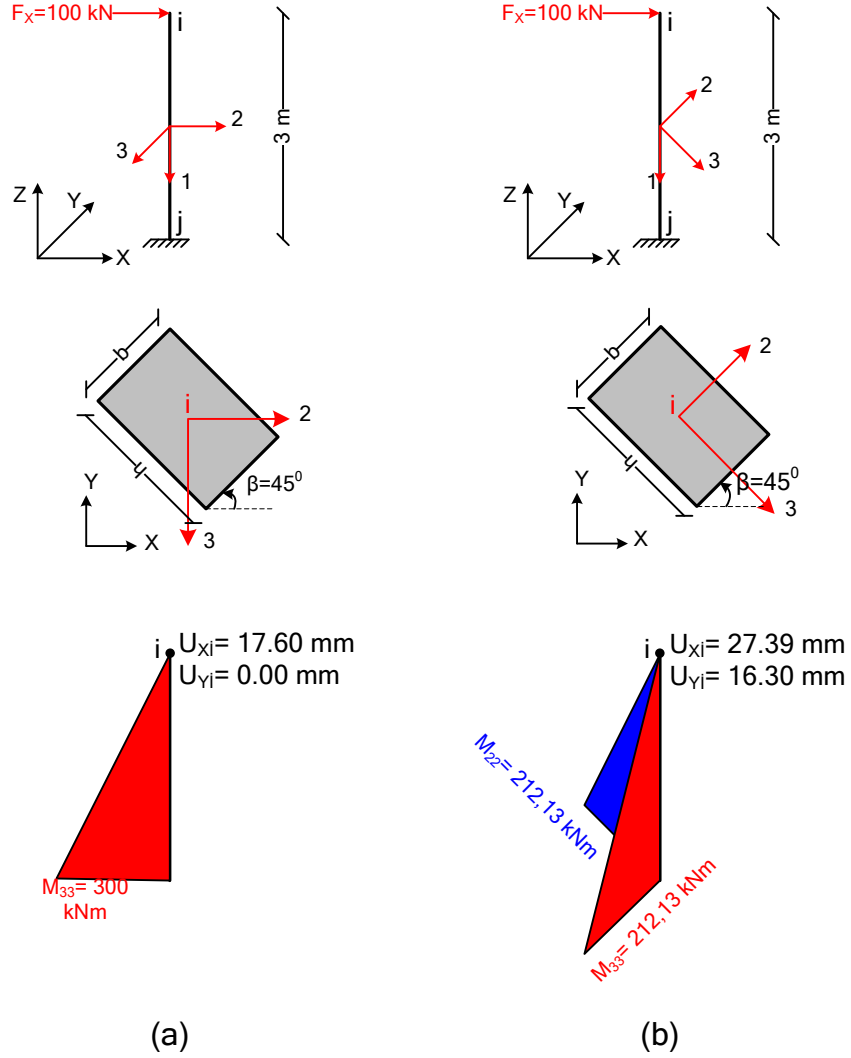
$$\left. \begin{aligned} I_{22} &= \frac{bh^3}{12} \\ I_{33} &= \frac{hb^3}{12} \end{aligned} \right\} \text{Denk. 3.1}$$

$$\left. \begin{aligned} I_{2'2'} &= \frac{bh^3}{12} \\ I_{3'3'} &= \frac{hb^3}{12} \end{aligned} \right\} \text{Denk. 3.2}$$

$$\left. \begin{aligned} I_{33} &= \frac{I_{3'3'} + I_{2'2'}}{2} + \frac{I_{3'3'} - I_{2'2'}}{2} \cos 2\beta + I_{2'3'} \sin 2\beta \\ I_{22} &= \frac{I_{3'3'} + I_{2'2'}}{2} - \frac{I_{3'3'} - I_{2'2'}}{2} \cos 2\beta - I_{2'3'} \sin 2\beta \end{aligned} \right\}$$

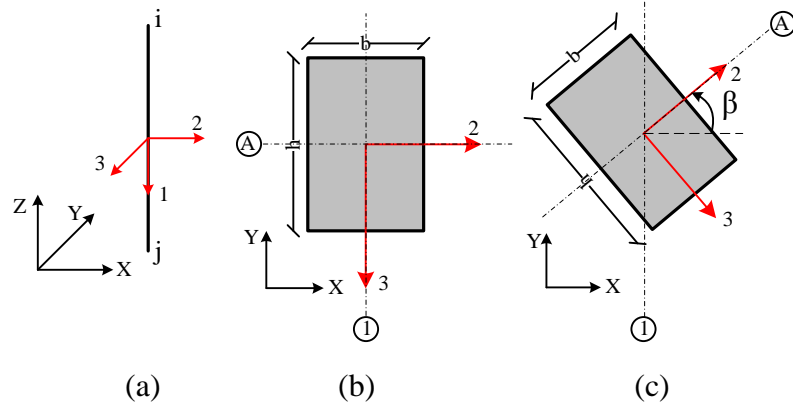
Denk. 3.2 bağıntısında görüldüğü gibi yazılım dönük kolonlarda, kolon lokal rijitlik matrisini kurarken  $I_{22}$  ve  $I_{33}$  atalet momentlerini  $I_{2'2'}$  ve  $I_{3'3'}$  den dönüştürerek hesaplamakta ve statik analizde  $I_{22}$  ve  $I_{33}$  atalet momentlerini kullanmaktadır. Buna bağlı olarak asal eksenleri dönük kolonların lokal iç kuvvet ve deplasman sonuçlarının SAP 2000 ile aynı olması beklenemez. Şekil 3.12 deki dönük konsol kolonun tepe noktasındaki yatay yük, kesitin geometrik merkezine etkimektedir. C30/37 betonu için Y-Pro ve SAP 2000 sonuçları şekil üzerinde gösterilmiştir.

Y-Pro, kolon kesitinin  $45^0$  döndürülmesi durumunda lokal eksenleri döndürmemekte, döndürülmüş kesit özelliklerini mevcuttaki lokal eksenlere göre dönüştürmektedir. Bu durumda  $F_X=100$  kN luk yük altında sadece  $M_{33}$  momenti oluşmadır. SAP 2000 de ise kolon kesitinin döndürülmesiyle birlikte lokal eksenler de dönmektedir. Bu durumda kolonda  $M_{33}$  momentiyle birlikte doğal olarak  $M_{22}$  momenti de oluşmaktadır. Bununla beraber kolon 'i' ucundaki deplasmanlar karşılaştırıldığında Y-Pro da sadece global X yönünde deplasman oluşmakta iken SAP 2000 de hem X hem de Y yönlerinde deplasmanlar oluşmaktadır.



Şekil 3.12 a) Y-Pro ile analiz sonuçları, b) SAP 2000 ile analiz sonuçları

Böyle bir durumda, kolon lokal eksenlerinin global eksen takımı gibi müdahale edilemez mi olduğu sorusu akla gelmektedir. Bölüm 2.1.2.2 de kolon lokal eksenlerinin aks ve kolon yönlerine göre değiştiği belirtilmektedir. O halde A aksı  $45^0$  döndürüldüğünde kolonun ve lokal eksenlerin de aksla beraber dönmesi gerekmektedir. Bunu kontrol etmek amacıyla Şekil 3.13 deki örnekteki A aksı kolon merkezi etrafında  $45^0$  döndürülmüştür.



**Şekil 3.13 a) Kolon analitik modeli, b) Kolon kesiti, c) Y-Pro da Aks döndürülmesi sonrasında lokal eksen takımının değişimi**

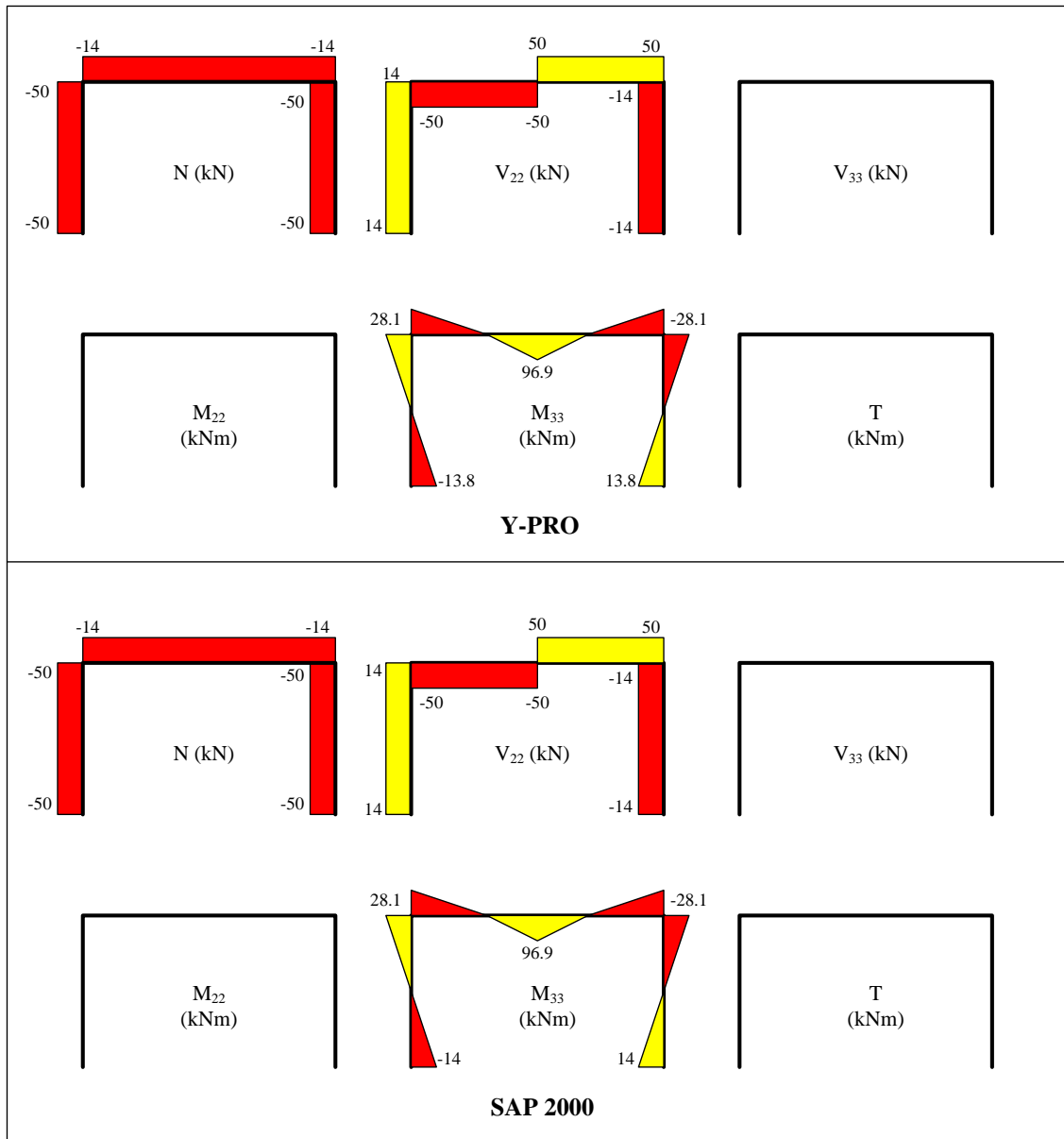
Model Y-Pro üzerinde incelendiğinde kolon lokal eksen takımının ve kesitin aksla beraber döndüğü görülmüştür. Şekil 3.12 örneğindeki gibi kolon tepe noktasına global X eksenine doğrultusunda 100 kN luk yatay kuvvet etkilerek analiz yapılmıştır. İç kuvvet ve düğüm noktası deplasmanları Sap 2000 in sunduğu sonuçlarla aynı çıkmaktadır.

Sonuç olarak kolon lokal eksenleri geometrik kesitin döndürülmesinden bağımsızdır. Eksenler sadece aksların döndürülmesiyle dönmektedir. Yazılım Şekil 3.12 deki örnekte yanlış sonuçlar vermektedir.

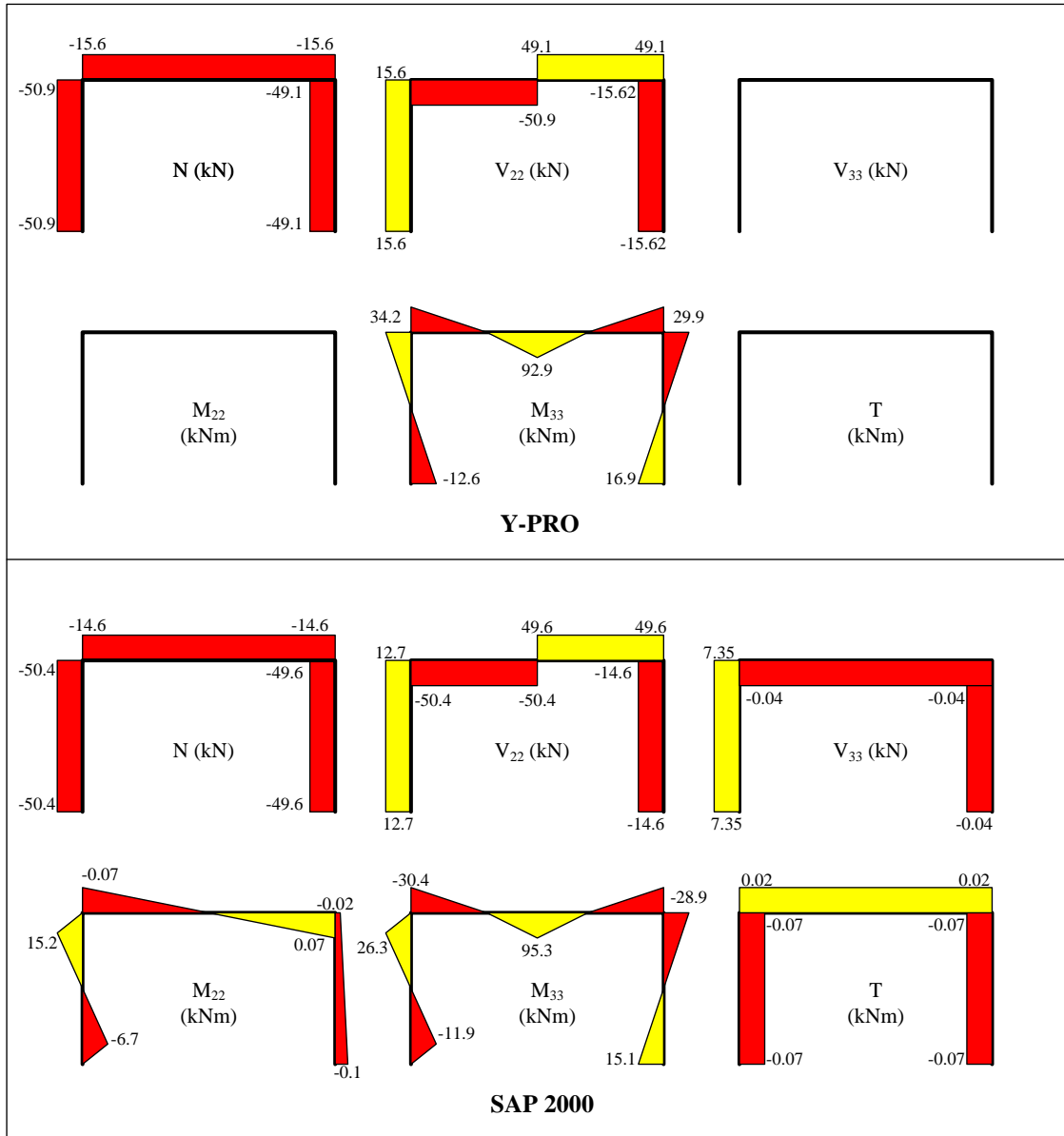
### 3.4.2 Düzlem çerçeve iç kuvvet ve deplasmanların irdelenmesi

Y-Pro, yapıların statik-dinamik analizlerini SEM (Sonlu Elemanlar Metodu) kullanarak yaptığını belirtmektedir. Yazılımın SEM ile analiz yapıp yapmadığını anlamamanın en doğru yolu, çözüm için hazırlanmış olan analiz kodlarının incelenmesidir. Fakat yazılım bu kodların incelenmesine müsaade etmemektedir. Analiz sonuçlarının doğruluğunu kontrol etmek amacı ile önce düzlem çerçeve, daha sonra uzay çerçeve için analiz yapıp iç kuvvet ve deplasman sonuçları SAP 2000 yazılımı ile karşılaştırılacaktır.

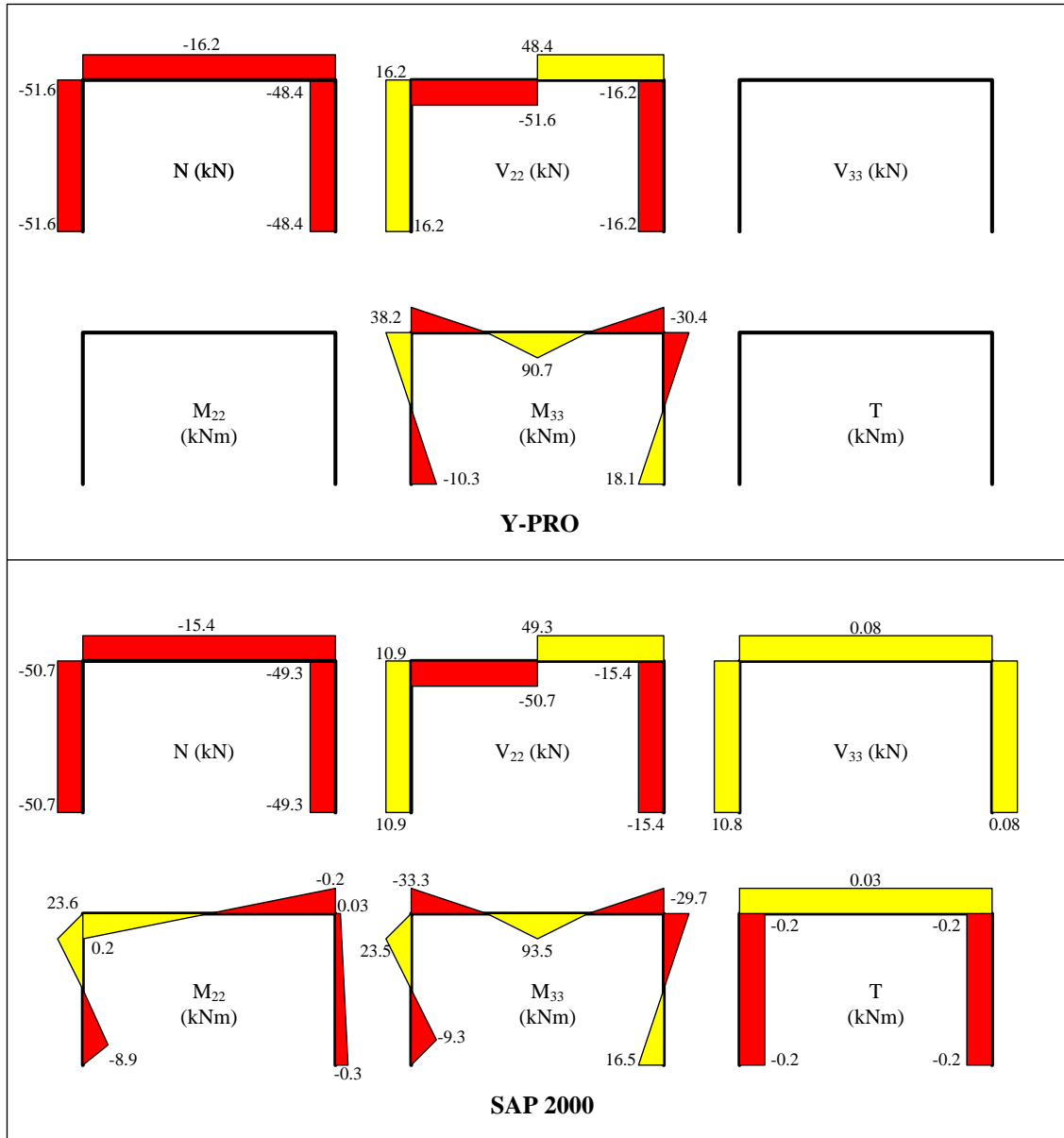




Şekil 3.15  $\beta=0^0$  için Y-Pro ve SAP 2000 de hesaplanan iç kuvvetler

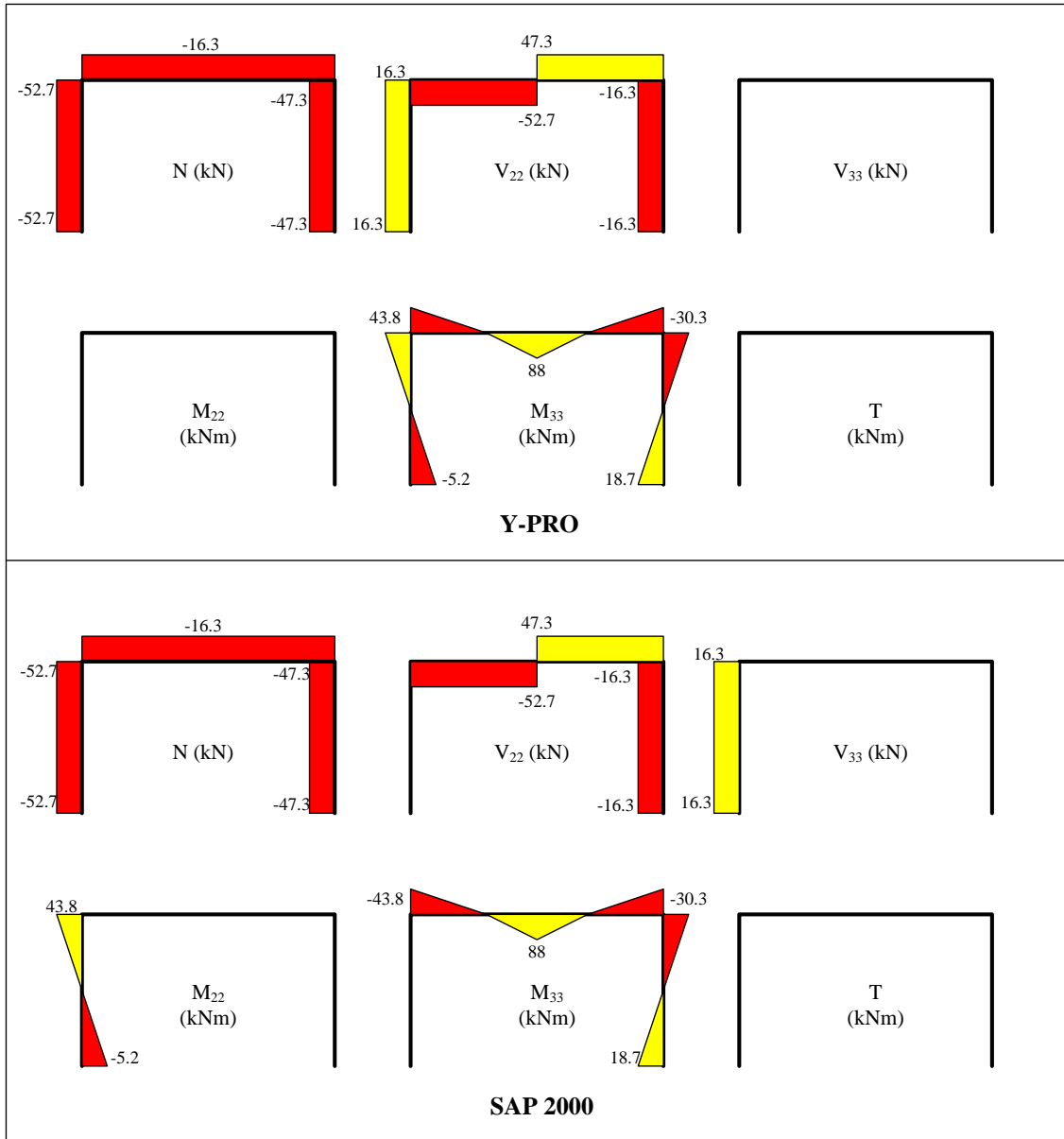


Şekil 3.16  $\beta=30^\circ$  için Y-Pro ve SAP 2000 de hesaplanan iç kuvvetler

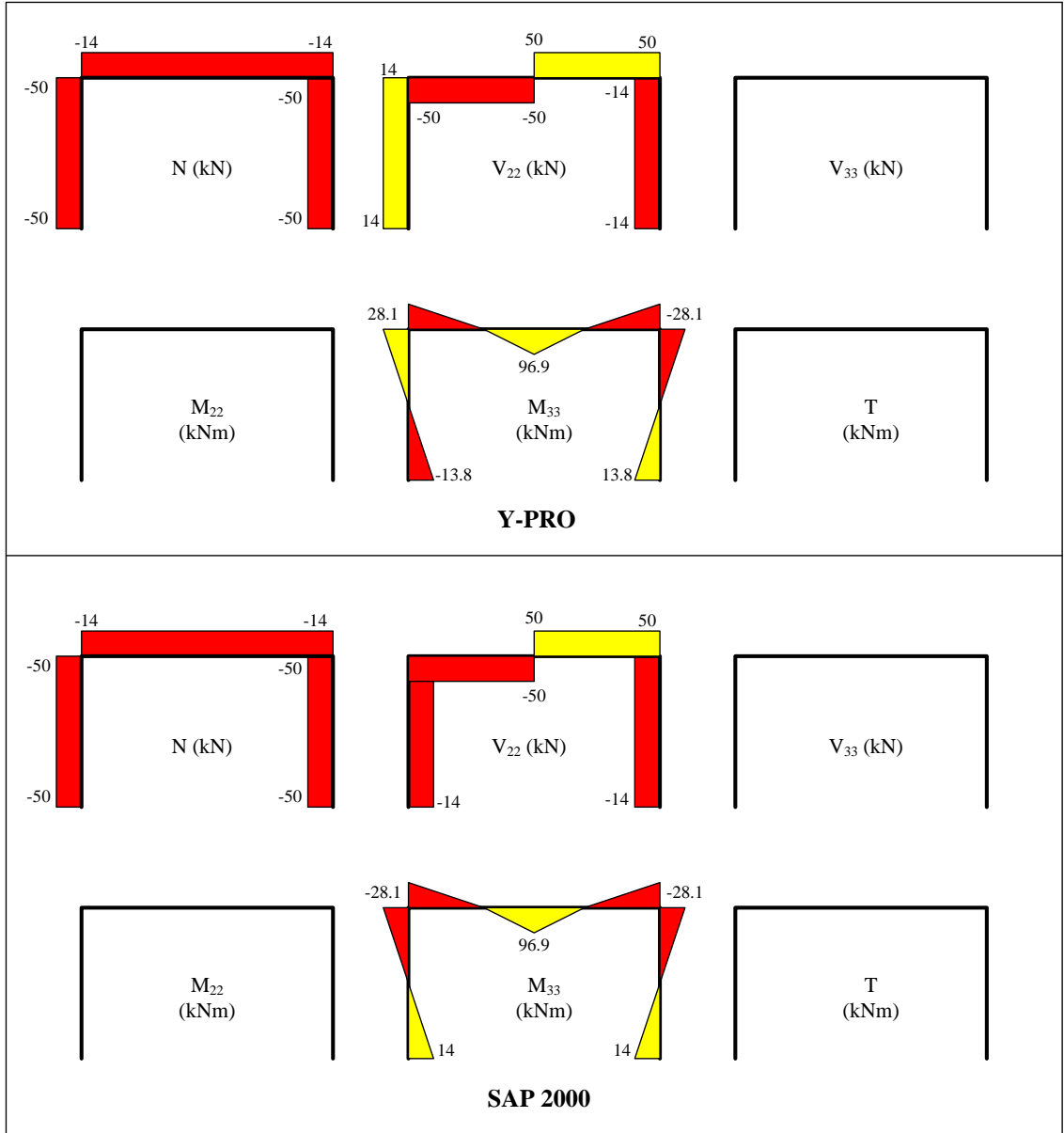


Şekil 3.17  $\beta=45^\circ$  için Y-Pro ve SAP 2000 de hesaplanan iç kuvvetler

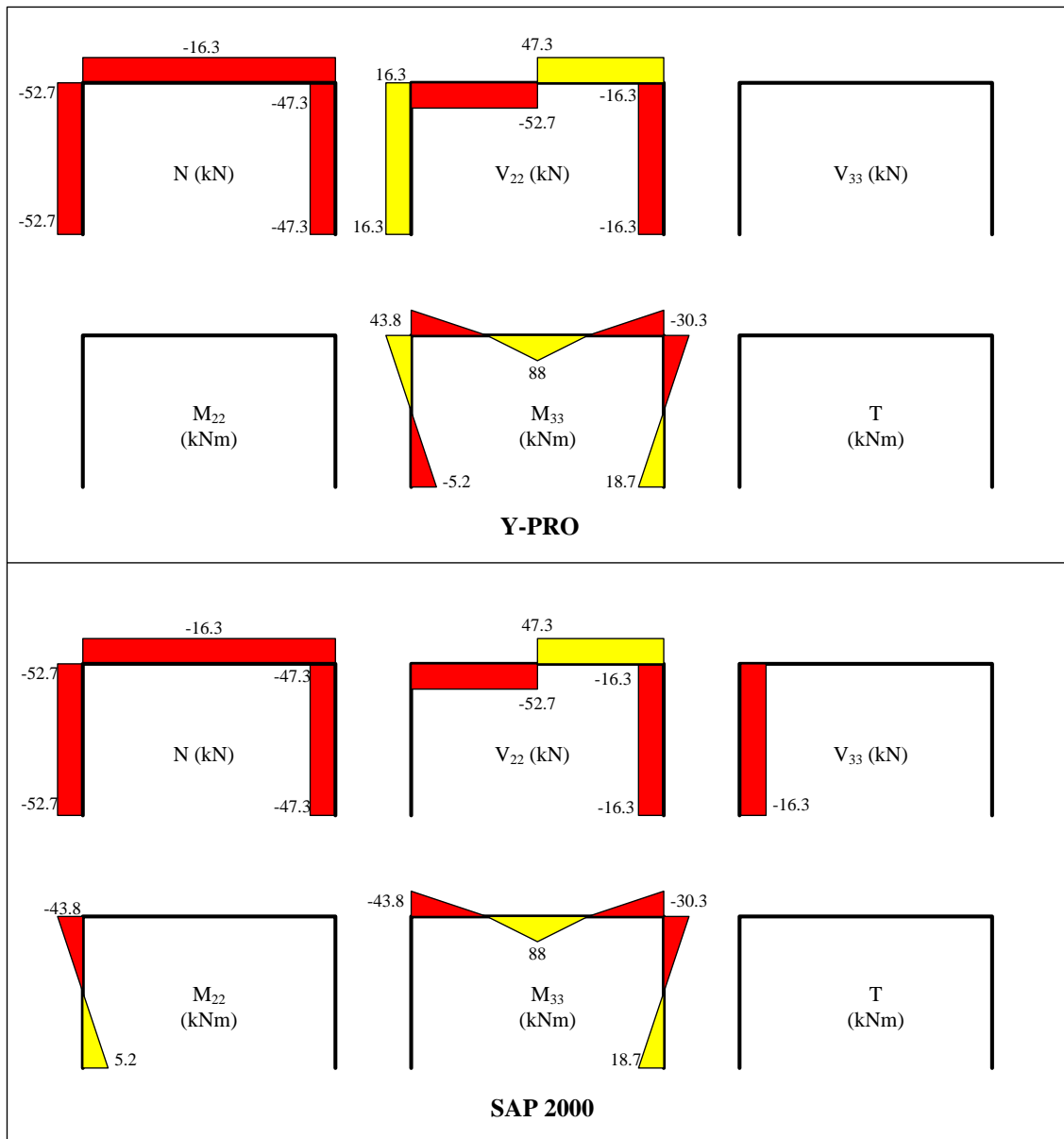




Şekil 3.18  $\beta=90^\circ$  için Y-Pro ve SAP 2000 de hesaplanan iç kuvvetler



Şekil 3.19  $\beta=180^0$  için Y-Pro ve SAP 2000 de hesaplanan iç kuvvetler



Şekil 3.20  $\beta=270^0$  için Y-Pro ve SAP 2000 de hesaplanan iç kuvvetler

Çizelge 3.7  $\beta=0^\circ$  için Y-Pro ve SAP 2000 de hesaplanan deplasman ve dönme

Y-PRO $\beta=0^\circ$						
NOKTA NO	Deplasman (mm)			Dönme (radyan)		
	$U_X$	$U_Y$	$U_Z$	$R_X$	$R_Y$	$R_Z$
1	0.009	0	-0.038	0	0.001038	0
3	-0.009	0	-0.038	0	-0.001038	0
SAP 2000 $\beta=0^\circ$						
NOKTA NO	Deplasman (mm)			Dönme (radyan)		
	$U_X$	$U_Y$	$U_Z$	$R_X$	$R_Y$	$R_Z$
1	0.009	0	-0.038	0	0.001038	0
3	-0.009	0	-0.038	0	-0.001038	0

Çizelge 3.8  $\beta=30^\circ$  için Y-Pro ve SAP 2000 de hesaplanan deplasman ve dönme

Y-PRO $\beta=30^\circ$						
NOKTA NO	Deplasman (mm)			Dönme (radyan)		
	$U_X$	$U_Y$	$U_Z$	$R_X$	$R_Y$	$R_Z$
1	0.339	0	-0.038	0	0.000896	0
3	0.320	0	-0.037	0	-0.000941	0
SAP 2000 $\beta=30^\circ$						
NOKTA NO	Deplasman (mm)			Dönme (radyan)		
	$U_X$	$U_Y$	$U_Z$	$R_X$	$R_Y$	$R_Z$
1	0.147	0.066	-0.038	-0.000390	0.000984	-0.000009
3	0.128	0.004	-0.038	-0.000002	-0.000999	-0.000009

Çizelge 3.9  $\beta=45^\circ$  için Y-Pro ve SAP 2000 de hesaplanan deplasman ve dönme

Y-PRO $\beta=45^\circ$						
NOKTA NO	Deplasman (mm)			Dönme (radyan)		
	$U_X$	$U_Y$	$U_Z$	$R_X$	$R_Y$	$R_Z$
1	0.476	0	-0.039	0	0.000810	0
3	0.456	0	-0.037	0	-0.000891	0
SAP 2000 $\beta=45^\circ$						
NOKTA NO	Deplasman (mm)			Dönme (radyan)		
	$U_X$	$U_Y$	$U_Z$	$R_X$	$R_Y$	$R_Z$
1	0.293	0.180	-0.038	-0.000542	0.000917	-0.000026
3	0.274	0.010	-0.037	-0.000005	-0.000955	-0.000026

Çizelge 3.10  $\beta=90^0$  için Y-Pro ve SAP 2000 de hesaplanan deplasman ve dönmeler

Y-PRO $\beta=90^0$						
NOKTA NO	Deplasman (mm)			Dönme (radyan)		
	$U_X$	$U_Y$	$U_Z$	$R_X$	$R_Y$	$R_Z$
1	0.569	0	-0.040	0	0.000699	0
3	0.549	0	-0.036	0	-0.000840	0
SAP 2000 $\beta=90^0$						
NOKTA NO	Deplasman (mm)			Dönme (radyan)		
	$U_X$	$U_Y$	$U_Z$	$R_X$	$R_Y$	$R_Z$
1	0.569	0	-0.040	0	0.000699	0
3	0.549	0	-0.036	0	-0.000840	0

Çizelge 3.11  $\beta=180^0$  için Y-Pro ve SAP 2000 de hesaplanan deplasman ve dönmeler

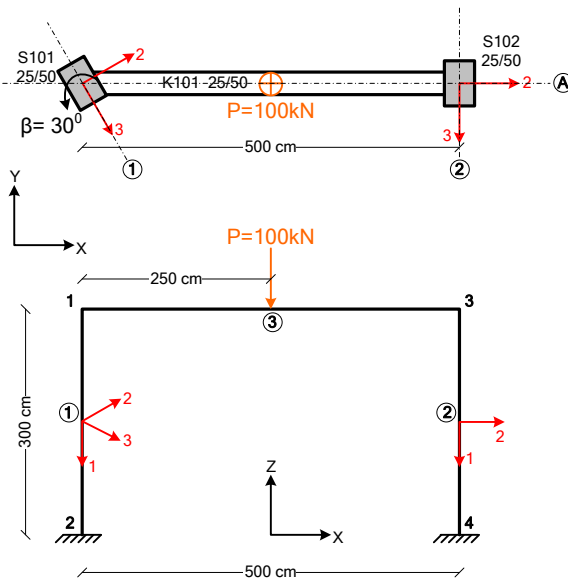
Y-PRO $\beta=180^0$						
NOKTA NO	Deplasman (mm)			Dönme (radyan)		
	$U_X$	$U_Y$	$U_Z$	$R_X$	$R_Y$	$R_Z$
1	0.009	0	-0.038	0	0.001038	0
3	-0.009	0	-0.038	0	-0.001038	0
SAP 2000 $\beta=180^0$						
NOKTA NO	Deplasman (mm)			Dönme (radyan)		
	$U_X$	$U_Y$	$U_Z$	$R_X$	$R_Y$	$R_Z$
1	0.009	0	-0.038	0	0.001038	0
3	-0.009	0	-0.038	0	-0.001038	0

Çizelge 3.12  $\beta=270^0$  için Y-Pro ve SAP 2000 de hesaplanan deplasman ve dönmeler

Y-PRO $\beta=270^0$						
NOKTA NO	Deplasman (mm)			Dönme (radyan)		
	$U_X$	$U_Y$	$U_Z$	$R_X$	$R_Y$	$R_Z$
1	0.569	0	-0.040	0	0.000699	0
3	0.549	0	-0.036	0	-0.000840	0
SAP 2000 $\beta=270^0$						
NOKTA NO	Deplasman (mm)			Dönme (radyan)		
	$U_X$	$U_Y$	$U_Z$	$R_X$	$R_Y$	$R_Z$
1	0.569	0	-0.040	0	0.000699	0
3	0.549	0	-0.036	0	-0.000840	0

Analiz sonuçlarından da görüldüğü gibi yazılım,  $30^0$ ,  $45^0$  gibi yatayla açı yapan kolon kesitlerinde hatalı sonuçlar vermektedir. Y-Pro da yatay düzlemde sadece  $U_X$  global deplasmanı oluşmasına karşın SAP 2000 de  $U_X$  ve  $U_Y$  global deplasmanları oluşmaktadır. Aynı şekilde deplasmanlara bağlı olarak Y-Pro da sadece  $M_{33}$  ve  $V_{22}$  iç kuvvetleri oluşmasına rağmen SAP 2000 de  $M_{22}$ ,  $M_{33}$  momentleri,  $V_{22}$ ,  $V_{33}$  kesme kuvvetleri ve T burulma momenti oluşmaktadır. Bu durumun sebebinin Y-Pro nun lokal eksenleri döndürmemesinden kaynaklandığı açıktır. Ülkemizde inşa edilen yapılarda bu tür açılı kesitlerin kullanılmadığı kolonlar görmek hemen hemen imkânsız hale gelmiştir. Bu sebeple sıkça kullanılan bu kesitlerin statik hesaplarda doğru olarak modellenememesi olumsuz durumlar oluşturmakta, analiz sonuçları kullanıcıyı yanıltmaktadır. Bu sorun şu soruyu akla getirmektedir: kolon donatıları böyle bir kalıp planında sadece M33 momentine göre mi hesaplanmaktadır? Gerçekte kolon kesiti, birbirine dik iki asal eksenle eğilmeye maruz iken hesaplar tek eksenli eğilmeye göre mi yapılmaktadır? Bu sorunun cevabı 3.4.9 Kolon Betonarme Hesaplarının İrdelenmesi bölümünde aranacaktır.

Bu hatanın önüne geçebilmek amacıyla Şekil 3.14 örneğindeki S1 kolonu, tanımlı olduğu aksın döndürülmesiyle yeniden modellenmiştir. Böylece S1 kolonu lokal eksen takımının da aksla beraber dönmesi amaçlanmıştır.  $\beta = 30^0$  için Şekil 3.14 deki sisteme ait kabullerin aynısı Şekil 3.21 için yapılmış ve Y-Pro da analiz edilmiştir.



Şekil 3.21  $\beta=30^0$  için düzlem çerçeve örneği

### Malzeme Özellikleri:

Beton Sınıfı: C30/37

$E_C$ : 31800000 kN/m<sup>2</sup>

$\mu_C$ : 0.2

$G_C$ : 13250000 kN/m<sup>2</sup>

$A_{kayma} = 5/6 A_{kesit}$

Analiz sonrasında Y-Pro nun hesapladığı iç kuvvet ve deplasmanların Şekil 3.16 da gösterilen SAP 2000 e ait iç kuvvetlerle ve Çizelge 3.8 de gösterilen SAP 2000 e ait deplasman ve dönmelerle aynı değerlere sahip olduğu saptanmıştır. Y-Pro nun böyle bir yöntemle doğru sonuçlar vermesi bu hatanın düzeltilebilir olduğu anlamına gelmemelidir. Çünkü karmaşık yapı sistemlerinde bu şekilde ilave akslar tanımlayarak hatanın önüne geçmek oldukça zaman alıcı ve de zahmetlidir.

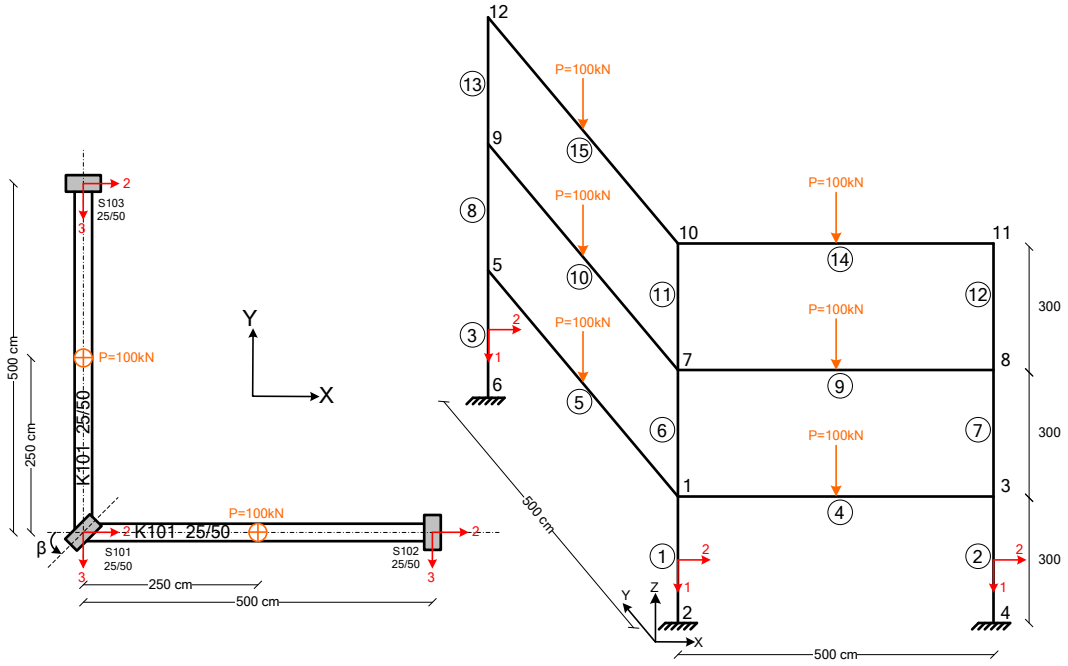
Sonuç olarak Y-Pro kolon lokal eksenlerini, kolon kesitinin asal eksenleri doğrultusunda değil, kolonun tanımlanmış olduğu aksların yönleri doğrultusunda yerleştirmektedir. Bununla beraber, lokal eksenler kolon kesiti döndükçe değil, tanımlı olduğu akslar döndükçe dönmektedir. Kısacası yazılım Şekil 3.14 deki örnek için kolon kesiti ne kadar döndürülürse döndürülsün düzlem çerçeve analizi yapmakta, global Y eksenini doğrultusunda bir deplasman ve buna bağlı iç kuvvet hesaplamamaktadır. Bu durum kullanıcının farkında olmadan ciddi hatalar yapmasına sebep olabilmektedir.

### 3.4.3 Uzay çerçeve iç kuvvet ve deplasmanlarının irdelenmesi

Uzay çerçeve statik analiz sonuçlarını irdelemek amacıyla şekil 3.22 deki sistem Y-Pro ve SAP 2000 yazılımlarında, S1 kolonu  $\beta = 0^0, 30^0, 45^0$  ve  $90^0$  döndürülerek ayrı ayrı analiz edilmiş ve analiz sonuçları çizelge 3.13, 3.14, 3.15, 3.16, 3.17, 3.18, 3.19 ve 3.20 da sunulmuştur.

Analiz öncesinde şekil 3.22 deki sisteme ait yapılan kabuller aşağıda verilmiştir:

- Kolon ve kiriş zati ağırlıkları ihmal edilmiştir.
- Sistemin statik analizi Şekil 3.22 deki yükler için yapılmış, deprem analizi yapılmamıştır.
- Kolon-kiriş birleşim bölgesinin sonsuz rijit olduğu kabulü yapılmamıştır.
- Rijit diyafram kabulü yapılmamıştır.
- Kesit kayma alanı, kesit alanının 5/6 sı olarak hesaplanmıştır.
- SAP 2000 de kiriş burulma rijitlikleri 0.01 ile çarpılmıştır.



#### Malzeme Bilgileri:

Beton: C30/37,  $E_C=3.18 \times 10^7$  kN/m<sup>2</sup>,  $G_C= 1.325 \times 10^7$  kN/m<sup>2</sup>,  $\mu_C=0.2$ ,  $A_{kayma}=5/6 A_{kesit}$

Şekil 3.22 Uzay çerçeve örneği

Çizelge 3.13  $\beta=0^0$  için Y-Pro ve SAP 2000 de hesaplanan iç kuvvetler

$\beta=0^0$ İÇİN								
	Eleman No	Nokta No	N kN	$V_{22}$ kN	$V_{33}$ kN	T kNm	$M_{22}$ kNm	$M_{33}$ kNm
Y-PRO	1	1	-301.83	9.75	-8.77	0.21	-17.41	25.06
		2	-301.83	9.75	-8.77	0.21	8.90	-4.19
	6	7	-200.17	16.88	-15.13	0.35	-21.45	23.84
		1	-200.17	16.88	-15.13	0.35	23.93	-26.80
	11	10	-101.17	22.31	-18.95	0.43	-31.53	41.95
7		-101.17	22.31	-18.95	0.43	25.31	-24.97	
SAP 2000	1	1	-301.83	9.75	-8.77	0.21	-17.41	25.06
		2	-301.83	9.75	-8.77	0.21	8.90	-4.19
	6	7	-200.17	16.88	-15.13	0.35	-21.45	23.84
		1	-200.17	16.88	-15.13	0.35	23.93	-26.80
	11	10	-101.17	22.31	-18.95	0.43	-31.53	41.95
7		-101.17	22.31	-18.95	0.43	25.31	-24.97	



Çizelge 3.14  $\beta=30^0$  için Y-Pro ve SAP 2000 de hesaplanan iç kuvvetler

$\beta=30^0$ İÇİN								
	Eleman No	Nokta No	N kN	V <sub>22</sub> kN	V <sub>33</sub> kN	T kNm	M <sub>22</sub> kNm	M <sub>33</sub> kNm
Y-PRO	1	1	-302.33	9.82	-20.78	0.04	-20.35	23.78
		2	-302.33	9.82	-20.78	0.04	8.24	-5.67
	6	7	-200.22	16.78	-16.13	0.08	-22.50	23.45
		1	-200.22	16.78	-16.13	0.08	25.89	-26.88
	11	10	-101.38	22.05	-9.53	0.11	-36.12	40.59
		7	-101.38	22.05	-9.53	0.11	26.24	-25.56
SAP 2000	1	1	-303.64	13.48	-3.24	0.11	-6.41	34.37
		2	-303.64	13.48	-3.24	0.11	3.31	-6.08
	6	7	-200.47	23.16	-5.56	0.18	-7.89	32.74
		1	-200.47	23.16	-5.56	0.18	8.79	-36.75
	11	10	-102.24	30.52	-6.95	0.22	-11.56	57.41
		7	-102.24	30.52	-6.95	0.22	9.28	-34.16

Çizelge 3.15  $\beta=45^0$  için Y-Pro ve SAP 2000 de hesaplanan iç kuvvetler

$\beta=45^0$ İÇİN								
	Eleman No	Nokta No	N kN	V <sub>22</sub> kN	V <sub>33</sub> kN	T kNm	M <sub>22</sub> kNm	M <sub>33</sub> kNm
Y-PRO	1	1	-302.45	9.77	9.77	0	-22.27	22.27
		2	-302.45	9.77	9.77	0	7.03	-7.03
	6	7	-200.23	16.56	16.56	0	-23.02	23.02
		1	-200.23	16.56	16.56	0	26.65	-26.65
	11	10	-101.45	21.61	21.61	0	-38.77	38.77
		7	-101.45	21.61	21.61	0	26.05	-26.05
SAP 2000	1	1	-303.92	13.98	0	0	0	35.60
		2	-303.92	13.98	0	0	0	-6.35
	6	7	-200.51	24.00	0	0	0	33.92
		1	-200.51	24.00	0	0	0	-38.07
	11	10	-102.41	31.61	0	0	0	59.45
		7	-102.41	31.61	0	0	0	-35.37

Çizelge 3.16  $\beta=90^0$  için Y-Pro ve SAP 2000 de hesaplanan iç kuvvetler

$\beta=90^0$ İÇİN								
	Eleman No	Nokta No	N kN	V <sub>22</sub> kN	V <sub>33</sub> kN	T kNm	M <sub>22</sub> kNm	M <sub>33</sub> kNm
Y-PRO	1	1	-301.83	8.77	9.75	-0.21	-25.06	17.41
		2	-301.83	8.77	9.75	-0.21	4.19	-8.90
	6	7	-200.17	15.13	16.88	-0.35	-23.84	21.45
		1	-200.17	15.13	16.88	-0.35	26.80	-23.93
	11	10	-101.17	18.95	22.31	-0.43	-41.95	31.53
		7	-101.17	18.95	22.31	-0.43	24.97	-25.31
SAP 2000	1	1	-301.83	9.75	8.77	-0.21	17.41	25.06
		2	-301.83	9.75	8.77	-0.21	-8.90	-4.19
	6	7	-200.17	16.88	15.13	-0.35	21.45	23.84
		1	-200.17	16.88	15.13	-0.35	-23.93	-26.80
	11	10	-101.17	22.31	18.95	-0.43	31.53	41.95
		7	-101.17	22.31	18.95	-0.43	-25.31	-24.97

Çizelge 3.17  $\beta=0^0$  için Y-Pro ve SAP 2000 de hesaplanan deplasman ve dönmeler

Y-PRO $\beta=0^0$						
NOKTA NO	Deplasman (mm)			Dönme (radyan)		
	U <sub>X</sub>	U <sub>Y</sub>	U <sub>Z</sub>	R <sub>X</sub>	R <sub>Y</sub>	R <sub>Z</sub>
1	0.281	-0.047	-0.228	-0.000617	0.000378	-0.000027
7	0.839	-0.143	-0.379	-0.000437	0.000324	0.000071
10	1.619	-0.256	-0.455	-0.000888	0.000632	0.000126
SAP 2000 $\beta=0^0$						
NOKTA NO	Deplasman (mm)			Dönme (radyan)		
	U <sub>X</sub>	U <sub>Y</sub>	U <sub>Z</sub>	R <sub>X</sub>	R <sub>Y</sub>	R <sub>Z</sub>
1	0.281	-0.047	-0.228	-0.000617	0.000378	-0.000027
7	0.839	-0.143	-0.379	-0.000437	0.000324	0.000071
10	1.619	-0.256	-0.455	-0.000888	0.000632	0.000126

Çizelge 3.18  $\beta = 30^\circ$  için Y-Pro ve SAP 2000 de hesaplanan deplasman ve dönmeler

Y-PRO $\beta=30^\circ$						
NOKTA NO	Deplasman (mm)			Dönme (radyan)		
	$U_X$	$U_Y$	$U_Z$	$R_X$	$R_Y$	$R_Z$
1	0.256	0.139	-0.228	-0.000501	0.000404	0.000009
7	0.756	0.396	-0.379	-0.000361	0.000327	0.000027
10	1.455	0.755	-0.456	-0.000770	0.000663	0.000052
SAP 2000 $\beta=30^\circ$						
NOKTA NO	Deplasman (mm)			Dönme (radyan)		
	$U_X$	$U_Y$	$U_Z$	$R_X$	$R_Y$	$R_Z$
1	0.334	0.168	-0.229	-0.000451	0.000331	0.000014
7	1.003	0.507	-0.381	-0.000358	0.000301	0.000036
10	1.939	0.997	-0.458	-0.000712	0.000583	0.000064

Çizelge 3.19  $\beta = 45^\circ$  için Y-Pro ve SAP 2000 de hesaplanan deplasman ve dönmeler

Y-PRO $\beta=45^\circ$						
NOKTA NO	Deplasman (mm)			Dönme (radyan)		
	$U_X$	$U_Y$	$U_Z$	$R_X$	$R_Y$	$R_Z$
1	0.217	0.217	-0.228	-0.000442	0.000442	0
7	0.628	0.628	-0.380	-0.000337	0.000337	0
10	1.205	1.205	-0.456	-0.000705	0.000705	0
SAP 2000 $\beta=45^\circ$						
NOKTA NO	Deplasman (mm)			Dönme (radyan)		
	$U_X$	$U_Y$	$U_Z$	$R_X$	$R_Y$	$R_Z$
1	0.272	0.272	-0.229	-0.000375	0.000375	0
7	0.818	0.818	-0.381	-0.000322	0.000322	0
10	1.590	1.590	-0.458	-0.000630	0.000630	0

Çizelge 3.20  $\beta=90^0$  için Y-Pro ve SAP 2000 de hesaplanan deplasman ve dönmeler

Y-PRO $\beta=90^0$						
NOKTA NO	Deplasman (mm)			Dönme (radyan)		
	$U_X$	$U_Y$	$U_Z$	$R_X$	$R_Y$	$R_Z$
1	-0.047	0.281	-0.228	-0.000378	-0.000617	-0.000027
7	-0.143	0.839	-0.379	-0.000324	0.000437	-0.000071
10	-0.256	1.618	-0.455	-0.000632	0.000888	-0.000126
SAP 2000 $\beta=90^0$						
NOKTA NO	Deplasman (mm)			Dönme (radyan)		
	$U_X$	$U_Y$	$U_Z$	$R_X$	$R_Y$	$R_Z$
1	-0.047	0.281	-0.228	-0.000378	-0.000617	-0.000027
7	-0.143	0.839	-0.379	-0.000324	0.000437	-0.000071
10	-0.256	1.618	-0.455	-0.000632	0.000888	-0.000126

Analiz sonuçları incelendiğinde, Y-Pro Bölüm 3.4.2 de olduğu gibi çelişkili sonuçlar sunmaktadır.  $\beta=0^0$  için Y-Pro ve SAP 2000 yazılımlarına ait iç kuvvet ve deplasman sonuçları aynıdır. Fakat S1 kolunu 1 lokal eksen etrafında  $30^0$  ve  $45^0$  döndürüldüğünde iki yazılımın iç kuvvetleri birbirleriyle tamamen farklı çıkmaktadır. Burada dikkat edilmesi gereken en önemli nokta ise 1, 7 ve 10 nolu düğümlerdeki global  $U_X$ ,  $U_Y$ ,  $U_Z$  deplasmanları ve  $R_X$ ,  $R_Y$ ,  $R_Z$  dönmelerinin farklı olmasıdır. Her iki yazılımda da sisteme ait mesnet şartları ve uygulanan dış kuvvetler aynı olduğuna göre düğüm noktası deplasmanlarının farklı çıkmasının tek sebebi yazılımların global rijitlik matrislerinin farklı olmasıdır. Buradan şu sonuç çıkartılabilir: lokal eksenlerin döndürülmesi ile hesaplanan global rijitlik matrisi ile kesitin döndürülmesi ve kesit özelliklerinin mevcut lokal eksenlere göre transforme edilmesiyle (Denk. 3.2) hesaplanan global rijitlik matrisleri aynı olamaz.

Bu örnekte de Şekil 3.21 deki örnekte olduğu gibi S1 kolunu ilave aks tanımlanarak yeniden modellenmiş ve analiz sonrasında sonuçlar SAP 2000 ile karşılaştırılmıştır. Her iki yazılımın deplasman, dönme ve iç kuvvet sonuçları aynı çıkmıştır.

### 3.4.4 Perde Elemanların Deplasman Ve İç Kuvvetlerinin İrdelenmesi

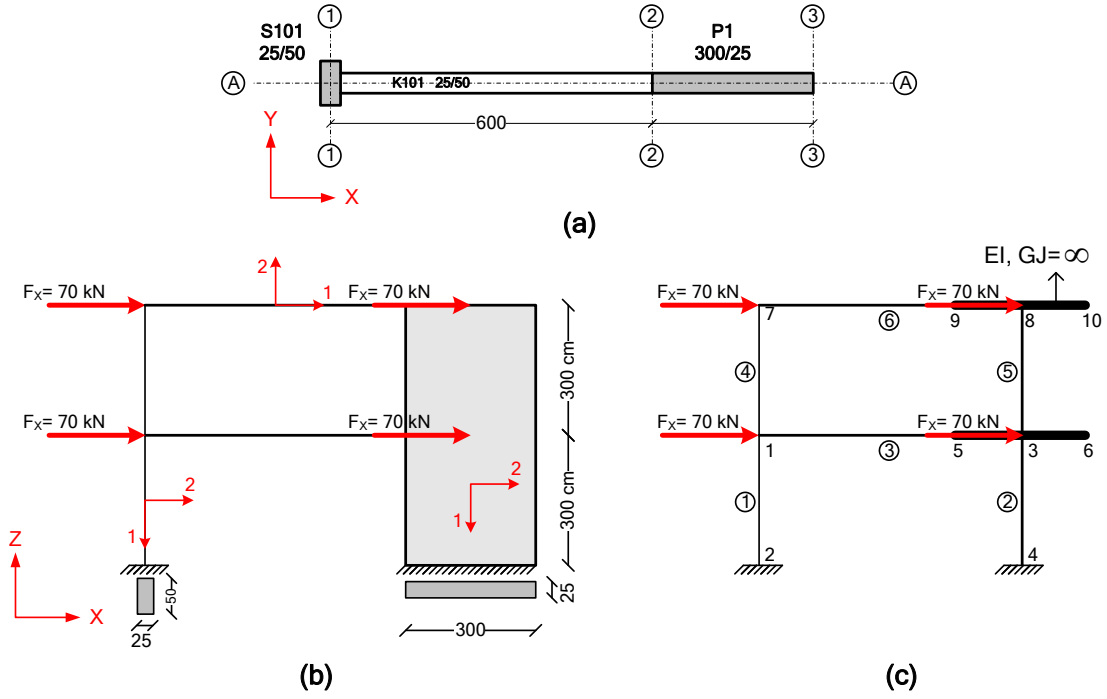
Perde elemanlara ait bilgiler Bölüm 2.1.5 de verilmişti. Bu başlık altında perdelerin kolon ve kabuk olarak modellenip deplasman ve iç kuvvetlerinin SAP 2000 yazılımı ile karşılaştırması yapılacak ve sonuçlar irdelenecektir. Şekil 3.23 de görülen perde+çerçeve sistemine ait P1 perdesi hem kolon hem de kabuk olarak ayrı ayrı modellenip sonuçlar karşılaştırılacaktır.

#### 3.4.4.1 Perde elemanlarda kolon modeli

Y-Pro perde elemanların statik hesaplarını kolon modeline dönüştürerek yapabilmektedir. Bu tür modellemenin yapılması durumunda perdenin kesit özellikleri ( $I_{22}$ ,  $I_{33}$ ,  $I_b$ ,  $A_{kesit}$ ,  $A_{kayma}$ ) perde yüksekliği boyunca oluşturulan çubuk elemana aktarılmakta ve sonlu elemanlar analizi çubuk olarak yapılmaktadır. Perdenin kirişlerle bağlantısı perde düşey ekseninden perde-kiriş birleşim düğümüne kadar eğilme ve burulma rijitliği sonsuz olan sanal kirişlerle yapılmaktadır. Şekil 3.23 de görülen perde, kolon modeli olarak Y-Pro ve SAP 2000 de analiz edilmiştir. İç kuvvet ve deplasmanlar çizelge 3.21 ve 3.22 de verilmiştir.

Sistemin analizi öncesinde aşağıdaki kabuller yapılmıştır:

- Kolon ve kiriş zati ağırlıkları ihmal edilmiştir.
- Sistemin statik analizi yapılmış, deprem analizi yapılmamıştır.
- Kolon kiriş birleşim bölgesinin sonsuz rijit davrandığı kabulü yapılmamıştır.
- Rijit diyafram kabulü yapılmamıştır.
- Kesit kayma alanı, kesit alanının 5/6 sı olarak hesaplanmıştır.
- Sistemin SAP 2000 ile çözümünde rijit kirişlerin eğilme ve burulma rijitlikleri her katta sonsuz alınmış, eksenel ve kayma deformasyonları ihmal edilmiştir.



Malzeme bilgileri  
 Beton: C30/37,  $E_c=3.18 \times 10^7$  kN/m<sup>2</sup>,  $G_c= 1.325 \times 10^7$  kN/m<sup>2</sup>,  $\mu_c=0.20$ ,  $A_{kayma}=5/6 A_{kesit}$ ,  
 $\alpha_c=0$  1/C<sup>0</sup>

Şekil 3.23 Düzlem perde + çerçeve örneği, a) Kalıp planı, b) Geometrik model, c) Perdenin kolon modeli

Analiz sonrasında yazılımın yaptığı kabulleri detaylı olarak incelemek amacıyla ‘Y-Pro düzlem perde+çerçeve modeli’ SAP 2000 ortamına aktarılmıştır. Rijit kirişler incelenerek yazılımın bu elemanların kesit özellikleriyle ilgili yaptığı kabuller hakkında aşağıdaki sonuçlara varılmıştır:

- Rijit kiriş burulma ve eğilme rijitlikleri sonsuz kabul edilecek büyüklüktedir.
- Rijit kirişlerin rijitlik değerleri kattan kata değişmektedir. Örnekte +300 kotundaki rijit kirişlerin rijitlik değerleri +600 kotundaki rijit kirişlerin rijitlik değerlerinin yarısı kadardır. Yazılımın sunumunda bu farklılıktan bahsedilmekte ve bu değişikliklerin özel hesaplamalara göre yapıldığı belirtilmektedir. Fakat hesap yöntemi hakkında herhangi bir bilgi verilmemektedir.

- Eksenel deformasyonlar ihmal edilmemiştir. Rijit kiriş kesit alanı da kattan katta değişmektedir. Örnekte +300 kotu rijit kiriş kesit alanı +600 kotu rijit kiriş kesit alanının yarısı kadardır.
- Rijit kiriş kayma deformasyonları ihmal edilmiştir.

Çizelge 3.21 Perde eleman kolon modeli iç kuvvetleri

KOLON MODELİ							
		Y-PRO			SAP 2000		
Eleman No	Düğüm No	N kN	V <sub>22</sub> kN	M <sub>33</sub> kNm	N kN	V <sub>22</sub> kN	M <sub>33</sub> kNm
1	1	6.57	-3.16	-4.29	6.54	-3.12	-4.24
	2	6.57	-3.16	5.19	6.54	-3.12	5.12
2	3	-6.57	-276.84	375.02	-6.54	-276.88	375.14
	4	-6.57	-276.84	1205.54	-6.54	-276.88	1205.81
3	1	-70.82	3.54	9.69	-70.84	3.52	9.61
	5	-70.82	3.54	-11.56	-70.84	3.52	-11.52
4	7	3.03	-3.98	-6.56	3.02	-3.96	-6.52
	1	3.03	-3.98	5.40	3.02	-3.96	5.37
5	8	-3.03	-136.02	-16.16	-3.02	-136.04	-16.14
	3	-3.03	-136.02	391.98	-3.02	-136.04	391.98
6	7	-66.02	3.03	6.56	-66.04	3.02	6.52
	8	-66.02	3.03	-11.62	-66.04	3.02	-11.60

Çizelge 3.22 Perde eleman kolon modeli deplasman ve dönmeleri

KOLON MODELİ						
		Y-PRO			SAP 2000	
DÜĞÜM NO	Deplasman (mm)		Dönme (radyan)	Deplasman (mm)		Dönme (radyan)
	U <sub>X</sub>	U <sub>Z</sub>	R <sub>Y</sub>	U <sub>X</sub>	U <sub>Z</sub>	R <sub>Y</sub>
1	0.448	0.005	0.000065	0.441	0.005	0.000063
3	0.334	0.000	0.000133	0.334	-0.001	0.000133
5	0.341	0.198	0.000133	0.334	0.198	0.000133
6	0.334	-0.200	0.000133	0.334	-0.200	0.000133
7	0.957	0.007	-0.000019	0.945	0.007	-0.000020
8	0.845	-0.001	0.000164	0.845	-0.001	0.000164
9	0.858	0.245	0.000164	0.845	0.245	0.000164
10	0.845	-0.247	0.000164	0.845	-0.247	0.000164

Y-Pro ile SAP 2000 yazılımından elde edilen iç kuvvetler karşılaştırıldığında sonuçların birbirleriyle tutarlılık içinde olduğu görülmüştür. En büyük iç kuvvet farkı %0.12 olarak tespit edilmiştir.

Deplasman ve dönme sonuçları incelendiğinde aksel deформasyonlardan kaynaklanan farkların meydana geldiği görülmüştür. Aynı yatay doğrultu üzerindeki 5, 3 ve 6 düğümlerinin  $U_x$  deplasmanları incelendiğinde, SAP 2000 çözümünden elde edilen deplasmanların 5,3 ve 6 düğümleri için aynı olduğu görülmektedir. Bunun nedeni ise, sistemin SAP 2000 de modellenmesi yapılırken rijit kirişlerin aksel deформasyonları ihmal edilmiştir. Aynı düğüm noktalarının Y-Pro ile çözümünden elde edilen  $U_x$  deplasmanları incelendiğinde 5 nolu düğümün 3 nolu düğümden 0.007 mm daha fazla deplasman yaptığı görülmektedir. Bu farkın aksel deформasyondan kaynaklandığı çok açıktır. Y-Pro şekil 3.13 deki örnekte +300 kotundaki rijit kirişlerin kesit alanını  $0.5 \text{ m}^2$  aldığı için:

$$\delta = \frac{NL}{AE} = \frac{70.82 \times 1.5}{0.5 \times 31.8 \times 10^6} \cong 7 \times 10^{-6} \text{ m}$$

5-3 düğümleri arasında tanımlı rijit kirişte 0.007 mm aksel kısalma meydana gelmiştir. 3 ve 6 düğüm noktaları arasında tanımlı rijit kirişe herhangi bir yatay kuvvet etki etmediği için bu düğüm noktaları arasında yatay deplasman farkı meydana gelmemiştir.

Sonuç olarak Y-Pro ve SAP 2000 yazılımları, düzlem perde+çerçeve sistem için karşılaştırıldığında, rijit kirişlerin modelleme farklılığından dolayı deplasman ve iç kuvvetlerde çok küçük farklar meydana gelmiştir. Bu farkların ihmal edilebilir büyüklükte olduğu açıkça görülebilmektedir.

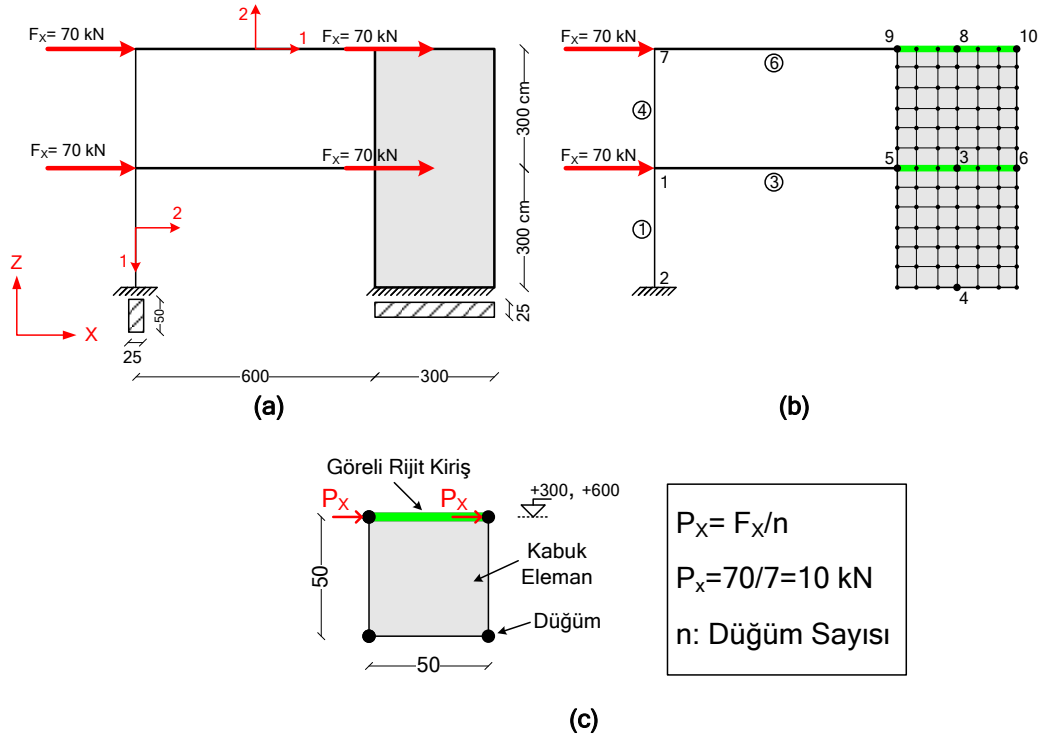


#### **3.4.4.2 Perde elemanlarda kabuk modeli**

Y-Pro da perde elemanlar kabuk olarak modellendiğinde perde, sonlu boyutlu dikdörtgen elemanlara ayrılmaktadır. Kabuk boyutları kullanıcı tarafından değiştirilip, çözüm hassasiyeti arttırılabilir. Kabuk modelinin kullanılması durumunda yazılım, kat seviyelerindeki kabuk eleman düğüm noktalarını, büyük rijitliğe sahip çubuk elemanlarla birbirine bağlamaktadır. Yazılım, sunumunda bu elemanları görelî rijit kiriş olarak adlandırmaktadır. Görelî rijit kirişlerin kesit alanı sıfırdır. Şekil 3.23 deki kalıp planı kabuk modeli kullanılarak Y-Pro ve SAP 2000 de analiz edilecektir. Geometri ve analitik model şekil 3.24 de gösterilmektedir.

Sistemin analizi öncesinde aşağıdaki kabuller yapılmıştır:

- Kolon ve kiriş zati ağırlıkları ihmal edilmiştir.
- Sistemin statik analizi yapılmış, deprem analizi yapılmamıştır.
- Kolon kiriş birleşim bölgesinin sonsuz rijit davrandığı kabulü yapılmamıştır.
- Rijit diyafram kabulü yapılmamıştır.
- Kesit kayma alanı, kesit alanının 5/6 sı olarak hesaplanmıştır.
- Sistemin SAP 2000 ile çözümünde görelî rijit kirişlerin eğilme rijitliği her katta sonsuz alınmış, kesit alanı sıfır alınmıştır.
- Her katta perdelerle etkiyen 70 kN luk yatay yük kat seviyesindeki kabuk eleman düğüm noktalarına eşit olarak dağıtılmıştır (Bkz. Bölüm 2.1.5.5 Perde eleman yükleri).



Şekil 3.24 Düzlem çerçeve + kabuk modeli a) Geometrik model, b) Analitik model, c) Kat seviyesi kabuk eleman örneği

Çizelge 3.23 Perde eleman kabuk modeli eleman iç kuvvetleri

KABUK MODELİ							
		Y-PRO			SAP 2000		
Eleman No	Düğüm No	N kN	V <sub>22</sub> kN	M <sub>33</sub> kNm	N kN	V <sub>22</sub> kN	M <sub>33</sub> kNm
1	1	6.58	-3.16	-4.29	6.58	-3.16	-4.29
	2	6.58	-3.16	5.19	6.58	-3.16	5.19
3	1	-70.83	3.54	9.69	-70.83	3.54	9.69
	5	-70.83	3.54	-11.53	-70.83	3.54	-11.54
4	7	3.05	-3.99	-6.57	3.04	-3.99	-6.57
	1	3.05	-3.99	5.39	3.04	-3.99	5.39
6	7	-66.01	3.05	6.57	-66.01	3.04	6.57
	8	-66.01	3.05	-11.70	-66.01	3.04	-11.68

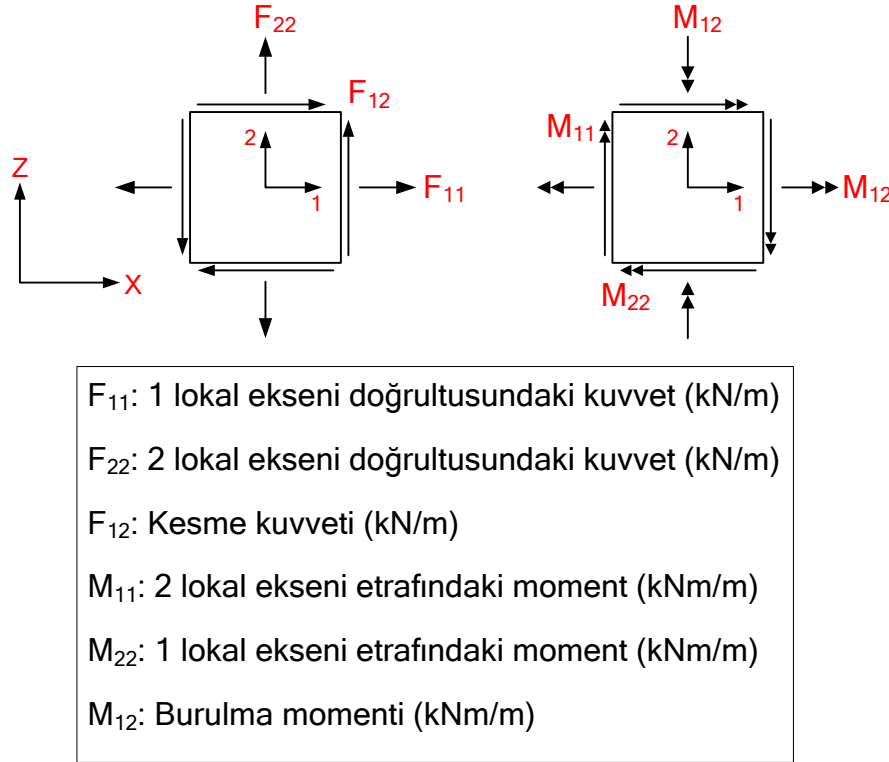
Çizelge 3.24 Perde eleman kabuk modeli deplasman ve dönmeleri

<b>KABUK MODELİ</b>						
	<b>Y-PRO</b>			<b>SAP 2000</b>		
<b>DÜĞÜM NO</b>	<b>Deplasman (mm)</b>		<b>Dönme (radyan)</b>	<b>Deplasman (mm)</b>		<b>Dönme (radyan)</b>
	<b>U<sub>X</sub></b>	<b>U<sub>Z</sub></b>	<b>R<sub>Y</sub></b>	<b>U<sub>X</sub></b>	<b>U<sub>Z</sub></b>	<b>R<sub>Y</sub></b>
<b>1</b>	0.448	0.005	0.000065	0.448	0.005	0.000065
<b>3</b>	0.320	0.000	0.000132	0.32	0.000	0.000132
<b>5</b>	0.957	0.007	-0.000020	0.957	0.007	-0.000020
<b>6</b>	0.325	-0.199	0.000132	0.325	-0.199	0.000132
<b>7</b>	0.957	0.007	-0.000020	0.957	0.007	-0.000020
<b>8</b>	0.826	0.001	0.000165	0.826	0.001	0.000165
<b>9</b>	0.857	0.248	0.000165	0.857	0.248	0.000165
<b>10</b>	0.827	-0.247	0.000165	0.827	-0.247	0.000165

Analiz sonrasında Y-Pro ya ait model SAP 2000 yazılımına aktarılıp görelî rijit kirişler incelenmiştir. Görelî rijit kirişlerin eğilme atalet momentleri incelendiğinde, yazılımın bu değeri perde genişliği ve kat yüksekliği boyutlarında bir kirişin atalet momentine eşit değerde aldığı görülmüştür. Bu örnek için görelî rijit kiriş atalet momenti, 0.25 m genişliğinde ve 3 m yüksekliğinde bir kirişin atalet momenti ile aynıdır. Aynı örnek kat yükseklikleri ve perde genişlikleri değiştirilerek analiz edilmiş ve atalet değerlerinin de aynı oranda değiştiği görülmüştür. 3 ve 6 nolu kirişler perdeye sırasıyla 5 ve 9 nolu düğümlerden moment mafsalı olarak bağlanıp tekrar analizi yapılmıştır. Bu durumda da görelî rijit kirişlerin geometrik özellikleri değişmemiştir. Buradan şu sonuç da çıkabilmektedir: görelî rijit kirişlerin kesit özellikleri perdeye bağlanan kirişlerle alakalı değildir. P1 perdesi sistemden ayrılıp salt perde olarak aynı yüklerle analiz edilse dahi kat hizalarında görelî rijit kirişler kullanılmaktadır.

Y-Pro kabuk iç kuvvetlerini kuvvet ve moment olarak sunmaktadır. Gerilmeler ise grafik ekranda ve raporlarda sunulmamaktadır. Kabuk iç kuvvetlerinin pozitif yön kabullerinin sunulmadığı Bölüm 2.1.5.1 de belirtilmiş idi. Şekil 3.24 deki örneğin analizi sonrasında kabuk eleman iç kuvvetlerinin pozitif yön kabulleri araştırılmıştır. Sonuç olarak iç kuvvet pozitif yönlerinin şekil 3.25 deki gibi kabul edildiği

görülmüştür. Analiz sonuçlarının analitik modele ait diyagram ve konturlar üzerinde irdelenmesi sırasında yazılımın  $F_{11}$ ,  $F_{22}$ ,  $F_{12}$  kuvvetlerinin birimini gerilme olarak sunduğu fark edilmiştir. Oysa kuvvet birimi kN dir. Raporlar incelendiğinde ise bu kuvvetlerin birimi kN olarak verilmektedir.



Şekil 3.25 Kabuk eleman iç kuvvet pozitif yönleri

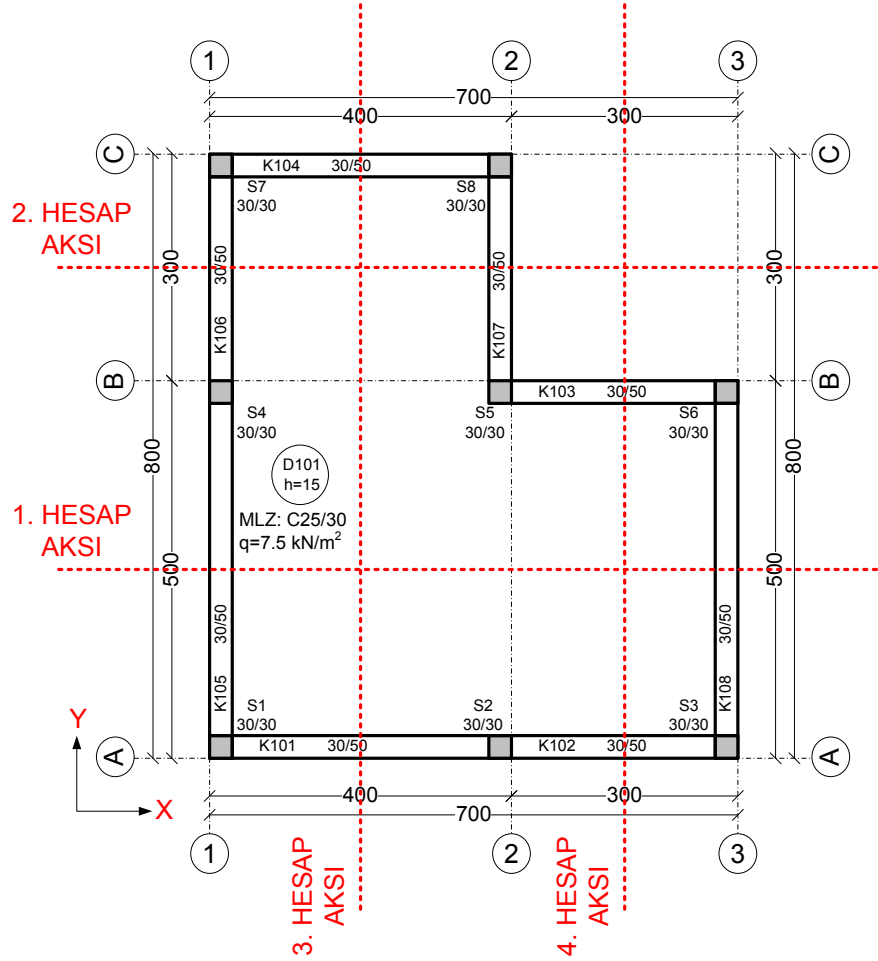
Şekil 3.24 e ait örneğin kabuk eleman iç kuvvet sonuçları Y-Pro ve SAP 2000 ile karşılaştırıldığında sonuçlar arasında kabul edilebilir farklar olduğu görülmüştür. Bu örnek için en büyük fark %7.58 hesaplanmıştır.

Sonuç olarak perde elemana ait kolon ve kabuk modelleri incelendiğinde çözümlerin birbirine çok yakın olduğu görülmektedir.

### 3.4.5 L Döşemelerde Moment Katsayıları Yönteminin İrdelenmesi

Y-Pro, döşeme statik hesaplarını sonlu elemanlar metodu veya TS 500–2000 moment katsayıları yöntemi ile yapmaktadır. Aslında moment katsayıları yöntemi

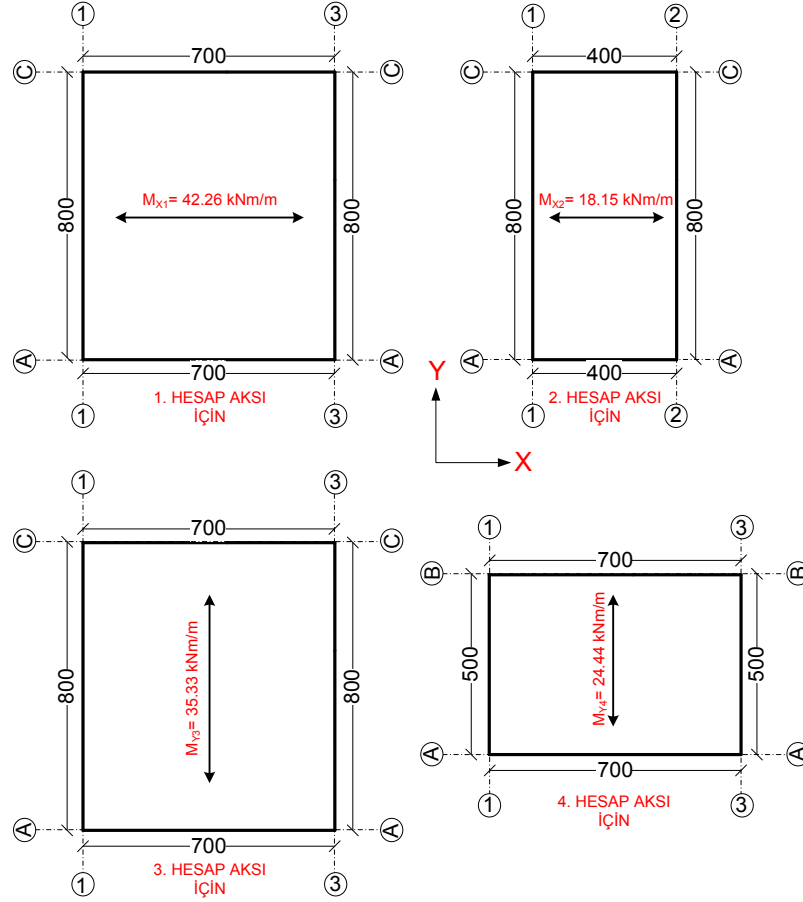
dörtkenarından kirişlere oturan dikdörtgen plakların hesabı için kullanılabilir. Fakat yazılım L forma sahip döşemelerde de moment katsayıları yöntemine göre hesap yapmaktadır. Bu durumda yazılımın 'α' katsayısını nasıl hesapladığını incelemek amacıyla Şekil 3.26 daki döşeme plağı analiz edilmiştir.



Şekil 3.26 'L' forma sahip döşeme planı

L veya farklı formdaki döşemeler TS 500–2000 moment katsayıları yöntemine göre hesaplanamaz. İki veya daha fazla döşemeye ayrılarak uygun tablolar yardımıyla çözülür (Çetmeli, 1987.). Bununla birlikte sonlu elemanlar metodu ile çözüm doğru sonuca götürecektir. Şekil 3.26 daki döşeme Y-Pro da TS 500–2000 moment katsayıları yöntemiyle çözülmek istendiğinde, yazılımın, döşemeyi her hesap aksı için ayrı bir dikdörtgen döşeme olarak çözdüğü görülmüştür.  $M_d = \alpha P_d l^2$  formülündeki 'α'

katsayısını bulmak için kullanılan  $l_u/l_k$  döşeme kenar uzunlukları, hesap aksının kestiği döşemeye paralel ve dik olan uzunluklar olarak alınmaktadır. Şekil 3.27 de, Şekil 3.26'daki hesap aksları için kullanılan döşeme boyutları ve hesap aksı doğrultusundaki tasarım momentleri verilmiştir.



Şekil 3.27 Dörde ayrılmış L döşeme

Şekil 3.27 de görüldüğü gibi yazılım D101 döşemesini her hesap aksı için ayrı ayrı çözmüştür. 1 hesap aksı, doğrultusuna paralel olan A-C ve doğrultusuna dik olan 1-3 aksları arasında kalan bölgeyi hesaplamaktadır. Aynı şekilde 2 hesap aksı, doğrultusuna paralel olan A-C aksları ve doğrultusuna dik olan 1-2 aksları arasında kalan bölgeyi hesaplamaktadır. Şekil 3.26'daki döşeme Y-Pro da tek parça halinde moment katsayıları yöntemi kullanılarak, SAP 2000 de ise şekil 3.27'deki gibi dört

parça halinde sonlu elemanlar metodu kullanılarak modellenip analiz edilmiştir. Böylelikle hem sonlu elemanlar metoduyla moment katsayıları yöntemi karşılaştırılmış, hem de Y-Pro nun ' $\alpha$ ' katsayısını doğru hesaplayıp hesaplayamadığı kontrol edilmek istenmiştir. Kiriş burulma rijitlikleri ihmal edilmiş ve C25/30 betonu kullanılmıştır. Çizelge 3.25 deki Y-Pro ya ait sonuçlar moment katsayıları yöntemi ile hesaplanmış değerlerdir.

**Çizelge 3.25 Moment katsayıları yöntemine ait sonuçlar**

$P_d=17.25 \text{ kN/m}^2$	Y-PRO				SAP 2000			
	( $M_{X1}$ )	( $M_{X2}$ )	( $M_{Y3}$ )	( $M_{Y4}$ )	( $M_{X1}$ )	( $M_{X2}$ )	( $M_{Y3}$ )	( $M_{Y4}$ )
1. HES AP AKS I	42.26	-	-	-	39.62	-	-	-
2. HES AP AKS I	-	18.15	-	-	-	20.9	-	-
3. HES AP AKS I	-	-	35.33	-	-	-	31.73	-
4. HES AP AKS I	-	-	-	24.44	-	-	-	25.32

Çizelge 3.25 de Y-Pro ya ait sonuçlar incelenerek yazılımın kullandığı  $I_v/I_k$  ya bağlı ' $\alpha$ ' katsayısının doğru olduğu el hesabıyla kontrol edilmiştir. Burada dikkat edilmesi gereken diğer bir nokta ise SAP 2000 ve Y-Pro ya ait sonuçların farklı olmasıdır. Bunun sebebinin ise moment katsayıları yönteminin yaklaşık sonuçlar veren bir yöntem olmasıdır.

### 3.4.6 Rijitlik Merkezi Kavramının İrdelenmesi

Yapılarda taşıyıcı sistem seçimi özellikle deprem kuvvetlerinden kaynaklanan burulma etkileri açısından son derece önemlidir. Genellikle mimari kısıtlamalar nedeniyle taşıyıcı sistem simetrik olarak modellenememektedir. Bu durum kütle ve rijitlik merkezinin çakışmamasına neden olmaktadır.

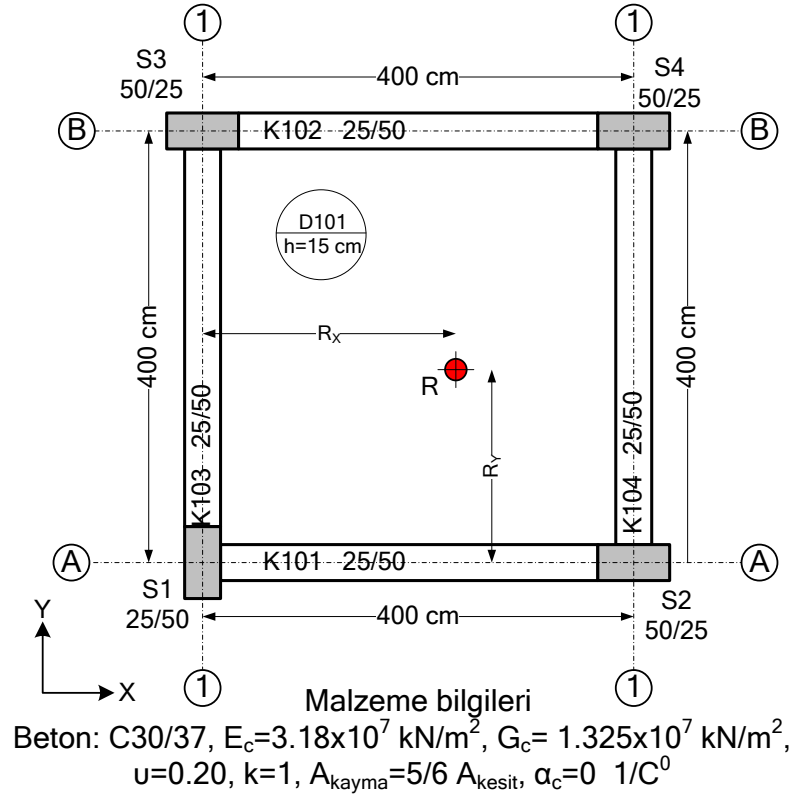
Rijitlik merkezi, düşey taşıyıcı elemanlarda oluşan kesme kuvvetlerinin bileşkesinin etki ettiği nokta olarak tanımlanır (Doğangün, 2005). Yani, yapıya yatay yükler altında, kat hizalarında dönme oluşturmayacak şekilde yatay yük etki ettirilebilecek noktadır. Rijitlik merkezi, birçok farklı kaynakta değişik yöntemlerle hesaplanmaktadır. Bu tezde hesaplama şekillerine detaylı olarak girilmeden Şekil 3.28

deki sisteme ait rijitlik merkezi ilk olarak elle, daha sonra Y-Pro ve ETABS yazılımı ile hesaplanarak sonuçlar karşılaştırılacaktır. Referans noktası olarak sol-alt köşedeki A-1 akslarının kesişimi alınmıştır. El hesaplamalarında şu iki denklem kullanılmıştır:

$$R_x = \frac{\sum_{i=1}^n I_{Yi} e_{Xi}}{\sum_{i=1}^n I_{Yi}} \quad ve \quad R_y = \frac{\sum_{i=1}^n I_{Xi} e_{Yi}}{\sum_{i=1}^n I_{Xi}}$$

Analiz öncesinde aşağıdaki kabuller yapılmıştır:

- Kolon ve kiriş zati ağırlıkları ihmal edilmemiştir.
- Sistemin statik analizi yapılmış, deprem analizi yapılmamıştır.
- Kolon-kiriş birleşim bölgesinin sonsuz rijit olduğu kabulü yapılmamıştır.
- Rijit diyafram kabulü yapılmıştır.
- Kayma alanı kesit alanının 5/6 sı olarak alınmıştır.
- Kolon kesitleri aksları ortalayacak şekilde yerleştirilmiştir.
- Kiriş burulma rijitlikleri 0.01 ile çarpılmıştır.



Şekil 3.28 Kalıp planı



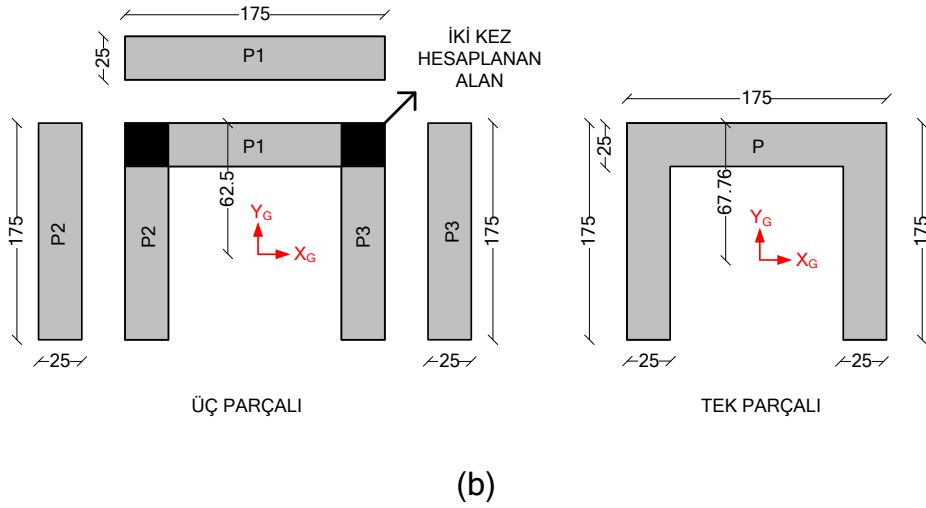
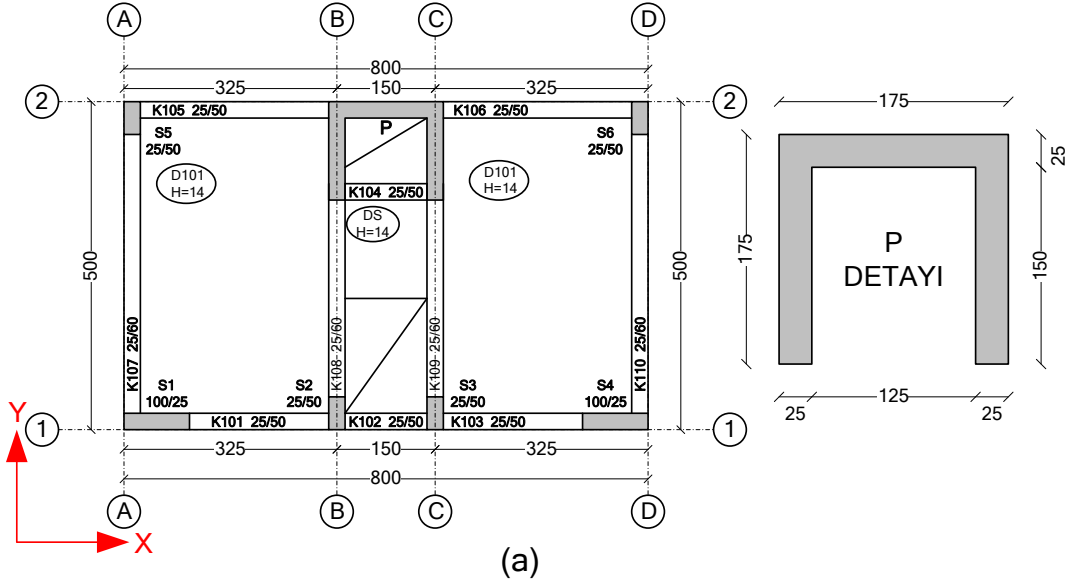
Çizelge 3.26 Rijitlik merkezi koordinatları

RİJİTLİK MERKEZİ KOORDİNATLARI (m)			
	EL HESABI	Y-PRO	ETABS
R <sub>x</sub>	2.46	1.14	1.35
R <sub>y</sub>	1.14	2.46	2.44

Görüldüğü gibi sonuçların üçü de birbirinden farklı çıkmıştır. Özellikle el hesabı ile bulunan çözüm diğer iki çözümden tamamen farklıdır. Bunun sebebi ise, el hesabında kolon rijitliğinin sadece kolon atalet momentine bağlı olmasıdır. Oysaki kirişler de kolon rijitliklerinde etkili olmaktadır. Y-Pro ile ETABS a ait sonuçlar arasındaki fark kabul edilebilir düzeydedir. Daha büyük kat planlarında yapılan çözümlerde de sonuçların birbirine yakın çıktığı görülmüştür. Sonuçta Y-Pro kullanıcıya kalıp planı tasarımı esnasında yardımcı olacak doğrulukta bir rijitlik merkezi yeri hesaplayabilmektedir.

### 3.4.7 Poligon Perde Kavramının İrdelenmesi

Y-Pro da poligon forma sahip kolonlar tek parça olarak modellenmekte, fakat poligon forma sahip perdeler ( U, L, T, Z) tek parça olarak modellenememektedir. L formunda bir perde iki parça olarak, U formundaki bir perde ise üç parça olarak modellenebilir. Şekil 3.29 daki kalıp planına ait U forma sahip asansör perde, Y-Pro da üç perde elemanın tanımlanmasıyla modellenmektedir.



Şekil 3.29 (a) Kalıp planı, (b) Asansör perdesi açılımı

Asansör perdesini modellemek için yazılımda P1, P2 ve P3 perdelerinin ayrı ayrı tanımlanması gerekmektedir. Bu durumda perdelerin kesişimlerindeki alanlar atalet momenti hesaplarına ikinci kez katılmakta ve U perdenin rijitliği olduğundan daha fazla hesaplanmaktadır. Çizelge 3.27 de U perdenin ayrı ayrı ve tek parça olarak modellenmesi durumunda hesaplanan atalet momentleri ve bunların % olarak farkları verilmiştir.

Çizelge 3.27 Asansör perdesi atalet momentleri

ATALET MOMENTİ (m <sup>4</sup> )	ÜÇ PARÇALI	TEK PARÇALI	FARK (%)
I <sub>XG</sub>	0.3897	0.3545	9.03
I <sub>YG</sub>	0.6084	0.5374	11.67

Çizelge 3.27 den de görüldüğü gibi Y-Pro U perdeyi olduğundan daha rijit olarak hesaplamaktadır. Buna bağlı olarak rijitlik merkezinin yerinin olduğundan daha farklı çıkmasına neden olmaktadır. Kullanıcı poligon perde modellemesi yaparken bu durumu dikkate almalıdır.

### 3.4.8 Kiriş Betonarme Hesaplarının İrdelenmesi

#### 3.4.8.1 Kiriş boyuna donatı hesaplarının irdelenmesi

Tablasız kirişlerde boyuna donatılara ait donatı alanları ve seçilen donatı alanlarını kontrol etmek amacı ile Şekil 3.30 daki sistem P= 0, 100, 200, 300 kN luk sabit yükler etkilerek Y-Pro ile analiz edilmiştir. Sonuçlar Uğur ERSOY Betonarme Hesap Tabloları (Ersoy ve Özcebe, 2004) ve M. Ruhi AYDIN Betonarme Hesap Tabloları (Aydın, 2002) ile hesaplanan donatı alanları ile karşılaştırılıp doğrulukları araştırılmıştır. Ayrıca yazılıma ait sonuçlar TS 500–2000 ve TDY 2007 deki sınır koşulları sağlıyor mu? sorularına cevap aranmıştır.

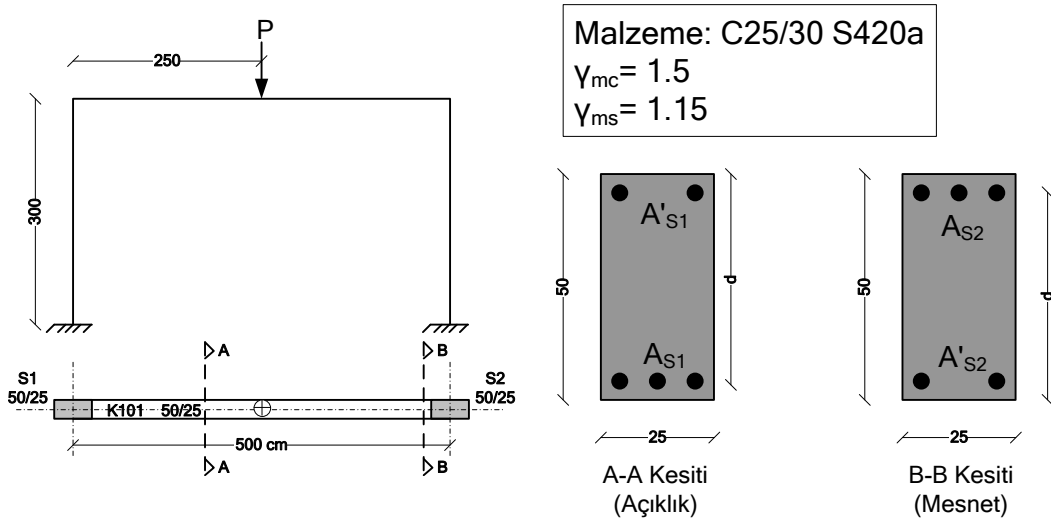
Analiz sonuçlarını irdelenmeden önce önemli bir bilgilendirme yapmakta fayda vardır: Y-Pro tek donatılı kesitten çift donatılı kesite geçişi ( $K_L/K$ )<sup>1</sup> oranı ile belirlemektedir. Yazılım,  $K_L/K$  oranının birden küçük olması durumunda tek donatılı, birden büyük olması durumunda ise çift donatılı kesit boyutlandırması yapmaktadır. Bu koşul Y-Pro nun ‘kullanılabilirlik sınır durumu’ na göre boyutlandırma yaptığını göstermektedir.

<sup>1</sup> K<sub>L</sub>: Kullanılabilirlik sınır durumundaki eğrilik, K: eğrilik (ERSOY ve ÖZCEBE 2004)

Sonuçları daha sağlıklı karşılaştırabilmek için faydalı yükseklikler yazılımın hesapladığı şekliyle alınmış ve betonarme hesap tablolarında bu değerler kullanılmıştır.

Analiz öncesi yapılan kabuller aşağıda verilmiştir:

- Sistem ağırlıkları ihmal edilmemiş ve P kuvveti sabit yük olarak etki ettirilmiştir.
- Kolon-kiriş birleşim bölgesinin rijit olmadığı varsayılmıştır.
- Deprem analizi yapılmamıştır.
- Rijit diyafram kabulü yapılmamıştır.
- Tasarım momenti  $M_d = 1.4 G$  olarak hesaplanmıştır.



Şekil 3.30 Tablasız kirişe ait sistem

TS 500–2000 ve TDY 2007 ye göre hesaplanmış sınır değerler aşağıda verilmektedir;

$$f_{cd} = 16.67 \text{ MPa}, \quad f_{ctd} = 1.17 \text{ MPa}, \quad f_{yd} = 365.22 \text{ MPa}$$

$$\rho_b = 0.0205$$

$$\rho_{\max} = \begin{cases} 0.85 \rho_b = 0.01743 \\ 0.02 \end{cases}$$

$$\rho_{\min} = 0.8 \frac{f_{ctd}}{f_{yd}} = 0.002556$$

Bu oranlara göre aşağıdaki koşulların sağlanması gereklidir:

$$\rho_1 \text{ ve } \rho_2 \geq \rho_{\min} = 0.002556$$

$$\rho_1 \leq 0.02 \text{ ve } (\rho_1 - \rho_1') \leq \rho_{\max} = 0.01743$$

$$\rho_2 \leq 0.02 \text{ ve } (\rho_2 - \rho_2') \leq \rho_{\max} = 0.01743$$

Çizelge 3.28 Tablasız giriş betonarme hesap sonuçları

P=0 kN	Hesaplanan Donatı (mm <sup>2</sup> )				Seçilen Donatı (mm <sup>2</sup> )			
	Açıklık		Mesnet		Açıklık		Mesnet	
Açıklık M <sub>d</sub> = 6.78 kNm								
Mesnet M <sub>d</sub> = 6.89 kNm	A <sub>s1</sub>	A' <sub>s1</sub>	A <sub>s2</sub>	A' <sub>s2</sub>	A <sub>s1</sub>	A' <sub>s1</sub>	A <sub>s2</sub>	A' <sub>s2</sub>
<b>Y-PRO YAZILIMI</b>	40	YOK	41	YOK	339	YOK	339	YOK
<b>A. TOPÇU s. 141</b>	40.1	YOK	40.8	YOK	339	YOK	339	YOK
<b>R. AYDIN TABLO</b>	40.4	YOK	40.5	YOK	339	YOK	339	YOK

P=100 kN	Hesaplanan Donatı (mm <sup>2</sup> )				Seçilen Donatı (mm <sup>2</sup> )			
	Açıklık		Mesnet		Açıklık		Mesnet	
Açıklık M <sub>d</sub> = 115.3 kNm								
Mesnet M <sub>d</sub> = 73.32 kNm	A <sub>s1</sub>	A' <sub>s1</sub>	A <sub>s2</sub>	A' <sub>s2</sub>	A <sub>s1</sub>	A' <sub>s1</sub>	A <sub>s2</sub>	A' <sub>s2</sub>
<b>Y-PRO YAZILIMI</b>	743	YOK	457	YOK	763	YOK	480	YOK
<b>U. ERSOY TABLO</b>	753	YOK	462	YOK	763	YOK	480	YOK
<b>R. AYDIN TABLO</b>	717	YOK	446	YOK	763	YOK	480	YOK

P=200 kN	Hesaplanan Donatı (mm <sup>2</sup> )				Seçilen Donatı (mm <sup>2</sup> )			
	Açıklık		Mesnet		Açıklık		Mesnet	
Açıklık M <sub>d</sub> = 223.8 kNm								
Mesnet M <sub>d</sub> = 139.7 kNm	A <sub>s1</sub>	A' <sub>s1</sub>	A <sub>s2</sub>	A' <sub>s2</sub>	A <sub>s1</sub>	A' <sub>s1</sub>	A <sub>s2</sub>	A' <sub>s2</sub>
<b>Y-PRO YAZILIMI</b>	1579	391	924	YOK	1659	402	1030	YOK
<b>U. ERSOY TABLO</b>	1575	360	920	YOK	1659	402	1030	YOK
<b>R. AYDIN TABLO</b>	1667	53	915	YOK	1684	226	1030	YOK

P=300 kN	Hesaplanan Donatı (mm <sup>2</sup> )				Seçilen Donatı (mm <sup>2</sup> )			
	Açıklık		Mesnet		Açıklık		Mesnet	
Açıklık M <sub>d</sub> = 332.3 kNm								
Mesnet M <sub>d</sub> = 206.1 kNm	A <sub>s1</sub>	A' <sub>s1</sub>	A <sub>s2</sub>	A' <sub>s2</sub>	A <sub>s1</sub>	A' <sub>s1</sub>	A <sub>s2</sub>	A' <sub>s2</sub>
<b>Y-PRO YAZILIMI</b>	KESİT YETERSİZ	KESİT YETERSİZ	1394	145	KESİT YETERSİZ	KESİT YETERSİZ	-	-
<b>U. ERSOY TABLO</b>	2215	957	1283	159	KESİT YETERSİZ	KESİT YETERSİZ	-	-
<b>R. AYDIN TABLO</b>	2219	416	1428	-	KESİT YETERSİZ	KESİT YETERSİZ	-	-

Çizelge 3.28 incelendiğinde yazılımın donatı alanlarını doğru hesapladığı görülmektedir. Sonuçlar çok küçük farklarla birbirine yakın çıkmıştır. Seçilen donatı alanları hesaplanan donatı alanlarının üzerindedir.

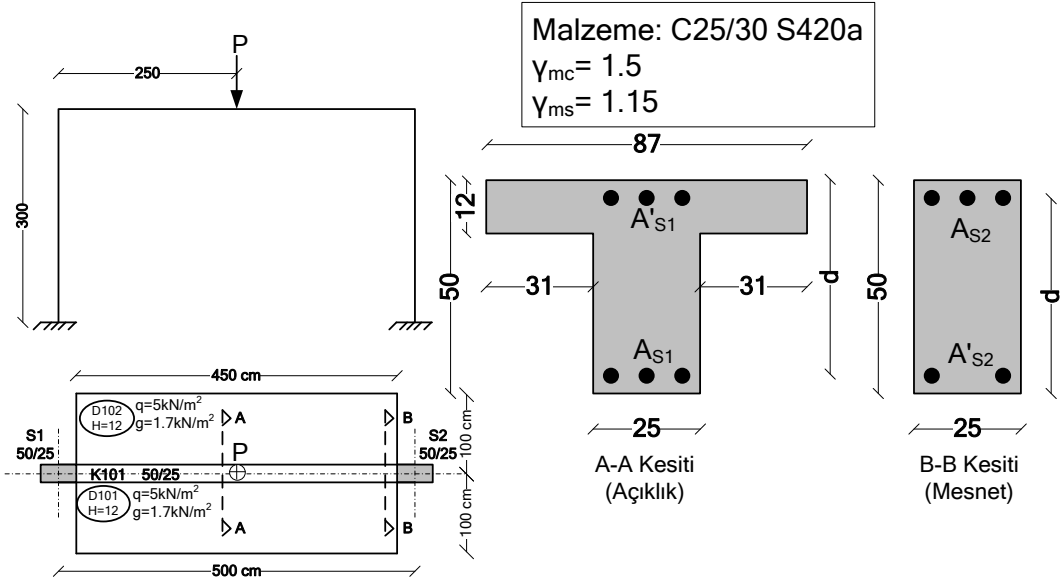
$P= 0$  kN luk yük altında hesaplanan donatı alanı,  $A_s^{\min} = \rho_{\min} b_w d = 298 \text{ mm}^2$  değerinin altındadır. Yazılım,  $A_s= 40 \text{ mm}^2$  hesaplamasına rağmen kirişe  $298 \text{ mm}^2$  nin üzerinde donatı yerleştirmiştir ( $339 \text{ mm}^2$ ). Böylece TS 500–2000 deki minimum donatı oranı gerçekleşmiştir.

$P= 300$  kN için yazılım kiriş kesitinin yetersiz olduğu uyarısını vermektedir.  $d=443$  mm için donatı oranı 0.02 olarak hesaplanmaktadır. Yazılım boyutlandırma yapmamaktadır. Ayrıca K101 kirişi için hesap çıktısı ve kiriş donatı detay çizimlerini vermemektedir. Böylelikle bilerek veya bilmeyerek yapılması muhtemel hataların önüne geçildiği görülmüştür.

Tablalı kirişlerde betonarme hesapları irdelemek amacıyla şekil 3.31 deki sistem Y-Pro ile analiz edilmiştir. Analiz öncesinde yapılan kabuller aşağıda verilmiştir:

- Zati ağırlıklar ihmal edilmemiş ve P kuvveti sabit yük olarak etki ettirilmiştir.
- Kolon-kiriş birleşim bölgesinin rijit olmadığı varsayılmıştır.
- Deprem analizi yapılmamıştır.
- Rijit diyafram kabulü yapılmamıştır.
- Tasarım momenti  $M_d = 1.4 G + 1.6 Q$  olarak hesaplanmıştır.
- El hesabında tabla genişliği, Y-Pro nun kullandığı değer aynısı alınmıştır.

Sonuçlar Uğur ERSOY Betonarme Hesap Tabloları (Ersoy ve Özcebe, 2004) ve M. Ruhi AYDIN Betonarme Hesap Tabloları (Aydın, 2002) ile hesaplanan donatı alanlarıyla karşılaştırılıp doğrulukları araştırılmıştır. Ayrıca yazılıma ait sonuçlar TS 500–2000 ve TDY 2007 deki sınır koşulları sağlıyor mu, tabla genişliği doğru hesaplanıyor mu? sorularına cevap aranmıştır.



Şekil 3.31 Tablalı kirişe ait sistem

Çizelge 3.29 Tablalı kiriş betonarme hesap sonuçları

P=0 kN	Hesaplanan Donatı (mm <sup>2</sup> )				Seçilen Donatı (mm <sup>2</sup> )			
	Açıklık		Mesnet		Açıklık		Mesnet	
Açıklık M <sub>d</sub> = 63.5 kNm								
Mesnet M <sub>d</sub> = 48.5 kNm	A <sub>s1</sub>	A' <sub>s1</sub>	A <sub>s2</sub>	A' <sub>s2</sub>	A <sub>s1</sub>	A' <sub>s1</sub>	A <sub>s2</sub>	A' <sub>s2</sub>
<b>Y-PRO YAZILIMI</b>	378	YOK	295	YOK	462	YOK	339	YOK
<b>A. TOPÇU s. 141</b>	390	YOK	294	YOK	462	YOK	339	YOK
<b>R. AYDIN TABLO</b>	398	YOK	297	YOK	462	YOK	339	YOK

P=100 kN	Hesaplanan Donatı (mm <sup>2</sup> )				Seçilen Donatı (mm <sup>2</sup> )			
	Açıklık		Mesnet		Açıklık		Mesnet	
Açıklık M <sub>d</sub> = 181.5 kNm								
Mesnet M <sub>d</sub> = 105.5 kNm	A <sub>s1</sub>	A' <sub>s1</sub>	A <sub>s2</sub>	A' <sub>s2</sub>	A <sub>s1</sub>	A' <sub>s1</sub>	A <sub>s2</sub>	A' <sub>s2</sub>
<b>Y-PRO YAZILIMI</b>	1247	8	677	YOK	1257	226	855	YOK
<b>U. ERSOY TABLO</b>	1257	YOK	669	YOK	1257	YOK	855	YOK
<b>R. AYDIN TABLO</b>	1265	YOK	665	YOK	1257	YOK	855	YOK

P=200 kN	Hesaplanan Donatı (mm <sup>2</sup> )				Seçilen Donatı (mm <sup>2</sup> )			
	Açıklık		Mesnet		Açıklık		Mesnet	
Açıklık M <sub>d</sub> = 299.4 kNm								
Mesnet M <sub>d</sub> = 162.6 kNm	A <sub>s1</sub>	A' <sub>s1</sub>	A <sub>s2</sub>	A' <sub>s2</sub>	A <sub>s1</sub>	A' <sub>s1</sub>	A <sub>s2</sub>	A' <sub>s2</sub>
<b>Y-PRO YAZILIMI</b>	KESİT YETERSİZ	KESİT YETERSİZ	1086	YOK	KESİT YETERSİZ	KESİT YETERSİZ	-	-
<b>U. ERSOY TABLO</b>	KESİT YETERSİZ	KESİT YETERSİZ	1058	YOK	KESİT YETERSİZ	KESİT YETERSİZ	-	-
<b>R. AYDIN TABLO</b>	KESİT YETERSİZ	KESİT YETERSİZ	1041	YOK	KESİT YETERSİZ	KESİT YETERSİZ	-	-

P=300 kN	Hesaplanan Donatı (mm <sup>2</sup> )				Seçilen Donatı (mm <sup>2</sup> )			
	Açıklık		Mesnet		Açıklık		Mesnet	
Açıklık M <sub>d</sub> = 417.4 kNm								
Mesnet M <sub>d</sub> = 219.6 kNm	A <sub>s1</sub>	A' <sub>s1</sub>	A <sub>s2</sub>	A' <sub>s2</sub>	A <sub>s1</sub>	A' <sub>s1</sub>	A <sub>s2</sub>	A' <sub>s2</sub>
<b>Y-PRO YAZILIMI</b>	KESİT YETERSİZ	KESİT YETERSİZ	1494	255	KESİT YETERSİZ	KESİT YETERSİZ	-	-
<b>U. ERSOY TABLO</b>	KESİT YETERSİZ	KESİT YETERSİZ	1541	327	KESİT YETERSİZ	KESİT YETERSİZ	-	-
<b>R. AYDIN TABLO</b>	KESİT YETERSİZ	KESİT YETERSİZ	1636	YOK	KESİT YETERSİZ	KESİT YETERSİZ	-	-

Tablalı kirişlerde tabla genişliği, kesin hesap yapılmadığı durumlarda TS 500–2000 deki formüllerle hesaplanabilmektedir. Y-Pro, K101 kirişi tabla genişliğini (b) 87 cm olarak hesaplamıştır. Bu örnek için tabla genişliği TS 500–2000 e göre hesaplandığında b= 105 cm olarak çıkmıştır ( $\alpha = 0.8$ ). Yazılım bu sonuca göre 18 cm güvenli tarafta kalmıştır. Y-Pro da yazılımın hesapladığı tabla genişliği değiştirilebilmektedir. Buna istinaden analiz sonrasında yazılımın seçtiği tabla genişliği

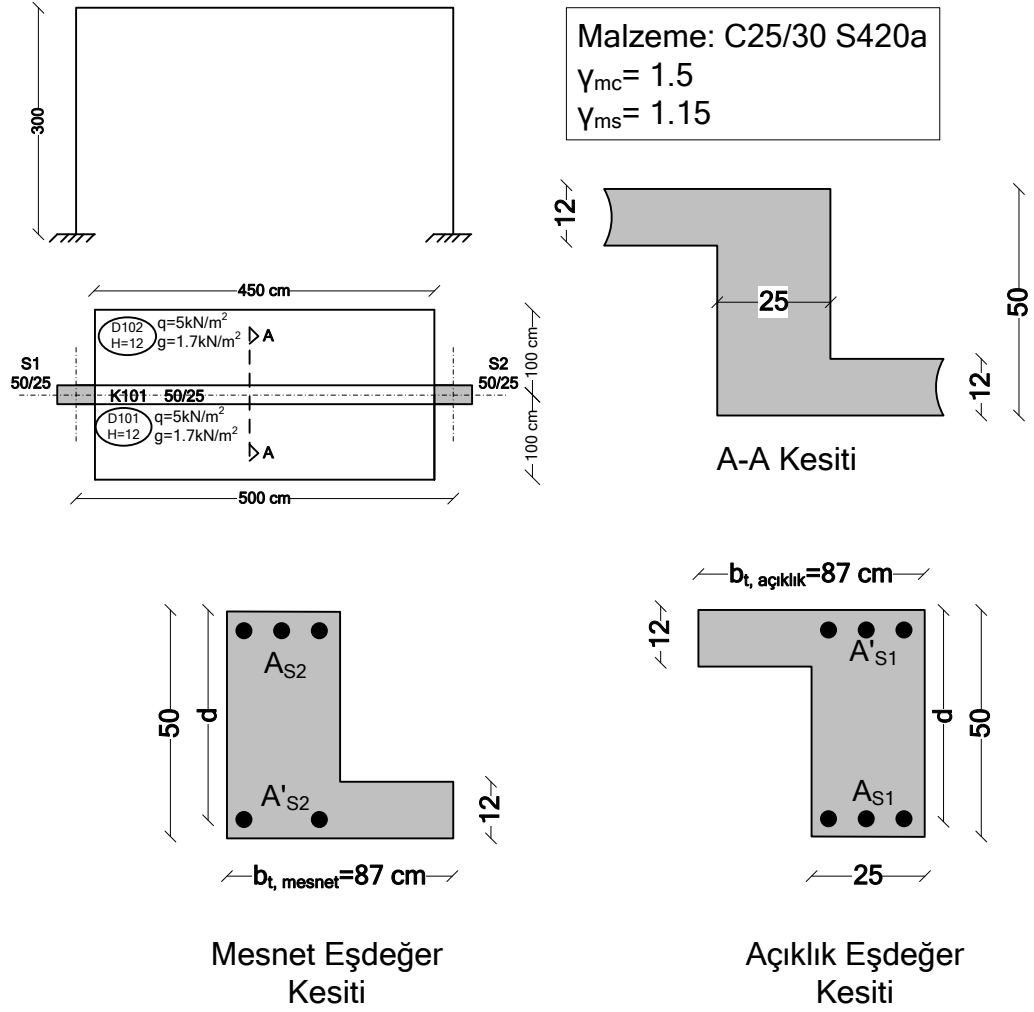


yönetmelik sınırları aşılarak arttırılmış ( $b= 120$  cm) ve kiriş betonarme analizi tekrar yapılmıştır. Analiz sonrasında çekme donatısı alanının değişmediği görülmüştür. Teorik olarak sabit moment altında tabla genişliğinin artması, çekme donatısı alanının azalmasına neden olmaktadır. Fakat yazılım yönetmelik gereği bu duruma müsaade etmemiştir. Tabla genişliği seçilenden daha küçük olarak tanımlandığında ( $b < 87$  cm), yazılım donatı alanını yeniden hesaplayıp daha büyük bir donatı alanı vermiştir. Dikkat edilmesi gereken bir diğer nokta ise tabla genişliği yönetmelik sınırlarının üzerinde tanımlanması durumunda donatı alanını değiştirmemesine rağmen, kiriş betonarme hesap raporlarında değiştirilmiş tabla ( $b= 120$  cm) genişliğini sunmasıdır.

Açıklıkta tablalı, mesnette dikdörtgen kesit betonarme hesapları incelendikten sonra şu sorunun cevabı aranmıştır; yazılım mesnet bölgelerinde tablalı kesit kabulü yapıyor mu? Tabla genişliği doğru hesaplanıyor mu?

Bu durumu incelemek amacıyla şekil 3.32 deki sistem Y-Pro ile analiz edilmiştir. Analiz öncesinde yapılan kabuller aşağıda verilmiştir. Ayrıca sonuçları daha doğru karşılaştırabilmek amacıyla yazılımın hesapladığı faydalı yükseklik ( $d=465$  mm) temel alınmış ve hesaplarda bu değer kullanılmıştır.

- Zati ağırlıklar ihmal edilmemiş, Şekil 3.32 deki döşeme yükleri altında analiz yapılmıştır.
- Kolon-kiriş birleşim bölgesinin rijit olmadığı varsayılmıştır.
- Deprem analizi yapılmamıştır.
- Rijit diyafram kabulü yapılmamıştır.
- Tasarım momenti  $M_d = 1.4 G + 1.6 Q$  olarak hesaplanmıştır.
- Faydalı yükseklik;  $d= 46.5$  cm alınmıştır.



Şekil 3.32 Mesnette ve açıklıkta tablalı kirişe ait sistem

Örnek için TS500–2000 e göre hesaplanan etkili tabla genişliği  $b = 65 \text{ cm}$  dir ( $\alpha = 0.8$  için). Yazılım bu değeri hem mesnet hem de açıklık için  $87 \text{ cm}$  olarak hesaplamaktadır. Yazılım tabla genişliğini hesaplarken D101 döşemesinin düşük döşeme olduğunu görmemekte ve Şekil 3.31 deki örnekte olduğu gibi  $87 \text{ cm}$  olarak hesaplamaktadır. Bu durumda hem mesnette, hem de açıklıkta olması gerekenden daha az donatı alanı hesaplanmaktadır.

Çizelge 3.30 Mesnette ve açıklıkta tablalı kiriş betonarme hesap sonuçları

Açıklık $M_d= 67.25$ kNm	Hesaplanan Donatı ( $mm^2$ )				Seçilen Donatı ( $mm^2$ )			
	Açıklık		Mesnet		Açıklık		Mesnet	
Mesnet $M_d= 44.74$ kNm	$A_{s1}$	$A'_{s1}$	$A_{s2}$	$A'_{s2}$	$A_{s1}$	$A'_{s1}$	$A_{s2}$	$A'_{s2}$
<b>Y-PRO YAZILIMI</b>	401	YOK	266	YOK	462	YOK	339	YOK
<b>R. AYDIN TABLO</b>	449	YOK	303	YOK	462	YOK	339	YOK
<b>FARK (%)</b>	10.70	YOK	12.21	YOK	0.00	YOK	0.00	YOK

Sonuçlar incelendiğinde hesaplanan donatı alanları farklı olsa da seçilen donatı alanlarının aynı olduğu görülmektedir. Fakat seçilen donatı sonuçlarının aynı çıkması yanıltıcı olabilir, çünkü daha büyük kesitlerde veya farklı yüklemeler altında seçilen donatı alanlarının da farklı çıkabileceği kullanıcı tarafından öngörülmelidir.

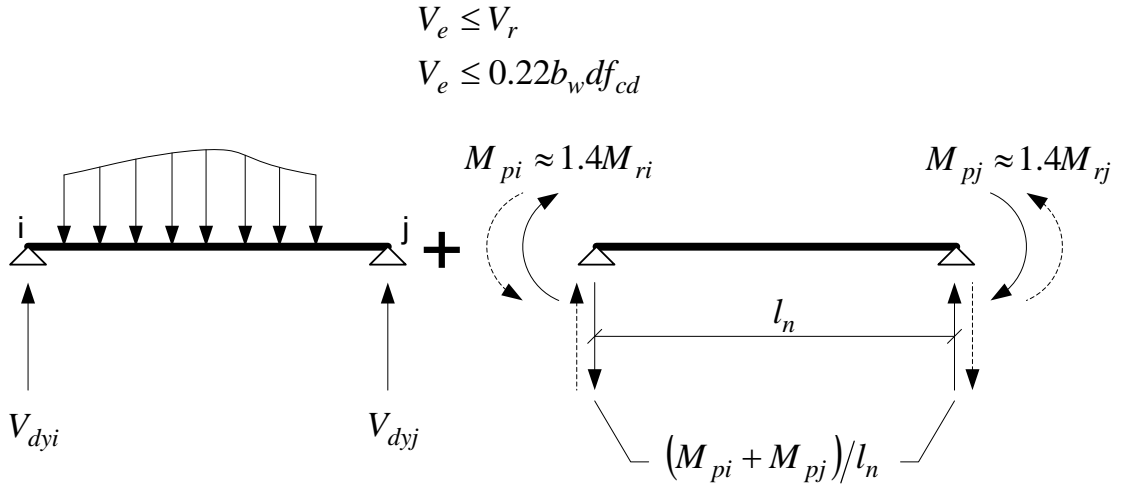
#### **3.4.8.2 Kiriş enine donatı hesabının irdelenmesi**

Özellikle deprem bölgelerinde inşa edilen betonarme yapılarda asal çekme gerilmelerine bağlı dayanım kaybı, ani göçme nedenlerinin ilk sıralarında yer almaktadır. Beton çekme dayanımı basınç dayanımına göre çok küçüktür. Bu nedenle yüklemeler altında kiriş kesme kuvvetinin büyük değerler aldığı bölgelerde büyük asal çekme gerilmeleri oluşmaktadır. Asal gerilmelerden dolayı eleman, eğilme dayanımına ulaşmadan gevrek bir şekilde göçmektedir. Uygulamada asal çekme gerilmesi yerine kesme kuvveti terimi kullanılmaktadır. Burada dikkat edilmesi gereken elemanın kesme kuvvetinden değil, kesme kuvvetinin neden olduğu asal çekme gerilmelerinden dolayı göçmesidir.

Yapıda sünek bir davranışın sergilenmesi için yapı elemanları eğilme ile göçme konumuna ulaşmalıdır. Böylelikle kesme dayanımından önce eğilme dayanımına ulaşılmalı ve yapıda plastik moment mafsalları oluşmalı, yapının deprem esnasında daha çok enerji tüketebilmesi sağlanmalıdır. Bu da ancak kapasite tasarımı ile sağlanabilir. TDY 2007 de, yapısal tasarımda kiriş kesme güvenliği hesaplarının kapasite tasarımına göre yapılmasını istemektedir.

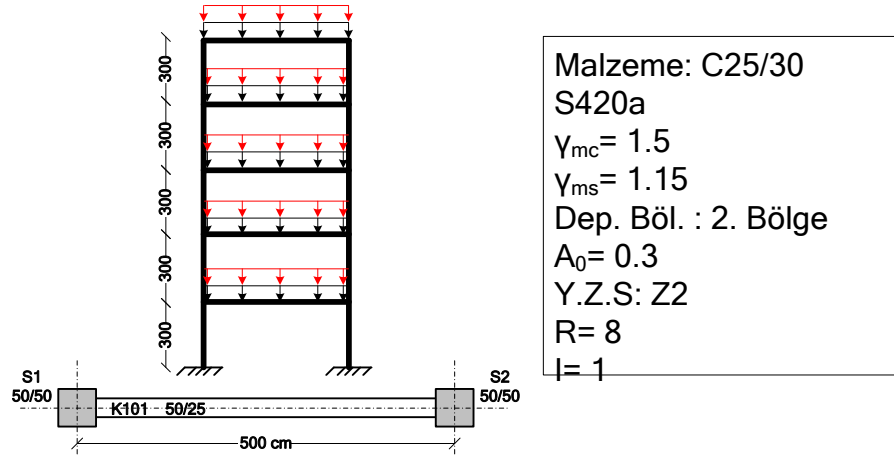
Deprem esnasında yapısal elemanlarda beklenenin dışında kesme kuvvetleri meydana gelebilmektedir. Bu durum depremin karmaşık ve beklenmedik etkilerinden kaynaklanır. Herhangi bir yapısal elemanı deprem etkileri altında boyutlandırırken, deprem kuvvetlerinden elde edilen kesme kuvvetleri altında boyutlandırmak yerine, eğilme kapasitelerinden elde edilen kesme kuvvetleri altında boyutlandırmak gerekir. Böylelikle karmaşık deprem davranışı altında biraz daha güvenli tarafta kalınıp, daha güvenilir tasarım yapılmış olur. TDY 2007 madde 3.4.5.1 de, tasarıma esas olacak kesme kuvvetinin aşağıdaki denklemle hesaplanması istenmektedir:

$$V_e = V_{dy} \pm (M_{pi} + M_{pj})/l_n \quad \text{Denk. 3.3}$$



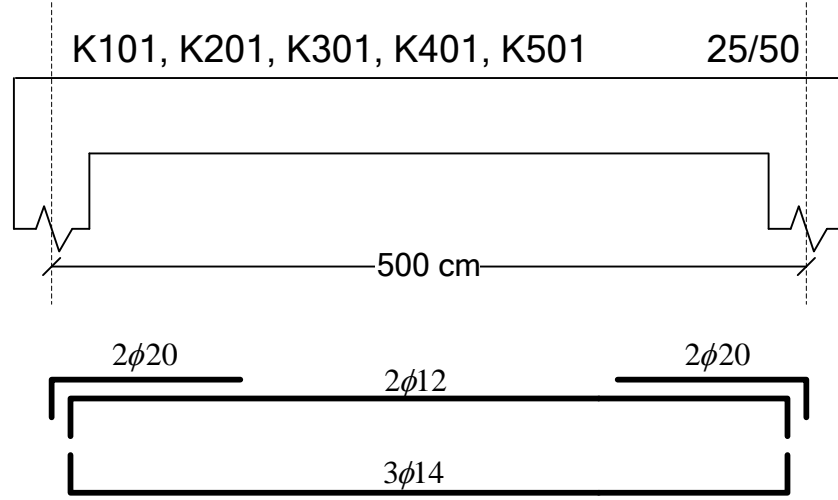
Nadir rastlanan bir durum olmakla beraber,  $V_d > V_e$  olması durumunda boyutlandırma için  $V_d$  tasarım kesme kuvvetinin kullanılacağı unutulmamalıdır. Tüm bu şartlar göz önüne alındığında kiriş enine donatı hesaplarını irdelemek amacıyla Şekil 3.33 deki sistem analiz edilip boyutlandırılmıştır. Analiz öncesinde aşağıdaki kabuller yapılmıştır:

- Zati ağırlıklar ihmal edilmemiştir.
- Her kat girişinde 15 kN/m hareketli yük ve 10 kN/m ilave sabit yük bulunmaktadır.
- Kolon-kiriş birleşim bölgesinin rijit olmadığı varsayılmıştır.
- Deprem analizi yapılmıştır.
- Rijit diyafram kabulü yapılmıştır.



Şekil 3.33 Kesme tasarımı yapılacak sistem

Analiz sonrasında elde edilen değerler Çizelge 3.31 de verilmiştir. Çizelgede el hesaplarında ' $M_p$ ' değeri  $M_p = 1.4[A_s f_{yd}(d - d')]$  (Ersoy ve Özcebe, 2004, s. 301) formülü ile hesaplanmıştır.



Şekil 3.34 Yazılım tarafından sunulan kiriş donatı detay açılımı

Çizelge 3.31 Analiz sonrası elde edilen değerler

d = 465mm d' = 35mm l <sub>n</sub> = 4.5m	V <sub>dy</sub> (kN)		M <sub>pi</sub> (kNm)		M <sub>pj</sub> (kNm)		V <sub>e</sub> (kN)
	SOL	SAĞ	E(+)	E(-)	E(+)	E(-)	
Y-PRO	70.32	70.32	190.44	102.2	105.62	188.74	136.1
EL HESABI	70.32	70.32	188	102	102	188	134.8

Sonuçlar karşılaştırıldığında değerlerin küçük farklarla aynı çıktığı görülmüştür. TDY 2007 Madde 3.4.5.1 de:

*'Düşey yükler ile birlikte R<sub>a</sub>=2 alınarak Bölüm 2 ye göre depremden hesaplanan kesme kuvvetinin Denklem 3.9 ile hesaplanan V<sub>e</sub> den küçük olması durumunda V<sub>e</sub> yerine bu kesme kuvveti kullanılacaktır.'*

denilmektedir. Y-Pro nun analiz esnasında R<sub>a</sub>=2 ye göre analiz yapıp yapmadığı anlaşılamamıştır. Analiz sonrasında da herhangi bir bilgi sunulmamaktadır. Bu nedenle aynı sistem R<sub>a</sub>=2 için SAP 2000 yazılımında analiz edilmiştir. R<sub>a</sub>=8 için Y-Pro ya ait tasarım kesme kuvveti, R<sub>a</sub>=2 için SAP 2000 e ait tasarım kesme kuvveti, Y-Pro nun

sunduğu kapasite kesme kuvveti ve Y-Pro nun enine donatı hesabında kullandığı kesme kuvveti Çizelge 3.32 de sunulmuştur.

**Çizelge 3.32 Kiriş enine donatı hesabında kullanılacak kesme kuvvetleri**

KAT KİRİŞLERİ	$R_a=8$ için $V_{d(maks)}$		$R_a=2$ için $V_{d(maks)}$	Ve kesme kapasitesi (kN)	$V_e$ (kN)
	1.4G+1.6Q	G+Q+E	G+Q+E		
K101	105.94	89.26	145.94	<b>136.1</b>	<b>136.1</b>
K201	105.94	92.27	157.62	<b>136.1</b>	<b>136.1</b>
K301	105.94	89.49	146.07	<b>136.1</b>	<b>136.1</b>
K401	105.94	84.23	<b>124.61</b>	136.1	<b>124.61</b>
K501	<b>105.94</b>	78.67	102.55	136.1	<b>105.94</b>

Betonun kesme dayanımına katkısının ihmal edilmediği durumda beton katkısı  $V_c=0.8V_{cr}$  ile hesaplanmaktadır (TS500–2000). Betonun kesmede çatlama dayanımı  $V_{cr}$  aksenal yükün ihmal edildiği durumda:

$$V_{cr} = 0.65 f_{ctd} b_w d$$

denklemleri ile elde edilir. Bu denkleme göre Şekil 3.32 deki örnekteki kirişler için  $V_{cr} = 90.68$  kN ve  $V_c = 72.5$  kN çıkmaktadır. Fakat yazılımın hesap ve çıktıları incelendiğinde  $V_c$  değeri hesaplarda 70.5 kN gösterilmekte, çıktılarda ise 88.16 kN olarak sunulmaktadır. Yazılım, betonun kesme dayanımına katkısını doğru hesaplamakta fakat raporlarda yanlış sunmaktadır. Bu durumu kullanıcı göz önünde bulundurmalıdır. Hesaplarda karşılaştırma yapabilmek amacıyla yazılımın sunduğu hesap değeri temel alınmıştır. TDY 2007 Madde 3.4.5.3 de:

*'Kiriş enine donatısının Ve kesme kuvvetine göre hesabında, betonun kesme dayanımına katkısı  $V_c$ , TS 500-2000 e göre belirlenecektir. Ancak, 3.4.4 te tanımlanan kiriş sarılma bölgesindeki enine donatı hesabında, sadece deprem*

*yüklerinden oluşan kesme kuvvetinin depremlili durumdaki toplam kesme kuvvetinin yarısından daha büyük olması halinde, betonun kesme dayanımına katkısı  $V_c=0$  alınacaktır. Hiçbir durumda pilyelerin kesme dayanımına katkısı göz önüne alınmayacaktır.'*

denilmektedir. Bu durum Çizelge 3.33 de kontrol edilmiştir. Çizelgeden de görüldüğü gibi yazılım sadece en üst kat kirişinde beton katkısını dikkate almıştır. Bunun sebebi yazılımın bu kontrolü TDY 1997 Madde 7.4.5.3 e göre yapmasıdır. TDY 1997 de beton katkısının ihmal edilmesi için  $V_e - V_{dy} \geq 0.5V_d$  şartı aranmaktadır. Fakat TDY 2007 de  $V_E \geq 0.5(V_{G+Q+E})$  durumunda beton katkısının ihmal edileceği belirtilmektedir. Yine sonuçları karşılaştırabilmek amacıyla yazılımın sunduğu değerler üzerinden kontrol yapılacaktır. Enine donatı hesabını kontrol etmek amacıyla K101 kirişi dikkate alınmıştır.

Çizelge 3.33 Beton katkısı hesap tablosu

(kN)	Y-PRO			EL HESABI
KİRİŞLER	$V_{EX}$	$V_{(G+Q+EX)/2}$	$V_C$	$V_C$
K101	19	44.65	İHMAL	70.53
K201	22	46.15	İHMAL	70.53
K301	19.2	44.75	İHMAL	70.53
K401	13.9	28.2	İHMAL	70.53
K501	8.4	39.1	70.53	70.53

$$V_e = 136.1 kN$$

$$V_c = 70.5 kN$$

$$A_{sw} = 100 mm^2 \text{ (1}\phi 8 \text{ etriye)}$$

$$f_{ywd} = 365.22 MPa \text{ ve } d = 465 mm$$

Olarak alınmış ve 's' etriye aralığı,  $\frac{A_{sw}}{s} = \frac{V_e - V_c}{f_{ywd} d}$  denklemi ile hesaplanmıştır. Y-

Pro beton katkısını ihmal ettiği için el hesaplarında da beton katkısı dikkate alınmamıştır.



El hesaplarında etriye aralığı,  $s = 125$  mm olarak çıkmıştır. Fakat bu değer TDY 2007 sınır değerlerini aşmaktadır. TDY 2007 kiriş mesnet bölgelerinde etriye aralığı için:

$$s \leq h_k / 4 \Rightarrow s = 125 \text{ mm}$$

$$s \leq 8\phi (\phi = \text{en küçük boyuna donatı çapı}) \Rightarrow s = 96 \text{ mm}$$

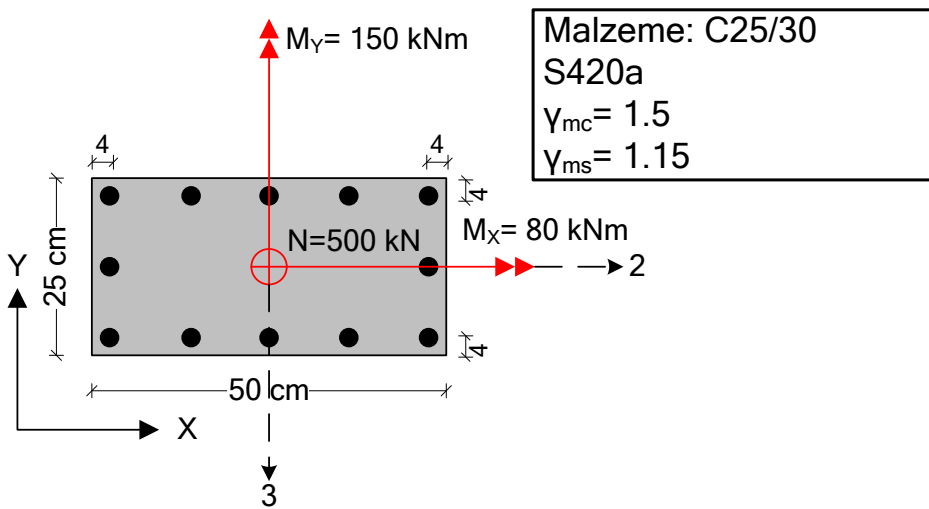
$$s \leq 150 \text{ mm}$$

sınırlarını getirmiştir. Buna göre mesnette en büyük etriye aralığı 96 mm den fazla olamamaktadır. Yazılım etriye aralığını 90 mm olarak hesaplarda sunmuştur.

### 3.4.9 Kolon Betonarme Hesaplarının İrdelenmesi

#### 3.4.9.1 Boyuna donatı hesapları:

Y-Pro, kolon boyuna donatı hesaplarında belli bir donatı planı sunmamaktadır. Donatı planı kullanıcı tarafından yapılabileceği gibi, alternatif olarak, seçilebilecek maksimum donatı aralığına göre ya da kullanıcının seçmiş olduğu minimum donatı çapına göre de kolon boyutlandırması yapılmaktadır. Şekil 3.35 deki kolon, gösterilen yükler altında Y-Pro da analiz edilmiş ve sonuçlar Betonarme 2000β yazılımı (<http://mmf.ogu.edu.tr/atopcu>) ile karşılaştırılarak Çizelge 3.34 de sunulmuştur.



Şekil 3.35 Donatı planı, iç kuvvetler ve malzeme bilgileri

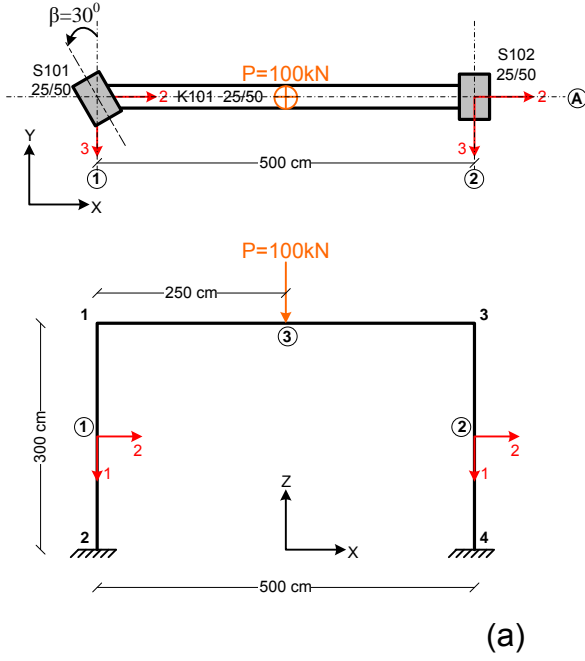
Çizelge 3.34 Hesaplanan ve seçilen kolon donatı alanları

N= 500 kN, $M_X= 80$ kNm, $M_Y= 150$ kNm	HESAPLANAN DONATI ALANI	SEÇİLEN DONATI ALANI
	$A_{st}$ (cm <sup>2</sup> )	$A_{st}$ (cm <sup>2</sup> )
<b>Y-PRO</b>	<b>33.89</b>	<b>37.67 (12Φ20)</b>
<b>BETONARME 2000 β</b>	<b>31.22</b>	<b>37.67 (12Φ20)</b>

Çizelge 3.34 den de görüldüğü gibi Y-Pro kolon donatı hesaplarından çıkan sonuç BETONARME 2000 β yazılımı ile örtüşmektedir.

Kolonun kendi eksenini etrafında bir  $\beta$  açısı yapacak kadar döndürülmesi durumunda lokal eksenlerin dönmediği, kolon atalet momentlerinin  $\beta$  açısına göre transforme edildiği ve buna bağlı olarak düzlem ve uzay çerçevelerde sistemin iç kuvvetlerinin yanlış hesaplandığı önceki bölümlerde detaylı olarak incelenmişti (Bkz. Bölüm. 3.4 Deplasman ve İç Kuvvetlerin İrdelenmesi). Bu tür durumlarda yazılımın betonarme hesaplarında kolon donatı alanlarını doğru hesaplayıp hesaplayamadığı sorusu akla gelmektedir. Kolon boyuna donatı hesaplarını kontrol etmek için Şekil 3.14 ve 3.21 deki kalıp planların statik-betonarme analizleri  $\beta=30^0$  için Y-Pro ile yapılmış ve S1 kolonunda hesaplanan donatı alanları incelenmiştir. Böylelikle yazılımın hem kendi içinde, hem de BETONARME 2000  $\beta$  ile karşılaştırılması yapılmıştır. Sistemin çözümünde aşağıdaki kabuller yapılmıştır:

- Kolon ve giriş zati ağırlıkları ihmal edilmiştir.
- Sistemin sadece 100 kN luk yük altında statik analizi yapılmış, deprem analizi yapılmamıştır.
- Kolon-kiriş birleşim bölgesinin sonsuz rijit olduğu kabulü yapılmamıştır.
- Rijit diyafram kabulü yapılmamıştır.
- Kesit kayma alanı, kesit alanının 5/6 sı olarak hesaplanmıştır.



### Malzeme Özellikleri:

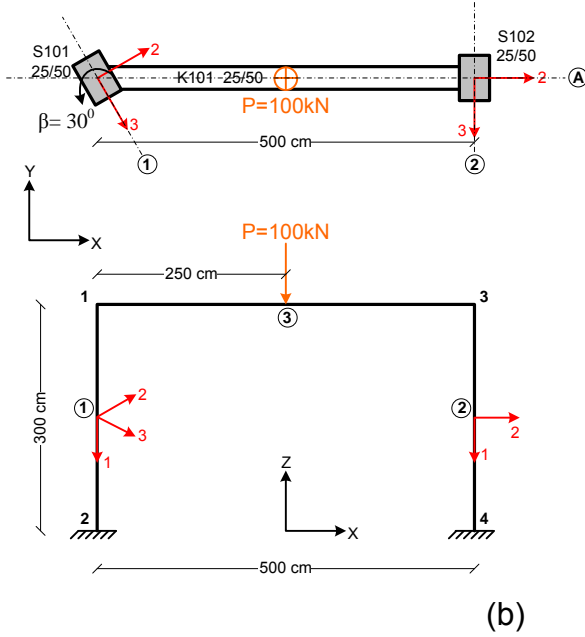
Beton Sınıfı: C30/37

$E_C: 31800000 \text{ kN/m}^2$

$\mu_C: 0.2$

$G_C: 13250000 \text{ kN/m}^2$

$A_{\text{kayma}} = 5/6 A_{\text{kesit}}$



### Malzeme Özellikleri:

Beton Sınıfı: C30/37

$E_C: 31800000 \text{ kN/m}^2$

$\mu_C: 0.2$

$G_C: 13250000 \text{ kN/m}^2$

$A_{\text{kayma}} = 5/6 A_{\text{kesit}}$

Şekil 3.36 a) Şekil 3.14 e ait kalıp planı, b) Şekil 3.21 e ait kalıp planı

Çizelge 3.35 Kolon boyuna donatı alanları

Şekil 3.14	N (kN)	M <sub>22</sub> (kNm)	M <sub>33</sub> (kNm)	HESAPLANAN DONATI ALANI
				A <sub>st</sub> (cm <sup>2</sup> )
Y-PRO	71.21	0	47.94	12.33
BETONARME 2000 β	71.21	0	47.94	9.66

Şekil 3.21	N (kN)	M <sub>22</sub> (kNm)	M <sub>33</sub> (kNm)	HESAPLANAN DONATI ALANI
				A <sub>st</sub> (cm <sup>2</sup> )
Y-PRO	70.42	-21.3	36.84	8.34
BETONARME 2000 β	70.42	-21.3	36.84	8.13

Çizelge 3.35 incelendiğinde, yazılımın kendi içinde tutarlı bir sonuç sunmadığı görülmektedir. Burada sorulması gereken soru, hangi sonucun doğru olduğudur. Rakamlarla karşılaştırma yapmak bizi doğru sonuca götürmemektedir. Doğru sonuç modellemeyle alakalı olup, Şekil 3.36 b deki kalıp planı kullanılarak yapılan analizdir.

### 3.4.9.2 Kolon enine donatı hesapları

Kolonlarda enine donatı hesaplarının elle yapılması zaman alıcı ve zahmetlidir. Hesaplar özellikle aksel yükün basınç veya çekme olmasına, kolonların kirişlerden güçlü olup olmamasına ve daha birçok nedene bağlı olarak değişmekte ve daha karmaşık bir hal almaktadır. Bu amaçla TS 500–2000 ve TDY 2007, kolon etriye hesaplarında bazı sınır durumlar koyarak, kesme gibi gevrek bir davranışın hesap hatalarıyla önüne geçmeyi amaçlamıştır. TDY 2007 Denklem 3.4 de verilen bağıntı ile seçilen donatı alanına bağlı olarak sarılma bölgelerinde kullanılacak minimum sargı donatısı aralığının hesaplanmasını istemektedir.

$$A_{sh} \geq 0.30sb_k [(A_c / A_{ck}) - 1] (f_{ck} / f_{ywk})$$

$$A_{sh} \geq 0.075sb_k (f_{ck} / f_{ywk})$$

**Denk. 3.4**

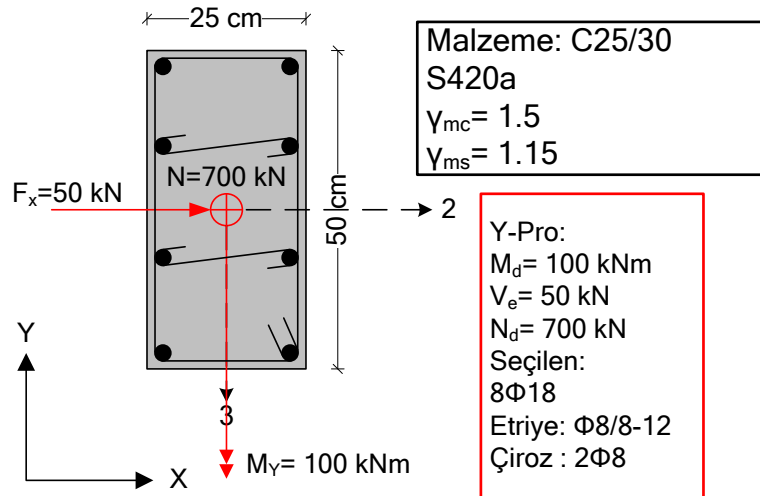
İşlemler bu kadarı ile kalmamakta TS 500–2000 Denklem 8.5 deki  $\frac{A_{sw}}{s} = \frac{V_e - V_c}{f_{ywd}d}$

förmülü ile hesaplanan kesme donatısı aralığının Denklem 3.4 ile hesaplanan sargı

donatısı aralığından büyük ya da küçük olup olmadığına bakılması gerekmektedir. Burada dikkat edilmesi gereken bir diğer nokta; Denklem 3.4 ile hesaplanan donatının sargı donatısı olduğu,  $\frac{A_{sw}}{s} = \frac{V_e - V_c}{f_{ywd}d}$  denklemi ile hesaplanan donatının ise kesme donatısı olduğudur. Tanım olarak  $A_{sw}$  ve  $A_{sh}$  aynıdır. Bilindiği üzere kolonlarda yatay ve düşey yükler altında kesme kuvveti genelde kolon boyunca sabittir. Kolon boyu orta noktasında yapılacak kesme donatısı hesabı yeterli gibi görülse de, kolon sarılma bölgelerinde istenilen sünek davranışın elde edilebilmesi için ayrıca sarılma bölgelerinde Denklem 3.4 e göre kontrol kaçınılmazdır. Konuyla ilgili olarak Ersoy vd. (2001, s.525) şöyle demektedir:

*‘Eğer hesaplanan kesme donatısı yönetmeliğin öngördüğü sargı donatısından küçükse, ayrıca kesme donatısına gerek yoktur, büyükse etriyeler kesme hesabı temel alınarak düzenlenmelidir. Genelde sargı donatısı, hesaplanan kesme donatısından büyük olur.’*

Y-Pro da kolon enine donatı hesabını kontrol etmek amacıyla Şekil 3.36 daki örnek verilen yükler altında analiz edilmiş ve kesme-sargı donatı sonuçları el hesaplarıyla kontrol edilmiştir. El hesaplarında yazılımın sunduğu  $V_e$  kesme kuvveti değeri kullanılmıştır.



Şekil 3.37 Kesme donatısı hesaplanacak donatı planı, iç kuvvetler ve malzeme bilgileri

Y-Pro nun hesapladığı donatı hesabında esas alınan kesme kuvveti  $V_e = 50$  kN dur.  $N_d = 700$  kN  $> 0.2A_c f_{ck}$  olduğundan sargı donatısı aralık adımı 's', Denklem 3.4 deki bağıntılardan elverişsiz olanını sağlayacak şekilde bulunur.

*beton pas payı = 25mm ve  $A_{sh} = 201.1mm^2$  için;*

$$b_k = 250 - 2 \times 25 - 2 \times 8/2 = 192mm$$

$$\frac{A_{sh}}{s} \geq 0.3 \times 192 \times \left[ \left( \frac{250 \times 500}{200 \times 450} \right) - 1 \right] \times \frac{25}{365.22} = 1.53mm$$

$$\frac{A_{sh}}{s} \geq 0.075 \times 192 \left( \frac{25}{365.22} \right) = 0.986mm$$

$\frac{A_{sh}}{s} = 1.53mm$  alınmalıdır. Buna göre;

$$s = \frac{201.1}{1.53} = 131mm \text{ bulunur. Fakat yönetmelikteki } s < b_{min}/3 \text{ koşulu sağlanmak zorunda}$$

olduğundan;

$$s = \frac{250}{3} = 83.3mm \cong 80mm \text{ olmalıdır.}$$

Hesaplanan sargı donatısının kesme donatısı olarak yeterli olup olmadığını kontrol etmek için ( $V_c = 0$  kN alınmıştır);

$$\frac{A_{sw}}{s} = \frac{V_e - V_c}{f_{ywd} d} \text{ denkleminde, } \frac{201.1}{s} = \frac{50000 - 0}{365.22 \times 208} \Rightarrow s = 305.5mm \text{ olarak bulunur.}$$

$80mm \leq 305.5mm$  sargı donatısı kesme kuvvetini karşılamaya yeterlidir.

Kolon orta bölgesinde  $s \leq b_{min}/2 = 250/2 = 125mm$  dir. Kesme kuvveti kolon boyunca sabit olduğundan, kolon orta bölgesindeki etriye aralık adımının da kesme hesabında bulunan etriye aralık adımından (305.5 mm) küçük olması nedeniyle bu bölge için ayrıca bir kesme donatısı hesabına gerek yoktur. Yukarıda hesaplanan sonuçlardan seçilen kesme donatıları ve yazılımın hesapladığı kesme donatısı ve aralık adımları Çizelge 3.35 de verilmiştir.

Çizelge 3.36 Enine donatılar

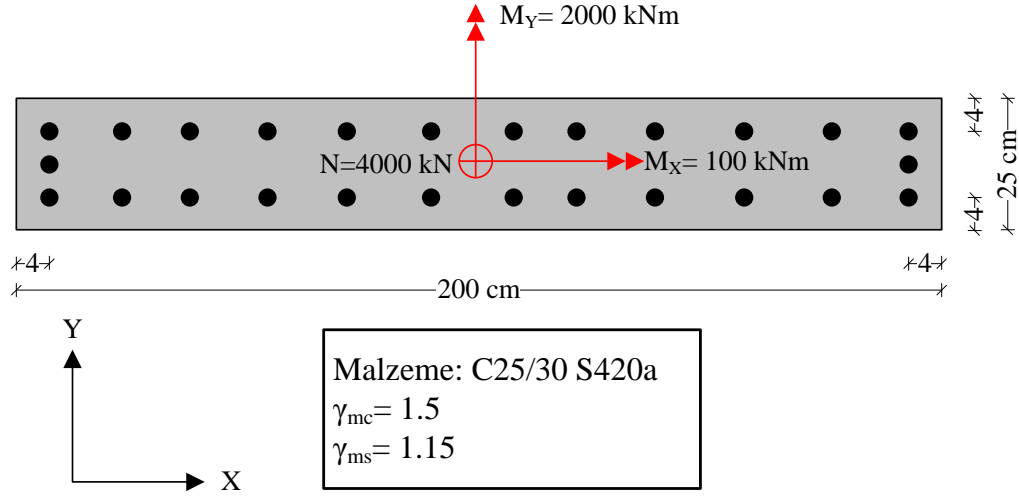
Ve= 50 kN	ENİNE DONATILAR	
	ETRİYE	ÇİROZ
Y-PRO	Φ8/8-12	2Φ8 (KISADA)
EL HESABI	Φ8/8-13	2Φ8 (KISADA)

Çizelge 3.36 dan da görüldüğü gibi yazılım etriye ve çiroz alanlarını doğru hesaplamış enine donatı aralıklarının yönetmeliğin istediği sınır koşullarda olduğu görülmüştür.

#### 3.4.10 Perde Elemanlarda Boyuna Donatı Hesaplarının İrdelenmesi

Perdeler yapıların düşey yükler altındaki davranışından ziyade, deprem gibi yatay yük etkileri altındaki davranışı açısından büyük önem taşımaktadır. Deprem anında oluşan yatay kuvvetleri rijitliği sebebiyle üzerine almakta, böylelikle kolonlarda oluşması gereken kesme kuvvetlerinin azalmasını sağlamaktadır. Bunun sonucu olarak tersinir yatay kuvvetler altında kolonlarda düşük deformasyonlar oluşmakta, ikinci mertebe etkileri ve yatay deplasmanlar azalmaktadır. Bu özelliği ile perdeler farklı bir elemanmış gibi gözüke de, betonarme hesabı açısından kolonlardan farklıdır. Kolonlarda olduğu gibi, moment taşıma kapasiteleri, eksenel yük seviyesine, donatıların yerleşimine, donatı ve beton kalitesine göre hesaplanmaktadır.

Y-Pro genel olarak perde boyuna donatılarını kolonlarda olduğu gibi iterasyon yöntemine göre hesapladığını belirtmektedir. Bunu tahkik etmek amacıyla Şekil 3.37 deki perde Y-Pro ve Betonarme2000β yazılımları ile verilen yükler altında analiz edilmiştir.



Şekil 3.38 Perde donatı planı, iç kuvvetler ve malzeme bilgileri

Betonarme2000 $\beta$  ile doğru karşılaştırma yapılabilmesi amacıyla Y-Pro da perde elemandaki gövde ve başlık boyuna donatılarının aynı çapta olması sağlanacak şekilde düzenleme yapılmıştır. Çizelge 3.37 deki sonuçlar incelendiğinde, hesaplanan donatı alanlarının birbirine çok yakın olduğu görülmektedir. Aradaki fark kabul edilebilir düzeydedir. Sunulan donatı çapları ise tamamen aynıdır.

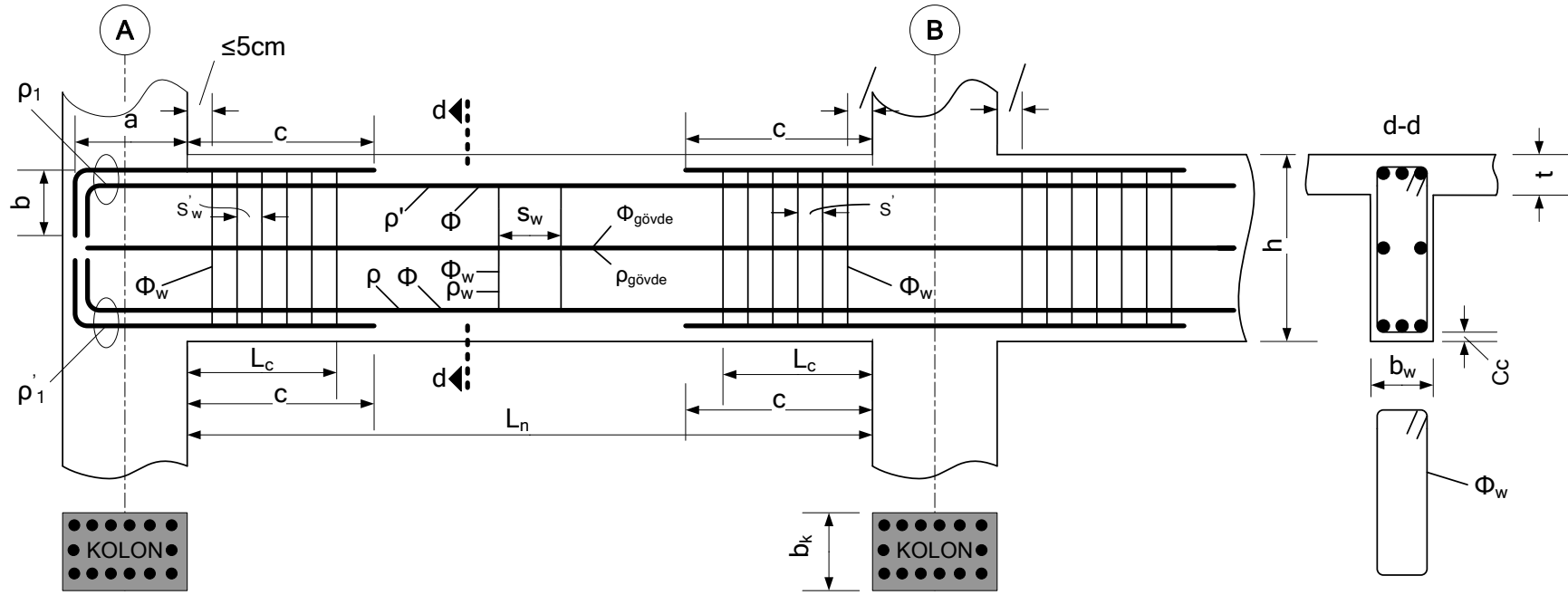
Çizelge 3.37 Perde boyuna donatıları

N= 4000 kN, $M_x= 100$ kNm, $M_y= 2000$ kNm	HESAPLANAN DONATI ALANI	SEÇİLEN DONATI ALANI
	$A_{st}$ (cm <sup>2</sup> )	$A_{st}$ (cm <sup>2</sup> )
<b>Y-PRO</b>	32.07	40.02 (26 $\Phi$ 14)
<b>BETONARME 2000 <math>\beta</math></b>	33.10	40.02 (26 $\Phi$ 14)



### 3.5 Y-Pro Yazılımının Yönetmeliklerdeki Sınır Değerler Açısından İrdelenmesi

TS500–2000 ve TDY 2007, yapısal hesap yöntemlerinin yanında, bu hesaplamalardan çıkan sonuçlara alt ve üst sınırlar getirmiş ve mühendislerin bu sınırlar içerisinde yapısal analiz ve boyutlandırma yapmasına izin vermiştir. Kolon, kiriş, perde ve döşemelerdeki bu sınır şartlarını daha kolay irdelenebilmek amacıyla şekil ve çizelgelerden yararlanılmıştır. Çizelgelerde TS500–2000 ve TDY 2007 deki sınır şartlar verilmiş, varsa ek öneri sunulmuş, son olarak da, Y-Pro yazılımının bu sınır değerlere uyup uymadığı irdelenmiştir. ‘✓’ sembolü, yazılımın ilgili yönetmelik maddesini sorunsuz olarak uyguladığını, ‘X’ sembolü ise, ilgili yönetmelik maddesinin uygulanmadığını, eksik veya hatalı uygulandığını göstermektedir. Aşağıda verilen çizelge ve tabloların bir kısmı Betonarme 1 Sunu Ders Notları (Topçu, 2010)’ dan alınmıştır.



$L_n$  : Kiriş net açıklığı

$L_c$  : Sarılma bölgesi uzunluğu

$c$  : Donatının komşu açıklığa uzatılma miktarı

$a$  : İlk ve son kolonda donatının kolon içindeki uzunluğu

$b$  : Donatının komşu açıklıkta devam ettirilememesi durumunda (örneğin ilk ve son mesnette) boyuna donatının  $90^\circ$  aşağı veya yukarı kıvrılan kısmının uzunluğu

$b_w$  : Kiriş genişliği

$h$  : Kiriş yüksekliği

$t$  : Tabla kalınlığı

$C_c$  : Net beton örtüsü

Şekil 3.38 Kiriş sınır değerleri

$b_k$  : Kolonun kirişe dik kenar genişliği

$\Phi$  : Boyuna donatı çapı

$\rho$  : Çekme donatısı oranı

$\rho'$  : Basınç (veya montaj) donatısı oranı

$\rho_1$  : Mesnet üstündeki donatının oranı

$\rho_1'$  : Mesnet altındaki donatının oranı

$\Phi_w$  : Etriye donatısı çapı

$\rho_w$  : Etriye donatısı oranı

$s_w$  : Açıklıkta etriye aralığı

$s_w'$  : Sarılma bölgesinde etriye aralığı

$\Phi_{gövde}$  : Gövde donatısı çapı

$\rho_{gövde}$  : Gövde donatısı oranı

$e$  : Etriye genişliği

### 3.5.1 Kirişlerde sınır değerlerin irdelenmesi

Çizelge 3.38 Kiriş sınır değerleri tablosu

Tanım	Zorunlu koşullar		Ek Öneri	Y-PRO
	TS 500-2000	TDY 2007		
min $b_w$	20 cm	25 cm	25 cm	✓
max $b_w$	$b_k+h$	$b_k+h$	-	X (1)
min h	30 cm, 3t	30 cm, 3t	40 cm, $L_n/12$	✓ (1)
max h	-	$3.5b_w, L_n/4$	-	✓
max $L_n/h$	2.5 sürekli kirişte 1.5 basit kirişte	-	-	✓
min $\rho$	$0.8 f_{ctd}/f_{yd}$	-	-	✓
max ( $\rho - \rho'$ )	$0.85 \rho_b$	-	$\rho_1 = 0.235 f_{cd}/f_{yd}$	X (2)
max $\rho$	$0.85 \rho_b, 0.02$	$0.85 \rho_b, 0.02$	-	✓
max $\rho_1$	$0.85 \rho_b, 0.02$	$0.85 \rho_b, 0.02$	-	✓
min $\rho'$	-	$\rho_1/4$	-	✓ (2)
max $\rho'_1$	-	$0.85 \rho_b, 0.02$	-	✓
min $\rho_1$	$0.8 f_{ctd}/f_{yd}$	$0.8 f_{ctd}/f_{yd}$	-	✓
min $\rho'_1$	-	$0.5 \rho_1$	$f_{ctd}/f_{yd}$	✓ (3)
max( $\rho_1 - \rho'_1$ )	$0.85 \rho_b$	$0.85 \rho_b$	$\rho_1$	X (3)
min $L_c$	2h	2h	-	✓
max $s_w$	0.5h	0.5h	20 cm	✓
min $s_w$	-	-	10 cm	✓
max $s'_w$	$h/4, 15$ cm	$h/4, 15$ cm, $8\Phi_{min}$	$s_w/2, 10$ cm	✓
min $s'_w$	-	-	5 cm	✓
max e	-	-	35 cm	✓ (4)
min $\Phi$	12 mm	12 mm	-	X (4)
max $\Phi$	-	-	24 mm	✓
min $\Phi_w$	-	-	8 mm	✓
max $\Phi_w$	-	-	12 mm	✓

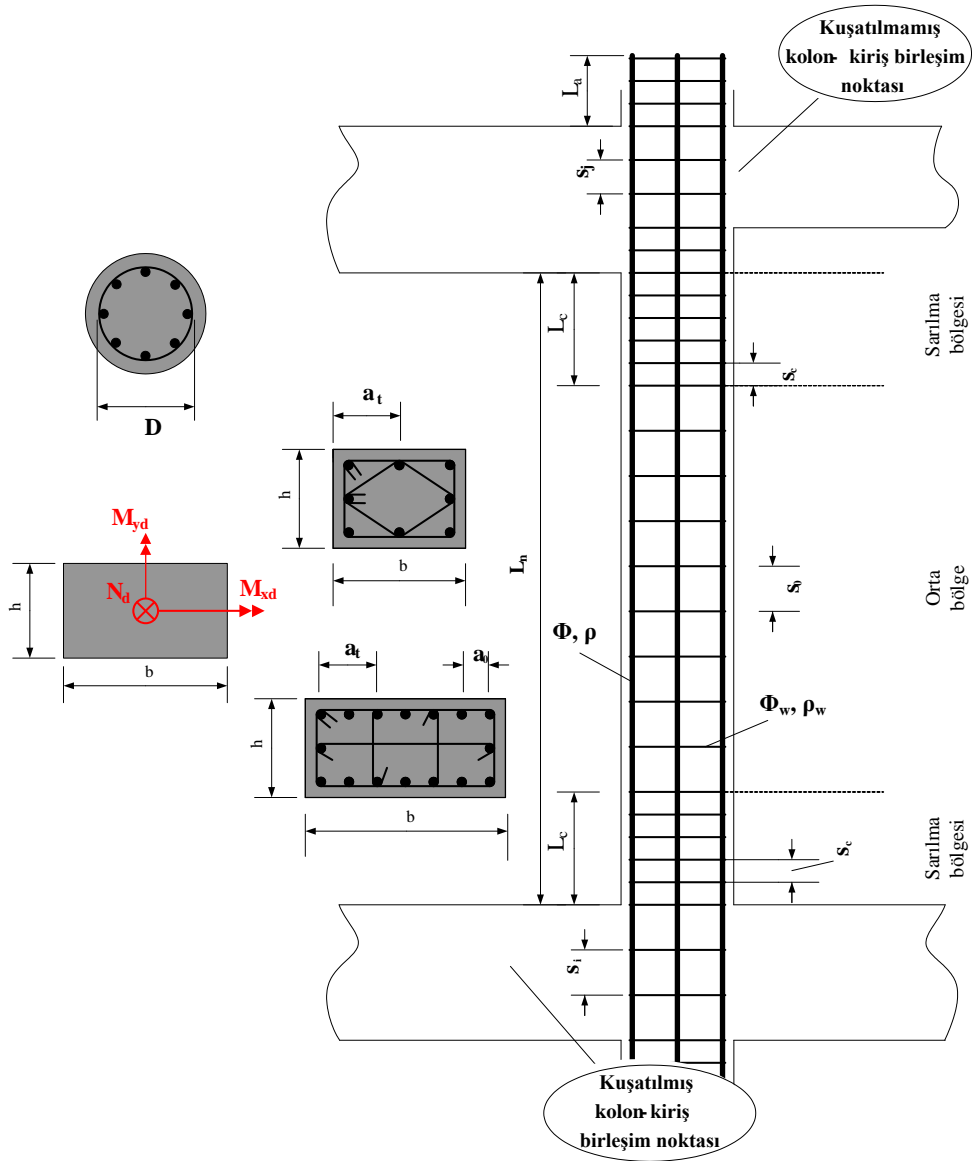
Çizelge 3.39 Kiriş sınır değerleri tablosu (Devam)

Tanım	Zorunlu koşullar		Ek Öneri	Y-PRO
	TS 500-2000	TDY 2007		
min $\rho_w$	$0.3 f_{ctd}/f_{ywd}$	-	-	✓
min b	-	12 $\Phi$	-	✓
min c	-	$l_b$	$L_n/4$	✓
min(a+b)	-	$l_b$	50 $\Phi$	✓
max $N_d$	$0.1 f_{ck} A_c$	$0.1 f_{ck} A_c$	-	✓ <sup>(5)</sup>
max $V_d$	$0.22 f_{cd} A_c$	$0.22 f_{cd} A_c$	-	✓
min $\rho_{gövde}$	0.001	$0.30 (\rho_1 + \rho'_1)$	-	X <sup>(5)</sup>
min $\Phi_{gövde}$	10 mm	12 mm	-	X <sup>(6)</sup>
min pas payı	2 cm (içte) 2.5 cm (dışta)	-	3 cm (içte-dışta)	X <sup>(7)</sup>
min donatı aralığı	2.5 cm, $\Phi$	-	5 cm	✓ <sup>(6)</sup>
min beton sınıfı	C16	C20	C20	X <sup>(8)</sup>
min kanca boyu	6 $\Phi$ , 5cm	10 $\Phi$ , 10 cm (düz) 6 $\Phi$ , 8 cm (nervürlü)	10 $\Phi$ , 10 cm (her tür çelik için)	✓
min çelik sınıfı	S220a	S220a (etriye) S420a (boyuna)	S420a (etriye) S420a (boyuna)	X <sup>(9)</sup>
max çelik sınıfı	-	S420a, S420b	S420a	X <sup>(10)</sup>
min çekme donatısı sayısı	-	2 $\Phi$ 12	3 $\Phi$ 12	✓ <sup>(7)</sup>

### Sembollerin Açılımı:

- ✓<sub>(1)</sub>:  $h \geq 30cm$  koşulunu yazılım uyarı olarak sunmakta fakat,  $h \geq 3t$  koşulu sağlanmamaktadır.
- ✓<sub>(2)</sub>: Gerekli olan açıklık üst donatı oranı  $(\rho_1/4)$  sağlanmakta ve buna göre donatı seçmektedir. Fakat mesnet donatıları kullanıcı müdahalesiyle arttırıldığında, açıklık üst donatısının yetersiz olduğu uyarısını vermemektedir.
- ✓<sub>(3)</sub>: Gerekli mesnet alt donatı alanı ve donatıları  $\rho_1/2$  ye göre sunmaktadır. Fakat mesnet üst donatı miktarı kullanıcı müdahalesiyle arttırıldığında mesnet alt donatısının yetersiz olduğu uyarısını vermemektedir.
- ✓<sub>(4)</sub>: Kullanıcı müdahalesiyle arttırılıp azaltılabilmektedir.
- ✓<sub>(5)</sub>: max.  $N_d$  değeri kuvvet olarak girilebilmektedir. Bu değerden büyük eksenel kuvvet çıkması durumunda yazılım uyarı vermekte, kiriş olarak boyutlandırmaya devam etmektedir.
- ✓<sub>(6)</sub>: Yazılım min. donatı aralığını 25 mm olarak sunmaktadır. Fakat bu değer kullanıcı müdahalesiyle arttırılıp azaltılabilmektedir.
- ✓<sub>(7)</sub>: Kullanıcı istediğinde bu değerlere müdahale edebilmektedir.
- $X_{(1)}$ : max.  $b_w$  koşulu sağlanmamaktadır.
- $X_{(2)}$ :  $\rho - \rho'$  yerine her zaman  $\rho_{max} = 0.85\rho_b, 0.02$  değerine göre max. donatı oranını kontrol etmektedir.
- $X_{(3)}$ :  $\rho_1 - \rho'_1$  yerine her zaman  $\rho_{1max} = 0.85\rho_b, 0.02$  değerine göre max. donatı oranını kontrol etmektedir.
- $X_{(4)}$ : Kullanıcı istediğinde  $\Phi 12$  den küçük çaplar kullanabilmekte, yazılım herhangi bir uyarı vermemektedir.
- $X_{(5)}$ : Gövde donatıları için min donatı oranı kontrolü yapılmamaktadır.
- $X_{(6)}$ : Kullanıcı isterse,  $\Phi 12$  den küçük çapta gövde donatısı seçebilmektedir.
- $X_{(7)}$ : Pas payları kullanıcı müdahalesiyle değiştirilebilmekte, yönetmelik sınır değerleri altında pas payı seçilebilmekte, yazılım uyarı vermemektedir.
- $X_{(8)}$ : Yazılım C20/25 den daha düşük dayanımlı bir beton sınıfıyla analiz ve tasarım yapabilmekte ve herhangi bir uyarı vermemektedir.
- $X_{(9)}$ : Kiriş boyuna donatıları S220a donatı çeliğiyle hesaplanabilmekte ve yazılım herhangi bir uyarı vermemektedir.
- $X_{(10)}$ : Kiriş boyuna donatıları S500a donatı çeliğiyle hesaplanabilmekte ve yazılım herhangi bir uyarı vermemektedir.

### 3.5.2 Kolonlarda sınıır değerlerin irdelenmesi



Şekil 3.39 Kolon sınıır değerleri

$L_a$  : Boyuna donatı ek yerinde bindirme (filiz) boyu

$L_n$  : Kolon net yüksekliği

$L_c$  : Sarılma bölgesi

$s_0$  : Orta bölgede sargı aralığı

$s_c$  : Sarılma bölgesinde sargı aralığı

$s_i$  : Kiriş yüksekliğince sargı aralığı (kuşatılmış birleşim bölgelerinde)

$s_j$  : Kiriş yüksekliğince sargı aralığı (kuşatılmamış birleşim bölgelerinde)

$\Phi$  : Boyuna donatı çapı

$\Phi_w$  : Sargı donatısı çapı

$a_0$  : Boyuna donatı aralığı

$a_t$  : Yanal hareketi tutulmuş donatı aralığı

$D$  : Fretli kolon çekirdek çapı

$A_{sw}$  : Göz önüne alınan doğrultudaki bir sıradaki etriye ve çiroz alanları toplamı

Çizelge 3.40 Kolon sınıır değerleri tablosu

Tanım	Zorunlu koşullar		Ek Öneri	Y-PRO
	TS 500-2000	TDY 2007		
min kenar (b veya h)	25 cm	25 cm	-	✓
min $A_c$	$N_d/(0.9f_{cd})$	$N_d/(0.5f_{ck}), 750 \text{ cm}^2$	$1000 \text{ cm}^2$	✓
min $L_c$	-	Uzun kenar, $L_n/6, 50 \text{ cm}$	-	✓
min $L_a$	-	$l_b$ (kolon orta bölgesinde ek) $1.5 l_b$ (kat seviyesinde ek)	-	✓
min $\rho$	0.01	0.01	-	✓
max $\rho$	0.04	0.04	0.03	✓
max $a_t$	30cm	$25\Phi_w$	-	✓ <sup>(1)</sup>
max $s_0$	$12\Phi_{\min}, 20 \text{ cm}$	kısa kenar/2, 20cm	17cm (etriye), 8cm (fret)	✓ <sup>(2)</sup>
min $s_0$	-	-	8cm (etriye), 5cm (fret)	✓ <sup>(3)</sup>
max $s_c$	-	10cm, kısakenar/3 (etriye) D/5, 8cm (fret)	8cm (etriye) 5cm (fret)	✓ <sup>(4)</sup>
max $s_i$	-	15 cm	10cm	✓
max $s_j$	-	10 cm	-	X <sup>(1)</sup>
min $s_0, s_c, s_i, s_j$	-	5 cm	-	✓
min $\Phi$	14 mm	14 mm	-	X <sup>(2)</sup>
max $\Phi$	-	-	22 mm	✓ <sup>(5)</sup>
min $\Phi_w$	$\Phi_{\max}/3$	8 mm	-	✓ <sup>(6)</sup>
max $\Phi_w$	-	-	12 mm	✓ <sup>(7)</sup>
min $A_{sw}$	-	Madde 3.3.4 Madde 3.5.2.3	-	✓ <sup>(8)</sup>
max u uzun/kısa kenar	7	7	-	✓
min $M_{xd}$	$(15 \text{ mm} + 0.03h)N_d$	-	-	✓
min $M_{yd}$	$(15 \text{ mm} + 0.03b)N_d$	-	-	✓

Çizelge 3.41 Kolon sınır değerleri tablosu (Devam)

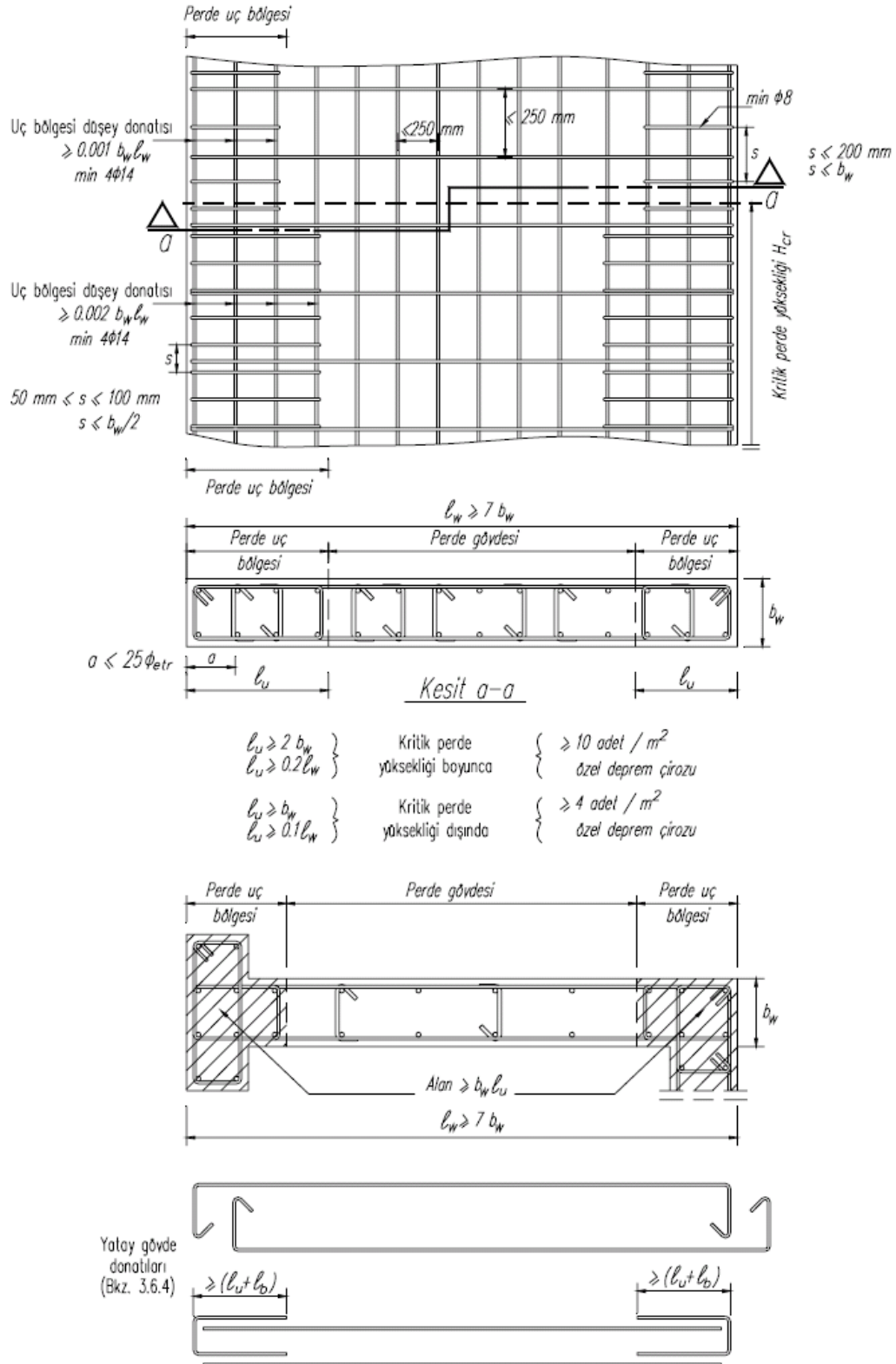
Tanım	Zorunlu koşullar		Ek Öneri	Y-PRO
	TS 500-2000	TD Y 2007		
max $N_d$	$0.9 f_{cd} A_c$	$0.5 f_{ck} A_c$	-	✓
max $V_{xd}$ , max $V_{yd}$	-	$0.22 f_{cd} A_c$	-	✓
min etriye kancası	-	$6\Phi_w, 8\text{cm}$ (nervürlü) $10\Phi_w, 10\text{cm}$ (düz)	$10\Phi_w, 10\text{ cm}$	✓
min boyuna donatı sayısı	$6\Phi 14, 4\Phi 16$ (dik dörtgen), $6\Phi 14$ (daire)	$6\Phi 14, 4\Phi 16$ (dik dörtgen), $6\Phi 14$ (daire)	$6\Phi 14$ (dikdörtgen), $8\Phi 14$ (daire)	✓
min pas payı	2cm (içte) 2.5cm (dışta)	-	3cm	✓ <sup>(9)</sup>
min beton sınıfı	C16	C20	C20	X <sup>(3)</sup>
min çelik sınıfı	S220	420	S420a	X <sup>(4)</sup>
max çelik sınıfı	-	S420a , S420b	S420a	X <sup>(5)</sup>



### Sembollerin Açılımı:

- ✓<sub>(1)</sub>: Bu değer kullanıcı müdahalesiyle arttırılıp azaltılabilmektedir. Yazılım bu durumda herhangi bir uyarı vermemektedir.
  - ✓<sub>(2)</sub>: Bu değer kullanıcı müdahalesiyle arttırılıp azaltılabilmektedir. Yazılım bu durumda herhangi bir uyarı vermemektedir.
  - ✓<sub>(3)</sub>: Bu değer kullanıcı müdahalesiyle arttırılıp azaltılabilmektedir. Yazılım bu durumda herhangi bir uyarı vermemektedir.
  - ✓<sub>(4)</sub>: Bu değer kullanıcı müdahalesiyle arttırılıp azaltılabilmektedir. Yazılım bu durumda herhangi bir uyarı vermemektedir.
  - ✓<sub>(5)</sub>: Donatı çapı üst sınırı kullanıcı tarafından belirlenmektedir.
  - ✓<sub>(6)</sub>:  $\min \phi_w \geq 8mm$  koşulu sağlanmaktadır, fakat  $\phi_{\min}/3$  kontrolü yapılmamaktadır.
  - ✓<sub>(7)</sub>: Etriye çapı üst sınırı kullanıcı tarafından belirlenmektedir.
  - ✓<sub>(8)</sub>: Madde 3.5.2.3 deki kuşatılmamış kolonlarda kolon-kiriş birleşim bölgesindeki enine donatı miktarının %60 ı sağlanmaktadır. Fakat etriye aralığı her zaman  $\max s_j \leq 10cm$  koşulunu sağlamamaktadır.
  - ✓<sub>(9)</sub>: Bu değer kullanıcı müdahalesiyle arttırılıp azaltılabilmektedir. Yazılım bu durumda herhangi bir uyarı vermemektedir.
- X<sub>(1)</sub>: Kuşatılmamış kolon-kiriş birleşim bölgesinde  $\max s_j \leq 10cm$  koşulu sağlanmamaktadır. Kullanıcı bu duruma müdahale edememekte, çizim editörü üzerinde düzeltebilmektedir.
- X<sub>(2)</sub>:  $\Phi 14$  den küçük çaptaki boyuna donatılar için de kolon boyutlandırması yapmaktadır. Yazılım bu durumda uyarı vermemekte, rapor ve çizimleri sunmaktadır.
- X<sub>(3)</sub>: C20/25 den düşük beton sınıfları için yapısal analiz ve kolon donatı boyutlandırması yapmakta, kullanıcıyı uyarmamaktadır.
- X<sub>(4)</sub>: S420 den düşük donatı sınıfları için kolon donatı boyutlandırması yapmakta, kullanıcıyı uyarmamaktadır.
- X<sub>(5)</sub>: S500 donatı sınıfı için kolon donatı boyutlandırması yapmakta, kullanıcıyı uyarmamaktadır.

### 3.5.3 Perdelerde sınır değerlerin irdelenmesi



Şekil 3.40 Perde sınır değerleri

Çizelge 3.42 Perde sınır değerleri tablosu

Tanım	TDY 2007	Açıklama	Y-PRO
min $H_{cr}$	$H_{cr} \geq \ell_w$ $H_{cr} \geq H_w / 6$	-	✓
max $H_{cr}$	$H_{cr} < 2 \ell_w$	-	✓
min $b_w$ <sup>1)</sup>	$b_w \geq h_i / 15, b_w > 20 \text{ cm}$	Kritik perde yük. boyunca	X <sup>(1)</sup>
	$b_w \geq h_i / 20, b_w > 20 \text{ cm}$	Kritik perde yük. dışında	
min $\ell_w$	$\ell_w \geq 7 b_w$	-	✓
min $\ell_u$	$\ell_u \geq 2 b_w, \ell_u \geq 0.2 \ell_w$	Kritik perde yük. boyunca	✓
	$\ell_u \geq b_w, \ell_u \geq 0.1 \ell_w$	Kritik perde yük. dışında	
min. uç bölgesi donatı alanı	$0.002 b_w \ell_w, 4\Phi 14$	Kritik perde yük. boyunca	X <sup>(2)</sup>
	$0.001 b_w \ell_w, 4\Phi 14$	Kritik perde yük. dışında	X <sup>(3)</sup>
Perde gövdesi boyuna ve enine donatı aralığı	$s_{gövde} \leq 25 \text{ cm}$	-	✓ <sup>(1)</sup>
$\rho_{gövde}$ (Perde gövdesi düşey ve yatay min. donatı alanı)	$\rho_{gövde} \geq 0.0025 \cdot (\text{perde}$ gövdesi brüt enkesit alanı)	-	X <sup>(4)</sup>
Uç bölgesi min. etriye çapı	min $\Phi_{etriye} \geq 8 \text{ mm}$	-	✓

Çizelge 3.43 Perde sınırlar değerleri tablosu (Devam)

Tanım	TDY 2007	Açıklama	Y-PRO
max s	$s \leq 10 \text{ cm} , s \leq b_w / 2$	Kritik perde yük. boyunca	✓ <sup>(2)</sup>
	$s \leq 20 \text{ cm} , s \leq b_w$	Kritik perde yük. dışında	
min s	$s \geq 5 \text{ cm}$	Kritik perde yük. boyunca	✓
max a	$a \leq 20\Phi_{\text{etr}}$	-	✓ <sup>(3)</sup>
Özel deprem çirozu	10 adet / m <sup>2</sup>	Kritik perde yük. boyunca	✓
	4 adet / m <sup>2</sup>	Kritik perde yük. dışında	✓

### Sembollerin Açılımı:

✓<sub>(1)</sub>: Bu değer kullanıcı müdahalesiyle arttırılıp azaltılabilmektedir. Yazılım bu durumda herhangi bir uyarı vermemektedir.

✓<sub>(2)</sub>: Yazılım max. s değerini sınır değerler içinde hesaplamaktadır. Fakat kullanıcı bu değere müdahale edip yönetmeliğin müsaade ettiği sınırların dışına çıkabilmektedir. Bu durumda kullanıcı uyarılmamaktadır.

✓<sub>(3)</sub>: Bu değer kullanıcı müdahalesiyle arttırılıp azaltılabilmektedir. Yazılım bu durumda herhangi bir uyarı vermemektedir.

X<sub>(1)</sub>: Sınır değerlerin altında perde kalınlığı tanımlanabilmektedir. Bu durumda yazılım tasarım yapıp çıktı verebilmekte, kullanıcıyı uyarılmamaktadır.

X<sub>(2)</sub>: Yazılım kritik perde yüksekliği boyunca perde uç bölgelerindeki min. donatı oranını 0.001 almaktadır.  $\Phi 14$  den küçük çaplı donatı kullanılmasına müsaade etmektedir. Kullanıcı uyarılmamaktadır.

X<sub>(3)</sub>: min. donatı oranını doğru hesaplamaktadır fakat  $\Phi 14$  den küçük çaplı donatı kullanılmasına müsaade etmektedir. Kullanıcı uyarılmamaktadır.

X<sub>(4)</sub>: TDY 2007 Madde 3.6.3 de  $\rho_{gövde}$  nin hesabı için kullanılacak beton kesit alanının perde gövdesi brüt enkesit alanı ile hesaplanacağından bahsedilmektedir. Fakat yazılım beton kesit alanını perde kesit alanının tamamı olarak dikkate almaktadır. Perde düşey gövde donatısı alanını da perdenin iki yüzündeki düşey donatı alanlarının toplamından hesaplamaktadır. Hazırlanan farklı örneklerde gövde donatıları ara mesafeleri arttırıldığında, min  $\rho_{gövde}$  oranının yönetmelik koşulları dikkate alındığında sağlanmadığı görülmüştür.

### 3.5.4 Döşemelerde sınırların değerlerin irdelenmesi

#### Simgeler:

$L_u$  = Uzun kenar (aksdan-aksa)

$L_k$  = Kısa kenar (aksdan-aksa)

$L_{knet}$  = Döşemenin kısa doğrultuda giriş yüzünden giriş yüzüne ölçülen net açıklığı

$m$  = Kenarların oranı

$h$  = Döşeme betonu kalınlığı

$\alpha_s$  = Sürekli kenar uzunluklarının toplamının döşeme çevresine oranı

$t$  = donatı aralığı

$\Phi$  = Donatı çapı

$\rho_k$  = Donatı oranı (kısa doğrultuda, 1 m'lik plak şeridinde)

$\rho_u$  = Donatı oranı (uzun doğrultuda, 1 m'lik plak şeridinde)

$\rho$  = Toplam donatı oranı ( $\rho_k + \rho_u$ )

$A_{sk}$  = 1 m'lik şeritteki donatı alanı (kısa doğrultuda)

$A_{su}$  = 1 m'lik şeritteki donatı alanı (uzun doğrultuda)

$A_{sek}$  = Bir doğrultuda çalışan kirişli döşemelerde 1 m'lik şeritteki ek donatı alanı (kısa kenar mesnetlerinde)

$d_k$  = faydalı yükseklik (kısa doğrultuda)

$d_u$  = faydalı yükseklik (uzun doğrultuda)

$pp$  = net beton örtüsü

Çizelge 3.44 İki doğrultuda çalışan döşemelerde sınırlar değerler

Tanım	Zorunlu koşullar		Ek Öneri	Açıklama	Y-PRO
	TS 500-2000	TDY 2007			
$m = \frac{L_u}{L_k}$	$m \leq 2$	-	-	-	✓
min h	$h \geq \frac{L_{knet}}{15 + \frac{20}{m}} \left(1 - \frac{\alpha_s}{4}\right)$	-	$h \geq 100\text{mm}$ $h \geq 150\text{mm}$ (konsol, üzerinden taşıt geçen döşemelerde, merdiven sahanlıklarında, büyük boşluklu döşemelerde)	-	✓ <sup>(1)</sup>
	$h \geq 80\text{mm}$	-	-	-	✓
max t	$t \leq 1.5h$ (her iki doğrultuda)	-	$t \geq 50\text{mm}$	-	X <sup>(1)</sup>
	$t \leq 200\text{mm}$ (kısa doğrultuda)	-		-	✓ <sup>(2)</sup>
	$t \leq 250\text{mm}$ (uzun doğrultuda)	-		-	
min $\Phi$	8mm(çubuk) 5mm(hasır)	-	-	-	✓
min $\rho_k$	$\rho_k \geq 0.0015$	-	-	$\rho_k = \frac{A_{sk}}{1000 d_k}$	✓ <sup>(3)</sup>
min $\rho_u$	$\rho_u \geq 0.0015$	-	-	$\rho_u = \frac{A_{su}}{1000 d_u}$	
min $\rho$	$\rho \geq 0.004$ (S220) $\rho \geq 0.0035$ (S420 ve S500 için)	-	-	$\rho = \rho_k + \rho_u$	✓
min pp	$pp \geq 15\text{mm}$ (kısa doğrultuda)	-	-	-	✓ <sup>(4)</sup>

**Açıklamalar:**

- ✓<sub>(1)</sub>: Yazılım döşeme yerleşimi sırasında kullanıcıyı min h için uyarmakta ve min h yüksekliğini sunmaktadır. Fakat min h değerinden küçük döşeme modellendiğinde analiz sonuçlarında bu değer altında kaldığı konusunda kullanıcı uyarılmamaktadır.
- ✓<sub>(2)</sub>: Yazılımda uzun ve kısa doğrultulardaki donatı aralıkları ayrı ayrı sunulmamakta, tek bir donatı aralığı değeri (20 cm) verilmektedir.. Bu değer kullanıcı müdahalesiyle değiştirilebilmektedir.
- ✓<sub>(3)</sub>: Yazılım uzun ve kısa doğrultular için min donatı oranını 0.00175 olarak almaktadır.
- ✓<sub>(4)</sub>: Bu değer kullanıcı tarafından değiştirilebilmektedir. Yönetmelik sınır değerlerinin altında beton örtüsü kullanılması durumunda yazılım kullanıcıyı uyarılmamaktadır.
- X<sub>(1)</sub>: Döşeme kalınlığına göre donatı aralığı kontrolü yapmamaktadır.



Çizelge 3.45 Tek doğrultuda çalışan döşemelerde sınır değerler

Tanım	Zorunlu Koşullar		Ek Öneri	Açıklama	Y-PRO
	TS 500-2000	TDY 2007			
$m = \frac{L_u}{L_k}$	$m > 2$	-	-	-	✓
min h	$h \geq L_{knet}/25$ (basit mesnetli, tek açıklıklı döşemelerde) $h \geq L_{knet}/30$ (sürekli döşemelerde) $h \geq L_{knet}/12$ (konsol döşemelerde)	-	$h \geq 100\text{mm}$ $h \geq 150\text{mm}$ (konsol, üzerinden taşıt geçen döşemelerde,merdiven sahanlıklarında,büyük boşluklu döşemelerde)	-	✓
	$h \geq 80\text{mm}$ $h \geq 120\text{mm}$ (üzerinden taşıt geçen döşemelerde)	-	-	-	✓ <sup>(1)</sup>
max t	$t \leq 1.5h$ (kısa doğrultuda)	-	-	-	X <sup>(1)</sup>
	$t \leq 200\text{mm}$ (kısa doğrultuda)	-	-	-	✓ <sup>(2)</sup>
	$t \leq 300\text{mm}$ (uzun doğrultuda)	-	$t \leq 250\text{mm}$ (uzun doğrultuda)	-	
min $\Phi$	8mm(çubuk) 5mm(hasır)	-	-	-	✓
min $\rho_k$	$\rho_k \geq 0.003$ (S220) $\rho_k \geq 0.002$ (S420 ve S500 için)	-	-	$\rho_k = \frac{A_{sk}}{1000 d_k}$	X <sup>(2)</sup>
min pp	$pp \geq 15\text{mm}$ (kısa doğrultuda)	-	-	-	✓ <sup>(3)</sup>
min $A_{su}$	$A_{su} \geq A_{sk}/5$	-	-	-	✓

Çizelge 3.46 Tek doğrultuda çalışan döşemelerde sınır değerler (Devam)

Tanım	Zorunlu Koşullar		Ek Öneri	Açıklama	Y-PRO
	TS 500-2000	TDY 2007			
min $A_{sek}$	$A_{sek} \geq 0.60A_{sk}$	-	-	-	✓
min $A_{sek}$	$A_{sek} \geq \Phi 8/200$	-	-	S220 için	
min $A_{sek}$	$A_{sek} \geq \Phi 8/300$	-	-	S420 için	

**Açıklamalar:**

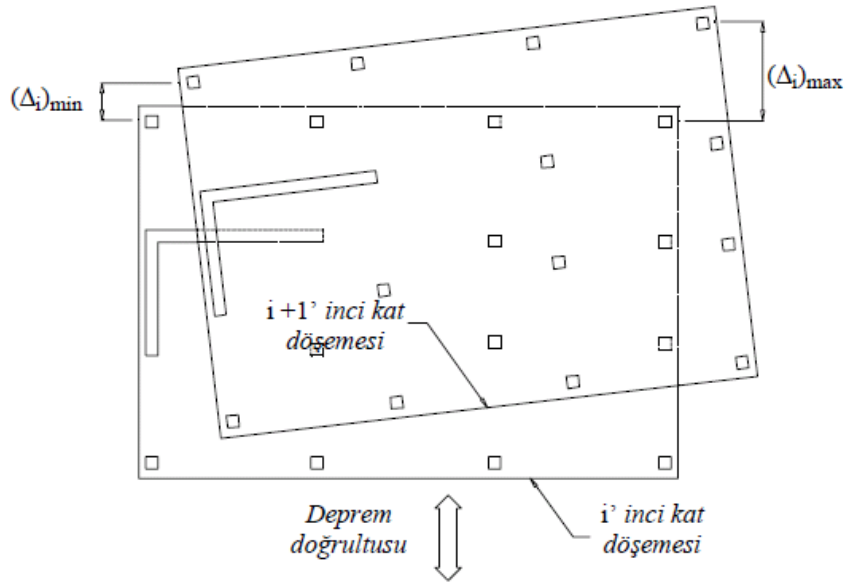
- ✓<sub>(1)</sub>: Döşeme üzerinden taşıt geçip geçmediği tanımlanmadığından, böyle bir kontrol yapılmamaktadır.
- ✓<sub>(2)</sub>: Yazılımda uzun ve kısa doğrultulardaki donatı aralıkları ayrı ayrı sunulmamakta, tek bir donatı aralığı değeri (20 cm) verilmektedir. Bu değer kullanıcı müdahalesiyle değiştirilebilmekte, sınır değerlerin dışına çıktığında yazılım uyarı vermemektedir.
- ✓<sub>(3)</sub>: Bu değer kullanıcı tarafından değiştirilebilmektedir. Yönetmelik sınır değerlerinin altında pas payı kullanılması durumunda yazılım kullanıcıyı uyarılmamaktadır.
- X<sub>(1)</sub>: Döşeme kalınlığına göre donatı aralığı kontrolü yapılmamaktadır.
- X<sub>(2)</sub>: Kısa doğrultudaki min donatı oranı 0.0017 olarak alınmaktadır.

### 3.5.5 Y-Pro nun TDY 2007 de Tanımlanan Planda Düzensizlikler Bakımından İrdelenmesi

#### 3.5.5.1 A1 düzensizliği

Planda düzensizlik durumlarından ilki olan A1 burulma düzensizliği, deprem anında yapıların göçme nedenlerinden ilki olarak gösterilebilecek derece de önemlidir. Gelişi güzel yerleştirilmiş perde ve kolonlardan oluşan kalıp planları, sıklıkla rastlanan simetrik olmayan parseller burulma düzensizliğinin oluşmasındaki ilk etkenlerdir. A1 düzensizliği aynı zamanda deprem hesabının seçiminde etkin olan bir düzensizliktir.

TDY 2007 de burulma düzensizliği,  $\eta_b$  katsayısına bağlı olarak, birbirine dik iki deprem doğrultusunun herhangi biri için, herhangi bir katta en büyük görel kat ötelenmesinin, o katta aynı doğrultudaki ortalama görel kat ötelenmesine oranı olarak ifade edilir.  $\eta_b$  değerinin 1.2 den büyük olması durumunda yapıda burulma düzensizliği olduğu kabul edilir.



Döşemelerin kendi düzlemleri içinde rijit diyafram olarak çalışmaları durumunda

$$(\Delta_i)_{ort} = 1/2 [(\Delta_i)_{max} + (\Delta_i)_{min}]$$

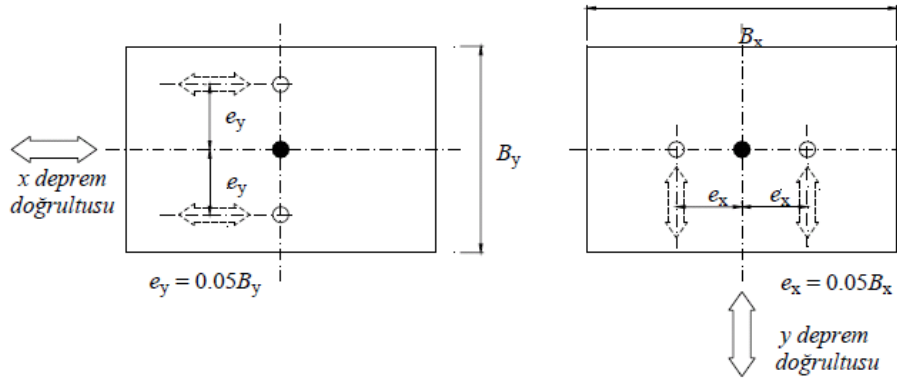
Burulma düzensizliği katsayısı :

$$\eta_{bi} = (\Delta_i)_{max} / (\Delta_i)_{ort}$$

Burulma düzensizliği durumu :  $\eta_{bi} > 1.2$

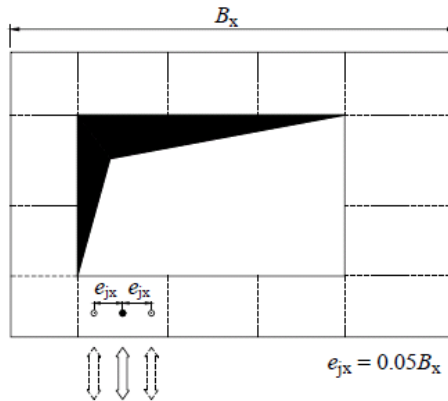
Şekil 3.41 TDY 2007 Şekil 2.1

Görelî kat ötelenmeleri deprem kuvvetlerinin her iki asal doğrultuda kat ağırlık merkezine ve kat ağırlık merkezine  $\pm\%5$  ek dışmerkezlilikle etki ettirilmesiyle hesaplanır. Yani yapı planda ve kolon-perde yerleşiminde ne kadar simetrik olursa olsun, ağırlık ve rijitlik merkezi ne kadar çakışırsa çakışsın, TDY 2007 yine de ek dışmerkezliliğin ( $\%5$ ) göz önüne alınmasını zorunlu tutmaktadır. Şekil 3.42 de, döşemelerin yatay düzlemde rijit diyafram olarak çalıştığı durumlarda, her iki deprem doğrultusu için deprem kuvvetlerinin ağırlık merkezlerine göre  $\pm\%5$  dışmerkezlilik etkime durumunu gösterilmektedir.



Şekil 3.42 TDY 2007 Şekil 2.7

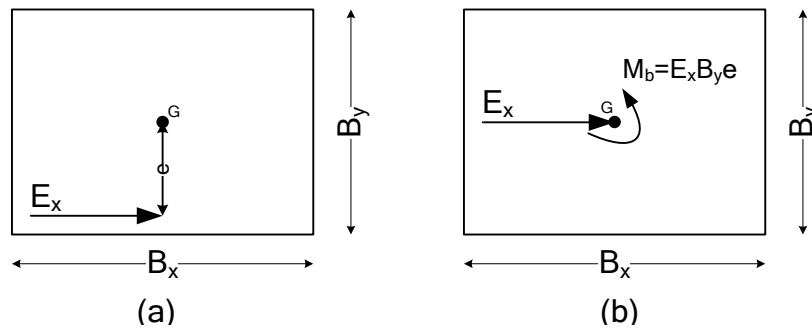
Döşemelerin yatay düzlemde yeterli rijitlikte olmadığı, yer yer büyük döşeme boşluklarının bulunduğu veya döşemenin hiç bulunmadığı yapı sistemlerinde ise deprem kuvvetleri kütlelerin yoğunlaştığı noktalara  $\pm\%5$  dışmerkezlilik ile etki ettirilmek zorundadır.



Şekil 3.43 TDY 2007 Şekil 2.8

TDY 2007,  $\eta_b$  katsayısının 1.2 değerini aşması durumunda ek dışmerkezliliği  $D_i = (\eta_{bi}/1.2)^2$  değeri ile çarpılarak, yapısal analizden yeniden yapılmasını ve yeni dışmerkezliliğin ( $e_x D_i$ ) göz önüne alınmasını istemektedir. Böylece taşıyıcı sistem daha fazla zorlanmış olmaktadır.

Yatay yüklerin dışmerkezli olarak yapıya etki ettirilmesi iki yolla mümkün olabilmektedir. Birinci yol, kuvvetin kat ağırlık merkezine ( $e$ ) uzaklığındaki bir noktaya kuvvet olarak etkilmesidir. İkinci yol, yatay kuvvetin ( $e$ ) mesafesi ile çarpılarak kat ağırlık merkezine kuvvet ve burulma momenti olarak etkilmesidir. Y-Pro ikinci yolu kullanmaktadır. Şekil 3.44 de yatay kuvvetin eksantrik olarak etkilenebilir durumları gösterilmiştir.



Şekil 3.44 Dışmerkezli yatay kuvvet uygulama formları

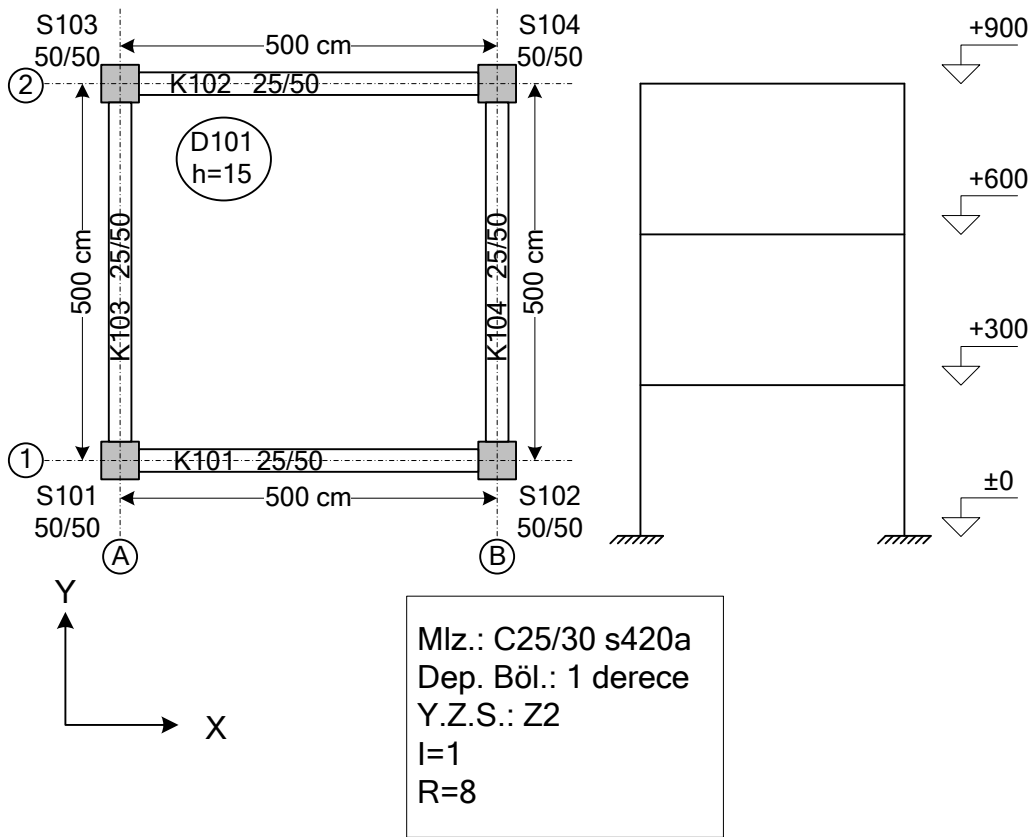
### $\eta_b \leq 1.2$ durumu

TDY 2007 de, yapının kütle ve rijitlik merkezi çakışsa dahi  $\pm\%5$  ek dışmerkezliliğin hesaplarda göz önüne alınmasının zorunlu olduğu bir önceki paragrafta belirtilmiş idi. Bu durumun Y-Pro tarafından dikkate alınıp alınmadığını kontrol etmek amacıyla kütle ve rijitlik merkezleri çakışık olan bir yapı modellenip analiz edilmiştir. Analiz sonrasında programın hesapladığı deprem kuvvetleri ve yatay deplasmanlar temel alınarak, yapıya etki ettirilen burulma momentleri ve hesaplanan  $\eta_b$  değerleri kontrol edilmiştir.

Sistemin analizi öncesinde aşağıdaki kabuller yapılmıştır:

- Kolon, kiriş ve döşeme zati ağırlıkları ihmal edilmemiştir.
- Hareketli yük ve duvar yükü tanımlanmamıştır.

- Sistemin deprem analizi eşdeğer deprem yükü yöntemine göre yapılmıştır.
- Kolon kiriş birleşim bölgesinin sonsuz rijit davrandığı kabulü yapılmamıştır.
- Rijit diyafram kabulü yapılmıştır.
- Kolon ve kirişler aksları ortalamaya yerleştirilmiştir.
- El hesaplarında kullanılan deprem kuvvetleri ve yatay deplasmanlar yazılımın sunduğu sonuçlardan alınmıştır.



Şekil 3.45  $\eta_b \leq 1.2$  durumu için örnek kalıp planı

Çizelge 3.47 Dışmerkezlilikten dolayı oluşan burulma momenti

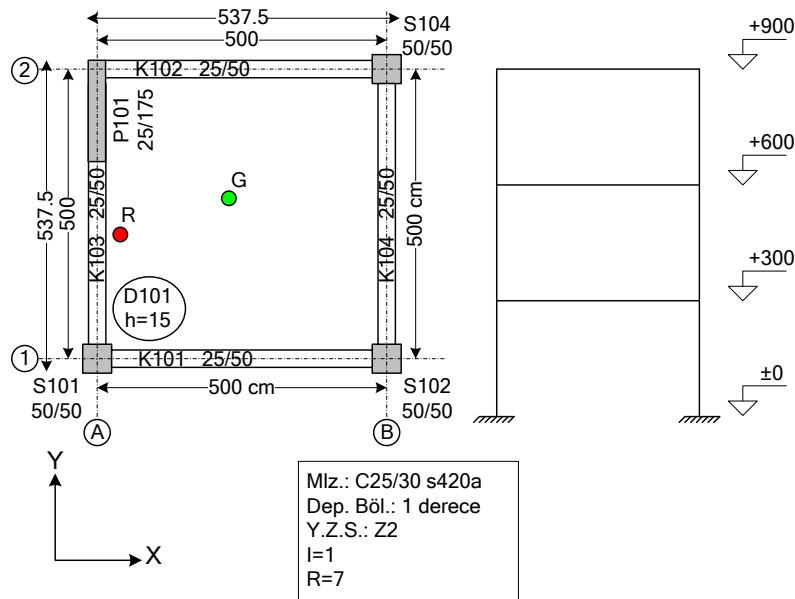
KAT	$E_X$ (kN)	$e_y$ (%)	$B_y$ (m)	EL HESABI	Y-PRO
				$M_b$ (kNm)	$M_b$ (kNm)
3	42.58	5	5	10.6	10.6
2	27.14	5	5	6.8	6.8
1	13.57	5	5	3.4	3.4

Çizelge 3.48 Y-Pro X ve Y yönü  $\eta_b$  burulma düzensizliği kontrolü

KAT	$d_i(\max)$	$d_i(\min)$	$\Delta_i(\max)$	$\Delta_i(\min)$	$\Delta_i(\text{ort})$	$\eta_{bi}$
3	3.6690	3.3860	1.1910	1.1030	1.1470	✓
2	2.4780	2.2830	1.5190	1.4020	1.4605	✓
1	0.9590	0.8810	0.9590	0.8810	0.9200	✓

Çizelge 3.47 ve 3.48 den de görüldüğü gibi; yazılım  $\pm\%5$  dışmerkezliliği her iki yön için dikkate almıştır. Sistem son bir kontrol için bir kez de SAP2000 yazılımı ile analiz edilmiş ve kat deplasmanlarının ve buna bağlı olarak burulma katsayılarının doğru hesaplandığı görülmüştür.

$2 \geq \eta_b > 1.2$  durum

Şekil 3.46  $2 \geq \eta_b > 1.2$  durumu için örnek kalıp planı

Şekil 3.46 daki kalıp planı Y-Pro ile analiz edilmiş ve  $\eta_b$  değerinin 2 den küçük fakat 1.2 den büyük olması durumunda yazılımın dışmerkezliliği  $D_i = (\eta_{bi}/1.2)^2$  kadar arttırıp arttırmadığı kontrol edilmiştir. Kalıp planından da anlaşıldığı üzere en büyük burulma momenti Y doğrultusundaki deprem kuvvetlerinden dolayı oluşacaktır. Sistemin analizi öncesinde aşağıdaki kabuller yapılmıştır:

- Kolon, kiriş ve döşeme zati ağırlıkları ihmal edilmemiştir.
- Hareketli yük ve duvar yükü tanımlanmamıştır.
- Sistemin deprem analizi eşdeğer deprem yükü yöntemine göre yapılmıştır.
- Kolon kiriş birleşim bölgesinin sonsuz rijit davrandığı kabulü yapılmamıştır.
- Rijit diyafram kabulü yapılmıştır.
- Perde, orta kolon olarak modellenmiştir.
- Perde, kolon ve kirişler aksları ortalamaya yerleştirilmiştir.
- El hesaplarında kullanılan deprem kuvvetleri ve yatay deplasmanlar yazılımın sunduğu sonuçlardan alınmıştır.

Çizelge 3.49 Dışmerkezlilikten dolayı oluşan burulma momenti

KAT	$E_Y$ (kN)	$e_x$	$B_x$ (m)	EL HESABI	Y-PRO
				$M_b$ (kNm)	$M_b$ (kNm)
3	50.77	0.05	5	12.7	12.7
2	32.36	0.05	5	8.1	8.1
1	16.18	0.05	5	4.0	4.0

Çizelge 3.50 Y-Pro Y yönü  $\eta_b$  burulma düzensizliği kontrolü

KAT	$d_{i(max)}$ (mm)	$d_{i(min)}$ (mm)	$\Delta_{i(max)}$	$\Delta_{i(min)}$	$\Delta_{i(ort)}$	$\eta_{bi}$	Ek Dışmerkezlilik (%)
3	3.3500	1.4340	1.1180	0.5840	0.8510	1.314	6
2	2.2320	0.8500	1.3720	0.5600	0.9660	1.420	7
1	0.8600	0.2900	0.8600	0.2900	0.5750	1.496	7.8



Yazılımın %5 dışmerkezliliğe göre hesaplanmış olduğu değerler çizelge 3.50 de kontrol edilmiş ve doğru olduğu görülmüştür. TDY 2007 madde 2.7.3.3 e göre burulma katsayısı  $\eta_{bi}$  1.2 değerini aştığından ek dışmerkezlilik kontrol edilirse:

KAT	$D_i = (\eta_{bi}/1.2)^2$	$D_{i,xe}$
3	$(1.314/1.2)^2 = 1.199 \Rightarrow \dots$	0.06
2	$(1.420/1.2)^2 = 1.400 \Rightarrow \dots$	0.07
1	$(1.496/1.2)^2 = 1.554 \Rightarrow \dots$	0.078

El hesabından da görüldüğü gibi yazılım  $\eta_{bi}$  katsayısının 1.2 değerini aşması durumunda da ek dışmerkezliliği doğru hesaplamıştır. Fakat analiz raporları incelendiğinde yazılımın ek dışmerkezliliği sadece Y yönü için arttırmış, X yönü için %5 olarak almıştır. Oysa TDY 2007 Madde 2.7.3.3 de;

*'Binanın herhangi bir i'inci katında Tablo 2.1'de tanımlanan A1 türü düzensizliğin bulunması durumunda,  $1.2 < \eta_{bi} \leq 2.0$  olmak koşulu ile, 2.7.3.1 ve/veya 2.7.3.2'ye göre bu katta uygulanan  $\pm\%5$  ek dışmerkezlik, her iki deprem doğrultusu için Denk.(2.10)'da verilen  $D_i$  katsayısı ile çarpılarak büyütülecektir.'*

denilmektedir. Bu durumda yazılımın burulma düzensizliği olmasa da X doğrultusu için de ek dışmerkezliliği hesaplarda göz önünde bulundurması gerekmekte idi. Bu durum TDY 2007 ye aykırıdır.

Şekil 3.46 daki örnek bir kez de rijit diyafram kabulü yapılmadan analiz edilmiş ve yazılımın dışmerkezlikleri deprem kuvvetlerinin uygulandığı düğüm noktalarına uygulayıp uygulamadığı kontrol edilmiştir. Analiz sonrası A1 düzensizliğine ait raporlarda ek dış merkezliliği %5 olarak dikkate alarak analiz yapıldığı,  $2 \geq \eta_b > 1.2$  çıktığı için dışmerkezliliğin arttırılarak analizin tekrarlandığı belirtilmektedir. Fakat deprem raporları incelendiğinde yazılımın analiz esnasında %5 dışmerkezliliği dahi göz önüne almadığı görülmüştür. Deprem hesap raporu ile düzensizlik kontrolleri raporu kendi içinde çelişkilidir. Oysa TDY 2007 Madde 2.7.3.2 de rijit diyafram kabulünün yapılamadığı yapılarla ilgili olarak:

2.7.3.2 – Tablo 2.1’de tanımlanan A2 türü düzensizliğin bulunduğu ve döşemelerin yatay düzlemde rijit diyafram olarak çalışmadığı binalarda, döşemelerin yatay düzlemdeki şekil değiştirmelerinin göz önüne alınmasını sağlayacak yeterlikte bağımsız statik yer değiştirme bileşeni hesapta göz önüne alınacaktır. Ek dışmerkezlik etkisinin hesaba katılabilmesi için, her katta çeşitli noktalarda dağılı bulunan tekil kütlelere etkiyen eşdeğer deprem yüklerinin her biri, deprem doğrultusuna dik doğrultudaki kat boyutunun +%5’i ve -%5’i kadar kaydırılacaktır (Şekil 2.8).

denilmesine rağmen Y-Pro bu maddeyi uygulamamaktadır.

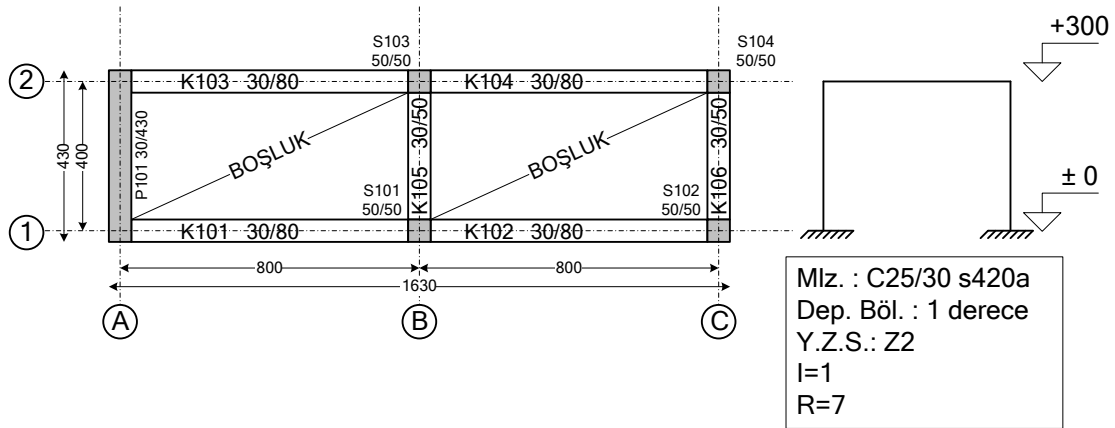
#### **$\eta_b > 2$ durumu**

Burulma düzensizliği katsayısı önceki paragraflarda da belirtildiği gibi, deprem hesap yönteminin seçilmesinde etken olan bir kıstastır. TDY 2007 de  $\eta_b$  katsayısının 2 den küçük veya eşit olması durumunda eşdeğer deprem yükü yönteminin kullanılabileceği belirtilmektedir. Bunu nedeni ise eşdeğer deprem yükünün binanın birinci serbest yatay titreşim periyodu baz alınarak hesaplanmasıdır.  $\eta_b$  katsayısının 2 den büyük olması durumunda, birinci hakim periyot burulma olarak baş gösterebilmektedir. Bu nedenle birden çok modun süperpoze edildiği mod birleştirme yönteminin kullanılması da gerçekçi sonuçlar elde edilmesini sağlamaktadır.

$\eta_b$  katsayısını 2 nin üzerine çıkarabilmek amacı ile hem Y-Pro da hem de SAP 2000 yazılımında birçok kalıp planı üzerinde çalışılmış, en sade olabileceği düşünülen Şekil 3.47 deki örnek sunulmuştur. Analiz öncesinde aşağıdaki kabuller yapılmıştır:

- Kolon, kiriş ve döşeme zati ağırlıkları ihmal edilmiştir.
- Hareketli yük ve duvar yükü tanımlanmamıştır.
- K106 kirişi üzerinde açıklık boyunca 2000 kN/m düzgün yayılı sabit yük alınmıştır.
- Sistemin deprem analizi eşdeğer deprem yükü yöntemine göre yapılmıştır.
- Kolon kiriş birleşim bölgesinin sonsuz rijit davrandığı kabulü yapılmamıştır.
- Rijit diyafram kabulü yapılmamıştır.

- Perde, kabuk eleman olarak modellenmiştir.
- Perde, kolon ve kirişler aksları ortalararak yerleştirilmiştir.



Şekil 3.47  $\eta_b > 2$  durumu için kalıp planı örneği

Çizelge 3.51 Y-Pro Y yönü  $\eta_b$  burulma düzensizliği kontrolü

KAT	$d_i(\max)$ (mm)	$d_i(\min)$ (mm)	$\Delta_i(\max)$	$\Delta_i(\min)$	$\Delta_i(\text{ort})$	$\eta_{bi}$	Ek Dışmerkezlilik
1	25.9820	-0.0030	25.9820	-0.0030	12.9895	2.00023	DİNAMİK ANALİZ

Y-Pro ya ait Çizelge 3.51 deki değerler incelendiğinde yazılımın burulma düzensizliği katsayısını 2 den büyük bulduğu için kullanıcıyı uyardığı görülmektedir. Yazılım kullanıcıdan mod birleştirme yöntemine göre analiz yapmasını istemekte, bunu rapor çıktılarında da belirtmektedir. Bu örnekte de rijit diyafram kabulü yapılmamasından dolayı yazılımın %5 ek dışmerkezliliği hesaplarda dikkate almadığını belirtmekte fayda vardır.

Sonuç olarak Y-Pro yazılımının sistemde rijit diyafram kabulü yapılması durumunda A1 düzensizliği ile ilgili kontrolleri genel hatlarıyla doğru yaptığı görülmüştür. Dikkat edilmesi gereken nokta ise, tek yönde düzensizlik oluşması durumunda, yazılımın, (burulma düzensizliği katsayısının 1.2 ile 2 arasındaki değerlerde) sadece düzensizliğin olduğu yönde dışmerkezliliği arttırması, diğer yönde ise sadece %5 değerini kullanmasıdır. Bir diğer problem ise rijit diyafram kabulü

yapılmayan sistemlerde oluşmaktadır. Yazılım bu tür modellemelerde %5 dışmerkezliliği hesaplarda göz önünde bulundurmamakta, yönetmeliğe ters düşmektedir.

### **3.5.5.2 A2 Düzensizliği**

Döşemeler yatay yükler altında kendi düzlemleri içinde çok rijit elemanlardır ve yatay kuvvetleri kat düğüm noktaları arasında düzenli bir şekilde aktarma görevini üstlenirler. Döşemelerin bu aktarımı yapabilmeleri için hesaplara ve tecrübeye bağlı olarak bazı kısıtları sağlaması gerekmektedir. Döşemelerdeki büyük boşluklar, büyük açıklıklara yerleştirilmiş ince döşemeler ve düşük döşemeler, yatay yükler altında kat hizalarındaki yük aktarma görevini yerine getiremezler. Bu durumda, daha önce de belirtildiği gibi, rijit diyafram tanımının yapılması sonuçları hatalı kılar. Buna bağlı olarak göz önünde bulundurmadığımız etkiler ortaya çıkar. Buna verilebilecek en iyi örnek, kirişlerde aksenal yük oluşmasıdır. Bu ve bunun gibi birçok nedenden dolayı deprem anında döşeme davranışının doğru belirlenmesi önem arz etmektedir. TDY 2007 bu durumla ilgili olarak mühendise belirli sınırlamalar getirmektedir. TDY 2007 Tablo 2.1 de A2 düzensizliği;

*'Herhangi bir kattaki döşemede (Şekil 2.2);*

*I – Merdiven ve asansör boşlukları dahil, boşluk alanları toplamının kat brüt alanının 1/3'ünden fazla olması durumu,*

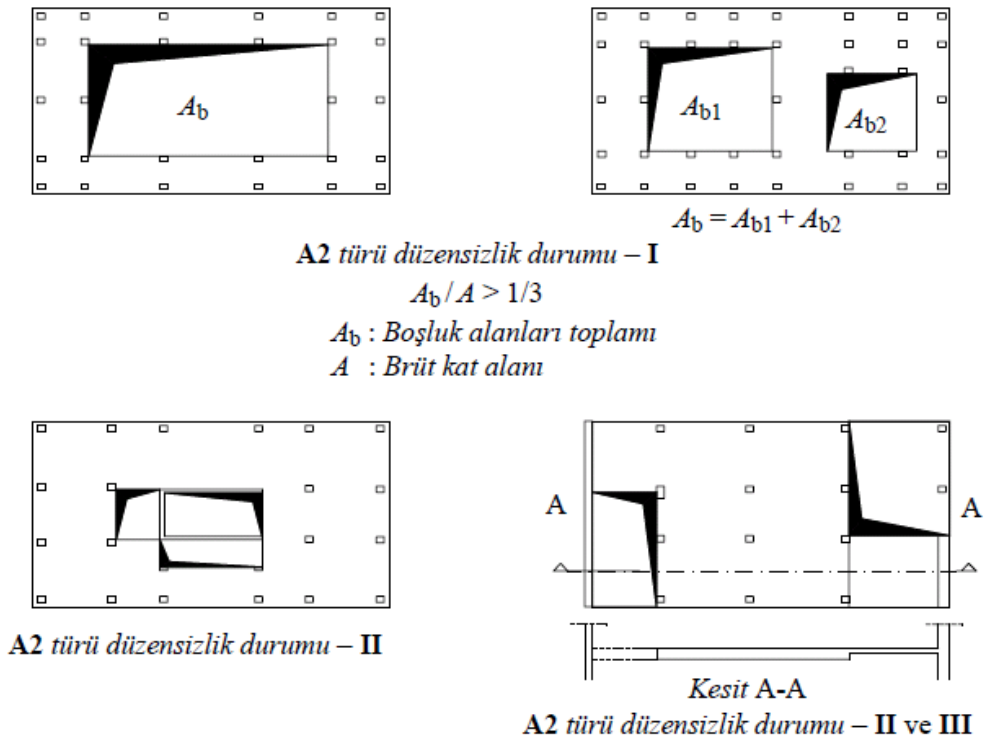
*II – Deprem yüklerinin düşey taşıyıcı sistem elemanlarına güvenle aktarılabilmesini güçleştiren yerel döşeme boşluklarının bulunması durumu,*

*III – Döşemenin düzlem içi rijitlik ve dayanımında ani azalmaların olması durumu'*

olarak açıklanmakta ve TDY 2007 Madde 2.3.2.2 de;

*A2 ve A3 türü düzensizliklerin bulunduğu binalarda, birinci ve ikinci derece deprem bölgelerinde, kat döşemelerinin kendi düzlemleri içinde deprem kuvvetlerini düşey taşıyıcı sistem elemanları arasında güvenle aktarabildiği hesapla doğrulanacaktır.*

denilmektedir. Burada mühendis açısından bilinmesi gereken, yapıda A2 düzensizliği varsa ve döşemelerin deprem kuvvetlerini kendi düzlemi içinde düşey taşıyıcı elemanlara aktaramadığını hesaplıyor veya seziyorsa, yapısal analiz esnasında rijit diyafram kabulünden kaçınmalıdır.



Şekil 3.48 TDY 2007 Şekil 2.2

Y-Pro, A2 düzensizliği kontrolünün kullanıcı tarafından yapılması istemektedir. Kendisi bu kontrolü yapmamaktadır.

### **3.5.5.3 A3 Düzensizliği**

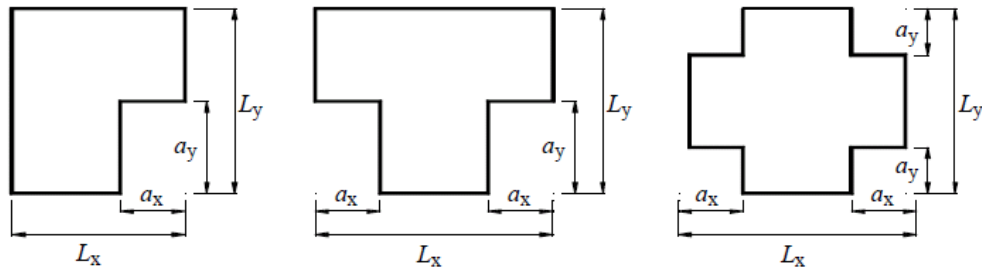
A3 düzensizliği, A2 düzensizliğinde olduğu gibi döşemelerin yatay yükleri düşey taşıyıcı elemanlar arasında güvenle aktarabilmesi için oluşturulmuş bir sınırlandırma değildir. TDY 2007 Tablo 2.1 de A3 düzensizliği;

'Bina kat planlarında çıkıntı yapan kısımların birbirine dik iki doğrultudaki boyutlarının her ikisinin de, binanın o katının aynı doğrultudaki toplam plan boyutlarının %20'sinden daha büyük olması durumu (Şekil 2.3).'

olarak açıklanmakta ve TDY 2007 Madde 2.3.2.2 de;

A2 ve A3 türü düzensizliklerin bulunduğu binalarda, birinci ve ikinci derece deprem bölgelerinde, kat döşemelerinin kendi düzlemleri içinde deprem kuvvetlerini düşey taşıyıcı sistem elemanları arasında güvenle aktarabildiği hesapla doğrulanacaktır.

denilmektedir.



A3 türü düzensizlik durumu:  
 $a_x > 0.2 L_x$  ve aynı zamanda  $a_y > 0.2 L_y$

Şekil 3.49 TDY 2007 Şekil 2.3

Y-Pro yazılımı A3 düzensizliğinde de, A2 düzensizliğinde olduğu gibi, böyle bir düzensizlik olup olmadığının kullanıcı tarafından hesaplanıp kontrol edilmesini istemektedir. Yazılım herhangi bir hesap veya kontrol yapmamaktadır.

### **3.5.5.4 B1 Düzensizliği**

Düşeyde düzensizlik durumlarından ilki olan B1 düzensizliği, TDY 2007 Tablo 2.1 de şöyle açıklanmaktadır:

*B1 – Komşu Katlar Arası Dayanım Düzensizliği (Zayıf Kat) :*

*Betonarme binalarda, birbirine dik iki deprem doğrultusunun herhangi birinde, herhangi bir kattaki etkili kesme alanı'nın, bir üst kattaki etkili kesme alanı'na oranı olarak tanımlanan Dayanım Düzensizliği Katsayısı  $\eta_{ci}$ 'nin 0.80'den küçük olması durumu. [ $\eta_{ci} = (\Sigma A_e)_i / (\Sigma A_e)_{i+1} < 0.80$ ] Herhangi bir katta etkili kesme alanının tanımı:  $\Sigma A_e = \Sigma A_w + \Sigma A_g + 0.15 \Sigma A_k$*

B1 düzensizliğinin bulunduğu binalarla ilgili olarak TDY 2007 Madde 2.3.2.3 de:

*B1 türü düzensizliğinin bulunduğu binalarda, göz önüne alınan i'inci kattaki dolgu duvarı alanlarının toplamı bir üst kattakine göre fazla ise,  $\eta_{ci}$ 'nin hesabında dolgu duvarları göz önüne alınmayacaktır.  $0.60 \leq (\eta_{ci})_{min} < 0.80$  aralığında Tablo 2.5'te verilen taşıyıcı sistem davranış katsayısı,  $1.25 (\eta_{ci})_{min}$  değeri ile çarpılarak her iki deprem doğrultusunda da binanın tümüne uygulanacaktır. Ancak hiçbir zaman  $\eta_{ci} < 0.60$  olmayacaktır. Aksi durumda, zayıf katın dayanımı ve rijitliği arttırılarak deprem hesabı tekrarlanacaktır.*

Yukarıda bahsedilen 'A' alan simgeleri TDY 2007 de:

$A_e$ ; Herhangi bir katta, göz önüne alınan deprem doğrultusundaki etkili kesme alanı,

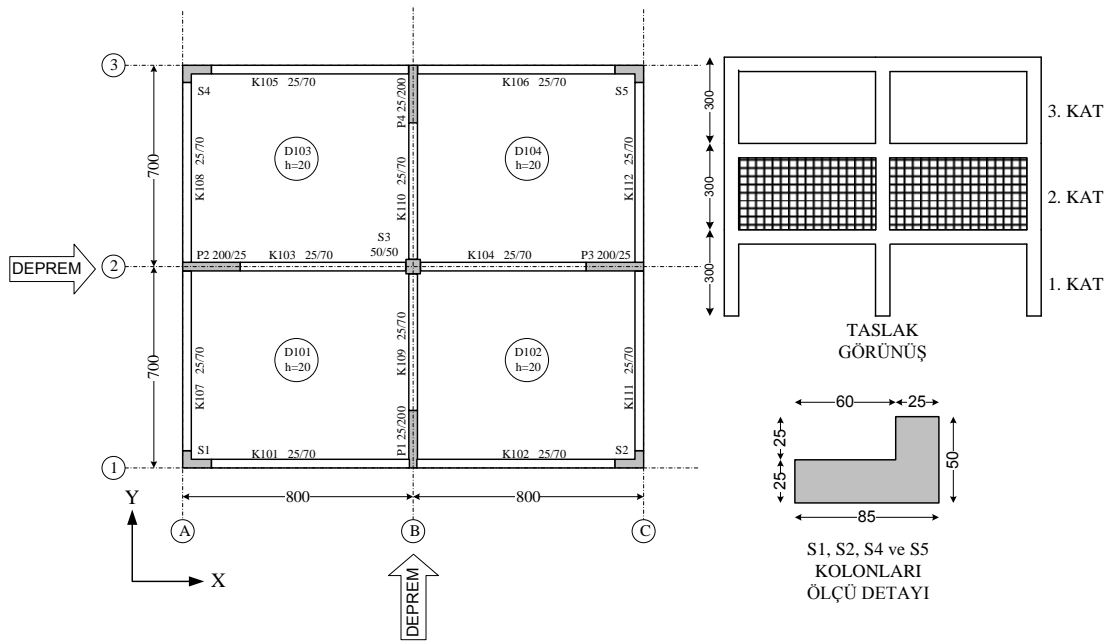
$A_w$ ; Kolon enkesiti etkin gövde alanı ( depreme dik doğrultudaki kolon çıkıntılarının alanı hariç),

$A_g$ ; Herhangi bir katta, göz önüne alınan deprem doğrultusuna paralel doğrultuda perde olarak çalışan taşıyıcı sistem elemanlarının enkesit alanlarının toplamı,

$A_k$ ; Herhangi bir katta, göz önüne alınan deprem doğrultusuna paralel kargir dolgu duvar alanlarının (kapı ve pencere boşlukları hariç) toplamı olarak açıklanmaktadır.

Y-Pro, B1 düzensizliği hesaplarında  $A_k$  alanını hesaplamamakta, bu hesabı kullanıcının yapmasını istemektedir. Yazılım her iki deprem doğrultusu için kargir duvar alanlarını kullanıcının yazılıma tanımlamasını istemekte, bu değerlerin sıfır olarak bırakılması durumunda sadece kolon ve perde kesit alanlarını kullanarak B1 düzensizliği kontrolü yapmaktadır. Bu nedenle duvar kesit alanları yazılıma girilerek Şekil 3.50 deki örnek Y-Pro ile analiz edilmiş ve B1 düzensizliği hesapları kontrol edilmiştir. Analiz öncesinde aşağıdaki kabuller yapılmıştır:

- Statik analiz sadece zati ağırlıklar altında yapılmış, hareketli yük kullanılmamıştır.
- Sistemin deprem analizi eşdeğer deprem yükü yöntemine göre yapılmıştır.
- Bina 2. derece deprem bölgesinde ve Y.Z.S. Z2 dir.  $R=7$  alınmıştır.
- Kolon kiriş birleşim bölgesinin sonsuz rijit davrandığı kabulü yapılmamıştır.
- Rijit diyafram kabulü yapılmıştır.
- Perdeler orta kolon olarak modellenmiştir.
- Sadece 2. katta 0.25 m kalınlığında kargir dolgu duvar bulunmaktadır.
- X doğrultusundaki kargir dolgu duvar alanı  $9.875 \text{ m}^2$ , Y doğrultusundaki kargir dolgu duvar alanı  $8.75 \text{ m}^2$  olarak hesaplanıp yazılıma tanımlanmıştır.



Şekil 3.50 B1 düzensizliğine ait kalıp planı



Çizelge 3.52 B1 düzensizliğine ait Y-Pro ve el hesabı sonuçları

X YÖNÜ	KAT	$\Sigma A_w$ (m <sup>2</sup> )	$\Sigma A_g$ (m <sup>2</sup> )	$\Sigma A_k$ (m <sup>2</sup> )	$\Sigma A_e$ (m <sup>2</sup> )	$(\eta_{ci})_x$	B1
Y-PRO	3	1.35	1	0	2.35	-	YOK
	2	1.35	1	9.88	3.83	-	YOK
	1	1.35	1	0	2.35	0.613	VAR
EL HESABI	3	1.1	1	0	2.1	-	YOK
	2	1.1	1	9.88	3.58	-	YOK
	1	1.1	1	0	2.1	0.587	VAR

Y YÖNÜ	KAT	$\Sigma A_w$ (m <sup>2</sup> )	$\Sigma A_g$ (m <sup>2</sup> )	$\Sigma A_k$ (m <sup>2</sup> )	$\Sigma A_e$ (m <sup>2</sup> )	$(\eta_{ci})_y$	B1
Y-PRO	3	1.35	1	0	2.35	-	YOK
	2	1.35	1	8.75	3.66	-	YOK
	1	1.35	1	0	2.35	0.642	VAR
EL HESABI	3	0.75	1	0	1.75	-	YOK
	2	0.75	1	8.75	3.06	-	YOK
	1	0.75	1	0	1.75	0.572	VAR

Çizelge 3.52 de her iki deprem doğrultusu için B1 düzensizliği kontrolüne ait sonuçlar verilmiştir. Her iki yön için de yazılımın hesapladığı  $\Sigma A_w$  ile el hesabıyla bulunan  $\Sigma A_w$  değerlerinin farklı çıktığı görülmektedir. Bunun sebebi yazılımın, S1, S2, S4 ve S5 kolonlarının kesit alanlarının tamamını dikkate almasıdır. Yani yazılım depreme dik doğrultudaki kolon çıkıntı alanlarını da  $\Sigma A_w$  nin içine dâhil etmektedir. Bu çıkıntılar hesaplarda dikkate alınmadığında (el hesabında olduğu gibi), rijitlik artırılarak el hesabının tekrar yapılması gerekmektedir. Oysa yazılım,  $(\eta_{ci})_{min}$  değerini 0.60 ın üzerinde hesapladığı için böyle bir uyarı vermeden işleme devam etmiştir. Bu örnek, yönetmeliğe göre dikkate alınmaması gereken kolon çıkıntılarının sonucu etkilediğini açık bir şekilde göstermektedir. Yazılım, analiz sonrasında  $(\eta_{ci})_{min}$  değerini 0.613 olarak hesapladığı için taşıyıcı sistem davranış katsayısını  $1.25(\eta_{ci})_{min}$  ile çarpıp  $R_a=5.36$  hesaplamış ve deprem analizini tekrarlamıştır.  $(\eta_{ci})_{min}=0.613$  için hesaplanan yeni  $R_a$  katsayısı doğrudur. Fakat gerçekte bu yapı için rijitliğin artırılarak analizin tekrarlanması gerektiğini yazılım göz ardı etmiştir.

Denenen farklı kalıp planları ve duvar alanları üzerinde yapılan incelemelerde yazılımın  $0.60 \leq (\eta_{ci})_{\min} \leq 0.80$  aralığını dikkate aldığı,  $(\eta_{ci})_{\min}$  in bu aralıkta çıkması durumunda  $R_a$  değerini  $1.25(\eta_{ci})_{\min}$  ile çarparak analizi tekrarladığı görülmüştür. Y-Pro,  $(\eta_{ci})_{\min} < 0.60$  çıkması durumunda, kullanıcıyı raporlarında uyarmakta ve rijitliğin artırılmasını istemektedir.

TDY 2007 Madde 2.3.2.3 de bahsi geçen rijitliğin artırılması, sadece kolon veya perde kesitinin büyütülmesi anlamına gelmemektedir. Gerektiğinde mimar ile ortak hareket edilerek duvar alanının artırılıp azaltılabileceği gibi bir çözümün de olduğu bilinmelidir.

### **3.5.5.5 B2 Düzensizliği**

Düşeyde düzensizlik durumlarından ikincisi olan B2 düzensizliği, A1 düzensizliği gibi deprem hesap yönteminin seçiminde etkendir. B2 düzensizliği TDY 2007 Tablo 2.1 de şu şekilde açıklanmaktadır;

*Birbirine dik iki deprem doğrultusunun herhangi biri için, herhangi bir i'inci kattaki ortalama görelî kat ötelemesi oranının bir üst veya bir alt kattaki ortalama görelî kat ötelemesi oranına bölünmesi ile tanımlanan Rijitlik Düzensizliği Katsayısı  $\eta_{ki}$  'nin 2.0'den fazla olması durumu [ $\eta_{ki} = (\Delta_i / h_i)_{ort} / (\Delta_{i+1} / h_{i+1})_{ort} > 2.0$  veya  $\eta_{ki} = (\Delta_i / h_i)_{ort} / (\Delta_{i-1} / h_{i-1})_{ort} > 2.0$ ]. Görelî kat ötelemelerinin hesabı,  $\pm$  %5 ek dışmerkezlilik etkileri de göz önüne alınarak 2.7'ye göre yapılacaktır.*

Y-Pro nun B2 düzensizliği kontrolünü doğru yapıp yapmadığını kontrol etmek amacıyla Şekil 3.51 deki örnek SAP 2000 ve Y-Pro ile analiz edilmiştir. SAP 2000 ile yapısal analiz yapıldıktan sonra, sunulan deplasman değerleri kullanılarak B2 düzensizliği olup olmadığı el hesapları ile kontrol edilmiş ve sonuçlar Y-Pro ile karşılaştırılmıştır.



Çizelge 3.53 Şekil 3.51 için X yönü B2 düzensizliği katsayıları

Y-PRO	X YÖNÜ			$(\eta_{ki})_x$		
	KAT	$h_i$ (m)	$(\Delta_i)_{ort}$ (mm)	$(\Delta_i/h_i)_{ort}/(\Delta_{i+1}/h_{i+1})_{ort}$	$(\Delta_i/h_i)_{ort}/(\Delta_{i-1}/h_{i-1})_{ort}$	
	6	3	0.55	0	0.69	
5	3	0.80	1.46	0.76	<2	
4	3	1.05	1.31	0.79	<2	
3	3	1.32	1.27	0.66	<2	
2	3	2.00	1.51	0.44	<2	
1	10	15.26	2.29	0	$\geq 2$	

SAP 2000	X YÖNÜ			$(\eta_{ki})_x$		
	KAT	$h_i$ (m)	$(\Delta_i)_{ort}$ (mm)	$(\Delta_i/h_i)_{ort}/(\Delta_{i+1}/h_{i+1})_{ort}$	$(\Delta_i/h_i)_{ort}/(\Delta_{i-1}/h_{i-1})_{ort}$	
	6	3	0.55	0	0.69	
5	3	0.80	1.46	0.76	<2	
4	3	1.05	1.31	0.79	<2	
3	3	1.32	1.27	0.66	<2	
2	3	2.00	1.51	0.44	<2	
1	10	15.26	2.29	0	$\geq 2$	

Çizelge 3.54 Şekil 3.51 için Y yönü B2 düzensizliği katsayıları

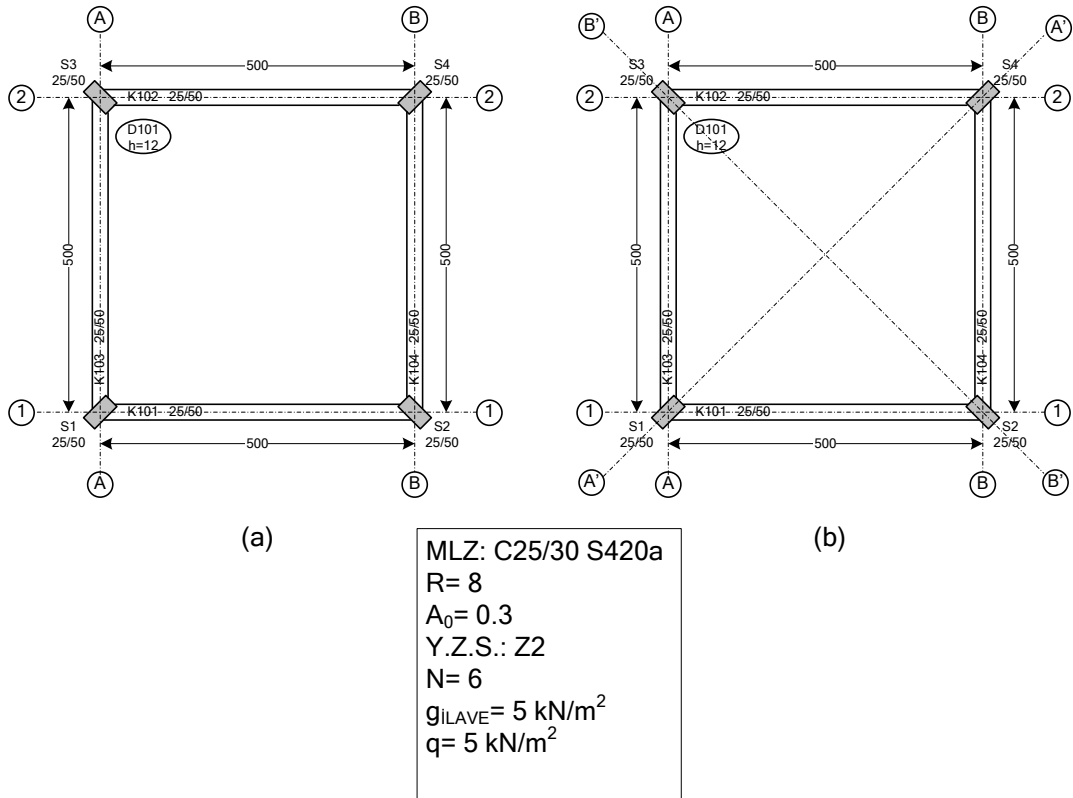
Y-PRO	Y YÖNÜ			$(\eta_{ki})_y$		
	KAT	$h_i$ (m)	$(\Delta_i)_{ort}$ (mm)	$(\Delta_i/h_i)_{ort}/(\Delta_{i+1}/h_{i+1})_{ort}$	$(\Delta_i/h_i)_{ort}/(\Delta_{i-1}/h_{i-1})_{ort}$	
	6	3	0.50	0	0.68	
5	3	0.74	1.47	0.77	<2	
4	3	0.96	1.30	0.80	<2	
3	3	1.20	1.25	0.68	<2	
2	3	1.76	1.47	0.39	<2	
1	10	14.95	2.55	0	$\geq 2$	

SAP 2000	Y YÖNÜ			$(\eta_{ki})_y$		
	KAT	$h_i$ (m)	$(\Delta_i)_{ort}$ (mm)	$(\Delta_i/h_i)_{ort}/(\Delta_{i+1}/h_{i+1})_{ort}$	$(\Delta_i/h_i)_{ort}/(\Delta_{i-1}/h_{i-1})_{ort}$	
	6	3	0.50	0	0.68	
5	3	0.74	1.47	0.77	<2	
4	3	0.96	1.30	0.80	<2	
3	3	1.20	1.25	0.68	<2	
2	3	1.76	1.47	0.39	<2	
1	10	14.95	2.55	0	$\geq 2$	

Sonuçlar incelendiğinde, yazılımın B2 düzensizliğine ait hesaplamaları doğru yaptığı görülmektedir. Ayrıca yazılım, hesap çıktılarında B2 düzensizliği olduğu konusunda kullanıcıyı uyarmaktadır.

B2 düzensizliği kontrolü için aranan sayısal veriler, yapının deprem hesaplarından elde edilen deplasmanlardır. Belirli bir yöntemle göre hesaplanan deprem kuvvetlerinin yapı modeline uygulanması ile bulunan deplasmanların sonlu elemanlar yöntemiyle hesaplandığı daha önceki bölümlerde belirtilmiş idi. Bölüm 3.4.1 den hatırlanacağı üzere, Y-Pro da kolon lokal eksen takımının döndürülmesi, kolon kesiti yerine kolonun tanımlanmış olduğu aksın döndürülmesi veya ilave eğik aks kullanmak suretiyle mümkün kılınmaktaydı. Bu durumun B2 düzensizliği üzerindeki sonuçlarını irdelemek amacıyla Şekil 3.52 (a) da kolonlar kendi eksenleri etrafında  $\pm 45^0$  döndürülmüştür. Şekil 3.52 (b) de ise sisteme yatayla  $\pm 45^0$  açı yapan A' ve B' aksları eklenerek kolonlar bu akslar yardımıyla tanımlanmıştır. Böylelikle her iki çözümün B2 düzensizliği üzerindeki etkilerinin kolaylıkla görülmesi sağlanmıştır. Analiz öncesinde aşağıdaki kabuller yapılmıştır:

- Eleman zati ağırlıkları ihmal edilmemiştir.
- Sistemin deprem analizi eşdeğer deprem yükü yöntemine göre yapılmıştır.
- Kolon giriş birleşim bölgesinin sonsuz rijit davrandığı kabulü yapılmamıştır.
- Rijit diyafram kabulü yapılmıştır.
- Bütün katlardaki döşemelerde, döşeme zati yüklerine ilave olarak  $5 \text{ kN/m}^2$  sabit yük ve  $5 \text{ kN/m}^2$  hareketli yük tanımlanmış ve girişlere ayrıca duvar yükü tanımlanmamıştır.
- Kolon ve girişler aksları ortalayarak yerleştirilmiştir.
- Giriş burulma rijitlikleri azaltılmamıştır.
- Her iki kalıp planında da 6 katlı olan binanın 1. kat yüksekliği 7.5 m, diğer katların yükseklikleri 3 m dir.



Şekil 3.52 B2 düzensizliğine ait kalıp planı örnekleri

Çizelge 3.55 Şekil 3.52 (a) ve (b) ye ait B2 X yönü düzensizliği katsayıları

X YÖNÜ		Şekil 3.45 (a)		Şekil 3.45 (b)	
		$(\eta_{ki})_x$		$(\eta_{ki})_x$	
KAT	$h_i$ (m)	$(\eta_{ki})_x^1$	$(\eta_{ki})_x^2$	$(\eta_{ki})_x^1$	$(\eta_{ki})_x^2$
6	3	0	0.68	0	0.68
5	3	1.47	0.78	1.47	0.78
4	3	1.28	0.83	1.29	0.83
3	3	1.20	0.77	1.21	0.75
2	3	1.29	0.48	1.34	0.52
1	7.5	2.09	0	1.90	0

$$^1 [\eta_{ki} = (\Delta_i / h_i)_{ort} / (\Delta_{i+1} / h_{i+1})_{ort}]$$

$$^2 [\eta_{ki} = (\Delta_i / h_i)_{ort} / (\Delta_{i-1} / h_{i-1})_{ort}]$$

Analiz sonuçları incelendiğinde, aynı kalıp planları, aynı kesitler ve aynı yükler altında Y-Pro, Şekil 3.52 (a) için B2 düzensizliğinin olduğunu, (b) de ise olmadığını raporlamaktadır. Şüphesiz Şekil 3.52 (b) de yapılan modelleme doğru olan modellemedir. Bu durumda binada gerçekte B2 düzensizliği oluşmamaktadır. Kullanıcı bu durumu göz önünde bulundurmalıdır.

### **3.5.5.6 B3 Düzensizliği**

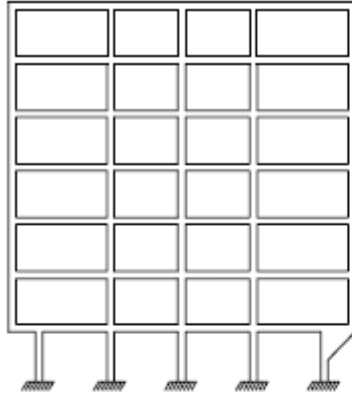
Düşeyde düzensizliklerden sonucusu olan B3 düzensizliği, TDY 2007 Tablo 2.1 de:

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

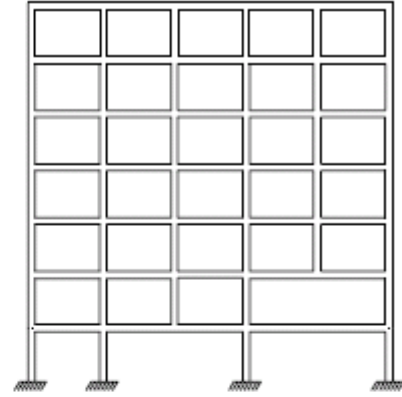
olarak tanımlanmaktadır. B3 düzensizliği için TDY 2007 Madde 2.3.2.4 de şu koşullar belirtilmiştir:

- (a) *Kolonların binanın herhangi bir katında konsol kirişlerin veya alttaki kolonlarda oluşturulan guselerin üstüne veya ucuna oturtulmasına hiçbir zaman izin verilmez.*
- (b) *Kolonun iki ucundan mesnetli bir kirişe oturması durumunda, kirişin bütün kesitlerinde ve ayrıca göz önüne alınan deprem doğrultusunda bu kirişin bağlandığı düğüm noktalarına birleşen diğer kiriş ve kolonların bütün kesitlerinde, düşey yükler ve depremin ortak etkisinden oluşan tüm iç kuvvet değerleri %50 oranında arttırılacaktır.*
- (c) *Üst katlardaki perdenin altta kolonlara oturtulmasına hiçbir zaman izin verilmez.*
- (d) *Perdelerin binanın herhangi bir katında, kendi düzlemleri içinde kirişlerin üstüne açıklık ortasında oturtulmasına hiçbir zaman izin verilmez.*

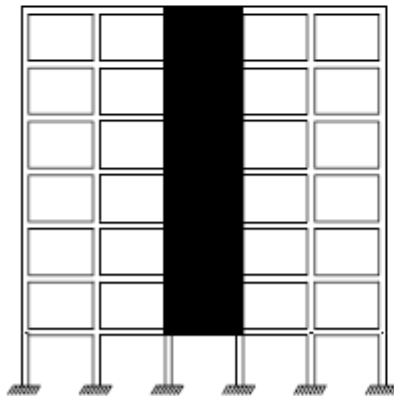
Y-Pro, A2 ve A3 düzensizliğinde olduğu gibi, yapıda B3 türü düzensizliği kontrolünün kullanıcı tarafından yapılması istenmektedir. Aksi takdirde, yapıda B3 düzensizliği bulunsa dahi, bu durumu göz ardı etmektedir.



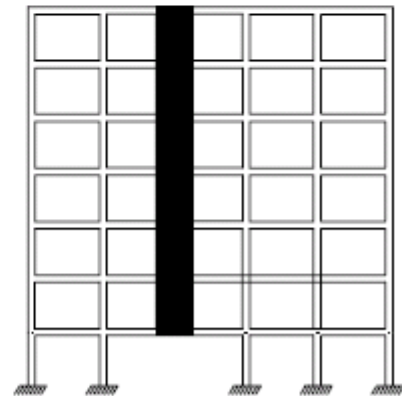
*Bkz. 2.3.2.4 (a)*



*Bkz. 2.3.2.4 (b)*



*Bkz. 2.3.2.4 (c)*



*Bkz. 2.3.2.4 (d)*

**Şekil 3.53 TDY 2007 Şekil 2.4**

TDY 2007 Madde 2.3.2.4 (b) de, kolonun iki ucundan mesnetli bir kiriş oturması durumunda kirişin bütün kesitlerinde ve ayrıca göz önüne alınan deprem doğrultusunda bu kirişin bağlandığı düğüm noktalarına birleşen diğer kiriş ve kolonların bütün kesitlerinde, düşey yükler ve depremin ortak etkisinden oluşan tüm iç kuvvet değerleri %50 oranında artırılması istenmektedir. Yazılım sunumunda, bu artırımın kullanıcı tarafından yapılması gerektiğini belirtmektedir. Y-Pro ve SAP 2000 ile analiz



edilen, iki ucundan mesnetli kirişlere oturan kolonları bulunan örneklerle bu madde kontrol edilmiştir. Y-Pro nun analiz esnasında iç kuvvetleri arttırmadığı ve herhangi bir uyarı vermeden hesap raporu ve çizimlerin alınabildiği görülmüştür.

Öte yandan oluşturulan farklı örneklerle, konsol kiriş üzerine oturan kolon, kiriş üzerine oturan perde ve kolon üzerine oturan perdeli sistemler modellenerek analiz yapılmış ve yazılımın herhangi bir uyarı vermeden hesap raporlarını ve çizimleri sunduğu görülmüştür.

Sonuç olarak Y-Pro, A2 ve A3 düzensizliklerinde olduğu gibi, B3 düzensizliğinde de herhangi bir kontrol yapmamakta, gereken dikkati kullanıcıdan beklemektedir. Bu durum, bilmeyerek hatalı analizler yapılmasına sebebiyet verebilmektedir.

### 3.5.6 Etkin Görelî Kat Ötelenmelerinin Sınırlandırılmasının İrdelenmesi

Yapıların düşey ve yatay kuvvetler altındaki analizi ve yapısal elemanların kesit hesabının yapılması tek başına yeterli değildir. TDY 2007 ye göre yapıların deprem altındaki davranışı modellenirken, yapıya gelen deprem kuvvetleri, deprem yükü azaltma katsayısı  $R_a(T)$  ye bölünerek azaltılmaktadır. Buna bağlı olarak yatay deplasmanlar da azaltılmaktadır. Elastik deprem kuvvetleri ile azaltılmış deprem kuvvetleri arasındaki enerji farkı, yapının doğrusal elastik olmayan davranışı ile yutulmaktadır. Yani yapıda elastik olmayan deformasyonlar oluşmaktadır. Bu da şunu göstermektedir ki, depremde hesaplanan değerlerden fazla deplasmanlar oluşmaktadır. Bu durumda da yapı açısından stabilite problemi doğabilmektedir. Yani yapı, deprem anında ötelenme yapmakta, fakat geri dönememektedir. Bir diğer problem ise yapısal olmayan elemanları zarar görmesi, yani konfor problemidir. Bu nedenle TDY 2007, yapının deprem altındaki davranışı açısından deplasmanların belirli sınırlar altında tutulmasını istemektedir. TDY 2007, etkin görelî kat ötelenmeleri ile ilgili olarak aşağıdaki sınırlandırmaları getirmektedir:

**2.10.1.1** – Herhangi bir kolon veya perde için, ardışık iki kat arasındaki yer değiştirme farkını ifade eden azaltılmış görelî kat ötelemesi,  $\Delta_i$ , **Denk.(2.17)** ile elde edilecektir.

$$\Delta_i = d_i - d_{i-1} \quad (2.17)$$

**Denk.(2.17)**'de  $d_i$  ve  $d_{i-1}$ , her bir deprem doğrultusu için binanın  $i$ 'inci ve  $(i-1)$ 'inci katlarında herhangi bir kolon veya perdenin uçlarında azaltılmış deprem yüklerine göre hesaplanan yatay yer değiştirmeleri göstermektedir. Ancak **2.7.4.2**'deki koşul ve ayrıca **Denk.(2.4)**'te tanımlanan minimum eşdeğer deprem yükü koşulu  $d_i$ 'nin ve  $\Delta_i$ 'nin hesabında göz önüne alınmayabilir.

**2.10.1.2** – Her bir deprem doğrultusu için, binanın  $i$ 'inci katındaki kolon veya perdeler için etkin görelî kat ötelemesi,  $\delta_i$ , **Denk.(2.18)** ile elde edilecektir.

$$\delta_i = R \Delta_i \quad (2.18)$$

**2.10.1.3** – Her bir deprem doğrultusu için, binanın herhangi bir  $i$ 'inci katındaki kolon veya perdelerde, **Denk.(2.18)** ile hesaplanan  $\delta_i$  etkin görelî kat ötelemelerinin kat içindeki en büyük değeri  $(\delta_i)_{\max}$ , **Denk.(2.19)**'da verilen koşulu sağlayacaktır:

$$\frac{(\delta_i)_{\max}}{h_i} \leq 0.02 \quad (2.19)$$

Deprem yüklerinin tamamının bağlantıları tersinir momentleri aktarabilen çelik çerçevelerle taşındığı tek katlı binalarda bu sınır en çok %50 arttırılabilir.

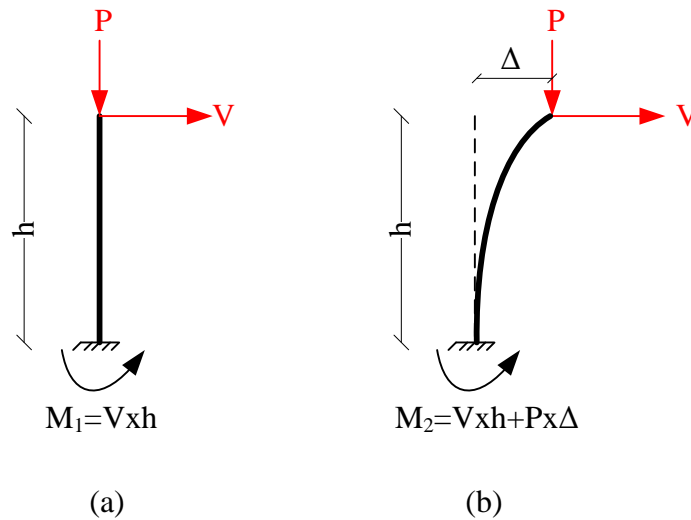
**2.10.1.4** – **Denk.(2.19)**'de verilen koşulun binanın herhangi bir katında sağlanamaması durumunda, taşıyıcı sistemin rijitliği arttırılarak deprem hesabı tekrarlanacaktır. Ancak verilen koşul sağlansa bile, yapısal olmayan gevrek

*elemanların (cephe elemanları vb.) etkin görelî kat ötelemeleri altında kullanılabilirliği hesapla doğrulanacaktır.*

Y-Pro da yapılan farklı yapı modellerinde, yazılımın hesapladığı deplasmanlara göre bu kontrolü doğru olarak yapmakta, TDY 2007 Denk. 2.19 un sağlanmadığı durumlarda kullanıcıyı uyarılmaktadır.

### 3.5.7 İkinci Mertebe Etkilerinin İrdelenmesi (P-Δ Etkisi)

İkinci mertebe etkileri yapılarda, kolon elemanlarda belirgin olarak görülebilmektedir. Zati yükler altında ihmal edilebilen bu etki, deprem esnasında önem kazanmaktadır. Elastik yöntemle hesaplanan deprem kuvvetleri kolonlarda moment oluşturmakta, kolon betonarme hesabı bu momentlere ve aksenal yüke göre yapılmaktadır. Fakat kolon tepe noktasında deplasmanlar arttıkça, kolon üzerindeki aksenal basınç yükü ikinci bir moment oluşturmaktadır. Bu moment, kolonun beklenenden fazla zorlanmasına, dikkate alınmadığında hatalı donatı hesabı yapılmasına neden olabilmektedir.



Şekil 3.54 İkinci mertebe etkilerinden dolayı oluşan moment

Şekil 3.54 (a) da kolonun V yatay kuvveti ve bu kuvvetin oluşturduğu moment gösterilmektedir. Fakat V kuvvetinden dolayı oluşan  $\Delta$  deplasmanı ve kolon üzerindeki P aksel kuvveti, göz önüne alınmayan ikinci bir moment oluşturmaktadır. TDY 2007, oluşan P- $\Delta$  etkisinin hesaplarda ihmal edilebilir değerlerde tutulabilmesi için mühendislere sınırlandırma getirmektedir. Böylelikle kolonlarda ikinci mertbe momentlerinin ihmal edilebilmesi sağlanmıştır. TDY 2007 ikinci mertbe etkileri ile ilgili olarak aşağıdaki sınırlandırmaları getirmektedir:

*Taşıyıcı sistem elemanlarının doğrusal elastik olmayan davranışını esas alan daha kesin bir hesap yapılmadıkça, ikinci mertbe etkileri yaklaşık olarak aşağıdaki şekilde göz önüne alınabilir:*

**2.10.2.1** – Göz önüne alınan deprem doğrultusunda her bir katta, İkinci Mertbe Gösterge Değeri,  $\theta_i$ 'nin **Denk.(2.20)** ile verilen koşulu sağlaması durumunda, ikinci mertbe etkileri yürürlükteki betonarme ve çelik yapı yönetmeliklerine göre değerlendirilecektir.

$$\theta_i = \frac{(\Delta_i)_{ort} \sum_{j=i}^N w_j}{V_i h_i} \leq 0.12 \quad (2.20)$$

*Burada  $(\Delta_i)_{ort}$ , i'inci kattaki kolon ve perdelerde hesaplanan azaltılmış görelî kat ötelemelerinin kat içindeki ortalama değeri olarak **2.10.1.1**'e göre bulunacaktır.*

**2.10.2.2** - **Denk.(2.20)**'deki koşulun herhangi bir katta sağlanamaması durumunda, taşıyıcı sistemin rijitliği yeterli ölçüde arttırılarak deprem hesabı tekrarlanacaktır.

Y-Pro da oluşturulan farklı yapı modelleri incelendiğinde yazılımın, bu kontrolü doğru olarak yapmakta olduğu, TDY 2007 Denk. 2.20 yi sağlamadığı durumlarda kullanıcıyı uyardığı görülmüştür.

### 3.5.8 Y-Pro da Taşıyıcı Sistemlerin Süneklik Düzeyi Bakımından İrdelenmesi

Süneklik kelimesi mühendislikte, plastik şekil değiştirmenin elastik şekil değiştirmeye oranı olarak yorumlanabilir. Taşıyıcı sistemler, TDY 2007 de süneklik düzeyi bakımından üç farklı şekilde sunulmaktadır. Bunlar:

- Yüksek,
- Normal ve
- Karmadır.

Süneklik düzeyinin seçimindeki esneklikler TDY 2007 tarafından sınırlandırılmıştır. Bu sınırlandırma yapının taşıyıcı sistem türüne (perdeli, çerçevesel veya perde-çerçevesel) ve deprem bölgesine bağlıdır. Bu kıstaslara göre seçilen süneklik düzeyine göre TDY 2007 Tablo 2.5 den yapının taşıyıcı sistem davranış katsayısı seçilerek deprem yükleri belirlenmektedir. Analiz sonrasında seçilen süneklik düzeyine göre kolon, giriş ve perde elemanlarda donatı yerleşimi ve gerekli tahkikler yapılmaktadır. Yani seçilmiş olan süneklik düzeyi yapısal analiz ve yapısal tasarım aşamalarında doğrudan etken bir parametredir.

Y-Pro da taşıyıcı sistem süneklik düzeyleri TDY 2007 Madde 2.5.1 başlığı altında sırası ile incelenmiş ve her madde sunulduktan sonra, devamında Y-Pro ile ilgili açıklamalara değinilmiştir.

*TDY 2007 Madde:*

*2.5.1.2 – Tablo 2.5 'te süneklik düzeyi yüksek olarak göz önüne alınacak taşıyıcı sistemlerde, süneklik düzeyinin her iki yatay deprem doğrultusunda da yüksek olması zorunludur. Süneklik düzeyi bir deprem doğrultusunda yüksek veya karma, buna dik diğer deprem doğrultusunda ise normal olan sistemler, her iki doğrultuda da süneklik düzeyi normal sistemler olarak sayılacaktır.*

Y-Pro da süneklik düzeyi; yüksek, normal ve karma olmak üzere üç farklı şekilde sunulmaktadır. Sunulan bu süneklik düzeyleri yapının her iki yönündeki deprem davranışı içinde geçerlidir. Kullanıcı, farklı yönler için farklı süneklik düzeyleri seçmemektedir. Bu durum TDY 2007 Madde 2.5.1.2 deki koşulu sağlamaktadır.

**2.5.1.3** – Süneklik düzeyleri her iki doğrultuda aynı olan veya bir doğrultuda yüksek, diğer doğrultuda karma olan sistemlerde, farklı doğrultularda birbirinden farklı R katsayıları kullanılabilir.

Y-Pro da farklı yönler için farklı R katsayıları seçilememektedir. Seçilen R katsayısı her iki deprem doğrultusu için de kullanılmaktadır.

**2.5.1.4** – Perde içermeyen kirişsiz döşemeli betonarme sistemler ile, kolon ve kirişleri **3.3**, **3.4** ve **3.5**'te verilen koşullardan herhangi birini sağlamayan dolgulu veya dolgusuz dişli ve kaset döşemeli betonarme sistemler, süneklik düzeyi normal sistemler olarak göz önüne alınacaktır.

Perde içermeyen kirişsiz döşemeli sistemler ve asmolen veya kaset döşemeli sistemler Y-Pro ile süneklik düzeyi yüksek olarak analiz edilmektedir. Yazılım bu tür sistemlerin modellenmesi ve analizi sonrasında herhangi bir uyarı vermemektedir.

**2.5.1.5** – Birinci ve ikinci derece deprem bölgelerinde;

(a) Aşağıdaki (b) paragrafı dışında, taşıyıcı sistemi sadece çerçevelerden oluşan binalarda süneklik düzeyi yüksek taşıyıcı sistemlerin kullanılması zorunludur.

(b) **Tablo 2.3**'e göre Bina Önem Katsayısı  $I = 1.2$  ve  $I = 1.0$  olan çelik binalarda,  $H_N \leq 16$  m olmak koşulu ile sadece süneklik düzeyi normal çerçevelerden oluşan taşıyıcı sistemler kullanılabilir.

(c) **Tablo 2.3**'e göre Bina Önem Katsayısı  $I = 1.5$  ve  $I = 1.4$  olan tüm binalarda süneklik düzeyi yüksek taşıyıcı sistemler veya **2.5.4.1**'de tanımlanan süneklik düzeyi bakımından karma taşıyıcı sistemler kullanılacaktır.

Oluşturulan örnek bir betonarme uzay çerçeve modeli için, 1. derece deprem bölgesinde yapının süneklik düzeyinin normal seçilmesi durumunda yazılım kullanıcıyı uyararak 1. ve 2. derece deprem bölgelerinde süneklik düzeyi yüksek veya karma

taşıyıcı sistem seçilmesi gerektiği konusunda kullanıcıyı uyarılmaktadır. Fakat kullanıcı bu uyarıyı dikkate almadan süneklik düzeyi normal taşıyıcı sisteme göre analiz yapabilmekte, hesap raporu ve çizim çıktılarını alabilmektedir.

Aynı yapı için bina önem katsayısının 1.4 olarak seçilmesi durumunda yazılım birinci ve ikinci derece deprem bölgelerinde bina önem katsayısının 1.4 ve 1.5 olduğu binalarda süneklik düzeyinin normal alınmayacağı konusunda kullanıcıyı uyarılmaktadır. Fakat bu uyarı kullanıcı tarafından göz ardı edilebilmekte ve analize devam edilerek hesap raporu ve çizim çıktıları alınabilmektedir. Her iki durumda da projeyi kontrol eden kişi tarafından raporlarda bu aykırılık görülebilmektedir. Çünkü yazılım raporlarda seçilen süneklik düzeyini, deprem bölgesini ve bina önem katsayısını görebilmektedir.

*2.5.1.6 – Perde içermeyen süneklik düzeyi normal taşıyıcı sistemlere, sadece üçüncü ve dördüncü derece deprem bölgelerinde, aşağıdaki koşullarla izin verilebilir:*

*(a) 2.5.1.4'te tanımlanan betonarme binalar,  $H_N \leq 13$  m olmak koşulu ile yapılabilir.*

*(b) 2.5.1.4'te tanımlananların dışında, taşıyıcı sistemi sadece süneklik düzeyi normal çerçevelerden oluşan betonarme ve çelik binalar,  $H_N \leq 25$  m olmak koşulu ile yapılabilir.*

Y-Pro da 3. derece deprem bölgesinde  $H_N = 27$  m olan süneklik düzeyi normal kirişsiz döşemeli bir yapı modellendiğinde yazılım kullanıcıyı uyarılmamaktadır. Analiz sonrasında raporlar incelendiğinde sadece yapı yüksekliğinin  $H_N \leq 40$  m olup olmadığı kontrol edilmektedir. Oysaki bu kontrol Eşdeğer Deprem Yüğü Yönteminin kullanılıp kullanılmayacağını karşılaştırmak içindir. Sonuç olarak yazılım, kirişli, kirişsiz veya asmolun döşeme kontrolü yapmadan, sistemde perde olup olmadığını kontrol etmeden analiz yapmaktadır.

### 3.5.9 Taşıyıcı Sistem Davranış Katsayısı (R) Seçiminin İrdelenmesi

<i>BİNA TAŞIYICI SİSTEMİ</i>	<i>Süneklik Düzeyi Normal Sistemler</i>	<i>Süneklik Düzeyi Yüksek Sistemler</i>
<b><u>(1) YERİNDE DÖKME BETONARME BİNALAR</u></b>		
(1.1) Deprem yüklerinin tamamının çerçevelerle taşındığı binalar .....	4	8
(1.2) Deprem yüklerinin tamamının bağ kirişli (boşluklu) perdelerle taşındığı binalar.....	4	7
(1.3) Deprem yüklerinin tamamının boşluksuz perdelerle taşındığı binalar.....	4	6
(1.4) Deprem yüklerinin çerçeveler ile boşluksuz ve/veya bağ kirişli (boşluklu) perdeler tarafından birlikte taşındığı binalar..	4	7
<b><u>(2) PREFABRİKE BETONARME BİNALAR</u></b>		
(2.1) Deprem yüklerinin tamamının bağlantıları tersinir momentleri aktarabilen çerçevelerle taşındığı binalar .....	3	7
(2.2) Deprem yüklerinin tamamının, üstteki bağlantıları mafsallı olan kolonlar tarafından taşındığı tek katlı binalar.....	—	3
(2.3) Deprem yüklerinin tamamının prefabrike veya yerinde dökme boşluksuz ve/veya bağ kirişli (boşluklu) perdelerle taşındığı, çerçeve bağlantıları mafsallı olan prefabrike binalar..	—	5
(2.4) Deprem yüklerinin, bağlantıları tersinir momentleri aktarabilen prefabrike çerçeveler ile yerinde dökme boşluksuz ve/veya bağ kirişli (boşluklu) perdeler tarafından birlikte taşındığı binalar.....	3	6
<b><u>(3) ÇELİK BİNALAR</u></b>		
(3.1) Deprem yüklerinin tamamının çerçevelerle taşındığı binalar.....	5	8
(3.2) Deprem yüklerinin tamamının, üstteki bağlantıları mafsallı olan kolonlar tarafından taşındığı tek katlı binalar.....	—	4
(3.3) Deprem yüklerinin tamamının çaprazlı perdeler veya yerinde dökme betonarme perdeler tarafından taşındığı binalar		
(a) Çaprazların merkezi olması durumu.....	4	5
(b) Çaprazların dışmerkez olması durumu.....	—	7
(c) Betonarme perdelerin kullanılması durumu.....	4	6
(3.4) Deprem yüklerinin çerçeveler ile birlikte çaprazlı çelik perdeler veya yerinde dökme betonarme perdeler tarafından birlikte taşındığı binalar		
(a) Çaprazların merkezi olması durumu.....	5	6
(b) Çaprazların dışmerkez olması durumu.....	—	8
(c) Betonarme perdelerin kullanılması durumu.....	4	7

Şekil 3.55 TDY 2007 Tablo 2.5



Taşıyıcı sistem davranış katsayısı (R), yapının taşıyıcı sistemine göre seçilen bir sabittir. Deprem anında oluşan enerji yapıda deplasmanlar ve elemanlarda oluşan elastik ötesi deformasyonlarla sönmülendir. Yapının elastik deprem yükleri altında boyutlandırılması ekonomik anlamda yüksek maliyetler gerektirmektedir. Bu nedenle enerjinin büyük bir bölümünün doğrusal elastik olmayan davranışla sönmülendir istenmektedir. Bu amaçla, elastik deprem kuvvetleri, taşıyıcı sistem davranış katsayısı ve zemin-yapı periyodu ilişkisi ile hesaplanan deprem yükü azaltma katsayısına ( $R_a$ ) bölünerek azaltılmaktadır. Taşıyıcı sistem davranış katsayısının kullanılabilir olmasındaki en büyük şart sünek davranıştır. Buna taşıyıcı sistemin hiperstatiklik derecesi de bir artı olarak ilave edilebilir.

Y-Pro, taşıyıcı sistem davranış katsayısını kullanıcının belirlemesini istemektedir. Sunulan R değerleri TDY 2007 Tablo 2.5 den ibaret olup, farklı R değerleri (2, 9, 10,... gibi) tanımlanamamaktadır. Taşıyıcı sistem davranış katsayısı, seçilen süneklik düzeyine göre tanımlanır. Y-Pro da her süneklik düzeyi için tanımlanabilen R katsayıları Çizelge 3.56, 3.57, 3.58 de verilmiştir.

**Çizelge 3.56 Y-Pronun sunduğu süneklik düzeyi normal sistemler için R katsayısı**

TAŞIYICI SİSTEM TİPİ	SÜNEKLİK DÜZEYİ NORMAL SİSTEMLER	
	BİNA TAŞIYICI SİSTEMİ	R
1.1	Deprem yüklerinin tamamının çerçevelerle taşındığı binalar	4
1.2	Deprem yüklerinin tamamının bağ kirişli (boşluklu) perdelerle taşındığı binalar	4
1.3	Deprem yüklerinin tamamının boşluksuz perdelerle taşındığı binalar	4
1.4	Deprem yüklerinin çerçeveler ile boşluksuz ve/veya bağ kirişli (boşluklu) perdeler tarafından taşındığı binalar	4
2.1	Deprem yüklerinin tamamının bağlantıları tersinir momentleri aktarabilen çerçevelerle taşındığı prefabrik binalar	3
2.2	Deprem yüklerinin tamamının, üstteki bağlantıları mafsallı olan kolonlar tarafından taşındığı tek katlı prefabrik binalar	1
2.3	Deprem yüklerinin tamamının prefabrike veya yerinde dökme boşluksuz ve/veya bağ kirişli (boşluklu) perdelerle taşındığı, çerçeve bağlantıları mafsallı olan prefabrike binalar	1
2.4	Deprem yüklerinin, bağlantıları tersinir momentleri aktarabilen prefabrike çerçeveler ile yerinde dökme boşluksuz ve/veya bağ kirişli (boşluklu) perdeler tarafından birlikte taşındığı prefabrike binalar	3

Çizelge 3.57 Y-Pronun sunduğu süneklilik düzeyi yüksek sistemler için R katsayısı

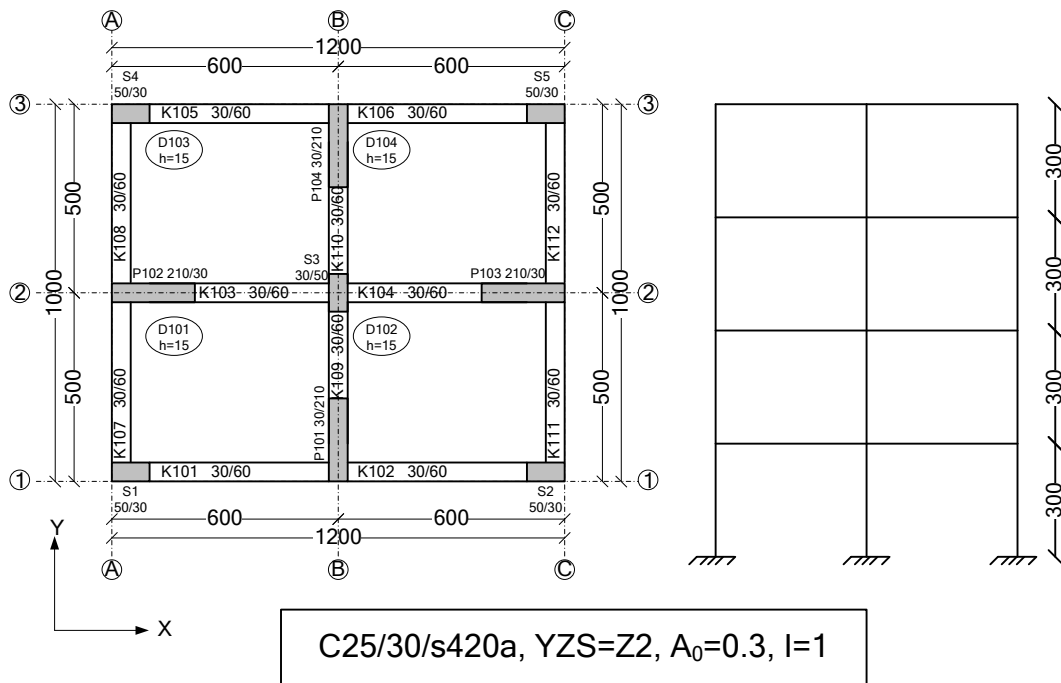
TAŞIYICI SİSTEM TİPİ	SÜNEKLİK DÜZEYİ YÜKSEK SİSTEMLER	
	BİNA TAŞIYICI SİSTEMİ	R
1.1	Deprem yüklerinin tamamının çerçevelerle taşındığı binalar	8
1.2	Deprem yüklerinin tamamının bağ kirişli (boşluklu) perdelerle taşındığı binalar	7
1.3	Deprem yüklerinin tamamının boşluksuz perdelerle taşındığı binalar	6
1.4	Deprem yüklerinin çerçeveler ile boşluksuz ve/veya bağ kirişli (boşluklu) perdeler tarafından taşındığı binalar	7
2.1	Deprem yüklerinin tamamının bağlantıları tersinir momentleri aktarabilen çerçevelerle taşındığı prefabrik binalar	7
2.2	Deprem yüklerinin tamamının, üstteki bağlantıları mafsallı olan kolonlar tarafından taşındığı tek katlı prefabrik binalar	3
2.3	Deprem yüklerinin tamamının prefabrike veya yerinde dökme boşluksuz ve/veya bağ kirişli (boşluklu) perdelerle taşındığı, çerçeve bağlantıları mafsallı olan prefabrike binalar	5
2.4	Deprem yüklerinin, bağlantıları tersinir momentleri aktarabilen prefabrike çerçeveler ile yerinde dökme boşluksuz ve/veya bağ kirişli (boşluklu) perdeler tarafından birlikte taşındığı prefabrike binalar	6

Çizelge 3.58 Y-Pronun sunduğu süneklilik düzeyi karma sistemler için R katsayısı

TAŞIYICI SİSTEM TİPİ	SÜNEKLİK DÜZEYİ KARMA SİSTEMLER	
	BİNA TAŞIYICI SİSTEMİ	R
1.1	Deprem yüklerinin tamamının çerçevelerle taşındığı binalar	8
1.2	Deprem yüklerinin tamamının bağ kirişli (boşluklu) perdelerle taşındığı binalar	7
1.3	Deprem yüklerinin tamamının boşluksuz perdelerle taşındığı binalar	6
1.4	Deprem yüklerinin çerçeveler ile boşluksuz ve/veya bağ kirişli (boşluklu) perdeler tarafından taşındığı binalar	7
2.1	Deprem yüklerinin tamamının bağlantıları tersinir momentleri aktarabilen çerçevelerle taşındığı prefabrik binalar	7
2.2	Deprem yüklerinin tamamının, üstteki bağlantıları mafsallı olan kolonlar tarafından taşındığı tek katlı prefabrik binalar	3
2.3	Deprem yüklerinin tamamının prefabrike veya yerinde dökme boşluksuz ve/veya bağ kirişli (boşluklu) perdelerle taşındığı, çerçeve bağlantıları mafsallı olan prefabrike binalar	5
2.4	Deprem yüklerinin, bağlantıları tersinir momentleri aktarabilen prefabrike çerçeveler ile yerinde dökme boşluksuz ve/veya bağ kirişli (boşluklu) perdeler tarafından birlikte taşındığı prefabrike binalar	6

Çizelge 3.56 da, süneklik düzeyi normal sistemler için verilen taşıyıcı sistem tipi 2.2 ve 2.3 deki prefabrik binalarda yazılım, R katsayısını 1 olarak sunmaktadır. Fakat TDY 2007 Tablo 2.5 den, bu tür binalarda süneklik düzeyinin normal seçilemeyeceği anlaşılmaktadır.

Çizelge 3.56, 3.57 ve 3.58 den şu sonuca varılmaktadır; Yazılım her süneklik düzeyi için belirli R katsayıları sunmaktadır. Örneğin süneklik düzeyi normal olan salt çerçevesel sistemlerde istenirse dahi R=4 yerine R=8 seçilememektedir. Bu durum tam tersi için de geçerlidir. Yani süneklik düzeyi yüksek kabul edilen perde+çerçevesel bir sistemde R=7 yerine R=4 seçilememektedir. Bu aşamaya kadar bir problem gözükmemektedir. Fakat kullanıcı seçilen süneklik düzeyine bağlı sunulan R katsayıları içinden, taşıyıcı sisteme uygun olmayan değerler seçilebilmektedir. Örneğin, süneklik düzeyi yüksek olması istenen salt çerçevesel bir sistem için, taşıyıcı sistem tipi 2.2 olan binalar için kullanılan R=3 değeri seçilebilmektedir. Bu durumu irdelemek amacıyla Şekil 3.56 daki sistem Y-Pro ile analiz edilerek irdelenmiştir.



Şekil 3.56 Taşıyıcı sistem davranış katsayısının kontrolü için hazırlanmış kalıp planı

Şekil 3.56 da verilen 4 katlı bina 2. derece deprem bölgesindedir. Yapı sadece kendi zati ağırlığı altında, süneklik düzeyi yüksek olarak analiz edilmiştir. Y-Pro yazılımında süneklik düzeyi yüksek sistemler için sunulan taşıyıcı sistem davranış katsayılarından  $R=8$  seçilip analiz yapılmıştır. Yazılım analizi tamamlandıktan sonra, hesap raporlarında taşıyıcı sistem davranış katsayısının  $R=8$  için uygun olduğunu belirtmektedir. Oysaki bu örnekte süneklik düzeyinin yüksek olarak tasarlanması durumunda  $R=7$  alınmalıdır. Raporlar detaylı olarak incelendiğinde, yazılımın TDY 2007 Madde 2.5.2 de açıklanan perde+çerçeve sistem kontrolünü yapmadığı görülmüştür. Yazılım, perdelerin temel tabanında oluşan toplam kesme kuvvetinin, yapının temel tabanında oluşan toplam kesme kuvvetine oranını hesaplamamıştır. Bunun üzerine aynı sistem, aynı süneklik düzeyi için  $R=7$  alınarak analiz edilmiş ve raporlar tekrar incelenmiştir. Yazılımın TDY 2007 Madde 2.5.2 deki kontrolleri yaptığı görülmüştür.

Sonuç olarak yazılımın, süneklik düzeyi yüksek perde+çerçeve bir sistemde  $R=8$  seçilmesi durumunda herhangi bir uyarı vermediği, ayrıca perde+çerçeve sistem kontrolü yapmadığı görülmektedir.

### **3.5.9.1 Y-Pro nun TDY 2007 Madde 2.5.2 ye göre irdelenmesi**

Taşıyıcı sistem davranış katsayısının ( $R$ ) TDY 2007 ye göre, yapının taşıyıcı sistemi dikkate alınarak belirlendiği önceki paragraflarda açıklanmıştır. Gerçekte  $R$  katsayısı tek serbestlik dereceli bir sistemin doğrusal elastik yük talebine ve yapının tasarım dayanımına göre hesaplanmakta ve istatistiksel olarak düzenlenmektedir. Bu hesaplamalar tezin kapsamı dışında olduğunda detaylı olarak incelenmemiştir. TDY 2007 de  $R$  katsayısının süneklik düzeyine, sistemde perde olması, salt perdeli sistem olması veya mafsallı (prefabrik) olması durumlarına göre değiştiği görülebilmektedir. Örneğin yapıda perde oranının artması sonucu rijitlik artmakta, buna bağlı olarak elastik deprem kuvvetleri de artmaktadır. Bu durumda yapı cezalandırılarak  $R$  katsayısı azaltılmaktadır. Hiperstatiklik dereceleri de  $R$  katsayısı tayininde etkindir. Örneğin, moment aktaran tek katlı çerçeve bir sistemde uyum olmakta, enerji kolon ve kirişlerin ortak etkileşimiyle yutulmaktadır. Fakat tek katlı prefabrik mafsallı bir yapıda enerji

sadece kolon mesnet bölgelerindeki şekil değiştirmelerle yutulmaktadır. Böyle bir güvensizliğin önüne geçebilmek için TDY 2007, mafsallı prefabrik binalarda R katsayısını düşürerek yapıyı daha büyük deprem kuvvetlerine karşı dayanabilir hale getirmeyi amaçlamıştır.

TDY 2007, süneklik düzeyi yüksek perde+çerçevesiz sistemlerde R katsayısı ile ilgili bazı sınırlandırmalar getirmektedir. TDY 2007 Madde 2.5.2 de konuyla ilgili olarak;

*Deprem yüklerinin süneklik düzeyi yüksek boşluksuz (bağ kirişsiz) betonarme perdeler ile süneklik düzeyi yüksek betonarme veya çelik çerçeveler tarafından birlikte taşındığı binalara ilişkin koşullar aşağıda verilmiştir:*

**2.5.2.1** – *Bu tür sistemlerde, Tablo 2.5'te yerinde dökme betonarme ve çelik çerçeve durumu için verilen  $R = 7$ 'nin veya prefabrike betonarme çerçeve durumu için verilen  $R = 6$ 'nın kullanılabilmesi için, boşluksuz perdelerin tabanında deprem yüklerinden meydana gelen kesme kuvvetlerinin toplamı, binanın tümü için tabanda meydana gelen toplam kesme kuvvetinin %75'inden daha fazla olmayacaktır ( $\alpha_s \leq 0.75$ ).*

**2.5.2.2** – *2.5.2.1'deki koşulun sağlanamaması durumunda,  $0.75 < \alpha_s \leq 1.0$  aralığında kullanılacak R katsayısı, yerinde dökme betonarme ve çelik çerçeve durumu için  $R = 10 - 4 \alpha_s$  bağıntısı ile prefabrike betonarme çerçeve durumu için ise  $R = 9 - 4 \alpha_s$  bağıntısı ile belirlenecektir.*

**2.5.2.3** –  *$H_w / \ell_w \leq 2.0$  olan perdelerde, yukarıda tanımlanan R katsayılarına göre hesaplanan iç kuvvetler,  $[3 / (1 + H_w / \ell_w)]$  katsayısı ile çarpılarak büyütülecektir. Ancak bu katsayı, 2'den büyük alınmayacaktır.*

Yukarıda bahsedilen kontrollerin yapılıp yapılmadığını incelemek amacıyla Şekil 3.56 daki sistem Y-Pro ile kendi zati ağırlığı ve deprem yükleri altında analiz edilmiştir. Süneklik düzeyi yüksek ve  $R=7$  alınmıştır. Analiz sonrasında yazılım perdelerin tabanlarında oluşan toplam kesme kuvvetinin, taban kesme kuvvetine oranını ( $\alpha_s$ ), X yönü için 0.90 ve Y yönü için 0.91 olarak hesaplamıştır. Bu durum TDY 2007

Madde 2.5.2.1 i sağlamadığından Madde 2.5.2.2 ye göre  $R=10 - 4\alpha_s$  bağıntısından X ve Y yönleri için sırasıyla  $R=6.40$  ve  $R=6.36$  değerlerinin bulunmuş,  $R=6.36$  ya göre analizi tekrarlamıştır.

### **3.5.9.2 Y-Pro nun TDY 2007 Madde 2.5.3 e göre irdelenmesi**

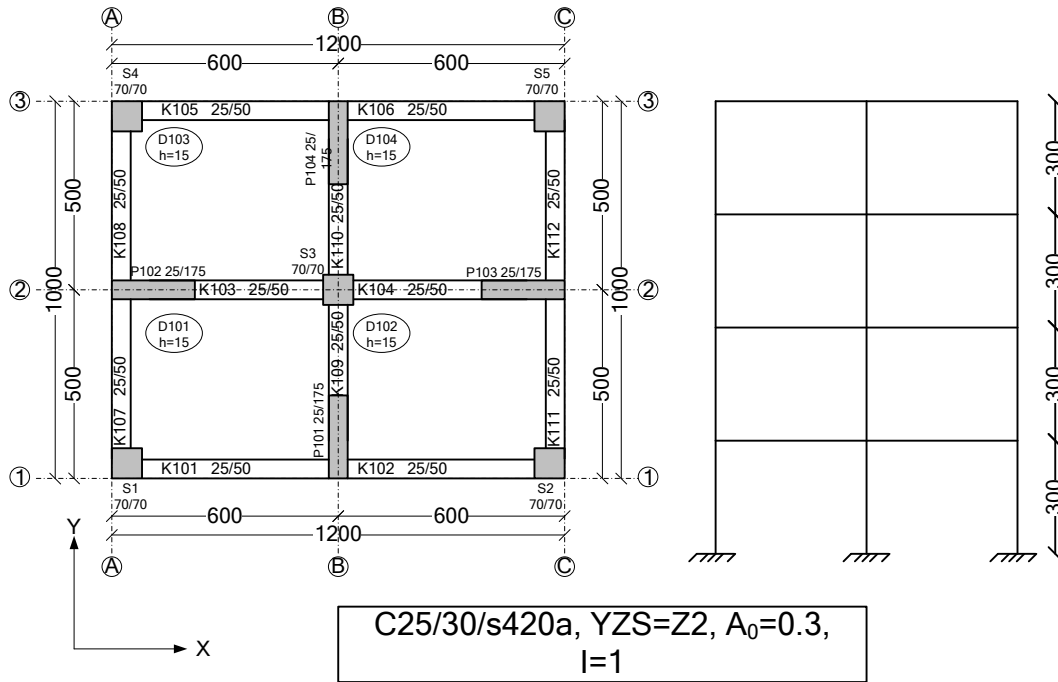
Süneklik düzeyi normal bazı sistemlerde perde kullanılmasının zorunluluğuna ilişkin olarak TDY 2007 Madde 2.5.3 de;

*2.5.1.6'nin (a) ve (b) paragraflarında tanımlanan süneklik düzeyi normal sistemler, bütün deprem bölgelerinde ve aynı paragraflarda tanımlanan yükseklik sınırlarının üzerinde de yapılabilir. Ancak bu durumda, betonarme binalarda tüm yükseklik boyunca devam eden ve aşağıdaki koşulları sağlayan süneklik düzeyi normal veya yüksek betonarme boşluksuz ya da bağ kirişli (boşluklu) perdelerin, çelik binalarda ise süneklik düzeyi normal veya yüksek merkezi veya dışmerkez çaprazlı perdelerin kullanılması zorunludur.*

*2.5.3.1 – Taşıyıcı sistemde süneklik düzeyi normal perdelerin kullanılması durumunda, her bir deprem doğrultusunda, deprem yüklerine göre perdelerin tabanında elde edilen kesme kuvvetlerinin toplamı, binanın tümü için tabanda meydana gelen toplam kesme kuvvetinin %75'inden daha fazla olacaktır.*

*2.5.3.2 – Taşıyıcı sistemde süneklik düzeyi yüksek perdelerin kullanılması durumunda, aşağıda karma taşıyıcı sistemler için verilen 2.5.4.1 uygulanacaktır.*

Şekil 3.57 deki sistem kendi zati ağırlığı ve deprem yükleri altında, ikinci derece deprem bölgesinde analiz edilmiştir. Yapının süneklik düzeyinin normal olduğu kabulü yapılmış ve  $R=4$  alınmıştır.



Şekil 3.57 Süneklik düzeyi normal perde+çerçevesi sisteme ait kalıp planı

Analiz sonuçlarında, yazılımın perde-çerçeve sisteme ait  $\alpha_s$  kontrollerinde, perdelerin tabanında oluşan toplam kesme kuvvetinin, yapının tabanında oluşan toplam kesme kuvvetine oranını ( $\alpha_s$ ), X ve Y yönleri için 0.61 olarak hesaplanmıştır. Yazılım raporlarda  $\alpha_s$  değerinin 0.75 den az olduğunu göstermekte, fakat herhangi bir uyarıda bulunmamaktadır. Oysaki TDY 2007 Madde 2.5.3.1 de  $\alpha_s$  oranının 0.75 den az olamayacağı belirtilmektedir.  $\alpha_s$  oranının 0.75 den az olmasına rağmen analize devam edilmiş, hesap raporlarını ve çizim çıktılarını kullanıcıya sunmuştur. Bu durum farkında olmadan kullanıcıyı TDY 2007 deki koşulları sağlamayan bir tasarıma götürmektedir. Bu nedenle kullanıcının süneklik düzeyi normal perde+çerçevesi sistemlerin tasarımında  $\alpha_s$  değerini daha dikkatli kontrol etmesi gerekmektedir.

### **3.5.9.3 Y-Pro nun TDY 2007 Madde 2.5.4 e göre irdelenmesi**

TDY 2007 Madde 2.5.4 de süneklik düzeyi bakımından karma taşıyıcı sistemlerle ilgili olarak aşağıdaki koşullar verilmektedir:

**2.5.4.1 – 2.5.1.6'nin (a) ve (b) paragraflarında tanımlanan süneklik düzeyi normal sistemlerin, süneklik düzeyi yüksek perdelerle bir arada kullanılması mümkündür. Bu şekilde oluşturulan süneklik düzeyi bakımından karma sistemlerde, aşağıda belirtilen koşullara uyulmak kaydı ile süneklik düzeyi yüksek boşluksuz, bağ kirişli (boşluklu) betonarme perdeler veya çelik binalar için merkezi veya dışmerkez çaprazlı çelik perdeler kullanılabilir.**

**(a) Bu tür karma sistemlerin deprem hesabında çerçeveler ve perdeler bir arada göz önüne alınacak, ancak her bir deprem doğrultusunda mutlaka  $\alpha_s \geq 0.40$  olacaktır.**

**(b) Her iki deprem doğrultusunda da  $\alpha_s \geq 2/3$  olması durumunda, **Tablo 2.5**'de deprem yüklerinin tamamının süneklik düzeyi yüksek perde tarafından taşındığı durum için verilen  $R$  katsayısı ( $R = R_{YP}$ ), taşıyıcı sistemin tümü için kullanılabilir.**

**(c)  $0.40 < \alpha_s < 2/3$  aralığında ise, her iki deprem doğrultusunda da taşıyıcı sistemin tümü için  $R = R_{NÇ} + 1.5 \alpha_s (R_{YP} - R_{NÇ})$  bağıntısı uygulanacaktır.**

**2.5.4.2 – Binaların bodrum katlarının çevresinde kullanılan rijit betonarme perde duvarları, **Tablo 2.5**'te yer alan perdeli veya perdeli-çerçeveli sistemlerin bir parçası olarak göz önüne alınmayacaktır. Bu tür binaların hesabında izlenecek kurallar **2.7.2.4** ve **2.8.3.2**'de verilmiştir.**

TDY 2007 Madde 2.5.4.1 (a) paragrafını irdelemek amacıyla Şekil 3.58 de kalıp planı verilen 2. derece deprem bölgesindeki 4 katlı yapı Y-Pro yazılımı ile zati yükler ve deprem yükleri altında analiz edilmiştir. Süneklik düzeyi karma seçilmiştir. Deneme amaçlı olarak  $R$  katsayısı ilk olarak 8 ve daha sonra 7 seçilmek istenmiş fakat program buna müsaade etmeyerek  $R$  katsayısını otomatik olarak 6 almıştır. Bunun üzerine  $R=6$  alınarak analiz yapılmıştır.

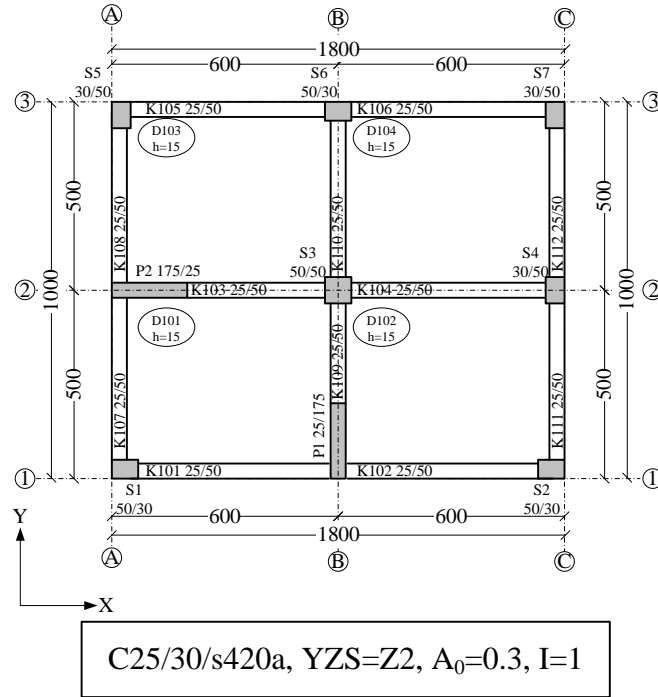




veya kabul edilen ilk R katsayısına göre analizi sonlandıracaktır. Bu sorunun cevabı şöyle açıklanabilir; süneklik düzeyi karma bir sistemde, süneklik düzeyi normal çerçeveler ve süneklik düzeyi yüksek perdeler bulunmaktadır. TDY 2007, süneklik düzeyi normal çerçevelerin deprem yüklerine maruz kalmasını istememektedir. 1. ve 2. derece deprem bölgelerinde sadece süneklik düzeyi normal olan çerçeve sistemlerin modellenmesine izin verilmemesi bir bakımdan bu duruma örnek gösterilebilir. Tabii buradan karma taşıyıcı bir sistemde çerçevelerin hiç deprem yükü almayacağı sonucu çıkmamalıdır. TDY 2007, çerçevelerin taşıyacağı deprem yüklerinin en az seviyede tutulmasını istemektedir. Zira TDY 2007 Madde 2.5.4.1 (b) ve (c) paragrafları karşılaştırıldığında,  $\alpha_s$  oranının 0.4 ile 2/3 arasında olması durumunda,  $\alpha_s$  in azalmasına bağlı olarak yapının cezalandırıldığı açıkça görülebilmektedir. O halde mühendis, karma taşıyıcı bir sistemde deprem yüklerinin büyük bir çoğunluğunun sünek perdeler tarafından taşınmasını isteyecektir. Buna bağlı olarak mühendisin seçeceği R katsayısı 6 olmalıdır. Analiz sonrasında ise hesaplanan  $\alpha_s$  oranı R=6 katsayısının değişip değişmemesinde etkili olmaktadır.

Önceki paragraflarda açıklandığı gibi Y-Pro süneklik düzeyi karma sistemlerde R katsayısını 6 olarak kabul etmekte, TDY 2007 Madde 2.5.4.1 (b) ve (c) paragraflarındaki koşullara bağlı olarak analizi sonlandırmakta veya yeniden hesaplanan R katsayısına göre tekrar analiz yapmaktadır.

Y-Pro nun TDY 2007 Madde 2.5.4.1 (b) ve (c) paragraflarındaki koşulları yerine getirip getirmediğini kontrol etmek amacıyla Şekil 3.59 da kalıp planı verilen 4 katlı yapı kendi zati ağırlığı ve deprem yükleri altında 2. derece deprem bölgesi için analiz edilmiştir. Yapının süneklik düzeyi karma ve R=6 olarak alınmıştır.



Şekil 3.59 Süneklik düzeyi karma perde+çerçevesi sisteme ait kalıp planı

Analiz sonrasında perde-çerçeve sisteme ait raporlar incelenmiştir. Yazılım, X yönü deprem kuvvetleri altında  $\alpha_{sx}$  oranını  $0.67 > 0.40$  olarak hesaplamış ve  $\alpha_{sx} > 2/3$  olduğundan  $R=R_{YP}=6$  alınabileceğini belirtmiştir. Y yönü deprem kuvvetleri altında  $\alpha_{sy}$  oranını ise  $0.66 > 0.40$  olarak hesaplamış ve  $R=R_{NÇ}+1.5 \alpha_s (R_{YP}-R_{NÇ})=5.99$  alınacağını belirtmiştir.  $5.99 < 6$  olduğundan analiz tekrarlanarak  $R=5.99$  a göre deprem yüklerinin yeniden hesaplandığı görülmüştür.

Sonuç olarak Y-Pro nun, TDY 2007 Madde 2.5.4 e ilişkin koşullara uyduğu görülmektedir.

### 3.5.10 Kolonları Kirişlerden Güçlü Olması Koşulunun İrdelenmesi

Yapı mühendisliğinin temel konularından biri, yatay ve düşey yükler altında yapısal elemanlarda oluşan iç kuvvetlere göre boyutlandırma dır. Böylelikle, betonarme elemanlarda donatı hesabı, çelik elemanlarda ise gerilme kontrolü yapılmaktadır. Betonarme elemanların bağlandığı bir düğüm noktası için, düğüme bağlanan kirişlerin moment taşıma kapasitesi, kolonların moment taşıma kapasitelerinden fazla

çıkabilmektedir. Bu durumda ilk plastik mafsal bölgesi kolonlarda oluşmaktadır. Daha basit bir ifadeyle enerji kolonlar tarafından yutulmaktadır. Yatay yükler altında karşılaşılan bu durumun diğer kolonlarda da oluşmaya devam etmesi durumunda yapı labil duruma geçmekte ve nihayetinde göçmektedir. Bu tür bir mekanizma şekli yapı mühendisliğinde istenmeyen bir durumdur. Olması beklenen, deprem enerjisinin ilk olarak kiriş uç bölgelerinde oluşacak plastik mafsallar tarafından yutulmasıdır. Bu önceliği kirişlere verilebilmesinin tek yolu, kiriş moment taşıma kapasitesinin kolonunkinden az olmasıdır. Daha açık olarak, bir düğüm noktasına bağlanan kirişlerin taşıma gücü momentlerinin toplamının, o düğüme bağlanan kolonların taşıma gücü momentlerinin toplamından az olması gerekmektedir.

Moment taşıma kapasitesi denilince akla ilk olarak eleman kesiti, beton dayanımı ve boyuna donatılar gelmektedir. Fakat burada kesit, boyuna donatı vs. kadar önemli olan diğer bir parametre, sargı donatısıdır. Uygun sargılanmamış bir kiriş veya kolon elemanda ne beton dayanımı hesaplarla örtüşecektir, ne de donatılar burkulmadan, beklenen kuvveti taşıyabilecektir. Sargı donatısı çapı ve aralığı kadar kancaların tertibinin ve boylarının, kanca şaşırtma düzeninin önemini burada bir kez daha hatırlatmakta fayda görülmektedir. Betonarme bir çubuk elemanda oluşabilecek bütün iç kuvvetler için olmazsa olmaz yardımcı elemanlar sargı donatılarıdır. Neticede kolonların kirişlerden güçlü olması durumu, doğrudan kolon kesme donatısı hesabını etkilemektedir (Bkz. TDY 2007 Madde 3.3.7).

TDY 2007, kolonların kirişlerden önce mafsallaşmasını önlemek için belirli kurallar getirmekte, bu kuralları süneklik düzeyi yüksek taşıyıcı sistemlerde zorunlu kılmaktadır. Kolonları kirişlerden daha güçlü olması ile ilgili koşullar TDY 2007 de aşağıdaki şekliyle verilmektedir:

**3.3.5.1 – Sadece çerçevelerden veya perde ve çerçevelerin birleşiminden oluşan taşıyıcı sistemlerde, her bir kolon - kiriş düğüm noktasına birleşen kolonların taşıma gücü momentlerinin toplamı, o düğüm noktasına birleşen kirişlerin kolon yüzündeki kesitlerindeki taşıma gücü momentleri toplamından en az %20 daha büyük olacaktır (Şekil 3.4):**

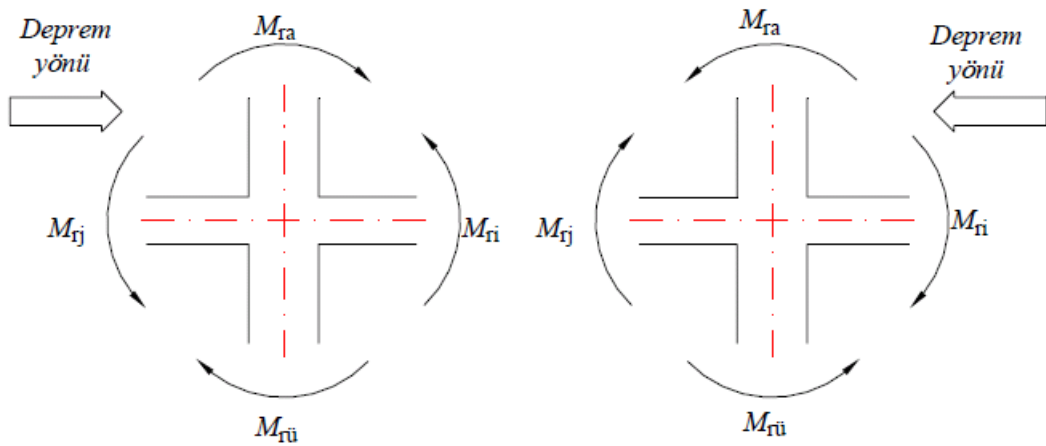
$$(M_{ra} + M_{r\ddot{u}}) \geq 1.2(M_{ri} + M_{rj}) \quad (3.3)$$

3.3.5.2 – **Denk.(3.3)**'ün uygulanabilmesi için, düğüm noktasına birleşen kirişlerin 3.4.1.1'de verilen boyut koşullarını sağlaması zorunludur.

3.3.5.3 – **Denk.(3.3)**, her bir deprem doğrultusunda ve depremin her iki yönü için elverişsiz sonuç verecek şekilde ayrı ayrı uygulanacaktır (**Şekil 3.4**). Kolon taşıma gücü momentlerinin hesabında, depremin yönü ile uyumlu olarak bu momentleri en küçük yapan  $N_d$  aksenal kuvvetleri göz önüne alınacaktır.

3.3.5.4 – **Denk.(3.3)**'ün uygulanmasına ilişkin özel durumlar aşağıda belirtilmiştir:

- (a) Düğüm noktasına birleşen kolonların her ikisinde de  $N_d \leq 0.10 A_c f_{ck}$  olması durumunda, **Denk.(3.3)**'ün sağlanması zorunlu değildir.
- (b) Tek katlı binalarda ve çok katlı binaların kolonları üst kata devam etmeyen düğüm noktalarında **Denk.(3.3)**'ün sağlanıp sağlanmadığına bakılmayacaktır.
- (c) Kirişlerin saplandığı perdenin zayıf doğrultuda kolon gibi çalışması durumunda, **Denk.(3.3)**'ün sağlanıp sağlanmadığına bakılmayacaktır.



Şekil 3.60 TDY 2007 Şekil 3.4

TDY 2007 Denk. 3.3 ün sağlanmaması durumu için tasarımcıya esneklik sağlanmış ve TDY 2007 Madde 3.3.6 daki sınır değerleri sağlamak şartıyla tasarım yapılmasına izin vermiştir.

**3.3.6.1** – Sadece çerçevelerden veya perde ve çerçevelerin birleşiminden oluşan taşıyıcı sistemlerde, göz önüne alınan deprem doğrultusunda binanın herhangi bir *i*'inci katında, **Denk.(3.4)**'ün sağlanması koşulu ile, ilgili katın alt ve/veya üstündeki bazı düğüm noktalarında **Denk.(3.3)**'ün sağlanamamış olmasına izin verilebilir.

$$\alpha_i = V_{is}/V_{ik} \geq 0.70 \quad (3.4)$$

$N_d \leq 0.10 A_c f_{ck}$  koşulunu sağlayan kolonlar, **Denk. (3.3)**'ü sağlamasalar bile,  $V_{is}$ 'nin hesabında göz önüne alınabilir.

**3.3.6.2** – **Denk.(3.4)**'ün sağlanması durumunda,  $0.70 \leq \alpha_i \leq 1.00$  aralığında, **Denk. (3.3)**'ün hem alttaki, hem de üstteki düğüm noktalarında sağlandığı kolonlara etkiyen eğilme momentleri ve kesme kuvvetleri ( $1/\alpha_i$ ) oranı ile çarpılarak arttırılacaktır. **Denk. (3.3)**'ü sağlamayan kolonlar, kesitlerinde oluşan düşey yük ve deprem etkileri altında donatılacaktır.

**3.3.6.3** – Herhangi bir katta **Denk.(3.4)**'ün sağlanamaması durumunda, sadece çerçevelerden veya perde ve çerçevelerin birleşiminden oluşan taşıyıcı sistemlerdeki tüm çerçeveler süneklik düzeyi normal çerçeve olarak göz önüne alınacak ve **Tablo 2.5**'e göre taşıyıcı sistem davranış katsayısı değiştirilerek hesap tekrarlanacaktır. **Bölüm 2** deki **2.5.4.1**'de belirtildiği üzere süneklik düzeyi normal çerçevelerin, süneklik düzeyi yüksek perdelerle bir arada kullanılması da mümkündür.

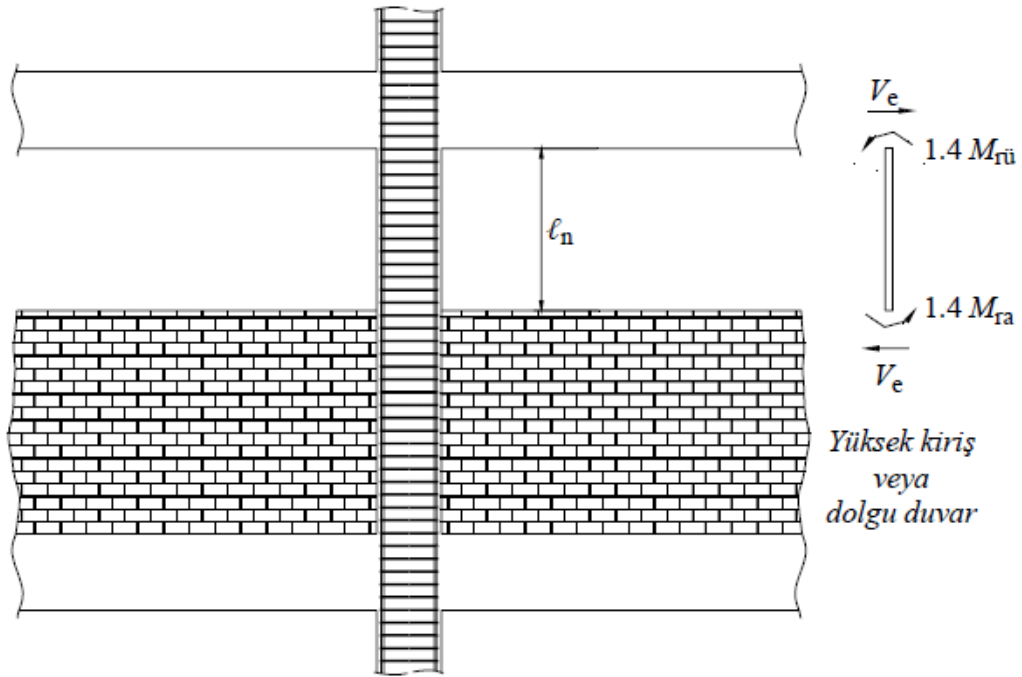
Farklı süneklik düzeyi yüksek taşıyıcı sistemlerin analizleri üzerinde yapılan kontrollerde Y-Pro nun TDY 2007 Madde 3.3.5 ve 3.3.6 daki koşulları yerine getirdiği görülmüştür. Yazılım, TDY 2007 Madde 3.3.6.3 de sunulan durum için uyarı vermekte ve yapının süneklik düzeyi normal olarak yeniden analiz edilmesini istemektedir.

### 3.5.11 Kısa Kolon Oluşumunun İrdelenmesi

Kısa kolonlara gerek mimari nedenlerle, gerekse taşıyıcı sistemin oluşturulması aşamasında sıklıkla rastlanabilmektedir. Uygulamada bant pencere olarak tabir edilen pencere boşlukları, ara sahanlıklarda kolonların kirişlerle birbirine bağlanması kısa kolon oluşumuna örnek olarak verilebilir. TDY 2007 Madde 3.3.8 de, kısa kolon oluşmasından kaynaklanabilecek hasarların önüne geçebilmek amacıyla hesap ve uygulamayla ilgili düzenlemeler getirilmiştir.

*TDY 2007 Madde 3.3.8:*

*Kısa kolonlar, taşıyıcı sistem nedeni ile veya dolgu duvarlarında kolonlar arasında bırakılan boşluklar nedeni ile oluşabilirler (Şekil 3.6). Kısa kolon oluşumunun engellenemediği durumlarda, enine donatı hesabına esas alınacak kesme kuvveti **Denk.(3.5)** ile hesaplanacaktır. **Denk.(3.5)**'teki momentler, kısa kolonun alt ve üst uçlarında  $M_a \cong 1.4 M_{ra}$  ve  $M_u \cong 1.4 M_{ru}$  olarak hesaplanacak,  $l_n$  ise kısa kolonun boyu olarak alınacaktır. Ancak hesaplanan kesme kuvveti **Denk.(3.7)**'de verilen koşulları sağlayacaktır. Kısa kolon boyunca, **3.3.4.1**'de kolonların sarılma bölgeleri için tanımlanan minimum enine donatı ve yerleştirme koşulları uygulanacaktır. Dolgu duvarları arasında kalarak kısa kolon durumuna dönüşen kolonlarda, enine donatılar tüm kat yüksekliğince devam ettirilecektir (Şekil 3.6).*



Şekil 3.61 TDY 2007 Şekil 3.6

Taşıyıcı sistemden kaynaklanan kısa kolon oluşumunu irdelemek amacıyla Şekil 3.62 deki düzlem çerçeve sistem Y-Pro ile analiz edilmiş ve TDY 2007 deki koşulların sağlanıp sağlanmadığı incelenmiştir. Analiz öncesinde aşağıdaki kabuller yapılmıştır:

- Eleman zati ağırlıkları ihmal edilmemiştir.
- Kirişlerin tamamında 1 kN/m ilave zati yük ve 4 kN/m hareketli yük bulunmaktadır.
- Eşdeğer deprem yükü yöntemine göre deprem analizi yapılmıştır.
- Düğüm noktalarının sonsuz rijit olduğu kabulü yapılmamıştır.
- Rijit diyafram kabulü yapılmamıştır.





### 3.5.12 Kolon-Kiriş Birleşim Bölgelerinin Kesme Güvenliğinin İrdelenmesi

Son yıllarda yaşamış olduğumuz büyük depremlerde, deprem sonrasında yerinde yapılan incelemeler bize, yapının göçme nedenlerinden birinin de kolon-kiriş birleşim bölgesindeki hasarlardan kaynaklandığını söylemektedir. Bu nedenle TDY 2007, kolon-kiriş birleşim bölgeleri ile ilgili bazı zorunlu kontroller ve tasarım mecburiyetleri getirmiştir.

Yönetmelik birleşimleri ilk olarak kuşatılmış ve kuşatılmamış birleşim olarak ikiye ayırmaktadır.

*TDY 2007 Madde 3.5.1:*

*Süneklik düzeyi yüksek kolon ve kirişlerin oluşturduğu çerçeve sistemlerinde kolon-kiriş birleşimleri, aşağıda tanımlandığı üzere, iki sınıfa ayrılacaktır.*

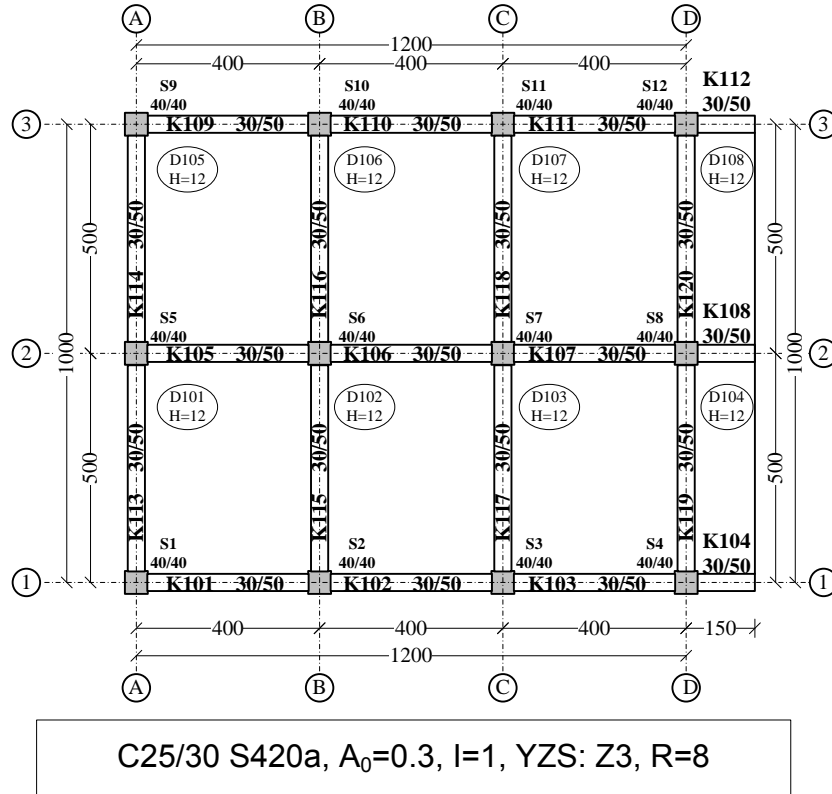
*(a) Kirişlerin kolona dört taraftan birleşmesi ve her bir kirişin genişliğinin birleştiği kolon genişliğinin 3/4'ünden daha az olmaması durumunda, kolon-kiriş birleşimi kuşatılmış birleşim olarak tanımlanacaktır.*

*(b) Yukarıdaki koşulları sağlamayan tüm birleşimler, kuşatılmamış birleşim olarak tanımlanacaktır.*

İlk olarak kuşatılmış ve kuşatılmamış birleşimleri irdellemek amacıyla Şekil 3.63 deki sistem Y-Pro ile analiz edilmiş ve yazılımın TDY 2007 Madde 3.5.1 deki koşulları sağlayıp sağlamadığı irdelenmiştir. Analiz öncesinde aşağıdaki kabuller yapılmıştır:

- Yapı 3 katlı olarak tasarlanmış, kolon ve kiriş boyutları her katta aynı modellenmiştir.
- Kat yükseklikleri her katta aynı ve 3 m dir.
- Eşdeğer deprem yükü yöntemine göre deprem analizi yapılmıştır.
- Elemanların zati ağırlıkları ihmal edilmemiştir.
- İlave olarak döşemelerde 2 kN/m<sup>2</sup> hareketli yük bulunmakta, kirişlerin üzerinde duvar yükü bulunmamaktadır.

- Rijit diyafram kabulü yapılmıştır.
- Düğüm noktalarının sonsuz rijit olduğu kabulü yapılmamıştır.



Şekil 3.63 Kuşatılmış-kuşatılmamış düğüm noktasına ait kalıp planı örneği

Analiz sonrasında hesap raporları incelendiğinde, yazılımın S8 kolonunu kuşatılmış kolon olarak kabul ettiği görülmüştür. Kuşatılmış kolonun açık ifadesi; dört tarafından yanal basınç sağlayabilecek aksel rijitlikteki kirişler çevrilmiş kolondur. Oysaki K108 kirişi konsol kiriştir ve bir ucu serbesttir. Kolon-kiriş birleşim noktasında aksel yükten dolayı oluşan poisson etkisine karşı koyabilecek yeterli yanal tutululuğa sahip değildir. Çözülen birçok örnek üzerinde bu durum tekrar tekrar incelenerek Y-Pro nun, konsol kirişin de bulunduğu dört tarafından kirişlerle çevrili bir düğüm noktasını kuşatılmış olarak kabul ettiği görülmüştür. Bu hata, kolon-kiriş birleşim bölgesindeki kesme güvenliği hesaplarını doğrudan etkilemektedir. Kullanıcı bu durumu dikkate alarak mutlaka el hesaplarıyla kontrol yapmalıdır. Kesme güvenliği sağlanmış gibi gözükken bir düğüm noktası, aslında yetersiz olabilmektedir.

İkinci bir kontrol amacıyla K106 kirişinin genişliği 30 cm den 25 cm ye düşürülerek TDY 2007 Madde 3.5.1 (a) paragrafında belirtilen koşulun sağlanıp sağlanmadığı incelenmiştir. Model tekrar analiz edildiğinde 1. kattaki S6 ve S7 kolonlarının kuşatılmamış olarak kabul edildiği görülmektedir. Yazılım, kiriş genişliğinin kolon genişliğine oranını ( $b_w/b \geq 3/4$ ) dikkate almaktadır.

Yapıdaki herhangi bir kolon-kiriş bileşim bölgesinin kesme güvenliği, birleşimin kuşatılmış olup olmamasına bağlıdır. Kesme güvenliği hesapları ve tasarım sınırlamalarıyla ilgili olarak TDY 2007 Madde 3.5.2:

**3.5.2.1 – Göz önüne alınan deprem doğrultusunda kolon-kiriş birleşim bölgelerindeki kesme kuvveti, Denk.(3.11) ile hesaplanacaktır (Şekil 3.10).**

$$V_e = 1.25 f_{yk} (A_{s1} + A_{s2}) - V_{kol} \quad (3.11)$$

*Kirişin kolona sadece bir taraftan saplandığı ve öbür tarafta devam etmediği durumlar için  $A_{s2} = 0$  alınacaktır.*

**3.5.2.2 – Herhangi bir birleşim bölgesinde Denk.(3.11) ile hesaplanan kesme kuvveti, göz önüne alınan deprem doğrultusunda hiçbir zaman aşağıda verilen sınırları aşmayacaktır (Şekil 3.10). Bu sınırların aşılması durumunda, kolon ve/veya kiriş kesit boyutları büyütülerek deprem hesabı tekrarlanacaktır.**

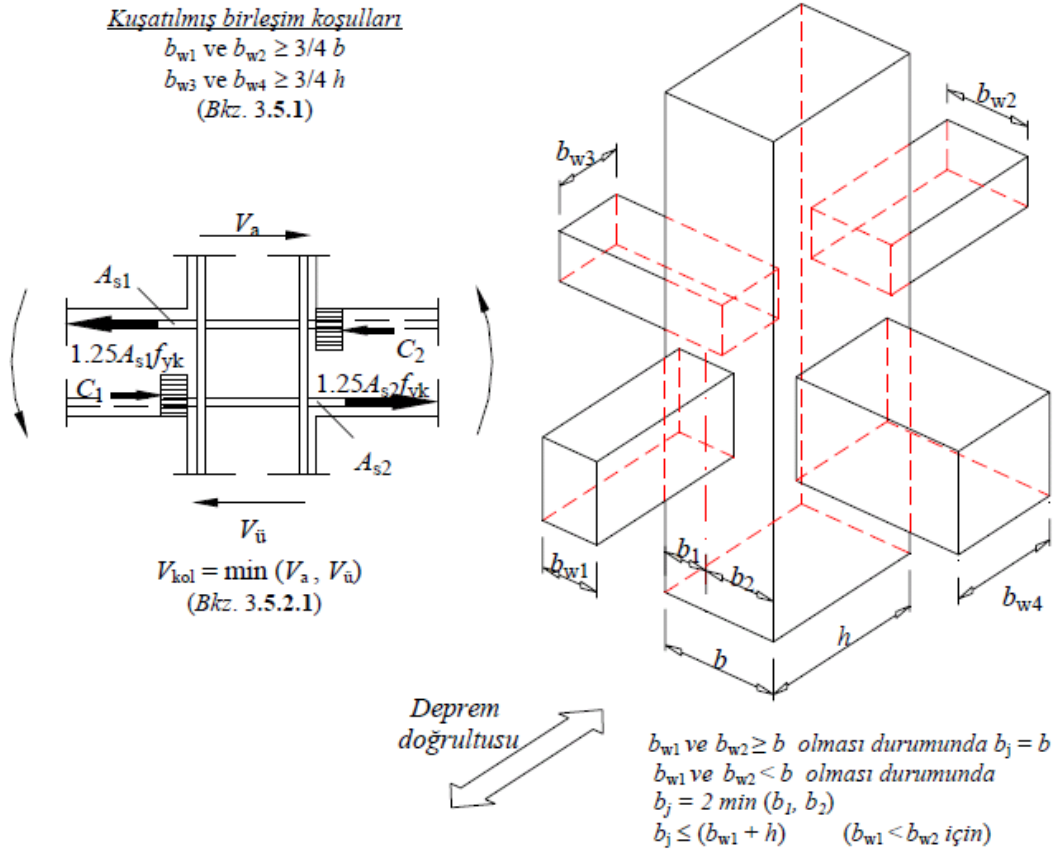
**(a) Kuşatılmış birleşimlerde:**  $V_e \leq 0.60 b_j h f_{cd}$  **(3.12)**

**(b) Kuşatılmamış birleşimlerde:**  $V_e \leq 0.45 b_j h f_{cd}$  **(3.13)**

**3.5.2.3 – Kolon-kiriş birleşim bölgesindeki minimum enine donatı koşulları aşağıda verilmiştir (Şekil 3.3):**

**(a) Kuşatılmış birleşimlerde, alttaki kolonun sarılma bölgesi için bulunan enine donatı miktarının en az %40'ı, birleşim bölgesi boyunca kullanılacaktır. Ancak, enine donatının çapı 8 mm'den az olmayacak ve aralığı 150 mm'yi aşmayacaktır.**

(b) Kuşatılmamış birleşimlerde, alttaki kolonun sarılma bölgesi için bulunan enine donatı miktarının en az %60'ı, birleşim bölgesi boyunca kullanılacaktır. Ancak bu durumda, enine donatının çapı 8 mm'den az olmayacak ve aralığı 100 mm'yi aşmayacaktır.

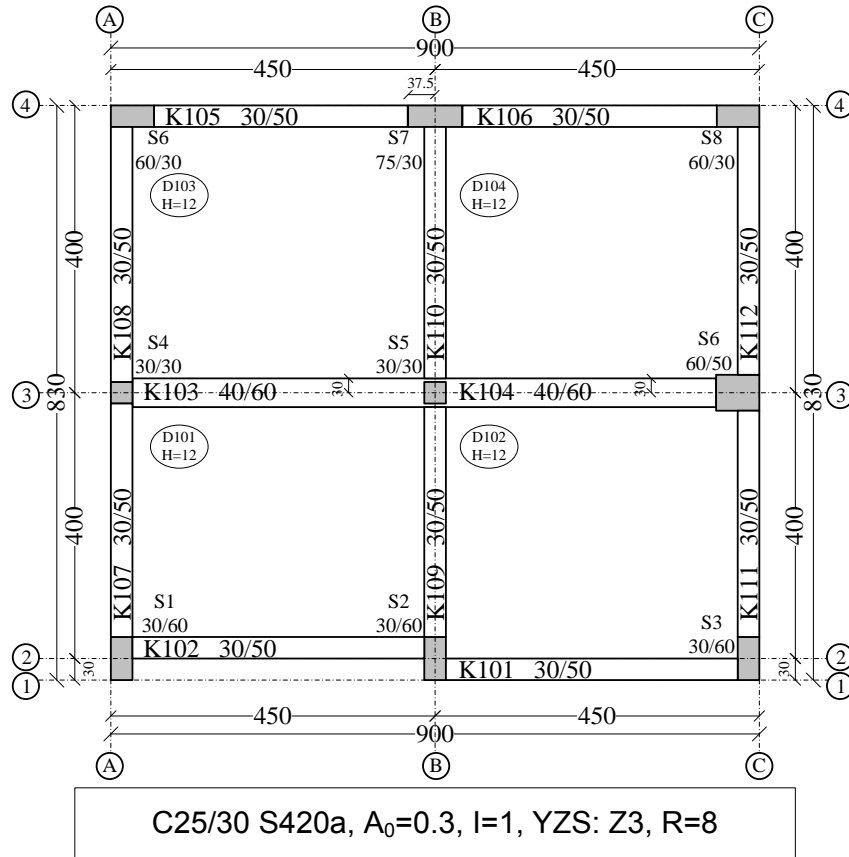


Şekil 3.64 TDY 2007 Şekil 3.10

TDY 2007 Madde 3.2.5 de sunulan alt maddeleri incelemek amacıyla Şekil 3.65 deki sistem Y-Pro da analiz edilmiştir. Analiz öncesinde aşağıdaki kabuller yapılmıştır:

- Yapı 3 katlı olarak tasarlanmış, kolon ve kiriş boyutları her katta aynı modellenmiştir.
- Kat yükseklikleri her katta aynı ve 3 m dir.
- Eşdeğer deprem yükü yöntemine göre deprem analizi yapılmıştır.
- Elemanların zati ağırlıkları ihmal edilmemiştir.

- İlave olarak döşemelerde  $2 \text{ kN/m}^2$  hareketli yük bulunmakta, kirişlerin üzerinde duvar yükü bulunmamaktadır.
- Rijit diyafram kabulü yapılmıştır.
- Düğüm noktalarının sonsuz rijit olduğu kabulü yapılmamıştır.



Şekil 3.65 TDY 2007 Madde 2.5.2 nin ir delenmesine ait kalıp planı

Analiz sonrasında düğüm noktaları kesme güvenliği raporları incelenmiştir. X doğrultusu deprem kuvvetleri için 1. kat S2 kolonunun bulunduğu düğüm noktasında K101 ve K102 kirişleri aynı aks üzerinde bulunmamaktadır. Çizim çıktıları incelediğinde de K101 ve K102 kirişleri münferit birer kiriş olarak çizilmektedir. Fakat yazılım, kesme güvenliği hesaplarında her iki kirişteki boyuna donatıların toplamını ( $A_{S1}$ ,  $A_{S2}$ ) hesaplamakta ve  $V_e$  değerini bu toplama göre bulmaktadır.

X doğrultusu deprem kuvvetleri için 1. kat S5 kolonunun bulunduğu düğüm noktasındaki K103 ve K104 kirişlerinin genişlikleri ( $b_{W1}$  ve  $b_{W2}$ ) S5 kolonunun

genişliğinden (b) fazladır. TDY 2007 ye göre böyle bir durumda  $b_j$  değeri ( $b_{w1}$  ve  $b_{w2} \geq b$  için) b olmalıdır. Kesme güvenliği raporları incelendiğinde yazılımın bu düğüm için ilgili deprem doğrultusunda  $b_j$  değerini  $b=40$  cm aldığı görülmüştür. Yazılım bu şartı yerine getirmektedir.

Y doğrultusundaki deprem göz önüne alınarak 1. kat S7 kolonun bulunduğu düğüm noktası incelenmiştir. TDY 2007 Şekil 3.10 da  $b_j \leq (b_{w1}+h)$  koşulu bulunmaktadır. Buna göre  $b_j$  değeri  $b_{w1}+h=30+30=60$  cm den fazla olamaz. Raporlarda ise bu değer (b<sub>j</sub>), 75 cm olarak hesaplandığı görülmüştür. Yazılım, TDY 2007 Şekil 3.10 daki  $b_j \leq (b_{w1}+h)$  koşulunu dikkate almamıştır.

Y-Pro sunumunda, analiz sonrasında kolon ve kiriş donatı çap ve adetlerinin yazılım üzerinde kullanıcı tarafından değiştirilebileceğini belirtmektedir. Herhangi bir düğüme bağlanan kiriş boyuna donatılarının değiştirilmesi durumunda  $V_e$  değerinin de değişeceği açıktır. Bu amaçla, K101 sağ mesnet alt ve üst donatıları arttırılmış ve yazılıma kolon-kiriş birleşim bölgesi kesme güvenliği hesabı tekrarlatılmıştır. Raporda ilgili donatı alanları arttırılarak  $V_e$  değerinin yeniden hesaplandığı görülmüştür. Yazılım, modelde ve donatılarda değişiklik yapılması durumunda kolon-kiriş birleşim bölgesi kesme güvenliği hesaplarının yenilenmesi gerektiği konusunda kullanıcıyı uyarmaktadır.

Y-Pro, mesnetlerde kiriş boyuna donatılarına ek yapılması durumunda  $A_{s1}$  ve  $A_{s2}$  boyuna donatı alanlarını hesaplarken bindirmeden dolayı oluşan fazla donatı alanlarını dikkate almamaktadır. Bu durum, oluşması beklenen kesme kuvvetinden daha az bir değer göz önünde bulunmasına neden olmaktadır. Kullanıcı bu durumu dikkate almalıdır.

TDY 2007 Madde 3.5.2.3 (a) ve (b) paragraflarındaki sınır şartların yerine getirilip getirilmediğini kontrol etmek amacıyla şantiyeye gidecek kolon boy açılımlarına ait çizimler incelenmiştir. Yazılım, bütün kolon-kiriş birleşim bölgelerinde etriye aralığını 15 cm çizmektedir. Oysa S5 kolonu haricindeki bütün kolonlar kuşatılmamış kolondur. Kuşatılmamış kolonlarda, bütün katlarda etriye aralığı 10 cm den fazla olmamalıdır. Bu durum TDY 2007 ye tamamen ters düşmektedir. Kullanıcı bu hatayı başka bir çizim programında mutlaka düzeltmelidir.

### 3.5.13 Eşdeğer Deprem Yüğü Yönteminin İrdelenmesi

Eşdeğer deprem yükünün bir yapı modeli üzerinde uygulanabilmesi için getirilen sınırlamalar TDY 2007 Tablo 2.6 da gösterilmektedir. Y-Pro nun bu sınırlamaları dikkate alıp almadığını kontrol etmek amacıyla farklı yapı modellerinin analizleri yapılmıştır. İrdelenen sonuçlarda, Y-Pro nun TDY 2007 Tablo 2.6 da sunulan koşulları dikkate aldığı görülmüştür. Yazılım, TDY 2007 Tablo 2.6 daki koşulların sağlanmaması durumunda kullanıcıyı uyarmakta ve mod birleştirme yöntemine göre dinamik analiz yapılmasını istemektedir.

<i>Deprem Bölgesi</i>	<i>Bina Türü</i>	<i>Toplam Yükseklik Sınırı</i>
1, 2	Her bir katta burulma düzensizliği katsayısının $\eta_{bi} \leq 2.0$ koşulunu sağladığı binalar	$H_N \leq 25$ m
1, 2	Her bir katta burulma düzensizliği katsayısının $\eta_{bi} \leq 2.0$ koşulunu sağladığı ve ayrıca <b>B2</b> türü düzensizliğinin olmadığı binalar	$H_N \leq 40$ m
3, 4	Tüm binalar	$H_N \leq 40$ m

Şekil 3.66 TDY 2007 Şekil 2.6

#### 3.5.13.1 Eşdeğer Deprem Kuvvetlerinin İrdelenmesi

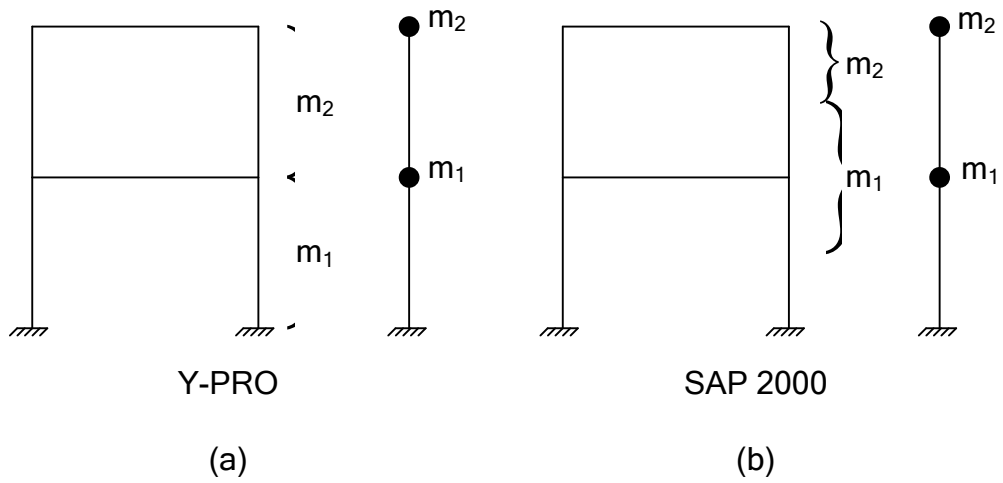
Y-Pro nun hesapladığı yapının serbest titreşim periyotları, taban kesme kuvveti ve katlara etkiyen deprem kuvvetlerini irdelemek amacıyla, uygulamada sıklıkla karşılaşılan geometriye sahip bir yapı modeli (Şekil 3.67) üzerinde Y-Pro ve SAP 2000 yazılımları ile yapısal analiz yapılmıştır. SAP 2000 yardımı ile yapının serbest titreşim periyotları, yapı ağırlığı ve kat ağırlıkları bulunmuştur. Analiz öncesinde yapılan kabuller aşağıda verilmektedir:

- Yapı, birinci derece deprem bölgesinde inşa edilecektir.
- 4 katlı olan yapının kat yükseklikleri 3 m dir.
- Deprem hesapları eşdeğer deprem yükü yöntemine göre yapılmıştır.





edildiği sorusu akla gelebilir. Bunun nedeni Y-Pro ile SAP 2000 arasındaki hesap farklarını en aza indirmektir. Y-Pro kütle hesaplarında ilgili katın kolon, kiriş ve döşemelerinin kütlelerinin tamamını, o katın kütle merkezinde toplamaktadır (Şekil 3.68 a). SAP 2000 ise katlar arasında kalan kolonların kütlelerinin yarısını üst kata, yarısını alt kata ilave edecek şekilde dağıtmaktadır (Şekil 3.68 b). Bu durumda kat kütleleri SAP 2000 den farklı hesaplandığından, yapının serbest titreşim periyotları da farklı çıkmaktadır. Modelleme farkını gidermek amacıyla elemanların zati ağırlıkları ihmal edilmiştir.



Şekil 3.68 SAP 2000 ve Y-Pro ya ait kat kütlelerinin dağılım modeli

Çizelge 3.59 Şekil 3.67 deki yapıya ait serbest titreşim periyotları

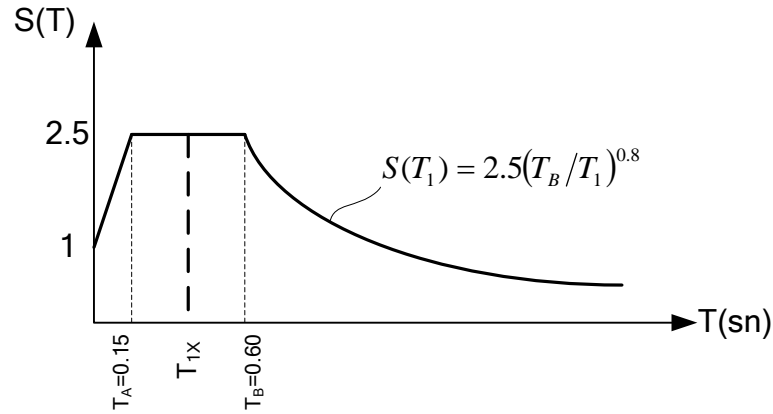
MODLAR	T (sn)		X YÖNÜ Y YÖNÜ
	Y-PRO	SAP 2000	
1	0.4126	0.3985	
2	0.3679	0.3627	
3	0.3133	0.2815	
4	0.1240	0.1219	
5	0.1161	0.1149	
6	0.0993	0.0894	
7	0.0660	0.0806	
8	0.0641	0.0776	
9	0.0555	0.0770	
10	0.0471	0.0757	
11	0.0445	0.0757	
12	0.0388	0.0716	

Çizelge 3.60 Şekil 3.67 deki yapıya ait kat ağırlıkları

KAT AĞIRLIKLARI (g+nq) kN		
KATLAR	Y-PRO	SAP 2000
1	1173.6	1173.5
2	1173.6	1173.5
3	1173.6	1173.5
4	1173.6	1173.5
<b>TOPLAM</b>	<b>4694.2</b>	<b>4694.05</b>

Analiz sonrasında her iki yazılımın bulunduğu serbest titreşim periyotları ve yapı ağırlığı, Çizelge 3.59 ve 3.60 da verilmiştir. Sonuçlarda ilk göze çarpan, periyotların kabul edilebilir yakınlıkta olduğu fakat aynı olmadığıdır. Kat ağırlıklarının eşit olmasına rağmen periyotların farklı olmasının nedeni global rijitlik matrislerinin aynı olmamasıdır. Y-Pro da döşemelerin yapının analitik modeline sadece yük ve diyafram olarak katıldığını döşemelerin irdelenmesi esnasında belirtmiş idik. Y-Pro yapıyı sonlu elemanlar metoduna göre kolon ve kirişlerden oluşan çubuk elemanlar olarak çözmekteydi (Perdeler çubuk veya kabuk eleman olarak çözülebilmektedir). Şekil 3.67 deki örnek SAP 2000 ile modellenirken döşemeler yapı modeline düzlem elemanlar olarak dâhil edilmiştir. SAP 2000 yapının global rijitlik matrisini oluştururken döşemeleri de dikkate almıştır. Bu nedenle hesaplanan periyotlar aynı çıkmamaktadır. Sadece çubuk elemanlardan oluşan sistemlerin periyotlarının karşılaştırılması ileriki paragraflarda yapılacaktır.

Hesaplanan  $T_{1X}$  ve  $T_{1Y}$  periyotlarına göre TDY 2007 deki ilgili denklemler kullanılarak her iki yön için katlara etkiyen deprem kuvvetlerinin hesaplanması gerekmektedir. Örnek olması açısından sadece X yönü deprem kuvvetleri elle hesaplanmıştır.



Şekil 3.69 Şekil 3.67 deki örneğe ait X yönü spektrum grafiği

$$S(T_{1X})=2.5 \quad \dots\dots\dots T_A < T_{1X} = 0.3985 \leq T_B$$

$$A(T_{1X}) = A_0 I S(T_{1X}) = 0.4 \times 1 \times 2.5$$

$$A(T_{1X}) = 1$$

$$R_a(T_{1X}) = R = 8 \quad \dots\dots\dots T_A < T_{1X} = 0.3985$$

Yukarıda bulunan değerlere göre TDY 2007 Denk 2.4 yardımı ile yapının X yönündeki deprem kuvvetinden dolayı oluşan taban kesme kuvveti hesaplanır.

$$V_{ix} = \frac{W A(T_{1X})}{R_a(T_{1X})} \geq 0.10 A_0 I W$$

$$V_{ix} = \frac{4694.05 \times 1}{8} \geq 0.1 \times 0.4 \times 4694.05$$

$$V_{ix} = 586.8 \text{ kN} \geq 187.8 \text{ kN}$$

X yönü deprem kuvveti için yapının tabanında oluşan taban kesme kuvveti  $V_{ix} = 586.8 \text{ kN}$  olarak hesaplanmıştır. Bu kuvvet katlara dağıtılmalıdır. İlk olarak binanın çatı katına etki eden ek eşdeğer deprem kuvveti  $\Delta F_N$  hesaplanmalıdır.

$$\Delta F_{4X} = 0.0075NV_t$$

$$\Delta F_{4X} = 0.0075 \times 4 \times 586.8 \text{ kN}$$

Her kata gelen deprem kuvveti aşağıdaki gibi hesaplanır:

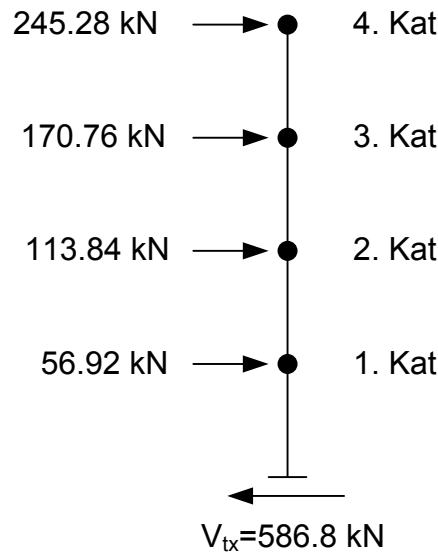
$$F_i = (V_t - \Delta F) \frac{w_i H_i}{\sum_{j=1}^N w_j H_j}$$

$$F_{1X} = (586.8 - 17.6) \frac{1173.5 \times 3}{35205} = 56.92 \text{ kN}$$

$$F_{2X} = (586.8 - 17.6) \frac{1173.5 \times 6}{35205} = 113.84 \text{ kN}$$

$$F_{3X} = (586.8 - 17.6) \frac{1173.5 \times 9}{35205} = 170.76 \text{ kN}$$

$$F_{4X} = (586.8 - 17.6) \frac{1173.5 \times 12}{35205} = 245.28 \text{ kN} \text{ } (\Delta F_{4X} \text{ eklenmiş olarak})$$



Şekil 3.70 Şekil 3.67 ye ait dinamik model ve deprem kuvvetleri

Her iki yön için de Y-Pro ve el hesaplarına ait sonuçlar çizelge 3.61 de verilmiştir. Sonuçlar incelendiğinde Y-Pro nun eşdeğer deprem yükü yöntemine ait hesapları doğru yaptığı görülmektedir. Dikkat edilmesi gereken bir diğer husus 1.

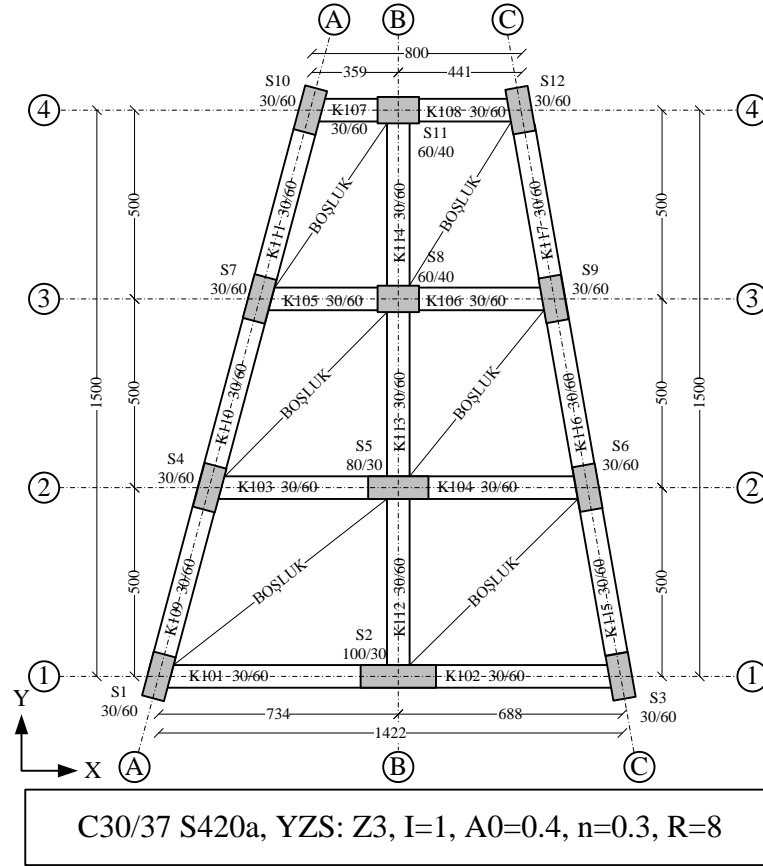
serbest titreşim periyodunun  $T_A$  ve  $T_B$  aralığında çıkmasıdır. Eğer serbest titreşim periyodu bu aralığın dışında bir bölgede çıkmış olsaydı, Y-Pro nun bulunduğu deprem kuvvetleri ile el hesapları ile bulunan deprem kuvvetleri bir miktar farklı olacaktı.

Çizelge 3.61 Şekil 3.67 için bulunan X ve Y yönü deprem kuvvetleri

KAT	X YÖNÜ $F_i$ (kN)		Y YÖNÜ $F_i$ (kN)	
	Y-PRO	EL HESABI	Y-PRO	EL HESABI
1	56.92	56.92	56.92	56.92
2	113.84	113.84	113.84	113.84
3	170.75	170.76	170.75	170.76
4	245.27	245.28	245.27	245.28

Y-Pro nun yapısal analiz sırasında döşemeleri yük ve diyafram olarak hesaplara dâhil edebileceği, yapısal eleman olarak sistemin global rijitlik matrisine bir katkısının olmadığı daha önceki paragraflarda belirtilmişti. Bu nedenle, SAP 2000 de döşemelerin, kolon ve kirişlerle beraber modellenmesi durumunda yapılan karşılaştırma, sonuçların karşılaştırılması açısından sağlıklı olmamaktadır. Bu nedenle Şekil 3.71 deki döşemesiz kalıp planına ait sistem Y-Pro ve SAP 2000 de modellenerek serbest titreşim periyotları karşılaştırılmıştır. Analiz öncesinde yapılan kabuller aşağıda verilmektedir:

- Yapı, birinci derece deprem bölgesinde inşa edilecektir.
- 4 katlı olan yapının kat yükseklikleri 3 m dir.
- Deprem hesapları eşdeğer deprem yükü yöntemine göre yapılmıştır.
- Elemanların zati ağırlıkları ihmal edilmiştir.
- Sistemde döşeme bulunmamaktadır.
- 1, 2 ve 3. katlarda bütün kirişlerde 10 kN/m sabit ve 7 kN/m hareketli yük bulunmaktadır. 4. katta ise 6 kN/m sabit ve 3 kN/m hareketli yük bulunmaktadır.
- Sistemde döşeme bulunmadığından rijit diyafram kabulü yapılmamıştır.
- Düğüm noktalarının sonsuz rijit davrandığı kabulü yapılmamıştır.
- Hesaba katılacak mod adedi 12 dir.



Şekil 3.71 Serbest titreşim periyotlarının karşılaştırılmasına ait kalıp planı

Çizelge 3.62 Şekil 3.71 deki yapıya ait serbest titreşim periyotları

MODLAR	T (sn)	
	Y-PRO	SAP 2000
1	0.3495	0.3495
2	0.3167	0.3167
3	0.2850	0.2850
4	0.2182	0.2182
5	0.1841	0.1841
6	0.1615	0.1615
7	0.1232	0.1232
8	0.1154	0.1154
9	0.1134	0.1134
10	0.1005	0.1005
11	0.0925	0.0925
12	0.0836	0.0836

Çizelge 3.63 Şekil 3.71 deki yapıya ait kat ağırlıkları

KAT AĞIRLIKLARI (g+nq) kN		
KATLAR	Y-PRO	SAP 2000
1	598.3	598.3
2	1049.2	1049.2
3	1049.2	1049.2
4	1049.2	1049.2
<b>TOPLAM</b>	<b>3745.9</b>	<b>3745.9</b>

Çizelge 3.62 ve 3.63 den de görüldüğü gibi her iki yazılımın hesaplamış olduğu değerler eşit çıkmıştır.

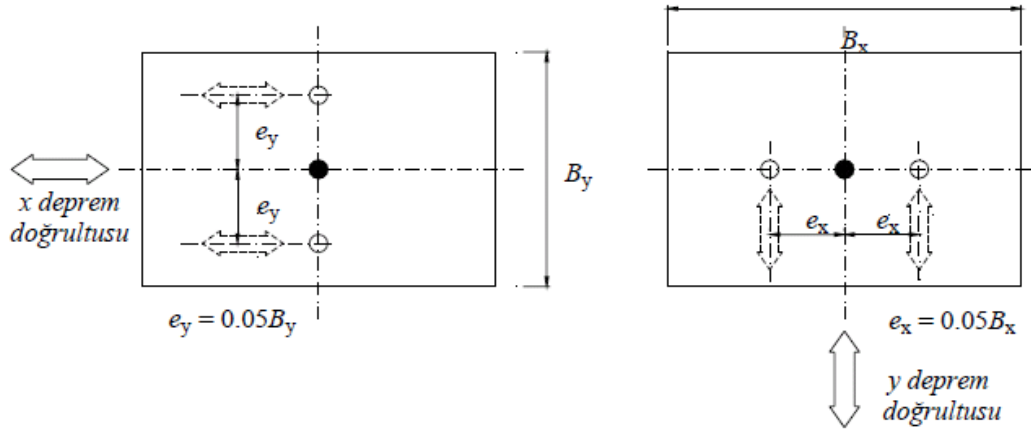
Bir yapıda döşemelerin olmaması veya rijit diyafram davranışını sergileyecek kararlılıkta döşemeler bulunmaması durumunda katlara gelen deprem kuvvetleri kat ağırlık merkezi yerine kütlelerin yoğunlaştığı düğüm noktalarına etkitilir. Bu konuyla ilgili olarak TDY 2007 Madde 2.7.3 de:

**2.7.3.1** – Döşemelerin yatay düzlemde rijit diyafram olarak çalıştığı binalarda, her katta iki yatay yer değiştirme bileşeni ile düşey eksen etrafındaki dönme, bağımsız yer değiştirme bileşenleri olarak göz önüne alınacaktır. Her katta 2.7.2'ye göre belirlenen eşdeğer deprem yükleri, ek dışmerkezlik etkisi'nin hesaba katılabilmesi amacı ile göz önüne alınan deprem doğrultusuna dik doğrultudaki kat boyutunun +%5'i ve -%5'i kadar kaydırılması ile belirlenen noktalara ve ayrıca kat kütle merkezine uygulanacaktır (**Şekil 2.7**).

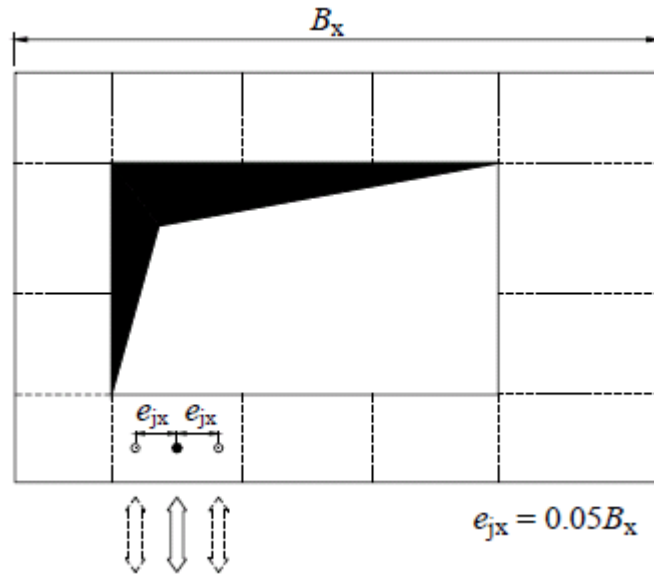
**2.7.3.2** – **Tablo 2.1**'de tanımlanan **A2** türü düzensizliğin bulunduğu ve döşemelerin yatay düzlemde rijit diyafram olarak çalışmadığı binalarda, döşemelerin yatay düzlemdeki şekil değiştirmelerinin göz önüne alınmasını sağlayacak yeterlikte bağımsız statik yer değiştirme bileşeni hesapta göz önüne alınacaktır. Ek dışmerkezlik etkisinin hesaba katılabilmesi için, her katta çeşitli noktalarda dağılı bulunan tekil kütlelere etkiyen eşdeğer deprem yüklerinin her



biri, deprem doğrultusuna dik doğrultudaki kat boyutunun +%5'i ve -%5'i kadar kaydırılacaktır (Şekil 2.8).



Şekil 3.72 TDY 2007 Şekil 2.7



Şekil 3.73 TDY 2007 Şekil 2.8

denilmektedir. Y-Pro, rijit diyafram kabulünün yapılmadığı analizlerde deprem kuvvetlerini kütlelerin yoğunlaştığı düğüm noktalarına etkitmektedir. Buraya kadar bir problem olmamasına rağmen yazılım, Şekil 3.73 deki dışmerkezlikleri dikkate almamaktadır. Bu durum TDY 2007 Madde 2.7.3.2 de belirtilen 'Ek dışmerkezlik

*etkisinin hesaba katılabilmesi için, her katta çeşitli noktalarda dağılı bulunan tekil kütlelere etkiyen eşdeğer deprem yüklerinin her biri, deprem doğrultusuna dik doğrultudaki kat boyutunun +%5'i ve -%5'i kadar kaydırılacaktır.'* ifadesine aykırıdır.

### **3.5.14 Mod Birleştirme Yönteminin İrdelenmesi**

Eşdeğer deprem yükü yönteminin mantığı, yapının ilk serbest titreşimi esnasında yapının tabanında oluşacak kesme kuvvetinin maksimum büyüklükte olmasıdır. Yani basit bir dille, deprem anında yapının tabanındaki en büyük zorlanma ilk salınım esnasında oluşmaktadır. Fakat yapı yüksekliği arttıkça veya yapıda düzensizlikler bulunuyorsa, 2., 3. ve diğer modlar da önem kazanmaya başlayacaktır. Bu nedenle yapıda oluşacak iç kuvvetler ve deplasmanlar, mod katkılarının istatistiksel olarak birleştirilmesi ile hesaplanır. Bu yöntem mod birleştirme adı verilmektedir.

Şekil 3.67 ve 3.71 deki yapı modelleri, mod birleştirme yöntemi kullanılarak Y-Pro ve SAP 2000 yazılımları ile analiz edilmiştir. Kolaylık sağlaması açısından sonuçlar TDY 2007 ye göre madde madde incelenecektir.

#### *TDY 2007 Madde 2.8.2. Göz önüne Alınacak Dinamik Serbestlik Dereceleri*

*2.8.2.1 – Döşemelerin yatay düzlemde rijit diyafram olarak çalıştığı binalarda, her bir katta, birbirine dik doğrultularda iki yatay serbestlik derecesi ile kütle merkezinden geçen düşey eksen etrafındaki dönme serbestlik derecesi göz önüne alınacaktır. Her katta modal deprem yükleri bu serbestlik dereceleri için hesaplanacak, ancak ek dışmerkezlik etkisi'nin hesaba katılabilmesi amacı ile deprem doğrultusuna dik doğrultudaki kat boyutunun +%5'i ve -%5'i kadar kaydırılması ile belirlenen noktalara ve ek bir yükleme olarak kat kütle merkezine uygulanacaktır (Şekil 2.7).*

*2.8.2.2 – Tablo 2.1'de A2 başlığı altında tanımlanan döşeme süreksizliğinin bulunduğu ve döşemelerin yatay düzlemde rijit diyafram olarak çalışmadığı binalarda, döşemelerin kendi düzlemleri içindeki şekil değiştirmelerinin göz önüne alınmasını sağlayacak yeterlikte dinamik serbestlik*

derecesi göz önüne alınacaktır. Ek dışmerkezlik etkisinin hesaba katılabilmesi için, her katta çeşitli noktalarda dağılı bulunan tekil kütlelere etkiyen modal deprem yüklerinin her biri, deprem doğrultusuna dik doğrultudaki kat boyutunun +%5'i ve -%5'i kadar kaydırılacaktır (Şekil 2.8). Bu tür binalarda, sadece ek dışmerkezlik etkilerinden oluşan iç kuvvet ve yer değiştirme büyüklükleri 2.7'ye göre de hesaplanabilir. Bu büyüklükler, ek dışmerkezlik etkisi göz önüne alınmaksızın her bir titreşim modu için hesaplanarak 2.8.4'e göre birleştirilen büyüklüklere doğrudan eklenecektir.

Yazılım Şekil 3.67 deki örnek için dış merkezlikleri dikkate alarak analiz yapabilmektedir. Fakat yapıda rijit diyafram kabulü yapılmaması durumunda (Şekil 3.71), eşdeğer deprem yükü yönteminde olduğu gibi ek dışmerkezlikler dikkate alınmamaktadır.

#### TDY 2007 Madde 2.8.3. Hesaba Katılacak Yeterli Titreşim Modu Sayısı

**2.8.3.1** – Hesaba katılması gereken yeterli titreşim modu sayısı,  $Y$ , göz önüne alınan birbirine dik  $x$  ve  $y$  yatay deprem doğrultularının her birinde, her bir mod için hesaplanan etkin kütle'lerin toplamının hiçbir zaman bina toplam kütlelerinin %90'ından daha az olmaması kuralına göre belirlenecektir:

$$\sum_{n=1}^Y M_{xn} = \sum_{n=1}^Y \frac{L_{xn}^2}{M_n} \geq 0.90 \sum_{i=1}^N m_i \quad (2.14)$$

$$\sum_{n=1}^Y M_{yn} = \sum_{n=1}^Y \frac{L_{yn}^2}{M_n} \geq 0.90 \sum_{i=1}^N m_i$$

**Denk.(2.14)**'te yer alan  $L_{xn}$  ve  $L_{yn}$  ile modal kütle  $M_n$ 'nin ifadeleri, kat döşemelerinin rijit diyafram olarak çalıştığı binalar için aşağıda verilmiştir:

$$L_{xn} = \sum_{i=1}^N m_i \Phi_{xin} \quad ; \quad L_{yn} = \sum_{i=1}^N m_i \Phi_{yin} \quad (2.15)$$

$$M_n = \sum (m_i \Phi_{xin}^2 + m_i \Phi_{yin}^2 + m_{\theta} \Phi_{\theta n}^2)$$

**2.8.3.2 – Bodrum katlarında rijitliği üst katlara oranla çok büyük olan betonarme çevre perdelerinin bulunduğu ve bodrum kat döşemelerinin yatay düzlemde rijit diyafram olarak çalıştığı binaların hesabında, sadece bodrum katların üstündeki katlarda etkin olan titreşim modlarının göz önüne alınması ile yetinilebilir. Bu durumda, Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi için verilen 2.7.2.4'ün (a) paragrafının karşılığı olarak Mod Birleştirme Yöntemi ile yapılacak hesapta, bodrumdaki rijit çevre perdeleri göz önüne alınmaksızın **Tablo 2.5**'ten seçilen R katsayısı kullanılacak ve sadece üstteki katların kütleleri göz önüne alınacaktır. 2.7.2.4'ün (b) ve (c) paragrafları ise aynen uygulanacaktır.**

Şekil 3.71 deki örneğe ait her bir mod için etkin kütleler Çizelge 3.64 de verilmektedir.

**Çizelge 3.64 Şekil 3.71 deki örneğe ait etkin kütleler**

X ve Y YÖNLERİ İÇİN ETKİN KÜTLELER (%)				
MOD	Y-PRO		SAP 2000	
	X YÖNÜ	Y YÖNÜ	X YÖNÜ	Y YÖNÜ
1	65.16	2.00	65.16	2.00
2	66.82	84.05	66.82	84.05
3	81.04	84.05	81.04	84.05
4	83.13	84.11	83.13	84.11
5	83.41	84.20	83.41	84.20
6	83.42	84.82	83.42	84.82
7	83.42	84.84	83.42	84.84
8	83.85	91.56	83.86	91.56
9	91.55	91.82	91.55	91.81
10	91.57	91.82	91.58	91.81
11	92.68	91.82	92.68	91.81
12	93.10	94.06	93.10	94.05

Y-Pro ve SAP 2000 e ait sonuçların örtüştüğü görülmektedir. Aynı örnek 5 adet modun hesaba katılması ile çözüldüğünde, yazılım hesap raporlarında hesaba katılacak mod adedinin arttırılarak yeniden analiz yapılması hususunda uyarı vermektedir.

#### *TDY 2007 Madde 2.8.4. Mod Katkılarının Birleştirilmesi*

*Binaya etkiyen toplam deprem yükü, kat kesme kuvveti, iç kuvvet bileşenleri, yer değiştirme ve görelî kat ötelemesi gibi büyüklüklerin her biri için ayrı ayrı uygulanmak üzere, her titreşim modu için hesaplanan ve eşzamanlı olmayan maksimum katkıların istatistiksel olarak birleştirilmesi için uygulanacak kurallar aşağıda verilmiştir:*

*2.8.4.1 –  $T_m < T_n$  olmak üzere, göz önüne alınan herhangi iki titreşim moduna ait doğal periyotların daima  $T_m / T_n < 0.80$  koşulunu sağlaması durumunda, maksimum mod katkılarının birleştirilmesi için Karelerin Toplamının Kare Kökü Kuralı uygulanabilir.*

*2.8.4.2 – Yukarıda belirtilen koşulun sağlanamaması durumunda, maksimum mod katkılarının birleştirilmesi için Tam Karesel Birleştirme (CQC) Kuralı uygulanacaktır.*

*Bu kuralın uygulanmasında kullanılacak çapraz korelasyon katsayıları'nın hesabında, modal sönüm oranları bütün titreşim modları için %5 olarak alınacaktır.*

Yazılım bu iki yöntemden sadece Tam Karesel Birleştirme (CQC) yöntemini kullanmaktadır. Bu nedenle  $T_m / T_n < 0.80$  koşulu aranmamaktadır.

#### *TDY 2007 Madde 2.8.5. Hesaplanan Büyüklüklere İlişkin Alt Sınır Değerleri*

*Göz önüne alınan deprem doğrultusunda, 2.8.4'e göre birleştirilerek elde edilen bina toplam deprem yükü  $V_{IB}$ 'nin, Eşdeğer Deprem Yükü Yöntemi'nde Denk.2.4'ten hesaplanan bina toplam deprem yükü  $V_i$ 'ye oranının aşağıda tanımlanan  $\beta$  değerinden küçük olması durumunda ( $V_{IB} < \beta V_i$ ), Mod Birleştirme*

Yöntemi'ne göre bulunan tüm iç kuvvet ve yer değiştirme büyüklükleri, Denk.(2.16)'ya göre büyütülecektir.

$$B_D = \frac{\beta V_t}{V_{tB}} B_B \quad (2.16)$$

**Tablo 2.1**'de tanımlanan **A1**, **B2** veya **B3** türü düzensizliklerden en az birinin binada bulunması durumunda **Denk.(2.16)**'da  $\beta=0.90$ , bu düzensizliklerden hiçbirinin bulunmaması durumunda ise  $\beta=0.80$  alınacaktır.

Şekil 3.71 deki örnekte Y-Pro A1 ve B2 düzensizliği bulmaktadır. Bu nedenle yazılım  $\beta$  katsayısını 0.90 almaktadır.  $\beta=0.90$  için  $V_{tB} < \beta V_t$  koşulu sağlanmamış olduğundan yazılım bütün iç kuvvet ve deplasmanların  $B_D=1.25$  oranında arttırıldığını belirtmektedir. Sonuç olarak yazılım TDY 2007 Madde 2.8.5 deki koşulları yerine getirmektedir.

### 3.5.15 Y-Pro nun Sunduğu Hesap Raporlarının İrdelenmesi

TS 500–2000 ve TDY 2007 de yapısal analiz ve betonarme tasarıma ait yapılan hesaplarla ilgili olarak getirilen koşullar aşağıda sunulmaktadır:

*TS 500–2000 Madde 2.2 Yapısal Çözümleme Ve Kesit Hesapları*

*Elle veya bilgisayarla yapılan çözümleme ve kesit hesaplarının başında "Tasarım İlkeleri" adı altında aşağıdaki bilgiler özet olarak verilir:*

- *Yapının taşıyıcı sistemini açıklayan krokiler*
- *Temel zemini cinsi, temel kotu, zemin özellikleri ve zemin emniyet gerilmesi*
- *Kullanılan donatı çeliği sınıfı*
- *Kullanılan beton sınıfı*
- *İlgili yük şartnamesi, varsa özel yükleme hallerine ait bilgiler*
- *Deprem yönetmeliğinden alınan bilgiler (etkili yer ivme katsayısı, süneklilik düzeyi, davranış katsayısı vb)*

- Yapının maruz kalacağı çevre şartları ve buna göre maksimum çatlak genişlikleri
- Yatay ve düşey doğrultularda izin verilen yer değiştirme sınırları
- Yapı ve varsa bağımsız bölümünün duraylılık (stabilite) emniyet katsayıları
- Yararlanılan şartnameler ve kaynakların adları

Elle veya bilgisayarla yapılan hesaplarda sistemin statik ve dinamik çözümlene sonuçları açık ve kolay anlaşılır bir şekilde gösterilmelidir. Analizlerde ve kesit hesaplarında alışılmadık dışında denklemler veya abaklar kullanılmış ise bunlar belirtilmeli, kullanılan kaynak fotokopileri hesaplara ek olarak sunulmalıdır. Bilgisayarla yapılan analizlerde program girdileri açık bir şekilde belirtilerek hesabı kontrol eden kişinin elle veya başka bir programla sonuçları irdelemesine olanak sağlanmalıdır. Kullanılan programın, inceleme konusu yapı için yeterli olduğu yetkili kuruluşlarca daha önceden saptanmamışsa hesaplarla birlikte programın kullanıcı el kitabındaki bilgileri içeren bilgiler kontrole verilmelidir. Program çıktılarında her zaman sistem denge denklemlerinin sağlandığı gösterilmelidir.

#### TDY 2007 Madde 2.13. Deprem Hesap Raporlarına İlişkin Kurallar

Binaların deprem hesaplarını içeren hesap raporlarının hazırlanmasında aşağıda belirtilen kurallara uyulacaktır:

2.13.1 – Tasarımı yapılan bina için, Tablo 2.1’de tanımlanan düzensizlik türleri ayrıntılı olarak irdelenecek, eğer varsa, binada hangi tür düzensizliklerin bulunduğu açık olarak belirtilecektir.

2.13.2 – Seçilen süneklik düzeyi yüksek veya normal taşıyıcı sistemin Bölüm 3 veya Bölüm 4’teki koşullara göre tanımı açık olarak yapılacak ve Tablo 2.5’ten R katsayısının seçim nedeni belirtilecektir.

2.13.3 – Binanın bulunduğu deprem bölgesi, bina yüksekliği ve taşıyıcı sistem düzensizlikleri göz önüne alınarak, 2.6’ya göre uygulanacak hesap yönteminin seçim nedeni açık olarak belirtilecektir.

2.13.4 – Bilgisayarla hesap yapılması durumunda, aşağıdaki kurallar uygulanacaktır:

(a) *Düğüm noktalarının ve elemanların numaralarını gösteren üç boyutlu taşıyıcı sistem şeması hesap raporunda yer alacaktır.*

(b) *Tüm giriş bilgileri ile iç kuvvetleri ve yer değiştirmeleri de içeren çıkış bilgileri, kolayca anlaşılır biçimde mutlaka hesap raporunda yer alacaktır. Proje kontrol makamının talep etmesi durumunda, tüm bilgisayar dosyaları elektronik ortamda teslim edilecektir.*

(c) *Hesapta kullanılan bilgisayar yazılımının adı, müellifi ve versiyonu hesap raporunda açık olarak belirtilecektir.*

(d) *Proje kontrol makamının talep etmesi durumunda, bilgisayar yazılımının teorik açıklama kılavuzu ve kullanma kılavuzu hesap raporuna eklenecektir.*

### Hesap Raporlarının İrdelenmesi

Y-Pro da yapısal analiz esnasında oluşturulan denge denklemleri ve betonarme hesaplar sırasında kullanılan iterasyonlar haricinde yapının tamamına ait analiz sonuçları çıktı olarak alınabilmektedir. Hesap raporlarında yapı ile ilgili analiz öncesinde yapılan bütün kabuller sunulmaktadır. Yazılım ayarları ile kullanılacak birim sistemi seçilebilmektedir (MKS veya SI).

Analiz raporlarının başında bilgi amaçlı teorik açıklamalar sunulmamaktadır. Proje müellifi, yazılımın versiyonu her sayfada belirtilmiştir. Hesap raporlarının başında analiz tarihi sunulmaktadır. İsteğe bağlı olarak, yapının üç boyutlu, çubuk ve düğüm noktalarından oluşan sistem modeli ve eleman numaralarını içeren şema raporlara eklenebilmektedir. Yapısal düzensizliklere (A1, A2, A3, B1, B2, B3) ait hesap sonuçları detaylı olarak sunulmaktadır.

Yapılan kontroller öncesinde sembollerin açıklamaları belirtilmektedir. Seçilen semboller yönetmeliklerle uyum sağlamaktadır.



### 3.5.16 Y-Pro nun Sunduğu Çizimlerin İrdelenmesi

Bu başlık altında TS 500–2000 ve TDY 2007 yönetmeliklerinin sunmuş olduğu koşulların sağlanıp sağlanmadığı irdelenmek istenmektedir.

*TS 500–2000 Madde 2.3 Çizimler:*

*Betonarme yapılara ait tasarım çalışmalarının her aşamasına ait çizimler, ilgili aşamanın gerektirdiği ayrıntı ve ölçekte amaca yönelik bilgileri açık bir şekilde göstermelidir. Uygulama projelerine ait kalıp planı ve donatı detay çizimlerinde en az aşağıdaki bilgiler bulunmalıdır:*

- *Kullanılan beton sınıfı*
- *Çimento cinsi ve standart numarası*
- *Kullanılan donatı sınıfı*
- *Agreganın en büyük dane büyüklüğü*
- *Beton kıvamı*
- *Kalıp ve kalıp sökümlü ile ilgili uyarı ve öneriler*
- *Değişik elemanların değişik yüzlerindeki pas payları*
- *Donatı açıklmaları ve varsa, yapım sırasında gerçekleştirilecek donatı düzenlemeleri*
- *Beton içinde bırakılacak deliklerin yerleri, boru ve takozların yer ve boyutları*
- *Tasarımda göz önüne alınan işletme yükleri ve inşaat sırasında oluşabilecek en büyük yükler*
- *Temel çizimlerinde, zemin kotları, zemin özellikleri, zemin emniyet gerilmesi, temel altındaki zeminde alınacak önlemler*
- *Çizimler arası ilişkileri gösteren bilgiler*

*Yukarıda sıralanan bilgiler dışında beton döküm şartlarına bağlı olarak bırakılacak inşaat derzlerinde ve genleşme derzlerindeki düzenlemeler çizim ve açıklama notları ile tanımlanmalıdır.*

*TDY 2007 Madde 3.13 Betonarme Uygulama Projesi Çizimlerine İlişkin Kurallar:*

### 3.13.1. Genel Kurallar

3.13.1.1 – Binada uygulanacak beton kalitesi ile donatı çeliği kalitesi, bütün çizim paftalarında belirtilecektir.

3.13.1.2 – Tasarımda göz önüne alınan Etkin Yer İvmesi Katsayısı, Bina Önem Katsayısı, Tablo 6.2'ye göre seçilen Yerel Zemin Sınıfı ve Tablo 2.5'e göre belirlenen Taşıyıcı Sistem Davranış Katsayısı, bütün kalıp planı paftalarında belirtilecektir.

3.13.1.3 – 3.2.8'de tanımlanan özel deprem etriyelerine ve özel deprem çirozlarına ait kanca kıvrım detayları (Şekil 3.1) kolon, perde ve kiriş detay paftalarının her birinde gösterilecektir.

### 3.13.2. Kolon ve Perde Detayları

3.13.2.1 – Kolon yerleşim planlarında, düşey donatıların enkesit içindeki konum, çap ve sayıları ayrıntılı olarak gösterilecektir. Ayrıca her bir kolon-kiriş düğüm noktasında, alttaki kolondan yukarıya uzatılan donatıları ve kolona bağlanan tüm kirişlerin boyuna donatılarını planda gösteren yatay kesitler alınacak, böylece kolon ve kiriş donatılarının birleşim bölgesinde betonun uygun olarak yerleştirmesine engel olmayacak biçimde düzenlendiği gösterilecektir. Temelden çıkan kolon ve perde filiz donatıları, bunlarla ilişkili enine donatının sayı, çap ve aralıkları ile açılımları çizim üzerinde gösterilecektir.

3.13.2.2 – Boyuna ve enine donatıları tümü ile aynı olan her bir kolon tipi için boyuna kesitler alınarak donatıların düşey açılımları yapılacaktır. Kolonlarda boyuna kesit; donatı ek bölgelerini, bindirme boylarını, kolonun üst ucundaki kolon-kiriş birleşim bölgesini de içerecektir. Bu bağlamda, binadaki tüm kolon-kiriş birleşim bölgeleri için geçerli standart detaylarla yetinilmesi kabul edilmeyecektir.

3.13.2.3 – Her bir kolon tipi için ayrı ayrı olmak üzere, sarılma bölgelerinin uzunlukları, bu bölgelere, kolon orta bölgesine ve üstteki kolon-kiriş birleşim bölgesine konulan enine donatıların çap, sayı ve aralıkları ile en kesitteki açılımları çizim üzerinde gösterilecektir.

3.13.2.4 – Perde yerleşim planlarında düşey donatıların perde gövdesindeki ve perde uç bölgelerindeki konum, çap ve sayılarının

*gösterilmesine ek olarak, her bir perde tipi için boyuna kesitler alınarak donatuların düşey açılımları yapılacaktır. Perde boyuna kesitinde kritik perde yüksekliği açık olarak belirtilecektir. Bu yükseklik boyunca ve diğer perde kesimlerinde kullanılan enine donatuların çap, sayı ve aralıkları ile açılımları çizim üzerinde gösterilecektir.*

### 3.13.3. Kiriş Detayları

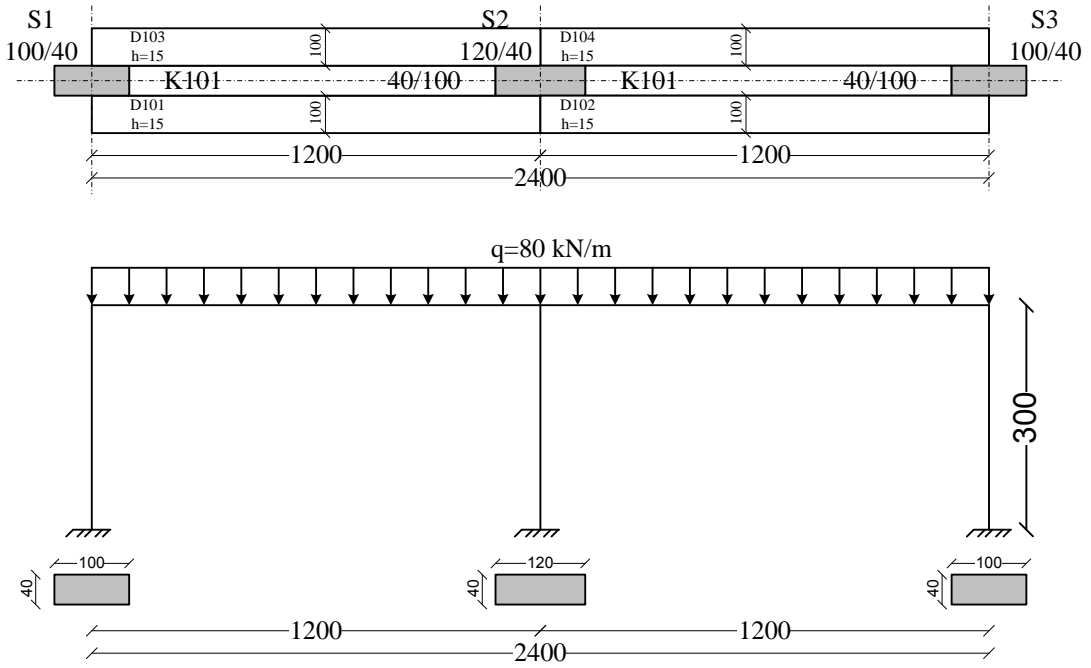
*Kiriş detay çizimlerinde, her bir kiriş için ayrı ayrı olmak üzere, kiriş mesnetlerindeki sarılma bölgelerinin uzunlukları, bu bölgelere ve kiriş orta bölgesine konulan enine donatuların çap, sayı ve aralıkları ile açılımları çizim üzerinde gösterilecektir.*

#### Çizimlerin irdelenmesi:

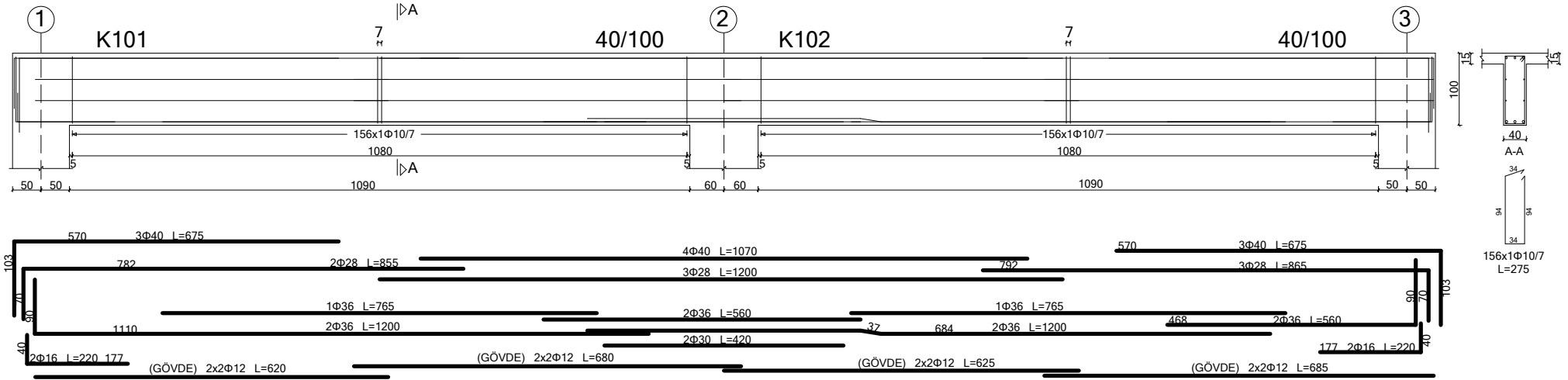
- Y-Pro yazılımı ile üretilen çizimlerde analiz öncesine dair yapılan kabullerden hiçbiri bulunmamaktadır (Beton sınıfı, R katsayısı, yerel zemin sınıfı vs.). Kullanıcının yapılan kabulleri proje paftasına analiz sonrasında yardımcı bir çizim yazılımıyla eklemesi gerekmektedir.
- Analiz sonrasında yazılım üzerinde yardımcı çizimler sunularak kolon ve kirişlerin detay açılımları üzerinde donatı yerleşimleri, kolon boyuna ve enine donatı ara mesafeleri, kiriş boyuna donatılarının kesite sığıp sığmadığı gösterilmekte ve program üzerinde bu donatılarda değişiklik yapılabilir. Kirişlerde kesite sığmayan donatı, kolonlarda ise ara mesafeleri  $25\Phi_w$  koşulunu sağlamayan donatı bulunması durumunda yazılım görsel uyarı vermektedir.
- Kesit yükseklikleri farklı olan kirişlerde boyuna donatılar  $90^0$  gönyeli olarak kolon içinde kırılmaktadır. Fakat kesit genişliklerinin farklı olması durumunda kirişlerde herhangi bir donatı düzenlemesi yapılmadan donatı açılımları sunulmaktadır. Kullanıcı veya şantiye ekibi bu farklılığı ya kiriş kesit çiziminden ya da kiriş boyutlarından yola çıkarak bulabilir.
- Kolon ve kiriş detay açılımlarında etriye kanca boyları yazmamaktadır.

- Kiriş detay açılımlarında gövde donatıları en alt sıraya çizilmektedir. Bu durum farkında olmadan yanlış donatı montajına sebebiyet verebilir.
- Kuşatılmamış kolon kiriş birleşim bölgelerinde etriye aralığı devamlı 15 cm çizilmektedir. Bu durum son derece hatalı bir uygulamaya sebebiyet vermektedir.

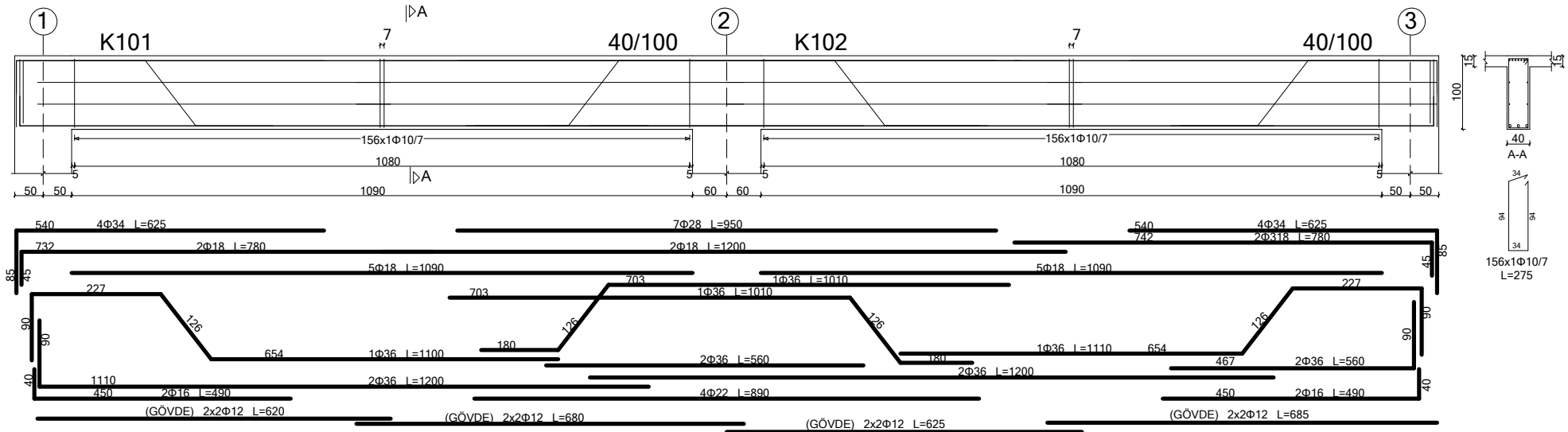
Şekil 3.74 deki sistem Y-Pro yazılımı ile zati ağırlıklar ihmal edilmeden  $1.4G+1.6Q$  kombinasyonu için analiz edilmiştir. Kiriş elemanların betonarme tasarımı önce pilyesiz, sonra pilyeli olarak yapılmıştır. Böylelikle yazılımın 12 m den uzun donatıları nasıl yerleştirdiği sorusuna cevap aranmıştır.



Şekil 3.74 Kiriş donatı açılımlarının irdelenmesine ait kalıp planı



Şekil 3.75 Şekil 3.74 e ait pilyesi kiriş detay açılımı



Şekil 3.76 Şekil 3.74 e ait pilyeli kiriş detay açılımı

Şekil 3.75 incelendiğinde yazılımın montaj donatısını açıklıkta, çekme donatılarını ise açıklık momentinin sıfıra yakın olduğu bölgede bindirdiği görülmektedir. Ancak şekilden de görüldüğü gibi gövde donatıları en alta çizilmektedir. Etriye kanca boyları ise belirtilmemiştir. Gönye, bindirme ve kenetlenme boyları ile ilgili irdemeler 3.5.16.1 Donatıların Kenetlenmesi ve Düzenlenmesinin İrdelenmesi bölümünde yapılacağından bu başlık altında  $l_b$  kenetlenme boyu irdelenmeyecektir.

Şekil 3.76 daki pilyeli giriş açılımında ilk göze çarpan, pilyelerin kesim yerleridir. Uygulamada şeytan bacağı (şapo) olarak da tabir edilen bu tip donatıdan kaçınılmalıdır. Lakin Şekil 3.74 deki gibi zorunluluk arz eden durumlarla karşılaşıldığında, pilyeli sistem terk edilerek Şekil 3.75 deki gibi pilyesiz sistem tercih edilmelidir.

### **3.5.16.1 Donatıların Kenetlenmesi ve Düzenlenmesinin İrdelenmesi**

Donatının kenetlenmesi ve eklenmesi ilk bakışta aynı kavramlar gibi gözükseler de aynı ifadeyi yansıtmamaktadırlar. TS 500–2000 de kenetlenme boyu ( $l_b$ ); donatının gereksinimine duyulmayan noktadan düz olarak uzatılmasıdır. Eklenme veya uygulama diliyle bindirme ise bir donatının süreklilik arz etmesi, diğer bir donatıya kuvvet aktarması gereken noktadan birbirine eklenmesidir. TS 500–2000 de çekme donatısının kenetlenmesi ile ilgili bilgiler aşağıda verilmektedir:

*TS 500–2000 9.1.2 - Çekme Donatısının Kenetlenmesi*

*a. Düz Kenetlenme*

*Kenetlenme, donatının gereksinime duyulmayan noktadan düz olarak  $l_b$  kadar uzatılması ile sağlanabilir. Kenetlenme boyu olarak tanımlanan bu boy, nervürlü çubuklar için aşağıdaki denklem kullanılarak hesaplanmalıdır.*

$$l_b \left( 0.12 \frac{f_{yd}}{f_{ctd}} \phi \right) \geq 20\phi \quad (9.1)$$

*TDY 2007 Madde 3.3.3. Kolon Boyuna Donatının Düzenlenmesi*

*3.3.3.1 – Kolon boyuna donatılarının bindirmeli ekleri, mümkün olabildiğince 3.3.4.2’de tanımlanan kolon orta bölgesinde yapılmalıdır. Bu durumda bindirmeli ek boyu, TS-500’de çekme donatısı için verilen kenetlenme boyu  $\ell_b$ ’ye eşit olacaktır.*

*3.3.3.2 – Boyuna donatıların bindirmeli eklerinin kolon alt ucunda yapılması durumunda ise, aşağıdaki koşullara uyulacaktır:*

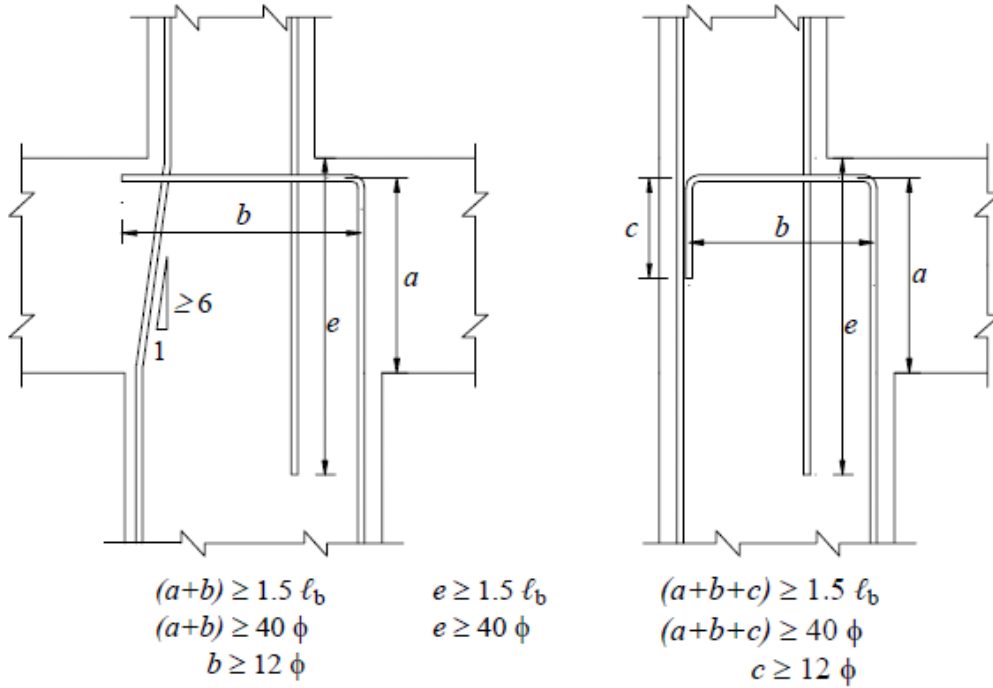
*(a) Boyuna donatıların %50’sinin veya daha azının kolon alt ucunda eklenmesi durumunda bindirmeli ek boyu,  $\ell_b$ ’nin en az 1.25 katı olacaktır.*

*(b) Boyuna donatıların %50’den fazlasının kolon alt ucunda eklenmesi durumunda bindirmeli ek boyu,  $\ell_b$ ’nin en az 1.5 katı olacaktır. Temelden çıkan kolon filizlerinde de bu koşula uyulacaktır.*

*(c) Yukarıdaki her iki durumda da, bindirmeli ek boyunca 3.3.4.1’de tanımlanan minimum enine donatı kullanılacaktır.*

*3.3.3.3 – Katlar arasında kolon kesitinin değişmesi durumunda, boyuna donatının kolon-kiriş birleşim bölgesi içinde düşeye göre eğimi 1/6’dan daha fazla olmayacaktır. Kesit değişiminin daha fazla olması durumunda veya en üst kat kolonlarında; alttaki kolonun boyuna donatısının karşı taraftaki kirişin içindeki kenetlenme boyu, TS-500’de çekme donatısı için verilen kenetlenme boyu  $\ell_b$ ’nin 1.5 katından ve 40Ø’den daha az olmayacaktır. Karşı tarafta kiriş bulunmadığı durumlarda kenetlenme, gerekirse kolonun karşı yüzünde aşağıya doğru kıvrım yapılarak sağlanacaktır. 90 derecelik yatay kancanın veya aşağıya kıvrılan düşey kancanın boyu en az 12Ø olacaktır (Şekil 3.2).*

*3.3.3.4 – Yan yana boyuna donatılarda yapılan manşonlu veya kaynaklı eklerin arasındaki boyuna uzaklık 600 mm’den az olmayacaktır.*



Şekil 3.77 TDY 2007 Şekil 3.2

### TDY 2007 Madde 3.4.3. Kiriş Boyuna Donatının Düzenlenmesi

3.4.3.1 – Boyuna donatıların yerleştirilmesi ve kenetlenmesine ilişkin koşullar aşağıda verilmiştir (Şekil 3.7):

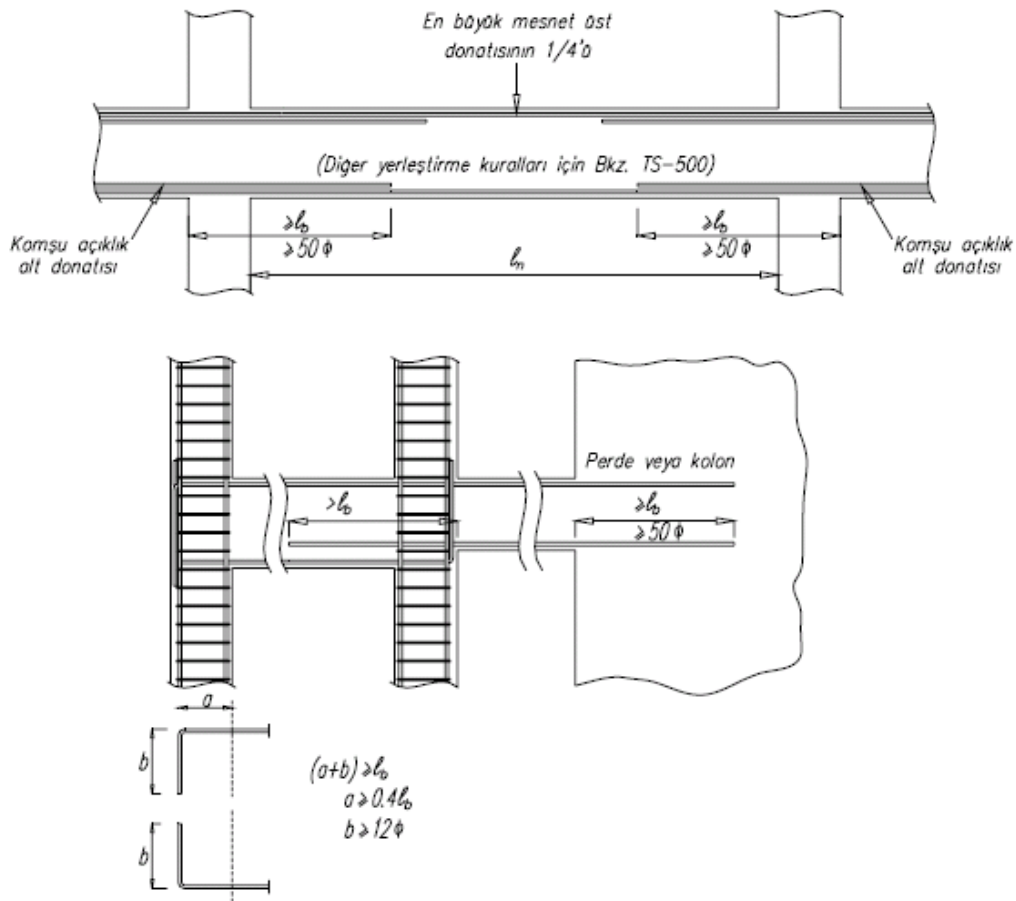
(a) Kirişin iki ucundaki mesnet üst donatılarının büyük olanının en az 1/4'ü tüm kiriş boyunca sürekli olarak devam ettirilecektir. Mesnet üst donatısının geri kalan kısmı, TS-500'e göre düzenlenecektir.

(b) Kolona birleşen kirişlerin kolonun öbür yüzünde devam etmediği durumlarda kirişlerdeki alt ve üst donatı, kolonun etriyelerle sarılmış çekirdeğinin karşı taraftaki yüzeyine kadar uzatılıp etriyelerin iç tarafından 90 derece bükülecektir. Bu durumda boyuna donatının kolon içinde kalan yatay kısmı ile 90 derece kıvrılan düşey kısmının toplam uzunluğu, TS-500'de öngörülen düz kenetlenme boyu  $\ell_b$ 'den az olmayacaktır. 90 derecelik kancanın yatay kısmı  $0.4\ell_b$ 'den, düşey kısmı ise  $12\phi$ 'den az olmayacaktır. Perdelerde ve  $a$  ölçüsünün düz kenetlenme boyu  $\ell_b$ 'den ve  $50\phi$ 'den daha fazla olduğu



kolonlarda, boyuna donatının kenetlenmesi, 90 derecelik kanca yapılmaksızın düz olarak sağlanabilir.

(c) Her iki taraftan kirişlerin kolonlara birleşmesi durumunda kiriş alt donatıları, açıklığa komşu olan kolon yüzünden itibaren,  $50 \phi$ ' den az olmamak üzere, en az TS-500'de verilen kenetlenme boyu  $l_b$  kadar uzatılacaktır. Kirişlerdeki derinlik farkı gibi nedenlerle bu olanağın bulunmadığı durumlarda kenetlenme, yukarıdaki (b) paragrafına göre kirişin kolonun öbür yüzünde devam etmediği durumlar için tanımlanan biçimde yapılacaktır.



Şekil 3.78 TDY 2007 Şekil 3.7

3.4.3.2 – Boyuna donatıların eklenmesine ilişkin koşullar aşağıda verilmiştir:

(a) 3.4.4.'te tanımlanan kiriş sarılma bölgeleri, kolon-kiriş birleşim bölgeleri ve açıklık ortasında alt donatı bölgeleri gibi, donatının akma durumuna ulaşma olasılığı bulunan kritik bölgelerde bindirmeli ek yapılmayacaktır. Bu bölgeler dışında bindirmeli eklerin yapılabileceği yerlerde, ek boyunca 3.2.8'de tanımlanan özel deprem etriyeleri kullanılacaktır. Bu etriyelerin aralıkları kiriş derinliğinin 1/4'ünü ve 100 mm'yi aşmayacaktır. Üst montaj donatısının açıklık ortasındaki eklerinde özel deprem etriyeleri kullanılmasına gerek yoktur.

(b) Manşonlu ekler veya bindirmeli kaynak ekleri, bir kesitte ancak birer donatı atlayarak uygulanacak ve birbirine komşu iki ekin merkezleri arasındaki boyuna uzaklık 600 mm'den daha az olmayacaktır.

Y-Pro da kolon orta bölgelerinde bindirmeli ek yapılmamaktadır. Kolon boyuna donatılarının tamamı kolon alt ucundan bindirmeli olarak çizilmektedir. Oluşturulan modeller üzerinde kolon boy açılımları incelendiğinde yazılımın temel ve alt kattan gelen kolon filizlerini 1.5  $I_b$  çizdiği görülmüştür. Fakat daha önce de belirtildiği gibi yazılım kolon filizleri bindirme boyunu sunmamaktadır. Ölçü kontrolleri yardımcı bir çizim yazılımı ile yapılmıştır. Bindirme boyları şantiye ortamında kolon filizleri ve kalıp derinlik ölçüleri yardımıyla bulunmaktadır. Y-Pro kolon boyuna donatı ek yerleri boyunca TDY 2007 Madde 3.3.4.1 de tanımlanan minimum enine donatı kullanmaktadır.

Katlar arasında kolon kesitinin değişmesi durumunda TDY 2007 Madde 3.3.3.3 de istenen düzenlemeler yapılmamaktadır. Alt kattan gelen kolon filizleri doğrudan üst kata geçirilerek çizilmektedir. Örneğin 50/50 cm boyutundaki bir kolon bir üst katta 25/50 cm olarak modellendiğinde, sunulan çizimlerde kolon filizleri herhangi bir kırım veya gönyelemeye tabi tutulmadığı görülmüştür.

En üst kat tepe noktasında kolon donatıları gönyelenerek kiriş içine geçirilmektedir. Farklı donatı çapları için yapılan kontrollerde yazılımın gönye boylarını doğru çizdiği görülmüştür.

Y-Pro da kolonlardan farklı olarak kiriş boyuna donatılarındaki bindirme boyları kullanıcı tercihine bağlı olarak gösterilebilmektedir. Hazırlanan farklı kalıp planları

üzerinde yapılan incelemelerde yazılımın TDY 2007 Madde 3.4.3 Boyuna Donatıların Düzenlenmesi başlığı altında istenilen düzenlemeleri uyguladığı görülmüştür.

## BÖLÜM 4

### SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRME

Y-Pro yazılımının irdelenmesi sonrasında aşağıdaki sonuçlara varılmıştır:

- Yazılım, betonarme hesaplarda kullanılacak donatı sınıfını sunmakta fakat 'a' ve 'b' sınıflarıyla ilgili hiçbir bilgi içermemektedir.
- Kolon kesiti 1 nolu lokal eksen etrafında döndürüldüğünde, 2 ve 3 nolu lokal eksenler kesitle beraber dönmemektedir. Yazılım sadece geometrik kesiti döndürmektedir. Lokal eksenler ise sadece akslar döndürüldüğünde dönmektedir.
- Kiriş enine donatı hesaplarında TDY 2007 Madde 3.4.5.3 yerine, TDY 1997 Madde 7.4.5.3 dikkate alınmaktadır.
- Sadece bir yönde A1 düzensizliği bulunan binalarda, %5 dışmerkezlik düzensizliğin bulunduğu deprem doğrultusunda arttırılmakta, diğer yöndeki dışmerkezlik %5 olarak kalmaktadır.
- Rijit diyafram kabulünün yapılmadığı binalarda deprem kuvvetleri %5 dışmerkezlikler dikkate alınmadan düğüm noktalarına etki ettirilmektedir.
- A2, A3 ve B3 düzensizliklerine ait kontroller yapılmamaktadır.
- B1 düzensizliği kontrollerinde, yazılım dolgu duvar alanını hesaplamamaktadır. Hesaplarda göz önüne alınacak dolgu duvar alanının kullanıcı tarafından tanımlanmasını istemektedir.
- B1 düzensizliği kontrollerinde, deprem yönüne dik doğrultudaki kolon çıkıntıları ihmal edilmemekte, kolon enkesiti etkin gövde alanı olduğundan fazla hesaplanmaktadır.
- Yazılım, perde içermeyen asmolen, dişli ve kirişsiz döşemeli sistemlerde, süneklik düzeyinin yüksek seçilmesi halinde uyarı vermeden analiz yapmakta, hesap ve çizim çıktılarını sunmaktadır.

- TDY 2007 Madde 2.5.1.6 da sunulan süneklik düzeyi normal sistemlere ait yapı yüksekliği kontrolleri yapılmamaktadır.
- Taşıyıcı sistemden kaynaklanan kısa kolon oluşumu dikkate alınmadan kolon etriye hesapları yapılmaktadır.
- Kolon-kiriş birleşim bölgesi kesme güvenliği kontrollerinde, dört tarafından kirişlerle çevrili düğüm noktasına bağlanan kirişlerden bir veya ikisi konsol kiriş olması durumunda, o düğüm noktası kuşatılmış olarak kabul edilmektedir.

Zaman kısıtlılığından dolayı bu çalışma esnasında aşağıdaki konulara değinilmemiştir:

- Temeller
- Merdivenler
- Dişli, asmolen ve kirişsiz döşemeler
- Performans analizi ve güçlendirme

Günümüzde, Y-Pro ve benzeri yazılımlar inşaat mühendisleri için vazgeçilmez bir araç konumundadır. Öyle ki, gerek zaman kısıtlılığından dolayı, gerekse mimar ve müteahhitlerin ticari baskıları nedeniyle bu tür yazılımlara olması gerekenden fazla güven duyulmakta, analiz sonrasında kontrole gerek görülmeden hesap ve çizim çıktıları alınmaktadır. Her ne kadar vazgeçilmez olsa da, yönetmelik ve standartların ağır içeriklerinden dolayı yazılımlarda hatalar ve eksiklikler olabilmektedir.

Betonarme bir yapının davranışının karmaşık oluşu, oluşması beklenen deprem kuvvetlerinin sadece bir istatistikî sonuç olması, yapısal analiz ve boyutlandırmanın bir yaklaşım olduğunu göstermektedir. Yüzde yüz doğru bir modelleme yapabilmek betonarme bir yapı için şimdilik imkânsız gözükmektedir. Davranış her ne kadar muamma da olsa yazılımlardaki eksiklikler giderilerek hata payının en aza indirgenmesi gerektiği düşünülmektedir. Mühendis, kullandığı yazılımın bir araç olduğunu, içerisinden eksikliklerin ve hataların bulunabileceğini mutlaka göz önünde bulundurmalıdır. Tespit ettiği eksik ve hatalı kısımları yazılımcı firma ile paylaşmalı, konunun takipçisi olmalıdır. Böylelikle, yapılacak olumlu müdahalelerle daha sorunsuz ve doğru analiz-boyutlandırma yapabilen yazılımların hazırlanmasına katkı sağlayacaktır. İdari merciler yazılımlarla ilgili resmi kontrol merkezleri oluşturarak bu sürece katkı sağlamalı, hatta bir yazılım yönetmeliği hazırlanmalıdır.

## KAYNAKLAR DİZİNİ

Aydın, M. R., 2002, Betonarme hesap tabloları, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Eskişehir, Yayın No: 071, 53s.

Aydın, M. R., Akgün, Ö. R. ve Topçu, A., 2002, Betonarme kolon tabloları, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü, Eskişehir, 123s.

Aydınoğlu, M. N., Celep, Z., Özer, E., Sucuoğlu, H., 2009, Deprem bölgelerinde yapılacak binalar hakkında yönetmelik açıklamalar ve örnekler kitabı, 639s.

Ersoy, U., Özcebe, G., 2004, Betonarme, Evrim Yayınevi İstanbul, 816s.

ETABS, 2007, Extended 3D Analysis of Building Systems, Version 9.1.4, Computers and Structures, Inc., Berkeley, California, USA

İnan, M., 2001, Cisimlerin mukavemeti, İstanbul Teknik Üniversitesi Yayınları İstanbul, Yayın No: 25, 560s.

Doğangün, A., 2005, Betonarme yapıların hesap ve tasarımı, Birsen Yayınevi İstanbul, 788s.

Topçu, A., BetonArme2000β, Betonarme kolon boyuna donatı hesabı, <http://mmf.ogu.edu.tr/atopcu>

Topçu, A., 2010, Betonarme 1 sunu ders notları, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Eskişehir.

Topçu, A., 2009, Betonarme 2 sunu ders notları, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Eskişehir.

Bayındırlık ve İskan Bakanlığı, 2007, Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik, Ankara, 160s.

Türk Standartları Enstitüsü, 2000, TS 500/Şubat 2000 Betonarme Yapıların Tasarım ve Yapım Kuralları, Ankara, 75s.

Türk Standartları Enstitüsü, 1996, TS 708/Mart 1996 Beton Çelik Çubukları, Ankara, 23s.

SAP 2000, 2009, Integrated Software for Structural Analysis and Design, Version 14.0, Computers and Structures, Inc., Berkeley, California, USA