

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

Onur KAPLAN

Ahmet TOPÇU

Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Mühendislik Mimarlık Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü

ÖZET

İnşaat mühendisliği alanında yaygın olarak kullanılan yapısal analiz-betonarme hesap ve çizim yazılımlarını denetleyen resmi bir kurum yoktur. Çalışmanın amacı, bu tür yazılımların kullanılabilirliğini irdelemektir.

İrdelenen bir yazılımın öncelikle genel özelliklerine değinilmiştir. İşaret kuralları, yapı elemanları, malzeme varsayımları tanıtılarak irdelenmiştir. Basit yapı modelleri kullanılarak yapısal analiz-betonarme hesap sonuçları ve yönetmeliklerle uyumluluğu tartışılmıştır.

Yazılımın işaret kuralında, malzeme ve yük varsayımlarında hata veya eksiklikler bulunduğu, ilgili standartların bazı koşullarının sağlanmadığı, düzensizliklerin bazılarının yanlış değerlendirildiği, bazılarında da hiç değinilmediği belirlenmiştir. Sonuç olarak yaygın olarak kullanılan bir yazılımın önemli kusurları olduğu ve dikkatli kullanılması gerektiği anlaşılmıştır.

GİRİŞ

Bir yapının uygulama projesinin üretilmesi çok karmaşık, zaman alıcı ve zor bir süreçtir. Günümüzde inşaat mühendisleri profesyonel yazılımlar kullanmaktadır.

Ülkemizde yaygın olarak kullanılan üç adet profesyonel analiz-betonarme hesap ve çizim yazılımı vardır. Burada ticari isimleri kullanılmayacak, X-PRO, Y-PRO ve Z-PRO kod adları ile anılacaktır. Bu isimlere sahip herhangi bir yazılım yoktur.

Profesyonel yazılımlar inşaat mühendisinin yükünü azaltmakla birlikte şu soruları da gündeme getirmiştir: Hesap ve çizimleri doğru yapabiliyor mu? İlgili yönetmelik koşullarını kontrol ediyor ve gereğini yerine getiriliyor mu? Bu soruların yanıtı için yazılımlardan herhangi biri olan X-PRO yazılımı (lisanslı ve 2007 yılı sürümü) ele alınmıştır.

X-PRO yazılımının özellikleri ve irdeme sonuçları aşağıda özetlenmiştir¹. Analiz sonuçlarının kontrolünde SAP 2000² yazılımı referans kabul edilmiştir. Çalışma başladığında yürürlükte olan TS 500-2000³ ve 1997 Deprem Yönetmeliği⁴ dikkate alınmıştır. Mart-2007 de yürürlüğe giren Deprem Yönetmeliği⁵ çalışmanın bulgularını etkilememektedir.

*Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsünde Haziran-2007 de yapılan Yüksek Lisans tezinin özetidir. Tezin tümü <http://mmf.ogu.edu.tr/atopcu> sayfasından indirilebilir.

GENEL

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

Akslar: Elemanlarının yerleri mimari veya yardımcı akslar yardımıyla belirlenmektedir.

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

Kirişler: Dikdörtgen ve tablalı olabilir. Eğik kiriş ve yatayda daire yayı da tanımlanabilir.

Döşemeler: Kirişli, kirişsiz, bölgesel boşluklu, dişli ve asmolen olabilir.

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

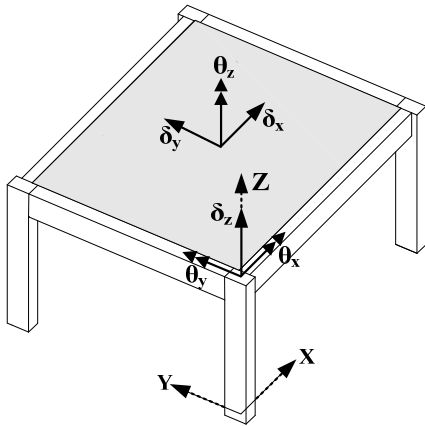
Merdivenler: Farklı tip tanımlamak mümkündür.

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

Yükler: Oldukça kısıtlı fakat betonarme yapılar için yeterli farklı yükler verilebilir. Düşey yayılı, tekil sabit ve hareketli yükler yanında deprem, rüzgâr, toprak itkisi ve sıcaklık etkisi gibi yükler tanımlanabilmektedir. Mesnet çökmesi yük olarak tanımlanamamaktadır.

Mesnetler: Ankastre veya moment mafsallı olabilir, kayıcı mesnet tanımlanamamaktadır.

Analiz Modeli ve Yöntemi: Çubuk elemanların (kiriş, kolon, perde) kat seviyesinde rijit diyafram (döşeme) ile birbirine bağlandığı varsayılmaktadır. Bilinmeyenler; her düğümde düşey deplasman, her iki eksen etrafında dönme ile kat seviyesinde her iki yönde deplasman ve kat dönmesi olarak alınmaktadır (Şekil 1). Tanımlanan model hem düşey hem de yatay yüklerin analizinde kullanılmaktadır. Bu varsayımlar yanında; kolonların düşey olma zorunluluğu, yük ve mesnetlerdeki kısıtlamalar da dikkate alındığında sistemin üç boyutlu fakat kısıtlı bir sonlu elemanlar deplasman metodu ile analiz edildiği anlaşılır.



X, Y, Z: Global Eksenler
 δ_x = X yönü kat deplasmanı
 δ_y = Y yönü kat deplasmanı
 θ_z = Z etrafında kat dönmesi

δ_z = Z yönü düğüm deplasmanı
 θ_x = X etrafında düğümün dönmesi
 θ_y = Y etrafında düğümün dönmesi

Şekil 1: Kat ve düğüm noktası deplasmanları (X-PRO da gösterildiği şekli ile)

Deprem Hesabı: Eşdeğer Deprem Yüğü veya Mod Birleştirme Yöntemi ile yapılabilmektedir. Zaman Tanım Alanında Hesap Yöntemi ile çözüm mümkün değildir.

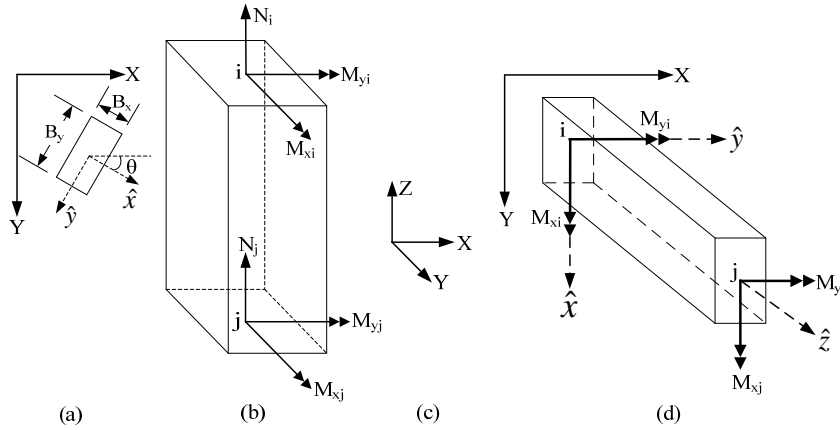
Betonarme Hesap: Elastik Yöntem veya Taşıma Gücü Yöntemi ile yapılabilmektedir. TS 500-1984, TS 500-2000, Deprem Yönetmeliği-1975, 1997 ve 2007 dikkate alınabilmektedir.

Çıktılar: Gerekli tüm çizim, hesap raporları ve metraj üretilebilmektedir.

Diğer: X-PRO ile güçlendirme projeleri de yapılabilmekte, bazı yabancı standartlara uyumlu projeler üretilebilmektedir.

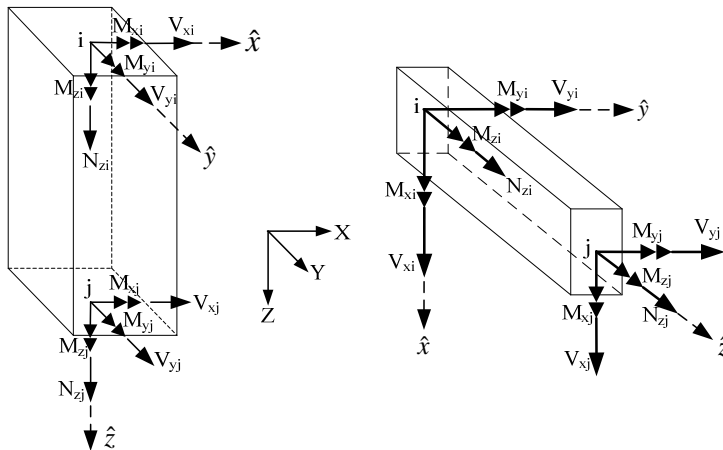
İRDELEME

İşaret Kuralı: X-PRO yazılımının net bir işaret kuralı yoktur, kendi içinde belirsizlikler ve tutarsızlıklar vardır. Bu durum hem iç kuvvetlerin hem de deplasmanların kullanıcıya sunumunda ciddi aksaklıklar ve tutarsızlıklara neden olmakta ve kullanıcının sonuçları yorumlamasını çok zorlaştırmaktadır. Yazılımın kitapçığında veya yardım ekranında sunduğu teorik işaret kuralı Şekil 2 deki gibidir. (a) ve (b) kolonlar ve (d) kirişler içindir. X, Y, Z global ve \hat{x} , \hat{y} , \hat{z} lokal eksenlerdir. İlk dikkati çeken yanlışlık (c) deki global eksen takımının sol sistem olduğudur, halbuki sağ sistem olması gerekir. Kesme ve burulma kuvvetleri ve kiriş eksenel kuvveti görülmemektedir.



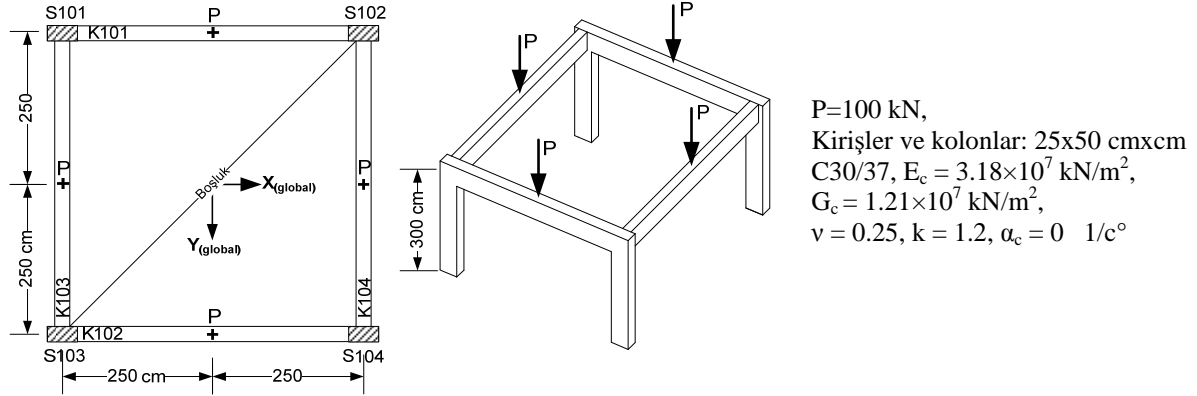
Şekil 2: X-PRO yazılımının sunduğu işaret kuralı

Yazılımın veri girişinin, çıktılarının ve grafiklerinin incelenmesi sonucunda gerçekte kullanılan işaret kuralının Şekil 3 deki gibi olduğu kanaatine varılmıştır.



Şekil 3: X-PRO yazılımı incelenerek belirlenen teorik işaret kuralı

Rijit Diyafram Varsayımı: Rijit diyafram varsayımı, sistemde döşeme olmasa dahi geçerlidir, iptal edilememektedir. Bu varsayım kirişlerde eksenel kuvvet deformasyonlarının ihmal edildiği ve kat düzlemindeki her noktanın yatay deplasmanlarının aynı olacağı anlamına gelmektedir. Düzlem çerçevelerde, döşemesiz veya kısmen döşemesiz uzay sistemlerde çözüm doğru olmamaktadır.



Şekil 4: Rijit diyafram test örneği

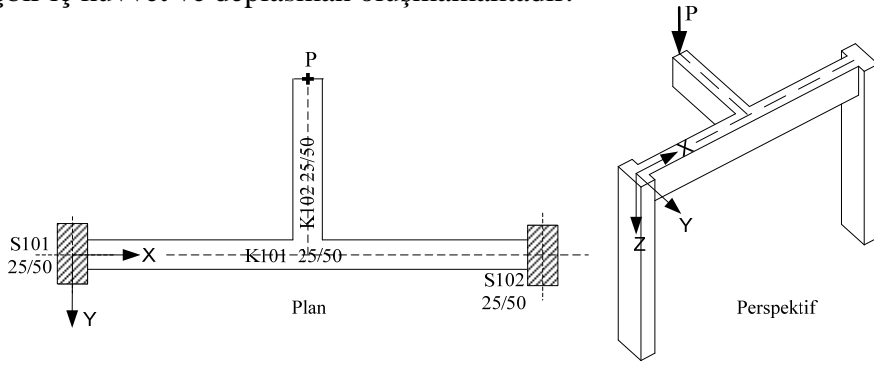
Şekil 4 verilen döşemesiz çerçevenin (diyafram yok) K101 ve K102 kirişlerinde 23.00 kN eksenel kuvvet olması gerekirken X-PRO diyagram ve çıktılarda hiçbir kiriş eksenel kuvveti göstermemektedir. Oysa yönetmelikler kiriş eksenel kuvvetini sınırlamaktadırlar. Tasarım eksenel kuvveti $N_d > 0.1 f_{ck} A_c$ olan elemanların kiriş değil kolon olarak boyutlandırılması zorunludur. Özellikle eğik (uçları farklı kotta) kirişlerde bu koşul önemli olmaktadır. Yapılan incelemede X-PRO nun bu koşulu kontrol etmediği, yatay ve eğik elemanları, eksenel kuvvet düzeyi ne olursa olsun, daima kiriş gibi donattığı anlaşılmıştır. Örnek sistemin kolon üst uçlarındaki yatay deplasmanlar da aynı değerde hesaplanmıştır.

Malzeme Varsayımları: Yazılımda malzeme varsayımlarını açıklayan bir bölüm yoktur, beton basınç bloğu ve çelik modeli bilinmemektedir. Kullanıcıdan beton ve çelik karakteristik dayanımlarının ve malzeme katsayılarının sayısal değeri istenmektedir. Çelik sınıfında a veya b indisi kullanılmamaktadır. Kullanıcı yönetmeliklerde tanımlı olmayan herhangi bir dayanım ve malzeme katsayısı, girebilmektedir. Örneğin C8 veya C80 betonu, S500 çeliği ve beton malzeme katsayısı=2 ya da keyfi ara değerler tanımlamak mümkündür. Yönetmelikler ile deprem bölgelerinde C20 den düşük dayanımlı betonun kullanımı kısıtlanmış ve S420 den yüksek dayanımlı çelik kullanımı yasaklanmış olmasına rağmen yazılımın, uyarı dahi vermeden, her tür malzeme ile analize izin vermesi yönetmeliklere uymayan projeler üretilmesine neden olabilmektedir.

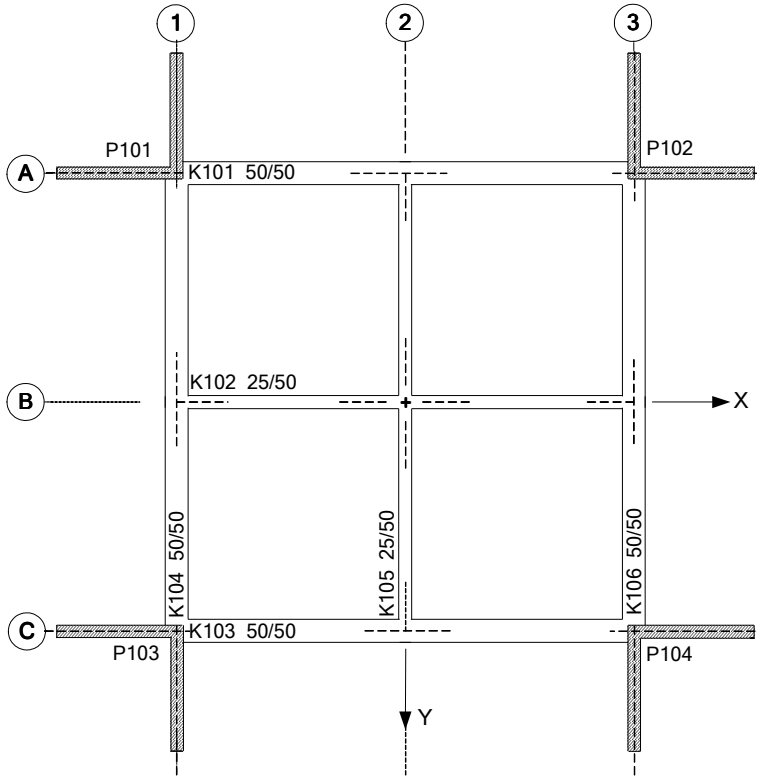
Kesit Varsayımları: Yüksek kirişlerde ve perdelerde kayma, kolonlarda burulma deformasyonlarının dikkate alınıp alınmadığı belli değildir.

Yük Varsayımları: Döşemelerde düzgün yayılı düşey yükler, kirişlerde yayılı ve tekil düşey yükler tanımlanabilmekte, döşeme yükleri kiriş net açıklıklarına otomatik aktarılmaktadır. Deprem ve rüzgâr yatay yükleri yazılım tarafından hesaplanmaktadır. Toprak itkisi ve tüm yapı elemanları için üniform sıcaklık farkı yük olarak tanımlanabilmektedir. Düğüm noktalarına (kolon kiriş birleşim noktalarına), kolonların ve kirişlerin yan yüzeylerine dış yük tanımlı mümkün değildir. Sadece kolonların üst uçlarına eksenel dış yük ve moment verilebilir. Hareketli yükler için en elverişsiz yükleme yapılmaktadır.

X-PRO kullanıcının verdiği tekil dış yükü bazı durumlarda kaybetmektedir. Şekil 5 de görülen K102 konsol kirişinin ucuna verilen P dış yükünü yazılım kabul etmekte fakat bu yükten hiçbir iç kuvvet ve deplasman oluşmamaktadır.



Şekil 5: Tekil yükü kaybolan konsol örneği

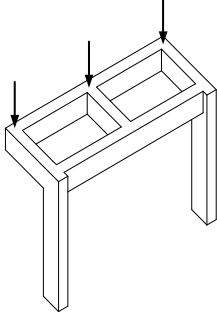


Şekil 6: Tekil yükü kaybolan düzlem kaset örneği

Şekil 6 da görülen kaset sistemin B ve 2 akslarının kesiştiği noktada kolon yoktur. Akslar kirişleri ortalamaktadır. K102 kirişinin orta noktasında tanımlanan P tekil dış yükünü X-PRO kabul etmesine rağmen sistemde hiçbir iç kuvvet ve deplasman oluşmamaktadır.

Yükü kaybolan sistemlerde yük 1 cm kiriş açıklığına doğru kaydırıldığında veya akslar kiriş ekseninden 1 cm kaçık tanımlandığında yük kaybolmamakta iç kuvvetler ve deplasmanlar doğru hesaplanmaktadır.

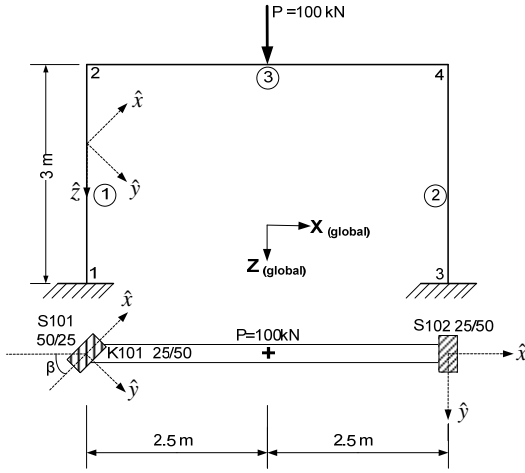
Yük kaybı sessiz-sedasız olmakta kullanıcı farkına varmadan hatalı projeler üretebilmektedir.



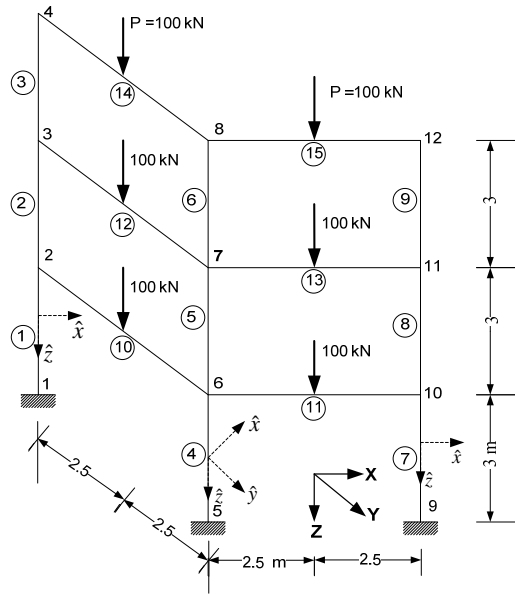
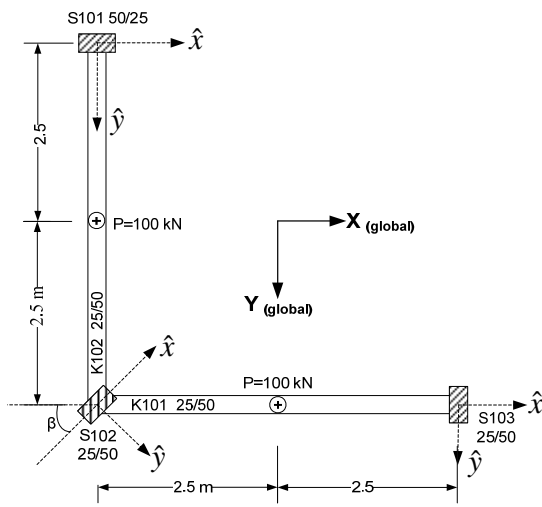
Ülkemizde çok yaygın bir yapı tarzı olan çıkmalı yapıların konsollarında yük kaybı oluyor mu? Hayır. Şekil 7 de görülen çıkmalı yapının konsollarına oturan kirişten gelen tekil yüklerin kaybolmadığı, deplasman ve iç kuvvetlerin doğru hesaplandığı belirlenmiştir.

Şekil 7: Çıkmalı yapı modeli

İç kuvvetler ve Deplasmanlar: İç kuvvet ve deplasmanların irdelenebilmesi için incelenen döşemesiz sistemlerden ikisi Şekil 8 ve 9 da verilmiştir. Her iki çerçevede C30/37, $E_c = 3.18 \times 10^7 \text{ kN/m}^2$, $G_c = 1.21 \times 10^7 \text{ kN/m}^2$, $\nu = 0.25$, $k = 1.2$, $\alpha_c = 0.1/c^\circ$ verileri kullanılmıştır.



Şekil 8: Dönük kolonlu düzlem çerçeve



Şekil 9: Dönük kolonlu uzay çerçeve

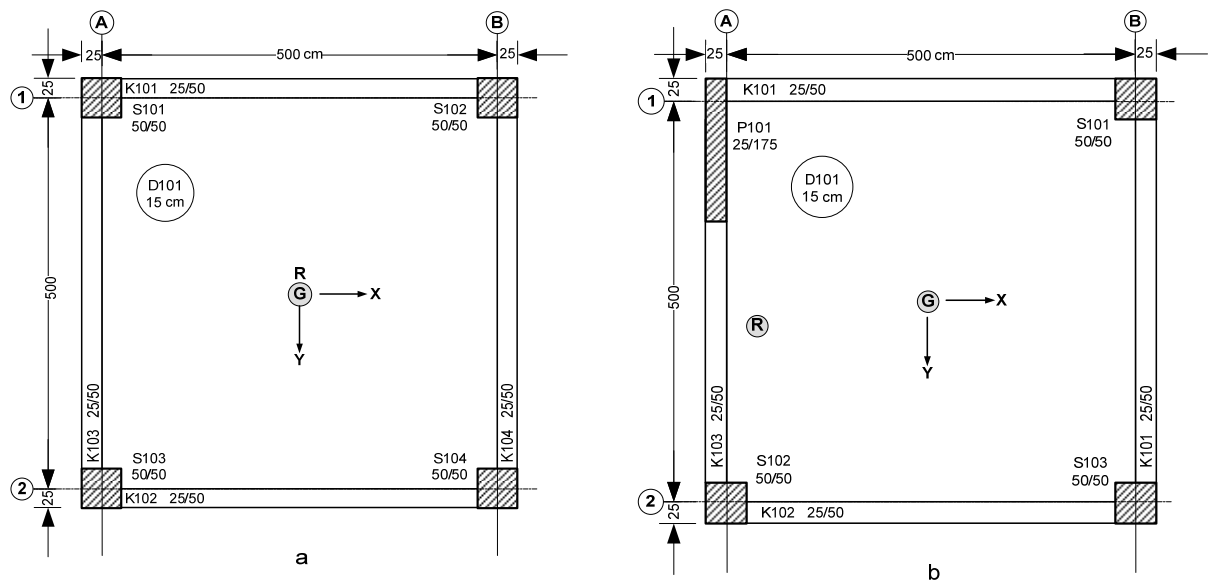
β açısı 0^0-360^0 arasında değiştirilerek X-PRO ve SAP 2000 ile yapılan çözümler sonucunda aşağıdaki sonuçlara varılmıştır:

- Kirişlerde aksel kuvvet, kolonlarda burulma momenti sunulmamaktadır. Kat düzlemindeki yatay deplasmanlar aynı olmaktadır (rijit diyafram etkisi). Kiriş ve kolonların dönmeleri sunulmamaktadır.
- Şekil 8 deki çerçevenin eğilme momenti ve kesme kuvvetleri SAP 2000 sonuçları ile bağdaşmaktadır.
- Şekil 9 daki çerçevenin 2 ve 9 nolu elemanlarında X-PRO ve SAP 2000 tarafından $\beta = 30^0$ için hesaplanan iç kuvvetler aşağıdaki çizelgede verilmiştir. İncelendiğinde bazı kuvvetlerde %100 e varan farklılıklar görülür.

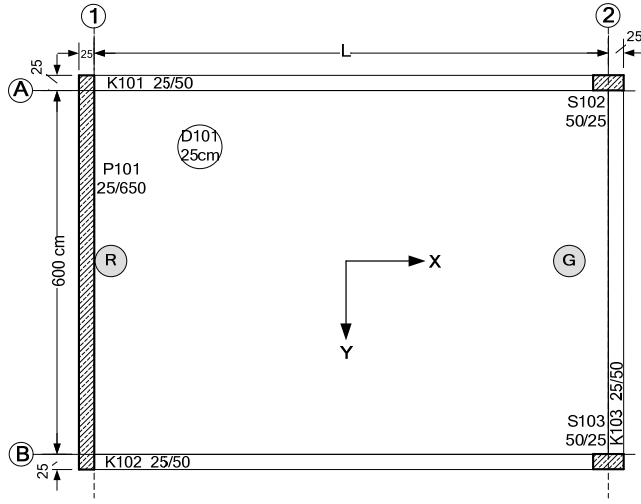
$\beta = 30^0$ İÇİN		X-PRO			SAP 2000			FARK %		
Eleman No	Nokta No	M_x kNm	M_y kNm	N_z kN	M_x kNm	M_y kNm	N_z kN	M_x kNm	M_y kNm	N_z kN
2	2	-23.82	0.34	99.89	-23.63	1.56	99.66	-0.80	78.21	-0.23
9	11	-0.01	30.39	48.75	-1.38	29.97	48.66	99.28	-1.40	-0.18

- Deplasman ve kuvvetlerdeki farklar X-PRO nun iptal edilemeyen rijit diyafram varsayımından kaynaklanmaktadır.
- Şekil 8 ve 9 daki sistemlerde döşeme olmadığı için rijit diyafram varsayımı doğru değildir.
- SAP 2000 de rijit diyafram varsayımı yapıldığında X-PRO çözümü ile bağdaşan sonuçlar elde edilmektedir.
- Döşemesiz veya kısmi döşemesiz yapılarda X-PRO doğru sonuç vermemektedir.
- Her katında sürekli döşemesi olan yapılarda X-PRO yeter doğrulukta çözüm yapabilmektedir.

A1-Burulma Düzensizliği: Burulma düzensizliği Şekil 10 ve şekil 11 de kalıp planı görülen 3 katlı yapı modelleri ile incelenmiştir. Her üç yapıda da C25/30/S420a, $A_0 = 0.30$, $R = 8$, $I = 1$, Yerel Zemin Sınıfı = Z2, Kat Yüksekliği = 3 m verileri kullanılmıştır.



Şekil 10: Burulma düzensizliği örneği



Şekil 11: Burulma düzensizliği örneği

Deprem Yönetmeliğine göre: Birbirine dik iki deprem doğrultusunun herhangi biri için, herhangi bir i. katta en büyük görel kat ötelemesinin o katta aynı doğrultudaki ortalama görel ötelemeye oranı $\eta_{bi} = (\Delta_i)_{max} / (\Delta_i)_{ort} > 1.2$ durumunda A1 düzensizliği vardır. Görel kat ötelemeleri, $\pm \%5$ ek dışmerkezlik dikkate alınarak hesaplanır. A1 düzensizliği deprem hesabında kullanılacak yöntemin seçiminde etkindir⁴.

Şekil 10a daki sistemde geometri ve yükler simetriktir. Kütle ve rijitlik merkezi çakışmaktadır, A1 düzensizliği yoktur. Ek dışmerkezlik 0.05 alınmalıdır. X-PRO nun belirlediği $\eta_{bi} = 1.04 < 1.2$ dir ve ek dışmerkezlik 0.05 in altında fakat yakın bir değerdir: 0.0465.

Şekil 10b deki sistemin Y yönü için X-PRO aşağıdaki çizelgede görülen değerleri vermektedir. $\eta_{bi} > 1.2$ dir, Y yönünde A1 düzensizliği vardır.

Kat	(d _i) _{min} (m)	(d _i) _{max} (m)	(Δ _i) _{max} (m)	(Δ _i) _{ort} (m)	η _{bi}	Ek dışmerkezlik
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

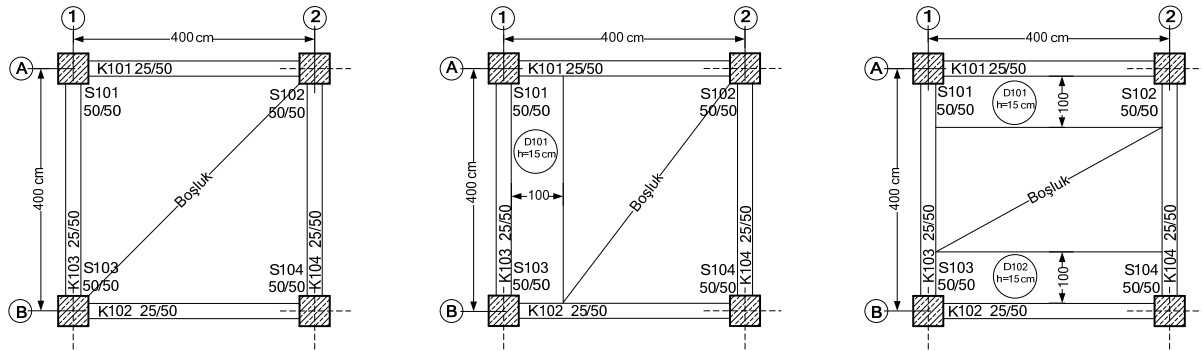
$1.2 < \eta_{bi} \leq 2.0$ durumunda $\pm \% 5$ ek dışmerkezlik, her iki deprem doğrultusu için $D_i = (\eta_{bi}/1.2)^2$ katsayısı ile çarpılarak büyütülmek zorundadır⁴. X-PRO yönetmeliğin bu koşulunu yerine getirmemiştir. Örneğin, 1. kat için ek dış merkezlik $= 0.05 \cdot (1.46/1.2)^2 = 0.074$ alınması gerekirken X-PRO bu değeri 0.055071 almıştır.

Şekil 11 deki yapı $\eta_{bi} > 2$ durumunu irdeleyebilmek için oluşturulmuştur. Kütle ve rijitlik merkezi arasındaki mesafeyi büyütme amacıyla L açıklığı ile K103 kirişinin net açıklığındaki yükü kademe kademe artırılarak η_{bi} değerleri kontrol edilmiştir. X-PRO yazılımında η_{bi} değerinin hiçbir şekilde 2 nin üzerine çıkmadığı görülmüştür. Sistem çok zorlandığında, herhangi bir uyarı yapılmadan, analiz kesilmiştir. Şekil 11 ve aşağıdaki çizelge $L=8$ m ve K103 kirişi yükü 2500 kN/m aşırı değerlerine aittir.

Kat	(d _i) _{min} (m)	(d _i) _{max} (m)	(Δ _i) _{max} (m)	(Δ _i) _{ort} (m)	η _{bi}	Ek dışmerkezlik
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

Çizelgedeki η_{bi} değerleri 2 veya 2 ye yakındır. Bu durumda X-PRO nun kullanıcıyı uyarması, taşıyıcı sistemin düzeltilmesini önermesi ve analizi kesmesi uygun olurdu. Bunu yapmadığı gibi dışmerkezlilikleri çok küçük, örneğin 2. kat için $0.05 \cdot (1.99/1.2)^2 = 0.1375$ yerine 0.064466, alarak analize devam etmiştir.

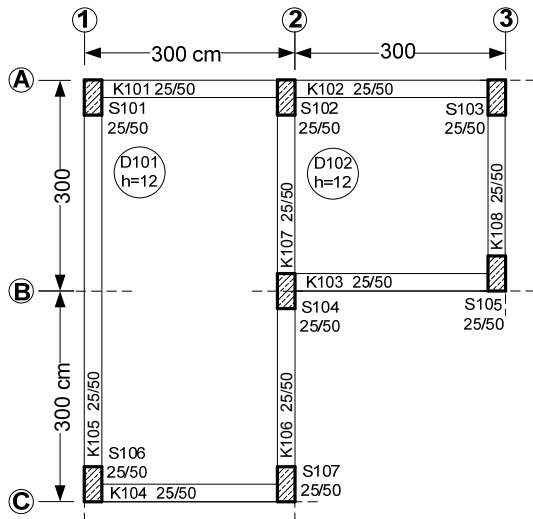
A2-Döşeme Süreksizlikleri: Büyük boşlukları veya yeterli rijitliği olmayan ince döşemeler yatay kuvvetlerin iletilmesini güçleştirir. Döşeme boşluk alanları toplamının brüt kat altına oranı 1/3 ü aşmamalıdır⁴. Şekil 12 de kat planları görülen yapılarda bu oran 1/3 den çok büyüktür, A2 düzensizliği vardır. X-PRO yazılımı A2 düzensizliğini belirleyememiş, analiz ve deprem raporlarında hiçbir bilgi ve uyarı sunmamıştır. X-PRO nun rijit diyafram varsayımı bu sonuca neden olmaktadır.



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

Şekil 12: Döşemesiz kat veya büyük döşeme boşlukları olması durumu

A3-Planda Büyük Girinti-Çıkıntı Düzensizliği: Bina kat planlarında çıkıntı yapan kısımların birbirine dik iki doğrultudaki boylarının her ikisinin de, binanın o katının aynı doğrultudaki toplam plan boyutlarının %20' sinden daha büyük olması durumu A3 düzensizliği olarak tanımlanır⁴.



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

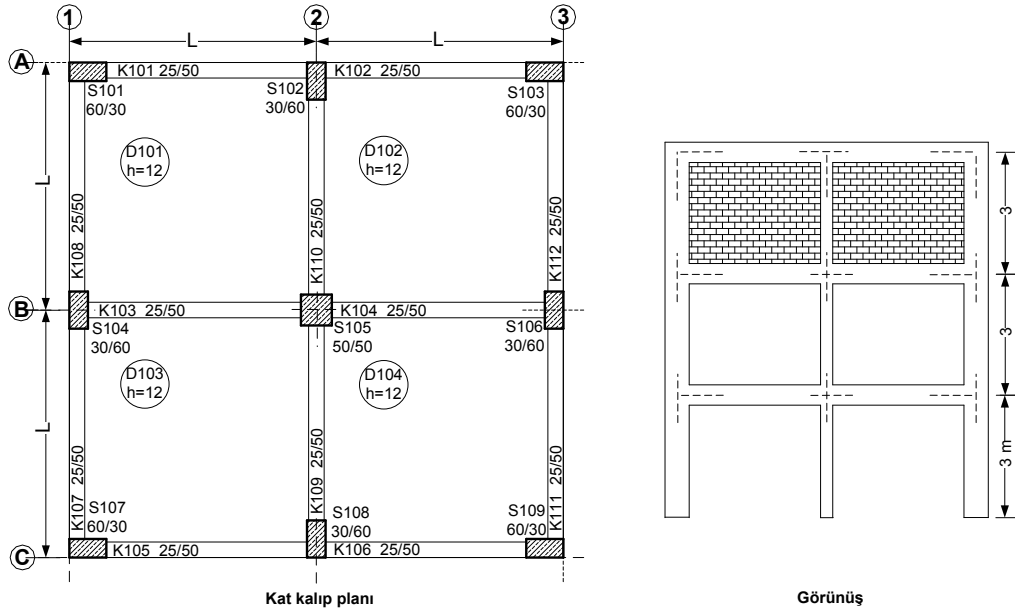
Şekil 13: A3 düzensizliği örneği

Şekil 13 te kalıp planı verilen yapı X-PRO yazılımı ile çözülmüş, A3 düzensizliği ile ilgili hiçbir uyarı ve bilgi ile karşılaşmamıştır. Kalıp planı incelendiğinde A3 düzensizliği bulunduğu açıkça görülmektedir.

X-PRO standart yazılımından bağımsız, A2-A3 düzensizliklerini irdeleyen yardımcı bir yazılım daha vardır. Şekil 13 teki sistemin A3 düzensizliğini bu yardımcı yazılım da belirleyememiştir

A4-Taşıyıcı Eleman Eksenlerinin Paralel olmaması Düzensizliği: Taşıyıcı sistemin düşey elemanlarının plandaki asal eksenlerinin, göz önüne alınan birbirine dik yatay deprem doğrultularına paralel olmaması durumudur⁴. X-PRO yazılımı A4 düzensizliği olan yapılarda bu düzensizliği belirlemiş, hem analiz sonuçları bölümünde hem de deprem raporunda kullanıcıyı uyarılmış ve iç kuvvetleri deprem yönetmeliğinde verilen bağıntılara uygun olarak doğru hesaplanmıştır.

B1-Zayıf Kat Düzensizliği: Bir deprem yönünde, i. ve i+1. katın *etkili kesme alanlarının* oranının $\eta_{ci} = (\sum A_e)_i / (\sum A_e)_{i+1} < 0.80$ olması durumu B1 düzensizliği olarak tanımlanır. Herhangi bir kattaki *etkili kesme alanı* $\sum A_e = \sum A_w + \sum A_g + 0.15 \sum A_k$ bağıntısından hesaplanır. Eşitliğin sağındaki terim; kolonların toplam kesit alanın, deprem yönünde çalışan perdelerin toplam kesit alanın ve deprem yönüne paralel dolgu duvarların toplam kesit alanının (kapı/pencere boşlukları hariç) %15 inin toplamıdır. $\eta_{ci} < 0.60$ durumunda zayıf katın etkili kesme alanının artırılması gerekir. $0.6 \leq (\eta_{ci})_{\min} < 0.80$ durumunda taşıyıcı sistem davranış katsayısı (R) 1.25 $(\eta_{ci})_{\min}$ ile çarpılarak R azaltılır (deprem kuvveti artırılacak anlamında) ve azaltılmış R her iki deprem yönü için yapının tümüne uygulanır⁴.



Kesitler her katta aynı. 1.ve 2 katta duvar yok, 3 katta her kiriş üzerinde 20 cm kalınlığında ve 2.5 m yüksekliğinde boşluksuz duvar var

Şekil 14: B1 düzensizliği örneği

Şekil 14 deki yapıda L=4 m için hesaplanan *etkin kesme alanları* ve η_{ci} oranları el hesabı ve X-PRO sonuçları aşağıdaki çizelgelerde verilmiştir.

B1 DÜZENSİZLİĞİ EL HESABI SONUÇLARI (alanlar m²)

Kat	ΣA_w	ΣA_{gx}	ΣA_{gy}	$0.15 \Sigma A_{kx}$	$0.15 \Sigma A_{ky}$	ΣA_{ex}	ΣA_{ey}	η_{eix}	η_{eiy}	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 ✓

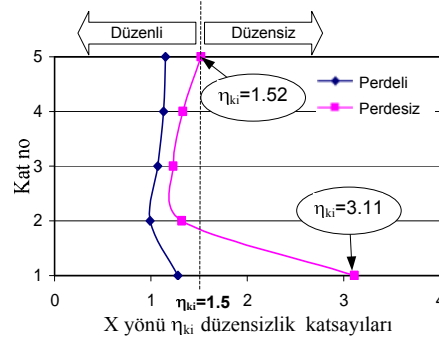
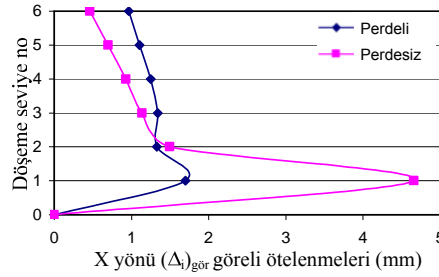
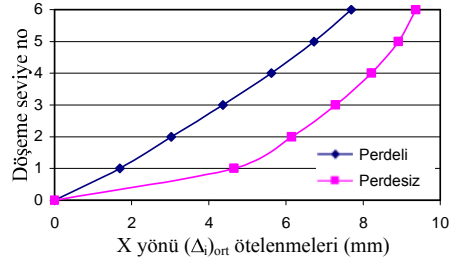
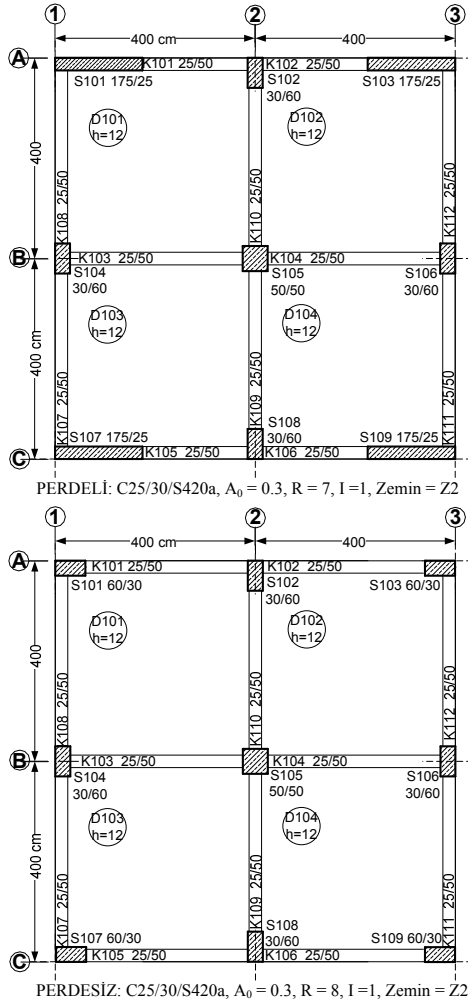
B1 DÜZENSİZLİĞİ X-PRO SONUÇLARI (alanlar m²)

Kat	ΣA_w	ΣA_{gx}	ΣA_{gy}	ΣA_{ex}	ΣA_{ey}	η_{eix}	η_{eiy}	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 ✓

El hesabına göre 2. ve 3. katların *etkin kesme alanları* oranı, her iki deprem yönü için de, $\eta_{ci}=0.74 < 0.80$ dir. Bu durumda 2. katta B1 düzensizliği vardır. X-PRO sonuçları incelendiğinde B1 düzensizliğinin belirlenemediği anlaşılır. Bunun nedeni X-PRO yazılımının duvarların katkısını dikkate almamasıdır. $0.60 < \eta_{ci}=0.74 < 0.80$ olduğundan taşıyıcı sistem davranış katsayısı R nin 0.74 ile çarpılarak R nin azaltılması (deprem kuvvetinin artırılması) ve düzensiz katın tüm kolonlarının kolon yüksekliğince sık etriye ile sarılması gerekirken X-PRO deprem yönetmeliğinin bu yaptırımlarını uygulamamıştır.

Aynı yapıda L=6 m alınarak B1 düzensizliği el hesabı tekrarlanırsa 2. katta $\eta_{ci}=0.56 < 0.60$ olmaktadır, bu katta gene B1 düzensizliği vardır. X-PRO ise, duvarların katkısını dikkate almadığından, aynı katı düzenli olarak değerlendirmektedir. $\eta_{ci}=0.56 < 0.60$ olduğundan düzensizliğin giderilmesi ve deprem hesabının tekrarlanması gerekirken X-PRO analize devam etmiştir.

B2-Yumuşak Kat Düzensizliği:



Şekil 15: B2 düzensizliği örneği

Herhangi bir deprem doğrultusu için, i. kattaki $(\Delta_i)_{ort}$ ortalama görece kat ötelemesinin bir üst kattaki $(\Delta_{i+1})_{ort}$ ortalama görece kat ötelemesine oranı olarak tanımlanan *Rijitlik Düzensizliği Katsayısı* $\eta_{ki} = (\Delta_i)_{ort}/(\Delta_{i+1})_{ort} > 1.5$ durumu B2 düzensizliği (yumuşak kat davranışı) olarak tanımlanır. B2 düzensizliği deprem hesabında kullanılacak yöntemin seçiminde etkindir⁴.

B2 düzensizliğinin X-PRO ile irdelenmesi için Şekil 15 de kalıp planları verilen perdeli ve perdesiz her iki yapı 6 katlıdır. Tüm katların kalıp planları aynıdır. İlk kat 6 m diğer katlar 3 m yüksekliğindedir. Beton yoğunluğu 2.5 t/m^3 , döşemelerin karakteristik sabit yükü 4.7 kN/m^2 , karakteristik hareketli yükü 2 kN/m^2 alınmış sisteme başkaca bir yük verilmemiştir.

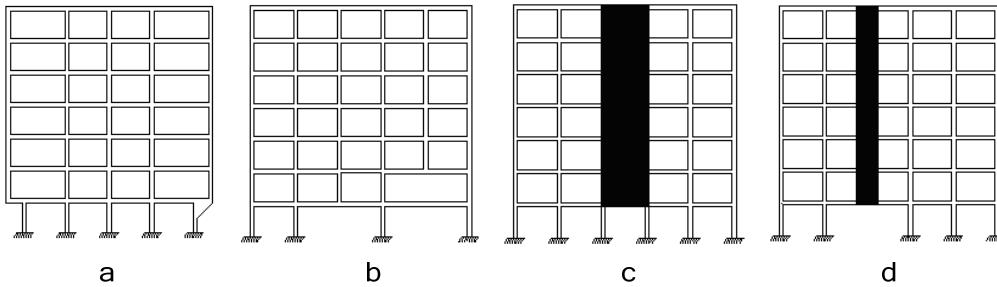
X-PRO yazılımında *kısa ve detaylı* olmak üzere iki farklı deprem raporu seçeneği vardır, kullanıcı birine karar vermektedir.

Şekil 15 deki sistemlere ait grafikler X-PRO nun *kısa deprem raporundan* alınan değerler ile hazırlanmıştır. *Rijitlik Düzensizliği Katsayısı* grafiğinden görüldüğü gibi 1. katta $\eta_{ki}=3.11 > 1.5$ dur. X-PRO yazılımı B2 düzensizliğini belirlemiştir.

Aynı yapılar için *detaylı deprem raporu* kullanıldığında B2 düzensizliğinin belirlenemediği görülmüştür. X-PRO ortalama ve görece ötelenmeleri doğru *Rijitlik Düzensizliği Katsayısı* η_{ki} değerlerini yanlış hesaplamaktadır. Bunun nedeni çok basit bir yazılım hatasıdır.

Bu durumda X-PRO kullanıcısı *Kısa Deprem Raporu*'nu tercih ederse B2 Düzensizliği belirlenebilecek, *Detaylı Deprem Raporu*'nu tercih ederse B2 düzensizliği belirlenemeyecektir.

B3-Taşıyıcı Sistemin Düşey Elemanlarında Süreksizlik Düzensizliği:



Şekil 16: Düşeyde düzensizlikler

Şekil 16 a ve d de görülen sistemler Dep. Yön. 1997 ye göre yasaktır. X-PRO yazılımı uyarı dahi vermeden bu sistemleri kabul etmekte ve analizi sonuna kadar götürmektedir.

Şekil 16 c de görülen sisteme Dep. Yön. 1997 izin vermekte, fakat perdenin oturduğu kolonların iç kuvvetlerinin %50 artırılmasını istemektedir. X-PRO nun bu koşulu yerine getirip getirmediği bilgisi yoktur. Ayrıca, kolon boyuna donatılarının perde içinde kenetlenme boyu kadar uzatılması ve bu donatıların her yerde sık sarılması gereği yerine getirilmemektedir. Bu da X-PRO nun Şekil 16 c deki düzensizliği belirleyemediğini düşündürmektedir. Deprem Yön. 2007 bu düzensizliği yasaklamıştır⁵.

Şekil 16 b de görülen sisteme Dep. Yön. 1997 izin vermekte, fakat kolonun oturduğu kirişin ve incelenen deprem doğrultusunda o kirişin uçlarına bağlanan diğer kiriş ve kolonların iç

kuvvetlerinin %50 artırılmasını istemektedir. X-PRO bu düzensizlik için iki seçenek sunmaktadır. Varsayılan olarak kullanıcının karşısına gelen 1. seçenek, yönetmeliğe aykırı olarak, bazı elemanlarda %50 bazılarında da %25 artırım yapmaktadır. 2. seçenek yönetmeliğin koşullarını yerine getirmektedir.

Görelî Kat Ötelemelerinin Sınırlandırılması: X-PRO yazılımı Dep. Yön. 1997 nin öngördüğü kontrolleri yaparak, sağlanmaması durumunda, kullanıcıyı uyarılmaktadır.

İkinci merteye etkileri: Dep. Yön. 1997 nin öngördüğü kontroller yapılmakta ve sağlanmaması durumunda kullanıcı uyarılmaktadır.

Yapı Davranış Katsayısı R: Kullanıcının taşıyıcı sistemin davranışına uygun R katsayısı seçmemesi veya yönetmelik koşullarının sağlanmaması durumunda X-PRO uyarılmaktadır. Detaylar için tez çalışmasına¹ bakılabilir.

Güçlü Kolon-Zayıf Kiriş: X-PRO yazılımı kolonların kirişlerden daha güçlü olması koşulu ile ilgili kontrolleri Dep. Yön. 1997 ye uygun şekilde yapmaktadır.

Kolon-Kiriş Birleşim Noktaları: Kuşatılmış ve kuşatılmamış birleşim noktaları belirlenmekte ve gereği yerine getirilmektedir. Ancak, kiriş donatılarının birleşim noktasında eklenmesi durumunda donatının bir kısmı dikkate alınmamakta ve kesme kuvveti yanlış (güvensiz tarafta) hesaplanmaktadır.

Kısa Kolon Oluşumu: X-PRO yazılımı; yüksek kiriş ya da ara sahanlık kirişi nedeniyle oluşan kısa kolon düzensizliğini belirleyebilmekte ve gereğini yerine getirmektedir. Ancak, dolgu duvarlar nedeniyle oluşan kısa kolon düzensizliği belirlenmemektedir.

Taşıyıcı Elemanlarda Sınır Değerler: Taşıyıcı elemanlar hakkında yönetmeliklerin onlarca koşulu, örneğin kiriş ve kolonların en küçük boyutları, donatının alt-üst sınırı gibi, vardır. X-PRO bu sınırların kontrolü ve gereğinin yerine getirilmesinde genelde başarılıdır. Ancak az da olsa bazı sorunlar da yok değildir. Yer darlığı nedeniyle burada her biri ele alınmamaktadır. Detaylar tez çalışmasından¹ alınabilir.

Betonarme Hesaplar: Detaylar tez çalışmasından¹ alınabilir.

Proje Rapor ve Çizimleri: Detaylar tez çalışmasından¹ alınabilir.

SONUÇ VE ÖNERİLER

- Yazılım kısıtlı uzay (üç boyutlu) analiz yapmaktadır. Ancak, tam bir sonlu eleman yöntemi kullandığı söylenemez.
- Yapısal analiz ve malzeme varsayımları ile ilgili herhangi bilgi yoktur.
- Kat seviyelerinde rijit diyafram kabulü vardır, hem düşey hem de yatay yükler için geçerlidir ve kullanıcının iptal etme olanağı yoktur. Bu kabul döşemesiz veya büyük döşeme boşlukları olan sistemlerde hatalı sonuçlar vermektedir.
- Global ve lokal eksenler ve işaret kuralı net değildir. Yanlışıklar vardır, yeterli bilgi de yoktur.
- Kolonlarda burulma momenti sunulmamaktadır. Hesaplanıp hesaplanmadığı belirlenememiştir.

- Rijit diyafram kabulünden dolayı kirişlerde aksel kuvvet hesaplanamamakta ve $N_d \leq 0.1 A_c f_{ck}$ kontrolü yapılmamaktadır.
- Düğüm noktalarına yük tanımlanamamaktadır. Kirişlerin başlangıç ve bitiş noktalarında tanımlanan tekil dış yük kaybolabilmektedir.
- A1 burulma düzensizliği hesabında, bazı yapı modellerinde, hesaplanan ek dışmerkezlik değerleri olması gerekenin altında kalmakta, η_{bi} değeri hiçbir şekilde 2 nin üzerine çıkmamaktadır.
- A2 ve A3 düzensizliklerinin belirlenmesinde sorunlar vardır. A4 düzensizliği belirlenememektedir.
- Duvarların kesme alanına katkısı dikkate alınmamakta ve bu nedenle B1 düzensizliği belirlenememektedir.
- Yazılımın *kısa ve detaylı deprem raporu* seçeneği kendi içinde tutarsızdır. Biri B2 düzensizliğini belirleyebilirken diğeri başarısız kalmaktadır.
- B3 düzensizliği kontrolü doğru yapılmamaktadır, yasak düzensizliklere izin verilmektedir.
- Göreli kat ötelenmelerinin sınırlandırılması kontrolü doğru yapılmaktadır.
- İkinci merteye etkileri Dep. Yön. 1997'ye uygun şekilde kontrol edilmektedir.
- Yapı davranış katsayısı R, bazı hatalar olmakla birlikte, genelde doğru yorumlanmaktadır.
- Güçlü kolon-zayıf kiriş kontrolleri doğru yapılmaktadır.
- Kolon-kiriş birleşim noktalarına ait yönetmelik koşulları yerine getirilmekte fakat kesme kuvveti bazı durumlarda güvensiz tarafta hesaplanmaktadır.
- Dolgu duvarlar nedeniyle oluşan kısa kolon düzensizliği belirlenememektedir.
- Kiriş, kolon, perde ve döşemeler için yönetmeliklerde tanımlı minimum koşullardan bazıları yerine getirilmemektedir.
- Tablalı kirişlerin açıklığında hesaplanan çekme donatısı alanı, bazı yük durumlarında, diğer kaynaklar ile hesaplananın altında kalmaktadır.
- Kiriş açıklığındaki çekme donatısının oranı $\rho_{max}=0.02$ üst sınırını aştığında kullanıcı uyarılmakta fakat kullanıcı bu uyarıyı dikkate almadan ilerleyerek yönetmeliklere ters düşen proje üretebilmektedir.
- Seçilen donatı kesite sığmadığında gereği yapılmamakta, uyarı verilmemektedir.
- Kolonlarda donatı planının seçimi konusunda kullanıcının bir seçeneği bulunmamaktadır. Yazılımda kullanılan donatı planı bilinmemektedir.
- Yazılım kolon ve kiriş enine donatı hesabını yönetmeliklere uygun şekilde yapmaktadır.
- Hesap raporları ve çizimleri yönetmeliklerin öngördüğü bazı bilgileri içermemektedir
- Yeterli yardım menüleri olmasına rağmen kullanıcının yararlanabileceği el kitabı yeterli ve güncel değildir.

X-PRO türü yazılımlar proje üretiminde artık vazgeçilmez bir araçtır. Ancak; hesap, çizim ve kontrollerin tamamının doğru olarak yapılamadığı da açıktır. Benzeri yazılımlarda da, az ya da çok, durumun aynı olduğu düşünülmektedir. Hesap ve kontrollerin yoğunluğu göz önünde bulundurulduğunda, eksikliklerin bulunması doğaldır. Önemli olan, eksiklerin ne olduğunu kullanıcının bilip bilmediğidir.

Uygulamada mühendislerinin yazılımlarına sonsuz güven duydukları gözlenmektedir. Mühendisler bu tür yazılımların birer hesap aracı olduğunu unutmamalı, sonuçları mutlaka kontrol etmeli, düzeltmelidirler.

Konuya yönelik yapılabilecek önerilerden biri şudur: Müellifler yazılımın neyi başarabildiği konusunda kullanıcıları çok net bir dille aydınlatmalı, eksik yönlerini gizlememelidirler. Yazılımlar güncel el kitabı ile desteklenmeli çıktılarına da yansıyan uyarılar ile zenginleştirilmelidirler. İkinci öneri ise; yazılımları denetleyen resmi bir yapının oluşturulması, belkide “yazılım yönetmeliği” ve “karşılaştırmalı değerlendirme örnekleri (Benchmark test)” hazırlanması olacaktır.

KAYNAKLAR

1. KAPLAN, O., Uygulamada Kullanılan Profesyonel Bir Statik-Betonarme Hesap ve Çizim Yazılımının İrdelenmesi, Yüksek Lisans tezi, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Eskişehir, Haziran 2007 (<http://mmf.ogu.edu.tr/atopcu>).
2. SAP 2000, Integrated Software for Structural Analysis and Design, Version 8.0, Computers and Structures, Inc., Berkeley, California, USA, 2002.
3. Türk Standartları Enstitüsü, TS 500/Şubat 2000 Betonarme Yapıların Tasarım ve Yapım Kuralları, Ankara, 2000.
4. Bayındırlık Bakanlığı, Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik, Ankara, 1977.
5. Bayındırlık Bakanlığı, Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik, Ankara, 2007.