ideCAD Statik IDS v10 Programının TBDY 2018 Uyumluluğu

Bölüm 15

Bölüm 15: Deprem Etkisi Altında Mevcut Bina Sistemlerinin Değerlendirilmesi ve Güçlendirme Tasarımı İçin Özel Kurallar

• Bölüm 15.5: Doğrusal Hesap Yöntemleri ile Deprem Hesabı



İçindekiler

I.I Genel Bilgiler	. 3
I.2 Doğrusal Hesap Yöntemleri ile Deprem Hesabı Parametreleri	. 3
1.3 Deprem Etkisi Altında Mevcut Bina Sistemlerinin Doğrusal Yöntemle Değerlendirilmesi	. 4
I.3.I Betonarme kirişlerin değerlendirilmesi	. 6
I.3.2 Betonarme kolonların değerlendirilmesi	13

I.I Genel Bilgiler

- Bu dokümanda ideCAD Statik IDS v10 ile TBDY 2018 Bölüm 15.5 'e göre mevcut betonarme binaların doğrusal hesap yöntemleri ile deprem hesabının ve deprem performansının nasıl belirlendiği anlatılacaktır.
- Bu dokümanda açıklanan bilgilerde yardımcı modeller oluşturularak deprem hesabının ara adımları da anlatılacak, ayrıca doğrusal performans analizi 'nde kullanılan parametreler açıklanacaktır.

1.2 Doğrusal Hesap Yöntemleri ile Deprem Hesabı Parametreleri

- Bu bölümde mevcut yapıların doğrusal performans analizi yapıldığında kullanılan parametreler açıklanacaktır.
- TBDY Bölüm 15.2 'de açıklanan Bilgi Düzeylerine göre bilgi düzeyi katsayısı "Sınırlı" ve "Kapsamlı" bilgi düzeyi seçimi kullanıcı inisiyatifindedir. Şekil 1 'de yapı bilgi düzeyi başlığı altında bilgi düzeyi seçilebilir.
- Betonarme elemanlarda sargılı veya sargısız beton davranışı seçimi kullanıcı inisiyatifindedir. Eleman ayarları penceresinde "Performans Analizi" sekmesi altında "Etriye sıklaştırması var" seçeneği işaretli olduğu durumda elemanda sargılı beton davranışı, işaret kaldırıldığında sargısız beton davranışı kabulü yapılacaktır.
- Beton sargı etkisi TBDY 2018 Bölüm Ek 5A 'da tanımlandığı şekli ile yapılmaktadır.
- Şekil I 'de "Yük Kombinasyon Seçenekleri" başlığı altında "Düşey deprem etkilerini kullan" seçeneği işaretlendiği durumda performans analizi hesabında düşey deprem etkileri dikkate alınmaktadır.
- Şekil I 'de "Yük Kombinasyon Seçenekleri" başlığı altında "İkincil deprem yönünü kullan" seçeneği işaretlendiği durumda TBDY 2018 Bölüm 4.4.2.1 'de açıklandığı şekilde (örneğin Ex+0.3Ey) tanımlanmaktadır.
- Şekil I 'de "Yük Kombinasyon Seçenekleri" başlığı altında "Hareketli yük çarpanını kullan" seçeneği işaretlendiği durumda TBDY 2018 Bölüm 5.2.2.1 'de açıklandığı üzere *Hareketli Yük Kütle Katılım Katsayısı n* kullanılmaktadır.
- Bina performansı belirlenirken TBDY 2018 Denklem 5.1 'de açıklanan yük birleşimini oluşturabilmek için yukarıda bahsedilen üç seçeneğin de işaretli olması gerekmektedir.

- Şekil I 'de gösterilen "Seçenekler" başlığı altında "Kirişlerde tablayı dikkate al" seçeneği ile kirişlerin tablalı veya tablasız çalışma kabulü yapılabilir.
- Şekil I 'de gösterilen "Seçenekler" başlığı altında "Gevrek elemanları göçme bölgesinde say" seçeneği işaretlendiği durumda TBDY 2018 Bölüm 15.5.2.2 'de açıklanan "gevrek" veya "sünek" eleman kabulüne göre belirlenen gevrek elemanlar TBDY 2018 Bölüm 15.3.2 'de tanımlanan Göçme Bölgesi 'nde yer alan eleman olarak değerlendirilecektir.

Analiz Ayarları						×	
Genel Ayarlar	Seçenekler :		Yapının bilgi düzeyi:				
TBDY Seçenekleri	Gevrek elemanları göçme b	oölgesinde say	Sınırlı	⊖ Sınırlı			
TBDY 2018 Tasa	Kirişlerde tablayı dikkate al		Kapsamlı	 Kapsamlı 			
Aşamalı İnşaat	🗸 Kolon Vr hesabında çirozla	n dikkate al	Analiz kapsamı :				
lsı Yükleri	Tanımlı kiriş pursantajları :		 Güçlendirilmemiş ve güç tam analizi 	Güçlendirilmemiş ve güçlendirilmiş yapının tam analizi			
Rüzgar Yükü	Üst pursantaj :	0.003	Girilen haliyle yapının per	rformans analizi			
Temel - Zemin	Alt pursantaj :	0.003					
Yük - Güvenlik	Donati gerçekleşme katşayışı :		Tanımlı kolon pursantajı :				
Güçlendirme	Kirislor (boyuna/onino)	1 1	Pursantaj :	0.003			
Diğer	Kolonlar (boyuna/enine)	1 1	Tanımlı perde pursantajı :				
	Perdeler (boyuna/enine) :	1 1	Pursantaj :	0.003			
	Yük Kombinasyon Seçenekleri						
	Düşey deprem etkilerini kul	lan					
	Ikincil deprem yönünü kulla	n					
	Hareketli yük çarpanını kull	an					
					Tamam	İptal	

Şekil I: Doğrusal performans analizi parametreleri

I.3 Deprem Etkisi Altında Mevcut Bina Sistemlerinin Doğrusal Yöntemle Değerlendirilmesi

• Bu bölümde ideCAD Statik IDS v10 ile doğrusal performans analizinin yapılışı ve sonuçların değerlendirilmesi anlatılacaktır.



Şekil 2: Zemin Kat, A-3 aksı kolon betonarme penceresi

- Şekil 2 'de gösterildiği üzere örnek model olarak 4 m açıklığı olan kolon boyutları 60/40 cm, kiriş boyutları 25/50 cm olan 3 katlı bir betonarme yapı seçilmiştir.
- Deprem yer hareketi düzeyi DD-2 olan yapının spektrum eğrisinin tanımlanması için kullanılan Ss ve S1 katsayıları sırasıyla 0.824 ve 0.239, Zemin sınıfı ZA olarak belirlenmiştir.
- TBDY 2018 Bölüm 15.4.2 'ye uygun olarak Bina Önem Katsayısı uygulanmamıştır. (I = 1.0)
- Yapının bilgi düzeyi "Kapsamlı" olarak seçilmiştir. (Bilgi Düzeyi Katsayısı = 1.00)
- Doğrusal performans değerlendirmesi TBDY 2018 Denklem 5.1 'de gösterilen yük birleşimi ile hesaplanmıştır.
- TBDY 2018 Bölüm 15.4.6 'da belirtildiği üzere ek dışmerkezlik uygulanmamıştır.
- Doğrusal hesap yöntemlerinden "Mod birleştirme yöntemi" kullanılmış ve deprem hesabında Ra = 1 alınmıştır.
- Etkin Kesit Rijitlikleri TBDY 2018 Bölüm 15.4.11 'de belirtildiği üzere Şekil 3 'de gösterilen tablo dikkate alınmıştır.

Betonarme Taşıyıcı Sistem Elemanı	Etkin Kesit Rijitliği Çarpanı			
Perde – Döşeme (Düzlem İçi)	Eksenel	Kayma		
Perde	0.50	0.50		
Bodrum perdesi	0.80	0.50		
Döşeme	0.25	0.25		
Perde – Döşeme (Düzlem Dışı)	Eğilme	Kesme		
Perde	0.25	1.00		
Bodrum perdesi	0.50	1.00		
Döşeme	0.25	1.00		
Çubuk eleman	Eğilme	Kesme		
Bağ kirişi	0.15	1.00		
Çerçeve kirişi	0.35	1.00		
Çerçeve kolonu	0.70	1.00		
Perde (eşdeğer çubuk)	0.50	0.50		

Tablo 4.2. Betonarme Taşıyıcı Sistem Elemanlarının Etkin Kesit Rijitliği Çarpanları

Şekil 3: TBDY 2018 Tablo 4.2 Betonarme elemanlar için Etkin Kesit Rijitliği çarpanları

 Bu bilgilerden yola çıkarak yapı performansının TBDY 2018 Bölüm 15.7 'ye göre belirlenmesi için uygulanan hesap adımları aşağıda bahsedilmiştir.

1.3.1 Betonarme kirişlerin değerlendirilmesi

- Betonarme kiriş elemanlarının kesit düzeyinde taşıyıcı sistem performansı TBDY 2018 Bölüm 15.7.1.1 'de belirtildiği üzere birim şekildeğiştirme kapasiteleri ile belirlenecektir.
- Örnek olarak zemin katta bulunan K01 kirişi için aşağıdaki hesaplar yapılacaktır.
- Kiriş elemanı için yerdeğiştirmiş eksen dönmesi θ_{ki} TBDY 2018 Denklem 15A.1 'de belirtildiği üzere Şekil 4 'de gösterildiği gibi hesaplanmaktadır.

$$\theta_{\rm ki} = \frac{\Delta}{\ell_{\rm c}} - \theta_{\rm i}$$

Şekil 4: Yerdeğiştirmiş eksen dönmesi

- Bu denklemde Δ katlar arası ötelenmeyi temsil etmektedir ve TBDY 2018 Bölüm 15A.2 'de belirtildiği üzere kirişler için bu değer sıfır olarak dikkate alınmıştır ($\Delta = 0$).
- Kiriş elemanının sağ(i) uçtaki düğüm noktası dönmesi, θ_i değeri bulunurken TBDY Bölüm 15.5.1.2 'ye göre, Ra = 1 olarak dikkate alınmış ve ek dışmerkezlik uygulanmamıştır. G'+ 0.3Q' + Ex – 0.3Ey + 0.3Ez yük birleşimi etkisi altındaki düğüm noktası dönme değerini okumak için yardımcı model /_*R*/*D*/.*ide*/0 modeli kullanılacaktır.

- Yardımcı modelde (/_RID1.ide10) kolon ve kiriş elemanlarının donatıları ilk analizden sonra sabitlenmiştir. Daha sonra "Analiz Ayarları" penceresinden "TBDY Seçenekleri" sekmesinde Ekzantrisite değeri 0 ve R, D katsayıları 1 olarak girildiğinde yukarıdaki koşullar sağlanmış olur. Bu durumda kiriş elemanının i ve j ucu için gösterilen θ_i ve θ_j değerleri Şekil 5 'de gösterilmiştir.
- Deprem yönü olarak X yönü incelendiği için burada RY dönmesi değerleri kullanılmıştır. Bu durumda sol uç ve sağ uç için yerdeğiştirmiş eksen dönmeleri sırasıyla θ_{ki} = 0.00252 ve θ_{kj} = 0.00243 olarak hesaplanmıştır.



Şekil 5: KZ01 Kirişinin sol(i) ve sağ(j) uçlarının dönme değerleri

 Çerçeve elemanlarda akma dönmesi değeri olan θ_{yi} değerinin hesaplanması için Şekil 6 da gösterilen TBDY 2018 Denklem 15A.3a ve Denklem 15A.3b kullanılmaktadır.

$$\theta_{\rm yi} = \frac{M_{\rm yi}\ell_{\rm c}}{3EI} \left[1 - \frac{M_{\rm yj}}{2M_{\rm yi}} \right]$$
$$\theta_{\rm yj} = \frac{M_{\rm yj}\ell_{\rm c}}{3EI} \left[1 - \frac{M_{\rm yi}}{2M_{\rm yj}} \right]$$
B

Şekil 6: Çerçeve elemanlarda akma dönmesi

- Bu denklemde M_{yi} ve M_{yj} etkin alma momentleri, El çatlamamış kesite ait eğilme rijitliğini göstermektedir. M_y değeri *mevcut malzeme dayanımları* kullanılarak yapılan moment-eğrilik analizi ile hesaplanmaktadır.
- Bu değerin hesaplanması için Şekil 7 'de gösterilen "beton güvenlik katsayısı" ve "çelik (donatı) güvenlik katsayısı" değerlerinin 1 olarak girilmesi gerekmektedir. Ayrıca beton karakteristik basınç dayanımı değerinin de bilgi düzeyi katsayısı ile çarpılarak değiştirilmesi gerekmektir.
- Bu değişimlerin yapıldığı yardımcı model olan *I_mom-curv.ide10* dosyasındaki "Statik Materyal Özellikleri" penceresi Şekil 7 'de gösterilmiştir.

Materval Tanımı :							
Materyal adı : C25 B420C	C25 B420C						
Materyal tipi : Beton				İptal			
Beton karakteristik basınç dayanımı :	25	~	MPa				
Beton karakteristik çekme dayanımı :	178.45		[tf/m²]				
Beton güvenlik katsayısı :	1						
k1 sabiti :	0.85]				
Eğilme donatısı akma dayanımı :	420	~]				
Etriye donatısı akma dayanımı :	420	~]				
Çelik güvenlik katsayısı:	1]				
Materyal Değerleri :							
Elastisite modulü :	3084641.544		[tf/m²]				
Kayma modulü :	1285267.31		[tf/m²]				
Poisson orani :	0.2]				
Birim hacim ağırlığı :	2.5		[tf/m³]				
Isıl genleşme katsayısı :	1E-05]				

Şekil 7: KZ01 Moment eğrilik analizi için yardımcı modelde tanımlanan malzeme özellikleri

 Sol(i) uç için yapılan moment eğrilik analizinde akma momenti M_{yi} = 4.14 tfm değeri okunmuştur. Aynı zamanda bu momente karşı gelen akma eğriliği φ_y = 0.00563 olarak bulunmuştur. Şekil 8 'de M_{yi} ve φ_y değerleri gösterilmektedir.

Beam Reinforcements - ZEMİN KAT, K01		×
Beams Concrete Configuration Reinforcement Areas	Fiber Layout Forces & Details Capacity Design Capacity Diagrams Moment-Curvature Deflections & Crackings Torsion Reinforcement Bars	
Moment-Curvature Diagram :		
	Moment [tfm] X = 0.006 [rad/m], Y	= 4.14 [tfm]
• • •	443	× Mu = 4.42
	422 22 22 14	
« 	3.92	
	3.63	
	3.95	
	3.08	
Idealize	2.82	
Use T-section	2.58	
Material model for design	2.34	
O Material model for performance assessment	2.12	
Point count : 256	1.91	
Angle : 0		
Axial force : 0 [tf]	1.51	
End I		
◯ Span		
◯ End J	0.86	
Compression limit : -293.887 [tf]	0.61	
Tension limit : 24.219 [tf]	0.39	
View stress/strain contours	0.16	
Generate Report	0.0056 0.0129 0.0206 0.0282 0.0361 0.0437 0.0521 0.0598 0.0681 0.0755 0.0832 0.0912 0.0997 0.1085 Cur	vature [rad/m]
	Reinforcement Calculator Select All Stories << >> Filter Recalculate	Famam İptal

Şekil 8: Sol uç için moment eğrilik analizi sonuçları

Sağ(j) uç için yapılan moment eğrilik analizinde akma momenti sol(i) uçtaki ile ters yönde olacaktır. İki uç da aynı donatı düzenine sahip olduğundan moment eğrilik analizinde açı değerine 90 derece yazdığımızda sağ uç için akma momentini elde edebiliriz. Sağ(j) uç için akma momenti M_{yj} = 6.14 tfm değeri okunmuştur. Aynı zamanda bu momente karşı gelen akma eğriliği φ_y = 0.00605 olarak bulunmuştur. Şekil 9 'da M_{yj} ve φ_y değerleri gösterilmektedir.



Şekil 9: Sağ uç için moment eğrilik analizi sonuçları

- Elastisite modülü E = 30250 N/mm² ve atalet momenti $I_{33} = 25 \times 50^3/12 = 260416.667$ cm⁴ değerleri kullanılarak El = 78.78 MNm² değeri bulunmuştur. Bu değerin birimini tfm² olarak yazacak olursak El = 78.78 × 1000/9.81 = 8030.58 tfm² olarak bulunur.
- Net açıklık değeri, l_c, iki kolon arasındaki mesafeden ilgili yöndeki kolon boyutunun yarısı çıkartılarak bulunabilir. Açıklık 4.00 m, kolon boyutu ilgili yönde 60 cm olduğundan l_c değeri aşağıdaki gibi bulunabilir. $l_c = 4.00 - 2*0.3 = 3.40$ m
- Bu durumda Şekil 6 da verilen denklemde bu değerler yerine yazıldığında sol(i) uç için ve sağ uç için akma dönmesi değerleri $\theta_{yi} = 0.00015$ radyan ve $\theta_{yj} = 0.00057$ radyan olarak bulunmuştur.

$$\begin{split} \theta_{yi} &= \frac{M_{yi}l_c}{EI} \bigg[1 - \frac{M_{yj}}{2M_{yi}} \bigg] = \frac{4.14 \times 3.40}{8030.58} \bigg[1 - \frac{6.14}{2 \times 4.14} \bigg] = 0.00015 \ rad\\ \theta_{yj} &= \frac{M_{yj}l_c}{EI} \bigg[1 - \frac{M_{yi}}{2M_{yj}} \bigg] = \frac{6.14 \times 3.40}{8030.58} \bigg[1 - \frac{4.14}{2 \times 6.14} \bigg] = 0.00057 \ rad \end{split}$$

 θ_{ki} ve θ_{yi} değerleri bulunduktan sonra TBDY 2018 Denklem 15A.2 'ye göre elemanın yaptığı plastik dönme bulunabilir. Aşağıdaki denklem kullanılarak θ_{pi} ve θ_{pj} değerleri sırasıyla 0.00237 radyan ve 0.00185 radyan olarak bulunmuştur.

$$\theta_{ki} = \theta_{yi} + \theta_{pi}$$

$$\theta_{pi} = \theta_{ki} - \theta_{yi} = 0.00252 - 0.00015 = 0.00237 \ rad$$

$$\theta_{pj} = \theta_{kj} - \theta_{yj} = 0.00243 - 0.00057 = 0.00185 \ rad$$

 Eleman uç kesitinin toplam eğrilik talebi φ_t, TBDY 2018 Denklem 15.2 'de verildiği üzere her uç için, yerdeğiştirmiş eksen dönmesi θ_k, akma dönmesi θ_y, plastik mafsal boyu L_p ve akma eğriliği φ_y, değerleri kullanılarak bulunabilir.

$$\phi_t = \frac{\theta_k - \theta_y}{L_p} + \phi_y$$

 Plastik mafsal boyu L_p, kesit yüksekliğinin yarısı olarak dikkate alınır. Bu durumda sol(i) uç ve sağ(j) uç için eğrilik talebi aşağıdaki gibi bulunur.

$$\phi_{ti} = \frac{\theta_{ki} - \theta_{yi}}{L_{pi}} + \phi_{yi} = \frac{0.00252 - 0.00563}{0.25} + 0.00563 = 0.0151$$

$$\phi_{tj} = \frac{\theta_{kj} - \theta_{yj}}{L_{pj}} + \phi_{yj} = \frac{0.00243 - 0.00057}{0.25} + 0.00605 = 0.0135$$

- Eğrilik talebi bulunduktan sonra TBDY Bölüm 15.7.1.1 'de belirtildiği gibi beton ve donatı çeliğinin birim şekildeğiştirme talepleri, TBDY Bölüm 5.8 'de belirtilen Denklem 5.4a, Denklem 5.5, Denklem 5.7a ve Denklem 5.8a değerlerinde beton ve donatı çeliğinin birim şekildeğiştirme kapasiteleri ile karşılaştırılarak kesit düzeyinde taşıyıcı sistem performansı belirlenir.
- KZ01 kirişi için bulunan eğrilik taleplerinden beton ve donatı çeliği için birim şekildeğiştirme taleplerinin elde edilebilmesi için kesit için yapılan moment eğrilik analizinden yararlanılması gerekmektedir. Şekil 10 'da sol(i) uç için mevcut malzeme dayanımları kullanılarak oluşturulmuş moment eğrilik analizinin $\phi_{ti} = 0.0151$ rad/m eğrilikte meydana genel beton ve donatı birim şekildeğiştirme grafiği ve eğrilik talebinin grafiğin hangi noktasında kaldığı gözükmektedir. Bu durumda beton basınç birim şekildeğiştirme değeri $\varepsilon_c = 0.737(10^{-3})$ ve donatı birim şekildeğiştirme değeri $\varepsilon_s = 6.294(10^{-3})$ olarak bulunmuştur.



Şekil 10: KZ01 kirişinin $\phi_{\rm t}=$ 0.0151 eğrilikte meydana gelen birim şekildeğiştirme değerleri

• TBDY Bölüm 5.8 'de tanımlanan beton ve çeliğin birim şekildeğiştirme değerleri aşağıda belirtilmiştir. Göçmenin önlenmesi performans düzeyi için beton birim kısalması $\varepsilon_c^{(GO)}$ ve donatı çeliği birim şekil değiştirmesi $\varepsilon_s^{(GO)}$, kontrollü hasar performans düzeyi için beton birim kısalması $\varepsilon_c^{(KH)}$ ve donatı çeliği birim şekil değiştirmesi $\varepsilon_s^{(KH)}$, sınırlı hasar performans düzeyi için beton birim kısalması $\varepsilon_c^{(SH)}$ ve donatı çeliği birim şekil değiştirmesi $\varepsilon_s^{(KH)}$, sınırlı hasar performans düzeyi için beton birim kısalması $\varepsilon_c^{(SH)}$ ve donatı çeliği birim şekil değiştirmesi $\varepsilon_s^{(SH)}$ olmak üzere aşağıda gösterildiği gibi hesaplanmaktadır.

$$\begin{split} \epsilon_{c}^{(G\ddot{O})} &= 0.0035 + 0.04 \sqrt{\omega_{we}} & \epsilon_{s}^{(G\ddot{O})} &= 0.4 \epsilon_{su} \\ \epsilon_{c}^{(KH)} &= 0.75 \, \epsilon_{c}^{(G\ddot{O})} & \epsilon_{s}^{(KH)} &= 0.75 \, \epsilon_{s}^{(G\ddot{O})} \\ \epsilon_{c}^{(SH)} &= 0.0025 & \epsilon_{s}^{(SH)} &= 0.0075 \end{split}$$

 KZ01 kirişi için sargısız beton kabulü yapıldığından ω_{we} değeri "0" olarak alınacaktır. Bu durumda söz konusu kiriş için beton ve donatı birim şekildeğiştirme sınırları aşağıdaki gibi dikkate alınmıştır. Donatı çeliğinin en büyük birim şekildeğiştirme değeri ε_{su}, TS500 'de belirtildiği üzere 0.1 olarak alınmıştır.

$$\begin{aligned} \varepsilon_c^{(G\ddot{O})} &= 0.0035 \\ \varepsilon_s^{(G\ddot{O})} &= 0.4\varepsilon_{su} = 0.4 \times 0.1 = 0.04 \\ \varepsilon_c^{(KH)} &= 0.75 \times \varepsilon_c^{(G\ddot{O})} = 0.75 \times 0.0035 = 0.002625 \\ \varepsilon_s^{(KH)} &= 0.75 \times \varepsilon_s^{(G\ddot{O})} = 0.75 \times 0.04 = 0.03 \\ \varepsilon_c^{(SH)} &= 0.0025 \\ \varepsilon_s^{(SH)} &= 0.0075 \end{aligned}$$

- KZ01 kirişi için sargısız beton kabulü yapıldığından ω_{we} değeri "0" olarak alınacaktır. Bu durumda söz konusu kiriş için beton ve donatı birim şekildeğiştirme sınırları aşağıdaki gibi dikkate alınmıştır. Donatı çeliğinin en büyük birim şekildeğiştirme değeri ε_{su}, TS500 'de belirtildiği üzere 0.1 olarak alınmıştır.
- KZ01 kirişi için bulunan birim şekildeğiştirme değerleri ile birim şekildeğiştirme sınırlarının karşılaştırılması aşağıda verilmiştir.

$$\varepsilon_c = 0.000737 < \varepsilon_c^{(SH)} = 0.0025$$

 $\varepsilon_s = 0.006294 < \varepsilon_s^{(SH)} = 0.0075$

• Beton ve donatı birim şekildeğiştirme değerleri Sınırlı Hasar birim şekildeğiştirme sınır değerinden küçük olduğu için TBDY Bölüm 15.3.2 'ye göre kesit Sınırlı Hasar Bölgesi 'nde yer almaktadır. Şekil 11 'de hasar sınırları ve hasar bölgeleri gösterilmektedir.



Şekil II: Kesit hasar sınırları ve hasar bölgeleri

- Yukarıda bulduğumuz değerleri ideCAD Statik IDS v10 'da yapılan bir projede performans analizi seçeneğini kullanarak elde edilen raporlarla karşılaştırılabilir.
- Kiriş Plastik Dönmeleri ve Kesit Birim Şekildeğiştirme Talepleri başlığının altında Zemin Kat için KZ01 kirişinin sonuçlarını Şekil 12 'de inceleyebilirsiniz. Yukarıda yaptığımız işlemler G'+ 0.3Q' + Ex – 0.3Ey + 0.3Ez yük birleşimi altındaki sonuçlardır. Şekildeki tabloda mavi ile işaretlenmiş tablodan değerler kontrol edilebilir.

Kiriş	Kombinasyon	Uç	θk	Му	θγ	θρ	¢	φt	ες	ε s
			[Rad]	[tfm]	[Rad]	[Rad]	[Rad/m]	[Rad/m]	[10^-3]	[10^-3]
ZEMİN KAT										
KZ01	G'+.3Q'+Ex3Ey+.3Ez	Sol	0.00252	4.14	0.00015	0.00237	0.00563	0.0151	0.737 SH	6.294 SH
Kiriş lc=3.40 m	G'+.3Q'+Ex+.3Ey+.3Ez	Sol	0.00252	4.14	0.00015	0.00237	0.00563	0.0151	0.737 SH	6.294 SH
Lp/Ls=0.25/1.70 m	G'+.3Q'-Ex3Ey+.3Ez	Sol	0.00243	6.14	0.00057	0.00185	0.00605	0.0135	0.835 SH	5.298 SH
EI=78.78 MNm2	G'+.3Q'-Ex+.3Ey+.3Ez	Sol	0.00243	6.14	0.00057	0.00185	0.00605	0.0135	0.835 SH	5.298 SH
	G'+.3Q'+Ex3Ey+.3Ez	Sağ	0.00243	6.14	0.00057	0.00185	0.00605	0.0135	0.835 SH	5.298 SH
	G'+.3Q'+Ex+.3Ey+.3Ez	Sağ	0.00243	6.14	0.00057	0.00185	0.00605	0.0135	0.835 SH	5.298 SH
	G'+.3Q'-Ex3Ey+.3Ez	Sağ	0.00252	4.14	0.00015	0.00236	0.00563	0.0151	0.737 SH	6.294 SH
	G'+.3Q'-Ex+.3Ey+.3Ez	Sağ	0.00252	4.14	0.00015	0.00236	0.00563	0.0151	0.737 SH	6.294 SH

Şekil 12: KZ01 Kiriş plastik dönme ve birim şekildeğiştirme sonuçları

1.3.2 Betonarme kolonların değerlendirilmesi

- Betonarme kolon elemanlarının kesit düzeyinde taşıyıcı sistem performansı TBDY 2018 Bölüm 15.7.1.1 'de belirtildiği üzere birim şekildeğiştirme kapasiteleri ile belirlenecektir.
- Örnek olarak Zemin katta bulunan SZ01 kolon elemanı için aşağıdaki hesaplar yapılacaktır.
- Kolon elemanı için yerdeğiştirmiş eksen dönmesi θ_{ki} TBDY 2018 Denklem 15A.1 'de belirtildiği gibi hesaplanmaktadır.

$$\theta_{ki} = \frac{\Delta}{\ell_c} - \theta_i$$

Şekil 13: Yerdeğiştirmiş eksen dönmesi

Şekil 13 'de gösterilen denklemde Δ katlar arası ötelenmeyi temsil etmektedir. Kolon elemanının alt(i) ve üst(j) uçlarındaki düğüm noktası dönmeleri, θ_i ve θ_j değerleri bulunurken TBDY Bölüm 15.5.1.2 'ye göre, Ra = 1 olarak dikkate alınmış ve ek dışmerkezlik uygulanmamıştır. G' + 0.3Q' + Ey + 0.3Ex + 0.3Ez yük birleşimi etkisi altındaki düğüm noktası dönme değerini okumak için yardımcı model / *R/D/.ide10* modeli kullanılacaktır.



Şekil 14: SZ01 Kolon üst ucu yer değiştirme değerleri

- Şekil 13 'de gösterilen denklemde Δ katlar arası ötelenmeyi temsil etmektedir. Kolon elemanının alt(i) ve üst(j) uçlarındaki düğüm noktası dönmeleri, θ_i ve θ_j değerleri bulunurken TBDY Bölüm 15.5.1.2 'ye göre, Ra = 1 olarak dikkate alınmış ve ek dışmerkezlik uygulanmamıştır. G' + 0.3Q' + Ey + 0.3Ex + 0.3Ez yük birleşimi etkisi altındaki düğüm noktası dönme değerini okumak için yardımcı model / *R/D/.ide/0* modeli kullanılacaktır.
- Şekil 14 'te görüldüğü üzere SZ01 kolonun üst ucu için UX = 1.53 mm ve UY = 7.00 mm yerdeğiştirme değerleri okunmaktadır. Kolon alt ucu için yer değiştirme değeri 0.00 mm olduğundan SZ01 kolonu için göreli ötelenme değeri Δ aşağıdaki gibi bulunmaktadır.

$$\Delta = \sqrt{1.53^2 + 7.00^2} = 7.17 \, mm$$

 Kolon alt(i) ucu ankastre mesnet olduğundan θ_i = 0 olarak dikkate alınır. Kolon üst(j) ucu için Şekil 14 'de belirtildiği gibi RX = 0.00283 ve RY = 0.000789 rad olarak okunmuştur. Bu durumda kolon alt(i) ve üst(j) uçları için yerdeğiştirmiş eksen dönme değerleri aşağıdaki gibi bulunmaktadır.

$$\theta_{ki} = \frac{\Delta}{l_c} - \theta_i = \frac{7.17 \times 10^{-3}}{3.00} - 0.00 = 0.00239 \, rad$$
$$\theta_{kj} = \frac{\Delta}{l_c} - \theta_j = \frac{7.17 \times 10^{-3}}{3.00} - \sqrt{0.00283^2 + 0.000789^2} = 0.00055 \, rad$$

- Kolon alt(i) ucu ankastre mesnet olduğundan θ_i = 0 olarak dikkate alınır. Kolon üst(j) ucu için Şekil 14 'de belirtildiği gibi RX = 0.00283 ve RY = 0.000789 rad olarak okunmuştur. Bu durumda kolon alt(i) ve üst(j) uçları için yerdeğiştirmiş eksen dönme değerleri aşağıdaki gibi bulunmaktadır.
- Kolon akma momentinin bulunması için eksenel kuvvet ve iki eksenli eğilme etkileşimi altında moment eğrilik analizi yapılması gerekmektedir. TBDY 2018 Madde 15.5.2.3 'e göre kolon kesitlerinin eğilme momenti kapasitelerine karşılık gelen eksenel kuvvetler, düşey yükler ve R_a=4 alınarak hesaplanan deprem yüklerinin ortak etkisi altında hesaplanmaktadır. İki eksenli eğilme için gerekli olan momentler düşey yükler ve R_a=1 alınarak hesaplanan deprem yüklerinin ortak etkisi altında hesaplanmaktadır.

- Kolon akma momenti bulunurken aynı zamanda sargı etkisi dikkate alınmaktadır.
- Düşey yükler ve R_a=4 alınarak hesaplanan deprem yüklerinin ortak etkisi SZ01 kolonunun alt ucunda oluşan normal kuvvet değeri N = -18.019 tf olarak bulunmuştur.



• Bu durumda moment eğrilik analizinden ötürü oluşan grafik Şekil 15 'te gösterilmiştir.

Şekil 15: Eksenel basınç ve iki eksenli eğilme etkisi altında SZ01 kolonu alt ucu için moment eğrilik analizi

- Moment eğrilik analizi sonucunda SZ01 kolonu alt(i) ucu için akma momenti M_y = 16.87 tfm ve akma eğriliği φ_y = 0.00648 rad/m olarak bulunmuştur. Benzer şekilde bir moment eğrilik analizi yapıldığında üst(j) uç için akma momenti M_y = 17.33 tfm ve akma eğriliği φ_y = 0.0086 rad/m olarak bulunmuştur.
- Elastisite modülü E = 30250 N/mm² ve kolon boyutları 60x40 cm olan kolon elemanı için atalet momenti değerleri, I₃₃ = 40 × 60³/12 = 720000 cm⁴ ve I₂₂ = 60 × 40³/12 = 320000 cm⁴ olarak bulunmuştur. Bu değerler kullanılarak El₃₃ = 217.80 MNm² ve El₂₂ = 96.80 MNm² değeri bulunmuştur. Deprem etkisi içeren yük birleşimi G'+ 0.3Q' + Ey + 0.3Ex + 0.3Ez olduğundan Ey yönünden etkiyen deprem daha baskın olarak gözükmektedir. Bu durumda kullanılması gereken eğilme rijitliği El₂₂ olacaktır.
- Yukarıdaki değerler kullanılarak alt(i) ve üst(j) uçlar için akma dönmesi değerleri aşağıda gösterildiği gibi bulunmaktadır.

$$\theta_{yi} = \frac{M_{yi}l_c}{EI} \left[1 - \frac{M_{yj}}{2M_{yi}} \right] = \frac{16.87 \times 3.00}{9870.853} \left[1 - \frac{17.33}{2 \times 16.87} \right] = 0.00083 \ rad$$

$$\theta_{yj} = \frac{M_{yj}l_c}{EI} \left[1 - \frac{M_{yi}}{2M_{yj}} \right] = \frac{17.33 \times 3.00}{9870.853} \left[1 - \frac{16.87}{2 \times 17.33} \right] = 0.00090 \, rad$$

 θ_{ki} ve θ_{yi} değerleri bulunduktan sonra TBDY 2018 Denklem 15A.2 'ye göre elemanın yaptığı plastik dönme değerleri aşağıda gösterildiği şekli ile hesaplanabilir.

$$\begin{aligned} \theta_{ki} &= \theta_{yi} + \theta_{pi} \\ \theta_{pi} &= \theta_{ki} - \theta_{yi} = 0.00239 - 0.00083 = 0.00156 \ rad \end{aligned}$$

- Kolon üst ucu için yerdeğiştirmiş eksen dönmesi θ_{kj} = 0.00055 rad ve akma dönmesi θ_{yj} = 0.00090 rad olarak bulunmuştur. θ_{kj} değeri θ_{yj} değerinden küçük olduğu durumda elemanda plastik dönme θ_{pj} = 0 olarak dikkate alınmadır. Denklemde toplam dönme değeri elastik dönme ve plastik dönme değerlerinin toplamına eşit olarak dikkate alınmaktadır. Eğer toplam dönme değeri elastik dönme değeri elastik dönme değeri olarak dikkate.
- Plastik mafsal boyu L_p, kesit yüksekliğinin yarısı olarak dikkate alınır. Bu durumda üst(i) uç ve alt(j) uç için eğrilik talebi aşağıdaki gibi bulunur. Elemanın üst(j) ucunda plastik dönme meydana gelmediğinden (θ_{pi} = 0) eğrilik elastik şekilde dikkate alınmalıdır.

$$\phi_{ti} = \frac{\theta_{ki} - \theta_{yi}}{L_{pi}} + \phi_{yi} = \frac{0.00239 - 0.00083}{0.2} + 0.00648 = 0.0143 \ rad/m$$
$$\phi_{tj} = \frac{\theta_{kj}}{L_{pj}} = \frac{0.00055}{0.20} = 0.00276 \ rad/m$$

 TBDY Bölüm 5.8 'de tanımlanan beton ve çeliğin birim şekildeğiştirme değerleri aşağıda belirtilmiştir. Göçmenin önlenmesi performans düzeyi için beton birim kısalması ε_c^(GÖ) ve donatı çeliği birim şekil değiştirmesi ε_s^(GÖ), kontrollü hasar performans düzeyi için beton birim kısalması ε_c^(KH) ve donatı çeliği birim şekil değiştirmesi ε_s^(KH), sınırlı hasar performans düzeyi için beton birim kısalması ε_c^(SH) ve donatı çeliği birim şekil değiştirmesi ε_s^(SH) olmak üzere aşağıda gösterildiği gibi hesaplanmaktadır.

$$\begin{split} \epsilon_c^{(G\ddot{O})} &= 0.0035 + 0.04 \sqrt{\omega_{we}} & \epsilon_s^{(G\ddot{O})} &= 0.4 \epsilon_{su} \\ \epsilon_c^{(KH)} &= 0.75 \, \epsilon_c^{(G\ddot{O})} & \epsilon_s^{(KH)} &= 0.75 \, \epsilon_s^{(G\ddot{O})} \\ \epsilon_c^{(SH)} &= 0.0025 & \epsilon_s^{(SH)} &= 0.0075 \end{split}$$

 Yukarıdaki denklemlerde ω_{we} etkin sargı donatısının mekanik donatı oranı 'nı göstermektedir. Sargı donatısı etkinlik katsayısı α_{se}, iki yatay doğrultuda hacimsel eninde donatı oranının küçük olanı ρ_{sh,min}, enine donatı akma dayanımı f_{ywe}, enine donatı alanı A_{sh}, hacimsel donatı oranı ρ_{sh}, en dıştaki enine donatı eksenleri arasındaki uzaklık b_k, eninde donatı aralığı s, sargılı beton boyurları b_o ve h_o , olmak üzere kolonlarda sargı etkisi dikkate alındığından TBDY Bölüm 5.8.1.1 'e göre ω_{we} aşağıdaki gibi hesaplanmaktadır.

$$\omega_{\rm we} = \alpha_{\rm se} \,\rho_{\rm sh,min} \frac{f_{\rm ywe}}{f_{\rm ce}}$$
$$\alpha_{\rm se} = \left(1 - \frac{\sum a_{\rm i}^2}{6b_{\rm o}h_{\rm o}}\right) \left(1 - \frac{s}{2b_{\rm o}}\right) \left(1 - \frac{s}{2h_{\rm o}}\right) \qquad ; \qquad \rho_{\rm sh} = \frac{A_{\rm sh}}{b_{\rm k}s}$$

• Mevcut malzeme dayanımları kullanılarak beton basınç dayanımı f_{ce} = 25 MPa ve donatı akma dayanımı f_{ywe} = 420 MPa olarak dikkate alınacaktır. Kolon boyuna donatıları 16¢14 ve enine donatılar ¢8/10 ve paspayı 40 cm olarak dikkate alınacaktır. Bu durumda sargı donatısı etkinlik katsayısı α_{se} , ve etkin sargı donatısının mekanik donatı oranı ω_{we} aşağıdaki gibi hesaplanmaktadır.

$$\alpha_{se} = \left(1 - \frac{\sum a_i^2}{6b_o h_o}\right) \left(1 - \frac{s}{2b_o}\right) \left(1 - \frac{s}{2h_o}\right)$$
$$= \left(1 - \frac{176426.67}{6 \times 542 \times 342}\right) \left(1 - \frac{100}{2 \times 542}\right) \left(1 - \frac{100}{2 \times 342}\right) = 0.6521$$

$$\rho_{sh} = \frac{A_{sh}}{b_k s} = \frac{2 \times 50.265}{542 \times 100} = 0.00185$$

$$\omega_{we} = \alpha_{se} \rho_{sh} \frac{f_{ywe}}{f_{ce}} = 0.6521 \times 0.00185 \frac{420}{25} = 0.0203$$

 Etkin sargı donatısının mekanik donatı oranı ω_{we}, bulunduktan sonra SZ01 kolonu için birim şekildeğiştirme sınırları aşağıdaki gibi bulunmaktadır.

$$\begin{aligned} \varepsilon_c^{(G\ddot{O})} &= 0.0035 + 0.04 \sqrt{\omega_{we}} = 0.0035 + 0.04 \sqrt{0.0203} = 0.0092 \\ \varepsilon_s^{(G\ddot{O})} &= 0.4 \varepsilon_{su} = 0.4 \times 0.1 = 0.04 \\ \varepsilon_c^{(KH)} &= 0.75 \times \varepsilon_c^{(G\ddot{O})} = 0.75 \times 0.0092 = 0.0069 \\ \varepsilon_s^{(KH)} &= 0.75 \times \varepsilon_s^{(G\ddot{O})} = 0.75 \times 0.04 = 0.03 \\ \varepsilon_c^{(SH)} &= 0.0025 \\ \varepsilon_s^{(SH)} &= 0.0075 \end{aligned}$$

• SZ01 kolonu için birim şekildeğiştirme taleplerini alt(i) uç için ve üst(j) uç için sırasıyla $\phi_{ti} = 0.0143$ rad/m ve $\phi_{tj} = 0.00276$ rad/m olarak bulmuştuk. Bulunan eğrilik taleplerinden

beton ve donatı çeliği için birim şekildeğiştirme taleplerinin elde edilebilmesi için kesit için yapılan moment eğrilik analizinden yararlanılması gerekmektedir. SZ01 kolonu alt(i) ucu için yapılan moment eğrilik analizi sonucunda beton basınç birim şekildeğiştirme değeri $\varepsilon_c =$ 2.578(10⁻³) ve donatı birim şekildeğiştirme değeri $\varepsilon_s = 5.292(10^{-3})$, üst(i) ucu için yapılan moment eğrilik analizi sonucunda beton basınç birim şekildeğiştirme değeri $\varepsilon_c = 0.350(10^{-3})$ ve donatı birim şekildeğiştirme değeri $\varepsilon_s = 0.709(10^{-3})$ olarak bulunmuştur.

 SZ01 kolonu alt(i) ve üst(j) ucu için bulunan birim şekildeğiştirme değerleri ile birim şekildeğiştirme sınırlarının karşılaştırılması aşağıda verilmiştir. Kolon elemanı beton basınç birim şekildeğiştirme değeri Sınırlı Hasar ve Kontrollü Hasar değerleri arasında kaldığından Şekil 16 'ya göre eleman Belirgin Hasar Bölgesi 'nde yer almaktadır.

$$\varepsilon_c^{(SH)} = 0.0025 < \varepsilon_{ci} = 0.002578 < \varepsilon_c^{(KH)} = 0.0069$$
$$\varepsilon_{si} = 0.005292 < \varepsilon_s^{(SH)} = 0.0075$$



Şekil 16: Kesit hasar sınırları ve hasar bölgeleri

 Kolon Plastik Dönmeleri ve Kesit Birim Şekildeğiştirme Talepleri başlığının altında Zemin Kat için SZ01 kirişinin sonuçlarını Şekil 17 'de inceleyebilirsiniz. Yukarıda yaptığımız işlemler G'+ 0.3Q' + Ey + 0.3Ex + 0.3Ez yük birleşimi altındaki sonuçlardır.

Column	Combination	End	Δ	θĸ	My	θΫ	θÞ	٥¥	₀t	ء ع	۶3
			[mm]	[Rad]	[tfm]	[Rad]	[Rad]	[Rad/m]	[Rad/m]	[10^-3]	[10^-3]
ZEMÍN KAT											
SZ01(Conf.)	G'+.3Q'+Ex3Ey+.3Ez	Bottom	5.51	0.00184	23.93	0.00057	0.00126	0.0052	0.00941	1.605 SH	4.189 SH
lc=3.00 m	G'+.3Q'+Ex+.3Ey+.3Ez	Bottom	5.52	0.00184	23.18	0.00062	0.00122	0.00514	0.0092	1.618 SH	4.181 SH
LpX/LsX=0.30/1.50 m	G'+.3Q'-Ex3Ey+.3Ez	Bottom	5.52	0.00184	25.44	0.00058	0.00126	0.00521	0.0094	1.674 SH	4.119 SH
EIX=217.80 MNm2	G'+.3Q'-Ex+.3Ey+.3Ez	Bottom	5.51	0.00184	24.72	0.00061	0.00123	0.00515	0.00924	1.685 SH	4.113 SH
LpY/LsY=0.20/1.50 m	G'+.3Q'+Ey3Ex+.3Ez	Bottom	7.17	0.00239	17.31	0.00093	0.00146	0.0063	0.0136	2.551 BH	5.017 SH
EIY=96.80 MNm2	G'+.3Q'+Ey+.3Ex+.3Ez	Bottom	7.17	0.00239	16.87	0.00083	0.00156	0.00648	0.0143	2.578 BH	5.292 SH
	G'+.3Q'-Ey3Ex+.3Ez	Bottom	7.17	0.00239	18.40	0.00095	0.00144	0.00623	0.0134	2.650 BH	4.915 SH
	G'+.3Q'-Ey+.3Ex+.3Ez	Bottom	7.17	0.00239	17.93	0.00088	0.00151	0.00641	0.0139	2.602 BH	4.972 SH
	G'+.3Q'+Ex3Ey+.3Ez	Тор	5.51	0.00086	22.39	0.00047	0.00039	0.00501	0.00631	1.315 SH	2.877 SH
	G'+.3Q'+Ex+.3Ey+.3Ez	Тор	5.52	0.00080	18.88	0.00033	0.00047	0.00533	0.00689	1.567 SH	2.889 SH
	G'+.3Q'-Ex3Ey+.3Ez	Тор	5.52	0.00077	25.11	0.00056	0.00022	0.0052	0.00592	1.186 SH	2.580 SH
	G'+.3Q'-Ex+.3Ey+.3Ez	Тор	5.51	0.00071	22.29	0.00045	0.00026	0.00517	0.00605	1.409 SH	2.593 SH
	G'+.3Q'+Ey3Ex+.3Ez	Тор	7.17	0.00053	16.20	0.00076	0.00000	0.00657	0.00265	0.543 SH	0.848 SH
	G'+.3Q'+Ey+.3Ex+.3Ez	Тор	7.17	0.00055	17.33	0.00090	0.00000	0.0086	0.00276	0.350 SH	0.709 SH
	G'+.3Q'-Ey3Ex+.3Ez	Тор	7.17	0.00071	17.99	0.00089	0.00000	0.00644	0.00354	0.781 SH	1.145 SH
	G'+.3Q'-Ey+.3Ex+.3Ez	Тор	7.17	0.00073	18.44	0.00096	0.00000	0.00851	0.00365	0.489 SH	0.923 SH

Şekil 17: SZ01 Kolon plastik dönme ve birim şekildeğiştirme değerleri