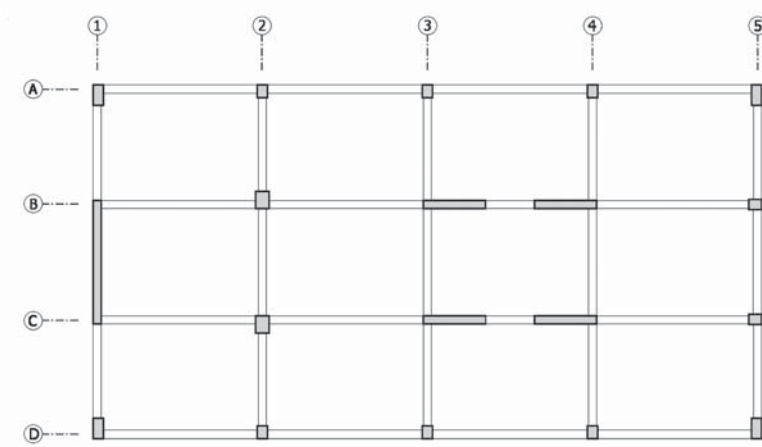


Çok Katlı Yapılarda Perdeye Saplanan Kirişler



Şekil 1 - Tipik kat kalıp planı

1. Giriş

Çok katlı yapılarda taşıyıcı sistem elemanı olarak genellikle kiriş kolon ve perdeler kullanılmaktadır. Şekil 1'deki tipik kalıp planında görüldüğü gibi, perdelerin uçlarına her iki yönde kirişler saplanabilir.

Bunlardan perde düzlemlerine dik yöndekilerin yapı davranışına önemli bir etkisi yoktur. Öte yandan, perde düzlemi içinde bulunan ve "Perdeye Saplanan Kiriş" (PSK) adı verilenlerin saplandıkları perdelerin davranışlarına ve buna bağlı olarak tüm yapının davranışına etkilerinin çok önemli olduğu bilinmektedir. Şekilde B ve C akslarında bulunan boşluklu perdeler de PSK ile birleş-

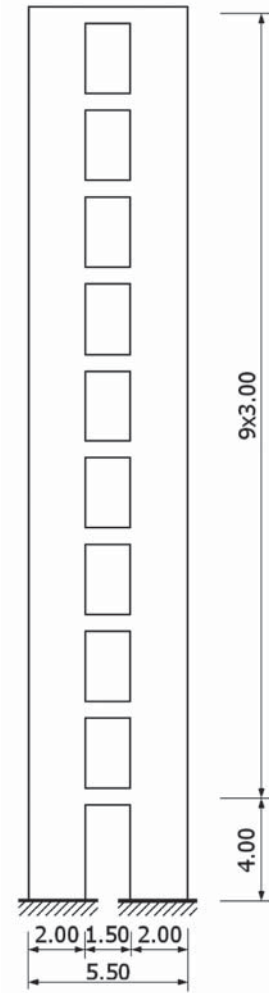
tirilmiş boşluksuz perde parçaları olarak düşünülebilir.

SAP 2000 uygulamalarında, genellikle, kiriş ve kolonlar çubuk (Frame), perdeler de sonlu elemanlar (Area) olarak idealleştirmektedir, [1], [2]. Bu çalışmada SAP 2000 ile ilgili bu idealleştirmeler irdelenecek ve yapı davranışının gerçekçi olarak modellenmesi için gerekli olan önlemler açıklanacaktır.

2. Örnek Yapılar

Perdeye saplanan kirişler ile ilgili idealleştirmeleri irdellemek için 4 adet "Örnek Yapı" seçilmiştir. Tüm boşluklu perde biçiminde olan örnek yapıların kat sayıları, sırası ile, 6, 8, 10 ve 12'dir. 10 katlı "Örnek Yapı"nın şematik kesiti Şekil 2'de gösterilmiştir.

Boşluklu perde tipindeki örnek yapılar PSK ile birleştirilmiş boşluksuz perde parçaları olarak düşünülebilir. Perde kalınlıkları 25 cm, PSK kesitleri de 25x60 cm² olarak alınmıştır. Beton elastisite modülü $E = 3 \times 10^7$ kN/m², normal kat ve çatı katı ağırlıkları, sırasıyla, 350 kN ve 250 kN'dir.



Şekil 2 - 10 katlı örnek yapının şematik kesiti

2.1. Sık sonlu elemanlar ile idealleştirme

Örnek yapıların gerçeğe yakın davranışını saptamak amacı ile hem perdeler hem de bağlantı kirişleri olabildiğince "sık" sonlu elemanlar ile idealleştirilmiştir. Tipik bir kat için 25x24(30) cm² boyutundaki sonlu elemanlar ile idealleştirme düzeni, şematik olarak Şekil 3'te gösterilmiştir.

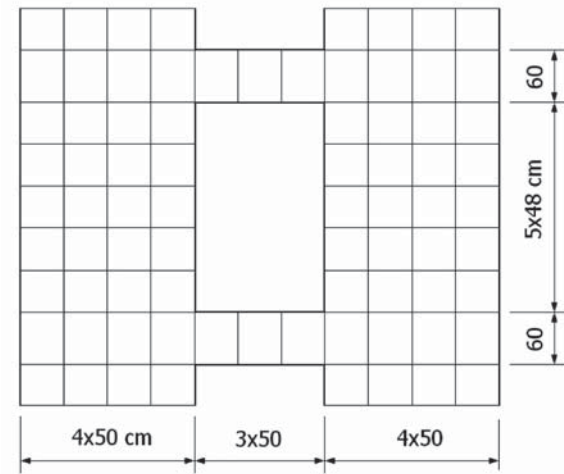
Area elemanlar kullanılarak SAP 2000 ile yapılan çözümleme sonunda 10 katlı örnek yapının birinci doğal titreşim periyodu $T_1 = 0.722$ s olarak bulunmuştur. "Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik", [3] esaslarına göre, $A_0 = 0.30$, $T_A = 0.15$, $T_B = 0.40$, $R = 7$ alınarak yapılan hesaplar sonunda elde edilen eğilme momenti diyagramının alt bölümü Şekil 4'te gösterilmiştir.

Gerek perde gerekse PSK kesitlerindeki eğilme momentlerini elde etmek için, SAP 2000 ortamındaki Area elemanlarda Draw → Draw Section Cut... komutu kullanılmıştır. Şekilde 112.43 kNm olarak gösterilen değer maksimum PSK uç momentidir.

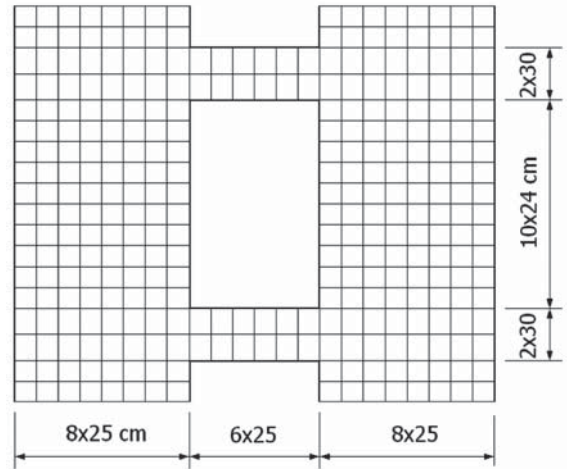
2.2. Seyrek sonlu elemanlar ile idealleştirme

Sonlu eleman yaklaşımının gerçeklik düzeyini kontrol etmek üzere perde ve kirişler bir kez de Şekil 5'te gösterilen 50x48(60) cm² boyutundaki "seyrek" sonlu elemanlar ile idealleştirilmiştir.

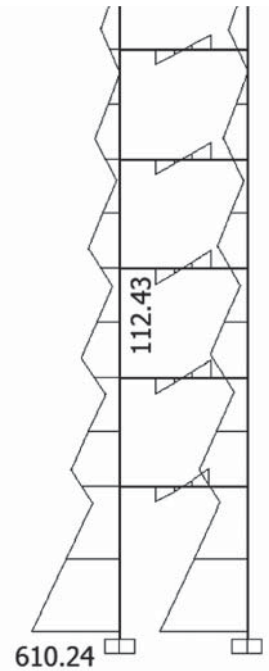
10 katlı örnek yapı için "Sık" ve "Seyrek" sonlu eleman idealleştirmelerinden elde edilen sonuçların karşılaştırılması, özet olarak, Tablo 1'de gösterilmiştir.



Şekil 5 - Seyrek sonlu elemanlar ile idealleştirme



Şekil 3 - Sık sonlu elemanlar ile idealleştirme



Şekil 4 - Deprem momentleri (kNm)

Tablo 1'de gösterilmiştir.

Tüm örnek yapılar için karşılaştırma sonucunda elde edilen farklar Tablo 2'de görülmektedir.

Sık ve seyrek idealleştirmeler arasındaki farkların önemsiz mertebede olduğu görülmektedir. Bu gözlem sonunda aşağıdaki sonuçların elde edilmektedir:

- Sık sonlu elemanlar ağı için elde edilen sonuçların kesin olduğu varsayılabilir.
- Sonraki araştırmalarda seyrek sonlu elemanlar ağı kullanılabilir.

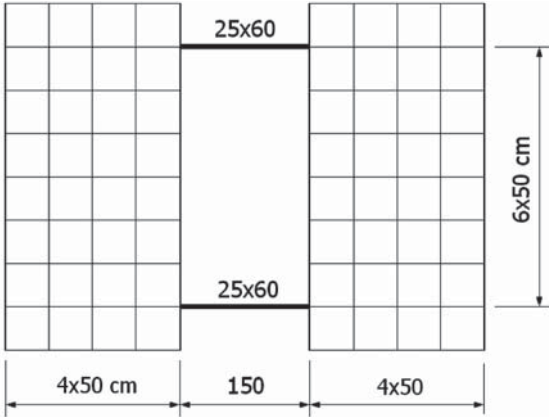
Tablo 1 - 10 katlı örnek yapıda sık ve seyrek idealleştirmelerin karşılaştırılması

	25x24 (Sık)	50x48 (Seyrek)	Fark (%)
Özel Periyot (T_1)	0.722	0.710	-1.7
Perde Taban Momenti	610.24	598.72	-1.9
Max PSK Uç Momenti	112.43	115.57	2.8
Ağırlıklı Ortalama Fark			± 2.6

Tablo 2 - Kat sayısına göre farklar (%)

	Kat sayısı			
	6	8	10	12
Özel Periyot (T_1)	-2.8	-2.0	-1.7	-1.7
Perde Taban Momenti	-3.4	-1.8	-1.9	-1.9
Max PSK Uç Momenti	2.9	4.3	2.8	2.8
Ağırlıklı Ortalama Fark	± 2.4	± 3.1	± 2.6	± 2.6

3. Perdeye saplanan kirişlerin yalın çubuk olarak idealleştirilmesi



Şekil 6 - Kirişlerin yalın çubuk olarak idealleştirilmesi

SAP 2000 uygulamalarında perdelerin sonlu eleman ağı ile idealleştirilmelerinin doğal olduğu söylenebilir. Ancak Şekil 1'de gösterilen örnek kat planı incelenirse, perdelerin uçlarında da PSK elemanlar bulunduğu ve bunların diğer uçlarında kolonlar olabileceği görülür. Bu nedenle perdeye saplanan kirişlerin de sonlu elemanlar ile temsil edilmelerinin pratik uygulamalar bakımından pek geçerli olmayacağı anlaşılmaktadır. SAP 2000 uygulamalarında, genellikle, tüm kiriş ve kolonlar çubuk (Frame) olarak idealleştirilmektedir. Örnek yapıların bu tür idealleştirilme modeli şematik olarak Şekil 6'da gösterilmiştir.

Bu idealleştirme sonunda 10 katlı örnek yapı için elde edilen sonuçların kesin değerlerle karşılaştırılması Tablo 3'te özetlenmiştir.

Perdeye saplanan kirişlerin yalın çubuklar olarak idealleştirilmesi durumunda, özel periyot değerinin çok yüksek,

Tablo 3 - Yalın çubuk idealleştirme sonuçlarının kesin değerlerle karşılaştırılması

	Sık sonlu elemanlar (Kesin)	Yalın çubuk idealleştirme	Hata (%)
Özel Periyot (T_1)	0.722	1.314	82.0
Perde Taban Momenti	610.24	883.23	44.7
Max PSK Uç Momenti	112.43	29.30	-73.9
Ağırlıklı Ortalama Hata			± 64.9

Tablo 4 - Yalın çubuk idealleştirmesinde kat sayısına göre hatalar (%)

	Kat sayısı			
	6	8	10	12
Özel Periyot (T_1)	86.9	87.3	82.0	75.2
Perde Taban Momenti	58.5	40.0	44.7	48.5
Max PSK Uç Momenti	-77.4	-79.3	-73.9	-72.1
Ağırlıklı Ortalama Hata	± 71.5	± 70.1	± 64.9	± 60.2

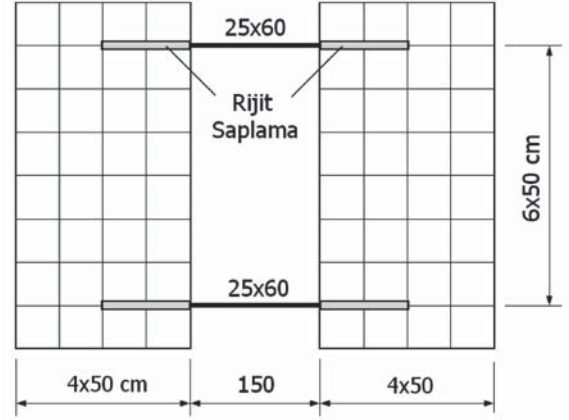
PSK uç momentlerinin de çok düşük olarak elde edildiği görülmektedir. Yani bu idealleştirmede, PSK rijitliklerinin gerçek değerlerden çok düşük olarak belirlendikleri anlaşılmaktadır. Tüm örnek yapılar için bulunan değerlerdeki hatalar da Tablo 4'te görülmektedir.

Tabloda görülen çok yüksek mertebelerdeki hataların pratik uygulamalar bakımından çok sakıncalı olduğu, yani SAP 2000 ortamında perdeye saplanan kirişlerin yalın çubuk olarak idealleştirilmelerinin geçerli olmadığı sonucuna varılmaktadır.

4. Perdeye saplanan kirişlerin rijit saplamalı çubuk olarak idealleştirilmesi

Yalın çubuk idealleştirmesindeki aşırı hataların önlenmesi amacı ile, perdeye saplanan kirişlerin perde içinde kalan bölümlerine "Rijit Saplama" adı verilen elemanların eklenmesi düşünülebilir. Örnek yapıların bu biçimde idealleştirilme modeli şematik olarak Şekil 7'de gösterilmiştir.

Şekilde görülen rijit saplamaların kesitleri PSK kesitlerinin aynı olarak alınmış ve bu elemanların rijitlikleri seçilen büyükçe bir katsayı (10^6) ile çarpılarak artırılmıştır. Bunun için SAP 2000 ortamında, Define → Frame Sections... → Set Modifiers... komutları kullanılmış ve ekrana gelen "Stiffness Modification Factors" ileti kutusundaki "Moment of Inertia about 3 axis" kutucuğuna $1E6$ değeri yazılmıştır. Bu idealleştirme sonunda tüm örnek yapılar için elde edilen hatalar Tablo 5'te özetlenmiştir.



Şekil 7 - Kirişlerin rijit saplamalı çubuk olarak idealleştirilmesi

Tablo 5 - Rijit saplamalı çubuk idealleştirmesinde hatalar (%)

	Kat sayısı			
	6	8	10	12
Özel Periyot (T_1)	0.3	0.4	0.1	0.2
Perde Taban Momenti	2.0	1.5	1.6	2.1
Max PSK Uç Momenti	0.9	-1.4	0.2	0.9
Ağırlıklı Ortalama Hata	±3.2	±2.8	±2.3	±1.9

Tüm hataların çok düşük (kabul edilebilir oranda) olduğu görülmektedir. Bu tür idealleştirmenin pratik uygulamalarda başarı ile kullanılabileceği anlaşılmaktadır.

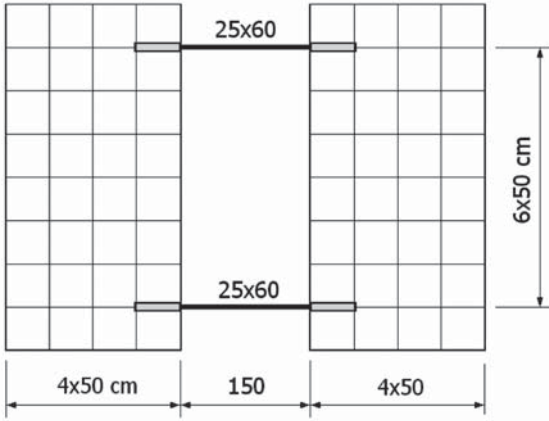
4.1 Saplama rijitliği

Yukarıda belirtildiği gibi, saplamalarda rijitlik artırma katsayısı olarak 10^6 kullanılmış bulunmaktadır. Bu katsayının değerini irdelemek amacı ile 10 katlı örnek yapıda rijitlik katsayıları değiştirilerek analiz tekrarlanmıştır. Çeşitli rijitlik katsayıları için elde edilen hatalar, özet olarak, Tablo 6'da görülmektedir.

Tablo 6 - 10 katlı örnek yapıda çeşitli saplama rijitlikleri için hatalar (%)

	Rijitlik Katsayısı (Modification Factor)				
	10^6	10^3	10^2	10	1
Özel Periyot (T_1)	0.1	0.8	1.0	1.7	4.4
Perde Taban Momenti	1.6	2.3	2.4	1.7	6.1
Max PSK Uç Momenti	0.2	-1.1	-1.2	-2.5	-6.9
Ağırlıklı Ortalama Hata	±2.3	±2.3	±2.4	±3.0	±6.5

Son kolondaki değerler saplama rijitliğinin perdeye saplanan kirişle aynı olmasına karşı gelmektedir. Diğer kolonlardaki çeşitli katsayılar için elde edilen hataların aynı mertebede olduğu, yani rijitlik katsayısı değerinin önemli olmadığı görülmektedir. Bu tür idealleştirmede rijitlik katsayılarının 10'dan büyük herhangi bir değer olarak alınabileceği sonucuna varılabilir.



Şekil 8 - Kısa saplamalı çubuklar

4.2 Saplama boyu

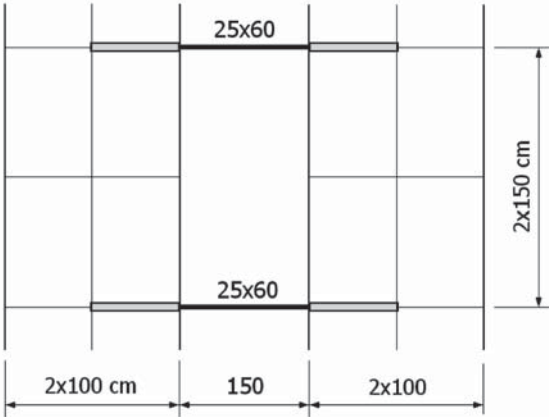
Yukarıda saplamalar perde eksenlerine kadar uzatılmış bulunmaktadır. Saplama boyunun sonuçlara etkisini irdelemek amacı ile bunlar bir kez de Şekil 8'de gösterilen biçimde 50 cm olarak alınıp hesaplar yinelenmiştir.

Bu idealleştirme için elde edilen hatalar Tablo 7'de özetlenmiştir.

Hataların çok yüksek olmadığı, yani kısa saplamaların da pratik uygulamalarda kullanılacak yeterli bir yaklaşım sağladığı görülmektedir. Özellikle uzunca perdelerde saplama boyunun PSK serbest açıklığını geçmemesi daha sağlıklı sonuçlar vermektedir.

Tablo 7 - Kısa saplamalı çubuk idealleştirmesinde hatalar (%)

	Kat sayısı			
	6	8	10	12
Özel Periyot (T_1)	6.4	5.6	4.4	3.7
Perde Taban Momenti	10.6	5.6	6.1	4.9
Max PSK Uç Momenti	-6.4	-8.5	-6.9	-5.9
Ağırlıklı Ortalama Hata	±5.2	±8.0	±6.5	±5.4



Şekil 9 - Çok büyük sonlu elemanlar

5. Sonlu eleman boyutları

Sonlu eleman boyutlarının etkisini araştırmak amacı ile örnek yapılarıdaki perdeler Şekil 9'da gösterildiği gibi, olabildiğince büyük boyuttaki sonlu elemanlar ile idealleştirilmiştir.

En alt kat yüksekliği 4.00 m olduğu için bu katta 6 adet sonlu eleman kullanılmıştır. Bu idealleştirme için elde edilen hatalar Tablo 8'de özetlenmiştir.

Perdelerin sadece 4 (6) parçaya ayrılmasının da pratik uygulamalarda kullanılacak doğrulukta bir yaklaşım sağladığı görülmektedir.

Tablo 8 - Çok büyük sonlu elemanlar idealleştirmesinde hatalar (%)

	Kat sayısı			
	6	8	10	12
Özel Periyot (T_1)	-1.8	-1.4	-1.1	-0.8
Perde Taban Momenti	0.1	1.1	0.9	0.7
Max PSK Uç Momenti	2.3	3.9	1.9	1.7
Ağırlıklı Ortalama Hata	±4.2	±3.7	±3.0	±2.5

6. İdealleştirme ilkeleri

Yukarıdaki bölümlerde açıklanan araştırmalar sonunda, SAP 2000 ortamında çok katlı yapıların modellenmesi için aşağıda özetlenen ilkeler saptanmıştır:

- Çok katlı yapıların modellenmesinde perdeler sonlu elemanlar (Area), kirişler çubuk (Frame) olarak idealleştirilebilir.
- Perdeye saplanan kirişlerin perdeler içindeki uzantıları rijit saplamalar ile temsil edilmelidir. Saplama rijitlik katsayısı (Modification Factor) 10'dan büyük herhangi bir değer olarak alınabilir.
- Sonlu elemanlar olabildiğince kareye yakın seçilmelidir. Her katta en az 4 eleman kullanılması uygundur. Uzun perdeler ve/veya büyük kat yükseklikleri için daha çok eleman kullanılmalıdır.
- Kısa bağlantı kirişlerinde saplamaların perde eksenlerine kadar uzatılması gerekmez. Saplama boylarının PSK serbest açıklıkları mertebesinde olması yeterlidir.

7. ETABS uygulaması

Çok katlı yapıların tasarımında yaygın olarak kullanılan yazılımlardan birinin de ETABS olduğu bilinmektedir. ETABS uygulamalarında kiriş ve kolonlar "Frame", perdeler de "Wall" (Pier) olarak idealleştirilir, [4]. Örnek yapıların ETABS ortamındaki idealleştirilme modeli şematik olarak Şekil 10'da gösterilmiştir.

Görüldüğü gibi kirişler yalın çubuk, perdeler de her katta tek bir sonlu eleman olarak idealleştirilmiş bulunmaktadır. Örnek yapılar için ETABS ortamında elde edilen hatalar Tablo 9'da özetlenmiştir.

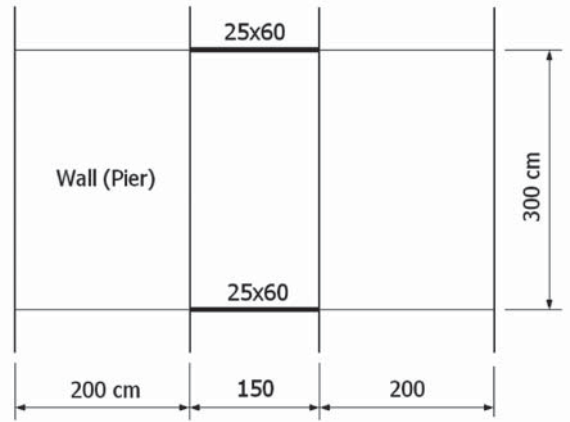
ETABS ortamındaki bu standard idealleştirme sonunda, hataların biraz yüksek fakat kabul edilebilir oranda olduğu görülmektedir. Kirişlerde rijit saplama uygulanmasına gerek olmadığı anlaşılmaktadır.

Perdelerin her katta tek bir sonlu eleman ile modellenmesinin biraz kaba bir yaklaşım olduğu düşünülebilir. Perdeler her katta 4 (en alt katta 6) parçaya bölünerek elde edilen hata oranları Tablo 10'da özet olarak gösterilmiştir.

Tüm hataların oldukça düşük (kabul edilebilir oranda) olduğu görülmektedir. Perdelerin her katta en az 4 parçaya ayrılması durumunda yeterli doğrulukta sonuçlar elde edilebileceği anlaşılmaktadır.

8. Kaynaklar

- [1] SAP2000, Structural Analysis Program, CSI, Berkeley, USA.
- [2] Çağatay, İ. H., Güzeladağ, S., "Yeni Deprem Yönetmeliği (TDY-98) SAP2000N Uygulamaları", Birsan Yayınevi, İstanbul, 2002.
- [3] "Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik", Bayındırlık ve İskan Bakanlığı, Ankara, Mart 2007.
- [4] ETABS, Integrated Building Design Software, CSI, Berkeley, USA.



Şekil 10 - ETABS ortamında idealleştirilme modeli

Tablo 9 - ETABS idealleştirme modelinde hatalar (%)

	Kat sayısı			
	6	8	10	12
Özel Periyot (T_1)	-7.6	-5.6	-4.4	-3.4
Perde Taban Momenti	-4.1	0.5	-0.3	-0.9
Max PSK Uç Momenti	5.7	10.7	6.3	5.3
Ağırlıklı Ortalama Hata	±6.9	±7.9	±6.4	±5.1

Tablo 10 - Perdelerin 4(6) parçaya bölünmesi durumunda hatalar (%)

	Kat sayısı			
	6	8	10	12
Özel Periyot (T_1)	-1.5	-1.2	-1.0	-0.7
Perde Taban Momenti	1.0	1.9	1.7	1.4
Max PSK Uç Momenti	2.4	3.9	1.8	1.7
Ağırlıklı Ortalama Hata	±3.6	±3.2	±2.6	±2.2