

## BOŞLUKLU PERDELİ YAPI SİSTEMLERİNDE GÜÇLENDİRİCİ KİRİŞ ETKİSİNİN İNCELENMESİ\*

*An Investigation Of Effect Of Stiffening Beam On Structures Containing Coupled Shear Walls*

Olca GENÇ  
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

H. Murat ARSLAN  
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

### ÖZET

Bu çalışmada SAP2000 paket programı kullanılarak; perde, boşluklu perde ve güçlendirici kirişli-boşluklu perde içeren binaların analizi yapılmış, kat yanal deplasmanları, perde momentleri ile kesme kuvvetleri hesaplanmıştır. Güçlendirici kirişli-boşluklu perdeli olarak modellenen örneklerde analizler yapılırken binada aşağıdan yukarı doğru her kat seviyesinde güçlendirici kiriş konularak, minimum tepe noktası deplasmanını veren tek güçlendirici kiriş konumu belirlenmiştir. Ayrıca binada çift güçlendirici kiriş bulunması durumu da ele alınarak tüm olasılıklar denenmiş ve en iyi yapısal davranış için çift güçlendirici kiriş konumları belirlenmiştir. Yapılan karşılaştırmalarda güçlendirici kirişlerin yapı davranışına etkisi belirlenmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Boşluklu Perde, Güçlendirici Kiriş, SAP2000

### ABSTRACT

In this study 3-dimensional analysis of the structures containing shear walls, coupled shear walls and stiffened coupled shear walls has been performed and storey lateral deflections, shear wall moments and shear forces have been calculated using SAP2000 packet program. In the stiffened coupled shear wall examples, location of the single stiffening beam has been determined by replacing stiffening beam to first storey up to top storey consequently to give minimum shear wall top deflection during the analysis. Furthermore, for the double stiffening beam cases, all possibilities are checked and location of the each beam has been determined to give best structural performance. By making comparison effect of stiffening beams on the structural behavior has been showed.

**Key Words:** Coupled Shear Wall, Stiffening Beam, SAP2000

### GİRİŞ

Bina yüksekliği arttıkça düşey yükleri ileten kolonlar, binaya etki eden yatay kuvvetlerin şiddetinin de artmasıyla binada oluşan momentlere karşı yeterli dayanım gösterememektedirler. Ayrıca, düşey doğrultudaki taşıyıcı elemanların yaptığı elastik yanal deplasmanlar insan rahatlığını etkileyecek derecede artmaktadır.

---

\* Yüksek Lisans Tezi-MSc-Thesis

Yapının yatay yönde rijitliğini arttırmak için önerilen çözümlerden birisi betonarme binalarda deprem perdesi olarak da adlandırılan duvarlar yapmaktır.

Perde duvarları katlarda bulunan kapı, pencere ve koridorlar için bırakılan boşluklar nedeniyle zayıfladığından bina yüksekliği 30-40 kat ile sınırlı kalmış ve daha yüksek binaların yapımı ekonomik olmaktan çıkmıştır. Bu durum için önerilen bir çözüm binada depo veya servis amacı ile boş bırakılan katlara güçlendirici kiriş yapmaktır. Bu yapı elemanına güçlendirilmiş boşluklu perde denilmektedir Güçlendirici kiriş sayısı, tipi ve geometrisi binanın yüksekliğine, izin verilen yanıl deplasman miktarına, temel durumuna v.b. faktörlere bağlıdır (Arslan, 1996).

### **MATERYAL VE METOT**

Bu çalışmada sonlu elemanlar yöntemi ile çözüm yapabilen Sap2000 paket programı kullanılarak analizler yapılmıştır.

Bu programla yapıların statik çözümlenmesi sonucunda meydana gelen iç kuvvetler ya da kesit tesirleri olarak adlandırılan normal kuvvet, kesme kuvveti, eğilme ve burulma momenti değerlerinin ve meydana gelen deformasyonların, kolon ve kiriş gibi çubuk elemanlarda uzunluk boyunca, perde gibi levha elemanlarda ise yüzey boyunca değişimi grafik ortamda daha rahat bir şekilde görülebilmektedir. Bu özelliklerden dolayı SAP2000 programı tez çalışmasında başlıca kullanılan program olmuştur.

### **BOŞLUKLU PERDE DAVRANIŞI**

Yüksek binalardaki perdeler, genellikle, yatay yüklere karşı tek başlarına karşı koyarlar. Bu tür yapılardaki birbirinden bağımsız çalışan perdelerin, eğilme rijitliğine sahip elemanlar ile birbirlerine bağlanması ile yapının yatay yönde rijitliği daha da artırılır. Örneğin kapı, pencere veya koridor geçişleri için bırakılan boşluklardan dolayı iki ayrı perde olarak düşünülen deprem perdeleri, pencere veya kapı üstü lento kirişleri ile birbirlerine bağlanmış gibi düşünülebilir. Lento veya döşeme elemanları perdelerle rijit bağlandıklarında bu elemanlar bağlantı kirişi görevini üstlenir ve perdeler arasında kesme kuvveti ilişkisini sağlarlar. Bu tür yapılara boşluklu perde denir (Arslan, 1996).

Perdeleri güçlendirmek için, servis veya başka bir amaç ile boş bırakılan kata güçlü bir kiriş yapmak en uygun çözüm olarak görünmektedir Yapılacak olan bu kiriş, çelik kafes sistemi veya rijitliği yüksek bir betonarme kiriş olabilir. Yapısal davranışta iyileşmeyi sağlayacak olan bu güçlü kirişlerin adedi ve yerleri proje mühendisine bağlıdır

### **BOŞLUKLU PERDE ANALİZ YÖNTEMLERİ**

#### **Eşdeğer Çerçeve Yöntemi**

Yöntemin ana fikri duvarların katlar arasında kalan parçalarını ve duvarları bağlayan kirişleri çubuk eleman olarak modellemektir. Duvar eksenlerinin dönmesinden dolayı bağ kirişlerinin uçlarında dönmeye ek olarak düşey yer değiştirme de oluşur. Bu yer değiştirme eşdeğer çerçeve yönteminde bağlantı

kirişinin duvarlara saplandığı yerler ile perde duvar eksenleri arasında kalan uzunlukların sonsuz rijit olarak hesaba alınması ile göz önüne alınır (Bikçe,1996).

### **Sürekli Bağlantı Yöntemi**

Yöntemin ana fikri, her kat seviyesinde duvarları birbirlerine bağlayan bağ kirişlerinde ve döşemelerde bulunan kesme kuvvetlerini sürekli dağıtılmış reaksiyonlar olarak modellemektir.

Başlıca iki ana kısımdan oluşan yöntemin ilk aşamasında her bölge için uygunluk denklemleri yazılıp T perde eksenel kuvveti fonksiyonuna bağlı ikinci dereceden bir lineer diferansiyel denklem elde edilmektedir. Perde tabanında ve tepesinde yazılan sınır şartları ile beraber bölge birleşim yerlerinde yazılan süreklilik şartlarını da kullanarak yükseklik değişkenine bağlı T fonksiyonu elde edilir. İkinci aşamada ise perde için yazılan moment-eğrilik ilişkisi kullanılarak y yanal deplasman fonksiyonu bulunur (Aksoğan, Arslan ve Salary, 1999).

### **Sonlu Elemanlar Yöntemi**

Sayısal yöntemlerin pek çoğunda çözüm, bilinmeyen büyüklüklerin bölge içinde belirli bazı ayırık noktalarındaki yaklaşık değerlerinin bulunmasına yöneliktir (Örneğin bir kirişin belirli noktalarındaki çökme değerlerinin bulunması gibi). Yani çözüm, bölgedeki bu seçilmiş noktalarındaki değerlerin bulunması işlemine indirgenmektedir. Bölgede belirli bir sayıda noktayı seçme işlemine ayrıklaştırma denir. Bir bölgeyi ayrıklaştırmanın yolu onu küçük parçalara, ünitelere, bölmektir. Bu küçük parçalar bir araya gelerek orijinal yapıyı temsil ederler. Böylece tüm yapıyı bir seferde çözmek yerine, bu küçük üniteler için çözüm yapıp bir araya getirilerek orijinal bölgeye ait çözüm elde edilebilmektedir.

Sonlu eleman analizinde izlenen yol altı adımda özetlenebilir:

- 1)Çözüm aranan bölgenin ayrıklaştırılması (bölgenin sonlu elemanlara bölünmesi),
- 2)Şekil fonksiyonlarının seçimi
- 3)Eleman rijitlik matrisinin çıkarılması,
- 4)Eleman denklemlerinin bir araya getirilmesi ve sınır koşullarının uygulanması
- 5)Tüm sistemin çözülerek bilinmeyenlerin elde edilmesi (yapı problemlerinde genellikle yer değiştirmelerin)
- 6)Tasarım veya kontrol amacına yönelik olarak diğer büyüklüklerin düğüm noktası bilinmeyenlerinden hareketle hesabı (yapı mekaniğinde eleman şekil değiştirme ve gerilmelerinin hesabı) (Aydoğan, 2001).

### **SAP2000'DE ÜÇ BOYUTLU ANALİZ**

#### **Rijit Diyafram Modeli**

Rijit diyafram kabulünde döşemelerin düzlemi içinde sonsuz rijit olduğu yani şekil değiştirmedeği kabul edilir. Ayrıca kirişler rijit diyafram içinde kaldığından dolayı bu elemanlarda da eksenel deformasyon meydana gelmemektedir. Bu kabul bazı kolaylıklar getirmektedir. Bunlar;

1. Döşeme diyaframları dış yükler altında rijit cisim hareketi yapacağından kat kütleleri, bu diyaframın kütle merkezinde tanımlanabilmektedir.

2. Bilinmeyen sayısı büyük ölçüde azalacağından, çözüm kolaylaşmaktadır.
3. Döşemelerin varlığının hesaba katılması sağlanmaktadır. Aksi takdirde döşemelerin üç boyutlu kabuk eleman kullanılarak sonlu elemanlar yöntemi ile sisteme dâhil edilmesi gerekmektedir.

### **SAP2000 de Analiz**

#### **Sistem Modelinin Oluşturulması**

Bu ilk aşamada ya doğrudan veya SAP2000 içinde bulunan şablon sistemler kullanılarak,

- Kiriş, kolon v.b. çubuk elemanlar,
- Perde duvar, döşeme, kabuk gibi yapı bölümlerini temsil eden sonlu elemanlar,
- Düğüm noktalarında veya mesnetlerde elastik lineer olmayan birleşimler veya yaylar,
- Çeşitli tipte mesnetler tanımlanarak sistem modeli oluşturulur.

#### **Malzeme Özelliklerinin Tanımlanması**

SAP2000 içersinde standart olarak, tüm özellikleri ile tanımlanmış olan beton (Conc) ve çelik (Stell) malzemeleri mevcuttur. Bunların dışında istenilen malzeme özelliklerinde yeni malzeme türleri de tanımlanıp kullanılabilir. Seçilen veya tanımlanan malzeme türleri, kesit tanımlama sırasında kullanılacaktır.

#### **Kesit Özelliklerinin Tanımlanması**

Çeşitli kesit tipleri ayrı kütükler içinde verilmiş bulunmaktadır. Burada istenilen kesitte elemanlar tanımlanabilmektedir. Seçilen ve tanımlanan kesitler sistem elemanlarına atanmaktadır.

#### **Yüklerin Tanımlanması**

Tekil, düzgün yayılı, üçgen yayılı veya yamuk yüklerle sıcaklık değişimleri tanımlanıp düğüm noktalarına çubuklara veya sonlu elemanlara atanabilmektedir. Ayrıca sabit, hareketli, rüzgâr, deprem v.b. değişik yüklemeler tanımlanabileceği gibi, bunlar süper pozisyon katsayıları ile çarpılarak yükleme kombinasyonları oluşturulabilir.

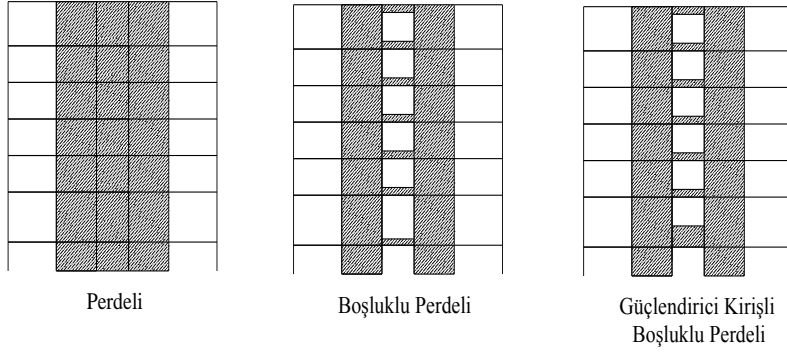
#### **Analiz (Çözüm)**

Sistem modeli, malzeme, kesit özellikleri ve yüklemeler tanımlandıktan sonra analiz (Çözüm) yapılır. Çözüm sonuçları SAP2000 ekranında görüntülenebilmektedir. Bu görüntü üzerinde istenen her türlü ayrıntı ayrıca görüntülenip incelenebilir. İstenilirse çözüm sonuçları bir dosyaya yazdırılabilir ve çıktısı alınabilir.

### **SAYISAL UYGULAMA**

**Örnek :** Şekil de iki boyutlu görünüşleri verilen, kalıp planları aynı, perdeli, boşluklu perdeli ve güçlendirici kirişli-boşluklu perdeli olarak inşa edilecek üç tip bina, Sap2000 programında üç boyutlu olarak modellenmiş, binanın her kat seviyesinde

kütle merkezine, y doğrultusunda en üst katta 150 kN yük gelecek şekilde üçgen yük uygulanmış ve lineer statik analizi yapılmıştır. Güçlendirici kirişli-boşluklu perdeli örneğinde, analizler yapılırken binada aşağıdan yukarı doğru her kat seviyesinde güçlendirici kiriş konularak, minimum tepe noktası deplasmanını veren tek ve çift güçlendirici kiriş konumları belirlenmiştir. Bina tepesi yanal deplasmanları, perde taban momentleri ve kesme kuvvetleri tablo ve grafik olarak sunulmuştur.



**Şekil 1.** Örneğe ait iki boyutlu görünüş

Örnekte;  
Elastisite modülü (E) :  $2.85 \times 10^6$  kN/m<sup>2</sup>  
Kat yüksekliği : 3 m  
Bina toplam yüksekliği (H) : 66 m  
Kolon boyutları : 50x50 cm  
Kiriş boyutları : 50x25 cm  
Perde genişliği : 25 cm  
Güçlendirici kiriş yüksekliği: 1.45 m olarak kullanılmıştır.

**Çizelge 1.** Perdeli ve boşluklu perdeli örneklerin, SAP2000 programında üç boyutlu analizi sonucu kat yanal deplasmanlarının karşılaştırılması

Kat	Perdeli Bina Yanal Deplasman (m)	Boşluklu Perdeli Bina Yanal Deplasman (m)
0	0.0000	0.0000
1	0.0010	0.0028
2	0.0041	0.0106
3	0.0089	0.0223
4	0.0153	0.0372
5	0.0231	0.0546
6	0.0323	0.0740
7	0.0425	0.0905
8	0.0538	0.1170
9	0.0659	0.1398
10	0.0787	0.1631
11	0.0921	0.1867
12	0.1060	0.2102
13	0.1203	0.2335
14	0.1349	0.2565
15	0.1497	0.2790
16	0.1646	0.3009
17	0.1797	0.3221
18	0.1947	0.3426
19	0.2098	0.3624
20	0.2248	0.3816
21	0.2398	0.4002
22	0.2548	0.4184

**Çizelge 2.** Perdeli ve boşluklu perdeli örneklerin, SAP2000 programında üç boyutlu analizi sonucu katlardaki perde momentlerinin karşılaştırılması

Kat	Perdeli Bina (kN.m)	Boşluklu Perdeli Bina (kN.m)
Temel	30163.6593	25367.56
1	25925.2958	21861.46
2	23662.9256	19762.1
3	21473.8844	17803.24
4	19361.3274	15968.66
5	17328.5605	14244.54
6	15379.2612	12620.65
7	13516.2904	11088.55
8	11745.0891	9644.599
9	10070.3491	8286.208
10	8497.1259	7012.657
11	7030.8777	5824.835
12	5677.3947	4724.961
13	4442.8942	3716.511
14	3333.9937	2804.098
15	2357.7526	1993.459
16	1521.6831	1291.472
17	833.7457	706.1927
18	302.5143	247.161
19	-63.7058	-75.5301
20	-251.9623	-244.996
21	-271.4959	-270.269

**Çizelge 3.** Perdeli ve boşluklu perdeli örneklerin, SAP2000 programında üç boyutlu analizi sonucu katlardaki perde kesme kuvvetlerinin karşılaştırılması

Kat	Perdeli Bina (kN)	Boşluklu Perdeli Bina (kN)
Temel	-911.744	-876.273
1	-773.843	-716.224
2	-757.276	-675.094
3	-738.479	-638.062
4	-717.501	-604.555
5	-694.312	-573.55
6	-669.27	-544.601
7	-641.596	-516.231
8	-611.618	-488.181
9	-579.29	-459.913
10	-544.551	-430.96
11	-507.362	-400.941
12	-467.653	-369.49
13	-425.363	-336.281
14	-380.419	-300.991
15	-332.747	-263.295
16	-282.28	-222.859
17	-228.886	-179.251
18	-172.816	-132.406
19	-112.236	-79.912
20	-56.71	-31.909
21	48.82	72.77

Boşluklu perdenin binanın karşılıklı iki yanında bulunması durumunda her kat seviyesine ayrı ayrı güçlendirici kiriş konulmuş, her güçlendirici konumu için SAP2000 programında analiz yapılmış ve tepe noktası yanal deplasmanlar hesaplanmıştır. Sonuçlara göre minimum tepe noktası yanal deplasmanını veren tek güçlendirici kiriş konumu belirlenmiştir. Minimum tepe noktası yanal deplasmanı 9. katta hesaplanmıştır. Ayrıca boşluklu perdenin binanın karşılıklı iki yanında bulunması durumunda bütün çift güçlendirici kiriş konumu olasılıkları denenmiş,



minimum tepe noktası yanal deplasmanını veren çift güçlendirici kiriş konumu belirlenmiştir. Minimum tepe deplasman çift güçlendiricinin 7. ve 14. katta bulunduğu durumda hesaplanmıştır.

Minimum tepe noktası deplasmanını veren tek ve çift güçlendirici kiriş konumlarının belirlenmesinden sonra, güçlendirici kirişler minimum tepe noktası deplasmanını veren katlara yerleştirilmiş, SAP2000 programında ayrı ayrı üç boyutlu analiz yapılmış ve katlara gelen yanal deplasmanlar, perde momentleri ve kesme kuvvetleri hesaplanmıştır.

**Çizelge 4.** Tek ve çift güçlendirici kirişli örneklerin, SAP2000 programında üç boyutlu analizi sonucu kat yanal deplasmanlarının karşılaştırılması

Kat	Tek Güçlendiricili Bina Yanal Deplasman (m)	Çift Güçlendiricili Bina Yanal Deplasman (m)
0	0.0000	0.0000
1	0.0026	0.0025
2	0.0099	0.0094
3	0.0207	0.0197
4	0.0343	0.0324
5	0.0500	0.0468
6	0.0670	0.0622
7	0.0849	0.0780
8	0.1029	0.0946
9	0.1206	0.1127
10	0.1388	0.1318
11	0.1583	0.1513
12	0.1786	0.1708
13	0.1994	0.1900
14	0.2204	0.2083
15	0.2414	0.2263
16	0.2620	0.2447
17	0.2822	0.2631
18	0.3019	0.2813
19	0.3211	0.2992
20	0.3397	0.3167
21	0.3578	0.3239
22	0.3758	0.33509

**Çizelge 5.** Tek ve çift güçlendirici kirişli örneklerin, SAP2000 programında üç boyutlu analizi sonucu kat perde momentlerinin karşılaştırılması

Kat	Tek Güçlendiricili Bina (kN.m)	Çift Güçlendiricili Bina (kN.m)
Temel	26582.2	27228.6
1	22933.84	23502.26
2	20823.23	21381.93
3	18843.24	19384.32
4	16975.2	17489.39
5	15201.6	15676.23
6	13507.44	13932.72
7	11876.4	12205.43
8	10302.92	10561.07
9	8735.775	9072.497
10	7253.853	7686.535
11	5943.781	6400.101
12	4753.117	5202.291
13	3684.636	4090.243
14	2734.725	3030.867
15	1904.055	2082.622
16	1195.283	1309.884
17	613.2243	680.8459
18	164.8722	202.5862
19	-141.662	-121.931
20	-291.15	-281.089
21	-293.641	-286.045

**Çizelge 6.** Tek ve çift güçlendirici kirişli örneklerin, SAP2000 programında üç boyutlu analizi sonucu kat perde kesme kuvvetlerinin karşılaştırılması

Kat	Tek Güçlendiricili Bina (kN)	Çift Güçlendiricili Bina (kN)
Temel	-878.03	-879.482
1	-721.483	-725.361
2	-684.33	-691.109
3	-652.002	-662.07
4	-624.3	-638.737
5	-600.501	-617.931
6	-581.197	-615.35
7	-562.447	-589.144
8	-561.536	-539.252
9	-533.122	-505.941
10	-476.752	-472.977
11	-436.879	-443.024
12	-395.628	-413.189
13	-355.177	-394.987
14	-314.212	-356.586
15	-272.163	-297.483
16	-228.404	-248.469
17	-182.287	-196.973
18	-133.595	-144.519
19	-79.745	-87.989
20	-31.018	-37.136
21	75.048	68.153

## SONUÇLAR

Perdeli olarak tanımlanan örneklerde elde edilen maksimum bina yanal deplasmanlarının boşluklu ve güçlendirici kirişli-boşluklu perdeli bina örneklerine göre daha küçük olduğu görülmüştür. Bununla beraber perdelere gelen moment ve kesme kuvvetleri kıyaslandığında ise bu durumun tam tersi olduğu tespit edilmiştir.

Perdeli örneklerde perdenin karşıladığı moment ve kesme kuvveti değerleri diğer örneklere göre daha fazla olmuştur. Bunun nedeni perde yüzeyinin tamamının boşluksuz olması ile perdenin etkili yüzey alanının fazla olmasıdır. Bu şekilde sistemin genelinde boşluksuz perdelerin aldığı yük ve momentler diğer örneklere göre fazla olmaktadır. Bu durumun özellikle deprem tasarımı göz önüne alındığında boşluklu perdeli örneklere göre daha olumlu olduğu görülmektedir. Bu şekilde tasarım sırasında yatay yükler altında sistemin perdeli elemanları dışında kolon ve kirişlerinin aldığı moment ve kesme kuvveti değerleri daha az olmaktadır. Buda perdeli yapı tasarımında istenilen asıl amaçtır.

Mimari projede bulunan kapı, pencere ve koridor gibi boşlukların perdelerde bırakılması halinde perde alanının bütünlüğü bozulmuş ve perdenin karşıladığı kuvvetlerin bir bölümü kiriş ve kolonlara aktararak istenmeyen bir durum meydana gelmiş, ayrıca bina yanıl deplasmanlarında %88'e varan artışlar görülmüştür.

Boşluklardan doğan bu olumsuz etkilerin azaltılması için boşluklu perdelerle güçlendirici kirişler yapılmıştır.

Boşluklu perdede tek güçlendirici kiriş bulunması durumunda güçlendirici kirişsiz duruma göre yanıl deplasmanlarda %20 oranında azalma sağlanırken, perde momentlerinde %12, perde kesme kuvvetlerinde %4 oranında artışlar olmuştur. Çift güçlendirici bulunması durumunda, boşluklu perdeli örneklere göre deplasmanlarda %27 oranında azalma olurken, perde taban momentlerinde %16, perde kesme kuvvetlerinde %6 oranında artış olmuştur. Böylece güçlendirici kirişlerin bina yapısal davranışına olumlu etkisi gözlemlenmiştir.

Güçlendirici kirişe sahip boşluklu deprem perdelerinde, kiriş konumunun da uygun seçilmesi ile binada oluşan yanıl deplasmanlar önemli ölçüde azaltılabilmekte ve en iyi yapısal davranış belirlenebilmektedir. Sonuçlar karşılaştırıldığında; tek güçlendirici kiriş olma durumunda bina tepe noktası yanıl deplasmanına göre güçlendirici kiriş konumu bina yüksekliğinin %40-%50 si arasında, çift güçlendirici olması durumunda güçlendirici kiriş konumları sırasıyla bina yüksekliğinin 1/3 ü ve 2/3 ünde olmaktadır.

#### **KAYNAKLAR**

- ARSLAN, H.M., 1996, Boşluklu Deprem Perdelerinin Yatay Yüklere Karşı Güçlendirilmesi, Y. Lisans Tezi, Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana, 96 s.
- BİKÇE, M., 1996, Çok Sıra Boşluklu Perdelerin Sürekli Bağlantı Yöntemi Kullanılarak Statik Analizi, Y. Lisans Tezi, M. Kemal Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Antakya, 116 s.
- AKSOĞAN, O., ARSLAN, H.M. and SALARY, N., May. 1999, Free Vibrations of Stiffened Coupled Shear Walls on Flexible Foundations, Third International Conference On Seismology And Earthquake Engineering, Tehran, Iran, pp.623-630.
- AYDOĞAN, M., 2001, Mühendislikte Sonlu Elemanlar Yöntemi (Ders Notları), İ.T.Ü. İnşaat Fakültesi, İstanbul.