

Uygulamada Kullanılan Profesyonel Bir Yapısal Analiz-Betonarme Hesap ve Çizim Yazılımının
İrdelenmesi: Z-PRO

Süleyman Yalçın

YÜKSEK LİSANS TEZİ

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Haziran 2011

Examination of Professional structural Analysis-Reinforced Concrete Desing and
Drawing Software Which is Used in Practice: Z-PRO

Süleyman Yalçın

MASTER OF SCIENCE THESIS

Department of Civil Engineering

June 2011

Uygulamada Kullanılan Profesyonel Bir Yapısal Analiz-Betonarme Hesap ve Çizim Yazılımının
İrdelenmesi: Z-PRO

Süleyman Yalçın

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

Haziran 2011

ONAY

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı Yüksek Lisans öğrencisi Süleyman Yalçın'ın YÜKSEK LİSANS tezi olarak hazırladığı “Uygulamada Kullanılan Profesyonel Bir Yapısal Analiz-Betonarme Hesap ve Çizim Yazılımının İrdelenmesi: Z-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

Bu çalışmada, inşaat mühendisliği alanında yaygın olarak kullanılan statik betonarme hesap ve çizim yazılımlarından bir tanesi irdelenecektir. Ülkemizde bu tür yazılımları denetleyen resmi bir kurum bulunmamaktadır. Çalışmanın amacı, mühendislerin bu yazılımları kullanarak hazırladığı projelerin doğruluğunu kontrol etmektir.

Bu amaç için izlenecek yol şu şekildedir: Öncelikle yazılımın genel özelliklerine değinilecektir. Yazılımın işaret kuralları, yapı elemanları, malzeme ve kesit varsayımları ortaya konulacak ve bu konularla ilgili kritikler yapılacaktır. İrdeleme bölümünde çeşitli yapı modelleri oluşturularak yazılımın statik ve betonarme sonuçları incelenmiştir. Oluşturulan yapı modelleri Türk standartlarında ve deprem yönetmeliğinde öngörülen minimum koşullar ve düzensizlikler bakımından irdelenmiştir.

İrdelemeler sonucunda, yazılımın malzeme ve yük varsayımlarında eksiklikler bulunduğu, Türk standartlarında öngörülen minimum koşulların bazılarının sağlanmadığı belirlenmiştir. Düzensizliklerin bazılarının kontrol edilmediği, bazılarının da hatalı kontrol edildiği görülmüştür. Sonuç olarak yaygın olarak kullanılan bir yazılımın önemli kusurları olduğu ve dikkatli kullanılması gerektiği belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Statik, Betonarme, Yazılım

SUMMARY

In this study, one of the softwares used widely in the field of civil engineering for analyzing, designing and drawing of the reinforced concrete structures has been examined. There is not an official institution in our country to control such software programs. The purpose of this study is to help engineers control the correctness of their works by using these softwares comparatively.

For the above mentioned purpose, first the principles of the software and their applications have been mentioned. Then, sign rules applied in statical analysis, components of the structure, material and section assumptions have been stated and also related critiques have been presented. In the examination part, various structural models have been designed and analyzed. Finally, the corresponding results obtained from the software have been discussed. The structural models designed have been evaluated in terms of both minimum requirements and structural irregularities as defined in the national codes.

After examinations, it has been found out that there are some deficiencies at material and load assumptions. Also, there are situations where minimum requirements of national codes are not met. On the other hand, it is observed that some of the irregularities have not been checked and some of them have been checked incorrectly. In summary, it might be said that a widely used software has important deficiencies and should be used very cautiously.

Key Words: Structural Analysis, Reinforced Concrete, Software

TEŞEKKÜR

Bu çalışmanın hazırlanmasında ve derslerimde bana yol gösteren ve yardımları ile çalışmalarımı yönlendiren danışmanım Sayın Prof. Dr. Ahmet TOPÇU'ya; beni maddi ve manevi olarak her zaman destekleyen değerli aileme en içten dileklerle teşekkürlerimi sunarım.

Süleyman YALÇIN

Haziran 2011

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET	V
SUMMARY	VI
TEŞEKKÜR	VII
ŞEKİLLER DİZİNİ	XI
ÇİZELGELER DİZİNİ	XV
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	XIV
 1. GİRİŞ	 1
 2. GENEL	 3
2.1 Z-PRO Yazılımının Global ve Lokal Eksenleri ile İşaret Kabulü	7
2.1.1 Global eksenler	7
2.1.2 Elemanın lokal eksenleri ve teorik işaret kabulünün irdelenmesi	7
2.1.2.1 Kolon lokal eksenleri ve teorik işaret kuralı	8
2.1.2.2 Kiriş lokal eksenleri ve teorik işaret kuralı	9
2.1.2.3 Perde lokal eksenleri ve teorik işaret kuralı	11
2.2 Z-PRO Yazılımı Yapı Elemanları	12
2.2.1 Aks modeli	12
2.2.2 Kolon modeli	13
2.2.3 Perde (Panel) modeli	14
2.2.4 Kiriş modeli	16
2.2.5 Döşeme modeli	18
2.2.6 Temel modeli	20
2.3 Z-PRO Yazılımı Varsayımları	21
2.3.1 Malzeme ve kesit varsayımları	21
2.3.1.1 Malzeme varsayımları	21
2.3.1.2 Kesit varsayımları	24
2.3.2 Yük varsayımları, yük aktarımı ve yük kombinasyonları	24
 3. İRDELEME	 29
3.1 Malzeme ve Kesit Varsayımlarının İrdelenmesi	29

İÇİNDEKİLER (devam)

Sayfa

3.1.1 Malzeme varsayımlarının irdelenmesi	31
3.1.2 Kesit varsayımlarının irdelenmesi	34
3.2 Yük Varsayımlarının ve Yük Kombinasyonlarının İrdelenmesi	35
3.3 Rijit Diyafram Kabulünün İrdelenmesi	38
3.4 Z-PRO Tarafından Hesaplanan İç Kuvvet ve Deplasmanların İrdelenmesi	40
3.4.1 Kolon elemanların döndürülmesi sonucu kolon lokal eksen takımının durumu	41
3.4.2 Düzlem çerçeve sistemlerde iç kuvvetlerin irdelenmesi	43
3.4.3 Düzlem çerçeve sistemlerde deplasmanların irdelenmesi	51
3.4.4 Uzay çerçevelerde iç kuvvet ve deplasmanların irdelenmesi	54
3.5 Kirişlerde Burulma Momentinin İrdelenmesi	59
3.6 Z-PRO Yazılımında Kiriş Rijit Kollarının İrdelenmesi	65
3.7 Z-PRO Yazılımında Kullanıcı Tanımlı Yüklerin İrdelenmesi	68
3.8 Perde Elemanların Deplasman ve İç Kuvvetlerinin İrdelenmesi	71
3.8.1 Perde elemanların kolon olarak modellenmesi	71
3.8.2 Perde elemanların kabuk olarak modellenmesi	74
3.8.3 Poligonal perde kavramının irdelenmesi	78
3.9 Kütle Merkezi (KM) ve Rijitlik Merkezi (RM) Kavramının İrdelenmesi	80
3.10 Z-PRO Yazılımı Kiriş Betonarme Hesabının İrdelenmesi	83
3.10.1 Kiriş boyuna donatı hesabının irdelenmesi	83
3.10.2 Kiriş enine donatı hesabının irdelenmesi	93
3.11 Z-PRO Yazılımı Kolon Betonarme Hesabının İrdelenmesi	98
3.11.1 Kolon boyuna donatı hesabının irdelenmesi	98
3.11.2 Kolon enine donatı hesabının irdelenmesi	101
3.12 Z-PRO Yazılımı Perde Boyuna Donatı Hesabının İrdelenmesi	102
3.13 Z-PRO' nun Yönetmeliklerde Öngörülen Koşullar Açısından İrdelenmesi	103
3.13.1 Kirişlerde sınır değerlerin irdelenmesi	105
3.13.2 Kolonlarda sınır değerlerin irdelenmesi	109
3.13.3 Perdelerde sınır değerler	113
3.13.4 Döşemelerde sınır değerlerin irdelenmesi	117
3.13.5 Z-PRO nun DY-2007 de tanımlanan düzensizlikler bakımından irdelenmesi ...	122
3.13.5.1 A1-Burulma düzensizliğinin irdelenmesi	122

İÇİNDEKİLER (devam)

Sayfa

3.13.5.2 A2 ve A3-Türü düzensizliklerin irdelenmesi	129
3.13.5.3 B1-Komşu katlar arası dayanım düzensizliğinin irdelenmesi	134
3.13.5.4 B2-Komşu katlar arası rijitlik düzensizliği irdelenmesi	141
3.13.5.5 B3-Taşıyıcı sistemin düşey elemanlarının süreksizliğinin irdelenmesi ..	145
3.13.6 Z-PRO ile görelî kat ötelemelerinin sınırlandırılmasının irdelenmesi	148
3.13.7 Z-PRO ile ikinci mertebeye etkilerinin irdelenmesi	149
3.13.8 Z-PRO ile taşıyıcı sistemin sünelik düzeyi bakımından irdelenmesi	151
3.13.9 Z-PRO ile yapı davranış katsayısı (R) seçiminin irdelenmesi	154
3.13.10 Z-PRO ile kolonların kirişlerden daha güçlü olması koşulunun irdelenmesi ...	162
3.13.11 Z-PRO ile sünelik düzeyi yüksek çerçeve sistemlerde kolon kiriş birleşim bölgelerinin irdelenmesi	163
3.13.12 Z-PRO ile kısa kolon oluşumunun irdelenmesi	167
3.13.13 Z-PRO ile mod birleştirme yönteminin irdelenmesi	168
3.13.14 Z-PRO yapısal çözümleme, kesit hesap raporları ve deprem hesap raporlarının irdelenmesi	175
3.13.15 Z-PRO ile üretilen çizimlerin irdelenmesi	179
3.13.16 Z-PRO da donatı kenetlenmesi ve bindirme boylarının irdelenmesi	187
4. SONUÇ VE DEĞERLENDİRMELER	192
5. KAYNAKLAR DİZİNİ	196

ŞEKİLLER DİZİNİ

<u>Sekil</u>	<u>Sayfa</u>
2.1 Kat ve düğüm noktası deplasmanları	6
2.2 a) Global eksen takımı; X (apsis) - Y (ordinat) - Z (kot), b) X-Y düzlemi kat kalıp planı, c) Lokal eksen takımı	7
2.3 Z-PRO yazılımının sunduğu: a) kolon lokal eksenleri, b) iç kuvvetlerin teorik pozitif Yönleri ile çıktı teorik pozitif yön kabulleri	8
2.4 Z-PRO yazılımının sunduğu kiriş lokal eksenleri ve düğüm noktası numaraları ...	10
2.5 Z-PRO yazılımının sunduğu: Kiriş lokal eksenleri, iç kuvvetlerin teorik pozitif yönleri ile çıktı pozitif yön kabulleri	10
2.6 Kabuk elemana ait deplasmanların pozitif yönleri	12
2.7 Aks modeli	12
2.8 Kolon kesitleri	13
2.9 Kolon düğüm noktaları dış yük pozitif yönleri	14
2.10 a) Perde elemanın geometrik modeli, b) Perde kolon modeli	14
2.11 a) Perde elemanın geometrik modeli, b) Perde kabuk modeli	15
2.12 Perde kabuk modelinde tanımlanabilen dış yükler ve pozitif yönleri	15
2.13 a) Kiriş modelleri, b) Kirişlerde moment mafsalları, c) Kirişlerde kesme mafsalları, d) Kirişlerde normal kuvvet mafsalları, e) Kirişlerde burulma mafsalları	16
2.14 Kiriş uçlarına tanımlanan dış yükler ve pozitif yönleri	17
2.15 Eksendeki momentin hesaplanma modeli	18
2.16 a) Döşemelerde tanımlanabilen çizgisel ve noktasal yük, b) Kabuk elemana ait deplasmanların pozitif yönleri	19
2.17 a) Tekil ve sürekli temel sistemlerinde temel pabuçları, b) Anpatmanlı tekil temel, c) Kirişsiz radye temel modelleri, d) Kazık temel modeli	20
2.18 Z-PRO yazılımında a) Kiriş rijit kolları aktif seçilmeyen modelde yüklerinin yayılımı, b) Kiriş rijit kolları aktif seçilen modelde yüklerinin yayılımı	25
2.19 Z-PRO yazılımı yük katsayıları ve yük birleşimleri	28
3.1 i ve j noktalarının kolon enkesitindeki yerinin tespiti için hazırlanan sistem	35
3.2 Yük kombinasyonlarının irdelenmesi için hazırlanan kalıp planı	37
3.3 Rijit diyafram kabulünün irdelenmesi örneği	39

ŞEKİLLER DİZİNİ (devam)

<u>Sekil</u>	<u>Sayfa</u>
3.4 a) Kolon perspektif modeli, b) Kolon analitik modeli, c) Kolon kesiti, d) Z-PRO ve SAP 2000 de kesitin β açısı kadar döndürülmesi	41
3.5 a) Kolon perspektif modeli, b) Kolon analitik modeli, c) Z-PRO ve SAP 2000 de kesitin $\beta=30^0$ açısı kadar döndürülmesi	41
3.6 a) Z-PRO analiz sonuçları, b) SAP 2000 analiz sonuçları	42
3.7 Z-PRO da iç kuvvet ve deplasmanların irdelenmesi için hazırlanan düzlem çerçeve	43
3.8 a) $\beta =90^0$ için iç kuvvet diyagramları, b) $\beta =270^0$ için iç kuvvet diyagramları	50
3.9 Z-PRO da iç kuvvetlerin irdelenmesi için hazırlanan uzay çerçeve	54
3.10 $\beta = 0^0$ için 4, 5, 6 numaralı elemanlarda Z-PRO ve SAP 2000 ile hesaplanan iç kuvvet değerleri	55
3.11 $\beta = 30^0$ için 4, 5, 6 numaralı elemanlarda Z-PRO ve SAP 2000 ile hesaplanan iç kuvvet değerleri	55
3.12 $\beta = 45^0$ için 4, 5, 6 numaralı elemanlarda Z-PRO ve SAP 2000 ile hesaplanan iç kuvvet değerleri	56
3.13 $\beta = 180^0$ için 4, 5, 6 numaralı elemanlarda Z-PRO ve SAP 2000 ile hesaplanan iç kuvvet değerleri	56
3.14 Kiriş burulma momentlerinin irdelenmesi için hazırlanan sistem	60
3.15 a) Çıkmalı yapı modeli, b) Kalıp planı, c) Yayılı yük modeli, d) Noktasal yük modeli.....	63
3.16 Kiriş rijit kollarının irdelenmesi için hazırlanan düzlem çerçeve	65
3.17 Kullanıcı tanımlı yüklerin irdelenmesi için hazırlanan sistemler	69
3.18 Kullanıcı tanımlı yüklerin irdelenmesi için hazırlanan sistemler kat ve kopyalama	70
3.19 Düzlem perde+çerçeve örneği, a) Geometrik model, b) Perdenin kolon modeli, c) Kalıp planı	72
3.20 Düzlem perde+çerçeve örneği, a) Geometrik model, b) Perdenin kolon modeli, c) Perdenin kabuk modeli, d) Kalıp planı	75
3.21 Poligonal perede örneği, a) Kalıp planı, b) Pligonal perde açılımı	78
3.22 a) RM ile KM çakışık model, b) RM ile KM çakışık olmayan model	81

ŞEKİLLER DİZİNİ (devam)

<u>Sekil</u>	<u>Sayfa</u>
3.23 Dikdörtgen kesitli kirişin betonarme hesabı irdelenmesi için hazırlanan sistem ...	83
3.24 Tablalı kiriş betonarme hesabının irdelenmesi için hazırlanan sistem	87
3.25 Tablalı kiriş betonarme hesabının yapılıp yapılmadığının irdelenmesi için hazırlanan Sistem	91
3.26 DY-2007 (Şekil 3.9)	94
3.27 Kirişlerde enine donatı hesabının irdelenmesi için hazırlanan sistem	95
3.28 Z-PRO yazılımı tarafından sunulan pilyesiz kiriş donatı detay açılımı	96
3.29 Z-PRO yazılımı tarafından sunulan pilyeli kiriş donatı detay açılımı	96
3.30 Donatı planı, iç kuvvetler ve malzeme bilgileri	99
3.31 Kolon boyuna ve enine donatıları	99
3.32 Perde donatı planı, iç kuvvetler ve malzeme bilgileri	102
3.33 Z-PRO yazılımının sunduğu perde donatı açılımı $H_w = 4.5$ m için	103
3.34 Kirişlerde sınır değerler	104
3.35 Kolonlarda sınır değerler	109
3.36 Perdelerde sınır değerler DY-2007 Şekil 3.11	113
3.37 DY-2007 (Şekil 2.1)	122
3.38 DY-2007 (Şekil 2.7)	123
3.39 $\eta_{bi} < 1.2$ örneği kalıp planı	124
3.40 $1.2 < \eta_{bi} \leq 2.0$ örneği zemin kat kalıp planı	126
3.41 $\eta_{bi} > 2$ örneği zemin kat kalıp planı	127
3.42 DY-2007 (Şekil 2.2)	129
3.43 DY-2007 (Şekil 2.3)	130
3.44 A2 ve A3 türü düzensizliklerin irdelenmesi için hazırlanan örnek kalıp planları ..	131
3.45 A2 ve A3 türü düzensizliklerin birlikte irdelenmesi için hazırlanan örnek	132
3.46 B1 düzensizliği $0.6 < \eta_{ci} < 0.8$ örneği kalıp planı ve görünüşü	135
3.47 B1 düzensizliği $\eta_{ci} < 0.6$ örneği kalıp planı ve görünüşü	138
3.48 B2 düzensizliği örnek kalıp planları, a) Perde-çerçeveli sistem, b) Salt çerçeve Sistem	142
3.49 B2 düzensizliği; a) Perdeli sistem grafikleri, b) salt çerçeveli sistem grafikleri ...	144
3.50 B2 düzensizliği örnek perdeli ve salt çerçeveli sistem grafikleri	145

ŞEKİLLER DİZİNİ (devam)

<u>Sekil</u>	<u>Sayfa</u>
3.51 B3 düzensizliği (a) maddesi örneği	145
3.52 B3 düzensizliği (b) maddesi örneği	146
3.53 B3 düzensizliği (c) maddesi örneği	147
3.54 B3 düzensizliği (d) maddesi örneği	147
3.55 İkinci mertebe etkilerinden oluşan moment	150
3.56 DY-2007 Tablo (2.5)	154
3.57 R katsayısı 1. örnek	155
3.58 R katsayısı 2. örnek	157
3.59 R katsayısı 3. örnek	158
3.60 R katsayısı 4. örnek	159
3.61 R katsayısı 5. örnek	161
3.62 DY-2007 (Şekil 3.4)	162
3.63 Kolon-Kiriş birleşim bölgesi irdelenmesi için hazırlanan örnek	164
3.64 DY-2007 (Şekil 3.10)	166
3.65 DY-2007 (Şekil 3.6)	167
3.66 Mod Birleştirme Yönteminin irdelenmesi için hazırlanmış kalıp planları a) Rijit diyaframlı sistem, b) Rijit diyaframsız sistem	170
3.67 DY-2007 (Şekil 2.7)	171
3.68 DY-2007 (Şekil 2.8)	172
3.69 Kiriş donatı açılımlarının irdelenmesi için hazırlanan kalıp planı	183
3.70 Şekil 3.69' a ait pilyeli kiriş detay açılımı (kiriş pas payı 2.5 cm için)	184
3.71 Şekil 3.69' a ait pilyesiz kiriş detay açılımı (kiriş pas payı 2.5 cm için)	184
3.72 PP = 2.5 cm için Z-PRO nun sunduğu kiriş en kesit detayı	185
3.73 Şekil 3.69' a ait pilyeli kiriş detay açılımı (kiriş pas payı 4.5 cm için)	186
3.74 Şekil 3.69' a ait pilyesiz kiriş detay açılımı (kiriş pas payı 4.5 cm için)	186
3.75 PP = 4.5 cm için Z-PRO nun sunduğu kiriş en kesit detayı	187
3.76 DY-2007 Şekil 3.2	189
3.77 DY-2007 Şekil 3.7	190

ÇİZELGELER DİZİNİ

<u>Çizelge</u>	<u>Sayfa</u>
3.1 TS 500-2000 Çizelge 7.1 beton sınıflarına göre k_1 değerleri	31
3.2 Z-PRO yazılımının sunduğu beton sınıflarına göre k_1 değerleri	31
3.3 S1 kolonu 'j' ucu M_3 momentleri	37
3.4 Kirişlerde oluşan eksenel yük değerleri	39
3.5 $\beta = 0^\circ$ için Z-PRO ve Sap 2000 tarafından hesaplanan iç kuvvet değerleri Ve yüzde (%) cinsinden aralarındaki farklar	44
3.6 $\beta = 30^\circ$ için Z-PRO ve Sap 2000 tarafından hesaplanan iç kuvvet değerleri ve yüzde (%) cinsinden aralarındaki farklar	45
3.7 $\beta = 45^\circ$ için Z-PRO ve Sap 2000 tarafından hesaplanan iç kuvvet değerleri ve yüzde (%) cinsinden aralarındaki farklar	46
3.8 $\beta = 90^\circ$ için Z-PRO ve Sap 2000 tarafından hesaplanan iç kuvvet değerleri ve yüzde (%) cinsinden aralarındaki farklar	47
3.9 $\beta = 180^\circ$ için Z-PRO ve Sap 2000 tarafından hesaplanan iç kuvvet değerleri ve yüzde (%) cinsinden aralarındaki farklar	48
3.10 $\beta = 270^\circ$ için Z-PRO ve Sap 2000 tarafından hesaplanan iç kuvvet değerleri ve yüzde (%) cinsinden aralarındaki farklar	49
3.11 $\beta = 0^\circ$ için Z-PRO ve Sap 2000 tarafından hesaplanan deplasman değerleri	51
3.12 $\beta = 30^\circ$ için Z-PRO ve Sap 2000 tarafından hesaplanan deplasman değerleri	52
3.13 $\beta = 45^\circ$ için Z-PRO ve Sap 2000 tarafından hesaplanan deplasman değerleri	52
3.14 $\beta = 90^\circ$ için Z-PRO ve Sap 2000 tarafından hesaplanan deplasman değerleri	53
3.15 $\beta = 0^\circ$ için Z-PRO ve SAP 2000 ile hesaplanan deplasman değerleri	57
3.16 $\beta = 30^\circ$ için Z-PRO ve SAP 2000 ile hesaplanan deplasman değerleri	57
3.17 $\beta = 45^\circ$ için Z-PRO ve SAP 2000 ile hesaplanan deplasman değerleri	58
3.18 $\beta = 180^\circ$ için Z-PRO ve SAP 2000 ile hesaplanan deplasman değerleri	58
3.19 Z-PRO ve SAP 2000 tarafından hesaplanan iç kuvvet değerleri ve yüzde (%) cinsinden aralarındaki farklar	61
3.20 Şekil 3.15 (c) ve (d) için Z-PRO ve SAP 2000 tarafından hesaplanan iç kuvvet değerleri	64
3.21 Z-PRO ve SAP 2000 ile hesaplanan deplasman değerleri	66

ÇİZELGELER DİZİNİ (devam)

<u>Çizelge</u>	<u>Sayfa</u>
3.22 Z-PRO ve SAP 2000 tarafından hesaplanan iç kuvvet değerleri ve yüzde (%) cinsinden aralarındaki farklar	67
3.23 Perde kolon modelinde iç kuvvet değerleri	73
3.24 Perde kolon modelinde deplasman ve dönme değerleri	74
3.25 Perde kabuk modelinde iç kuvvet değerleri	76
3.26 Perde kabuk modelinde deplasman ve dönme değerleri	77
3.27 Tek ve üç parçalı olarak oluşturulan Şekil 3.21 deki örneğe ait perde kesit alanı ve atalat momentleri	79
3.28 RM ile KM çakışık model için hesaplanan koordinatlar	81
3.29 RM ile KM çakışık olmayan model için hesaplanan koordinatlar	82
3.30 Dikdörtgen kesitli kiriş için Z-PRO - Uğur Ersoy tabloları - Ruhi Aydın tabloları ile hesaplanan ve seçilen donatı alanları	85
3.31 Tablalı kiriş için Z-PRO - Uğur Ersoy tabloları - Ruhi Aydın tabloları ile hesaplanan ve seçilen donatı alanları	89
3.32 Tablalı kesit K101 kirişi için Z-PRO - Uğur Ersoy tabloları - Ruhi Aydın tabloları ile hesaplanan ve seçilen donatı alanları	92
3.33 Analiz sonucu elde edilen değerler	97
3.34 Z-PRO yazılım ve tablolar ile hesaplanan ve seçilen donatı alanları	100
3.35 Perde boyuna donatıları	102
3.36 Kirişlerde sınır değerler çizelgesi	105
3.37 Kirişlerde sınır değerler çizelgesi (Devamı)	106
3.38 Kolonlarda sınır değerler çizelgesi	110
3.39 Kolonlarda sınır değerler çizelgesi (Devamı)	111
3.40 DY-2007' ye göre perdelerde sınır değerler çizelgesi	114
3.41 DY-2007' ye göre perdelerde sınır değerler çizelgesi (Devamı)	115
3.42 İki doğrultuda çalışan kirişli döşemelerde sınır değerler çizelgesi	118
3.43 Bir doğrultuda çalışan kirişli döşemelerde sınır değerler çizelgesi	120
3.44 Z-PRO yazılımı X-Y yönü düzensizlik çizelgesi	125
3.45 Z-PRO yazılımı Y yönü düzensizlik çizelgesi	127
3.46 Z-PRO yazılımı Y yönü düzensizlik çizelgesi	128

ÇİZELGELER DİZİNİ (devam)

<u>Çizelge</u>	<u>Sayfa</u>
3.47 B1 düzensizliği el hesabı çizelgesi (Şekil 3.46’da verilen örnek için)	136
3.48 Z-PRO B1 düzensizlik kontrolü çizelgesi (Şekil 3.46’da verilen örnek için)	137
3.49 B1 düzensizliği el hesabı çizelgesi (Şekil 3.47’de verilen örnek için)	139
3.50 Z-PRO B1 düzensizlik kontrolü çizelgesi (Şekil 3.47’de verilen örnek için)	140
3.51 Şekil 3.48 (a) için Z-PRO ile hesaplanan B2 düzensizliği katsayıları (X Yönü) ...	143
3.52 Şekil 3.48 (a) için Z-PRO ile hesaplanan B2 düzensizliği katsayıları (Y Yönü) ...	143
3.53 Şekil 3.48 (b) için Z-PRO ile hesaplanan B2 düzensizliği katsayıları (X Yönü) ...	143
3.54 Şekil 3.48 (b) için Z-PRO ile hesaplanan B2 düzensizliği katsayıları (Y Yönü) ...	144
3.55 Şekil 3.66 (a) ve (b) de verilen örneğe ait kütle katılım oranları	173

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

Simgeler

Açıklamalar

A_c	Kolon-kiriş gövde kesiti beton alanı
A_s	Kiriş açıklık çekme donatısı alanı
$A_{s'}$	Kiriş açıklık basınç donatısı alanı
A_{s1}	Kiriş mesnet çekme donatısı alanı
$A_{s1'}$	Kiriş mesnet basınç donatısı alanı
A_{st}	Kolon boyuna donatı alanı
A_{sw}	Enine donatı alanı
A_0	Etkin yer ivmesi katsayısı
b_w	Kiriş gövde genişliği
c	Tarafsız eksen derinliği
d	Faydalı yükseklik
f_{ck}	Betonun karakteristik silindirik basınç dayanımı
f_{cd}	Betonun tasarım basınç dayanımı
f_{ctd}	Betonun tasarım çekme dayanımı
f_{yk}	Boyuna donatı karakteristik akma dayanımı
f_{yd}	Boyuna donatı tasarım akma dayanımı
f_{ywd}	Enine donatı tasarım akma dayanımı
h	Kiriş yüksekliği
H_{cr}	Kritik perde yüksekliği
H_w	Temel üstünden veya zemin kat döşemesinden itibaren ölçülen toplam perde yüksekliği
H_N	Binanın temel üstünden itibaren ölçülen toplam yüksekliği
I	Bina önem katsayısı
k_1	Eşdeğer dikdörtgen basınç bloğu derinlik katsayısı
M	Eğilme momenti
M_d	Tasarım eğilme momenti
N	Normal kuvvet
N_d	Tasarım normal kuvveti
R	Taşıyıcı sistem davranış katsayısı

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ (devam)

Simgeler

Açıklamalar

$R_a(T)$	Deprem yükü azaltma katsayısı
$S(T)$	Spektrum katsayısı
T	Burulma momenti
V	Kesme kuvveti
V_d	Tasarım kesme kuvveti
V_e	Enine donatı hesabına esas alınan kesme kuvveti
X	Global X eksen
Y	Global Y eksen
YZS	Yerel zemin sınıfı
Z	Global Z eksen
ρ	Kirişte çekme donatısı oranı
ρ'	Kirişte basınç donatısı oranı
ρ_b	Kirişte dengeli donatı oranı
ρ_{max}	Kirişte maksimum donatı oranı
ρ_{min}	Kirişte minimum donatı oranı
1	Lokal 1 eksen
2	Lokal 2 eksen
3	Lokal 3 eksen

Kısaltmalar

Açıklamalar

cm	Santimetre
m	Metre
mm	Milimetre
DY-2007	Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik 2007
TS 500-2000	Betonarme Yapıların Tasarım ve Yapım Kuralları Şubat 2000
kN	Kilonewton

BÖLÜM 1

GİRİŞ

Bilgisayar teknolojisindeki sürekli gelişmelere paralel olarak, inşaat mühendislerine yönelik yazılımların sayısında son yıllarda önemli bir artış olmuştur. Avrupa ve Amerika orijinli olanlarının yanı sıra, çok geniş kapsamlı ileri düzeyde yazılımlar artık ülkemizde de bol miktarda üretilmektedir. Ancak, inşaat mühendislerimizin büyük çoğunluğu bu geniş bilgisayar olanaklarından henüz yeterince yararlanmamaktadır. Oysaki kullanıcı sayısı ne kadar çok artarsa, yazılımların kaliteleri ve hizmet düzeyleri de o kadar yükselir. Ülkemizde bu yazılımlar için herhangi bir yönetmelik ve standart olmadığı gibi bu yazılımları denetleyen bir kuruluş da yoktur. Firmalar arasındaki rekabet, yazılımların kalitelerinin ve bilimsel düzeylerinin artmasında en büyük etken rolü oynamaktadır.

Bir yapının statik ve betonarme hesaplarının yapılması ve betonarme uygulama projesinin üretilmesi çok karmaşık, zaman alıcı ve zor bir süreçtir. Günümüzde inşaat mühendisleri statik ve betonarme proje üretiminde profesyonel bilgisayar yazılımları kullanmaktadır. Bu yazılımlar inşaat mühendislerinin yapmak zorunda olduğu karmaşık hesap ve çizimleri üstlenmektedirler. Bu sayede mühendisler bir yapı tasarımının en önemli bölümleri olan hatasız mimari entegrasyonu ve güvenli bir taşıyıcı sistem seçimi konularına daha uzun zaman ayırabilmektedirler. Ülkemizde yaygın olarak kullanılan birçok statik-betonarme hesap ve çizim yazılımı vardır. Bu çalışmada yazılımların ticari isimleri kullanılmayacaktır. İrdelenmede ele alınacak yazılım Z-PRO kod adı ile anılacaktır. Z-PRO, irdelenen yazılımın çalışmanın yapıldığı 2010 yılı sürümünün temsili adıdır. Bu isme sahip statik-betonarme hesap ve çizim yazılımı bulunmamaktadır.

Profesyonel yazılımların yaygınlaşması inşaat mühendislerinin işlerini çok kolaylaştırmakla beraber şu soruları da gündeme getirmiştir: Acaba bu yazılımlar statik ve betonarme hesapları doğru yapıyor mu? Yönetmelik ve standartlardaki minimum

koşulları kontrol ediyor ve gereğini yerine getiriyor mu? Deprem yönetmeliğinde tanımlanan düzensizlik kontrollerini doğru yapabiliyor mu? Yönetmelik ve standartlardaki diğer kontrolleri yapıyor mu? Çizim çıktıları şantiye uygulamaları için yeterli mi?

Bu sorulara yanıt aranabilmesi için uygulamada yaygın olarak kullanılan üç programdan ikisi bu amaçla irdelenmiş idi (Kaplan, O., Uygulamada Kullanılan Profesyonel Bir Statik-Betonarme Hesap ve Çizim Yazılımının İrdelenmesi: X-PRO ; Torunoğlu, İ., Uygulamada Kullanılan Profesyonel Bir Statik-Betonarme Hesap ve Çizim Yazılımının İrdelenmesi II: Y-PRO). Bu tez çalışmasında ele alınan Z-PRO, X-PRO ve Y-PRO yazılımlarının irdelenmesi için yapılan çalışmaların devamı niteliğindedir.

Z-PRO yazılımının irdelenmesinde izlenen yöntem şu şekilde olmuştur: Öncelikle yazılımın genel özelliklerine değinilmiştir. Yazılımın işaret kabulü, yapı elemanları, malzeme ve kesit varsayımları ortaya koyulmuş ve irdeleme bölümünde bu konularla ilgili gerekli kritikler yapılmıştır, çeşitli yapı modelleri oluşturularak yazılımın yaptığı statik ve betonarme hesaplar kontrol edilmiştir. Oluşturulan yapı modelleri TS 500-2000 ve DY-2007’de tanımlı minimum koşullar ile DY-2007’de öngörülen düzensizlikler bakımından irdelenmiş, yazılımın ürettiği hesap raporları ve çizimlerin bu yönetmeliklerin öngördüğü koşulları sağlayıp sağlamadığı araştırılmıştır.

Z-PRO yazılımının statik sonuçlarının kontrolünde SAP 2000 yazılımı referans kabul edilmiştir.

BÖLÜM 2

GENEL

Z-PRO yazılımı; betonarme yapı sistemlerinin statik ve dinamik analizi, boyutlandırılması, projelendirilmesi ve detaylandırılmasında kullanılan bir yazılımdır. Yazılım tasarım, analiz ve çizim aşamalarını içeren üç ayrı bölümden oluşmaktadır. Tüm veriler grafik ortamında girilir ve görüntülenebilir. Çalışması için herhangi bir CAD programına ihtiyaç yoktur. Yazılımda tüm ekranlar yardım olanaklarına sahiptir. Yardımlar gerektiğinde şekiller, grafikler ve diğer görsel olanaklar içerir. Kullanıcı verilerini grafik ortamın sağladığı olanaklarla fare ve klavye yardımıyla kolayca girebilir. Görsel çalışıldığından yapı geometrisi tanımlaması son derece kolaydır. Yapı üç boyutlu olarak ele alınmakta, taşıyıcı sistem elemanları grafik ara yüz (yazılım çalıştırıldığında karşımıza gelen ekrana yazılımın grafik ara yüzü denir) yardımıyla kolayca tanımlanabilmektedir. Yazılımın ürettiği çizimler kendi grafik editöründe görüntülenebilir ve yazdırılabilir. İstenirse AutoCAD ve benzeri yazılımlara veri aktarımı yapılabilir, ayrıca yazılımda oluşturulan projeler SAP 2000 veri tabanı olarak da kaydedilebilir.

Akslar: Kolon, kiriş, perde, döşeme gibi yapı elemanlarının geometrik yerleri, döşeme boşlukları akslar yardımıyla belirlenmektedir. Mimari akslar yanında, kullanıcı gerek gördüğünde, yardımcı akslar da tanımlayabilmektedir. Yatay aks, dikey aks ve eğrisel aks çizmek mümkündür.

Kolonlar: Dikdörtgen, daire ve poligon (dolu kesit çokgen) kesitli kolonlar tanımlanabildiği gibi bu kolonlara kolon başlığı da eklenebilir. Dikey düzlemde eğik kolonlar modellenabilmektedir. İçi boş kutu ve halka kolon modellenemez.

Paneller (Perdeler): Z-PRO yazılımında perde elemanlar iki şekilde modellenabilmektedir. Bunlar kabuk ve kolon modelleridir. Tek parça olarak poligonal forma sahip perde tanımlamak mümkün değildir. Asansör perdesi gibi poligonal forma

sahip perdeler iki veya daha çok perde elemanın düğüm noktalarının birleştirilmesiyle tanımlanabilir. Ayrıca boşluklu perde modeli oluşturulabilir.

Kirişler: Kirişler dikdörtgen kesitli olup doğrusal kiriş, eğrisel kiriş ve yay kiriş olarak tanımlanabilir. Kiriş üzerinde döşeme bulunması halinde tabla kabulü yapılabilmektedir.

Döşemeler: Döşeme tipi olarak kirişli döşeme, kirişsiz döşeme, dişli döşeme ve kaset döşeme tanımlanabilir. Döşemeler dikdörtgen, üçgen, çokgen, bölgesel boşluklu ya da boşluksuz, eğrisel kenarlı, konsol, eğik ve düşük olarak da yazılımda tanımlanabilir.

Temeller: Tekil temel, bağ kirişi, bir ve iki doğrultuda sürekli temel, kirişli radye temel, kirişsiz radye temel, kuyu temel ve kazık temel sistemleri oluşturulabilmektedir. Temeller üst yapı ile birlikte veya üst yapıdan bağımsız olarak modellenenebilir.

Merdivenler: Tek kollu merdiven, çok kollu merdiven, yuvarlak-helisel merdivenler istenilen konstrüksiyon tipinde tanımlanarak statik hesabı ve betonarme analizi yapılabilmektedir. Bina ile merdiven bir bütün olarak modellenenebilir.

Kubbe: İstenilen ölçü ve belirlenen parametrelere göre kubbe tanımlayıp analizini yapmak mümkündür.

Tonoz: İstenilen ölçü ve belirlenen parametrelere göre tonoz tanımlayıp analizini yapmak mümkündür.

Malzeme: Yapı malzemesi olarak beton ve donatı çeliği kullanılmaktadır. Farklı bir yapı malzemesi tanımlanmak istenildiğinde, elastisite modülü, kayma modülü, poisson oranı, özgül kütle ve sıcaklık genleşme katsayısı gibi parametreler kullanıcı girişine sunulmuştur. Ancak beton ve donatı çeliği dışında tanımlanmış malzemelerin taşıyıcı eleman olarak modellenmesi mümkün değildir.

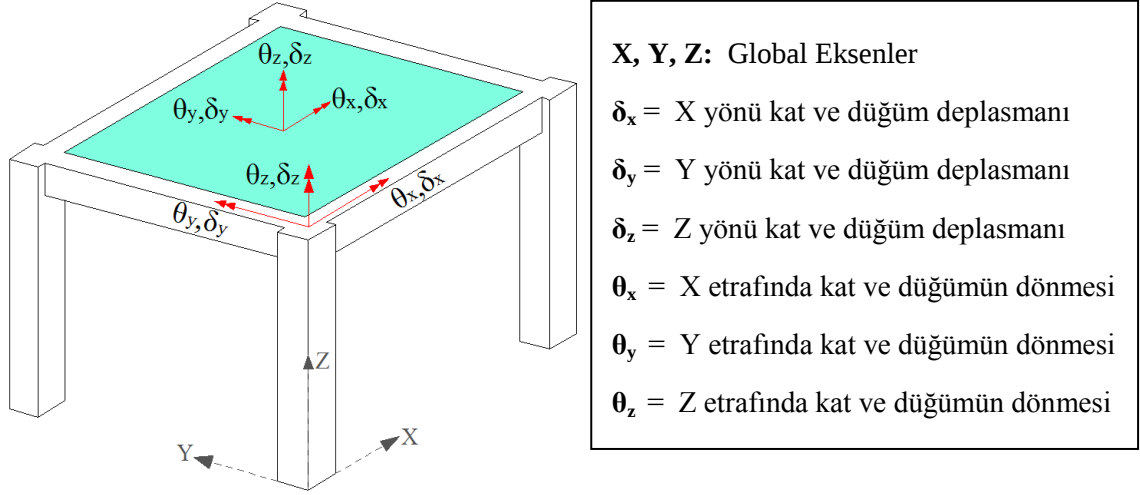
Yükler: Yayılı (düzgün-üçgen-trapez-parabolik) yük, sabit yükler ve hareketli yükler yanında deprem, sıcaklık, rüzgar, toprak itkisi gibi yükler tanımlanabilmektedir. Üniform sıcaklık yükü, eleman bazında tanımlanabileceği gibi yapıyı oluşturan katlar bazında farklı ve tüm sistemde tek bir yük olarak da tanımlanabilir. Deprem yükü yazılım tarafından otomatik olarak hesaplanabilmekte, rüzgar ve toprak itkisi ise dış yük olarak kullanıcı tarafından modellenabilmektedir. Noktasal yük, yapı elemanlarına ve sistem düğüm noktalarına kuvvet olarak tanımlanabileceği gibi moment olarak da tanımlanabilir. Ayrıca sistem düğüm noktalarına noktasal kütle ve düğüm noktası deplasmanı eklenebilmektedir.

Mesnet Şartları: Mesnetler ankastre, sabit ya da hareketli olabilmektedir. Mesnetlenme kolon alt ve üst ucunda yapılabilir. Sistem düğüm noktalarında istenilen serbestlik bırakılıp, istenilen serbestlik tutulabilmektedir. Yazılımda istenilen herhangi bir düğüm noktasına yay ve sönüm elemanı tanımlamak mümkündür. Ayrıca seçilen iki düğüm noktası arasına rijit bağlantı elemanı da eklenebilir.

Analiz Modeli ve Yöntemi: Çubuk elemanların (kiriş, kolon, perde) kat seviyesinde rijit diyafram (döşeme) ile birbirine bağlanıp bağlanmadığı kullanıcı girişine bağlı olarak değişmektedir. Kullanıcı isterse kat seviyesinde rijit diyafram kabulü yapabilir. Sistem çubuk ve levhalardan oluşan üç boyutlu, sonlu elemanlar deplasman metodu ile analiz edilmektedir. Bilinmeyenler; her düğümde düşey ve yatay deplasman, her üç eksen etrafında dönme ile kat seviyesinde her üç yönde deplasman ve kat dönmesi olarak alınmaktadır (Şekil 2.1 Grafik ekranda sunulan kat ve düğüm noktası deplasmanları). Kat düzlemindeki noktaların tümünün bir yöndeki deplasmanları eşit olmaktadır. Tanımlanan model hem düşey hem de yatay yüklerin analizinde kullanılmaktadır.

Z-PRO da oluşturulan değişik yapı modelleriyle yapılan analizler sonucu, grafik ekranda kat düzlemi kütle merkezinde her üç yönde deplasman ve kat dönmesi gösterilmekte iken, rapor kısmında kat deplasmanları X ve Y doğrultusunda iki adet öteleme, Z eksenini doğrultusunda bir dönme şeklinde kullanıcıya sunmuştur. Grafik ekranda sunulan Z eksenini doğrultusundaki deplasman ile X ve Y eksenini doğrultusundaki

dönmeler daima sıfırdır. Buradan da anlaşılacağı üzere Z-PRO da kat deplasmanları X ve Y doğrultusunda iki adet öteleme, Z eksenini doğrultusunda bir dönmeden ibarettir.



Şekil 2.1 Kat ve düğüm noktası deplasmanları

Deprem Hesabı: Eşdeğer deprem yükü yöntemi, mod birleştirme yöntemi ve zaman tanım alanında hesap yöntemlerinden yalnızca mod birleştirme yöntemi ile çözüm yapmak mümkündür. Sistemde kullanıcı tanımlı yatay yük tanımlanabilir, bu yükler isteğe bağlı olarak kolon/perde elemanların üzerine veya bunların düğüm noktalarına etki ettirilebilir. Kullanıcı tanımlı yatay yükler deprem yükü, rüzgar yükü veya toprak itkisi olarak modellenebilir.

Betonarme Hesap: Tasıma Gücü Yöntemi ile yapılmakta, TS 500-2000 ve 1975, 1997 ve 2007 Deprem Yönetmelikleri dikkate alınabilmektedir.

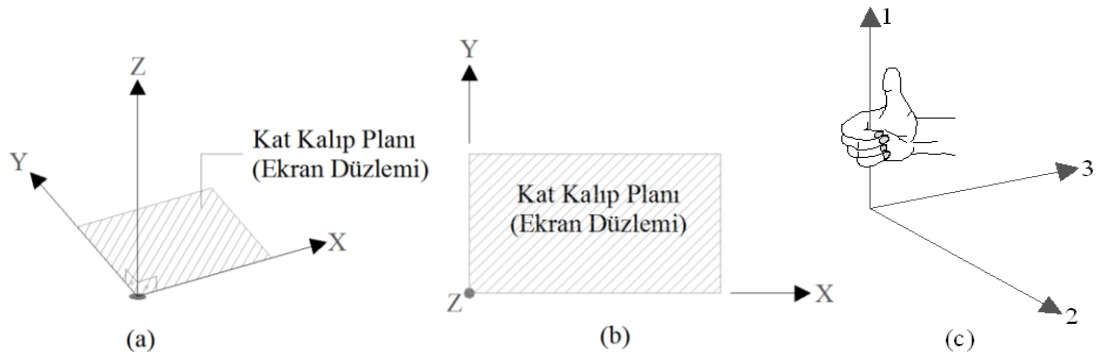
Çıktılar: Analizi yapılan yapının gerekli tüm çizimleri, metraj ve hesap raporları kullanıcı tercihiyle bağlı olarak üretilebilmektedir.

Diğer: Yukarıdaki başlıklara ilave olarak Z-PRO yazılımı ile güçlendirme projeleri ile istinat duvarı ve havuz tanımlayıp analiz yapılabilmektedir.

2.1 Z-PRO Yazılımının Global, Lokal Eksenleri ve İşaret Kabulü

2.1.1 Global eksenler

Global eksenler tüm yapı sisteminin bulunduğu ortamı tanımlayan eksenlerdir. Kartezyen koordinat sistemi (X, Y, Z) tanımlıdır. Z-PRO yazılımında orijin (0,0) ekranın sol alt köşesinde, daire ile gösterilen noktadır. Bu noktaya göre tanımlanan koordinatlar global koordinatlardır. Orijinden geçen yatay eksen X, dikey eksen Y eksenidir. Ekran düzleminde X eksenini soldan sağa, Y eksenini aşağıdan yukarıya ve Z eksenini de ekran düzlemine dik ve kullanıcıya doğru yönelmiştir. Z-PRO yazılımında eksen takımı projenin herhangi bir noktasında olabilir. Kullanıcı projenin herhangi bir aşamasında istediği zaman lokal koordinat sistemi tanımlayabilir ve bu lokal koordinat sistemine göre çalışabilir. Kat kalıp planı X-Y düzleminde yer alır. Düzlemler X, Y ve Z yönünde yer değiştirirler ve bu eksenler etrafında dönerler. Bu yer değiştirmelere, dönme dahil global deplasmanlar denir.



Şekil 2.2 a) Global eksen takımı, X (apsis), Y (ordinat), Z (kot), b) X-Y düzlemi kat kalıp planı
c) Lokal eksen takımı

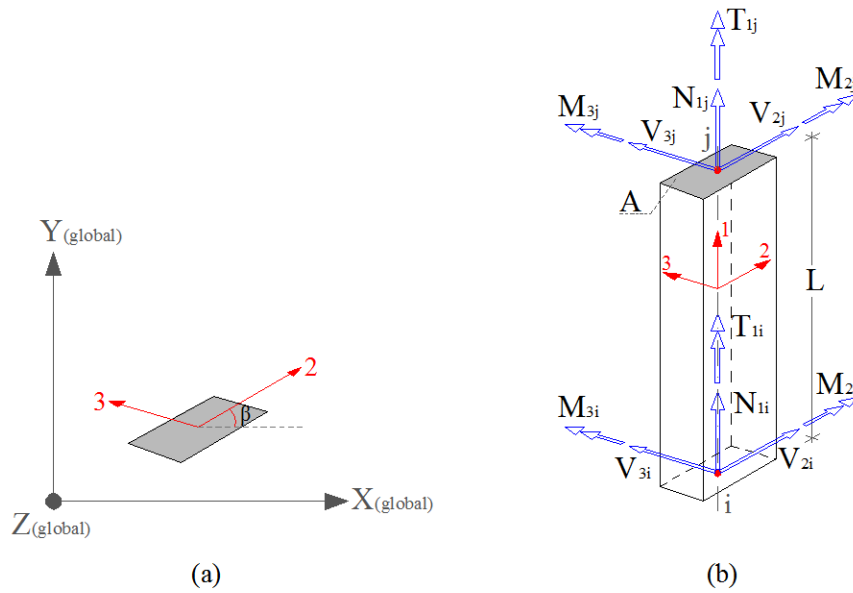
2.1.2 Elemanın lokal eksenleri ve teorik işaret kabulünün irdelenmesi

Elemanın global eksenlere göre yerleşimini belirleyen ve elemana ait olan koordinatlarıdır. Adlandırması 1, 2, 3 şeklinde gösterilmiştir (Şekil 2.2 (c)). Koordinat sistemi sağ sistemdir (sağ sistem: 2 eksenini 90° 3 eksenine doğru döndürülürken 1 eksenini saplanan vida hareketi yapar). Lokal eksenlerin orijini daima elemanın i ucundadır. 1

ekseni çubuk eksenidir ve i ucundan j ucuna doğru yönlendirilmiştir. i ucu sol gözümüz j ucu sağ gözümüz olacak şekilde elemana dik bakıldığında 1 eksen sol gözümüzden sağ gözümüze doğru ve 3 eksen bize doğru yönelmiştir. 2 eksen sağ koordinat sistemini oluşturacak şekilde ve elemanın duruşuna bağlı olarak yukarı, aşağı, sağa, sola yönelir. Sonlu Elemanlar Metodunda sistem deplasmanları, lokal eksenler, eleman lokal uç deplasmanları ve uç kuvvetleri için işaret kuralı son derece disiplinli olmak zorundadır. Lokal eksenlerin elemanın hangi ucunda tanımlandığı, lokal deplasmanların ve lokal kuvvetlerin pozitif yönlerinin bilinmesi kullanıcı açısından son derece önemlidir. Çünkü tüm veri ve sonuçların sadece ve sadece doğru ve net tanımlanmış lokal eksen takımına göre doğru yorumlanması mümkündür.

2.1.2.1 Kolon lokal eksenleri ve teorik işaret kuralı

Kolonlarda alt uç düğüm noktasının numarası “ i ”, üst uç düğüm noktasının numarası “ j ” dir. Z-PRO yazılımı, kolon lokal eksenleri ile iç kuvvetlerin analizde kullanılan (teorik) pozitif yönlerini ve çıktı teorik pozitif yön kabullerini Şekil 2.3 deki gibi vermektedir. Hesaplarda ve çıktılarda Şekil 2.3(b) deki işaret kuralı kullanılmaktadır.



Şekil 2.3 Z-PRO yazılımının sunduğu: a) Kolon lokal eksenleri, b) İç kuvvetlerin teorik pozitif yönleri ile çıktı pozitif yön kabulleri

- L : Düğüm noktasından düğüm noktasına ölçülen kolon serbest yüksekliği,
 N : Kolon serbest yüksekliğinin alt ve üst uçlarında hesaplanan aksenal kuvvet,
 V_2, V_3 : Kolon serbest yüksekliğinin alt ve üst uçlarında hesaplanan kesme kuvveti,
 T : Kolon serbest yüksekliğinin alt ve üst uçlarında hesaplanan burulma momenti,
 M_2, M_3 : Kolon serbest yüksekliğinin alt ve üst uçlarında hesaplanan eğilme momenti,
 A : Kolon enkesit alanı,
 $\dot{I}$: Kolon alt uç düğüm noktası numarası,
 J : Kolon üst uç düğüm noktası numarası,
 β : Kolon lokal 2 ekseninin global X eksenine ile yaptığı açıdır.

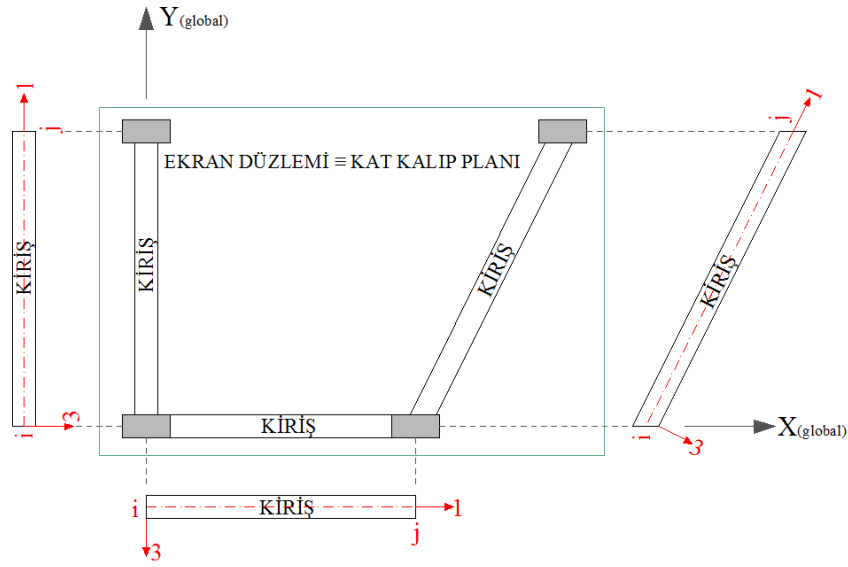
Şekil 2.3(b) de “i” düğüm noktası ile başlayıp, “j” düğüm noktası ile biten bir kolon eleman görülmektedir. Şekil 2.3(a) da gösterilen lokal eksenlerle Şekil 2.3(b) de gösterilen eksenler örtüşmektedir. Şekil 2.3(b) de gösterilen lokal koordinat sistemi sağ el kuralı temeline dayanır. Kolon elemanın lokal 1 ekseninin pozitif yönü, “i” den “j” ye bağlanarak belirlenmiş ve aynı doğrultuda gösterilmiştir. Lokal 1 eksen kolon elemanın eksenidir. Lokal 2 ve 3 eksenlerinin pozitif doğrultularının elde edilmesinde sağ el kuralı uygulanmıştır. Lokal eksenlerin orijini elemanın “i” ucundadır.

Z-PRO yazılımının kolonlar için veri girişi, çıktıları ve grafikleri incelenerek:

1. ‘i’ ucu altta ‘j’ ucu üstte olup bu uçların kolon geometrik merkezinde bulunduğu
2. Lokal eksenlerin orijininin daima “i” ucunda olduğu
3. 2 - 3 lokal eksenlerinin kat düzleminde olduğu
4. 1 lokal ekseninin kolon eksenine olduğu ve yukarı doğru yönlendiği
5. Kolon lokal 2 ekseninin global X eksenine ile β açısı yaptığı (dönük kolon)
6. Teorik koordinat sistemi ile hesap ve çıktılarda kullanılan koordinat sisteminin Şekil 2.3 (b) deki gibi olduğu, herhangi bir tutarsızlık olmadığı anlaşılmıştır.

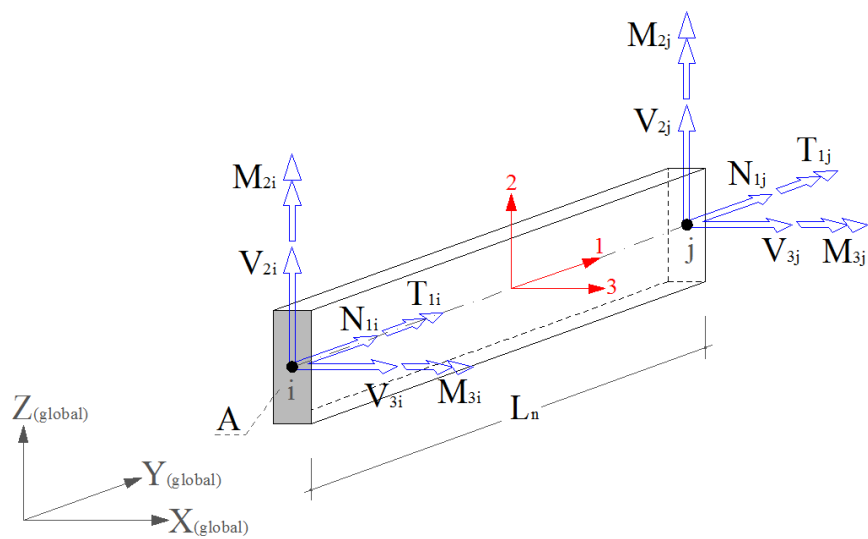
2.1.2.2 Kiriş lokal eksenleri ve teorik işaret kuralı

Z-PRO yazılımı, kirişin konumuna göre kiriş düğüm noktası numarası ve kiriş lokal eksenlerini Şekil 2.4 teki gibi vermektedir.



Şekil 2.4 Z-PRO yazılımının sunduğu kiriş lokal eksenleri ve düğüm noktası numaraları

Ekran düzleminde (kat kalıp planında) global X eksenine paralel kiriş elemanların sol uç düğüm noktasının numarası “i” sağ uç düğüm noktasının numarası “j” dir, global Y eksenine paralel kirişlerde alt uç “i”, üst uç “j” ucudur. Bu uçlar kiriş geometrik merkezinde yer alır. Kiriş lokal eksen takımının orijini “i” ucundadır. Z-PRO yazılımı, kiriş lokal eksenleri ile iç kuvvetlerin analizde kullanılan (teorik) pozitif yönlerini ve çıktı pozitif yön kabullerini Şekil 2.5 deki gibi vermektedir.



Şekil 2.5 Z-PRO yazılımının sunduğu: Kiriş lokal eksenleri, iç kuvvetlerin teorik pozitif yönleri ile çıktı pozitif yön kabulleri

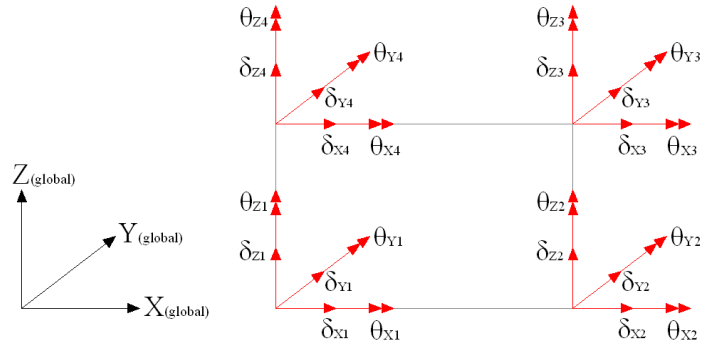
- L_n : Kirişin kolon yüzeyinden kolon yüzüne olan net boyu,
 N : Kiriş net boyunun sol ve sağ uçlarında hesaplanan eksenel kuvvet,
 V_2, V_3 : Kiriş net boyunun sol ve sağ uçlarında hesaplanan kesme kuvveti,
 T : Kiriş net boyunun sol ve sağ uçlarında hesaplanan burulma momenti,
 M_2, M_3 : Kiriş net boyunun sol ve sağ uçlarında hesaplanan eğilme momentleri
 A : Kiriş enkesit alanı,
 i : Kiriş sol uç düğüm noktası numarası,
 j : Kiriş sağ uç düğüm noktası numarası,

Şekil 2.5’de gösterilen lokal koordinat sistemi sağ el kuralı temeline dayanır. Kiriş elemanın lokal 1 ekseninin pozitif yönü, “i” den “j” ye bağlanarak belirlenmiş ve aynı doğrultuda gösterilmiştir. Lokal 1 ekseni kiriş elemanın eksenidir. Lokal 2 ve 3 eksenlerinin pozitif doğrultularının elde edilmesinde sağ el kuralı uygulanmıştır. Z-PRO yazılımında kiriş elemanlar lokal 1 ekseni etrafında dönük olarak modellenmemektedir.

Z-PRO yazılımının kirişler için veri girişi, çıktıları ve grafikleri incelendiğinde, teorik koordinat sistemi ile hesap ve çıktılarda kullanılan koordinat sisteminin Şekil 2.5 deki gibi olduğu, herhangi bir tutarsızlık olmadığı anlaşılmıştır.

2.1.2.3 Perde lokal eksenleri ve teorik işaret kuralı

Z-PRO yazılımında, perde elemanlar için kolon modeli kullanıldığı takdirde hesap ve çıktı işaret kuralı kolon elemanlarda olduğu gibidir (Şekil 2.3(b)). Kabuk eleman modeli kullanılması durumunda ise kabuk elemanlarda iç kuvvet işaret kabulleri ile deplasman ve dönmelerin işaret kabulleri grafik ortamda sunulmaktadır. Kabuk elemanların deplasman ve dönmelerine ait pozitif yön kabulleri Şekil 2.6 da verilmiştir.

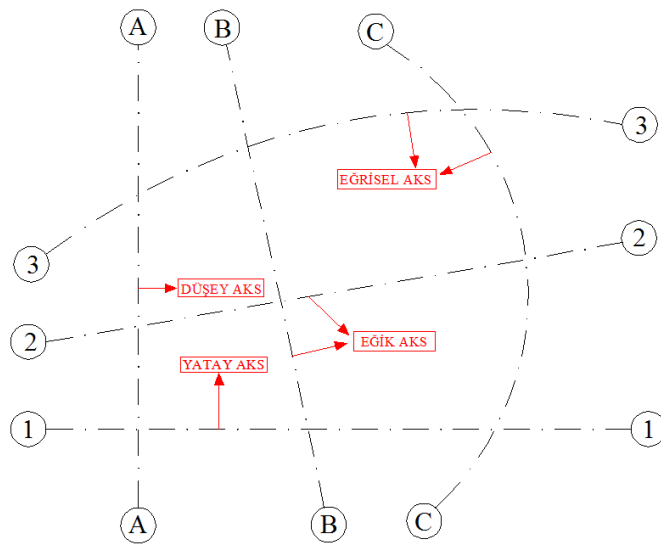


Şekil 2.6 Kabuk elemana ait deplasmanların pozitif yönleri

2.2 Z-PRO Yazılımı Yapı Elemanları

2.2.1 Aks modeli

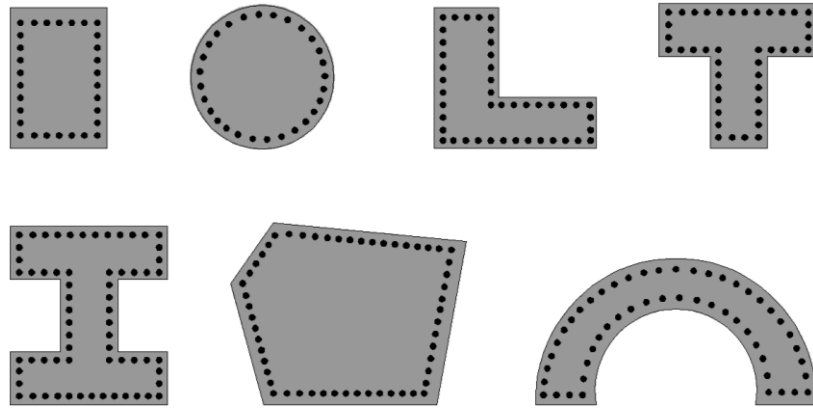
Akslar yapı elemanının geometrik yerlerini belirlemeye yaramaktadır. Aplikasyonun temel unsurudur. Mimari aksların yanında hesap aksları da tanımlanmaktadır. Akslar nereden geçerse geçsin statik hesapta elemanların ağırlık merkezinden geçen eksenler dikkate alınmaktadır.



Şekil 2.7 Aks modelleri

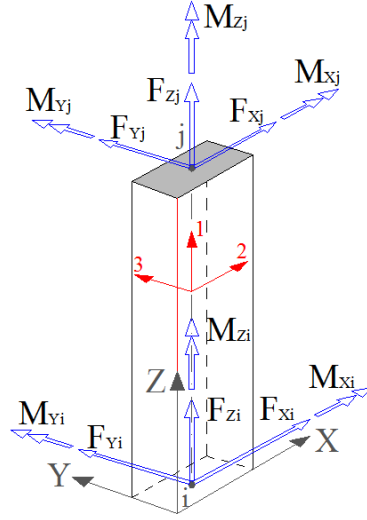
2.2.2 Kolon modeli

Z-PRO yazılımında kolonlar düşey ya da düşeyde eğik olabilirler, kesitleri dikdörtgen, daire ve herhangi bir poligon (dolu çokgen) olabilir (Şekil 2.8). Kutu ve halka kesitli kolon modeli oluşturmak mümkün değildir. Kolonlara başlık da eklenebilmektedir. Kesit içindeki donatı planının seçimi konusunda kullanıcının bir seçeneği bulunmamaktadır ve hangi tip donatı planı kullanıldığı belirtilmemiştir. Ancak pas payı, minimum donatı oranı, maksimum donatı oranı, minimum etriye aralığı, maksimum etriye aralığı gibi kolon parametrelerini kullanıcı değiştirebilmektedir.



Şekil 2.8 Kolon kesitleri

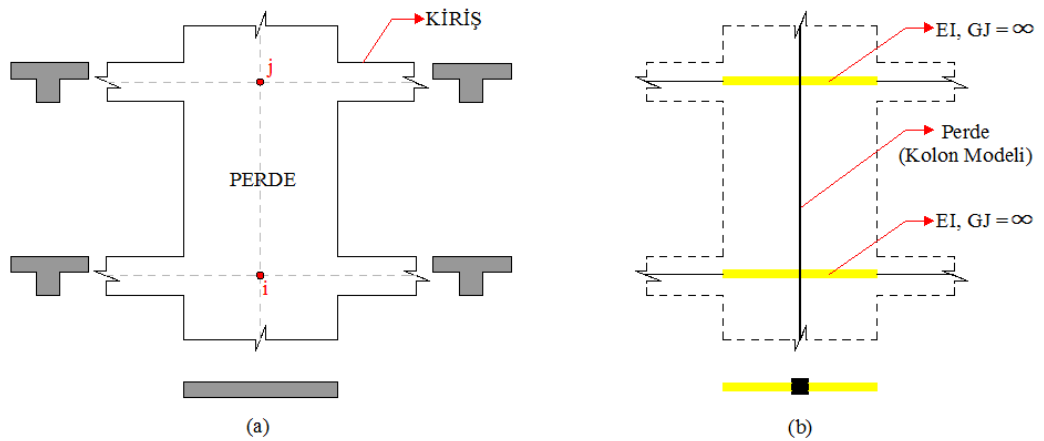
Düşey eksen boyunca kolon kesiti sabittir, değişken kesitli kolon tanımlanamaz. Kolonların alt ve üst uçlarına dış yük olarak global eksenler doğrultusunda kuvvet, eğilme momenti ile düğüm noktası deplasmanı tanımlanabilir. Kolon uçlarına, moment mafsalı, kesme mafsalı, normal kuvvet mafsalı ve burulma mafsalı tanımlanamamaktadır. Döşemelerin kesintiye uğradığı rijit diyaframların bölündüğü düğüm noktalarında üstü serbet kolon tanımlamak mümkündür bu sayede düğüm noktalarının deplasmanları kat deplasmanlarından bağımsız hale getirilebilir. Şekil 2.9 da kolon düğüm noktaları dış yüklerinin pozitif yönleri verilmiştir. Düğüm yükü pozitif yönü Şekil 2.9 da görüldüğü gibi, global ve lokal eksen pozitif yönleri ile aynıdır.



Şekil 2.9 Kolon düğüm noktaları dış yük pozitif yönleri

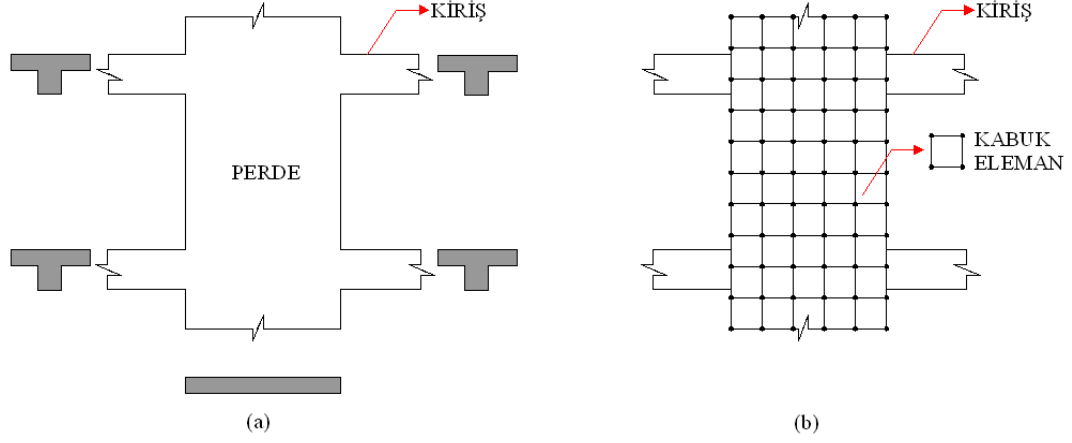
2.2.3 Perde (Panel) modeli

Z-PRO yazılımında perde elemanlar iki şekilde modellenebilmektedir. Bunlar kabuk ve kolon modelleridir (Şekil 2.10 ve Şekil 2.11). Kullanıcı istediği modeli kullanabilmektedir. Perde elemanlar kolon modeli olarak analiz edilmek istendiğinde, perde kesit özellikleri çubuk olarak modellenmiş elemana aktarılmaktadır.



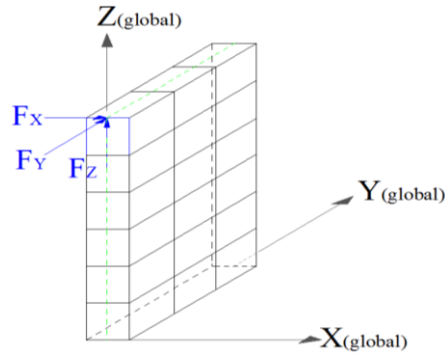
Şekil 2.10 a) Perde elemanın geometrik modeli, b) Perde kolon modeli

Kabuk eleman modelinde perde, dikdörtgen sonlu kabuk elemanlara bölünmekte ve köşe noktalarından düğümlerle birbirine bağlanmaktadır. Kabuk elemanların boyutu kullanıcı seçimine bırakılmıştır.



Şekil 2.11 a) Perde elemanın geometrik modeli, b) Perde kabuk modeli

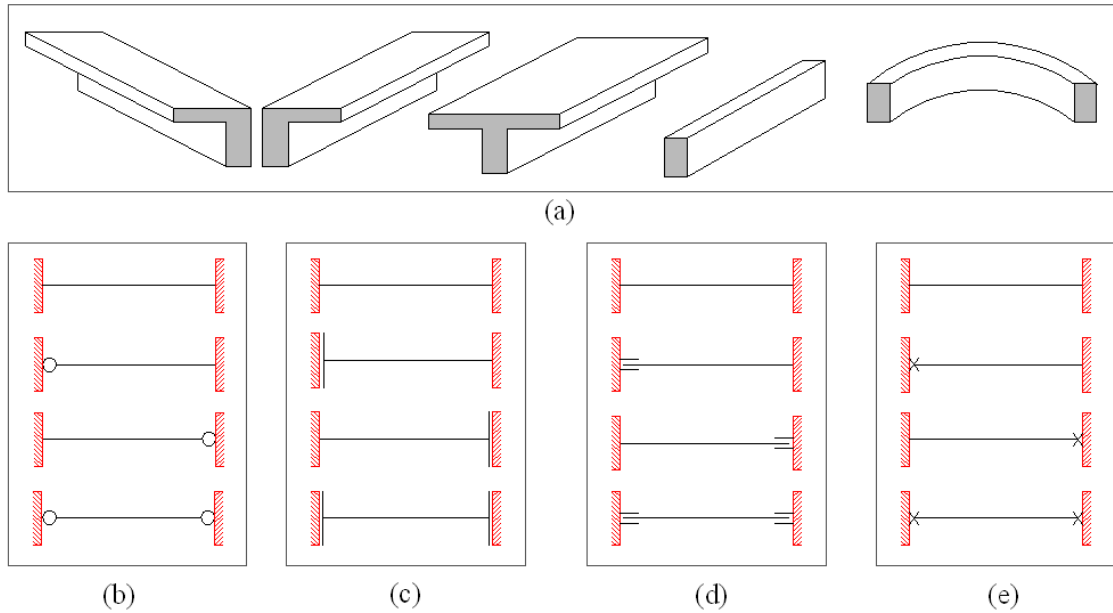
Z-PRO yazılımında, perde elemanlarda kat seviyesinde mafsalları tanımlanamaz. Perde elemanlar için kolon modeli kullanıldığı takdirde, perdenin i ve j düğüm noktalarına tanımlanabilen dış yükler ve pozitif yönleri kolonlarda olduğu gibidir (Şekil 2.9). Kabuk eleman modeli kullanılması durumunda ise kabuk elemanı oluşturan her bir sonlu eleman parçasının düğüm noktalarına, düğüm noktası yükü ve düğüm noktası deplasmanı tanımlanabilmektedir. Düğüm noktası yükü noktasal yük olduğu gibi moment olarak da tanımlanabilir. Şekil 2.12 de perde kabuk modeline tanımlanabilen dış yükler ve pozitif yönleri gösterilmiştir.



Şekil 2.12 Perde kabuk modelinde tanımlanabilen dış yükler ve pozitif yönleri

2.2.4 Kiriş modeli

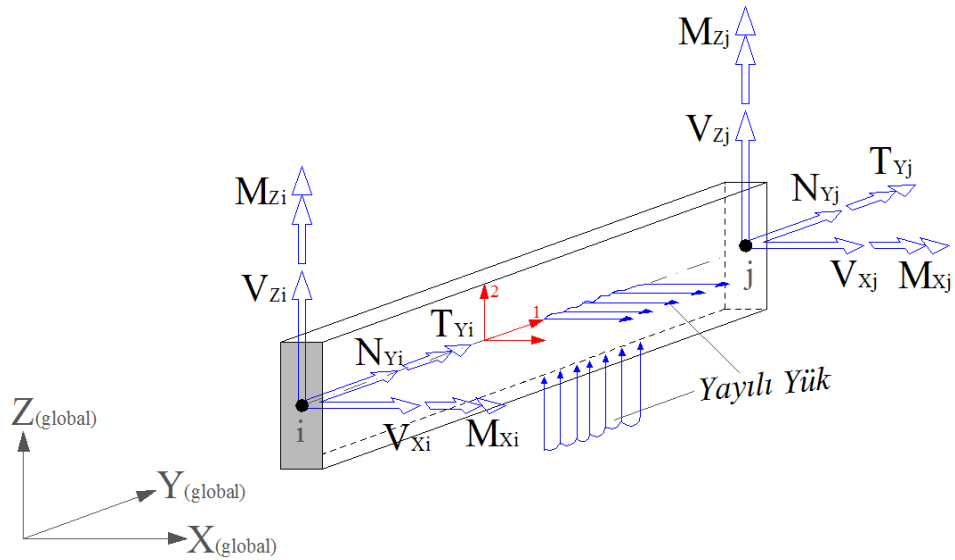
Kesiti dikdörtgen geometrili kirişler tanımlanabilmektedir. Kirişlere oturan bir döküm döşemeler bulunması durumunda, kiriş betonarme hesapları tablalı veya tablasız olarak yapılabilir. Etkili tabla genişlikleri TS 500-2000 e göre belirlenmektedir. Yazılımda döşeme olmaksızın tablalı kiriş tanımlama olanağı yoktur. Kirişler dikdörtgen kesitli olup doğrusal kiriş, düşeyde eğik kiriş (kiriş düğüm noktaları i ve j farklı kotlarda), eğrisel kiriş, yay kiriş, olarak da tanımlanabilmektedir. Sabit kesitli lineer veya parabolik değişken kesitli güseler tanımlanamamaktadır. Şekil 2.13 (a) da Z-PRO da modellenebilen kirişler gösterilmektedir.



Şekil 2.13 a) Kiriş modelleri, b) Kirişlerde moment mafsalları, c) Kirişlerde kesme mafsalları, d) Kirişlerde normal kuvvet mafsalları, e) Kirişlerde burulma mafsalları

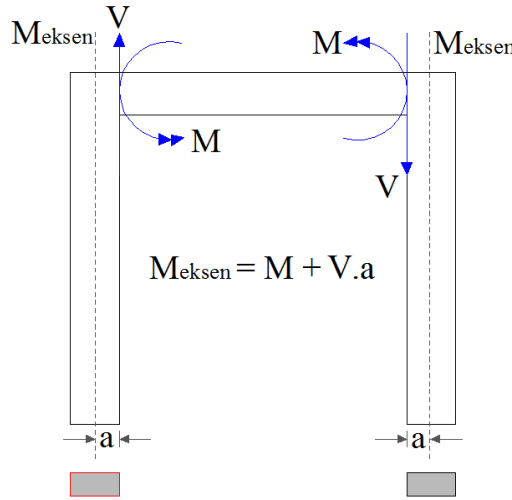
Kiriş elemanların i ve j uçlarına M_{22} - M_{33} moment mafsalları, V_{22} - V_{33} kesme mafsalları, N_{11} normal kuvvet mafsalları ile T_{11} burulma mafsalları tanımlanabilmektedir. Mafsallaşma miktarı kullanıcı tarafından belirlenmektedir. Z-PRO ve SAP 2000 de oluşturulmuş değişik yapı modellerine yukarıda gösterilen mafsalları ayrı ayrı uygulanmış, aynı şartlar altında sistemler analiz edilmiştir. Analiz sonrası her iki yazılımında sonuçlarının örtüştüğü görülmüştür.

Kiriş yükleri, kiriş net açıklığında tanımlanabildiği gibi kullanıcı isterse kirişin kolon içinde kalan rijit bölgesinde de tanımlanabilmektedir. Kirişlere kirişin öz yükü, döşemelerden otomatik aktarılan yükler ve varsa duvar yükünün dışında noktasal yük, düzgün, trapez, yamuk, üçgen, parabolik ya da kısmi yayılı dış yükler şeklinde ayrı ayrı veya birlikte etki ettirilebilir. Yükler hem düşeyde hem de yatayda (yanal yük) tanımlanabilmektedir. Sıcaklık etkisi yük olarak eleman bazında ve üniform olarak tüm sisteme verilebilmektedir. Kiriş dış yükleri X, Y, Z global eksen düzleminde tanımlanabileceği gibi 1, 2, 3 lokal eksen düzleminde de tanımlanabilmektedir. Kiriş elemanın uçlarında tanımlı dış yüklerin global eksenlere göre pozitif yönleri Şekil 2.14 de gösterilmiştir.



Şekil 2.14 Kiriş uçlarına tanımlanan dış yükler ve pozitif yönleri

Z-PRO kullanıcısı eğer “kirişlerde rijit kolları dikkate al” seçeneğini aktif hale getirmemiş ise yazılım moment ve kesme kuvvetlerini eksenlerde vermektedir. Yazılımda, “kiriş rijit kolları dikkate al” seçeneği aktif ise moment ve kesme kuvvetleri öncelikle kolon yüzünde hesaplanmakta daha sonra eksendeki moment değeri bu değerler yardımıyla bulunmaktadır (Şekil 2.15).



Şekil 2.15 Eksendeki momentin hesaplanma modeli

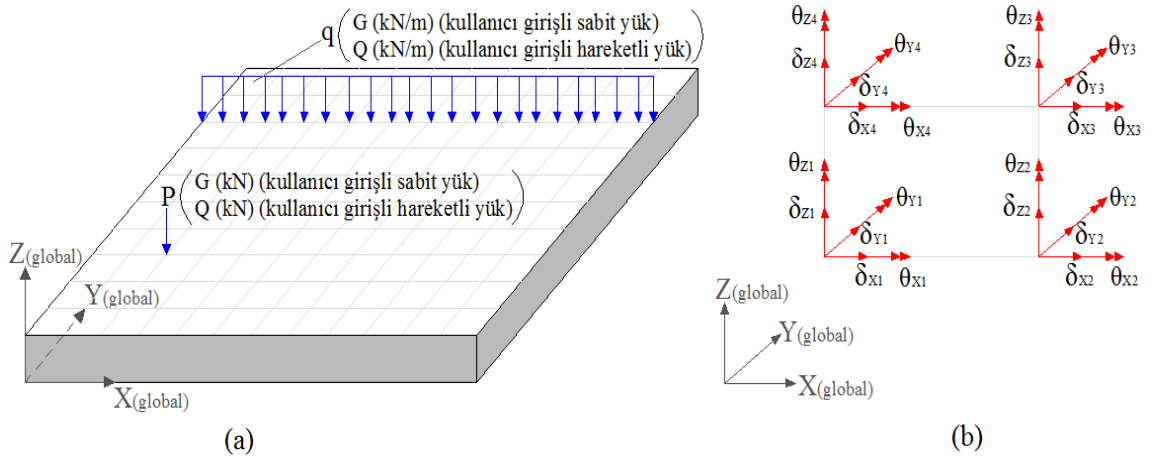
Şekil 2.15 de görüldüğü gibi, yazılımda oluşturulan sistemde “kirişlerde rijit kolları dikkate al” seçeneği aktif ise kolon yüzündeki kesme kuvveti (V) ve kolon yüzündeki eğilme momenti (M) değerleri analiz sonrası hesaplanabilir. Kolon eksenine ile kolonun dış yüzü arasındaki mesafe (a) (kolon genişliğinin yarısı) ile kolon yüzündeki kesme kuvveti değeri çarpılıp, kolon yüzündeki moment değerine eklenerek kolon eksenindeki moment değeri belirlenmektedir. Sonuç olarak Z-PRO da yükler, kiriş net açıklığında tanımlanabildiği gibi kirişin kolon içinde kalan rijit uçlarında da tanımlanabilmektedir.

2.2.5 Döşeme modeli

Z-PRO yazılımında kirişli, kirişsiz, dişli ve kaset döşeme tanımlanabilir. Döşemeler üçgen, dikdörtgen ve çokgen geometrilidir. Döşeme kenarları yay parçası şeklinde eğriselde olabilir. Döşemeler her zaman yatay olmak zorunda değildir, eğimli plaklar da tanımlanabilmektedir (Betonarme rampalar, merdiven plakları gibi). Düşük döşeme tanımlanabilir ve yerel döşeme boşlukları oluşturulabilir. Döşeme kaplama ve döşeme hareketli yükleri kullanıcı seçeneğine bağlı ve kullanıcı tanımlı olarak sisteme girilebilmektedir. Döşeme hesap aksı oluşturulabilir.

Döşeme elemanlarda yapı malzemesi olarak beton ve betonarme çeliği tanımlıdır. Kolon, kiriş ve perde elemanlardan farklı olarak döşemelerde hasır çelik kullanılabilir.

Döşeme üzerine dış yük olarak noktasal yük ve düzgün yayılı çizgisel yük tanımlanabilir (Şekil 2.16 (a)). Döşemelere moment tanımlama olanağı yoktur. Döşeme statik hesapları sonlu elemanlar yöntemi ile yapılabilir. Döşemeler kare plak elemanlara bölünmekte ve sonlu eleman genişliği kullanıcı girişine sunulmaktadır. Yazılım rijit diyafram merkezindeki kabuk elemana ait deplasman ve dönmeleri sunmaktadır (Şekil 2.16 (b)).



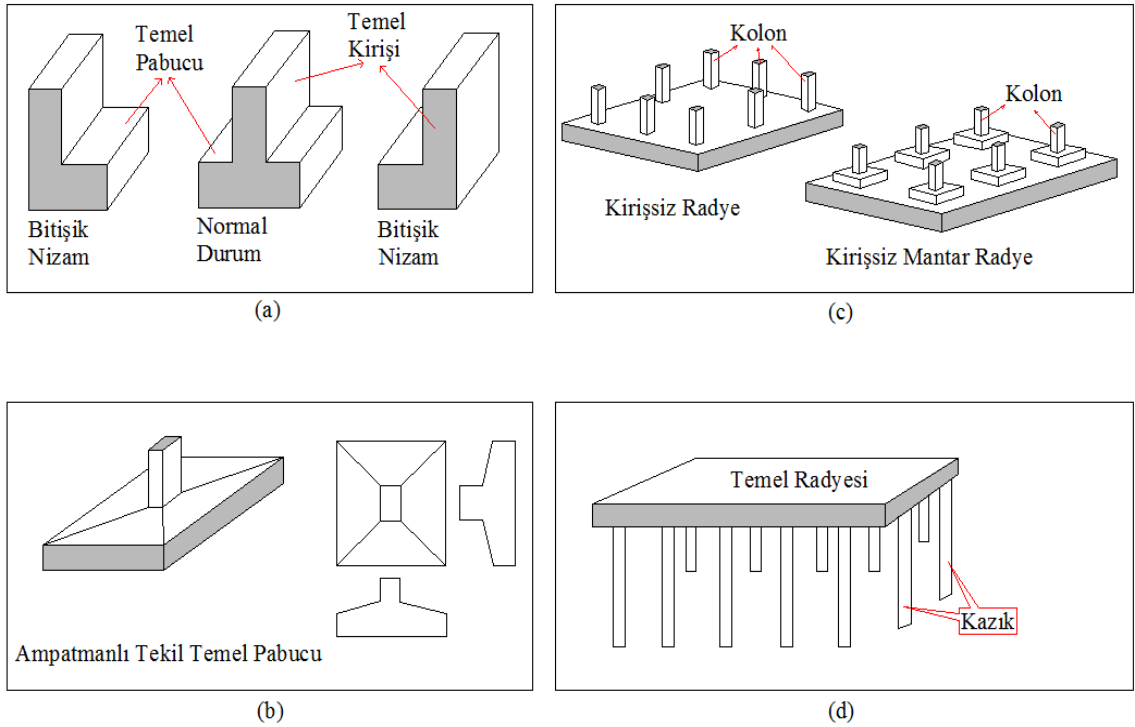
Şekil 2.16 a) Döşemelerde tanımlanabilen çizgisel ve noktasal yük, b) Kabuk elemana ait deplasmanların pozitif yönleri

Z-PRO yazılımında kat seviyesinde rijit diyafram kabulü kullanıcı seçeneğine bağlı olarak vardır. Döşemenin tümü veya bir kısmının olmadığı, yalnızca kolon ve kirişlerden oluşan, düzlem ve uzay çerçevelerde dahi rijit diyafram kabulü geçerli olduğu gibi yazılım bu tür sistemleri rijit diyaframsız olarak da çözebilmektedir.

2.2.6 Temel modeli

Z-PRO yazılımında derin ve yüzeysel temeller modellenebilmektedir. Tekil temel, bağ kirişi, bir veya iki yönde sürekli temel, kirişli veya kirişsiz radye temel sistemleri ile kuyu ve kazıklı temel de tanımlanabilmektedir. Tekil ve sürekli temel sistemlerinde temel pabuçları (ampatmanlar) gerekli durumlarda Şekil 2.17(a) daki gibi olabilir. Yazılımda tanımlanabilen bağ kirişlerinin görevi; deprem kuvvetlerini aktarmak, yatay yönde temellerin farklı yer değiştirmesini önlemektir.

Z-PRO yazılımında oluşturulan değişik yapı modelleri ile yapılan analizlerde bağ kirişlerinin moment ve kesme kuvveti almadığı yalnızca eksenel kuvvet aldığı görülmüş ve amacına uygun davranış sergilediği tespit edilmiştir. Şekil 2.17 de Z-PRO yazılımında tanımlanabilen bazı temel modelleri verilmiştir.



Şekil 2.17 a) Tekil ve sürekli temel sistemlerinde temel pabuçları, b) Anpatmanlı tekil temel, c) Kirişsiz radye temel modelleri, d) Kazık temel modeli

2.3 Z-PRO Yazılımı Varsayımları

2.3.1 Malzeme ve kesit varsayımları

2.3.1.1 Malzeme varsayımları

Z-PRO yazılımında yapı malzemesi olarak beton ve donatı çeliği kullanılmaktadır. Yazılımda beton karakteristik basınç dayanımı, beton karakteristik çekme dayanımı, beton malzeme katsayısı, k_1 sabiti, boyuna donatı akma gerilmesi, sargı donatısı akma gerilmesi, çelik malzeme katsayısı, elastisite modülü, poisson oranı, özgül kütle ile sıcaklık genleşme katsayısı gibi parametreler kullanıcı girişine sunulmuştur.

Beton ile ilgili malzeme varsayımları şunlardır:

Beton Sınıfı: Beton sınıflarının bir alt ve üst sınırı yoktur her cins beton sınıfı tanımlanabilmektedir. Taşıyıcı elemanlar için C14/16, C16/20, C18/22, C20/25, C25/30, C30/37, C35/45, C40/50, C45/55, C50/60 beton sınıfları tanımlanmış ve parametreleri ile birlikte verilmektedir.

Beton Yoğunluğu: Beton yoğunluğu varsayılan ayar olarak 2.5 t/m^3 tür, bu değer kullanıcı girişine de sunulmuştur. Beton yoğunluğu; kg, t ve Lb birimlerinde seçilebilmektedir.

Beton karakteristik basınç dayanımı (f_{ck}): Z-PRO yazılımı beton karakteristik basınç dayanımı değerini C14/16, C16/20, C18/22, C20/25, C25/30, C30/37, C35/45, C40/50, C45/55, C50/60 beton sınıfları için TS 500-2000 den almaktadır. Kullanıcı bu beton sınıflarının dışındaki herhangi bir ara değer için beton karakteristik basınç dayanımı değeri tanımlayamamaktadır. Betonarme hesaplarda karakteristik basınç dayanımının sayısal değeri kullanılmaktadır. Z-PRO taşıma gücü ilkesine göre betonarme hesap yapmaktadır. Betonun karakteristik basınç dayanımlarıyla birlikte k_1 katsayılarının kullanıcıya sunuluyor olması, betonarme kesit hesabında eşdeğer dikdörtgen basınç

bloğu modelinin kullanıldığı göstermektedir. k_1 katsayısı, Z-PRO da tanımlı beton sınıfları için TS 500–2000 den alınmış ve bu değer kullanıcı girişine de sunulmuştur. Örneğin C20/25 betonu için k_1 değeri TS 500–2000’ e göre 0.85 iken kullanıcı 0.1, 0.5, 0.70, 1, 2, 3... gibi (0 ve negatif sayı değeri girilemez) değerler girebilmekte, yazılım kullanıcı tanımlı k_1 değeri girildiği konusunda kullanıcıyı uyarmakta ancak herhangi bir hata mesajı vermeden tüm rapor ve çizim çıktılarını üretebilmektedir.

Beton karakteristik çekme dayanımı (f_{ctk}): Beton karakteristik çekme dayanımı TS500- 2000 deki $f_{ctk} = 0.35 \sqrt{f_{ck}}$ bağıntısı ile hesaplanmaktadır. Bu değer kullanıcı girişine sunulmuştur. Sıfır ve negatif sayı değeri alamaz.

Beton malzeme katsayısı (γ_{mc}): Beton malzeme katsayısı için varsayılan değer 1.5 dir. Bu değer kullanıcı girişine de sunulmuştur. Kullanıcı 8, 9, 10, 100... gibi (sıfır ve negatif sayı değeri girilemez) standart dışı değerler vererek analiz yapabilmekte ve bu durumda yazılım kullanıcıyı uyarmamaktadır.

Elastisite Modülü (E_c): Z-PRO yazılımında aksi belirtilmediği sürece 28 günlük betonun elastisite modülü aşağıdaki bağıntıdan hesaplanıp diğer birimlere de çeviri yapılarak kullanıcıya sunulmaktadır. Yazılımda elastisite modülü kullanıcı girişine bağlı olarak da değiştirilebilmektedir. Sıfır ve negatif sayı değeri alamaz.

$$E_c = 10270 \sqrt{f_{ckj}} + 140000$$

Burada f_{ckj} j günlük betonun karakteristik silindirik basınç dayanımıdır. Örneğin 28 günlük C20/25 betonu için $f_{ckj} = 20 \text{ N/mm}^2$ olarak yazılımda alınmakta ve sunulan elastisite modülü $E_c = 27973 \text{ N/mm}^2 = 27973000 \text{ kN/m}^2$ olmaktadır. Aynı şekilde 28 günlük C30/37 betonu için $f_{ckj} = 30 \text{ N/mm}^2$ olarak yazılımda alınmakta ve sunulan elastisite modülü $E_c = 31174 \text{ N/mm}^2 = 31174000 \text{ kN/m}^2$ olmaktadır.

Poisson oranı (μ_c): Yazılımda poisson oranı beton için 0.20 olarak varsayılmakta, eğer kullanıcı isterse bu değeri değiştirebilmektedir. Poisson oranı beton için 0.15 – 0.25 arasında olmasına karşın yazılımda 1, 2, 3, 5, 8... gibi (sıfır ve negatif sayı değeri girilemez) standart dışı değerler girilerek analiz yapılmakta kullanıcı uyarılmamaktadır.

Kayma modülü (G_c): Kayma modülü yazılımda elastisite modülüne ve kullanıcının verdiği poisson oranına bağlı olarak aşağıdaki bağıntıyla hesaplanır.

$$G_c = \frac{E_c}{2(1 + \mu_c)}$$

Buna göre poisson oranı 0.20 verildiğinde C20/25 beton sınıfı için, $G_c = 11655193$ kN/m² dir. C30/37 beton sınıfı için $G_c = 12988974$ kN/m² dir.

Sıcaklık Genleşme Katsayısı (α_c): Z-PRO yazılımında sıcaklık genleşme katsayısı TS500–2000 de tanımlı 1×10^{-5} 1/ °C olarak alınmakta ve kullanıcı girişine de sunulmaktadır. Kullanıcı, sıcaklık genleşme katsayısı için 10^{35} , -10^{35} , 10^{-35} , -10^{-35} gibi standart dışı herhangi bir değer tanımlamakta ve herhangi bir uyarı ile karşılaşmaksızın analiz yapabilmektedir.

Donatı çeliği ile ilgili malzeme varsayımları şunlardır:

Çelik malzeme sınıfı: Donatı çeliği ile ilgili göze çarpan bilgi, kullanılmak istenen çeliğin akma gerilmesi ve çelik güvenlik katsayısıdır. Diğer çelik malzeme özellikleri ile ilgili bilgi bulunmamaktadır (örneğin a veya b sınıfı gibi). S220a çeliği S220 olarak, S420a ve S420b çelikleri S420 olarak ve S500a ve S500b çelikleri S500 olarak gösterilmektedir.

Çelik malzeme katsayısı (γ_{ms}): Çelik malzeme katsayısı için varsayılan değer 1.15 dir. Bu değer kullanıcı girişine de sunulmuştur. Kullanıcı 8, 9, 10, 100... gibi (sıfır ve negatif sayı değeri girilemez) standart dışı değerler vererek analiz yapabilmekte ve bu durumda yazılım kullanıcıyı uyarmamaktadır.

Çelik akma dayanımı (f_{yk}): Donatı çeliği akma dayanımı TS500–2000 den alınmıştır. Boyuna donatı ve enine donatı için akma gerilmesi ayrı ayrı kullanıcı girişine sunulmuştur. Yazılım kolon, kiriş ve perdelerde boyuna donatılar için S220 veya S500 sınıfı donatı çeliğinin seçilmesi durumunda uyarı vermeksizin analiz yapmaktadır.

2.3.1.2 Kesit varsayımları

Yapı elemanlarının kesit özellikleri Bölüm 2.2 de verilmiştir. Bu bölümde kesme alanı düzeltme katsayısı “k” ya değinilecektir.

Kesme Alanı Düzeltme Katsayısı (k): Kayma gerilmesinin düzgün yayılı olmaması nedeniyle kullanılan “k” katsayısına kesme alanı düzeltme katsayısı denir.

$$\text{Kayma deformasyonu; } \gamma = \frac{\tau}{G} = \frac{k V}{G A_{kesme}} \quad (\text{İnan, 2001})$$

Kesme alanı, kayma deformasyonu bağıntısında kullanılmaktadır. k katsayısı kesite bağlıdır. Z-PRO yazılımında kolon, kiriş ve perde elemanlarının kesit parametreleri (atalet momenti, burulma atalet momenti, enkesit alanı, kesme alanı) kullanıcı girişine sunulmuştur. Yazılımda k katsayısının ne olacağı ile ilgili bir bilgi yoktur. Yazılım kolon, kiriş ve perdelerin kesme alanını bütün kesitlerde kesit alanının 5/6 sı olarak almaktadır ($A_{kesme} = 5/6 A_{kesit}$). 5/6 değeri sadece dikdörtgen kesitler için geçerlidir. Dikdörtgen dışında kesit modellenmesi durumunda kullanıcı bu durumu dikkate almalıdır. Küçük kesitlerde kayma deformasyonunun etkisi çok küçüktür. Taşıyıcı sistem elemanlarının kesit boyutları arttıkça kayma deformasyonunun etkisi de artar. Boy / büyük kenar oranı 10 dan küçük olan elemanlarda k sabiti çok etkin olur. Kullanıcı özellikle perde ve yüksek kirişlerde bu durumu göz önünde bulundurmalıdır.

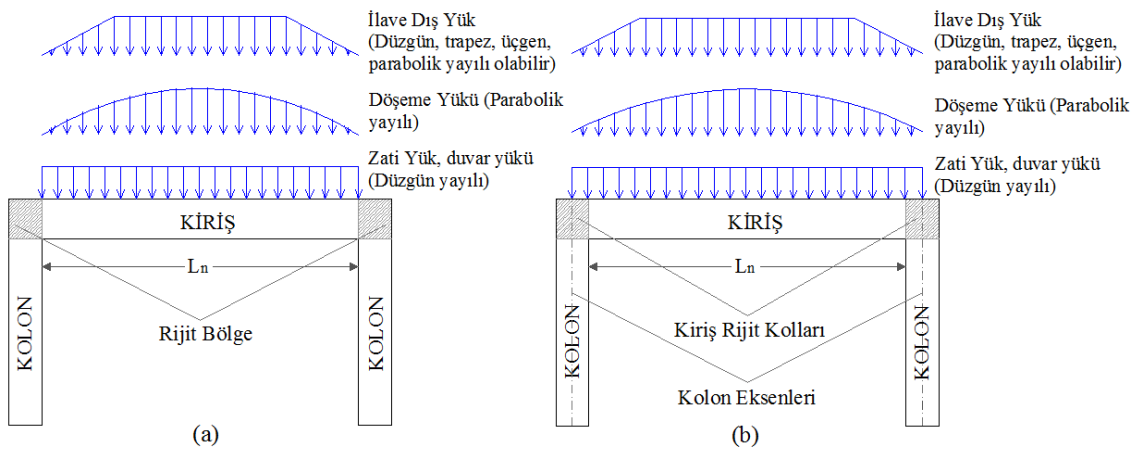
2.3.2 Yük varsayımları, yük aktarımı ve yük kombinasyonları

Z-PRO yazılımında yayılı (düzgün-üçgen-trapez-parabolik) yük, sabit yükler ve hareketli yükler yanında deprem, sıcaklık, rüzgar ve toprak itkisi gibi yükler tanımlanabilmektedir. Deprem yükü yazılımda otomatik olarak modellenabilmektedir. Rüzgar ve toprak itkisi gibi yükler dış yük olarak kullanıcı tarafından modellenip yazılıma girilebilmektedir. Eleman bazında farklı sıcaklık, yük etkisi olarak tanımlanabilir. Ayrıca tüm sistemde veya sistemi oluşturan yapı katlarında ayrı ayrı üniform sıcaklık yükü tanımlanabilir.

Z-PRO’da herhangi bir yapı elemanına dış yük olarak noktasal yük ve yayılı yük tanımlanabilir. Düğüm noktalarına da dış yük olarak noktasal yük tanımlanabilir. Kolon kiriş gibi elemanların orta noktalarına noktasal yük verilebilir, noktasal yük kuvvet olarak tanımlanabileceği gibi moment olarak da tanımlanabilir.

Hareketli yükler, Z-PRO yazılımında mevcut hareketli yük kütüphanesinden alınabildiği gibi kullanıcı tanımlı olarak da sisteme girilebilmektedir. Yazılımda hareketli yük katsayısı 1.6, sabit yük katsayısı ise 1.4 olarak alınmakta eğer kullanıcı isterse bu değerleri değiştirebilmektedir.

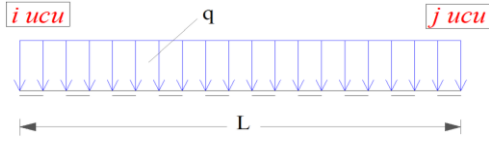
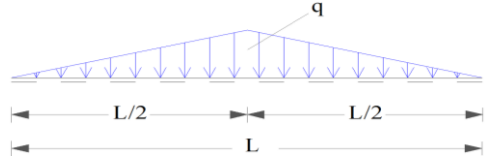
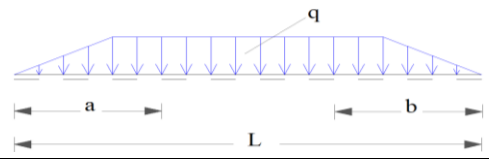
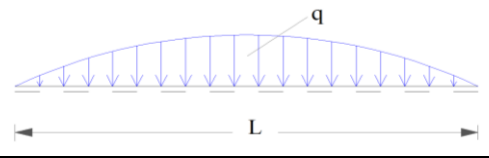
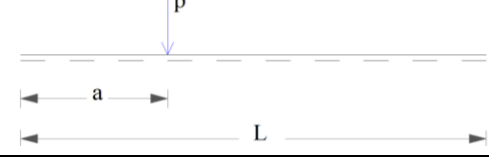
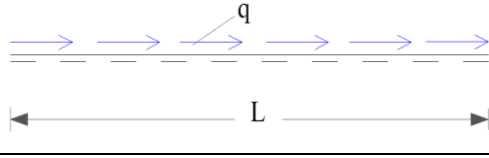
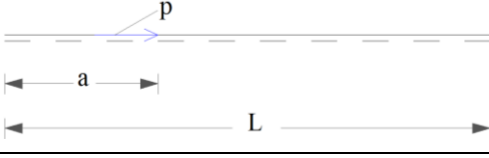
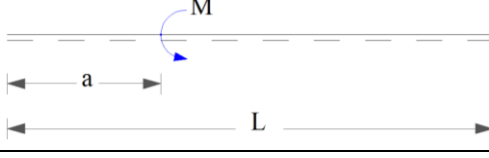
Z-PRO yazılımında döşeme yükleri kirişlere parabolik bir eğri şeklinde aktarılmaktadır. Döşemelerden kirişlere aktarılan yük, sonlu elemanların döşeme mesnet reaksiyonlarıdır. Bu yüzden yükün şekli üçgen, trapez veya düzgün yayılı yük değildir. Yükün şekli herhangi bir eğri olabilir. Kirişlerde kiriş öz yükü, döşemeden gelen yükler ve kiriş dış yükleri (yayılı yükler), eğer yazılımda kirişin kolon içinde kalan rijit kolları dikkate alınmışsa kirişin net açıklığı (L_n) boyunca yayılmaktadır (Şekil 2.18 (a)). Yazılımda kirişin kolon içinde kalan rijit kolları dikkate alınmamışsa kiriş öz yükü, döşemeden gelen yükler ve kiriş dış yükleri (yayılı yükler), kirişin kolon eksenleri arasında kalan uzunluğu boyunca yayılmaktadır (Şekil 2.18 (b)).



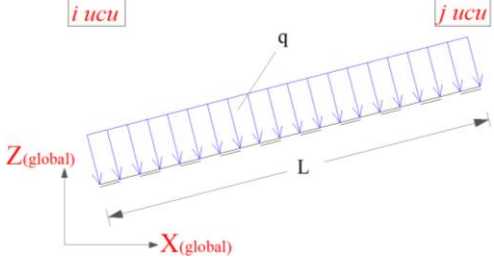
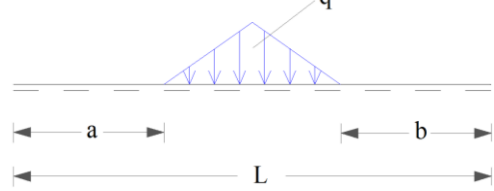
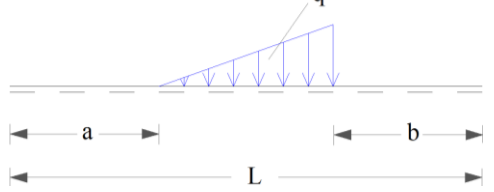
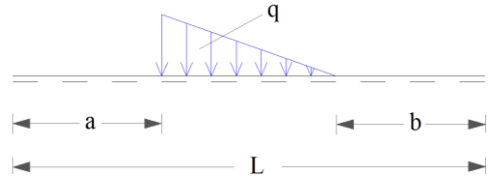
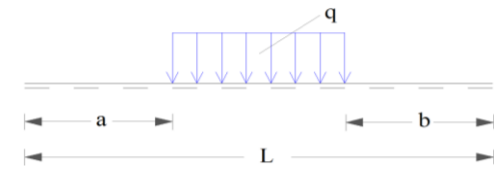
Şekil 2.18 Z-PRO yazılımında a) Kiriş rijit kolları aktif seçilen modelde yüklerinin yayılışı, b) Kiriş rijit kolları aktif seçilmeyen modelde yüklerinin yayılışı

Z-PRO yazılımında kolon kiriş gibi taşıyıcı elemanlara tanımlanabilen ilave dış yüklerden bazıları Çizelge 2.1 ve 2.2 de verilmiştir.

Çizelge 2.1 Z-PRO da kolon-kiriş gibi yapı elemanlarına etki ettirilebilen bazı dış yük tipleri

YÜK TİPİ NO	TAŞIYICI ELEMAN VE YÜKÜ	AÇIKLAMA
1		Eleman boyunca düzgün yayılı
2		Eleman boyunca üçgen yayılı
3		Eleman boyunca trapez yayılı
4		Eleman boyunca parabolik yayılı
5		Tekil yük
6		Eleman eksenî üzerinde ve eksen boyunca düzgün yayılı
7		Eleman eksenî üzerinde ve eksen yönünde tekil
9		Lokal 1 eksenî etrafında tekil dış moment

Çizelge 2.2 Z-PRO da kolon-kiriş gibi yapı elemanlarına etki ettirilebilen bazı dış yük tipleri (devamı)

YÜK TİPİ NO	TAŞIYICI ELEMAN VE YÜKÜ	AÇIKLAMA
10		Global - Z eksenini doğrultusunda etkiyen düzgün yayılı (eğik elemanlarda)
11		Kısmi Üçgen Yayılı Yük
12		Kısmi Üçgen Yayılı Yük
13		Kısmi Üçgen Yayılı Yük
14		Kısmi düzgün yayılı yük

Çizelge 2.1 ve 2.2 de elemanların çoğu yer tasarrufu için yatay çizilmiştir. Eleman yatay, düşey veya eğik olabilir.

Z-PRO Yazılımı dikkate alınan yük katsayıları ve yük birleşimleri Şekil 2.19 da verilmiştir:

1-) Yalnız düşey yükler için; $1.4 G + 1.6 Q$ $1.0 G + 1.2 Q + 1.2 T$ 2-) Depremin söz konusu olduğu durumlarda; $1.0 G + 1.0 Q \pm 1.0 E_X$ $1.0 G + 1.0 Q \pm 1.0 E_Y$ $0.9 G \pm 1.0 E_X$ $0.9 G \pm 1.0 E_Y$ 3-) Yatay toprak basıncı söz konusu olduğu durumda; $1.4 G + 1.6 Q + 1.6 H$ $0.9 G + 1.6 H$ 4-) Rüzgar yükünün söz konusu olduğu durumlarda; $1.0 G + 1.3 Q + 1.3 W$ $0.9 G + 1.3 W$	<u>SİMGELER</u> G : Kalıcı yük etkisi (zati-ölü-sabit yük) Q : Hareketli yük etkisi E : Deprem yükü etkisi T : Sıcaklık etkisi H : Toprak yükü etkisi W : Rüzgar yükü X, Y : Global Eksenler
---	--

Şekil 2.19 Z-PRO yazılımı yük katsayıları ve yük birleşimleri

Şekil 2.19 deki 1 ve 2 numaralı birleşimler yazılımda otomatik olarak dikkate alınmakta 3 ve 4 numaralı birleşimler ise kullanıcının modellemesi sonucu oluşturulabilmektedir. Hareketli yük ve sabit yük katsayıları kullanıcı girişine sunulmakta olup tanımlanan dış yüklere göre de yeni kombinasyonlar oluşturulabilmektedir.

BÖLÜM 3

İRDELEME

Bu bölümde Z-PRO yazılımının malzeme varsayımları, yük varsayımları, hesaplanan iç kuvvetler ve deplasmanlar, taşıyıcı sistem elemanlarının betonarme hesabı TS 500-2000 ve DY-2007 de ön görülen koşullar çerçevesinde irdelenecektir.

3.1 Malzeme ve Kesit Varsayımlarının İrdelenmesi

3.1.1 Malzeme varsayımlarının irdelenmesi

Yazılımda betonun yoğunluğu sıfır yapılarak elemanların zati yükleri ihmal edilebilmektedir. Böylece yalnızca kullanıcı tarafından girilen yükler altında yapı modeli analiz edilebilir.

Elastisite modülü (E_c) yazılımda, kullanıcı tarafından herhangi bir müdahalede bulunulmadığı ve de aksi belirtilmediği sürece aşağıda verilen bağıntı ile hesaplanıp kullanıcıya sunulmaktadır.

$$E_{cj} = 10270 \sqrt{f_{ckj}} + 140000$$

Ancak TS 500-2000 Madde 3.3.3.1’de elastisite modülü aşağıdaki bağıntı ile hesaplanmaktadır.

$$E_{cj} = 3250 \sqrt{f_{ckj}} + 14000 \text{ (N/mm}^2\text{)}$$

Z-PRO yazılımında, C25/30 betonu için 28 günlük betonun karakteristik silindir basınç dayanımı $f_{ckj} = 25 \text{ N/mm}^2$ olarak alınmakta ve sunulan elastisite modülü $E_c = 29654 \text{ N/mm}^2 = 29654000 \text{ kN/m}^2$ olmaktadır. TS 500–2000 Madde 3.3.3.1 de verilen bağıntı ile C25/30 betonu için $f_{ckj} = 25 \text{ N/mm}^2$ olarak alınıp hesap yapıldığında elastisite modülü $E_c = 30250 \text{ N/mm}^2 = 30250000 \text{ kN/m}^2$ olmaktadır. Bu aradaki fark

birim çevirmelerindeki yaklaşık kabullerden ve yuvarlamalardan kaynaklanmaktadır, sonuçları etkileyecek bir fark doğurmaz.

E_c değerinin doğruluğunun irdelenmesi için sonuçları bilinen ve E_c değerinin 31173537 kN/m^2 olduğu bir sistem Z-PRO yazılımı ile çözülmüş ve özellikle deplasman değerleri kontrol edilmiştir. Yapılan kontrolde Z-PRO yazılımının hesapladığı deplasmanların doğru olduğu görülmüştür. Kayma modülü G_c yazılımda elastisite modülüne ve poisson oranına bağlıdır. Beton için poisson oranı standart değerlerin dışında değerler alınarak yapılan analizlerde yazılımın herhangi bir sesli ya da yazılı uyarı vermemesi kullanıcıyı çelişkiye düşürmektedir. Z-PRO yazılımı Taşıma Gücü Yöntemi'ne göre analiz yapmaktadır. Aşağıda TS 500-2000 Madde 7.1 de öngörülen taşıma gücü varsayımları verilmiştir. Bu varsayımların Z-PRO yazılımında nasıl olduğu hakkında ayrıntılı bilgi verilmemiştir.

“Taşıma gücüne dayalı kesit hesabında esas alınacak varsayımlar aşağıda sıralanmıştır.

- *Betonun çekme dayanımı ihmal edilir.*
- *Donatı çubuğu ile çevresini saran beton arasında tam aderans bulunduğu düşünülerek, donatı birim şekil değiştirmesi, aynı düzeydeki beton lifi birim şekil değiştirmesine eşit alınır.*
- *Düzlem kesitler, şekil değiştirmeden sonra düzlem kalır.*
- *Taşıma gücüne erişildiğinde, tarafsız eksene en uzak beton basınç lifindeki birim kısalma $\epsilon_{cu} = 0.003$ alınır.*
- *Donatı çeliğinin elasto plastik davrandığı kabul edilir.*

$$\sigma_s = E_s \epsilon_s \leq f_{yd} \quad \text{TS 500-2000 Denk.(7.1)}$$
- *Tüm donatı çelikleri için, elastisite modülü $E_s = 2 \times 10^5 \text{ MPa}$ ve kopma birim uzaması $\epsilon_{su} = 0.1$ alınır.*
- *Taşıma gücüne erişildiği sıradaki beton basınç bölgesindeki gerilme dağılımı için, geçerliliği deneysel verilerle kanıtlanmış herhangi bir dağılım kullanılabilir. Ancak, hesaplarda kolaylık sağlamak amacıyla, gerçek basınç gerilmesi dağılımı yerine aşağıdaki özellikleri taşıyan eşdeğer dikdörtgen basınç bloğu kullanılabilir. Blok genişliği olarak, eşdeğer*

basınç şiddeti olan $0.85 f_{cd}$ alınır. Blok derinliği, tarafsız eksen derinliğinin, k_1 katsayısı ile çarpılmasıyla bulunur, $a=k_1c$. Bu ifadede kullanılacak olan k_1 değerleri, çeşitli beton sınıfı için Çizelge 7.1 de verilmiştir.”

Çizelge 3.1 TS 500-2000 Çizelge 7.1 Beton Sınıflarına Göre k_1 Değerleri

Beton Sınıfı	C 16/20	C 18/22	C 20/25	C 25/30	C 30/37	C 35/45	C 40/50	C 45/55	C 50/60
k_1	0.85	0.85	0.85	0.85	0.82	0.79	0.76	0.73	0.70

Çizelge 3.2 Z-PRO Yazılımının Sunduğu Beton Sınıflarına Göre k_1 Değerleri

Beton Sınıfı	C 14/16	C 16/20	C 18/22	C 20/25	C 25/30	C 30/37	C 35/45	C 40/50	C 45/55	C 50/60
k_1	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85	0.82	0.79	0.76	0.73	0.70

Z-PRO yazılımının eşdeğer dikdörtgen basınç bloğunu mu yoksa geçerliliği deneysel verilerle kanıtlanmış başka bir gerilme dağılımını mı kullandığı belli değildir. Ancak k_1 değerlerinin değişik beton sınıfları için veriliyor olması ve k_1 değerinin kullanıcı girişine sunulmasından dolayı eşdeğer dikdörtgen basınç bloğu gerilme dağılımını kullandığı tahmin edilmektedir.

TS 500-2000 de k_1 katsayısı C16/20’ dan C50/60 beton sınıfına kadar tanımlanmıştır. Z-PRO yazılımında ise C14/16’ den C50/60 beton sınıfına kadar k_1 katsayısı tanımlanmıştır. Ancak yazılımda C50/60’ den daha yüksek ve C14/16’ den daha düşük beton sınıflarıyla analiz yapılabilmektedir. Bu durumda k_1 değerini kullanıcı kendisi belirleyip yazılıma girmek durumundadır. Örneğin C30/37 betonu için k_1 değeri TS 500–2000 e göre 0.82 iken Z-PRO kullanıcısı 0.1, 0.5, 0.70, 1, 2, 3... gibi (sıfır ve negatif sayı değeri girilemez) değerler girebilmekte, yazılım kullanıcı tanımlı k_1 değeri girildiği konusunda kullanıcıyı uyarmakta ancak herhangi bir hata mesajı vermeden tüm rapor ve çizim çıktılarını üretebilmektedir.

Z-PRO yazılımı malzeme varsayımlarının DY-2007 nin konuyla ilgili hükümleriyle çelişen bazı yönleri bulunmaktadır. DY-2007 nin malzeme dayanımları ile ilgili hükümleri şunlardır:

DY-2007 Madde 3.2.5.1:

“Deprem bölgelerinde yapılacak tüm betonarme binalarda C20/25’den daha düşük dayanımlı beton kullanılamaz.”

DY-2007 Madde 3.2.5.3:

“Etriye ve çiroz donatısı ile döşeme donatısı dışında, nervürsüz donatı çeliği kullanılamaz. Ayrıca, DY-2007 Madde 3.2.5.4’te belirtilen elemanlar hariç olmak üzere, betonarme taşıyıcı sistem elemanlarında S420’den daha yüksek dayanımlı donatı çeliği kullanılmayacaktır. Kullanılan donatının kopma birim uzaması %10’dan az olmayacaktır. Donatı çeliğinin deneysel olarak bulunan ortalama akma dayanımı, ilgili çelik standardında öngörülen karakteristik akma dayanımının 1.3 katından daha fazla olmayacaktır. Ayrıca, deneysel olarak bulunan ortalama kopma dayanımı, yine deneysel olarak bulunan ortalama akma dayanımının 1.15 katından daha az olmayacaktır.”

DY-2007 Madde 3.2.5.4:

“Kirişli sistemlerin döşemelerinde, kirişsiz döşemelerde, dişli döşeme tablalarında, etriyelerde, bodrum katların çevresindeki dış perde duvarlarının gövdelerinde, deprem yüklerinin tümünün bina yüksekliği boyunca perdeler tarafından taşındığı ve 3.6.1.2’de Denk.(3.14) ile verilen koşulların her ikisinin de sağlandığı binaların perde gövdelerinde S420’den daha yüksek dayanımlı donatı çeliği kullanılabilir.”

Z-PRO yazılımında bütün deprem bölgelerinde C20/25’den daha düşük dayanımlı beton sınıfı seçilip bu beton sınıfına göre analizler yapılabilmekte ve Z-PRO yazılımı kullanıcıyı uyarmamaktadır. Bu durum DY-2007 madde 3.2.5.1’e aykırı projelerin üretilmesine neden olmaktadır.

Z-PRO yazılımında beton sınıfı olarak C50/60’ den daha yüksek dayanımlı beton sınıfına göre analiz yapılabilmekte ve bu konuda kullanıcıyı uyarmamaktadır.

Oysa DY–2007 de, yönetmeliğin **3. Bölüm**’ü kapsam kısmında **3.1.4** maddesinde şöyle denilmektedir:

“Beton dayanımının C50/60’den daha yüksek olduğu betonarme binalar ile taşıyıcı sistem elemanlarında donatı olarak çelik profillerin kullanıldığı binalar bu bölümün kapsamı dışındadır.”

DY-2007 **3. Bölüm** kısmı da şu şekildedir:

“Deprem bölgelerinde yapılacak tüm betonarme binaların taşıyıcı sistem elemanlarının boyutlandırılması ve donatılması, bu konuda yürürlükte olan ilgili standart ve yönetmeliklerle birlikte, öncelikle bu bölümde belirtilen kurallara göre yapılacaktır.”

Bu demek oluyor ki DY–2007’ye göre C50/60’den daha yüksek beton sınıfı kullanılamaz. Bu bilgiler ışığında Z-PRO yazılımının, C20/25’den daha düşük ve C50/60’den daha yüksek dayanımlı beton sınıfının kullanılması durumunda, en azından kullanıcıyı DY- 2007 ve TS 500-2000’in yukarıdaki hükümleri konusunda uyarması gerekirdi. Z-PRO yazılımında yukarıda bahsedilen durumlar için yalnızca yapı özet raporu kısmında C20/25’nin altında veya üstünde beton kullanılmıştır, ibaresi ile yetinilmiştir. C50/60 beton sınıfının üzerinde bir malzeme kullanıldığında her hangi bir uyarıyla karşılaşmamıştır. Z-PRO yazılımında **S220a**’dan daha düşük dayanımlı çelik sınıfı tanımlanamamaktadır. TS 500–2000 Madde 3.2’de:

“Beton donatısı olarak kullanılacak çelikler TS 708–1996 ya uygun olmalıdır.”

TS 708-1996’ya göre en düşük dayanımlı donatı çeliği **S220a**’dır ve daha düşük dayanımlı bir çeliğin donatı çeliği olarak kullanılması söz konusu değildir.

Yazılımda DY–2007 Madde 3.2.5.4’ün kapsamı dışındaki durumlarda **S420**’dan daha yüksek dayanımlı çelik sınıfı seçilerek bu çelik sınıfına göre analiz yapılabilmekte ve bu konuda kullanıcı uyarılmamaktadır. **S420**’dan daha yüksek dayanımlı donatı çeliği kullanılması durumunda kullanıcının uyarılmaması DY–2007’ye aykırı projelerin üretilmesine neden olmaktadır. Nitekim uygulamada, DY–2007 tarafından açıkça yasaklanmış olmasına rağmen **S500** çeliğinin kullanıldığı projeler ile karşılaşmaktadır.

Kolon ve kiriş boyuna donatılarında DY-2007'nin izin verdiği minimum çelik sınıfı **S420a** olmasına karşın, yazılımda herhangi bir uyarı ile karşılaşılmaksızın **S220a** donatı çeliği tanımlanıp yönetmeliğe aykırı proje üretilmektedir.

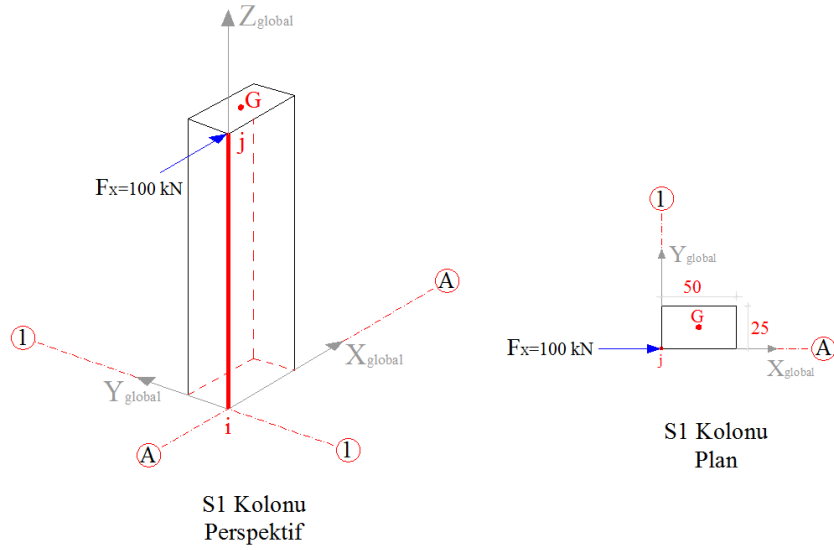
Yazılımın çizimlerinde **S220a** çeliği **S220** olarak, **S420a** ve **S420b** çelikleri de **S420** olarak, **S500a** ve **S500b** çelikleri de **S500** olarak gösterilmekte, bilgi girişi bölümünde de çeliğin sadece akma gerilmesi ile çelik güvenlik katsayısı (malzeme katsayısı) belirtilmektedir, bu da doğru bir yaklaşım değildir. TS 708-1996'da bu donatı çelikleri **S220a**, **S420a** ve **S420b** şeklinde tanımlıdır. Hesaplar açısından çeliğin akma gerilmesinin belirtilmesi yeterlidir fakat imalata esas olacağı için çizimlerde mutlaka donatı çeliğinin doğal sertlikte ("a" indisi ile gösterilir) ya da soğukta işlem görmüş ("b" indisi ile gösterilir) olduğunun belirtilmesi gerekmektedir. Uygulamada da sünek yapısından dolayı doğal sertlikteki **S420a** çeliği tercih edilmeli ve gevrek davranışından dolayı soğukta işlem görmüş **S420b** çeliğinden kaçınılmalıdır.

3.1.2 Kesit varsayımlarının irdelenmesi

Yazılımda Kesme Alanı Düzeltme Katsayısı (k)'nın sayısal değerleri net değildir. (k katsayısı kesite bağlı olup farklı kesitler için farklı değerler alabilmektedir.) Kesme Alanı Düzeltme Katsayısı (k), boy / büyük kenar oranı 10'dan küçük olan elemanlarda çok etkin olmaktadır ve doğal olarak kullanıcı bu tür elemanları içeren bir sistemi çözerken k katsayısını bilmek isteyecektir. Z-PRO yazılımının sonuçları başka bir yazılımın sonuçları ile karşılaştırılmak istendiğinde, karşılaştırmanın daha gerçekçi olabilmesi için, bu tür parametrelerin her iki yazılımda da aynı olması şüphesiz çok önemlidir. Z-PRO yazılımı kolon, kiriş ve perde gibi taşıyıcı elemanların kesme alanını kullanıcının seçmesine olanak vermektedir. Yazılım kesme alanını, kullanılan taşıyıcı eleman modelinin en kesit alanının 5/6 sı olarak almaktadır. Bu yaklaşım dikdörtgen kesitler için geçerlidir. Kullanıcı dikdörtgen dışında bir kesit modellemesi halinde bu durumu dikkate almalıdır.

3.2 Yük Varsayımlarının ve Yük Kombinasyonlarının İrdelenmesi

Z-PRO da sistem düğüm noktalarına ve sistemi oluşturan kolon, kiriş ve perde gibi yapı elemanlarına kullanıcı girişli dış yük (yayılı yük, noktasal tekil yük ve moment) tanımlanabilir. Yazılımda ayrıca sabit-hareketli yük, deprem yükü ve sıcaklık etkisine bağlı yüklemeler dikkate alınabilmektedir. Deprem yükü yazılımda otomatik olarak modellenbildiği gibi, zemin etkisi ve rüzgar yükü dış yük olarak kullanıcı tarafından da modellenilebilir. Döşemelerde tekil ya da çizgisel dış yük tanımlanabilir. Döşemelerde tekil ya da çizgisel dış yük tanımlanıyor olması, betonarme yapılardaki (örneğin sanayi yapıları) bazı yüklerin modellenmesine olanak sağlamaktadır. Z-PRO yazılımında kolon ve perdelerin alt düğüm noktasına ('i' ucu) ve üst düğüm noktasına ('j' ucu) 6 serbestlik derecesi kadar tekil dış kuvvet etki ettirilebilir. Kolon kiriş ve perdelerde 'i' ve 'j' noktasının yerinin tespiti için Şekil 3.1 deki sistem hazırlanmıştır.



Şekil 3.1 i ve j noktalarının kolon enkesitindeki yerinin tespiti için hazırlanan sistem

Şekil 3.1 de hazırlanan sistemde 'i' ucunun 1-A aksı kesişiminde bulunduğu varsayılarak model oluşturulmuş ve Z-PRO da analiz edilmiştir. Yapılan analiz sonucunda S1 kolonunda akstan kaçıklıktan dolayı eğilme momenti ile birlikte burulma momentinin de oluşması beklenmektedir. Ancak Z-PRO da 'i' ucunun kolonun geometrik merkezinde bulunduğu varsayımı yapıldığından yazılım bu sistem için

burulma momenti hesaplamamaktadır. Değişik yapı modellerinde de yapılan incelemelerde kolon kiriş ve perde gibi taşıyıcı elemanların ‘i’ ve ‘j’ uçlarını Z-PRO yazılımı geometrik merkez gibi görmektedir.

Z-PRO yazılımında kullanılan ve Şekil 2.19 da verilen yük katsayıları ve bileşimleri incelendiğinde, TS 500–2000 Madde 6.2.6 deki zorunlu yük bileşimlerinden **1.4G+1.6Q, 1.0G+1.2Q+1.2T, 1.0 G + 1.0 Q ± 1.0 E_X, 1.0 G + 1.0 Q ± 1.0 E_Y, 0.9 G ± 1.0 E_X, 0.9 G ± 1.0 E_Y** yazılımda otomatik olarak modellenirken **1.4 G + 1.6 Q + 1.6 H, 0.9 G + 1.6 H, 1.0 G +1.3 Q + 1.3 W, 0.9 G + 1.3 W** kullanıcı girişi olarak modellenebilmektedir. Z-PRO yazılımda yük katsayıları ve yük bileşimleri kullanıcı tarafından değiştirilebilmekte ekleme ve çıkarma yapılabilmektedir. Yazılımın herhangi bir uyarı vermeksizin her türlü yük katsayı ve birleşimine izin vermesi sakıncalıdır.

Z-PRO yazılımı, deprem yüklerini otomatik olarak hesaplayıp modellemesine karşın TS 500-2000 den farklı olarak DY-2007 Madde 2.7.5’e göre;

*“Taşıyıcı sisteme ayrı ayrı etki ettirilen X ve Y doğrultularındaki depremlerin ortak etkisi altında, taşıyıcı sistem elemanlarının a ve b asal eksen doğrultularındaki iç kuvvetler, en elverişsiz sonucu verecek şekilde **Denk.(2.12)** ile elde edilecektir (**Şekil 2.10**).”*

Bu nedenden dolayı Şekil 3.2 deki sistem Z-PRO nun $\pm E_X \pm 0.3E_Y$ ve $\pm 0.3E_X \pm E_Y$ yük bileşimlerini dikkate alıp almadığını, otomatik tanımlı yük kombinasyonları ile kullanıcı tanımlı yük kombinasyonlarının doğru hesaplanıp hesaplanmadığının irdelenmesi için hazırlanmıştır.

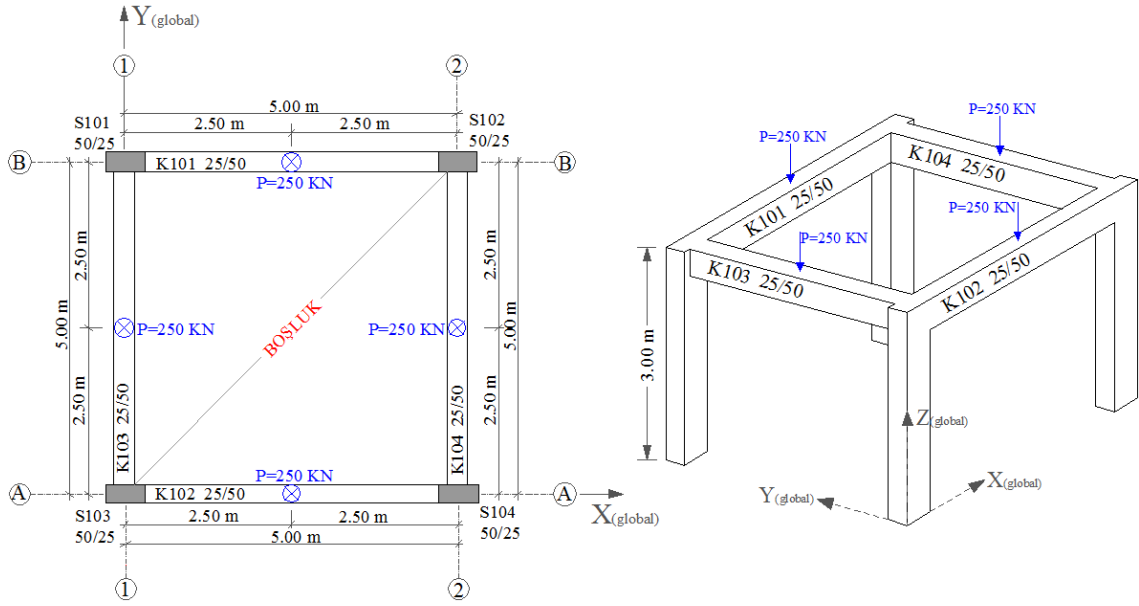
Şekil 3.2 deki sistemde analiz sonrası S1 kolonunun üst ucu (‘j’ ucu) için kullanıcı tanımlı **1.0G+1.0Q+E_(+X)+0.3E_(-Y), 1.0G+1.0Q–0.3E_(-X)+E_(+Y)** ve yazılımda otomatik olarak modellenen **1.4G+1.6Q, 0.9G+1.0E_(+X)** kombinasyonlarına bağlı M₃ momentinin sonuçları kontrol edilmiştir. Analiz sonuçları Çizelge 3.3 de verilmiştir.

3.3 Rijit Diyafram Kabulünün İrdelenmesi

Z-PRO yazılımında kat seviyesinde rijit diyafram kabulü kullanıcı seçeneğine bırakılmıştır. Kullanıcı eğer isterse yazılımda oluşturulan sistemi rijit diyafram kabulü yaparak ya da rijit diyafram kabulü yapmadan analiz edebilmektedir. Bu kabule göre kat diyaframında ve düğüm noktalarında sonlu elemanlar mantığına uygun olarak 6 serbestlik (3 öteleme 3 de dönme) vardır. Sistemde döşeme olmadığı durumlarda kullanıcı seçeneğine bağlı rijit diyafram kabulü yapılarak veya rijit diyafram kabulü yapılmadan sistem analiz edilebilmektedir.

Döşemeler kendi düzlemlerinde çok rijittir. Döşemeye bağlı bütün noktalar yatay yükler altında aynı deplasmanı yapar. Bu durum yerel boşlukların az olduğu, yeterli kalınlıkta bulunan döşemelerin yatay düzlemde rijit bir diyafram olarak çalışacağı sonucunu doğurur. Yazılımda oluşturulan sistem rijit diyafram kabulü yapılarak analiz edilmişse kirişlerde eksenel kuvvet sunulmamaktadır. Rijit diyafram kabulünden dolayı katta kirişler rijit yer değiştirecektir. Kiriş uçları arasında bir deplasman farkı olmayacağından, kirişlerde kısalma yada uzama gibi zorlamalar ve bunun sonucunda eksenel kuvvet oluşmamaktadır.

Şekil 3.3 de görülen döşemesiz uzay çerçeve sistemi Z-PRO ve SAP 2000 yazılımlarıyla çözülerek rijit diyafram kabulünün etkileri irdelenecektir. Z-PRO ve SAP 2000 yazılımlarıyla sistem elemanlarının zati ağırlıkları ihmal edilerek iki defa çözülecektir. Birinci çözümde rijit diyafram kabulü yapılmayacak ikinci çözümde rijit diyafram kabulü yapılacaktır.



Malzeme Bilgileri:

Beton: C30/37, Poisson oranı ($\mu_c=0.20$), Elastisite modülü ($E_c = 3.18 \times 10^7$ kN/m²,
Kayma Modülü ($G_c = 1.325 \times 10^7$ kN/m², $A_{kesme} = 5/6 A_{kesit}$, Genleşme katsayısı ($\alpha_c = 0$ 1/C°

Şekil 3.3 Rijit diyafram kabulünün irdelenmesi örneği

Sistem SAP 2000 ve Z-PRO yazılımlarıyla rijit diyafram kabulü yapılarak ve rijit diyafram kabulü yapılmadan ayrı ayrı çözüldüğünde K101, K102, K103 ve K104 kirişlerinde oluşan eksenel kuvvetler Çizelge 3.4 de verilmiştir.

Çizelge 3.4 Kirişlerde oluşan eksenel yük değerleri

KİRİŞ EKSENEL YÜK DEĞERLERİ (kN)				
KİRİŞ	RİJİT DİYAFRAM KABULÜ YOK		RİJİT DİYAFRAM KABULÜ VAR	
	SAP 2000	Z-PRO	SAP 2000	Z-PRO
K101	-57.51	-57.01	0	0
K102	-57.51	-57.01	0	0
K103	-34.89	-34.83	0	0
K104	-34.89	-34.83	0	0

Çizelge 3.4 de görüldüğü gibi Z-PRO yazılımında bulunan değerlerin SAP 2000 ile bulunan değerlerle yaklaşık aynı olduğu gözlemlenmiştir. Aynı yapı SAP 2000 ve Z-PRO yazılımlarında rijit diyafram kabulü yapılarak analiz edildiğinde her iki yazılımda da kirişlerde eksenel kuvvet hesaplanamamış ve sunulmamıştır.

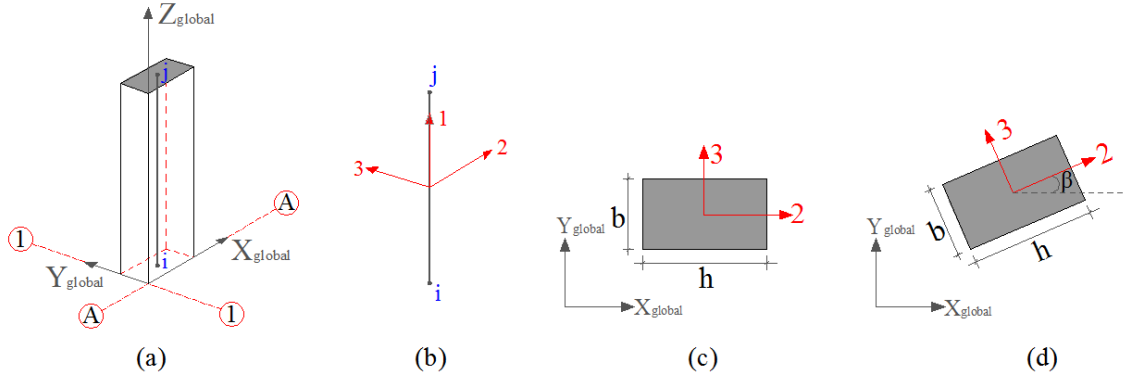
Sonuç olarak Z-PRO yazılımında rijit diyafram kabulü ile yapılan bütün çözümlemelerde kirişlerde eksenel kuvvetin oluşmadığı görülmüştür. TS 5000-2000 ve DY-2007’de kirişlerdeki eksenel kuvvet değeri sınırlandırılmıştır. Kirişlerdeki eksenel kuvvet değeri $N_d < 0.1 f_{ck} A_c$ olmak zorundadır aksi halde bu kirişler kolon gibi donatılmalıdır. Z-PRO yazılımında rijit diyafram kabulü yapılarak çözülen Şekil 3.3 deki sistem için analiz sonrası rapor kısmında “ $N_d < 0.1 f_{ck} A_c$: Projede normal kuvvet etkisinde kiriş bulunmuyor” raporu veriliyor. Rijit diyafram kabulü yapılmadan sistem çözüldüğünde analiz sonrası rapor kısmında “Bütün kirişler $N_d < 0.1 f_{ck} A_c$ koşulunu sağlıyor” raporu verilmektedir. Ancak Şekil 3.3 deki 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 Z-PRO Tarafından Hesaplanan İç Kuvvet ve Deplasmanların İrdelenmesi

Z-PRO yazılımı Sonlu Elemanlar Metodunu (Deplasman Yöntemi - Enerji Metodu) kullanarak yapıların statik ve dinamik analizlerini yaptığını öne sürmektedir. Yazılımın Sonlu Elemanlar Metodunu kullanarak analiz yapıp yapmadığını kontrol etmek için önce düzlem çerçeve daha sonra uzay çerçeve için analiz yapıp iç kuvvet ve deplasman sonuçları SAP 2000 yazılımı ile karşılaştırılacaktır. Burada amaç 30, 45° gibi açılı (dönük) kolonların bulunduğu sistemlerde Z-PRO iç kuvvet değerleri SAP 2000 ile bağdaşır mı? 0-180° ve 90-270° açılı kolonların bulunduğu sistemlerin sonuçları aynı mı? Z-PRO uzay çözüm (3 boyutlu çözüm) yapar mı? Sorularının yanıtlarını bulabilmektir. Bu soruların yanıtını cevaplamada kolaylık sağlamak ve analiz sonuçlarının yorumlanmasını kolaylaştırmak için Z-PRO da kolon lokal eksen takımının döndürülmesi irdelenecektir.

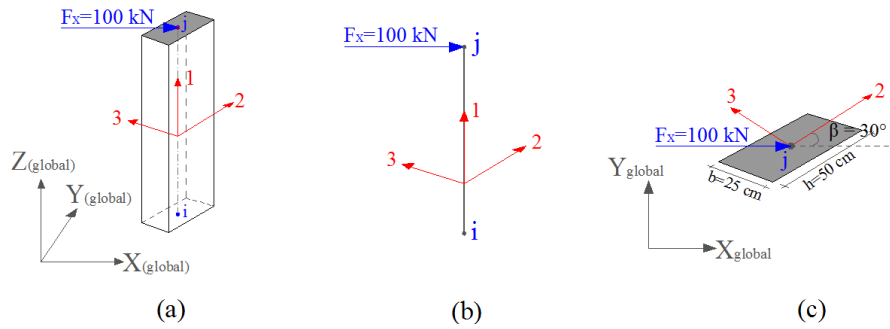
3.4.1 Kolon elemanın döndürülmesi sonucu kolon lokal eksen takımının durumu

Kolon lokal eksen takımları ve pozitif yönleri bölüm 2.1.2.1 de verilmiştir. Bu kısımda kolon elemanın döndürülmesi sonucu kolon lokal eksen takımının durumu irdelenecektir.



Şekil 3.4 a) Kolon perspektif modeli, b) Kolon analitik modeli, c) Kolon kesiti
d) Z-PRO ve SAP 2000 de kesitin β açısı kadar döndürülmesi

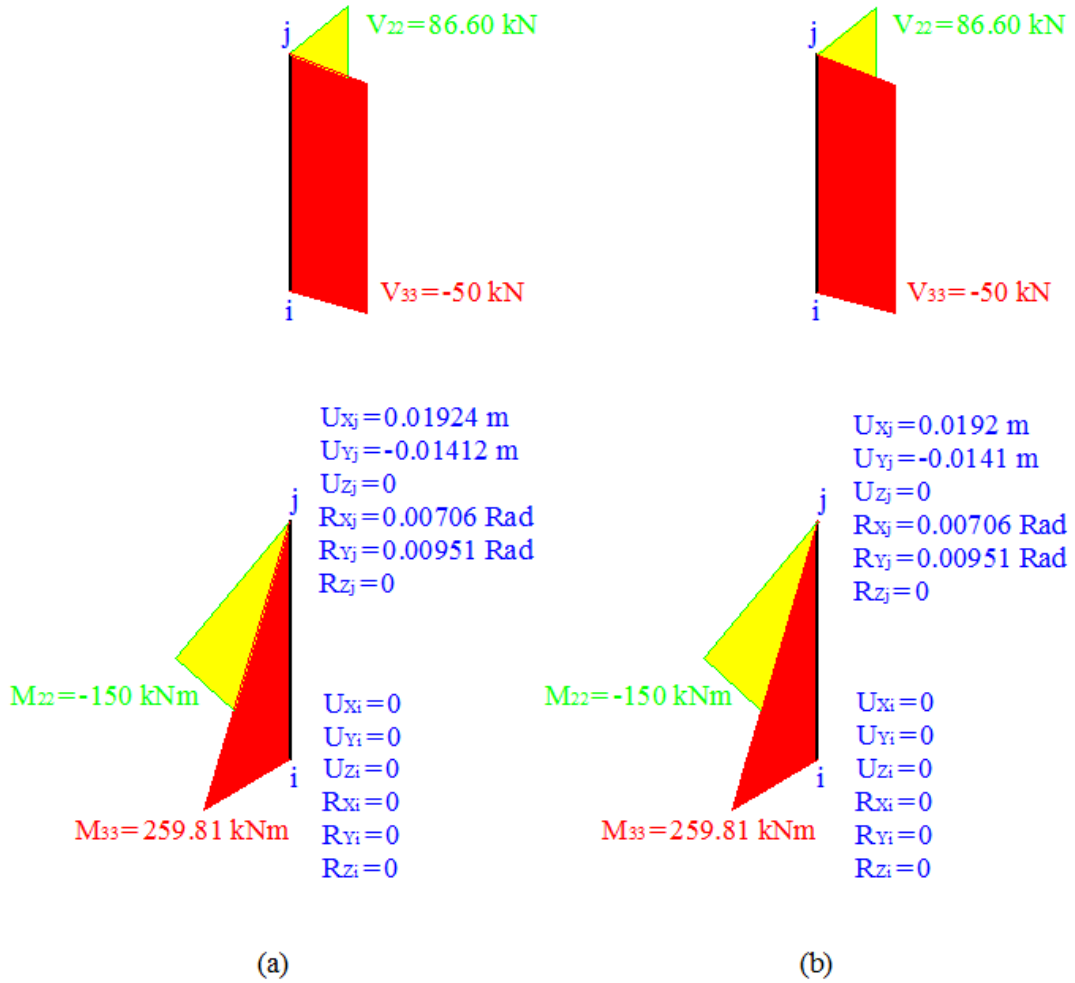
Şekil 3.4 de A-1 aksları kesişiminde tanımlı b/h cm boyutlu bir kolon incelenmektedir. Kolon 1 lokal eksenini etrafında β açısı yapacak kadar döndürüldüğünde, 2 ve 3 lokal eksenleri Şekil 3.4 (d) deki gibi olmaktadır. Z-PRO da, SAP 2000 yazılımında olduğu gibi geometrik kesit döndürüldüğünde lokal eksenler de kesitle birlikte dönmektedir. Bu durumu daha net ortaya koyabilmek için Şekil 3.5 deki sistem hazırlanmıştır.



Şekil 3.5 a) Kolon perspektif modeli, b) Kolon analitik modeli, c) Z-PRO ve SAP 2000 yazılımlarında kesitin $\beta=30^\circ$ açısı kadar döndürülmesi

Şekil 3.5 deki sistem Z-PRO ve SAP 2000 yazılımlarıyla çözülürken aşağıdaki kabuller yapılmış ve analiz sonuçları Şekil 3.6 da verilmiştir.

- Kolonun zati ağırlığı ihmal edilmiştir,
- Kullanılan malzeme Beton: C30/37, Poisson oranı ($\mu_c=0.20$)
- Elastisite modülü ($E_c = 3.18 \times 10^7$ kN/m²)
- Kayma Modülü ($G_c = 1.325 \times 10^7$ kN/m², Genleşme katsayısı ($\alpha_c = 0$ 1/C°

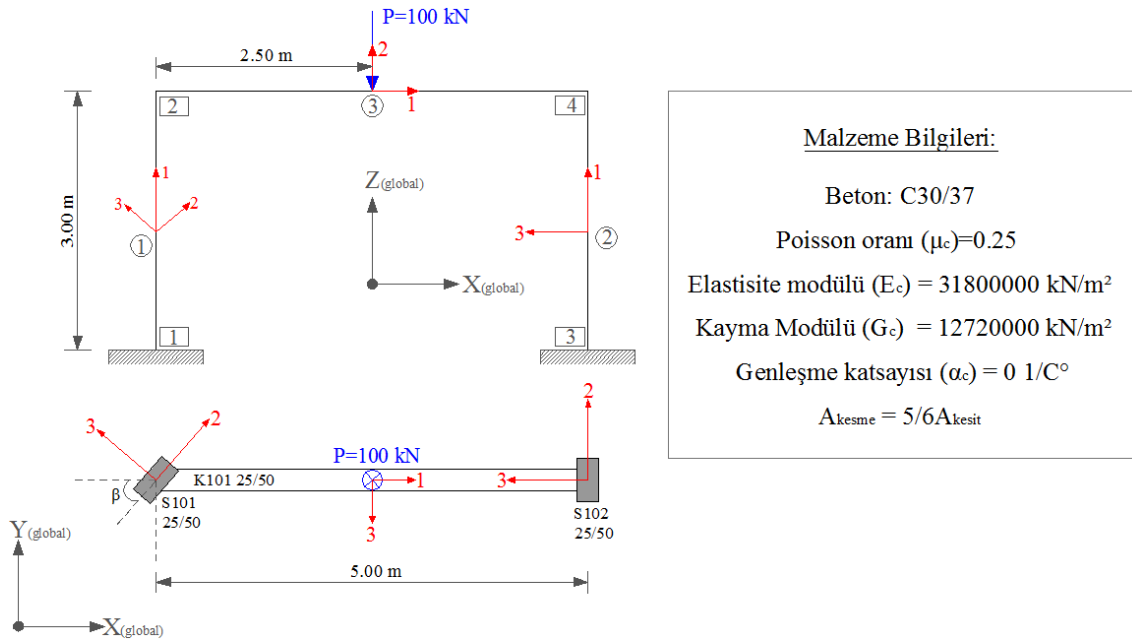


Şekil 3.6 a) Z-PRO analiz sonuçları, b) SAP 2000 analiz sonuçları

Şekil 3.6 da görüldüğü gibi Z-PRO nun sunduğu deplasman ve iç kuvvet sonuçları SAP 2000 yazılımının sunduğu sonuçlarla aynıdır. Sonuç olarak kolon lokal eksenleri geometrik kesitin döndürülmesi ile birlikte hareket etmektedir, aksların döndürülmesi lokal eksenleri etkilememektedir.

3.4.2 Düzlem çerçeve sistemlerde iç kuvvetlerin irdelenmesi

Z-PRO ve SAP 2000 yazılımlarında modellenen Şekil 3.7 deki sistemde S101 kolonu (1 numaralı eleman) sırasıyla $\beta = 0, 30, 45, 90, 180$ ve 270° olacak şekilde döndürülecek ve oluşan sistemler her iki yazılımda analiz edilecektir. Analiz sonucu Z-PRO nun sunduğu iç kuvvet değerlerinin SAP 2000 değerleri ile örtüşüp örtüşmediği kontrol edilecek ve Z-PRO nun uzay çözüm (3 boyutlu çözüm) yapıp yapmadığı irdelenecektir.



Şekil 3.7 Z-PRO da iç kuvvet ve deplasmanların irdelenmesi için hazırlanan düzlem çerçeve

Sistem Z-PRO ve SAP 2000 ile çözülürken şu kabuller yapılmıştır:

- Kolon, kiriş zati ağırlıkları ihmal edilmiştir.
- Kirişin kolon içinde kalan rijit kolları dikkate alınmamıştır.
- Deprem hesabı yapılmamış, sistem 100 kN luk düşey yük altında çözülmüş ve kiriş burulma rijitlikleri her iki yazılımda da 0.01 ile çarpılmıştır.
- Rijit diyafram kabulü yapılmamıştır.
- Kesme alanı, kesit alanının 5/6 sı alınmıştır.

Çizelge 3.5 $\beta = 0^\circ$ için Z-PRO ve Sap 2000 tarafından hesaplanan iç kuvvet değerleri ve yüzde (%) cinsinden aralarındaki farklar

$\beta = 0^\circ$ İÇİN								
Z-PRO	ELEMAN NO	NOKTA NO	N ₁ kN	V ₂ kN	V ₃ kN	T ₁ kNm	M ₂ kNm	M ₃ kNm
	1	1	-52.70	-16.32	0.00	0.00	0.00	-5.19
		2	-52.70	-16.32	0.00	0.00	0.00	43.76
	2	3	-47.30	0.00	-16.32	0.00	-18.68	0.00
		4	-47.30	0.00	-16.32	0.00	30.27	0.00
	3	2	-16.32	-52.70	0.00	0.00	0.00	-43.76
		AÇIKLIK	-16.32	-52.70 ve 47.30	0.00	0.00	0.00	87.98
		4	-16.32	47.30	0.00	0.00	0.00	-30.27
SAP 2000	ELEMAN NO	NOKTA NO	N ₁ kN	V ₂ kN	V ₃ kN	T ₁ kNm	M ₂ kNm	M ₃ kNm
	1	1	-52.70	-16.30	0.00	0.00	0.00	-5.16
		2	-52.70	-16.30	0.00	0.00	0.00	43.75
	2	3	-47.30	0.00	-16.30	0.00	-18.66	0.00
		4	-47.30	0.00	-16.30	0.00	30.26	0.00
	3	2	-16.30	-52.70	0.00	0.00	0.00	-43.75
		AÇIKLIK	-16.30	-52.70 ve 47.30	0.00	0.00	0.00	88.00
		4	-16.30	47.30	0.00	0.00	0.00	-30.26
FARK %	FARK %							
	ELEMAN NO	NOKTA NO	N ₁ kN	V ₂ kN	V ₃ kN	T ₁ kNm	M ₂ kNm	M ₃ kNm
	1	1	0.00	-0.07	-	-	-	-0.52
		2	0.00	-0.07	-	-	-	-0.02
	2	3	0.00	-	-0.07	-	-0.12	0.00
		4	0.00	-	-0.07	-	-0.05	0.00
	3	2	-0.07	0.00	-	-	-	-0.02
		AÇIKLIK	-0.07	-	-	-	-	0.01
		4	-0.07	0.00	-	-	-	-0.05

Çizelge 3.6 $\beta = 30^\circ$ için Z-PRO ve Sap 2000 tarafından hesaplanan iç kuvvet değerleri ve yüzde (%) cinsinden aralarındaki farklar

β = 30° İÇİN								
Z-PRO	ELEMAN NO	NOKTA NO	N ₁ kN	V ₂ kN	V ₃ kN	T ₁ kNm	M ₂ kNm	M ₃ kNm
	1	1	-51.41	-13.80	8.16	0.40	5.81	-9.08
		2	-51.41	-13.80	8.16	0.40	-18.66	32.31
	2	3	-48.59	-0.20	-16.03	0.40	-17.81	-0.50
		4	-48.59	-0.20	-16.03	0.40	30.28	0.00
	3	2	-16.03	-51.41	-0.20	0.00	-0.40	-37.31
		AÇIKLIK	-16.03	-51.41 ve 48.59	-0.20	0.00	0.00	91.20
		4	-16.03	48.59	-0.20	0.00	0.40	-30.28
SAP 2000	ELEMAN NO	NOKTA NO	N ₁ kN	V ₂ kN	V ₃ kN	T ₁ kNm	M ₂ kNm	M ₃ kNm
	1	1	-51.41	-13.81	8.13	0.40	5.77	-9.10
		2	-51.41	-13.81	8.13	0.40	-18.63	32.32
	2	3	-48.59	-0.20	-16.02	0.40	-17.80	-0.50
		4	-48.59	-0.20	-16.02	0.40	30.27	0.00
	3	2	-16.02	-51.41	-0.20	0.00	-0.40	-37.30
		AÇIKLIK	-16.02	-51.41 ve 48.59	-0.20	0.00	0.00	91.22
		4	-16.02	48.59	-0.20	0.00	0.40	-30.27
			FARK %					
FARK %	ELEMAN NO	NOKTA NO	N ₁ kN	V ₂ kN	V ₃ kN	T ₁ kNm	M ₂ kNm	M ₃ kNm
	1	1	0.00	0.05	-0.31	0.00	-0.79	0.21
		2	0.00	0.05	-0.31	0.00	-0.16	0.01
	2	3	0.00	0.00	-0.04	0.00	-0.07	0.00
		4	0.00	0.00	-0.04	0.00	-0.03	-
	3	2	-0.04	0.00	0.00	-	0.00	-0.04
		AÇIKLIK	-0.04	-	0.00	-	-	0.01
4		-0.04	0.00	0.00	-	0.00	-0.03	

Çizelge 3.7 $\beta = 45^\circ$ için Z-PRO ve Sap 2000 tarafından hesaplanan iç kuvvet değerleri ve yüzde (%) cinsinden aralarındaki farklar

$\beta = 45^\circ$ İÇİN								
Z-PRO	ELEMAN NO	NOKTA NO	N_1 kN	V_2 kN	V_3 kN	T_1 kNm	M_2 kNm	M_3 kNm
	1	1	-50.72	-10.82	10.95	0.20	9.30	-8.91
		2	-50.72	-10.82	10.95	0.20	-23.55	23.55
	2	3	-49.28	-0.10	-15.39	0.20	-16.50	-0.30
		4	-49.28	-0.10	-15.39	0.20	29.68	0.00
	3	2	-15.39	-50.72	-0.10	0.00	-0.20	-33.30
		AÇIKLIK	-15.39	-50.72 ve 49.28	-0.10	0.00	0.00	93.51
		4	-15.39	49.28	-0.10	0.00	0.20	-29.68
SAP 2000	ELEMAN NO	NOKTA NO	N_1 kN	V_2 kN	V_3 kN	T_1 kNm	M_2 kNm	M_3 kNm
	1	1	-50.72	-10.82	10.94	0.20	9.27	-8.93
		2	-50.72	-10.82	10.94	0.20	-23.53	23.53
	2	3	-49.28	-0.10	-15.39	0.20	-16.49	-0.30
		4	-49.28	-0.10	-15.39	0.20	29.67	0.00
	3	2	-15.39	-50.72	-0.10	0.00	-0.20	-33.28
		AÇIKLIK	-15.39	-50.72 ve 49.28	-0.10	0.00	0.00	93.52
		4	-15.39	49.28	-0.10	0.00	0.20	-29.67
FARK %	FARK %							
	ELEMAN NO	NOKTA NO	N_1 kN	V_2 kN	V_3 kN	T_1 kNm	M_2 kNm	M_3 kNm
	1	1	0.00	0.00	-0.09	0.00	-0.32	0.31
		2	0.00	0.00	-0.09	0.00	-0.05	-0.05
	2	3	0.00	0.00	0.00	0.00	-0.07	0.00
		4	0.00	0.00	0.00	0.00	-0.02	-
	3	2	0.00	0.00	0.00	-	0.00	-0.05
		AÇIKLIK	0.00	-	0.00	-	-	0.01
		4	0.00	0.00	0.00	-	0.00	-0.02

Çizelge 3.8 $\beta = 90^\circ$ için Z-PRO ve Sap 2000 tarafından hesaplanan iç kuvvet değerleri ve yüzde (%) cinsinden aralarındaki farklar

$\beta = 90^\circ$ İÇİN								
Z-PRO	ELEMAN NO	NOKTA NO	N ₁ kN	V ₂ kN	V ₃ kN	T ₁ kNm	M ₂ kNm	M ₃ kNm
	1	1	-50.00	0.00	13.97	0.00	13.79	0.00
		2	-50.00	0.00	13.97	0.00	-28.11	0.00
	2	3	-50.00	0.00	-13.97	0.00	-13.79	0.00
		4	-50.00	0.00	-13.97	0.00	28.11	0.00
	3	2	-13.97	-50.00	0.00	0.00	0.00	-28.11
		AÇIKLIK	-13.97	-50 ve 50	0.00	0.00	0.00	96.89
		4	-13.97	50.00	0.00	0.00	0.00	-28.11
SAP 2000	ELEMAN NO	NOKTA NO	N ₁ kN	V ₂ kN	V ₃ kN	T ₁ kNm	M ₂ kNm	M ₃ kNm
	1	1	-50.00	0.00	13.96	0.00	13.77	0.00
		2	-50.00	0.00	13.96	0.00	-28.11	0.00
	2	3	-50.00	0.00	-13.96	0.00	-13.77	0.00
		4	-50.00	0.00	-13.96	0.00	28.11	0.00
	3	2	-13.96	-50.00	0.00	0.00	0.00	-28.11
		AÇIKLIK	-13.96	-50 ve 50	0.00	0.00	0.00	96.90
		4	-13.96	50.00	0.00	0.00	0.00	-28.11
FARK %	FARK %							
	ELEMAN NO	NOKTA NO	N ₁ kN	V ₂ kN	V ₃ kN	T ₁ kNm	M ₂ kNm	M ₃ kNm
	1	1	0.00	-	-0.07	-	-0.15	-
		2	0.00	-	-0.07	-	0.00	-
	2	3	0.00	-	-0.07	-	-0.15	-
		4	0.00	-	-0.07	-	0.00	-
	3	2	-0.07	0.00	-	-	-	0.00
		AÇIKLIK	-0.07	-	-	-	-	0.01
		4	-0.07	0.00	-	-	-	0.00

Çizelge 3.9 $\beta = 180^\circ$ için Z-PRO ve Sap 2000 tarafından hesaplanan iç kuvvet değerleri ve yüzde (%) cinsinden aralarındaki farklar

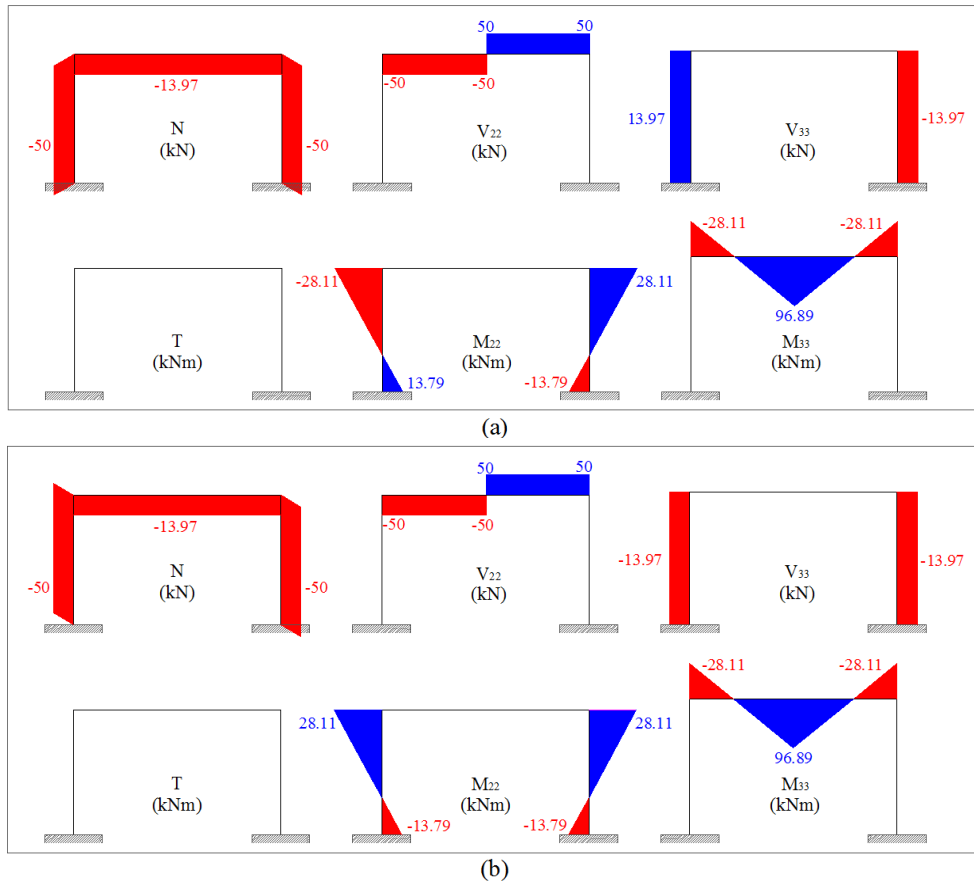
$\beta = 180^{\circ}$ İÇİN								
Z-PRO	ELEMAN NO	NOKTA NO	N ₁ kN	V ₂ kN	V ₃ kN	T ₁ kNm	M ₂ kNm	M ₃ kNm
	1	1	-52.70	16.32	0.00	0.00	0.00	5.19
		2	-52.70	16.32	0.00	0.00	0.00	-43.76
	2	3	-47.30	0.00	-16.32	0.00	-18.68	0.00
		4	-47.30	0.00	-16.32	0.00	30.27	0.00
	3	2	-16.32	-52.70	0.00	0.00	0.00	-43.76
		AÇIKLIK	-16.32	-52.70 ve 47.30	0.00	0.00	0.00	87.98
		4	-16.32	47.30	0.00	0.00	0.00	-30.27
SAP 2000	ELEMAN NO	NOKTA NO	N ₁ kN	V ₂ kN	V ₃ kN	T ₁ kNm	M ₂ kNm	M ₃ kNm
	1	1	-52.70	16.30	0.00	0.00	0.00	5.16
		2	-52.70	16.30	0.00	0.00	0.00	-43.75
	2	3	-47.30	0.00	-16.30	0.00	-18.66	0.00
		4	-47.30	0.00	-16.30	0.00	30.26	0.00
	3	2	-16.30	-52.70	0.00	0.00	0.00	-43.75
		AÇIKLIK	-16.30	-52.70 ve 47.30	0.00	0.00	0.00	88.00
		4	-16.30	47.30	0.00	0.00	0.00	-30.26
			FARK %					
FARK %	ELEMAN NO	NOKTA NO	N ₁ kN	V ₂ kN	V ₃ kN	T ₁ kNm	M ₂ kNm	M ₃ kNm
	1	1	0.00	-0.12	-	-	-	-0.58
		2	0.00	-0.12	-	-	-	-0.02
	2	3	0.00	-	-0.12	-	-0.11	-
		4	0.00	-	-0.12	-	-0.03	-
	3	2	-0.12	0.00	-	-	-	-0.02
		AÇIKLIK	-0.12	0.00	-	-	-	0.02
		4	-0.12	0.00	-	-	-	-0.03

Çizelge 3.10 $\beta = 270^\circ$ için Z-PRO ve Sap 2000 tarafından hesaplanan iç kuvvet değerleri ve yüzde (%) cinsinden aralarındaki farklar

$\beta = 270^\circ$ İÇİN								
Z-PRO	ELEMAN NO	NOKTA NO	N_1 kN	V_2 kN	V_3 kN	T_1 kNm	M_2 kNm	M_3 kNm
	1	1	-50.00	0.00	-13.97	0.00	-13.79	0.00
		2	-50.00	0.00	-13.97	0.00	28.11	0.00
	2	3	-50.00	0.00	-13.97	0.00	-13.79	0.00
		4	-50.00	0.00	-13.97	0.00	28.11	0.00
	3	2	-13.97	-50.00	0.00	0.00	0.00	-28.11
		AÇIKLIK	-13.97	-50 ve 50	0.00	0.00	0.00	96.89
		4	-13.97	50.00	0.00	0.00	0.00	-28.11
SAP 2000	ELEMAN NO	NOKTA NO	N_1 kN	V_2 kN	V_3 kN	T_1 kNm	M_2 kNm	M_3 kNm
	1	1	-50.00	0.00	-13.96	0.00	-13.77	0.00
		2	-50.00	0.00	-13.96	0.00	28.11	0.00
	2	3	-50.00	0.00	-13.96	0.00	-13.77	0.00
		4	-50.00	0.00	-13.96	0.00	28.11	0.00
	3	2	-13.96	-50.00	0.00	0.00	0.00	-28.11
		AÇIKLIK	-13.96	-50 ve 50	0.00	0.00	0.00	96.90
		4	-13.96	50.00	0.00	0.00	0.00	-28.11
FARK %	FARK %							
	ELEMAN NO	NOKTA NO	N_1 kN	V_2 kN	V_3 kN	T_1 kNm	M_2 kNm	M_3 kNm
	1	1	0.00	-	-0.07	-	-0.15	-
		2	0.00	-	-0.07	-	0.00	-
	2	3	0.00	-	-0.07	-	-0.15	-
		4	0.00	-	-0.07	-	0.00	-
	3	2	-0.07	0.00	-	-	-	0.00
		AÇIKLIK	-0.07	-	-	-	-	0.01
		4	-0.07	0.00	-	-	-	0.00

Çizelgeler incelendiğinde bütün açı değerleri için ($\beta = 0, 30, 45, 90, 180$ ve 270°) Z-PRO ve SAP 2000 yazılımlarının iç kuvvet değerleri çok büyük oranda örtüştüğü görülmüştür. SAP 2000 yazılımı referans olarak kabul edildiğinde Z-PRO 30° ve 45° gibi açılı (dönük) kolonların bulunduğu sistemlerde iç kuvvet değerlerini doğru hesaplamıştır.

Ayrıca $0^\circ - 180^\circ$ ve $90^\circ - 270^\circ$ açılı sistemlerin sonuçları incelendiğinde ortaya çıkan tablonun anlamlı olduğu görülmüştür. Şöyle ki: 1 numaralı elemanın $\beta = 0^\circ$ için hesaplanan moment ve kesme kuvvetinin sayısal değerleri, $\beta = 180^\circ$ için hesaplanan ile aynı, işaretleri farklıdır çünkü; kolon lokal eksenleri tam ters istikamete dönmüştür (Bkz. Çizelge 3.5 ve 3.9). $\beta = 90^\circ$ ve $\beta = 270^\circ$ için de aynı durum geçerlidir (Bkz. Çizelge 3.8 ve 3.10). Ayrıca 1 numaralı eleman $\beta = 90^\circ$ ve $\beta = 270^\circ$ olacak şekilde döndürüldüğünde sistem simetrik olmaktadır. Çizelge 3.8 ve Çizelge 3.10 incelendiğinde sonuçların simetriye uygun olduğu görülecektir (Şekil 3.8).



Şekil 3.8 a) $\beta = 90^\circ$ için iç kuvvet diyagramları, b) $\beta = 270^\circ$ için iç kuvvet diyagramları

3.4.3 Düzlem çerçeve sistemlerde deplasmanların irdelenmesi

Şekil 3.7 verilen sistemde 1 nolu kolon elemanın $\beta = 0^\circ$, 30° , 45° ve 90° döndürülmesiyle yapılan analizlerde Z-PRO ve SAP 2000 yazılımları tarafından hesaplanan deplasman değerleri aşağıdaki çizelgelerde sunulmuştur. $\beta = 0^\circ$ ve 180° ile $\beta = 90^\circ$ ve 270° açılı sistemlerin deplasmanlarının aynı olduğu saptanmıştır.

Çizelge 3.11 $\beta = 0^\circ$ için Z-PRO ve Sap 2000 tarafından hesaplanan deplasman değerleri

$\beta = 0^\circ$ İÇİN							
Z-PRO	Nokta No	Deplasman (mm)			Dönme (Radyan)		
		U_x	U_y	U_z	R_x	R_y	R_z
	1	0	0	0	0	0	0
	2	0.569	0	-0.040	0	0.00070	0
	3	0	0	0	0	0	0
	4	0.549	0	-0.036	0	-0.00084	0
$\beta = 0^\circ$ İÇİN							
SAP 2000	Nokta No	Deplasman (mm)			Dönme (Radyan)		
		U_x	U_y	U_z	R_x	R_y	R_z
	1	0	0	0	0	0	0
	2	0.569	0	-0.040	0	0.00070	0
	3	0	0	0	0	0	0
	4	0.548	0	-0.036	0	-0.00084	0

Çizelge 3.12 $\beta=30^\circ$ için Z-PRO ve Sap 2000 tarafından hesaplanan deplasman değerleri

$\beta = 30^\circ$ İÇİN							
Z-PRO	Nokta No	Deplasman (mm)			Dönme (Radyan)		
		U_X	U_Y	U_Z	R_X	R_Y	R_Z
	1	0	0	0	0	0	0
	2	0.442	-0.313	-0.039	0.00060	0.00083	0.00004
	3	0	0	0	0	0	0
	4	0.422	-0.018	-0.037	0.00001	-0.00090	0.00004
$\beta = 30^\circ$ İÇİN							
SAP 2000	Nokta No	Deplasman (mm)			Dönme (Radyan)		
		U_X	U_Y	U_Z	R_X	R_Y	R_Z
	1	0	0	0	0	0	0
	2	0.442	-0.317	-0.039	0.00060	0.00083	0.00005
	3	0	0	0	0	0	0
	4	0.422	-0.017	-0.037	0.00001	-0.00090	0.00005

Çizelge 3.13 $\beta=45^\circ$ için Z-PRO ve Sap 2000 tarafından hesaplanan deplasman değerleri

$\beta = 45^\circ$ İÇİN							
Z-PRO	Nokta No	Deplasman (mm)			Dönme (Radyan)		
		U_X	U_Y	U_Z	R_X	R_Y	R_Z
	1	0	0	0	0	0	0
	2	0.293	-0.179	-0.038	0.00054	0.00092	0.00002
	3	0	0	0	0	0	0
	4	0.274	-0.010	-0.037	0.00001	-0.00096	0.00002
$\beta = 45^\circ$ İÇİN							
SAP 2000	Nokta No	Deplasman (mm)			Dönme (Radyan)		
		U_X	U_Y	U_Z	R_X	R_Y	R_Z
	1	0	0	0	0	0	0
	2	0.293	-0.183	-0.038	0.00054	0.00092	0.00003
	3	0	0	0	0	0	0
	4	0.274	-0.009	-0.037	0.00001	-0.00096	0.00003

Çizelge 3.14 $\beta=90^\circ$ için Z-PRO ve Sap 2000 tarafından hesaplanan deplasman değerleri

$\beta = 90^\circ$ İÇİN							
Z-PRO	Nokta No	Deplasman (mm)			Dönme (Radyan)		
		U_X	U_Y	U_Z	R_X	R_Y	R_Z
	1	0	0	0	0	0	0
	2	0.009	0	-0.038	0	0.00104	0
	3	0	0	0	0	0	0
	4	-0.009	0	-0.038	0	-0.00104	0
$\beta = 90^\circ$ İÇİN							
SAP 2000	Nokta No	Deplasman (mm)			Dönme (Radyan)		
		U_X	U_Y	U_Z	R_X	R_Y	R_Z
	1	0	0	0	0	0	0
	2	0.009	0	-0.038	0	0.00104	0
	3	0	0	0	0	0	0
	4	-0.009	0	-0.038	0	-0.00104	0

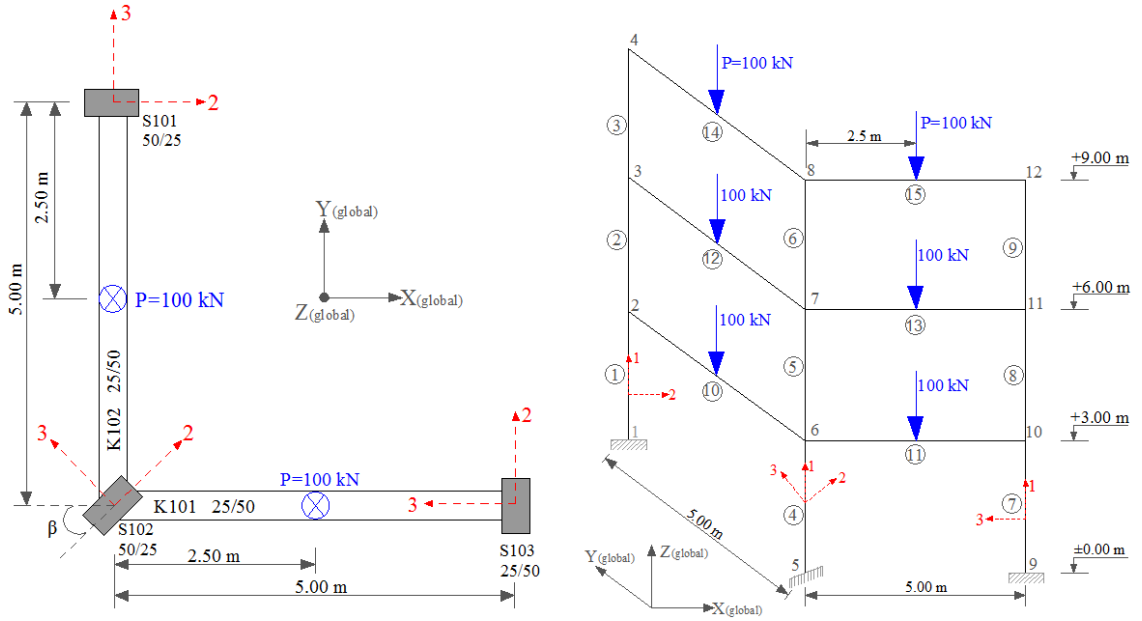
Çizelgelerde görüldüğü gibi, Z-PRO yazılımı tarafından 2 ve 4 numaralı düğümlerde hesaplanan X yönü deplasman değerleri birbirine eşit çıkmamıştır. Bu durum Z-PRO yazılımının rijit diyafram kabulü yapmadan da analiz yapabilmesinin sonucudur. Bu deplasmanların birbirine eşit olmaması, kirişlerde eksensel kuvvetin hesaplanabildiğinin göstergesidir (Bkz. Bölüm 3.3 Rijit Diyafram Kabulünün İrdelenmesi). Çizelgeler incelendiğinde SAP 2000 çözümlerinde de bu deplasmanlar birbirinden farklıdır ve kirişlerde eksenel kuvvet oluşmaktadır.

Z-PRO yazılımında global Z eksenine etrafındaki dönmenin sayısal değerleri hesaplanabilmektedir. Kolonlarda burulma momentinin sayısal değerleri kullanıcıya sunulmaktadır.

Çizelgeler incelendiğinde Z-PRO yazılımının rijit diyafram kabulü yapılmadan da oluşturulan sistemleri doğru analiz ettiği görülmüştür.

3.4.4 Uzak çerçeveslerde iç kuvvet ve deplasmanların irdelenmesi

Z-PRO yazılımı ile hesaplanan iç kuvvetlerin irdelenmesi amacıyla Şekil 3.9'daki uzak çerçeve sistem oluşturulmuştur. Bu sistemde 4, 5 ve 6 numaralı elemanlar sırasıyla $\beta = 0, 30, 45, 180^\circ$ olacak şekilde döndürülmüş ve oluşan sistemler Z-PRO ve SAP 2000 yazılımlarıyla analiz edilmiştir. 4, 5 ve 6 numaralı elemanların analiz sonuçları diyagram olarak Şekil 3.10 - 3.13 ve Çizelge 3.15 - 3.18 de sunulmuştur.



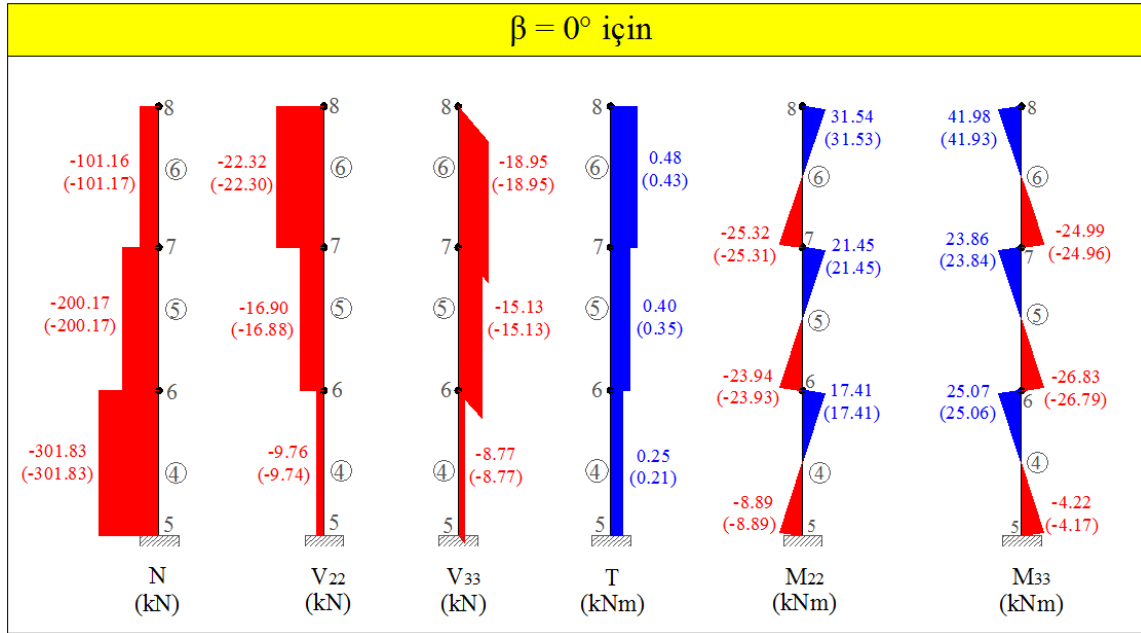
Malzeme Bilgileri:

Beton: C30/37, $E_c = 3.18 \times 10^7$ kN/m², $G_c = 1.272 \times 10^7$ kN/m², $\mu_c = 0.25$, $A_{kesme} = 5/6 A_{kesit}$, $\alpha_c = 0$ 1/C°

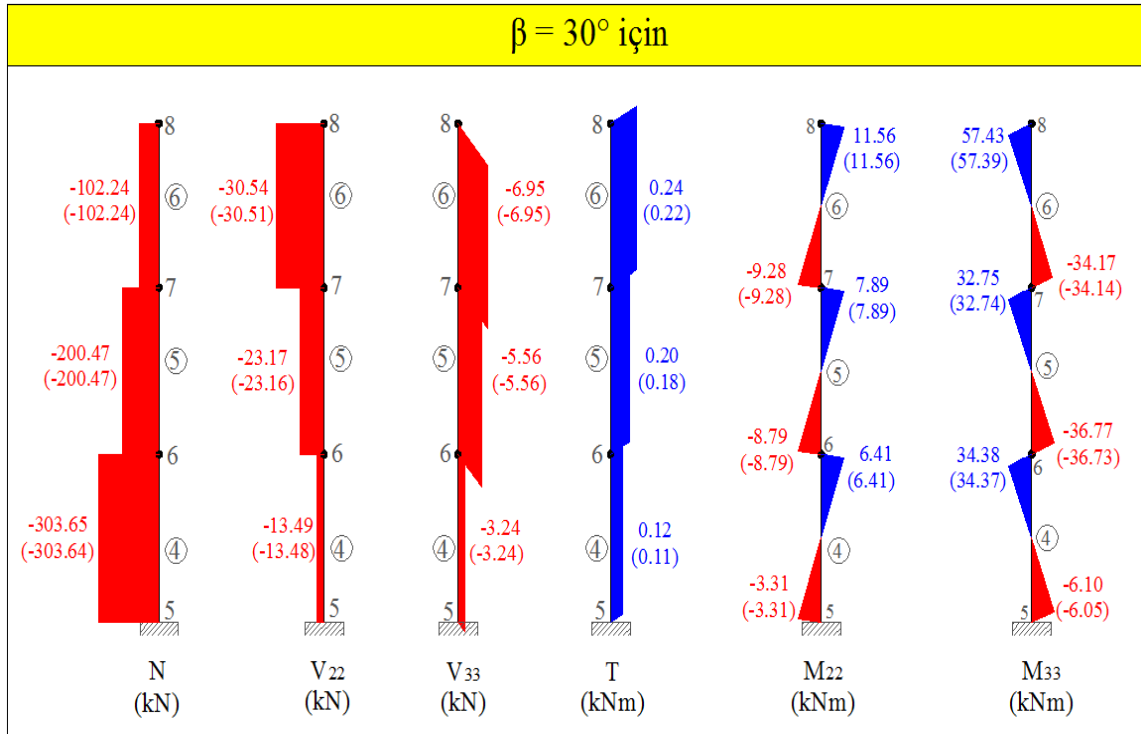
Şekil 3.9 Z-PRO'da iç kuvvetlerin irdelenmesi için hazırlanan uzak çerçeve

Sistemler Z-PRO ve SAP 2000 ile çözüldükten şu kabuller yapılmıştır:

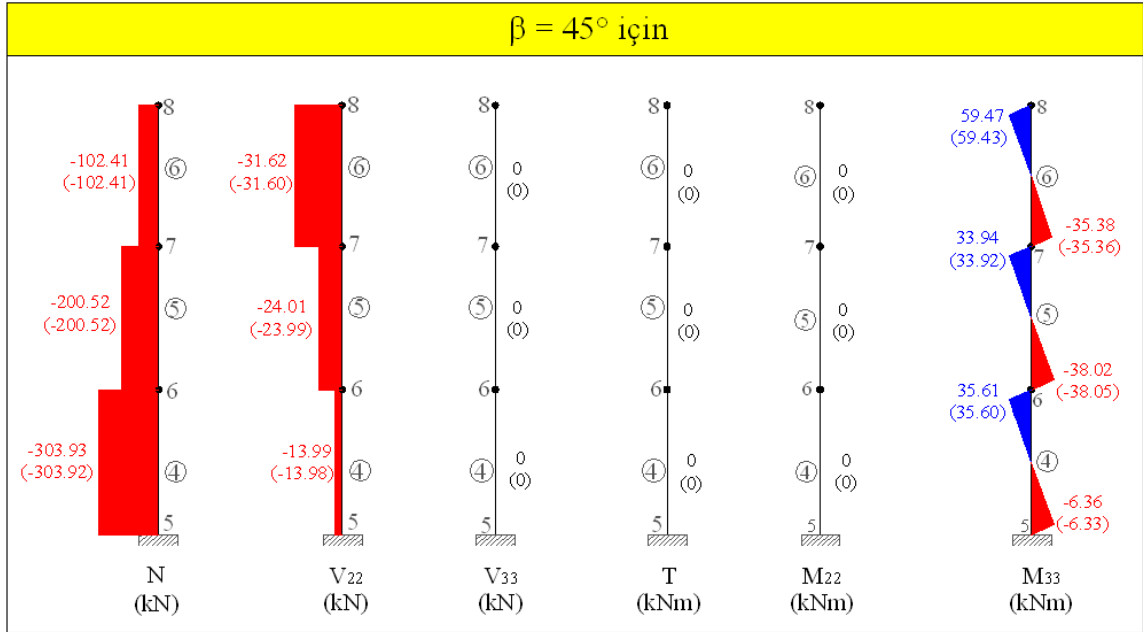
- Zati ağırlıklar ihmal edilmiş, rijit diyafram kabulü yapılmamıştır.
- Kirişin kolon içinde kalan rijit kolları dikkate alınmamıştır.
- Deprem hesabı yapılmamış sistem yalnızca tüm kirişlerin orta noktasına gelen 100 kN'lık düşey yükler altında çözülmüştür.
- Kesme alanı, kesit alanının 5/6'sı alınmıştır.
- Kiriş burulma rijitlikleri her iki yazılımda da 0.01 ile çarpılmıştır.



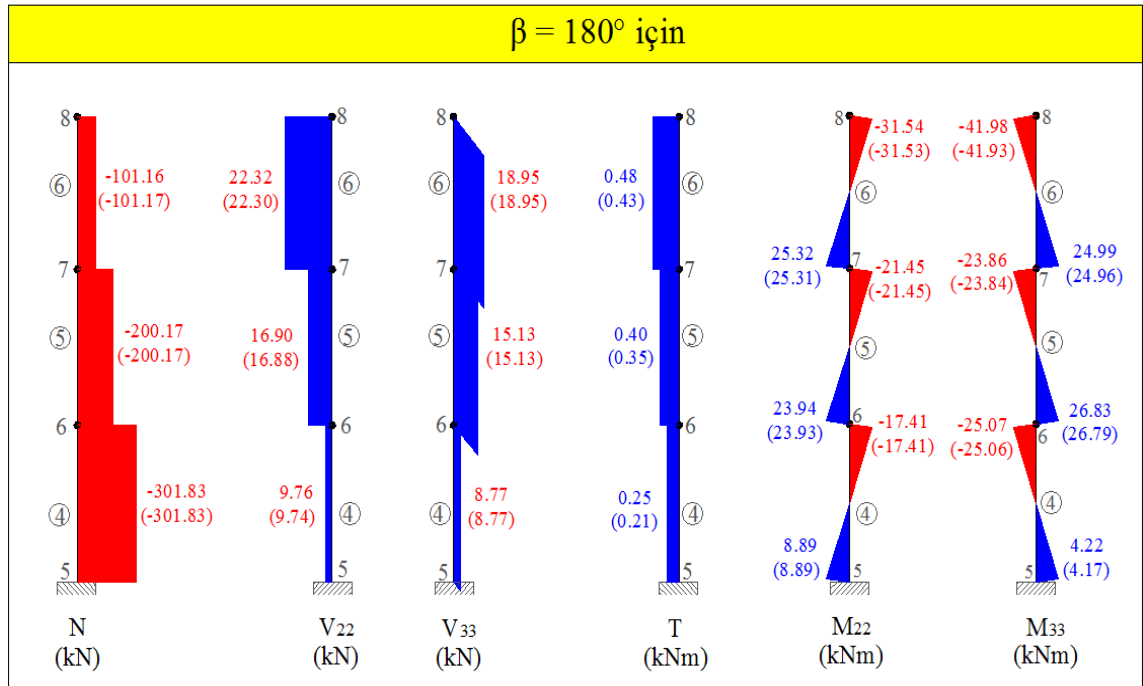
Şekil 3.10 $\beta = 0^\circ$ için 4, 5, 6 nolu elemanlarda Z-PRO ve SAP 2000 ile hesaplanan iç kuvvetler



Şekil 3.11 $\beta = 30^\circ$ için 4, 5, 6 nolu elemanlarda Z-PRO ve SAP 2000 ile hesaplanan iç kuvvetler



Şekil 3.12 $\beta = 45^\circ$ için 4, 5, 6 nolu elemanlarda Z-PRO ve SAP 2000 ile hesaplanan iç kuvvetler



Şekil 3.13 $\beta = 180^\circ$ için 4,5,6 nolu elemanlarda Z-PRO ve SAP 2000 ile hesaplanan iç kuvvetler

Çizelge 3.15 $\beta = 0^\circ$ için Z-PRO ve SAP 2000 ile hesaplanan deplasman değerleri

$\beta = 0^\circ$ İÇİN							
Z-PRO	Nokta No	Deplasman (mm)			Dönme (Radyan)		
		U_X	U_Y	U_Z	R_X	R_Y	R_Z
	5	0	0	0	0	0	0
	6	0.280	-0.046	-0.228	-0.00062	0.00038	0.00003
	7	0.837	-0.142	-0.379	-0.00044	0.00032	0.00007
	8	1.615	-0.254	-0.455	-0.00089	0.00063	0.00012
$\beta = 0^\circ$ İÇİN							
SAP 2000	Nokta No	Deplasman (mm)			Dönme (Radyan)		
		U_X	U_Y	U_Z	R_X	R_Y	R_Z
	5	0	0	0	0	0	0
	6	0.281	-0.047	-0.228	-0.00062	0.00038	0.00003
	7	0.839	-0.143	-0.379	-0.00044	0.00032	0.00007
	8	1.618	-0.257	-0.455	-0.00089	0.00063	0.00013

Çizelge 3.16 $\beta = 30^\circ$ için Z-PRO ve SAP 2000 ile hesaplanan deplasman değerleri

$\beta = 30^\circ$ İÇİN							
Z-PRO	Nokta No	Deplasman (mm)			Dönme (Radyan)		
		U_X	U_Y	U_Z	R_X	R_Y	R_Z
	5	0	0	0	0	0	0
	6	0.333	0.168	-0.229	-0.00045	0.00033	0.00001
	7	1.001	0.508	-0.380	-0.00036	0.00030	0.00003
	8	1.936	0.997	-0.458	-0.00071	0.00058	0.00006
$\beta = 30^\circ$ İÇİN							
SAP 2000	Nokta No	Deplasman (mm)			Dönme (Radyan)		
		U_X	U_Y	U_Z	R_X	R_Y	R_Z
	5	0	0	0	0	0	0
	6	0.334	0.167	-0.229	-0.00045	0.00033	0.00001
	7	1.002	0.507	-0.381	-0.00036	0.00030	0.00004
	8	1.938	0.996	-0.458	-0.00071	0.00058	0.00006

Çizelge 3.17 $\beta = 45^\circ$ için Z-PRO ve SAP 2000 ile hesaplanan deplasman değerleri

$\beta = 45^\circ$ İÇİN							
Z-PRO	Nokta No	Deplasman (mm)			Dönme (Radyan)		
		U_X	U_Y	U_Z	R_X	R_Y	R_Z
	5	0	0	0	0	0	0
	6	0.272	0.272	-0.229	-0.00037	0.00037	0.00000
	7	0.818	0.818	-0.381	-0.00032	0.00032	0.00000
	8	1.589	1.589	-0.458	-0.00063	0.00063	0.00000
$\beta = 45^\circ$ İÇİN							
SAP 2000	Nokta No	Deplasman (mm)			Dönme (Radyan)		
		U_X	U_Y	U_Z	R_X	R_Y	R_Z
	5	0	0	0	0	0	0
	6	0.272	0.272	-0.229	-0.00037	0.00037	0.00000
	7	0.818	0.818	-0.381	-0.00032	0.00032	0.00000
	8	1.589	1.589	-0.458	-0.00063	0.00063	0.00000

Çizelge 3.18 $\beta = 180^\circ$ için Z-PRO ve SAP 2000 ile hesaplanan deplasman değerleri

$\beta = 180^\circ$ İÇİN							
Z-PRO	Nokta No	Deplasman (mm)			Dönme (Radyan)		
		U_X	U_Y	U_Z	R_X	R_Y	R_Z
	5	0	0	0	0	0	0
	6	0.280	-0.046	-0.228	-0.00062	0.00038	0.00003
	7	0.837	-0.142	-0.379	-0.00044	0.00032	0.00007
	8	1.615	-0.254	-0.455	-0.00089	0.00063	0.00012
$\beta = 180^\circ$ İÇİN							
SAP 2000	Nokta No	Deplasman (mm)			Dönme (Radyan)		
		U_X	U_Y	U_Z	R_X	R_Y	R_Z
	5	0	0	0	0	0	0
	6	0.281	-0.047	-0.228	-0.00062	0.00038	0.00003
	7	0.839	-0.143	-0.379	-0.00044	0.00032	0.00007
	8	1.618	-0.257	-0.455	-0.00089	0.00063	0.00013

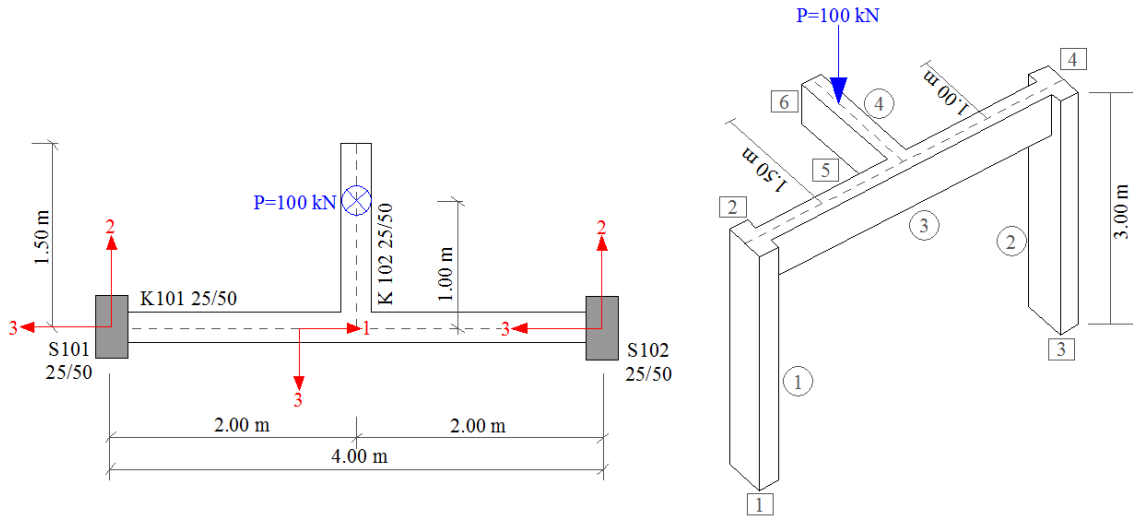
Analiz sonuçları incelendiğinde, tüm β değerleri için Z-PRO ve SAP 2000 in sunduğu deplasman ve iç kuvvet değerleri büyük oranda örtüşmektedir. Şekiller ve çizelgelerden de görüldüğü gibi özellikle M_{33} , T ve deplasman değerlerinde küçüğe olsa farkların olmasında sistemin kapalı bir çerçeve olmayışının önemli bir rolünün olduğu düşünülmektedir.

Şekil 3.9 daki sistemde S101 ve S103 kolonlarını her katta kirişlerle bağlar ve bu kirişlerin orta noktalarına 100 kN luk tekil yük etki ettirilerek oluşturulan kapalı çerçeve model her iki yazılımla çözüldüğünde, tüm β değerleri için bütün elemanlarda iç kuvvet ve deplasmanların aynı olduğu görülmüştür.

Sonuç olarak; uzay (3 boyutlu) ve düzlem çerçeve sistemlerin sonuçları incelendiğinde Z-PRO yazılımının 3 boyutlu analiz yapabildiği görülmüştür.

3.5 Kirişlerde Burulma Momentinin İrdelenmesi

Z-PRO yazılımı tarafından hesaplanan kiriş burulma momentlerinin irdelenmesi amacıyla Şekil 3.14 deki saplama kirişli sistem oluşturulmuştur. Deprem yükleri altında yapıya olumsuz etkileri olsa da ülkemizdeki yapılarda saplama kiriş tasarımına, mimari nedenler ve yapı oturum alanının şeklinden dolayı bolca rastlanmaktadır. Saplama kirişin mesnedinde oluşan dönmeden dolayı ana kirişte burulma momenti oluşmaktadır. Burulma etkisindeki betonarme eleman çatlar ve elemanın burulma rijitliği önemli ölçüde azalır. Bu sayede kuvvet diğer elemanlara rijitlikleri oranında aktarılır. Şekil 3.14 de 3 numaralı elemandaki (K101 kirişi) burulma momenti, 1 ve 2 numaralı elemanların (S101 ve S102 kolonları) lokal 3 eksen etrafındaki eğilme momentine (M_{33}) eşit olmak zorundadır. Sistem Z-PRO ve SAP 2000 ile çözümlenerek bu eşitlik kontrol edilecektir. Her iki yazılımda da daha gerçekçi çözüm elde edebilmek için kiriş burulma rijitlikleri 0.01 ile çarpılmıştır.



Malzeme Bilgileri:

Beton: C30/37, $E_c=3.18 \times 10^7$ kN/m², $G_c=1.272 \times 10^7$ kN/m², $\mu_c=0.25$, $A_{kesme}=5/6 A_{kesit}$, $\alpha_c=0$ 1/C°

Şekil 3.14 Kiriş burulma momentlerinin irdelenmesi için hazırlanan sistem

Sistem Z-PRO ve SAP 2000 ile çözüldürken şu kabuller yapılmıştır:

- Kolon, kiriş zati ağırlıkları ihmal edilmiştir.
- Kolon-Kiriş birleşim bölgelerinde kirişin kolon içinde kalan parçası sonsuz rijit olduğu kabulü yapılmamıştır.
- Deprem hesabı yapılmamış sistem yalnızca 100 kN' luk düşey yük altında çözülmüştür.
- Kesme alanı, kesit alanının 5/6 sı alınmıştır.
- Kiriş burulma rijitlikleri her iki yazılımda da 0.01 ile çarpılmıştır.
- Z-PRO ve SAP 2000 yazılımında rijit diyafram kabulü yapılmamıştır.

Çizelge 3.19 da Z-PRO ve SAP 2000 yazılımları tarafından hesaplanan iç kuvvet değerleri ve bu değerler arasındaki farklar (%) cinsinden verilmiştir.

Çizelge 3.19 Z-PRO ve SAP 2000 tarafından hesaplanan iç kuvvet değerleri ve yüzde (%) cinsinden aralarındaki farklar

İÇ KUVVET DEĞERLERİ								
Z-PRO	ELEMAN NO	NOKTA NO	N1 kN	V2 kN	V3 kN	T1 kNm	M2 kNm	M3 kNm
	1	1	-50.00	0.00	9.83	0.00	9.71	50.00
		2	-50.00	0.00	9.83	0.00	-19.78	50.00
	2	3	-50.00	0.00	-9.83	0.00	-9.71	50.00
		4	-50.00	0.00	-9.83	0.00	19.78	50.00
	3	2	-9.83	-50.00	0.00	-50.00	0.00	-19.78
		AÇIKLIK	-9.83	-50.00 ve 50.00	0.00	-	0.00	80.22
		4	-9.83	50.00	0.00	50.00	0.00	-19.78
	4	5	0.00	-100.00	0.00	0.00	0.00	-100.00
		6	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
SAP 2000	ELEMAN NO	NOKTA NO	N1 kN	V2 kN	V3 kN	T1 kNm	M2 kNm	M3 kNm
	1	1	-50.00	0.00	9.83	0.00	9.70	50.00
		2	-50.00	0.00	9.83	0.00	-19.78	50.00
	2	3	-50.00	0.00	-9.83	0.00	-9.70	50.00
		4	-50.00	0.00	-9.83	0.00	19.78	50.00
	3	2	-9.83	-50.00	0.00	-50.00	0.00	-19.78
		AÇIKLIK	-9.83	-50.00 ve 50.00	0.00	-	0.00	80.22
		4	-9.83	50.00	0.00	50.00	0.00	-19.78
	4	5	0.00	-100.00	0.00	0.00	0.00	-100.00
		6	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
FARK %	FARK %							
	ELEMAN NO	NOKTA NO	N1 kN	V2 kN	V3 kN	T1 kNm	M2 kNm	M3 kNm
	1	1	0.00	-	0.00	-	-0.11	0.00
		2	0.00	-	0.00	-	0.00	0.00
	2	3	0.00	-	0.00	-	-0.11	0.00
		4	0.00	-	0.00	-	0.00	0.00
	3	2	0.00	0.00	-	0.00	-	0.00
		AÇIKLIK	0.00	-	-	-	-	0.00
		4	0.00	0.00	-	0.00	-	0.00
	4	5	-	0.00	-	-	-	0.00
		6	-	-	-	-	-	-

Çizelge 3.19 daki Z-PRO sonuçları incelendiğinde 3 numaralı elemandaki (K101 kirişi) burulma momentinin, 1 ve 2 numaralı elemanlardaki (S101 ve S102 kolonları) lokal 3 eksen etrafındaki eğilme momentine (M_3) eşit olduğu görülür. Z-PRO yazılımının sunduğu iç kuvvet değerleri SAP 2000 yazılımının sunduğu değerlerle örtüşmektedir. Sonuç olarak Z-PRO yazılımının kirişlerdeki burulma momentini doğru hesapladığını söyleyebiliriz.

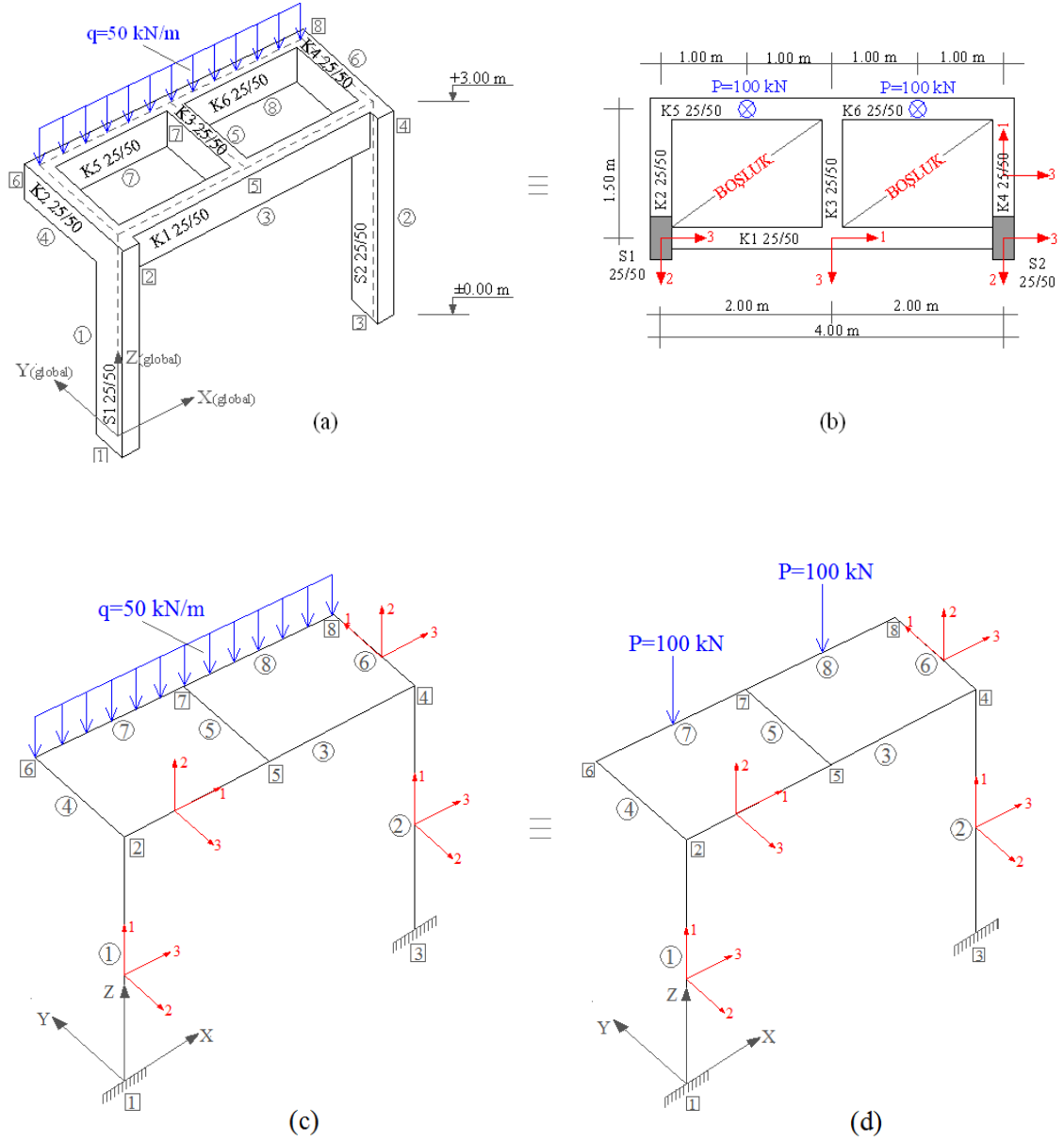
Şekil 3.14 deki sistemde görülen $P=100$ kN luk tekil yükün 6 numaralı düğüm noktasına, yani konsol kirişin (K102 kirişi) eksenı üzerinde tam uç noktasına etki ettirilmesi durumunda, Z-PRO yazılımının kirişlerdeki burulma momentini doğru hesaplıyor mu? Yazılımda oluşturulan düğüm noktasına noktasal yük tanımlanabiliyor mu? Sorularına yanıt aranacaktır. Modellenen sistem Z-PRO ve SAP 2000 ile çözülürken yapılan kabuller ve malzeme özellikleri Şekil 3.14 deki ile aynıdır. Analiz sonuçları incelendiğinde Z-PRO yazılımının sunduğu kirişlerdeki burulma momenti değerlerinin SAP 2000 in sunduğu değerlerle örtüştüğü ve yazılımda oluşturulan düğüm noktalarına kullanıcı tanımlı noktasal dış yük tanımlama konusunda herhangi bir sorunla karşılaşılması görülmüştür.

Z-PRO yazılımı çıkmalı yapılarda sıkça karşımıza çıkan, konsol kirişlerin uçlarını bağlayan kirişlerden gelen yükleri dikkate alıyor mu? Bu sorunun cevabını bulabilmek için Şekil 3.15 de görülen çıkmalı yapı modeli incelenmiş ve konsol kirişleri bağlayan kirişlerden kaynaklanan etkilerin Z-PRO yazılımında doğru bir şekilde dikkate alınıp alınmadığı araştırılmıştır. Bunu için Şekil 3.15 de verilen sistem SAP 2000 ve Z-PRO yazılımlarıyla çözülmüş sonuçlar Çizelge 3.20 de verilmiştir.

Sistem Z-PRO ve SAP 2000 ile çözülürken şu kabuller yapılmıştır:

- Kolon, kiriş zati ağırlıkları ihmal edilmiştir.
- Kolon kiriş birleşim bölgesinin sonsuz rijit olduğu kabulü yapılmamıştır.
- Deprem hesabı yapılmamış sistem önce 50 kN/m lik yayılı yük ve daha sonra 200 kN luk noktasal yük altında çözülmüştür.
- Kesme alanı, kesit alanının $5/6$ sı alınmıştır.
- Kiriş burulma rijitlikleri her iki yazılımda da 0.01 ile çarpılmıştır.

- Z-PRO ve SAP 2000 yazılımında rijit diyafram kabulü yapılmamıştır.



Malzeme Bilgileri:

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

Şekil 3.15 a) Çıkmalı yapı modeli, b) Kalıp planı, c) Yayılı yük modeli, d) Noktasal yük modeli

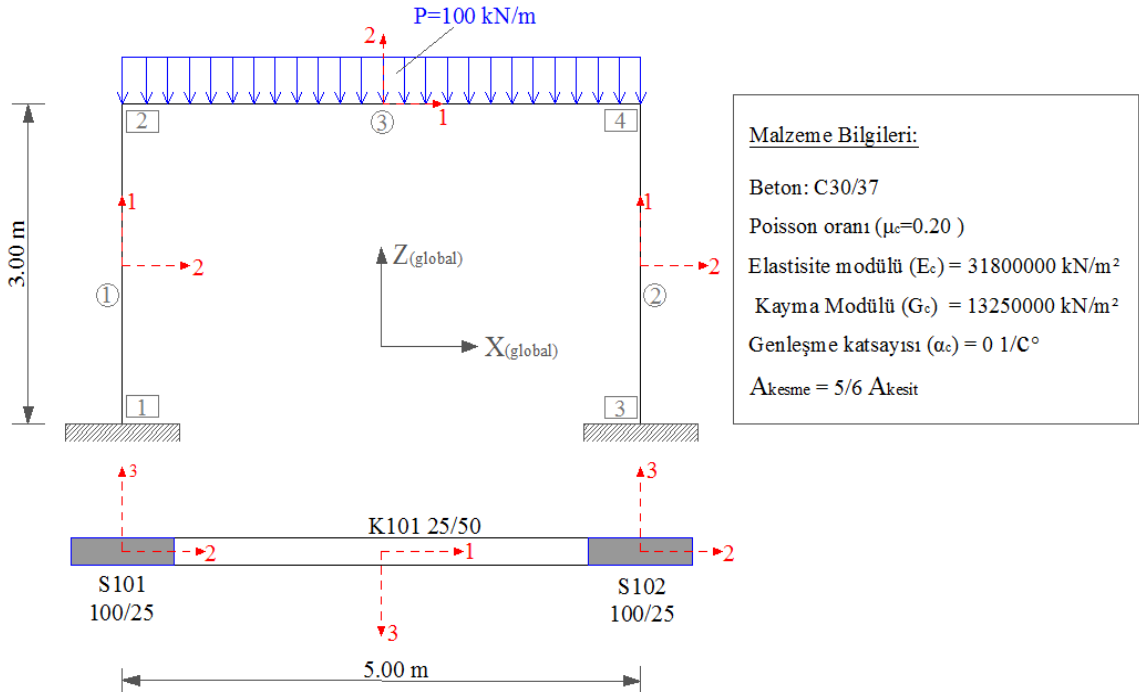
Çizelge 3.20 Şekil 3.15 (c) ve (d) için Z-PRO ve SAP 2000 ile hesaplanan iç kuvvet değerleri

NOKTASAL VE YAYILI YÜK MODELİ İÇİN İÇ KUVVET DEĞERLERİ							
Eleman No	Nokta No	Z-PRO					
		N ₁ kN	V ₂₂ kN	V ₃₃ kN	T ₁ kNm	M ₂₂ kNm	M ₃₃ kNm
1	1	-100.00	0.00	0.00	0.00	0.00	-150.00
	2	-100.00	0.00	0.00	0.00	0.00	-150.00
2	3	-100.00	0.00	0.00	0.00	0.00	-150.00
	4	-100.00	0.00	0.00	0.00	0.00	-150.00
3	2	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	5	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	4	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
4	2	0.00	-100.00	0.00	0.00	0.00	-150.00
	6	0.00	-100.00	0.00	0.00	0.00	0.00
5	5	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	7	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
6	4	0.00	-100.00	0.00	0.00	0.00	-150.00
	8	0.00	-100.00	0.00	0.00	0.00	0.00
7	6	0.00	-100.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	7	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	100.00
8	7	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	100.00
	8	0.00	100.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Eleman No	Nokta No	SAP 2000					
		N ₁ kN	V ₂ kN	V ₃₃ kN	T ₁ kNm	M ₂₂ kNm	M ₃₃ kNm
1	1	-100.00	0.00	0.00	0.00	0.00	-150.00
	2	-100.00	0.00	0.00	0.00	0.00	-150.00
2	3	-100.00	0.00	0.00	0.00	0.00	-150.00
	4	-100.00	0.00	0.00	0.00	0.00	-150.00
3	2	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	5	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	4	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
4	2	0.00	-100.00	0.00	0.00	0.00	-150.00
	6	0.00	-100.00	0.00	0.00	0.00	0.00
5	5	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	7	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
6	4	0.00	-100.00	0.00	0.00	0.00	-150.00
	8	0.00	-100.00	0.00	0.00	0.00	0.00
7	6	0.00	-100.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	7	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	100.00
8	7	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	100.00
	8	0.00	100.00	0.00	0.00	0.00	0.00

Şekil 3.15 (c) ve (d) de verilen sistemler statikçe eşdeğer sistemlerdir. Şekil 3.15 (c) de verilen sistemde 50 kN/m lik yayılı yük noktasal yüke dönüştürülerek Şekil 3.15 (d) deki sistem oluşturulmuştur. Statikçe eşdeğer olan bu iki sistemin statik sonuçlarının benzer olması gerekmektedir. Çizelge 3.20 incelendiğinde her iki sistem içinde bu sonuçların aynı olduğu, Z-PRO ve SAP 2000 in sunmuş olduğu iç kuvvet değerlerinin bağdaştığı görülmektedir. Sonuç olarak; yazılım çıkmalı yapılarda konsol kirişlerin uçlarını bağlayan kirişlerden gelen yükleri dikkate alabildiği tespit edilmiştir.

3.6 Z-PRO Yazılımında Kiriş Rijit Kollarının İrdelenmesi

Şekil 3.16 da hazırlanan sistem Z-PRO ve SAP 2000 yazılımlarıyla analiz edilecektir. Burada amaç Z-PRO yazılımında kirişlere yayılı yük tanımlaması yapılırken yazılımın kolon-kiriş birleşim bölgelerinde kirişin kolon içinde kalan rijit kollarını dikkate alıp almadığı sorusuna yanıt aranacaktır.



Şekil 3.16 Kiriş rijit kollarının irdelenmesi için hazırlanan düzlem çerçeve

Sistem Z-PRO ve SAP 2000 ile çözülürken şu kabuller yapılmıştır:

- Kolon, kiriş zati ağırlıkları ihmal edilmiştir.
- Kolon-Kiriş birleşim bölgelerinde kirişin kolon içinde kalan parçası sonsuz rijit olduğu kabulü yapılmamıştır.
- Deprem hesabı yapılmamış sistem yalnızca 100 kN/m lik düzgün yayılı yük altında çözülmüştür.
- Kesme alanı, kesit alanının 5/6 sı alınmıştır.
- Kiriş burulma rijitlikleri her iki yazılımda da 0.01 ile çarpılmıştır.
- Z-PRO ve SAP 2000 yazılımında rijit diyafram kabulü yapılmamıştır.

Çizelge 3.21 ve 3.22 de Z-PRO ve SAP 2000 yazılımları tarafından hesaplanan deplasmanlar, iç kuvvet değerleri ve bu değerler arasındaki farklar (%) cinsinden verilmiştir.

Çizelge 3.21 Z-PRO ve SAP 2000 ile hesaplanan deplasman değerleri

DÜĞÜM NOKTASI DEPLASMAN VE DÖNMELERİ							
Z-PRO	Nokta No	Deplasman (mm)			Dönme (Radyan)		
		U _x	U _y	U _z	R _x	R _y	R _z
	1	0	0	0	0	0	0
	2	0.055	0	-0.094	0	0.0003	0
	3	0	0	0	0	0	0
	4	-0.055	0	-0.094	0	-0.0003	0
DÜĞÜM NOKTASI DEPLASMAN VE DÖNMELERİ							
SAP 2000	Nokta No	Deplasman (mm)			Dönme (Radyan)		
		U _x	U _y	U _z	R _x	R _y	R _z
	1	0	0	0	0	0	0
	2	0.055	0	-0.094	0	0.0003	0
	3	0	0	0	0	0	0
	4	-0.055	0	-0.094	0	-0.0003	0

Çizelge 3.22 Z-PRO ve SAP 2000 tarafından hesaplanan iç kuvvet değerleri ve yüzde (%) cinsinden aralarındaki farklar

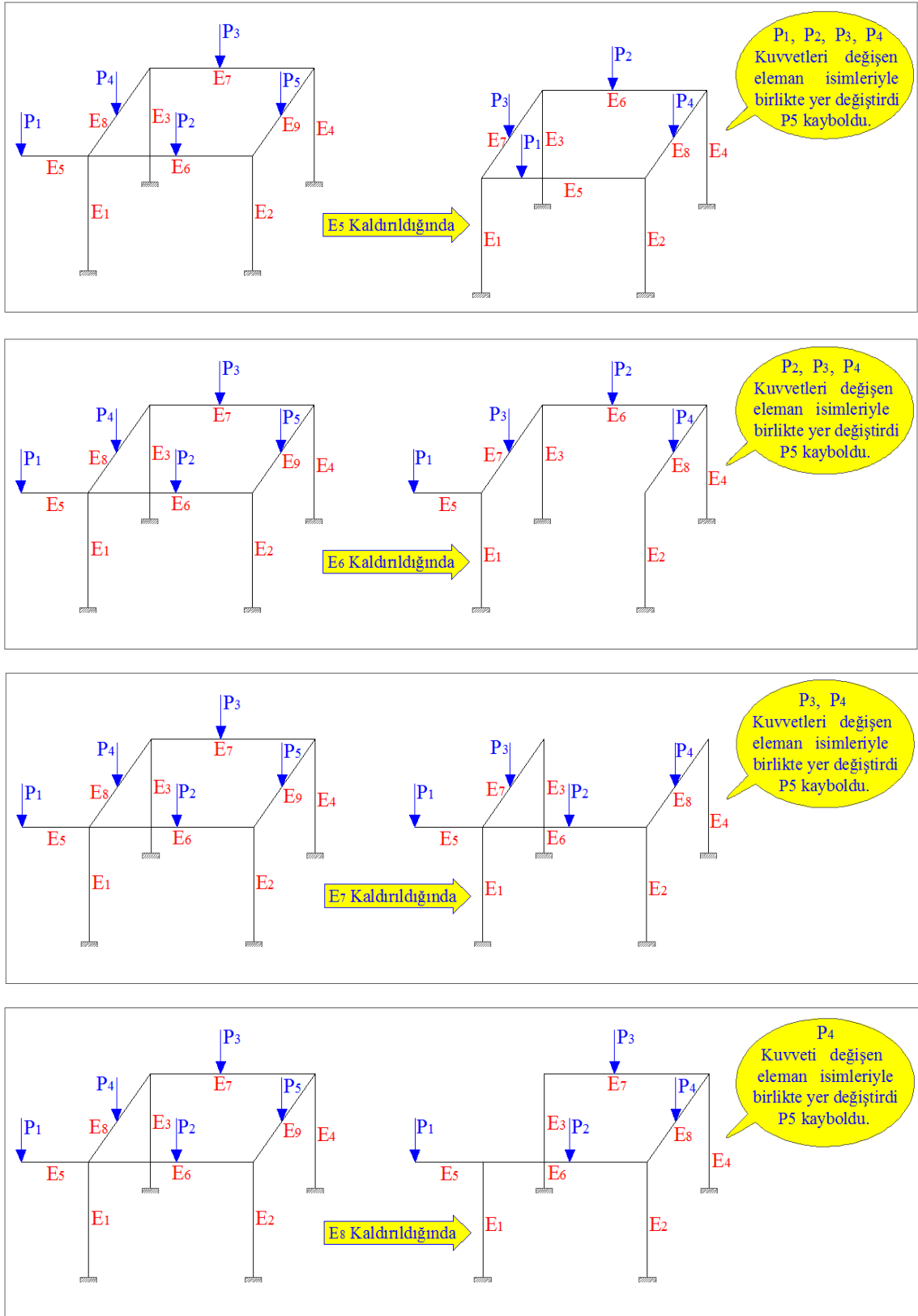
İÇ KUVVET DEĞERLERİ								
Z-PRO	ELEMAN NO	NOKTA NO	N ₁ kN	V ₂ kN	V ₃ kN	T ₁ kNm	M ₂ kNm	M ₃ kNm
	1	1	-250.00	-88.07	0.00	0.00	0.00	-65.83
		2	-250.00	-88.07	0.00	0.00	0.00	198.39
	2	3	-250.00	88.07	0.00	0.00	0.00	65.83
		4	-250.00	88.07	0.00	0.00	0.00	-198.39
	3	2	-88.07	-250.00	0.00	0.00	0.00	-198.39
		AÇIKLIK	-88.07	-250.00 ve 250.00	0.00	0.00	0.00	114.11
		4	-88.07	250.00	0.00	0.00	0.00	-198.39
SAP 2000	ELEMAN NO	NOKTA NO	N ₁ kN	V ₂ kN	V ₃ kN	T ₁ kNm	M ₂ kNm	M ₃ kNm
	1	1	-250.00	-88.07	0.00	0.00	0.00	-65.83
		2	-250.00	-88.07	0.00	0.00	0.00	198.39
	2	3	-250.00	88.07	0.00	0.00	0.00	65.83
		4	-250.00	88.07	0.00	0.00	0.00	-198.39
	3	2	-88.07	-250.00	0.00	0.00	0.00	-198.39
		AÇIKLIK	-88.07	-250.00 ve 250.00	0.00	0.00	0.00	114.11
		4	-88.07	250.00	0.00	0.00	0.00	-198.39
			FARK %					
FARK %	ELEMAN NO	NOKTA NO	N ₁ kN	V ₂ kN	V ₃ kN	T ₁ kNm	M ₂ kNm	M ₃ kNm
	1	1	0.00	0.00	-	-	-	0.00
		2	0.00	0.00	-	-	-	0.00
	2	3	0.00	0.00	-	-	-	0.00
		4	0.00	0.00	-	-	-	0.00
	3	2	0.00	0.00	-	-	-	0.00
		AÇIKLIK	0.00	-	-	-	-	0.00
		4	0.00	0.00	-	-	-	0.00

Çizelge 3.21 ve 3.22 deki sonuçlar incelendiğinde Z-PRO yazılımının kirişin kolon içerisinde kalan rijit kollarını dikkate alabildiği, 100 kN/m lik yayılı yükün kirişin kolon eksenleri arasında kalan uzunluğu boyunca etkili olduğu görülmüştür. Z-PRO yazılımının sunduğu deplasman ve iç kuvvet değerleri SAP 2000 yazılımının sunduğu değerlerle örtüşmektedir. Ayrıca Z-PRO yazılımında düzgün yayılı yükler doğru bir şekilde tanımlanıp analiz edilebilmektedir.

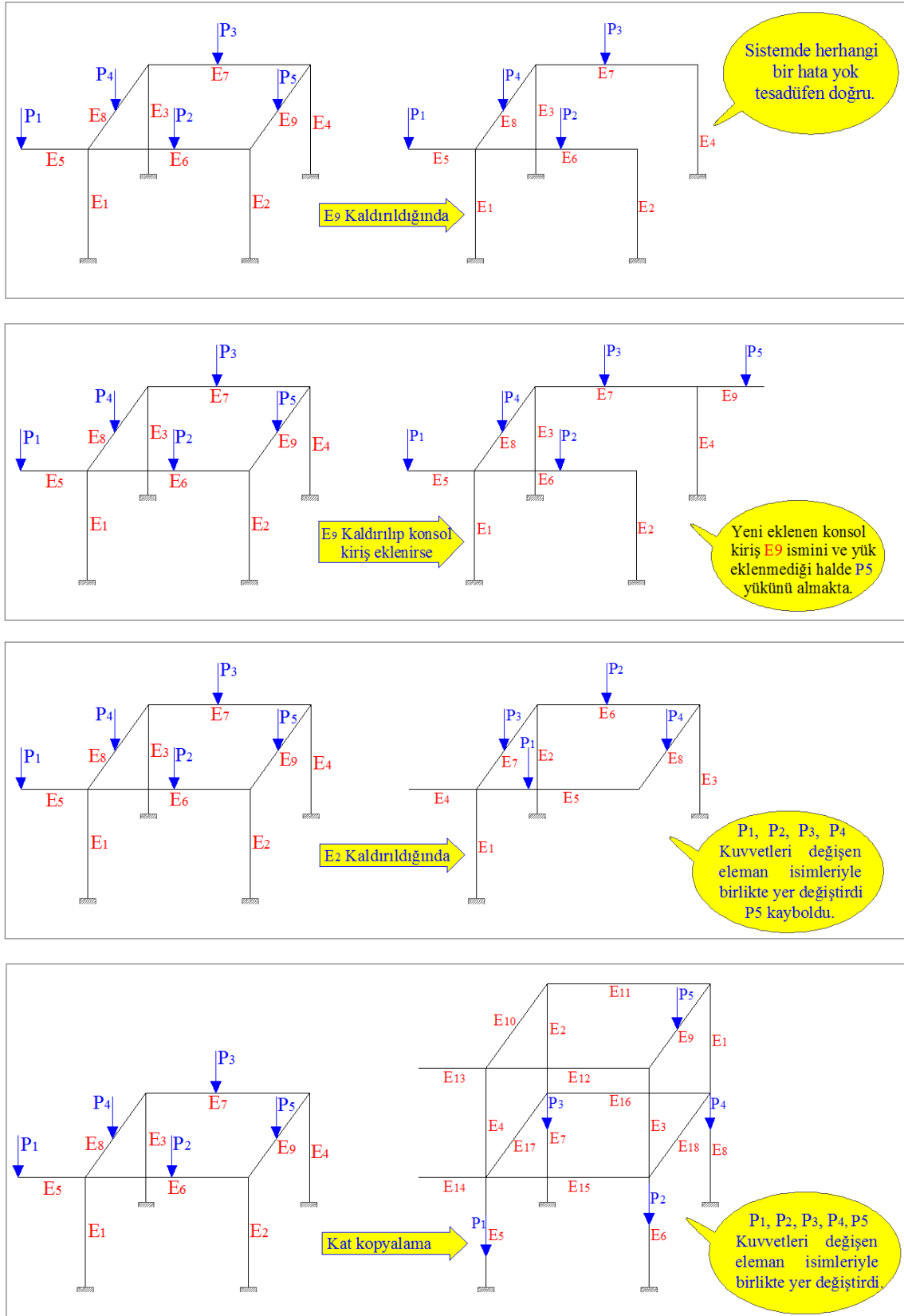
Şekil 3.16 daki sistem kolon-kiriş birleşim bölgelerinde kirişin kolon içinde kalan parçası sonsuz rijit olduğu kabulü yapılarak Z-PRO ve SAP 2000 yazılımlarıyla çözülmüştür. Her iki yazılımında analiz sonuçları incelendiğinde Z-PRO nun rijit bölge kabulünü dikkate alabildiği tespit edilmiştir. Z-PRO yazılımı ayrıca kiriş rijit kolları mesafesini kullanıcı girişine de sunmuştur. Kullanıcı istediği mesafeyi girerek kiriş rijit kollarını uzatıp kısaltabilmektedir. Yazılım bu konuda bir sınırlama getirmemiştir. Bu konuda bir sınırlamanın olmaması gerçek dışı sistemlerin oluşumuna neden olabilir.

3.7 Z-PRO Yazılımında Kullanıcı Tanımlı Yüklerin İrdelenmesi

Z-PRO da tanımlanan değişik yapı modellerinde yapılan incelemelerde kullanıcı tanımlı yüklerle (düzgün yayılı, tekil vb yükler) ilgili olarak tesadüfen bir hatayla karşılaşmıştır. Z-PRO da oluşturulan herhangi bir sistemin belirli bir kolon, perde veya kirişlerine kullanıcı girişli olarak tanımlanan yükler, projeden o eleman çıkarıldığında ve yerine yeni eleman eklendiğinde, başlangıçta tanımlanan yükün kalkmadığı aksine, tanımlanan yeni elemana aktarıldığı belirlenmiştir. Z-PRO da bir yapı modelini oluşturan taşıyıcı elemanların her biri oluşum önceliğine göre isim almaktadır kullanıcı buna müdahale edemez ve eleman ismini değiştiremez, ancak eleman eklenip çıkarılabilir. Yazılımda tanımlanan herhangi bir eleman sistemden çıkarıldığında, sistemden çıkarılan elemandan bir sonra oluşturulan eleman sistemden çıkarılan o elemanın ismini almaktadır. Eğer sistemden çıkarılan elemana, sistemden çıkarılmadan önce kullanıcı tanımlı bir yük eklenmişse, bu yük sistemden çıkarılan elemandan sonra oluşturulmuş olan elemana ismi ile birlikte geçmektedir. Bu durumu daha net ortaya koyabilmek için aşağıdaki şekiller hazırlanmıştır.



Şekil 3.17 Kullanıcı tanımlı yüklerin irdelenmesi için hazırlanan sistemler



Şekil 3.18 Kullanıcı tanımlı yüklerin irdelenmesi için hazırlanan sistemler ve kat kopyalama

Yazılımda kat kopyalama işlemi ile zemin katta kalan elemanların isimlerinin tamamıyla değiştiği, değişen eleman isimleriyle birlikte yüklerin de yer değiştirdiği görülmüştür. Karmaşık sistemlerde kullanıcının asla farkına varamayacağı bu yazılım hatası gerçek dışı sistemlerin analizine neden olmaktadır.

3.8 Perde Elemanların Deplasman ve İç kuvvetlerinin İrdelenmesi

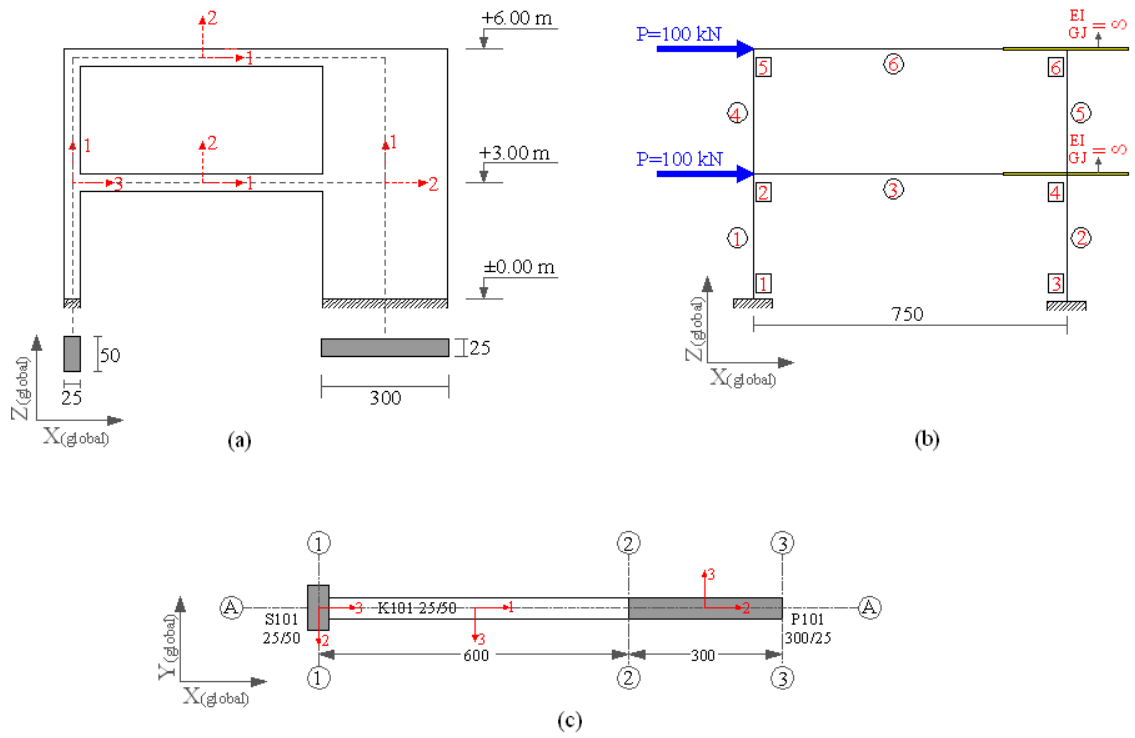
Bu başlık altında perdelerin kolon ve kabuk olarak modellenip deplasman ve iç kuvvetlerinin SAP 2000 yazılımı ile karşılaştırması yapılacak ve sonuçlar irdelenecektir. Ayrıca poligonal perde kavramı bu başlık altında ele alınacaktır.

3.8.1 Perde elemanların kolon olarak modellenmesi

Z-PRO yazılımında perde elemanlar kolon olarak modellenebilip sonlu elemanlar analizi çubuk olarak yapılabilmektedir (Bkz. Bölüm 2.2.3 Perde modeli). Perdeler kolon olarak modellenmesi durumunda perdelerin kesit özellikleri (lokal 2 eksenli yönü atalet momenti (I_{22}), 3 eksenli yönü atalet momenti (I_{33}), burulma atalet momenti (I_b), enkesit alanı (A_{kesit}), kesme alanı (A_{kesme})) perde yüksekliği boyunca çubuk elemana aktarılmaktadır. Perdelerin kirişlerle bağlantısı perde düşey ekseninden perde-kiriş birleşim düğümüne kadar eğilme ve burulma rijitliği sonsuz olan sanal kirişlerle yapılmaktadır. Şekil 3.19 da verilen sistemde perde kolon olarak modellenerek Z-PRO ve SAP 2000 de analiz edilmiştir.

Sistem Z-PRO ve SAP 2000 ile çözülürken şu kabuller yapılmıştır:

- Kolon-Kiriş birleşim bölgelerinde kirişin kolon içinde kalan parçası sonsuz rijit olduğu kabulü yapılmıştır.
- Deprem hesabı yapılmamış, sistemin verilen yükler altında statik hesabı yapılmıştır. Rijit diyafram kabulü yapılmamıştır.
- Kolon, Perde ve kiriş zati ağırlıkları ihmal edilmiştir.
- Kesme alanı, kesit alanının 5/6 sı olarak hesaplanmıştır.



Malzeme Bilgileri:

Beton: C30/37, $E_c=3.18 \times 10^7$ kN/m², $G_c=1.325 \times 10^7$ kN/m², $\mu_c=0.20$, $A_{kesme} = 5/6 A_{kesit}$, $\alpha_c=0$ 1/c°

Şekil 3.19 Düzlem perde+çerçeve örneği, a) Geometrik model, b) Perdenin kolon modeli, c) Kalıp planı

Çizelge 3.23 ve 3.24 de Z-PRO ve SAP 2000 yazılımları tarafından hesaplanan düzlem perde+çerçeve sisteme ait deplasmanlar, iç kuvvet değerleri ve bu değerler arasındaki farklar (%) cinsinden verilmiştir.

Çizelge 3.23 Perde kolon modelinde iç kuvvet değerleri

PERDE KOLON MODELİ - İÇ KUVVET DEĞERLERİ								
Z-PRO	ELEMAN NO	NOKTA NO	N ₁ kN	V ₂ kN	V ₃ kN	T ₁ kNm	M ₂ kNm	M ₃ kNm
	1	1	4.89	0.00	2.81	0.00	4.56	0.00
		2	4.89	0.00	2.81	0.00	-3.88	0.00
	2	3	-4.89	197.19	0.00	0.00	0.00	858.76
		4	-4.89	197.19	0.00	0.00	0.00	267.20
	3	2	-100.03	2.71	0.00	0.00	0.00	7.34
		4	-100.03	2.71	0.00	0.00	0.00	-8.61
	4	2	2.18	0.00	2.85	0.00	3.80	0.00
		5	2.18	0.00	2.85	0.00	-4.74	0.00
	5	4	-2.18	97.16	0.00	0.00	0.00	279.89
		6	-2.18	97.16	0.00	0.00	0.00	-11.58
SAP 2000	1	1	4.89	0.00	2.82	0.00	4.57	0.00
		2	4.89	0.00	2.82	0.00	-3.89	0.00
	2	3	-4.89	197.18	0.00	0.00	0.00	858.74
		4	-4.89	197.18	0.00	0.00	0.00	267.20
	3	2	-100.02	2.72	0.00	0.00	0.00	7.34
		4	-100.02	2.72	0.00	0.00	0.00	-8.61
	4	2	2.18	0.00	2.84	0.00	3.79	0.00
		5	2.18	0.00	2.84	0.00	-4.74	0.00
	5	4	-2.18	97.16	0.00	0.00	0.00	279.89
		6	-2.18	97.16	0.00	0.00	0.00	-11.58
FARK %	1	1	0.00	-	0.35	-	0.22	-
		2	0.00	-	0.35	-	0.26	-
	2	3	0.00	-0.01	-	-	-	0.00
		4	0.00	-0.01	-	-	-	0.00
	3	2	-0.01	0.37	-	-	-	0.00
		4	-0.01	0.37	-	-	-	0.00
	4	2	0.00	-	-0.35	-	-0.26	-
		5	0.00	-	-0.35	-	0.00	-
	5	4	0.00	0.00	-	-	-	0.00
		6	0.00	0.00	-	-	-	0.00
FARK %	6	5	0.00	0.00	-	-	-	0.00
		6	0.00	0.00	-	-	-	0.00

Çizelge 3.24 Perde kolon modelinde deplasman ve dönme değerleri

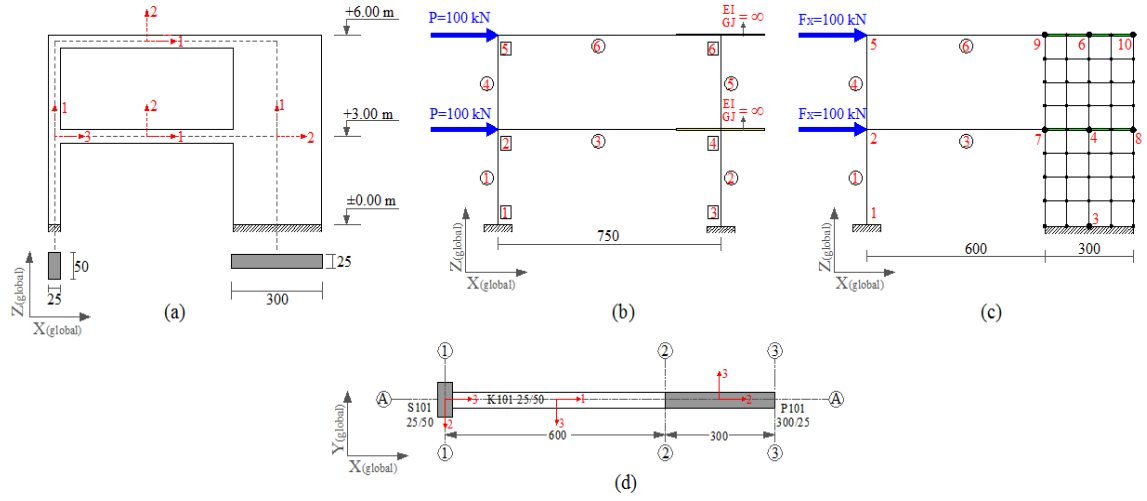
PERDE KOLON MODELİ - DÜĞÜM NOKTASI DEPLASMAN VE DÖNMELERİ							
Z-PRO	Nokta No	Deplasman (mm)			Dönme (Radyan)		
		U _x	U _y	U _z	R _x	R _y	R _z
	1	0.000	0.000	0.000	0.00000	0.00000	0.00000
	2	0.386	0.000	0.004	0.00000	0.00005	0.00000
	3	0.000	0.000	0.000	0.00000	0.00000	0.00000
	4	0.238	0.000	-0.001	0.00000	0.00009	0.00000
	5	0.746	0.000	0.005	0.00000	-0.00002	0.00000
	6	0.602	0.000	-0.001	0.00000	0.00012	0.00000
PERDE KOLON MODELİ - DÜĞÜM NOKTASI DEPLASMAN VE DÖNMELERİ							
SAP 2000	Nokta No	Deplasman (mm)			Dönme (Radyan)		
		U _x	U _y	U _z	R _x	R _y	R _z
	1	0.000	0.000	0.000	0.00000	0.00000	0.00000
	2	0.387	0.000	0.004	0.00000	0.00005	0.00000
	3	0.000	0.000	0.000	0.00000	0.00000	0.00000
	4	0.238	0.000	-0.001	0.00000	0.00009	0.00000
	5	0.747	0.000	0.005	0.00000	-0.00002	0.00000
	6	0.602	0.000	-0.001	0.00000	0.00012	0.00000

Z-PRO ve SAP 2000 yazılımlarından elde edilen iç kuvvetler ve deplasmanlar karşılaştırıldığında sonuçların birbiriyle tutarlılık içinde olduğu görülmüş ve en büyük iç kuvvet farkı % 0.37 olarak hesaplanmıştır. Sonuç olarak düzlem perde+çerçeve sistemlerde, perde elemanın kolon modeli olarak tanımlanıp aynı şartlar altında Z-PRO ve SAP 2000 de analizi yapıldığında her iki yazılımında benzer sonuçları verdiği önemli bir hata farkının oluşmadığı tespit edilmiştir.

3.8.2 Perde elemanların kabuk olarak modellenmesi

Z-PRO yazılımında perde elemanlar kabuk olarak modellenebilip sonlu elemanlar analizi kabuk olarak yapılabilir (Bkz. Bölüm 2.2.3 Perde modeli). Kabuk elemanlar dikdörtgen geometriye sahip olup boyutu kullanıcı tarafından

değiştirilebilmektedir. Böylelikle çözüm hassasiyeti artırılabilir. Özellikle yapı boyunca önemli boşlukları içeren perdelerin kabuk olarak modellenmesi ile daha hassas bir çözüm yapılabilir. Şekil 3.20 de verilen sistemde perdeler kabuk olarak modellenerek aynı şartlar altında Z-PRO ve SAP 2000 yazılımlarında analiz edilmiş, iç kuvvet ve deplasman değerleri Çizelge 3.25 ve 3.26 de verilmiştir.



Malzeme Bilgileri:

Beton: C30/37, $E_c=3.18 \times 10^7$ kN/m², $G_c=1.325 \times 10^7$ kN/m², $\mu_c=0.20$, $A_{kesme} = 5/6 A_{kesit}$, $\alpha_c=0$ 1/c°

Şekil 3.20 Düzlem perde+çerçeve örneği, a) Geometrik model, b) Perdenin kolon modeli, c) Perdenin kabuk modeli, d) Kalıp planı

Sistem Z-PRO ve SAP 2000 ile çözülürken şu kabuller yapılmıştır:

- Kolon, kiriş ve perde zati ağırlıkları ihmal edilmiştir.
- Kabuk sonlu eleman genişliği 50 cm seçilmiştir.
- Deprem hesabı yapılmamış, sistemin statik hesabı yapılmıştır.
- Kolon-Kiriş birleşim bölgesinin sonsuz rijit davrandığı kabulü yapılmıştır.
- $A_{kesme} = 5/6 A_{kesit}$ alınmış, rijitdiyafram kabulü yapılmamıştır.
- Sistem SAP 2000 ile analiz edilirken, kabuk eleman düğüm noktaları, büyük rijitliğe sahip çubuk elemanlarla birbirine bağlandığı kabulü yapılmış ve bu rijit kirişlerin eğilme rijitlikleri her katta sonsuz sayılabilecek büyüklüktedir.

Çizelge 3.25 Perde kabuk modelinde iç kuvvet değerleri

PERDE KABUK MODELİ - İÇ KUVVET DEĞERLERİ								
Z-PRO	ELEMAN NO	NOKTA NO	N1 kN	V2 kN	V3 kN	T1 kNm	M2 kNm	M3 kNm
	1	1	4.80	0.00	2.80	0.00	4.57	0.00
		2	4.80	0.00	2.80	0.00	-3.82	0.00
	3	2	-100.06	2.60	0.00	0.00	0.00	7.26
		4	-100.06	2.60	0.00	0.00	0.00	-8.01
	4	2	2.21	0.00	2.85	0.00	3.76	0.00
		5	2.21	0.00	2.85	0.00	-4.80	0.00
	6	5	-97.15	2.21	0.00	0.00	0.00	4.52
6		-97.15	2.21	0.00	0.00	0.00	-8.43	
SAP 2000	ELEMAN NO	NOKTA NO	N1 kN	V2 kN	V3 kN	T1 kNm	M2 kNm	M3 kNm
	1	1	5.03	0.00	2.79	0.00	4.44	0.00
		2	5.03	0.00	2.79	0.00	-3.94	0.00
	3	2	-100.05	2.86	0.00	0.00	0.00	7.43
		4	-100.05	2.86	0.00	0.00	0.00	-9.37
	4	2	2.17	0.00	2.84	0.00	3.85	0.00
		5	2.17	0.00	2.84	0.00	-4.67	0.00
	6	5	-97.16	2.17	0.00	0.00	0.00	4.39
6		-97.16	2.17	0.00	0.00	0.00	-8.34	
			FARK %					
FARK %	ELEMAN NO	NOKTA NO	N1 kN	V2 kN	V3 kN	T1 kNm	M2 kNm	M3 kNm
	1	1	4.57	-	-0.36	-	-2.93	-
		2	4.57	-	-0.36	-	3.05	-
	3	2	-0.01	9.09	-	-	-	2.29
		4	-0.01	9.09	-	-	-	14.51
	4	2	-1.84	-	-0.35	-	2.34	-
		5	-1.84	-	-0.35	-	-2.78	-
	6	5	0.01	-1.84	-	-	-	-2.96
6		0.01	-1.84	-	-	-	-1.08	

Z-PRO yazılımı kabuk iç kuvvetlerini rapor kısmında kuvvet ve moment olarak 3, 4 ve 6 nolu düğüm noktaları için (perde elemanın geometrik merkez eksen) hesaplayıp kullanıcısına sunmaktadır. Gerilmeler rapor kısmında sunulmamaktadır. Grafik ekranında, kabuk elemanların düğüm noktalarındaki deplasman ve dönmeler kullanıcıya sunulmuştur. Kabuk eleman iç kuvvet sonuçları Z-PRO ve SAP 2000 ile karşılaştırıldığında sonuçlar arasında bu örnek için en büyük %14.51 lik fark olduğu

görülmüştür. Perde kabuk modelinde, yazılımın analiz öncesi yapmış olduğu kabullerle ilgili olarak herhangi bir bilgi bulunmamaktadır. Bu yüzden Şekil 3.20 de verilen sistem için analiz sonrası Z-PRO ya ait model SAP 2000 yazılımına aktarılıp kabuk elemanlar incelenmiştir. Yapılan incelemede kabuk elemanların, eğilme rijitlikleri her katta sonsuz sayılabilecek büyüklükte rijit kirişlerden oluştuğu görülmüştür.

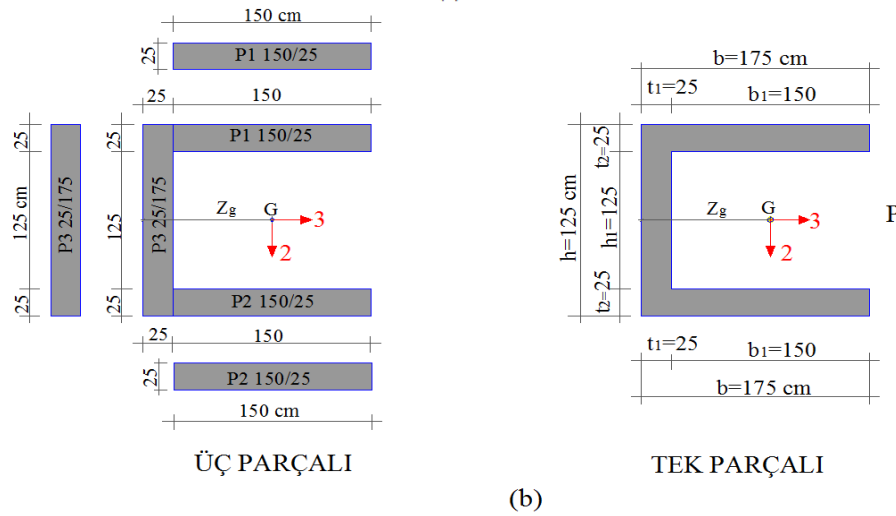
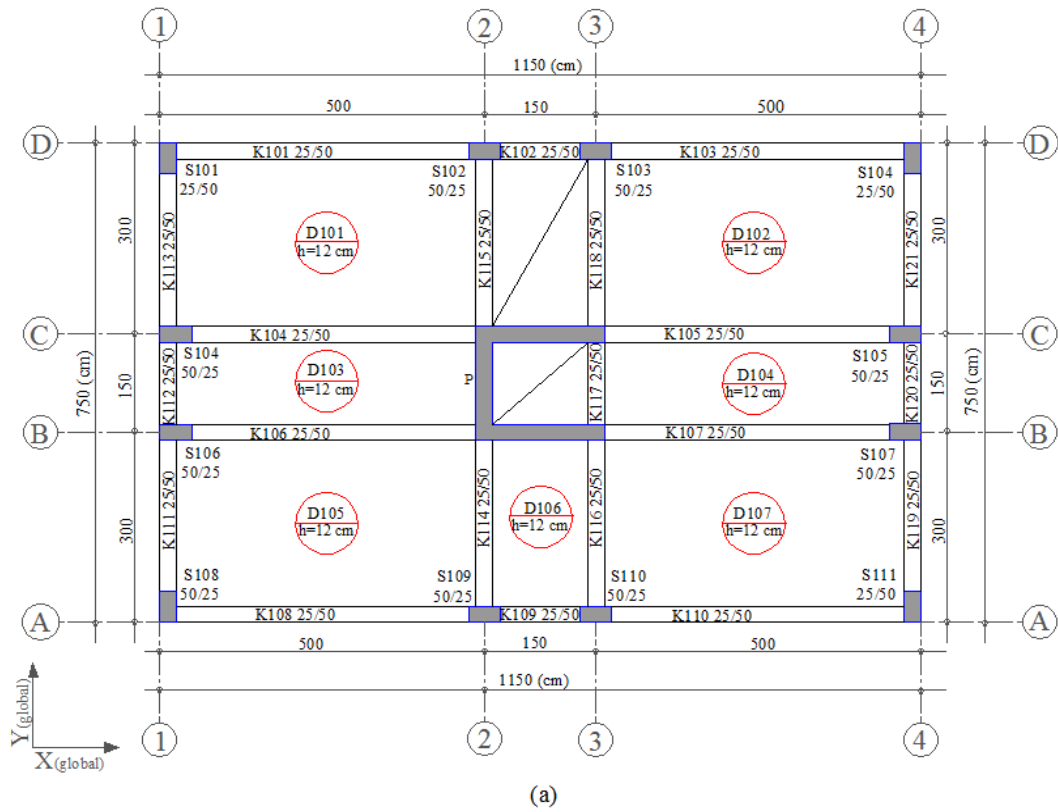
Çizelge 3.26 Perde kabuk modelinde deplasman ve dönme değerleri

PERDE KABUK MODELİ - DÜĞÜM NOKTASI DEPLASMAN VE DÖNMELERİ							
Z-PRO	Nokta No	Deplasman (mm)			Dönme (Radyan)		
		U _x	U _y	U _z	R _x	R _y	R _z
	1	0.000	0.000	0.000	0.00000	0.00000	0.00000
	2	0.673	0.000	0.004	0.00000	0.00015	0.00000
	3	0.000	0.000	0.000	0.00000	0.00000	0.00000
	4	0.485	0.000	-0.001	0.00000	0.00019	0.00000
	5	1.415	0.000	0.006	0.00000	0.00004	0.00000
	6	1.234	0.000	-0.001	0.00000	0.00024	0.00000
	7	0.244	0.000	0.140	0.00000	0.00008	0.00000
	8	0.228	0.000	-0.143	0.00000	0.00000	0.00000
	9	0.615	0.000	0.184	0.00000	0.00012	0.00000
	10	0.579	0.000	-0.170	0.00000	0.00000	0.00000
PERDE KABUK MODELİ - DÜĞÜM NOKTASI DEPLASMAN VE DÖNMELERİ							
SAP 2000	Nokta No	Deplasman (mm)			Dönme (Radyan)		
		U _x	U _y	U _z	R _x	R _y	R _z
	1	0.000	0.000	0.000	0.00000	0.00000	0.00000
	2	0.673	0.000	0.004	0.00000	0.00015	0.00000
	3	0.000	0.000	0.000	0.00000	0.00000	0.00000
	4	0.485	0.000	-0.001	0.00000	0.00019	0.00000
	5	1.415	0.000	0.006	0.00000	0.00004	0.00000
	6	1.234	0.000	-0.001	0.00000	0.00024	0.00000
	7	0.217	0.000	0.163	0.00000	0.00011	0.00000
	8	0.208	0.000	-0.166	0.00000	0.00011	0.00000
	9	0.556	0.000	0.172	0.00000	0.00012	0.00000
	10	0.550	0.000	-0.174	0.00000	0.00011	0.00000

Sonuç olarak Z-PRO ve SAP 2000 düzlem perde-çerçeve sistemlerde perde kabuk modeli için karşılaştırıldığında, rijit kirişler için yapılan kabullerden dolayı deplasman ve iç kuvvet değerlerinde kabul edilebilir düzeyde farklılıklar meydana gelmiştir. Kabuk sonlu eleman genişliği küçültüldüğünde farkların çok azda olsa azaldığı görülmüştür.

3.8.3 Poligonal perde kavramının irdelenmesi

Z-PRO da poligonal forma sahip kolonlar tek parça olarak modellenmekte, fakat poligonal forma sahip perdeler tek parça olarak modellenememektedir. Örneğin L, U, T, Z forma sahip poligonal perdeler iki veya daha fazla perdelerin düğüm noktalarının birleştirilmesiyle modellenebilir.



Şekil 3.21 Poligonal perde örneği; a) Kalıp planı, b) Poligonal perde açılımı

Şekil 3.21 de kalıp planı verilen sistemde görülen U şeklindeki poligonal perdenin yazılımda modellenenbilmesi için P1, P2 ve P3 perdelerinin ayrı ayrı tanıtılması gerekmektedir. Tek parça olarak poligonal perde tanımı ancak poligonal kolon modeli ile mümkün olabilir bu modelde yazılım yalnızca çubuk sonlu eleman analizi yapabilmekte, kabuk sonlu eleman analizi yapamamaktadır.

Z-PRO yazılımında, Şekil 3.21 de kalıp planı verilen sistem de görülen U forma sahip poligonal perde önce tek parça kolon modeli kullanılarak tanıtılmış ve daha sonra üç parçalı olarak modellenmiştir. Her iki modelleme durumunda da yazılım tarafından hesaplanan atalet momentleri $I_{22}= 35445792.21 \text{ cm}^4$ ve $I_{33}=53743489.58 \text{ cm}^4$ olduğu görülmüştür. Şekil 3.21 (b) deki poligonal perdenin elle, atalet momentleri ve kesit alanı hesabı aşağıda verilmiştir.

$$A = 2bt_2 + h_1t_1 = 2.175.25 + 125.25 = 11875 \text{ cm}^2$$

$$Z_g = \frac{h_1t_1^2 + 2.t_2.b^2}{2(h_1t_1 + 2t_2b)} = \frac{125.25^2 + 2.25.175^2}{2(125.25 + 2.25.175)} = 67.76 \text{ cm}$$

$$I_{22} = \frac{1}{12} h_1t_1^3 + t_1h_1\left(Z_g - \frac{t_1}{2}\right)^2 + 2\left[\frac{t_2b^3}{12} + bt_2\left(\frac{b}{2} - Z_g\right)^2\right] = 35445792.33 \text{ cm}^4$$

$$I_{33} = \frac{1}{12} [bh^3 - b_1h_1^3] = 53743489.58 \text{ cm}^4$$

Çizelge 3.27 Tek ve üç parçalı olarak oluşturulan Şekil 3.21 deki örneğe ait perde kesit alanı ve atalet monentleri

	Kesit Alanı	Atalet Momenti	
	A (cm ²)	I ₂₂ (cm ⁴)	I ₃₃ (cm ⁴)
Z-PRO	11875	35445792.22	53743489.58
EL Hesabı	11875	35445792.33	53743489.58

Yazılım, üç parçalı perde model sisteminde perdelerin kesişim bölgelerini iki kez hesaplara katmamış ve sistemde herhangi bir rijitlik artışına neden olmamıştır.

3.9 Kütle Merkezi (KM) ve Rijitlik Merkezi (RM) Kavramlarının İrdelenmesi

Genel olarak yapıların bir ağırlık (kütle) merkezi birde rijitlik merkezi bulunmaktadır. Ağırlık merkezi genelde yapının geometrik merkezinde yer alır. Rijitlik merkezi ise düşey taşıyıcı elemanların boyutlarına ve yapıda bulunma konumlarına göre değişmektedir. Rijitlik merkezinin koordinatları, düşey taşıyıcı elemanlarda oluşan kesme kuvvetlerinin bileşkesinin etkidiği noktadır. Yapılarda ağırlık merkezi ile rijitlik merkezinin genelde çakışık olması istenir ancak mimari kısıtlamalar ve yapı oturum alanının düzgün geometriye sahip olmaması nedeniyle taşıyıcı sistem simetrik olarak modellenememekte bu da kütle merkezi ile rijitlik merkezinin çakışmamasına neden olmaktadır.

Şekil 3.22 deki sistemlere ait rijitlik merkezi ile ağırlık merkezi önce elle daha sonra Z-PRO ve ETABS yazılımları ile hesaplanarak sonuçlar karşılaştırılacaktır. Referans noktası olarak sol alt köşedeki A-1 akslarının kesişimi alınmıştır. Ağırlık merkezi el hesabında sistemlerin geometrik merkezi, rijitlik merkezi el hesaplamalarında ise aşağıdaki denklemler kullanılmıştır. Sonuçlar Çizelge 3.28 ve 3.29 da sunulmuştur.

$$RM_X = \frac{\sum_{i=1}^n I_{Yi} e_{xi}}{\sum_{i=1}^n I_{Yi}} \quad ve \quad RM_Y = \frac{\sum_{i=1}^n I_{Xi} e_{yi}}{\sum_{i=1}^n I_{Xi}}$$

RM_X, RM_Y : Rijitlik merkezi koordinatları

I_{Yi} : i inci düşey elemanın Y-Y eksenine göre atalet momenti

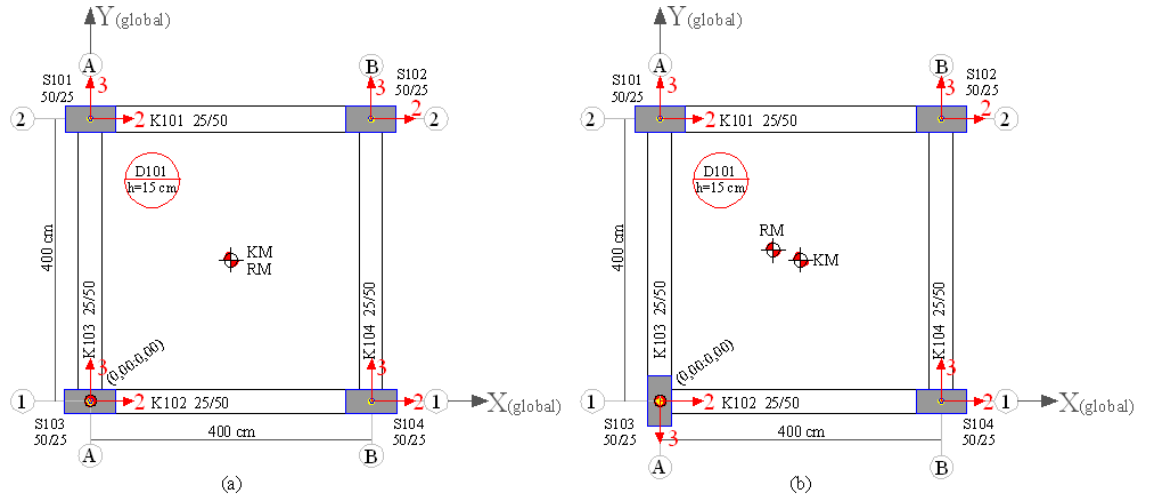
I_{Xi} : i inci düşey elemanın X-X eksenine göre atalet momenti

e_{Xi} : i inci düşey elemanın ağırlık merkezinin Y eksenine olan mesafesi

e_{Yi} : i inci düşey elemanın ağırlık merkezinin X eksenine olan mesafesi

Sistem Z-PRO ile çözülürken şu kabuller yapılmıştır:

- Kolon, kiriş zati ağırlıkları ihmal edilmemiştir.
- Kolon-Kiriş birleşim bölgelerinde kirişin kolon içinde kalan parçası sonsuz rijit olduğu kabulü yapılmamıştır.
- Kesme alanı, kesit alanının 5/6 sı alınmıştır.
- Rijit diyafram kabulü yapılmıştır.



Malzeme Bilgileri:

Beton: C30/37, $E_c=3.18 \times 10^7$ kN/m², $G_c=1.325 \times 10^7$ kN/m², $\mu_c=0.20$, $A_{kesme}=5/6 A_{kesit}$, $\alpha_c=0$ 1/c°

Şekil 3.22 a) RM ile KM çakışık model, b) RM ile KM çakışık olmayan model

Çizelge 3.28 RM ile KM çakışık model için hesaplanan koordinatlar

KÜTLE VE RİJİTLİK MERKEZİ KOORDİNATLARI (m)				
	RM _x	RM _y	KM _x	KM _y
EL HESABI	2.00	2.00	2.00	2.00
Z-PRO	2.00	2.00	2.00	2.00
ETABS	2.00	2.00	2.00	2.00

Şekil 3.22 (a) da verilen model için kütle merkezi ile rijitlik merkezi, taşıyıcı elemanların sistemde simetrik yerleştirilmesinden dolayı çakışık olması gerekmektedir. Z-PRO yazılımı kütle merkezi ile rijitlik merkezini olması gerektiği gibi sistemin geometrik merkezinde olacak şekilde hesaplamıştır.

Çizelge 3.29 RM ile KM çakışık olmayan model için hesaplanan koordinatlar

KÜTLE VE RİJİTLİK MERKEZİ KOORDİNATLARI (m)				
	RM _X	RM _Y	KM _X	KM _Y
EL HESABI	2.46	1.14	2.00	2.00
Z-PRO	1.56	2.18	2.00	2.00
ETABS	1.35	2.44	2.00	2.00

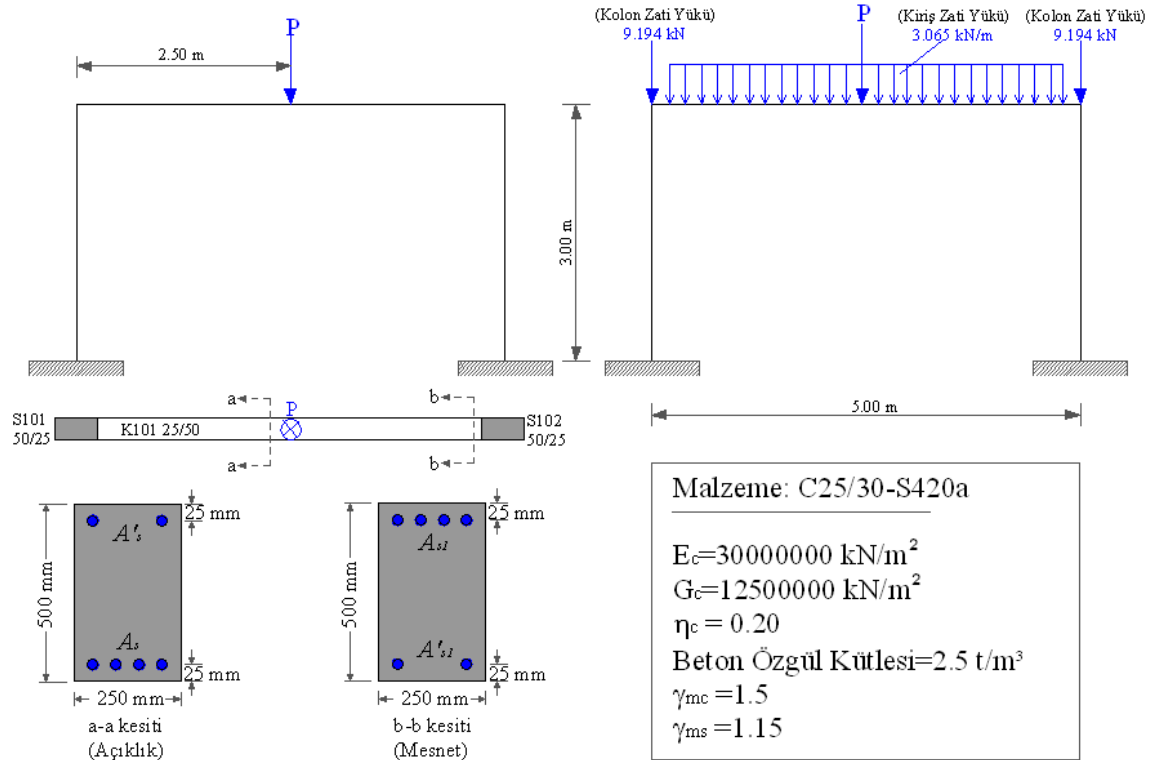
Şekil 3.22 (b) de verilen model için kütle merkezi ile rijitlik merkezi, taşıyıcı elemanların sistemde simetrik yerleştirilmemesinden dolayı çakışık olmaması gerekmektedir. Z-PRO bu duruma uygun olarak kütle merkezi ile rijitlik merkezinin yerini belirlemiştir ancak Çizelge 3.29 dan da görüldüğü gibi rijitlik merkezi için, sonuçların üçüde birbirinden farklı çıkmıştır. Özellikle el hesabı ile bulunan çözüm diğer iki çözümden tamamen farklıdır. Bunun nedeni, el hesabında kolon rijitliğinin sadece kolon atalet momentine bağlı olmasıdır. Oysaki kirişlerde, kolon rijitlikleride etkilidir.

Z-PRO ile ETABS a ait sonuçlar arasındaki fark kabul edilebilir düzeydedir. Sonuç olarak Z-PRO kullanıcıya doğru olabilecek bir kütle ve rijitlik merkezi yeri hesaplayabilmektedir.

3.10 Z-PRO Yazılımı Kiriş Betonarme Hesabının İrdelenmesi

3.10.1 Kiriş boyuna donatı hesabının irdelenmesi

Z-PRO yazılımının kiriş boyuna donatı hesabının dikdörtgen kesitlerde irdelenmesi amacıyla Şekil 3.23 deki sistem oluşturulmuştur. $P = 0, 100, 275, 300$ kN yükleri için kirişin açıklık ve mesnet donatı alanları Z-PRO yazılımı, Uğur ERSOY Betonarme Hesap Tabloları (Ersoy ve Özcebe, 2004) ve M. Ruhi AYDIN Betonarme Hesap Tabloları (Aydın, 2002) kullanılarak hesaplanacaktır. Burada amaç: Z-PRO yazılımı ve tablolar ile hesaplanan donatı alanları örtüşüyor mu? Yazılım tarafından seçilen donatı alanları minimum ve maksimum sınırlar içinde mi? Bu sınırlar aşıldığında kullanıcı uyarılıyor mu? Yük artırılınca yazılım çift donatılı kesite geçiyor mu? seçilen donatı kesite sığıyor mu? gibi soruların cevaplarını bulabilmektir.



Şekil 3.23 Dikdörtgen kesitli kirişin betonarme hesabı irdelenmesi için hazırlanan sistem

Çizelge 3.30 daki basınç donatısı alanları süneklik koşuluna göre hesaplanmış ve donatının

$$\rho_{\min} \geq 0.8 \frac{f_{ctd}}{f_{yd}} = 0.8 \frac{\left(\frac{f_{ctk}}{\gamma_{mc}} \right)}{\left(\frac{f_{yk}}{\gamma_{ms}} \right)} = 0.8 \frac{\left(\frac{1.8}{1.5} \right)}{\left(\frac{420}{1.15} \right)} = 0.002629 \quad \Rightarrow \quad (\text{açıklık-alt})$$

$$\rho' = \frac{\rho_1}{4} \quad \Rightarrow \quad (\text{açıklık-üst})$$

$$\rho_1 \geq 0.8 \frac{f_{ctd}}{f_{yd}} = 0.002629 \quad \Rightarrow \quad (\text{mesnet-üst})$$

$$\rho'_1 \geq \frac{\rho_1}{2} \quad \Rightarrow \quad (\text{mesnet-alt})$$

$$\rho' = \frac{\rho_1}{4} = \frac{0.002629}{4} = 0.000657$$

$$\rho \leq 0.02 \quad \text{ve} \quad \rho - \rho' \leq 0.85 \rho_b = 0.017425$$

$$\rho_1 \leq 0.02 \quad \text{ve} \quad \rho_1 - \rho'_1 \leq 0.85 \rho_b = 0.017425$$

koşullarını (TS500–2000 ve DY- 2007) sağlayıp sağlamadığı kontrol edilmiştir.

Şekil 3.23 deki sistem Z-PRO ile çözülürken şu kabuller yapılmıştır:

- Kolon, kiriş ve döşeme zati ağırlıkları ihmal edilmemiş P kuvveti sabit yük olarak etki ettirilmiştir.
- Kolon-Kiriş birleşim bölgelerinde kirişin kolon içinde kalan parçası sonsuz rijit olduğu kabulü yapılmıştır.
- Kesme alanı, kesit alanının 5/6 sı alınmıştır.
- Tasarım momenti $M_d = 1.4 G$ olarak hesaplanmıştır.
- Rijit diyafram kabulü yapılmamıştır.

Çizelge 3.30 Dikdörtgen kesitli kiriş için Z-PRO – Uğur Ersoy tabloları – Ruhi Aydın tabloları ile hesaplanan ve seçilen donatı alanları

P = 0 kN	Hesaplanan Donatı Alanı (cm²)				Seçilen Donatı Alanı (cm²)			
Açıklık Md = 6.87 kNm	Açıklık		Mesnet		Açıklık		Mesnet	
Mesnet Md = 5.94 kNm	A_s	A_s'	A_{s1}	A_{s1}'	A_s	A_s'	A_{s1}	A_{s1}'
Z-PRO YAZILIMI ¹	3.56	2.26	3.56	1.9	4.02	2.26	3.80	4.02
U.ERSOY TABLO ^{2,3}	3.12	-	3.12	-	4.02	2.26	3.80	4.02
R. AYDIN TABLO ⁴	3.12	-	3.12	-	4.02	2.26	3.80	4.02

P = 100 kN	Hesaplanan Donatı Alanı (cm²)				Seçilen Donatı Alanı (cm²)			
Açıklık Md = 118.41 kNm	Açıklık		Mesnet		Açıklık		Mesnet	
Mesnet Md = 50.72 kNm	A_s	A_s'	A_{s1}	A_{s1}'	A_s	A_s'	A_{s1}	A_{s1}'
Z-PRO YAZILIMI ¹	7.62	2.26	3.56	1.90	7.63	2.26	3.80	7.63
U.ERSOY TABLO ^{2,3}	7.42	-	3.12	-	7.63	2.26	3.80	7.63
R. AYDIN TABLO ⁴	7.38	-	3.12	-	7.63	2.26	3.80	7.63

P = 275 kN	Hesaplanan Donatı Alanı (cm²)				Seçilen Donatı Alanı (cm²)			
Açıklık Md = 313.61 kNm	Açıklık		Mesnet		Açıklık		Mesnet	
Mesnet Md = 129.70 kNm	A_s	A_s'	A_{s1}	A_{s1}'	A_s	A_s'	A_{s1}	A_{s1}'
Z-PRO YAZILIMI ¹	22.89	3.45	8.43	4.27	24.63	4.02	8.55	24.63
U.ERSOY TABLO ^{2,3}	-	-	8.19	-	-	-	-	-
R. AYDIN TABLO ⁴	21.79	3.30	8.12	-	24.63	4.02	8.55	24.63

P = 300 kN	Hesaplanan Donatı Alanı (cm²)				Seçilen Donatı Alanı (cm²)			
Açıklık Md = 341.49 kNm	Açıklık		Mesnet		Açıklık		Mesnet	
Mesnet Md = 140.98 kNm	A_s	A_s'	A_{s1}	A_{s1}'	A_s	A_s'	A_{s1}	A_{s1}'
Z-PRO YAZILIMI ¹	24.62	5.18	9.26	4.71	24.63	6.03	9.42	24.63
U.ERSOY TABLO ^{2,3}	-	-	9.02	-	-	-	-	-
R. AYDIN TABLO ⁴	23.00	5.03	8.90	-	24.63	6.03	9.42	24.63

¹ Eşdeğer gerilme bloğu modeli bilinmemektedir (Bkz. Bölüm 3.1 Malzeme Varsayımlarının İrdelenmesi)

² Eşdeğer dikdörtgen gerilme bloğu modeli

³ Çift donatılı kesit hesabında U.ERSOY tabloları kullanılmamıştır.

⁴ Eşdeğer parabolik-dikdörtgen gerilme bloğu modeli

Çizelge 3.30 daki tablo incelendiğinde hesaplanan donatı alanları sonuçların yaklaşık olarak örtüştüğü görülmektedir. Bazı sonuçlarda küçük farklar olsa da Z-PRO nun güvenli tarafta kaldığı görülür. Seçilen donatı alanları da hesaplanan donatı alanlarının üzerindedir. Dikkat çeken bir diğer hususda $P = 0$ ve $P = 100$ kN luk yük için kirişin açıklık ve mesnet hesap donatıları ile $P = 275$ ve $P = 300$ kN luk yük için kirişin mesnet hesap donatıları tek donatılı dikdörtgen kesit olarak hesap ediliyor olmasına karşın yazılım kiriş basınç bölgeleri için de minimum seviyede sayılabilecek düzeyde donatı alanları hesaplamıştır. Bu donatılar için bir açıklama bulunmamaktadır ancak bu hesaplanan donatıların yazılım tarafından otomatik olarak eklenen montaj donatıları olabileceği düşünülmektedir.

$P = 0$ ve $P = 100$ kN için açıklık ve mesnetlerde basit donatılı dikdörtgen kesit hesabı yapılmış, $P = 275$ ve $P = 300$ kN için açıklıkta çift donatılı kesite geçilmiş mesnetlerde tek donatılı kesit hesabı yapılmıştır. Yük daha da arttırıldığında mesnetlerde de çift donatılı kesite geçildiği görülmüştür.

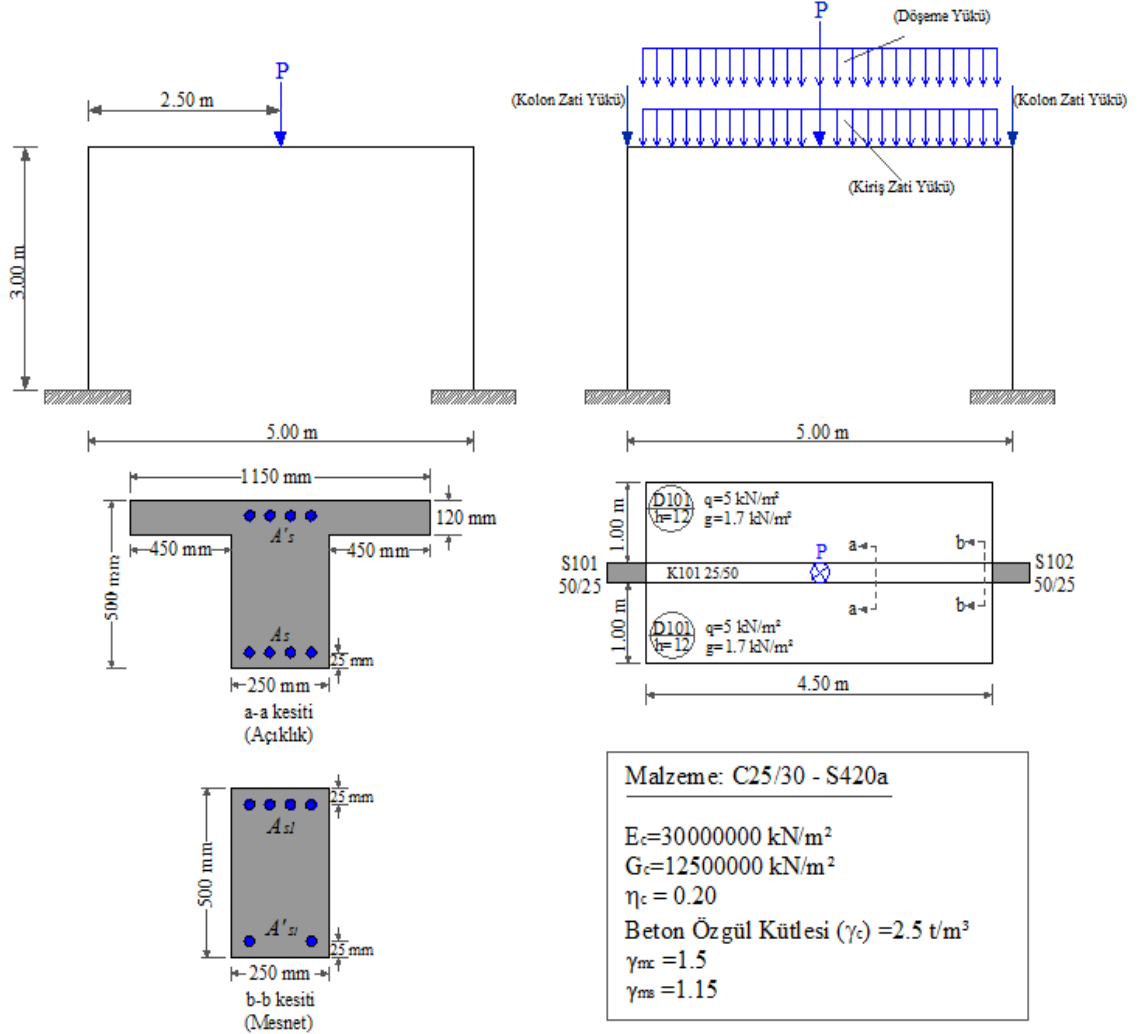
Şekil 3.23 de oluşturulan sisteme $P = 550$ kN luk yük uygulandığında yazılım tarafından açıklıkta seçilen donatı alanı $\rho = 0.02$ sınırını aşmaktadır. Z-PRO yazılımı kullanıcıyı uyarmıştır. Ancak kullanıcı bu uyarıyı dikkate almadan ilerleyebilmekte, yazılım tüm çizim ve raporları vererek yönetmeliğe aykırı proje üretmektedir.

Çizelge 3.30 daki seçilen donatı alanları TS 500-2000 ve DY-2007 de öngörülen ve yukarıda verilen koşullar içinde kontrol edilmiş yukarıdaki tespitler dışında bir aksaklıkla karşılaşılmamıştır. Çizelge 3.30 incelendiğinde Z-PRO nun seçtiği donatı alanlarının kesite sığdığı belirlenmiştir. Ancak Şekil 3.23 de oluşturulan sisteme $P = 550$ kN luk yük uygulandığında açıklık ve mesnet çekme bölgesi için seçtiği 43.1 cm^2 lik ($7\Phi 28$) donatı alanlarının kesite sığmadığı belirlenmiştir. Z-PRO donatı kesite sığmadığı halde bütün hesaplama ve çizimleri üretmiştir. Z-PRO rapor kısmında;

“Projede kesiti yetersiz ya da kurallara uygun olmayan objeler var ve kiriş maksimum donatı oranı aşıldı”

yazılı uyarısında bulunmuştur.

Z-PRO yazılımının kiriş boyuna donatı hesabının tablalı kesitlerde irdelenmesi amacıyla Şekil 3.24 deki sistem hazırlanmıştır.



Şekil 3.24 Tablalı kiriş betonarme hesabının irdelenmesi için hazırlanan sistem

Şekil 3.24 deki sistem Z-PRO ile çözülürken şu kabuller yapılmıştır:

- Kolon, kiriş ve döşeme zati ağırlıkları ihmal edilmemiş P kuvveti sabit yük olarak etki ettirilmiştir.
- Döşemelerde kullanıcı tanımlı 1.7 kN/m² lik sabit 5 kN/m² lik hareketli yük tanımlıdır.

- Kolon-Kiriş birleşim bölgelerinde kirişin kolon içinde kalan parçası sonsuz rijit olduğu kabulü yapılmıştır.
- Kesme alanı, kesit alanının 5/6 sı alınmıştır.
- Tasarım momenti $M_d = 1.4 G + 1.6 Q$ olarak hesaplanmıştır.
- Tablolarla yapılan el hesabında etkili tabla genişliği TS 500/Şubat 2000 Bölüm 6.3.6'da verilen bağıntıya göre $b=115$ cm alınmıştır.
- Rijit diyafram kabulü yapılmamıştır.

$P = 0, 100, 225, 300$ kN yükleri için kirişin açıklık ve mesnet donatı alanları Z-PRO yazılımı, Uğur ERSOY Betonarme Hesap Tabloları (Ersoy ve Özcebe, 2004) ve M. Ruhi AYDIN Betonarme Hesap Tabloları (Aydın, 2002) kullanılarak hesaplanacaktır.

Burada amaç tablalı kesit için Z-PRO yazılımı ve tablolar ile hesaplanan donatı alanları birbiriyle örtüşüyor mu? Z-PRO yazılımı etkili tabla genişliğini doğru hesaplıyor mu? Yazılım tarafından seçilen donatı alanları minimum ve maksimum sınırlar içinde mi? Bu sınırlar aşıldığında kullanıcı uyarılıyor mu? Seçilen donatı kesite sığıyor mu? gibi soruların cevaplarını bulabilmektir.

$P = 0, 100, 225, 300$ kN için Z-PRO yazılımı ve tablolar ile hesaplanan ve seçilen donatı alanları Çizelge 3.31 de verilmiştir.

Çizelge 3.31 Tablalı kiriş için Z-PRO – Uğur Ersoy tabloları – Ruhi Aydın tabloları ile hesaplanan ve seçilen donatı alanları”

P = 0 kN	Hesaplanan Donatı Alanı (cm²)				Seçilen Donatı Alanı (cm²)			
Açıklık Md = 40.24 kNm	Açıklık		Mesnet		Açıklık		Mesnet	
Mesnet Md = 23.38 kNm	A_s	A_s'	A_{s1}	A_{s1}'	A_s	A_s'	A_{s1}	A_{s1}'
Z-PRO YAZILIMI ¹	3.56	2.26	3.56	1.9	4.02	2.26	3.80	4.02
U.ERSOY TABLO ²	3.12	-	3.12	-	4.02	2.26	3.80	4.02
R. AYDIN TABLO ³	3.12	-	3.12	-	4.02	2.26	3.80	4.02

P = 100 kN	Hesaplanan Donatı Alanı (cm²)				Seçilen Donatı Alanı (cm²)			
Açıklık Md = 151.56 kNm	Açıklık		Mesnet		Açıklık		Mesnet	
Mesnet Md = 68.98 kNm	A_s	A_s'	A_{s1}	A_{s1}'	A_s	A_s'	A_{s1}	A_{s1}'
Z-PRO YAZILIMI ¹	10.05	2.26	4.26	2.14	10.62	2.26	4.27	10.62
U.ERSOY TABLO ²	9.11	-	4.16	-	10.62	2.26	4.27	10.62
R. AYDIN TABLO ³	9.97	-	4.19	-	10.62	2.26	4.27	10.62

P = 225 kN	Hesaplanan Donatı Alanı (cm²)				Seçilen Donatı Alanı (cm²)			
Açıklık Md = 290.71 kNm	Açıklık		Mesnet		Açıklık		Mesnet	
Mesnet Md = 125.97 kNm	A_s	A_s'	A_{s1}	A_{s1}'	A_s	A_s'	A_{s1}	A_{s1}'
Z-PRO YAZILIMI ¹	21.47	3.21	8.16	4.35	22.62	3.39	8.70	22.62
U.ERSOY TABLO ²	17.76	-	7.92	-	21.24	3.39	8.70	21.24
R. AYDIN TABLO ³	18.70	-	7.87	-	21.24	3.39	8.70	21.24

P = 300 kN	Hesaplanan Donatı Alanı (cm²)				Seçilen Donatı Alanı (cm²)			
Açıklık Md = 374.20 kNm	Açıklık		Mesnet		Açıklık		Mesnet	
Mesnet Md = 160.17 kNm	A_s	A_s'	A_{s1}	A_{s1}'	A_s	A_s'	A_{s1}	A_{s1}'
Z-PRO YAZILIMI ¹	26.65	7.21	10.71	5.37	27.14	7.60	10.74	27.14
U.ERSOY TABLO ²	KY ⁴	-	10.39	-	-	-	-	-
R. AYDIN TABLO ³	KY ⁴	-	10.25	-	-	-	-	-

¹ Eşdeğer gerilme bloğu modeli bilinmemektedir (Bkz. Bölüm 3.1). Z-PRO yazılımı etkili tabla genişliğini kiriş gövde genişliği ile eşit değerde hesaplayıp dikdörtgen kesitli kiriş hesabı yapmıştır.

² Eşdeğer dikdörtgen gerilme bloğu modeli kullanılmıştır. Etkili tabla genişliği TS 500/Şubat 2000 Bölüm 6.3.6'da verilen bağıntı ile hesaplanıp (b=115 cm) tablalı kesit hesabı yapılmıştır.

³ Eşdeğer parabolik-dikdörtgen gerilme bloğu modeli kullanılmıştır. Etkili tabla genişliği TS 500/Şubat 2000 Bölüm 6.3.6'da verilen bağıntı ile hesaplanıp (b=115 cm) tablalı kesit hesabı yapılmıştır.

⁴ KY: Kesit Yetersiz.

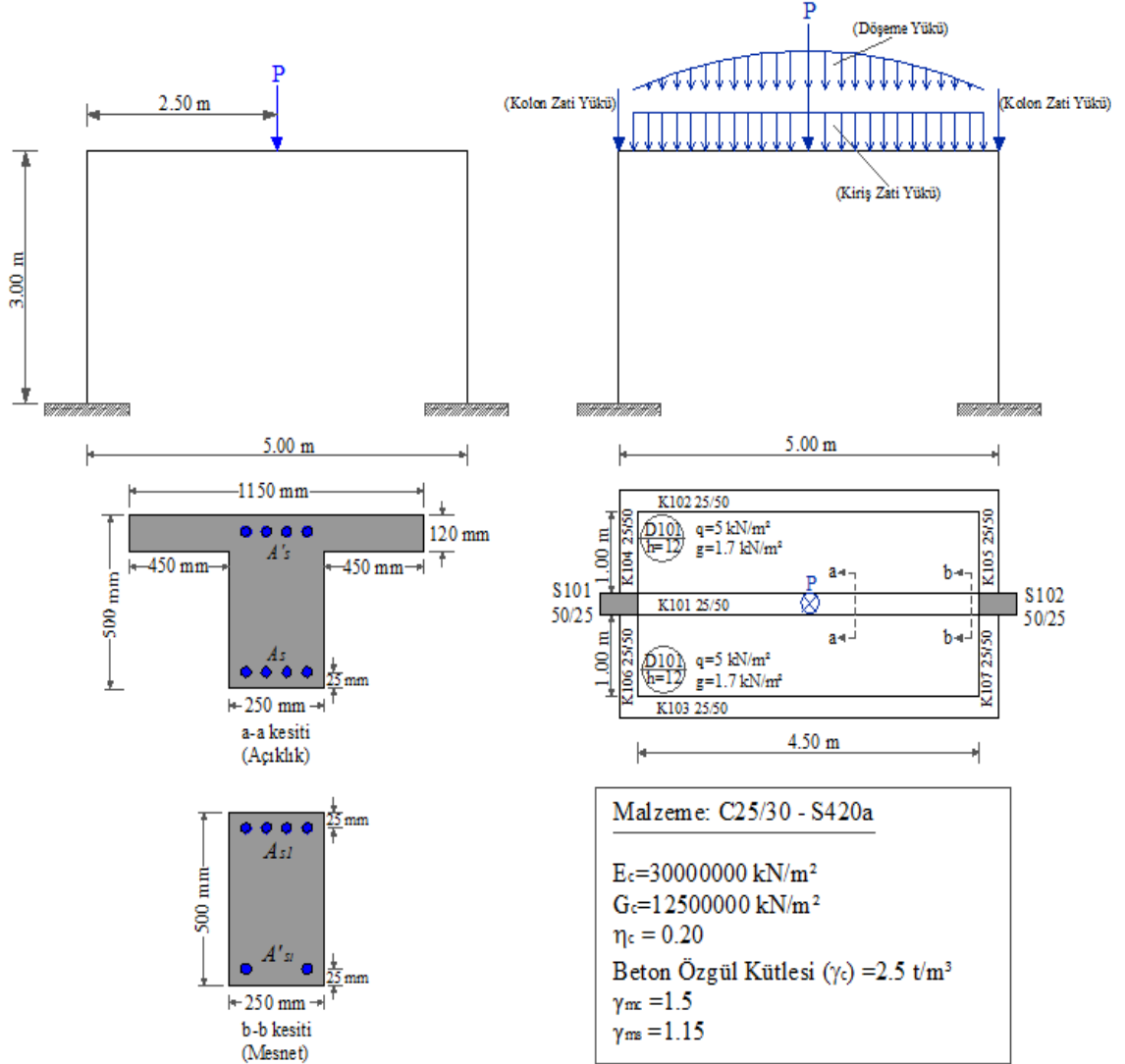
Z-PRO yazılımı çalışan tabla genişliğini kiriş gövde genişliği ile aynı değerde almış ve 25 cm olarak hesaplamıştır. Yazılım Şekil 3.24 deki sistem için tablalı kesit hesabı yapmamış dikdörtgen kesit hesabı yapmıştır. TS500-2000'e göre bu kesit için etkili tabla genişliği (b) değeri $b \leq b_w + 12t$ ve $b \leq b_w + 0.2\ell_p$ ($\ell_p = \alpha \ell$) koşulunu sağlamak zorundadır. Şekil 3.24'deki sistemde etkili tabla genişliği en fazla 115 cm olabilir ($\alpha = 1$, $\ell = 4.5$ m alınmıştır). Sonuç olarak Z-PRO betonarme hesapta tablayı dikkate almamaktadır. Yazılımda ℓ_p (kirişin iki moment sıfır noktası arasındaki uzunluk) değeri kullanıcıya sunulmaktadır.

Çizelge 3.31 incelendiğinde $P = 0, 100, 225$ kN değerleri için Z-PRO yazılımı diğer kaynaklarla karşılaştırıldığında seçilen donatı alanlarının yaklaşık olarak aynı olduğu görülmektedir. Z-PRO yazılımı $P = 300$ kN için kiriş açıklığında altta (kiriş çekme bölgesi) donatı alanını 26.65 cm^2 olarak hesaplamıştır. Bu değer $\rho_{\max} = 0.02$ sınırını aşmaktadır ($A_{s,\max} = \rho_{\max} \cdot b_w \cdot d = 23.75 \text{ cm}^2$). Z-PRO bu konuda kullanıcıyı uyarmıştır. Ancak kullanıcı bu uyarıyı dikkate almadan ilerleyebilmektedir. Yazılım tüm çizim ve raporları kullanıcıya sunarak yönetmeliğe aykırı projelerin üretilmesine neden olmaktadır.

Yazılımın Şekil 3.24 deki kirişsiz konsol döşemeyi taşıyan kiriş için tablalı kesit hesabı yapmaması acaba dört tarafı kirişlerle çevrili döşemeli sistemler de çalışan tablayı dikkate alıp almadığı sorusunu akla getirmiştir. Bunun için Şekil 3.25 deki sistem hazırlanmıştır. $P = 0, 100, 225, 325$ kN yükleri için kirişin açıklık ve mesnet donatı alanları Z-PRO yazılımı, Uğur ERSOY Betonarme Hesap Tabloları (Ersoy ve Özcebe, 2004) ve M. Ruhi AYDIN Betonarme Hesap Tabloları (Aydın, 2002) kullanılarak hesaplanacaktır. Sistem Z-PRO ile çözülürken şu kabuller yapılmıştır:

- Kolon, kiriş ve döşeme zati ağırlıkları ihmal edilmemiştir.
- Kolon-Kiriş birleşim bölgelerinde kirişin kolon içinde kalan parçası sonsuz rijit olduğu kabulü yapılmıştır.
- Kesme alanı, kesit alanının 5/6 sı alınmıştır.

- Tasarım momenti $M_d = 1.4 G + 1.6 Q$ olarak hesaplanmıştır.
- Tablolarla yapılan el hesabında etkili tabla genişliği TS 500/Şubat 2000 Bölüm 6.3.6'da verilen bağıntıya göre $b=115$ cm alınmıştır.
- Rijit diyafram kabulü yapılmamıştır.



Şekil 3.25 Tablalı kiriş betonarme hesabının yapıp yapılmadığının irdelenmesi için hazırlanan sistem

$P = 0, 100, 225, 325$ kN ve K101 kirişi için Z-PRO yazılımı ve tablolar ile hesaplanan ve seçilen donatı alanları Çizelge 3.32 de verilmiştir.

Çizelge 3.32 Tablalı kesit K101 kirişi için Z-PRO – Uğur Ersoy tabloları Ruhi Aydın tabloları ile hesaplanan ve seçilen donatı alanları

P = 0 kN	Hesaplanan Donatı Alanı (cm²)				Seçilen Donatı Alanı (cm²)			
Açıklık Md = 27.71 kNm	Açıklık		Mesnet		Açıklık		Mesnet	
Mesnet Md = 11.43 kNm	A_s	A_s'	A_{s1}	A_{s1}'	A_s	A_s'	A_{s1}	A_{s1}'
Z-PRO YAZILIMI ¹	3.56	2.26	3.56	1.9	4.02	2.26	3.80	4.02
U.ERSOY TABLO ²	3.12	-	3.12	-	4.02	2.26	3.80	4.02
R. AYDIN TABLO ³	3.12	-	3.12	-	4.02	2.26	3.80	4.02

P = 100 kN	Hesaplanan Donatı Alanı (cm²)				Seçilen Donatı Alanı (cm²)			
Açıklık Md = 143.74 kNm	Açıklık		Mesnet		Açıklık		Mesnet	
Mesnet Md = 51.64 kNm	A_s	A_s'	A_{s1}	A_{s1}'	A_s	A_s'	A_{s1}	A_{s1}'
Z-PRO YAZILIMI ¹	8.63	2.26	3.56	1.9	9.05	2.26	3.80	9.05
U.ERSOY TABLO ²	8.57	-	3.08	-	9.05	2.26	3.80	9.05
R. AYDIN TABLO ³	8.54	-	3.11	-	9.05	2.26	3.80	9.05

P = 225 kN	Hesaplanan Donatı Alanı (cm²)				Seçilen Donatı Alanı (cm²)			
Açıklık Md = 288.77 kNm	Açıklık		Mesnet		Açıklık		Mesnet	
Mesnet Md = 102.31 kNm	A_s	A_s'	A_{s1}	A_{s1}'	A_s	A_s'	A_{s1}	A_{s1}'
Z-PRO YAZILIMI ¹	17.75	2.26	6.49	3.39	18.47	2.26	6.79	18.47
U.ERSOY TABLO ²	17.24	-	6.32	-	18.47	2.26	6.79	18.47
R. AYDIN TABLO ³	17.59	-	6.31	-	18.47	2.26	6.79	18.47

P = 325 kN	Hesaplanan Donatı Alanı (cm²)				Seçilen Donatı Alanı (cm²)			
Açıklık Md = 404.80 kNm	Açıklık		Mesnet		Açıklık		Mesnet	
Mesnet Md = 142.85 kNm	A_s	A_s'	A_{s1}	A_{s1}'	A_s	A_s'	A_{s1}	A_{s1}'
Z-PRO YAZILIMI ¹	25.38	2.35	9.40	4.93	26.55	3.08	10.68	26.55
U.ERSOY TABLO ²	KY ⁴	-	8.39	-	-	-	-	-
R. AYDIN TABLO ³	KY ⁴	-	8.42	-	-	-	-	-

¹Eşdeğer gerilme bloğu modeli bilinmemektedir (Bkz. Bölüm 3.1 Malzeme Varsayımlarının İrdelenmesi). Z-PRO tabla genişliğini 115 cm olarak dikkate almıştır.

² Eşdeğer dikdörtgen gerilme bloğu modeli kullanılmıştır. Etkili tabla genişliği TS 500/Şubat 2000 Bölüm 6.3.6'da verilen bağıntı ile hesaplanıp (b=115 cm) tablalı kesit hesabı yapılmıştır.

³ Eşdeğer parabolik-dikdörtgen gerilme bloğu modeli kullanılmıştır. Etkili tabla genişliği TS 500/Şubat 2000 Bölüm 6.3.6'da verilen bağıntı ile hesaplanıp (b=115 cm) tablalı kesit hesabı yapılmıştır.

⁴ KY: Kesit Yetersiz.

Z-PRO yazılımı çalışan tabla genişliğini betonarme hesap sonuçları kısmında, TS500-2000'e göre bu kesit için olabilecek maksimum değer olan 115 cm olarak hesaplamıştır. Çizelge 3.32 incelendiğinde $P = 0, 100, 225$ kN değerleri için Z-PRO yazılımı diğer kaynaklarla karşılaştırıldığında hesaplanan donatı alanlarının yaklaşık olarak aynı değerler de olduğu görülmektedir.

Z-PRO yazılımı $P = 325$ kN için kiriş açıklığında altta (kiriş çekme bölgesi) donatı alanını 25.38 cm^2 olarak hesaplamıştır. Bu hesaplanan değer $\rho_{\max} = 0.02$ sınırını aşmaktadır ($A_{s,\max} = \rho_{\max} \cdot b_w \cdot d = 23.75 \text{ cm}^2$). Z-PRO bu konuda kullanıcıyı uyarmıştır. Ancak kullanıcı bu uyarıyı dikkate almadan ilerleyebilmektedir. Yazılım tüm çizim ve raporları kullanıcıya sunarak yönetmeliğe aykırı projelerin üretilmesine neden olmaktadır.

3.10.2 Kiriş enine donatı hesabının irdelenmesi

Deprem anında yapıyı oluşturan taşıyıcı elemanlarda büyük oranda kesme kuvvetleri meydana gelebilmektedir. Deprem etkileri altındaki taşıyıcı elemanlar boyutlandırılırken deprem kuvvetlerinden elde edilen kesme kuvvetleri altında boyutlandırmak yerine, eğilme kapasitelerinden elde edilen kesme kuvvetleri altında boyutlandırılmakla depremin karmaşık ve beklenmedik etkileri azaltılmış ve daha güvenilir bir tasarım yapılmış olur.

DY- 2007 Madde 3.4.5.1 de:

“Kirişlerde enine donatı hesabına esas alınacak kesme kuvveti, V_e , depremin soldan sağa veya sağdan sola etkimesi durumları için ayrı ayrı ve elverişsiz sonuç verecek şekilde, Denk.(3.9) ile bulunacaktır (Şekil 3.9).

$$V_e = V_{dy} \pm (M_{pi} + M_{pj}) / \ell_n \quad (3.9)$$

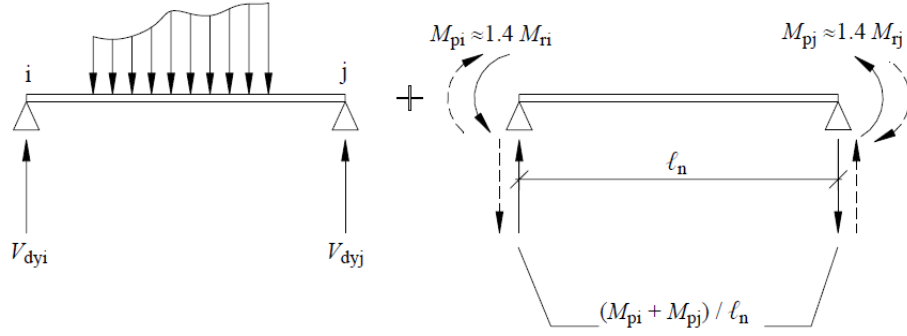
Kiriş uçlarındaki pekleşmeli taşıma gücü momentleri, daha kesin hesap yapılmadığı durumlarda, $M_{pi} \approx 1.4 M_{ri}$ ve $M_{pj} \approx 1.4 M_{rj}$ olarak alınabilir.”

DY- 2007 Madde 3.4.5.2 de:

“Denklem (3.9) ile hesaplanan kesme kuvveti V_e , denklem (3.10) ile verilen koşulları sağlayacaktır. Denklem (3.10)’daki ikinci koşulun sağlanamaması durumunda, kesit boyutları gereği kadar büyütülerek deprem hesabı tekrarlanacaktır.”

$$V_e \leq V_r$$

$$V_e \leq 0.22 b_w d f_{cd} \quad (3.10)$$



Şekil 3.26 DY-2007 (Şekil 3.9)

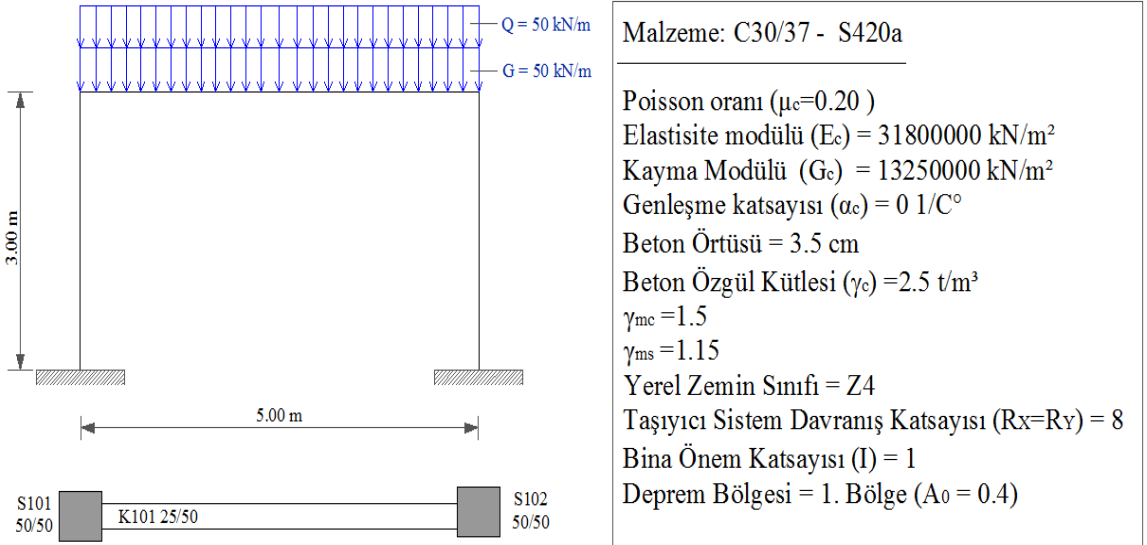
DY- 2007 Madde 3.4.5.3 de:

“Kiriş enine donatısının V_e kesme kuvvetine göre hesabında, betonun kesme dayanımına katkısı, V_c , TS-500’e göre belirlenecektir. Ancak, 3.4.4’te tanımlanan kiriş sarılma bölgelerindeki enine donatının hesabında, sadece deprem yüklerinden oluşan kesme kuvvetinin depremli durumdaki toplam kesme kuvvetinin yarısından daha büyük olması halinde ($V_E \geq 0.5 (V_G + Q + E)$), betonun kesme dayanımına katkısı $V_c = 0$ alınacaktır. Hiçbir durumda pliyelelerin kesme dayanımına katkıları gözönüne alınmayacaktır.”

Z-PRO yazılımının kiriş enine donatı hesaplarını irdelemek amacıyla çeşitli örnekler üzerinde kiriş enine donatı hesapları yapılmıştır. Bu çalışmalar ışığında, Z-PRO’nun V_e değerini DY- 2007’ye uygun olarak belirlediği ve etriyenin seçiminde kullanıldığı tespit edilmiştir. Ayrıca yazılım DY- 2007 Madde 3.4.5.2’ye uygun olarak

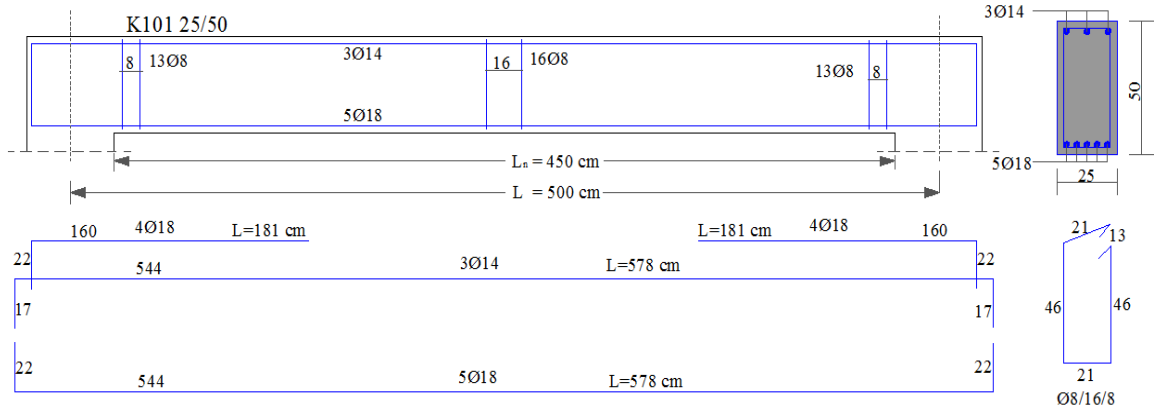
kirişlerde enine donatı hesabında esas alınacak kesme kuvveti V_e 'nin değerini, kiriş kesitinin kesme dayanımı olan V_r 'nin değerinden küçük olması koşulunu dikkate almakta, aksi durumda $V_e > V_r$ ise yazılımın rapor kısmında kesit yetersiz uyarısı yapılmaktadır. Kirişlerde enine donatı hesabını daha net irdellemek amacıyla Şekil 3.27'deki sistem hazırlanmış ve analiz öncesi şu kabuller yapılmıştır.

- Kolon, kiriş zati ağırlıkları ihmal edilmemiştir.
- Kirişin kolon içinde kalan rijit kolları dikkate alınmamıştır.
- Kesme alanı, kesit alanının 5/6'sı alınmıştır.
- Tasarım momenti $M_d = 1.4 G + 1.6 Q$ olarak hesaplanmıştır.
- K101 kirişinde 50 kN/m hareketli yük ve 50 kN/m ilave duvar yükü vardır.
- Rijit diyafram kabulü yapılmıştır.

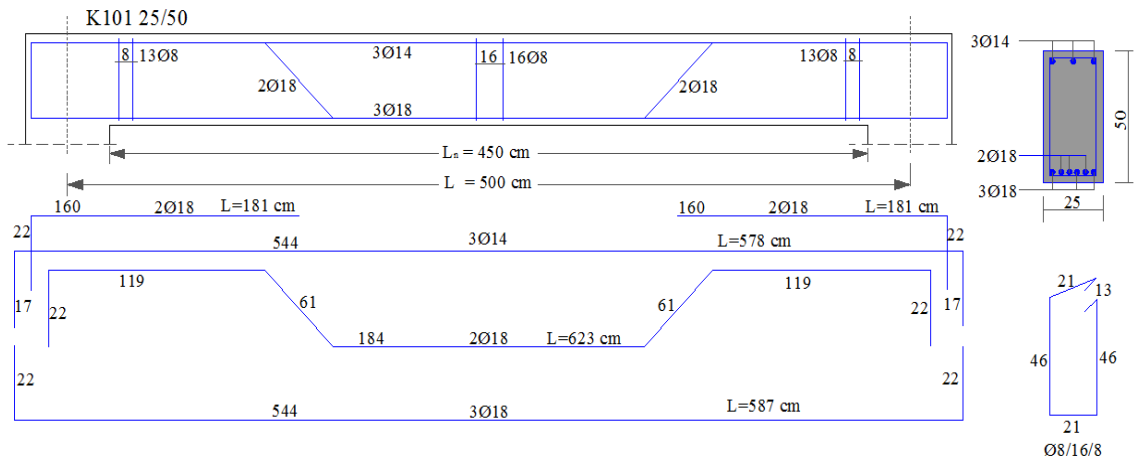


Şekil 3.27 Kirişlerde enine donatı hesabının irdelenmesi için hazırlanan sistem

Kiriş donatı açılımı pilyeli ve pilyesiz olmak üzere Şekil 3.28 ve 3.29'da, elde edilen değerler ise Çizelge 3.33'de verilmiştir. El hesapları yapılırken ' M_p ' değeri $M_p = 1.4 [A_s f_{yd} (d-d')]$ (Ersoy ve Özcebe, 2004, s. 301) formülü ile hesaplanmıştır.



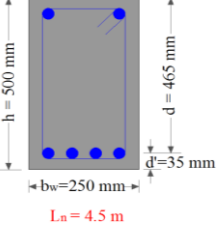
Şekil 3.28 Z-PRO yazılımı tarafından sunulan Pilyesiz kiriş donatı detay açılımı



Şekil 3.29 Z-PRO yazılımı tarafından sunulan Pilyeli kiriş donatı detay açılımı

Z-PRO da K101 kirişi için pilyeli ve pilyesiz tasarım yapıldığında Şekil 3.28 ve 3.29 dan da görüldüğü gibi pilyelerin kiriş etriye hesabında dikkate alınmadığı görülmektedir. Çizelge 3.33 de Z-PRO nun K101 kirişi için tasarım sonucu analiz değerleri ile el hesabı sonuçları karşılaştırılmıştır.

Çizelge 3.33 Analiz sonucu elde edilen değerler

		V_{dy} (kN)	$M_{pi}; M_{pj}$ (kNm)		V_e (kN)		V_e (kN) ($R_a=2$)	$0.22 b_w d f_{cd}$ (kN)
			$M_p (-)$	$M_p (+)$	$V_e(+)$	$V_e(-)$		
Z-PRO	i	347.15	261.78	297.83	222.79	471.51	291.39	501.61
	j	347.15	261.78	297.83	471.51	222.79	291.39	
EL HESABI	i	347.15	261.14	294.79	223.61	470.69	-	501.61
	j	347.15	261.14	294.79	470.69	223.61	-	

Sonuçlar karşılaştırıldığında değerlerin küçük farklılıklarla aynı çıktığı görülmüştür.

DY-2007 Madde 3.4.5.1 de:

“Düşey yükler ile birlikte $R_a = 2$ alınarak Bölüm 2 ye göre depremden hesaplanan kesme kuvvetinin Denklem 3.9 ile hesaplanan V_e den küçük olması durumunda V_e yerine bu kesme kuvveti alınacaktır.”

denilmektedir. Z-PRO $R_a = 2$ ye göre analiz yapmakta DY-2007 Madde 3.4.5.1 de belirtilen kontrolleri raporlarında ayrıntılı olarak kullanıcıya sunmaktadır.

Betonun kesme dayanımına katkısının ihmal edilmediği durumda beton katkısı TS 500 Şubat 2000’e göre $V_c = 0.8V_{cr}$ ile hesaplanmaktadır. Betonun kesmede çatlama dayanımı V_{cr} eksenel yükün ihmal edildiği durumda;

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

denklemini ile elde edilebilir. K101 kirişi için $V_{cr} = 97.76$ kN ve $V_c = 78.21$ kN elle hesaplanmıştır. Z-PRO yazılımının hesap ve çıktıları incelendiğinde $V_{cr} = 97.76$ kN ve $V_c = 78.21$ kN olduğu görülmüştür. Z-PRO yazılımında $V_e - V_{dy} \geq 0.5 V_d$ ise $V_c = 0$ alınır aksi durumda $V_c = 0.8 V_{cr}$ alınarak enine donatı hesabı yapılmaktadır. Bu kontrol

DY-1997 de öngörülmüştür. Oysaki DY- 2007 Madde 3.4.5.3 de $V_E \geq 0.5 V_{G+Q+E}$ koşulu aranmaktadır.

K101 kirişi için enine donatı hesabı irdelenecek olursa;

$$V_e = 291.39 \text{ kN}$$

$$V_c = 78.21 \text{ kN}$$

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

$$f_{ywd} = 0.365 \text{ kN/mm}^2$$

$$d = 465 \text{ mm}$$

$$\left. \begin{array}{l} V_e = 291.39 \text{ kN} \\ V_c = 78.21 \text{ kN} \\ A_{sw} = 100 \text{ mm}^2 \text{ (1}\Phi 8 \text{ etriye)} \\ f_{ywd} = 0.365 \text{ kN/mm}^2 \\ d = 465 \text{ mm} \end{array} \right\} \text{ olarak alınmış ve etriye aralığı (s), } \boxed{\frac{A_{sw}}{s} = \frac{V_e - V_c}{f_{ywd} d}}$$

denklemleri ile hesaplanmıştır.

El hesabında A_{sw} / s oranı $1256 \text{ mm}^2 / \text{m}$, $s = 125.6 \text{ mm}$ olarak çıkmıştır, Z-PRO yazılımı A_{sw} / s oranını $1240 \text{ mm}^2 / \text{m}$ olarak hesaplamıştır.

DY-2007 kiriş mesnet bölgelerinde etriye aralığı için;

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

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

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

} sınırlarını getirmiştir.

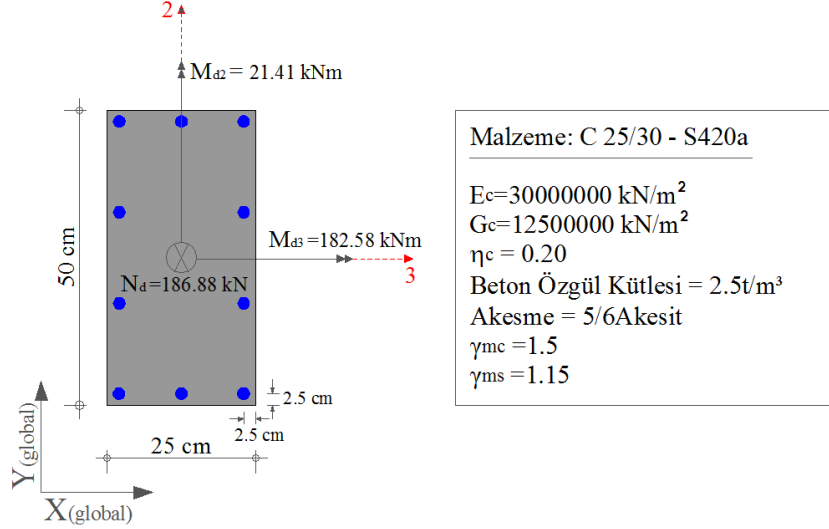
Buna göre mesnette en büyük etriye aralığı 96 mm den fazla olmamalıdır. Z-PRO yazılımı etriye aralığını mesnette 80 mm olarak hesaplarda sunmuştur.

3.11 Z-PRO Yazılımı Kolon Betonarme Hesabının İrdelenmesi

3.11.1 Kolon boyuna donatı hesabının irdelenmesi

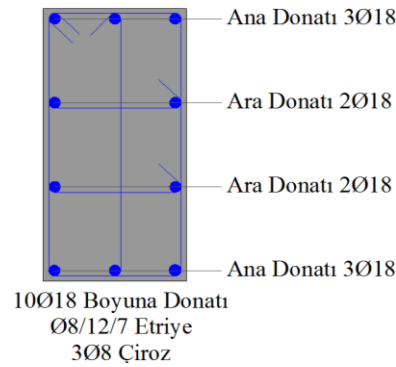
Bu bölümde Z-PRO yazılımının kolon boyuna donatı hesabı irdelenmeye çalışılacaktır. Z-PRO da kolon donatı planının seçimi konusunda kullanıcının bir seçeneği bulunmamaktadır ve hangi tip donatı planı kullanıldığı belirtilmemiştir. Yapılan incelemeler sonucunda Z-PRO da birkaç farklı tipte donatı planı kullanıldığı tespit edilmiştir. Yazılımın, yük birleşimleri neticesinde bulunan M_{d2} ve M_{d3} momentlerinin durumuna göre bu donatı planlarından birini tercih ettiği düşünülmektedir.

Hangi tip donatı planı kullanıldığı belli olmadığı için karşılaştırma yapmak oldukça zordur. Şekil 3.30'da donatı planı ve kuvvetleri gösterilen iki doğrultuda bileşik eğilme etkisindeki kolonun M_{d3} momenti M_{d2} momentinden daha etkin olduğu için yazılımın donatıları, bir sıra ara donatılı ve kalan donatıları da kolon en kesitinin her iki kenarına eşit dağıtan donatı planını seçtiği düşünülmektedir.



Şekil 3.30 Donatı planı, iç kuvvetler ve malzeme bilgileri

Kolon betonarme hesabında Şekil 3.30 da gösterilen iç kuvvetler için Z-PRO yazılımı 23.36 cm^2 donatı alanı hesaplamıştır. Sonuç olarak da kolon kesitine 15.27 cm^2 ($6\Phi 18$) ana, 10.18 cm^2 ($4\Phi 18$) ara boyuna donatı ($A_{st} = 15.27 + 10.18 = 25.45 \text{ cm}^2$ $10\Phi 18$) yerleştirmiştir (Şekil 3.31).



Şekil 3.31 Kolon boyuna ve enine donatıları

Şekil 3.30 daki kolonda yalnızca gösterilen iç kuvvetler kullanılarak Betonarme 2000β yazılımı (<http://mmf2.ogu.edu.tr/atopcu>), Betonarme kolon Tabloları (Aydın/Akgün/Topçu Kolon Tabloları), Betonarme Yapıların Hesap ve Tasarımı (Doğangün, A., 2008) kullanılarak betonarme hesabı yapılmış ve sonuçlar Z-PRO yazılımı ile Çizelge 3.34’de karşılaştırılmıştır.

Çizelge 3.34 Z-PRO yazılım ve tablolar ile hesaplanan ve seçilen donatı alanları

$N_d = 186.88 \text{ kN}$ $M_{d2} = 21.46 \text{ kNm}$ $M_{d3} = 182.58 \text{ kNm}$	Hesaplanan Donatı Alanı	Seçilen Donatı Alanı
	$A_{st} \text{ (cm}^2\text{)}$	$A_{st} \text{ (cm}^2\text{)}$
Z-PRO YAZILIMI ¹	23.36	25.45 (10Φ18)
BETONARME 2000β YAZILIMI ²	21.73	25.45 (10Φ18)
AYDIN, AKGÜN, TOPÇU TABLO ²	21.54	25.45 (10Φ18)
ADEM DOĞANGÜN, 2008 ³	23.29	25.45 (10Φ18)

¹ Eşdeğer gerilme bloğu modeli bilinmemektedir (Bkz. Bölüm 3.1.1).

² Eşdeğer dikdörtgen gerilme bloğu modeli kullanılmıştır.

³ Bressler ve bir doğrultuda bileşik eğilmeye indirgeyerek çözüme gitme metotları kullanılmış, bu çözümlerde Ersoy,U., Özcebe, G.,(Betonarme 2001, 817 sayfa) abaklarından yararlanılmıştır. Eşdeğer dikdörtgen gerilme bloğu modeli kullanılmıştır.

Ersoy, U., Özcebe, G., abakları ile Aydın/Akgün/Topçu Kolon tablolarında verilen donatı düzeni ile Şekil 3.28 de görülen kolon kesiti için Z-PRO’ da hesaplanan donatı düzenleri birbirleri ile örtüşmemektedir. Şekil 3.30 daki kolon kesitine etkiyen iç kuvvetler için tüm abak ve tablolardaki her bir donatı düzenine göre ayrı ayrı çözüm yapılmış ve yaklaşık olarak aynı değerler elde edilmiştir.

Çizelge 3.34’de görüldüğü gibi Z-PRO yazılımı ile hesaplanan ve seçilen donatı alanları diğer kaynaklarla yaklaşık olarak örtüşmektedir ve güvenli tarafta kalmaktadır. Bütün sonuçlar kendi aralarında birbiri ile tutarlıdır. Buradan Z-PRO yazılımının iki eksenli eğilme etkisindeki kolonları, bir doğrultuda bileşik eğilmeye indirgeyerek çözüme gitme yolunu kullandığı düşünülebilir.

3.11.2 Kolon enine donatı hesabının irdelenmesi

DY-2007 Madde 3.3.7.1 de:

*“Kolonlarda enine donatı hesabına esas alınacak kesme kuvveti V_e , **Denk.(3.5)** ile hesaplanacaktır.*

$$V_e = (M_a + M_{\bar{u}}) / \ell_n \quad \textbf{Denk.(3.5)}$$

***Denk.(3.5)**’teki M_a ve $M_{\bar{u}}$ ’nün hesaplanması için, kolonun alt ve/veya üst uçlarında **Denk.(3.3)**’ün sağlanması durumunda 3.3.7.2, sağlanamaması durumunda ise 3.3.7.3 uygulanacaktır (Şekil 3.5).”*

DY-2007 denklem 3.1 de verilen sargı donatısı alanı (A_{sh}) ile TS 500-2000 denklem 8.5 de verilen kesme donatısı alanı (A_{sw}) tanım olarak aynıdır.

$$\frac{A_{sw}}{s} = \frac{V_e - V_c}{f_{yvd} d} \quad \text{TS 500-2000 Denklem (8.5)}$$

$$\begin{aligned} A_{sh} &\geq 0.3sb_k [(A_c / A_{ck}) - 1] (f_{ck} / f_{ywk}) \\ A_{sh} &\geq 0.075sb_k (f_{ck} / f_{ywk}) \end{aligned} \quad \text{DY- 2007 Denklem (3.1)}$$

DY-2007 Madde 3.3.4.1 de:

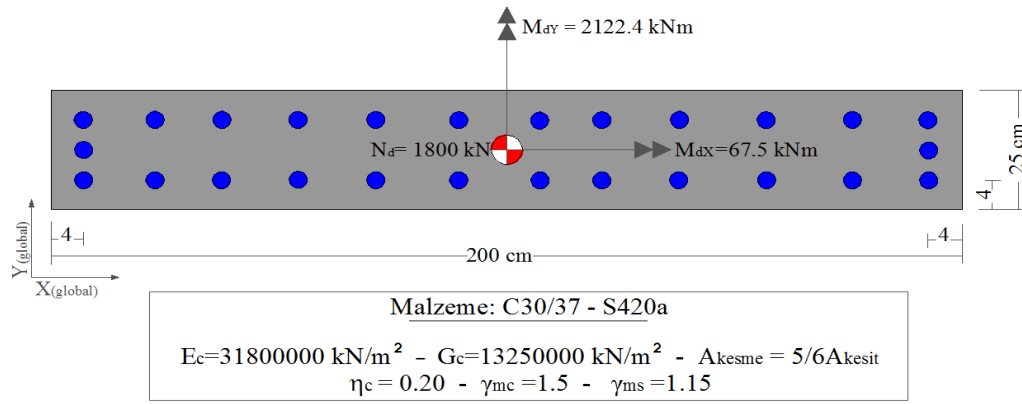
*“(b) Etriyeli kolonlarda $N_d > 0.20 A_c f_{ck}$ olması durumunda sarılma bölgelerindeki minimum toplam enine donatı alanı, **Denk.(3.1)**’de verilen koşulların elverişsiz olanını sağlayacak şekilde hesaplanacaktır.*

*(d) $N_d \leq 0.20 A_c f_{ck}$ olması durumunda, kolon sarılma bölgelerinde **Denk.(3.1)** ve **Denk.(3.2)** ile verilen enine donatıların en az 2/3’ü, minimum enine donatı olarak kullanılacaktır.”*

Z-PRO da kolon enine donatı hesabını irdelemek amacı ile Şekil 3.30 daki örnek için kolon kesme-sargı donatı sonuçları el hesabıyla kontrol edilmiştir. Z-PRO nun sunduğu enine donatı Şekil 3.31 de görüldüğü gibi $\Phi 8/12/7$ olarak hesaplanmış, etriye aralıklarının yönetmeliğin istediği sınır koşullarda olduğu görülmüştür.

3.12 Z-PRO Yazılımı Perde Boyuna Donatı Hesabının İrdelenmesi

Perdeler, deprem yüklerini rijitlikleri oranında üzerine almakta ve böylelikle kolonlarda oluşması beklenen kesme kuvvetlerinin azalmasını sağlamaktadır. Şekil 3.32’de donatı planı ve tasarım kuvvetleri gösterilen iki doğrultuda bileşik eğilme etkisindeki perde eleman önce $H_w = 4.5$ m, sonra $H_w = 3.5$ m yüksekliği seçilerek Z-PRO ve Betonarme 2000β yazılımları ile verilen yükler altında analiz edilmiştir. Sonuçlar Çizelge 3.35 de, perde donatı açılımı Şekil 3.33 de verilmiştir.

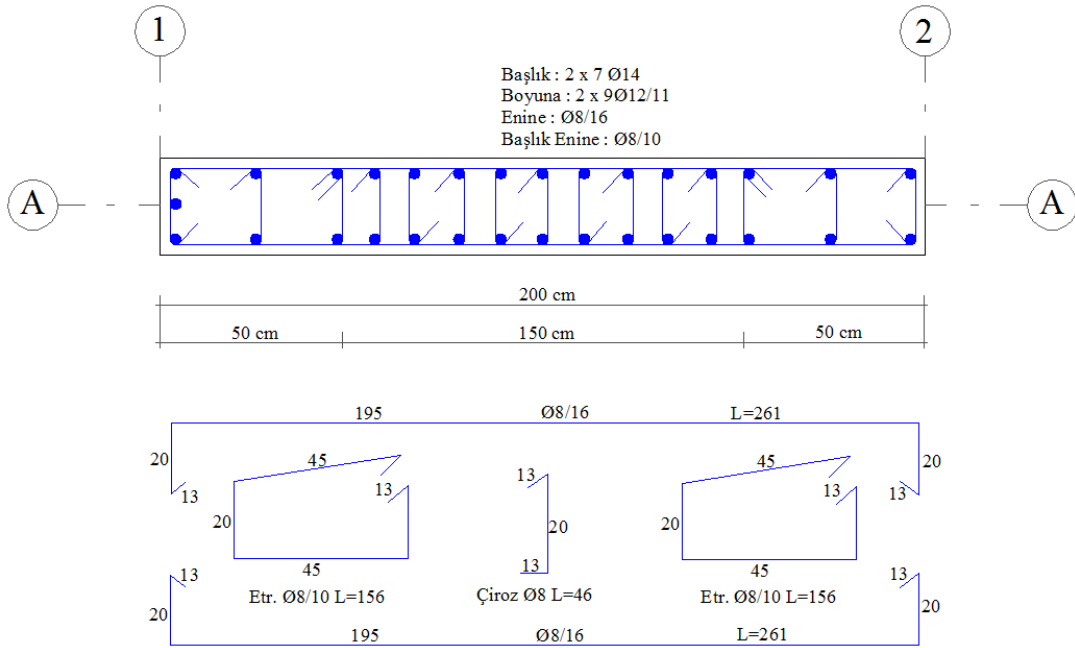


Şekil 3.32 Perde donatı planı, iç kuvvetler ve malzeme bilgileri

Çizelge 3.35 Perde boyuna donatıları

$N_d = 1800$ kN $M_{dx} = 67.5$ kNm $M_{dy} = 2122.4$ kNm	HESAPLANAN DONATI ALANI	SEÇİLEN DONATI ALANI
	A_{st} (cm ²)	A_{st} (cm ²)
Z-PRO ($H_w = 4.5$ m)	37.41	40.401 (2x7Φ14-2x12Φ10)
Z-PRO ($H_w = 3.5$ m)	37.41	40.024 (26Φ14)
BETONARME 2000 β	35.41	40.024 (26Φ14)

Çizelge 3.35 deki sonuçlar incelendiğinde, hesaplanan donatı alanlarının birbirine çok yakın olduğu görülmektedir. Aradaki fark kabul edilebilir düzeydedir. Şekil 3.33 de Z-PRO nun sunduğu perde donatı açılımı incelendiğinde perde uç bölgelerinin DY-2007 Madde 3.6.2.1’ e uygun olarak bırakıldığı görülmüştür. $H_w=3.5$ m yüksekliğindeki perde için ise Z-PRO, $H_w / l_w = 3.5 / 2 = 1.75 < 2$ olduğundan yönetmelik gereği perdelerin planda her iki ucuna perde uç bölgesi oluşturmamıştır.

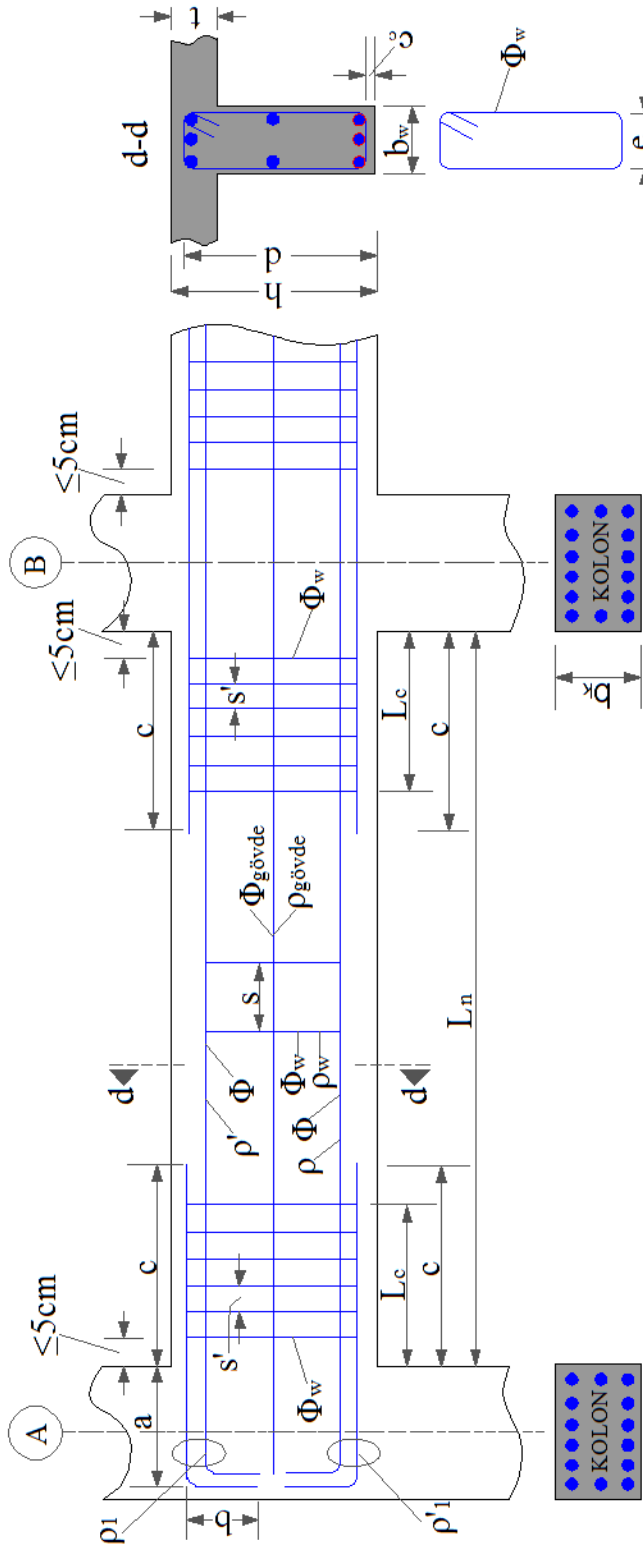


Şekil 3.33 Z-PRO yazılımının sunduğu perde donatı açılımı $H_w = 4.5$ m için

Şekil 3.32 deki örnek için Z-PRO da N_d kademeli olarak arttırılmış ve belirli seviyeden sonra max N_d nin aşıldığı ve kesitin yetersiz olduğu belirtilerek kullanıcı uyarılmıştır. Yazılım min M_{dx} ve min M_{dy} kontrollerini yapmamaktadır.

3.13 Z-PRO'nun Yönetmeliklerde Öngörülen Koşullar Açısından İrdelenmesi

Bu bölümde Z-PRO yazılımı TS500–2000 ve DY-2007’de öngörülen koşullar bakımından irdelenmeye çalışılacaktır. Sunumu kolaylaştırmak açısından, yönetmelik sınır koşulları çizelgeler halinde gösterilmiştir. Çizelgelerde TS500–2000 ve DY-2007’deki koşullar verilmiş, eğer varsa, ilgili ek öneriler yapılmış ve son olarak da “Açıklamalar Z-PRO” başlığı altında Z-PRO yazılımında yönetmelik maddelerinin nasıl uygulandığı açıklanmaya çalışılmıştır. “Açıklamalar Z-PRO” sütunundaki “✓” işareti ilgili yönetmelik maddesinin yazılımda sorunsuz bir şekilde uygulandığı anlamına gelmektedir. “X” işareti ilgili yönetmelik maddesinin yazılımda hatalı veya yetersiz uygulandığı ya da kullanıcının uyarılması gereken bir konuda uyarılmadığı anlamına gelmektedir. Bu bölümde sunulan çizelge ve şekillerin bir kısmı Betonarme 1 Sunu Ders Notları (Topçu, 2010)’dan alınmıştır.



L_n	: Kiriş net açıklığı	b_k	: Kolonun kirişe dik kenar genişliği
L_c	: Sarılma bölgesi uzunluğu	Φ	: Boyuna donatı çapı
c	: Donatının komşu açıklığa uzatılma miktarı	ρ	: Çekme donatısı oranı
a	: İlk ve son kolonda donatının kolon içindeki uzunluğu	ρ'	: Basınç veya montaj donatısı oranı
b	: Donatının komşu açıklıkta devam ettirilememesi durumunda (Örneğin ilk ve son mesnette) boyuna donatının 90° aşağı veya yukarı kıvrılan kısmının uzunluğu	ρ_1	: Mesnet üstündeki donatının oranı
b_w	: Kiriş genişliği	ρ'_1	: Mesnet altındaki donatının oranı
h	: Kiriş yüksekliği	Φ_w	: Etriye donatısı çapı
t	: Tabla kalınlığı	ρ_w	: Etriye donatısı oranı
C_c	: Net beton örtüsü	s_w	: Açıklıkta etriye aralığı
d	: Kiriş faydalı derinliği	s'_w	: Sarılma bölgesinde etriye aralığı
		$\Phi_{gövde}$	: Gövde donatısı çapı
		$\rho_{gövde}$	: Gövde donatısı oranı
		e	: Etriye genişliği

Şekil 3.34 Kirişlerde sınır değerler

3.13.1 Kirişlerde sınır değerlerin irdelenmesi

Çizelge 3.36 Kirişlerde sınır değerler çizelgesi

Tanım	Zorunlu koşullar		Ek Öneri	Açıklamalar Z-PRO
	TS 500-2000	DY-2007		
Min b_w	20 cm	25 cm	25 cm	X ₍₁₎
Max b_w	$b_k + h$	$b_k + h$	-	X ₍₂₎
Min h	30 cm, 3t	30 cm, 3t	40 cm, $L_n/12$	X ₍₃₎
Max h	-	$3.5b_w, L_n/4$	-	X ₍₄₎
Min ρ	$0.8 f_{ctd}/f_{yd}$	-	-	X ₍₅₎
Max ($\rho - \rho'$)	$0.85 \rho_b$	-	$\rho_\ell = 0.235 f_{cd}/f_{yd}$	✓
Max ρ	$0.85 \rho_b, 0.02$	$0.85 \rho_b, 0.02$	-	X ₍₆₎
Max ρ_1	$0.85 \rho_b, 0.02$	$0.85 \rho_b, 0.02$	-	✓
Min ρ'	-	$\rho_1/4$	-	✓
Max ρ'_1	-	$0.85 \rho_b, 0.02$	-	✓
Min ρ_1	$0.8 f_{ctd}/f_{yd}$	$0.8 f_{ctd}/f_{yd}$	-	X ₍₇₎
Min ρ'_1	-	$0.5\rho_1$	-	✓
Max ($\rho_1 - \rho'_1$)	$0.85 \rho_b$	$0.85 \rho_b$	ρ_ℓ	✓
Min L_c	2h	2h	-	✓
Max s_w	0.5d	$h/3, 10\Phi_{min}, 20 \text{ cm}$	20 cm	✓
Min s_w	-	-	10 cm	✓
Max s'_w	$d/4, 15 \text{ cm}, 8\Phi_{min}$	$h/4, 15 \text{ cm}, 8\Phi_{min}$	$s_w/2, 10 \text{ cm}$	✓
Min s'_w	-	-	5 cm	✓
Max e	-	-	35 cm	✓
Min Φ	12 mm	12 mm	-	X ₍₈₎
Max Φ	-	-	24 mm	✓
Min Φ_w	-	-	8 mm	✓
Max Φ_w	-	-	12 mm	✓
Min ρ_w	$0.3 (f_{ctd}/f_{ywd})$	-	-	✓

Çizelge 3.37 Kirişlerde sınır değerler çizelgesi (Devamı)

Tanım	Zorunlu koşullar		Ek Öneri	Açıklamalar Z-PRO
	TS 500-2000	DY-2007		
Max e	-	-	40 cm	✓
Min a	-	$0.4 l_b$	-	✓
Min b	-	12Φ	-	✓
Min c	-	l_b	$L_n/4$	✓
Min (a+b)	-	l_b	50Φ	✓
Max N_d	$0.1 f_{ck} A_c$	$0.1 f_{ck} A_c$	-	✓
Max V_d	$0.22 f_{cd} b_w d$	$0.22 f_{cd} A_c$	-	✓
Min $\rho_{gövde}$	0.001	$0.30(\rho_1 - \rho'_1)$	-	X ₍₉₎
Min $\Phi_{gövde}$	10 mm	12 mm	-	✓
Min pas payı	2 cm (içte) 2.5 cm (dışta)	-	3cm (içte ve dışta)	X ₍₁₀₎
Min donatı aralığı	2.5 cm, $\Phi, 4D/3$ (D:En büyük agrega çapı)	-	5 cm	X ₍₁₁₎
Min beton sınıfı	C16/20	C20/25	C20/25	X ₍₁₂₎
Min kanca boyu	$6\Phi, 5$ cm	$10\Phi, 10$ cm (düz) $6\Phi, 8$ cm (nevrürlü)	$10\Phi, 10$ cm (her türlü çelik için)	✓
Min çelik sınıfı	S220a	S220a (etkiye) S420a (boyuna)	S420a	X ₍₁₃₎
Max çelik sınıfı	-	S420a, S420b	S420a	X ₍₁₄₎
Min çekme donatısı sayısı	-	$2\Phi 12$	$3\Phi 12$	✓

Açıklamalar Z-PRO:

✓ : Yazılım bu koşulu sağlıyor.

$X_{(1)}$: Minimum kiriş genişliği koşulu sağlanmamaktadır. Yazılım herhangi bir sözlü ya da yazılı uyarı vermemektedir. 20 cm' den daha küçük kiriş genişliği tanımlanabilmektedir.

$X_{(2)}$: Maksimum kiriş genişliği koşulunu kullanıcının isteğine bağlı olarak analiz sonrası yapılan geometri kontrolü kısmında dikkate alıp yazılı hata uyarısı vermiştir. Ancak analiz sonrası rapor ve çıktı alırken bu konuda herhangi bir uyarıda bulunmamış ve hata yokmuş gibi rapor ve çizim çıktılarını üretmiştir.

$X_{(3)}$: Minimum kiriş yüksekliği koşulunu kullanıcının isteğine bağlı olarak analiz sonrası yapılan geometri kontrolü kısmında dikkate alıp yazılı hata uyarısı vermiştir. Ancak yazılım analiz sonrası rapor ve çıktı alırken bu konuda herhangi bir uyarıda bulunmamıştır. Z-PRO' da yüksekliği 30 cm' den daha küçük ve 12 cm kalınlığındaki bir döşemenin etrafına yüksekliği 36 cm' den daha küçük olan kirişler tanımlanıp çözülmüş, rapor ve çizim çıktıları üretilmiştir.

$X_{(4)}$: Maksimum kiriş yüksekliği koşulunu kullanıcının isteğine bağlı olarak analiz sonrası yapılan geometri kontrolü kısmında dikkate alıp yazılı hata uyarısı vermiştir. Ancak yazılım analiz sonrası rapor ve çıktı alırken bu konuda herhangi bir uyarıda bulunmamış ve hata yokmuş gibi rapor ve çizim çıktılarını üretmiştir.

$X_{(5)}$: $\min \rho = 0.8 f_{ctd}/f_{yd}$ koşulu yönetmeliklere göre sağlanmak zorundadır. Z-PRO bu bağıntıyı kullanmamakta $\min \rho = 0.003$ ön değerini almakta, kullanıcı isterse bu değeri değiştirebilmekte, örneğin $\rho = 0.0001$ seçebilmektedir. Halbuki, örneklemek gerekirse C50/60-S420 malzemesi ve $\gamma_{mc}=1.5$, $\gamma_{ms}=1.15$ için

$$\min \rho = 0.8 f_{ctd}/f_{yd} = 0.8 (2.5/1.5)/(420/1.15) = 0.0037$$

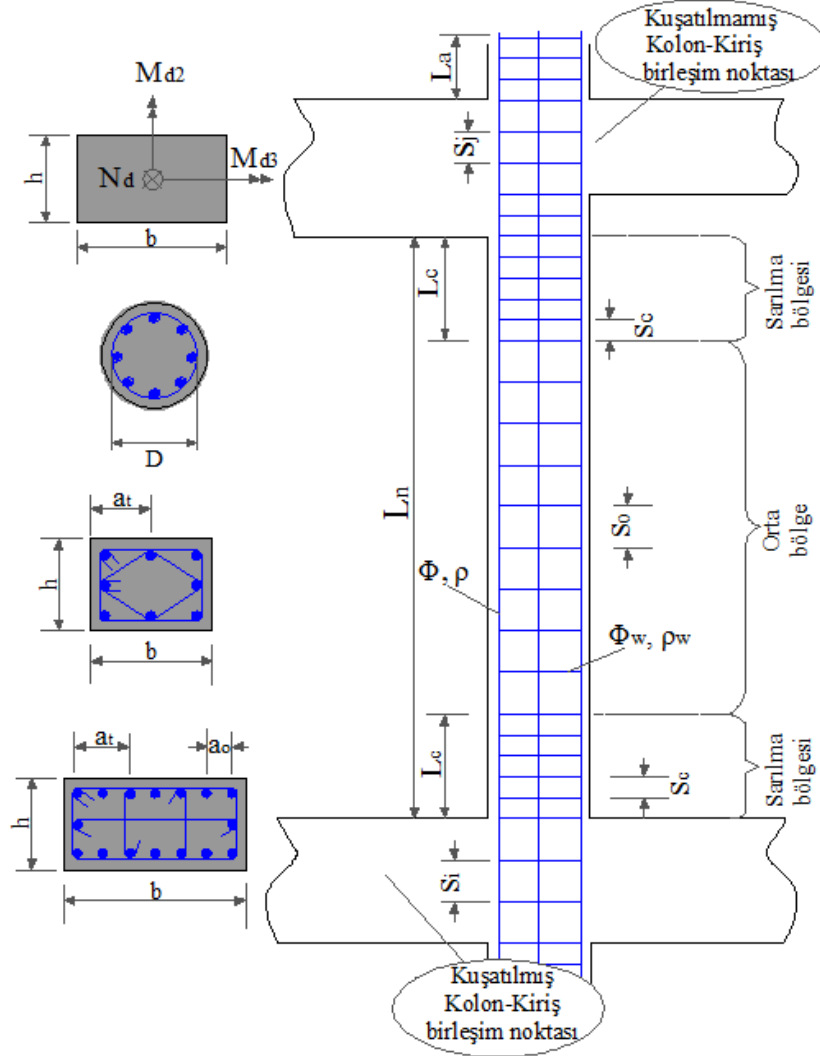
olmaktadır. Bu değer Z-PRO'nun ön değeri olan 0.003 den büyüktür. Sonuç olarak; Z-PRO yönetmeliğin minimum donatı kuralına uymamakta ve herhangi bir uyarı da vermemektedir.

$X_{(6)}$: Kiriş maksimum boyuna donatı oranı kullanıcı girişine sunulmuştur, Z-PRO da $\max \rho = 0.02$ ön değerini almakta, kullanıcı isterse bu değeri değiştirebilmektedir. Örneğin maksimum donatı oranı 0.1, 1, 3 seçilebilmekte ve herhangi bir uyarı ile karşılaşılmadan yönetmeliğe aykırı proje üretilebilmektedir.

$X_{(7)}$: $\min \rho_1 = 0.8 f_{ctd}/f_{yd}$ koşulu deprem yönetmeliğine göre sağlanmak zorundadır. Z-PRO yazılımında bu değer 0.003 alınmakta ve kullanıcı isterse bu değeri değiştirebilmektedir. Kullanıcı girişine bağlı olarak, hatalı proje üretilebilmekte ve yazılım herhangi bir uyarı vermemektedir.

- X₍₈₎** : Kiriş boyuna donatı minimum çapı seçenektir. Kullanıcı $\Phi 12'$ nin altında donatı seçerek herhangi bir uyarı ile karşılaşmaksızın yönetmeliğe aykırı bir proje üretebilir.
- X₍₉₎** : Yüksekliği 60 cm'yi geçen kirişlerde gövde donatısı kullanımı zorunludur. Z-PRO da gövde donatısı kullanılacak kiriş yüksekliğinin alt sınırı, kullanıcının seçimine bırakılmıştır. Kullanıcı bu değerin altında veya üstünde bir değer seçebilmekte ve herhangi bir uyarı ile karşılaşmadan yönetmeliğe aykırı projeler üretilmektedir.
- X₍₁₀₎** : Pas payı kullanıcı tarafından belirlenmektedir ve yazılım yönetmelikteki minimum değerlerin altında pas payı seçimine izin vermektedir.
- X₍₁₁₎** : Minimum donatı aralığı kullanıcı tarafından belirlenmektedir, yazılım yönetmelikteki minimum değerlerin altında donatı aralığı seçimine izin vermektedir ve agrega en büyük tane çapı ile ilgili bir bilgi yoktur.
- X₍₁₂₎** : C16/18' den daha düşük ve C50/60' dan daha yüksek beton sınıfı ile proje üretilmektedir (Bkz. Bölüm 3.1.1).
- X₍₁₃₎** : Boyuna donatılarda deprem yönetmeliğinin izin verdiği minimum çelik sınıfı S420 olmasına karşın, herhangi bir uyarı ile karşılaşmaksızın boyuna donatılarda S220 donatı çeliği tanımlanıp proje üretilmektedir.
- X₍₁₄₎** : Hiçbir uyarı ile karşılaşmaksızın S500 çelik sınıfı ile proje üretilmektedir (Bkz. Bölüm 3.1 Malzeme varsayımlarının irdelenmesi).

3.13.2 Kolonlarda sınır değerlerin İrdelenmesi



- 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)
- Φ : Boyuna donatı çapı
- Φ_w : Sargı donatısı çapı
- a_0 : Boyuna donatı aralığı
- a_t : Yanal hareketi tutulmuş donatı aralığı
- D : Fretli kolon çekirdek çapı
- ρ : Boyuna donatı oranı
- ρ_w : Sargı donatısı oranı

Şekil 3.35 Kolonlarda sınır değerler

Çizelge 3.38 Kolonlarda sınır değerler çizelgesi

Tanım	Zorunlu koşullar		Ek Öneri	Açıklamalar Z-PRO
	TS 500-2000	DY-2007		
Min kenar b veya h (Dikdörtgen kesitlerde)	25 cm	25 cm	-	X ₍₁₎
Min A _c	N _d / (0.9f _{cd})	N _d / (0.5f _{ck}), 750cm ²	1000 cm ²	X ₍₂₎
Min çap (Dairesel kesitlerde)	30 cm	30 cm	-	X ₍₃₎
Min L _c	-	Uzun kenar, L _n / 6, 50 cm	-	✓
Min L _a	-	l _b (kolon orta bölgesinde ek) 1.5 l _b (kat seviyesinde ek)	-	✓
Min ρ	0.01	0.01	-	X ₍₄₎
Max ρ	0.04	0.04	0.03	X ₍₅₎
Max a _t	30 cm	25 Φ _w	-	✓
Max a ₀	-	-	15 cm	✓
Max s ₀	12Φ _{min} , 20 cm	Kısa kenar/2, 20 cm	17cm (etriye), 8 cm (fret)	✓
Min s ₀	-	-	8cm (etriye), 5 cm (fret)	✓
Max S _c	-	10cm, kısa kenar/3 (etriye) D/5, 8cm (fret)	8cm (etriye), 5 cm (fret)	✓
Max S _i	-	15 cm	10 cm	✓
Max S _j	-	10 cm	-	✓
Min S _c , S _i , S _j	-	5 cm	-	✓
Min Φ	14 mm	14 mm	-	X ₍₆₎
Max Φ	-	-	22 mm	✓
Min Φ _w	Φ _{max} /3	8 mm	-	X ₍₇₎
Max Φ _w	-	-	12 mm	✓
Min ρ _w	-	Madde 3.3.4	-	✓
Max (uzun kenar / kısa kenar)	7	7	-	✓

Çizelge 3.39 Kolonlarda sınır değerler çizelgesi (Devamı)

Tanım	Zorunlu koşullar		Ek Öneri	Açıklamalar Z-PRO
	TS 500-2000	DY-2007		
Min M_{d3}	$(15\text{mm}+0.03h)N_d$	-	-	✓
Min M_{d2}	$(15\text{mm}+0.03b)N_d$	-	-	✓
Max N_d	$0.9 f_{cd} A_c$	$0.5 f_{ck} A_c$	-	✓
Max V_{d2} , Max V_{d3}	-	$0.22 f_{cd} A_c$	-	✓
Min etriye kancası	-	6 Φ_w , 8cm (nervürlü) 10 Φ_w , 10cm (düz)	10 Φ_w , 10cm	✓
Min boyuna donatı sayısı	6 $\Phi 14$, 4 $\Phi 16$ (dikdörtgen), 6 $\Phi 14$ (daire)	6 $\Phi 14$, 4 $\Phi 16$ (dikdörtgen), 6 $\Phi 14$ (daire)	6 $\Phi 14$ (dikdörtgen), 8 $\Phi 14$ (daire)	✓
Min pas payı	2 cm (içte) 2.5 cm (dışta)	-	3 cm	X ₍₈₎
Min beton sınıfı	C16/18	C20/25	C20/25	X ₍₉₎
Min çelik sınıfı	S220a	S220a etriye, çiroz S420a boyuna donatı	S420a	X ₍₁₀₎
Max çelik sınıfı	-	S420a, S420b	S420a	X ₍₁₁₎
Max L_n /kısa kenar	-	-	20	✓

A_c : Beton kesit alanı

l_b : Kenetlenme (aderans boyu)

ϕ_{min} , ϕ_{max} : Boyuna donatının en küçük çapı, boyuna donatının en büyük çapı

N_d : Tasarım normal kuvveti

M_{d2} , M_{d3} : Tasarım momentleri

V_{d2} , V_{d3} : Tasarım kesme kuvvetleri

Açıklamalar Z-PRO:

✓ : Yazılım bu koşulu sağlıyor.

X₍₁₎ : Yazılım, minimum kolon kesit boyutları koşulunu kullanıcının isteğine bağlı olarak analiz sonrası yapılan geometri kontrolü kısmında dikkate alıp yazılı hata uyarısı vermiştir. Ancak yazılım analiz sonrası rapor ve çıktı alırken bu konuda herhangi bir uyarıda bulunmamış ve de hata yokmuş gibi rapor ve çizim çıktılarını üretmiştir.

X₍₂₎ : Herhangi bir uyarı ile karşılaşmaksızın kesit alanı 750 cm^2 den daha küçük bir kolon tanımlanıp, çözülebilmektedir.

X₍₃₎ : Yazılım, minimum kolon kesit boyutları koşulunu kullanıcının isteğine bağlı olarak analiz sonrası yapılan geometri kontrolü kısmında dikkate alıp yazılı hata uyarısı vermiştir. Ancak analiz sonrası rapor ve çıktı alırken bu konuda herhangi bir uyarıda bulunmamış ve hata yokmuş gibi rapor ve çizim çıktılarını üretmiştir.

X₍₄₎ : Kolon minimum boyuna donatı oranı kullanıcı girişine sunulmuştur, kullanıcı minimum boyuna donatı oranının altında veya üstünde bir değer girerek yönetmeliğe aykırı bir proje üretebilir.

X₍₅₎ : Kolon maksimum boyuna donatı oranı kullanıcı girişine sunulmuştur, kullanıcı maksimum boyuna donatı oranının altında veya üstünde bir değer girerek yönetmeliğe aykırı bir proje üretebilir.

X₍₆₎ : Kolon boyuna donatı minimum çapı seçeneklidir. Kullanıcı $\Phi 14'$ ün altında donatı seçerek herhangi bir uyarı ile karşılaşmadan yönetmeliğe aykırı bir proje üretebilir.

X₍₇₎ : Etriye çapı üst sınırı kullanıcı tarafından belirlenmektedir.

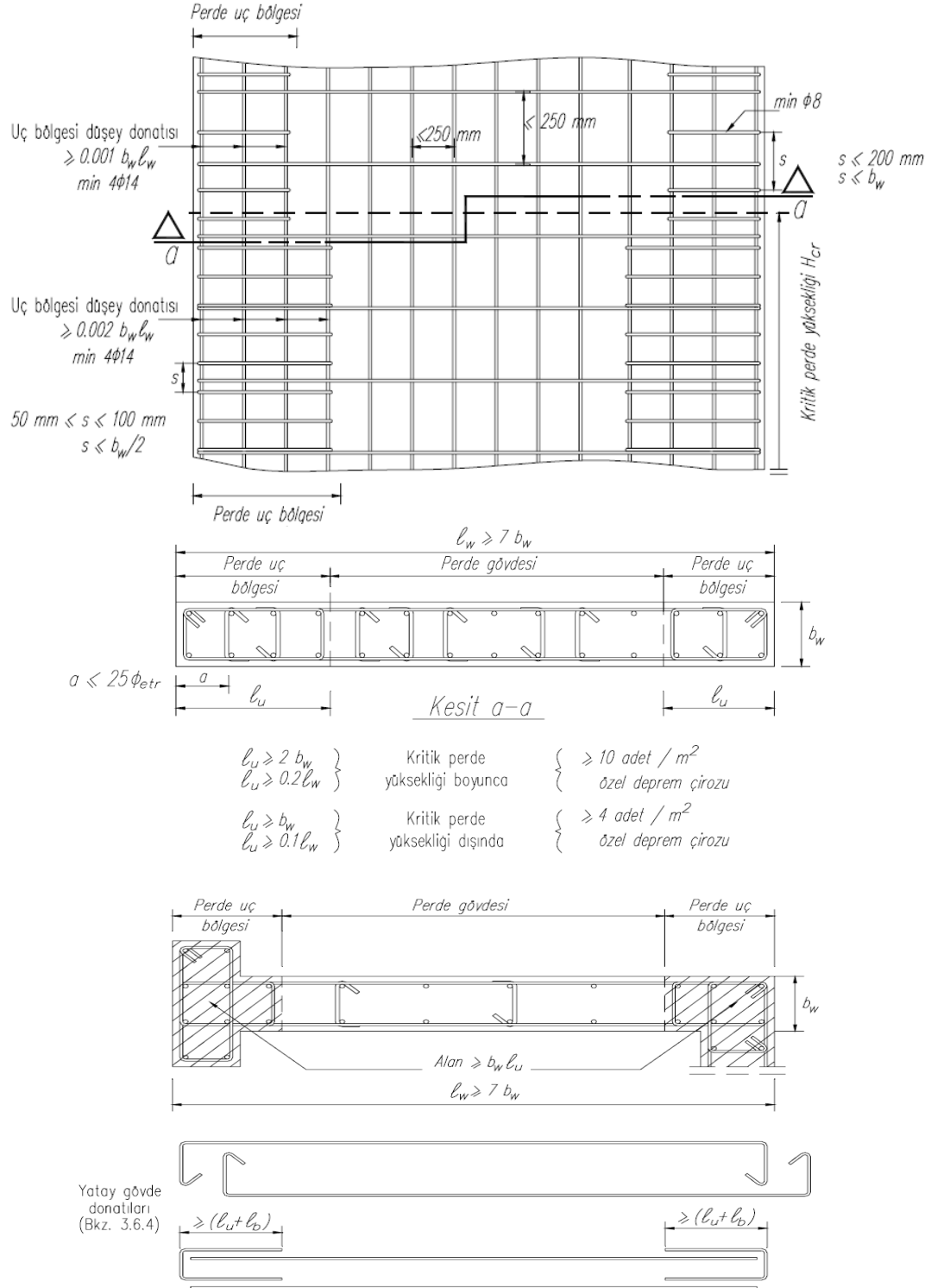
X₍₈₎ : Pas payları kullanıcı tarafından belirlenmekte ve yönetmelikteki minimum değerlerin altında pas payı seçimine Z-PRO hiç bir uyarı vermeden izin vermektedir.

X₍₉₎ : C16/18 den daha düşük ve C50/60 dan daha yüksek beton sınıfı ile proje üretilebilmektedir (Bkz. Bölüm 3.1.1).

X₍₁₀₎ : Boyuna donatılarda deprem yönetmeliğinin izin verdiği minimum çelik sınıfı S420 olmasına karşın, herhangi bir uyarı ile karşılaşmaksızın S220 donatı çeliği tanımlanıp proje üretilebilmektedir.

X₍₁₁₎ : Hiçbir uyarı ile karşılaşmaksızın S500 çelik sınıfı ile proje üretilebilmektedir (Bkz. Bölüm 3.1 Malzeme varsayımlarının irdelenmesi).

3.13.3 Perdelerde sınır değerlerin İrdelenmesi



Şekil 3.36 Perdelerde sınır değerler DY-2007 Şekil 3.11

Çizelge 3.40 DY-2007' ye göre perdelerde sınır değerler çizelgesi

Tanım	DY-2007	Açıklamalar	Z-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	$b_w \geq \text{Kat yüksekliği} / 20$ $b_w \geq 20 \text{ cm}$	DY-2007 madde 3.6.1.2 ve 3.6.1.3' te belirtilen özel durumlar dışında gövde bölgesindeki perde kalınlığı	$X_{(1)}$
	$b_w \geq \text{Kat yüksekliği} / 20$ $b_w \geq 15 \text{ cm}$	DY-2007 madde 3.6.1.2 , 3.6.2.1	
	$b_w \geq 30 \text{ cm}$	DY-2007 madde 3.6.1.3	
Min ℓ_w	$\ell_w \geq 7 b_w$	-	$X_{(2)}$
Min ℓ_u	$\ell_u \geq 2 b_w$, $\ell_u \geq 0.2 \ell_w$	Kritik perde yüksekliği boyunca	✓
	$\ell_u \geq b_w$, $\ell_u \geq 0.1 \ell_w$	Kritik perde yüksekliği dışında	
Min. uç bölgesi	$0.002 b_w \ell_w$, $4\Phi 14$	Kritik perde yüksekliği boyunca	$X_{(3)}$
düşey donatı alanı	$0.001 b_w \ell_w$, $4\Phi 14$	Kritik perde yüksekliği dışında	
$\rho_{gövde}$ (Perde gövdesi düşey ve yatay min. donatı alanı)	$\rho_{gövde} \geq 0.0025$. (Perde gövdesi brüt en kesit alanı)	-	$X_{(4)}$
Perde gövdesi boyuna ve enine donatı aralığı	$s_{gövde} \leq 25 \text{ cm}$	-	✓
Uç bölgesi min. etriye çapı	Min $\Phi_{etriye} \geq 8 \text{ mm}$	-	✓

Çizelge 3.41 DY-2007' ye göre perdelerde sınır değerler çizelgesi (Devamı)

Tanım	DY-2007	Açıklamalar	Z-PRO
Max s	$s \leq 10 \text{ cm} , s \leq b_w / 2$	Kritik perde yüksekliği boyunca	✓
	$s \leq 20 \text{ cm} , s \leq b_w$	Kritik perde yüksekliği dışında	
Min s	$s \geq 5 \text{ cm}$	Kritik perde yüksekliği boyunca	✓
Max a	$a \leq 20 \Phi_{\text{etriye}}$	-	✓
Özel deprem çirozu	10 adet / m ²	Kritik perde yüksekliği boyunca	✓
	4 adet / m ²	Kritik perde yüksekliği dışında	
Max V _d	$0.22 A_{ch} f_{cd}$ $V_r = A_{ch} (0.65 f_{ctd} + \rho_{sh} f_{ywd})$	-	✓

Açıklamalar Z-PRO:

✓ : Yazılım bu koşulu sağlıyor.

X₍₁₎ : Kat yüksekliği 3.5 m olan 6 katlı bir yapıda 20 / 180 cm boyutlarında perde tanımlanmıştır. Bu yapıdaki kritik perde yüksekliği 3.42 m' dir. Bu durumda ilk kat kritik perde yüksekliği içindedir. $H_w / \ell_w > 2.0$ olduğundan perde uç bölgesinde perdenin kısa kenarı en az $350 / 15 = 23.33 \text{ cm}$ olmalıdır. Z-PRO yazılımı ile çözülen sistemde 20/180 cm boyutlarındaki bir perde bulunmasına rağmen hiçbir uyarı ile karşılaşılmamıştır.

X₍₂₎ : Yazılım, perdenin plandaki uzunluğunun minimum boyutları koşulunu kullanıcının isteğine bağlı olarak analiz sonrası yapılan geometri kontrolü kısmında dikkate alıp yazılı hata uyarısı vermiştir. Ancak analiz sonrası rapor ve çıktı alırken bu konuda herhangi bir uyarıda bulunmamış ve de hata yokmuş gibi rapor ve çizim çıktılarını üretmiştir.

X₍₃₎ : Perde uç bölgesi minimum boyuna donatı oranı kullanıcı girişine sunulmuştur, kullanıcı minimum boyuna donatı oranının altında veya üstünde bir değer girerek yönetmeliğe aykırı bir proje üretebilir.

X₍₄₎ : Perde gövdesi minimum enine ve boyuna donatı oranı kullanıcı girişine sunulmuştur, kullanıcı bu oranının altında veya üstünde bir değer girerek yönetmeliğe aykırı proje üretebilir.

TS 500-2000'e Göre Perdelerde Sınır Değerler:

“Kesit Boyutları ile İlgili Kurallar:

Betonarme duvarlar, planda uzun kenarın kısa kenara (kalınlığa) oranı en az yedi olan düşey taşıyıcı elemanlardır.

Donatı ile İlgili Kurallar:

Betonarme duvarların her bir yüzünde yatay ve düşey çubuklardan oluşan donatı ağırları düzenlenir. Hesapların daha fazla donatı gerektirmediği durumlarda, betonarme duvara yerleştirilecek olan düşey ve yatay donatılar bu bölümde belirtilen değerlerden daha az olamaz.

Betonarme duvarın iki yüzündeki düşey donatı alanlarının toplamı, duvar tüm kesitinin (A_g) 0,0015 inden az olamaz. Ayrıca, iki yüzdeki yatay donatı alanlarının toplamı da aynı değerden az olamaz.

Düşey ve yatay donatı aralıkları, duvar kalınlığının 1.5 katından ve 300 mm den fazla olamaz.

Betonarme duvarın iki yüzündeki donatı ağırları, $1m^2$ duvar yüzeyinde en az dört tane çiroz ile karşılıklı olarak bağlanmalıdır.”

Perdelerde sınır değerler için Çizelge 3.40 ve 3.41 ile verilen DY-2007'ye ait koşullar sağlandığında TS 500-2000'deki perdeler ile ilgili sınır koşullar da sağlanmış olmaktadır.

3.13.4 Döşemelerde sınır değerlerin İrdelenmesi

Simgeler:

- L_u : Uzun kenar (aksdan-aksa)
 L_k : Kısa kenar (aksdan-aksa)
 L_{knet} : Döşemenin kısa doğrultuda giriş yüzünden giriş yüzüne ölçülen net açıklığıdır.
 m : Kenarların oranı
 h : Döşeme betonu kalınlığı
 α_s : Sürekli kenar uzunluklarının toplamının döşeme çevresine oranı
 t : Donatı aralığı
 Φ : Donatı çapı
 ρ_k : Donatı oranı (kısa doğrultuda, 1 m'lik plak şeridinde)
 ρ_u : Donatı oranı (uzun doğrultuda, 1 m'lik plak şeridinde)
 ρ : 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 : Paspayı

Çizelge 3.42 İki doğrultuda çalışan kirişli döşemelerde sınır değerler çizelgesi

Tanım	Zorunlu koşullar		Ek Öneri	Açıklama	Z-PRO
	TS 500-2000	DY-2007			
$m = L_u/L_k$	$m \leq 2$	-	-	-	✓
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)	-	✓
	$h \geq 80\text{ mm}$	-	-	-	✓
Max t	$t \leq 1.5h$ (her iki doğrultuda)	-	$t \geq 50\text{ mm}$	-	$X_{(1)}$
	$t \leq 200\text{mm}$ (kısa doğrultuda)	-		-	
	$t \leq 250\text{mm}$ (uzun doğrultuda)	-		-	
Min Φ	8 mm (çubuk) 5 mm (hasır)	-	-	-	✓
Min ρ_k	$\rho_k \geq 0.0015$	-	-	$\rho_k = \frac{A_{sk}}{1000d_k}$	$X_{(2)}$
Min ρ_u	$\rho_u \geq 0.0015$	-	-	$\rho_u = \frac{A_{su}}{1000d_u}$	
Min ρ	$\rho \geq 0.004$ (S220 için) $\rho \geq 0.0035$ (S420 ve S500 için)	-	-	$\rho_k = \rho_k + \rho_u$	$X_{(3)}$
Min pp	$pp \geq 15\text{mm}$ (kısa doğrultuda)	-	-	-	$X_{(4)}$

Açıklamalar Z-PRO:

✓ : Yazılım bu koşulu sağlıyor.

$X_{(1)}$: Maksimum ve minimum donatı aralığı kullanıcı girişine sunulmuştur, kullanıcı bu sınır değerlerin altında veya üstünde bir değer girerek yönetmeliğe aykırı proje üretebilir.

$X_{(2)}$: Uzun ve kısa doğrultudaki donatı oranları kullanıcı girişine sunulmuştur, kullanıcı bu sınır değerlerin altında veya üstünde bir değer girerek yönetmeliğe aykırı proje üretebilir.

$X_{(3)}$: Uzun ve kısa doğrultudaki donatı oranları kullanıcı girişine sunulduğundan dolayı, toplam donatı oranı da kullanıcı girişli olmaktadır. Kullanıcı bu sınır değerlerin altında veya üstünde bir değer girerek yönetmeliğe aykırı bir proje üretebilir.

$X_{(4)}$: Paspayı kullanıcı girişine sunulmuştur. Kullanıcı minimum paspayı değerinin altında bir değeri girerek yönetmeliğe aykırı bir proje üretebilir.

Çizelge 3.43 Bir doğrultuda çalışan kirişli döşemelerde sınır değerler çizelgesi

Tanım	Zorunlu koşullar		Ek Öneri	Açıklama	Z-PRO
	TS 500-2000	DY-2007			
$m = L_u/L_k$	$m > 2$	-	-	-	✓
Min h	$h \geq L_{knet}/25$ (basit mesnetli, tek açıklıklı döşemelerde)	-	$h \geq 100\text{mm}$ $h \geq 150\text{ mm}$ (Konsol, Üzerinden taşıt geçen Döşemelerde, merdiven sahanlıklarında, büyük boşluklu döşemelerde)	-	✓
	$h \geq L_{knet}/30$ (Sürekli döşemelerde)				
	$h \geq L_{knet}/12$ (konsol döşemelerde)				
	$h \geq 80\text{ mm}$ $h \geq 120\text{ mm}$ (Üzerinden taşıt geçen döşemelerde)	-	-	-	✓
Max t	$t \leq 1.5h$ (kısa doğrultuda)	-		-	X ₍₁₎
	$t \leq 200\text{mm}$ (kısa doğrultuda)	-		-	
	$t \leq 300\text{mm}$ (uzun doğrultuda)	-	$t \leq 250\text{mm}$ (uzun doğrultuda)	-	
Min Φ	8 mm (çubuk) 5 mm (hasır)	-	-	-	✓
Min ρ_k	$\rho_k \geq 0.003$ (S220) $\rho_k \geq 0.002$ (S420 ve S500 için)	-	-		X ₍₂₎
Min pp	$pp \geq 15\text{mm}$ (kısa doğrultuda)	-	-		X ₍₃₎
Min A_{su}	$A_{su} \geq A_{sk} / 5$	-	-		✓
Min A_{sek}	$A_{sek} \geq 0.6 A_{sk}$	-	-	-	✓
	$A_{sek} \geq \Phi 8/200$	-	-	S220 için	✓
	$A_{sek} \geq \Phi 8/300$	-	-	S420 için	✓

Açıklamalar Z-PRO:

✓ : Yazılım bu koşulu sağlıyor.

$X_{(1)}$: Maksimum ve minimum donatı aralığı kullanıcı girişine sunulmuştur, kullanıcı bu sınır değerlerin altında veya üstünde bir değer girerek yönetmeliğe aykırı proje üretebilir.

$X_{(2)}$: Kısa doğrultudaki minimum donatı oranı kullanıcı girişine sunulmuştur, kullanıcı bu sınır değerlerin altında veya üstünde bir değer girerek yönetmeliğe aykırı proje üretebilir.

$X_{(3)}$: Paspayı kullanıcı girişine sunulmuştur. Kullanıcı minimum paspayı değerinin altında bir değeri girerek yönetmeliğe aykırı bir proje üretebilir.

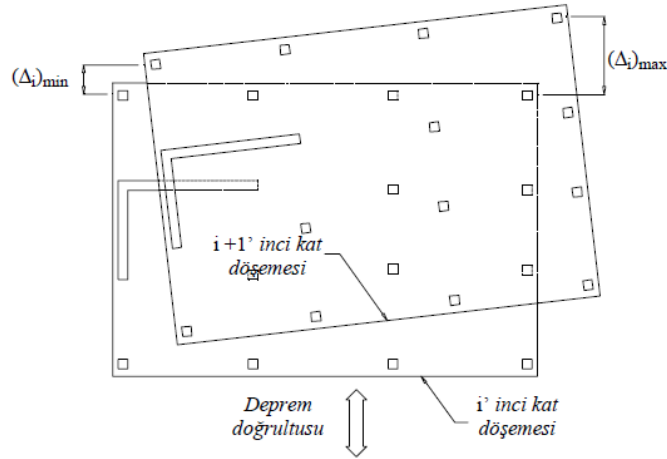
3.13.5 Z-PRO'nun DY-2007'de tanımlanan düzensizlikler bakımından irdelenmesi

Bu bölümde Z-PRO yazılımı DY-2007'de tanımlanan düzensizlikler bakımından irdelenmeye çalışılacaktır. İzlenecek yol şu şekilde olacaktır: Önce, düzensizlikle ilgili yönetmelik hükümleri özetlenecek daha sonra düzensizliği modellemek için hazırlanan örnek ya da örnekler irdelenecek ve sonuçlar ortaya koyulmaya çalışılacaktır.

3.13.5.1 A1 – Burulma düzensizliğinin irdelenmesi

DY-2007 Tablo 2.1:

“Birbirine dik iki deprem doğrultusunun herhangi biri için, herhangi bir katta en büyük görel kat ötelemesinin o katta aynı doğrultudaki ortalama görel ötelemeye oranını ifade eden Burulma Düzensizliği Katsayısı η_{bi} 'nin 1.2'den büyük olması durumu [$\eta_{bi} = (\Delta_i)_{\max} / (\Delta_i)_{\text{ort}} > 1.2$]. Görel kat ötelemelerinin hesabı, $\pm$ %5 ek dışmerkezlilik etkileri de göz önüne alınarak, 2.7'ye göre yapılacaktır.”



Döşemelerin kendi düzlemleri içinde rijit diyafram olarak çalışmaları durumunda

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

Burulma düzensizliği katsayısı :

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

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

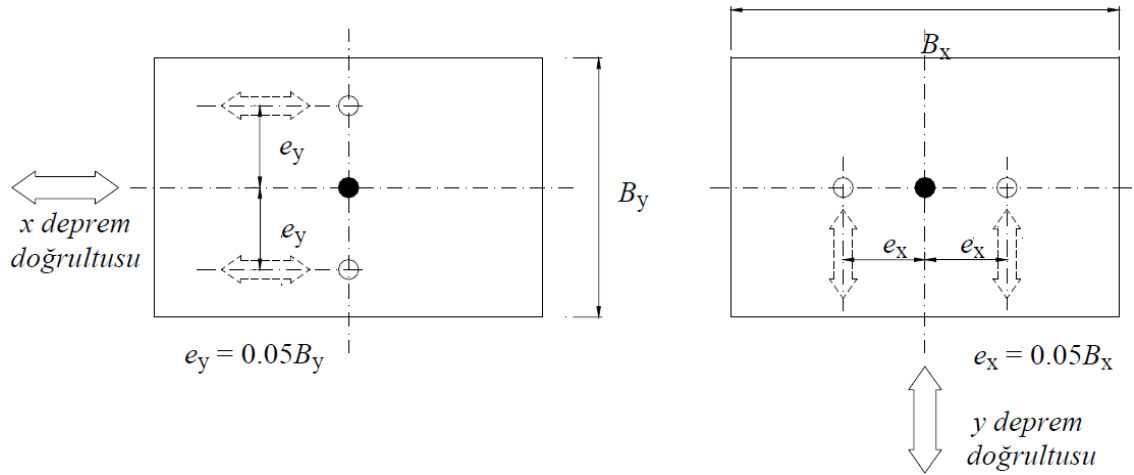
Şekil 3.37 DY-2007 (Şekil 2.1)

Z-PRO yazılımında Eşdeğer Deprem Yüğü Yönteminin kullanılmaması yalnızca Mod Birleştirme Yönteminin kullanılıyor olması nedeniyle, burulma düzensizliği katsayısı η_{bi} nin ($\eta_{bi} < 1.2$), ($1.2 < \eta_{bi} \leq 2.0$), ($\eta_{bi} > 2$) olduğu durumlarda yalnızca sistemim modal analizinin yapılması, DY-2007 Madde 2.8 in uygulanması yeterli olacaktır. DY-2007 Madde 2.8 ayrıntılı olarak Bölüm 3.13.13’de (Z-PRO ile Mod Birleştirme Yönteminin İrdelenmesi) irdelenmiştir.

Bu bölümde, η_{bi} nin ($\eta_{bi} < 1.2$), ($1.2 < \eta_{bi} \leq 2.0$), ($\eta_{bi} > 2$) olduğu durumlar için üç ayrı yapı modeli oluşturulmuş ve bu yapı modellerinde Z-PRO nun DY-2007 Madde 2.8.2.1 de belirtilen $\pm \%5$ ek dışmerkezlik değerini sınır değer olarak hesaplarda dikkate alıp almadığı araştırılmıştır.

DY-2007 Madde 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 gözönüne 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).”



Şekil 3.38 DY-2007 (Şekil 2.7)

Rijitlik ve kütle merkezleri çakışan bu sistemde **A1** düzensizliği bulunmamaktadır. Bu durumda, bu sistemde, ek dış merkezlik her iki deprem doğrultusunda da $\pm \%5$ değerini alması gerekmektedir. Eşdeğer deprem yükü yöntemi kullanılmadığından Z-PRO yazılımının bu sisteme ait deprem raporu incelendiğinde ek dışmerkezlik değerini kullanıcıya sunmadığı görülmüştür. Ancak yazılımda değişik yapı modelleriyle de yapılan irdelemeler sonucu, yapılarda burulma düzensizliği bulunsun ya da bulunmasın ek dışmerkezlik değerini $\pm \%5$ olan sınır değer olarak aldığı görülmüştür.

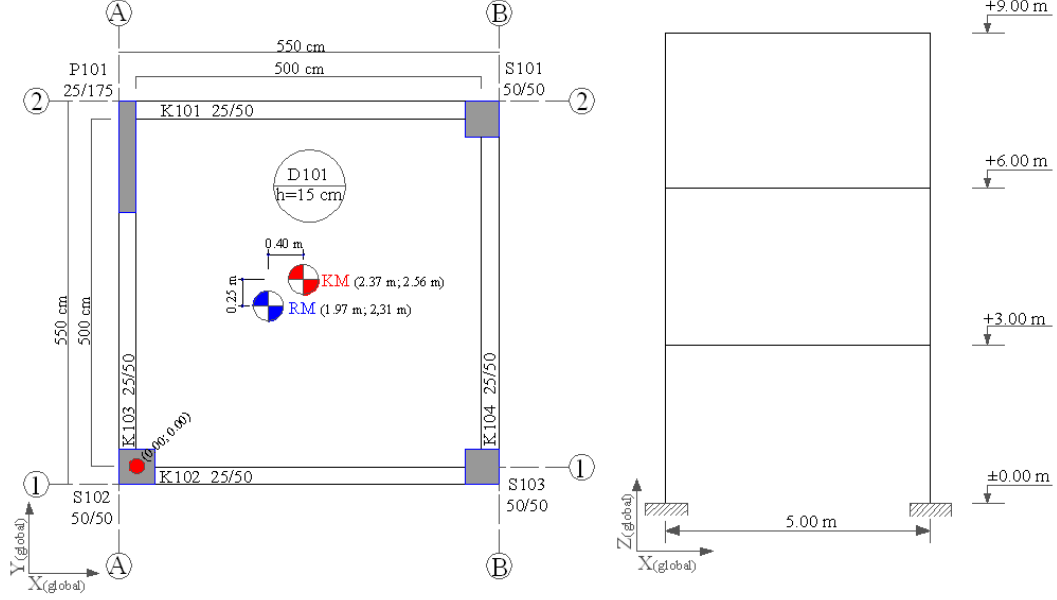
Çizelge 3.44 Z-PRO yazılımı X - Y yönü düzensizlik çizelgesi

Kat	(d_i) (m)	(Δ_i) _{min} (m)	(Δ_i) _{max} (m)	(Δ_i) _{ort} (m)	η_{bi}	Ek Dışmerkezlik
3	0.00153	0.000408	0.000445	0.000426	1.04	DİNAMİK ANALİZ ($e_x = e_y = \pm 0.05$)
2	0.00109	0.000577	0.000633	0.000605	1.05	DİNAMİK ANALİZ ($e_x = e_y = \pm 0.05$)
1	0.00046	0.000414	0.000457	0.000435	1.05	DİNAMİK ANALİZ ($e_x = e_y = \pm 0.05$)

d_i : Binanın i 'inci katında azaltılmış deprem yüklerine göre hesaplanan yer değiştirme
 $(\Delta_i)_{\min}$: Binanın i 'inci katındaki minimum azaltılmış görelî kat ötelemesi
 $(\Delta_i)_{\max}$: Binanın i 'inci katında maksimum azaltılmış görelî kat ötelemesi
 $(\Delta_i)_{\text{ort}}$: Binanın i 'inci katında ortalama azaltılmış görelî kat ötelemesi

Şekil 3.39 dan da açıkça görüldüğü gibi, sistem simetrik olduğundan yapının ağırlık merkezi ile rijitlik merkezi çakışık olmak zorundadır ve katlardaki görelî kat ötelemeleri eşit olacağından $\eta_{bi} = 1$ olmalıdır. Ancak DY-2007 gereği ek dış merkezliğin $\pm \%5$ alınması ve burulma düzensizliği katsayısının bir den farklı ($\eta_{bi} \neq 1$) olması gerekmektedir. Çizelge 3.44 incelendiğinde Z-PRO her iki deprem doğrultusunda; 3. kat için $\eta_{bi} = 1.04$, 2. kat için $\eta_{bi} = 1.05$, 1. kat için $\eta_{bi} = 1.05$ olarak hesaplamış ve ek dış merkezliğin $\pm \%5$ alındığını deprem yönetmeliği raporunda belirtmiştir.

1.2 < $\eta_{bi} \leq 2.0$ Durumunun irdelenmesi



C25/30-S420a, $A_0 = 0.30$, $R_X = R_Y = 7$, $I = 1$, Yerel Zemin Sınıfı = Z2, Kat Yüksekliği = 3 m

Şekil 3.40 1.2 < $\eta_{bi} \leq 2.0$ örneği 1. kat kalıp planı

Şekil 3.37 deki sistem Z-PRO ile çözülürken şu kabuller yapılmıştır:

- Kolon, kiriş ve döşeme zati ağırlıkları ihmal edilmemiştir.
- Kirişin kolon içinde kalan rijit kolları dikkate alınmamıştır.
- Kesme alanı, kesit alanının 5/6 sı alınmıştır.
- Tasarım momenti $M_d = 1.4 G + 1.6 Q$ olarak hesaplanmıştır.
- Rijit diyafram kabulü yapılmıştır.
- Sistemin deprem analizi mod birleştirme yöntemine göre yapılmıştır. Z-PRO' da eşdeğer deprem yükü yöntemi ile analiz yapılamamaktadır.

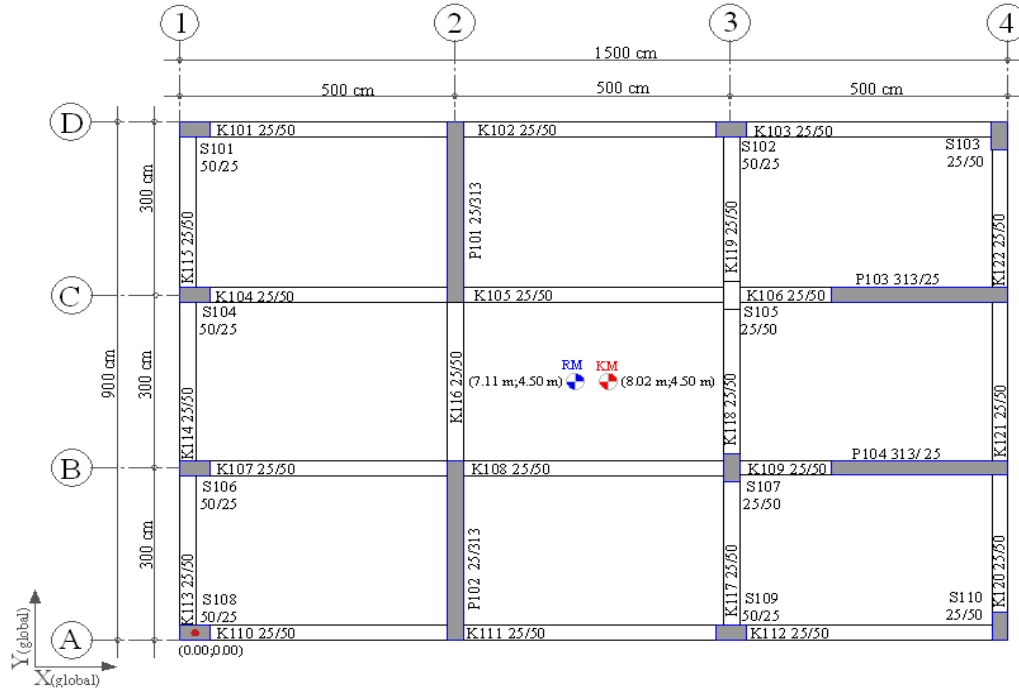
Rijitlik ve kütle merkezlerinin konumundan da anlaşılacağı üzere bu yapıda “ $Y_{(global)}$ ” yönünde **A1** düzensizliği vardır. Yazılımın bu yapıya ait deprem raporundan alınan aşağıdaki çizelge incelendiğinde tüm katlardaki η_{bi} değerlerinin **1.2**'den büyük olduğu görülür. Bu durumda Z-PRO, $\pm$ %5 ek dışmerkezlilikleri de hesaplara dahil ederek modal analiz yapmıştır.

Çizelge 3.45 Z-PRO yazılımı Y yönü düzensizlik çizelgesi

Kat	(d _i) (m)	(Δ _i) _{min} (m)	(Δ _i) _{max} (m)	(Δ _i) _{ort} (m)	η _{bi}	Ek Dışmerkezlilik
3	0.00137	0.000205	0.000374	0.000290	1.29	DİNAMİK ANALİZ (e _Y = ±0.05)
2	0.00099	0.000252	0.000571	0.000411	1.39	DİNAMİK ANALİZ (e _Y = ±0.05)
1	0.00042	0.000149	0.000422	0.000286	1.48	DİNAMİK ANALİZ (e _Y = ±0.05)

Z-PRO yazılımı $1.2 < \eta_{bi} \leq 2.0$ olması durumunda, deprem yönetmeliği raporunda “*A1 düzensizliği vardır, dinamik analiz yapılmıştır*” şeklinde rapor vermiştir.

η_{bi} > 2 Durumunun irdelenmesi



C25/30-S420a, A₀ = 0.30, R_X = R_Y = 6, I = 1, Yerel Zemin Sınıfı = Z2, Kat Yüksekliği = 3 m

Şekil 3.41 η_{bi} > 2 örneği 1. kat kalıp planı

η_{bi} katsayısını 2 nin üzerine çıkarabilmek için çeşitli denemeler sonucu Şekil 3.41 deki üç katlı kalıp planı verilen sistem oluşturulmuştur. Sistem Z-PRO ile çözülürken şu kabuller yapılmıştır:

- Kolon, kiriş ve döşeme zati ağırlıkları ihmal edilmemiştir.
- Kirişin kolon içinde kalan rijit kolları dikkate alınmamıştır.
- Kesme alanı, kesit alanının 5/6 sı alınmıştır.
- Tasarım momenti $M_d = 1.4 G + 1.6 Q$ olarak hesaplanmıştır.
- Rijit diyafram kabulü yapılmıştır.
- Sistemin deprem analizi mod birleştirme yöntemine göre yapılmıştır. Z-PRO’ da eşdeğer deprem yükü yöntemi ile analiz yapılamamaktadır.

Çizelge 3.46 Z-PRO yazılımı Y yönü düzensizlik çizelgesi

Kat	(d_i) (mm)	(Δ_i) _{min} (mm)	(Δ_i) _{max} (mm)	(Δ_i) _{ort} (mm)	η_{bi}	Ek Dışmerkezlik
3	1.26	-0.006	0.347	0.171	2.04	DİNAMİK ANALİZ ($e_Y = \pm 0.05$)
2	0.91	-0.017	0.509	0.246	2.07	DİNAMİK ANALİZ ($e_Y = \pm 0.05$)
1	0.40	-0.034	0.403	0.184	2.18	DİNAMİK ANALİZ ($e_Y = \pm 0.05$)

Şekil 3.41’de kalıp planı verilen sistemde burulma düzensizliği katsayısının $\eta_{bi} > 2$ olduğu görülmüştür. Yazılım bu durumu belirleyerek kullanıcıyı uyarıyor, $\pm \%5$ ek dışmerkezlikleride hesaplara dahil ederek modal analiz yapmıştır.

Şekil 3.41’de kalıp planı verilen sistem rijit diyafram kabulü yapılmadan Z-PRO da analiz edildiğinde yazılım η_{bi} değerini kullanıcıya sunmamış yalnızca “A1 düzensizliği yoktur” demekle yetinmiştir. Oysaki Şekil 3.41’de verilen sistemde A1 düzensizliğinin bulunduğu açıkça görülmektedir. Z-PRO’ da oluşturulan sistemler rijit

diyafram kabulü yapılmadan analiz edildiğinde yazılım A1 düzensizliğini belirleyememektedir.

Sonuç olarak Z-PRO ile mod birleştirme yöntemi kullanılıp rijit diyafram kabulü yapılarak yapılan analizlerde, yazılım A1 düzensizliği ile ilgili kontrolleri genel hatları ile yerine getirmektedir.

3.13.5.2 A2 ve A3 – türü düzensizliklerin irdelenmesi

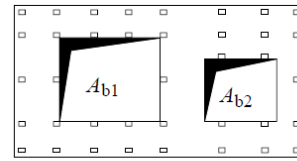
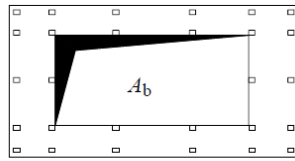
DY-2007 Tablo 2.1 de A2 düzensizliği;

“Herhangi bir kattaki döşemede;

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.”



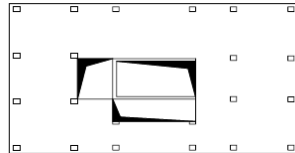
$$A_b = A_{b1} + A_{b2}$$

A2 türü düzensizlik durumu – I

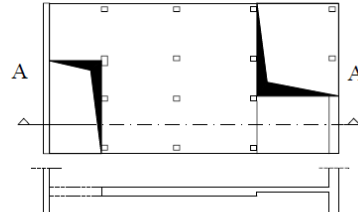
$$A_b / A > 1/3$$

A_b : Boşluk alanları toplamı

A : Brüt kat alanı



A2 türü düzensizlik durumu – II

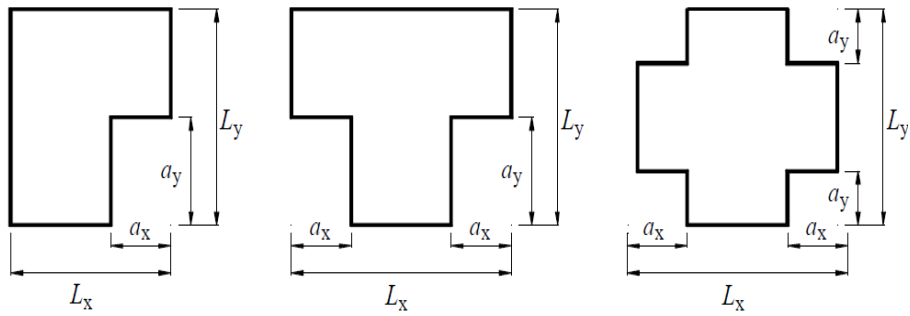


A2 türü düzensizlik durumu – II ve III

Şekil 3.42 DY-2007 (Şekil 2.2)

DY-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 doğrultulardaki toplam plan boyutlarının %20'sinden daha büyük olması durumu.”



A3 türü düzensizlik durumu:

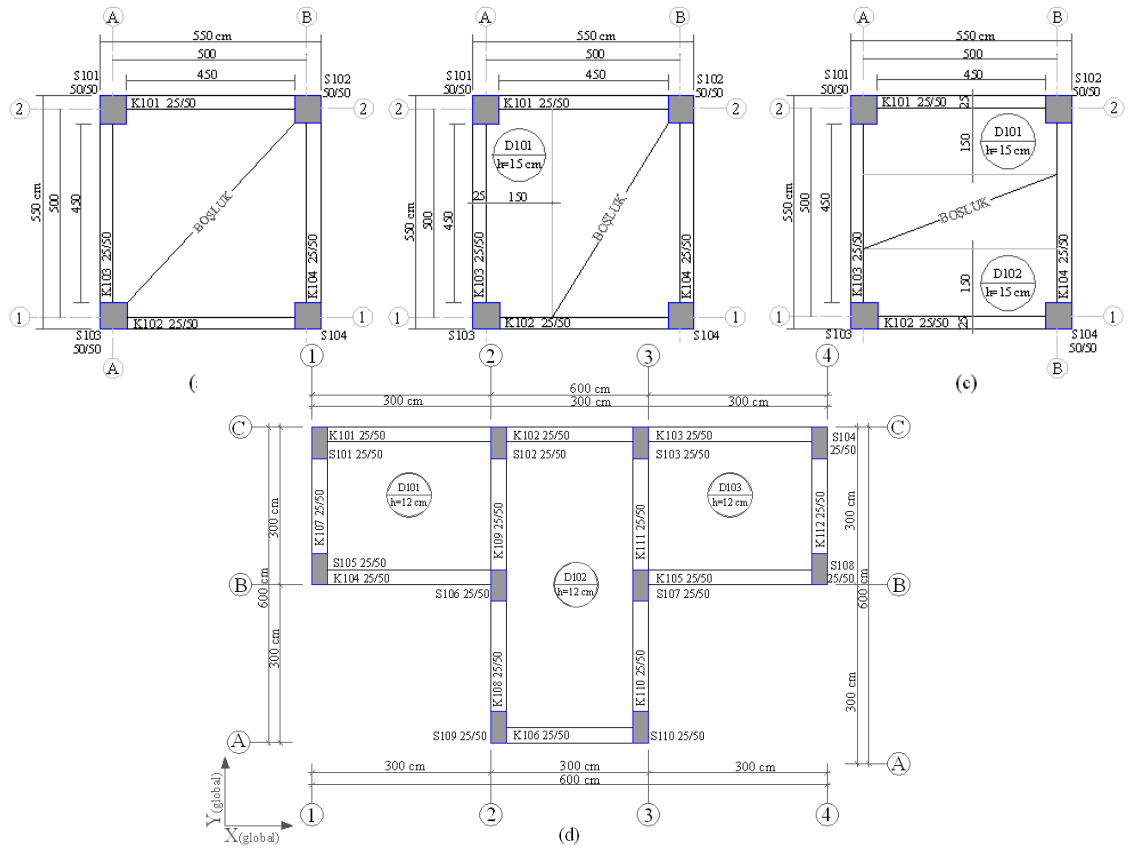
$$a_x > 0.2 L_x \text{ ve aynı zamanda } a_y > 0.2 L_y$$

Şekil 3.43 DY-2007 (Şekil 2.3)

DY-2007 Madde 2.3.2.2:

“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.”

A2 ve A3 düzensizliklerinin irdelenmesi için Şekil 3.44’de verilen örnek kalıp planları hazırlanmıştır.



C20/25 -S420a, $A_0 = 0.40$, $R_X = R_Y = 8$, $I = 1$, Yerel Zemin Sınıfı = Z2, Kat Yüksekliği = 3 m

Şekil 3.44 A2 ve A3 türü düzensizliklerin irdelenmesi için hazırlanan örnek kalıp planları

Sistem Z-PRO ile çözülürken şu kabuller yapılmıştır:

- Kolon, kiriş ve döşeme zati ağırlıkları ihmal edilmemiştir.
- Kirişin kolon içinde kalan rijit kolları dikkate alınmamıştır.
- Kesme alanı, kesit alanının 5/6 sı alınmıştır.
- Tasarım momenti $M_d = 1.4 G + 1.6 Q$ olarak hesaplanmıştır.
- Rijit diyafram kabulü yapılmıştır.
- Sistemin deprem analizi mod birleştirme yöntemine göre yapılmıştır.

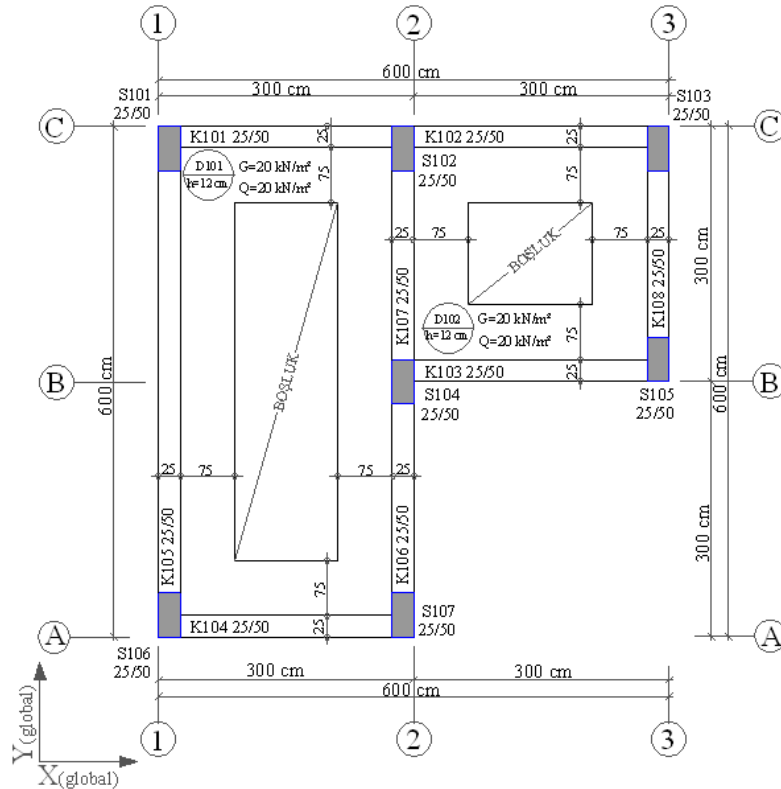
Analiz sonucu yazılım, yapı özet raporu ve düzensizlik raporu kısmında “bütün katlarda A2 ve A3 düzensizliği koşulu sağlanmıştır” ve “kullanıcı denetledi” şeklinde rapor vermiştir. Ancak Şekil 3.44 (a), (b) ve (c)’ de kalıp planı verilen sistemlerin

tümünde döşemelerdeki boşluk alanlarının toplamı kat brüt alanının 1/3 ünden çok fazladır, verilen örneklerde A2 düzensizliğinin bulunduğu açıkça görülmektedir. Şekil 3.44 (d)' de ise A3 düzensizliğinin bulunduğu aşağıdaki el hesabından da açıkça belirlenmiştir.

$$a_x = 3.00\text{m} , L_x = 9.00\text{m} , a_x = 3.00\text{m} > 0.2 L_x = 1.80\text{m} ! \text{ A3 Düzensizliği Durumu}$$

$$a_y = 3.00\text{m} , L_y = 6.00\text{m} , a_y = 3.00\text{m} > 0.2 L_y = 1.20\text{m} ! \text{ A3 Düzensizliği Durumu}$$

Z-PRO yazılımı kullanıcıya A2 ve A3 türü düzensizliklerin birlikte kontrol edildiği ayrı bir hesap raporu sunmaktadır. Bu raporun daha iyi irdelenebilmesi için Şekil 3.45'de kalıp planı verilen sistem hazırlanmıştır.



C20/25-S420a, $A_0 = 0.40$, $R_X = R_Y = 8$, $I = 1$, Yerel Zemin Sınıfı =Z2, Kat Yüksekliği =3 m

Şekil 3.45 A2 ve A3 türü düzensizliklerin birlikte irdelenmesi için hazırlanan örnek

Şekil 3.45 deki sistem Z-PRO ile çözülürken şu kabuller yapılmıştır:

- Kolon, kiriş ve döşeme zati ağırlıkları ihmal edilmiştir.
- Sistem yalnızca döşemelere etki ettirilen $Q=20 \text{ kN/m}^2$ lik sabit yük ile $Q=20 \text{ kN/m}^2$ lik hareketli yük altında analiz edilmiştir.
- Kirişin kolon içinde kalan rijit kolları dikkate alınmamıştır.
- Kesme alanı, kesit alanının 5/6 sı alınmıştır.
- Tasarım momenti $M_d = 1.4 G + 1.6 Q$ olarak hesaplanmıştır.
- Rijit diyafram kabulü yapılmıştır.
- Sistemin deprem analizi mod birleştirme yöntemine göre yapılmıştır.

Analiz sonucu yazılım, yapı özet raporu ve düzensizlik raporu kısmında “bütün katlarda A2 ve A3 düzensizliği koşulu sağlanmıştır” ve “kullanıcı denetledi” şeklinde rapor vermiştir. Örnekte verilen kalıp planı incelendiğinde A2 ve A3 düzensizliğinin sistemde var olduğu açıkça görülmektedir.

Z-PRO yazılımı bu düzensizliklerin irdelenmesi için analiz sonrası deprem yönetmeliği raporunda yer alan A2 ve A3 düzensizliği kontrolü adı altında kullanıcıya ayrı bir seçenek sunmuştur. Bu seçenekle birlikte sunulan hesaplarda, kat döşemelerinin kendi düzlemleri içinde deprem kuvvetlerini düşey taşıyıcı sistem elemanları arasında güvenle aktarılabilirdiği doğrulanmaya çalışılmıştır. Bu amaçla Z-PRO da, seçilen bir döşeme kesiti, seçilen kolonlardaki deprem kesme kuvvetlerinin oluşturduğu momentlerle tahkik edilerek, her bir deprem doğrultusu için, kesitteki beton tasarım çekme dayanımının (f_{ctd}) yeterli olup olmadığı kontrol edilir. Eğer dayanım yeterli değilse; yazılımın söz konusu döşeme kesiti için önerdiği donatı alanını, döşeme kesitinin altına veya üstüne yerleştirilmesi yönünde kullanıcı uyarılmaktadır.

Şekil 3.45’de verilen kalıp planında analiz sonrası seçilen değişik kolon ve döşeme kesiti için yapılan A2 ve A3 düzensizliği kontrolü sonucu (EY+) ve (EX-) deprem yönü doğrultularında beton tasarım çekme dayanımının yeterli olmadığı, denemeler sonucu seçilen en kritik olabilecek döşeme kesitine EY+ yönünde 3.08 cm^2 ve EX- yönünde 4.13 cm^2 ’lik eğilme donatısı konulması gerektiği raporda belirtilmiştir.

Z-PRO yazılımının seçilen döşemeler için hesaplayıp kullanıcıya sunduğu bu ilave eğilme donatılarıyla ilgili olarak, seçilen döşemelerin döşeme rapor sonuçları ile kalıp planı çizimleri incelenmiştir. A2 ve A3 düzensizliği sonucu ilave edilmesi gereken eğilme donatıları kalıp planında dikkate alınmış ve çizimlere yansıtılmıştır.

Sonuç olarak, Z-PRO’da deprem kuvvetlerinin taşıyıcı sistem elemanları arasında güvenle aktarıldığı kullanıcı inisiyatifinde hesapla doğrulanmaktadır. Kullanıcı bilerek veya bilmeyerek bu durumu göz ardı edebilir. Z-PRO yazılımının doğrudan A2 ve A3 düzensizliklerini belirleyemediği anlaşılmıştır.

3.13.5.3 B1 – Komşu katlar arası dayanım düzensizliğinin (Zayıf Kat) irdelenmesi

DY-2007 Tablo 2.1:

“Betonarme binalarda, birbirine dik iki deprem doğrultusunun herhangi birinde, herhangi bir kattaki etkili kesme alanı’nın, bir üst kattaki etkili kesme alanı’na oranı olarak tanımlanan Dayanım Düzensizliği Katsayısı η_{ci} ’nin 0.80’den küçük olması durumu.”

$$[\eta_{ci} = (\Sigma A_e)_i / (\Sigma A_e)_{i+1} < 0.80]$$

Herhangi bir katta etkili kesme alanının tanımı:

$$\Sigma A_e = \Sigma A_w + \Sigma A_g + 0.15 \Sigma A_k$$

Simgeler:

η_{ci} : Dayanım düzensizliği katsayısı

ΣA_e : Herhangi bir katta, göz önüne alınan deprem doğrultusunda etkili kesme alanı

ΣA_w : Herhangi bir katta, kolon enkesiti etkin gövde alanlarının toplamı (depreme dik doğrultudaki kolon çıkıntılarının alanı hariç)

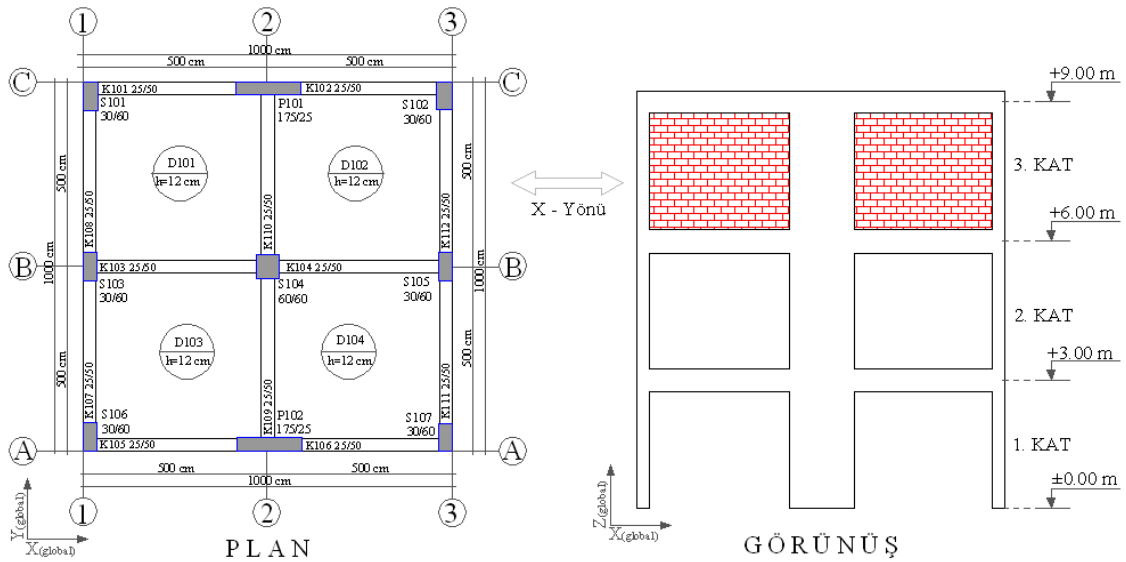
ΣA_g : Herhangi bir katta, göz önüne alınan deprem doğrultusuna paralel doğrultuda perde olarak çalışan taşıyıcı sistem elemanlarının enkesit alanlarının toplamı

ΣA_k : Herhangi bir katta, göz önüne alınan deprem doğrultusuna paralel kargir dolgu duvar alanlarının (kapı ve pencere boşlukları hariç) toplamı

DY-2007 Madde 2.3.2.3:

“**B1** türü düzensizliğin bulunduğu binalarda, göz önüne alınan i'inci kattaki dolgu duvarı alanlarının toplamı bir üst kattanına göre fazla ise, η_{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 (**R**), $1.25 (\eta_{ci})_{min}$ 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 artırılarak deprem hesabı tekrarlanacaktır.

0.6 < η_{ci} < 0.8 Durumunun irdelenmesi:



C25/30-S420a, $A_0 = 0.40$, $R_X = 6$, $R_Y = 8$, $I=1$, Yerel Zemin Sınıfı =Z4, Kat Yüksekliği=3 m

Şekil 3.46 B1 düzensizliği 0.6 < η_{ci} < 0.8 örneği kalıp planı ve görünüşü

B1 düzensizliğinin irdelenebilmesi için Şekil 3.46'da plan ve görünüşü verilen sistem oluşturulmuş ve Z-PRO ile analiz edilirken şu kabuller yapılmıştır:

- Kolon, kiriş ve döşeme duvar zati ağırlıkları ihmal edilmemiştir.
- Kirişin kolon içinde kalan rijit kolları dikkate alınmıştır.
- Kesme alanı, kesit alanının 5/6 s'ı alınmıştır.

- 2. Kat tavanında bulunan bütün kirişlerin üstünde yüksekliği 2.5 m, kalınlığı 19 cm olan gazbeton ile örülü boşluksuz duvarlar bulunmaktadır. 1. ve 2. Katta duvar yoktur. gazbeton ağırlığı 6.374 kN/m alınmıştır.
- Tasarım momenti $M_d = 1.4 G + 1.6 Q$ olarak hesaplanmıştır.
- Rijit diyafram kabulü yapılmıştır.
- Sistemin deprem analizi mod birleştirme yöntemine göre yapılmıştır.

B1 düzensizliği el hesabı (Şekil 3.46’de verilen örnek için):

Çizelge 3.47 B1 düzensizliği el hesabı çizelgesi (Şekil 3.46’da verilen örnek için)

Kat	ΣA_w (m ²)	ΣA_{qx} (m ²)	ΣA_{qy} (m ²)	$0.15(\Sigma A_{kx})$ (m ²)	$0.15(\Sigma A_{ky})$ (m ²)	ΣA_{ex} (m ²)	ΣA_{ey} (m ²)	η_{cix}	η_{ciy}	Açıklama
3	1.44	0.87	0	$0.15*(0.19*3.825*4+0.19*4.4*2)$ $=0.15(4.62) = 0.69$	$0.15*(0.19*4.1*4+0.19*4.5*2)$ $=0.15(4.83) = 0.73$	3.00	2.17	-	-	Üst Kat✓
2	1.44	0.87	0	0	0	2.31	1.44	0.77	0.66	Düzensiz
1	1.44	0.87	0	0	0	2.31	1.44	1.00	1.00	Düzenli✓

$$\eta_{c1x} = (\Sigma A_{ex})_1 / (\Sigma A_{ex})_2 = 2.31/2.31 = 1 > 0.80 \checkmark$$

$$\eta_{c2x} = (\Sigma A_{ex})_2 / (\Sigma A_{ex})_3 = 2.31/3.00 = 0.77 < 0.80 \text{ B1 Düzensizliği vardır!}$$

$$\eta_{c1y} = (\Sigma A_{ey})_1 / (\Sigma A_{ey})_2 = 1.44/1.44 = 1 > 0.80 \checkmark$$

$$\eta_{c2y} = (\Sigma A_{ey})_2 / (\Sigma A_{ey})_3 = 1.44/2.17 = 0.66 < 0.80 \text{ B1 Düzensizliği vardır!}$$

Bu nedenle, DY-2007 Madde 2.3.2.3 uygulanmak zorundadır.

B1 düzensizliği Z-PRO yazılımı hesabı (Şekil 3.46’da verilen örnek için):

Şekil 3.46’da planı ve görünüşü verilen sistem Z-PRO yazılımı ile çözülmüştür. Yazılım, yapılan analiz sonucu, deprem yönetmeliği genel raporunda B1 düzensizliğini tespit edip kullanıcıyı uyarmıştır. Ancak Yazılım, örnekteki sistemde “Y Yönü” deprem doğrultusuna paralel yönde perde bulunmamasına rağmen bu doğrultuda da perde enkesit alanı hesaplamıştır. Yazılım her iki deprem doğrultusu için de sistemde bulunan tüm perdelerin enkesit alanları toplamını hesaba katmıştır. $\eta_{c2y} = 0.66$ olması

gerekirken yazılım $\eta_{c2y} = 0.75$ olarak hesaplamıştır. Bu durum yönetmeliğe aykırı projelerin üretilmesine neden olmaktadır.

Z-PRO her iki deprem doğrultusuna paralel, dolgu duvar alanlarını hesaba katmıştır. Ancak, yazılım elle yapılan hesap sonuçlarından, X Yönü için 0.27 m^2 , Y Yönü için 0.3 m^2 daha fazla duvar en kesit alanı hesaplamıştır. Bu durumun nedeni olarak, yazılımın her iki deprem doğrultusu için de, duvar en kesit alanları toplamını hesaplarken, duvar kalınlığına iç ve dış sıva kalınlıklarını da ilave etmiş olabileceği düşünülmektedir. Kolon ve perde en kesitleri de katlar arasında değişmediğinden “ η_{ci} ” katsayısı 1 olmaktadır. Çok katlı yapılarda üst kat kolon enkesitlerinin küçülmesi durumunda da “ η_{ci} ” katsayısı 1’den daha büyük olacaktır.

Çizelge 3.48 Z-PRO B1 düzensizlik kontrolü çizelgesi (Şekil 3.46’da verilen örnek için)

Kat	ΣA_w (m^2)	ΣA_{qx} (m^2)	ΣA_{qy} (m^2)	ΣA_{kx} (m^2)	ΣA_{ky} (m^2)	ΣA_{ex} (m^2)	ΣA_{ey} (m^2)	η_{cix}	η_{ciy}	Açıklama
3	1.44	0.87	0.87^1	$(4.89)^2$	$(5.13)^2$	3.05	3.09	-	-	Üst Kat✓
2	1.44	0.87	0.87^1	0	0	2.31	2.31	0.76	0.75	Düzensiz
1	1.44	0.87	0.87^1	0	0	2.31	2.31	1.00	1.00	Düzenli✓

¹Z-PRO her iki deprem doğrultusunda da perde en kesit alanları toplamını (ΣA_{qx} , ΣA_{qy}), perdelerin çalışma doğrultusunu dikkate almaksızın, sistemde bulunan tüm perdelerin enkesit alanları toplamı olarak hesaplara dahil etmiştir. Yönetmeliğe aykırı bir durumdur.

²Yazılım, duvar en kesit alanları toplamı hesabında, duvar kalınlığına iç ve dış sıva kalınlıklarını da ilave etmiş olabileceği düşünülmektedir.

B1 Düzensizliğinin bulunduğu yapılar depremde büyük tehlike arz etmektedir, bu nedenle DY-2007 Madde 2.3.2.3 bu tür düzensizlik durumunda yaptırımlar getirmiştir:

“ $0.60 \leq (\eta_{ci})_{min} < 0.80$ aralığında DY-2007 Tablo 2.5’ te verilen taşıyıcı sistem davranış katsayısı R , $1.25 (\eta_{ci})_{min}$ değeri ile çarpılarak her iki deprem doğrultusunda da binanın tümüne uygulanacaktır.”

Buna göre, $(\eta_{ci})_{\min}$ 0,8'den küçük olduğu için, $1.25 (\eta_{ci})_{\min} < 1$ olacaktır. Bu değerle taşıyıcı sistem davranış katsayısının küçültülmesi hesapların daha büyük bir deprem yükü ile yapılması anlamındadır.

Z-PRO yazılımı tarafından tespit edilen taşıyıcı sistem davranış katsayıları:

X-Yönü deprem doğrultusu için; $1.25(\eta_{c2x}) = 1.25*(0.76) = 0.95$ $R_X = 6*0.95 = 5.70$

Y-Yönü deprem doğrultusu için; $1.25(\eta_{c2y}) = 1.25*(0.75) = 0.93$ $R_Y = 8*0.93 = 7.50$

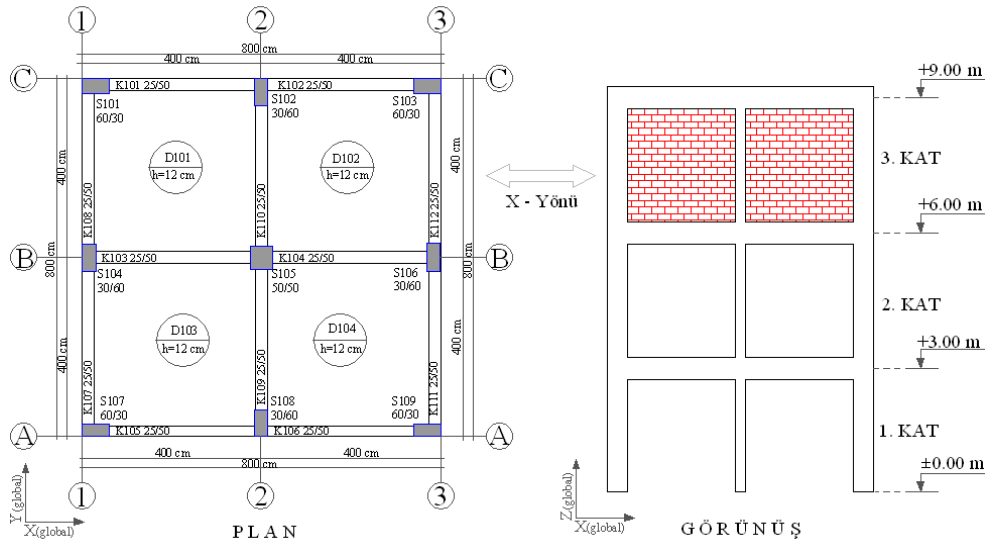
El hesabı sonucu tespit edilen taşıyıcı sistem davranış katsayıları:

X-Yönü deprem doğrultusu için; $1.25(\eta_{ciX}) = 1.25*(0.77) = 0.96$ $R_X = 6*0.96 = 5.76$

Y-Yönü deprem doğrultusu için; $1.25(\eta_{ciY}) = 1.25*(0.66) = 0.83$ $R_Y = 8*0.83 = 6.64$

Z-PRO yazılımı, perde-çerçevesi sistemlerde, B1 düzensizliğini doğru olarak tespit edememiştir. Hesaplamalarda her iki deprem doğrultusu içinde perde enkesit alanları toplamını, sistemde bulunan tüm perdelerin enkesit alanları toplamı olarak ele almış perdelerin çalışma doğrultularını dikkate almamıştır. Bu durum yönetmeliğe aykırı projelerin üretilmesine neden olmaktadır.

$\eta_{ci} < 0.6$ Durumunun irdelenmesi:



C25/30-S420a, $A_0 = 0.40$, $R_X = R_Y = 8$, $I=1$, Yerel Zemin Sınıfı = Z4, Kat Yüksekliği = 3 m

Şekil 3.47 B1 düzensizliği $\eta_{ci} < 0.6$ örneği kalıp planı ve görünüşü

Şekil 3.47’de plan ve görünüşü verilen sistem Z-PRO ile analiz edilirken şu kabuller yapılmıştır:

- Kolon, kiriş ve döşeme zati ağırlıkları ihmal edilmemiştir.
- 2. Kat tavanında bulunan bütün kirişlerin üstünde yüksekliği 2.5 m, kalınlığı 19 cm olan gazbeton ile örülü boşluksuz duvarlar bulunmaktadır. 1. ve 2. Katta duvar yoktur. Gazbeton ağırlığı 6.374 kN/m alınmıştır.
- Kirişin kolon içinde kalan rijit kolları dikkate alınmıştır.
- Kesme alanı, kesit alanının 5/6 sı alınmıştır.
- Tasarım momenti $M_d = 1.4 G + 1.6 Q$ olarak hesaplanmıştır.
- Rijit diyafram kabulü yapılmıştır.
- Sistemin deprem analizi mod birleştirme yöntemine göre yapılmıştır.

B1 düzensizliği el hesabı (Şekil 3.47’de verilen örnek için):

Çizelge 3.49 B1 düzensizliği el hesabı çizelgesi (Şekil 3.47’de verilen örnek için)

Kat	ΣA_w (m ²)	ΣA_{qx} (m ²)	ΣA_{qy} (m ²)	$0.15(\Sigma A_{kx})$ (m ²)	$0.15(\Sigma A_{ky})$ (m ²)	ΣA_{ex} (m ²)	ΣA_{ey} (m ²)	η_{cix}	η_{ciy}	Açıklama
3	1.25	0	0	$0.15*(0.19*5.375*4+0.19*5.5*2)=0.15(6.175)=0.926$	$0.15*(0.19*5.5*4+0.19*5.25*2)=0.15(6.175)=0.926$	2.176	2.176	-	-	Üst Kat✓
2	1.25	0	0	0	0	1.25	1.25	0.57	0.57	Düzensiz
1	1.25	0	0	0	0	1.25	1.25	1.00	1.00	Düzenli✓

$$\eta_{c1x} = (\Sigma A_{ex})_1 / (\Sigma A_{ex})_2 = 1.25/1.25 = 1 > 0.80 \checkmark$$

$$\eta_{c2x} = (\Sigma A_{ex})_2 / (\Sigma A_{ex})_3 = 1.25/2.176 = 0.57 < 0.60 \text{ B1 Düzensizliği vardır!}$$

$$\eta_{c1y} = (\Sigma A_{ey})_1 / (\Sigma A_{ey})_2 = 1.25/1.25 = 1 > 0.80 \checkmark$$

$$\eta_{c2y} = (\Sigma A_{ey})_2 / (\Sigma A_{ey})_3 = 1.25/2.176 = 0.57 < 0.60 \text{ B1 Düzensizliği vardır!}$$

Bu nedenle, DY-2007 Madde 2.3.2.3 uygulanmak zorundadır.

DY-2007 Madde 2.3.2.3’e göre η_{c2x} ve $\eta_{c2y} = 0.57 < 0.60$ olduğu için bu katın (2.Kat) dayanımı ve rijitliği artırılarak deprem hesabı tekrarlanmalıdır.

B1 düzensizliği Z-PRO yazılımı hesabı (Şekil 3.47’de verilen örnek için):

Şekil 3.47’de planı ve görünüşü verilen sistem Z-PRO yazılımı ile çözülmüştür. Yazılım, yapılan analiz sonucu, B1 düzensizliğini tespit edip yazılı hata raporu vererek $\eta_{c2x} = 0.56 < 0.60$ ve $\eta_{c2y} = 0.56 < 0.60$ olduğundan kullanıcıyı sistem rijitliğinin artırılması konusunda uyarmıştır.

Çizelge 3.50 Z-PRO B1 düzensizlik kontrolü çizelgesi (Şekil 3.47’ de verilen örnek için)

Kat	ΣA_w (m ²)	ΣA_{qx} (m ²)	ΣA_{qy} (m ²)	ΣA_{kx} (m ²)	ΣA_{ky} (m ²)	ΣA_{ex} (m ²)	ΣA_{ey} (m ²)	η_{cix}	η_{ciy}	Açıklama
3	1.25	0	0	(6.59) ¹	(6.59) ¹	2.24	2.24	-	-	Üst Kat✓
2	1.25	0	0	0	0	1.25	1.25	0.56	0.56	Düzensiz
1	1.25	0	0	0	0	1.25	1.25	1.00	1.00	Düzenli✓

¹Yazılım, duvar en kesit alanları toplamı hesabında, duvar kalınlığına iç ve dış sıva kalınlıklarını da ilave etmiş olabileceği düşünülmektedir.

Sonuç olarak; Z-PRO yazılımı, salt çerçeve sistemler için B1 düzensizliğini tespit etmiş, yönetmelik gereği taşıyıcı sistem davranış katsayısını $1.25(\eta_{ci})_{\min}$ değeri ile çarparak her iki deprem doğrultusu içinde bu durumu dikkate almıştır. Ancak yazılım, perde-çerçeve sistemlerde, bu durumu doğru olarak tespit edememiştir. Hesaplamalarda her iki deprem doğrultusu içinde perde enkesit alanları toplamını, sistemde bulunan tüm perdelerin enkesit alanları toplamı olarak ele almış perdelerin çalışma doğrultularını dikkate almamıştır. Bu durum yönetmeliğe aykırı projelerin üretilmesine neden olmaktadır.

3.13.5.4 B2 – Komsu katlar arası rijitlik düzensizliği (Yumuşak Kat) irdelenmesi

DY-2007 Tablo 2.1:

“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 η_{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 dışmerkezlik etkileri de göz önüne alınarak 2.7’ye göre yapılacaktır.”

Simgeler:

η_{ki} : Binanın i’inci katında tanımlanan Rijitlik Düzensizliği Katsayısı

Δ_i : Azaltılmış görelî kat ötelemesi (herhangi bir kolon veya perde için, ardışık iki kat arasındaki yer değiştirme farkı)

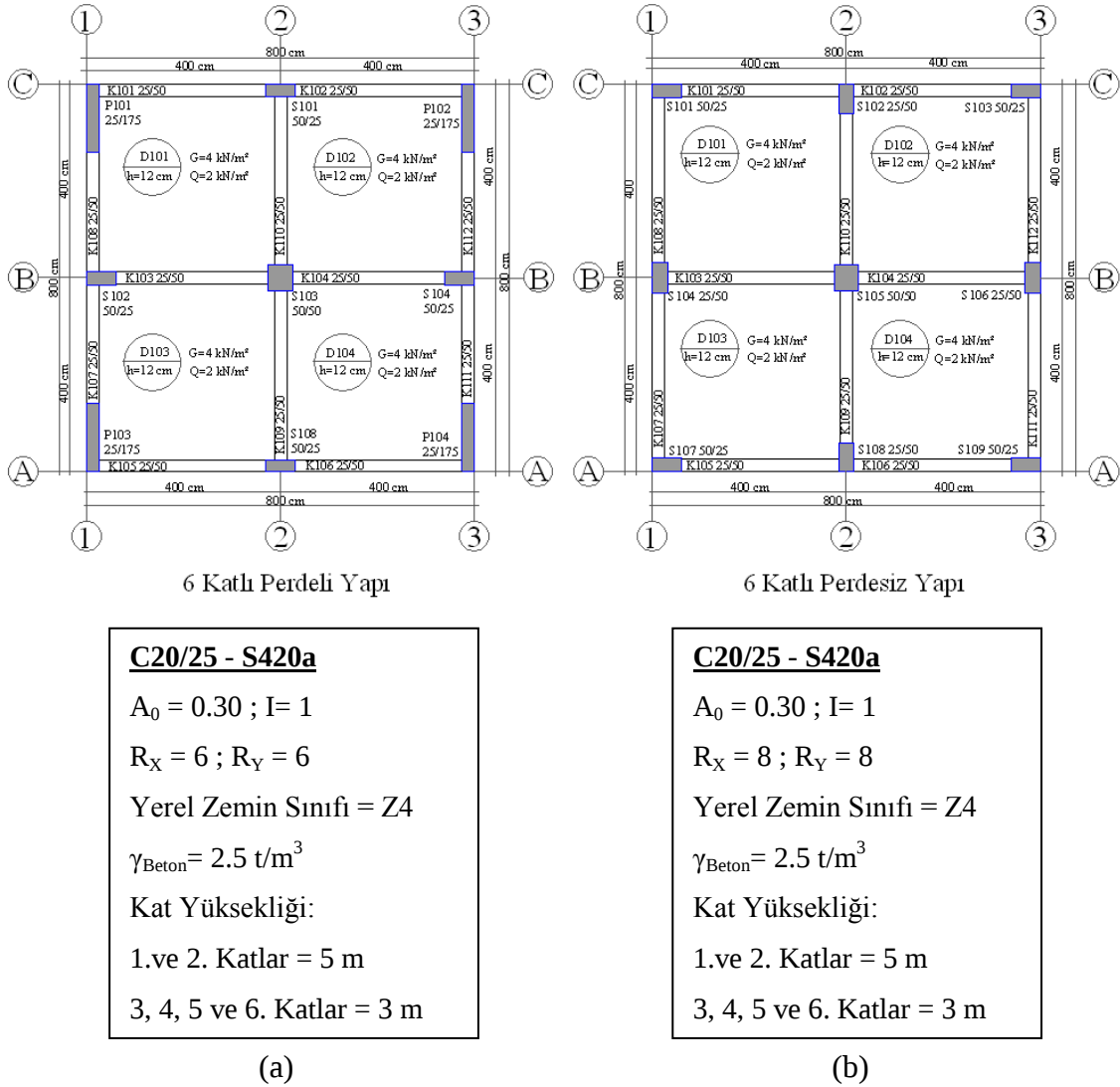
$(\Delta_i)_{ort}$: Binanın i’inci katındaki ortalama azaltılmış görelî kat ötelemesi

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

$(\Delta_i)_{max}$: Binanın i’inci katındaki maksimum görelî kat ötelemesi

$(\Delta_i)_{min}$: Binanın i’inci katındaki minimum görelî kat ötelemesi

h_i : Binanın i’inci katının kat yüksekliği



Şekil 3.48 B2 düzensizliği örnek kalıp planları, a) Perde-çerçeve sistem, b) Salt çerçeve sistem

B2 düzensizliğinin irdelenmesi için hazırlanan Şekil 3.48'de planları verilen perdeli ve perdesiz sistemler Z-PRO ile analiz edilirken şu kabuller yapılmıştır:

- Kolon, kiriş ve döşeme zati ağırlıkları ihmal edilmemiştir.
- Döşemelere ilave 4 kN/m^2 lik sabit, 2 kN/m^2 hareketli yük etki ettirilmiştir.
- Kiriş rijit kolları dikkate alınmıştır. Rijit diyafram kabulü yapılmıştır.
- Kesme alanı, kesit alanının $5/6$ sı alınmıştır.
- Tasarım momenti $M_d = 1.4 G + 1.6 Q$ olarak hesaplanmıştır.
- Sistemin deprem analizi mod birleştirme yöntemine göre yapılmıştır.

Çizelge 3.51 Şekil 3.48 (a) için Z-PRO ile hesaplanan B2 düzensizliği katsayıları (X Yönü)

KAT NO	h_i (mm)	GÖRELİ ÖTELEMELER $(\Delta_i)_{ort}$ (mm)	$(\Delta_i / h_i)_{ort}$	$(\Delta_{i+1} / h_{i+1})_{ort}$	$\eta_{ki} = (\Delta_i / h_i)_{ort} / (\Delta_{i+1} / h_{i+1})_{ort}$ veya $\eta_{ki} = (\Delta_i / h_i)_{ort} / (\Delta_{i-1} / h_{i-1})_{ort}$	$\eta_{ki} > 2$
6	3000	1.0100	0.0003	-	- / 0.60	HAYIR
5	3000	1.6900	0.0006	0.0003	1.67 / 0.72	HAYIR
4	3000	2.3400	0.0008	0.0006	1.39 / 0.74	HAYIR
3	3000	3.1800	0.0011	0.0008	1.36 / 0.46	HAYIR
2	5000	11.4800	0.0023	0.0011	2.17 / 1.12	EVET
1	5000	10.2600	0.0020	0.0023	0.89 / -	HAYIR

Çizelge 3.52 Şekil 3.48 (a) için Z-PRO ile hesaplanan B2 düzensizliği katsayıları (Y Yönü)

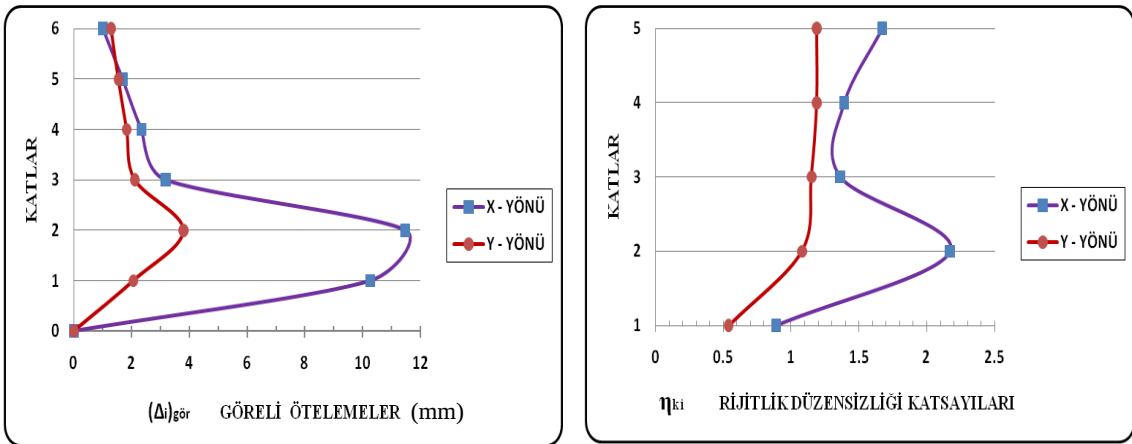
KAT NO	h_i (mm)	GÖRELİ ÖTELEMELER $(\Delta_i)_{ort}$ (mm)	$(\Delta_i / h_i)_{ort}$	$(\Delta_{i+1} / h_{i+1})_{ort}$	$\eta_{ki} = (\Delta_i / h_i)_{ort} / (\Delta_{i+1} / h_{i+1})_{ort}$ veya $\eta_{ki} = (\Delta_i / h_i)_{ort} / (\Delta_{i-1} / h_{i-1})_{ort}$	$\eta_{ki} > 2$
6	3000	1.2900	0.0004	-	- / 0.84	HAYIR
5	3000	1.5400	0.0005	0.0004	1.19 / 0.84	HAYIR
4	3000	1.8300	0.0006	0.0005	1.19 / 0.87	HAYIR
3	3000	2.1100	0.0007	0.0006	1.15 / 0.93	HAYIR
2	5000	3.7900	0.0008	0.0007	1.08 / 1.84	HAYIR
1	5000	2.0600	0.0004	0.0008	0.54 / -	HAYIR

Çizelge 3.53 Şekil 3.48 (b) için Z-PRO ile hesaplanan B2 düzensizliği katsayıları (X Yönü)

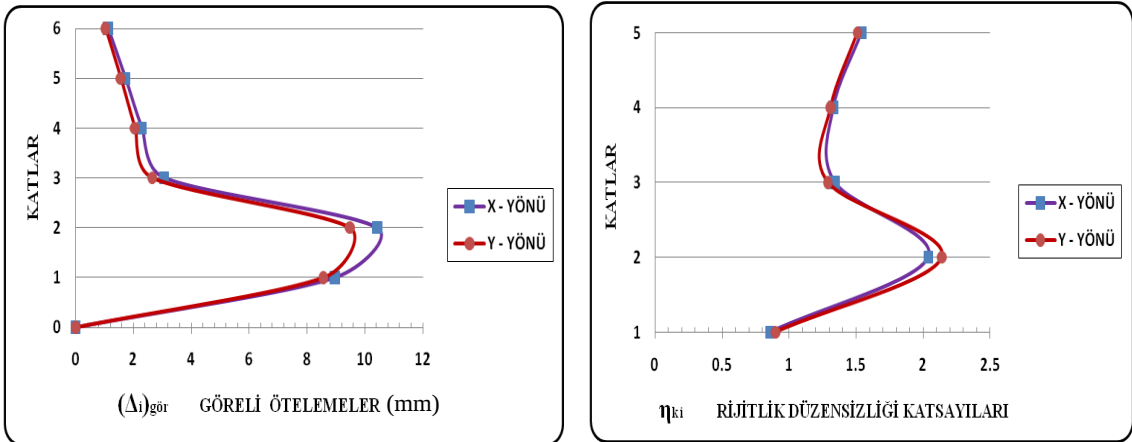
KAT NO	h_i (mm)	GÖRELİ ÖTELEMELER $(\Delta_i)_{ort}$ (mm)	$(\Delta_i / h_i)_{ort}$	$(\Delta_{i+1} / h_{i+1})_{ort}$	$\eta_{ki} = (\Delta_i / h_i)_{ort} / (\Delta_{i+1} / h_{i+1})_{ort}$ veya $\eta_{ki} = (\Delta_i / h_i)_{ort} / (\Delta_{i-1} / h_{i-1})_{ort}$	$\eta_{ki} > 2$
6	3000	1.1200	0.0004	-	- / 0.65	HAYIR
5	3000	1.7200	0.0006	0.0004	1.54 / 0.75	HAYIR
4	3000	2.2900	0.0008	0.0006	1.33 / 0.75	HAYIR
3	3000	3.0600	0.0010	0.0008	1.34 / 0.49	HAYIR
2	5000	10.4300	0.0021	0.0010	2.04 / 1.16	EVET
1	5000	8.9600	0.0018	0.0021	0.86 / -	HAYIR

Çizelge 3.54 Şekil 3.48 (b) için Z-PRO ile hesaplanan B2 düzensizliği katsayıları (Y Yönü)

KAT NO	h_i (mm)	GÖRELİ ÖTELEMELER $(\Delta_i)_{ort}$ (mm)	$(\Delta_i / h_i)_{ort}$	$(\Delta_{i+1} / h_{i+1})_{ort}$	$\eta_{ki} = (\Delta_i / h_i)_{ort} / (\Delta_{i+1} / h_{i+1})_{ort}$ veya $\eta_{ki} = (\Delta_i / h_i)_{ort} / (\Delta_{i-1} / h_{i-1})_{ort}$	$\eta_{ki} > 2$
6	3000	1.0300	0.0003	-	- / 0.66	HAYIR
5	3000	1.5600	0.0005	0.0003	1.51 / 0.76	HAYIR
4	3000	2.0500	0.0007	0.0005	1.31 / 0.77	HAYIR
3	3000	2.6500	0.0009	0.0007	1.29 / 0.47	HAYIR
2	5000	9.4800	0.0019	0.0009	2.14 / 1.11	EVET
1	5000	8.5700	0.0017	0.0019	0.90 / -	HAYIR

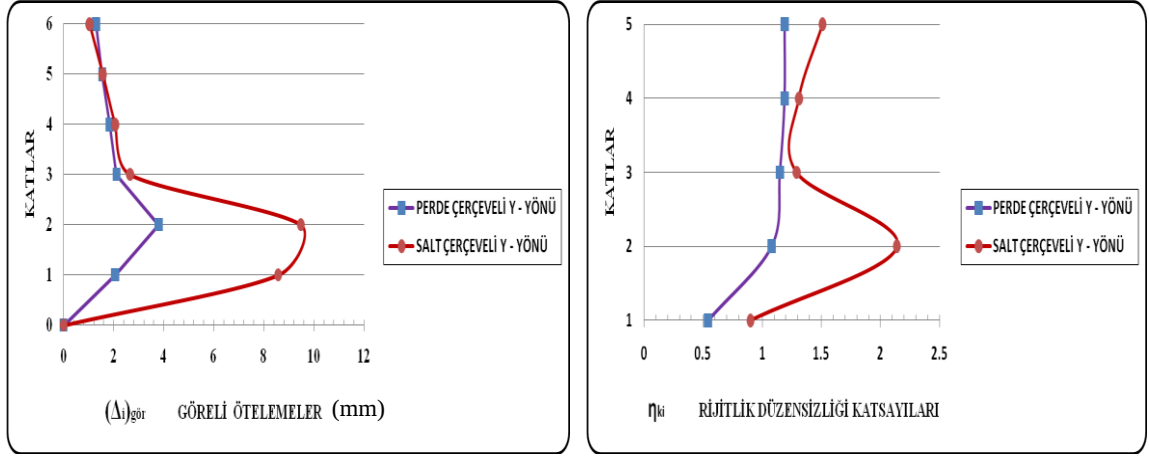


(a)



(b)

Şekil 3.49 B2 düzensizliği; (a) Perdeli sistem grafikleri, (b) Salt çerçevesel sistem grafikleri



Şekil 3.50 B2 düzensizliği örnek perdeli ve salt çerçevesi sistem grafikleri

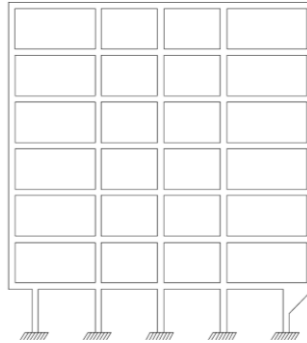
Sonuç olarak, Z-PRO yazılımı $\pm$ %5 *ek dışmerkezlik* etkilerini de göz önüne alarak B2 düzensizliğini tespit etmiş ve kullanıcıyı uyarmıştır.

3.13.5.5 B3 – Taşıyıcı sistemin düşey elemanlarının süreksizliğinin irdelenmesi

DY-2007 Tablo 2.1 ve Madde 2.3.2.4 (a):

“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.”

“Bütün deprem bölgelerinde, kolonların binanın herhangi bir katında konsol kirişlerin veya alttaki kolonlarda oluşturulan guselerin üstüne veya ucuna oturtulmasına hiçbir zaman izin verilmez.”

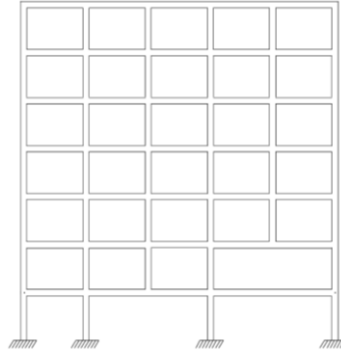


Şekil 3.51 B3 düzensizliği (a) maddesi örneği

Z-PRO ile Şekil 3.51’de verilen örnek çözülmüştür. Örnekteki sistemde B3 düzensizliğinin bulunduğu açıkça görülüyor olmasına rağmen yazılım bu durumu tespit edememiştir. Bu durum DY-2007 de yasaklanmasına rağmen yazılımda hiçbir uyarı ile karşılaşılmamıştır. Aksine yazılım B3 düzensizliği koşulu sağlanmıştır diyerek rapor vermiş ve yönetmeliğe aykırı projelerin üretilmesine neden olmuştur.

DY-2007 Madde 2.3.2.4 (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.

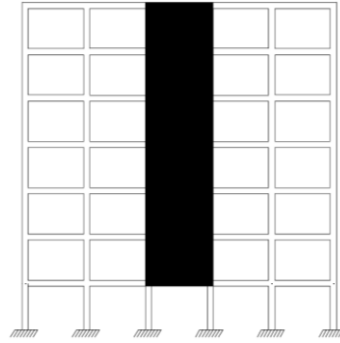


Şekil 3.52 B3 düzensizliği (b) maddesi örneği

Z-PRO yazılımı ile Şekil 3.52’de verilen örnek çözülmüştür. Yazılım 2. ve 3. Katlarda B3 düzensizliğini tespit etmiş ve kullanıcıyı uyarmıştır. Kolonun, iki ucundan mesnetli bir kirişe oturtulduğu durumda uygulanması gereken %50 lik iç kuvvet artırımı ilgili kolon ve kirişlerde yapılmıştır. Bu durum yazılımın deprem yönetmeliği raporunda tespit edilip ayrıntılı olarak kullanıcıya sunulmuştur. Z-PRO yazılımı DY-2007 Madde 2.3.2.4 (b)’yi dikkate almıştır.

DY-2007 Madde 2.3.2.4 (c):

“Üst katlardaki perdenin altta kolonlara oturtulmasına asla izin verilmez.”

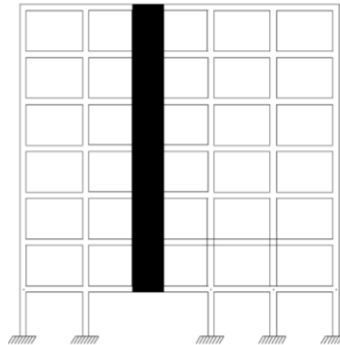


Şekil 3.53 B3 düzensizliği (c) maddesi örneği

Z-PRO yazılımı ile Şekil 3.53’de verilen örnek çözülmüştür. Yazılım B3 düzensizliğini tespit edip kullanıcıyı uyarmıştır. Deprem yönetmeliği raporunda da bu durumu belirleyip ayrıntılı olarak kullanıcıya sunmuştur.

DY-2007 Madde 2.3.2.4 (d):

“Perdelerin binanın herhangi bir katında, kendi düzlemleri içinde kirişlerin üstüne açıklık ortasında oturtulmasına hiçbir zaman izin verilmez.”



Şekil 3.54 B3 düzensizliği (d) maddesi örneği

Z-PRO yazılımı ile Şekil 3.54’de verilen örnekte perde eleman iki ayrı şekilde oluşturulmuştur. 1. modelde perde eleman, perde boyutlarında (25cmx200cm) kolon taşıyıcı elemanı kullanılarak oluşturulmuştur. 2. modelde ise perde eleman, panel taşıyıcı elemanı kullanılarak (25cmx200cm) boyutlarında perde oluşturulmuş ve her iki sistem ayrı ayrı Z-PRO ile çözülmüştür. 1. modelde Z-PRO B3 düzensizliğini tespit

etmiş ve DY-2007 Madde 2.3.2.4 (b) ye göre ilgili kolon ve kirişlerde %50 iç kuvvet artırımına girtmiştir. Z-PRO kolon modeli kullanılarak oluşturulan perde boyutunda ki bu elemanı kolon olarak kabul etmiştir. Oysaki bu durum DY-2007 Madde 2.3.2.4 (d) de yasaklanmış olmasına rağmen yazılım bu durumu belirleyememiş ve yönetmeliğin bu maddesine aykırı proje üretilmesine neden olmuştur. 2. Modelde ise Z-PRO B3 düzensizliğini tespit edememiştir. Sonuç olarak, Z-PRO yazılımı DY-2007 Madde 2.3.2.4 (a) ve DY-2007 Madde 2.3.2.4 (d)'yi dikkate almayarak yönetmeliğin bu maddelerine aykırı projelerin üretilmesine neden olmuştur.

3.13.6 Z-PRO ile görel kat ötelemelerinin sınırlandırılmasının irdelenmesi

DY-2007, yapının deprem altındaki davranışı açısından deplasmanların belirli sınırlar altında tutulması koşulunu getirmiştir. DY- 2007, etkin görel kat ötelemeleri ile ilgili olarak aşağıdaki sınırlandırmaları getirmektedir.

DY-2007 Madde 2.10.1.1:

*“Herhangi bir kolon veya perde için, ardışık iki kat arasındaki yer değiştirme farkını ifade eden azaltılmış görel kat ötelemesi, Δ_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.”*

DY-2007 Madde 2.10.1.2:

*“Her bir deprem doğrultusu için, binanın i ’inci katındaki kolon veya perdeler için etkin görel kat ötelemesi, δ_i , **Denk.(2.18)** ile elde edilecektir.*

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

DY-2007 Madde 2.10.1.3:

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

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

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

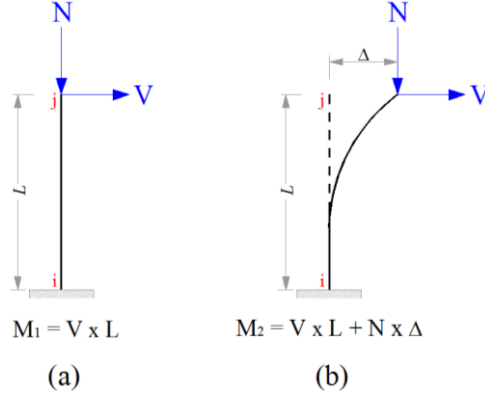
DY-2007 Madde 2.10.1.4:

*“**Denk.(2.19)**’da 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 hesaplama doğrulanacaktır.”*

Z-PRO yazılımı DY-2007 Madde 2.10.1.3, **Denk.(2.19)** ile verilen kontrolleri yaparak sağlanmaması durumunda kullanıcıyı uyarmaktadır.

3.13.7 Z-PRO ile ikinci mertebe etkilerinin irdelenmesi

İkinci mertebe etkileri özellikle deprem anında yapının kolon elemanlarında kendisini göstermektedir. Deprem anında kolon tepe noktasında deplasmanlar arttıkça Şekil 3.55’de de görüldüğü gibi kolon üzerindeki aksel basınç yükü, kolon üzerindeki kesme kuvvetinin oluşturduğu momente ilave olarak ikinci bir moment oluşturmaktadır. Kolon betonarme hesabında bu momentlerinde dikkate alınması gerekmektedir. Bu nedenle DY-2007 aşağıdaki koşulları getirmiştir.



Şekil 3.55 İkinci mertebe etkilerinden oluşan moment

DY-2007 Madde 2.10.2:

“Taşıyıcı sistem elemanlarının doğrusal elastik olmayan davranışını esas alan daha kesin bir hesap yapılmadıkça, ikinci mertebe etkileri yaklaşık olarak DY-2007 Madde 2.10.2.1’e göre göz önüne alınabilir.”

DY-2007 Madde 2.10.2.1:

“Göz önüne alınan deprem doğrultusunda her bir katta, İkinci Mertebe Gösterge Değeri, θ_i ’nin Denk.(2.20) ile verilen koşulu sağlaması durumunda, ikinci mertebe etkileri yürürlükteki betonarme ve çelik yapı yönetmeliklerine göre değerlendirilecektir.

$$\theta_i = \frac{(\Delta_i)_{ort} \sum_{j=1}^N w_j}{V_i h_i} \leq 0.12 \quad (2.20)$$

Burada $(\Delta_i)_{ort}$ i’inci kattaki kolon ve perdelerde hesaplanan azaltılmış göreli kat ötelemelerinin kat içindeki ortalama değeri olarak DY-2007 Madde 2.10.1.1’e göre bulunacaktır.”

DY-2007 Madde 2.10.2.2:

*“**Denk.(2.20)**’deki koşulun herhangi bir katta sağlanamaması durumunda, taşıyıcı sistemin rijitliği yeterli ölçüde arttırılarak deprem hesabı tekrarlanacaktır.”*

Z-PRO yazılımı DY-2007 Madde 2.10.2.1, **Denk.(2.20)** ile verilen kontrolleri yaparak sağlanmaması durumunda kullanıcıyı uyarmaktadır.

3.13.8 Z-PRO ile Taşıyıcı Sistemin Süneklik Düzeyi Bakımından İrdelenmesi

Süneklik, büyük şekil değiştirmelere rağmen yapının yük taşıma kapasitesinin büyük bir kısmının kaybolmaması, deprem ile yapıya yüklenen enerjinin tüketilme kapasitesinin bir ölçütüdür. Yapıların süneklik düzeylerinin belirlenmesinde deprem bölgesi ve taşıyıcı sistem türü etkilidir. DY-2007 yapıların süneklik düzeylerini yüksek, normal ve karma olmak üzere üç farklı şekilde tanımlamıştır. Seçilen süneklik düzeyine göre de DY-2007 Tablo 2.5 den yapının taşıyıcı sistem davranış katsayısı seçilerek azaltılmış deprem yükleri belirlenmektedir. Yapıların süneklik düzeyleri ile ilgili olarak DY-2007 aşağıdaki koşulları getirmiştir.

DY-2007 Madde 2.5.1.2

“Tablo 2.5 de 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.”

Z-PRO yapılarda süneklik düzeyini DY-2007 de olduğu gibi 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 seçebilmektedir. Bu durum DY-2007 Madde 2.5.1.2 deki koşulu sağlamamaktadır.

DY-2007 Madde 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.”

Z-PRO da farklı yönler için farklı R katsayıları seçilebilmekte ve analiz yapılabilir.

DY-2007 Madde 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 dişli veya kaset döşemeli sistemler Z-PRO ile süneklik düzeyi yüksek veya karma olarak analiz edilmektedir. Yazılım bu tür sistemlerin modellenmesi ve analizi sonrasında herhangi bir uyarı vermemektedir.

DY-2007 Madde 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.”

Z-PRO’ da oluşturulan örnek bir uzay salt çerçeve modeli için, 1. derece deprem bölgesinde yapının süneklik düzeyinin normal seçilerek analiz edilmiş ve analiz sonucu yazılım kullanıcıyı uyarmayarak tüm rapor ve çizim çıktılarını sunmuş, yönetmeliğin bu maddesine aykırı proje üretmiştir.

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 alınamayacağı konusunda kullanıcıyı uyarmayarak yönetmeliğin bu maddesine aykırı proje üretilmesine neden olmuştur.

DY- 2007 Madde 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.”*

Z-PRO da 3. derece deprem bölgesinde $H_N = 27$ m olan süneklik düzeyi normal kirişli döşemeli bir yapı modellenip analiz edildiğinde yazılım kullanıcıyı uyarmadan analizi tamamlamakta tüm rapor ve çizim çıktılarını üretmektedir. Yazılım DY-2007 Madde 2.5.1.6’ya aykırı projelerin üretilmesine neden olmaktadır.

3.13.9 Z-PRO ile yapı davranış katsayısı (R) seçiminin irdelenmesi

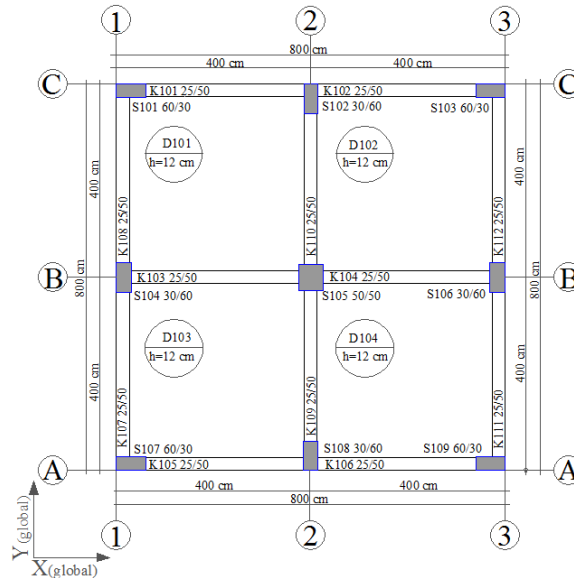
<i>BİNA TAŞIYICI SİSTEMİ</i>	<i>Süneklik Düzeyi Normal Sistemler</i>	<i>Süneklik Düzeyi Yüksek Sistemler</i>
<u>(1) YERİNDE DÖKME BETONARME BİNALAR</u>		
(1.1) Deprem yüklerinin tamamının çerçevelerle taşındığı binalar.....	4	8
(1.2) Deprem yüklerinin tamamının bağ kirişli (boşluklu) perdelerle taşındığı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

Şekil 3.56 DY-2007 Tablo (2.5)

Taşıyıcı sistem davranış katsayısı (R), yapının taşıyıcı sistemine ve süneklik düzeyine göre seçilen bir sabittir. Yapılar gerçek deprem yükleri altında boyutlandırıldığında ekonomik olmayan kesit ve yüksek maliyetler ortaya çıkmaktadır. DY-2007 Madde 2.5’de:

“Depremde taşıyıcı sistemin kendine özgü doğrusal elastik olmayan davranışını göz önüne almak üzere, 2.4’te verilen spektral ivme katsayısına göre bulunacak elastik deprem yükleri, aşağıda tanımlanan Deprem Yüğü Azaltma Katsayısı’na bölünecektir. Deprem Yüğü Azaltma Katsayısı (R_a), çeşitli taşıyıcı sistemler için **Tablo 2.5**’te tanımlanan Taşıyıcı Sistem Davranış Katsayısı, R ’ye ve doğal titreşim periyodu, T ’ye bağlı olarak Denk.(2.3) ile belirlenecektir.”

Z-PRO, taşıyıcı sistem davranış katsayısını kullanıcı girişine sunmaktadır. Yazılımda tanımlanabilen R değerleri yalnızca DY-2007 Tablo 2.5 den ibaret olmayıp, farklı R değerleri (...,-10, -9, -3, -2, -1, 0, 1, 2, 3, 9, 10,... gibi) de tanımlanabilmekte ve bu değerlerle analiz yapılabilmektedir. Yazılımın bu konuda bir sınırlama getirmemesi standart dışı değerlerle hatalı projelerin üretilmesine sebebiyet vermektedir. R katsayısının irdelenmesi için aşağıdaki değişik yapı modelleri oluşturulmuş ve Z-PRO ile analiz edilmiştir.



C25/30-S420a, $A_0 = 0.40$, $R_X=R_Y= 4$, $I= 1$, Yerel Zemin Sınıfı = Z2, Kat Yüksekliği = 3 m

Şekil 3.57 R katsayısı 1. örnek

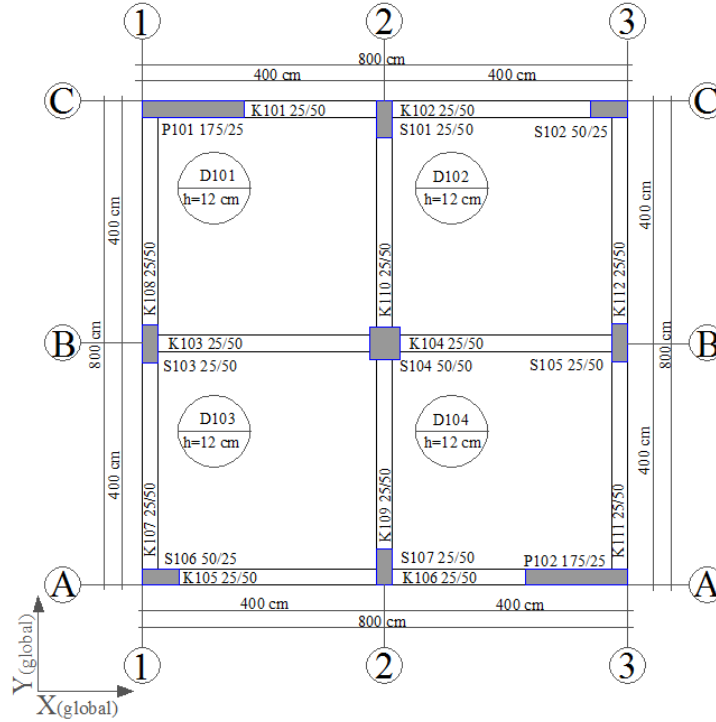
Şekil 3.57’de kalıp planı verilen 6 katlı, $H_N = 18\text{m}$ olan sistem, süneklik düzeyi normal ve her iki deprem doğrultusu içinde $R = 4$ alınarak Z-PRO ile çözülmüştür. Yapı 1. derece deprem bölgesinde yer aldığı ve sistemde perde bulunmadığı için, süneklik düzeyinin yüksek olması ve $R = 8$ alınması gerektiği konusunda yazılım herhangi bir uyarıda bulunmamıştır DY-2007 Madde 2.5.1.5 (a)’ ya göre; *1. ve 2. derece deprem bölgelerinde taşıyıcı sistemi salt çerçevelerden oluşan binalarda süneklik düzeyi yüksek taşıyıcı sistemler’in kullanılması zorunludur ve alınması gereken taşıyıcı sistem davranış katsayısı $R = 8$ ’dir.*

Aynı sistem Z- PRO ile bina önem katsayısı $I = 1.4$, süneklik düzeyi normal ve her iki deprem doğrultusu için $R = 4$ alınarak 3. derece deprem bölgesinde çözülmüştür. Bu yapının süneklik düzeyi; bina önem katsayısı $I = 1.4$ olduğu için, DY-2007 Madde 2.5.1.5 (c)’ ye göre; *“süneklik düzeyi yüksek taşıyıcı sistem veya süneklik düzeyi bakımından karma taşıyıcı sistem olmalıdır.”* Z-PRO, DY-2007 Madde 2.5.1.5 (a) ve (c) durumlarını belirleyememiş ve kullanıcıyı uyarmayarak yönetmeliğe aykırı proje üretilmesine neden olmuştur.

Aynı sistem Z- PRO ile Bina önem katsayısı $I = 1$, dokuz katlı ($H_N = 27\text{ m}$), süneklik düzeyi normal, her iki deprem doğrultusu için $R = 4$ alınarak 3. derece deprem bölgesinde çözülmüştür. DY-2007 Madde 2.5.1.6 (b)’ye göre; *“perde içermeyen süneklik düzeyi normal taşıyıcı sistemler, sadece üçüncü ve dördüncü derece deprem bölgelerinde, $H_N \leq 25\text{ m}$ olmak koşulu ile yapılabilir.”* Yapımızın toplam yüksekliği $H_N = 27\text{ m}$ olmasına rağmen yazılım kullanıcıya herhangi bir uyarıda bulunmamıştır. Yazılım, DY-2007 Madde 2.5.1.6 (b) ve 2.5.3’e aykırı proje üretilmesine neden olmuştur.

Şekil 3.57’de verilen sistemdeki S101 kolonu yerine 210 cm / 30 cm’lik perde tanımlanarak bu sistem 2. derece deprem bölgesinde, süneklik düzeyi yüksek, her iki deprem doğrultusu için $R = 4$ alınarak Z-PRO ile çözülmüştür. Yazılım süneklik düzeyi yüksek sistem için $R = 7$, süneklik düzeyi normal sistem için $R = 4$ olması gerektiği konusunda herhangi bir uyarıda bulunmamıştır. Taşıyıcı sistemi sadece çerçevelerden oluşan bir sistem, DY-2007 Madde 2.5.1.5 (a)’ ya göre 1. ve 2. derece deprem

bölgelerinde süneklik düzeyi yüksek olarak tasarlanmak zorundadır. Böyle bir sisteme bir tek perde eklendiğinde, DY-2007 Tablo 2.5 (1.4)'e göre süneklik düzeyi normal olarak da tasarlanabilmektedir. Duruma tersten bakarsak, taşıyıcı sistemi sadece çerçevelerden oluşan bir sistem süneklik düzeyi yüksek ve $R = 8$ alınarak hesaplanabilir. Bu sisteme bir tek perde eklendiğinde DY-2007 Tablo 2.5 (1.4)'e göre $R = 7$ almak gerekmektedir. Yazılım bu durumu tespit edememiş ve kullanıcıyı uyarmamıştır.

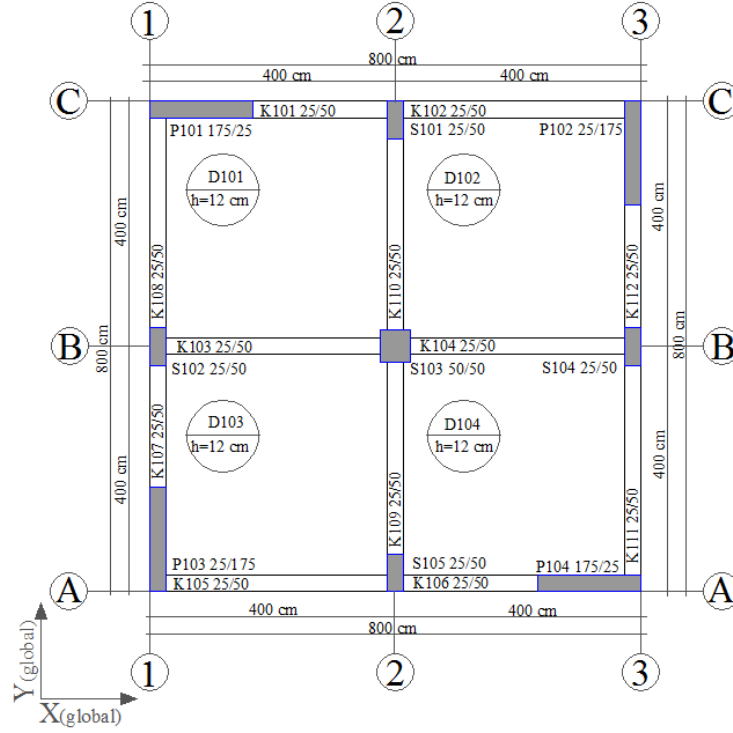


C25/30-S420a, $A_0 = 0.30$, $R_X = R_Y = 7$, $I = 1$, Yerel Zemin Sınıfı = Z2, Kat Yüksekliği = 3 m

Şekil 3.58 R katsayısı 2. örnek

Şekil 3.58'de kalıp planı verilen 6 katlı sistem her iki deprem doğrultusu için $R=7$ ve süneklik düzeyi yüksek alınarak Z-PRO ile çözülmüştür. Analiz sonucunda yazılım perde taban kesme kuvvetlerinin oranını “X” yönü için $\alpha_S = 0.79$, “Y” yönü için $\alpha_S = 0.20$ olarak belirlemiştir. Yazılım analiz sonucunda R katsayısı 7 ve perdelerin tabanında deprem yüklerinden meydana gelen kesme kuvvetlerinin toplamı, binanın tümü için tabanda meydana gelen toplam kesme kuvvetinin %75'inden daha fazla olamayacağı konusunda kullanıcıyı uyarmıştır. Bu sistemde “X” yönü için α_S değeri

0.75’den fazla olduğu için DY-2007 Madde 2.5.2.2’ ye göre $0.75 < \alpha_s \leq 1.0$ aralığında kullanılacak “R” katsayısı $R = 10 - 4 \alpha_s$ yani $R = 10 - 4 \cdot 0.79 = 6.84$ olmak zorundadır. Z-PRO “X” yönü için seçilen “R” katsayısı değerini, yazılıma analiz öncesi girilen değer olan $R = 7$ ile aynı alarak projeyi üretmiş raporlarında yönetmeliğin bu maddesine ilişkin herhangi bir bilgiye yer vermemiştir.



C25/30-S420a, $A_0 = 0.30$, $R_X = R_Y = 7$, $I = 1$, Yerel Zemin Sınıfı = Z2, Kat Yüksekliği = 3 m

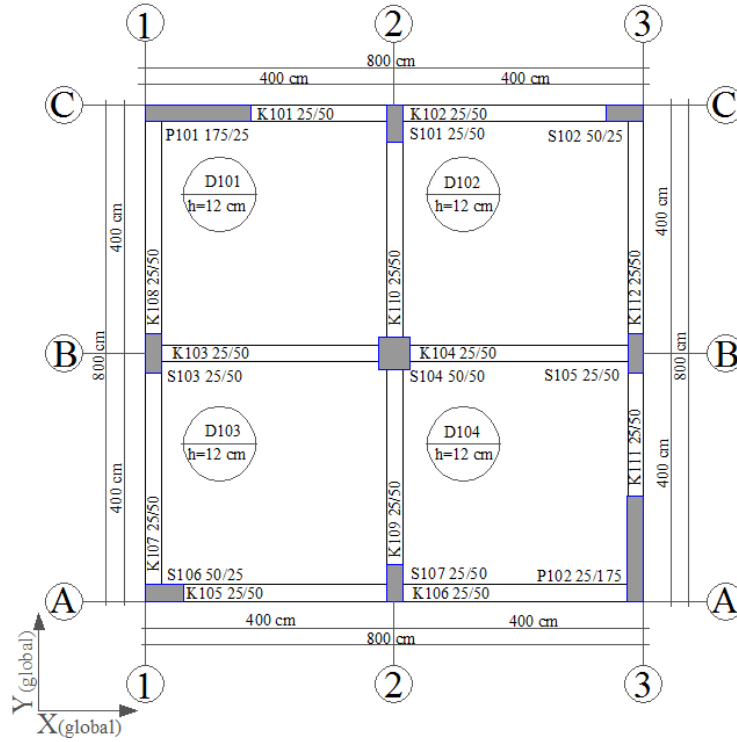
Şekil 3.59 R katsayısı 3. örnek

Şekil 3.59’da kalıp planı verilen 6 katlı sistem her iki deprem doğrultusu için $R = 7$ ve süneklik düzeyi yüksek alınarak Z-PRO ile çözülmüştür. Analiz sonucunda yazılım perde taban kesme kuvvetlerinin oranını “X” yönü için $\alpha_s = 0.85$, “Y” yönü için $\alpha_s = 0.77$ olarak belirlemiştir. Yazılım analiz sonucunda perdelerin tabanında deprem yüklerinden dolayı meydana gelen kesme kuvvetlerinin toplamı, binanın tümü için tabanda meydana gelen toplam kesme kuvvetinin %75’inden daha fazla olamayacağı konusunda kullanıcıyı uyarmıştır. Bu sistemde “X” yönü için α_s değeri 0.75’den fazla olduğu için DY-2007 Madde 2.5.2.2’ ye göre $0.75 < \alpha_s \leq 1.0$ aralığında kullanılacak “R” katsayısı $R = 10 - 4 \alpha_s$ yani $R = 10 - 4 \cdot 0.85 = 6.60$ olmak zorundadır. Aynı şekilde

Şekil 3.60’de kalıp planı verilen 6 katlı sistem her iki deprem doğrultusu için $R = 7$ ve süneklik düzeyi yüksek alınarak Z-PRO ile çözülmüştür. Analiz sonucunda yazılım perde taban kesme kuvvetlerinin oranını “X” yönü için $\alpha_s = 0.98$, “Y” yönü için $\alpha_s = 0.96$ olarak belirlemiştir. Yazılım analiz sonucunda perdelerin tabanında deprem yüklerinden dolayı meydana gelen kesme kuvvetlerinin toplamı, binanın tümü için tabanda meydana gelen toplam kesme kuvvetinin %75’inden daha fazla olamayacağı konusunda kullanıcıyı uyarmıştır. Bu sistemde “X” yönü için α_s değeri 0.75’den fazla olduğu için DY-2007 Madde 2.5.2.2’ ye göre $0.75 < \alpha_s \leq 1.0$ aralığında kullanılacak “R” katsayısı $R = 10 - 4 \alpha_s$ yani $R = 10 - 4 \cdot 0.98 = 6.08$ olmak zorundadır. Aynı şekilde “Y” yönü için $R = 10 - 4 \cdot 0.96 = 6.16$ olmak zorundadır. Z-PRO “X” ve “Y” yönü için seçilen “R” katsayısı değerini, yazılıma analiz öncesi girilen değer olan $R = 7$ ile aynı olarak projeyi üretmiştir.

Her iki deprem doğrultusunda da $\alpha_s \geq 0.40$ ve $\alpha_s \geq 2 / 3$ olduğu durumlarda DY-2007 Madde 2.5.4.1 (a) ve (b) uygulanabilir. Şekil 3.60’da verilen sistem için her iki deprem doğrultusunda da $\alpha_s \geq 0.40$ ve $\alpha_s \geq 2 / 3$ olduğundan Z-PRO bu maddeye göre süneklik düzeyi bakımından karma bir sistem için $R = R_{YP} = 6$ alınarak hesap yapılabileceği konusunda kullanıcıya herhangi bir uyarıda bulunmamıştır.

Aynı sistem her iki deprem doğrultusu için $R = 7$ ve süneklik düzeyi karma alınarak Z-PRO ile çözülmüştür. Analiz sonucu yazılım, $\alpha_s \geq 2 / 3$ olduğunu ve R’nin hatalı seçildiği uyarısını vermiştir. Bunun üzerine Şekil 3.60’da kalıp planı verilen 6 katlı sistem $R = 6$ ve süneklik düzeyi karma alınarak Z-PRO ile çözülmüştür. Yazılım herhangi bir hata mesajı vermeden analizi tamamlamıştır.



C25/30-S420a, $A_0 = 0.30$, $R_X = R_Y = 7$, $I = 1$, Yerel Zemin Sınıfı = Z2, Kat Yüksekliği = 3 m

Şekil 3.61 R katsayısı 5. örnek

Şekil 3.61’de kalıp planı verilen 6 katlı sistem her iki deprem doğrultusu için $R = 7$ ve süneklik düzeyi karma alınarak Z-PRO ile çözülmüştür. Analiz sonucunda yazılım perde taban kesme kuvvetlerinin oranını “X” yönü için $\alpha_S = 0.55$, “Y” yönü için $\alpha_S = 0.47$ olarak belirlemiştir. Analiz sonucu yazılım, $\alpha_S \geq 2/3$ olduğunu ve R ’nin hatalı seçildiği uyarısını vermiştir. Ancak *DY-2007 Madde 2.5.4.1 (c)*’ye göre perde taban kesme kuvvetlerinin oranı $0.40 < \alpha_S < 2/3$ aralığında ise, her iki deprem doğrultusunda da taşıyıcı sistemin tümü için $R = R_{NC} + 1.5 \alpha_S (R_{YP} - R_{NC})$ bağıntısı uygulanacaktır. Buna göre Şekil 3.61’deki yapı için alınması gereken $R = 4 + 1.5 \times 0.47 \times (6 - 4) = 5.41$ iken yazılım bu konuda herhangi bir uyarıda bulunmamıştır. Bunun üzerine Şekil 3.61’de kalıp planı verilen 6 katlı sistem her iki deprem doğrultusu için $R = 6$ ve süneklik düzeyi karma alınarak Z-PRO ile çözülmüştür. Yazılım herhangi bir hata mesajı vermeden analizi tamamlamıştır. Z-PRO *DY-2007 Madde 2.5.4.1 (c)*’yi belirleyememiştir.

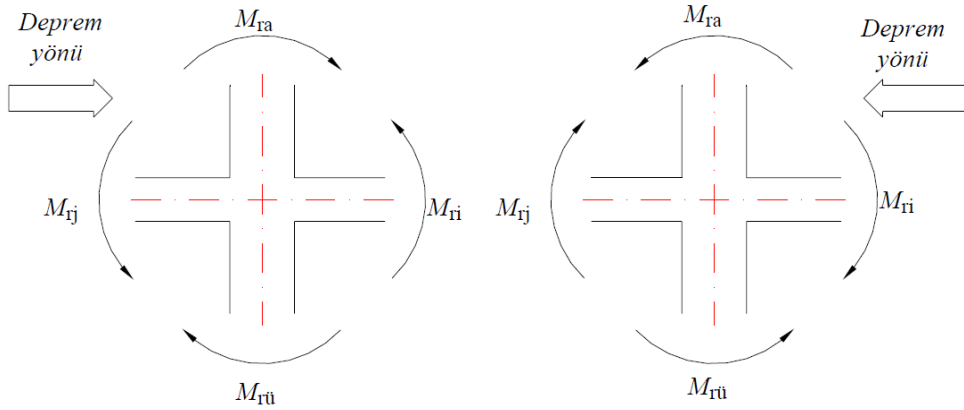
3.13.10 Z-PRO ile kolonların kirişlerden daha güçlü olması koşulunun İrdelenmesi

DY-2007, kolonların kirişlerden önce mafsallaşmasını önlemek için belirli kurallar getirmiştir. Bu kuralları süneklik düzeyi yüksek taşıyıcı sistemlerde zorunlu kılmaktadır. Kolonların kirişlerden daha güçlü olması ile ilgili koşullar DY-2007 de aşağıdaki gibi verilmektedir:

DY-2007 Madde 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.”

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



Şekil 3.62 DY-2007 (Şekil 3.4)

DY-2007 Madde 3.3.5.2:

“Denk.(3.3) ’ün uygulanabilmesi için, düğüm noktasına birleşen kirişlerin DY-2007 Madde 3.4.1.1’de verilen boyut koşullarını sağlaması zorunludur.”

DY-2007 Madde 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 eksenel kuvvetleri göz önüne alınacaktır.”*

DY-2007 Madde 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.”*

Z-PRO yazılımı kolonların kirişlerden daha güçlü olması koşulu ile ilgili kontrolleri DY-2007’ye uygun şekilde yapmaktadır.

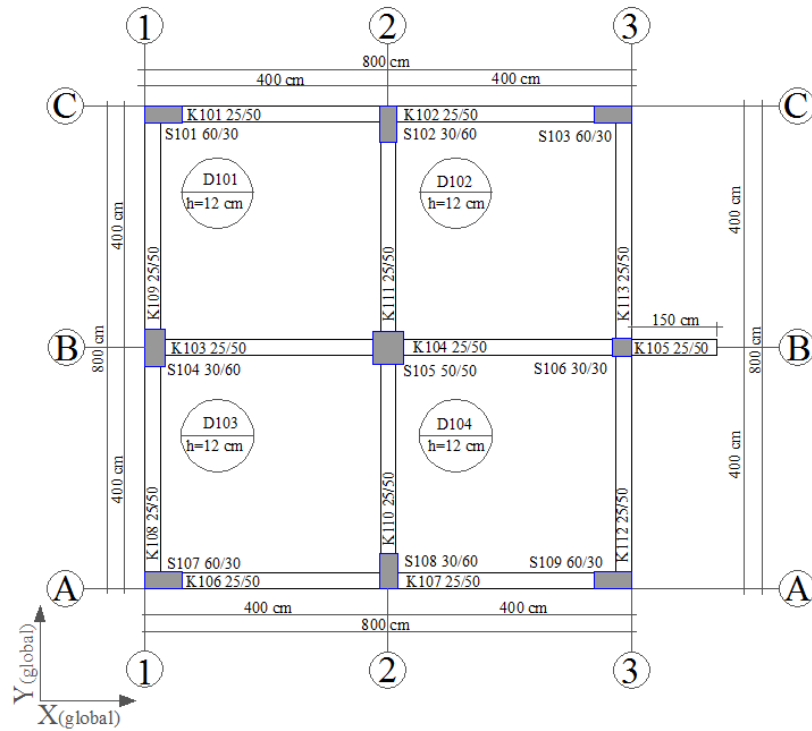
3.13.11 Z-PRO ile süneklik düzeyi yüksek çerçeve sistemlerde kolon kiriş birleşim bölgelerinin irdelenmesi

DY-2007 Madde 3.5.1 Kuşatılmış ve Kuşatılmamış Birleşimler:

“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.”



C25/30-S420a, $A_0 = 0.30$, $R_x = R_y = 8$, $I = 1$, Yerel Zemin Sınıfı = Z2, Kat Yüksekliği = 3 m

Şekil 3.63 Kolon-Kiriş birleşim bölgesi irdelenmesi için hazırlanan örnek

Şekil 3.63'de kalıp planı verilen sistem Z-PRO yazılımı ile çözülmüş ve kuşatılmış ve kuşatılmamış kolon - kiriş birleşimleri açısından değerlendirilmiştir. 30 cm / 30 cm boyutlarındaki S106 kolonuna kalıp planında görüldüğü gibi 25 cm / 50 cm boyutlarındaki kirişler dört tarafından birleşmiştir ve her bir kirişin genişlikleri S106 kolonu genişliğinin 3/4'ünden büyüktür. Z-PRO yazılımı bu birleşimi DY-2007 Madde 3.5.1 (a)'ya göre kuşatılmış birleşim olarak değerlendirmiştir. Ancak görüldüğü gibi K105 kirişi konsol kiriştir ve bu nedenle K105 kirişi kolon - kiriş birleşiminde Poisson etkisini arttırıcı bir katkı yapmayacaktır bu nedenle Z-PRO'nun bu durumu kuşatılmamış birleşim olarak değerlendirmesi daha doğru olurdu.

Aynı sistem K105 kirişinin ucuna bir kolon tanımlanarak Z-PRO yazılımı ile çözülmüştür. S106 kolonu Z-PRO yazılımı tarafından yine kuşatılmış birleşim olarak değerlendirilmiştir. K105 kirişinin yanal hareketi engellendiği için S106 kolonu ile

birleşim noktasında Poisson etkisi artacaktır. DY-2007 Madde 3.5.1 (a) şartlarını da sağladığı için bu birleşim kuşatılmış birleşim olacaktır.

DY-2007 Madde 3.5.2 Kolon – Kiriş Birleşim Bölgesi Kesme Güvenliği:

DY-2007 Madde 3.5.2.1:

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

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

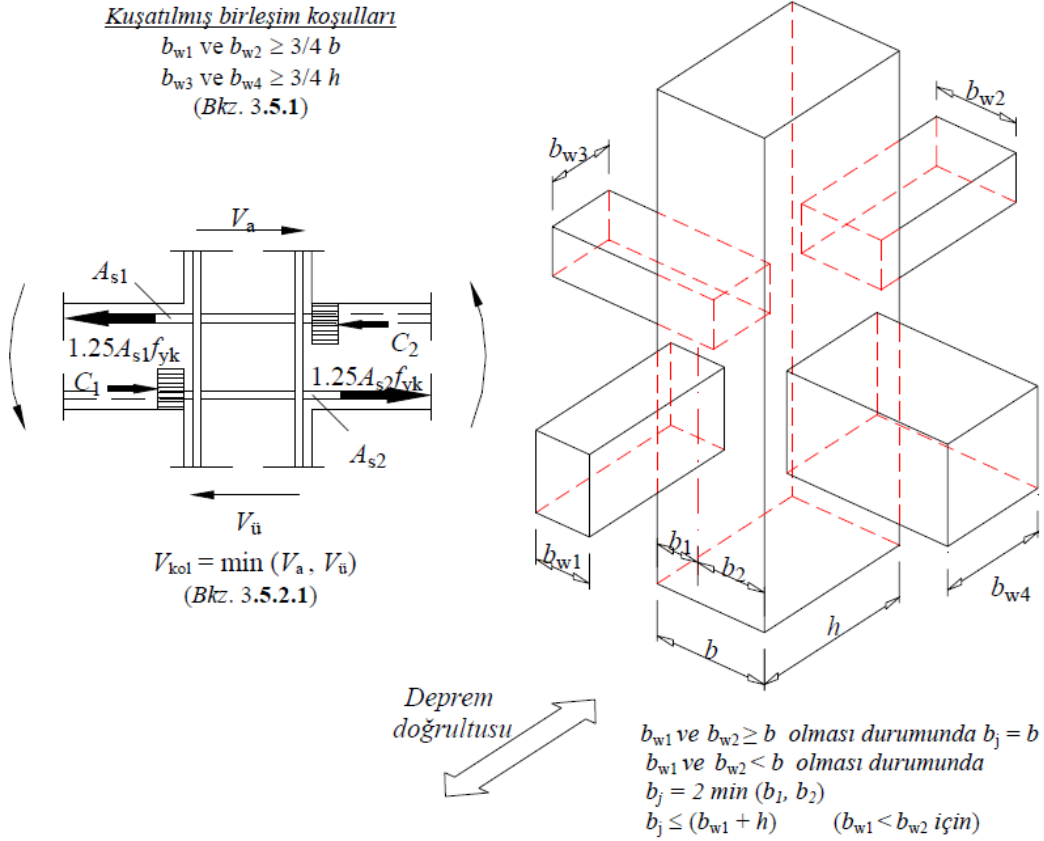
Kirişin kolona sadece bir taraftan saplandığı ve öbür tarafta devam etmediği durumlar için $A_{s2} = 0$ alınacaktır.

DY-2007 Madde 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.”

$$(a) \text{ Kuşatılmış birleşimlerde; } V_e \leq 0.60 b_j h f_{cd} \quad (3.12)$$

$$(b) \text{ Kuşatılmamış birleşimlerde; } V_e \leq 0.45 b_j h f_{cd} \quad (3.13)$$



Şekil 3.64 DY-2007 (Şekil 3.10)

Z-PRO yazılımı Şekil 3.63’de kalıp planı verilen sistemde S106 kolonunu kuşatılmış birleşim olarak kabul etmesine rağmen; “X Yönü” doğrultusunda $A_{s1} = 4.02 \text{ cm}^2$ ve $A_{s2} = 0$ olarak hesaplamıştır. DY-2007 Madde 3.5.2.1’e göre kirişin kolona sadece bir taraftan saplandığı ve öbür tarafta devam etmediği durumlar için $A_{s2} = 0$ alınabilir, bu durumda da söz konusu kolon kuşatılmamış kolon olacaktır. Yazılımın, S106 kolonu için $A_{s2} = 0$ olarak hesaplaması doğru bir yaklaşımdır ancak raporlarında S106 kolonunu kuşatılmış birleşim olarak tanımlaması program içerisinde çelişkiye neden olmaktadır. Ancak aynı sistemde K105 kirişinin ucuna bir kolon tanımlanarak Z-PRO yazılımı ile çözüldüğünde, S106 kolonu yazılım tarafından doğru bir yaklaşımla kuşatılmış birleşim olarak değerlendirilip “X Yönü” doğrultusunda $A_{s1} = 4.02 \text{ cm}^2$ ve $A_{s2} = 3.80 \text{ cm}^2$ olarak hesaplamıştır.

3.13.12 Z-PRO ile kısa kolon oluşumunun irdelenmesi

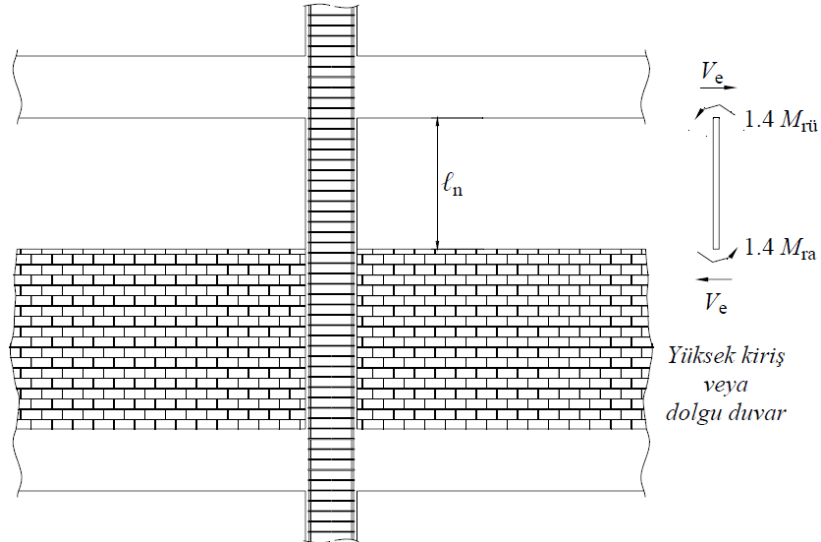
DY-2007 Madde 3.3.8 Kısa Kolonlara İlişkin Koşullar:

“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 $M_{\bar{u}} \cong 1.4 M_{r\bar{u}}$ olarak hesaplanacak, ℓ_n ise kısa kolonun boyu olarak alınacaktır. Ancak hesaplanan kesme kuvveti **Denk.(3.7)**’de verilen koşulları sağlayacaktır. Kısa kolon boyunca, DY-2007 Madde 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 3.53 DY-2007 Şekil 3.6).”

$$V_e = (M_a + M_{\bar{u}}) / \ell_n \quad (3.5)$$

$$V_e \leq V_r$$

$$V_e \leq 0.22 A_w f_{cd} \quad (3.7)$$



Şekil 3.65 DY-2007 (Şekil 3.6)

Z-PRO yazılımı bir katta, yüksek kirişlerin bulunması, ara sahanlık kirişleri bulunması ya da dolgu duvarları (örneğin bant pencereler) bulunması nedeniyle, kısa kolon oluştuğu zaman bunu tespit edememekte ve gerekli önlemleri alamamaktadır.

Ancak yazılımda Z-PRO kullanıcısı kısa kolon durumunu kendisi tespit ederek gerekli önlemleri belirli ölçüde alabilmektedir. Kullanıcı, projesinde bir kısa kolon oluşumu varsa, bu durumdaki tüm kolonları tek tek seçip yazılımda kısa kolon olarak tanımlayabilmektedir. Z-PRO’da, yapılan analizler sonucu bu seçilen kolonları kısa kolon olarak belirleyebilmekte ve DY-2007 Madde 3.3.8’in öngördüğü koşulları yerine getirip raporlarında bu durumu ayrıntılı bir şekilde göstermektedir.

Z-PRO’nun kısa kolon oluşumunu kullanıcı inisiyatifinde belirleyebilmiş olması beraberinde bazı sakıncaları da getirmektedir. Örneğin kullanıcı projesindeki kısa kolon tanımına uyan kolonları gözden kaçırabilir ya da eksik kolon seçerek yazılıma eksik kısa kolon tanımı yapabilir. Bu durumda Z-PRO kullanıcısını uyarmayarak hatalı projelerin üretilmesine neden olabilmektedir. Ayrıca kısa kolon dolgu duvarları nedeniyle oluşuyorsa Z-PRO bu durumu tespit edememekte, kullanıcı bu durumdaki kolonları tespit edip yazılıma kısa kolon olarak tanımlasa da kısa kolon boyu yazılıma girilemediğinden Z-PRO kullanıcısına doğru bir çözüm sunmayacaktır. Bu durumda Z-PRO kullanıcısı kısa kolon durumunu kendisi tespit ederek gerekli önlemleri almak zorunda kalmaktadır.

Kısa kolon durumu için tasarım aşamasında yapılması gerekenler DY-2007 Madde 3.3.8’de açıklanmıştır, yapım aşamasında da alınabilecek birtakım önlemler vardır: Dolgu duvarlar derz bırakılarak kolonlardan ayrılabilir, kolon ile duvar arasına ezilebilir malzeme koyulabilir ve kısa kolon yanlarına birkaç sıra duvar örülebilir.

3.13.13 Z-PRO ile Mod Birleştirme Yönteminin irdelenmesi

Z-PRO yazılımında yapıların deprem hesabı Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi ve Zaman Tanım Alanında Hesap Yöntemleri kullanılarak yapılamamakta, yapılar yalnızca mod birleştirme yöntemi kullanılarak analiz edilebilmektedir.

Eşdeğer deprem yükü yönteminde, yapının deprem anındaki ilk serbest titreşimi esnasında yapı tabanında oluşacak kesme kuvvetinin maksimum büyüklükte olması yani deprem anında yapının tabanındaki en büyük zorlanma ilk salınım esnasında oluştuğu temeline dayanmaktadır. Zaman Tanım Alanında Hesap Yönteminin temelinde, taşıyıcı sistem, zaman alanında boyutlama için kabul edilen deprem hareketi altında adım adım çözülür. Mod Birleştirme Yöntemi ise, lineer elastik dinamik çözümleme yöntemi olup, maksimum iç kuvvetler ve yer değiştirmeler, binada yeterli sayıda doğal titreşim modunun her biri için hesaplanan maksimum katkıların istatistiksel olarak birleştirilmesi ile elde edilir. Bu yöntemde elastik sınır ötesi davranışları yaklaşık olarak dikkate almak için lineer teori sonuçları sünekliğe bağlı bir davranış katsayısıyla küçültülür.

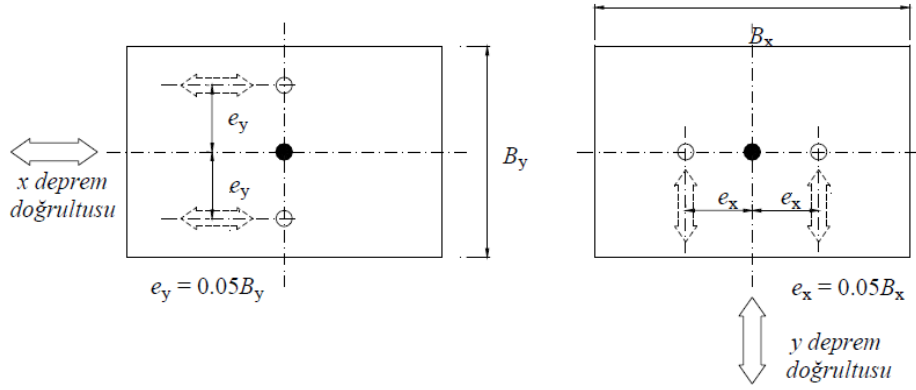
DY-2007'nin Mod Birleştirme Yöntemi ile ilgili olarak getirdiği koşulları irdelenmek için Şekil 3.66 daki sistem hazırlanmış ve bu sistem Z-PRO ve SAP 2000 yazılımları ile analiz edilip sonuçlar DY-2007'nin ilgili maddeleri ile karşılaştırılmıştır. Analiz öncesi aşağıdaki kabuller yapılmıştır:

- Şekil 3.66 (a) ve (b) de kolon, kiriş zati ağırlıkları ihmal edilmiştir.
- Kirişin kolon içerisinde kalan kiriş rijit kolları dikkate alınmamıştır.
- Şekil 3.66 (a) için rijit diyafram kabulü yapılmıştır Şekil 3.66 (b) için rijit diyafram kabulü yapılmamıştır.
- Kesme alanı, kesit alanının 5/6 sı alınmıştır.
- Sistemin deprem analizi mod birleştirme yöntemine göre yapılmıştır.
- 4 katlı olan yapının kat yüksekliği 3 m dir. Deprem bölgesi 1. bölgedir.
- Hesaba katılacak mod adedi 12 dir.
- Şekil 3.66 (a) ve (b) de 1, 2 ve 3. katta bütün kirişlerde 10 kN/m sabit ve 5 kN/m hareketli yük bulunmaktadır. 4. katta ise 5 kN/m sabit ve 2.5 kN/m hareketli yük bulunmaktadır.

DY-2007 Madde 2.8.2 Göz önüne Alınacak Dinamik Serbestlik Dereceleri:

DY-2007 Madde 2.8.2.1

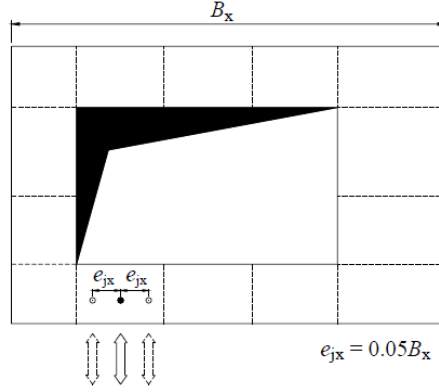
“Döşemelerin yatay düzlemde rijit diyafram olarak çalıştığı binalarda, her bir katta, birbirine dik doğrultularda iki yatay serbestlik derecesi ile kütle merkezinden geçen düşey eksen etrafındaki dönme serbestlik derecesi göz önüne alınacaktır. Her katta modal deprem yükleri bu serbestlik dereceleri için hesaplanacak, ancak ek dışmerkezlik etkisinin 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).



Şekil 3.67 DY-2007 (Şekil 2.7)

DY-2007 Madde 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.”



Şekil 3.68 DY-2007 (Şekil 2.8)

Z-PRO yazılımı, Şekil 3.66 (a) daki örnek için dış merkezlikleri dikkate alarak analiz yapabilmekte fakat Şekil 3.66 (b) deki örnek için ek dış merkezlikler dikkate alınamamaktadır. Yazılım rijit diyafram kabulü yapıldığında ek dış merkezlikleri dikkate alabilmekte, rijit diyafram kabulü yapılmadığında ise ek dış merkezlikleri dikkate alamamaktadır.

DY-2007 Madde 2.8.3 Hesaba Katılacak Yeterli Titreşim Modu Sayısı:

DY-2007 Madde 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 kütlelerin toplamının hiçbir zaman bina toplam kütlelerinin %90’ından daha az olmaması kuralına göre belirlenecektir:

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

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

Denk.(2.14)

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: ”

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

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

Denk.(2.15)

DY-2007 Madde 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 3.66 daki örneğe ait her bir mod için etkin kütleler Çizelge 3.55 de verilmiştir.

Çizelge 3.55 Şekil 3.66 (a) ve (b) deki örneğe ait kütle katılım oranları

MODAL KÜTLE KATILIM ORANLARI (X - Y) YÖNLERİ İÇİN ŞEKİL 3.66 (a)					MODAL KÜTLE KATILIM ORANLARI (X - Y) YÖNLERİ İÇİN ŞEKİL 3.66 (b)				
MOD SAYISI	Z-PRO		SAP 2000		MOD SAYISI	Z-PRO		SAP 2000	
	X-YÖNÜ	Y-YÖNÜ	X-YÖNÜ	Y-YÖNÜ		X-YÖNÜ	Y-YÖNÜ	X-YÖNÜ	Y-YÖNÜ
1	0.0000	0.8506	0.0000	0.8504	1	0.0000	0.8511	0.0000	0.8511
2	0.8408	0.8506	0.7828	0.8504	2	0.7929	0.8511	0.7898	0.8511
3	0.8552	0.8506	0.8551	0.8504	3	0.8565	0.8511	0.8565	0.8511
4	0.8552	0.9574	0.9494	0.8504	4	0.8565	0.8511	0.8565	0.8511
5	0.9577	0.9574	0.9494	0.9573	5	0.8565	0.8528	0.8565	0.8528
6	0.9594	0.9574	0.9598	0.9573	6	0.8568	0.8528	0.8568	0.8528
7	0.9911	0.9574	0.9880	0.9573	7	0.8568	0.9334	0.8568	0.9329
8	0.9911	0.9913	0.9880	0.9912	8	0.9506	0.9334	0.9504	0.9329
9	0.9983	0.9913	0.9908	0.9912	9	0.9510	0.9334	0.9508	0.9329
10	0.9983	0.9999	0.9987	0.9912	10	0.9510	0.9413	0.9508	0.9414
11	0.9996	0.9999	0.9987	0.9999	11	0.9518	0.9413	0.9517	0.9414
12	0.9999	0.9999	0.9999	0.9999	12	0.9518	0.9741	0.9517	0.9740

Çizelge 3.55 incelendiğinde Z-PRO ve SAP 2000’de her bir mod için hesaplanan kütle katılım oranlarına ait sonuçların örtüştüğü görülmektedir. Aynı örnek 4 adet modun hesaba katılması ile tekrar Z-PRO ile analiz edildiğinde, yazılım her bir mod için hesaplanan etkin kütlelerin toplamının hiçbir zaman bina toplam kütlelerinin %90’ından daha az olamayacağını ve hesaba katılan mod adedinin yeterli olmadığını raporlarında bildirmiş ve kullanıcıyı uyarmıştır.

DY-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:”

DY-2007 Madde 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.”

DY-2007 Madde 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 katsayılarının hesabında, modal sönüm oranları bütün titreşim modları için %5 olarak alınacaktır.”

Z-PRO yazılımı bu yöntemlerden sadece Tam Karesel Birleştirme (CQC) yöntemini kullanmakta, $T_m / T_n < 0.80$ koşulu aranmamaktadır.

DY-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_{tB} nin, Eşdeğer Deprem Yükü

Yöntemi'nde Denk.2.4' ten hesaplanan bina toplam deprem yükü V_t 'ye oranının aşağıda tanımlanan β değerinden küçük olması durumunda ($V_{tB} < \beta V_t$), Mod Birleştirme Yöntemi'ne göre bulunan tüm iç kuvvet ve yer değiştirme büyüklükleri, Denk.(2.16)' ya göre büyütülecektir.

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

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 3.66 (a) daki örnekte Z-PRO yazılımı A1 ve B2 düzensizliği tespit etmiştir. Bu nedenle yazılım β katsayısını 0.90 almaktadır. $\beta = 0.90$ için $V_{tB} < \beta V_t$ koşulunu her iki deprem doğrultusunda da kontrol etmiştir. X yönü deprem doğrultusu için $V_{tB} / V_t = 0.86 < \beta = 0.90$, Y yönü deprem doğrultusu için $V_{tB} / V_t = 0.87 < \beta = 0.90$ olarak tespit etmiştir. Bunun üzerine yazılım deprem yüklerini her iki deprem doğrultusu içinde $\beta V_t(x) / V_{tB}(x) = 1.05$ ve $\beta V_t(y) / V_{tB}(y) = 1.04$ oranında arttırıldığını raporlarında bildirmektedir.

A1, B2 ve B3 türü düzensizliklerden hiçbirinin bulunmadığı bir yapı Z-PRO da modellenip analiz edildiğinde, yazılımın β değerini 0.80 aldığı ve tüm hesaplamaları buna göre yaptığı görülmüştür. Sonuç olarak Z-PRO yazılımı DY-2007 Madde 2.8.5 deki koşulları genel hatlarıyla yerine getirmiştir.

3.13.14 Z-PRO yapısal çözümleme, kesit hesap raporları ve deprem hesap raporlarının irdelenmesi

TS 500-2000 Madde 2.2: Yapısal Çözümleme ve Kesit Hesapları:

“Elle veya bilgisayarla yapılan çözümleme ve kesit hesaplarının basında 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, süneklik düzeyi, davranış katsayısı vb)
- Yapının maruz kalacağı çevre şartları ve buna göre maksimum çatlak genişlikleri
- Yatay ve düşey doğrultuda 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 çözümleme sonuçları açık ve kolay anlaşılır bir şekilde gösterilmelidir. Analizlerde ve kesit hesaplarında alışılmışın dışında denklemler veya abaklar kullanılmış ise bunlar belirtilmeli, kullanılan kaynak fotokopileri hesaplara ek olarak sunulmalıdır. Bilgisayarla yapılan analizlerde yazılım girdileri açık bir şekilde belirtilerek hesabı kontrol eden kişinin elle veya başka bir yazılımla sonuçları irdelenmesine olanak sağlanmalıdır. Kullanılan yazılımın, inceleme konusu yapı için yeterli olduğu yetkili kuruluşlarca daha önceden saptanmamışsa hesaplarla birlikte yazılımın kullanıcı el kitabındaki bilgileri içeren bilgiler kontrole verilmelidir. Yazılım çıktılarında her zaman sistem denge denklemlerinin sağlandığı gösterilmelidir.”

DY-2007 Madde 2.13: Deprem Hesap Raporlarına İlişkin Kurallar:

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

DY-2007 Madde 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.”

DY-2007 Madde 2.13.2

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

DY-2007 Madde 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.”

DY-2007 Madde 2.13.4

“Bilgisayarla hesap yapılması durumunda, aşağıdaki kurallar uygulanacaktır:

- (a) Düşüm 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.”*

İrdeleme:

Z-PRO yazılımı yukarıdaki yönetmelik yaptırımlarının bir kısmını yerine getirmemektedir. Hesap raporlarında kullanıcının kişisel tercihleri listelenmektedir. Hesap raporları genelde tablo ve şekillerden oluşmaktadır. Z-PRO genelde yönetmeliklerde yer almayan tanımlama, kısaltma ve simgelere yer vermemektedir. Yönetmelikte yer alan almayan tüm kısaltma ve yardımcı simgeler hesap raporlarında yer almamakta, kullanılan kısaltma ve simgeler şekiller yardımıyla da açıklanmaktadır. Kullanıcı ve proje denetçisi şekil ve simgeleri anlamakta zorluk çekmemektedir.

Hesap raporlarında bütün birimlerin büyüklükleri bellidir. Bilgi girişi ve analiz sonuçları bölümünde birim kargaşasına rastlanmıştır.

Analiz öncesi veri girişinde;

- Uzunluk birimi olarak: m, cm, mm, yd, ft, in
- Kuvvet birimi olarak: MN, kN, N, kgf, tf, kip, lbf
- Kütle birimi olarak: kg, t, lb
- Kesit birimi olarak: m, cm, mm, yd, ft, in
- Açı birimi olarak: rad, deg, gra
- Donatı birimi olarak: m, cm, mm, yd, ft, in
- Deformasyon birimi olarak: m, cm, mm, yd, ft, in kullanılmaktadır.

Bu birimlerdeki çeşitlilik kullanıcı seçimine sunulmuştur. Kullanıcı bu verilen birimlerden istediğini seçerek veri girişi yapabilmekte ve rapor sonuçlarını istediği birimde alabilmektedir.

Z-PRO yazılımı doğrudan A2 ve A3 düzensizliklerini belirleyememektedir. Ancak kullanıcı denetiminde belirleyebildiği bu düzensizlikler sonucu alınması gereken ilave önlemleri hesapla doğrulamaya çalışsa da kullanıcı bunu göz ardı edebilmekte yapıda bu düzensizlikler bulunsada düzensizlik yokmuş gibi rapor alabilmektedir.

DY-2007 Madde 2.13.4 (a)'da hesap raporlarına eklenmesi istenen düğüm noktalarının ve elemanların numaralarını gösteren üç boyutlu taşıyıcı sistem şeması yazılım tarafından oluşturulup hesap raporlarına eklenebilmektedir.

DY-2007 Madde 2.13.4 (c) maddesinde istenen, hesapta kullanılan bilgisayar yazılımının adı, müellifi ve versiyonu hesap raporunda açık olarak belirtilmektedir.

DY-2007 Madde 2.13.4 (d) maddesinde hesaplara eklenmesi istenen, yazılımın “teorik açıklama ve kullanma kılavuzu” eksik ve hatalı bilgiler içermektedir.

DY-2007 Madde 2.13.3'de istenen R katsayısının seçim nedeni ile ilgili olarak birtakım belirsizlikler ve hatalar tespit edilmiştir (Bkz. Bölüm 3.13.9 Z-PRO ile yapı davranış katsayısı (R) seçiminin irdelenmesi).

3.13.15 Z-PRO ile üretilen çizimlerin irdelenmesi

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 sökümü ile ilgili uyarı ve öneriler*
- *Değişik elemanların değişik yüzlerindeki pas payları*
- *Donatı açılımları 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.”

DY-2007 Madde 3.13: Betonarme Uygulama Projesi Çizimlerine İlişkin Kurallar

DY-2007 Madde 3.13.1 Genel Kurallar:

DY-2007 Madde 3.13.1.1:

“Binada uygulanacak beton kalitesi ile donatı çeliği kalitesi, bütün çizim paftalarında belirtilecektir.”

DY-2007 Madde 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.”*

DY-2007 Madde 3.13.1.3:

*“DY-2007 Madde 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.”*

DY-2007 Madde 3.13.2 Kolon ve Perde Detayları:

DY-2007 Madde 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.”

DY-2007 Madde 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.”

DY-2007 Madde 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.”

DY-2007 Madde 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 donatıların düşey açılımları yapılacaktır. Perde boyuna kesitinde kritik perde yüksekliği açık olarak belirtilecektir. Bu yükseklik boyunca ve diğer perde kesimlerinde kullanılan enine donatıların çap, sayı ve aralıkları ile açılımları çizim üzerinde gösterilecektir.”

DY-2007 Madde 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 donatıların çap, sayı ve aralıkları ile açılımları çizim üzerinde gösterilecektir.”

İrdeleme:

Z-PRO yazılımı ile üretilen çizimlerde kullanılan donatı sınıfı **S220a** çeliği **S220** olarak, **S420a** ve **S420b** çelikleri de **S420** olarak, **S500a** ve **S500b** çelikleri de **S500** olarak gösterilmektedir. Hesaplar açısından çeliğin akma gerilmesinin belirtilmesi yeterlidir fakat imalata esas olacağı için çizimlerde mutlaka donatı çeliğinin doğal sertlikte (“a” indisi ile gösterilir) ya da soğukta işlem görmüş (“b” indisi ile gösterilir) olduğunun belirtilmesi gerekmektedir.

Z-PRO tarafından üretilen çizimlerde çimento cinsi ve standart numarası, agrega en büyük tane büyüklüğü, beton kıvamı, değişik elemanların değişik yüzlerindeki pas payları gibi bulunması gereken bilgiler bulunmamaktadır.

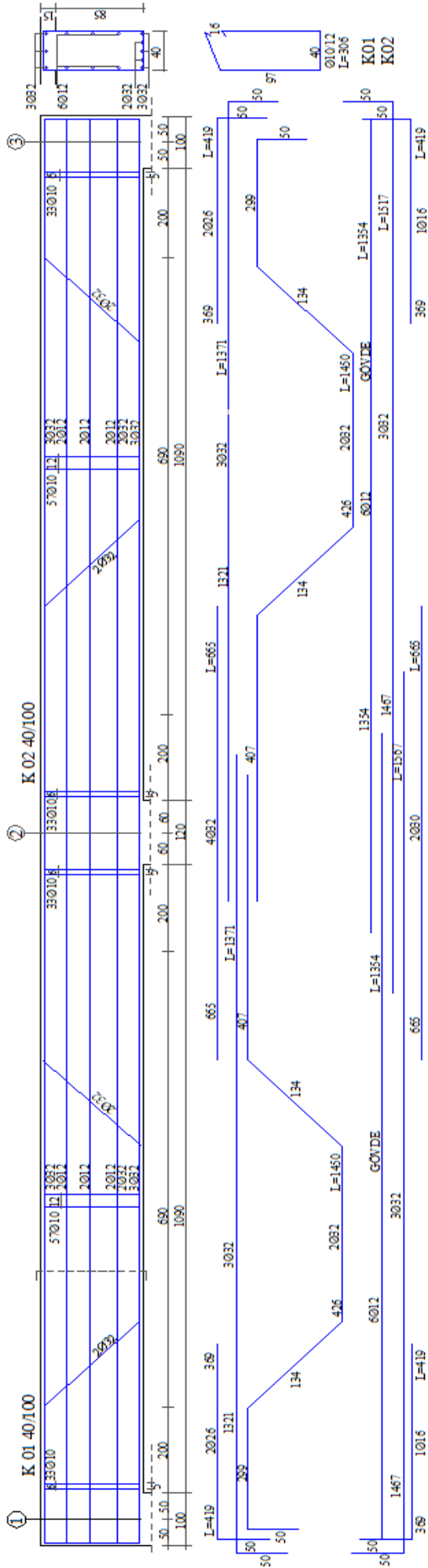
Dolgu duvarlar nedeniyle kısa kolon oluşması durumunda yazılım kolon etriyelerini sıklaştırmamaktadır (Bkz. Bölüm 3.20 Z-PRO Yazılımı ile Kısa Kolon Oluşumunun İrdelenmesi).

Taşıyıcı Sistem Davranış Katsayısı “R” nin seçim nedeni ile ilgili olarak yazılımın tespit edemediği bazı durumlar nedeni ile oluşabilecek hataların (Bkz. Bölüm 3.17.1 Z-PRO Yazılımı ile Yapı Davranış Katsayısının İrdelenmesi) çizim çıktılarına da aynen yer alması hatalı proje üretilmesine yol açmaktadır.

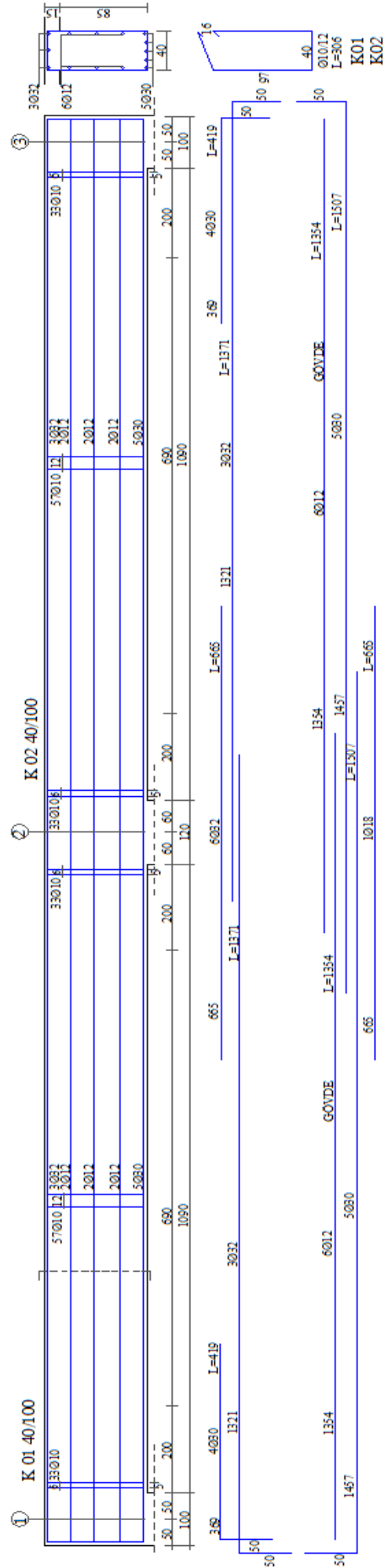
Kiriş analiz sonuçları incelenirken açıklık ve mesnet donatılarını gösteren yardımcı çizimler sunulmakta kullanıcı yığılma olup olmadığını kontrol etmektedir. Ancak yazılımda kiriş boyuna ve enine donatıların çapı kullanıcı girişine sunulmuş olmasının da bir sonucu olarak, kiriş boyuna donatılarında yığılma ne kadar çok olursa olsun yazılım sesli ya da yazılı bir uyarıda bulunmamaktadır. Bu kontrolün otomatik olarak yapılmaması kullanıcının üretilen çizimlerden yığılmaları fark etmesini zorlaştırmaktadır. Çünkü kiriş detay çizimlerinde enine kesitler otomatik olarak açıklıktan alınabilmekte yığılmanın olduğu mesnetlerin durumu görünmemektedir. Bu durum mühendis, denetçi ve uygulamacıların işini güçleştirmekte ve boşluklu beton oluşumuna neden olacak şekilde hatalı üretime neden olmaktadır.

Genişlikleri çok farklı, birbirine komşu ve sürekli iki kirişin (örneğin 50 cm ve 25 cm genişliğinde iki komşu kiriş) detay çizimlerinde 50 cm genişliğindeki kirişin bütün donatıları kesilmeden 25 cm’lik kirişe geçiyormuş gibi bir gösterim söz konusu değildir. 50 cm lik kirişin boyuna donatılarından uygun olanları, 25 cm lik kirişle birleştiği bölgedeki kolon içinde kesilmektedir. Z-PRO bu konuda uygulanması mümkün olmayan bir duruma yer vermemiştir.

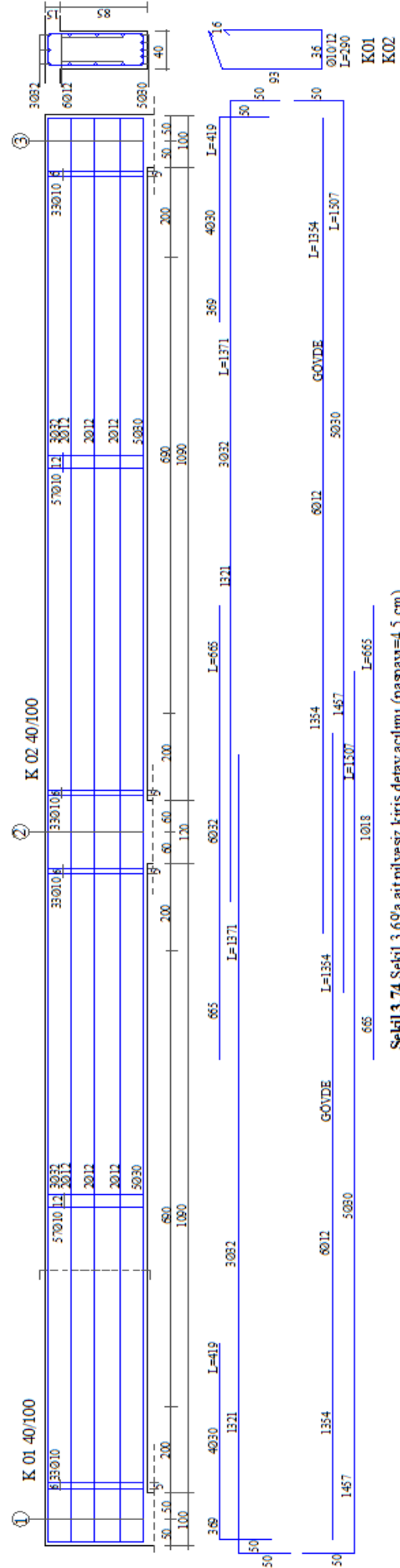
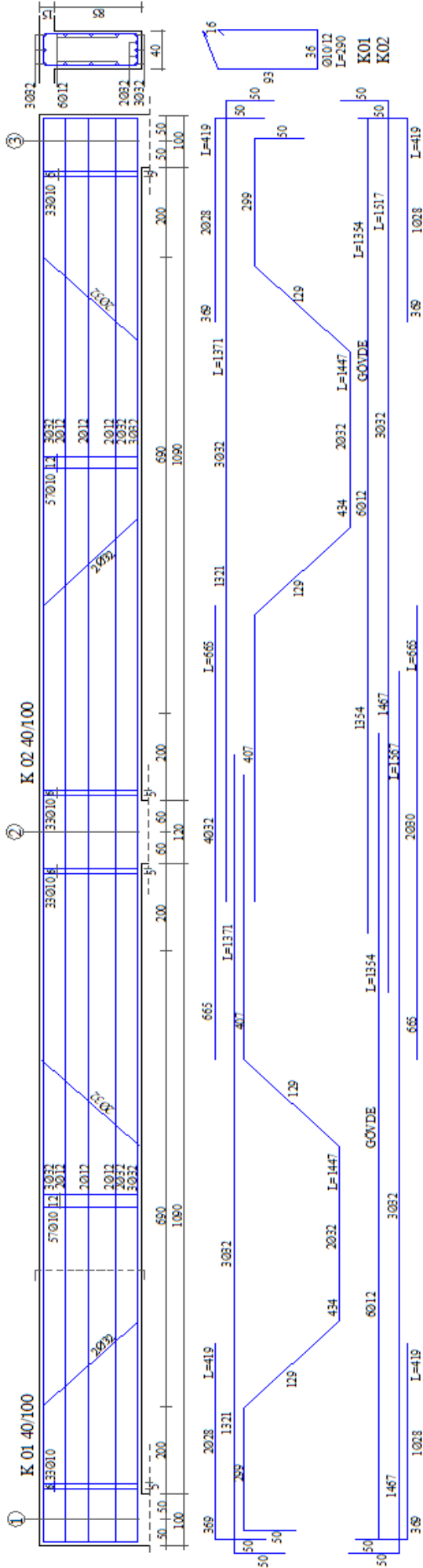
Piyasada yapımına az rastlanan ancak mimari nedenler, yapı kullanım amacı, arazinin konumu gibi sebeplerle yapımına ihtiyaç duyulan yerinde dökme, açıklığı 12 m’ yi aşan kirişlerde gövde donatılarını Z-PRO’ nun nasıl yerleştiği sorusuna cevap aramak için Şekil 3.70 deki sistem hazırlanmıştır. Sistem zati ağırlığı ihmal edilmeden



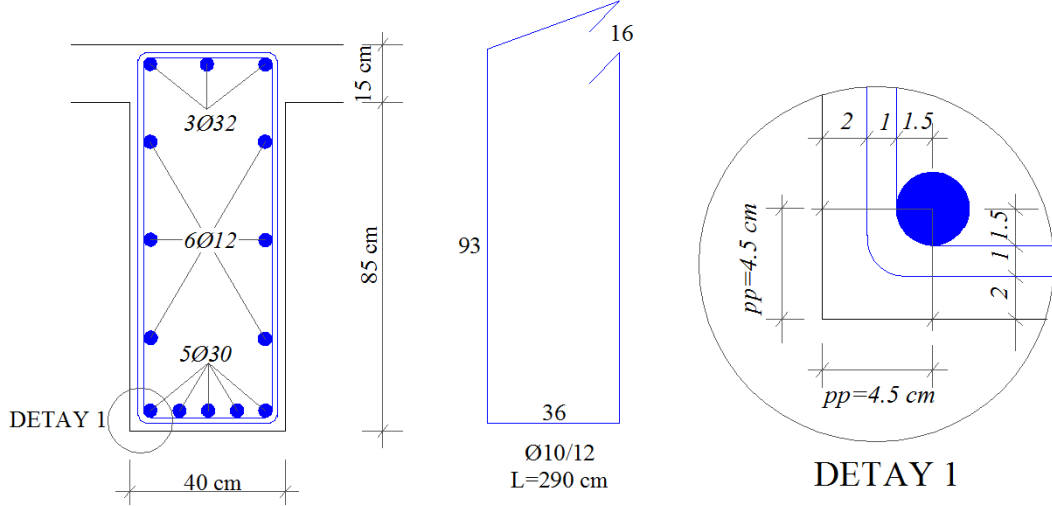
Şekil 3.70 Şekil 3.69' a ait pilyeli kiriş detay açılımı (kiriş paspaya 2.5 cm için)



Şekil 3.71 Şekil 3.69' a ait pilyesiz kiriş detay açılımı (kiriş paspaya 2.5 cm için)



Şekil 3.73 ve 3.74 incelendiğinde, Şekil 3.70 ve 3.71 de olduğu gibi piyasadaki maksimum donatı boyunun 12 metre olmasına karşın yazılım 12 metrenin üzerindeki donatıları bindirme yapmadan bir bütün olarak çizimlerine yansıtmış herhangi bir uyarı ve hata mesajı vermemiştir. Uygulamada bu detayı yapmak mümkün değildir.



Şekil 3.75 PP = 4.5 cm için Z-PRO'nun sunduğu kiriş en kesit detayı

Şekil 3.75 de görüldüğü gibi yazılımda paspayı, boyuna donatı en kesit alanının merkezinden beton en dış lifine kadar olan mesafe olarak kabul edildiği görülmüştür. Yazılımın sunmuş olduğu bu ön değer minimum pas payına karşılık gelmektedir. Kullanıcının bu durumu bilmesi ve buna göre paspaylarını belirlemesi oldukça önem arz etmektedir. Şekil 3.69 daki sistem için kenetlenme ve bindirme boyu ile ilgili irdellemeler Bölüm 3.23.1 de verilmiştir.

3.13.16 Z-PRO da donatı kenetlenmesi ve bindirme boylarının irdelenmesi

TS 500–2000 de kenetlenme boyu (l_b); donatının gereksinimine duyulmayan noktadan düz olarak uzatılmasıdır. 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 Madde 9.1.2: Çekme Donatısının Kenetlenmesi

a) Düz Kenetlenme,

“Donatının gereksinme duyulmayan noktadan düz olarak l_b kadar uzatılması ile sağlanabilir. Kenetlenme boyu olarak tanımlanan bu boy, nervürlü çubuklar için aşağıdaki denklem kullanılarak hesaplanmalıdır.”

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

DY-2007 Madde 3.3.3. Kolon Boyuna Donatısının Düzenlenmesi

DY-2007 Madde 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 l_b ’ye eşit olacaktır.”

DY-2007 Madde 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, l_b ’nin en az 1.25 katı olacaktır.

(b) Boyuna donatıların %50’den fazlasının kolon alt ucunda eklenmesi durumunda bindirmeli ek boyu, l_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.”

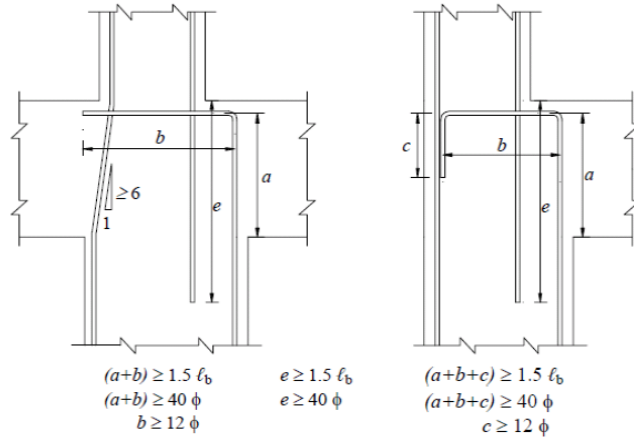
DY-2007 Madde 3.3.3.3

“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 l_b ’nin 1.5 katından ve 40Φ ’den daha az olmayacaktır. Karşı tarafta kiriş bulunmadığı durumlarda kenetlenme, gerekirse kolonun karşı yüzünde aşağıya

doğru kıvrım yapılarak sağlanacaktır. 90° yatay kancanın veya aşağıya kıvrılan düşey kancanın boyu en az 12Φ olacaktır (Şekil 3.2)."

DY-2007 Madde 3.3.3.4

"Yan yana boyuna donatılarda yapılan manşonlu veya kaynaklı eklerin arasındaki boyuna uzaklık 600 mm'den az olmayacaktır."



Şekil 3.76 DY-2007 Şekil 3.2

DY-2007 Madde 3.4.3. Kiriş Boyuna Donatısının Düzenlenmesi

DY-2007 Madde 3.4.3.1

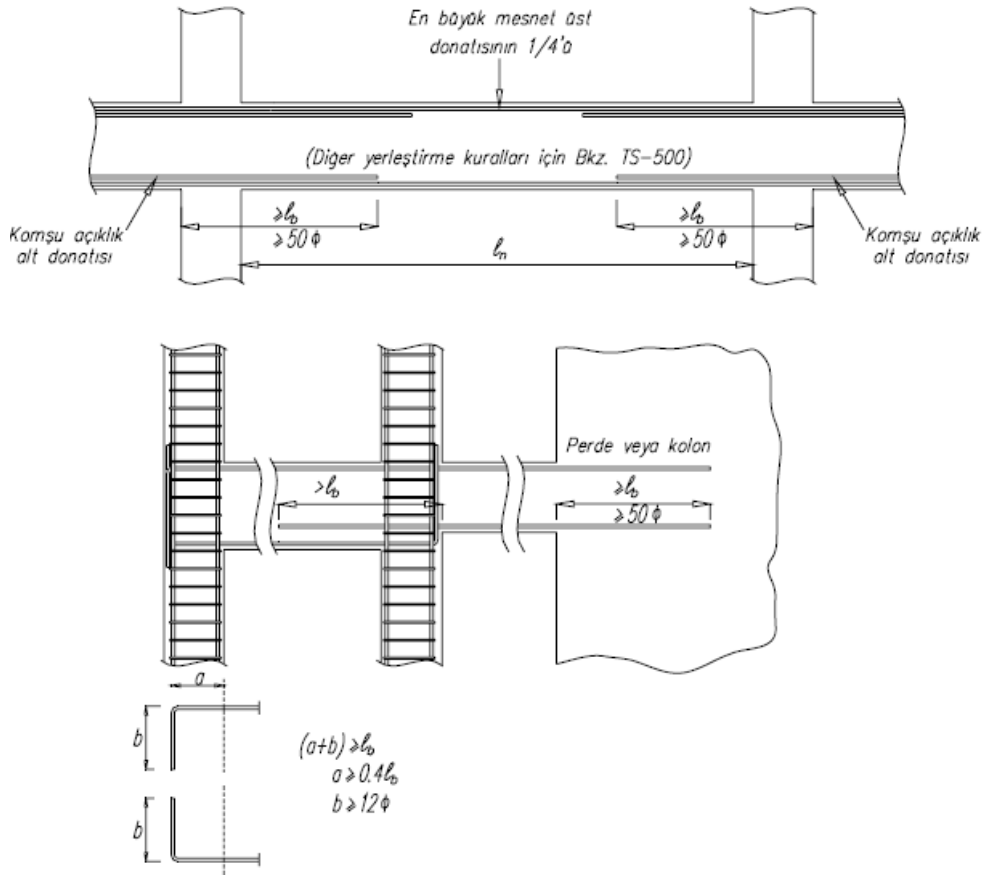
"Boyuna donatıların yerleştirilmesi ve kenetlenmesine ilişkin koşullar aşağıda verilmiştir (Şekil 3.7):"

(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 yüzüne kadar uzatılıp etriyelerin iç tarafından 90° 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 ℓ_b 'den az olmayacaktır. 90° lik kancanın yatay kısmı $0.4\ell_b$ 'den, düşey kısmı ise 12Φ 'den az olmayacaktır. Perdelerde ve a ölçüsünün düz kenetlenme boyu

ℓ_b 'den ve 50Φ 'den daha fazla olduğu kolonlarda, boyuna donatının kenetlenmesi, 90° lik kanca yapılmaksızın düz olarak sağlanabilir.

(c) Her iki taraftan kirişlerin kolonlara birleşmesi durumunda kiriş alt donatıları, açıklığa komşu olan kolon yüzünden itibaren, 50Φ '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 3.77 DY-2007 Şekil 3.7

DY-2007 Madde 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 $\frac{1}{4}$ '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."

Z-PRO da kolon boyuna donatılarının tamamı kolon alt ucundan bindirmeli olarak yapılmaktadır. Kolon orta bölgelerinde bindirmeli ek yapılmamaktadır. Oluşturulan modeller üzerinde kolon boy açılımları incelendiğinde yazılımın temel ve alt kattan gelen kolon filizlerini 1.5 l_b çizdiği görülmüş, çizimlerde uzunluk miktarı gösterilmektedir. Z-PRO da DY-2007 madde 3.3.4.1 de tanımlanan minimum enine donatı kullanılmaktadır.

Katlar arasında kolon kesitinin değişmesi durumunda DY-2007 Madde 3.3.3.3 de istenen düzenlemeler yapılmaktadır. Alt kattan gelen kolon filizleri kolon-kiriş birleşim bölgesi içinde düşeye göre eğimi $\frac{1}{6}$ 'dan daha fazla olmayacak şekilde gönyeli olarak kırılıp üst kata geçirilerek çizilmektedir. Örneğin 50/50 cm boyutundaki bir kolon bir üst katta 25/50 cm olarak modellendiğinde, sunulan çizimlerde kolon filizlerinin gönyelemeye tabi tutulduğu görülmüştür. En üst kat tepe noktasında kolon donatıları 90⁰ gönyelenerek kolon dışına taşmayacak şekilde kırılıp çizimlere yansıtılmıştır. Farklı donatı çapları için yapılan kontrollerde yazılımın gönye boylarını doğru çizdiği görülmüştür.

Z-PRO da kolonlardan farklı olarak kiriş boyuna donatılarındaki bindirme boyları kullanıcı tercihinine bağlı olarak gösterilebilmektedir. Hazırlanan farklı kalıp planları üzerinde yapılan incelemelerde yazılımın DY-2007 Madde 3.4.3 Boyuna Donatıların Düzenlenmesi başlığı altında istenilen düzenlemeleri uyguladığı görülmüştür.

BÖLÜM 4

SONUÇ VE DEĞERLENDİRMELER

Z-PRO yazılımının irdelenmesi sonucunda varılan sonuçlar aşağıda özetlenmiştir:

- Yapısal analiz ve malzeme varsayımları ile ilgili bilgi eksiklikleri vardır.
- Z-PRO yazılımında bütün deprem bölgelerinde **C20/25**'den daha düşük dayanımlı beton sınıfı seçilip bu beton sınıfına göre analizler yapılabilmekte kullanıcı uyarılmamaktadır. Bu durum DY-2007 madde 3.2.5.1'e aykırı projelerin üretilmesine neden olmaktadır.
- Z-PRO yazılımında beton sınıfı olarak **C50/60**' den daha yüksek dayanımlı beton sınıfına göre analiz yapılabilmekte ve kullanıcı uyarılmamaktadır. DY-2007 Madde 3.1.4' aykırı proje üretilmektedir.
- Yazılımda DY-2007 Madde 3.2.5.4'ün kapsamı dışındaki durumlarda **S420**'dan daha yüksek dayanımlı çelik sınıfı seçilerek bu çelik sınıfına göre analiz yapılabilmekte ve bu konuda kullanıcı uyarılmamaktadır.
- DY-2007 tarafından açıkça yasaklanmış olmasına rağmen **S500** donatı çeliği kullanılarak herhangi bir uyarı ile karşılaşılmadan yönetmeliğe aykırı projeler üretilmektedir.
- Yazılımın çizimlerinde **S220a** çeliği **S220** olarak, **S420a** ve **S420b** çelikleri de **S420** olarak, **S500a** ve **S500b** çelikleri de **S500** olarak gösterilmekte, **a** ve **b** indisi ile ilgili ne hesap raporlarında ne de çizim çıktılarında herhangi bir bilgi rastlanılmamıştır.
- Yazılımda veri girişlerinde standart değerlerin dışında değerler tanımlayıp analiz yapılabilmekte ve bu durumda yazılım kullanıcılarını uyarmamaktadır.
- Kolonlarda donatı planının secimi konusunda kullanıcının bir seçeneği bulunmamaktadır. Yazılımda hangi tip donatı planı kullanıldığı belli değildir.

- Kiriş, kolon ve perde uçları boyuna donatılarında deprem yönetmeliğinin izin verdiği çelik sınıfı S420a olmasına karşın, herhangi bir uyarı ile karşılaşmaksızın boyuna donatılar S220a donatı çeliği tanımlanıp proje üretilebilmektedir.
- Kullanıcı tanımlı yüklerde bazı sorunlarla karşılaşmıştır. Yazılımda oluşturulan herhangi bir sistemin belirli bir kolon, perde veya kirişlerine kullanıcı girişli olarak tanımlanan yükler, projeden o eleman çıkarıldığında veya yerine yeni eleman eklendiğinde ya da kat kopyalama durumlarında, yükün eleman ile birlikte kalkmadığı, başka elemana aktarıldığı, değişen eleman isimleriyle birlikte hareket ettiği görülmektedir. Karmaşık sistemlerde kullanıcının asla farkına varamayacağı bu yazılım hatası gerçek dışı sistemlerin analizine neden olmaktadır.
- Kirişsiz konsol döşemeyi taşıyan kiriş için tablalı kesit hesabı yapılmamakta, dikdörtgen kesit hesabı yapılmaktadır.
- Kiriş, kolon, perde ve döşemeler için TS 500-2000 ve DY-2007’de tanımlanan minimum koşullardan bazılarını yerine getirmemektedir.
- Eşdeğer deprem yükü yöntemi, mod birleştirme yöntemi ve zaman tanım alanında hesap yöntemi yazılım menülerinde var olmasına rağmen yalnızca mod birleştirme yöntemi ile deprem hesabı yapmak mümkündür, eşdeğer deprem yükü yöntemi kullanılamamaktadır.
- Yazılım Rijit diyafram kabulü yapılmayan sistemlerde A1 düzensizliğini belirleyememiştir.
- Z-PRO yazılımı doğrudan A2 ve A3 düzensizliklerini belirleyememektedir. Z-PRO’ da deprem kuvvetlerinin taşıyıcı sistem elemanları arasında güvenle aktarıldığı kullanıcı inisiyatifinde hesapla doğrulanmaktadır. Kullanıcı isterse bu durumu göz ardı edebilmekte, yapılarda A2 ve A3 düzensizliği olsa da yokmuş gibi rapor alınabilmektedir.
- Yazılım, perde-çerçeve sistemlerde, B1 düzensizliğini doğru olarak tespit edememiştir. Hesaplamalarda her iki deprem doğrultusu için de perde enkesit alanları toplamını, sistemde bulunan tüm perdelerin enkesit alanları toplamı olarak ele almış perdelerin çalışma doğrultularını dikkate almamıştır.

- B3 düzensizliği kontrolü, DY-2007 Madde 2.3.2.4 (a) ve DY-2007 Madde 2.3.2.4 (d) koşulları yerine getirilmemektedir.
 - Kısa kolonlar dolgu duvarlar nedeniyle oluştuğunda yazılım bu durumu belirleyememektedir.
 - Taşıyıcı elemanları için, yönetmelikteki minimum değerlerin altında pas payı seçimine Z-PRO hiç bir uyarı vermeden izin vermektedir.
 - Uygulamadaki maksimum donatı boyu 12 metre olmasına karşın yazılım kirişler için 12 metrenin üzerindeki donatıları bindirme yapmadan bir bütün olarak çizimlerine yansıtmış herhangi bir uyarı ve hata mesajı vermemiştir.
 - Yazılım, yapı süneklilik düzeyleri ile ilgili olarak DY-2007 Madde 2.5.1.2, Madde 2.5.1.4, Madde 2.5.1.5 ve Madde 2.5.1.6 daki koşulu yerine getirmemektedir.
 - Taşıyıcı Sistem Davranış Katsayısı (R) ile ilgili olarak yönetmelikte verilen değerlerin dışında standart dışı sayılabilecek değerler tanımlanabilmekte ve analiz yapılmaktadır. Yazılım R'nin seçim nedeniyle ilgili olarak DY-2007 Madde 2.5.4.1 (c)' yi dikkate almamaktadır.
 - Yazılım ile üretilen hesap raporları ve çizimlerin yönetmeliklerde öngörülen bazı koşulları yerine getirmediği belirlenmiştir.
 - Yeterli yardım menüleri olmasına rağmen kullanıcının yararlanabileceği el kitabı güncel değildir ve yeterli bilgi de yoktur.
 - TS 498 Madde 13 hareketli yük azaltması maddesi uygulanmamaktadır.
- Bu çalışmada zaman darlığından dolayı değinilemeyen konular da vardır.

Bunlar aşağıda sıralanmıştır:

- Temeller
- Merdivenler
- Dişli ve kirişsiz döşemeler
- Güçlendirme

Z-PRO türü yazılımlar proje üretiminde artık vazgeçilmez bir araçtır. Ancak, görüldüğü gibi, yazılımın önemli eksikleri bulunmaktadır. Kanımızca, Z-PRO'nun arkasında yeterli teorik destek yoktur. Daha çok, uygulamada çalışan mühendislerin

hoşlanacağı tarzda hazırlanmıştır. Bu tür eksikliklerin diğer yazılımlarda da, az ya da çok, bulunduğu önceki çalışmalardan tespit edilmiştir (X-PRO ve Y-Pro nun irdelenmesi). Yönetmeliklere ters düşen durumlarda uyarı dahi vermeyen veya kararı kullanıcının keyfine bırakan ve analizi sonuna kadar götüren bir yazılıma “iyidir” denilemez. Yapılması gereken hesap ve kontrol edilmesi gereken yönetmelik maddelerinin çokluğu göz önünde bulundurulduğunda eksikliklerin bulunması doğaldır. Önemli olan bu eksiklerin ne olduğunun bilinmesidir.

Mühendisler bu tür yazılımların birer hesap aracı olduğunu unutmamalı, bulunan sonuçları mutlaka kontrol etmeli, düzeltmelidirler. Ancak uygulamada proje mühendisleri yoğun iş baskısı nedeniyle her zaman bu şansı bulamamakta ya da kullandıkları yazılıma sonsuz güven duymaktadırlar. Bu noktada getirilebilecek önerilerden bir tanesi yazılımların müelliflerine olacaktır: Yazılımlarının neleri yapıp neleri yapamadığı konusunda kullanıcılarını çok net bir dille aydınlatmaları gerekmektedir. Yazılımı güncel el kitabı ile desteklemeli çıktılarına da yansıyan uyarılar ile zenginleştirmelidirler. Böylece kullanıcı daha bilinçli olacak ve yazılımın yapamadığı hesapları ve kontrolleri kendisi yaparak eksikleri kapatabilecektir. İkinci öneri ise: Bu yazılımları denetleyen resmi bir yapının oluşturulması, belkide “yazılım yönetmeliği” hazırlanması olacaktır.

KAYNAKLAR DİZİNİ

- Aydın, M. R., 2002, Betonarme hesap tabloları, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Eskişehir, Yayın No: 071, 53s.
- Aydın, M. R., Akgun, O. R. ve Topcu, A., 2002, Betonarme kolon tabloları, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü, Eskişehir, 123s.
- Doğangün, A., 2008, Betonarme Yapıların Hesap ve Tasarımı
- Ersoy, U., Özcebe, G., 2004, Betonarme, Evrim Yayınevi İstanbul, 816s.
- İnan, M., 2001, Cisimlerin mukavemeti, İstanbul Teknik Üniversitesi Yayınları İstanbul, Yayın No: 25, 560s.
- Topçu, A., 2010, Betonarme 1 sunu ders notları, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Eskişehir. <http://mmf2.ogu.edu.tr/atopcu/>
- Bayındırlık Bakanlığı, 2007, Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar 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.
- Topçu, A., Betonarme 2000β, Betonarme kolon boyuna donatı hesabı yazılımı, <http://mmf2.ogu.edu.tr/atopcu/>
- Z-PRO yazılımının 2010 yılı lisanslı sürümü,
- ETABS, 2007, Extended 3D Analysis of Building Systems, Version 9.1.4, Computers and Structures, Inc., Berkeley, California, USA
- SAP 2000, 2009, Integrated Software for Structural Analysis and Design, Version 14.0, Computers and Structures, Inc., Berkeley, California, USA