

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

Süleyman YALÇIN *

Ahmet TOPÇU **

Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Mühendislik Mimarlık Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü,
Yapı Anabilim Dalı

ÖZET

Ülkemizde inşaat mühendisliği alanında yaygın olarak kullanılan statik-betonarme hesap ve çizim yazılımlarını denetleyen resmi bir kurum olmadığı gibi bu tür yazılımlara yönelik yönetmelik de yoktur. Yazılımların kalite ve bilimsel düzeylerinin artması firmalar arasındaki rekabet ile sınırlıdır.

Bu çalışmanın amacı, Z-PRO yazılımının güçlü-zayıf-hatalı yönlerini irdelemektir. Z-PRO uygulamada kullanılan bir yazılımın kod adıdır. Öncelikle; irdelenen yazılımın genel özelliklerine değinilmiş, yazılımın işaret kuralları, kullandığı yapı elemanları, yük, malzeme ve kesit varsayımları tanıtılmış ve irdelenmiştir. Oluşturulan basit yapı modelleri ile yazılımın statik ve betonarme sonuçları incelenmiş, Türk standartlarında öngörülen minimum koşullar ve düzensizlikler bakımından irdelenmiştir.

Z-PRO yazılımının malzeme ve özellikle yük varsayımlarında hata ve eksikliklerinin bulunduğu, standartlarda öngörülen minimum koşulların bazılarını sağlamadığı, düzensizliklerin bazılarını kontrol etmediği, bazılarını da hatalı raporladığı ya da bazılarının kararını kullanıcıya bıraktığı görülmüştür. Sonuç olarak Z-PRO yazılımının ciddi kusurları olduğu ve dikkatli kullanılması gerektiği belirlenmiştir.

GİRİŞ

Bilgisayar teknolojisindeki sürekli gelişmelere paralel olarak, inşaat mühendislerine yönelik yazılımların sayısında son yıllarda önemli bir artış olmuştur. Bu yazılımlar sayesinde en karmaşık ve zaman alıcı uygulama projeleri zor bir süreç olmaktan çıkmıştır. Ülkemizde yaygın olarak kullanılan üç adet profesyonel analiz-betonarme hesap ve çizim yazılımı vardır. Burada ticari isimleri kullanılmayacak, X-PRO⁵, Y-PRO⁶ ve Z-PRO kod adları ile anılacaktır. Bu isimlere sahip herhangi bir yazılım yoktur.

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? Çizim çıktıları şantiye uygulamaları için yeterli mi? Bu sorulara yanıt almak için yazılımlardan herhangi biri olan Z-PRO yazılımı (lisanslı ve 2010 yılı sürümü) ele alınmıştır.

Z-PRO yazılımının özellikleri ve irdeleme sonuçları aşağıda özetlenmiştir¹. Analiz sonuçlarının kontrolünde SAP 2000² yazılımı referans kabul edilmiştir. Çalışma başladığında yürürlükte olan TS 500-2000³ ve Türk Deprem Yönetmeliği 2007⁴ dikkate alınmıştır.

¹Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsünde Haziran-2011 de yapılan Yüksek Lisans tezinin özetidir. Tezin tümü http://mmf2.ogu.edu.tr/atopcu/index_dosyalar/DigerYazilimler.htm sayfasından indirilebilir.

* İnşaat Mühendisi, Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü, Proje İnşaat Dairesi Başkanlığı, ANKARA

** Prof. Dr., Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Mühendislik Mimarlık Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, ESKİŞEHİR

GENEL

Z-PRO yazılımı; betonarme yapı sistemlerinin statik ve dinamik analizi, boyutlandırılması, projelendirilmesi ve detaylandırılmasında kullanılan bir yazılımdır. Yazılım tasarım, analiz ve çizim aşamalarını içeren üç ayrı bölümden oluşmaktadır. Tüm veriler grafik ortamında girilir ve görüntülenebilir. Yapı üç boyutlu olarak ele alınmakta, taşıyıcı sistem elemanları grafik ara yüz yardımıyla kolayca tanımlanabilmektedir.

Akslar: Yapı elemanlarının geometrik yerleri, mimari ve yardımcı akslarla belirlenmektedir. Yatay aks, düşey aks ve eğrisel aks çizmek mümkündür.

Kolonlar: Dikdörtgen, daire ve poligon (dolu kesit çokgen) kesitli kolonlar tanımlanabildiği gibi kolon başlığı da eklenebilir. Düşey düzlemde eğik kolonlar modellenebilmektedir. Halka kolon ve içi boş kutu kolon modellemek mümkün değildir.

Paneller (Perdeler): Perde elemanlar iki şekilde modellenebilmektedir. Bunlar kabuk ve kolon modelleridir. Tek parça olarak poligon geometriye sahip perde tanımlamak mümkün değildir. Asansör perdesi gibi poligon geometriye sahip perdeler iki veya daha çok perde elemanın düğüm noktalarının birleştirilmesiyle tanımlanabilir. Ayrıca boşluklu perde modeli oluşturulabilir.

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

Döşemeler: Kirişli döşeme, kirişsiz döşeme, dişli döşeme ve kaset döşeme ile bölgesel boşluklu döşeme tanımlanabilir.

Temeller: Tekil temel, bağ kirişi, bir ve iki doğrultuda sürekli temel, kirişli radye temel, kirişsiz radye temel, kuyu temel ve kazık temel sistemleri modellenebilmektedir.

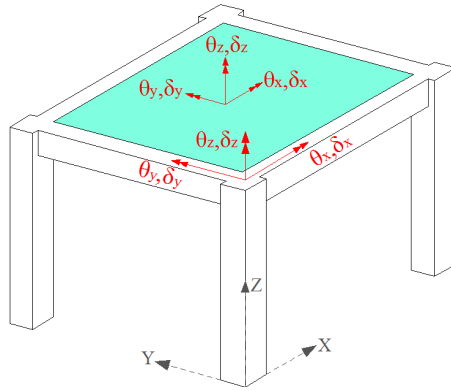
Merdivenler: İstenilen konstrüksiyon tipinde tanımlanarak statik hesabı ve betonarme analizi yapılabilmektedir.

Malzeme: Yapı malzemesi olarak yalnızca beton ve donatı çeliği kullanılmaktadır.

Yükler: Yayılı (düzgün-üçgen-trapez-parabolik) yük, sabit ve hareketli yükler yanında farklı sıcaklık eleman bazında ve ya tüm sisteme yük etkisi olarak verilebilmektedir. Deprem yükü yazılım tarafından otomatik olarak hesaplanmakta, rüzgâr ve toprak itkisi gibi yükler ise dış yük olarak kullanıcı tarafından modellenebilmektedir. Noktasal yük, yapı elemanlarına ve sistem düğüm noktalarına kuvvet olarak tanımlanabileceği gibi moment olarak da tanımlanabilir. Ayrıca sistem düğüm noktalarına noktasal kütle ve düğüm noktası deplasmanı eklenebilmektedir.

Mesnet Şartları: Mesnetler ankastre, sabit ya da hareketli olabilmektedir. Sistem düğüm noktalarında istenilen serbestlik bırakılıp, istenilen serbestlik tutulabilmektedir. Yazılımda istenilen herhangi bir düğüm noktasına yay tanımlamak mümkündür.

Analiz Modeli ve Yöntemi: Çubuk elemanların (kiriş, kolon, perde) kat seviyesinde rijit diyafram (döşeme) ile birbirine bağlanıp bağlanmadığı kullanıcı girişine bağlı olarak değişmektedir. Kullanıcı isterse kat seviyesinde rijit diyafram kabulü yapabilir. Sistem çubuk ve levhalardan oluşan üç boyutlu, sonlu elemanlar deplasman metodu ile analiz edilmektedir. Bilinmeyenler; her düğümde düşey ve yatay deplasman, her üç eksen etrafında dönme ile kat seviyesinde her üç yönde deplasman ve kat dönmesi olarak alınmaktadır (Şekil 1). Tanımlanan model hem düşey hem de yatay yüklerin analizinde kullanılmaktadır. Oluşturulan sistemler sonlu elemanlar deplasman metodu ile analiz edilmektedir.



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

Şekil 1 Grafik ekranda sunulan kat ve düğüm noktası deplasmanları

Deprem Hesabı: Eşdeğer deprem yükü yöntemi, mod birleştirme yöntemi ve zaman tanım alanında hesap yöntemleri içerisinde yalnızca mod birleştirme yöntemi ile çözüm yapmak mümkündür.

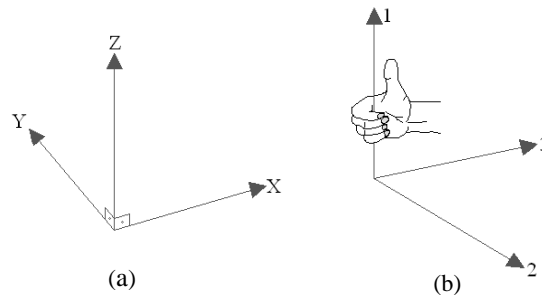
Betonarme Hesap: Tasıma Gücü Yöntemi ile yapılabilmektedir. TS 500-2000, Deprem Yönetmeliği 1975, 1997 ve 2007 dikkate alınabilmektedir.

Çıktılar: Analizi yapılan yapının gerekli tüm çizimleri, metraj ve hesap raporları üretilebilmektedir.

Diğer: Yukarıdaki başlıklara ilave olarak Z-PRO yazılımı ile güçlendirme projeleri de yapılabilmektedir.

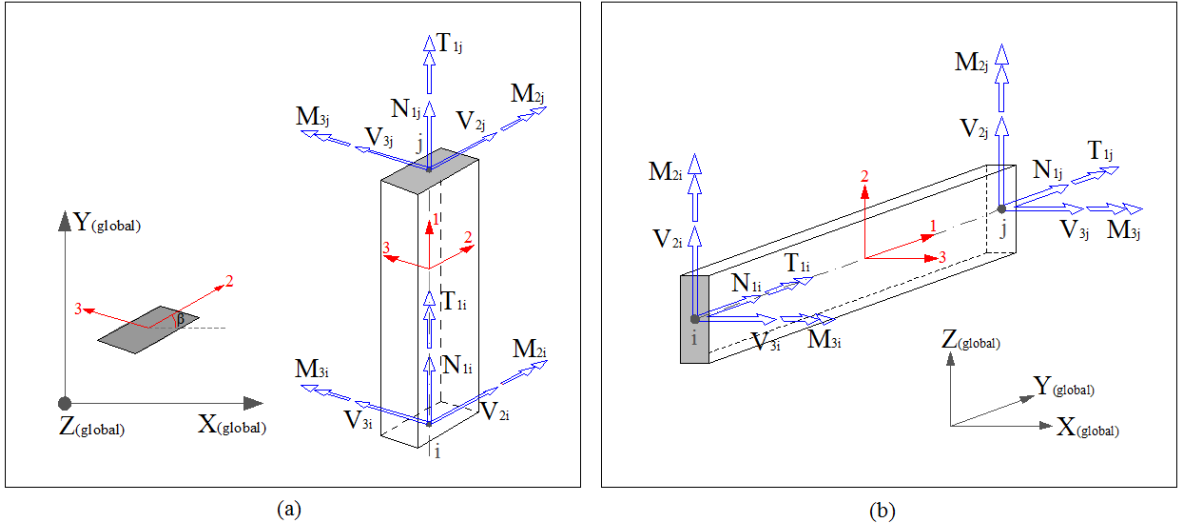
İRDELEME

İşaret Kuralı: Z-PRO yazılımında işaret kuralı nettir. X, Y, Z global (Şekil 2 (a)) ve 1, 2, 3 lokal (Şekil 2 (b)) eksenlerdir. Global ve lokal eksenler sağ sistemdir (sağ sistem: 2 eksenini 90° 3 eksenine doğru döndürülürken 1 eksenini saplanan vida hareketi yapar).



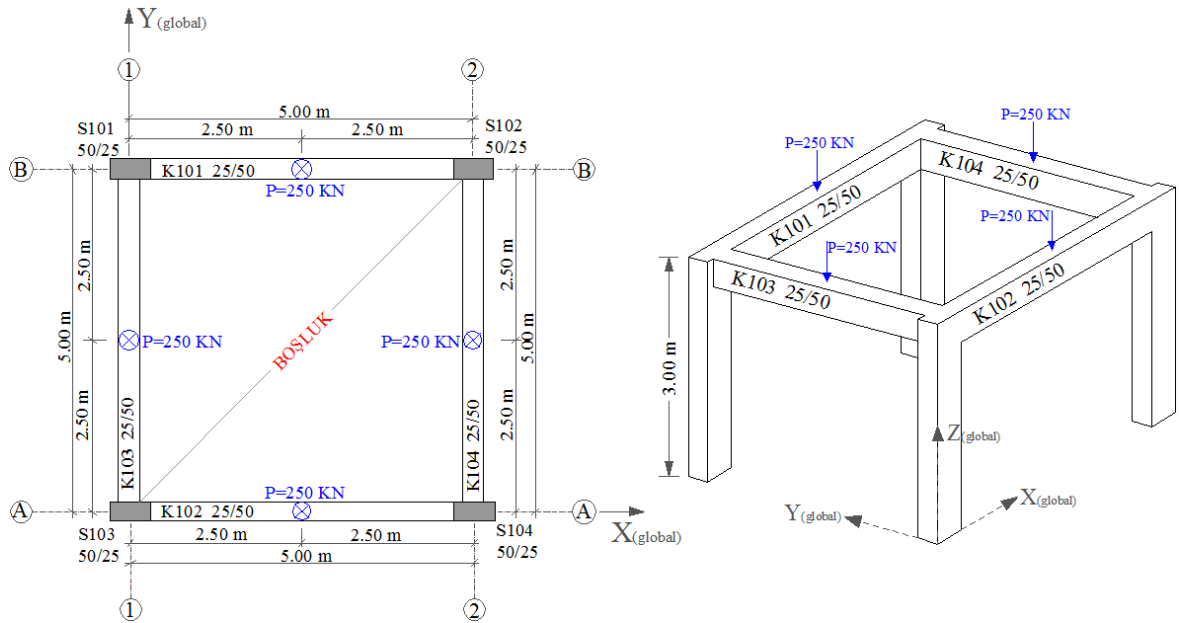
Şekil 2 Z-PRO yazılımının sunduğu; a) Global eksen takımı, b) Lokal eksen takımı

Yazılımın sunduğu teorik işaret kuralı ve çıktı pozitif yön kabulleri Şekil 3 deki gibidir. Şekil 2.3'de (a) kolonlar, (b) kirişler içindir.



Şekil 3 Z-PRO yazılımının sunduğu; a) Kolon lokal eksenleri, iç kuvvetlerin teorik pozitif yönleri ile çıktı pozitif yön kabulleri, b) Kiriş lokal eksenleri, iç kuvvetlerin teorik pozitif yönleri ile çıktı pozitif yön kabulleri

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



Malzeme ve kesit bilgileri:
 Beton: C30/37, $E_c = 3.18 \times 10^7 \text{ kN/m}^2$, $G_c = 1.272 \times 10^7 \text{ kN/m}^2$, $\mu_c = 0.25$, $\alpha_c = 0 \text{ 1/c}^\circ$, $A_{\text{kesme}} = 5/6 A_{\text{kesit}}$
 Kirişler: 25x50 cmxcem, Kolonlar: 25x50 cmxcem

Şekil 4 Rijit diyafram kabulünün irdelenmesi örneği

Şekil 4 verilen çerçeve döşemesizdir (diyafram yok). Z-PRO yazılımında döşeme olsun ya da olmasın, sistem hem rijit diyafram kabulü ile hem de rijit diyaframsız analiz edilebilmektedir.

Rijit diyafram kabulü yapılmadan yapılan analizde K101 ve K102 kirişlerinde, olması gerektiği gibi, 57.01 kN' luk eksenel yükü yazılım hesaplamıştır. Rijit diyafram kabulü ile yapılan çözümde kirişlerde eksenel kuvvetin oluşmadığı görülmüştür. TS 5000-2000 ve Deprem Yönetmeliği 2007'de kirişlerdeki eksenel kuvvet değeri sınırlandırılmıştır. Kirişlerdeki eksenel kuvvet değeri $N_d \leq 0.1 f_{ck} A_c$ olmak zorundadır; bu koşulu sağlamayan kirişler kolon gibi donatılmalıdır. Z-PRO yazılımında rijit diyafram kabulü yapılarak çözülen Şekil 4 deki sistem için analiz sonrası rapor kısmında " $N_d < 0.1 f_{ck} A_c$ Projede Normal Kuvvet Etkisinde Kiriş Bulunmuyor" raporu veriliyor. Ancak Şekil 4 deki gibi döşemesiz sistemlerin rijit diyafram varmış gibi analiz edilmesi doğru değildir. Deprem yükü altındaki döşemesiz sistemlerde bu sınırın aşılması, hatta aşırı çekme oluşması riski vardır. Bu durumda kirişlerde oluşan eksenel yükler hesaba katılmamakta, kolon davranışı gösterebilecek elemanlar kiriş olarak boyutlandırılmaktadır.

Malzeme Varsayımları: Yazılımda malzeme varsayımlarını açıklayan bölüm net değildir, beton basınç bloğu ve çelik modeli bilinmemektedir.

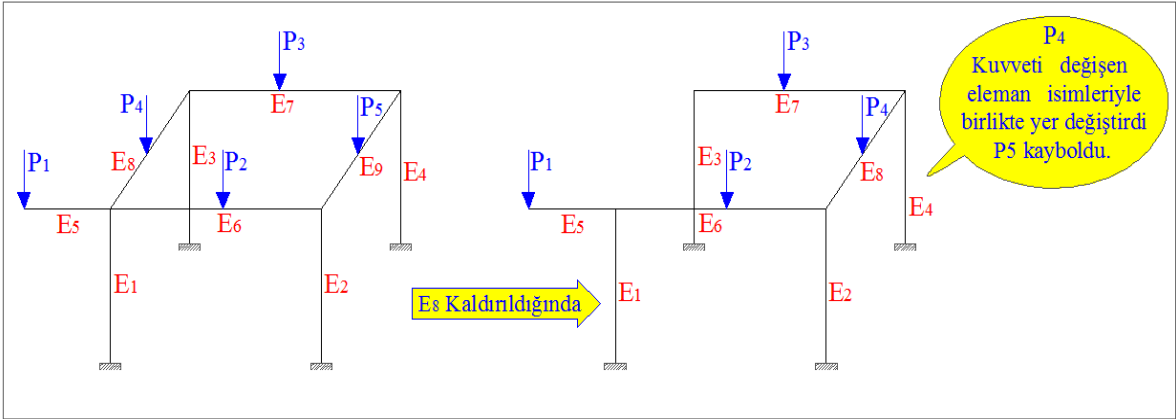
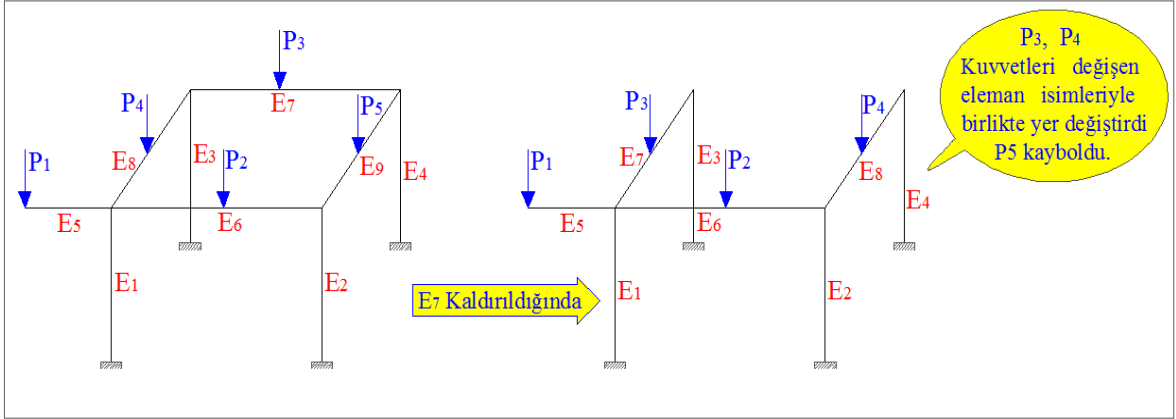
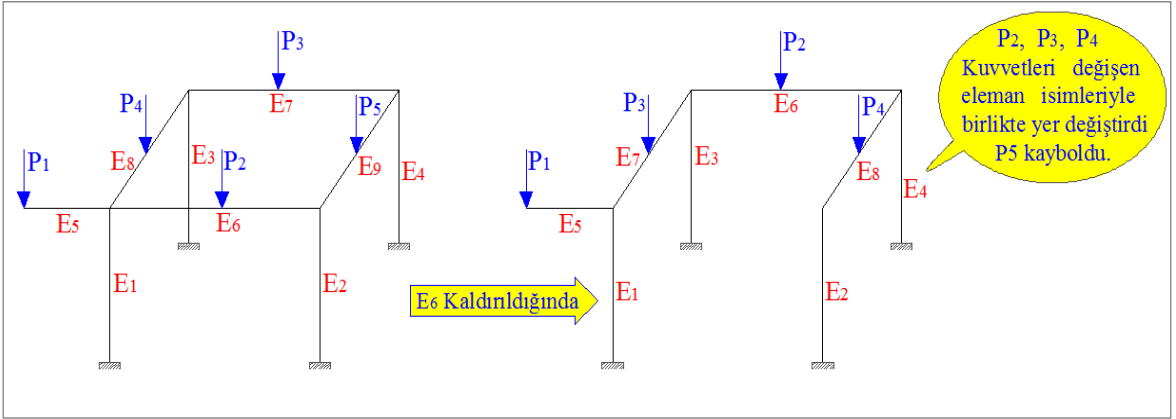
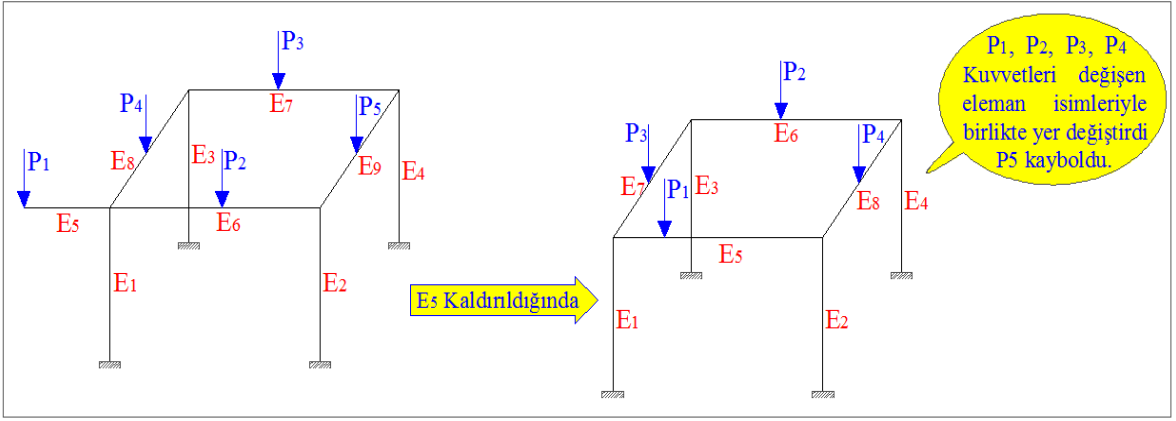
Z-PRO yazılımının eşdeğer dikdörtgen basınç bloğunu mu yoksa geçerliliği deneysel verilerle kanıtlanmış başka bir gerilme dağılımını mı kullandığı belli değildir. Ancak Z-PRO yazılımında k_1 değerlerinin değişik beton sınıfları için kullanıcı girişine sunuluyor olmasından dolayı eşdeğer dikdörtgen basınç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

Kullanıcıdan beton ve çelik karakteristik dayanımlarının ve malzeme katsayılarının sayısal değeri istenmektedir. Çelik sınıfında a veya b indisi kullanılmamaktadır. Kullanıcı yönetmeliklerde tanımlanmayan 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 C20/25 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.

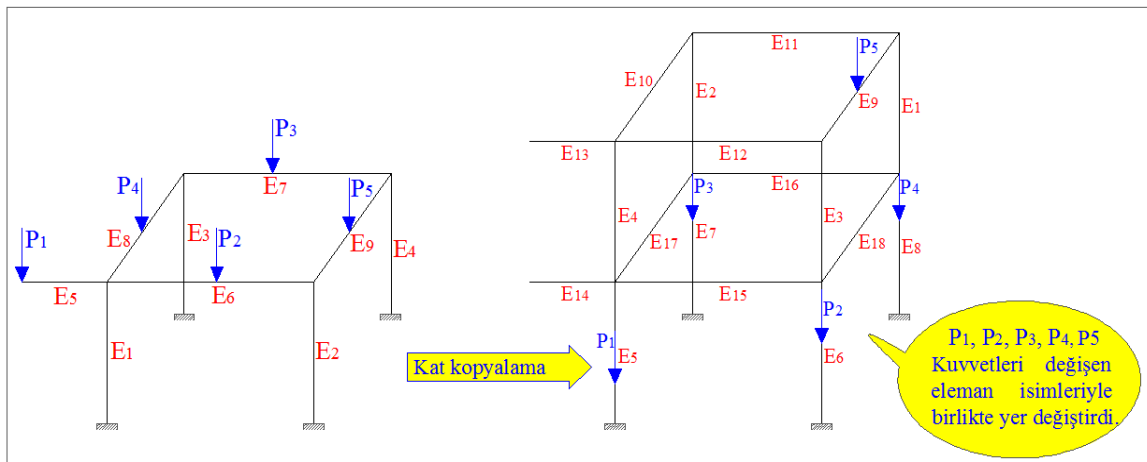
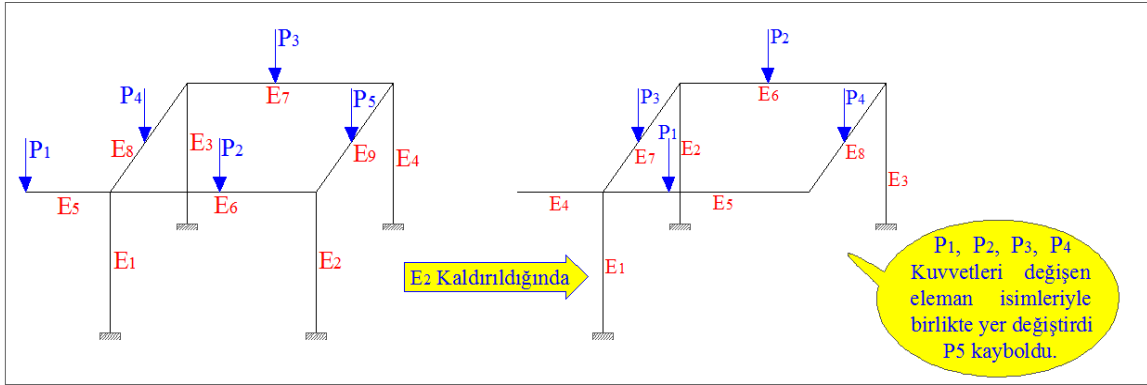
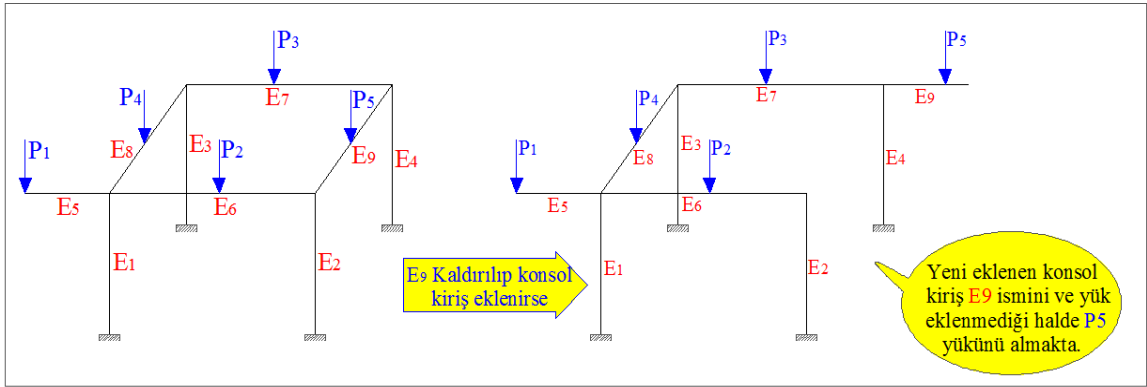
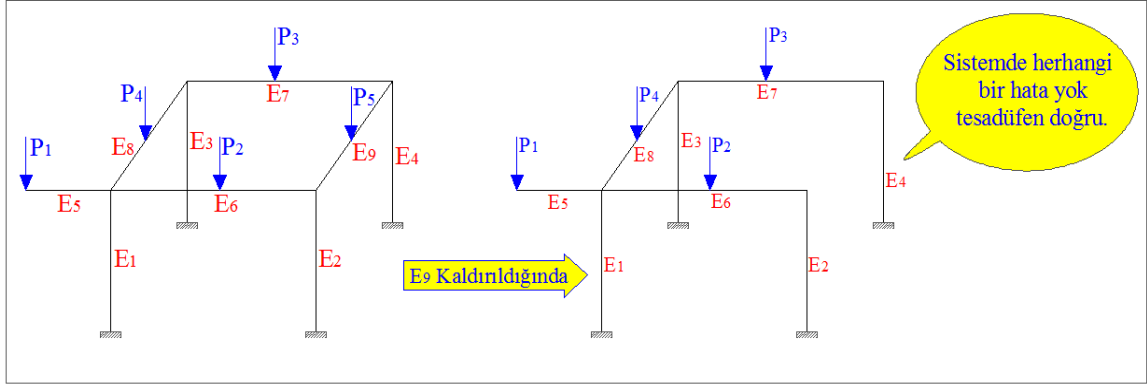
Kesit Varsayımları: Yazılımda Kesme Alanı Düzeltme Katsayısı (k)'nın sayısal değerleri net değildir (k katsayısı kesit geometrisine bağlı olarak farklı değerler alır). Z-PRO yazılımı kolon, kiriş ve perde gibi taşıyıcı elemanların kesme alanını kullanıcı girişine sunmaktadır. Kullanıcı bu duruma herhangi bir müdahalede bulunmadığı durumda yazılım kesme alanını, taşıyıcı elemanın enkesit alanının 5/6 sı olarak almaktadır. Bu yaklaşım sadece dikdörtgen kesitler için geçerlidir. Kullanıcı, dikdörtgen olmayan bir kesit modellemesi halinde, bu durumu dikkate almalıdır. Aksi halde, özellikle büyük kesitlerde, hatalı projeler üretilmesine neden olacaktır.

Yük Varsayımları: Kolon, kiriş ve perdelerde yayılı ve tekil yükler tanımlanabilmekte, sistem düğüm noktalarına noktasal yük ve noktasal moment tanımlanabilmektedir. Döşeme yükleri kiriş net açıklıklarına otomatik aktarılmaktadır. Deprem yükleri yazılım tarafından otomatik olarak hesaplanmaktadır. Tüm yapı elemanları için üniform sıcaklık farkı yük olarak tanımlanabildiği gibi tüm sisteme tek bir yük olarak da tanımlanabilmektedir. Toprak itkisi ve rüzgâr gibi yükler dış yük olarak kullanıcı tarafından modellenerek sisteme verilebilmektedir. Döşemelerde düzgün yayılı düşey yükler ve noktasal yükler tanımlanabilir. Döşemelerde tekil ya da çizgisel dış yük tanımlanıyor olması, betonarme yapılardaki (örneğin sanayi yapıları) bazı yüklerin modellenmesine olanak sağlamaktadır.

Z-PRO da tanımlanan değişik yapı modellerinde yapılan incelemelerde kullanıcı tanımlı yüklerle (düzgün yayılı, tekil vb. yükler) ilgili olarak ağır bir hatayla karşılaşılmıştır. Z-PRO da oluşturulan herhangi bir sistemin belirli bir kolon ve ya kirişlerine kullanıcı girişli olarak tanımlanan yükler, projeden o eleman çıkarıldığında ve yerine yeni bir eleman eklendiğinde, başlangıçta tanımlanan yükün kalkmadığı aksine, tanımlanan yeni elemana aktarıldığı belirlenmiştir. Bu durumu daha net ortaya koyabilmek için aşağıdaki şekiller hazırlanmıştır.



Şekil 5 Kullanıcı tanımlı yüklerin irdelenmesi için hazırlanan sistemler



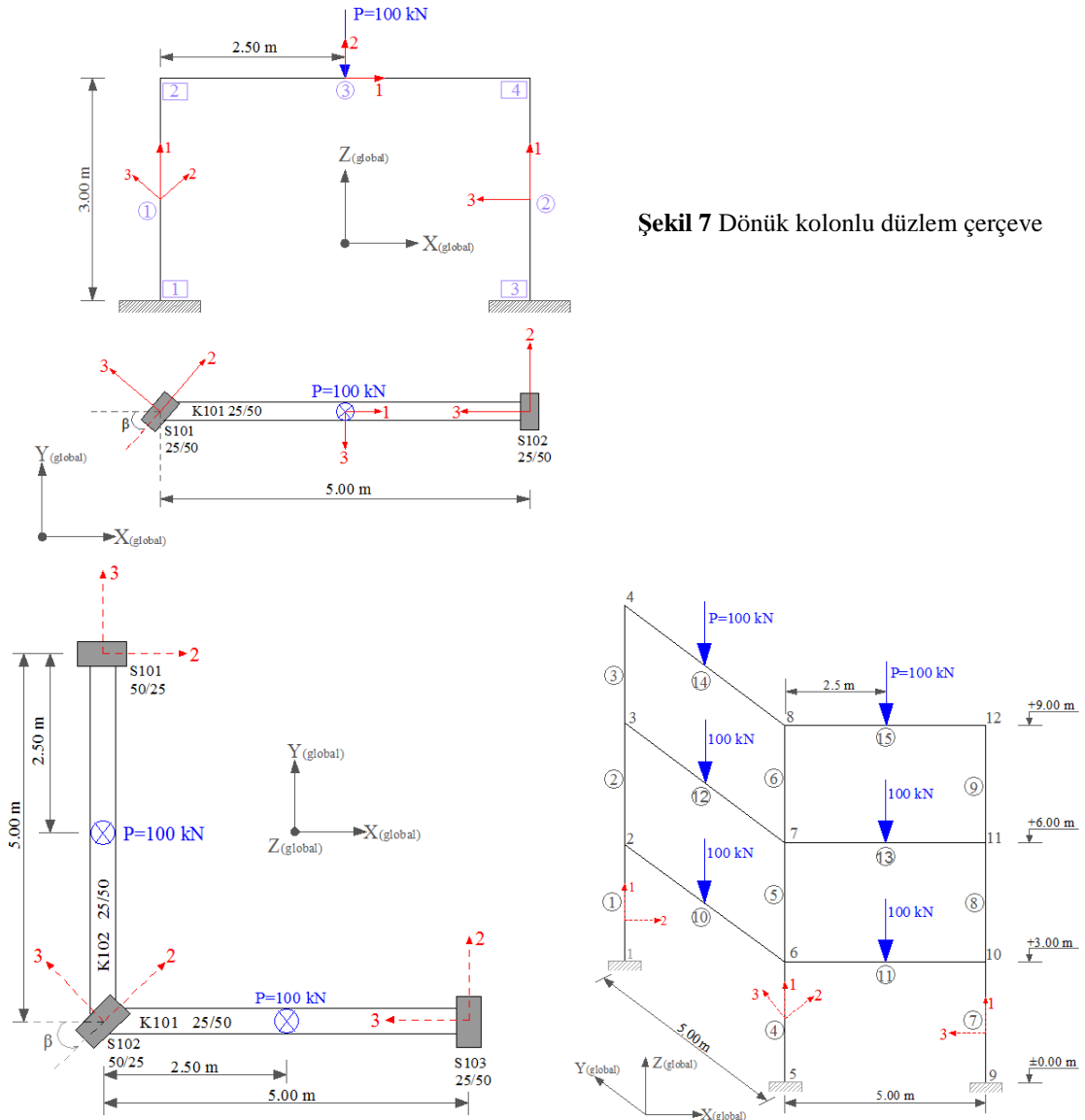
Şekil 6 Kullanıcı tanımlı yüklerin irdelenmesi için hazırlanan sistemler ve kat kopyalama

Karmaşık sistemlerde kullanıcının asla farkına varamayacağı bu yazılım hatası gerçek dışı sistemlerin analizine neden olmaktadır.

İç Kuvvetler ve Deplasmanlar: İç kuvvet ve deplasmanların irdelenebilmesi için incelenen döşemesiz sistemlerden ikisi Şekil 7 ve 8 de verilmiştir. Her iki çerçevede C30/37, $E_c = 3.18 \times 10^7$ kN/m², $G_c = 1.272 \times 10^7$ kN/m², $\mu_c = 0.25$, $A_{Kesme} = 5/6 A_{Kesit}$, $\alpha_c = 0$ 1/C° verileri kullanılmıştır.

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

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



Şekil 7 ve 8 de verilen dönük kolonlu düzlem ve uzay çerçeve sistemlerde dönük kolonların β açısı 0° – 360° arasında değiştirilerek Z-PRO ve SAP 2000 ile analiz edilmiştir.

Yapılan çözümler sonucunda aşağıdaki sonuçlara varılmıştır:

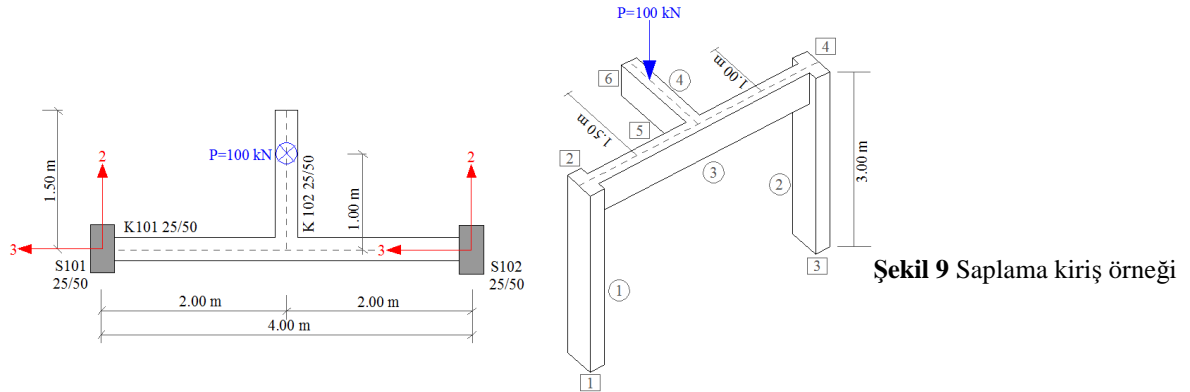
- Şekil 7 deki sistemde $\beta = 0, 30, 45, 90, 180$ ve 270° için yapılan analizlerde Z-PRO ve SAP 2000' in sunduğu deplasman ve iç kuvvet değerlerin çok büyük oranda örtüştüğü görülmüştür. En büyük hata %0.79 olmuştur.

- SAP 2000 yazılımı referans olarak kabul edildiğinde Z-PRO 30° ve 45° gibi açılı (dönük) kolonların bulunduğu sistemlerde iç kuvvet değerlerini doğru hesaplamıştır.
- Şekil 8 de verilen sistemde 4, 5 ve 6 nolu elemanlarında $\beta=30^\circ$ için hesaplanan iç kuvvetler aşağıdaki çizelgede verilmiştir. Çizelge incelendiğinde özellikle burulma momentlerinde %11 e varan farklılıklar görülmüştür. Bu farkların oluşmasında sistemin kapalı bir çerçeve olmayışının önemli bir rolünün olduğu düşünülmektedir.

$\beta = 30^\circ$ İÇİN		Z-PRO			SAP 2000			FARK %		
Eleman No	Nokta No	N kN	T kNm	M3 kNm	N kN	T kNm	M3 kNm	N1 kN	T kNm	M3 kNm
4	6	-303.65	0.12	34.38	-303.64	0.11	34.37	-0.003	-9.091	-0.029
5	7	-200.47	0.20	32.75	-200.47	0.18	32.74	0.000	-11.111	-0.031
6	8	-102.24	0.24	57.43	-102.24	0.22	57.39	0.000	-9.091	-0.070

- Şekil 8 deki sistemde S101 ve S103 kolonlarını her katta kirişlerle bağlayarak ve Bu kirişlerin orta noktalarına 100 kN luk tekil yük etki ettirilerek oluşturulan kapalı çerçeve model her iki yazılımla çözüldüğünde, tüm β değerleri için bütün elemanlarda iç kuvvet ve deplasmanların aynı olduğu görülmüştür.
- Sonuç olarak; uzay ve düzlem çerçeve sistemlerin sonuçları incelendiğinde Z-PRO yazılımının 3 boyutlu analiz yapabildiği görülmüştür.

Kirişlerde Burulma Momenti: Z-PRO yazılımı tarafından hesaplanan kiriş burulma momentlerinin irdelenmesi amacıyla Şekil 9 deki saplama kirişli model oluşturulmuştur. Malzeme ve kesit özellikleri olarak, C30/37, $E_c = 3.18 \times 10^7$ kN/m², $G_c = 1.272 \times 10^7$ kN/m², $\mu_c = 0.25$, $A_{Kesme} = 5/6 A_{Kesit}$, $\alpha_c = 0$ 1/C° verileri kullanılmıştır.



Şekil 9 deki sistemde 3 numaralı elemandaki (K101 kirişi) burulma momenti (T), 1 ve 2 numaralı elemanların (S101 ve S102 kolonları) lokal 3 eksenli etrafındaki eğilme momentine (M_{33}) eşit olmak zorundadır. Sistem Z-PRO ve SAP 2000 ile aşağıdaki kabullerle çözümlenerek bu eşitlik kontrol edilecektir.

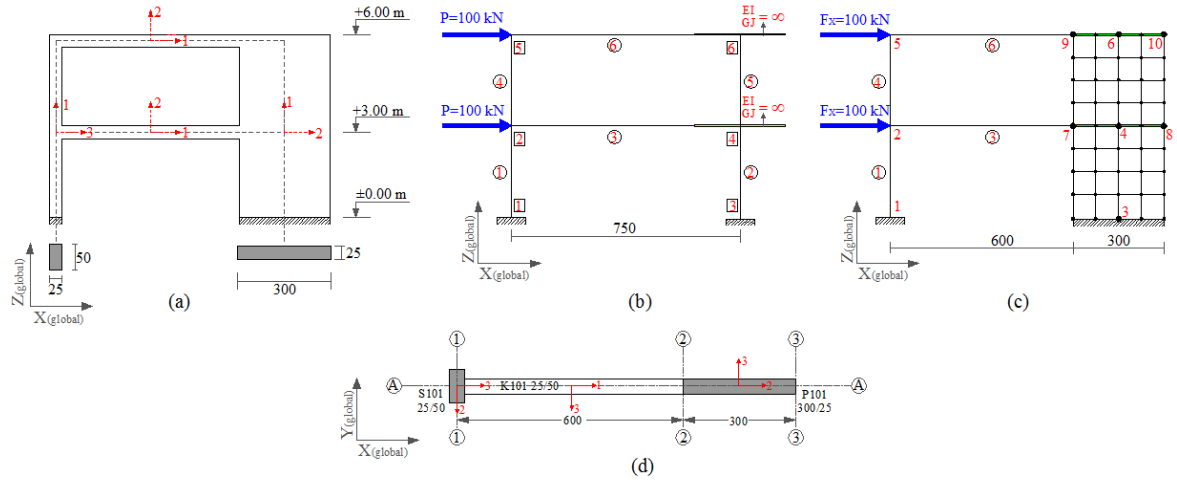
- Kolon, kiriş zati ağırlıkları ihmal edilmiştir.
- Deprem hesabı yapılmamış sistem 100 kN' luk düşey yük altında çözülmüştür.
- Kesme alanı, kesit alanının 5/6 sı alınmıştır.
- Z-PRO ve SAP 2000 yazılımında rijit diyafram kabulü yapılmamıştır.

Yapılan çözümler sonucunda aşağıdaki sonuçlara varılmıştır:

Z-PRO ve SAP 2000 sonuçları incelendiğinde 3 numaralı elemandaki (K101 kirişi) burulma momentinin ($T=50$ kNm), 1 ve 2 numaralı elemanlardaki (S101 ve S102 kolonları) lokal 3 eksenli etrafındaki eğilme momentine ($M_{33}=50$ kNm) eşit olduğu görülür. Sonuç olarak Z-PRO yazılımının saplama kirişlerdeki burulma momentini doğru hesapladığını söyleyebiliriz.

Perde Elemanlarda İç Kuvvet ve Deplasmanlar: Z-PRO yazılımında perdeler kolon ve kabuk olarak modellenebilmektedir. Kullanıcı istediği modeli kullanabilir. Perde elemanlar kolon modeli olarak analiz edilmek istendiğinde, perde kesit özellikleri çubuk olarak modellenmiş elemana aktarılmaktadır. Kabuk eleman modelinde perde, dikdörtgen sonlu kabuk elemanlara bölünmekte ve köşe noktalarından düğümlerle birbirine bağlanmaktadır. Kabuk elemanların sonlu eleman boyutunu kullanıcı belirler. Perdelerde iç kuvvet ve deplasmanların irdelenmesi için Şekil 10 daki sistem oluşturulmuştur.

Malzeme ve kesit özellikleri olarak, C30/37, $E_c = 3.18 \times 10^7$ kN/m², $G_c = 1.272 \times 10^7$ kN/m², $\mu_c = 0.20$, $A_{Kesme} = 5/6 A_{Kesit}$, $\alpha_c = 0$ 1/C° verileri kullanılmıştır.



Şekil 10 Düzlem perde+çerçeve örneği, a) Geometrik model, b) Perdenin kolon modeli, c) Perdenin kabuk modeli, d) Kalıp planı

Özellikle 1 ve 3 nolu elemanlar da oluşan iç kuvvetler aşağıdaki tabloda verilmiştir.

PERDE KOLON MODELİ							
ELEMAN NO	DÜĞÜM NO	Z-PRO			SAP 2000		
		N ₁ kN	V ₂ kN	M ₃ kNm	N ₁ kN	V ₂ kN	M ₃ kNm
1	1	4.89	0.00	0.00	4.89	0.00	0.00
	2	4.89	0.00	0.00	4.89	0.00	0.00
3	2	-100.03	2.71	7.34	-100.02	2.72	7.34
	4	-100.03	2.71	-8.61	-100.02	2.72	-8.61
PERDE KABUK MODELİ							
ELEMAN NO	DÜĞÜM NO	Z-PRO			SAP 2000		
		N ₁ kN	V ₂ kN	M ₃ kNm	N ₁ kN	V ₂ kN	M ₃ kNm
1	1	4.80	0.00	0.00	5.03	0.00	0.00
	2	4.80	0.00	0.00	5.03	0.00	0.00
3	2	-100.06	2.60	7.26	-100.05	2.86	7.43
	4	-100.06	2.60	-8.01	-100.05	2.86	-9.37

Perde kolon modelinde her iki yazılımda da benzer sonuçlar elde edilmesine karşın perde kabuk modelinde Z-PRO ve SAP 2000' in sunduğu iç kuvvetler karşılaştırıldığında en büyük fark perde kabuk modelde % 14.51 olarak hesaplanmıştır. Kabuk elemanda sonlu eleman genişliği azaltıldığında bu farklılıkların daha da azaldığı, sonuçların birbiriyle tutarlılık içinde olduğu görülmüştür. Z-PRO da Şekil 10 da verilen sistem perde kabuk modelinde ve perde kolon

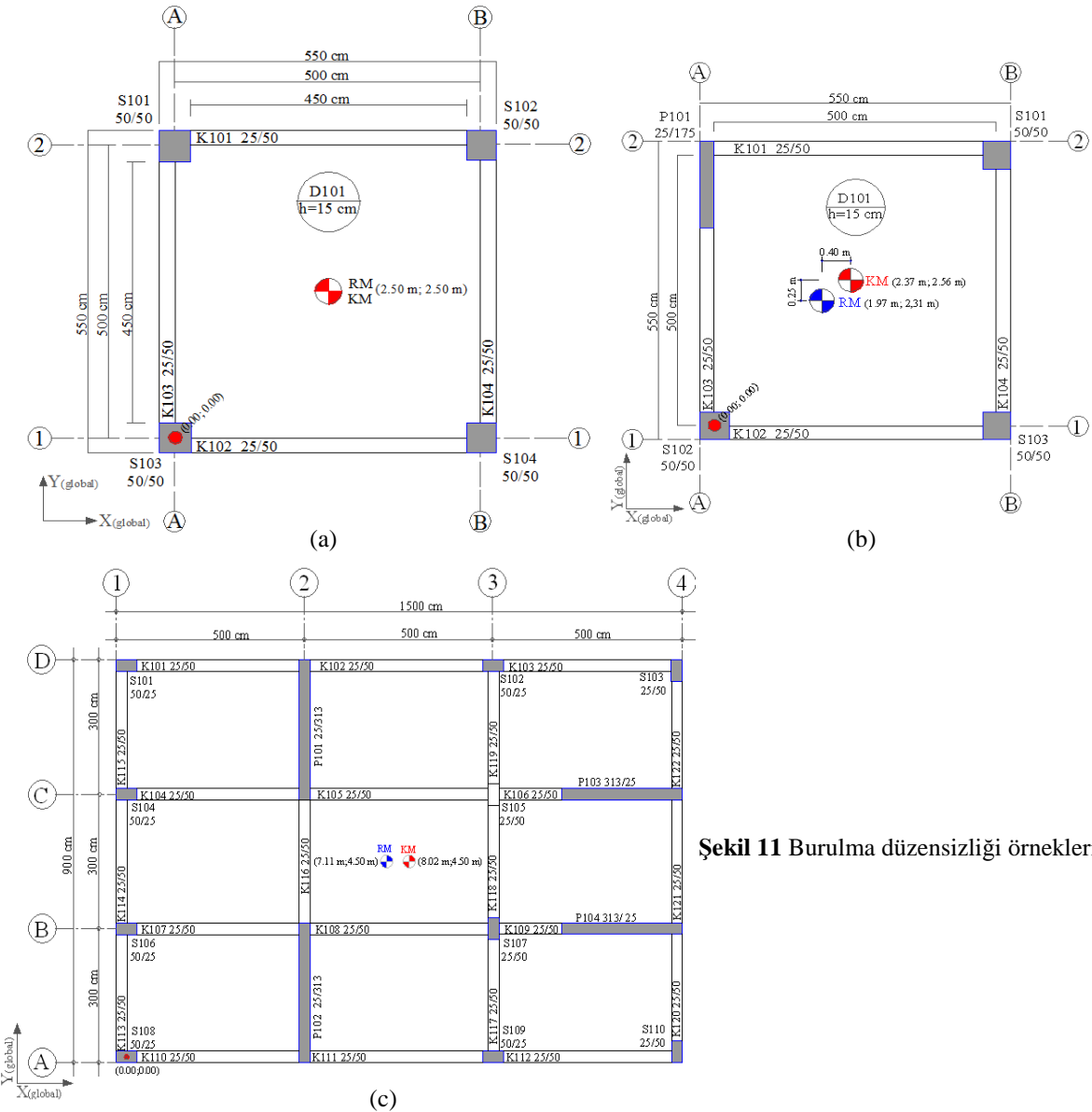
modelinde aynı sonuçları vermesi beklenirdi ancak %6.97 luk bir fark oluşmaktadır. Bu fark Z-PRO yazılımının perde kabuk moleli varsayımlarından kaynaklandığı anlaşılmaktadır. Detaylar için tez çalışmasına¹ bakılabilir.

Kütle Merkezi (KM) ve Rijitlik Merkezi (RM) Kavramı: Z-PRO da oluşturulan çeşitli yapı modelleriyle yapılan incelemelerde yazılımın kullanıcıya doğru olabilecek bir kütle ve rijitlik merkezi yeri hesaplayabildiği görülmüştür.

Betonarme Hesaplar: Detaylar tez çalışmasından¹ alınabilir.

Taşıyıcı Elemanlarda Sınır Değerler: Taşıyıcı elemanlarla ilgili olarak TS500-2000 ve DY-2007’de öngörülmüş olan birçok koşul vardır. Bu koşullar arasında kiriş, perde ve kolonların en küçük veya en büyük boyutları, donatının alt-üst sınırları sayılabilir. Z-PRO bu sınırların kontrolü ve gereğinin yerine getirilmesinde genelde başarılıdır. Ancak bazı sorunlar da yok değildir. Yer darlığı nedeniyle burada her biri ele alınmamaktadır. Detaylar tez çalışmasından¹ alınabilir.

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



Şekil 11 Burulma düzensizliği örnekleri

DY-2007 Madde 2.7.3' e göre; 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 [$\eta_{bi} = (\Delta_i)_{max} / (\Delta_i)_{ort} > 1.2$] olarak tarif edilmektedir. Görelî kat ötelemelerinin hesabı, \pm %5 ek dışmerkezlik etkileri de göz önüne alınarak yapılır. A1 düzensizliği deprem hesabında kullanılacak yöntemin seçiminde etkindir⁴.

Şekil 11 de verilen sistemler Z-PRO ile çözülrken şu kabuller yapılmıştır:

- Kolon, kiriş ve döşeme zati ağırlıkları ihmal edilmemiştir.
- Kiriş rijit kolları dikkate alınmamıştır. Rijit diyafram kabulü yapılmıştır.
- Tasarım momenti $M_d = 1.4 G + 1.6 Q$ olarak hesaplanmıştır.

Şekil 11(a) dan da açıkça görüldüğü gibi, sistem simetrik olduğundan yapının ağırlık merkezi ile rijitlik merkezi çakışık olmak zorundadır ve katlardaki görelî kat ötelemeleri eşit olacağından $\eta_{bi} = 1$ olmalıdır. Ancak DY-2007 gereği ek dış merkezliğin \pm %5 alınması ve burulma düzensizliği katsayısının bir den farklı ($\eta_{bi} \neq 1$) olması gerekmektedir. Z-PRO her iki deprem doğrultusunda; 3. kat için $\eta_{bi} = 1.04$, 2. kat için $\eta_{bi} = 1.05$, 1. kat için $\eta_{bi} = 1.05$ olarak hesaplamış ve ek dış merkezliğin \pm %5 alındığını deprem raporunda belirtmiştir.

Şekil 11(b) de rijitlik ve kütle merkezlerinin konumundan da anlaşılacağı üzere bu yapıda “ Y_{global} ” yönünde **A1** düzensizliği vardır. Yazılımın bu yapıya ait deprem raporundan alınan aşağıdaki çizelge incelendiğinde tüm katlardaki η_{bi} değerlerinin **1.2**'den büyük olduğu görülür. Bu durumda Z-PRO, \pm %5 ek dışmerkezlikleri de hesaplara dahil ederek modal analiz yapmıştır.

Kat	(d_i) (mm)	(Δ_i) _{min} (mm)	(Δ_i) _{max} (mm)	(Δ_i) _{ort} (mm)	η_{bi}	Ek Dışmerkezlik
3	1.37	0.205	0.374	0.290	1.29	DİNAMİK ANALİZ
2	0.99	0.252	0.571	0.411	1.39	DİNAMİK ANALİZ
1	0.42	0.149	0.422	0.286	1.48	DİNAMİK ANALİZ

Şekil 11(c) deki sistem $\eta_{bi} > 2$ koşulunun irdelenmesi için hazırlanmıştır. Kütle ve rijitlik merkezi arasındaki mesafeyi büyötmek amacıyla aks sayısı arttırılarak sisteme perdeler ilave edilmiştir. Şekil 11(c) deki sistemin global Y yönü için, Z-PRO aşağıdaki çizelgede görölen değerleri vermektedir. $\eta_{bi} > 2$ dir, A1 düzensizliği vardır.

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

Z-PRO $\eta_{bi} > 2$ durumunu belirleyerek kullanıcıyı uyarılmış, Ek dışmerkezliklerin \pm 0.05 olarak alınıp dinamik analiz yapıldığını raporlarında bildirmiştir.

Şekil 11(c)'de kalıp planı verilen sistem rijit diyafram kabulü yapılmadan Z-PRO da analiz edildiğinde yazılım η_{bi} değerini kullanıcıya sunmamış yalnızca A1 düzensizliği yoktur demekle yetinmiştir. Oysaki Şekil 11(c)'de verilen sistemde A1 düzensizliğinin bulunduğu açıkça görölmektedir. Z-PRO' da oluşturulan sistemler rijit diyafram kabulü yapılmadan analiz edildiğinde yazılım A1 düzensizliğini belirleyememektedir.

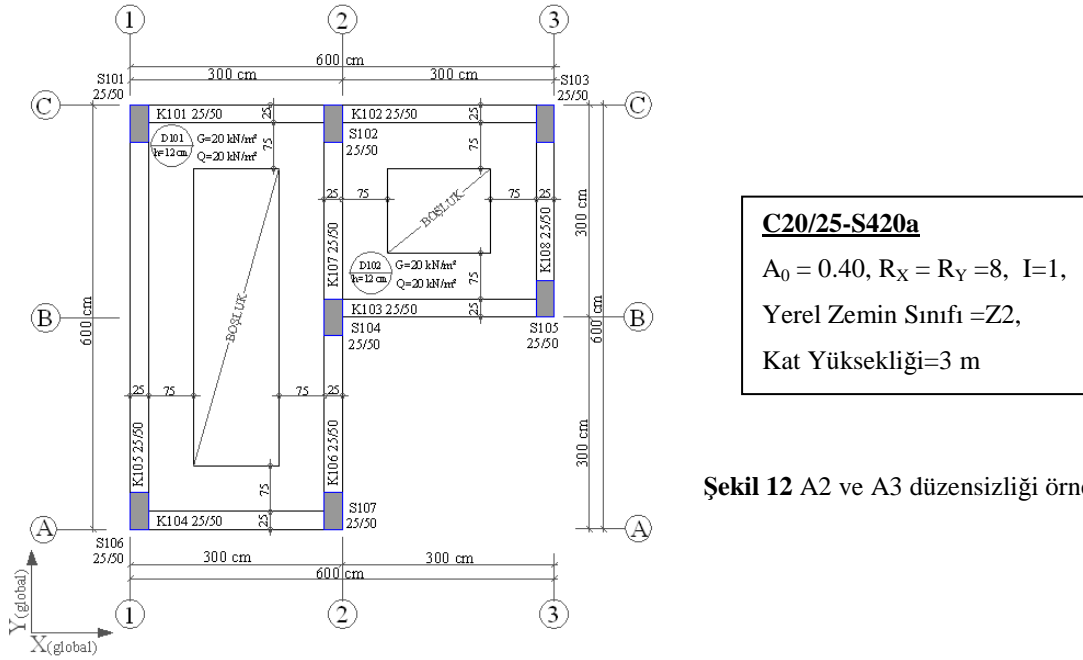
Sonuç olarak Z-PRO ile mod birleştirme yöntemi kullanılıp rijit diyafram kabulü yapılarak yapılan analizlerde, yazılım A1 düzensizliği kontrollerini genel hatları ile yerine getirmektedir.

A2 ve A3 Düzensizlikleri: Büyük boşlukları veya yeterli rijitliği olmayan ince döşemeler yatay kuvvetlerin iletilmesini güçleştirir. A2 düzensizliği döşeme boşluk alanları toplamının brüt kat alnına oranı 1/3 ü aşmamalıdır⁴. Aksi halde A2 düzensizliği ortaya çıkmaktadır. A3 düzensizliği,

bina kat planlarında çıkıntı yapan kısımların birbirine dik iki doğrultudaki boyutlarının her ikisinin de, binanın o katının aynı doğrultudaki toplam plan boyutlarının %20'sinden daha büyük olması durumunda ortaya çıkmaktadır⁴.

Şekil 3 deki sistem Z-PRO ile çözüldürken şu kabuller yapılmıştır:

- Kolon, kiriş ve döşeme zati ağırlıkları ihmal edilmiştir.
- Sistem yalnızca döşemelere etki ettirilen $Q=20 \text{ kN/m}^2$ lik sabit yük ile $Q=20 \text{ kN/m}^2$ lik hareketli yük altında analiz edilmiştir.



Şekil 12 A2 ve A3 düzensizliği örneği

Şekil 12 de kat planı görülen sistemde A2 ve A3 türü düzensizliklerinin bulunduğu açıkça görülmesine rağmen analiz sonucu yazılım, düzensizlik raporu kısmında “bütün katlarda A2 ve A3 düzensizliği koşulu sağlanmıştır” ve “kullanıcı denetledi” şeklinde rapor vermiştir.

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

Sonuç olarak, Z-PRO’da deprem kuvvetlerinin taşıyıcı sistem elemanları arasında güvenle aktarıldığı kullanıcı inisiyatifinde hesapla doğrulanmaya çalışılmıştır. Kullanıcı isterse bu durumu göz ardı edebilir. Yazılım A2 ve A3 türü düzensizliklerin bulunduğu yapılarda bu düzensizlikler yokmuş gibi rapor verebilmekte ve tüm çizim çıktılarını üretmektedir.

B1-Zayıf Kat Düzensizliği: Betonarme binalarda, birbirine dik iki deprem doğrultusunun herhangi birinde, herhangi bir kattaki etkili kesme alanının, bir üst kattaki etkili kesme alanına oranı olarak tanımlanan Dayanım Düzensizliği Katsayısı η_{ci} ’nin **0.80**’den küçük olması durumu:

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

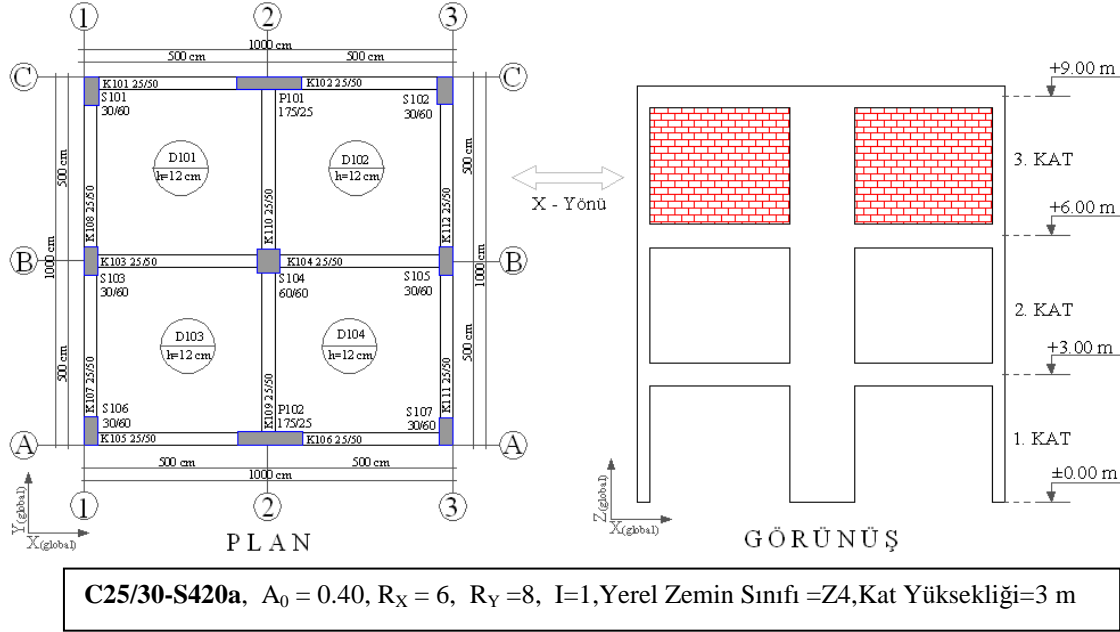
Herhangi bir katta etkili kesme alanının tanımı:

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

B1 türü düzensizliğinin bulunduğu binalarda, göz önüne alınan i’inci kattaki dolgu duvarı alanlarının toplamı bir üst kattanına göre fazla ise, η_{ci} ’nin hesabında dolgu duvarları göz önüne alınmayacaktır. $0.60 \leq (\eta_{ci})_{\min} < 0.80$ aralığında taşıyıcı sistem davranış katsayısı (**R**), $1.25 (\eta_{ci})_{\min}$ değeri ile çarpılarak her iki deprem doğrultusunda da binanın tümüne uygulanacaktır (bu durum

deprem yükünün artacağı anlamındadır). Ancak hiçbir zaman $\eta_{ci} < 0.60$ olmayacaktır. Aksi durumda, zayıf katın dayanımı ve rijitliği artırılarak deprem hesabı tekrarlanacaktır⁴.

Şekil 13 de kat planı görülen model B1 düzensizliğinin irdelenmesi için hazırlanmıştır.



Şekil 13 B1 düzensizliği örneği

Şekil 13 de verilen sistemde 1. ve 2. Katta duvar yok 2. Kat tavanında bulunan bütün kirişlerin üstünde yüksekliği 2.5 m, kalınlığı 19 cm olan gazbeton ile örülmüş boşluksuz duvarlar bulunmaktadır. Gazbeton ağırlığı 6.374 kN/m alınmıştır. Şekil 13 de L=5 m alınarak hesaplanan etkin kesme alanları ve η_{ci} oranları el hesabı ile Z-PRO sonuçları aşağıdaki çizelgelerde verilmiştir.

B1 Düzensizliği El Hesabı Sonuçları

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

B1 Düzensizliği Z-PRO Sonuçları

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

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

²Yazılımın, duvar enkesit alanları toplamı hesabında, duvar kalınlığına iç ve dış sıva kalınlıklarını da ilave etmiş olabileceği düşünülmektedir.

$0.60 \leq (\eta_{ci})_{\min} = 0.75 < 0.80$ olduğundan;

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

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

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

El hesabı sonucu tespit edilen taşıyıcı sistem davranış katsayıları:

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

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

$\eta_{ci} < 0.60$ durumunun irdelenmesi için Şekil 13 deki sistemde P101 ve P102 perdeleri kaldırılıp yerlerine 30/60 lık kolon yerleştirilmiş açıklık $L=4$ m ve taşıyıcı sistem davranış katsayısı da her iki deprem doğrultusu için $R=8$ alınarak tekrar B1 düzensizliği el hesabı ile Z-PRO sonuçları karşılaştırılmıştır. Sonuçlar aşağıdaki çizelgede verilmiştir.

B1 Düzensizliği El Hesabı Sonuçları

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

B1 Düzensizliği Z-PRO Sonuçları

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

¹Yazılımın, duvar enkesit alanları toplamı hesabında, duvar kalınlığına iç ve dış sıva kalınlıklarını da ilave etmiş olabileceği düşünülmektedir.

Sonuç olarak;

Salt çerçeve sistemlerde Z-PRO da yapılan analiz sonucu, yazılım B1 düzensizliğini tespit edip yazılı hata raporu vererek $\eta_{c2x} = 0.56 < 0.60$ ve $\eta_{c2y} = 0.56 < 0.60$ olduğundan yönetmelik doğrultusunda kullanıcıyı sistem rijitliğinin artırılması konusunda uyarmıştır.

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

B2-Yumuşak Kat Düzensizliği: Birbirine dik iki deprem doğrultusunun herhangi biri için, herhangi bir i'inci kattaki ortalama görelî kat ötelemesi oranının bir üst veya bir alt kattaki ortalama görelî kat ötelemesi oranına bölünmesi ile tanımlanan Rijitlik Düzensizliği Katsayısı η_{ki} 'nin 2.0'den fazla olması durumu:

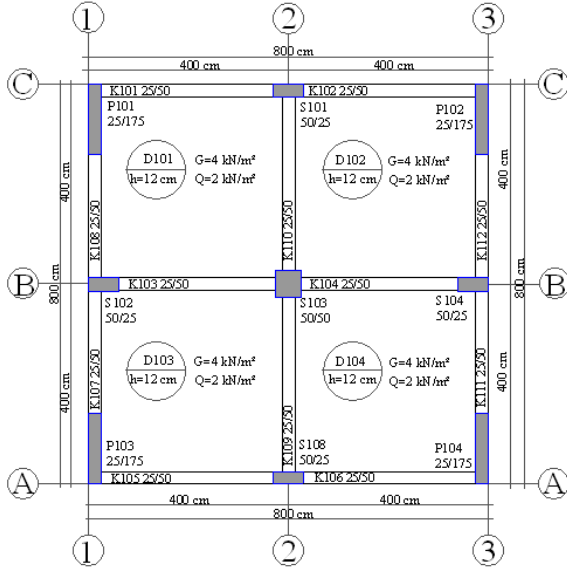
$$\eta_{ki} = (\Delta_i / h_i)_{\text{ort}} / (\Delta_{i+1} / h_{i+1})_{\text{ort}} > 2.0$$

veya

$$\eta_{ki} = (\Delta_i / h_i)_{\text{ort}} / (\Delta_{i-1} / h_{i-1})_{\text{ort}} > 2.0$$

Görelî kat ötelemelerinin hesabı, \pm %5 ek dışmerkezlilik etkileri de göz önüne alınarak yapılacaktır. B2 düzensizliği deprem hesabında kullanılacak yöntemin seçiminde etkendir⁴.

B2 düzensizliğinin Z-PRO da irdelenmesi için Şekil 14 de kalıp planları verilen perde-çerçeve ve salt çerçeveden (perdesiz) oluşan, kat adetleri 6 olan iki farklı model oluşturulmuştur. Tüm katların kalıp planları aynıdır. İlk iki kat 5 m diğer katlar 3 m yüksekliğindedir. Beton yoğunluğu 2.5 t/m^3 tür. Elemanların kendi ağırlıkları ihmal edilmemiştir. Kiriş rijit kolları dikkate alınmıştır. Rijit diyafram kabulü yapılmıştır. Kesme alanı, kesit alanının $5/6$ sı alınmıştır. Döşemelere ilave 4 kN/m^2 lik sabit, 2 kN/m^2 hareketli yük etki ettirilmiştir. Sisteme başkaca bir yük verilmemiştir.



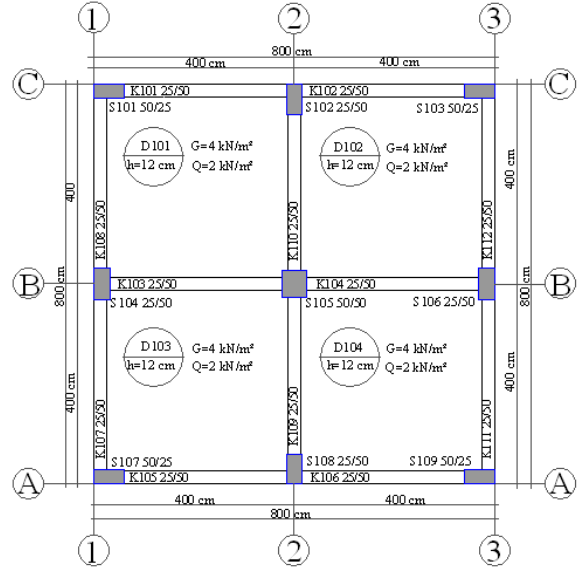
6 Katlı Perdeli Yapı

C20/S420a

$A_0 = 0.30$, $I = 1$, $R = 6$, Y. Z. S.= Z4, $\gamma_c = 2.5t/m^3$

Kat Yüksekliği:

1.ve 2. Katlar = 5 m; 3, 4, 5 ve 6. Katlar = 3 m



6 Katlı Perdesiz Yapı

C20/S420a

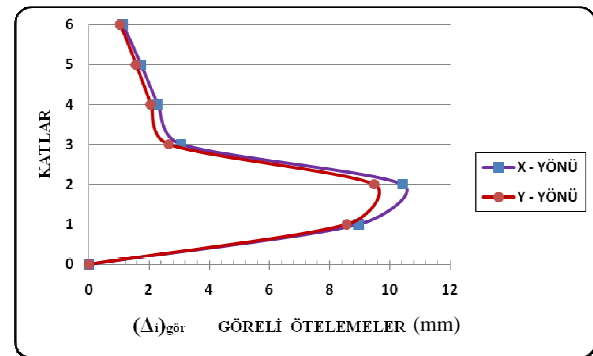
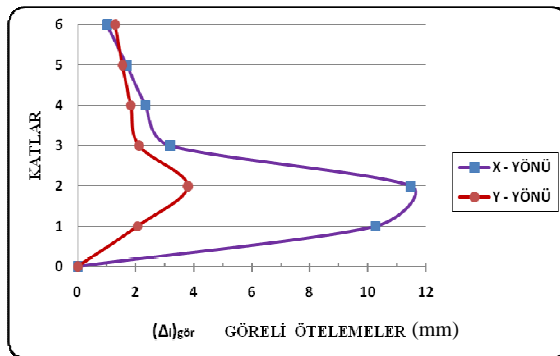
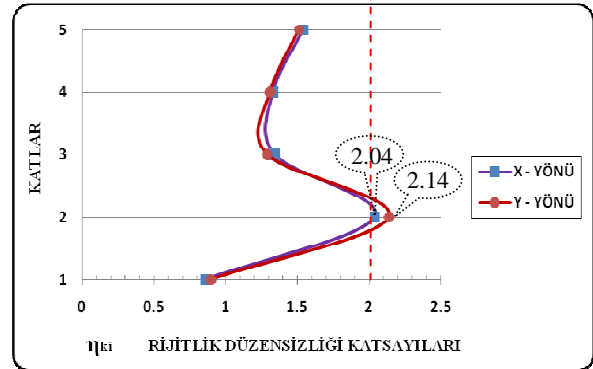
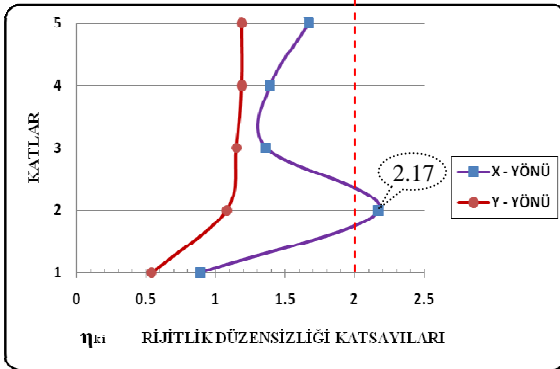
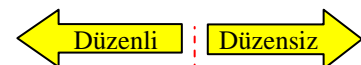
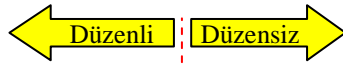
$A_0 = 0.30$, $I = 1$, $R = 8$, Y. Z. S.= Z4; $\gamma_c = 2.5t/m^3$

Kat Yüksekliği:

1.ve 2. Katlar = 5 m; 3, 4, 5 ve 6. Katlar = 3 m

Perde - Çerçevesiz Sistem

Salt - Çerçeve Sistem

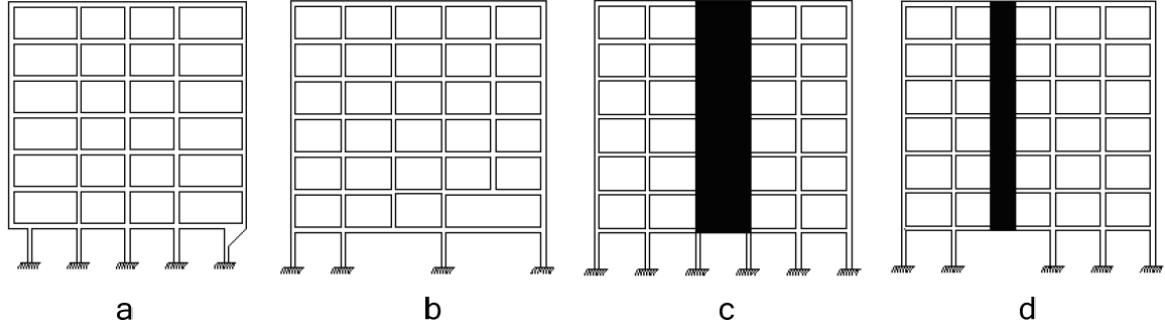


Şekil 14 B2 düzensizliği örneği

Şekil 14 deki sistemlere ait grafikler Z-PRO nun deprem raporundan alınan değerler ile hazırlanmıştır. Rijitlik Düzensizliği Katsayısı grafiklerinden görüldüğü gibi perdeli sistemde 2.

katta X yönünde $\eta_{ki} = 2.17 > 2$, perdesiz sistemde X yönünde $\eta_{ki} = 2.04 > 2$ ve Y yönünde $\eta_{ki} = 2.14 > 2$ dir. Z-PRO yazılımı B2 düzensizliğini belirlemiştir.

B3-Taşıyıcı Sistemin Düşey Elemanlarında Süreksizlik Düzensizliği:



Şekil 15 B3 düzensizliği örnekleri

Z-PRO ile Şekil 15(a)'da verilen örnek çözülmüştür. Sistemde B3 düzensizliğinin bulunduğu açıkça görülüyor olmasına rağmen yazılım bu durumu tespit edememiştir. Bu durum DY-2007 de yasaklanmasına rağmen yazılımda hiçbir uyarı ile karşılaşılmamıştır. Aksine yazılım “B3 düzensizliği koşulu sağlanmıştır” diyerek rapor vermiş ve yönetmeliğe aykırı çözüm üretilmesine neden olmuştur.

Z-PRO yazılımı ile Şekil 15(b)'de verilen örnek çözülmüştür. Yazılım 2. ve 3. Katlarda B3 düzensizliğini tespit etmiş ve kullanıcıyı uyarmıştır. Kolonun, iki ucundan mesnetli bir kirişe oturtulduğu durumda uygulanması gereken %50 lik iç kuvvet artırımı ilgili kolon ve kirişlerde yapılmıştır. Bu durum yazılımın deprem raporunda ayrıntılı olarak kullanıcıya sunulmuştur. Z-PRO yazılımı DY-2007 Madde 2.3.2.4 (b)'yi dikkate almıştır.

Z-PRO yazılımı ile Şekil 15(c)'de verilen örnek çözülmüştür. Yazılım B3 düzensizliğini tespit edip kullanıcıyı uyarmıştır. Deprem raporunda da bu durumu ayrıntılı olarak kullanıcıya sunmuştur.

Z-PRO yazılımı ile Şekil 15(d)'de verilen örnekte perde eleman iki ayrı şekilde oluşturulmuştur. 1. modelde perde eleman, perde boyutlarında (25cmx200cm) kolon taşıyıcı elemanı kullanılarak oluşturulmuştur. 2. modelde ise perde eleman, panel taşıyıcı elemanı kullanılarak (25cmx200cm) boyutlarında perde oluşturulmuş ve her iki sistem ayrı ayrı Z-PRO ile çözülmüştür. 1. modelde Z-PRO B3 düzensizliğini tespit etmiş ve DY-2007 Madde 2.3.2.4 (b) ye göre ilgili kolon ve kirişlerde %50 iç kuvvet artırımına gitmiştir. Z-PRO kolon modeli kullanılarak oluşturulan perde boyutundaki bu elemanı kolon olarak kabul etmiştir. Oysaki bu durum DY-2007 Madde 2.3.2.4 (d) de yasaklanmış olmasına rağmen yazılım bu durumu belirleyememiş ve yönetmeliğin bu maddesine aykırı çözüm olmuştur. 2. Modelde ise Z-PRO B3 düzensizliğini tespit edememiştir.

Sonuç olarak, Z-PRO yazılımı DY-2007 Madde 2.3.2.4 (a) ve DY-2007 Madde 2.3.2.4 (d)'yi dikkate almayarak yönetmeliğin bu maddelerine aykırı projelerin üretilmesine neden olmuştur.

Görelî Kat Ötelemelerinin Sınırlandırılması: Z-PRO yazılımı DY-2007' nin öngördüğü kontrolleri yaparak, sağlanmaması durumunda, kullanıcıyı uyarmaktadır.

İkinci mertebe etkileri: DY-2007' nin öngördüğü kontroller yapılmakta ve sağlanmaması durumunda kullanıcı uyarılmaktadır.

Taşıyıcı Sistemin Süneklik Düzeyi: Yapıların süneklik düzeylerinin belirlenmesinde deprem bölgesi ve taşıyıcı sistem türü etkilidir. DY-2007 yapıların süneklik düzeylerini yüksek, normal ve karma olmak üzere üç farklı şekilde tanımlamıştır. Seçilen süneklik düzeyine göre de DY-2007

Tablo 2.5 den yapının taşıyıcı sistem davranış katsayısı seçilerek azaltılmış deprem yükleri belirlenmektedir.

Z-PRO yazılımı taşıyıcı sistemin süneklik düzeyi ile ilgili olarak DY-2007' nin getirmiş olduğu koşullardan Madde 2.5.1.2, Madde 2.5.1.4, Madde 2.5.1.5, Madde 2.5.1.6'yı yerine getirmemektedir. Detaylar için tez çalışmasına¹ bakılabilir.

Taşıyıcı Sistem Davranış Katsayısı (R): Kullanıcının taşıyıcı sistemin davranışına uygun R katsayısı seçmemesi durumunda Z-PRO genel olarak yönetmelik koşullarını yerine getirmemiş ve kullanıcıyı uyarılmamıştır. Detaylar için tez çalışmasına¹ bakılabilir.

Güçlü Kolon-Zayıf Kiriş: Z-PRO yazılımı kolonların kirişlerden daha güçlü olması koşulu ile ilgili kontrolleri DY-2007'ye uygun şekilde yapmaktadır.

Kolon-Kiriş Birleşim Noktaları: Kuşatılmış ve kuşatılmamış birleşim noktaları ile ilgili yönetmelik koşulları genel hatlarıyla yerine getirilmektedir. Detaylar için tez çalışmasına¹ bakılabilir.

Kısa Kolon Oluşumu: Z-PRO yazılımı bir katta, yüksek kirişlerin bulunması, ara sahanlık kirişleri bulunması ya da dolgu duvarları (örneğin bant pencereler) bulunması nedeniyle, kısa kolon oluştuğu zaman bunu kendiliğinden tespit edememekte ve gerekli önlemleri alamamaktadır. Ancak Z-PRO kullanıcı kısa kolon durumunu kendisi tespit ederek gerekli önlemleri belirli ölçüde alabilmektedir.

Z-PRO kullanıcı, projesinde bir kısa kolon oluşumu varsa, bu durumdaki tüm kolonları tek tek seçip yazılımda kısa kolon olarak tanımlaması gerekmektedir. Tanımlanan bu kısa kolonlarla yapılan analizler sonucu, sistemde seçilen kolonları Z-PRO kısa kolon olarak belirleyebilmekte ve DY-2007 Madde 3.3.8'in öngördüğü koşulları yerine getirip raporlarında bu durumu ayrıntılı bir şekilde göstermektedir. Sonuç olarak Z-PRO kullanıcı inisiyatifinde kısa kolon oluşumunu belirleyip gerekli önlemleri alabilmektedir.

Mod Birleştirme Yöntemi: Z-PRO yazılımı DY-2007 Madde 2.8.5 deki mod birleştirme yöntemi koşullarını genel hatlarıyla yerine getirmiştir.

Proje Rapor ve Çizimleri: Detaylar tez çalışmasından¹ alınabilir.

SONUÇ VE DEĞERLENDİRMELER

Z-PRO yazılımının irdelenmesi sonucunda varılan sonuçlar aşağıda özetlenmiştir:

- Yapısal analiz ve malzeme varsayımları ile ilgili bilgi eksiklikleri vardır.
- Z-PRO yazılımında bütün deprem bölgelerinde **C20/25**'den daha düşük dayanımlı beton sınıfı seçilip bu beton sınıfına göre analizler yapılabilmekte kullanıcı uyarılmamaktadır. Bu durum DY-2007 madde 3.2.5.1'e aykırı projelerin üretilmesine neden olmaktadır.
- Z-PRO yazılımında beton sınıfı olarak **C50/60**' den daha yüksek dayanımlı beton sınıfına göre analiz yapılabilmekte ve kullanıcı uyarılmamaktadır. DY-2007 Madde 3.1.4' aykırı proje üretilmektedir.
- Yazılımda DY-2007 Madde 3.2.5.4'ün kapsamı dışındaki durumlarda **S420**'dan daha yüksek dayanımlı çelik sınıfı seçilerek bu çelik sınıfına göre analiz yapılabilmekte ve bu konuda kullanıcı uyarılmamaktadır.
- DY-2007 tarafından açıkça yasaklanmış olmasına rağmen **S500** donatı çeliği kullanılarak herhangi bir uyarı ile karşılaşılmadan yönetmeliğe aykırı projeler üretilmektedir.

- Yazılımın çizimlerinde **S220a** çeliği **S220** olarak, **S420a** ve **S420b** çelikleri de **S420** olarak, **S500a** ve **S500b** çelikleri de **S500** olarak gösterilmekte, **a** ve **b** indisi ile ilgili ne hesap raporlarında ne de çizim çıktılarında herhangi bir bilgi rastlanılmamıştır.
- Yazılımda veri girişlerinde standart değerlerin dışında değerler tanımlayıp analiz yapılabilmekte ve bu durumda yazılım kullanıcılarını uyarmamaktadır.
- Kolonlarda donatı planının seçimi konusunda kullanıcının bir seçeneği bulunmamaktadır. Yazılımda hangi tip donatı planı kullanıldığı belli değildir.
- Kiriş, kolon ve perde uçları boyuna donatılarında deprem yönetmeliğinin izin verdiği çelik sınıfı S420a olmasına karşın, herhangi bir uyarı ile karşılaşmaksızın boyuna donatılar S220a donatı çeliği tanımlanıp proje üretilebilmektedir.
- Kullanıcı tanımlı yüklerde bazı sorunlarla karşılaşmıştır. Yazılımda oluşturulan herhangi bir sistemin belirli bir kolon, perde veya kirişlerine kullanıcı girişli olarak tanımlanan yükler, projeden o eleman çıkarıldığında veya yerine yeni eleman eklendiğinde ya da kat kopyalama durumlarında, yükün eleman ile birlikte kalkmadığı, başka elemana aktarıldığı, değişen eleman isimleriyle birlikte hareket ettiği görülmektedir. Karmaşık sistemlerde kullanıcının asla farkına varamayacağı bu yazılım hatası gerçeğe dış sistemlerin analizine neden olmaktadır.
- Yazılımda seçilen donatı kesite sığmadığında sesli ya da yazılı bir uyarı verilmemektedir.
- Kirişsiz konsol döşemeyi taşıyan kiriş için tablalı kesit hesabı yapılmamakta, dikdörtgen kesit hesabı yapılmaktadır.
- Kiriş, kolon, perde ve döşemeler için TS 500-2000 ve DY-2007'de tanımlanan minimum koşullardan bazılarını yerine getirmemektedir.
- Eşdeğer deprem yükü yöntemi, mod birleştirme yöntemi ve zaman tanım alanında hesap yöntemi yazılım menülerinde var olmasına rağmen yalnızca mod birleştirme yöntemi ile deprem hesabı yapmak mümkündür, eşdeğer deprem yükü yöntemi kullanılamamaktadır.
- Yazılım Rijit diyafram kabulü yapılmayan sistemlerde A1 düzensizliğini belirleyememektedir.
- Z-PRO yazılımı A2 ve A3 düzensizliklerini doğrudan belirleyememektedir. Z-PRO' da deprem kuvvetlerinin taşıyıcı sistem elemanları arasında güvenle aktarıldığı kullanıcı inisiyatifinde hesapla doğrulanmaktadır. Kullanıcı isterse bu durumu göz ardı edebilmekte, yapılarda A2 ve A3 düzensizliği olsa da yokmuş gibi rapor alınabilmektedir.
- Yazılım, perde-çerçevesel sistemlerde, B1 düzensizliğini doğru olarak tespit edememiştir. Hesaplamalarda her iki deprem doğrultusu için de perde enkesit alanları toplamını, sistemde bulunan tüm perdelerin enkesit alanları toplamı olarak ele almış perdelerin çalışma doğrultularını dikkate almamıştır.
- B3 düzensizliği kontrolü, DY-2007 Madde 2.3.2.4 (a) ve DY-2007 Madde 2.3.2.4 (d) koşulları yerine getirilmemektedir.

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

Z-PRO türü yazılımlar proje üretiminde artık vazgeçilmez bir araçtır. Ancak, görüldüğü gibi, yazılımın önemli eksikleri bulunmaktadır. Kanımızca, Z-PRO'nun arkasında yeterli teorik destek yoktur. Daha çok, uygulamada çalışan mühendislerin hoşlanacağı tarzda hazırlanmıştır. Bu tür eksikliklerin diğer yazılımlarda da, az ya da çok, bulunduğu önceki çalışmalardan tespit edilmiştir (X-PRO⁵ ve Y-PRO⁶ nun irdelenmesi). Yönetmeliklere ters düşen durumlarda uyarı dahi vermeyen veya kararı kullanıcının keyfine bırakan ve analizi sonuna kadar götüren bir yazılıma "iyidir" denilemez. Yapılması gereken hesap ve kontrol edilmesi gereken yönetmelik maddelerinin çokluğu göz önünde bulundurulduğunda eksikliklerin bulunması doğaldır. Önemli olan bu eksiklerin ne olduğunun bilinmesidir.

Gerekli hesap, çizim ve kontrollerin kabul edilebilir doğrulukta yapılmadığı 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 ya da kullandıkları yazılıma sonsuz güven duymaktadırlar. Bu noktada getirilebilecek önerilerden bir tanesi yazılımların müelliflerine olacaktır: Yazılımlarının neleri yapıp neleri yapamadığı konusunda kullanıcılarını çok net bir dille aydınlatmaları gerekmektedir. Yazılımı güncel el kitabı ile desteklemeli 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, beklide "yazılım yönetmeliği" hazırlanması olacaktır. Uzmanlık gerektiren tasarım yazılımlarının denetlenmesi işi bir teknik kurula bırakılmalıdır. Bu teknik kurulda, Üniversitelerin, Bayındırlık Bakanlığının, İnşaat Mühendisleri Odasının temsilcileri yer almalıdır. X-PRO, Y-PRO ve Z-PRO' nun irdelenmesi çalışmalarının amacı bu yazılımları sıralamak, yargılamak ve ayıklamak değildir. Oluşturulacak teknik bir kurul ile bu tür yazılımlarda yapılacak "karşılaştırmalı değerlendirme örnekleri (Benchmark test)" hazırlanması bile, büyük bir kazanım ve otokontrol oluşturacaktır.

KAYNAKLAR

1. YALÇIN, S., Uygulamada Kullanılan Profesyonel Bir Yapısal Analiz-Betonarme Hesap ve Çizim Yazılımının İrdelenmesi III: Z-PRO, Yüksek Lisans tezi, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Eskişehir, Haziran 2011 (http://mmf2.ogu.edu.tr/atopcu/index_dosyalar/DigerYazilimler.htm).
2. SAP 2000, Integrated Software for Structural Analysis and Design, Version 14.0, Computers and Structures, Inc., Berkeley, California, USA, 2009.
3. Türk Standartları Enstitüsü, TS 500/Subat 2000 Betonarme Yapıların Tasarım ve Yapım Kuralları, Ankara, 2000.
4. Bayındırlık ve İskân Bakanlığı, Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik, Ankara, 2007.
5. KAPLAN, O., Uygulamada Kullanılan Profesyonel Bir Statik-Betonarme Hesap ve Çizim Yazılımının İrdelenmesi I: X-PRO, Yüksek Lisans tezi, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Eskişehir, Haziran 2007 (http://mmf2.ogu.edu.tr/atopcu/index_dosyalar/DigerYazilimler.htm).
6. TORUNOĞLU, İ., Uygulamada Kullanılan Profesyonel Bir Statik-Betonarme Hesap ve Çizim Yazılımının İrdelenmesi II: Y-Pro, Yüksek Lisans tezi, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Eskişehir, Kasım 2010 (http://mmf2.ogu.edu.tr/atopcu/index_dosyalar/DigerYazilimler.htm).