

T.C. ESKİŞEHİR OSMANGAZİ ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

- Uygulamada Kullanılan Profesyonel Bir Statik-Betonarme Hesap ve Çizim Yazılımının İrdelenmesi

Onur Kaplan

YÜKSEK LİSANS TEZİ

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Haziran-2007

ESKİŞEHİR

Uygulamada Kullanılan Profesyonel Bir Statik-Betonarme Hesap ve Çizim Yazılımının
İrdelenmesi

Onur Kaplan

YÜKSEK LİSANS TEZİ

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Haziran-2007

Examination of a Professional Structural Analysis-Reinforced Concrete Design and
Drawing Software Which is Used in Practice

Onur Kaplan

MASTER OF SCIENCE THESIS

Department of Civil Engineering

June-2007

Uygulamada Kullanılan Profesyonel Bir Statik-Betonarme Hesap ve Çizim Yazılımının
İrdelenmesi

Onur Kaplan

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-2007

Onur KAPLAN 'ın YÜKSEK LİSANS tezi olarak hazırladığı “Uygulamada Kullanılan Profesyonel Bir Statik-Betonarme Hesap ve Çizim Yazılımının İrdelenmesi” başlıklı bu çalışma, jürimizce lisansüstü yönetmeliğinin ilgili maddeleri uyarınca değerlendirilerek kabul edilmiştir.

Üye : Prof. Dr. Ahmet TOPÇU (Danışman)

Üye : Prof. Dr. Yunus ÖZÇELİKÖRS

Üye : Prof. Dr. Eşref ÜNLÜOĞLU

Üye : Prof. Dr. Abdurrahman KARAMANCIOĞLU

Üye : Doç. Dr. Yücel GÜNEY

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

Prof. Dr. Abdurrahman KARAMANCIOĞLU

Enstitü Müdürü

ÖZET

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

Bu amaç için izlenen yol şu şekildedir: Öncelikle yazılımın genel özelliklerine değinilmiştir. Yazılımın işaret kuralları, yapı elemanları, malzeme ve kesit varsayımları ortaya koyulmuş ve bu konularla ilgili kritikler yapılmıştır. İrdeleme bölümünde çeşitli yapı modelleri oluşturularak yazılımın statik ve betonarme sonuçları tartışılmıştır. Oluşturulan yapı modelleri Türk standartlarında öngörülen minimum koşullar ve düzensizlikler bakımından irdelenmiştir.

İrdelemeler sonucunda yazılımın işaret kuralında bazı hatalar ve eksiklikler bulunduğu belirlenmiştir. Malzeme ve yük varsayımlarında da eksiklikler bulunmaktadır. Türk standartlarında öngörülen minimum koşulların sağlanmadığı durumlar belirlenmiştir. Düzensizliklerin bazılarının hatalı kontrol edildiği bazılarına ise hiç değinilmediği 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 which is commonly used in civil engineering for analyzing, design and drawing the reinforced concrete structures has been examined. In our country an official control organization of such softwares does not exist. Aim of this study is to check the projects, which are prepared by the engineers using such a software.

The method used for the above mentioned purpose is as follows: First of all, general properties of software have been mentioned. Sign rule, structure elements, material and section assumptions of software have been presented and then these topics have been criticized. In examination part various structure models have been established and analyzed then the results of software have been discussed. The established structure models have been examined in terms of minimum conditions and irregularities, which are defined in national codes.

After examinations, it has been found out that, there are some mistakes and lacks at sign rule of the software. Also there are some lacks at material and load assumptions. It has also been determined that, there are situations where minimum conditions of national codes are not satisfied. On the other hand, some of the irregularities have been either misrepresented or not represented at all. Finally, it might be said that, a widely used software has important lacks and should be used with caution.

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, her konuda desteğini hiçbir zaman esirgemeyen değerli büyüğüm İnş. Yük. Müh. İbrahim KAFALIER'e, İnş. Yük. Müh. Canan BİNGÜL'e, değerli dostum İnş. Müh. Ertuğrul ALTINIŞIK'a ve bütün mesai arkadaşlarıma, çalışmalarım sırasında her zaman yanımda ve destekçim olan nişanlım Ecz. Fatma Hazal GÖRAL'a, beni maddi ve manevi olarak her zaman destekleyen değerli aileme en içten dileklerle teşekkürlerimi sunarım.

Onur KAPLAN

Haziran-2007

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
ÖZET	v
SUMMARY	vi
TEŞEKKÜR	vii
ŞEKİLLER DİZİNİ	xi
ÇİZELGELER DİZİNİ	xiv
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	xvi
1. GİRİŞ	1
2. GENEL	3
2.1 X-PRO Yazılımı Global, Lokal Eksenleri ve İşaret Kabulünün İrdelenmesi	6
2.1.1 Global eksenler	6
2.1.2 Eleman lokal eksenleri ve teorik işaret kabulünün irdelenmesi	6
2.1.2.1 Kolon lokal eksenleri ve teorik işaret kuralı	6
2.1.2.2 Kiriş lokal eksenleri ve teorik işaret kuralı	8
2.1.3 X-PRO Yazılımı çıktı işaret kabulü	10
2.2 X-PRO Yazılımı Yapı Elemanları	11
2.2.1 Aks modeli	11
2.2.2 Kolon modeli	11
2.2.3 Kiriş modeli	13
2.2.4 Döşeme modeli	16
2.2.4.1 Rijit diyafram kabulünün irdelenmesi	16
2.2.5 Temel Modeli.....	18
2.3 X-PRO Yazılımı Varsayımları.....	19
2.3.1 Malzeme ve kesit varsayımları	19
2.3.1.1 Malzeme varsayımları.....	19
2.3.1.2 Kesit varsayımları	21

İÇİNDEKİLER (devam)

	<u>Sayfa</u>
2.3.2 Yük varsayımları ve yük aktarımı.....	21
3. İRDELEME.....	24
3.1 Malzeme ve Kesit Varsayımlarının İrdelenmesi.....	24
3.1.1 Malzeme varsayımlarının irdelenmesi.....	24
3.1.2 Kesit varsayımlarının irdelenmesi	29
3.2 Yük Varsayımlarının İrdelenmesi.....	29
3.3 X-PRO Yazılımı Tarafından Hesaplanan İç Kuvvet ve Deplasmanların İrdelenmesi.....	31
3.3.1 Düzlem çerçevelerde iç kuvvetlerin irdelenmesi.....	33
3.3.2 Düzlem çerçevelerde deplasmanların irdelenmesi	40
3.3.3 Uzay çerçevelerde iç kuvvet ve deplasmanların irdelenmesi	44
3.3.4 Kirişlerde burulma momentinin irdelenmesi	47
3.4 X-PRO Yazılımı Kiriş Betonarme Hesabının İrdelenmesi.....	55
3.4.1 Kiriş boyuna donatı hesabının irdelenmesi.....	55
3.4.2 Kiriş enine donatı hesabının irdelenmesi :.....	63
3.5 X-PRO Yazılımı Kolon Betonarme Hesabının İrdelenmesi.....	64
3.5.1 Kolon boyuna donatı hesabının irdelenmesi.....	64
3.5.2 Kolon enine donatı hesabının irdelenmesi.....	66
3.6 X-PRO Yazılımının Yönetmeliklerde Öngörülen Koşullar Açısından İrdelenmesi	67
3.6.1 Kirişlerde sınır değerlerin irdelenmesi	69
3.6.2 Kolonlarda sınır değerlerin irdelenmesi	73
3.6.3 Perdelerde sınır değerlerin irdelenmesi	77
3.7 X-PRO Yazılımının Dep. Yön. 1997’de Tanımlanan Düzensizlikler Bakımından İrdelenmesi.....	86
3.7.1 A – Planda düzensizlik durumlarının irdelenmesi.....	86
3.7.1.1 A1 – Burulma düzensizliğinin irdelenmesi.....	86
3.7.1.2 A2 – Döşeme süreksizliklerinin irdelenmesi	92

İÇİNDEKİLER (devam)

Sayfa

3.7.1.3 A3 - Planda çıkıntılar bulunmasının irdelenmesi.....	94
3.7.1.4 A4 – Taşıyıcı eleman eksenlerinin paralel olmamasının irdelenmesi ...	97
3.7.2 B – Düşey doğrultuda düzensizlik durumlarının irdelenmesi	99
3.7.2.1 B1 – Komşu katlar arası dayanım düzensizliğinin (Zayıf Kat) irdelenmesi.....	99
3.7.2.2 B2 - Komşu katlar arası rijitlik düzensizliği (Yumuşak Kat) irdelenmesi	105
3.7.2.3 B3- Taşıyıcı sistemin düşey elemanlarının süreksizliğinin irdelenmesi	113
3.8 X-PRO Yazılımı ile Görelî Kat Ötelemelerinin Sınırlandırılmasının İrdelenmesi	116
3.9 X-PRO Yazılımı ile İkinci Mertebe Etkilerinin İrdelenmesi	117
3.10 X-PRO Yazılımı ile Yapı Davranış Katsayısının İrdelenmesi	119
3.10.1 Dep. Yön. 1997 ilgili maddeleri	119
3.10.2 İrdeleme	124
3.11 X-PRO Yazılımı ile Kolonların Kirişlerden Daha Güçlü Olması Koşulunun İrdelenmesi.....	129
3.12 X-PRO Yazılımı ile Süneklik Düzeyi Yüksek Çerçeve Sistemlerinde Kolon – Kiriş Birleşim Bölgelerinin İrdelenmesi.....	131
3.13 X-PRO Yazılımı ile Kısa Kolon Oluşumunun İrdelenmesi.....	134
3.14 X-PRO Yazılımının Yapısal Çözümleme ve Kesit Hesap Raporları ile Deprem Hesap Raporlarının İrdelenmesi	136
3.15 X-PRO Yazılımı ile Üretilen Çizimlerin İrdelenmesi	140
4. SONUÇ VE DEĞERLENDİRMELER	144
KAYNAKLAR DİZİNİ	148

ŞEKİLLER DİZİNİ

<u>Sekil</u>	<u>Sayfa</u>
2.1 Kat ve düğüm noktası deplasmanları.....	4
2.2 X-PRO yazılımının sunduğu: a) kolon lokal eksenleri, b) iç kuvvetlerin teorik pozitif yönleri, c) global eksen takımı	7
2.3 X-PRO yazılımını incelenerek tespit edilen kolon lokal eksenleri ve iç kuvvetlerin teorik pozitif yönleri.....	8
2.4 X-PRO yazılımının sunduğu kiriş lokal eksenleri ve iç kuvvetlerin teorik pozitif yönleri.....	9
2.5 X-PRO yazılımını kiriş lokal eksenleri ve iç kuvvetlerin teorik pozitif yönleri.....	9
2.6 X-PRO yazılımını çıktı işaret kuralı.....	10
2.7 Kolon kesitleri.....	11
2.8 Kolonlara ait mafsal tipleri.....	12
2.9 X-PRO yazılımını kolon iç kuvvetleri ve pozitif yönleri	12
2.10 Kiriş modelleri.....	13
2.11 Kirişlerde mafsal tipleri.....	14
2.12 Kiriş uç kuvvetleri ve pozitif yönleri.....	14
2.13 Eksendeki momentin hesaplama modeli.....	15
2.14 Rijit diyafram kabulünün irdelenmesi örneği.....	17
2.15 Sürekli temellerde ampatman tipleri.....	18
2.16 Kiriş yüklerinin yayılışı.....	22
2.17 X-PRO yazılımını yük katsayıları ve yük birleşimleri.....	23
3.1 X-PRO yazılımını iç kuvvetlerin irdelenmesi için hazırlanan düzlem çerçeve...	31
3.2 X-PRO yazılımını iç kuvvetlerin irdelenmesi için hazırlanan uzay çerçeve.....	44
3.3 X-PRO kiriş burulma momentlerinin irdelenmesi için hazırlanan sistem.....	47
3.4 Planlanan model (yük konsolun ucunda).....	51
3.5 Çıkmalı yapı modeli.....	52
3.6 Kaset kirişli yapı modeli.....	53
3.7 Dikdörtgen kesitli kiriş betonarme hesabının irdelenmesi için hazırlanan sistem.....	55

ŞEKİLLER DİZİNİ (devam)

<u>Sekil</u>	<u>Sayfa</u>
3.8	Tablalı kiriş betonarme hesabının irdelenmesi için hazırlanan sistem..... 59
3.9	Dep. Yön. 1997 (Şekil 7.9)..... 63
3.10	Donatı planı, iç kuvvetler ve malzeme bilgileri..... 64
3.11	Kolon boyuna ve enine donatıları 65
3.12	Kirişlerde sınır değerler..... 68
3.13	Kolonlarda sınır değerler..... 73
3.14	Perdelerde sınır değerler..... 77
3.15	Dep. Yön. 1997 (Şekil 6.1)..... 86
3.16	Dep. Yön. 1997 (Şekil 6.8)..... 87
3.17	$\eta_{bi} < 1.2$ örneği kalıp planı 88
3.18	$\eta_{bi} > 1.2$ örneği kalıp planı..... 89
3.19	$\eta_{bi} \geq 2$ örneği kalıp planı 90
3.20	Dep. Yön. 1997 (Şekil 6.2)..... 92
3.21	A2 düzensizliği örnek kalıp planları..... 93
3.22	Dep. Yön. 1997 (Şekil 6.3) 94
3.23	A3 düzensizliği örneği kalıp planı 95
3.24	Dep. Yön. 1997 (Şekil 6.4)..... 97
3.25	A4 düzensizliği örneği kalıp planı 98
3.26	B1 düzensizliği $0.6 < \eta_{ci} < 0.8$ örneği kalıp planı ve görünüşü 100
3.27	B1 düzensizliği $\eta_{ci} < 0.6$ örneği kalıp planı ve görünüşü 103
3.28	B2 Düzensizliği örnek kalıp planları 105
3.29	B2 Düzensizliği örneği perdeli sistem grafikleri 108
3.30	B2 Düzensizliği örneği perdesiz sistem grafikleri 109
3.31	B2 Düzensizliği örneği perdeli ve perdesiz sistem grafikleri..... 110
3.32	B3 düzensizliği (a) maddesi örneği 113
3.33	B3 düzensizliği (b) maddesi örneği 114
3.34	X-PRO yazılımı B3 düzensizliği (b) maddesi analiz seçenekleri 114
3.35	B3 düzensizliği (c) maddesi örneği 115
3.36	B3 düzensizliği (d) maddesi örneği 116

ŞEKİLLER DİZİNİ (devam)

<u>Sekil</u>	<u>Sayfa</u>
3.37 Dep. Yön. 1997 Tablo (6.5).....	119
3.38 R katsayısı 1. örnek	124
3.39 R katsayısı 2. örnek	126
3.40 R katsayısı 3. örnek	127
3.41 R katsayısı 4. örnek	128
3.42 Dep. Yön. 1997 (Şekil 7.4).....	129
3.43 Kolon-Kiriş birleşim bölgesi irdeleme örneği	131
3.44 Dep. Yön. 1997 (Şekil 7.10).....	133
3.45 Dep. Yön. 1997 (Şekil 7.6).....	134

ÇİZELGELER DİZİNİ

<u>Çizelge</u>	<u>Sayfa</u>
3.1	TS 500-2000 Çizelge 7.1 Beton Sınıflarına Göre k_1 Değerleri..... 26
3.2	$\beta = 0^\circ$ için X-PRO ve SAP 2000 tarafından hesaplanan iç kuvvet değerleri ve yüzde (%) cinsinden aralarındaki farklar..... 34
3.3	$\beta = 30^\circ$ için X-PRO ve SAP 2000 tarafından hesaplanan iç kuvvet değerleri ve yüzde (%) cinsinden aralarındaki farklar..... 35
3.4	$\beta = 45^\circ$ için X-PRO ve SAP 2000 tarafından hesaplanan iç kuvvet değerleri ve yüzde (%) cinsinden aralarındaki farklar..... 36
3.5	$\beta = 90^\circ$ için X-PRO ve SAP 2000 tarafından hesaplanan iç kuvvet değerleri ve yüzde (%) cinsinden aralarındaki farklar..... 37
3.6	$\beta = 180^\circ$ için X-PRO ve SAP 2000 tarafından hesaplanan iç kuvvet değerleri ve yüzde (%) cinsinden aralarındaki farklar..... 38
3.7	$\beta = 270^\circ$ için X-PRO ve SAP 2000 tarafından hesaplanan iç kuvvet değerleri ve yüzde (%) cinsinden aralarındaki farklar..... 39
3.8	$\beta = 0^\circ$ için X-PRO ve SAP 2000 tarafından hesaplanan deplasman değerleri. 41
3.9	$\beta = 30^\circ$ için X-PRO ve SAP 2000 tarafından hesaplanan deplasman değerleri. 41
3.10	$\beta = 45^\circ$ için X-PRO ve SAP 2000 tarafından hesaplanan deplasman değerleri. 42
3.11	$\beta = 90^\circ$ için X-PRO ve SAP 2000 tarafından hesaplanan deplasman değerleri 42
3.12	$\beta = 0^\circ$ için 2 ve 9 numaralı elemanlarda X-PRO ve SAP 2000 ile hesaplanan moment ve normal kuvvet değerleri..... 45
3.13	X-PRO ve SAP 2000 tarafından hesaplanan iç kuvvet değerleri ve yüzde (%) cinsinden aralarındaki farklar..... 49
3.14	$P = 0, 100, 275, 300\text{kN}$ için X-PRO ve tablolar ile hesaplanan ve seçilen donatı alanları.....57
3.15	$P = 0, 100, 225, 300\text{kN}$ için X-PRO ve tablolar ile hesaplanan ve seçilen donatı alanları.....61
3.16	Yazılım ve tablolar ile hesaplanan ve seçilen donatı alanları..... 65
3.17	Kirişlerde sınır değerler çizelgesi..... 69
3.18	Kolonlarda sınır değerler çizelgesi 74
3.19	Dep. Yön. 1997'ye göre perdelerde sınır değerler78
3.20	İki doğrultuda çalışan kirişli döşemelerde sınır değerler82
3.21	Bir doğrultuda çalışan kirişli döşemelerde sınır değerler 84
3.22	X-PRO yazılımı X Yönü düzensizlik çizelgesi..... 88
3.23	X-PRO yazılımı Y Yönü düzensizlik çizelgesi 89
3.24	X-PRO yazılımı Y Yönü düzensizlik çizelgesi 91
3.25	B1 düzensizliği el hesabı çizelgesi..... 100

ÇİZELGELER DİZİNİ (devam)

<u>Çizelge</u>	<u>Sayfa</u>
3.26 Verilen örnek için X-PRO yazılımı B1 Düzensizlik kontrolü çizelgesi.....	101
3.27 B1 düzensizliği el hesabı çizelgesi.....	103
3.28 Verilen örnek için X-PRO ile B1 Düzensizlik kontrolü çizelgesi.....	104
3.29 X-PRO yazılımı kullanılarak bulunmuş Perdeli Sistem (X Yönü) B2 düzensizliği parametreleri.....	106
3.30 X-PRO yazılımı kullanılarak bulunmuş Perdeli Sistem (Y Yönü) B2 düzensizliği parametreleri.....	106
3.31 X-PRO yazılımı kullanılarak bulunmuş Perdesiz Sistem (X Yönü) B2 düzensizliği parametreleri.....	107
3.32 X-PRO yazılımı kullanılarak bulunmuş Perdesiz Sistem (Y Yönü) B2 düzensizliği parametreleri.....	107
3.33 X-PRO Yazılımı Perdeli Sistem Kısa Deprem Raporu Y Yönü B2 düzensizliği bölümü.....	111
3.34 X-PRO Yazılımı Perdeli Sistem Detaylı Deprem Raporu Y Yönü B2 düzensizliği bölümü	111

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

Simgeler

 f_{ck}
 f_{cd}
 f_{ctd}
 f_{yk}
 f_{yd}
 f_{ywd}
 ρ
 ρ'
 ρ_b
 ρ_{max}
 ρ_{min}
 M
 M_d
 N
 N_d
 V
 V_d
 \hat{x}
 \hat{y}
 \hat{z}
 X
 Y
 Z
 A_c
 A_s
 A_s'
 A_{s1}
 A_{s1}'

Açıklamalar

Betonun karakteristik silindir basınç dayanımı

Betonun tasarım basınç dayanımı

Betonun tasarım çekme dayanımı

Boyuna donatı karakteristik akma dayanımı

Boyuna donatı tasarım akma dayanımı

Enine donatı tasarım akma dayanımı

Kirişte çekme donatısı oranı

Kirişte basınç donatısı oranı

Kirişte dengeli donatı oranı

Kirişte maksimum donatı oranı

Kirişte minimum donatı oranı

Eğilme momenti

Tasarım eğilme momenti

Normal kuvvet

Tasarım normal kuvveti

Kesme kuvveti

Tasarım kesme kuvveti

Lokal x eksen

Lokal y eksen

Lokal z eksen

Global x eksen

Global y eksen

Global z eksen

Gövde kesiti beton alanı

Açıklıkta çekme donatısı alanı

Açıklıkta basınç donatısı alanı

Mesnette çekme donatısı alanı

Mesnette basınç donatısı alanı

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ (devam)

<u>Simgeler</u>	<u>Açıklamalar</u>
b_w	Kiriş gövde genişliği
d	Faydalı yükseklik
c	Tarafsız eksen derinliği
k_1	Eşdeğer dikdörtgen basınç bloku derinlik katsayısı
ϵ_s	Donatı birim şekil değiştirmesi
σ_s	Donatı gerilmesi
H_{cr}	Kritik perde yüksekliği
H_w	Temel üstünden veya zemin kat döşemesinden itibaren ölçülen toplam perde yüksekliği
V_e	Kolon ve kirişte enine donatı hesabına esas alınan kesme kuvveti
V_{dy}	Kirişin kolon yüzünde düşey yüklerden meydana gelen basit kiriş kesme kuvveti
A_0	Etkin yer ivmesi katsayısı
R	Taşıyıcı sistem davranış katsayısı
H_N	Binanın temel üstünden itibaren ölçülen toplam yüksekliği
I	Bina önem katsayısı
α_m	Süneklik düzeyi yüksek perdelerin tabanında elde edilen eğilme momentleri toplamının binanın tümü için tabanda meydana gelen toplam devrilme momentine oranı

<u>Kısaltmalar</u>	<u>Açıklamalar</u>
cm	Santimetre
Dep. Yön. 1975	Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik 1975
Dep. Yön. 1997	Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik 1997
Dep. Yön. 2007	Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik 2007
kN	Kilonewton
m	Metre

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ (devam)**Kısaltmalar**

TS

TS 708

TS 500-1984

TS 500-2000

vd.

Açıklamalar

Türk Standardı

Beton Çelik Çubukları

Betonarme Yapıların Tasarım ve Yapım Kuralları Nisan 1984

Betonarme Yapıların Tasarım ve Yapım Kuralları Şubat 2000

Ve diğerleri

BÖLÜM 1

GİRİŞ

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 üç adet statik-betonarme hesap ve çizim yazılımı vardır. Bu çalışmada yazılımların ticari isimleri kullanılmayacaktır. Yazılımlar X-PRO, Y-PRO ve Z-PRO kod adları ile anılacaktır. X-PRO, Y-PRO ve Z-PRO kod adları temsili adlardır. Bu isimlere 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 yapabiliyor 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? Aynı yapı X-PRO, Y-PRO ve Z-PRO yazılımlarıyla çözülsün benzer sonuçlara ulaşılır mı?

Bu sorulara yanıt bulabilmek amacıyla bu çalışma başlangıçta X-PRO, Y-PRO ve Z-PRO yazılımlarının irdelenmesi ve karşılaştırılması olarak planlanmıştır. Ancak kısa bir süre sonra kısıtlı zamanda yalnızca bir yazılımın irdelenebileceği görüldü ve bu yazılımlardan herhangi bir tanesi olan X-PRO yazılımına karar verildi. Bu çalışmayı Y-

PRO ve Z-PRO'nun irdelenmesi ve son olarak üç yazılımın karşılaştırılması izleyecektir.

X-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. İrdeme bölümünde çeşitli yapı modelleri oluşturularak yazılımın yaptığı statik ve betonarme hesaplar kontrol edilmiştir. Oluşturulan yapı modelleri TS 500-2000 ve Dep. Yön. 1997'de tanımlı minimum koşullar ile Dep. Yön. 1997'de öngörülen düzensizlikler bakımından irdelenmiştir. Yazılım ile üretilen hesap raporları ve çizimlerin de TS 500-2000 ve Dep. Yön. 1997'de öngörülen koşulları sağlayıp sağlamadığı araştırılmıştır.

Tez çalışmasına başlandığı sırada yürürlükte olan deprem yönetmeliği Dep. Yön. 1997'dir. Bu nedenle çalışmada Dep. Yön. 1997'nin koşulları dikkate alınmıştır. Tez metni içinde Dep. Yön. 2007 ile gelen önemli değişikliklere de değinilmeye çalışılmıştır.

X-PRO yazılımının yaptığı statik hesaplar kontrol edilirken SAP 2000 bilgisayar yazılımı ile bulunan sonuçlar referans kabul edilmiştir.

BÖLÜM 2

GENEL

X-PRO yazılımı; betonarme yapıların statik analizini, betonarme hesabını, çizimlerini ve metrajını yapabilen bir yazılımdır. Yapı üç boyutlu olarak ele alınmakta, taşıyıcı sistem elemanları grafik arayüz yardımıyla kolayca tanımlanabilmektedir.

Akslar: Kolon, kiriş, döşeme, temel gibi yapı elemanlarının geometrik yerleri akslar yardımıyla belirlenmektedir. Mimari akslar yanında, kullanıcı gerek gördüğünde, yardımcı akslar da tanımlayabilmektedir.

Kolonlar / Perdeler: Dikdörtgen, daire, halka ve poligon (dolu kesit çokgen) kesitli kolonlar tanımlanabilir. Kolonlar düşey olmak zorundadır.

Kirişler: Kirişler dikdörtgen kesitli ve tablalı olabilmektedir. Eğik kiriş ve yatayda eğrisel kiriş(daire yayı) de tanımlanabilir.

Döşemeler: Dikdörtgen, üçgen, çokgen, bölgesel boşluklu yada boşluksuz, dişli, asmolen ve kirişsiz döşeme tanımlanabilmektedir.

Temeller: Tekil, bir ve iki doğrultuda sürekli temel, kirişli ve kirişsiz radye temel sistemleri oluşturulabilmektedir. Temeller üst yapı ile birlikte veya bağımsız modellenebilir.

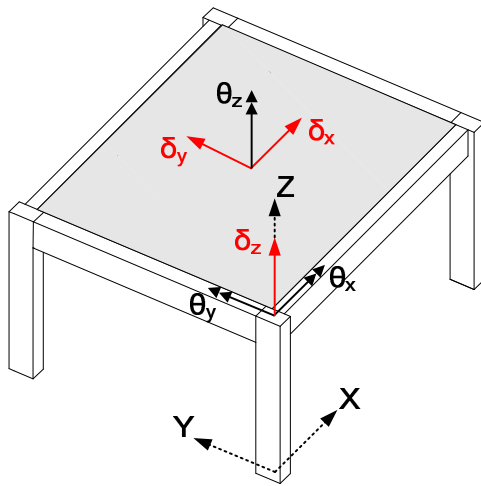
Merdivenler: Tek kollu, çift kollu, çift kollu döner, üç kollu ve helisel merdivenler tanımlanarak statik hesabı ve betonarme analizi yapılabilmektedir.

Malzeme: Yapı malzemesi olarak sadece beton ve donatı çeliği kullanılmaktadır. Yapı çeliği, ahşap gibi malzeme tanımlamak mümkün değildir.

Yükler: Yayılı (düzgün, üçgen, trapez), tekil sabit yükler ve hareketli yükler yanında deprem, rüzgar, toprak itkisi ve sıcaklık etkisi gibi yükler tanımlanabilmektedir. Mesnet çökmesi yük olarak tanımlanamamaktadır. Sıcaklık etkisi ise uniform sıcaklık olarak ve eleman bazında değil de tüm sistemde tanımlanabilmektedir. Farklı sıcaklık yük olarak verilememektedir.

Mesnet Şartları: Mesnetler ankastre yada moment mafsallı olabilmektedir. Mafsallaşma oranı kullanıcı tarafından belirlenebilir. Kayıcı mesnet tanımlanamamaktadır.

Analiz Modeli ve Yöntemi: Çubuk elemanların (kiriş, kolon, perde) kat seviyesinde rijit diyafram (döşeme) ile birbirine bağlandığı varsayılmaktadır. Sistem üç boyutlu ve sonlu elemanlar deplasman metodu ile analiz edilmektedir. Bilinmeyenler; her düğümde düşey deplasman, her iki eksen etrafında dönme ve kat seviyesinde her iki yönde deplasman ve kat dönmesi olarak alınmaktadır. Bu varsayım sonucu kat düzlemindeki noktaların tümünün bir yöndeki deplasmanları eşit olmaktadır. Tanımlanan model hem düşey hem de yatay yüklerin analizinde kullanılmaktadır.



X, Y, Z : Global Eksenler
 δ_x = X yönü kat deplasmanı
 δ_y = Y yönü kat deplasmanı
 δ_z = Z yönü düğüm deplasmanı
 θ_x = X etrafında düğümün dönmesi
 θ_y = Y etrafında düğümün dönmesi
 θ_z = Z etrafında kat dönmesi

Şekil 2.1 Kat ve düğüm noktası deplasmanları

Deprem Hesabı: Eşdeğer deprem yükü yöntemi ve mod birleştirme yöntemi ile yapılabilmektedir. Zaman Tanım Alanında Hesap Yöntemi ile çözüm mümkün değildir.

Betonarme Hesap: Betonarme hesap hem Elastik Yöntem ile hem de Taşıma Gücü Yöntemi ile yapılabilmektedir. TS 500-1984, TS 500-2000, 1975, 1997 ve 2007 Deprem yönetmelikleri dikkate alınabilmektedir.

Çıktılar: Analiz edilen yapının ihtiyaç duyulan bütün çizimleri, hesap raporları ve metrajı üretilebilmektedir.

Diğer: Yukarıdaki başlıklara ilave olarak X-PRO yazılımı ile güçlendirme projeleri de yapılabilmektedir. Gerek duyulması durumunda bazı yabancı standartlara uyumlu projeler üretilebilmektedir.

2.1 X-PRO Yazılımı Global, Lokal Eksenleri ve İşaret Kabulünün İrdelenmesi

2.1.1 Global eksenler

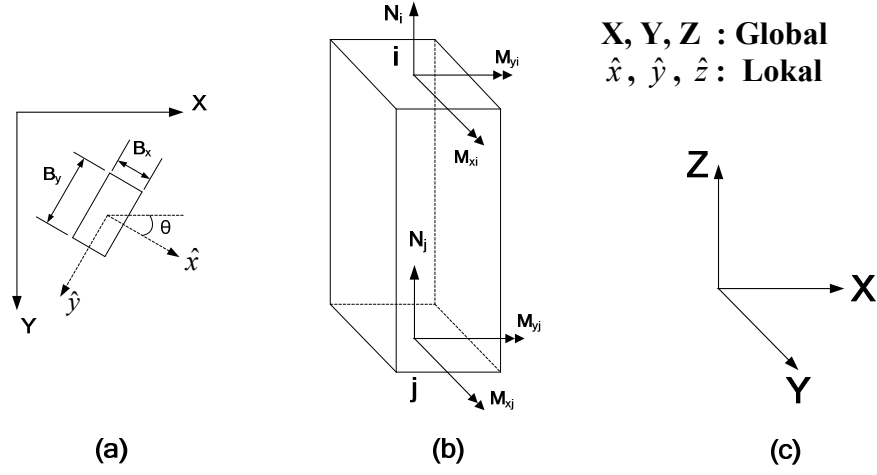
X-PRO yazılımında global eksen takımı ekran düzleminde X eksenini soldan sağa, Y eksenini yukarıdan aşağı ve Z eksenini de ekran düzlemine dik ve ekranın arkasına doğru yönelmiştir. Global eksen takımı değiştirilemez. Kat kalıp planı X-Y düzleminde dir.

2.1.2 Eleman lokal eksenleri ve teorik işaret kabulünün irdelenmesi

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 eksen takımına göre doğru yorumlanması mümkündür. X-PRO yazılımında bunun gerçekleşmiş olduğu söylenemez. Lokal eksenler ve işaret kuralı net değildir, yanlışlıklar vardır, yeterli bilgi de yoktur.

2.1.2.1 Kolon lokal eksenleri ve teorik işaret kuralı

Kolonlarda üst uç “i” , alt uç “j” ucudur. Kolon lokal eksen takımının orijini daima “i” ucundadır. X-PRO yazılımı kolon lokal eksenlerini ve iç kuvvetlerin analizde kullanılan(teorik) pozitif yönlerini Şekil 2.2’deki gibi vermektedir.



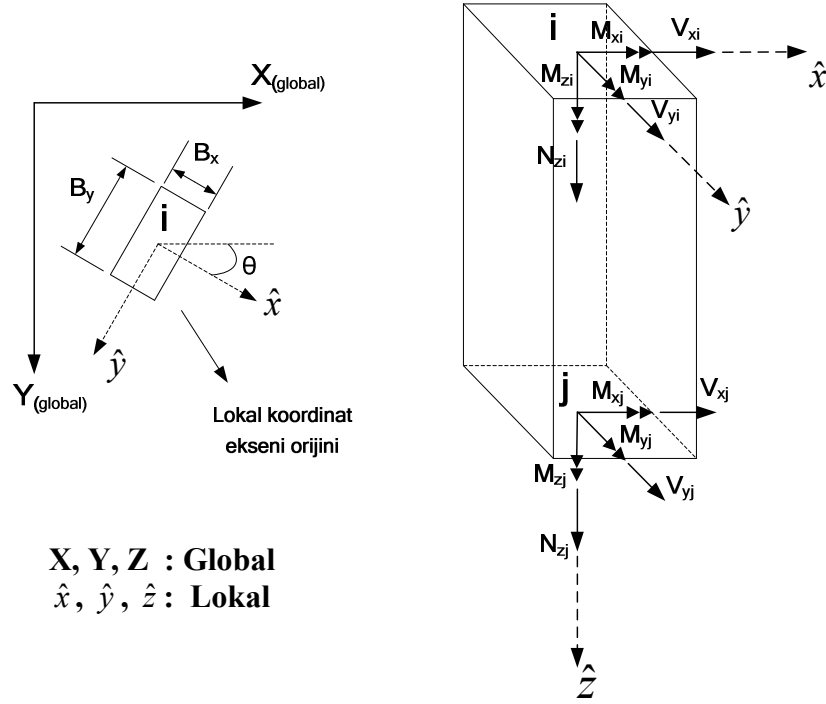
Şekil 2.2 X-PRO yazılımının sunduğu: a) kolon lokal eksenleri, b) iç kuvvetlerin teorik pozitif yönleri, c) global eksen takımı

Şekil 2.2(a)'da gösterilen lokal eksenlerle Şekil 2.2(b)'de gösterilen eksenler örtüşmemektedir. Momentler ters yerleştirilmiştir, M_x yerine M_y ve M_y yerine M_x . Dikkat çeken diğer bir noktada Şekil 2.2(b)'deki lokal \hat{z} ekseninin j ucundan i ucuna doğru yönlendirilmiş olmasıdır. i ucundan j ucuna doğru yönlendirilmiş; yani lokal eksenlerin orijini i ucunda olmalıydı. Şekil 2.2(b)'de kesme kuvvetleri ve burulma momenti X-PRO yazılımında gösterilmemiştir. Şekil 2.2(c)'de verilen global koordinat sistemi "sol" koordinat sistemidir. Halbuki koordinat sistemi sağ sistem olmalıdır. (Sağ Koordinat Sistemi: x eksenini 90° y eksenine doğru döndürülürken z ekseninin saplanan vıda hareketi yaptığı koordinat sistemidir.) Görüldüğü gibi X-PRO yazılımının kolon lokal eksenlerini ve iç kuvvetlerin teorik pozitif yönlerini sunumunda tutarsızlıklar ve eksikler bulunmaktadır.

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

1. Kolon i ucunun daima üstte j ucunun altta olduğu
2. Lokal eksenlerin orijininin daima i ucunda olduğu
3. \hat{x} - \hat{y} lokal eksenlerinin kat düzleminde olduğu

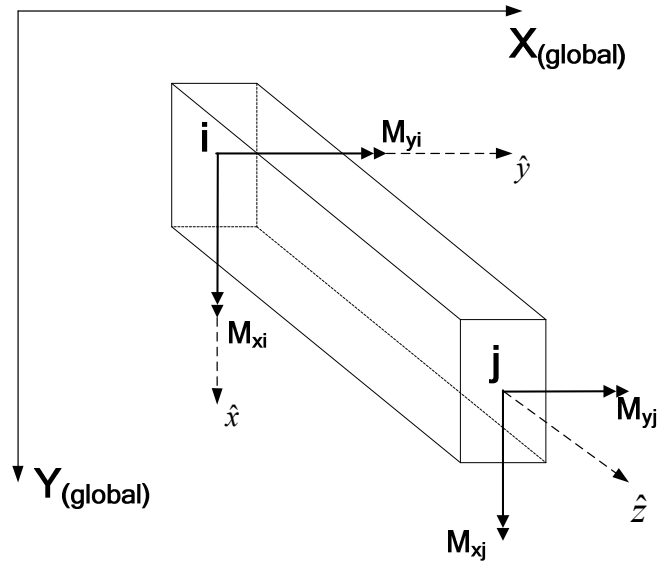
4. \hat{z} lokal ekseninin kolon ekseni olduğu ve aşağı doğru yönlendiği
5. Kolon lokal \hat{x} ekseninin global X ekseni ile θ açısı yaptığı (dönük kolon)
6. Lokal eksenlerin ve uç kuvvetlerin pozitif yönlerinin Şekil 2.3'teki gibi olduğu kanaatine varılmıştır.



Şekil 2.3 X-PRO yazılımı incelenerek tespit edilen kolon lokal eksenleri ve iç kuvvetlerin teorik pozitif yönleri

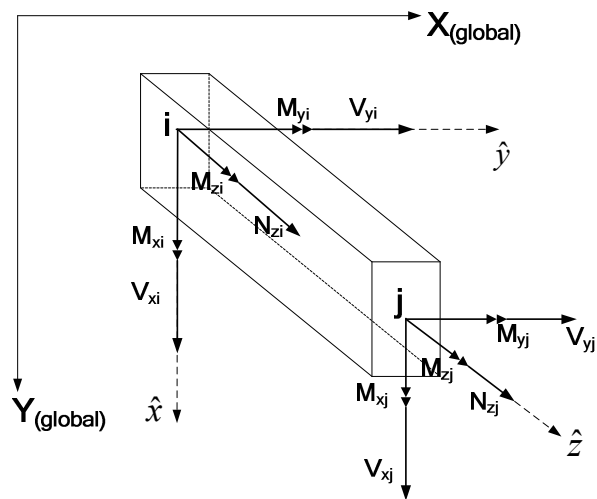
2.1.2.2 Kiriş lokal eksenleri ve teorik işaret kuralı

Ekran düzleminde (kat kalıp planında) global X eksenine paralel kirişlerin sol ucu i, sağ ucu j dir, global Y eksenine paralel kirişlerde üst uç i alt uç j ucudur. Kiriş lokal eksen takımının orijini daima “i” ucundadır. X-PRO yazılımı kiriş lokal eksenlerini ve iç kuvvetlerin teorik pozitif yönlerini Şekil 2.4'teki gibi vermiştir.



Şekil 2.4 X-PRO yazılımının sunduğu kiriş lokal eksenleri ve iç kuvvetlerin teorik pozitif yönleri

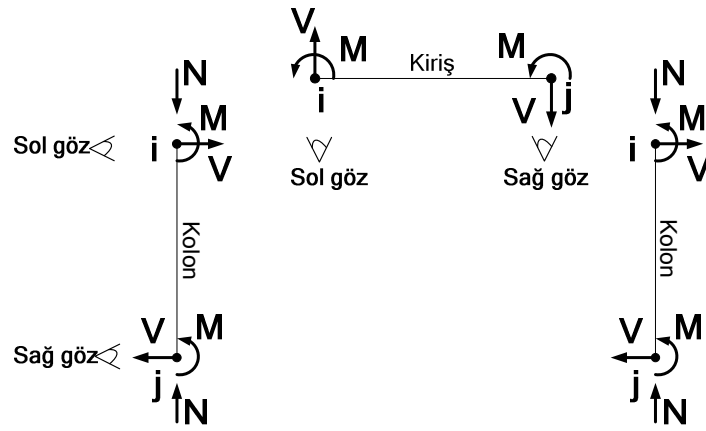
Şekil 2.4'te görüldüğü gibi X-PRO yazılımının sunumunda kesme kuvvetleri, burulma momenti ve aksenal kuvvet gösterilmemiştir. Şekil 2.5'te yazılımın sunumundaki eksikler tamamlanmıştır.



Şekil 2.5 X-PRO yazılımını Kiriş lokal eksenleri ve iç kuvvetlerin teorik pozitif yönleri

2.1.3 X-PRO Yazılımı çıktı işaret kabulü

X-PRO yazılımı üç boyutlu hesaplanan iç kuvvetleri kullanıcıya Şekil 2.6'daki işaret kuralı ile düzlemde sunmaktadır. Dikkat çeken nokta kirişte normal kuvvet olmamasıdır. Düzlemde sunu kullanıcının sonuçları yorumlamasını kolaylaştırmaktadır.



Şekil 2.6 X-PRO yazılımı çıktı işaret kuralı

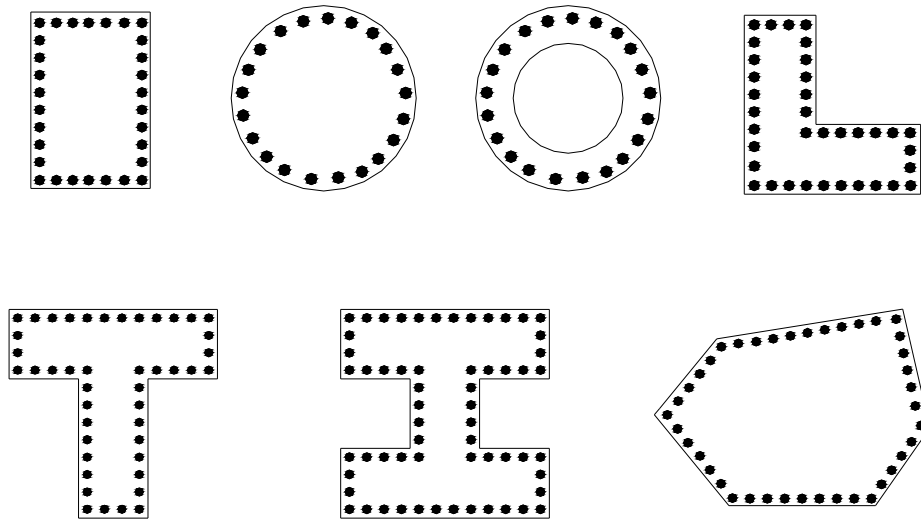
2.2 X-PRO Yazılımı Yapı Elemanları

2.2.1 Aks modeli

Akslar yalnızca yapı elemanlarının geometrik yerlerini belirlemeye yaramaktadır, akslar yapı elemanlarının neresinden geçerse geçsin statik hesapta elemanların ağırlık merkezlerinden geçen eksenler dikkate alınmaktadır.

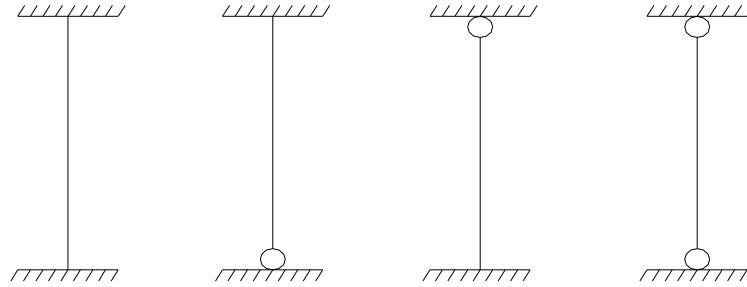
2.2.2 Kolon modeli

X-PRO yazılımında kolonlar daima düşey olmak zorundadır, kesitleri dikdörtgen, daire, halka ve poligon (dolu çokgen) olabilir (Şekil 2.7). Kesit içindeki donatı planının seçimi konusunda kullanıcının bir seçeneği bulunmamaktadır ve yazılımda hangi tip donatı planı kullanıldığı belirtilmemiştir.



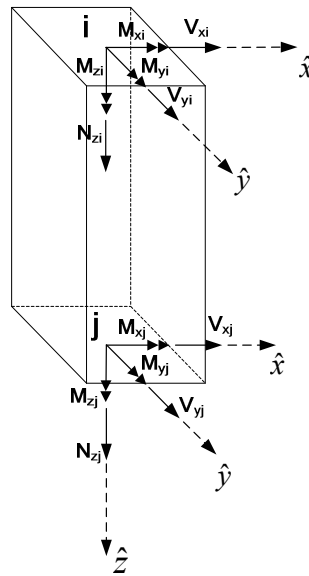
Şekil 2.7 Kolon kesitleri

Düsey eksen boyunca kolon kesiti sabittir, değişken kesitli kolon tanımlanamaz. Kolon uçlarında Şekil 2.8'de görülen moment mafsalı tanımlanabilmektedir. Kolonların üst uçlarına dış yük olarak eksenel kuvvet ve iki yönde eğilme momenti verilebilmektedir.



Şekil 2.8 Kolonlara ait mafsal tipleri

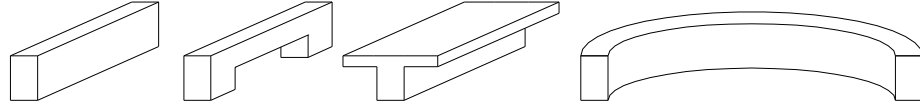
Kolon uçlarında tanımlı iç kuvvetlerin pozitif yönleri Şekil 2.9'da gösterilmiştir. Buna göre iki eğilme, iki kesme ve bir normal kuvvet hesaplanabilmektedir. Burulma momenti sunulmamaktadır ve hesaplanıp hesaplanmadığı belirlenememiştir.



Şekil 2.9 X-PRO yazılımı kolon iç kuvvetleri ve pozitif yönleri

2.2.3 Kiriş modeli

Kesiti dikdörtgen geometrili kirişler tanımlanabilmekte ve mesnet bölgelerinde guse yapılabilmektedir. Komşu döşemeler dikkate alınarak etkili tabla genişlikleri TS 500-2000'e göre belirlenmektedir. Ancak yazılımda döşeme olmaksızın tablalı kiriş tanımlama olanağı yoktur. Düşeyde eğik kiriş (kiriş düğüm noktaları farklı kotlarda) ve yatayda eğrisel (daire yayı parçası şeklinde) kirişler de tanımlanabilmektedir.

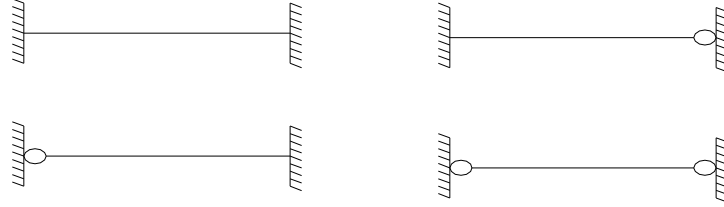


Şekil 2.10 Kiriş modelleri

Kiriş yükleri kiriş net açıklığında tanımlanmaktadır. Kirişin kolon içinde kalan rijit bölgesinde yük yoktur (Bkz. Şekil 2.16).

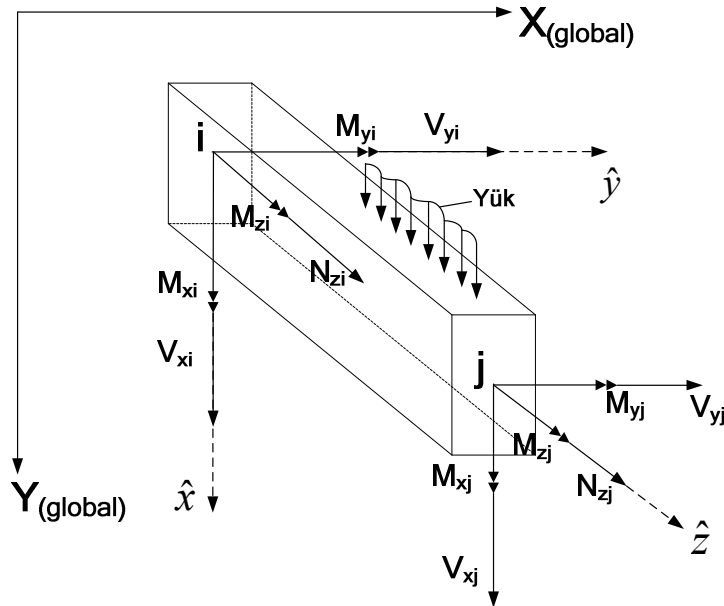
Kirişlere kirişin öz yükü, döşemelerden otomatik aktarılan yükler ve varsa duvar yükünün dışında tekil yük, düzgün, trapez yada üçgen yayılı düşey dış yükler tanımlanabilmektedir. Yükler daima kirişin \hat{x} - \hat{z} düşey düzleminde ve \hat{x} yönündedir. \hat{y} - \hat{z} düzleminde yük (yanal yük) tanımlanamaz (Bkz. Şekil 2.12). Sıcaklık etkisi yük olarak eleman bazında verilememektedir, verilen sıcaklık yükü sistemin tüm elemanlarını etkilemektedir ve uniform sıcaklık yüküdür. Farklı sıcaklık yükü tanımlanamaz.

Kiriş uçlarında Şekil 2.11'de görülen moment mafsalları tanımlanabilmektedir. Kiriş uçları tam mafsal olarak tanımlanabildiği gibi mafsallaşma oranı yüzde olarak da belirlenebilmektedir.



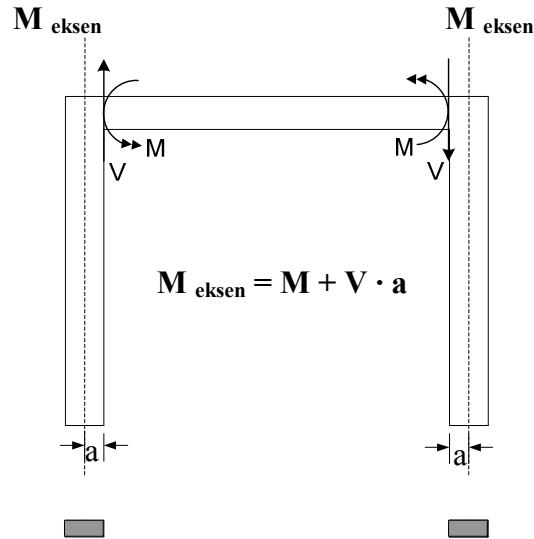
Şekil 2.11 Kirişlerde mafsal tipleri

Kiriş uçlarında tanımlı iç kuvvetlerin pozitif yönleri Şekil 2.12’de gösterilmiştir. Buna göre iki eğilme, iki kesme kuvveti ve bir burulma momenti hesaplanabilmektedir. Kat seviyesindeki rijit diyafram kabulünden dolayı kirişlerde aksenal kuvvet hesaplanamamaktadır (Bkz. Bölüm 2.2.4.1 Rijit diyafram kabulünün irdelenmesi).



Şekil 2.12 Kiriş uç kuvvetleri ve pozitif yönleri

X-PRO yazılımında moment ve kesme kuvvetleri öncelikle kolon yüzünde hesaplanmakta daha sonra eksendeki moment değeri bu değerler yardımıyla bulunmaktadır.



Şekil 2.13 Eksendeki momentin hesaplama modeli

Şekil 2.13'te görüldüğü gibi, kolon yüzündeki kesme kuvveti (V) ve kolon yüzündeki moment (M) değerleri analiz sonrası hesaplanıyor, 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. X-PRO'da yükler kiriş net açıklığında tanımlandığından kirişin kolon içinde kalan rijit uçlarında dış yük yoktur.

2.2.4 Döşeme modeli

X-PRO yazılımında döşemeler üçgen, dikdörtgen ve çokgen geometrili olabilir, kirişli, kirişsiz, asmolen ve dişli döşemeler tanımlanabilir. Döşeme kenarları yay parçası şeklinde eğrisel 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. Döşemelerin hangi yönde çalıştığı (eğilme yönleri) ve döşeme süreklilikleri kullanıcı tarafından belirlenmek zorundadır. Yükler düzgün yayılıdır çizgisel yada tekil yük ve ters sehim tanımlama olanağı yoktur. X-PRO yazılımında kat seviyesinde rijit diyafram kabulü vardır. Döşemenin tümü veya bir kısmının olmadığı, yalnızca kolon ve kirişlerden oluşan, düzlem ve uzay çerçevelerde dahi rijit diyafram kabulü geçerlidir. Bu kabulün olmadığı bir çözüm yapılamamaktadır.

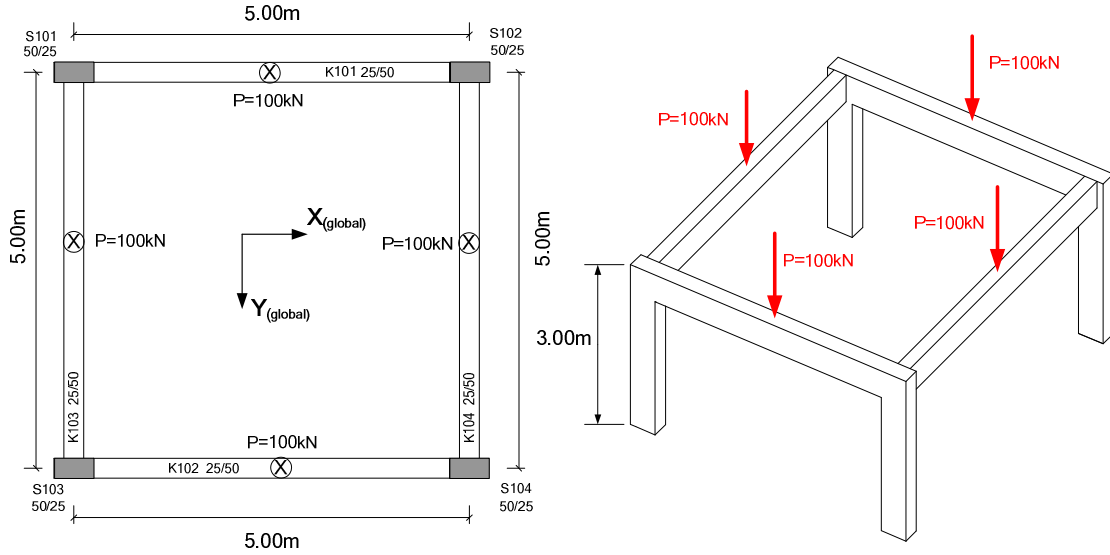
2.2.4.1 Rijit diyafram kabulünün irdelenmesi

X-PRO yazılımında kat seviyesinde rijit diyafram kabulü vardır. Bu kabule göre kat diyaframında 3 serbestlik ve düğüm noktalarında 3 serbestlik (deplasman) vardır. Sonlu elemanlar mantığında ise bir düğümde toplam 6 tane serbestlik (deplasman) bulunmaktadır. Sistemde döşeme olmasa dahi rijit diyafram kabulünün daima geçerli olduğu belirlenmiştir.

Kirişlerde eksenel kuvvet sunulmamaktadır. Rijit diyafram kabulünden dolayı katta kirişler rijit yerdeğiştirecektir. Kiriş uçları arasında bir deplasman farkı olmayacağından, kirişlerde kısalma yada uzama gibi zorlamalar ve bunun sonucunda eksenel kuvvet oluşmamaktadır.

Şekil 2.14'te görülen uzay çerçeve sistemi X-PRO ve SAP 2000 yazılımlarıyla çözümlenerek rijit diyafram kabulünün etkileri irdelenecektir. SAP 2000 yazılımıyla sistem

iki defa çözülecektir. Birinci çözümde rijit diyafram kabulü yapılmayacak ikinci çözümde rijit diyafram kabulü yapılacaktır.



Malzeme Bilgileri:

Beton: C30/37, $E_c = 3.18 \times 10^7 \text{ kN/m}^2$, $G_c = 1.21 \times 10^7 \text{ kN/m}^2$, $\nu = 0.25$, $k = 1.2$, $\alpha_c = 0 \text{ } 1/c^\circ$

Şekil 2.14 Rijit diyafram kabulünün irdelenmesi örneği

Sistem SAP 2000 yazılımıyla rijit diyafram kabulü yapılmadan çözüldüğünde K101 ve K102 kirişlerinde 23.00 kN'luk, K103 ve K104 kirişlerinde ise 13.96kN'luk aksenal kuvvet oluştuğu görülmüştür. X-PRO'da kat seviyesinde rijit diyafram kabulü olduğundan X-PRO ile yapılan çözümde kirişlerde aksenal kuvvet hesaplanamamış ve sunulmamıştır.

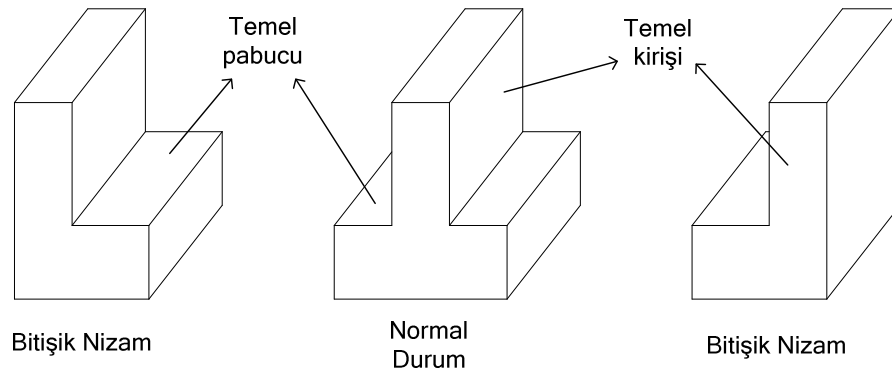
Sistem SAP 2000 yazılımıyla rijit diyafram kabulü yapılarak çözüldüğünde kirişlerde aksenal kuvvetin oluşmadığı görülmüştür.

Sonuç olarak X-PRO yazılımında sistemde döşeme olsun yada olmasın, yapılan bütün çözümlerde kirişlerdeki aksenal kuvvet değerleri hesaplanamayacaktır.

TS500-2000 ve Dep. Yön. 1997’de kirişlerdeki aksenal kuvvet değeri sınırlandırılmıştır. Kirişlerdeki aksenal kuvvet değeri $N_d < 0.1 f_{ck} A_c$ olmak zorundadır aksi halde bu kirişler kolon gibi donatılmalıdırlar (Bkz. Bölüm 3.6.1 Kirişlerde sınır değerlerin irdelenmesi). X-PRO yazılımı kirişlerde aksenal kuvvet hesaplamadığı için bu kontrolü de yapmamaktadır.

2.2.5 Temel Modeli

Yüzeysel temeller modellenenbilmektedir. Tekil, bir veya iki yönde sürekli, kirişli veya kirişsiz radye temel sistemleri tanımlanabilmektedir. X-PRO yazılımı ile kazıklı temel, keson temel gibi derin temelleri modelleme olanağı yoktur. Tekil ve sürekli temel sistemlerinde temel pabuçları (ampatmanlar) gerekli durumlarda Şekil 2.15’ teki gibi olabilir.



Şekil 2.15 Sürekli temellerde ampatman tipleri

Bağ kirişleri aktif ya da pasif olarak tanımlanabilmektedir. Aktif tanımlandığında tıpkı bir temel kirişi gibi moment ve kesme almakta ve buna göre donatılmaktadır. Bu durum bağ kirişlerinin amacına aykırıdır. Bağ kirişlerinin görevi; deprem kuvvetlerini aktarmak, yatay yönde temellerin farklı yer değiştirmesini

önlemektir. X-PRO yazılımında böyle bir seçeneğin bulunması düşündürücüdür. Bağ kirişleri hiçbir zaman aktif olarak tanımlanmamalıdır.

2.3 X-PRO Yazılımı Varsayımları

2.3.1 Malzeme ve kesit varsayımları

2.3.1.1 Malzeme varsayımları

X-PRO yazılımında yapı malzemesi olarak sadece beton ve donatı çeliği kullanılmaktadır. Beton ile ilgili malzeme varsayımları şunlardır:

Beton Sınıfı: Beton sınıflarının bir alt ve üst sınırı yoktur her cins beton sınıfı tanımlanabilmektedir.

Beton Yoğunluğu: Beton yoğunluğu varsayılan ayar olarak 2.5 t/m^3 tür. Kullanıcı isterse beton yoğunluğunu değiştirebilmektedir.

Elastisite Modülü (E_c): Elastisite modülü $3250\sqrt{f_{ck}} + 14000 \text{ N/mm}^2$ bağıntısından hesaplanmaktadır. Buna göre C25 beton sınıfı için $E_c = 30250 \text{ N/mm}^2 = 30250000 \text{ kN/m}^2$ dir. C30 beton sınıfı için $E_c = 31800 \text{ N/mm}^2 = 31800000 \text{ kN/m}^2$ dir.

Kayma Modülü (G_c): Kayma modülü $0.4E_c$ bağıntısı ile hesaplanmaktadır. Buna göre C25 beton sınıfı için $G_c = 12100 \text{ N/mm}^2 = 12100000 \text{ kN/m}^2$ dir. C30 beton sınıfı için $G_c = 12720 \text{ N/mm}^2 = 12720000 \text{ kN/m}^2$ dir.

Poisson Oranı (μ_c): Yazılımda Poisson Oranı'nın ne alındığı sunulmamaktadır. Poisson oranı; Elastisite modülü ve Kayma modülüne bağlıdır; $\mu_c = \frac{E_c}{2G_c} - 1$ bağıntısına göre

(İnan, 2001) $G_c \approx 0.4E_c$ varsayımından dolayı X-PRO yazılımında Poisson Oranı $\mu_c = 0.25$ olmaktadır.

Birim Sıcaklık Genleşme Katsayısı (α_c): X-PRO yazılımında birim sıcaklık genleşme katsayısı kullanıcının seçeneğine sunulmamıştır. TS500-2000'de tanımlı $\alpha_c = 10^{-5} 1/^\circ\text{C}$ değerinin kullanıldığı sanılmaktadır.

Donatı çeliği ile ilgili malzeme varsayımları şunlardır:

Donatı çeliği ile ilgili tek bilgi kullanılmak istenen çeliğin akma dayanımıdır. 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 çizimlerde gösterilmektedir.

X-PRO yazılımında beton ve çelik malzeme katsayıları şöyledir:

Beton Malzeme Katsayısı (γ_{mc}) = 1.5

Çelik Malzeme Katsayısı (γ_{ms}) = 1.15

Yazılımda bu değerler malzeme katsayılarının varsayılan değerleridir, kullanıcı isterse bu değerleri değiştirebilmektedir. Örneğin $\gamma_{mc} = 2$ ve $\gamma_{ms} = 1$ gibi standart dışı değerler verilebilmekte ve bu durumda yazılım tarafından herhangi bir uyarı yapılmamaktadır.

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. $k = 0$ alınırsa kayma deformasyonları ihmal edilmiş olur.

$$\text{Kayma Deformasyonu } \gamma = \frac{\tau}{G} = \frac{kV}{GA_{kesme}} \quad (\text{İnan, 2001}) , \quad k \text{ katsayısı kesite}$$

bağlıdır, örneğin dikdörtgen bir kesit için k katsayısı bazı kaynaklarda 1.2 olarak verilmektedir, bazı kaynaklarda ise k katsayısı, Poisson Oranı (ν) na bağlı olarak verilmektedir. X-PRO yazılımında kayma deformasyonlarını dikkate alma ya da almama gibi bir seçenek bulunmaktadır. Ancak kayma deformasyonları dikkate alındığında k katsayısının ne olacağı ile ilgili bir bilgi yoktur.

2.3.2 Yük varsayımları ve yük aktarımı

X-PRO yazılımında sabit ve hareketli yüklerin yanında rüzgar, deprem, toprak basıncı, sıcaklık etkisi gibi yükler tanımlanabilmektedir. Sıcaklık etkisi yalnızca uniform sıcaklık değişimi olarak tanımlanabilmektedir. Eleman bazında sıcaklık değişimi tanımlanamamaktadır, tanımlanan sıcaklık değişimi tüm yapı elemanlarını etkilemektedir.

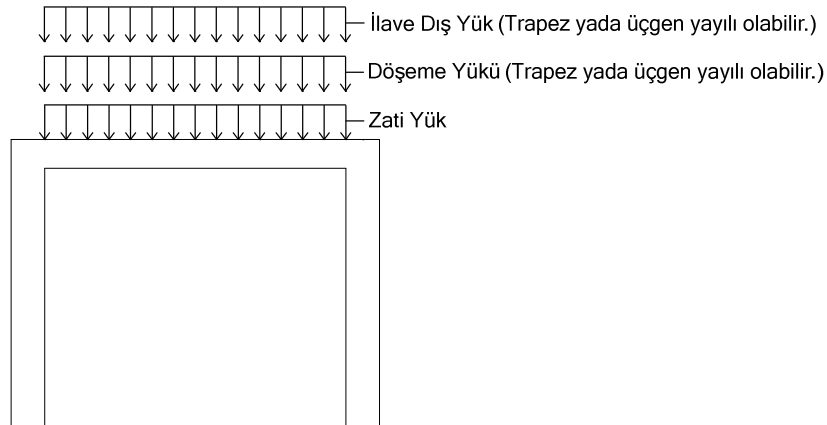
Deprem ve rüzgar yükü gibi yatay yükler yazılım tarafından otomatik olarak modellenmektedir. Yalnızca panel elemanlara (bodrum perdeleri gibi) toprak itkisi yatay yük olarak tanımlanabilmektedir. Düğüm noktalarında yük tanımlama olanağı yoktur. Sadece kolonların üst uçlarına dış yük olarak eksenel kuvvet ve iki yönde eğilme momenti tanımlanabilmektedir. Kirişlere dış yük olarak tekil yük, düzgün,

trapez ya da üçgen yayılı düşey dış yükler tanımlanabilmektedir (Bkz. Şekil 2.12). Kısmi düşey yüklemeler de yapılabilir. Yatay yük tanımlanamamaktadır. Döşemelerde sabit ve hareketli yükler yayılı karakterdedir, dış yük olarak tekil yük ya da çizgisel yük girme olanağı yoktur.

X-PRO yazılımında hareketli yükler en elverişsiz sonucu verecek şekilde dama yüklemesi yapılarak düzenlenmektedir. Hareketli yük düzenlemesinde Ersoy 1992 (Ersoy ve Özcebe, 2004) esas alınmıştır.

X-PRO yazılımında döşeme yükleri kolon ve kirişlere Yield – Line (kırılma çizgileri) teorisine göre aktarılmaktadır. Döşeme yüklerinin kolonlara gelen kısımları kolon aksenal kuvvetine ilave edilmekte geri kalan kısımları kirişlere aktarılmaktadır.

Kirişlerde kiriş öz yükü, döşemelerden gelen yükler ve kiriş dış yükleri (yayılı yükler) kirişin net açıklığı boyunca yayılmaktadır (Şekil 2.16).



Şekil 2.16 Kiriş yüklerinin yayılışı

Yazılımda dikkate alınan yük katsayıları ve yük birleşimleri aşağıda verilmiştir:

$$1.4G + 1.6Q$$

$$1.4G + 1.6Q \pm 1.6H$$

$$1.4G$$

$$1G + 1Q \pm 1E$$

$$1G + 1Q \pm 1H \pm 1E$$

$$0.9G \pm 1E$$

$$1G + 1.3Q + 1.3W$$

$$1G + 1.3Q \pm 1H \pm 1.3W$$

$$0.9G \pm 1.3W$$

$$0.9G \pm 0.9H \pm 1.3W$$

Simgeler

G : Kalıcı yük etkisi

Q : Hareketli yük etkisi

E : Deprem yükü etkisi

W: Rüzgar yükü etkisi

H :Toprak yükü etkisi

T : Sıcaklık değişimi, büzülme farklı oturma vb. etkiler

Şekil 2.17 X-PRO yazılımı yük katsayıları ve yük birleşimleri

BÖLÜM 3

İRDELEME

Bu bölümde X-PRO yazılımının malzeme varsayımları, yük varsayımları, hesaplanan iç kuvvetler ve deplasmanlar, kolon ve kiriş betonarme hesabı TS500-2000 ve Dep. Yön. 1997’de öngörülen koşullar çerçevesinde irdelenecektir.

3.1 Malzeme ve Kesit Varsayımlarının İrdelenmesi

3.1.1 Malzeme varsayımlarının irdelenmesi

Yazılımda beton yoğunluğu sıfır yapılamamaktadır bunun nedeni anlaşılammıştır. Elemanların zati yükleri ihmal edilmek istendiğinde yapılabilecek tek şey beton yoğunluğunu sıfır olmamak şartıyla çok küçük bir değere indirgemektir.

Elastisite Modülü (E_c) gerçek değerinden 10 kat daha büyük sunulmaktadır. Örneğin C30 betonu için 31800 N/mm^2 olması gereken E_c değeri yazılım tarafından 318000 N/mm^2 olarak sunulmaktadır. Yazılımın hesaplarda hangi değeri kullandığını tespit etmek amacıyla sonuçları bilinen ve E_c değerinin 31800 N/mm^2 olduğu bir sistem X-PRO yazılımı ile çözülmüş ve özellikle deplasman değerleri kontrol edilmiştir. Yapılan kontrolde X-PRO yazılımının hesapladığı deplasman değerlerinin doğru olduğu görülmüştür. (Eğer E_c değeri olarak 318000 N/mm^2 değeri kullanılıyor olsaydı, deplasmanların olması gerekenden 10 kat daha küçük çıkması beklenirdi.) Sonuç olarak X-PRO yazılımının Elastisite Modülü E_c değerini hesaplarda doğru aldığı ancak kullanıcıya 10 kat daha büyük sunduğu tespit edilmiştir. Kayma Modülü G_c değeri de $G_c = 0.4E_c$ formülüyle Elastisite Modülüne bağlı olduğu için aynı durum Kayma Modülü için de geçerlidir. Yazılımda böyle bir durumun olması kullanıcıyı çelişkiye düşürmektedir.

Yazılımda uniform sıcaklık etkisi yük olarak verilebilmektedir ancak Birim Sıcaklık Genleşme Katsayısı α_c 'nin sayısal değeri belli değildir. Eğer kullanıcı uniform sıcaklık etkisini yük olarak vermek istiyorsa Birim Sıcaklık Genleşme Katsayısı'nın ne alındığını bilmelidir.

X-PRO yazılımı Taşıma Gücü Yöntemi'ne göre analiz yapmaktadır. Aşağıda *TS 500-2000 Madde 7.1*'de öngörülen taşıma gücü varsayımları verilmiştir. Bu varsayımların X-PRO yazılımında nasıl olduğu hakkında herhangi bir bilgi bulunmamaktadır.

TS 500-2000 Madde 7.1

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 $E_s = 2 \times 10^5$ 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 bloku kullanılabilir. Blok genişliği olarak, eşdeğer basınç şiddeti olan $0.85 f_{cd}$ alınır. Blok derinliği, tarafsız eksen derinliğinin, k_1 katsayısı ile çarpılmasıyla bulunur, $a = k_1 c$. Bu ifade de kullanılacak olan k_1 değerleri, çeşitli beton sınıfları için Çizelge 7.1 de verilmiştir (Çizelge 3.1).

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

Beton Sınıfı	C16	C18	C20	C25	C30	C35	C40	C45	C50
k_1	0.85	0.85	0.85	0.85	0.82	0.79	0.76	0.73	0.70

X-PRO yazılımının eşdeğer dikdörtgen basınç bloğunu mu yoksa geçerliliği deneysel verilerle kanıtlanmış başka bir gerilme dağılımını mı kullandığı belli değildir. Eşdeğer dikdörtgen basınç bloğunu kullanıyorsa hangi beton sınıfı için hangi k_1 katsayısının alındığı bilinmemektedir.

Çizelge 3.1’ de görüldüğü gibi TS 500-2000’de k_1 katsayısı C50 beton sınıfına kadar tanımlanmıştır. X-PRO yazılımında C50’den daha yüksek veya C16’den daha düşük dayanımlı beton sınıflarıyla analiz yapılabilmektedir. Hatta ara değerler, örneğin C28, dahi tanımlanabilmektedir. Yazılımda C50’den daha yüksek veya C16’den daha düşük dayanımlı betonlar için k_1 katsayısının nasıl belirlendiği bilinmemektedir.

X-PRO yazılımı malzeme varsayımlarının *Dep. Yön. 1997*’nin konuyla ilgili hükümleriyle çelişen bazı yönleri bulunmaktadır. *Dep. Yön. 1997*’nin malzeme dayanımları ile ilgili hükümleri şunlardır:

Dep. Yön. 1997 Madde 7.2.5.1 :

Deprem bölgelerinde yapılacak tüm betonarme binalarda **C16 (BS 16)**’den daha düşük dayanımlı beton kullanılamaz. Ancak birinci ve ikinci derece deprem bölgelerinde, aşağıda tanımlanan binalarda **C20 (BS 20)** veya daha yüksek dayanımlı beton kullanılması zorunludur. ¹⁾

- (a) Taşıyıcı sistemi sadece *süneklik düzeyi yüksek* çerçevelerden oluşan binalar,
- (b) Taşıyıcı sistemden bağımsız olarak **Bölüm 6**’daki **Tablo 6.3**’e göre Bina Önem Katsayısı **I = 1.5** ve **I =1.4** olan tüm binalar

¹⁾ Dep. Yön. 2007’ye göre: Deprem bölgelerinde yapılacak tüm betonarme binalarda C20’den daha düşük dayanımlı beton kullanılamaz.

Dep. Yön. 1997 Madde 7.2.5.3 :

Aşağıda 7.2.5.4'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 1.25 katından daha az olmayacaktır.

Dep. Yön. 1997 Madde 7.2.5.4 :

Kirişli sistemlerin döşemelerinde, kirişsiz döşemelerde, dişli döşeme tablalarında bodrum katların çevresindeki dış perde duvarlarının gövdelerinde, deprem yüklerinin tümünün bina yüksekliği boyunca perdeler tarafından taşındığı ve 7.6.1.2'de Denk.(7.14) ile verilen koşulların her ikisinin de sağlandığı binaların perde gövdelerinde ve prefabrike binalarda öngerme çeliği olarak **S420**'den daha yüksek dayanımlı donatı çeliği kullanılabilir.

X-PRO yazılımında bütün deprem bölgelerinde **C16** dan daha düşük dayanımlı beton sınıfı seçilip bu beton sınıfına göre analizler yapılabilmekte ve X-PRO yazılımı kullanıcıyı uyarmamaktadır. Bu durum *Dep. Yön. 1997 Madde 7.2.5.1'e* aykırı projelerin üretilmesine sebep olabilir.

Ayrıca X-PRO yazılımında beton sınıfı olarak **C50**'den daha yüksek dayanımlı beton sınıfı seçilip bu beton sınıfına göre analiz yapılabilmekte ve X-PRO yazılımı bu konuda kullanıcıyı uyarmamaktadır. Oysa, Dep. Yön. 1997'de yönetmeliğin **7. Bölüm**'ü kapsam kısmında **7.1.4** maddesinde şöyle denilmektedir: Beton dayanımının **C50 (BS 50)**'den daha yüksek olduğu betonarme binalar ile taşıyıcı sistem elemanlarında donatı olarak çelik profillerin kullanıldığı binalar bu bölümün kapsamı

dışındadır. Deprem yönetmeliğinin **7. Bölüm** kapsamı 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 Dep. Yön. 1997’ye göre **C50 (BS 50)**’den daha yüksek beton sınıfı kullanılamaz.

Bu bilgiler ışığında X-PRO yazılımının C16’dan daha düşük ve C50’den daha yüksek dayanımlı beton sınıflarının kullanılması durumunda, en azından kullanıcıyı Dep. Yön. 1997 ve TS 500-2000’in yukarıdaki hükümleri konusunda uarması gerekirdi.

X-PRO yazılımında **S220a**’dan daha düşük dayanımlı çelik sınıfı tanımlanıp bu çelik sınıfına göre analiz yapılabilmekte ve bu konuda kullanıcıyı uarmamaktadır. *TS 500-2000 Madde 3.2*’de “Beton donatısı olarak kullanılacak çelikler TS 708’e uygun olmalıdır.” denilmektedir. TS 708’e göre en düşük dayanımlı donatı çeliği **S220a**’dır ve daha düşük dayanımlı bir çeliğin donatı çeliği olarak kullanılması söz konusu değildir.

Yazılımda *Dep. Yön. 1997 Madde 7.2.5.4*’ün kapsamı dışındaki durumlarda da **S420**’den daha yüksek dayanımlı çelik sınıfı seçilerek bu çelik sınıfına göre analiz yapılabilmekte ve bu konuda kullanıcıyı uarmamaktadır. **S420**’den daha yüksek dayanımlı donatı çeliği kullanılması durumunda kullanıcının uyarılmaması Dep. Yön. 1997’ye aykırı bir projenin üretilmesine sebep olabilir. Nitekim uygulamada, Dep. Yön. 1997 tarafından açıkça yasaklanmış olmasına rağmen S500a veya S500b çeliğinin kullanıldığı projeler ile karşılaşılmaktadır.

Yazılımın çizimlerinde **S220a** çeliği **S220** olarak, **S420a** ve **S420b** çelikleri de **S420** olarak gösterilmekte, bilgi girişi bölümünde de çeliğin sadece akma gerilmesi belirtilmektedir, bu doğru bir yaklaşım değildir. TS 708’de 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) yada soğukta işlem görmüş (“b” indisi ile gösterilir) olduğunun belirtilmesi gerekmektedir.

Uygulamada da sünek yapısından dolayı doğal sertlikteki **S420a** çeliğinin tercih edilmesinde ve gevrek davranışından dolayı soğukta işlem görmüş **S420b** çeliğinden kaçınılmasında yarar vardır.

3.1.2 Kesit varsayımlarının irdelenmesi

Yazılımda Kesme Alanı Düzeltme Katsayısı (k)’nın sayısal değerleri belli değildir. (k katsayısı kesite bağlı olduğu için farklı kesitler için farklı değerler olabilmektedir.) k katsayısı, 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. X-PRO yazılımının sonuçları başka bir yazılımın sonuçları ile karşılaştırılmak istendiğinde, karşılaştırmanın daha gerçekçi olabilmesi için, bu tür parametrelerin her iki yazılımda da aynı alınması şüphesiz çok önemlidir. Ancak X-PRO yazılımı buna olanak vermemektedir.

3.2 Yük Varsayımlarının İrdelenmesi

X-PRO yazılımında kullanılan ve Şekil 2.16’da verilen yük katsayıları ve birleşimleri incelendiğinde *TS 500-2000 Madde 6.2.6*’daki zorunlu yük birleşimlerinden **1G + 1.2Q + 1.2T** ve **0.9G + 1.6H**’nin bulunmadığı görülür. Halbuki uniform sıcaklık (T etkisi) ve toprak yükü (H etkisi) yük olarak alınabilmektedir.

Yazılımda yük katsayıları ve yük birleşimleri kullanıcı tarafından değiştirilebilmekte ekleme ve çıkarma yapılabilmektedir. Yazılımın herhangi bir uyarı vermeksizin her tür yük katsayı ve birleşimine izin vermesi sakıncalıdır.

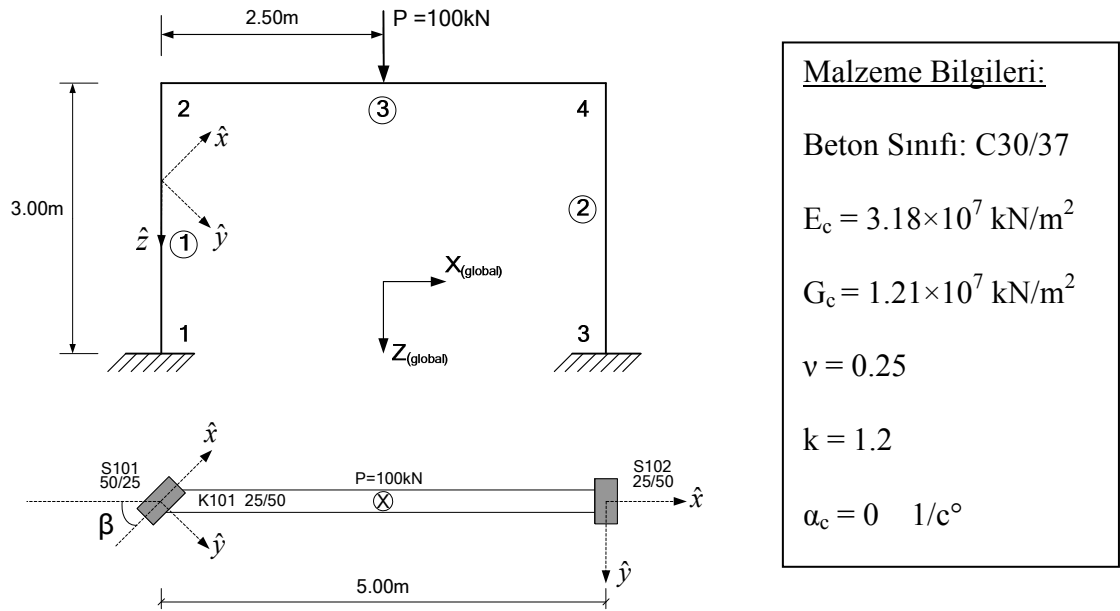
X-PRO yazılımında düğüm noktalarında (kolon üst ucu hariç) yük tanımlanamıyor olması ilginçtir. Sonlu elemanlar metodu ile analiz yaptığı iddiasındaki bir yazılımın düğüm noktalarına yük tanımlama imkanı tanımaması önemli bir eksikliklerdir.

Kirişlerin başlangıç ve bitiş noktalarına tekil dış yük tanımlama konusunda sorunlar bulunmaktadır (Bkz. Bölüm 3.3.4 Kirişlerde tekil dış yük tanımının irdelenmesi).

Döşemelerde tekil yada çizgisel dış yük tanımlanamıyor olması, betonarme yapılarıdaki (örneğin sanayi yapıları) bazı yüklerin modellenememesine yol açmaktadır.

3.3 X-PRO Yazılımı Tarafından Hesaplanan İç Kuvvet ve Deplasmanların İrdelenmesi

Şekil 3.1'deki sistemde S101 kolonu (1 numaralı eleman) sırasıyla $\beta = 0, 30, 45, 90, 180$ ve 270° olacak şekilde döndürülecek ve oluşan sistemler X-PRO ve SAP 2000 yazılımlarıyla analiz edilecektir. Burada amaç X-PRO iç kuvvet değerlerinin SAP 2000 değerleri ile örtüşüp örtüşmediğini kontrol etmek ve $30, 45^\circ$ gibi açılı (dönük) kolonların bulunduğu sistemlerde X-PRO iç kuvvet değerlerini doğru hesaplayabiliyor mu? $0-180^\circ$ ve $90-270^\circ$ açılı sistemlerin sonuçları aynı mı? X-PRO uzay çözüm (3 boyutlu çözüm) yapar mı? sorularının yanıtlarını bulabilmektir.



Şekil 3.1 X-PRO yazılımı iç kuvvetlerin irdelenmesi için hazırlanan düzlem çerçeve

Şekil 3.1’de görülen sistemde başlangıçta yük olarak global Z ekseninde 100 kN/m’lik düzgün yayılı yük tanımlanmak istenmiştir. Ancak X-PRO yazılımında kirişlerde tanımlanan dış yükler kirişin net açıklığı boyunca yayılmaktadır (Bkz. Şekil 2.16). Bu varsayımı SAP 2000 yazılımında modellemek yerine, oluşabilecek hata ihtimalini ortadan kaldırmak için, tekil yük tercih edilmiştir. 100 kN’luk tekil yük açıklığın ortasındadır.

Sistemler X-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 alınmamıştır.
- Deprem hesabı yapılmamış, sistem yalnızca 100kN’luk düşey yük altında çözülmüştür.
- SAP 2000 yazılımında $k = 1.2$ alınmıştır. X-PRO yazılımında kayma deformasyonları dikkate alınmıştır ancak k katsayısının sayısal değeri belli değildir (Bkz. Bölüm 3.1.2 Kesit Varsayımlarının İrdelenmesi)
- X-PRO yazılımında kat seviyesinde rijit diyafram kabulü vardır ve bu değiştirilememektedir. SAP 2000 yazılımında rijit diyafram kabulü yapılmamıştır.

Bölüm 2.1.2’de açıklandığı gibi, X-PRO yazılımının net bir işaret kuralı yoktur. Bu durum hem iç kuvvetlerin hem de deplasmanların kullanıcıya sunumunda ciddi aksaklıklar ve tutarsızlıklara neden olmakta ve kullanıcının sonuçları yorumlamasını çok zorlaştırmaktadır. Bazı iç kuvvet ve deplasman değerleri yanlış eksenlerde (\hat{x} eksenine ait değerler \hat{y} ekseninde ve tersi) bazı değerler ise hiç sunulmamaktadır.

Örneğin, X-PRO yazılımında kolon lokal eksenleri Şekil 2.2’deki gibi olmasına karşın M_x \hat{y} etrafında, M_y de \hat{x} etrafında gösterilmektedir. Aşağıdaki çizelgelerde sağlıklı bir karşılaştırma yapabilmek için, bu karışıklık ortadan kaldırılmış ve momentler Şekil 2.3’teki lokal eksenlere uygun şekilde yerleştirilmiştir. X-PRO kirişin i ucundaki momenti Sol M, j ucundaki momenti Sağ M şeklinde sunmakta hangi eksen etrafında olduğunu belirtmemektedir. Kiriş momentleri de kiriş lokal eksenlerine uygun şekilde gösterilmiştir.

3.3.1 Düzlem çerçevelerde iç kuvvetlerin irdelenmesi

Aşağıdaki çizelgelerde $\beta = 0, 30, 45, 90, 180$ ve 270° için X-PRO ve SAP 2000 yazılımlarının iç kuvvet değerleri ve bu değerler arasındaki farklar yüzde (%) cinsinden verilmiştir. İç kuvvetler Şekil 2.6’daki kurala göre verilmiştir.

Çizelge 3.2 $\beta = 0^\circ$ için X-PRO ve SAP 2000 tarafından hesaplanan iç kuvvet değerleri ve yüzde (%) cinsinden aralarındaki farklar

$\beta = 0^\circ$ İÇİN								
X-PRO	Eleman No	Nokta No	M_x kNm	M_y kNm	M_z^* kNm	N_z^{**} kN	V_x kN	V_y kN
	1	1	0.00	-5.47	-	52.69	-16.45	0.00
		2	0.00	-43.86	-	52.69	-16.45	0.00
	2	3	0.00	18.90	-	47.31	16.45	0.00
		4	0.00	30.43	-	47.31	16.45	0.00
	3	2	0.00	43.86	0.00	16.45	52.69	0.00
		Açıklık	0.00	87.90	0.00	16.45	52.69 ve -47.31	0.00
		4	0.00	-30.43	0.00	16.45	-47.31	0.00
	SAP 2000	Eleman No	Nokta No	M_x kNm	M_y kNm	M_z^* kNm	N_z^{**} kN	V_x kN
1		1	0.00	-5.16	0.00	52.70	-16.30	0.00
		2	0.00	-43.75	0.00	52.70	-16.30	0.00
2		3	0.00	18.66	0.00	47.30	16.30	0.00
		4	0.00	30.26	0.00	47.30	16.30	0.00
3		2	0.00	43.75	0.00	16.30	52.70	0.00
		Açıklık	0.00	88.00	0.00	16.30	52.70 ve -47.30	0.00
		4	0.00	-30.26	0.00	16.30	-47.30	0.00
			FARK %					
FARK %	Eleman No	Nokta No	M_x kNm	M_y kNm	M_z^* kNm	N_z^{**} kN	V_x kN	V_y kN
	1	1	-	-6.01	-	0.02	-0.92	-
		2	-	-0.25	-	0.02	-0.92	-
	2	3	-	-1.29	-	-0.02	-0.92	-
		4	-	-0.56	-	-0.02	-0.92	-
	3	2	-	-0.25	-	-0.92	0.02	-
		Açıklık	-	0.11	-	-0.92	-	-
		4	-	-0.56	-	-0.92	-0.02	-

* X-PRO yazılımı kolon burulma momenti M_z 'nin sayısal değerlerini kullanıcıya sunmamaktadır. Hesaplanıp hesaplanmadığı tüm incelemelere rağmen anlaşılammıştır (Bkz. Bölüm 2.2.2 Kolon modeli).

** X-PRO yazılımında kirişlerin eksenel kuvveti hesaplanmamakta ve sunulmamaktadır (Bkz. Bölüm 2.2.4.1 Rijit diyafram kabulünün irdelenmesi). Bu çizelgelere X-PRO çözümlerindeki kirişlere ait eksenel kuvvet değerleri düzlem bir çerçevede kolonlardaki kesme kuvvetinin kirişlerdeki eksenel kuvvete eşit olacağı bilgisine dayanarak yazılmıştır.

Çizelge 3.3 $\beta = 30^\circ$ için X-PRO ve SAP 2000 tarafından hesaplanan iç kuvvet değerleri ve yüzde (%) cinsinden aralarındaki farklar

$\beta = 30^\circ$ İÇİN								
X-PRO	Eleman No	Nokta No	M_x	M_y	M_z^*	N_z^{**}	V_x	V_y
			kNm	kNm	kNm	kN	kN	kN
	1	1	-6.50	-7.65	-	51.60	-13.87	-8.02
		2	-17.55	-33.95	-	51.60	-13.87	-8.02
	2	3	1.81	17.85	-	48.40	16.02	0.01
		4	-1.78	30.21	-	48.40	16.02	0.01
	3	2	0.00	38.18	-1.78	16.02	51.60	0.00
		Açıklık	0.00	90.80	-	16.02	51.60 ve -48.40	0.00
		4	0.00	-30.21	-1.78	16.02	-48.40	0.00
SAP 2000	Eleman No	Nokta No	M_x	M_y	M_z^*	N_z^{**}	V_x	V_y
			kNm	kNm	kNm	kN	kN	kN
	1	1	-6.38	-7.43	0.00	51.60	-13.76	-7.96
		2	-17.49	-33.85	0.00	51.60	-13.76	-7.96
	2	3	1.82	17.63	0.00	48.40	15.90	0.01
		4	-1.78	30.06	0.00	48.40	15.90	0.01
	3	2	0.00	38.06	-1.78	15.90	51.60	0.00
		Açıklık	0.00	90.94	-	15.90	51.60 ve -48.40	0.00
		4	0.00	-30.06	-1.78	15.90	-48.40	0.00
FARK %								
FARK %	Eleman No	Nokta No	M_x	M_y	M_z^*	N_z^{**}	V_x	V_y
			kNm	kNm	kNm	kN	kN	kN
	1	1	-1.88	-2.96	-	0.00	-0.80	-0.75
		2	-0.34	-0.30	-	0.00	-0.80	-0.75
	2	3	0.55	-1.25	-	0.00	-0.75	0.00
		4	0.00	-0.50	-	0.00	-0.75	0.00
	3	2	-	-0.32	0.00	-0.75	0.00	-
		Açıklık	-	0.15	-	-0.75	-	-
		4	-	-0.50	0.00	-0.75	0.00	-

* X-PRO yazılımı kolon burulma momenti M_z 'nin sayısal değerlerini kullanıcıya sunmamaktadır. Hesaplanıp hesaplanmadığı tüm incelemelere rağmen anlaşılabilir (Bkz. Bölüm 2.2.2 Kolon modeli).

** X-PRO yazılımında kirişlerin eksenel kuvveti hesaplanmamakta ve sunulmamaktadır (Bkz. Bölüm 2.2.4.1 Rijit diyafram kabulünün irdelenmesi). Bu çizelgelerde X-PRO çözümlerindeki kirişlere ait eksenel kuvvet değerleri düzlem bir çerçevede kolonlardaki kesme kuvvetinin kirişlerdeki eksenel kuvvete eşit olacağı bilgisine dayanarak yazılmıştır.

Çizelge 3.4 $\beta = 45^\circ$ için X-PRO ve SAP 2000 tarafından hesaplanan iç kuvvet değerleri ve yüzde (%) cinsinden aralarındaki farklar

$\beta = 45^\circ$ İÇİN								
X-PRO	Eleman No	Nokta No	M_x kNm	M_y kNm	M_z^* kNm	N_z^{**} kN	V_x kN	V_y kN
	1	1	-9.73	-7.41	-	50.89	-10.91	-10.86
		2	-22.86	-25.32	-	50.89	-10.91	-10.86
	2	3	1.64	16.55	-	49.11	15.40	-0.03
		4	-1.74	29.64	-	49.11	15.40	-0.03
	3	2	0.00	34.07	-1.74	15.40	50.89	0.00
		Açıklık	0.00	91.90	-	15.40	50.89 ve -49.11	0.00
		4	0.00	-29.64	-1.74	15.40	-49.11	0.00
	SAP 2000	Eleman No	Nokta No	M_x kNm	M_y kNm	M_z^* kNm	N_z^{**} kN	V_x kN
1		1	-9.60	-7.19	0.00	50.89	-10.82	-10.79
		2	-22.77	-25.23	0.00	50.89	-10.82	-10.79
2		3	1.67	16.36	0.00	49.11	15.29	-0.02
		4	-1.74	29.50	0.00	49.11	15.29	-0.02
3		2	0.00	33.95	-1.74	15.29	50.89	0.00
		Açıklık	0.00	93.27	-	15.29	50.89 ve -49.11	0.00
		4	0.00	-29.50	-1.74	15.29	-49.11	0.00
			FARK %					
FARK %	Eleman No	Nokta No	M_x kNm	M_y kNm	M_z^* kNm	N_z^{**} kN	V_x kN	V_y kN
	1	1	-1.35	-3.06	-	0.00	-0.83	-0.65
		2	-0.40	-0.36	-	0.00	-0.83	-0.65
	2	3	1.80	-1.16	-	0.00	-0.72	-40.91
		4	0.00	-0.47	-	0.00	-0.72	-40.91
	3	2	-	-0.35	0.00	-0.72	0.00	-
		Açıklık	-	1.47	-	-0.72	-	-
		4	-	-0.47	0.00	-0.72	0.00	-

* X-PRO yazılımı kolon burulma momenti M_z 'nin sayısal değerlerini kullanıcıya sunmamaktadır. Hesaplanıp hesaplanmadığı tüm incelemelere rağmen anlaşılabilir (Bkz. Bölüm 2.2.2 Kolon modeli).

** X-PRO yazılımında kirişlerin eksenel kuvveti hesaplanmamakta ve sunulmamaktadır (Bkz. Bölüm 2.2.4.1 Rijit diyafram kabulünün irdelenmesi). Bu çizelgelerde X-PRO çözümlerindeki kirişlere ait eksenel kuvvet değerleri düzlem bir çerçevede kolonlardaki kesme kuvvetinin kirişlerdeki eksenel kuvvete eşit olacağı bilgisine dayanarak yazılmıştır.

Çizelge 3.5 $\beta = 90^\circ$ için X-PRO ve SAP 2000 tarafından hesaplanan iç kuvvet değerleri ve yüzde (%) cinsinden aralarındaki farklar

$\beta = 90^\circ$ İÇİN								
X-PRO	Eleman No	Nokta No	M_x kNm	M_y kNm	M_z^* kNm	N_z^{**} kN	V_x kN	V_y kN
	1	1	-13.92	0.00	-	50.00	0.00	-14.04
		2	-28.21	0.00	-	50.00	0.00	-14.04
	2	3	0.00	13.92	-	50.00	14.04	0.00
		4	0.00	28.21	-	50.00	14.04	0.00
	3	2	0.00	28.21	0.00	14.04	50.00	0.00
		Açıklık	0.00	96.80	0.00	14.04	50.00 ve -50.00	0.00
		4	0.00	-28.21	0.00	14.04	-50.00	0.00
	SAP 2000	Eleman No	Nokta No	M_x kNm	M_y kNm	M_z^* kNm	N_z^{**} kN	V_x kN
1		1	-13.77	0.00	0.00	50.00	0.00	-13.96
		2	-28.11	0.00	0.00	50.00	0.00	-13.96
2		3	0.00	-13.77	0.00	50.00	13.96	0.00
		4	0.00	28.11	0.00	50.00	13.96	0.00
3		2	0.00	28.11	0.00	13.96	50.00	0.00
		Açıklık	0.00	96.89	0.00	13.96	50.00 ve -50.00	0.00
		4	0.00	-28.11	0.00	13.96	-50.00	0.00
FARK %								
FARK %	Eleman No	Nokta No	M_x kNm	M_y kNm	M_z^* kNm	N_z^{**} kN	V_x kN	V_y kN
	1	1	-1.09	-	-	0.00	-	-0.57
		2	-0.36	-	-	0.00	-	-0.57
	2	3	-	-1.09	-	0.00	-0.57	-
		4	-	-0.36	-	0.00	-0.57	-
	3	2	-	-0.36	-	-0.57	0.00	-
		Açıklık	-	0.09	-	-0.57	-	-
		4	-	-0.36	-	-0.57	0.00	-

* X-PRO yazılımı kolon burulma momenti M_z 'nin sayısal değerlerini kullanıcıya sunmamaktadır. Hesaplanıp hesaplanmadığı tüm incelemelere rağmen anlaşılabilir (Bkz. Bölüm 2.2.2 Kolon modeli).

** X-PRO yazılımında kirişlerin eksenel kuvveti hesaplanmamakta ve sunulmamaktadır (Bkz. Bölüm 2.2.4.1 Rijit diyafram kabulünün irdelenmesi). Bu çizelgelerde X-PRO çözümlerindeki kirişlere ait eksenel kuvvet değerleri düzlem bir çerçevede kolonlardaki kesme kuvvetinin kirişlerdeki eksenel kuvvete eşit olacağı bilgisine dayanarak yazılmıştır.

Çizelge 3.6 $\beta = 180^\circ$ için X-PRO ve SAP 2000 tarafından hesaplanan iç kuvvet değerleri ve yüzde (%) cinsinden aralarındaki farklar

$\beta = 180^\circ$ İÇİN								
X-PRO	Eleman No	Nokta No	M_x kNm	M_y kNm	M_z^* kNm	N_z^{**} kN	V_x kN	V_y kN
	1	1	0.00	5.47	-	52.69	16.45	0.00
		2	0.00	43.86	-	52.69	16.45	0.00
	2	3	0.00	18.90	-	47.31	16.45	0.00
		4	0.00	30.43	-	47.31	16.45	0.00
	3	2	0.00	43.86	0.00	16.45	52.69	0.00
		Açıklık	0.00	87.90	0.00	16.45	52.69 ve -47.31	0.00
		4	0.00	-30.43	0.00	16.45	-47.31	0.00
	SAP 2000	Eleman No	Nokta No	M_x kNm	M_y kNm	M_z^* kNm	N_z^{**} kN	V_x kN
1		1	0.00	5.16	0.00	52.70	16.30	0.00
		2	0.00	43.75	0.00	52.70	16.30	0.00
2		3	0.00	18.66	0.00	47.30	16.30	0.00
		4	0.00	30.26	0.00	47.30	16.30	0.00
3		2	0.00	43.75	0.00	16.30	52.70	0.00
		Açıklık	0.00	88.00	0.00	16.30	52.70 ve -47.30	0.00
		4	0.00	-30.26	0.00	16.30	-47.30	0.00
			FARK %					
FARK %	Eleman No	Nokta No	M_x kNm	M_y kNm	M_z^* kNm	N_z^{**} kN	V_x kN	V_y kN
	1	1	-	-6.01	-	0.02	-0.92	-
		2	-	-0.25	-	0.02	-0.92	-
	2	3	-	-1.29	-	-0.02	-0.92	-
		4	-	-0.56	-	-0.02	-0.92	-
	3	2	-	-0.25	-	-0.92	0.02	-
		Açıklık	-	0.11	-	-0.92	-	-
		4	-	-0.56	-	-0.92	-0.02	-

* X-PRO yazılımı kolon burulma momenti M_z 'nin sayısal değerlerini kullanıcıya sunmamaktadır. Hesaplanıp hesaplanmadığı tüm incelemelere rağmen anlayışlamamıştır (Bkz. Bölüm 2.2.2 Kolon modeli).

** X-PRO yazılımında kirişlerin eksenel kuvveti hesaplanmamakta ve sunulmamaktadır (Bkz. Bölüm 2.2.4.1 Rijit diyafram kabulünün irdelenmesi). Bu çizelgelere X-PRO çözümlerindeki kirişlere ait eksenel kuvvet değerleri düzlem bir çerçevede kolonlardaki kesme kuvvetinin kirişlerdeki eksenel kuvvete eşit olacağı bilgisine dayanarak yazılmıştır.

Çizelge 3.7 $\beta = 270^\circ$ için X-PRO ve SAP 2000 tarafından hesaplanan iç kuvvet değerleri ve yüzde (%) cinsinden aralarındaki farklar

$\beta = 270^\circ$ İÇİN								
X-PRO	Eleman No	Nokta No	M_x kNm	M_y kNm	M_z^* kNm	N_z^{**} kN	V_x kN	V_y kN
	1	1	13.92	0.00	-	50.00	0.00	14.04
		2	28.21	0.00	-	50.00	0.00	14.04
	2	3	0.00	13.92	-	50.00	14.04	0.00
		4	0.00	28.21	-	50.00	14.04	0.00
	3	2	0.00	28.21	0.00	14.04	50.00	0.00
		Açıklık	0.00	96.80	0.00	14.04	50.00 ve -50.00	0.00
		4	0.00	-28.21	0.00	14.04	-50.00	0.00
	SAP 2000	Eleman No	Nokta No	M_x kNm	M_y kNm	M_z^* kNm	N_z^{**} kN	V_x kN
1		1	13.77	0.00	0.00	50.00	0.00	13.96
		2	28.11	0.00	0.00	50.00	0.00	13.96
2		3	0.00	13.77	0.00	50.00	13.96	0.00
		4	0.00	28.11	0.00	50.00	13.96	0.00
3		2	0.00	28.11	0.00	13.96	50.00	0.00
		Açıklık	0.00	96.89	0.00	13.96	50.00 ve -50.00	0.00
		4	0.00	-28.11	0.00	13.96	-50.00	0.00
FARK %								
FARK %	Eleman No	Nokta No	M_x kNm	M_y kNm	M_z^* kNm	N_z^{**} kN	V_x kN	V_y kN
	1	1	-1.09	-	-	0.00	-	-0.57
		2	-0.36	-	-	0.00	-	-0.57
	2	3	-	-1.09	-	0.00	-0.57	-
		4	-	-0.36	-	0.00	-0.57	-
	3	2	-	-0.36	-	-0.57	0.00	-
		Açıklık	-	0.09	-	-0.57	-	-
		4	-	-0.36	-	-0.57	0.00	-

* X-PRO yazılımı kolon burulma momenti M_z 'nin sayısal değerlerini kullanıcıya sunmamaktadır. Hesaplanıp hesaplanmadığı tüm incelemelere rağmen anlaşılabilir (Bkz. Bölüm 2.2.2 Kolon modeli).

** X-PRO yazılımında kirişlerin eksenel kuvveti hesaplanmamakta ve sunulmamaktadır (Bkz. Bölüm 2.2.4.1 Rijit diyafram kabulünün irdelenmesi). Bu çizelgelerde X-PRO çözümlerindeki kirişlere ait eksenel kuvvet değerleri düzlem bir çerçevede kolonlardaki kesme kuvvetinin kirişlerdeki eksenel kuvvete eşit olacağı bilgisine dayanarak yazılmıştır.

Çizelgeler incelendiğinde bütün açı değerleri için ($\beta = 0, 30, 45, 90, 180$ ve 270°) X-PRO ve SAP 2000 yazılımlarının iç kuvvet değerlerinin çok büyük oranda örtüştüğü görülmüştür. Aralarındaki fark ortalama % 1 olarak saptanmıştır. SAP 2000 yazılımını referans olarak kabul edersek X-PRO 30° ve 45° gibi açılı (dönük) kolonların bulunduğu sistemlerde iç kuvvet değerlerini doğru hesaplamıştır.

Ayrıca 0° - 180° ve 90° - 270° 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 ile $\beta = 180^\circ$ için hesaplanan ile aynı, işaretleri farklıdır çünkü kolon lokal eksenleri tam ters istikamete dönmüştür (Bkz. Çizelge 3.2 ve 3.6). $\beta = 90^\circ$ ve $\beta = 270^\circ$ için de aynı durum geçerlidir (Bkz. Çizelge 3.5 ve 3.7). Ayrıca 1 numaralı eleman $\beta = 90^\circ$ ve $\beta = 270^\circ$ olacak şekilde döndürüldüğünde sistem simetrik olmaktadır Çizelge 3.5 ve Çizelge 3.7 incelendiğinde sonuçların simetriye uygun olduğu görülecektir.

3.3.2 Düzlem çerçevelerde deplasmanların irdelenmesi

Aşağıdaki çizelgelerde $\beta = 0^\circ, 30^\circ, 45^\circ$ ve 90° açıları için X-PRO ve SAP 2000 yazılımları tarafından hesaplanan deplasman değerleri sunulmuştur. $\beta = 0^\circ$ ve 180° ile $\beta = 90^\circ$ ve 270° açılı sistemlerin deplasmanlarının aynı olduğu saptanmış, bunlara ait sonuçlar ayrıca sunulmamıştır.

Çizelge 3.8 $\beta = 0^\circ$ için X-PRO ve SAP 2000 tarafından hesaplanan deplasman değerleri

X-PRO $\beta = 0^\circ$						
Nokta No	Deplasman (mm)			Dönme (Radyan)		
	X Yönü	Y Yönü	Z Yönü	X etrafında	Y etrafında	Z etrafında*
2	0.565	-	0.039	-	-0.00069	-
4	0.565	-	0.035	-	0.00084	-
SAP 2000 $\beta = 0^\circ$						
Nokta No	Deplasman (mm)			Dönme (Radyan)		
	X Yönü	Y Yönü	Z Yönü	X etrafında	Y etrafında	Z etrafında
2	0.568	-	0.039	-	-0.00069	-
4	0.548	-	0.035	-	0.00084	-

Not : X, Y ve Z global eksenlerdir.

* X-PRO yazılımında Z eksenini etrafında dönme sunulmamaktadır.

Çizelge 3.9 $\beta = 30^\circ$ için X-PRO ve SAP 2000 tarafından hesaplanan deplasman değerleri

X-PRO $\beta = 30^\circ$						
Nokta No	Deplasman (mm)			Dönme (Radyan)		
	X Yönü	Y Yönü	Z Yönü	X etrafında	Y etrafında	Z etrafında*
2	0.427	0.116	0.038	0.000450	-0.00081	-
4	0.427	0.098	0.036	0.000065	0.00090	-
SAP 2000 $\beta = 30^\circ$						
Nokta No	Deplasman (mm)			Dönme (Radyan)		
	X Yönü	Y Yönü	Z Yönü	X etrafında	Y etrafında	Z etrafında
2	0.433	0.123	0.038	0.000450	-0.00081	-0.0000038
4	0.412	0.098	0.036	0.000065	0.00090	-0.0000038

Not : X, Y ve Z global eksenlerdir.

* X-PRO yazılımında Z eksenini etrafında dönme sunulmamaktadır.

Çizelge 3.10 $\beta = 45^\circ$ için X-PRO ve SAP 2000 tarafından hesaplanan deplasman değerleri

X-PRO $\beta = 45^\circ$						
Nokta No	Deplasman (mm)			Dönme (Radyan)		
	X Yönü	Y Yönü	Z Yönü	X etrafında	Y etrafında	Z etrafında*
2	0.279	0.039	0.038	0.000440	-0.00090	-
4	0.279	0.090	0.037	0.000061	0.00095	-
SAP 2000 $\beta = 45^\circ$						
Nokta No	Deplasman (mm)			Dönme (Radyan)		
	X Yönü	Y Yönü	Z Yönü	X etrafında	Y etrafında	Z etrafında
2	0.286	0.039	0.038	0.000440	-0.00090	0.0000071
4	0.267	0.090	0.037	0.000061	0.00095	0.0000071

Not : X, Y ve Z global eksenlerdir.

* X-PRO yazılımında Z eksenini etrafında dönme sunulmamaktadır.

Çizelge 3.11 $\beta = 90^\circ$ için X-PRO ve SAP 2000 tarafından hesaplanan deplasman değerleri

X-PRO $\beta = 90^\circ$						
Nokta No	Deplasman (mm)			Dönme (Radyan)		
	X Yönü	Y Yönü	Z Yönü	X etrafında	Y etrafında	Z etrafında*
2	0.00878	-	0.037	-	-0.00104	-
4	0.00878	-	0.037	-	0.00104	-
SAP 2000 $\beta = 90^\circ$						
Nokta No	Deplasman (mm)			Dönme (Radyan)		
	X Yönü	Y Yönü	Z Yönü	X etrafında	Y etrafında	Z etrafında
2	0.00878	-	0.037	-	-0.00104	-
4	-0.00878	-	0.037	-	0.00104	-

Not : X, Y ve Z global eksenlerdir.

* X-PRO yazılımında Z eksenini etrafında dönme sunulmamaktadır.

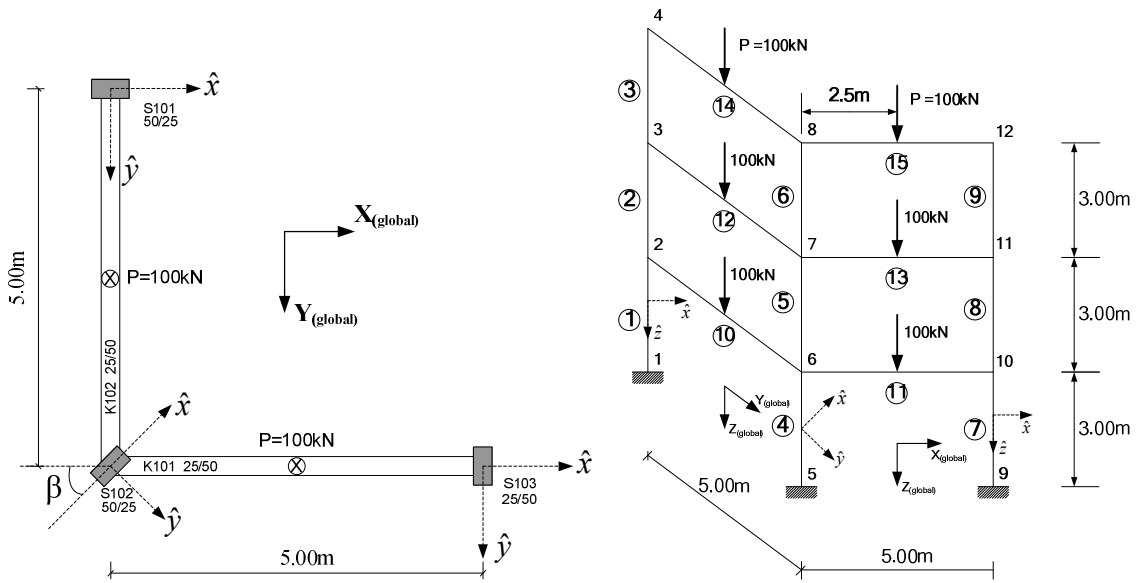
Çizelgelerde görüldüğü gibi, X-PRO yazılımı tarafından 2 ve 4 numaralı düğümlerde hesaplanan X yönü deplasman değerleri birbirine eşit çıkmıştır. Bu durum X-PRO yazılımının rijit diyafram kabulünün sonucudur. Bu deplasmanlar birbirine eşit olduğu için X-PRO yazılımında kirişlerde eksenel kuvvet hesaplanmamaktadır (Bkz. Bölüm 2.2.4.1 Rijit Diyafram Kabulünün İrdelenmesi). Ancak SAP 2000 çözümlerinde görüldüğü gibi bu deplasmanlar birbirinden farklıdır ve kirişlerde eksenel kuvvet oluşmaktadır.

X-PRO yazılımında Z eksenini etrafındaki dönmenin sayısal değerleri sunulmamaktadır, hesaplanıp hesaplanmadığı belli değildir. Kolonlarda burulma momentinin sayısal değerleri de kullanıcıya sunulmamaktadır. Z eksenini etrafındaki dönmenin sunulmaması kolonlarda burulma momentinin de hesaplanmadığı şüphesini doğurmaktadır. Kolonlarda burulma momentinin hesaplanıp hesaplanmadığı tüm incelemelere rağmen kesin olarak tespit edilememiştir. Tüm kolonların dönmelerinin kat dönmesine eşit alındığı düşünülmektedir.

X-PRO yazılımının rijit diyafram kabulünün düşey yük etkisindeki basit bir düzlem çerçevede iç kuvvet ve deplasmanları çok fazla etkilemediği görülmüştür fakat, tahmin edileceği gibi, döşemesiz uzay çerçevelerde sonuçları çok değiştirecektir.

3.3.3 Uzak çerçevelerde iç kuvvet ve deplasmanların irdelenmesi

X-PRO yazılımı ile hesaplanan iç kuvvetlerin irdelenmesi amacıyla Şekil 3.1'deki uzak çerçeve sistemi oluşturulmuştur. Bu sistemde 4, 5 ve 6 numaralı elemanlar sırasıyla $\beta = 0, 30, 45, 180^\circ$ olacak şekilde döndürülmüş ve oluşan sistemler X-PRO ve SAP 2000 yazılımlarıyla analiz edilmiştir.



Malzeme Bilgileri:

Beton: C30/37 , $E_c = 3.18 \times 10^7$ kN/m², $G_c = 1.21 \times 10^7$ kN/m², $\nu = 0.25$, $k = 1.2$, $\alpha_c = 0$ 1/c°

Şekil 3.2 X-PRO yazılımı iç kuvvetlerin irdelenmesi için hazırlanan uzak çerçeve

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

- Kolon, kiriş zati ağırlıkları ihmal edilmiştir.
- Kolon-Kiriş birleşim bölgelerinde kirişin kolon içinde kalan parçası sonsuz rijit alınmamıştır.
- Deprem hesabı yapılmamış, sistem yalnızca 100kN'luk düşey yükler altında çözülmüştür.

- SAP 2000 yazılımında $k = 1.2$ alınmıştır. X-PRO yazılımında kayma deformasyonları dikkate alınmıştır ancak k katsayısının sayısal değeri belli değildir (Bkz. Bölüm 3.1.2 Kesit Varsayımlarının İrdelenmesi)
- X-PRO yazılımında kat seviyesinde rijit diyafram kabulü vardır ve bu değiştirilememektedir. SAP 2000 yazılımında rijit diyafram kabulü yapılmamıştır.

Sonuçlar incelendiğinde özellikle 1,2,3,7,8 ve 9 numaralı elemanlarda X-PRO ve SAP 2000 tarafından hesaplanan moment, kesme kuvveti ve deplasman değerleri arasında % 100'e varan farklılıklar tespit edilmiştir. Örneğin 2 numaralı elemanın 2 numaralı düğümünde M_y momenti X-PRO ile 0.34 kNm, SAP 2000 ile 1.56 kNm olarak hesaplanmıştır. SAP 2000 sonucunu doğru kabul edersek aradaki fark % 78.21'dir. 9 numaralı elemanın 11 numaralı düğümünde M_x momenti X-PRO ile -0.01 kNm, SAP 2000 ile -1.38 kNm olarak hesaplanmıştır. SAP 2000 sonucunu doğru kabul edersek aradaki fark %99.28 olarak belirlenmiştir.

Çizelge 3.12 $\beta = 0^\circ$ için 2 ve 9 numaralı elemanlarda X-PRO ve SAP 2000 ile hesaplanan moment ve normal kuvvet değerleri

$\beta = 0^\circ$ İÇİN		X-PRO			SAP 2000			FARK %		
Eleman No	Nokta No	M_x kNm	M_y kNm	N_z kN	M_x kNm	M_y kNm	N_z kN	M_x kNm	M_y kNm	N_z kN
2	2	-23.82	0.34	99.89	-23.63	1.56	99.66	-0.80	78.21	-0.23
9	11	-0.01	30.39	48.75	-1.38	29.97	48.66	99.28	-1.40	-0.18

Bunun üzerine SAP 2000 yazılımında kat seviyesinde rijit diyafram tanımlanarak sonuçlar karşılaştırılmış, bütün β değerleri için X-PRO ve SAP 2000 iç kuvvet ve deplasman değerlerinin tam olarak aynı olduğu görülmüştür. Bu durum X-PRO yazılımındaki rijit diyafram kabulünün etkisini ortaya koymaktadır.

Bu sistemde, döşeme olmadığı için, rijit diyafram kabulünün yapılması anlamsızdır ancak X-PRO yazılımında bu kabul iptal edilememektedir. Bu kabulün sonuçları gerçekten ne denli uzaklaştırdığı açıktır. Sistem rijit diyafram kabulü

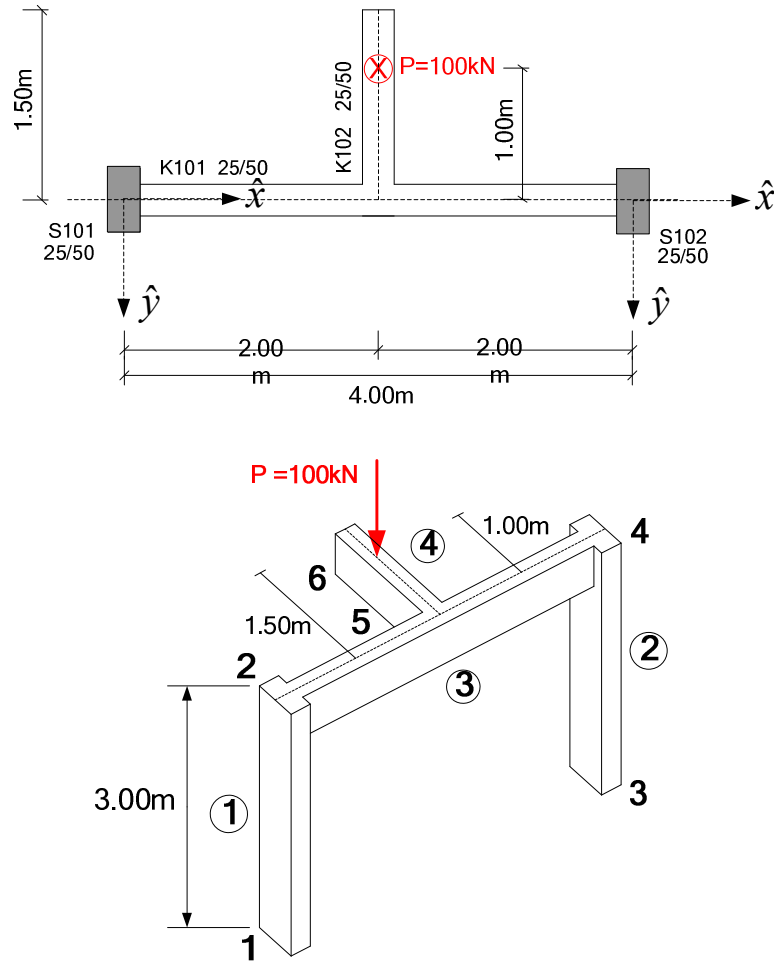
yapılmadan SAP 2000 ile çözüldüğünde ortaya çıkan sonuçlar (bu sistem için gerçekçi sonuçlar bunlardır) ile X-PRO yazılımı tarafından bulunan sonuçlar arasında (1,2,3,7,8 ve 9 numaralı elemanlarda) büyük bir uçurum oluşmaktadır.

Farkın bu denli büyük olmasında sistemin kapalı bir çerçeve olmayışının da önemli bir rolü bulunmaktadır. Şekil 3.2'deki sistemde S101 ve S103 kolonları her katta kirişlerle bağlanarak oluşturulan kapalı çerçeve her iki yazılım ile çözüldüğünde, (SAP 2000 de rijit diyafram kabulü yapılmadığı halde) tüm β değerlerinde tüm elemanlarda sonuçlar birbirine çok yaklaşmakta, fakat özellikle deplasmanlarda az da olsa farklılıklar bulunmaktadır.

Uzay ve düzlem sistemlerin sonuçları incelendiğinde X-PRO yazılımının uzay (üç boyutlu) çözüm yapabildiği görülmüştür. SAP 2000 yazılımı referans alındığında 30° ve 45° gibi açılı (dönük) kolonların bulunduğu sistemlerde X-PRO yazılımı iç kuvvet değerlerini doğru hesaplamıştır. Ayrıca kirişlerdeki burulma momentlerinin kolonlara eğilme momenti olarak doğru bir şekilde aktarıldığı belirlenmiştir.

3.3.4 Kirişlerde burulma momentinin irdelenmesi

X-PRO yazılımı tarafından hesaplanan kiriş burulma momentlerinin irdelenmesi amacıyla Şekil 3.3'deki sistem oluşturulmuştur. 3 numaralı elemandaki (K101 kirişi) burulma momenti, 1 ve 2 numaralı elemanların (S101 ve S102 kolonları) lokal \hat{x} etrafındaki eğilme momentine (M_x) eşit olmak zorundadır. Sistem X-PRO ile çözümlenerek bu eşitlik kontrol edilecektir. Ayrıca aynı sistem SAP 2000 ile de çözümlenerek X-PRO' nun değerlerinin SAP 2000'nin değerleri ile tutarlılığı kontrol edilecektir. Böylece X-PRO yazılımının kirişlerdeki burulma momentini doğru hesaplayıp hesaplayamadığı görülecektir.



Şekil 3.3 X-PRO kiriş burulma momentlerinin irdelenmesi için hazırlanan sistem

Malzeme Bilgileri:

Beton: C30, $E_c = 3.18 \times 10^7$ kN/m², $G_c = 1.21 \times 10^7$ kN/m², $\nu = 0.25$, $k = 1.2$, $\alpha_c = 0$ 1/c°

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

- Kolon, kiriş zati ağırlıkları ihmal edilmiştir.
- Kolon-Kiriş birleşim bölgelerinde kirişin kolon içinde kalan parçası sonsuz rijit alınmamıştır.
- Deprem hesabı yapılmamış, sistem yalnızca 100kN'luk düşey yük altında çözülmüştür.
- SAP 2000 de $k = 1.2$ alınmıştır. X-PRO da kayma deformasyonları dikkate alınmıştır ancak X-PRO da k katsayısının sayısal değeri belli değildir (Bkz. Bölüm 3.1.2 Kesit Varsayımlarının İrdelenmesi)
- X-PRO da kat seviyesinde rijit diyafram kabulü vardır ve bu değiştirilememektedir. SAP 2000 yazılımında rijit diyafram kabulü yapılmamıştır.

Aşağıdaki çizelgelerde X-PRO ve SAP 2000 tarafından hesaplanan iç kuvvet değerleri ve bu değerler arasındaki farklar yüzde (%) cinsinden verilmiştir. İç kuvvetler Şekil 2.6'daki kurala göre verilmiştir.

Çizelge 3.13 X-PRO ve SAP 2000 tarafından hesaplanan iç kuvvet değerleri ve yüzde (%) cinsinden aralarındaki farklar

	Eleman	Nokta	M_x	M_y	M_z^*	N_z^{**}	V_x	V_y
	No	No	kNm	kNm	kNm	kN	kN	kN
X-PRO	1	1	-50.00	-9.79	-	50.00	-9.88	0.00
		2	50.00	-19.85	-	50.00	-9.88	0.00
	2	3	-50.00	9.79	-	50.00	9.88	0.00
		4	50.00	19.85	-	50.00	9.88	0.00
	3	2	0.00	19.85	-50.00	9.88	50.00	0.00
		Açıklık	0.00	80.16	-	9.88	50.00 ve -50.00	0.00
		4	0.00	-19.85	50.00	9.88	-50.00	0.00
	4	5	0.00	-100.00	0.00	0.00	-100.00	0.00
		6	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

	Eleman	Nokta	M_x	M_y	M_z^*	N_z^{**}	V_x	V_y
	No	No	kNm	kNm	kNm	kN	kN	kN
SAP 2000	1	1	-50.00	-9.70	0.00	50.00	-9.82	0.00
		2	50.00	-19.77	0.00	50.00	-9.82	0.00
	2	3	-50.00	9.70	0.00	50.00	9.82	0.00
		4	50.00	19.77	0.00	50.00	9.82	0.00
	3	2	0.00	19.77	-50.00	9.82	50.00	0.00
		Açıklık	0.00	80.23	-	9.82	50.00 ve -50.00	0.00
		4	0.00	-19.77	50.00	9.82	-50.00	0.00
	4	5	0.00	-100.00	0.00	0.00	-100.00	0.00
		6	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

			FARK %					
	Eleman	Nokta	M_x	M_y	M_z^*	N_z^{**}	V_x	V_y
	No	No	kNm	kNm	kNm	kN	kN	kN
FARK %	1	1	0.00	-0.93	-	0.00	-0.61	-
		2	0.00	-0.40	--	0.00	-0.61	-
	2	3	0.00	-0.93	-	0.00	-0.61	-
		4	0.00	-0.40	-	0.00	-0.61	-
	3	2	-	-0.40	0.00	-0.61	0.00	-
		Açıklık	-	0.09	-	-0.61	-	-
		4	-	-0.40	0.00	-0.61	0.00	-
	4	5	-	0.00	-	-	0.00	-
		6	-	-	-	-	-	-

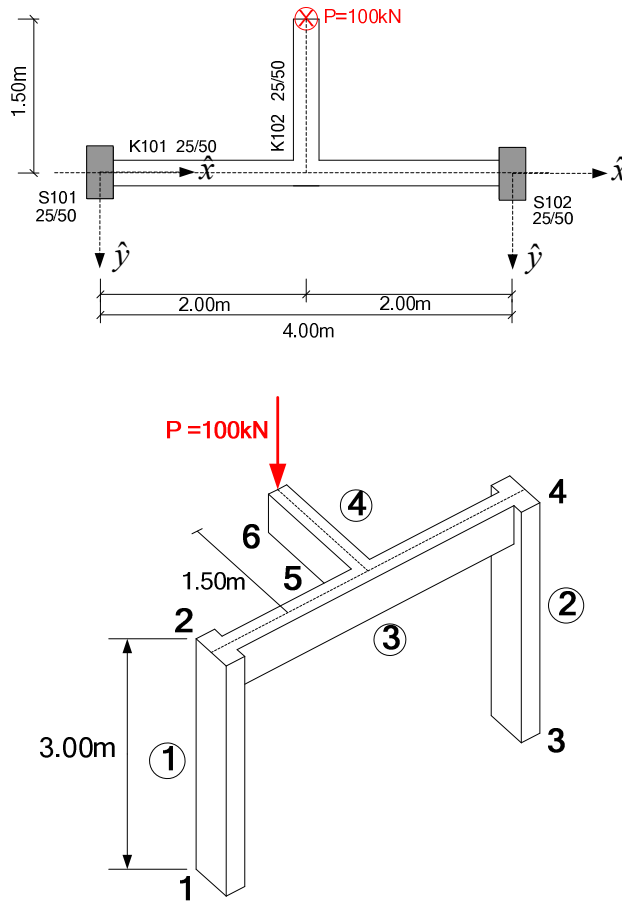
* X-PRO yazılımı kolon burulma momenti M_z 'nin sayısal değerlerini kullanıcıya sunmamaktadır. Hesaplanıp hesaplanmadığı tüm incelemelere rağmen anlaşılammıştır (Bkz. Bölüm 2.2.2 Kolon modeli).

** X-PRO yazılımında kirişlerin eksenel kuvveti hesaplanmamakta ve sunulmamaktadır (Bkz. Bölüm 2.2.4.1 Rijit diyafram kabulünün irdelenmesi). Bu çizelgelere X-PRO çözümlerindeki kirişlere ait eksenel kuvvet değerleri düzlem bir çerçevede kolonlardaki kesme kuvvetinin kirişlerdeki eksenel kuvvete eşit olacağı bilgisine dayanarak yazılmıştır.

Çizelge 3.13'teki X-PRO sonuçları incelendiğinde 3 numaralı elemandaki (K101 kirişi) burulma momentinin, 1 ve 2 numaralı elemanlardaki (S101 ve S102 kolonları) lokal \hat{x} etrafındaki eğilme momentine (M_x) eşit olduğu görülür. X-PRO' nun değerleri % 100'e yakın bir oranda SAP 2000 yazılımının hesapladığı değerlerle örtüşmektedir. Sonuç olarak X-PRO yazılımının kirişlerdeki burulma momentini doğru hesapladığı ve bu momenti kolonlara doğru aktardığını söyleyebiliriz.

3.3.5 Kirişlerde tekil dış yük tanımının irdelenmesi

Bölüm 3.3.4'teki örnek hazırlanırken Şekil 3.3'teki sistemde görülen $P = 100\text{kN}$ 'luk tekil yükün 6 numaralı noktaya, yani konsol kirişin (K102 kirişi) eksenini üzerinde tam uç noktasına etkimesi planlanıyordu (Şekil 3.4).



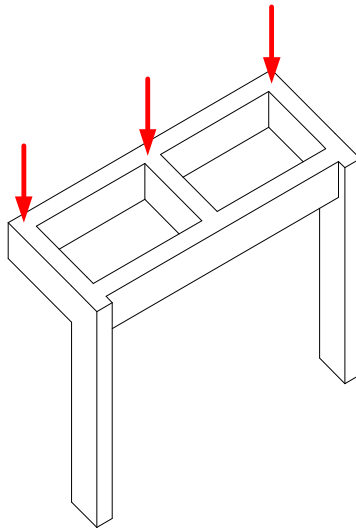
Şekil 3.4 Planlanan model (yük konsolun ucunda)

Ancak X-PRO yazılımında yük tam konsolun ucuna tanımlanmak istendiğinde bir sorunla karşılaşılmıştır. Yazılım yükü kabul etmekte fakat analiz sırasında bu yük kaybolmakta ve bu yükten kaynaklanan hiçbir iç kuvvet ve deplasman oluşmamaktadır. Bu durumun nedeni anlaşılamamıştır. Yapılan denemelerde yükün eksen üzerinde 1cm

dahi geriye 5 numaralı düğüme doğru, çekilmesi durumunda yükün kaybolmadığı görülmüştür. Ayrıca planlanan sistemde aks konsol kirişi tam ortalamaktadır, aks kaçıklıkları 12.5 cm'dir. Aksın konsol kirişin tam ortalamaması durumunda, mesela bu kaçıklıkların herhangi bir yöne doğru 12 cm'ye 13 cm olması durumunda, planlanan yük konsolun tam uç noktasına tanımlanabilmekte ve kaybolmamaktadır.

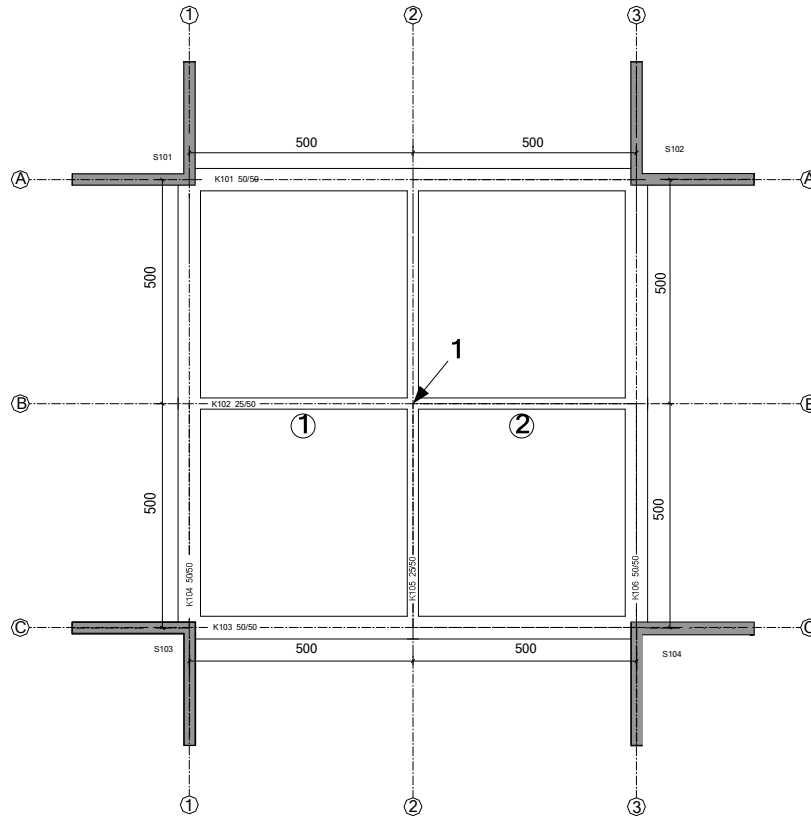
X-PRO yazılımında böyle bir durumun olması uygulama açısından çok risklidir. Yazılımda bu durumla ilgili herhangi bir uyarı bulunmamaktadır, tesadüfen fark edilmiştir. Kullanıcılar farkında olmadan çok büyük hatalar içeren projeler üretmektedirler ve üreteceklerdir.

Konsol kirişin tam ucuna tekil dış yük tanımlamada karşılaşılan bu sorun şu soruyu gündeme getirmektedir: Acaba X-PRO yazılımı çıkmalı yapılarda sıkça karşımıza çıkan, konsol kirişlerin uçlarını bağlayan kirişlerden gelen yükleri dikkate alıyor mu? Bu sorunun cevabını bulabilmek için Şekil 3.5'te görülen çıkmalı yapı modeli ve benzerleri incelenmiş ve konsol kirişleri bağlayan kirişlerden kaynaklanan etkilerin X-PRO yazılımında doğru bir şekilde dikkate alındığı tespit edilmiştir.



Şekil 3.5 Çıkmalı yapı modeli

Yukarıda sözü geçen tekil dış yükün kaybolması durumunun konsol kirişlere özel bir durum olmadığı görülmüştür. Kaset kirişlerin bulunduğu bir sistem irdelenirken de benzeri bir sorunla karşılaşmıştır.



Şekil 3.6 Kaset kirişli yapı modeli

Şekil 3.6'daki sistemde 1 numaralı noktaya tekil dış yük tanımlamak istenmiştir. X-PRO yazılımında elemanlardan bağımsız bir şekilde düğüm noktalarına yük tanımlama olanağı olmadığı için, bu yük K102 kirişinin sağ ucuna tekil dış yük olarak tanımlanmak istenmiştir. Kaset sistemi modelleyebilmek için K102 kirişi 1 ve 2 numara ile gösterilen iki kirişe ayrılmak zorundadır. 1 numaralı noktaya tekil dış yük tanımlamanın iki yolu vardır: Birincisi 1 numaralı kirişin sağ ucuna, diğeri de 2 numaralı kirişin sol ucuna tanımlamaktır. X-PRO yazılımında bu iki yöntem de denenmiş ancak her iki yöntemde de, konsol kiriş örneğinde olduğu gibi, yük kaybolmuş ve bu yüklemekten kaynaklanan hiçbir iç kuvvet ve deplasman oluşmamıştır.

Konsol kiriş örneğinde olduğu gibi, tekil dış yük 1 numaralı kirişin sol ucundan 1cm solda yada 2 numaralı kirişin sol ucundan 1cm sağda tanımlandığında yük kaybolmamaktadır. Yine, benzer şekilde, kirişin akstan kaçıklığı değiştirildiğinde yani aksı tam ortalamak yerine 1cm dahi bir yöne doğru kaçık tanımlandığında yük kaybolmamaktadır.

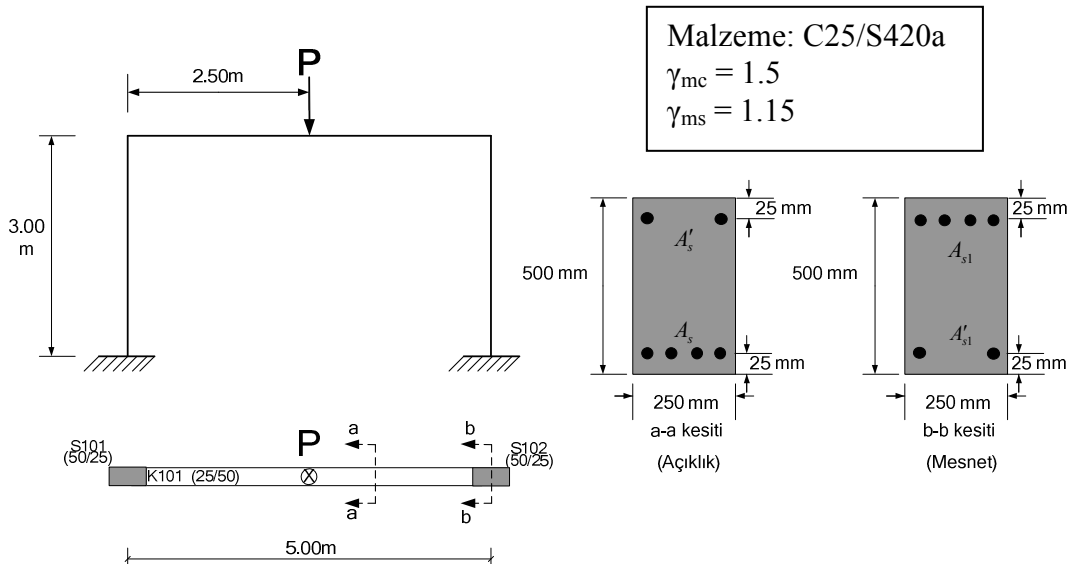
Sonuç olarak X-PRO yazılımında kirişlerin başlangıç ve bitiş noktalarına tekil dış yük tanımlama konusunda sorunlar olduğu ortaya çıkmış, nedeni anlaşılamamıştır.

3.4 X-PRO Yazılımı Kiriş Betonarme Hesabının İrdelenmesi

3.4.1 Kiriş boyunca donatı hesabının irdelenmesi

X-PRO yazılımının kiriş boyunca donatı hesabının tablanın bulunmadığı dikdörtgen kesitlerde irdelenmesi amacıyla Şekil 3.7'deki sistem oluşturulmuştur. $P = 0, 100, 275, 300\text{kN}$ yükleri için kirişin açıklık ve mesnet donatı alanları X-PRO standart yazılımı, X-PRO yazılımının betonarme kesit hesabı yapan yardımcı yazılımı, Uğur ERSOY Betonarme Hesap Tabloları (Ersoy ve Özcebe, 2004) ve M. Ruhi AYDIN Betonarme Hesap Tabloları (Aydın, 2002) kullanılarak hesaplanacaktır.

Burada amaç: X-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 3.7 Dikdörtgen kesitli kiriş betonarme hesabının irdelenmesi için hazırlanan sistem

Çizelge 3.14'teki basınç donatısı alanları süneklik koşuluna göre hesaplanmış ve donatının

$$\rho \geq 0.8 \frac{f_{ctd}}{f_{yd}} = 0.002629 \text{ (açıklık-alt)}$$

$$\rho' = \rho_1 / 4 \text{ (açıklık-üst)}$$

$$\rho_1 \geq 1.0 \frac{f_{ctd}}{f_{yd}} = 0.003286 \text{ (mesnet-üst) } ^1)$$

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

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

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

koşullarını (TS500-2000 ve Dep. Yön. 1997) sağlayıp sağlamadığı kontrol edilmiştir.

¹⁾ Dep. Yön. 2007'de bu madde $\rho_1 \geq 0.8 \frac{f_{ctd}}{f_{yd}}$ olmuştur.

Çizelge 3.14 $P = 0, 100, 275, 300\text{kN}$ için X-PRO ve tablolar ile hesaplanan ve seçilen donatı alanları

P = 0	Hesaplanan Donatı Alanı (cm ²)				Seçilen Donatı Alanı (cm ²)			
Açıklık $M_d = 6.67\text{ kNm}$	Açıklık		Mesnet		Açıklık		Mesnet	
Mesnet $M_d = 5.09\text{ kNm}$	A_s	A_s'	A_{s1}	A_{s1}'	A_s	A_s'	A_{s1}	A_{s1}'
X-PRO STANDART YAZ. ¹	2.94	-	3.67	-	3.39	2.26	3.80	3.39
X-PRO YARDIMCI YAZ. ¹	3.05	-	3.05	-	-	-	-	-
U. ERSOY TABLO ^{2,3}	3.12	-	3.90	-	3.39	2.26	4.52	3.39
R. AYDIN TABLO ⁴	3.12	-	3.90	-	3.39	2.26	4.52	3.39

P =100 kN	Hesaplanan Donatı Alanı (cm ²)				Seçilen Donatı Alanı (cm ²)			
Açıklık $M_d = 114.29\text{ kNm}$	Açıklık		Mesnet		Açıklık		Mesnet	
Mesnet $M_d = 53.19\text{ kNm}$	A_s	A_s'	A_{s1}	A_{s1}'	A_s	A_s'	A_{s1}	A_{s1}'
X-PRO STANDART YAZ. ¹	7.42	-	3.78	-	8.04	2.26	3.80	8.04
X-PRO YARDIMCI YAZ. ¹	7.05	-	3.94	-	-	-	-	-
U. ERSOY TABLO ^{2,3}	7.12	-	3.90	-	8.04	2.26	4.52	8.04
R. AYDIN TABLO ⁴	7.09	-	3.90	-	8.04	2.26	4.52	8.04

P =275 kN	Hesaplanan Donatı Alanı (cm ²)				Seçilen Donatı Alanı (cm ²)			
Açıklık $M_d = 302.62\text{ kNm}$	Açıklık		Mesnet		Açıklık		Mesnet	
Mesnet $M_d = 138.97\text{ kNm}$	A_s	A_s'	A_{s1}	A_{s1}'	A_s	A_s'	A_{s1}	A_{s1}'
X-PRO STANDART YAZ. ¹	22.74	2.73	9.23	-	22.81	3.39	9.55	22.81
X-PRO YARDIMCI YAZ. ¹	21.90	1.11	8.74	-	-	-	-	-
U. ERSOY TABLO ^{2,3}	-	-	8.85	-	-	-	-	-
R. AYDIN TABLO ⁴	21.02	2.54	8.77	-	22.62	3.39	9.42	22.62

P =300 kN	Hesaplanan Donatı Alanı (cm ²)				Seçilen Donatı Alanı (cm ²)			
Açıklık $M_d = 329.52\text{ kNm}$	Açıklık		Mesnet		Açıklık		Mesnet	
Mesnet $M_d = 151.23\text{ kNm}$	A_s	A_s'	A_{s1}	A_{s1}'	A_s	A_s'	A_{s1}	A_{s1}'
X-PRO STANDART YAZ. ¹	23.00	4.48	10.16	-	28.28	3.39	11.00	28.28
X-PRO YARDIMCI YAZ. ¹	23.50	2.71	9.62	-	-	-	-	-
U. ERSOY TABLO ^{2,3}	-	-	9.72	-	-	-	-	-
R. AYDIN TABLO ⁴	22.19	4.16	9.61	-	22.62	4.52	9.61	22.62

¹ Eşdeğer dikdörtgen 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

Hesaplanan donatı alanları incelendiğinde sonuçların yaklaşık olarak örtüştüğü görülmektedir. Bazı sonuçlarda küçük farklar olsa da X-PRO'nun güvenli tarafta kaldığı görülür. Seçilen donatı alanları da hesaplanan donatı alanlarının üzerindedir.

Min $\rho = f_{ctd} / f_{yd}$ koşulu gereği bu kesit için mesnette minimum donatı alanı 3.90 cm^2 'dir. $P = 0$ ve 100 kN için mesnetlerde seçilen donatı alanı 3.80 cm^2 'dir. Bu durum farklı kesitlerde araştırıldığında X-PRO yazılımında, minimum donatı gerektiren kesitlerde, seçilen donatı alanlarının her zaman minimum donatı alanının üstünde olmadığı bu konuda yaklaşık $0.20 - 0.30 \text{ cm}^2$ gibi bir toleransın bulunduğu tespit edilmiştir. Bu tolerans kabul edilebilir düzeydedir.

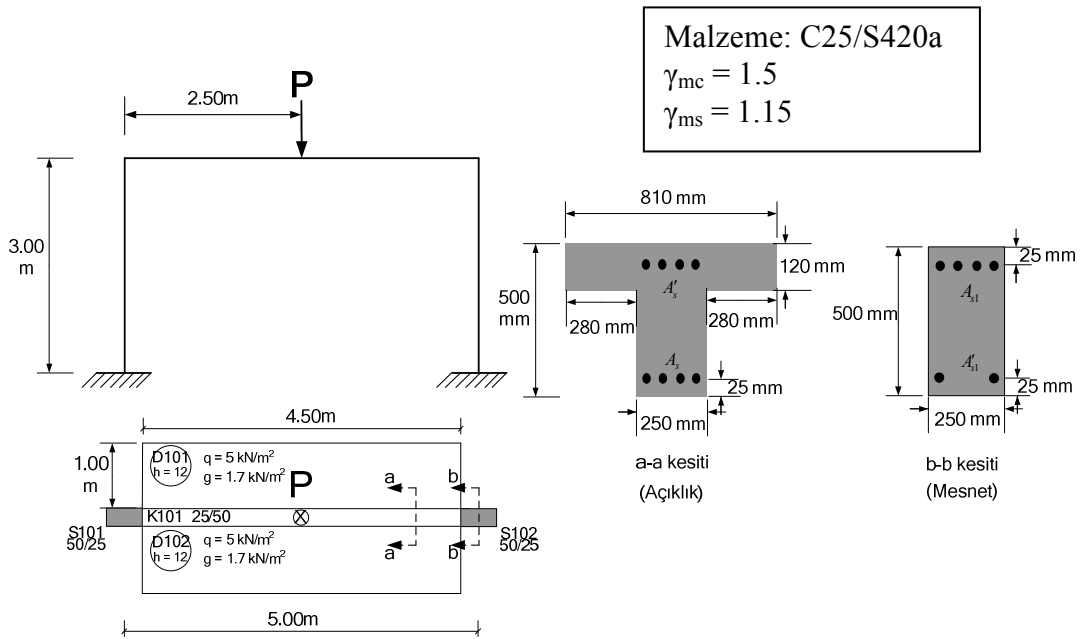
$P = 300 \text{ kN}$ için açıklıkta altta seçilen donatı alanı 28.28 cm^2 'dir, $\rho = 0.02$ sınırını aşmaktadır. X-PRO yazılımı bu konuda kullanıcıyı uyarmıştır. Ancak kullanıcı bu uyarıyı dikkate almadan ilerleyebilmekte, çizim ve raporları bu şekliyle alabilmekte, yönetmeliğe aykırı proje üretebilmektedir.

$P = 275$ ve 300 kN için açıklıkta çift donatılı kesite geçilmiştir. Yük daha da artırıldığında mesnetlerde de çift donatılı kesite geçilmektedir. X-PRO yazılımında basınç donatısı hesabı için üç farklı yöntem seçilebilmektedir. Bu yöntemler sehim, deprem ve süneklik esasına dayanmaktadır. X-PRO yazılımında bu yöntemlerden sehim yada deprem yöntemi seçildiğinde seçilen basınç donatısı alanlarının, hesaplanan basınç donatısı alanlarının altında kaldığı görülmüştür. Bu durumda X-PRO yazılımı tarafından seçilen çekme ve basınç donatı alanları için yazılım kullanmadan analitik yöntemle taşıma gücü hesabı yapıldığında seçilen donatı alanının yeterli olduğu tespit edilmiştir. Yapılan taşıma gücü hesabı süneklik esasına dayandığı ve seçilen donatı yeterli olduğu için kesin olmamakla beraber şöyle bir izlenim oluşmaktadır: X-PRO yazılımında basınç donatısı hesabı için sehim veya deprem yöntemi seçili olsa dahi donatı alanı seçimi süneklik koşuluna göre yapılmaktadır.

$P = 275$ kN için açıklıkta seçilen basınç donatısı alanı 3.39 cm^2 hesaplananın, 2.73 cm^2 , üstündedir. Ancak $P = 300$ kN için açıklıkta hesaplanan basınç donatısı alanı 4.48 cm^2 , fakat seçilen 3.39 cm^2 'dir. Basınç donatısı hesap yöntemi süneklik yöntemi olmasına karşın yine de seçilen donatı alanının hesaplanan donatı alanı altında kalmış olması anlaşılmalıdır.

Çizelge 3.14'teki seçilen donatı alanları TS500-2000 ve Dep. Yön 1997'de öngörülen yukarıda verilen koşullar için de kontrol edilmiş yukarıdaki tespitler dışında bir aksaklıkla karşılaşmamıştır. TS500-2000 ve Dep. Yön 1997'de öngörülen koşullar ayrıntılı bir şekilde Bölüm 3.6'da irdelenmiştir. Çizelge 3.13 incelendiğinde X-PRO'nun seçtiği 22.81 cm^2 ($6\Phi 22$) ve 28.28 cm^2 ($4\Phi 30$) donatı alanlarının kesite sığmadığı belirlenmiştir. X-PRO donatı kesite sığmadığında sesli yada yazılı bir uyarı vermemektedir.

X-PRO yazılımının kiriş boyuna donatı hesabının tablalı kesitlerde irdelenmesi amacıyla Şekil 3.8'deki sistem oluşturulmuştur.



Şekil 3.8 Tablalı kiriş betonarme hesabının irdelenmesi için hazırlanan sistem

$P = 0, 100, 225, 300\text{kN}$ yükleri için kirişin açıklık ve mesnet donatı alanları X-PRO yazılımı, X-PRO yazılımının betonarme kesit hesabı yapan yardımcı 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 X-PRO yazılımı ve tablolar ile hesaplanan donatı alanları birbirleriyle örtüşüyor mu? X-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.

$P = 0, 100, 225, 300\text{kN}$ için X-PRO yazılımı ve tablolar ile hesaplanan ve seçilen donatı alanları Çizelge 3.15'te verilmiştir.

Çizelge 3.15 P = 0, 100, 225, 300kN için X-PRO ve tablolar ile hesaplanan ve seçilen donatı alanları

P = 0	Hesaplanan Donatı Alanı (cm ²)				Seçilen Donatı Alanı (cm ²)			
Açıklık M _d = 43.13 kNm	Açıklık		Mesnet		Açıklık		Mesnet	
Mesnet M _d = 19.35 kNm	A _s	A _s '	A _{s1}	A _{s1} '	A _s	A _s '	A _{s1}	A _{s1} '
X-PRO STANDART YAZ. ¹	2.94	-	3.67	-	3.39	2.26	3.80	3.39
X-PRO YARDIMCI YAZ. ¹	3.05	-	3.05	-	-	-	-	-
U. ERSOY TABLO ²	3.12	-	3.90	-	3.39	2.26	4.52	3.39
R. AYDIN TABLO ³	3.12	-	3.90	-	3.39	2.26	4.52	3.39

P =100 kN	Hesaplanan Donatı Alanı (cm ²)				Seçilen Donatı Alanı (cm ²)			
Açıklık M _d = 159.37 kNm	Açıklık		Mesnet		Açıklık		Mesnet	
Mesnet M _d = 59.75 kNm	A _s	A _s '	A _{s1}	A _{s1} '	A _s	A _s '	A _{s1}	A _{s1} '
X-PRO STANDART YAZ. ¹	9.83	-	3.78	-	10.05	2.26	3.80	10.05
X-PRO YARDIMCI YAZ. ¹	10.20	-	3.94	-	-	-	-	-
U. ERSOY TABLO ²	10.32	-	3.58	-	10.58	2.26	4.52	10.58
R. AYDIN TABLO ³	10.43	-	3.61	-	10.58	2.26	4.52	10.58

P =225 kN	Hesaplanan Donatı Alanı (cm ²)				Seçilen Donatı Alanı (cm ²)			
Açıklık M _d = 304.67 kNm	Açıklık		Mesnet		Açıklık		Mesnet	
Mesnet M _d = 110.24 kNm	A _s	A _s '	A _{s1}	A _{s1} '	A _s	A _s '	A _{s1}	A _{s1} '
X-PRO STANDART YAZ. ¹	19.49	-	7.13	-	22.62	2.26	7.35	22.62
X-PRO YARDIMCI YAZ. ¹	23.10	-	6.78	-	-	-	-	-
U. ERSOY TABLO ²	22.90	-	6.85	-	23.53	2.26	7.35	23.53
R. AYDIN TABLO ³	21.02	-	6.84	-	22.62	2.26	7.35	22.62

P =300 kN	Hesaplanan Donatı Alanı (cm ²)				Seçilen Donatı Alanı (cm ²)			
Açıklık M _d = 391.86 kNm	Açıklık		Mesnet		Açıklık		Mesnet	
Mesnet M _d = 140.54 kNm	A _s	A _s '	A _{s1}	A _{s1} '	A _s	A _s '	A _{s1}	A _{s1} '
X-PRO STANDART YAZ. ¹	23.00	-	9.34	-	24.63	3.39	9.55	24.63
X-PRO YARDIMCI YAZ. ¹	KY ⁴	-	8.86	-	-	-	-	-
U. ERSOY TABLO ²	KY ⁴	-	8.95	-	-	-	-	-
R. AYDIN TABLO ³	KY ⁴	-	8.87	-	-	-	-	-

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

² Eşdeğer dikdörtgen gerilme bloğu modeli

³ Eşdeğer parabolik-dikdörtgen gerilme bloğu modeli

⁴ KY: Kesit Yetersiz

Şekil 3.8’de görüldüğü gibi X-PRO yazılımı çalışan tabla genişliğini 81 cm olarak almıştır. TS500-2000’e göre bu kesit için etkili tabla genişliği (b) değeri $b \leq b_w + 12t$ ve $b \leq b_w + 0.2 \ell_p$ ($\ell_p = \alpha \ell$) şartlarını sağlamak zorundadır. Şekil 3.8’deki sistemde etkili tabla genişliği en fazla 97 cm olabilir ($\alpha = 0.8$, $\ell = 4.50$ m alınmıştır). Görüldüğü gibi X-PRO yazılımı 16 cm daha güvenli tarafta kalmıştır. Yazılımda ℓ_p (kirişin iki moment sıfır noktası arasındaki uzunluk) değeri sunulmamaktadır. X-PRO ℓ_p değerini el hesabına nazaran daha doğru belirliyor olabilir.

Çizelge 3.15 incelendiğinde $P = 225$ kN olan sistemde X-PRO yazılımı tarafından açıklıkta hesaplanan çekme donatı alanı diğer kaynaklardan yaklaşık 3.5 cm^2 ($3\Phi 12 = 3.39 \text{ cm}^2$) daha azdır. Yük 250 kN’a çıkarıldığında X-PRO gerekli donatı alanını 21.51 cm^2 , X-PRO yardımcı yazılım 26.70 cm^2 olarak hesaplamıştır. U.ERSOY ve R. AYDIN tablolarında ise kesit yetersiz kalmıştır. Görüldüğü gibi $P = 250$ kN için aradaki fark daha da artmış 5.19 cm^2 olmuştur. Bu farklar kabul edilebilir farklar değildir.

Min $\rho = f_{ctd} / f_{yd}$ koşulu gereği bu kesit için minimum mesnet donatı alanı 3.90 cm^2 olmalıdır. $P = 0$ ve 100 kN için mesnetlerde seçilen donatı alanı 3.80 cm^2 ’dir. Tablanın bulunmadığı dikdörtgen kesitlerin hesabında değinilen $0.20 - 0.30 \text{ cm}^2$ lik tolerans tablalı kesitlerin mesnetleri için de geçerlidir. Bu tolerans daha önce de değinildiği gibi kabul edilebilir düzeydedir.

$P = 300$ kN için açıklıkta altta seçilen donatı alanı 24.63 cm^2 ’dir, $\rho_{\max} = 0.02$ sınırını aşmaktadır. X-PRO bu konuda kullanıcıyı uarmıştır. Ancak kullanıcı bu uyarıyı dikkate almadan ilerleyebilmekte, çizim ve raporları bu şekliyle alabilmekte, yönetmeliğe aykırı proje üretebilmektedir.

Çizelge 3.15 incelendiğinde X-PRO yazılımı tarafından seçilen 22.62 cm^2 ($5\Phi 24$) donatı alanının kesite sığmadığı belirlenmiştir. X-PRO, donatı kesite sığmadığında sesli yada yazılı bir uyarı vermemektedir.

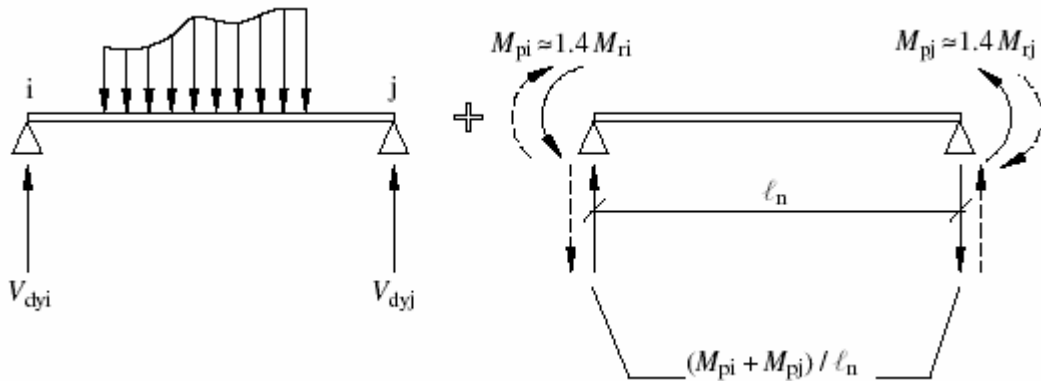
3.4.2 Kiriş enine donatı hesabının irdelenmesi :

Dep. Yön. 1997 Madde 7.4.5.1

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, *Dep. Yön. 1997 Denk. (7.9)* ile bulunacaktır (Şekil 7.9).

$$V_e = V_{dy} \pm (M_{pi} + M_{pj}) / \ell_n \quad (7.9)$$

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



Şekil 3.9 Dep. Yön. 1997 (Şekil 7.9)

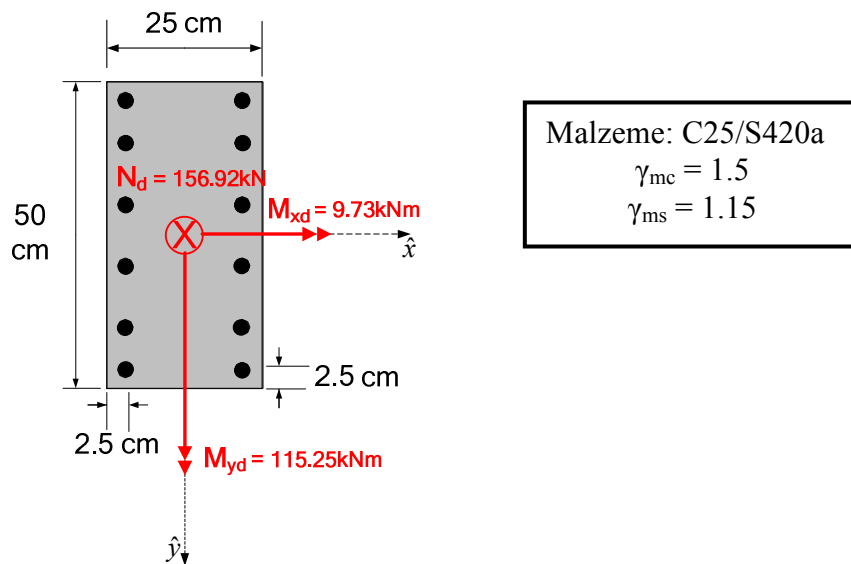
X-PRO yazılımının kiriş enine donatı hesaplarını irdelemek amacıyla çeşitli örnekler üzerinde kiriş enine donatı hesapları yapılmıştır. Bu çalışmalar ışığında, X-PRO' nun V_e değerini *Dep. Yön. 1997 Madde 7.4.5.1'e* uygun olarak belirlediği ve etriyenin seçiminde kullandığı tespit edilmiştir.

3.5 X-PRO Yazılımı Kolon Betonarme Hesabının İrdelenmesi

3.5.1 Kolon boyuna donatı hesabının irdelenmesi

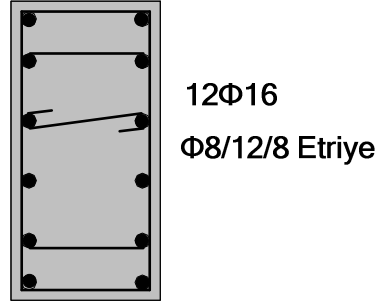
Bu bölümde X-PRO yazılımının kolon boyuna donatı hesabı irdelenmeye çalışılacaktır. X-PRO da kolon donatı planının seçimi konusunda kullanıcının bir seçeneği bulunmamaktadır ve hangi tip donatı planı kullanıldığı belirtilmemiştir. Yapılan incelemeler sonucunda X-PRO da birkaç farklı tipte donatı planı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

Hangi tip donatı planı kullanıldığı belli olmadığı için karşılaştırma yapmak neredeyse imkansız hale gelmektedir. Şekil 3.10'da donatı planı ve kuvvetleri gösterilen kolonda M_{yd} momenti etkin olduğu için yazılımın donatıları $A_s/2$ oranında iki kenara eşit dağıtan donatı planını seçtiği düşünülmektedir.



Şekil 3.10 Donatı planı, iç kuvvetler ve malzeme bilgileri

Kolon betonarme hesabında Şekil 3.10 da gösterilen iç kuvvetler için X-PRO standart yazılımı 10.94 cm^2 donatı alanı hesaplamıştır ve bu donatının kesitin yalnızca bir kenarı için hesaplanan donatı alanı olduğunu göstermiştir. Sonuç olarak da kesitin bir kenarına 12.07 cm^2 ($6\Phi16$) ve diğer kenarına da 12.07 cm^2 ($6\Phi16$) donatı yerleştirmiştir (Şekil 3.11).



Şekil 3.11 Kolon boyuna ve enine donatıları

Şekil 3.10'daki kolonda yalnızca gösterilen iç kuvvetler kullanılarak X-PRO yazılımının betonarme kesit hesabı yapan yardımcı yazılımı, BetonArme2000 yazılımı (<http://mmf.ogu.edu.tr/atopcu>), Betonarme Kolon Tabloları (Aydın vd., 2002), Kolon ve Perde Donatı Tabloları (Bakır ve Bakır, 1986) kullanılarak betonarme hesabı yapılmış sonuçlar X-PRO standart yazılımı ile Çizelge 3.16'da karşılaştırılmıştır.

Çizelge 3.16 Yazılım ve tablolar ile hesaplanan ve seçilen donatı alanları

$N_d = 156.92 \text{ kN}$ $M_{xd} = 9.73 \text{ kNm}$ $M_{yd} = 115.25 \text{ kNm}$	Hesaplanan Donatı Alanı	Seçilen Donatı Alanı
	$A_s \text{ (cm}^2\text{)}$	$A_s \text{ (cm}^2\text{)}$
X-PRO STANDART YAZILIM ¹	21.88	24.14 (12Φ16)
X-PRO YARDIMCI YAZILIM ¹	- ³	28.14 (14Φ16)
BETONARME2000 YAZILIMI ²	26.90	28.14 (14Φ16)
AYDIN, AKGÜN, TOPÇU TABLO ²	25.79	28.14 (14Φ16)
BAKIR VE BAKIR TABLO ²	26.25	28.14 (14Φ16)

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

² Eşdeğer dikdörtgen gerilme bloğu modeli

³ X-PRO yardımcı yazılımda hesaplanan donatı alanı sunulmamaktadır.

Görüldüğü gibi X-PRO standart yazılımı ile hesaplanan ve seçilen donatı alanları X-PRO yardımcı yazılımı ve diğer kaynaklarla örtüşmemektedir ve güvensiz taraftadır. Diğer sonuçlar kendi aralarında birbiri ile tutarlıdır.

3.5.2 Kolon enine donatı hesabının irdelenmesi

Dep. Yön. 1997 Madde 7.3.7.1

Kolonlarda enine donatı hesabına esas alınacak kesme kuvveti, V_e , **Denk. (7.5)** ile hesaplanacaktır.

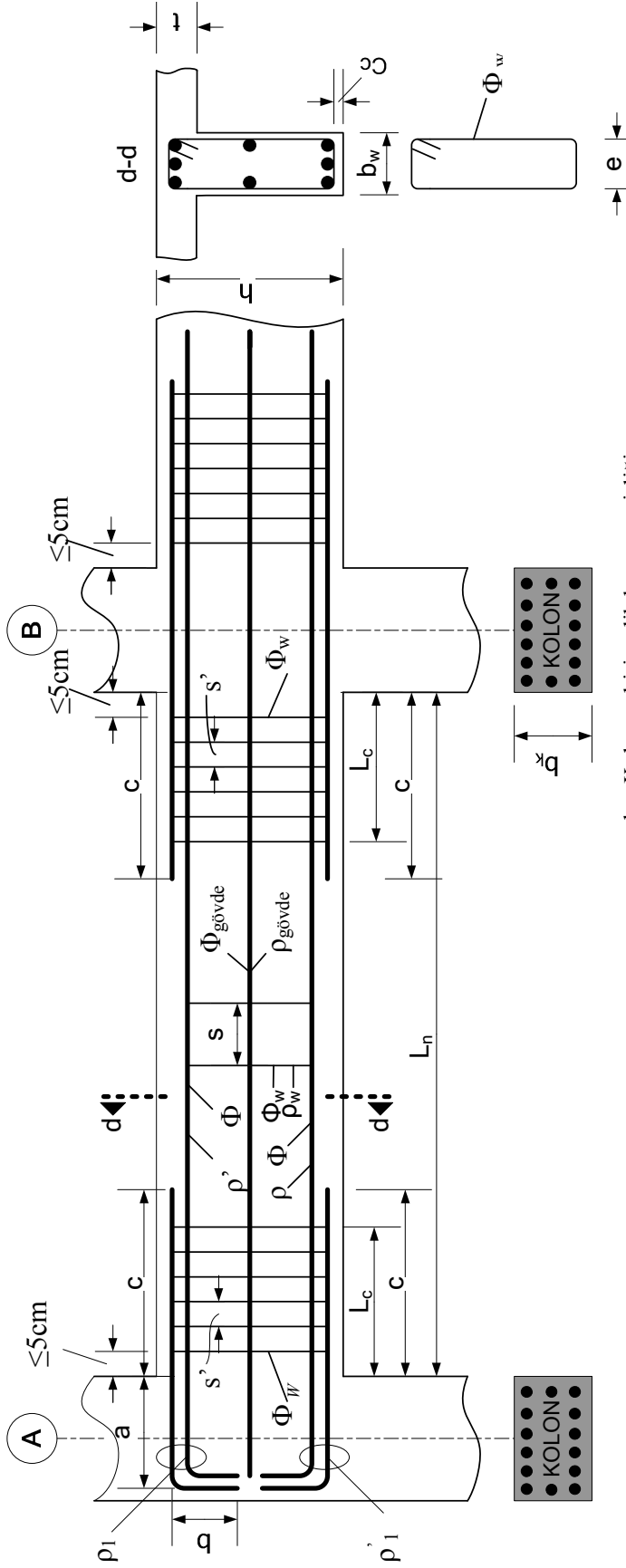
$$V_e = (M_a + M_{\ddot{u}}) / \ell_n \quad (7.5)$$

Denk. (7.5)'teki M_a ve $M_{\ddot{u}}$ 'nün hesaplanması için, kolonun alt ve/veya üst uçlarında **Denk. (7.3)**'ün sağlanması durumunda aşağıdaki **7.3.7.2** sağlanamaması durumunda ise **7.3.7.3** uygulanacaktır. (Şekil 7.5)

X-PRO yazılımının kolon enine donatı hesaplarını irdelemek amacıyla çeşitli örnekler üzerinde kolon enine donatı hesapları yapılmıştır ve bu çalışmalar ışığında X-PRO yazılımının V_e değerini, *Dep. Yön. 1997 Madde 7.3.7.1*'e uygun olarak belirlediği ve etriyenin seçiminde kullandığı tespit edilmiştir.

3.6 X-PRO Yazılımının Yönetmeliklerde Öngörülen Koşullar Açısından İrdelenmesi

Bu bölümde X-PRO yazılımı TS500-2000 ve Dep. Yön 1997’de öngörülen koşullar bakımından irdelenmeye çalışılacaktır. Sunumu kolaylaştırmak açısından, yönetmelik sınır koşulları çizelgeler halinde gösterilmiştir. Çizelgelerde sırasıyla TS500-2000 ve Dep. Yön 1997’deki koşullar verilmiş, eğer varsa, ilgili ek öneriler yapılmış ve son olarak da “Açıklamalar X-PRO” başlığı altında X-PRO yazılımında yönetmelik maddelerinin nasıl uygulandığı açıklanmaya çalışılmıştır. “Açıklamalar X-PRO” sütunundaki “✓” işareti ilgili yönetmelik maddesinin yazılımda sorunsuz bir şekilde uygulandığı anlamına gelmektedir. “Açıklamalar X-PRO” sütunundaki “X” işareti ilgili yönetmelik maddesinin yazılımda hatalı veya yetersiz uygulandığı, kullanıcının uyarılması gereken bir konuda uyarılmadığı, yada yazılımda bu yönetmelik maddesi ile ilgili bir sorun olduğu anlamına gelmektedir. Bu bölümde sunulan çizelge ve şekillerin çoğunun ana hatları Betonarme 1 Sunu Ders Notları (Topçu, 2006)’dan alınmıştır.



- L_n : Kiriş net açıklığı
 L_c : Sarılma bölgesi uzunluğu
 c : Donatının komşu açıklığa uzatılma miktarı
 a : İlk ve son kolonda donatının kolon içindeki uzunluğu
 b : Donatının komşu açıklıkta devam ettirilememesi durumunda (örneğin ilk ve son mesnette) boyuna donatının 90° aşağı veya yukarı kıvrılan kısmının uzunluğu
 b_w : Kiriş genişliği
 h : Kiriş yüksekliği
 t : Tabla kalınlığı
 C_c : Net beton örtüsü

- b_k : Kolonun kirişe dik kenar genişliği
 Φ : Boyuna donatı çapı
 ρ : Çekme donatısı oranı
 ρ' : Basınç (veya montaj) donatısı oranı
 ρ_1 : Mesnet üstündeki donatının oranı
 ρ_1' : Mesnet altındaki donatının oranı
 Φ_w : Etriye donatısı çapı
 ρ_w : Etriye donatısı oranı
 s : Açıklıkta etriye aralığı
 s' : Sarılma bölgesinde etriye aralığı
 $\Phi_{gövde}$: Gövde donatısı çapı
 $\rho_{gövde}$: Gövde donatısı oranı
 e : Etriye genişliği

Şekil 3.12 Kirişlerde sınır değerler

3.6.1 Kirişlerde sınır değerlerin irdelenmesi

Çizelge 3.17 Kirişlerde sınır değerler çizelgesi

Tanım	Zorunlu koşullar		Ek Öneri	Açıklamalar X-PRO
	TS 500-2000	Deprem Yön.- 1997		
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	-	$3.5b_w, L_n/4$	-	✓
max L_n/h	2.5 sürekli kirişte 1.5 basit kirişte	-	-	✓
min ρ	$0.8 f_{ctd}/f_{yd}$	-	-	✓
max ($\rho - \rho'$)	$0.85 \rho_b$	-	$\rho_1=0.235f_{cd}/f_{yd}$	✓
max ρ	$0.85 \rho_b, 0.02$	$0.85 \rho_b, 0.02$	-	✓
max ρ_1	$0.85 \rho_b, 0.02$	$0.85 \rho_b, 0.02$	-	✓
min ρ'	-	$\rho_1/4$	-	X (4)
max ρ'_1	-	$0.85 \rho_b, 0.02$	-	✓
min ρ_1	$0.8 f_{ctd}/f_{yd}$	f_{ctd}/f_{yd} ¹⁾	-	X (5)
min ρ'_1	-	$0.5 \rho_1$	f_{ctd}/f_{yd}	✓
max($\rho_1 - \rho'_1$)	$0.85 \rho_b$	$0.85 \rho_b$	ρ_1	✓
min L_c	2h	2h	-	✓
max s_w	0.5h	0.5h	20 cm	✓
min s_w	-	-	10 cm	✓
max s'_w	$h/4, 15$ cm	$h/4, 15$ cm, $8\Phi_{min}$	$s_w/2, 10$ cm	✓
min s'_w	-	-	5 cm	✓
max e	-	-	35 cm	✓
min Φ	12 mm	12 mm	-	✓

¹⁾ Dep. Yön. 2007'de min $\rho_1 = 0.8 f_{ctd}/f_{yd}$ olmuştur.

Çizelge 3.17 Kirişlerde sınır değerler çizelgesi (Devamı)

Tanım	Zorunlu koşullar		Ek Öneri	Açıklamalar X-PRO
	TS 500-2000	Deprem Yön.- 1997		
max Φ	-	-	24 mm	✓
min Φ_w	-	-	8 mm	✓
max Φ_w	-	-	12 mm	✓
min ρ_w	$0.3 f_{ctd}/f_{ywd}$	-	-	✓
max e	-	-	40 cm	✓
min b	-	12Φ	-	✓
min c	-	l_b	$L_n/4$	✓
min(a+b)	-	l_b	50Φ	✓
max N_d	$0.1 f_{ck} A_c$	$0.1 f_{ck} A_c$	-	X (6)
max V_d	$0.22 f_{cd} A_c$	$0.22 f_{cd} A_c$	-	✓
min $\rho_{gövde}$	0.001	$0.30 (\rho_1 + \rho'_1)$	-	X (7)
min $\Phi_{gövde}$	10 mm	-	-	✓
min pas payı	2 cm (içte) 2.5 cm (dışta)	-	3 cm (içte-dışta)	X (8)
min donatı aralığı	2.5 cm , Φ	-	5 cm	X (9)
min beton sınıfı	C16	C20	C20	X (10)
min kanca boyu	6Φ , 5cm	10 Φ , 10 cm (düz) 6 Φ , 8 cm (nervürlü)	10 Φ , 10 cm (her tür çelik için)	✓
min çelik sınıfı	S220a	S220a ¹⁾	S220a (etriye) S420a (boyuna)	X (11)

¹⁾ Dep. Yön. 2007'ye göre etriye, çiroz ve döşeme donatısı dışında nervürlü (S420a'dan daha düşük dayanımlı) donatı çeliği kullanılamaz.

Çizelge 3.17 Kirişlerde sınır değerler çizelgesi (Devamı)

Tanım	Zorunlu koşullar		Ek Öneri	Açıklamalar X-PRO
	TS 500-2000	Deprem Yön.-1997		
max çelik sınıfı	-	S420a, S420b	S420a	X ₍₁₂₎
min çekme donatısı sayısı	-	2Φ12	3Φ12	✓

Açıklamalar X-PRO:

✓ : Yazılım bu koşulu sağlıyor.

X₍₁₎: Minimum kiriş genişliği koşulu sağlanmamaktadır, yazılım herhangi bir uyarı da vermemektedir. 20 cm' den daha küçük kiriş genişliği tanımlanabilmektedir.

X₍₂₎: Maksimum kiriş genişliği koşulu sağlanmamaktadır, yazılım herhangi bir uyarı da vermemektedir.

X₍₃₎: Minimum kiriş yüksekliği koşulu sağlanmamaktadır. Yüksekliği 30 cm' den daha küçük ve 15 cm kalınlığındaki bir döşemenin etrafına yüksekliği 45 cm' den daha küçük olan kirişler herhangi bir uyarıyla karşılaşmadan, tanımlanıp çözülebilmektedir.

X₍₄₎: Sağlanmamaktadır. Bir test kirişinde ρ ' değeri komşu mesnetlerdeki ρ_1 değerlerinden büyük olanının 1/4 'ünün altında kalmıştır.

X₍₅₎: $\min \rho_1 = f_{ctd}/f_{yd}$ ¹⁾ koşulu deprem yönetmeliğine göre sağlanmak zorundadır, X-PRO yazılımında bu madde seçeneklidir. Kullanıcı isterse bu kontrolü yapmayabilir, bu koşulu sağlamayan proje üretilmesine neden olabilir.

X₍₆₎: X-PRO kirişlerin normal kuvvet değerini rapor etmemektedir. $N_d < 0.1 f_{ck} A_c$ şartı araştırılmış, yazılımın bu koşulu kontrol etmediği herhangi bir uyarı da vermediği anlaşılmıştır.

X₍₇₎: Yüksekliği 60 cm'yi geçen kirişlerde gövde donatısı kullanımı zorunludur. X-PRO da gövde donatısı kullanılacak kiriş yüksekliğinin alt sınırı, yönetmeliğe aykırı olarak, kullanıcının seçimine bırakılmıştır.

¹⁾ Dep. Yön. 2007'de $\min \rho_1 = 0.8 f_{ctd}/f_{yd}$ olmuştur.

X₍₈₎: Pas payları kullanıcı tarafından belirlenmektedir ve yazılım yönetmelikteki minimum değerlerin altında pas payı seçimine izin vermektedir.

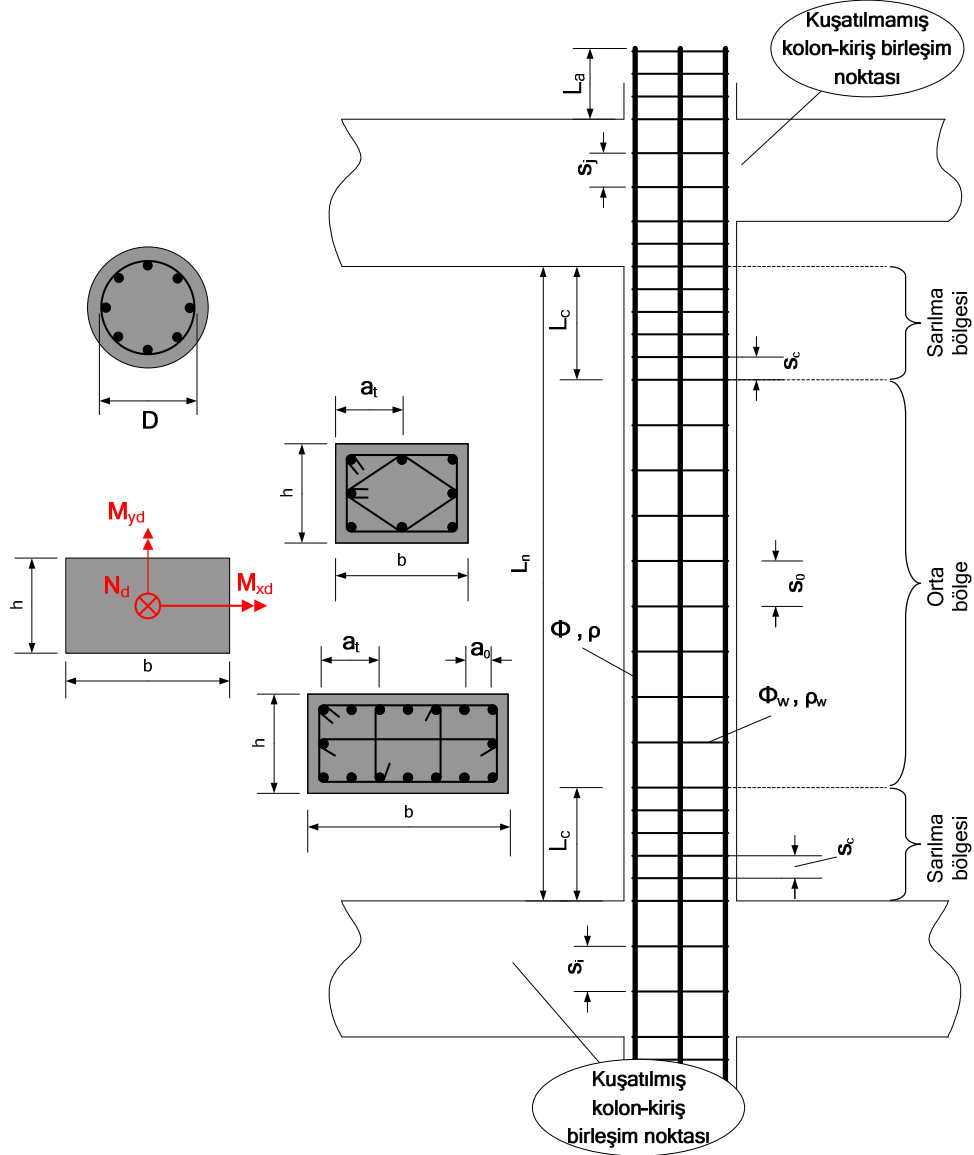
X₍₉₎: İki donatı arasındaki en küçük net mesafe ve agrega en büyük tane çapı ile ilgili bir bilgi yoktur.

X₍₁₀₎: Hiçbir uyarıyla karşılaşmaksızın C16'dan daha düşük ve C50'den daha yüksek beton sınıfı ile proje üretilebilmektedir (Bkz. Bölüm 3.1.1 Malzeme Varsayımlarının İrdelenmesi).

X₍₁₁₎: Hiçbir uyarıyla karşılaşmaksızın S220 çelik sınıfından daha düşük bir çelik sınıfı ile proje üretilebilmektedir (Bkz. Bölüm 3.1.1).

X₍₁₂₎: Hiçbir uyarıyla karşılaşmaksızın S500 çelik sınıfı ile proje üretilebilmektedir (Bkz. Bölüm 3.1 Malzeme Varsayımlarının İrdelenmesi).

3.6.2 Kolonlarda sınır değerlerin irdelenmesi



- 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

Şekil 3.13 Kolonlarda sınır değerler

Çizelge 3.18 Kolonlarda sınır değerler çizelgesi

Tanım	Zorunlu koşullar		Ek Öneri	Açıklamalar X-PRO
	TS 500-2000	Deprem Yön.-1997		
min kenar (b veya h)	25 cm	25 cm	-	X (1)
min A_c	$N_d/(0.9f_{cd})$	$N_d/(0.5f_{ck}), 750 \text{ cm}^2$	1000cm^2	X (2)
max L_n /kısa kenar	-	-	20	✓
min L_c	-	Uzun kenar, $L_n/6, 50 \text{ cm}$	-	✓
min L_a	-	l_b (kolon orta bölgesinde ek) $1.5 l_b$ (kat seviyesinde ek)	-	✓
min ρ	0.01	0.01	-	✓
max ρ	0.04	0.04	0.03	✓
max a_t	30cm	$25\Phi_w$ ¹⁾	-	✓
max a_0	-	-	15cm	✓
max s_0	$12\Phi_{\min}, 20\text{cm}$	kısa kenar/2, 20cm	17cm (etriye), 8cm (fret)	✓
min s_0	-	-	8cm (etriye), 5cm (fret)	✓
max s_c	-	10cm, kısakenar/3 (etriye) D/5, 8cm (fret)	8cm (etriye) 5cm (fret)	✓
max s_i	-	15 cm	10cm	✓
max s_j	-	10 cm	-	✓
min s_0, s_c, s_i, s_j	-	5 cm	-	✓
min Φ	14 mm	14 mm	-	X (3)
max Φ	-	-	22 mm	✓

¹⁾ Dep. Yön. 2007'de: $20\Phi_w$

Çizelge 3.18 Kolonlarda sınır değerler çizelgesi (Devamı)

Tanım	Zorunlu koşullar		Ek Öneri	Açıklamalar X-PRO
	TS 500-2000	Deprem Yön.-1997		
min Φ_w	$\Phi_{max}/3$	8 mm	-	✓
max Φ_w	-	-	12 mm	✓
min ρ_w	-	Madde 7.3.4 Madde 7.5.2.3	-	✓
max uzun/kısa kenar	7	7	-	X (4)
min M_{xd}	$(15mm+0.03h)N_d$	-	-	✓
min M_{yd}	$(15mm+0.03b)N_d$	-	-	✓
max N_d	$0.9 f_{cd} A_c$	$0.5 f_{ck} A_c$	-	✓
max V_{xd} , max V_{yd}	-	$0.22 f_{cd} A_c$	-	✓
min etriye kancası	-	$6\Phi_w, 8cm$ (nervürlü) $10\Phi_w, 10cm$ (düz)	$10\Phi_w, 10 cm$	✓
min boyuna donatı sayısı	$6\Phi 14, 4\Phi 16$ (dik dörtgen), $6\Phi 14$ (daire)	$6\Phi 14, 4\Phi 16$ (dik dörtgen), $6\Phi 14$ (daire)	$6\Phi 14$ (dikdörtgen), $8\Phi 14$ (daire)	✓
min pas payı	2cm (içte) 2.5cm (dışta)	-	3cm	X (5)
min beton sınıfı	C16	C16 ¹⁾	C20	X (6)
min çelik sınıfı	S220	S220 ²⁾	S420a	X (7)
max çelik sınıfı	-	S420a , S420b	S420a	X (8)

¹⁾ Dep. Yön. 2007'de : En az C20

²⁾ Dep. Yön. 2007'ye göre etriye, çiroz ve döşeme donatısı dışında nervürlü (S420a'dan daha düşük dayanımlı) donatı çeliği kullanılamaz.

Açıklamalar X-PRO:

✓ : Yazılım bu koşulu sağlıyor.

$X_{(1)}$: Herhangi bir uyarıyla karşılaşmaksızın bir kenarı 25cm'den daha küçük boyutlu bir kolon tanımlanıp, çözülebilmektedir.

$X_{(2)}$: Herhangi bir uyarıyla karşılaşmaksızın kesit alanı 750cm^2 den daha küçük bir kolon tanımlanıp, çözülebilmektedir.

$X_{(3)}$: Kolon boyuna donatı minimum çapı seçeneğlidir. Kullanıcı $\Phi 14$ ün altında donatı seçerek yönetmeliğe aykırı bir proje üretebilir.

$X_{(4)}$: Perde uzun kenarının kısa kenarına oranı değiştirilebilmektedir. Örnek olarak bu oran 10 yapılırsa, bu orana kadar olanlar kolon gibi, bu oranı aşanlar perde gibi donatılmaktadır.

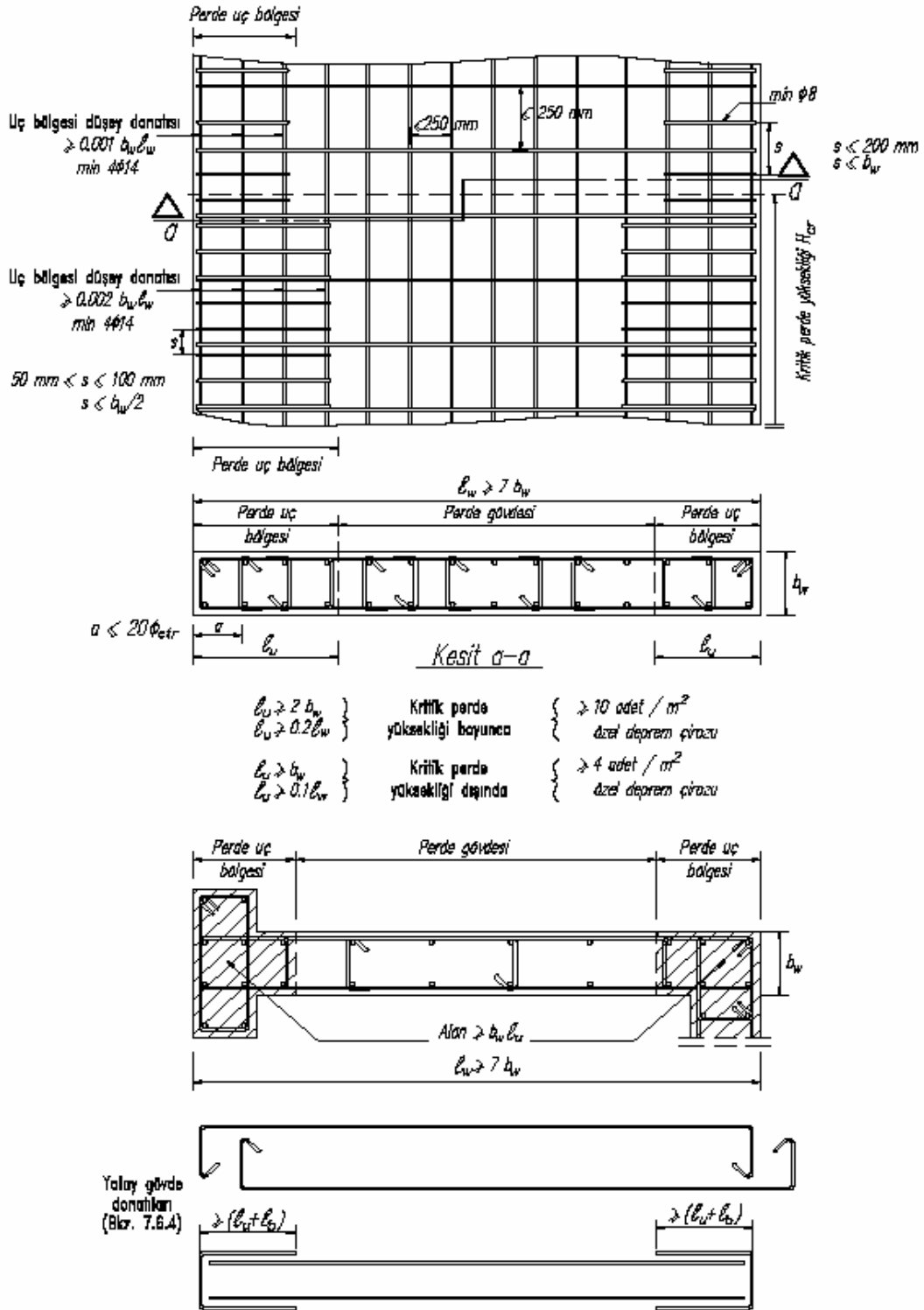
$X_{(5)}$: Pas payları kullanıcı tarafından belirlenmekte ve yönetmelikteki minimum değerlerin altında pas payı seçimine izin vermektedir. Herhangi bir uyarı verilmemektedir.

$X_{(6)}$: Hiçbir uyarıyla karşılaşmaksızın C16'dan daha düşük beton sınıfı ile proje üretilebilmektedir.

$X_{(7)}$: Hiçbir uyarıyla karşılaşmaksızın S220 çelik sınıfından daha düşük bir çelik sınıfı ile proje üretilebilmektedir.

$X_{(8)}$: Hiçbir uyarıyla karşılaşmaksızın S500 çelik sınıfı ile proje üretilebilmektedir.

3.6.3 Perdelerde sınır değerlerin irdelenmesi



Şekil 3.14 Perdelerde sınır değerler

Çizelge 3.19 Dep. Yön. 1997'ye göre perdelerde sınır değerler

Tanım	Dep. Yön. 1997	Açıklama	X- 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 ¹⁾	$b_w \geq h_i / 12, b_w > 20 \text{ cm}$	Kritik perde yük. boyunca	X ₍₁₎
	$b_w \geq h_i / 15, b_w > 20 \text{ cm}$	Kritik perde yük. dışında	
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 yük. boyunca	✓
	$\ell_u \geq b_w, \ell_u \geq 0.1 \ell_w$	Kritik perde yük. dışında	
min. uç bölgesi donatı alanı	$0.002 b_w \ell_w, 4\Phi 14$	Kritik perde yük. boyunca	✓
	$0.001 b_w \ell_w, 4\Phi 14$	Kritik perde yük. dışında	
$\rho_{gövde}$ (Perde gövdesi düşey ve yatay min. donatı alanı)	$\rho_{gövde} \geq 0.0025 \cdot (\text{perde gövdesi brüt enkesit alanı})$	-	✓
Perde gövdesi boyuna ve enine donatı aralığı	$s_{gövde} \leq 25 \text{ cm}$	-	✓

¹⁾ min b_w sınırları Dep. Yön. 2007'de değişmiştir.

Çizelge 3.19 Dep. Yön. 1997'ye göre perdelerde sınır değerler (Devamı)

Tanım	Dep. Yön. 1997	Açıklama	X-PRO
Uç bölgesi min. etriye çapı	$\min \Phi_{\text{etriye}} \geq 8\text{mm}$	-	✓
max s	$s \leq 10 \text{ cm} , s \leq b_w / 2$	Kritik perde yük. boyunca	✓
	$s \leq 20 \text{ cm} , s \leq b_w$	Kritik perde yük. dışında	
min s	$s \geq 5 \text{ cm}$	Kritik perde yük. boyunca	✓
max a	$a \leq 25\Phi_{\text{etr}}^{1)}$	-	✓
Özel deprem çirozu	10 adet / m ²	Kritik perde yük. boyunca	✓
	4 adet / m ²	Kritik perde yük. dışında	

Açıklamalar (X-PRO)

✓ : Yazılım bu koşulu sağlıyor.

X₍₁₎ : Dep. Yön. 1997'ye göre perde kalınlığı 20 cm'den büyük olmalıdır. X-PRO yazılımı ile kat yüksekliği 3.30 m olan 6 katlı bir yapıda 20 / 200 boyutlarında perde tanımlanmıştır. Bu yapıda kritik perde yüksekliği 3.30 m'dir bu durumda ilk kat kritik perde yüksekliği içindedir ve bu katta perdenin kısa kenarı en az $3.30 / 12 = 27.5$ cm olmalıdır, kritik perde yüksekliği dışında da en az $3.30 / 15 = 22$ cm olmalıdır. X-PRO yazılımı ile çözülen sistemde 20 / 200 boyutlarında bir perde bulunmasına rağmen hiçbir uyarı ile karşılaşmamıştır.

X₍₂₎ : Perde uzun kenarının kısa kenarına oranı değiştirilebilmektedir. Örnek olarak bu oran 10 yapılırsa, bu orana kadar olanlar kolon gibi, bu oranı aşanlar perde gibi donatılmaktadır.

¹⁾ Dep. Yön. 2007'de: $20\Phi_{\text{etr}}$

TS 500-2000'e Göre Perdelerde Sınır Değerler

Kesit Boyutları ile İlgili Kurallar

Betonarme duvarlar, planda uzun kenarın kısa kenara (kalınlığa) oranı en az 7,0 olan düşey taşıyıcı elemanlardır. Betonarme duvarların kalınlığı 150 mm den az olamaz.

Donatı ile İlgili Kurallar

Betonarme duvarların her bir yüzünde yatay ve düşey çubuklardan oluşan donatı ağları 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 ağları, $1m^2$ duvar yüzeyinde en az dört tane çiroz ile karşılıklı olarak bağlanmalıdır.

Perdelerde sınır değerler için Çizelge 3.19 ile verilen Dep. Yön. 1997'ye ait koşullar sağlandığında TS 500-2000'deki perdeler ile ilgili sınır koşullar da sağlanmış olmaktadır.

3.6.4 Döşemelerde sınır değerlerin irdelenmesi

Simgeler:

L_u = Uzun kenar (aksdan-aksa)

L_k = Kısa kenar (aksdan-aksa)

L_{knet} = Döşemenin kısa doğrultuda kiriş yüzünden kiriş 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 3.20 İki doğrultuda çalışan kirişli döşemelerde sınır değerler

Tanım	Zorunlu koşullar		Ek Öneri	Açıklama	X- PRO
	TS 500-2000	Dep. Yön.- 1997			
$m = \frac{L_u}{L_k}$	$m \leq 2$	-	-	-	X (1)
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)	-	✓
	$h \geq 80\text{mm}$	-		-	X (2)
max t	$t \leq 1.5h$ (her iki doğrultuda)	-	$t \geq 50\text{mm}$	-	✓
	$t \leq 200\text{mm}$ (kısa doğrultuda)	-		-	✓
	$t \leq 250\text{mm}$ (uzun doğrultuda)	-		-	✓
min Φ	8mm(çubuk) 5mm(hasır)	-	-	-	X (3)
min ρ_k	$\rho_k \geq 0.0015$	-	-	$\rho_k = \frac{A_{sk}}{1000d_k}$	✓
min ρ_u	$\rho_u \geq 0.0015$	-	-	$\rho_u = \frac{A_{su}}{1000d_u}$	✓
min ρ	$\rho \geq 0.004$ (S220) $\rho \geq 0.0035$ (S420 ve S500 için)	-	-	$\rho = \rho_k + \rho_u$	✓
min pp	pp $\geq 15\text{mm}$ (kısa doğrultuda)	-	-	-	✓

Açıklamalar (X-PRO):

X₍₁₎ : Yazılımda döşemelerin çalışma yönleri kullanıcı tarafından belirlenmektedir, çalışma yönü kullanıcı tarafından belirlenmeyen döşemeler, kenarları arasındaki orana bakılmaksızın, doğrudan iki yönde çalışan döşeme olarak değerlendirilmektedir.

X₍₂₎ : Herhangi bir uyarıyla karşılaşmaksızın kalınlığı 8cm'nin altında bir döşeme tanımlanıp, çözülebilmektedir.

X₍₃₎ : Döşeme donatısı olarak $\Phi 6$ mm'lik çubuk kullanılabilir.

Çizelge 3.21 Bir doğrultuda çalışan kirişli döşemelerde sınır değerler

Tanım	Zorunlu Koşullar		Ek Öneri	Açıklama	X-PRO
	TS 500-2000	Deprem Yön.-1997			
$m = \frac{L_u}{L_k}$	$m > 2$	-	-	-	X (1)
min h	$h \geq L_{knet}/25$ (basit mesnetli, tek açıklıklı döşemelerde) $h \geq L_{knet}/30$ (sürekli döşemelerde) $h \geq L_{knet}/12$ (konsol döşemelerde)	-	$h \geq 100\text{mm}$ $h \geq 150\text{mm}$ (konsol ,üzerinden taşıt geçen döşemelerde,merdiven sahanlıklarında,büyük boşluklu döşemelerde)	-	X (2)
	$h \geq 80\text{mm}$ $h \geq 120\text{mm}$ (üzerinden taşıt geçen döşemelerde)	-		-	X (3)
max t	$t \leq 1.5h$ (kısa doğrultuda)	-	-	-	✓
	$t \leq 200\text{mm}$ (kısa doğrultuda)	-	-	-	✓
	$t \leq 300\text{mm}$ (uzun doğrultuda)	-	$t \leq 250\text{mm}$ (uzun doğrultuda)	-	✓
min Φ	8mm(çubuk) 5mm(hasır)	-	-	-	X (4)
min ρ_k	$\rho_k \geq 0.003$ (S220) $\rho_k \geq 0.002$ (S420 ve S500 için)	-	-	$\rho_k = \frac{A_{sk}}{1000d_k}$	✓
min pp	$pp \geq 15\text{mm}$ (kısa doğrultuda)	-	-	-	X (5)
min A_{su}	$A_{su} \geq A_{sk}/5$	-	-	-	✓

Çizelge 3.21 Bir doğrultuda çalışan kirişli döşemelerde sınır değerler (Devamı)

Tanım	Zorunlu Koşullar		Ek Öneri	Açıklama	X- PRO
	TS 500-2000	Deprem Yön.-1997			
min A_{sek}	$A_{sek} \geq 0.60A_{sk}$	-	-	-	X ₍₆₎
min A_{sek}	$A_{sek} \geq \Phi 8/200$	-	-	S220 için	
min A_{sek}	$A_{sek} \geq \Phi 8/300$	-	-	S420 için	

Açıklamalar (X-PRO):

X₍₁₎ : Yazılımda döşemelerin çalışma yönleri kullanıcı tarafından belirlenmektedir, çalışma yönü kullanıcı tarafından belirlenmeyen döşemeler, kenarları arasındaki orana bakılmaksızın, doğrudan iki yönde çalışan döşeme olarak değerlendirilmektedir.

X₍₂₎ : $L_{knet} = 150\text{cm}$, kalınlığı 8cm olan bir konsol döşeme tanımlanıp çözülmüş ve herhangi bir uyarıyla karşılaşılmamıştır. $h \geq L_{knet}/12$ olmalıdır, $h \geq 150/12 = 12.5\text{cm}$

X₍₃₎ : Herhangi bir uyarıyla karşılaşmaksızın kalınlığı 8cm'nin altında bir döşeme tanımlanıp, çözülebilmektedir.

X₍₄₎ : Döşeme donatısı olarak $\Phi 6\text{mm}$ 'lik çubuk kullanılabilir.

X₍₅₎ : Pas payları kullanıcı tarafından belirlenmektedir ve yönetmelikteki minimum değerlerin altında pas payı seçimine izin verilmektedir.

X₍₆₎ : Bir doğrultuda çalışan döşemelerin kısa doğrultu mesnetlerinde TS 500-2000 de öngörülen ek donatı koyulmamaktadır.

3.7 X-PRO Yazılımının Dep. Yön. 1997’de Tanımlanan Düzensizlikler Bakımından İrdelenmesi

Bu bölümde X-PRO yazılımı Dep. Yön. 1997’de tanımlanan düzensizlikler bakımından irdelenmeye çalışılacaktır. İzlenecek yol şu şekilde olacaktır: Önce, düzensizlikle ilgili yönetmelik hükümleri özetlenecek daha sonra düzensizliği modellemek için hazırlanan örnek yada örnekler irdelenecek ve sonuçlar ortaya koyulmaya çalışılacaktır.

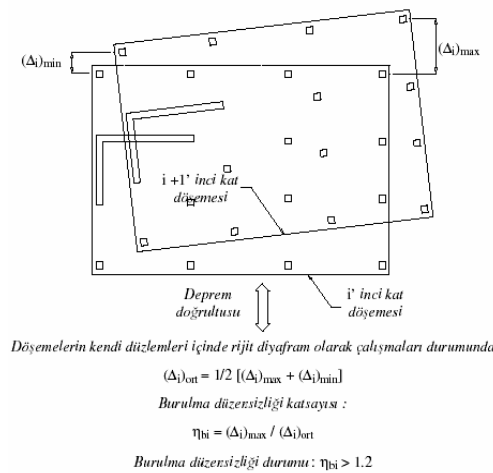
3.7.1 A – Planda düzensizlik durumlarının irdelenmesi

3.7.1.1 A1 – Burulma düzensizliğinin irdelenmesi

Birbirine dik iki deprem doğrultusunun herhangi biri için, herhangi bir katta en büyük görelî kat ötelemesinin o katta aynı doğrultudaki ortalama görelî ötelemeye oranını ifade eden *Burulma Düzensizliği Katsayısı* η_{bi} ’nin **1.2**’den büyük olması durumu.

$$\eta_{bi} = (\Delta_i)_{\max} / (\Delta_i)_{\text{ort}} > 1.2$$

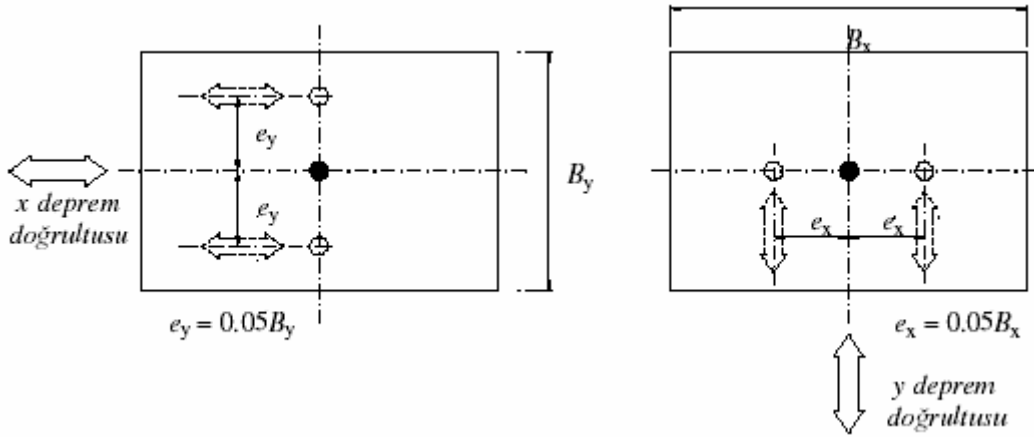
Görelî kat ötelemelerinin hesabı, \pm %5 ek dışmerkezlik etkileri de göz önüne alınarak 6.7 ye göre yapılacaktır. (Dep. Yön. 1997)



Şekil 3.15 Dep. Yön. 1997 (Şekil 6.1)

Dep. Yön. 1997 Madde 6.7.3.1 :

Döşemelerin yatay düzlemde rijit diyafram olarak çalıştığı binalarda, her katta iki yatay yerdeğiştirme bileşeni ile düşey eksen etrafındaki dönme, bağımsız statik yerdeğiştirme bileşenleri olarak göz önüne alınacaktır. Her katta 6.7.2'ye göre belirlenen eşdeğer deprem yükleri kat kütle merkezine ve ayrıca *ek dışmerkezlilik etkisi*'nin hesaba katılabilmesi amacı ile, *kaydırılmış kütle merkezleri*'ne tekil yatay yükler olarak uygulanacaktır. Kaydırılmış kütle merkezleri, gerçek kütle merkezinin göz önüne alınan deprem doğrultusuna dik doğrultudaki kat boyutunun + % 5'i ve - % 5'i kadar kaydırılması ile belirlenen noktalaradır.



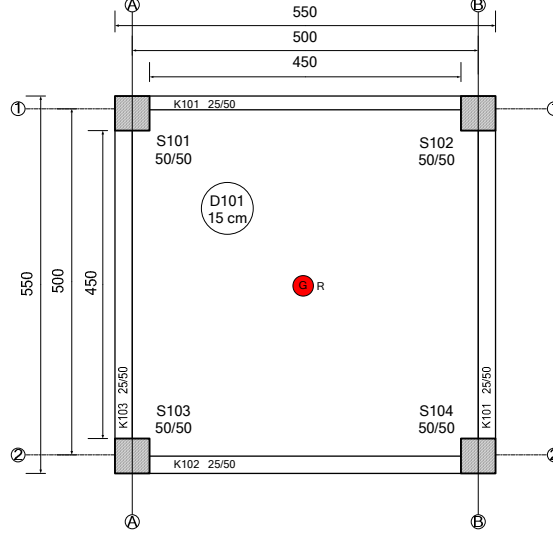
Şekil 3.16 Dep. Yön. 1997 (Şekil 6.8)

Dep. Yön. 1997 Madde 6.7.3.3 :

Binanın herhangi bir i'inci katında Tablo 6.1'de tanımlanan **A1** türü düzensizliğin bulunması durumunda, $1.2 < \eta_{bi} \leq 2.0$ olmak koşulu ile yukarıdaki tanımlara göre bu kata uygulanan $\pm \% 5$ ek dışmerkezlilik, her iki deprem doğrultusu için **Denk. (6.10)**'da verilen D_i katsayısı ile çarpılarak büyütülecektir.

$$D_i = (\eta_{bi} / 1.2)^2 \quad (\text{Dep. Yön. 1997 Denklem 6.10})$$

$\eta_{bi} < 1.2$ Durumunun irdelenmesi



C25/S420a, $A_0 = 0.30$, $R = 8$, $I = 1$, Yerel Zemin Sınıfı = Z2, Kat Yüksekliği = 3 m

Şekil 3.17 $\eta_{bi} < 1.2$ örneği kalıp planı

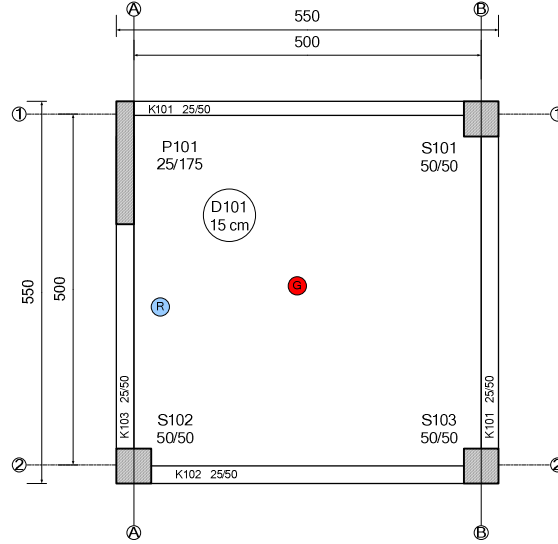
Şekil 3.17’de kalıp planı verilen 3 katlı yapı X-PRO yazılımı ile çözülmüştür. Rijitlik ve kütle merkezleri çakışan bu sistemde **A1** düzensizliği bulunmamaktadır. Bu durumda, bu sistemde, ek dışmerkezlilik her iki deprem doğrultusunda \pm % 5 değeri alınması gerekmektedir. X-PRO yazılımının bu sisteme ait deprem raporu incelendiğinde ek dışmerkezlilik değerlerinin, azda olsa, % 5’ in altında olduğu görülmüştür. (Çizelge 3.22) Bu durum Dep. Yön. 1997’ye aykırıdır.

X-PRO Yazılımı tarafından hesaplanan η_{bi} ve ek dışmerkezlilik değerleri :

Çizelge 3.22 X-PRO yazılımı X Yönü düzensizlik çizelgesi

Kat	$(d_i)_{\min}$ (m)	$(d_i)_{\max}$ (m)	$(\Delta_i)_{\max}$ (m)	$(\Delta_i)_{\text{ort}}$ (m)	η_{bi}	Ek dışmerkezlilik
3	-0.0025205	-0.0027330	0.0008003	0.0007709	1.04	0.046505
2	-0.0017790	-0.0019328	0.0011452	0.0011006	1.04	0.046560
1	-0.0007230	-0.0007876	0.0007876	0.0007553	1.04	0.046608

$\eta_{bi} > 1.2$ Durumunun irdelenmesi



C25/S420a, $A_0 = 0.30$, $R = 7$, $I = 1$, Yerel Zemin Sınıfı = Z2, Kat Yüksekliği = 3m

Şekil 3.18 $\eta_{bi} > 1.2$ örneği kalıp planı

Şekil 3.18’de kalıp planı verilen 3 katlı yapı X-PRO yazılımı ile çözülmüştür. Rijitlik ve kütle merkezlerinin konumundan da anlaşılacağı üzere bu yapıda “Y Yönü”nde **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 % 5 ek dışmerkezlilik *Dep. Yön. 1997 Madde 6.7.3.3*’te verilen $D_i = (\eta_{bi} / 1.2)^2$ katsayısı ile çarpılarak büyütülmek zorundadır.

X-PRO Yazılımı tarafından hesaplanan η_{bi} ve ek dışmerkezlilik değerleri :

Çizelge 3.23 X-PRO yazılımı Y Yönü düzensizlik çizelgesi

Kat	$(d_i)_{\min}$ (m)	$(d_i)_{\max}$ (m)	$(\Delta_i)_{\max}$ (m)	$(\Delta_i)_{\text{ort}}$ (m)	η_{bi}	Ek dışmerkezlilik
3	0.0011673	0.0023722	0.0007448	0.0006062	1.23	0.050594
2	0.0006998	0.0016274	0.0009763	0.0007163	1.36	0.053287
1	0.0002434	0.0006511	0.0006511	0.0004473	1.46	0.055071

Dep. Yön. 1997' ye göre olması gereken ek dışmerkezlilik değerleri :

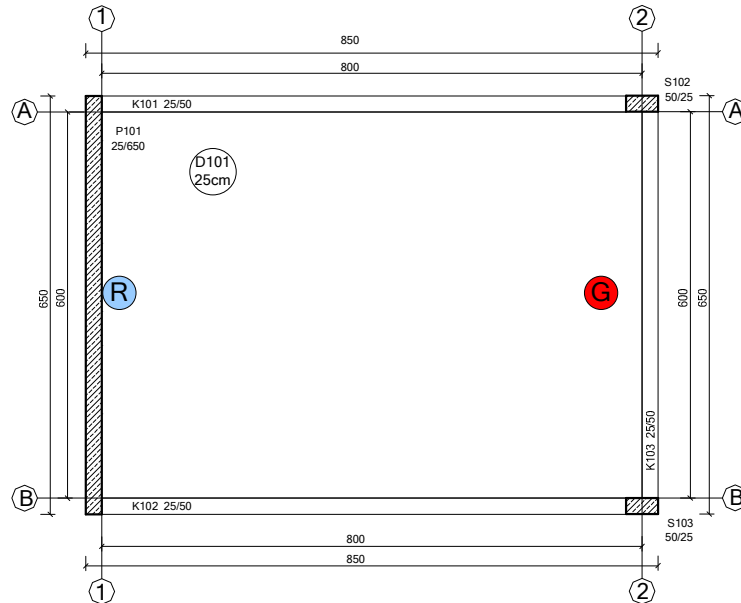
$$D_3 = (1.23 / 1.2)^2 = 1.05 \text{ , Ek dışmerkezlilik} = 1.05 \cdot 0.05 = \mathbf{0.053} \text{ (3.Kat)}$$

$$D_2 = (1.36 / 1.2)^2 = 1.28 \text{ , Ek dışmerkezlilik} = 1.28 \cdot 0.05 = \mathbf{0.064} \text{ (2.Kat)}$$

$$D_1 = (1.46 / 1.2)^2 = 1.48 \text{ , Ek dışmerkezlilik} = 1.48 \cdot 0.05 = \mathbf{0.074} \text{ (1.Kat)}$$

Bu sistemde ek dışmerkezlilik değerleri 3. Kat için **0.053**, 2. Kat için **0.064** ve 1. Kat için **0.074** olması gerekirken; X-PRO yazılımı sırasıyla **0.051**, **0.053** ve **0.055** değerlerini kullanmıştır. X-PRO'nun belirlediği ek dışmerkezlilik değerleri minimum değerlerin altında kalmıştır ve Dep. Yön. 1997'ye aykırıdır.

$\eta_{bi} \geq 2$ Durumunun irdelenmesi



C25/S420a, $A_0 = 0.30$, $R = 7$, $I = 1$, Yerel Zemin Sınıfı = Z2, Kat Yüksekliği = 3 m

Şekil 3.19 $\eta_{bi} \geq 2$ örneği kalıp planı

Şekil 3.19’da kalıp planı verilen 3 katlı yapı $\eta_{bi} > 2$ durumunu X-PRO yazılımı ile irdeleyebilmek için oluşturulmuştur. Kütle merkezi ile rijitlik merkezi arasındaki mesafeyi büyütmek amacıyla 1 ve 2 aksları açıklığı aşırı büyük seçilmiştir. Kütle merkezini K103 kirişine doğru kaydırmak için de K103 kirişi açıklığı boyunca yayılı dış yük kademe kademe artırılarak η_{bi} değerleri kontrol edilmiştir. Yazılımda η_{bi} değerinin hiçbir şekilde 2’ nin üzerine çıkmadığı görülmüştür. K103 kirişi boyunca yayılı dış yük değeri 2500 kN/m yapıldığında Y yönünde 1. katta $\eta_{b1} = 2$ olmuştur. K103 kirişi yükü ve 1 ve 2 aksları açıklığı artırılarak sistem daha da zorlandığında durum değişmemiş ve belli bir yerden sonra herhangi bir hata mesajı olmaksızın analiz kesilmeye başlamıştır. Şartlar daha da zorlandığında η_{bi} ’nin 2’ nin üstüne çıkacağı kesindir. X-PRO yazılımı bu durumu belirleyememiş ve kullanıcıyı uarmamıştır.

X-PRO Yazılımı ile hesaplanan η_{bi} ve ek dışmerkezlilik değerleri :

Çizelge 3.24’teki değerler Şekil 3.19’da kalıp planı verilen sisteme ait değerlerdir. K103 kirişi boyunca 2500 kN/m’lik yayılı yük bulunmaktadır.

Çizelge 3.24 X-PRO yazılımı Y Yönü düzensizlik çizelgesi

Kat	$(d_i)_{\min}$ (m)	$(d_i)_{\max}$ (m)	$(\Delta_i)_{\max}$ (m)	$(\Delta_i)_{\text{ort}}$ (m)	η_{bi}	Ek dışmerkezlilik
3	0.0017132	0.6090775	0.1595713	0.0801372	1.99	0.064408
2	0.0010101	0.4495061	0.2368549	0.1187370	1.99	0.064466
1	0.0003910	0.2126512	0.2126512	0.1065211	2	0.064490

Ayrıca ek dışmerkezlilik değerleri yine olması gerekenin altında kalmıştır. $\eta_{bi} = 1.99$ için ek dışmerkezlilik $(1.99 / 1.2)^2 = 0.1375$ olması gerekirken X-PRO bu değeri **0.064** olarak hesaplamıştır.

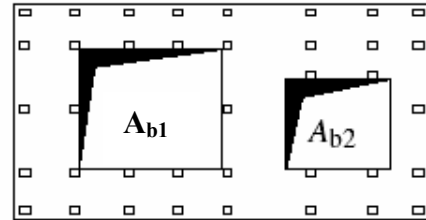
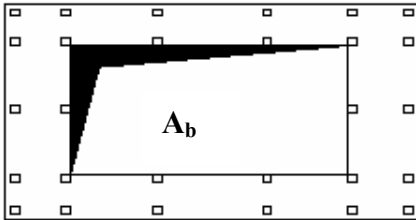
3.7.1.2 A2 – Döşeme süreksizliklerinin irdelenmesi

Herhangi bir kattaki döşemede

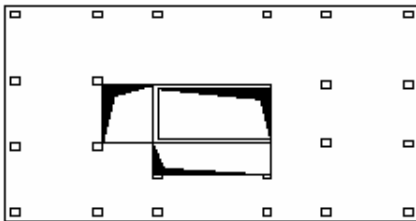
I – Merdiven ve asansör boşlukları dahil, boşluk alanlarının toplamının kat brüt alanının 1/3'ünden fazla olması durumu

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

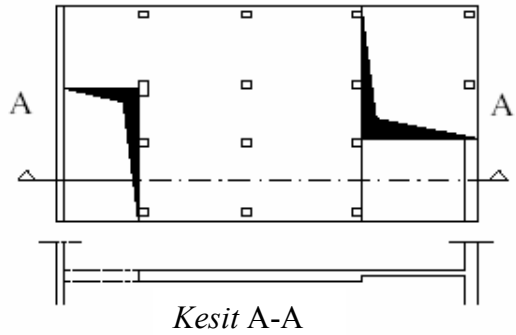
III – Döşemenin düzlem içi rijitlik ve dayanımında ani azalmaların olması durumu



A2 türü düzensizlik durumu – I $A_b = A_{b1} + A_{b2}$
 $A_b / A > 1/3$
 A_b : Boşluk alanları toplamı
 A : Brüt kat alanı



A2 türü düzensizlik durumu - II

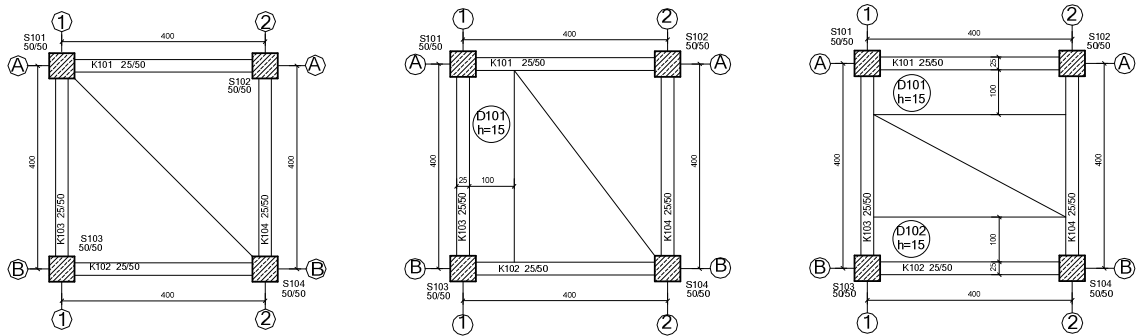


A2 türü düzensizlik durumu - II ve III

Şekil 3.20 Dep. Yön. 1997 (Şekil 6.2)

Dep. Yön. 1997 Madde 6.3.2.2 :

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.



C25/S420a, $A_0 = 0.30$, $R = 8$, $I = 1$, Yerel Zemin Sınıfı = Z2, Kat Yüksekliği = 3 m

Şekil 3.21 A2 düzensizliği örnek kalıp planları

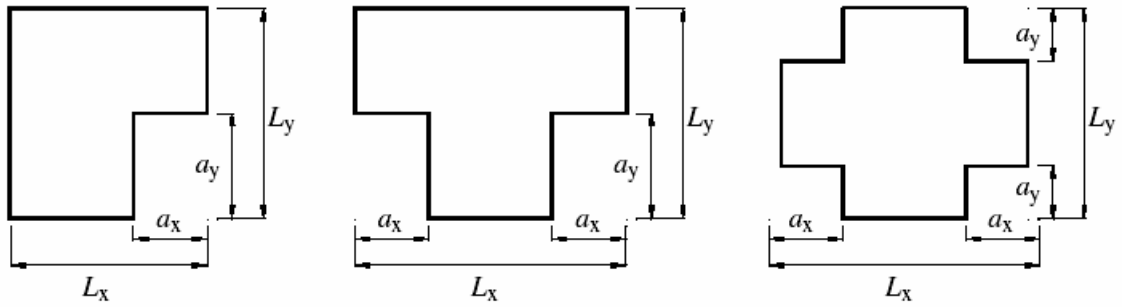
X-PRO yazılımı ile Şekil 3.21'de kalıp planları verilen örnekler çözülmüş ve A2 düzensizliği ile ilgili hiçbir uyarı ile karşılaşmamıştır. Örneklerde boşluk oranları 1/3 ün çok üstündedir. X-PRO yazılımının analiz ve deprem raporunda A2 düzensizliği ile ilgili hiçbir bilgi bulunmamaktadır. X-PRO yazılımında kat seviyesinde rijit diyafram kabulü bulunmaktadır, katta döşeme olsa da olmasa da bu kabul geçerlidir ve kaldırılmaz. Bu nedenle deprem kuvvetlerinin düşey taşıyıcı elemanlara güvenle aktarıldığı varsayılmıştır fakat bu durum gerçeği yansıtmamaktadır.

X-PRO standart yazılım A2 düzensizliğini belirleyip kullanıcıyı uyarılmamaktadır. Standart yazılımdan bağımsız, A2-A3 düzensizliklerini irdeleyen yardımcı bir yazılım daha vardır. Kullanıcı bu yazılımı kullanarak sisteminde A2-A3 düzensizliği olup olmadığını belirlemek zorundadır. Yukarıdaki örnek sistemler

yardımcı yazılıma tanıtılmış fakat A2 düzensizliği bu yazılım tarafından da belirlenememiştir.

3.7.1.3 A3 - Planda çıkıntılar bulunmasının irdelenmesi

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



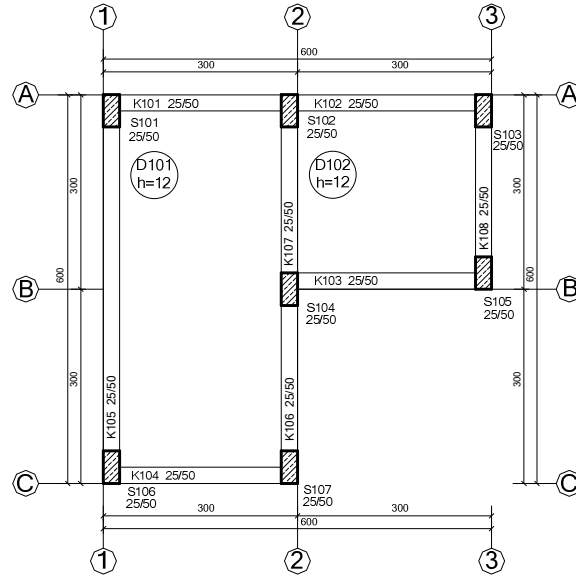
A3 türü düzensizlik durumu:

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

Şekil 3.22 Dep. Yön. 1997 (Şekil 6.3)

Dep. Yön. 1997 Madde 6.3.2.2 :

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.



C25/S420a, $A_0 = 0.30$, $R = 8$, $I = 1$, Yerel Zemin Sınıfı = Z2 Kat Yüksekliği = 3 m

Şekil 3.23 A3 düzensizliği örneği kalıp planı

A3 Planda Çıkıntılar Bulunması durumunun irdelenmesi için oluşturulan, Şekil 3.23'te kalıp planı verilen yapı, X-PRO yazılımı ile çözülmüş ve A3 düzensizliği ile ilgili hiçbir uyarı ile karşılaşmamıştır. Kalıp planı incelendiğinde A3 düzensizliği bulunduğu açıkça görülmektedir:

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

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

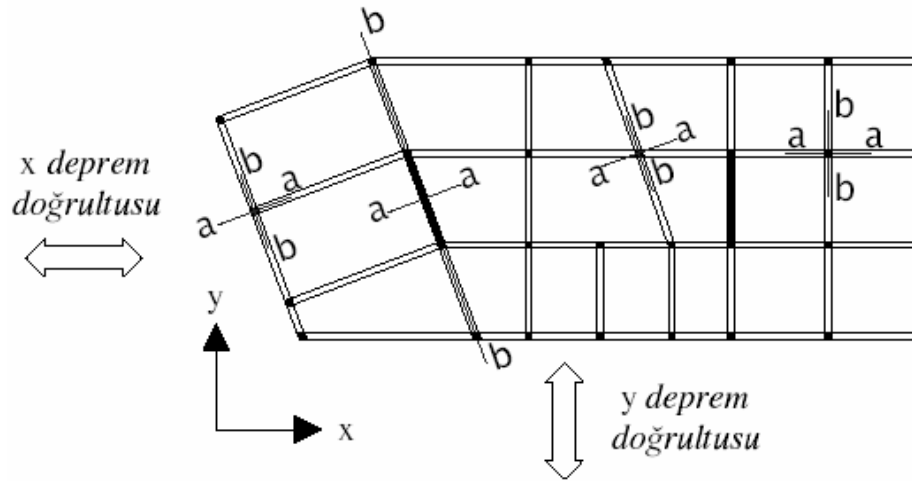
X-PRO yazılımının analiz ve deprem raporunda A3 düzensizliği ile ilgili hiçbir bilgi bulunmamaktadır. X-PRO yazılımında kat seviyesinde rijit diyafram kabulü bulunmaktadır, katta döşeme olsa da olmasa da bu kabul geçerlidir ve kaldırılamaz. Bu nedenle deprem kuvvetlerinin düşey taşıyıcı elemanlara güvenle aktarıldığı varsayılmıştır fakat bu durum gerçeği yansıtmamaktadır.

X-PRO standart yazılım A3 düzensizliğini belirleyip kullanıcıyı uyarmamaktadır. Standart yazılımdan bağımsız, A2-A3 düzensizliklerini irdeleyen yardımcı bir yazılım daha vardır. Kullanıcı bu yazılımı kullanarak sisteminde A2-A3 düzensizliği olup olmadığını belirlemek zorundadır. Şekil 3.23'teki sistem yardımcı yazılıma tanıtıldığında yardımcı yazılım tarafından A3 düzensizliği belirlenmemiştir. Ancak, düzensizlik belirlenmemesine rağmen, yatay yüklerin düşey taşıyıcı sistem elemanları arasında güvenle aktarıldığını göstermeye çalışan bir A3 düzensizliği raporu sunulmuştur.

Sonuç olarak, X-PRO standart yazılımının A2 ve A3 düzensizliklerini belirleyemediği anlaşılmıştır.

3.7.1.4 A4 – Taşıyıcı eleman eksenlerinin paralel olmamasının irdelenmesi

Taşıyıcı sistemin düşey elemanlarının plandaki asal eksenlerinin, göz önüne alınan birbirine dik yatay deprem doğrultularına paralel olmaması durumu.



Şekil 3.24 Dep. Yön. 1997 (Şekil 6.4)

Dep. Yön. 1997 Madde 6.3.2.3 :

A4 türü düzensizliğin bulunduğu binalarda, taşıyıcı sistem elemanlarının asal eksen doğrultularındaki iç kuvvet büyüklükleri 6.7.5 ve 6.8.6'ya göre elde edilecektir.

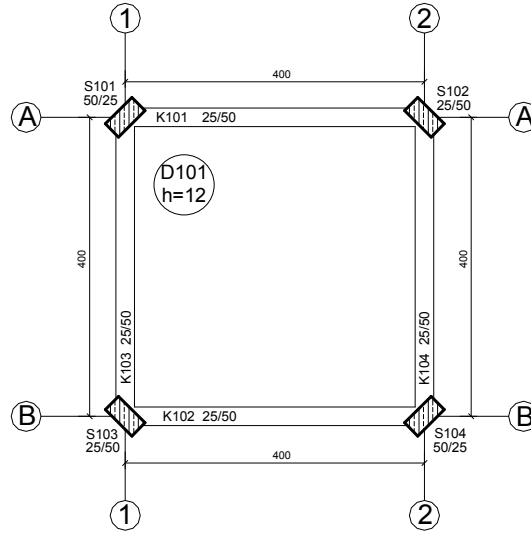
Dep. Yön. 1997 Madde 6.7.5 Asal Eksenleri Deprem Doğrultularına Paralel Olmayan Taşıyıcı Sistem Elemanlarına İlişkin Büyüklükler ¹⁾

$$B_a = \pm B_{ax} \pm 0.30 B_{ay}$$

$$B_a = \pm 0.30 B_{ax} \pm B_{ay}$$

Yukarıdaki işlemler, **a** eksenini ve buna dik **b** eksenini için, **x** ve **y** deprem doğrultuları ve yönleri gözönüne alınarak en elverişsiz sonucu verecek şekilde yapılacaktır.

¹⁾ Dep. Yön. 2007'de bu bağıntılar değişmiştir.



Şekil 3.25 A4 düzensizliği örneği kalıp planı

A4 düzensizliğinin irdelenmesi için Şekil 3.25'te kalıp planı verilen yapı X-PRO ile çözülmüştür. Yazılım A4 düzensizliği tespit etmiş, hem analiz sonuçları bölümünde hem de deprem raporunda kullanıcıyı uarmış ve iç kuvvetlerin Dep. Yön. 1997 Madde 6.7.5'teki bağıntılara göre hesaplandığı belirtilmiştir.

3.7.2 B – Düşey doğrultuda düzensizlik durumlarının irdelenmesi

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

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:

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

Herhangi bir katta etkili kesme alanının tanımı:

$$\sum A_e = \sum A_w + \sum A_g + 0.15 \sum A_k \text{ (Dep. Yön. 1997)}$$

Simgeler:

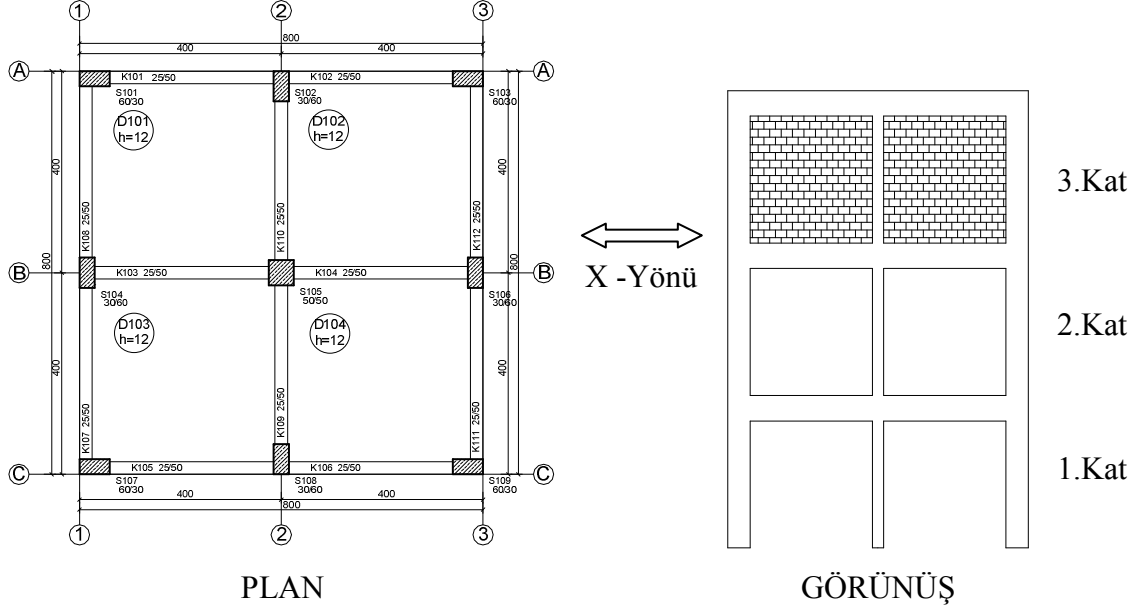
$\sum A_e$ = Herhangi bir katta, göz önüne alınan deprem doğrultusunda etkili kesme alanı

$\sum A_w$ = Herhangi bir katta, kolon enkesiti etkin gövde alanlarının toplamı (Depreme dik doğrultudaki kolon çıkıntılarının alanı hariç)

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

$\sum A_k$ = Herhangi bir katta, göz önüne alınan deprem doğrultusuna paralel kargir dolgu duvar alanlarının (kapı ve pencere boşlukları hariç) toplamı

0.6 < η_{ci} < 0.8 Durumunun irdelenmesi :



Şekil 3.26 B1 düzensizliği $0.6 < \eta_{ci} < 0.8$ örneği kalıp planı ve görünüşü

B1 düzensizliğinin X-PRO ile irdelenmesi için Şekil 3.26’da plan ve görünüşü verilen örnek oluşturulmuştur. Bütün katlar 3 m yüksekliğindedir. 2. Kat tavanında bulunan bütün kirişlerin üstünde yüksekliği 2.5 m, kalınlığı 20 cm olan boşluksuz duvarlar bulunmaktadır. 1. ve 2. Katta duvar yoktur.

Bu örnek için B1 düzensizliği el hesabı :

Çizelge 3.25 B1 düzensizliği el hesabı çizelgesi (Alanlar m²)

Kat	ΣA_w	ΣA_{gx}	ΣA_{gy}	$0.15(\Sigma A_{kx})$	$0.15(\Sigma A_{ky})$	ΣA_{ex}	ΣA_{ey}	η_{cix}	η_{ciy}	Açıklama
3	1.69	0	0	$0.15(0.20 \cdot 3.25 \cdot 4 + 0.20 \cdot 3.45 \cdot 2) = 0.597$	$0.15(0.20 \cdot 3.4 \cdot 4 + 0.20 \cdot 3.15 \cdot 2) = 0.597$	2.29	2.29	-	-	Üst kat ✓
2	1.69	0	0	0	0	1.69	1.69	0.74	0.74	Düzensiz
1	1.69	0	0	0	0	1.69	1.69	1	1	Düzenli ✓

$$\eta_{cx1} = (\sum A_{ex})_1 / (\sum A_{ex})_2 = 1.69/1.69 = 1 > 0.80 \checkmark$$

$$\eta_{cx2} = (\sum A_{ex})_2 / (\sum A_{ex})_3 = 1.69/2.29 = 0.737 < 0.80 \text{ B1 Düzensizliği vardır!}$$

$$\eta_{cy1} = (\sum A_{ey})_1 / (\sum A_{ey})_2 = 1.69/1.69 = 1 > 0.80 \checkmark$$

$$\eta_{cy2} = (\sum A_{ey})_2 / (\sum A_{ey})_3 = 1.69/2.29 = 0.737 < 0.80 \text{ B1 Düzensizliği vardır!}$$

Bu nedenle, Dep. Yön. 1997 Madde 6.3.2.4 uygulanmak zorundadır.

Aynı örnek için X-PRO yazılımı B1 düzensizliği hesabı :

Aynı örnek X-PRO ile test edildiğinde yazılım B1 düzensizliğini tespit edememiştir. İncelendiğinde X-PRO'nun duvar alanlarını hesaba katmadığı anlaşılmıştır. Kolon ve perde enkesitleri 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 3.26 Verilen örnek için X-PRO yazılımı B1 Düzensizlik kontrolü çizelgesi (Alanlar m²)

Kat	ΣA_w	ΣA_{gx}	ΣA_{gy}	ΣA_{ex}	ΣA_{ey}	η_{cix}	η_{ciy}	Açıklama
3	1.69	0	0	1.69	1.69	-	-	Üst kat ✓
2	1.69	0	0	1.69	1.69	1.00	1.00	Düzenli ✓
1	1.69	0	0	1.69	1.69	1.00	1.00	Düzenli ✓

Görüleceği gibi $\sum A_k$ değeri (Herhangi bir katta, göz önüne alınan deprem doğrultusuna paralel kargir dolgu duvar alanlarının (kapı ve pencere boşlukları hariç) toplamı X-PRO yazılımında hesaba katılmamıştır.

B1 Düzensizliğinin bulunduğu yapılar depremde büyük tehlike arz etmektedir bu nedenle Dep. Yön. 1997 Madde 6.3.2.4 bu tür düzensizlik durumunda yaptırımlar getirmiştir: “ $0.60 \leq (\eta_{ci})_{\min} < 0.80$ aralığında Dep. Yön. 1997 Tablo 6.5 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. Ancak hiçbir zaman $\eta_{ci} < 0.6$ olmamalıdır. Aksi durumda, zayıf katın dayanımı ve rijitliği artırılarak deprem hesabı tekrarlanmak zorundadır.

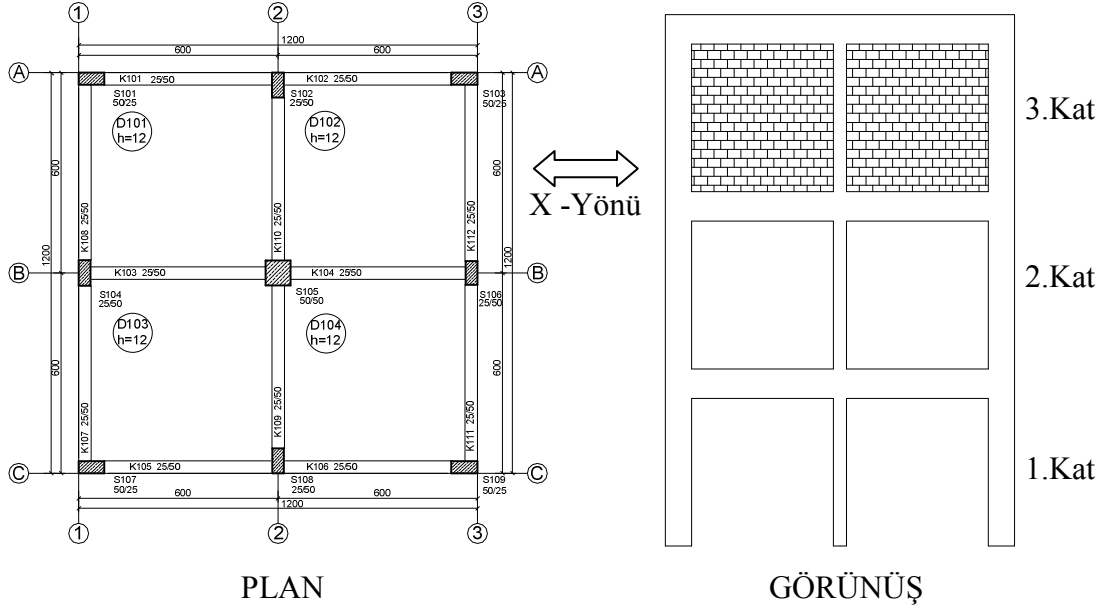
B1 düzensizliği olan yapılarda ayrıca aşağıdaki madde uygulanmalıdır:

Dep. Yön. 1997 Madde 7.3.4.3 : Kolon sarılma bölgesine konulan enine donatı , aşağıdaki durumlarda kolon orta bölgesinde de aynen devam ettirilecektir.

(a) Bölüm 6, Tablo 6.1’de B1 başlığı ile tanımlanan düzensizlik durumunda *Dayanım Düzensizliği Katsayısı* ’nın 0.60 ila 0.80 arasında değiştiği katta yer alan bütün kolonlar.

Görüldüğü gibi bu denli basit ve küçük bir yapıda dahi bir katta duvarların olmayışı B1 düzensizliğine sebep olmaktadır. Giriş katları dükkan olan, duvarların yerini büyük ölçüde camekanların aldığı yapılarda B1 düzensizliğinin oluşma olasılığı çok yüksektir ve yapının deprem davranışı çok kötüdür. X-PRO yazılımının, duvarların katkısını dikkate almaması, B1 düzensizliğini yeterince belirleyememesi çok önemli bir eksikliktir. Bu ise yukarıda verilen, yönetmelik yaptırımlarının uygulanmadığı anlamına gelmektedir.

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



Şekil 3.27 B1 düzensizliği $\eta_{ci} < 0.6$ örneği kalıp planı ve görünüşü

Şekil 3.27'de plan ve görünüşü verilen örnek yapıda bütün katlar 3 m yüksekindedir. 2. Kat tavanında bulunan bütün kirişlerin üstünde yüksekliği 2.5 m, kalınlığı 20 cm olan boşluksuz duvarlar bulunmaktadır. yüksekliğinde yatayda ve düşeyde kesintisiz 20 cm'lik duvarlar bulunmaktadır. 1. ve 2. Katta duvar yoktur.

Bu örnek için B1 düzensizliği el hesabı :

Çizelge 3.27 B1 düzensizliği el hesabı çizelgesi (Alanlar m²)

Kat	ΣA_w	ΣA_{gx}	ΣA_{gy}	$0.15(\Sigma A_{kx})$	$0.15(\Sigma A_{ky})$	ΣA_{ex}	ΣA_{ey}	η_{cix}	η_{ciy}	Açıklama
3	1.25	0	0	$0.15(0.20 \cdot 5.375 \cdot 4 + 0.20 \cdot 5.5 \cdot 2) = 0.975$	$0.15(0.20 \cdot 5.5 \cdot 4 + 0.20 \cdot 5.25 \cdot 2) = 0.975$	2.225	2.225	-	-	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	1	Düzenli ✓

$$\eta_{cx1} = (\sum A_{ex})_1 / (\sum A_{ex})_2 = 1.25/1.25 = 1 > 0.80 \checkmark$$

$$\eta_{cx2} = (\sum A_{ex})_2 / (\sum A_{ex})_3 = 1.25/2.225 = 0.56 < 0.60 \text{ B1 Düzensizliği vardır!}$$

$$\eta_{cy1} = (\sum A_{ey})_1 / (\sum A_{ey})_2 = 1.25/1.25 = 1 > 0.80 \checkmark$$

$$\eta_{cy2} = (\sum A_{ey})_2 / (\sum A_{ey})_3 = 1.25/2.225 = 0.56 < 0.60 \text{ B1 Düzensizliği vardır!}$$

Dep. Yön. 1997 Madde 6.3.2.4'e göre η_{cx2} ve $\eta_{cy2} = 0.56 < 0.60$ olduğu için bu katın (2.katın) dayanımı ve rijitliği artırılarak deprem hesabı tekrarlanmalıdır.

Aynı örnek için X-PRO ile B1 düzensizliği hesabı :

Aynı örnek X-PRO ile test edildiğinde yazılımın B1 düzensizliğini belirleyemediği görülür.

Çizelge 3.28 Verilen örnek için X-PRO ile B1 Düzensizlik kontrolü çizelgesi

Kat	ΣA_w	ΣA_{gx}	ΣA_{gy}	ΣA_{ex}	ΣA_{ey}	η_{cix}	η_{ciy}	Açıklama
3	1.25	0	0	1.25	1.25	-	-	Üst kat ✓
2	1.25	0	0	1.25	1.25	1.00	1.00	Düzenli ✓
1	1.25	0	0	1.25	1.25	1.00	1.00	Düzenli ✓

Çizelge 3.28'den anlaşıldığı gibi, X-PRO bu yapıda B1 düzensizliğini tespit edememiştir. El hesabında B1 düzensizliği olduğu ve 2. katın dayanım düzensizliği katsayısı 0.6'nın da altına düştüğü için, bu katın rijitliğinin ve dayanımının artırılarak deprem hesabının tekrarlanması gerekirken yazılım uyarı dahi vermeden analize devam etmiştir.

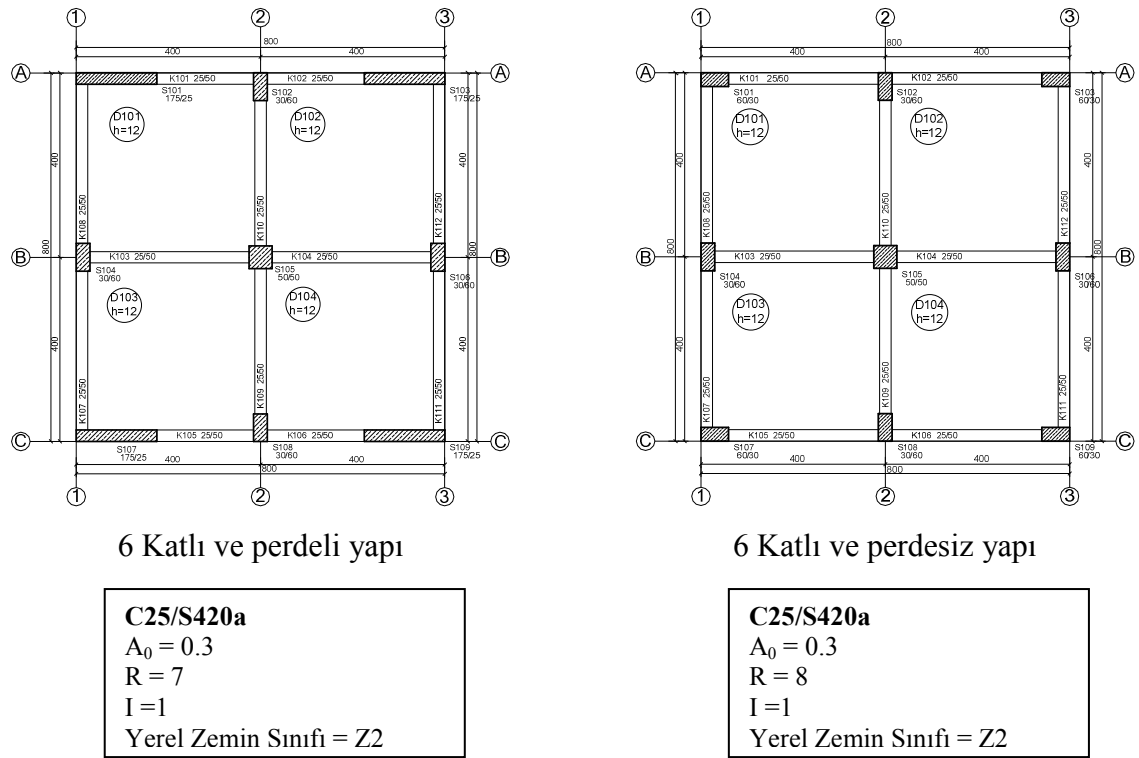
X-PRO ile perdeli sistemlerde B1 düzensizliği irdelendiğinde yukarıda sözü geçen eksikliklerin aynen geçerli olduğu görülmüştür.

3.7.2.2 B2 - Komşu katlar arası rijitlik düzensizliği (Yumuşak Kat) irdelenmesi

Birbirine dik iki deprem doğrultusunun herhangi biri için, herhangi bir i'inci kattaki ortalama görelî kat ötelemesinin bir üst kattaki ortalama görelî kat ötelemesine oranı olarak tanımlanan *Rijitlik Düzensizliği Katsayısı* η_{ki} 'nin 1.5' tan fazla olması durumu:

$$\eta_{ki} = (\Delta_i)_{ort} / (\Delta_{i+1})_{ort} > 1.5$$

Görelî kat ötelemelerinin hesabı, \pm %5 ek dışmerkezlilik etkileri de göz önüne alınarak 6.7 ye göre yapılacaktır. (Dep. Yön. 1997)



Şekil 3.28 B2 Düzensizliği örnek kalıp planları

B2 düzensizliğinin X-PRO ile irdelenmesi için oluşturulmuş yukarıda kalıp planları verilen her iki yapı 6 katlıdır. İlk kat 6 m diğer katlar 3 m yüksekliğindedir. Yapılardan ilki perdeli diğeri perdesizdir. Tüm katların kalıp planları aynıdır ve kirişlere döşemelerden aktarılan yükler ve zati ağırlıkları dışında herhangi bir dış yük

tanımlanmamıştır, beton yoğunluğu 2.5 t/m^3 alınmıştır. Döşemelerin karakteristik sabit yükleri 4.7 kN/m^2 , karakteristik hareketli yükleri 2 kN/m^2 dir.

Çizelge 3.29 X-PRO yazılımı kullanılarak bulunmuş Perdeli Sistem (X Yönü) B2 düzensizliği parametreleri ¹⁾

KATLAR	Ötelenmeler (mm) (Δ_i) _{ort}	Görelî Ötelenmeler (mm) (Δ_i) _{görelî}	η_{ki}
6	7.6940	0.9654	-
5	6.7286	1.1057	1.15
4	5.6229	1.2511	1.13
3	4.3718	1.3424	1.07
2	3.0294	1.3312	0.99
1	1.6982	1.6982	1.28

Çizelge 3.30 X-PRO yazılımı kullanılarak bulunmuş Perdeli Sistem (Y Yönü) B2 düzensizliği parametreleri

KATLAR	Ötelenmeler (mm) (Δ_i) _{ort}	Görelî Ötelenmeler (mm) (Δ_i) _{görelî}	η_{ki}
6	10.3100	0.4564	-
5	9.8530	0.7356	1.61
4	9.1180	0.9999	1.36
3	8.1180	1.2461	1.25
2	6.8720	1.5935	1.28
1	5.2780	5.2780	3.31

$$^1) (\Delta_i)_{\text{ort}} = \frac{1}{2} [(\Delta_i)_{\text{max}} + (\Delta_i)_{\text{min}}], \quad (\Delta_i)_{\text{görelî}} = (\Delta_{i+1})_{\text{ort}} - (\Delta_i)_{\text{ort}}, \quad \eta_{ki} = (\Delta_i)_{\text{ort}} / (\Delta_{i+1})_{\text{ort}}$$

$\eta_{ki} > 1.5$ durumunda B2 düzensizliği vardır.

Çizelge 3.31 X-PRO yazılımı kullanılarak bulunan Perdesiz Sistem (X Yönü) B2 düzensizliği parametreleri ¹⁾

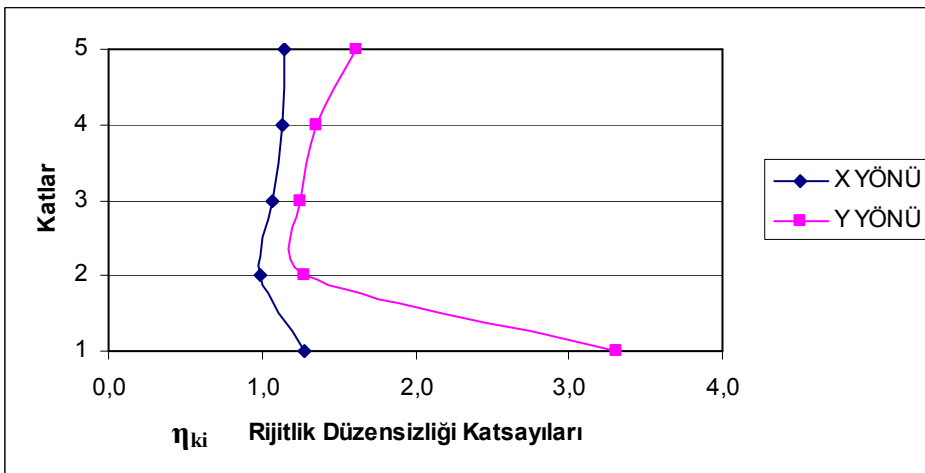
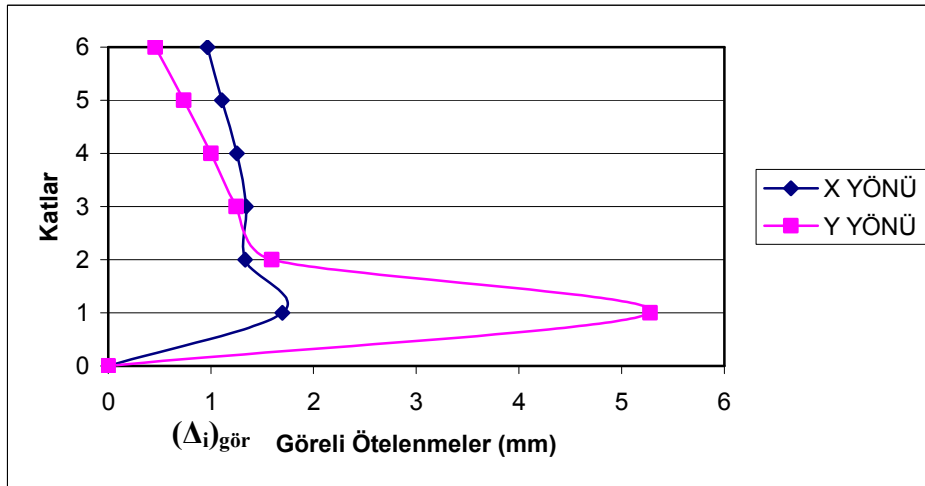
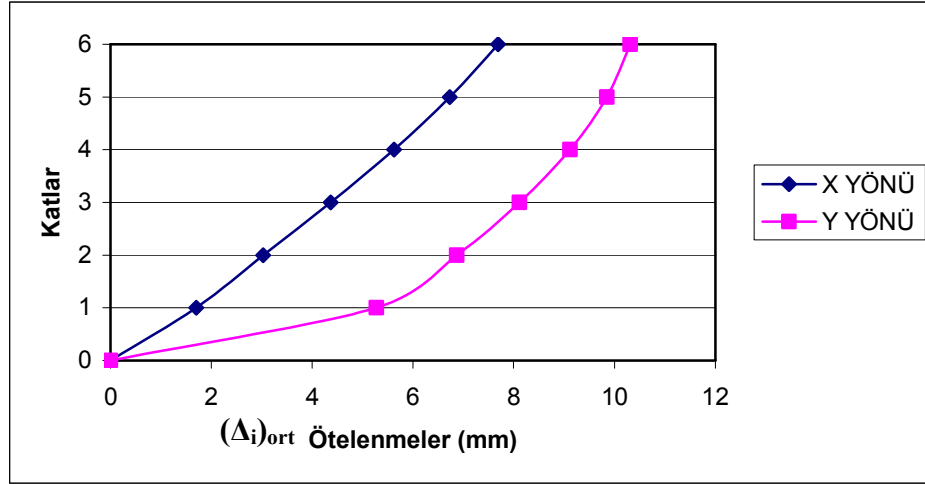
KATLAR	Ötelenmeler (mm) (Δ_i) _{ort}	Görelî Ötelenmeler (mm) (Δ_i) _{görelî}	η_{ki}
6	9.3712	0.4592	-
5	8.9120	0.6974	1.52
4	8.2146	0.9273	1.33
3	7.2873	1.1372	1.23
2	6.1501	1.4956	1.32
1	4.6546	4.6546	3.11

Çizelge 3.32 X-PRO Yazılımı kullanılarak bulunan Perdesiz Sistem (Y Yönü) B2 düzensizliği parametreleri

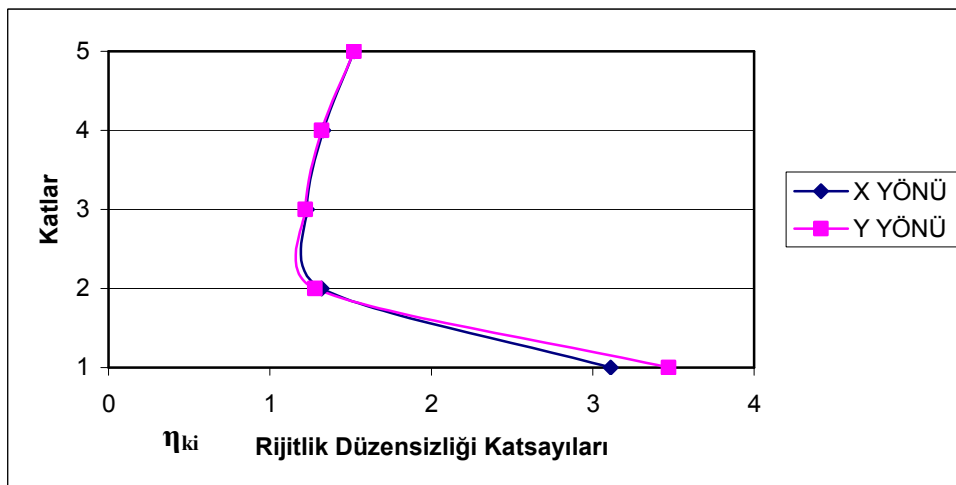
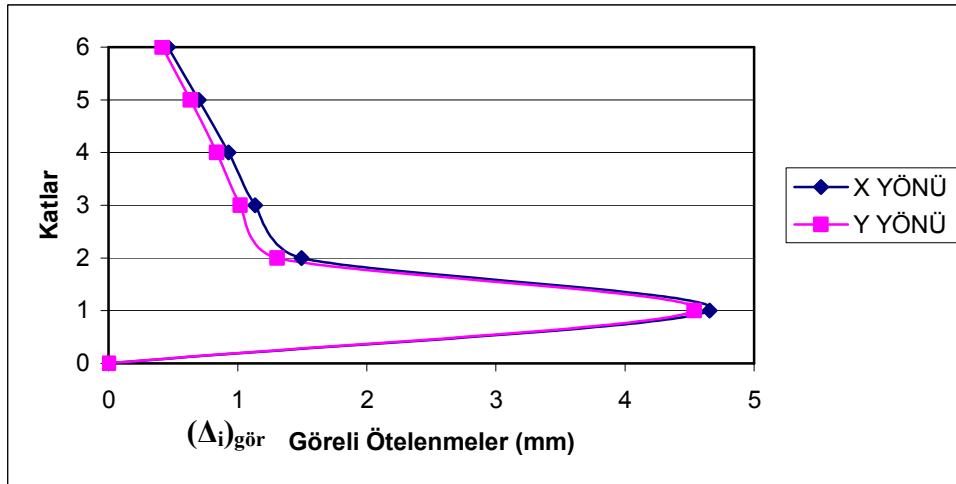
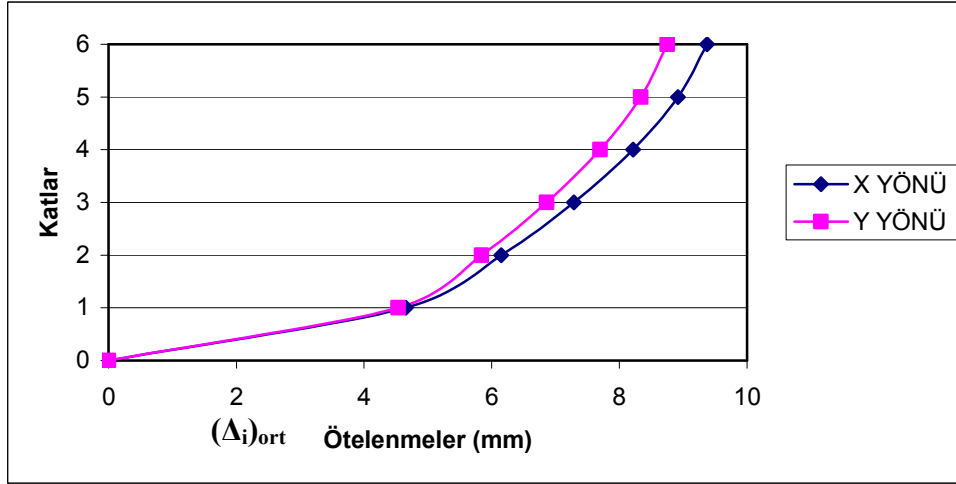
KATLAR	Ötelenmeler (mm) (Δ_i) _{ort}	Görelî Ötelenmeler (mm) (Δ_i) _{görelî}	η_{ki}
6	8.7488	0.4165	-
5	8.3323	0.6338	1.52
4	7.6985	0.8363	1.32
3	6.8622	1.0208	1.22
2	5.8414	1.3058	1.28
1	4.5356	4.5356	3.47

$$^1) (\Delta_i)_{ort} = \frac{1}{2} [(\Delta_i)_{max} + (\Delta_i)_{min}], \quad (\Delta_i)_{görelî} = (\Delta_{i+1})_{ort} - (\Delta_i)_{ort}, \quad \eta_{ki} = (\Delta_i)_{ort} / (\Delta_{i+1})_{ort}$$

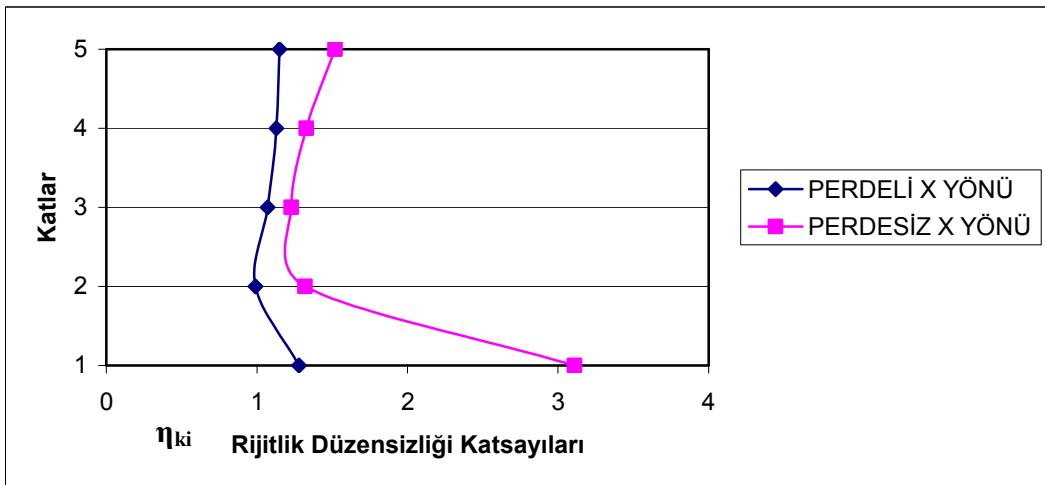
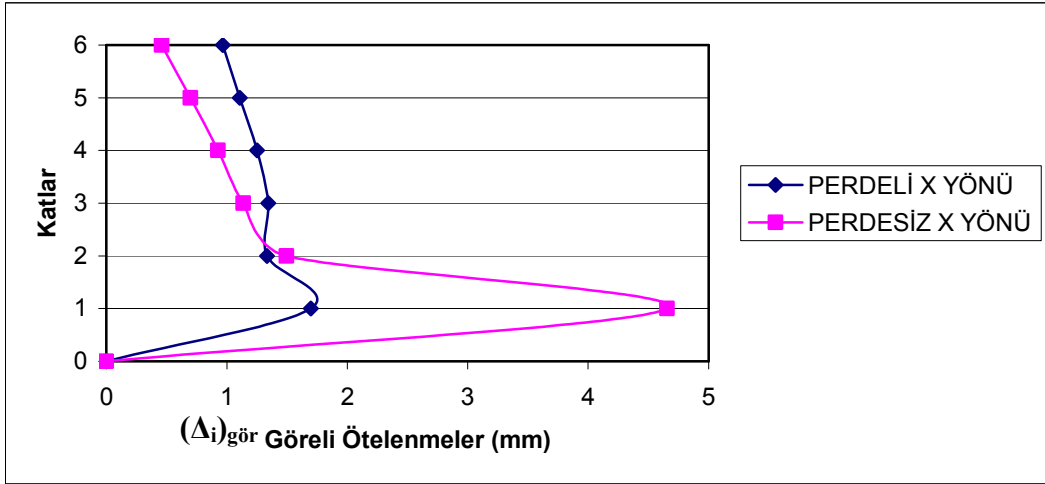
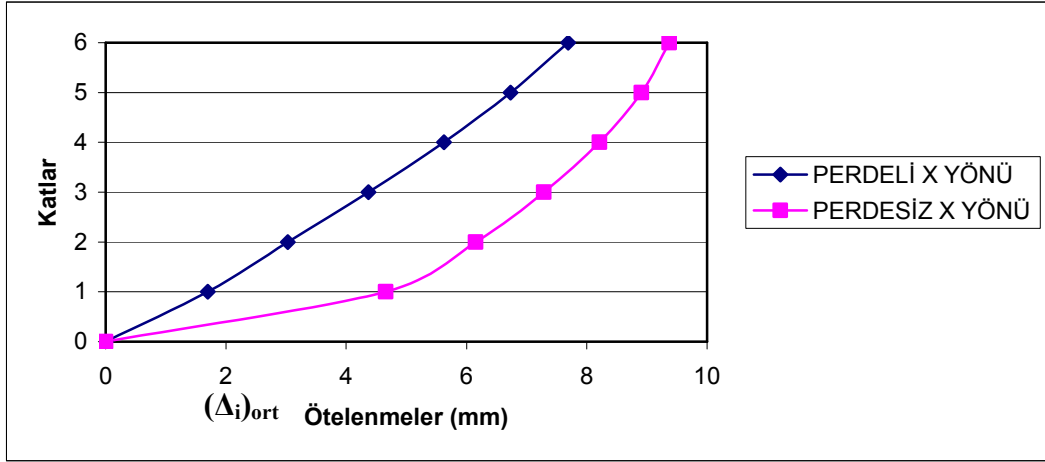
$\eta_{ki} > 1.5$ durumunda B2 düzensizliği vardır.



Şekil 3.29 B2 Düzensizliği örneği perdeli sistem grafikleri



Şekil 3.30 B2 Düzensizliği örneği perdesiz sistem grafikleri



Şekil 3.31 B2 Düzensizliği örneği perdeli ve perdesiz sistem grafikleri

X-PRO yazılımında iki adet deprem raporu seçeneği bulunmaktadır, hangisini tercih edeceğine kullanıcı karar vermektedir. Bu raporlardan biri detaylı diğeri ise daha az detaya yer veren kısa deprem raporudur. Aşağıdaki çizelgelerde “Perdeli Sistem”in detaylı ve kısa deprem raporlarının B2 Düzensizliği bölümleri karşılaştırılmıştır.

Çizelge 3.33 X-PRO Yazılımı Perdeli Sistem Kısa Deprem Raporu Y Yönü B2 Düzensizliği Bölümü

Kat	$\Delta Y_{d_{sol}}$ (m)	$\Delta Y_{d_{sağ}}$ (m)	$\Delta Y_{görel}$ (m)	η_{bi}	η_{ki}	B2 Düzensizliği
6	0.0004092	0.0005037	0.0004564	1.10	0.00 < 1.5	YOK
5	0.0006778	0.0007935	0.0007356	1.08	1.61 < 1.5	YOK
4	0.0009299	0.0010700	0.0009999	1.07	1.36 < 1.5	YOK
3	0.0011661	0.0013262	0.0012461	1.06	1.25 < 1.5	YOK
2	0.0015094	0.0016777	0.0015935	1.05	1.28 < 1.5	YOK
1	0.0051627	0.0053944	0.0052786	1.02	3.31 > 1.5	VAR

Çizelge 3.34 X-PRO Yazılımı Perdeli Sistem Detaylı Deprem Raporu Y Yönü B2 Düzensizliği Bölümü

Kat	h_i (m)	$(d_i)_{ort}$ (m)	$(\Delta_i)_{görel}$ (m)	η_{ki}	B2 Düzensizliği
6	3.000	0.0103103	0.0004564	0.00 < 1.5	YOK
5	3.000	0.0098538	0.0007356	0.62 < 1.5	YOK
4	3.000	0.0091182	0.0009999	0.58 < 1.5	YOK
3	3.000	0.0081183	0.0012461	0.55 < 1.5	YOK
2	3.000	0.0068721	0.0015935	0.56 < 1.5	YOK
1	6.000	0.0052786	0.0052786	0.77 < 1.5	YOK

Çizelge 3.33 ve Çizelge 3.34’de görüldüğü gibi aynı yapıya ait deprem raporlarında bulunan “ η_{ki} ” Rijitlik Düzensizliği Katsayıları farklıdır, çizelgeler dikkatli incelendiğinde görelî kat ötelenmelerinin aynı olduğu görülmektedir (Çizelgelerde koyu boyalı bölümler). Görelî kat ötelenmeleri aynı olduğu halde η_{ki} değerlerinin farklı olmasının nedeni; detaylı deprem raporunda görelî ötelenmelerin değil de ötelenmelerin oranlanmış olmasıdır, bu bir yazılım hatasıdır.

Detaylı deprem raporunda (Çizelge 3.34) 1.Kat’a bakacak olursak $\eta_{k1} = 0.0052786 / 0.0015935 = 3.31$ olması gerekirken $\eta_{k1} = 0.0052786 / 0.0068721 = 0.77$ olmuştur, $0.77 < 1.5$ olduğu için B2 Düzensizliği bulunamamıştır. Gerçekte $\eta_{k1} = 3.31 > 1.5$ ’tur ve B2 düzensizliği mevcuttur.

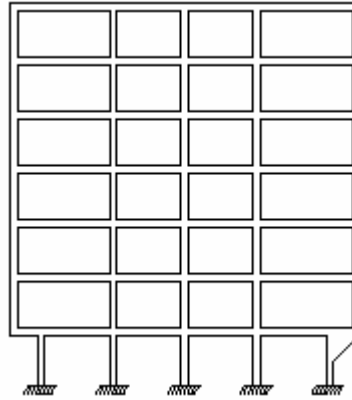
X-PRO’nun kısa deprem raporunda (Çizelge 3.33) B2 Düzensizliği belirlenebilmiştir. ($\eta_{k1} = 3.31 > 1.5$).

Bu durumda X-PRO kullanıcısı “Kısa Deprem Raporu”nu tercih ederse B2 Düzensizliğini tespit edebilecek “Detaylı Deprem Raporu”nu tercih ederse B2 düzensizliğini tespit edemeyecektir.

3.7.2.3 B3- Taşıyıcı sistemin düşey elemanlarının süreksizliğinin irdelenmesi

Taşıyıcı sistemin düşey elemanlarının (kolon veya perdelerin) bazı katlarda kaldırılarak kirişlerin veya guseli kolonların üstüne veya ucuna oturtulması, yada üst kattaki perdelerin altta kolonlara veya kirişlere oturtulması durumu (Dep. Yön. 1997)

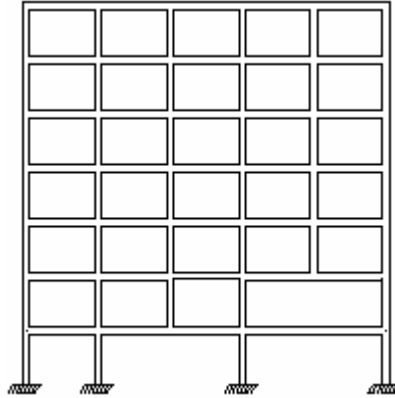
(a) Bütün deprem bölgelerinde, kolonların binanın herhangi bir katında konsol kirişlerin veya alttaki kolonlarda oluşturulan guselerin üstüne oturtulmasına hiçbir zaman izin verilmez.



Şekil 3.32 B3 düzensizliği (a) maddesi örneği

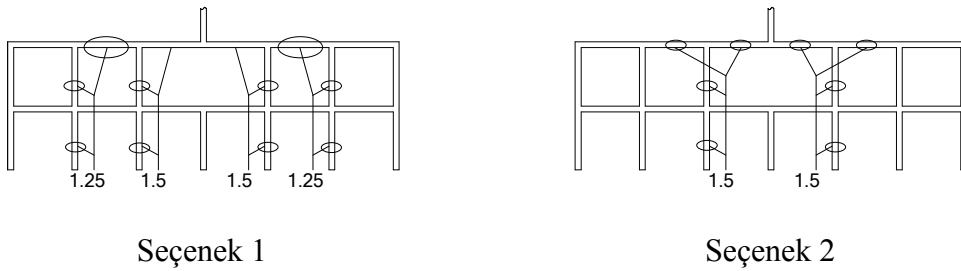
X-PRO ile Şekil 3.32’de verilen örnek çözülmüş ve bu durum Dep. Yön. 1997 ye göre yasak olmasına rağmen hiçbir uyarı ile karşılaşılmamıştır.

(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 3.33 B3 düzensizliği (b) maddesi örneği

X-PRO yazılımında bu tür düzensizlik durumu için Şekil 3.34'te verilen iki seçenek bulunmaktadır.



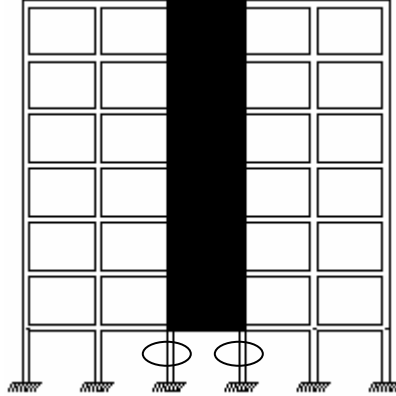
Seçenek 1

Seçenek 2

Şekil 3.34 X-PRO yazılımı B3 düzensizliği (b) maddesi analiz seçenekleri

Dep. Yön. 1997'ye uygun olan seçenek 2. seçenektir. Bu seçenek tercih edildiğinde işaretli elemanların iç kuvvetleri 1.5 kat (%50) artırılmaktadır. Ancak yazılımda varsayılan 1. seçenektir ve bu seçenekte, şekilde de görüldüğü gibi, kolonun oturduğu kirişin düğüm noktalarına bağlanan komşu kirişlerin iç kuvvet değerleri %50 yerine %25 arttırılmıştır. Bu durum Dep. Yön. 1997'ye aykırıdır. X-PRO kullanıcısı otomatik olarak karşısına çıkan "Seçenek 1" i tercih edecek olursa Dep. Yön. 1997 Madde 6.3.2.5 (b)' ye uygun olmayan bir proje üretmiş olacaktır.

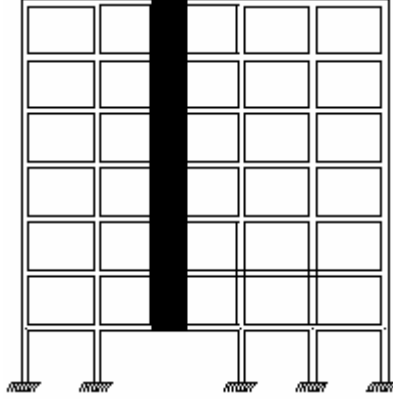
(c) Üst kattaki perdenin her iki ucundan altta kolonlara oturtulması durumunda, bu kolonlarda düşey yükler ve depremin ortak etkisinden oluşan tüm iç kuvvet değerleri %50 arttırılacaktır. Bu tür düzensizliğin bulunduğu betonarme binalarda ayrıca 7.3.4.3’ te verilen koşul uygulanacaktır.



Şekil 3.35 B3 düzensizliği (c) maddesi örneği (Bu tür sistemler Dep. Yön. 2007’de yasaklanmıştır)

X-PRO ile Şekil 3.35’te verilen örnek çözülmüştür. Sonuç olarak B3 düzensizliği ile ilgili hiçbir uyarı ile karşılaşılmamıştır. Perdenin oturduğu kolonlarda uygulanması gereken %50 lik iç kuvvet artırımının yapıp yapılmadığına ilişkin herhangi bir uyarı ve bilgi yoktur. Bu kolonlar için Dep. Yön 1997’nin öngördüğü Madde 7.3.4.3 uygulanmamıştır. Dep. Yön 1997 Madde 7.3.4.3’e göre “perdenin oturduğu iki kolonun sarılma bölgesine konulan enine donatı bu kolonların orta bölgesinde de aynen devam ettirilecektir ayrıca bu durumda enine donatı, perde içine kenetlenme boyu kadar uzatılan kolon donatıları boyunca da devam ettirilecektir.” denilmesine rağmen bu kolonların orta bölgesi seyrek sarılmıştır.

(d) Perdelerin binanın herhangi bir katında, kendi düzlemleri içinde kirişlerin üstüne açıklık ortasında oturtulmasına hiçbir zaman izin verilmez.



Şekil 3.36 B3 düzensizliği (d) maddesi örneği

X-PRO yazılımı ile şekilde verilen örnek çözülmüş ve bu durum Dep. Yön. 1997 ye göre yasak olmasına rağmen hiçbir uyarı ile karşılaşılmamıştır. Ayrıca yasak olan bu durum için (b) maddesinde öngörülen yaptırımlar uygulanmıştır. Bu tür yaptırımlara gerek yoktur çünkü bu durum zaten yasaktır ve uygulanamaz.

3.8 X-PRO Yazılımı ile Göreli Kat Ötelemelerinin Sınırlandırılmasının İrdelenmesi

Dep. Yön. 1997 Madde 6.10.1.1 :

Herhangi bir kolon veya perde için, ardışık iki kat arasındaki yerdeğiştirme farkını ifade eden *görelî kat ötelemesi*, Δ_i , Denk.(6.19) ile elde edilecektir.

$$\Delta_i = d_i - d_{i-1} \quad (6.19)$$

Denk.(6.19)'da d_i ve d_{i-1} , binanın i 'inci ve $(i - 1)$ 'inci katlarında herhangi bir kolon veya perdenin uçlarında hesaptan elde edilen yatay yer değıştirmeleri göstermektedir.

Dep. Yön. 1997 Madde 6.10.1.2 :

Her bir deprem doğrultusu için, binanın herhangi i'inci katındaki kolon veya perdelerde, Denk. (6.19) ile hesaplanan görelî kat ötelemelerinin kat içindeki en büyük değeri $(\Delta_i)_{\max}$, Denk. (6.20)'de verilen koşulların elverişsiz olanını sağlayacaktır.

$$(\Delta_i)_{\max} / h_i \leq 0.0035 \quad ^1) \quad (6.20a)$$

$$(\Delta_i)_{\max} / h_i \leq 0.02 / R \quad ^2) \quad (6.20b)$$

Dep. Yön. 1997 Madde 6.10.1.3 :

Denk. (6.20)'de verilen koşulun binanın herhangi bir katında sağlanamaması durumunda, taşıyıcı sistemin rijitliği artırılarak deprem hesabı tekrarlanacaktır. Ancak verilen koşul sağlansa bile, yapısal olmayan gevrek elemanların (cephe elemanları vb), elde edilen görelî kat ötelemeleri altında kullanılabilirliği hesapla doğrulanmalıdır.

X-PRO yazılımı Dep. Yön. 1997 Madde 6.10.1.2, Denk. (6.20) ile verilen kontrolleri yaparak sağlanmaması durumunda kullanıcıyı uyarılmaktadır.

¹⁾ Dep. Yön. 2007'de bu denklem bulunmamaktadır.

²⁾ Dep. Yön. 2007'de bu denklem $(\delta_i)_{\max} / h_i \leq 0.02$ olmuştur.

3.9 X-PRO Yazılımı ile İkinci Mertebe Etkilerinin İrdelenmesi

Dep. Yön. 1997 Madde 6.10.2 :

Taşıyıcı sistem elemanlarının doğrusal elastik olmayan davranışını esas alan daha kesin bir hesap yapılmadıkça, ikinci mertebe etkileri Dep. Yön. 1997 Madde 6.10.2.1'e göre gözönüne alınabilir.

Dep. Yön. 1997 Madde 6.10.2.1 :

Gözönüne alınan deprem doğrultusunda her bir katta, *İkinci Mertebe Gösterge Değeri*, θ_i 'nin Denk. (6.21) ile verilen koşulu sağlaması durumunda, ikinci mertebe etkileri yürürlükteki betonarme ve çelik yapı yönetmeliklerine göre değerlendirilecektir.

$$\theta_i = \frac{(\Delta_i)_{ort} \sum_{j=1}^N w_j}{V_i h_i} \leq 0.12 \quad (6.21)$$

Burada $(\Delta_i)_{ort}$, i'inci kattaki kolon ve perdelerde hesaplanan göreceli kat ötelemelerinin kat içindeki ortalama değeri olarak Dep. Yön. 1997 Madde 6.10.1.1'e göre bulunacaktır.

Dep. Yön. 1997 Madde 6.10.2.2 :

Denk.(6.21)'deki koşulun herhangi bir katta sağlanamaması durumunda, taşıyıcı sistemin rijitliği yeterli ölçüde artırılarak deprem hesabı tekrarlanacaktır.

X-PRO yazılımı Dep. Yön. 1997 Madde 6.10.2.1, Denk. (6.21) ile verilen kontrolü yaparak sağlanmaması durumunda kullanıcıyı uyarılmaktadır.

3.10 X-PRO Yazılımı ile Yapı Davranış Katsayısının İrdelenmesi

3.10.1 Dep. Yön. 1997 ilgili maddeleri

BİNA TAŞIYICI SİSTEMİ	Süneklik Düzeyi Normal Sistemler	Süneklik Düzeyi Yüksek Sistemler
<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, üstteki bağlantıları mafsallı olan kolonlar tarafından taşındığı tek katlı binalar.....	—	5
(2.3) Deprem yüklerinin tamamının prefabrike veya yerinde dökme boşluksuz ve/veya bağ kirişli (boşluklu) perdelerle taşındığı, çerçeve bağlantıları mafsallı olan prefabrike 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, üstteki bağlantıları mafsallı olan kolonlar tarafından taşındığı tek katlı binalar.....	4	6
(3.3) Deprem yüklerinin tamamının çaprazlı perdeler veya yerinde dökme betonarme perdeler tarafından taşındığı binalar		
(a) Çaprazların merkezi olması durumu.....	3	—
(b) Çaprazların dışmerkez olması durumu.....	—	7
(c) Betonarme perdelerin kullanılması durumu.....	4	6
(3.4) Deprem yüklerinin çerçeveler ile birlikte çaprazlı çelik perdeler veya yerinde dökme betonarme perdeler tarafından birlikte taşındığı binalar		
(a) Çaprazların merkezi olması durumu.....	4	—
(b) Çaprazların dışmerkez olması durumu.....	—	8
(c) Betonarme perdelerin kullanılması durumu.....	4	7

Şekil 3.37 Dep. Yön. 1997 Tablo (6.5)

Dep. Yön. 1997 Madde 6.5.1.3 :

Birinci ve ikinci deprem bölgelerinde, aşağıda belirtilen betonarme binalarda *süneklik düzeyi yüksek sistemler*'in kullanılması zorunludur :

- (a) Taşıyıcı sistemi sadece çerçevelerden oluşan binalar,
- (b) Taşıyıcı sistemden bağımsız olarak, *Dep. Yön. 1997 Tablo 6.3*'e göre Bina Önem Katsayısı $I = 1.5$ ve $I = 1.4$ olan tüm binalar (Bu tür binalarda, *Dep. Yön. 1997 Madde 6.5.4.2*'de tanımlanan *süneklik düzeyi bakımından karma taşıyıcı sistemler* kullanılabilir).

Dep. Yön. 1997 Madde 6.5.1.4 :

Aşağıda *Dep. Yön. 1997 Madde 6.5.3.1*'de belirtilen sistemler hariç olmak üzere, taşıyıcı sistemi sadece *süneklik düzeyi normal* çerçevelerden oluşan betonarme binalar, üçüncü ve dördüncü derece deprem bölgelerinde $H_N \leq 25m$ olmak koşulu ile yapılabilir. Bu binaların $H_N > 25m$ durumunda yapılabilmesi için aşağıda **Dep. Yön. 1997 Madde 6.5.3.2**'de verilen kurallara uyulması zorunludur.

Dep. Yön. 1997 Madde 6.5.2 Süneklik Düzeyi Yüksek Betonarme Boşluksuz Perdeli – Çerçevesiz Sistemlere İlişkin Koşullar :

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

Dep. Yön. 1997 Madde 6.5.2.1 :

Bu tür sistemlerde *Dep. Yön. 1997 Tablo 6.5*'te verilen $R=7$ katsayısının kullanılabilmesi için, boşluksuz perdelerin tabanında deprem yüklerinden meydana gelen eğilme momentlerinin toplamı, binanın tümü için tabanda meydana gelen toplam devrilme momentinin %75'inden daha fazla olmayacaktır ($\alpha_M \leq 0.75$).

Dep. Yön. 1997 Madde 6.5.2.2 :

Yukarıdaki koşulun sağlanamaması durumunda, $0.75 < \alpha_M < 1.0$ aralığında kullanılacak **R** katsayısı, $R = 10 - 4\alpha_M$ bağıntısı ile belirlenecektir.

Dep. Yön. 1997 Madde 6.5.3 Süneklik Düzeyi Normal Bazı Sistemlerde Perde Kullanım Zorunluluğuna İlişkin Koşullar:

Dep. Yön. 1997 Madde 6.5.3.1 :

Kirişsiz döşemeli betonarme sistemler ile kolon ve kirişleri *Dep. Yön. 1997 Madde 7.3, 7.4 ve 7.5*'te verilen koşullardan herhangi birini sağlamayan dolgulu veya dolgunsuz dişli ve kaset döşemeli sistemler, *süneklik düzeyi normal sistemler* olarak göz önüne alınacaktır. Bu sistemler, binada perde kullanılmaması durumunda, sadece üçüncü ve dördüncü deprem bölgelerinde ve $H_N \leq 13m$ olmak koşulu ile yapılabilir.

Dep. Yön. 1997 Madde 6.5.3.2 :

Yukarıda *Dep. Yön. 1997 Madde 6.5.1.4*'te tanımlanan binaların $H_N > 25m$ durumunda yapılabilmesi, *Dep. Yön. 1997 Madde 6.5.3.1*'de tanımlanan taşıyıcı sistemlerin ise birinci ve ikinci derece deprem bölgelerinde veya $H_N > 13m$ olması durumunda üçüncü ve dördüncü derece deprem bölgelerinde uygulanabilmesi için, binanın tüm yüksekliği boyunca devam eden ve aşağıdaki koşulları sağlayan süneklik düzeyi normal veya yüksek betonarme boşluksuz ya da bağ kirişli (boşluklu) perdelerin kullanılması zorunludur.

(a) Taşıyıcı sistemde *süneklik düzeyi normal* perdelerin kullanılması durumunda, her bir deprem doğrultusunda, deprem yüklerine göre perdelerin tabanında elde edilen eğilme momentlerinin toplamı, binanın tümü için tabanda meydana gelen toplam devrilme momentinin %75'inden daha fazla olacaktır (Perde tabanındaki eğilme momentlerinin hesabında perdeler düzlemi içerisinde saplanan kirişlerin uçlarında depremden meydana gelen kesme kuvvetlerinin katkısı da göz önüne alınabilir)

(b) Taşıyıcı sistemde *süneklik düzeyi yüksek* perdelerin kullanılması durumunda, aşağıda karma taşıyıcı sistemler için verilen *Dep. Yön. 1997 Madde 6.5.4.2* uygulanacaktır.

Dep. Yön. 1997 Madde 6.5.4 Karma Taşıyıcı Sistemlere İlişkin Koşullar :

Dep. Yön. 1997 Madde 6.5.4.1 :

Aşağıda *Dep. Yön. 1997 Madde 6.5.4.2 ve 6.5.4.3*'te belirtilen durumlar hariç olmak üzere, *Dep. Yön. 1997 Tablo 6.5*'te tanımlanan yatay yük taşıyıcı sistemlerin iki yatay deprem doğrultusunda birbirinden farklı olması veya herhangi bir doğrultuda karma olarak kullanılması durumunda, değeri en küçük olan R katsayısı her iki doğrultuda da tüm binaya uygulanacaktır.

Dep. Yön. 1997 Madde 6.5.4.2 :

Yukarıda *Dep. Yön. 1997 Madde 6.5.3.2*'de belirtilen betonarme sistemler ile *süneklik düzeyi normal* kiriş ve kolonlardan oluşan çelik çerçeveli sistemlerin, *süneklik düzeyi yüksek* perdelerle bir arada kullanılması mümkündür. Bu şekilde oluşturulan *süneklik düzeyi bakımından karma sistemler*'de, aşağıda belirtilen koşullara uyulmak kaydı ile, *süneklik düzeyi yüksek boşluksuz, bağ kirişli (boşluklu) betonarme perdeler veya çelik binalar için dışmerkez çaprazlı çelik perdeler* kullanılabilir.

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

(b) Her iki deprem doğrultusunda da $\alpha_M \geq 2/3$ olması durumunda, *Dep. Yön. 1997 Tablo 6.5*'te deprem yüklerinin tamamının *süneklik düzeyi yüksek perde* tarafından taşındığı durum için verilen R katsayısı ($R = R_{YP}$), taşıyıcı sistemin tümü için kullanılabilir.

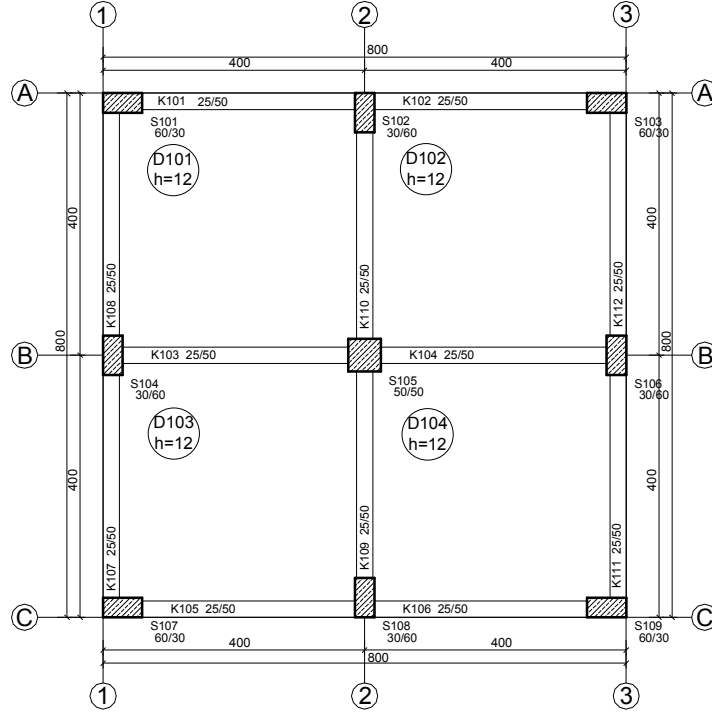
(c) $0.4 < \alpha_M < 2/3$ aralığında ise, her iki deprem doğrultusunda da taşıyıcı sistemin tümü için $R = R_{NÇ} + 1.5 \alpha_M (R_{YP} - R_{NÇ})$ bağıntısı uygulanacaktır.

Dep. Yön. 1997 Madde 6.5.4.3 :

Binaların bodrum katlarının çevresinde kullanılan rijit betonarme perde duvarları, *Dep. Yön. 1997 Tablo 6.5*'te yer alan perdeli veya perdeli-çerçeve sistemlerin bir parçası olarak göz önüne alınmayacaktır. Bu tür binaların hesabında izlenecek kurallar *Dep. Yön. 1997 Madde 6.7.2.4 ve 6.8.3.2*'de verilmiştir.

Dep. Yön. 1997'deki taşıyıcı sistem davranış katsayısı "R"nin belirlenmesi ile ilgili maddeler Dep. Yön. 2007'de değişmiştir.

3.10.2 İrdeleme



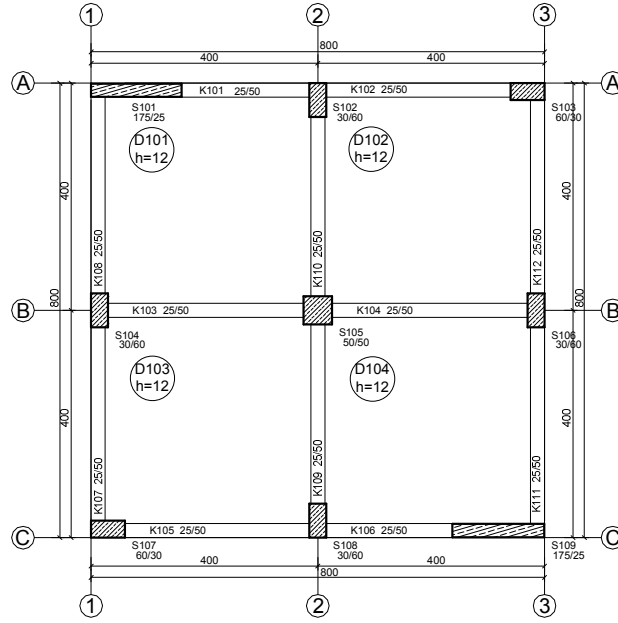
C25/S420a, $A_0 = 0.30$, $R = 4$, $I = 1$, Yerel Zemin Sınıfı = Z2, Kat yüksekliği = 3 m

Şekil 3.38 R katsayısı 1.örnek

Şekil 3.38’de kalıp planı verilen 6 katlı, $H_N = 18\text{m}$ olan sistem $R = 4$ alınarak X-PRO ile çözüldüğünde, sistem 2. derece deprem bölgesinde bulunduğu ve sistemde perde bulunmadığı için, süneklik düzeyinin yüksek olması gerektiği konusunda uyarıda bulunmuş ancak $R = 8$ alınması gerektiğini belirtmemiştir. Bu durum üzerine $R = 7$ alınarak bir çözüm daha yapılmış ve X-PRO hiçbir uyarı yapmamıştır. Sistem sadece çerçevelerden oluştuğu ve 2. derece deprem bölgesinde bulunduğu için süneklik düzeyinin yüksek olması zorunludur ve alınması gereken katsayı $R=8$ ’dir. Bu sistemde $R=7$ alınması durumunda, güvenli tarafta kalındığı halde, en azından X-PRO’nun kullanıcıyı uyarması gerekirdi.

Aynı sistem X-PRO ile $R = 4$ katsayısı ile 3. derece deprem bölgesinde çözüldüğünde, bu yapıda $H_N > 13m$ olduğu için, süneklik düzeyinin yüksek olması gerektiği konusunda uyarı yapmıştır. Ancak bu koşul *Dep. Yön. 1997 Madde 6.5.3.1*'de tanımlanan yapılar için geçerlidir ve Şekil 3.38'deki sistem bu tanıma girmemektedir. Bu sistem $H_N < 25m$ olduğu için üçüncü ve dördüncü derece deprem bölgelerinde süneklik düzeyi normal olarak $R = 4$ katsayısıyla hesaplanabilir.

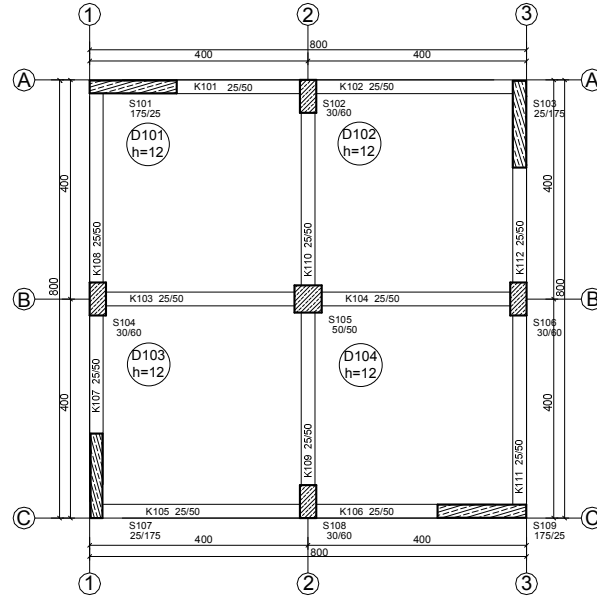
Şekil 3.38'de verilen sistemdeki S101 kolonu yerine 210cm / 30cm'lik perde tanımlanarak bu sistem 2. derece deprem bölgesinde $R = 4$ katsayısı ile çözülmüştür. X-PRO yazılımı süneklik düzeyi yüksek sistem için $R = 7$, süneklik düzeyi normal sistem için $R = 4$ olması gerektiği konusunda uyarı yapmıştır. Bu durum deprem yönetmeliğinin bir çelişkisi olarak değerlendirilebilir: Taşıyıcı sistemi sadece çerçevelerden oluşan bir sistem, *Dep. Yön. 1997 Madde 6.5.1.3 (a)*'ya göre 1. ve 2. derece deprem bölgelerinde süneklik düzeyi yüksek olarak tasarlanmak zorundadır. Böyle bir sisteme bir tek perde eklendiğinde, *Dep. Yön. 1997 Tablo 6.5 (1.4)*'e göre süneklik düzeyi normal olarak da tasarlanabilmektedir. Duruma tersten bakarsak, taşıyıcı sistemi sadece çerçevelerden oluşan bir sistem süneklik düzeyi yüksek ($R = 8$) olarak hesaplanabilir. Bu sisteme bir tek perde eklendiğinde *Dep. Yön. 1997 Tablo 6.5 (1.4)*'e göre $R = 7$ almak gerekmektedir.



C25/S420a, $A_0 = 0.30$, $R = 7$, $I = 1$, Yerel Zemin Sınıfı = Z2, Kat yüksekliği = 3 m

Şekil 3.39 R katsayısı 2.örnek

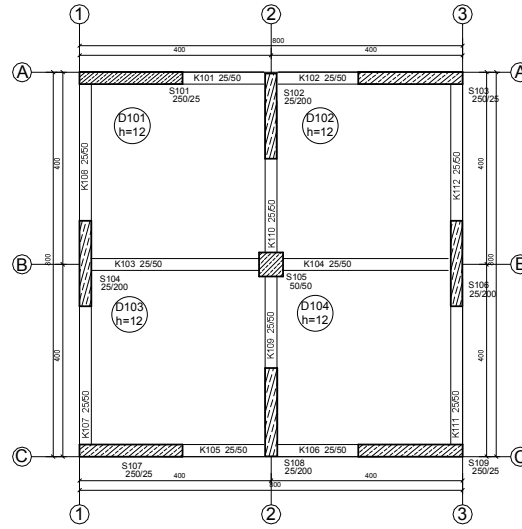
Şekil 3.39’da kalıp planı verilen 6 katlı sistem $R = 7$ alınarak X-PRO ile çözülmüştür. Analiz sonucunda yazılım perde taban moment oranlarını $\alpha_{MX} = 0.45$, $\alpha_{MY} = 0$ olarak belirlemiştir. Bu sistemde α_{MY} değeri **0.40**’ın altında olduğu için *Dep. Yön. 1997 Madde 6.5.4.2 (c)* maddesi uygulanmamıştır. X-PRO süneklik düzeyi yüksek sistem için $R = 7$, süneklik düzeyi normal sistem için $R = 4$ olması gerektiği uyarısını yapmıştır.



C25/S420a, $A_0 = 0.30$, $R = 7$, $I = 1$, Yerel Zemin Sınıfı = Z2, Kat yüksekliği = 3 m

Şekil 3.40 R katsayısı 3.örnek

Şekil 3.40'da kalıp planı verilen 6 katlı sistem $R = 7$ alınarak X-PRO yazılımı ile çözülmüştür. Analiz sonucunda X-PRO perde taban moment oranlarını $\alpha_{MX} = 0.48$, $\alpha_{MY} = 0.41$ olarak belirlemiştir. Her iki yönde $0.4 < \alpha_M < 2/3$ olduğundan *Dep. Yön. 1997 Madde 6.5.4.2 (c)* uygulanabilir. X-PRO bu maddeye göre süneklik düzeyi bakımından karma bir sistem için $R = R_{NÇ} + 1.5 \alpha_M (R_{YP} - R_{NÇ})$ bağıntısından $R = 4 + 1.5 \cdot 0.41 (6 - 4) = 5.23$ alınarak hesap yapılabileceği uyarısını yapmıştır.



C25/S420a, $A_0 = 0.30$, $R = 7$, $I = 1$, Yerel Zemin Sınıfı = Z2, Kat yüksekliği = 3 m

Şekil 3.41 R katsayısı 4.örnek

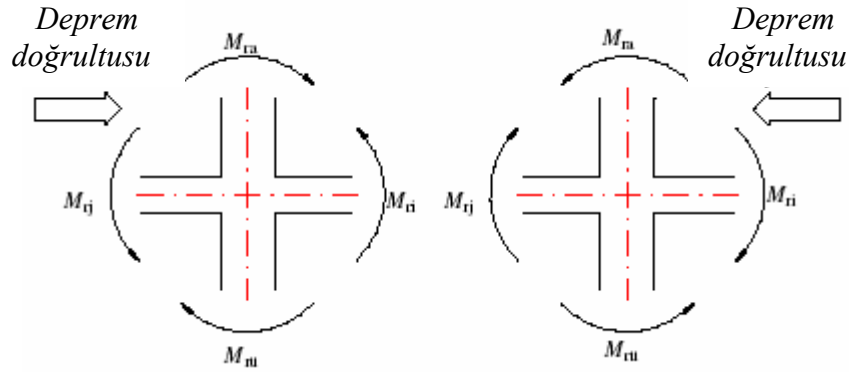
Şekil 3.41’de kalıp planı verilen 6 katlı sistem $R = 7$ alınarak X-PRO yazılımı ile çözülmüştür. Analiz sonucunda X-PRO perde taban moment oranlarını $\alpha_{MX} = 0.77$ ve $\alpha_{MY} = 0.78$ olarak belirlemiştir. $\alpha_{MX} = 0.77 > 0.75$ ve $\alpha_{MY} = 0.78 > 0.75$ olduğundan *Dep. Yön. 1997 Madde 6.5.2*’ye uygun bir sistem için $R = 10 - 4 \cdot 0.78 = 6.86$ alınmalıdır. *Dep. Yön. 1997 Madde 6.5.4.2*’ye uygun bir sistem için ($\alpha_{MX} = 0.77 > 0.67$ ve $\alpha_{MY} = 0.78 > 0.67$) $R = 6$ alınarak hesap yapılmalıdır. Yazılım gerekli uyarıları yapmıştır.

3.11 X-PRO Yazılımı ile Kolonların Kirişlerden Daha Güçlü Olması Koşulunun İrdelenmesi

Dep. Yön. 1997 Madde 7.3.5.1 :

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 taşıma gücü momentleri toplamından en az % 20 daha büyük olacaktır. Şekil (3.42)

$$(M_{ra} + M_{rü}) \geq 1.2 (M_{ri} + M_{rj}) \quad (7.3)$$



Şekil 3.42 Dep. Yön. 1997 (Şekil 7.4)

Dep. Yön. 1997 Madde 7.3.5.2 :

Denk. (7.3)'ün uygulanabilmesi için, düğüm noktasına birleşen kirişlerin Dep. Yön. 1997 Madde 7.4.1.1'de verilen boyut koşullarını sağlaması zorunludur.

Dep. Yön. 1997 Madde 7.3.5.3 :

Denk. (7.3), her bir deprem doğrultusunda ve depremin her iki yönü için elverişsiz sonuç verecek şekilde ayrı ayrı uygulanacaktır (Şekil 7.4). Kolon taşıma gücü momentlerinin hesabında, depremin yönü ile uyumlu olarak bu momentleri *en küçük yapan* N_d aksenal kuvvetleri göz önüne alınacaktır.

Dep. Yön. 1997 Madde 7.3.5.4 :

Denk. (7.3)'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. (7.3)**'ün sağlanması zorunlu değildir.

(b) Tek katlı binalarda ve çok katlı binaların en üst katındaki düğüm noktalarında **Denk. (7.3)**'ün sağlanıp sağlanmadığına bakılmayacaktır.

(c) Kirişlerin saplandığı perdenin zayıf doğrultuda kolon gibi çalışması durumunda, **Denk. (7.3)**'ün sağlanıp sağlanmadığına bakılmayacaktır.

X-PRO yazılımı kolonların kirişlerden daha güçlü olması koşulu ile ilgili kontrolleri Dep. Yön. 1997'ye uygun şekilde yapmaktadır.

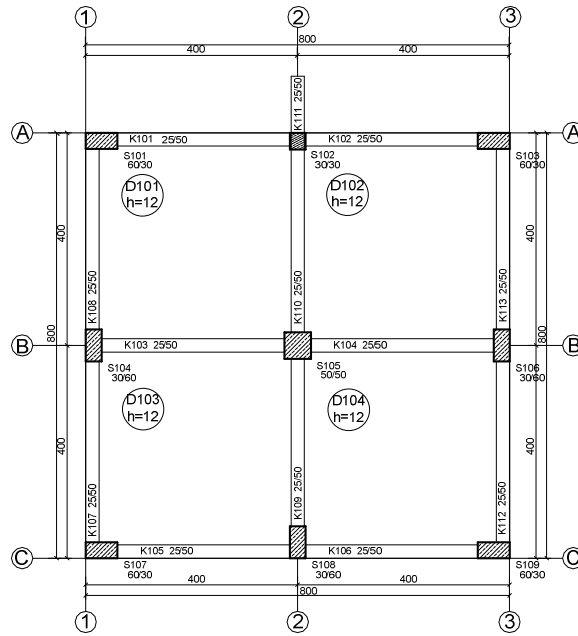
3.12 X-PRO Yazılımı ile Süneklik Düzeyi Yüksek Çerçeve Sistemlerinde Kolon – Kiriş Birleşim Bölgelerinin İrdelenmesi

Dep. Yön. 1997 Madde 7.5.1 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/S420a, $A_0 = 0.30$, $R = 8$, $I = 1$, Yerel Zemin Sınıfı = Z2

Şekil 3.43 Kolon-Kiriş birleşim bölgesi irdeleme örneği

Şekil 3.43'te kalıp planı verilen yapı X-PRO yazılımı ile çözülmüş ve Kuşatılmış ve kuşatılmamış birleşimler açısından değerlendirilmiştir, 30 cm / 30 cm boyutlarındaki S102 kolonuna kalıp planında görüldüğü gibi 25 cm / 50 cm boyutlarındaki kirişler dört tarafından birleşmiştir ve her bir kirişin genişlikleri S102 kolonu genişliğinin 3/4'ünden büyüktür, yalnız görüldüğü gibi K111 kirişi konsol kiriştir ve bu nedenle X-PRO yazılımı çok doğru bir şekilde bu birleşimi kuşatılmamış birleşim olarak değerlendirmiştir. Çünkü K111 kirişi kolon – kiriş birleşiminde Poisson etkisini arttırıcı bir katkı yapmayacaktır bu nedenle kuşatılmamış birleşim olarak değerlendirilmesi daha doğrudur.

Aynı sistemde K111 kirişinin ucuna bir kolon tanımlandığında S102 kolonu X-PRO yazılımı tarafından yine doğru bir şekilde bu sefer kuşatılmış birleşim olarak değerlendirilmiştir. Bu durumda K111 kirişinin yanal hareketi engelleneceği için S102 kolonu ile birleşim noktasında Poisson etkisini arttıracaktır, *Dep. Yön. 1997 Madde 7.5.1 (a)* maddesindeki şartları da sağladığı için bu birleşim kuşatılmış birleşim olacaktır.

Dep. Yön. 1997 Madde 7.5.2 Kolon – Kiriş Bölgelerinin Kesme Güvenliği :

Dep. Yön. 1997 Madde 7.5.2.1 :

Göz önüne alınan deprem doğrultusunda kolon – kiriş birleşim bölgelerindeki kesme kuvveti, **Denk. (7.11)** ile hesaplanacaktır.

$$V_e = 1.25 f_{yk} (A_{s1} + A_{s2}) - V_{kol} \quad (7.11)$$

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

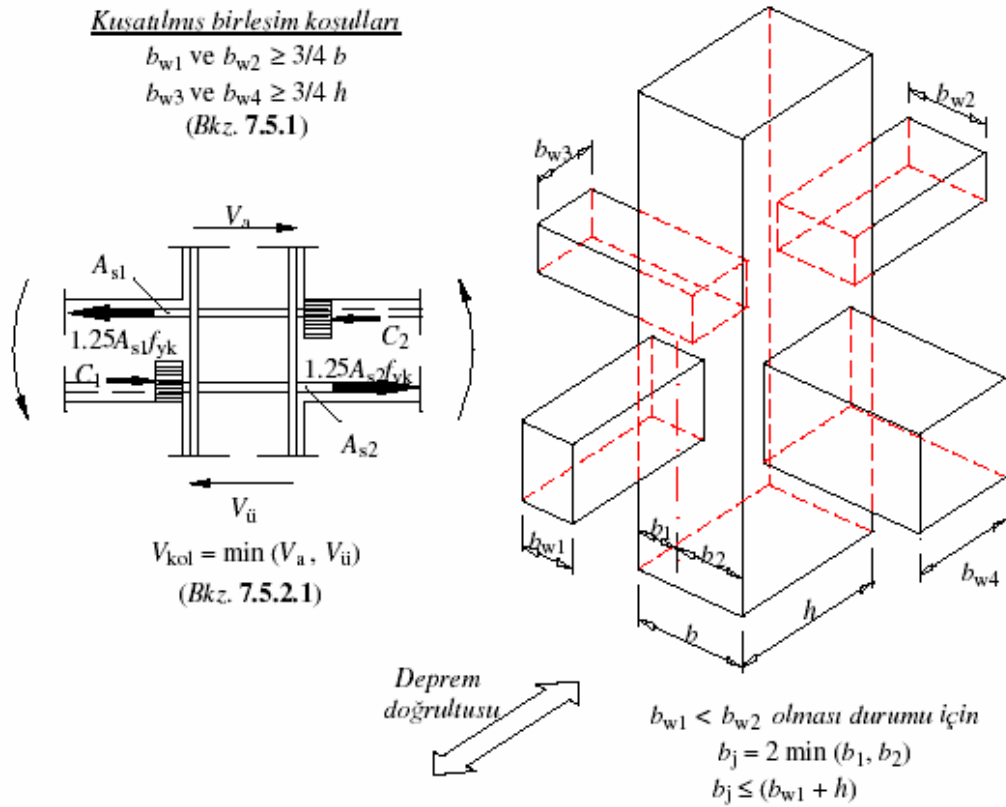
Dep. Yön. 1997 Madde 7.5.2.2 :

Herhangi bir birleşim bölgesinde **Denk. (7.11)** hesaplanan kesme kuvveti, göz önüne alınan deprem doğrultusunda hiçbir zaman aşağıda verilen sınırları aşmayacaktır. (Şekil 3.44 Dep. Yön. 1997 Şekil 7.10)

Bu sınırların aşılması durumunda, kolon ve/veya kiriş kesit boyutları büyütülerek deprem hesabı tekrarlanacaktır.

a) Kuşatılmış birleşimlerde $V_e \leq 0.60 b_j h f_{cd}$ (7.12)

b) Kuşatılmamış birleşimlerde $V_e \leq 0.45 b_j h f_{cd}$ (7.13)



Şekil 3.44 Dep. Yön. 1997 (Şekil 7.10)

X-PRO yazılımında A_{s1} ve A_{s2} hesaplanırken donatıların birbirine bindirme yapıldığı mesnetlerde bindirme yapılan donatıların tamamı dikkate alınmamaktadır. Bu durum kesme kuvveti V_e 'nin hesabını güvensiz tarafta bırakmaktadır.

3.13 X-PRO Yazılımı ile Kısa Kolon Oluşumunun İrdelenmesi

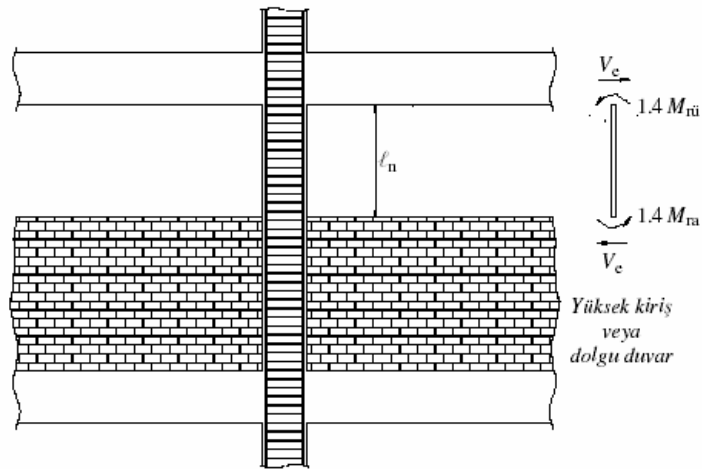
Dep. Yön. 1997 Madde 7.3.8 Kısa Kolonlara İlişkin Koşullar :

Kısa kolonlar, taşıyıcı sistem nedeni ile veya dolgu duvarlarında kolonlar arasında bırakılan boşluklar nedeni ile oluşabilirler (Şekil 3.45 Dep. Yön. 1997 Şekil 7.6). Kısa kolon oluşumunun engellenemediği durumlarda, enine donatı hesabına esas alınacak kesme kuvveti **Denk. (7.5)** ile hesaplanacaktır. **Denk. (7.5)**'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, ℓ_n ise kısa kolonun boyu olarak alınacaktır. Ancak hesaplanan kesme kuvveti **Denk. (7.7)** verilen koşulları sağlayacaktır. Kısa kolon boyunca *Dep. Yön. 1997 Madde 7.3.4.1*'de kolonların sarılma bölgeleri için tanımlanan minimum enine donatı ve yerleştirme koşulları uygulanacaktır. Dolgu duvarları arasında kalarak kısa kolon durumuna düşen kolonlarda, enine donatılar tüm kat yüksekliğince devam ettirilecektir (Şekil 3.45 Dep. Yön. 1997 Şekil 7.6).

$$V_e = (M_a + M_{\bar{u}}) / \ell_n \quad (7.5)$$

$$V_e \leq V_r \quad (7.7a)$$

$$V_e \leq 0.22 A_w f_{cd} \quad (7.7b)$$



Şekil 3.45 Dep. Yön. 1997 Şekil 7.6

X-PRO yazılımı bir katta, yüksek kirişlerin bulunması yada ara sahanlık kirişleri bulunması nedeniyle, kısa kolon olduğu zaman bunu tespit edebilmekte ve *Dep. Yön. 1997 Madde 7.3.8*'in öngördüğü koşulları yerine getirmektedir.

Ancak kısa kolon dolgu duvarları nedeniyle oluşuyorsa (örneğin bant pencereler) X-PRO bu durumu tespit edememekte, gerekli önlemleri alamamaktadır. X-PRO kullanıcısı kısa kolon durumunu kendisi tespit ederek gerekli önlemleri almak zorunda kalmaktadır. Tasarım aşamasında yapılması gerekenler *Dep. Yön. 1997 Madde 7.3.8*'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.

3.14 X-PRO Yazılımının Yapısal Çözümleme ve Kesit Hesap Raporları ile Deprem Hesap Raporlarının İrdelenmesi

Bu konuyla ilgili yönetmelik hükümleri şöyledir :

TS 500-2000 Madde 2.2 Yapısal Çözümleme ve Kesit Hesapları

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

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

Dep. Yön. 1997 Madde 6.13: Deprem Hesap Raporlarına İlişkin Kurallar

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

Dep. Yön. 1997 Madde 6.13.1 :

Tasarımı yapılan bina için, **Tablo 6.1**'de tanımlanan düzensizlik türleri ayrıntılı olarak irdelenecek, eğer varsa, binada hangi tür düzensizliklerin bulunduğu açık olarak belirtilecektir.

Dep. Yön. 1997 Madde 6.13.2 :

Seçilen süneklik düzeyi yüksek veya normal taşıyıcı sistemin Bölüm 7 veya Bölüm 8'deki koşullara göre tanımı açık olarak yapılacak ve Tablo 6.5'ten R katsayısının seçim nedeni belirtilecektir.

Dep. Yön. 1997 Madde 6.13.3 :

Binanın bulunduğu deprem bölgesi, bina yüksekliği ve taşıyıcı sistem düzensizlikleri göz önüne alınarak, Dep. Yön. 1997 Madde 6.6'ya göre uygulanacak hesap yönteminin seçim nedeni açık olarak belirtilecektir.

Dep. Yön. 1997 Madde 6.13.4 :

Bilgisayarla hesap yapılması durumunda, aşağıdaki kurallar uygulanacaktır:

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

(b) Tüm giriş bilgileri ile iç kuvvetleri ve yer değiştirmeleri de içeren çıkış bilgileri, kolayca anlaşılır biçimde mutlaka hesap raporunda yer alacaktır.

(c) Hesapta kullanılan bilgisayar yazılımının adı, müellifi, 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:

X-PRO yazılımı yukarıdaki yönetmelik yaptırımlarının çoğunluğunu yerine getirmemektedir.

Hesap raporlarında kullanıcının kişisel tercihleri listelenmektedir. Ancak genelde yönetmeliklerde yer almayan tanımlama, kısaltma ve simgeler içermektedir. Gerçi kullanıcı menüdeki şekiller yardımıyla bunların ne anlama geldiğini anlayabilmektedir fakat proje denetçisinin böyle bir şansı yoktur. Çünkü bu yardımcı şekiller hesap raporlarında yer almamakta, kullanılan kısaltma ve simgeler açıklanmamaktadır.

Hesap raporları genelde tablolardan oluşmaktadır. Bazı büyüklükler TS 500-2000 ve Dep. Yön. 1997'deki simgelerinden farklı ifade edilmiştir. Bu durum hesap raporlarının anlaşılmasını güçleştirmekte ve bazen imkansız kılmaktadır.

Hesap raporlarında bazı büyüklüklerin birimleri belli değildir. Bu birim kargaşası bilgi girişi ve analiz sonuçları bölümlerinde de mevcuttur. Örneğin kuvvet birimi olarak (kN), uzunluk birimi olarak (m) seçilmişken analiz sonuçları bölümünde bütün büyüklükler (kN) ve (m) ile ifade edilirken kiriş yükleri (t) ve (m) ile ifade edilmekte bu durum kullanıcının aklında soru işareti bırakmaktadır.

Deprem hesap raporlarında A2, A3 ve B3 düzensizliklerinin kontrollerine hiç değinilmemekte en azından bu düzensizliklerin bulunup bulunmadığı irdelenip sonuçları gösterilmemektedir. Bu durum Dep. Yön. 1997 Madde 6.13.1'e aykırıdır.

Hesap raporlarında ve genel olarak yazılımın bütününde kullanılan ifadeler açık ve net değildir. Anlaşılması zor, yoruma açık ifadeler sıklıkla kullanılmaktadır.

Düğüm noktalarının ve elemanların numaralarını gösteren üç boyutlu taşıyıcı sistem şeması oluşturulup hesap raporlarına eklenebilmektedir (Dep. Yön. 1997 Madde 6.13.4 (a) sağlanıyor).

Yazılımın Dep. Yön 1997 6.13.4 (d) maddesinde hesaplara eklenmesi istenen "teorik açıklama ve kullanma kılavuzu" eksik ve hatalı bilgiler içermektedir.

X-PRO yazılımında hesap raporlarında kullanılan beton sınıfı belirtilmekte ancak donatı çeliği sınıfı belirtilmemektedir, donatı çeliğinin sadece akma gerilmesi verilmekle yetinilmektedir.

3.15 X-PRO Yazılımı ile Üretilen Çizimlerin İrdelenmesi

Bu konuyla ilgili yönetmelik hükümleri şöyledir:

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 genişleme derzlerindeki düzenlemeler çizim ve açıklama notları ile tanımlanmalıdır.

Dep. Yön. 1997 Madde 7.13 : Betonarme Uygulama Projesi Çizimlerine İlişkin Kurallar

Dep. Yön. 1997 Madde 7.13.1 Genel Kurallar:

Dep. Yön. 1997 Madde 7.13.1.1: Binada uygulanacak beton kalitesi ile donatı çeliği kalitesi, bütün çizim paftalarında mutlaka belirtilecektir.

Dep. Yön. 1997 Madde 7.13.1.2: Tasarımda göz önüne alınan *Etkin Yer İvmesi Katsayısı*, *Bina Önem Katsayısı*, **Tablo 12.2**'ye göre seçilen *Yerel Zemin Sınıfı* ve **Tablo 6.5**'e göre belirlenen *Taşıyıcı Sistem Davranış Katsayısı*, bütün kalıp planı paftalarında mutlaka belirtilecektir.

Dep. Yön. 1997 Madde 7.13.1.3: Dep. Yön. 1997 Madde 7.2.8'de tanımlanan özel deprem etriyelerine ve özel deprem çirozlarına ait kanca kıvrım detayları kolon, perde ve kiriş detay paftalarının her birinde mutlaka gösterilecektir.

Dep. Yön. 1997 Madde 7.13.2 Kolon ve Perde Detayları :

Dep. Yön. 1997 Madde 7.13.2.1 : 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 yerleştirilmesine engel olmayacak biçimde düzenlendiği açık olarak gösterilecektir.

Dep. Yön. 1997 Madde 7.13.2.2 : 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.

Dep. Yön. 1997 Madde 7.13.2.3 : 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 açık olarak gösterilecektir.

Dep. Yön. 1997 Madde 7.13.2.4 : 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 açık olarak gösterilecektir.

Dep. Yön. 1997 Madde 7.13.3 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 açık olarak gösterilecektir.

İrdeleme:

X-PRO ile üretilen çizimlerde kullanılan donatı sınıfı S220a, S420a ve S420b yerine yalnızca S220 ya da S420 şeklinde anılmaktadır (Bu durumun sakıncalarına Bölüm 3.1 de değinilmiştir).

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.

Kiriş analiz sonuçları incelenirken açıklık ve mesnet donatılarını gösteren yardımcı çizimler sunulmakta kullanıcı yığılma olup olmadığını kontrol edebilmektedir. Ancak, yığılma ne kadar çok olursa olsun yazılım sesli yada yazılı bir uyarıda bulunmamaktadır. Bu kontrolün otomatik yapılmaması kullanıcının üretilen çizimlerden yığılmaları fark etmesini zorlaştırmaktadır. Çünkü kiriş detay çizimlerinde enine kesitler sadece açıklıktan alınabilmekte genelde yığılmanın olduğu mesnetlerin durumu görünmemektedir. Bu durum mühendis, denetçi ve uygulamacıların işini güçleştirmekte ve hatalı (boşluklu beton) üretime neden olmaktadır.

Genişlikleri çok farklı, birbirine komşu ve sürekli iki kirişin (örneğin 60 cm ve 25 cm genişliğinde iki komşu kiriş) detay çizimlerinde 60 cm genişliğindeki kirişin bütün donatıları kesilmeden 25 cm'lik kirişe geçiyor gibi gösterilmektedir. Uygulanması mümkün olmayan bu durumun üretim aşamasında ne denli sorunlar yaratacağı açıktır.

Dolgu duvarlar nedeniyle kısa kolon oluşması durumunda yazılım kolon etriyelerini sıklaştırmamaktadır. (Bkz. Bölüm 3.13 X-PRO Yazılımı ile Kısa Kolon Oluşumunun İrdelenmesi)

Açıklığı 12 m'yi aşan kirişlerin çizimlerinde gövde donatıları bindirilmek yerine boyları 12 m'den daha uzun gösterilmiştir. Piyasadaki çeliklerin boyu 12 m olduğu için bu gösterim hatalıdır.

BÖLÜM 4

SONUÇ VE DEĞERLENDİRMELER

X-PRO yazılımının irdelenmesi sonucunda varılan sonuçlar aşağıda özetlenmiştir:

- Yazılım kısıtlı uzay (üç boyutlu) analiz yapmaktadır. Tam bir sonlu eleman yöntemi kullandığı söylenemez.
- Yapısal analiz ve malzeme varsayımları ile ilgili bilgi yoktur.
- Kat seviyelerinde rijit diyafram kabulü vardır ve kullanıcının iptal etme imkanı yoktur. Bu kabul hem düşey hemde yatay yükler için geçerlidir. Bu kabul döşemesiz veya büyük döşeme boşlukları olan sistemlerde hatalı sonuçlar vermektedir.
- Lokal eksenler ve işaret kuralı net değildir. Yanlışlıklar vardır, yeterli bilgi de yoktur.
- Kolonlarda donatı planının seçimi konusunda kullanıcının bir seçeneği bulunmamaktadır. Yazılımda hangi tip donatı planı kullanıldığı belli değildir.
- Kolonlarda burulma momenti sunulmamaktadır. Hesaplanıp hesaplanmadığı belirlenememiştir.
- Rijit diyafram kabulünden dolayı kirişlerde eksenel kuvvet hesaplanamamakta ve $N_d \leq 0.1 A_c f_{ck}$ kontrolü yapılmamaktadır.
- Düğüm noktalarına yük tanımlanamamaktadır. Kirişlerin başlangıç ve bitiş noktalarına tekil dış yük tanımlama konusunda sorunlar vardır, yük kaybolabilmektedir.
- Yazılımda seçilen donatı kesite sığmadığında sesli yada yazılı bir uyarı verilmemektedir.
- Kirişlerde açıklıkta seçilen çekme donatısı oranı $\rho_{max} = 0.02$ değerini aşabilmektedir. Yazılım kullanıcıyı bu konuda uyarmaktadır. Ancak kullanıcı

bu uyarıyı dikkate almadan ilerleyebilmekte, çizim ve raporları bu şekliyle alarak yönetmeliğe aykırı proje üretebilmektedir.

- Tablalı kirişlerin açıklığında hesaplanan çekme donatısı alanı, bazı yük durumlarında, diğer kaynaklar ile hesaplananın altında kalmıştır.
- Yazılım kolon ve kiriş enine donatı hesabını Dep. Yön. 1997'ye uygun şekilde yapmaktadır.
- Kiriş, kolon, perde ve döşemeler için TS 500-2000 ve Dep. Yön. 1997'de tanımlanan minimum koşullardan bazılarını yerine getirmemektedir.
- A1 burulma düzensizliği hesabında, bazı yapı modellerinde, hesaplanan ek dışmerkezlilik değerlerinin olması gerekenin altında kaldığı görülmüştür. Yazılımda η_{bi} değerinin hiçbir şekilde 2' nin üzerine çıkmadığı görülmüştür.
- Standart yazılım ne A2 nede A3 düzensizliğini belirleyebilmektedir. Standart yazılımdan bağımsız A2 ve A3 düzensizliği kontrolü yapan yardımcı yazılım da A2 ve A3 düzensizliğini belirleyememektedir. Düzensizlikler belirlense dahi, rijit diyafram kabulünden dolayı, yatay yükler düşey taşıyıcı sistem elemanlarına güvenle aktarılıyor sonucu çıkacaktır. Fakat gerçekte durum böyle olmayabilir.
- A4 düzensizliği tespit edilerek gerekli işlemler yapılmaktadır.
- B1 düzensizliği hesabında yazılım duvar alanlarını hesaba katmamakta ve bu nedenle B1 düzensizliğini belirleyememektedir.
- Yazılımın iki adet deprem raporu seçeneği bulunmaktadır. Bu raporlardan biri kısa diğeri detaylı deprem raporudur. Bu raporların B2 düzensizliği bölümleri birbirleri ile tutarlı değildir.
- B3 düzensizliği kontrolü doğru yapılmamaktadır.
- Göreli kat ötelenmelerinin sınırlandırılması kontrolü doğru yapılmaktadır.
- İkinci mertebeye etkileri Dep. Yön. 1997'ye uygun şekilde kontrol edilmektedir.
- Yazılım kolonların kirişlerden daha güçlü olması koşulu ile ilgili kontrolleri Dep. Yön. 1997'ye uygun şekilde yapmaktadır.
- Kısa kolonlar dolgu duvarlar nedeniyle oluştuğunda bu durumu belirleyememektedir.
- 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.

Bu çalışmada zaman kısıtından dolayı değinilemeyen konular da vardır. Bunlar aşağıda sıralanmıştır:

- Temeller
- Merdivenler
- Deprem hesap yöntemleri
- Dişli, asmolen ve kirişsiz döşemeler
- Güçlendirme

X-PRO türü yazılımlar proje üretiminde artık vazgeçilmez bir araçtır. Ancak, görüldüğü gibi, yazılımın önemli eksikleri bulunmaktadır. Kanımızca, X-PRO'nun arkasında yeterli teorik destek yoktur. Daha çok, uygulamada çalışan mühendislerin hoşlanacağı tarzda hazırlanmıştır. Bu tür eksikliklerin diğer yazılımlarda da, az yada çok, bulunduğu düşünülmektedir. 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.

Gerekli bütün hesap, çizim ve kontrollerin tamamının doğru olarak yapılamadığı açıktır. 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 yada 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 çıktılara 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., Akgün, Ö. R. ve Topçu, A., 2002, Betonarme kolon tabloları, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü, Eskişehir, 123s.
- Bakır, E., Bakır, A. R., 1986, Taşıma gücü yöntemi ile kolon ve perde donatı tabloları, İMO Yayınları Ankara, 418s.
- 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., 2006, Betonarme 1 sunu ders notları, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Eskişehir.
- Bayındırlık Bakanlığı, 1997, Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik, Ankara, 85s.
- 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., BetonArme2000, Betonarme kolon boyuna donatı hesabı, <http://mmf.ogu.edu.tr/atopcu>
- SAP 2000, 2002, Integrated Software for Structural Analysis and Design, Version 8.0, Computers and Structures, Inc., Berkeley, California, USA