

BOŞLUKLU PERDE BAĞLANTI KİRİŞLERİNDE EFEKTİF RİJİTLİKLERİN HESABI

EFFECTIVE STIFFNESS OF COUPLING BEAMS IN STRUCTURAL WALLS

Sumru Pala¹ , Günay Özmen²

SUMMARY

Structural walls are widely used as lateral load bearing elements in designing earthquake resistant multi-storey buildings. It is well known that these elements have sufficient strength and rigidity to resist small and moderate earthquakes but lack the necessary energy absorbing capacity required for exceptional severe ground shaking. However, it has been shown that, when walls are coupled with either each other or frames by means of ductile beams, the necessary ductility may be procured in most cases. Walls with openings as comprising of wall parts connected with coupling beams. The two type of idealizations are used for the lateral load analysis of coupled shear walls . 1-finite element idealization, 2-frame idealization .When the finite element idealization is considered the wall parts are idealized by using finite elements wherein the coupling beams are either idealized similarly or considered as flexural one dimensional elements , depending on their depth/span ratios. when the coupling beams are slender, standart types of elements are not suitable since they can not be connected with line elements in bending . For that reason, different types of finite elements and techniques have been used for the analysis.[1-8]. In this work , the finite element approach is adopted for the basic analysis of structural walls with openings, wherein a specially developed rectangular plane stress element is utilized,[9]. Frame idealization is considered to be both practical and accurate. This model consists of the vertical wall parts and horizontal coupling beams. Certain portions of the coupling beams within the walls are assumed to be infinitely rigid, Fig. 3. One of the problems encountered in this idealization is the determination of the length of rigid portions of the beams for computing their effective stiffnesses. In the present study , this aspect of the idealization procedure is investigated and the results of a parametric study are presented.

ÖZET

Boşluklu perdeler, çok katlı yapıların depreme dayanıklı olarak tasarımı sırasında çok kullanılan yatay yük taşıyıcı elemanlardır. Bu tip yapıların çözümünde sonlu elemanlar veya çerçeve idealleştirilmesi kullanılabilir. Boşluklu perdeler çerçeve olarak idealleştirilirken , birbirlerine bağlantı kirişleri ile bağlanan dolu perdeler olarak gözönüne

¹Doç.Dr. İ.T.Ü., İnşaat Fakültesi, Maslak, İstanbul.

²Prof.Dr.İ.T.Ü., İnşaat Fakültesi, Maslak, İstanbul

alınırlar. Yapının dolu perde kısımları kolon gibi hesaba katılırken, bağlantı kirişleri, perdelerle bağlanan uçlarında sonsuz atalet momentli parçalar olan bir kiriş gibi gözönüne alınır. Bu çözümdeki önemli sorunlardan biri, sonsuz atalet momentli parçaların uzunluklarının ne olması gerektiğidir. Bu çalışmada boşluklu perdelerin sonlu eleman ve çerçeve çözümleri birlikte gözönüne alınarak söz konusu probleme bir çözüm getirilmeye çalışılmış ve yapılan bir parametrik incelemenin sonuçları verilmiştir.

GİRİŞ

Perdeler, çok katlı yapıların depreme dayanıklı olarak tasarımı sırasında en çok kullanılan yatay yük taşıyıcı elemanlardır. Bilindiği gibi perdeler küçük ve orta şiddetteki depremlerde iyi dayanım ve yeterli rijitlik gösterdikleri halde büyük şiddetteki depremlerde enerji yutma kapasitesi açısından davranışları iyi olmamaktadır. Ancak, perdelerin kat hizalarında birbirleri ile veya başka çerçevelerle uygun bağlantı kirişleri ile bağlanmaları halinde yeterli duktilite elde etmek mümkün olmaktadır. Ayrıca perdelerde kapı pencere boşlukları gibi konstrüktif nedenlerle büyük boşluklar yapmak gerekmektedir. Bu boşluklu perdeler de kat hizalarında birbirlerine bağlantı kirişleri ile bağlanmış dolu perdeler olarak gözönüne alınabilirler. Bu tip büyük boşluklu perdeler yüksek mukavemet ve rijitlikleri ile dolu perdelerin pozitif özelliklerini taşıırken aynı zamanda dolu perdelerle göre daha sünek olmaları nedeniyle yatay yük taşıyıcı eleman olarak daha iyi davranış göstermektedirler. Bağlantı kirişlerindeki şekil değiştirmeler bu yapı elemanlarının sünekliklerini arttırmaktadır.

Büyük boşluklu perdelerin çözümünde sonlu elemanlar yöntemi kesin sonuç veren bir yöntem olarak kullanılabilir. Bağlantı kirişleri ince olduğu zaman standart sonlu elemanlar uç deplasmanlarının uyumsuz olması nedeniyle perde kiriş bağlantılarında sorun çıkartmaktadır. Bu yüzden boşluklu perdelerin çözümünde çeşitli sonlu elemanlar ve teknikler denenmektedir [1-8]. Bu çalışmada uç deplasmanları çubuk elemanla iyi uyum gösteren bir dikdörtgen levha sonlu eleman kullanılmıştır [9].

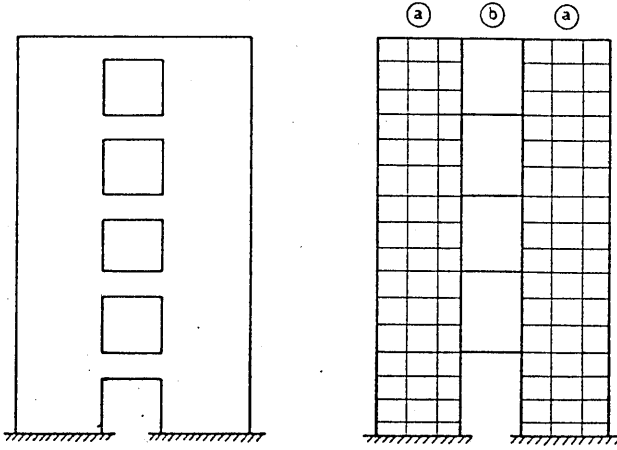
Boşluklu perdelerin çerçeve idealleştirilmesi ile çözümü ise hem kolay hem de pratik açıdan yeter yaklaşıklıkla sonuç vermektedir. Burada dolu perdeler kolon olarak gözönüne alınırken bağlantı kirişleri, perdelerle bağlanan uçlarında sonsuz atalet momentli parçalar olan bir kiriş gibi gözönüne alınır. Bu çözümdeki problemlerden biri bu sonsuz atalet momentli parçaların uzunluklarının ne olması gerektiğidir. Bu çalışmada sonlu elemanlar ve çerçeve çözümü birlikte incelenerek bağlantı kirişlerinin efektif rijitliklerinin hesabı için bir öneri verilmeye çalışılmıştır.

BÜYÜK BOŞLUKLU PERDELER

Sonlu Elemanlar İdealizasyonu

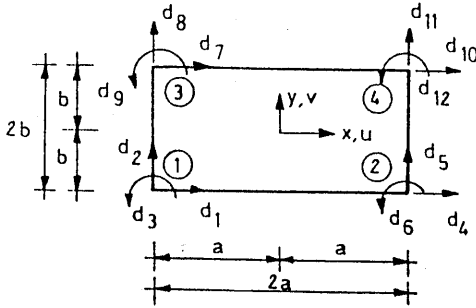
Boşluklu perde birbirleri ile kirişlerle bağlanmış iki dolu perde gibi düşünülmektedir. Şekil.1 de (a) ile gösterilen elemanlar dolu perdeler (b) ile gösterilen elemanlar bağlantı kirişleridir. Dolu perde kısımları levha sonlu elemanla bağlantı kirişleri ise yükseklik/açıklık oranına bağlı olarak levha sonlu eleman veya

kiriş olarak idealleştirilmektedir. Sonlu eleman olarak , uç yerdeğıştirmeleri Şekil.2 de gösterilen levha eleman kullanılmıştır [8].



Şekil 1 - Boşluklu perde ve sonlu eleman idealizasyonu

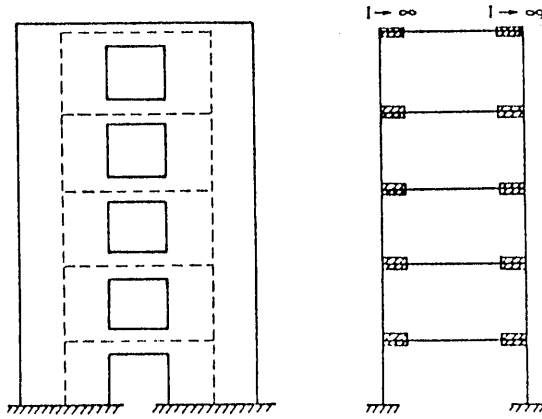
Bu elemanın düğüm noktalarında biri açısıl ikisi lineer yerdeğıştirme olmak üzere üç yerdeğıştirme bileşeni bilinmeyen olarak alınmaktadır. Bu tip yerdeğıştirme bileşenleri, özellikle bağlantı kirişlerinin tek boyutlu eleman olarak alınması durumunda iyi uyum gösterdiği için büyük kullanım kolaylığı getirmektedir



Şekil 2 - Levha sonlu eleman ve uç yerdeğıştirmeler

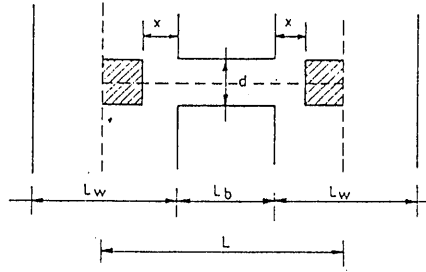
Çerçeve İdealizasyonu

Boşluklu perdelerin yatay yük analizinde çerçeve idealizasyonu kullanmak hem çok kolay olmakta hem de pratik açıdan yeterli bir yaklaşıklıkla sonuç elde edilmektedir. Bunlardan başka üç boyutlu çözümlerde yapıdaki diğer taşıyıcılarla birlikte ele alınabilme kolaylığı açısından da uygun olmaktadır. Burada perdeler kolon olarak gözönüne alınırken ,kirişler perde içinde kalan bölgelerinin bir kısmı sonsuz atalet momentli olan doğru eksenli çubuklar olarak düşünülürler ,Şekil 3.



Şekil 3 - Boşluklu perde ve çerçeve idealizasyonu

Ancak bu rijit bölgelerin gerçek uzunluğunu belirlemek zordur. bu uzunluğun kiriş yüksekliği d , serbest kiriş açıklığı L_b , perde genişliği L_w gibi çeşitli büyüklüklere bağlı olduğu söylenebilir, Şekil 4. Bazı çalışmalarda Şekil 4 de gösterilen x mesafesinin $0 \sim d/4$ olarak alınması önerilmektedir.



Şekil 4 - Bağlantı kirişi

Boşluklu perde, çerçeve olarak ele alınırken gözönüne alınan idealleştirme parametreleri, sonuçlar sonlu elemanlar çözümüne yakın olacak şekilde düzenlenirse, hem ekonomik hem de daha doğru çözüm elde edilebilir. Bu çalışmada bu konu ele alınmış ve parametrik bir çalışma yapılmıştır.

İDEALİZASYON PARAMETRELERİ

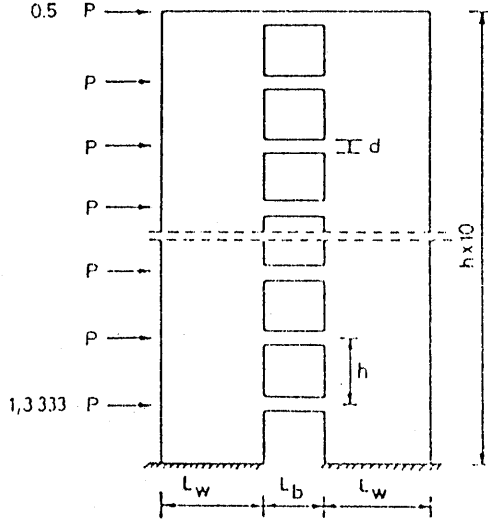
Bir boşluklu perdenin önemli boyutları Şekil 4 de verilmiştir. Burada gözönüne alınan inceleme parametreleri kiriş yüksekliği d , kiriş serbest açıklığı L_b , perde genişliği L_w dir. Bu büyüklükler için seçile sayısal değerler aşağıda verilmiştir.

$$d = 0.30, 0.40, 0.50, 0.60 \quad (\text{m})$$

$$L_b = 1.20, 1.80, 2.40, 3.60 \quad (\text{m})$$

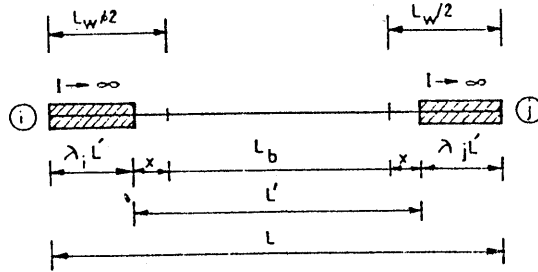
$$L_w = 1.20, 2.40, 3.60, 4.80, 6.00, 7.20, 8.40, 9.60 \quad (\text{m})$$

Örnek olarak ele alınan 10 katlı bir boşluklu perde Şekil 5 de verilmiştir. Kat yükseklikleri birbirine eşit ve 3.00 (m) olarak alınmıştır. Yapı, önce parametrelerin yukarıda verilen değerleri için sonlu eleman yöntemi ile çözülmüş, yerdeştirmeleri ve kesit zorları hesaplanmıştır. Daha sonra aynı sayısal örneklere çerçeve idealizasyonu uygulanmıştır.



Şekil 5 - Örnek yapı

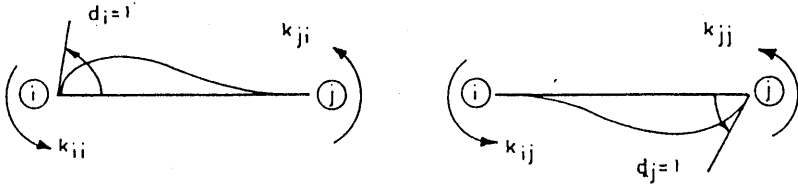
Bu çözümler sırasında bağlantı kirişleri, iki ucunda değişken uzunlukta sonsuz atalet momentli parçalar bulunan doğru eksenli çubuklar olarak gözönüne alınmışlardır. Şekil 6.



Şekil 6 - İdealize edilmiş bağlantı kirişi

Kirişlerin uç yerdeştirmelerinin ve bunlara karşı gelen birim yerdeğiştirme sabitlerinin pozitif yönleri Şekil 7 de verilmiştir. Kirişlerin k_{ii} , k_{ij} , k_{ji} , ve k_{jj} birim yerdeğiştirme sabitleri (1) ifadelerinde verildiği gibi hesaplanabilir. Burada EI fiktif kirişin eğilme rijitliği, L' serbest açıklığıdır. λ kirişin iki ucundaki sonsuz

atalet momentli parçaların boylarını ifade eden değişkendir. $\beta = 3EI/L'GF'$ şeklinde verilen β katsayısı kirişteki kayma deformasyonlarının etkisini ifade etmektedir. Burada GF' kirişin kayma rijitliğini göstermektedir.



Şekil 7 - Uç yerdeğiştirmeleri ve birim yerdeğiştirme sabitleri

$$k_{ii} = k_{jj} = \frac{4EI}{L'(1+4\beta)} [1 + \beta + 3\lambda + 3\lambda^2] \quad (1)$$

$$k_{ij} = k_{ji} = \frac{2EI}{L'(1+4\beta)} [1 - 2\beta + 6\lambda + 6\lambda^2]$$

Bu parametrik çalışmanın asıl amacı bağlantı kirişlerinin sonsuz atalet momentli parçalarının uzunluklarını belirleyebilmektir. Diğer bir deyişle sonsuz rijit parçaların başlangıç noktası ile boşluk kenarı arasında kalan x mesafesinin hesabıdır, Şekil 6. Her bir parametrenin sayısal değeri için çerçeve çözümü yapılırken x in değeri değiştirilerek sonuçların sonlu eleman çözümü sonuçlarına yaklaştırılmasına çalışılmıştır.

Sayısal sonuçlar üzerinde yapılan incelemede, d/L_b oranının 0.15 ~ 0.50 arasında kalması koşulu ile x/d oranının d bağlantı kirişi yüksekliğine ve L_w perde genişliğine bağlı olarak değiştiği görülmüştür. Kiriş yüksekliği ile kiriş açıklığı arasındaki d/L_b oranının 0.15 ~ 0.50 olarak verilen değişim aralığı mühendislik açısından da uygun bir sınırlamadır.

x/d oranının perde genişliğine göre değişimi incelendiğinde aynı d yüksekliğinde fakat farklı L_b açıklıklı kirişlerde bu oranın önemli miktarda değişmediği ve yaklaşık olarak bir fonksiyonla ifade edilebileceği görülmektedir. Şekil 8. Eğrilerin çiziminde yatay eksen L_w/h boyutsuzlaştırılması yapılmıştır. h kat yüksekliğini göstermektedir. $L_w/h \leq 1.00$ boyutlarına karşı gelen bölgede eğrilerde bir miktar dağılma gözlenmektedir. Ancak bu bölgenin x uzunluğunun hesabı açısından önemi yoktur. Bu bölgede perde genişliği küçülme x mesafesi büyümektedir. Yani perde kolon özelliği göstermeğe başlamaktadır. Bu durumda perde kiriş bağlantısı normal bir düğüm noktasına dönüşmekte ve sonsuz atalet momentli bölge yok olmaktadır.

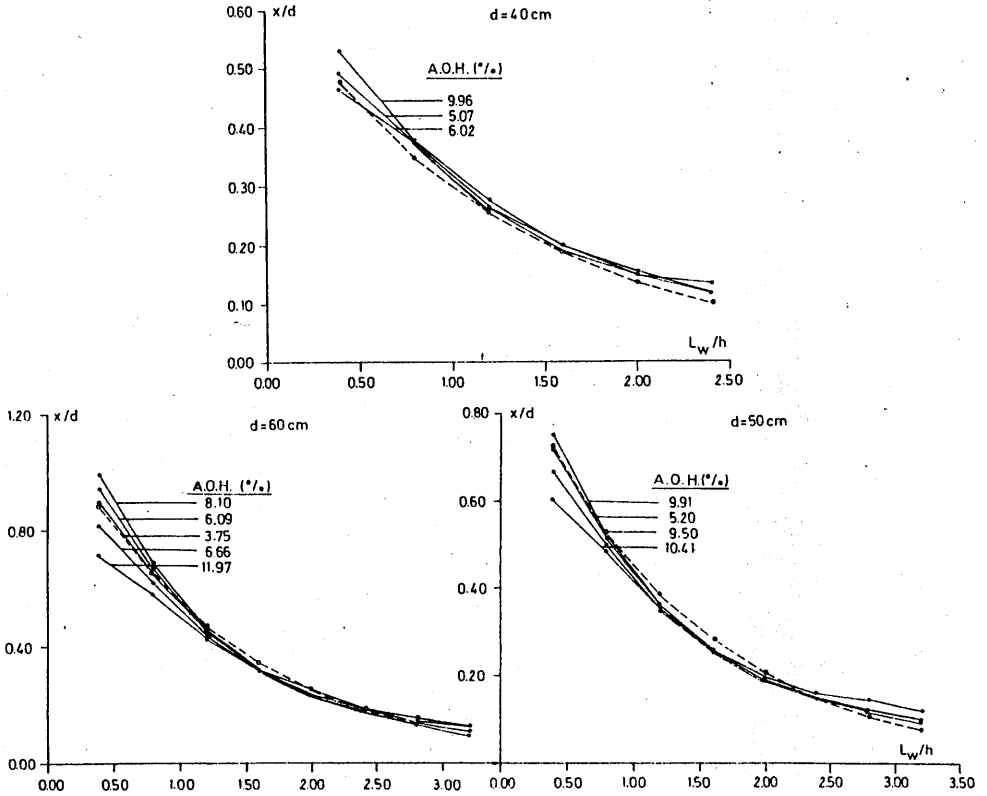
Şekil 8 de verilen eğrileri temsil etmek üzere değişik tipde fonksiyonlar denenmiş (2) denklemi ile verilen fonksiyonun en iyi uyum gösterdiği gözlenmiştir.

$$\frac{x}{d} = (A + B \gamma) e^{C \alpha} \quad (2)$$

Burada $\gamma = L_w / h$ ve $\alpha = h / d$ olmak üzere boyutsuz parametreleri , A , B , C ise sabit katsayıları göstermektedir.Sabitler , fonksiyondan elde edilen değerlerle parametrik çözümden elde edilen değerler arasındaki ağırlıklı ortalama hata minimum olacak şekilde hesaplanmış ve (3) denklemleri ile verilen fonksiyon elde edilmiştir.Bu fonksiyon , parametrik çalışmadan elde edilen grafiklerin üzerine noktaları çizgilerle çizilmiştir, Şekil 8.

$$\frac{x}{d} = (2.3 - 0.22 \gamma) e^{-0.78 \alpha}, \quad \left(\alpha = \frac{L_w}{h}, \quad \gamma = \frac{h}{d} \right) \quad (3)$$

Fonksiyondan ve çözümden elde edilen x / d değerleri arasındaki ağırlıklı ortalama hatalar da (A.O.H.) ilgili eğrilerin üzerine yazılmıştır.Eğrilerin tümünde yapılan toplam ağırlıklı ortalama hata %7.86 olarak hesaplanmaktadır. x uzunluğunun hesabında yapılan bu hata nedeniyle birim yerdeğiştirme sabitlerinde meydana gelen toplam ağırlıklı ortalama hata %2.58 olmaktadır. Birim yerdeğiştirme sabitlerindeki bu hatanın kesit zorlarına etkisi daha da küçülmekte % 1 mertebesine inmektedir. Mühendislik uygulamalarında kesit zorlarının daha önemli olduğu düşünülürse söz konusu olan %1 lik bir hatanın pratik olarak ihmal edilebileceği söylenebilir



Şekil 8 - x / d oranının perde genişliğine göre değişimi ve seçilen fonksiyon

ÖRNEK I

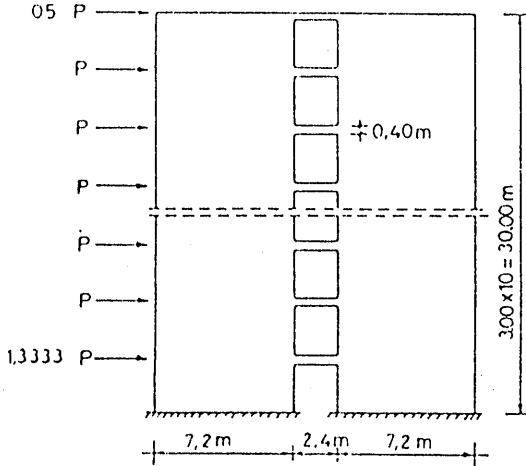
Öncülen (3) numaralı denklem kullanılarak yapılan çerçeve idealizasyonunda yapılan hatanın çeşitli büyüklüklere etkisini incelemek amacı ile Şekil 9 da boyutları gösterilen boşluklu perdenin çözümü yapılmıştır. Bu örnekte sonlu eleman çözümünden hesaplanan $x = 0.054$ m ile (3) numaralı denklemden hesaplanan $x = 0.040$ m arasında % 29.8 gibi büyük bir ortalama hata vardır.

Antimetrik deformasyon yapan kirişin birim yerdeğiştirme sabitleri (1) numaralı denklemlerden yararlanarak aşağıdaki gibi hesaplanabilir.

$$x = 0.054 \text{ m için } \overline{k_{ii}} = (k_{ii} + k_{ij}) = 0.0523739$$

$$x = 0.040 \text{ m için } \overline{k_{ii}} = (k_{ii} + k_{ij}) = 0.0540879$$

Burada hesaplanan rölatif hata x de hesaplanan değerden oldukça küçük olarak %3.22 hesaplanmıştır. Çerçeve analizi, birim yerdeğiştirme sabitinin 0.0540879 değeri kullanılarak yapılmış ve elde edilen bazı büyüklüklerin değerleri sonlu eleman çözümünden elde edilenlerle karşılaştırılmıştır. Çeşitli büyüklükler için hesaplanan ortalama rölatif hatalar Tablo 1 de verilmiştir.



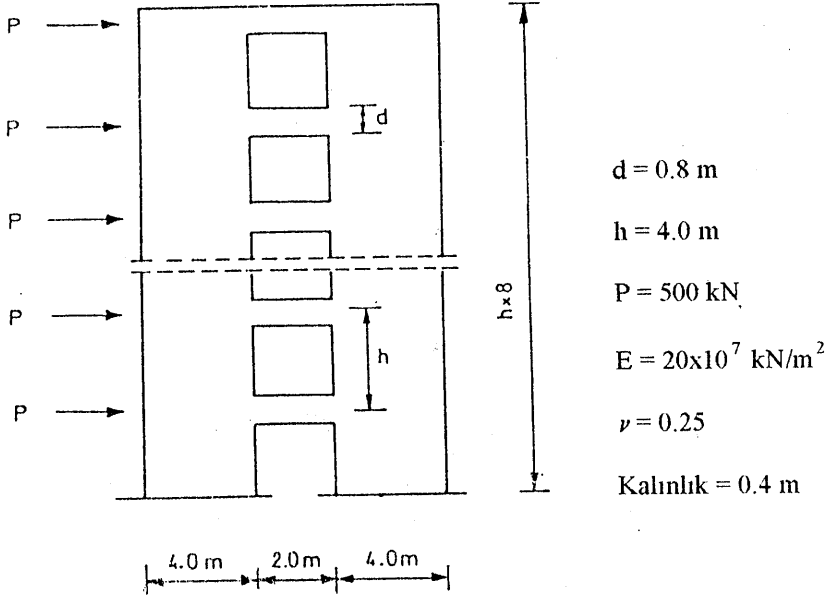
Şekil 9 - Örnek boşluklu perde

Tablo 1 - Çeşitli büyüklüklerde hesaplanan ortalama rölatif hatalar

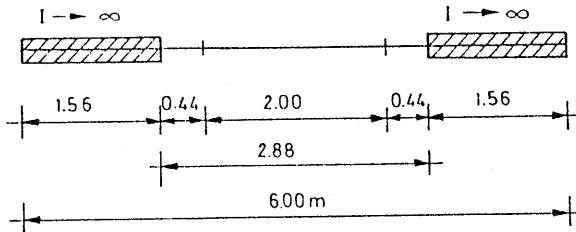
İncelenen Büyüklük	Sonlu Eleman İdealizasyonu	Çerçeve İdealizasyonu (Denk. 3 ile)	Hata (%)
En büyük kat yerdeğiştirmesi (mm)	0.586	0.583	-0.51
En büyük rölatif yerdeğiştirme (mm)	0.0702	0.0699	-0.43
En büyük moment (kNm)	559.7	569.2	+1.70
En büyük normal kuvvet (kN)	40.68	41.27	+1.45

ÖRNEK II

Sekiz katlı bir boşluklu perde Şekil 10 da gösterilmiştir. Perdenin karakteristikleri [6] da verilen sayısal örnekten alınmış ve sonuçlar karşılaştırılmıştır. Yapı önce sonlu elemanlar yöntemi ile analiz edilmiş ve kesin kabul edilebilecek sonuçlar bulunmuştur. Daha sonra (3) numaralı denklemden yararlanılarak $x = 0.44$ m hesaplanmıştır. Bu değerden yararlanarak elde edilen bağlantı kirişinin boyutları Şekil 11 de verilmiştir. Elde edilen bağlantı kirişi yapının çerçeve idealizasyonunda kullanılmıştır. Her iki idealizasyon sonunda elde edilen yatay yerdeğiştirmeler, [6] da verilen diyagramdan alınan sonuçlarla birlikte Tablo 2 de verilmiştir.



Şekil 10 - Sekiz katlı boşluklu perde



Şekil 11 - Çerçeve kirişi boyutları

Bu örnekte (3) numaralı denklem kullanılarak yapılan çerçeve çözümündeki toplam ağırlıklı hata % 0.9 olarak hesaplanmıştır. En büyük yerdeğiştirmedeki hata ise

% 0.8 dir. [6] da verilen sonuçlara göre hesaplanan hatılar ise sırası ile % 3.4 ve % 3.9 dur

Tablo 2 - Yatay yerdeğıştirmelerin katlara göre değışimi

Kat No.	Yatay Yerdeğıştirme (mm)		
	Sonlu Eleman İdealizasyonu	Çerçeve İdealizasyonu (Denk. 3 ile)	Ref.[6] (~)
2	9.60	9.87	9.90
4	26.80	27.20	25.60
6	44.60	44.70	43.60
8	60.60	60.00	58.20

SONUÇLAR

Boşluklu perdeler çerçeve olarak idealleştirilirken, bağlantı kirişlerinin perde içinde kalan parçalarının belli bir kısmı sonsuz atalet momentli olarak alınırlar. Bu sonsuz atalet momentli parçanın uzunluğunu belirleyebilmek için giriş yüksekline (d) ve perde genişliğine (L_w) bağlı olan basit bir exponansiyel fonksiyon verilmiştir. Bu fonksiyon giriş yüksekliği / giriş açıklığı oranının (d / L_p) 0.15 ile 0.50 arasında kalması koşulu ile kullanılmaktadır. Önerilen yaklaşık fonksiyon kullanılarak yapılan çerçeve çözümleri , sonlu eleman çözümlerine oldukça yakın sonuç vermektedir.

KAYNAKLAR

1. Coull, A., Choudhury, R. C. (1967) "Analysis of Coupled Shear Walls" , ACI Jnl., Vol. 64 , pp. 587-593, (İngilizce).
2. MacLeod, I.A. (1969) "New Rectangular Finite Element For Shear Wall Analysis", ASCE, ST3, pp. 399-409, (İngilizce).
3. Pauley, T. (1970) " An Elasto- Plastic Analysis of Coupled Shear Walls", ACI Jnl., Vol.67 , pp.915-922,(İngilizce).
4. Al-Mahadi, R. S. , Nilson, A. H. (1975) " Coupled Shear Wall Analysis by Lagrange Multipliers", ASCE, ST11, pp. 2359-2366, (İngilizce).
5. Agrawal, A. B., Mufti, A. A. (1976) Discusion for " Coupled Shear Wall Analysis by Lagrange Multipliers" , ASCE, ST7, pp.1527-1528,(İngilizce).
6. Kwan, A.K.H. (1992) "Rotational DOF in the Frame Method Analysis of Coupled Shear/Core Wall Structures", Comp.&Struc., Vol.44, No.5, pp.989-1005,(İngilizce).
7. Kwan, A.H. (1993) "Mixed Finite Element For Shear Wall Analysis ", Journal of Structural Engineering, Vol.119, No.5, pp.1388-1401, (İngilizce).
8. Syngellakis, S., Chan, A.K.L. (1992) "Free Vibrations of Coupled Walls by Transfer Matrices and Finite Element Modelling of Joints", Comp.&Struc., Vol.44, No.5, pp.1239-1247, (İngilizce).
9. Pala, S., Saygun, A. (1992) "A Rectangular Plane Stress Element With 12 Degrees of Freedom", Bull. Tech. Univ. İstanbul, Vol.45, pp.383-400, (İngilizce).