



**ÇUKUROVA ÜNİVERSİTESİ**  
**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**DOKTORA TEZİ**

**119 832**

**Murat BİKÇE**

**ÇOK SIRA BOŞLUKLU DEPREM PERDELERİNİN**  
**STATİK VE DİNAMİK ANALİZİ**

**T.C. YÜKSEKÖĞRETİM KURULU**  
**DEĞERLENDİRME MERKEZİ**

**İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**ADANA, 2002**

**ÇUKUROVA ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**ÇOK SIRA BOŞLUKLU DEPREM PERDELERİNİN  
STATİK VE DİNAMİK ANALİZİ**

**Murat BİKÇE**

**DOKTORA TEZİ**

**İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**Bu tez 25/1/2002 Tarihinde Aşağıdaki Jüri Üyeleri Tarafından Oybirliği İle Kabul Edilmiştir.**

**Prof. Dr. Orhan AKSOĞAN**  
DANIŞMAN

**Prof. Dr. Erhan KIRAL**  
ÜYE

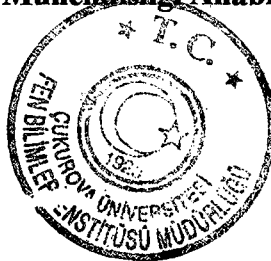
**Prof. Dr. Çetin YILMAZ**  
ÜYE

**Prof. Dr. Vebil YILDIRIM**  
ÜYE

**Yrd. Doç. Dr. H. Murat ARSLAN**  
ÜYE

**Bu tez Enstitümüz İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalında hazırlanmıştır.**

**Kod No: 645**



**Prof. Dr. Melih BORAL**  
Enstitü Müdürü

**Bu Çalışma Çukurova Üniversitesi Araştırma Fonu Tarafından Desteklenmiştir.  
Proje No: FBE.2001.D.16**

**Not: Bu tezde kullanılan özgün ve başka kaynaktan yapılan bildirişlerin, çizelge, şekil ve fotoğrafların kaynak gösterilmeden kullanımı, 5846 sayılı Fikir ve Sanat Eserleri Kanunundaki hükümlere tabidir.**

**ÖZ**

**DOKTORA TEZİ**

**ÇOK SIRA BOŞLUKLU DEPREM PERDELERİNİN  
STATİK VE DİNAMİK ANALİZİ**

**Murat BİKÇE**

**ÇUKUROVA ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ  
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**Danışman: Prof. Dr. Orhan AKSOĞAN**

**Yıl: 2002, Sayfa: 206**

**Jüri : Prof. Dr. Orhan AKSOĞAN**

**: Prof. Dr. Erhan KIRAL**

**: Prof. Dr. Çetin YILMAZ**

**: Prof. Dr. Vebil YILDIRIM**

**: Yrd. Doç. Dr. H. Murat ARSLAN**

Bu çalışmada, elastik temel üzerine oturan, sonlu sayıda güçlendirici kirişi olan, bağlantı kirişi özellikleri boşluktan boşluğa ve/veya bölgeden bölgeye değişebilen, çok sıra boşluklu perdelerin statik ve dinamik analizleri yapılmıştır. Sistem rijitlik matrisi oluşturulurken sürekli bağlantı yöntemi (SBY) kullanılmıştır. Bunun için bağlantı kirişleri yerine eşdeğer rijitlikte tabakalı ortam düşünülmüş ve serbestlik dereceleri doğrultusunda birim yükler uygulanarak her birim yük için bina boyunca yerdeğiştirmeler hesaplanmıştır. Sistem kütle matrisi toplanmış kütle kabulüne göre yükseklik boyunca istenilen sayıda kütle alınarak elde edilmiştir. Serbest titreşim analizinden sonra mod-süperpozisyon yöntemi ile girişimsiz rijitlik, sönüm ve kütle matrisleri oluşturulmuştur. Zaman tanım alanında (Time-history) analiz, Newmark sayısal integrasyon yöntemi kullanılarak her zaman değerine karşı gelen sistem yerdeğiştirme değerleri hesaplanarak yapılmıştır. Çalışmanın sonunda, MATHEMATICA programlama dilinde biri statik diğeri dinamik analiz için olmak üzere iki program hazırlanarak sunulan yöntemle dokuzuncu bölümde örnekler çözülmüştür. Elde edilen sonuçlar SAP2000 yapı analizi programı ve PAFEC sonlu elemanlar programı ile elde edilen sonuçlarla karşılaştırılarak sonuçların çok yakın olduğu gözlenmiştir.

**Anahtar kelimeler : Çok Sıra Boşluklu Perde, Sürekli Bağlantı Yöntemi, Güçlendirici Kiriş, Newmark Yöntemi, Deprem Analizi.**

## ABSTRACT

Ph.D. THESIS

# STATIC AND DYNAMIC ANALYSIS OF MULTI-BAY COUPLED SHEAR WALLS

Murat BİKÇE

DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING  
INSTITUTE OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES  
UNIVERSITY OF ÇUKUROVA

**Supervisor:** Prof. Dr. Orhan AKSOĞAN

**Year:** 2002, **Pages:** 206

**Jury :** Prof. Dr. Orhan AKSOĞAN

: Prof. Dr. Erhan KIRAL

: Prof. Dr. Çetin YILMAZ

: Prof. Dr. Vebil YILDIRIM

: Assoc. Prof. Dr. H. Murat ARSLAN

In this study, static and dynamic analyses have been carried out for multi-bay coupled shear walls on elastic foundations, with finite number of stiffening beams, the properties of the connecting beams varying from span to span and/or from region to region in the vertical direction. Continuous connection method (CCM) has been employed to find the stiffness matrix of the system. For this purpose, the connecting beams have been replaced by an equivalent layered medium and unit horizontal forces have been applied in the directions of the degrees of freedom to find the displacements of the system corresponding to each of them. The system mass matrix has been found in the form of lumped masses at the heights where the unit forces have been applied. Following the free vibration analysis, uncoupled stiffness, damping and mass matrices have been found employing the mode superposition method. A time-history analysis has been carried out using Newmark numerical integration method to find the system displacement vector for every time step. Finally, two computer programs have been prepared in the MATHEMATICA programming language for static and dynamic analyses with which some examples are solved in the ninth section. The results obtained have been compared with those of SAP2000 structural analysis program and PAFEC finite element program and a good match has been observed.

**Key Words :** Multi-bay Coupled Shear Wall, Continuous Connection Method, Stiffening Beam, Newmark Method, Earthquake Analysis.



## **TEŐEKKÖR**

Bu tezin hazırlanmasında çalıőmalarımı sabır ve ilgi ile yönlendirip değerli bilgi ve yardımlarını hiçbir zaman esirgemeyen danışman hocam sayın Prof. Dr. Orhan AKSOĞAN'a en içten teőekkÖrlerimi sunar, yetiőtirdięi öğrencilerden biri olduğum için gurur duyduğumu belirtmek isterim.



## İÇİNDEKİLER

ÖZ .....	I
ABSTRACT .....	II
TEŞEKKÜR .....	III
İÇİNDEKİLER .....	IV
ÇİZELGELER DİZİNİ .....	IX
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	XIII
SEMBOLLER VE KISALTMALAR DİZİNİ .....	XVII
1. GİRİŞ .....	1
2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR .....	5
3. MATERYAL VE METOD .....	9
4. YÜKSEK BİNALARDA ÇOK SIRA BOŞLUKLU PERDELER.....	12
4.1. Giriş .....	12
4.2. Yüksek Binalarda Yatay Yük Taşıyıcı Elemanlar.....	13
4.2.1. Çerçevesel.....	13
4.2.2. Perdeler.....	13
4.2.3. Boşluklu Perdeler.....	14
4.2.4. Perde-Çerçeve Taşıyıcı Elemanlar.....	15
4.2.5. Tüp Çerçevesel.....	15

4.2.6. Çekirdekler .....	16
4.3. Yatay Yükler Etkisi Altındaki Çok Sıra Boşluklu Perdelerin Davranışı.....	16
4.4. Güçlendirilmiş Boşluklu Perde .....	18
<b>5. STATİK YÜK ETKİSİNDEKİ ÇOK SIRA BOŞLUKLU PERDELERİN ANALİZ YÖNTEMLERİ .....</b>	<b>21</b>
5.1. Giriş .....	21
5.2. Eşdeğer Çerçeve Yöntemi.....	21
5.2.1. Bağlantı Kirişi-Duvar Bağlantı Esnekliğinin Eşdeğer Çerçeve Yöntemiyle Modellenmesi.....	24
5.3. Sonlu Elemanlar Yöntemi.....	25
5.4. Sürekli Bağlantı Yöntemi.....	27
<b>6. ÇOK SIRA BOŞLUKLU DEPREM PERDELERİNİN SÜREKLİ BAĞLANTI YÖNTEMİ İLE STATİK ANALİZİ .....</b>	<b>30</b>
6.1. Giriş .....	30
6.2. Sürekli Bağlantı Yönteminde Yapılan Kabuller .....	33
6.3. Herhangi Bir Boşlukta Eksenel Kuvvet Bileşeni ( $Q_{j,i}$ ) ve Bağlantı Kirişlerinde Oluşan Birim Boydaki Kesme Kuvveti ( $q_{j,i}$ ) Arasındaki İlişki...35	
6.4. Moment-Eğrilik İlişkisi.....	37
6.5. Formülasyon.....	39
6.5.1. Çok Sıra Boşluklu Perdelerin Düşey Doğrultudaki Bağlı Hareketleri .....	39
6.5.1.1. Perdelerin Dönmesinden Doğan Bağlı Düşey Yerdeğiştirme ( $\delta_{1,j,i}$ ) .....	39
6.5.1.2. Bağlantı Kirişindeki Kesme Kuvvetinden Doğan Bağlı Düşey Yerdeğiştirme ( $\delta_{2,j,i}$ ) .....	40

6.5.1.3. Perde Eksenel Kuvvetlerinden Doğan Bağıl Düşey	
Yerdeğiştirme ( $\delta_{3,j,i}$ ).....	42
6.5.1.4. Bağlantı Kirişi-Duvar Elastik Bağlantısından	
Doğan Bağıl Düşey Yerdeğiştirme ( $\delta_{4,j,i}$ ).....	44
6.5.1.5. Temel Hareketinden Doğan Bağıl Düşey	
Yerdeğiştirme ( $\delta_{ff}$ ).....	46
6.5.2. Perde Eksenel Kuvvet Fonksiyonunun Bulunması.....	47
6.5.3. Güçlendirici Kirişteki Kesme Kuvveti Değerinin Belirlenmesi.....	54
6.5.4. Sınır Koşulları.....	56
6.6. Yatay Yerdeğiştirme Fonksiyonunun Belirlenmesi.....	63
<b>7. ÇOK SIRA BOŞLUKLU DEPREM PERDELERİNİN SERBEST</b>	
<b>TİTREŞİM ANALİZİ.....</b>	<b>65</b>
7.1. Giriş .....	65
7.2. Kütle Matrisinin Oluşturulması.....	66
7.3. Rijitlik Matrisinin Oluşturulması .....	68
7.3.1. Giriş.....	68
7.3.2. Perde Eksenel Kuvvet Fonksiyonunun Bulunması.....	68
7.3.3. Güçlendirici Kirişlerdeki Kesme Kuvveti Değerlerinin	
Belirlenmesi.....	73
7.3.4. Sınır Koşulları.....	74
7.3.5. Yatay Yerdeğiştirme Fonksiyonunun Belirlenmesi.....	76
7.4. Özdeğer ve Özvektörlerin Belirlenmesi.....	78
<b>8. ÇOK SIRA BOŞLUKLU DEPREM PERDELERİNİN ZORLANMIŞ</b>	
<b>TİTREŞİM ANALİZİ.....</b>	<b>80</b>
8.1. Giriş .....	80
8.2. Mod-Süperpozisyon (Birleştirme) Yöntemi .....	80

8.2.1. Giriş.....	80
8.2.2. Girişimsiz Denklem Takımının Oluşturulması.....	82
8.3. Zaman Tanım Alanında Analiz .....	84
8.3.1. Newmark Yöntemi.....	86
8.4. Spektrum (Deprem) Analizi .....	89
9. SAYISAL UYGULAMALAR VE SONUÇLAR .....	93
9.1. Giriş .....	93
9.2. Sayısal Uygulamalar .....	94
Örnek 1.....	94
Örnek 2.....	98
Örnek 3.....	102
Örnek 4.....	105
Örnek 5.....	107
Örnek 6.....	110
Örnek 7.....	113
Örnek 8.....	116
Örnek 9.....	118
Örnek 10.....	120
Örnek 11.....	124
Örnek 12.....	129
Örnek 13.....	134
Örnek 14.....	137
Örnek 15.....	143
Örnek 16.....	146
Örnek 17.....	147
Örnek 18.....	150
Örnek 19.....	153
Örnek 20.....	154
Örnek 21.....	155

Örnek 22.....	158
Örnek 23.....	159
Örnek 24.....	163
9.3. Sonuçlar ve Öneriler .....	165
KAYNAKLAR.....	168
ÖZGEÇMİŞ.....	173
EKLER .....	174
EK 1. MATHEMATICA Dilinde Hazırlanmış Statik Analiz Programının Veri Dosyası .....	175
EK 2. MATHEMATICA Dilinde Hazırlanmış Statik Analiz Programının Listesi .....	177
EK 3. MATHEMATICA Dilinde Hazırlanmış Dinamik Analiz Programının Veri Dosyası .....	186
EK 4. MATHEMATICA Dilinde Hazırlanmış Dinamik Analiz Programının Listesi .....	188

## ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 4.1. Yeryüzündeki en yüksek binalardan örnekler.....	12
Çizelge 9.1. Zemin tiplerine göre Örnek 1'in tek güçlendiricili durumu için yerdeğiştirme, eksenel kuvvet ve toplam moment değerlerinin SAP2000 sonuçlarıyla karşılaştırılması.....	96
Çizelge 9.2. Zemin tiplerine göre Örnek 1'in iki güçlendiricili durumu için yerdeğiştirme, eksenel kuvvet ve toplam moment değerlerinin SAP2000 sonuçlarıyla karşılaştırılması.....	97
Çizelge 9.3. Örnek 2'nin tek güçlendiricili durumu için bu çalışmada hazırlanan program ile çözülmesinden elde edilen sonuçların literatürde verilen sonuçlarla karşılaştırılması.....	100
Çizelge 9.4. Örnek 2'nin iki güçlendiricili durumu için bu çalışmada hazırlanan program ile çözülmesinden elde edilen sonuçların literatürde verilen sonuçlarla karşılaştırılması.....	101
Çizelge 9.5. Örnek 3'e ait değişik modeller.....	103
Çizelge 9.6. Örnek 4'ün PAFEC sonlu elemanlar programı ile SAP2000 yapı analizi programı ile ve bu çalışmada hazırlanan program ile çözülmesinden elde edilen bazı büyüklüklerin karşılaştırılması.....	106
Çizelge 9.7. Örnek 5'in güçlendiricisiz durumu için bazı büyüklüklerin değişik yöntemlerle karşılaştırılması.....	108
Çizelge 9.8. Örnek 6 için SAP2000 yapı analizi programından elde edilen bazı sonuçlar.....	111
Çizelge 9.9. Örnek 6 için bu çalışmada hazırlanan programdan elde edilen bazı sonuçlar.....	112
Çizelge 9.10. Örnek 6'da bazı büyüklükler için bu çalışmadaki yöntemle bulunan sonuçların SAP2000 sonuçları ile oransal farkları.....	112
Çizelge 9.11. Örnek 7'de değişik yöntemlerle yapılan çalışmalarda bulunan tepe noktası yatay yerdeğiştirmelerinin güçlendiricisiz durum için karşılaştırılması.....	114

Çizelge 9.12. Örnek 7'nin güçlendiricili durumu için tepe noktası yatay yerdeğişirmelerinin SAP2000 yapı analizi programından elde edilenlerle karşılaştırılması .....	115
Çizelge 9.13. Örnek 8'e ait frekansların (Hz) literatürdekilerle karşılaştırılması ....	117
Çizelge 9.14. Örnek 9'a ait frekansların (Hz) literatürdekilerle karşılaştırılması ....	119
Çizelge 9.15. Örnek 10'da güçlendiricisiz durum için frekansların (Hz) SAP2000 yapı analizi programından elde edilenlerle karşılaştırılması .....	121
Çizelge 9.16. Örnek 10'da tepede tek güçlendirici giriş bulunması durumu için frekansların (Hz) SAP2000 yapı analizi programından elde edilenlerle karşılaştırılması .....	121
Çizelge 9.17. Örnek 10'da $x_1/H = 0.67$ olarak tek güçlendirici giriş bulunması durumu için frekansların (Hz) SAP2000 yapı analizi programından elde edilenlerle karşılaştırılması .....	122
Çizelge 9.18. Örnek 11'e ait değişik modeller .....	125
Çizelge 9.19. Örnek 11'de model 1'e ait doğal frekansların (Hz) SAP2000 yapı analizi programından elde edilenlerle karşılaştırılması .....	125
Çizelge 9.20. Örnek 11'de model 2'ye ait doğal frekansların (Hz) SAP2000 yapı analizi programından elde edilenlerle karşılaştırılması .....	126
Çizelge 9.21. Örnek 11'de model 3'e ait doğal frekansların (Hz) SAP2000 yapı analizi programından elde edilenlerle karşılaştırılması .....	126
Çizelge 9.22. Örnek 11'de model 4'e ait doğal frekansların (Hz) SAP2000 yapı analizi programından elde edilenlerle karşılaştırılması .....	127
Çizelge 9.23. Örnek 11'de model 5'e ait doğal frekansların (Hz) SAP2000 yapı analizi programından elde edilenlerle karşılaştırılması .....	127
Çizelge 9.24. Örnek 12'ye ait doğal frekansların (Hz) SAP2000 yapı analizi programından elde edilenlerle karşılaştırılması .....	130
Çizelge 9.25. Örnek 13'e ait doğal frekansların (Hz) SAP2000 yapı analizi programından elde edilenlerle karşılaştırılması .....	135
Çizelge 9.26. Örnek 14'e ait doğal frekansların (Hz) SAP2000 yapı analizi programından elde edilenlerle karşılaştırılması .....	138



Çizelge 9.27. Sönümsüz durum için Örnek 15'e ait maksimum tepe yerdeğıştirmesinin SAP2000 yapı analizi programından elde edilenle karşılaştırılması.....	144
Çizelge 9.28. Sönümlü durum için Örnek 15'e ait maksimum tepe yerdeğıştirmesinin SAP2000 yapı analizi programından elde edilenle karşılaştırılması.....	144
Çizelge 9.29. Örnek 16 için spektral ivme değerleri .....	146
Çizelge 9.30. Örnek 16'ya ait maksimum tepe yerdeğıştirmesinin SAP2000 yapı analizi programından elde edilenle karşılaştırılması.....	146
Çizelge 9.31. Sönümsüz durum için Örnek 17'ye ait maksimum tepe yerdeğıştirmesinin SAP2000 yapı analizi programından elde edilenle karşılaştırılması.....	148
Çizelge 9.32. Sönümlü durum için Örnek 17'ye ait maksimum tepe yerdeğıştirmesinin SAP2000 yapı analizi programından elde edilenle karşılaştırılması.....	148
Çizelge 9.33. Sönümsüz durum için Örnek 18'e ait maksimum tepe yerdeğıştirmelerinin SAP2000 yapı analizi programından elde edilenlerle karşılaştırılması.....	151
Çizelge 9.34. Sönümlü durum için Örnek 18'e ait maksimum tepe yerdeğıştirmelerinin SAP2000 yapı analizi programından elde edilenlerle karşılaştırılması.....	151
Çizelge 9.35. Örnek 19 için spektral ivme değerleri .....	153
Çizelge 9.36. Örnek 19'a ait maksimum tepe yerdeğıştirmelerinin SAP2000 yapı analizi programından elde edilenlerle karşılaştırılması.....	153
Çizelge 9.37. Sönümsüz durum için Örnek 21'e ait maksimum tepe yerdeğıştirmesinin SAP2000 yapı analizi programından elde edilenle karşılaştırılması.....	156
Çizelge 9.38. Sönümlü durum için Örnek 21'e ait maksimum tepe yerdeğıştirmesinin SAP2000 yapı analizi programından elde edilenle karşılaştırılması.....	156
Çizelge 9.39. Örnek 22 için spektral ivme değerleri .....	158

Çizelge 9.40. Örnek 22'ye ait maksimum tepe yerdeğıştirmesinin SAP2000 yapı analizi programından elde edilenle karşılaştırılması.....	158
Çizelge 9.41. Örnek 23'te sönümsüz durumda çeşitli zemin tipleri için maksimum tepe yerdeğıştirmelerinin SAP2000 yapı analizi programından elde edilenlerle karşılaştırılması .....	160
Çizelge 9.42. Örnek 23'te sönümlü durumda değışik zemin tipleri için maksimum tepe yerdeğıştirmelerinin SAP2000 yapı analizi programından elde edilenlerle karşılaştırılması .....	161
Çizelge 9.43. Örnek 24 için spektral ivme değerleri .....	163
Çizelge 9.44. Örnek 24'te değışik zemin tipleri için maksimum tepe yerdeğıştirmelerinin SAP2000 yapı analizi programından elde edilenlerle karşılaştırılması.....	164

## ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 4.1. Çerçeve ve elastik eğrisi.....	13
Şekil 4.2. Perde, en kesiti ve elastik eğrisi.....	14
Şekil 4.3. Çok sıra boşluklu perde.....	15
Şekil 4.4. Yüksek yapılarda tüp çerçeveler.....	16
Şekil 4.5. Yüksek yapılarda çekirdekler .....	16
Şekil 4.6. Çok sıra boşluklu perdenin yatay yükler etkisi altındaki davranışı .....	18
Şekil 4.7. Güçlendirilmiş çok sıra boşluklu perde.....	19
Şekil 5.1. Çok sıra boşluklu perdenin eşdeğer çerçeve yöntemi ile modellenmesi....	22
Şekil 5.2. Uçlarında rijit bölgeler bulunan bir çubuk elemanın serbestlik dereceleri	23
Şekil 5.3. Elastik bağlantılı kiriş modeli .....	24
Şekil 5.4. Çok sıra boşluklu perdede duvarların ve bağlantı kirişlerinin levha sonlu elemanları ile modellenmesi.....	25
Şekil 5.5. Çok sıra boşluklu perdede duvarların levha ve bağlantı kirişlerinin çubuk sonlu elemanları ile modellenmesi .....	26
Şekil 5.6. Çok sıra boşluklu perdenin SBY ile modellenmesi .....	28
Şekil 6.1. Güçlendirici kirişleri olan çok sıra boşluklu perde .....	30
Şekil 6.2. Güçlendirilmiş çok sıra boşluklu perdenin SBY ile modellenmesi .....	33
Şekil 6.3. Eğilmiş bir bağlantı kirişi .....	34
Şekil 6.4. Perdede düşey kuvvetlerin dengesi .....	36
Şekil 6.5. Çok sıra boşluklu perdenin yatay bir kesitindeki iç kuvvetler .....	37
Şekil 6.6. Duvarların dönmesinden doğan bağıl düşey yerdeğiştirme .....	39
Şekil 6.7. Bağlantı kirişlerindeki kesme kuvvetlerinden doğan bağıl düşey yerdeğiştirme .....	41
Şekil 6.8. Bir perde parçası üzerindeki düşey kuvvetler.....	42
Şekil 6.9. Perde aksenal kuvvet bileşenlerinden doğan bağıl düşey yerdeğiştirme ...	44
Şekil 6.10. Bağlantı kirişlerinin elastik bağlantılı olması durumu.....	45
Şekil 6.11. Temel hareketinden doğan bağıl düşey yerdeğiştirme.....	47
Şekil 6.12. Perdenin tepesinde düşey kuvvetlerin dengesi .....	56
Şekil 6.13. $x_1$ yükseklikteki güçlendirici kirişe etki eden düşey kuvvetler.....	60

Şekil 7.1. Güçlendirici kirişleri olan çok sıra boşluklu perde için toplanmış kütle modeli .....	67
Şekil 8.1. (a) Statik analizde ve (b) dinamik analizde elastik eğrinin durumu .....	80
Şekil 8.2. Toplanmış bir kütle için (a) deprem etkisi ile hareketi (b) serbest cisim diyagramı.....	89
Şekil 9.1. Örnek 1'e ait tek sıra boşluklu perde ve en kesiti.....	94
Şekil 9.2. Örnek 2'ye ait tek sıra boşluklu perde ve en kesiti.....	98
Şekil 9.3. Örnek 3'e ait iki sıra boşluklu perde ve en kesiti .....	102
Şekil 9.4. Örnek 3'te değişik modeller için bulunan yerdeğiştirme sonuçlarının karşılaştırılması (a) Model 1-3 (b) Model 4-5 .....	104
Şekil 9.5. Örnek 4'e ait çok sıra boşluklu perde ve en kesiti.....	105
Şekil 9.6. Örnek 4'te sonlu elemanlar ağının oluşturulması .....	106
Şekil 9.7. Örnek 5'e ait üç sıra boşluklu perde ve en kesiti.....	107
Şekil 9.8. Örnek 5'in güçlendiricili durumu için yerdeğiştirme grafiği .....	109
Şekil 9.9. Örnek 6'ya ait dört sıra boşluklu perde ve boy kesiti .....	110
Şekil 9.10. Örnek 7'ye ait beş sıra boşluklu perde ve en kesiti.....	113
Şekil 9.11. Örnek 8'e ait boşluklu perde ve en kesiti .....	116
Şekil 9.12. Örnek 9'a ait tek sıra boşluklu perde ve en kesiti.....	118
Şekil 9.13. Örnek 10'a ait tek sıra boşluklu perde ve en kesiti.....	120
Şekil 9.14. Örnek 10'un güçlendiricisiz durumu için birinci, üçüncü ve beşinci mod şekil vektörlerinin SAP2000 yapı analizi programından elde edilenlerle karşılaştırılması.....	123
Şekil 9.15. Örnek 11'e ait perde ve en kesiti .....	124
Şekil 9.16. Örnek 11'in model 1 için birinci, üçüncü ve beşinci mod şekil vektörlerinin SAP2000 yapı analizi programından elde edilenlerle karşılaştırılması .....	128
Şekil 9.17. Örnek 12'ye ait perde ve en kesiti .....	129
Şekil 9.18. Örnek 12'nin güçlendiricisiz durum için birinci, üçüncü ve beşinci mod şekil vektörlerinin SAP2000 yapı analizi programından elde edilenlerle karşılaştırılması .....	131

Şekil 9.19. Örnek 12'nin güçlendiricili durum için birinci, üçüncü ve beşinci mod şekil vektörlerinin SAP2000 yapı analizi programından elde edilenlerle karşılaştırılması .....	132
Şekil 9.20. Örnek 12'nin güçlendiricili ve güçlendiricisiz durumları için birinci, üçüncü ve beşinci mod şekil vektörlerinin karşılaştırılması.....	133
Şekil 9.21. Örnek 13'e ait dört sıra boşluklu perde ve boy kesiti .....	134
Şekil 9.22. Örnek 13'e ait birinci, üçüncü ve beşinci mod şekil vektörlerinin SAP2000 yapı analizi programından elde edilenlerle karşılaştırılması ..	136
Şekil 9.23. Örnek 14'e ait beş sıra boşluklu perde ve en kesiti.....	137
Şekil 9.24. Örnek 14'te güçlendiricisiz durum için birinci, üçüncü ve beşinci mod şekil vektörlerinin SAP2000 yapı analizi programından elde edilenlerle karşılaştırılması .....	139
Şekil 9.25. Örnek 14'te güçlendiricili durum için birinci, üçüncü ve beşinci mod şekil vektörlerinin SAP2000 yapı analizi programından elde edilenlerle karşılaştırılması .....	140
Şekil 9.26. Örnek 14'e ait güçlendiricisiz ve güçlendiricili durumlar için birinci, üçüncü ve beşinci mod şekil vektörlerinin karşılaştırılması.....	141
Şekil 9.27. Örnek 14'te güçlendiricili durumda değişik zemin özellikleri için birinci, üçüncü ve beşinci mod şekil vektörlerinin karşılaştırılması.....	142
Şekil 9.28. Örnek 15'e ait tek sıra boşluklu perde ve en kesiti.....	143
Şekil 9.29. Örnek 15'e ait yükleme .....	144
Şekil 9.30. Örnek 15'te sönümsüz durum için perde tepesindeki yerdeğiştirmenin zamanla değişimi.....	145
Şekil 9.31. Örnek 15'te sönümlü durum için perde tepesindeki yerdeğiştirmenin zamanla değişimi.....	145
Şekil 9.32. Örnek 17'ye ait iki sıra boşluklu perde ve en kesiti.....	147
Şekil 9.33. Örnek 17'ye ait yükleme .....	148
Şekil 9.34. Örnek 17'de sönümsüz durum için perde tepesindeki yerdeğiştirmenin zamanla değişimi.....	149
Şekil 9.35. Örnek 17'de sönümlü durum için perde tepesindeki yerdeğiştirmenin zamanla değişimi.....	149

Şekil 9.36. Örnek 18'e ait üç sıra boşluklu perde ve en kesiti .....	150
Şekil 9.37. Örnek 18'e ait yükleme .....	151
Şekil 9.38. Örnek 18'de güçlendirici yok iken sönümsüz durum için perde tepesindeki yerdeğiştirmenin zamanla değişimi .....	152
Şekil 9.39. Örnek 18'de güçlendirici yok iken sönümlü durum için perde tepesindeki yerdeğiştirmenin zamanla değişimi .....	152
Şekil 9.40. Örnek 20'deki üç sıra boşluklu perdeye ait bağlantı kirişi ile duvar arasındaki bağlantı rijitliğindeki ( $C_{cb}$ ) değişimin perde tepesi maksimum yerdeğiştirmesine etkisi .....	154
Şekil 9.41. Örnek 21'e ait dört sıra boşluklu perde ve boy kesiti .....	155
Şekil 9.42. Örnek 21'e ait yükleme .....	156
Şekil 9.43. Örnek 21'de sönümsüz durum için perde tepesindeki yerdeğiştirmenin zamanla değişimi.....	157
Şekil 9.44. Örnek 21'de sönümlü durum için perde tepesindeki yerdeğiştirmenin zamanla değişimi.....	157
Şekil 9.45. Örnek 23'e ait beş sıra boşluklu perde ve en kesiti.....	159
Şekil 9.46. Örnek 23'e ait yükleme .....	160
Şekil 9.47. Örnek 23'te elastik bir zemin için sönümsüz durumda perde tepesindeki yerdeğiştirmenin zamanla değişimi .....	162
Şekil 9.48. Örnek 23'te elastik bir zemin için sönümlü durumda perde tepesindeki yerdeğiştirmenin zamanla değişimi .....	162

## SEMBOLLER VE KISALTMALAR DİZİNİ

- $a_j$  : j numaralı boşluk genişliği,
- $A_{j,i}$  : i bölgesinde j numaralı duvarın alanı,
- $A_{si}$  : i numaralı bölgedeki güçlendirici kiriş kesit alanı,
- $b_j$  : j numaralı duvar genişliği,
- $C_{cbi}, C_{sbi}$  : i bölgesinde kiriş-duvar ve güçlendirici-duvar bağlantı rijitliği,
- $\underline{C}$  : sönüm matrisi,
- $\tilde{C}$  : girişimsiz sönüm matrisi,
- $E$  : elastisite modülü,
- $E_s$  : güçlendirici kiriş elastisite modülü,
- $\underline{F}$  : esneklik matrisi,
- $h_i$  : i bölgesindeki kat yüksekliği,
- $H$  : perdenin toplam yüksekliği,
- $H_p$  : birim yükün uygulandığı yükseklik,
- $I_{cj,i}$  : i bölgesinin j numaralı boşluğundaki bağlantı kirişi atalet momentleri,
- $I_i$  : i bölgesindeki duvarların atalet momentleri toplamı,
- $I_{j,i}$  : i bölgesinin j numaralı duvarının atalet momentleri,
- $I_{si}$  :  $x_i$  yükseklikteki güçlendirici kirişin atalet momentleri,
- $i$  : bölgelerin ve bölgeler arası sınırların numaraları,
- $j$  : açıklık ve duvar numaraları,
- $\underline{K}$  : rijitlik matrisi,
- $\tilde{K}$  : girişimsiz rijitlik matrisi,
- $K_{vj}, K_{hj}, K_{rj}$  : j numaralı duvar temelinin eşdeğer düşey, yatay ve dönel rijitlik sabitleri,
- $L_{j,i}$  : i bölgesinde j ve (j+1) numaralı duvar eksenleri arasındaki uzaklık,

$\underline{M}$	: kütle matrisi,
$\tilde{\underline{M}}$	: girişimsiz kütle matrisi,
$M_j$	: tek bölgeyi perdede j numaralı duvardaki eğilme momenti,
$M_{j,i}$	: i bölgesinde j numaralı duvardaki eğilme momenti,
$M_e(x)$	: daha üstte kalan yükün x yüksekliğine göre momenti,
$M_{ei}(x)$	: i bölgesinde dış yükten dolayı oluşan moment,
$m$	: yatay doğrultudaki boşluk sıralarının sayısı,
$n$	: düşey doğrultuda bölge sayısı,
$N$	: boşluklu perdenin serbestlik derecesi,
$N_i$	: i numaralı bölgedeki toplanmış kütle sayısı,
$\underline{P}$	: yük vektörü,
$\tilde{\underline{P}}$	: modal kuvvetler,
$\tilde{\underline{P}}_{ef}$	: efektif yük vektörü,
$q_{j,i}$	: i bölgesinde j numaralı açıklıktaki kesme kuvveti akış fonksiyonu,
$Q_j$	: tek bölgeyi perdede j numaralı boşluğun kesme kuvvetlerinin perde tepesinden itibaren toplamı,
$Q_{j,i}$	: i bölgesinin j numaralı boşluğundaki kesme kuvvetlerinin perde tepesinden itibaren toplamı,
$\underline{r}$	: yerleştirme (pseudostatik) vektörü
$t_i$	: i numaralı bölgede perde kalınlığı,
$T$	: transformasyon matrisi,
$T_{j,i}$	: i bölgesinin j numaralı duvarındaki eksenel kuvvet fonksiyonu
$\underline{u}$	: genlik vektörü,
$V_{j,i}$	: $x_i$ yükseklikteki güçlendirici kirişin j açıklığındaki kesme kuvveti,
$w$	: yatay yük fonksiyonu,
$W$	: toplam yatay yük,



- $x_g$  : tek serbestlik dereceli bir sistemde deprem etkisi ile sistem ekseninin sabit referans eksenine göre yaptığı yerdeğiştirme,  
 $x_i$  : i bölgesinin üst noktasının yüksekliği,  
 $x_t$  : tek serbestlik dereceli bir sistemde deprem etkisi ile kütlelerin sabit referans eksenine göre yaptığı yerdeğiştirme,  
 $\underline{X}$  : yerdeğiştirme vektörü,  
 $\underline{\dot{X}}$  : hız vektörü,  
 $\underline{\ddot{X}}$  : ivme vektörü,  
 $y_i$  : i bölgesinde yatay yerdeğiştirme fonksiyonu,  
 $\underline{Y}$  : modal yerdeğiştirme vektörü,  
 $\underline{\dot{Y}}$  : modal hız vektörü,  
 $\underline{\ddot{Y}}$  : modal ivme vektörü,  
 $\delta_{1,j,i}$  : i bölgesinde j ve j+1 numaralı duvarların dönmesinden doğan bağıl düşey yerdeğiştirme,  
 $\delta_{2,j,i}$  : i bölgesinin j numaralı boşluğundaki bağlantı kirişi kesme kuvvetinden doğan bağıl düşey yerdeğiştirme,  
 $\delta_{3,j,i}$  : i bölgesinin j ve j+1 numaralı duvarlarındaki perde eksenel kuvvetinden doğan bağıl düşey yerdeğiştirme,  
 $\delta_{4,j,i}$  : i bölgesinin j numaralı boşluğundaki bağlantı kirişinin duvarlara elastik bağlanmasından doğan bağıl düşey yerdeğiştirme,  
 $\delta_{ij}$  : j ve j+1 numaralı duvar tabanlarının bağıl düşey yerdeğiştirmesi,  
 $\theta$  : faz açısı, eğim,  
 $\rho$  : beton birim ağırlığı,  
 $\underline{\Phi}$  : modal matris,  
 $\omega$  : frekans,  
 $\lambda_i = \omega_i^2$  : sisteme ait özdeğerler.

## 1. GİRİŞ

Binalarda kat sayısının artmasına bağlı olarak, rüzgar ve depremden dolayı meydana gelen yatay kuvvetlerin etkileri düşey kuvvetlere göre çok daha önemli olurlar. Bu yatay etkilere karşı emniyeti yalnız çerçevelerle temin etmek, kolon boyutlarını büyüteceğinden, gerek alt katlardaki hacim kaybı nedeniyle, gerekse maliyet bakımından uygun çözüm olmamaktadır. Özellikle deprem bölgelerinde kolonlar, taşıdıkları servis yüklerinden daha fazla eğilme momentine maruz kalmakta ve yüksekliğe bağlı olarak ikinci mertebeden momentler büyümektedir. Bu nedenle yatay etkilere karşı, rijitlikleri kolonlara göre daha fazla olan perdeler tercih edilmektedir.

Perdeler boşluksuz oldukları zaman konsol giriş gibi çalıştıklarından hesapları kolaydır. Ancak, kapı, pencere ve koridor geçişleri için bırakılan boşluklarla zayıflayan deprem perdeleri yüksek dereceden hiperstatik olduklarından hesapları da güçleşmektedir. Yatay yüklere karşı etkin bir dayanım gösteren deprem perdelerinin çok katlı yapılarda yaygın bir şekilde tercih edilmesi ile birlikte, mimari nedenlerle bırakılan boşluk sıra sayısında da artış olmuştur.

Yatay yükler etkisindeki boşluklu perdelerin analizi için sürekli bağlantı yöntemi (SBY) çok yaygın bir şekilde kullanılan yöntemlerden birisidir. SBY kullanılarak yapılan boşluklu perde analizinde boşluk sıra sayısının artmasıyla birlikte bilinmeyen sayısı da artmakta ve formülasyondaki uzunluk dolayısı ile kapalı çözümler vermek zorlaşmaktadır. Bu yüzden bilinmeyen sayısını düşük tutmak amacı ile SBY kullanılarak bugüne kadar yapılmış olan statik analizlerde rijit temele oturan, güçlendiricisiz, simetrik olmayan iki sıra ve simetrik üç sıra boşluklu perdeler üzerine çıkılmamıştır (Coull ve Subedi, 1972). Halbuki, perdeler katlarda bulunan kapı, pencere ve koridor geçişleri için bırakılan boşluklar nedeniyle simetrik olmayan ve ikiden fazla sayıda sıra boşluklu olarak ortaya çıkabilmektedir. Koo ve Cheung (1984), temel bilinmeyen olarak aldıkları perdedeki eksenel kuvveti, çeşitli koordinat fonksiyonları cinsinden ifade ederek, yaptıkları çalışmanın sonunda verdikleri üç sıra boşluklu perde örneğinde büyük hata oranları ile karşılaşmışlardır. Elkholy ve

Robinson (1973), sonlu farklar yöntemi kullanarak çok sıra boşluklu perdeler konusunda yaptıkları çalışmada bazı analitik hatalar yapmışlardır.

Eğer bina çok yüksekse binanın duvar kalınlığını yüksekliği boyunca kademe kademe azaltmak daha ekonomik olacağı için bu konuda da araştırma yapılmıştır (Coull ve Puri, 1967).

Boşluklu perdelerde, bağlantı kirişlerinin tepedeki yanal yerdeğiştirmeyi ve tabandaki eğilme momentini azaltma görevlerini, yüksekliklerinin kısıtlı olması nedeniyle yeterince sağlayamadıkları durumlarda belirli yüksekliklere güçlendirici kirişler diye adlandırılan yüksek bağlantı kirişleri yerleştirilir. Tasarım sırasında, bir yapının serbest titreşim özelliklerini bilmek, dinamik yatay yüklerin ele alınışı ve ona göre hesap yapılması için büyük önem taşır. Bu amaçla, Li ve Choo (1996) ortasında, tepesinde ve tabanında birer güçlendirici kiriş ile iki bölgeye ayrılan bir boşluklu perde için dinamik analiz yaparak serbest titreşim frekanslarını ve mod şekillerini bulmuşlardır. Ancak, adı geçen yayında yapılan bazı analitik hatalar, bulunan sayısal sonuçların da yanlış olmasına neden olmuştur. Arslan ve Aksoğan (1998), elastik temele oturan ve sonlu sayıda güçlendirici kirişi olan tek sıra boşluklu perdelerin dinamik analizini yapmışlardır. Literatürde çok sıra boşluklu perdelerin dinamik analizi konusunda yapılan bir çalışmaya rastlanmamıştır.

Bu çalışmada, elastik temele oturan, sonlu sayıda güçlendirici kirişi olan ve bağlantı kirişi-duvar bağlantı esnekliğini dikkate alan çok sıra boşluklu perdelerin, önce, statik analizi yapılmış ve daha sonra da, serbest titreşim analizi ve zamanla değişen yükler etkisinde zorlanmış titreşimleri mod-superpozisyon tekniği ve Newmark yöntemi kullanılarak incelenmiştir. Yapılan analizde, düşey doğrultuda bölgeden bölgeye duvar kalınlıkları ve bağlantı kirişlerinin geometrik ve fiziksel özellikleri değişik olabileceği gibi yatay doğrultuda açıklıktan açıklığa da, gerek bağlantı kirişlerinin geometrik ve fiziksel özellikleri ve gerekse aralarındaki duvarların geometrik özellikleri değişebilmektedir.

Bu çalışmanın dinamik analizinde kullanılacak yöntem iki adımdan oluşur. Birinci adımda elastik temele oturan çok sıra boşluklu perde, ayrı kütlelerden oluşan bir toplanmış kütleler sistemine dönüştürülür. Kütle sayısı sistemin serbestlik derecesini oluşturur ve bölgelerdeki kat sayılarından bağımsız olarak (onlardan

küçük veya büyük) serbestçe seçilebilir. Ancak, her bir kütle için büyüklüğü yapının yüksekliği boyunca ortalama kütle dağılımından elde edilir ve böylece yapının kütle matrisi bir köşegen matris olarak bulunur.

İkinci adımda sistem rijitlik matrisi bulunacaktır. Bunun için ayrı kütlelerin her birinin yatay yerdeğiştirmeleri doğruğrusunda birim yük ile yüklenmeleri ve yerdeğiştirmelerin bulunması gerekir. Bu yüklemelerin her biri için SBY kullanılarak boşluk sıralarındaki bağlantı kirişlerinin ve güçlendirici kirişlerin dönüm noktaları olan orta noktalarında uygunluk denklemleri yazılır. Boşluk sayısı kadar denklemden oluşan ikinci dereceden, lineer, girişimli diferansiyel denklem takımı, güçlendirici kirişlerle ve/veya perde kalınlığının değiştirilmesiyle iki veya daha fazla bölgeye ayrılmış olan perdenin her bölgesi için tekrarlanır. Boşluk sayısı  $m$ , bölge sayısı  $n$  olmak üzere  $m \times n$  sayıda denklemleri içeren diferansiyel denklem takımı, tek ve iki sıra boşluklu perdelerde kapalı olarak çözülebilmektedir. Ancak, boşluk sayısı üç ve daha fazla olduğunda, girişimli diferansiyel denklem takımında bilinmeyen sayısı da artmakta ve çözüm gittikçe zorlaşmaktadır. Ortak çözümleri gereken bu diferansiyel denklem takımı değişken dönüşümü yapılarak özdeğer problemi şekline dönüştürülür. Elde edilen bu denklemler, katsayılar matrisinin köşegen şekle getirilmesiyle girişimsiz formda çözümlür. Bu analiz sırasında temel düşey, yatay ve dönel rijitlikleri de gözönüne alınarak tabanda sınır koşulları yazılır. Yatay yerdeğiştirmelerin bulunması sırasında, bölgeler arasında komşu iki bölgenin aynı yatay yerdeğiştirme ve eğime sahip olmaları koşulları uygulanır.

Birinci adımda bulunan ayrı kütleler sisteminin yerdeğiştirme şekilleri, tüm birim yükleme durumları için bulunduktan sonra, esneklik matrisi doğruğrudan doğruya yazılabilir ve tersi alınarak da rijitlik matrisi bulunur. Rijitlik matrisi ve toplanmış kütle kabulü ile elde edilen kütle matrislerinin serbest titreşim denkleminde yerlerine konulması ile sistemin doğal frekansları ve bunlara ait mod şekil vektörleri elde edilir.

Sistemin zorlanmış titreşim analizi sistem rijitlik ve kütle matrisleri mod-süperpozisyon yöntemi yardımı ile girişimli durumdan girişimsiz duruma çevrilerek yapılır. Matrisler girişimsiz duruma dönüştürüldükten sonra sayısal çözüm

yöntemlerinden Newmark yöntemi kullanılarak zamanla değişen yükler etkisindeki güçlendirilmiş çok sıra boşluklu perdelerin “Time-History” analizi yapılır.

Çok sıra boşluklu perdelerin deprem analizi spektral ivme eğrileri ile yapılır. Her mod için elde edilen düğümlerin maksimum yerdeğiştirmeleri SRSS (Square Root of Sum of Squares) yöntemi ile birleştirilerek verilen deprem spektrumundan dolayı düğümdede oluşan maksimum yerdeğiştirme belirlenir.

Yukarıda anlatılan statik ve dinamik analizler yapıldıktan sonra MATHEMATICA bilgisayar programlama dilinde birer program yazılmıştır. Öntasarım amacıyla hazırlanan programlar ile hem tek hem de çok sıra boşluklu perdelerin statik ve dinamik analizleri yapılabilmektedir. Analizlerin doğruluğunu kontrol etmek için bu çalışmada hazırlanan programlarla çözülen problemlerin sonuçları SAP2000 yapı analizi programı ve PAFEC sonlu elemanlar programı ile elde edilen sonuçlarla karşılaştırılmış ve sonuçların çok uyumlu olduğu görölmüştür.

## 2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

Rosman (1964), SBY'ni kullanarak bir veya iki sıra boşluklu ve tepesinde tekil yük ile yüklenmiş boşluklu perdeler konusunda çalışmıştır. Yazar, bu çalışmada, perdelerin simetrik olmama durumunu, temel çeşitlerinin bağlantı kirişlerindeki kesme kuvvetlerine ve perde ayaklarında oluşan eğilme momentlerine etkisini ve en alttaki bağlantı kirişinin atalet momentinin değişmesi ile oluşacak etkileri incelemiştir.

Coull ve Puri (1967), rijit temele oturan, güçlendiricisiz tek ve simetrik iki sıra boşluklu perdelerin, kalınlığını, binanın herhangi iki ayrı yükseklikte azaltmaya imkan veren statik analizlerinde kapalı çözümler elde etmişlerdir. Yazarlar, çalışmanın sonunda, iki ayrı yükseklikte kalınlığı azaltılmış tek sıra boşluklu perde örneğinin teorik sonuçları ile deney sonuçlarını grafikler üzerinde karşılaştırmışlardır.

Soane (1967), analog bilgisayar kullanarak çok sıra boşluklu perdelerin yanal rijitliği üzerine bir program yapmıştır.

Coull ve Puri (1968), tek ve simetrik iki sıra boşluklu perdeler için yatay yerdeğiştirmeyi veren formüller bulmuşlardır. Yazarlar, bu çalışmada tek ve simetrik iki sıra boşluklu perde sonuçlarını çeşitli deney sonuçları ile karşılaştırmışlardır.

Coull, Puri ve Tottenham (1972), matris ilerleme yöntemine dayalı yükseklik boyunca istenilen sayıda süreksizliği içeren ve rijit temele oturan çok sıra boşluklu perdelerin nümerik analizini yapmışlardır. Yazarlar, çalışmanın sonunda tek ve simetrik iki sıra boşluklu perde örneğinin teorik sonuçları ile deney sonuçlarını grafikler üzerinde karşılaştırmışlardır.

Coull ve Subedi (1972), simetrik olmayan iki sıra boşluklu ve simetrik üç sıra boşluklu perdelerin SBY ile analizini sunmuşlar ve kesme kuvveti fonksiyonunun kapalı çözümlerini vermişlerdir. Ayrıca, beş örneğin teorik çözümünden elde edilen sonuçlar ile bu örneklerin model yapılar üzerindeki deney sonuçlarının uyumunu grafikler üzerinde göstermişlerdir.

Elkholy ve Robinson (1973), sonlu farklar yöntemini kullanarak elastik temel üzerine oturan, güçlendiricisiz çok sıra boşluklu perdelerin statik analizini yapmışlar



ve problem için kapalı bir çözüm elde ederek çeşitli zemin koşulları için beş sıra boşluklu perdenin çözümünü vermişlerdir. Ancak, çalışmalarında özellikle elastik temel hesaplarında yaptıkları bazı analitik hatalardan dolayı sayısal sonuçları yanlış çıkmış olup, aynı örnek için SAP2000 ve bu tezdeki programın tam uyum içerisindeki sonuçları ile çakışmamaktadır.

Mukherjee ve Coull (1973), tek sıra boşluklu perdelerin serbest titreşim analizi için SBY'ni kullanmışlardır. Bu çalışmada kesit değişikliği ve güçlendirici kirişi olmayan boşluklu perdelerin doğal titreşim şekilleri ve frekansları Galerkin yöntemi kullanılarak belirlenmiş ve ele alınan örnek yapının deneysel ve teorik sonuçları karşılaştırılmıştır.

Coull (1974), tek sıra boşluklu, tepesinde güçlendirici kiriş bulunan, elastik temel üzerine oturan ve simetrik olmayan boşluklu perdeler üzerinde SBY ile çalışmış ve kapalı çözümler elde etmiştir. Çalışmanın sonunda sayısal bir örnek çözülmüş ve bunun sonucunda güçlendirici kirişin perdenin yapısal davranışında sağladığı iyileşmeye dikkat çekilmiştir.

Mukherjee ve Coull (1974), elastik temele oturan, kesit değişikliği ve güçlendirici kirişi olmayan tek sıra boşluklu perdelerin serbest titreşim analizi için kütlelerin düşey ve dönel atalet etkilerini de hesaba katan, şekil değiştirme enerjisi ve SBY'ni kullanan yaklaşık bir yöntem sunmuşlar ve Ritz-Galerkin yöntemini kullanarak frekansları ve mod şekil vektörlerini belirlemişlerdir. Yazarlar, sayısal örnekler çözerek duvar tabanı (sömel) atalet momentlerinin, temelin düşey ve dönel rijitlik sabitlerine etkilerini gösteren çizelgeler hazırlamışlardır.

Choo ve Coull (1984), elastik temel üzerine oturan ve yatay yükler etkisinde olan tek sıra boşluklu perdeler için perdenin tepesinde ve tabanında bulunan güçlendirici kirişlerin etkilerini incelemişlerdir. SBY ile yapılan bu analizin sonucunda kapalı çözüm verilmiş ve farklı zemin türleri için perdenin tepesinde ve tabanında bulunan güçlendirici kirişlerin perdede oluşan kuvvetlere ve yerdeğiştirmelere etkileri incelenmiştir.

Koo ve Cheung (1984), temel bilinmeyen olarak aldıkları perde eksenel kuvvetini, çeşitli koordinat fonksiyonları cinsinden ifade ederek yaptıkları çalışmanın

sonunda verdikleri üç sıra boşluklu perde örneğinde büyük hata oranları ile karşılaşmışlardır.

Chan ve Kuang (1988), elastik temele oturan ve üzerinde herhangi bir yükseklikte tek güçlendirici kiriş bulunan tek sıra boşluklu perdeleri SBY ile incelemiş ve analiz sonuçlarına dayanarak güçlendirici kirişin  $0.2H-0.5H$  yükseklik sınırları içinde kalmasını tavsiye etmişlerdir.

Chan ve Kuang (1989), aynı problem üzerinde çalışmaya devam ederek, güçlendirici kirişin bina tabanından yüksekliğinin ve rijitliğinin perde yapısal davranışı üzerindeki etkilerini gösteren grafikler sunmuşlardır.

Coull ve Bensmail (1991), SBY ile kesit değişikliği olmayan, elastik temel üzerine oturan ve iki güçlendirici kiriş olan tek sıra boşluklu perdeleri incelemişlerdir. Yazarlar, kapalı çözümler vererek çeşitli grafikler sunmuşlardır.

Aksoğan, Türker ve Oskouei (1993), SBY ile elastik zemine oturan tek sıra boşluklu perdeleri incelemişler ve çok sayıda güçlendirici kiriş için çözüm yapabilen bir bilgisayar programı hazırlamışlardır.

Li ve Choo (1994), güçlendirici kiriş olmayan tek sıra boşluklu perdelerin serbest titreşim analizi için sürekli-ayrık bir yöntem uygulamışlardır. Bu çalışmada, önce, perde ayrık kütlelerden oluşan bir toplanmış kütleler sistemine dönüştürülmüş ve daha sonra da, SBY kullanılarak bu kütlelerin her biri için yatay yerdeğiştirmeleri doğrultusunda birim yüklemelerle elde edilen esneklik matrisinin tersi alınarak rijitlik matrisleri oluşturulmuştur. Elde edilen rijitlik ve kütle matrisleri yardımıyla serbest titreşim analizi yapılmıştır. Yöntemin doğruluğu ve yeterliliği iki örnek ile gösterilmiştir.

Arslan ve Aksoğan (1995), Aksoğan ve Ark. (1993) tarafından yapılan çalışmalara devam etmişlerdir. Bu çalışmalarda, problem genel durumu ile ele alınmış ve perdenin geometrik özelliklerinin bölgeden bölgeye değiştiği durumlar için çözüm yapabilen bir bilgisayar programı geliştirilmiştir.

Li ve Choo (1995), Mukherjee ve Coull (1973) tarafından önerilen yöntem ile kendilerinin daha önce verdiği (Li and Choo, 1994) sürekli-ayrık yöntemi karşılaştırarak ilk yöntemin zorluklarını belirtmişlerdir. Yazarlar, analiz sonucunda buldukları frekansların yaptıkları deneysel çalışmanın sonucunda buldukları



frekanslara oranlarını gösteren bir çizelge hazırlamışlar ve son olarak da boşluklu perdelerin frekanslarını veren basit bir çizelge sunmuşlardır.

Li ve Choo (1996), aynı yöntemi kullanarak tepesinde, tabanında ve ortasında güçlendirici kirişler bulunan ve kesit değişikliği olmayan tek sıra boşluklu perdenin serbest titreşim analizini yaparak bir örnek ile kayma şekildeğişirmelerinin ve güçlendirici kirişlerin doğal frekanslar üzerindeki etkilerini gösteren iki çizelge sunmuşlardır. Ancak, çalışmalarında yaptıkları bazı analitik hatalardan dolayı sayısal sonuçları yanlış çıkmıştır.

Arslan ve Aksogan (1996), SBY ile elastik zemine oturan ve kesit değişiklikleri ve güçlendirici kirişleri olan tek sıra boşluklu perdeleri incelemişler ve çok bölgeli problemler için çözüm yapabilen bir bilgisayar programı hazırlamışlardır.

Li ve Choo (1997), elastik temele oturan ve iki veya üç güçlendirici kirişi olan tek sıra boşluklu perdelerin statik analizini yaparak çalışmanın sonunda bir örnek vermişlerdir.

Aksögan, Arslan ve Salari (1999), kesit değişikliği olan ve elastik temele oturan güçlendirilmiş tek sıra boşluklu perdelerin dinamik analizini yaparak çeşitli örnekler sunmuşlardır.

### 3. MATERYAL VE METOD

Yatay yükler etkisindeki boşluklu perdelerin analizi için çok yaygın bir şekilde kullanılan yöntemlerden birisi SBY'dir. Bu yöntemde yapılan en önemli kabul bağlantı kirişleri ile güçlendirici kirişlerin eksenleri doğrultusunda sonsuz rijitmiş gibi ele alınmalarıdır. Bu kabul kat döşemeleri için çok yaygın şekilde kullanılan rijit diyafram modeliyle eşdeğer olup, çok doğru sonuçlar verdiği bilinen bir gerçektir. Bu kabule dayanarak herhangi bir yükseklikte tüm duvarlar aynı yanal yerdeğiştirmeyi yaparlar ve buna bağlı olarak aynı eğime sahip oldukları kabul edilebilir. Bu yöntemde, ayrıca, katlardaki boşluklar arasındaki bağlantı kirişlerinin özelliklerinin bir bölgede ve aralarındaki uzaklıkların tüm bina boyunca sabit olduğu kabul edilir. Böylece, bağlantı kirişleri bina boyunca (veya bölge bölge) eşdeğer rijitlikte tabakalar şeklinde bir ortama dönüştürülerek ele alınabilmektedir. Bu değişiklik yapının özelliklerinin yüksekliğin fonksiyonları olarak verilmesini sağlar. Bağlantı kirişlerinin tepedeki yanal yerdeğiştirmeyi ve tabandaki eğilme momentini azaltma görevlerini yüksekliklerinin kısıtlı olması nedeniyle yeterince sağlayamadıkları durumlarda belirli yüksekliklere güçlendirici kirişler diye adlandırılan eğilme rijitliği yüksek bağlantı kirişleri yerleştirilir.

Bu çalışmanın statik analiz bölümünde, SBY kullanılarak, eğilme rijitliği  $EI_{c,j}$  olan bağlantı kirişlerinin yerine eğilme rijitliği birim yükseklik için  $EI_{c,j}/h_i$  olan eşdeğer rijitlikteki sürekli yayılı tabakalar düşünülmektedir. Burada,  $E$ ,  $I_{c,j}$  ve  $h_i$ , sırasıyla, elastisite modülü,  $i$  bölgesinde  $j$  numaralı boşluktaki bağlantı kirişlerinin atalet momenti ve  $i$  bölgesindeki kat yüksekliğidir. Aynı şekilde, bağlantı kirişlerindeki kesme kuvvetlerinin yerine sürekli yayılı tabakanın moment sıfır noktaları boyunca birim boydaki değeri  $q_{j,i}$  olan sürekli yayılı kesme kuvveti fonksiyonu düşünülür. Bu yöntemin temel diferansiyel denklemleri, her sıra boşluk için bağlantı kirişlerinin moment sıfır noktaları olan orta noktalarında düşey yerdeğiştirme için yazılan uygunluk denklemlerinden oluşur. Boşluk sayısı kadar denklemden oluşan ikinci dereceden, lineer, girişimli diferansiyel denklem takımı, değişken dönüşümü yapılarak özdeğer problemine çevrilir ve daha sonra katsayılar

matrisinin köşegen matris şekline getirilmesiyle girişimsiz forma dönüşen denklemler sınır koşulları yardımıyla çözülür.

Bu çalışmanın dinamik analiz bölümünde ise, çok sıra boşluklu perde, önce, ayrı kütlelerle modellenip, sonra, SBY kullanılmaktadır. Çok sıra boşluklu perdenin kütle matrisi toplanmış kütle kabulü ile köşegen matris olarak bulunmaktadır. Bu çalışmada, çok sıra boşluklu perdenin tepesi ve tabanı ile güçlendirici kirişlerin bulunduğu yükseklikler ve perdenin kalınlık değişikliklerinin olduğu yükseklikler “uçlar” olarak adlandırılmakta ve iki ucun arasında kalan kısma da “bölge” denilmektedir. Her bölgeye uygun sayıda toplanmış kütle yerleştirilmekte, bölgenin tüm kütlelerinin bu sayıya bölünmesi ile bölgedeki kütlelerin büyüklüğü bulunmakta ve uçlardaki noktalara ise iki komşu bölgedeki kütlelerin yarılarının toplamı büyüklüğünde bir kütle konmaktadır. Bu işlemler tüm bölgeler için yapıp güçlendirici kirişlerden gelen katkılar da hesaplandıktan sonra yapının  $M$  kütle matrisi köşegen matris olarak bulunmaktadır. Bu matrisin boyutu, kütle sayısı  $N$  olmak üzere,  $N \times N$  olmaktadır.

Yapılan analizde her kütle için düşey ve dönel atalet etkileri gözardı edilerek yalnız yatay yerdeğiştirme doğrultusunda serbestlik derecesi gözönüne alınmaktadır. Bu kabul, yüksek modlarda küçük bir hata doğurmakla birlikte, kütle sayısının artırılmasıyla elde edilen sonucun hassasiyeti de artmaktadır. Bu çalışmada, kütlelerin düşey ve dönel atalet etkilerinden daha önemli olan temellerin elastikliği gözönüne alınmaktadır. Bunun için her duvar temeli yatay, düşey ve dönel yay ile modellenmektedir.

Esneklik matrisi her toplanmış kütlelerin bulunduğu yükseklikteki yatay yerdeğiştirme doğrultusunda birim kuvvet uygulayarak bulunmaktadır. Her birim yük uygulamasından elde edilen yatay yerdeğiştirmeler esneklik matrisinin bir kolonunu oluşturmaktadır. Böylece, bir genel birim yükleme için yapılan analiz tüm esneklik matrisini bulmak için yeterli olur.

Serbest titreşim analizinde, elde edilen kütle ve rijitlik matrislerinin standart frekans ve özdeğer denklemlerinde yerlerine konulması ile çok sıra boşluklu perdenin doğal frekansları ve bu frekanslara ait mod şekil vektörleri elde edilir. Zorlanmış titreşim analizinde ise, önce, mod-süperpozisyon yöntemi kullanılarak

sistemin girişimli olan denklem takımı girişimsiz şekle dönüştürülür ve daha sonra zamanla değişen yükler etkisindeki çok sıra boşluklu perdelerin her zaman artımına karşı gelen yerdeğiştirme değerleri Newmark yöntemi kullanılarak yapılır. Newmark yöntemi (Newmark integrasyon yöntemi) lineer ivme ve ortalama sabit ivme kabullerine dayanmaktadır. Yöntemin ilk adımında yapı sisteminin yerdeğiştirme, hız ve ivme vektörleri için başlangıç değerleri belirlenir. İkinci adımda, zaman artım değeri ve ilgili parametreler,  $\alpha$  ve  $\delta$ , belirlenir. Daha sonra da, bu parametreler yardımı ile integrasyon sabitleri bulunur ve sistemin efektif rijitlik matrisi oluşturulur. Bundan sonraki kısımda seçilen zaman artımının her tekrarı için aşağıdaki hesaplar yapılır. İlk olarak, efektif yük vektörü hesaplanır. Efektif rijitlik matrisi ve efektif yük vektörü belirlenen yapının yerdeğiştirmeleri ise sistem denklemleri ile bulunur. Son olarak, bir sonraki zaman adımındaki efektif yük vektörünün hesabı için kullanılacak olan hız ve ivme vektörleri belirlenir. Her zaman artımına karşı gelen girişimsiz yerdeğiştirme vektörleri kullanılarak sistemin gerçek yerdeğiştirme vektörleri bulunur.

Bu çalışmanın deprem analizinde ise spektral ivme eğrileri ve SRSS (Square Root of Sum of Squares) yöntemi kullanılarak çok sıra boşluklu perdenin istenilen düğüm noktasındaki maksimum yerdeğiştirmeleri hesaplanmaktadır.

## 4. YÜKSEK BİNALARDA ÇOK SIRA BOŞLUKLU PERDELER

### 4.1. Giriş

Artan nüfus karşısında insanlar birbirlerine yakın olmak ve varolan yerleşim sahalarını ekonomik şekilde değerlendirmek için çok katlı binalar yapmak istemişlerdir. Yüksek bina yapımı bütün ülkelerde neredeyse artık bir yarış halini almakta ve erişilen toplam kat sayısı da yıldan yıla artmaktadır (Çizelge 4.1).

Çizelge 4.1 Yeryüzündeki en yüksek binalardan örnekler

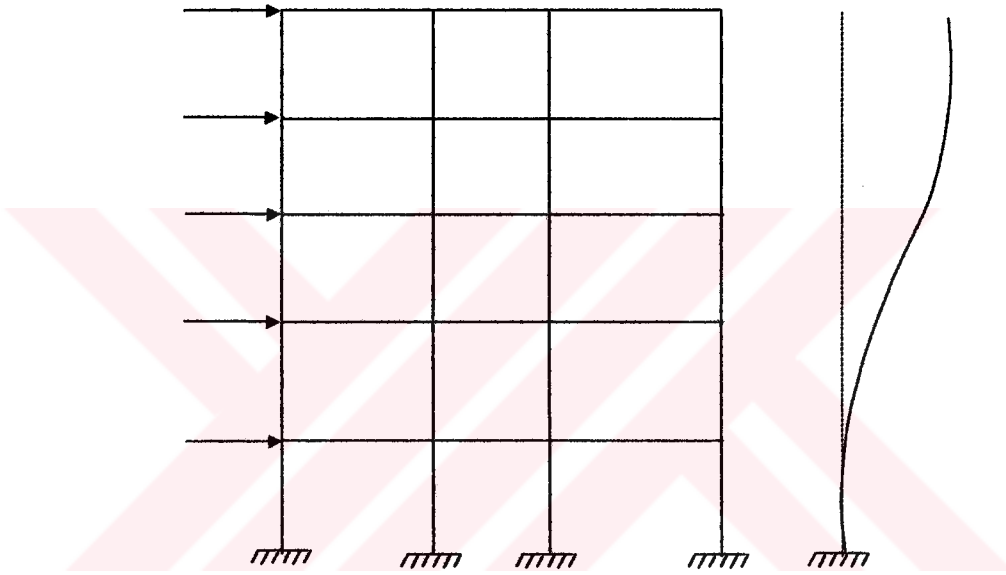
	<u>Yüksek Yapı</u>	<u>Yüksekliği (m)</u>	<u>Şehir</u>	<u>Bittiği Yıl</u>
1	Chrysler	319	New York	1930
2	Empire State	381	New York	1931
3	John Hancock	343	Chicago	1968
4	Amoco Corp.	346	Chicago	1973
5	Sears Tower	443	Chicago	1974
6	First Canadian Place	290	Toronto	1975
7	Bank of China	367	Chicago	1988
8	First Interstate World Center	310	Los Angeles	1990
9	Central Plaza	372	Hong Kong	1992
10	Burj Al Arab Hotel	321	Dubai	2000

Betonarme binalarda yükseklik arttıkça taşıyıcı sistemin boyutlandırılmasında rüzgar ve deprem gibi yatay yüklerin etkisinin düşey yüklere nazaran daha önemli olmaya başlaması, yatay etkilere karşı, rijitlikleri kolonlara göre daha fazla olan perdelerin kullanım alanlarını arttırmıştır.

## 4.2. Yüksek Binalarda Yatay Yük Taşıyıcı Elemanlar

### 4.2.1. Çerçeveseler

Çerçeveseler kolon ve kirişlerden oluşan düzlemsel taşıyıcı sistemlerdir (Şekil 4.1). Bu sistemlerde kolon ve kirişlerdeki kuvvetler “çubuk” teorisi ile hesaplanabilir.

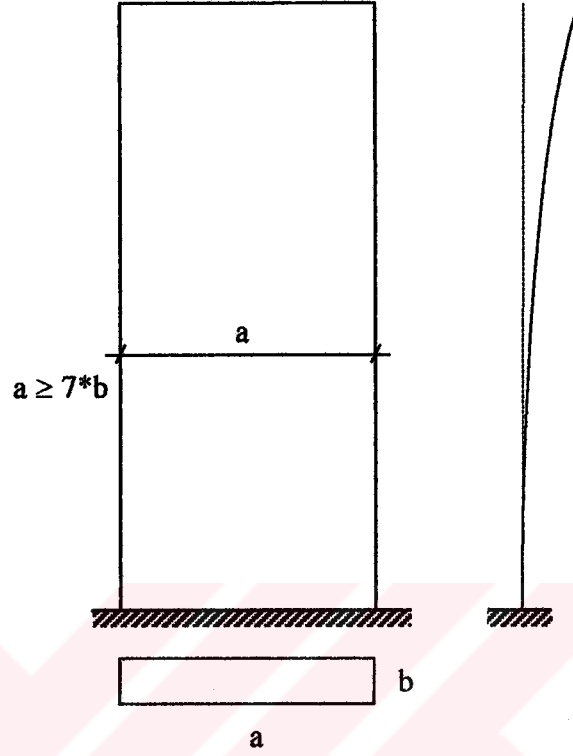


Şekil 4.1. Çerçeve ve elastik eğrisi

Yüksek yapılarda yatay etkilere karşı emniyeti yalnız çerçeveselerle temin etmek, kolon boyutlarını büyüteceğinden, gerek alt katlardaki hacim kaybı nedeniyle, gerekse maliyet bakımından uygun çözüm olmamaktadır.

### 4.2.2. Perdeler

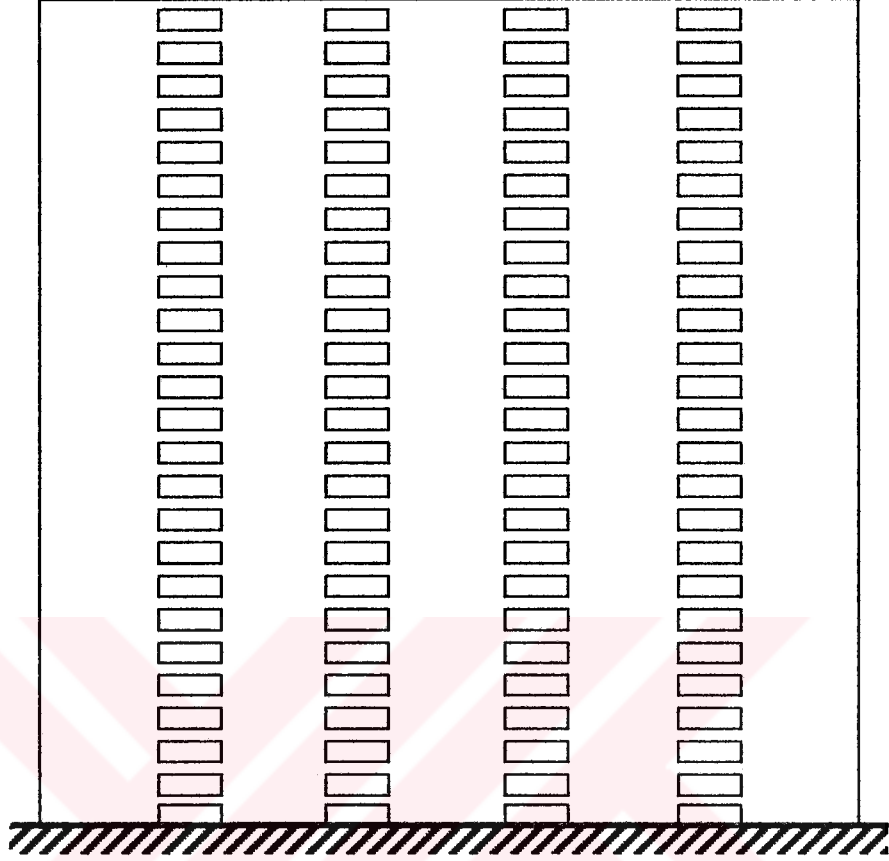
Perdeler yatay yüklere karşı etkili bir dayanım gösteren düşey eksenli konsollardır (Şekil 4.2). Betonarme perdelerin en kesiti genellikle dikdörtgendir. Kesitin uzun kenarı kısa kenarının en az 7 katıdır. Yüksek binalardaki perdeler, genellikle, yatay yüklere karşı tek başlarına karşı koyarlar.



Şekil 4.2. Perde, en kesiti ve elastik eğrisi

#### 4.2.3. Boşluklu Perdeler

Yüksek binalarda birbirinden bağımsız çalışan perdeler ve eğilme rijitliğine sahip elemanlar birbirlerine bağlanarak yapının yatay yönde rijitliği daha da artırılır. Bu şekilde oluşan boşluklu perdeler, pencere veya kapı üstü lento kirişleri ile birbirlerine bağlanmış olarak düşünülebilecekleri gibi dolu perdelerde konstrüktif nedenlerle yapılan boşluklar sonucu oluşmuş gibi de düşünülebilirler. Bu tür yapı elemanları “boşluklu perde” diye adlandırılır. İnşaat mühendislerinin yüksek binalarda pek sık tercih ettikleri perdelerden üç veya daha fazlasının bağlantı kirişleriyle birleştirilmesi durumunda birden fazla sayıda sıra boşluklu perdeler ortaya çıkabilmektedir. Bu tür taşıyıcı elemanlar “çok sıra boşluklu perdeler” olarak adlandırılırlar (Şekil 4.3).



Şekil 4.3. Çok sıra boşluklu perde

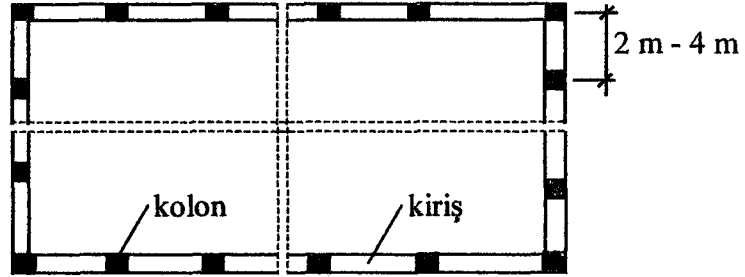
#### 4.2.4. Perde-Çerçeve Taşıyıcı Elemanlar

Perde-Çerçeve sistemleri perde ile çerçeve elemanların bağ kirişleri ile birleşmesi sonucunda elde edilen taşıyıcı elemanlardır.

#### 4.2.5. Tüp Çerçeveler

Bunlar yapının dört cephesinde sık kolonlar ve kirişlerden meydana gelmiş dikdörtgen kesitli kutular şeklindedir. Kolon aralıkları 2 m ile 4 m arasında değişmektedir (Şekil 4.4).

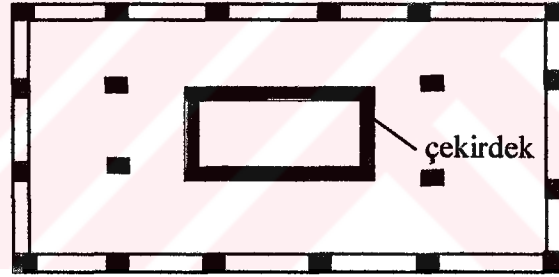




Şekil 4.4. Yüksek yapılarda tüp çerçeveler

#### 4.2.6. Çekirdekler

Bunlar genel olarak binadaki asansör veya merdiven boşluklarının etrafı çevrilerek elde edilen ince kesitli düşey eksenli elemanlardır. (Şekil 4.5).



Şekil 4.5. Yüksek yapılarda çekirdekler

#### 4.3. Yatay Yükler Etkisi Altındaki Çok Sıra Boşluklu Perdelerin Davranışı

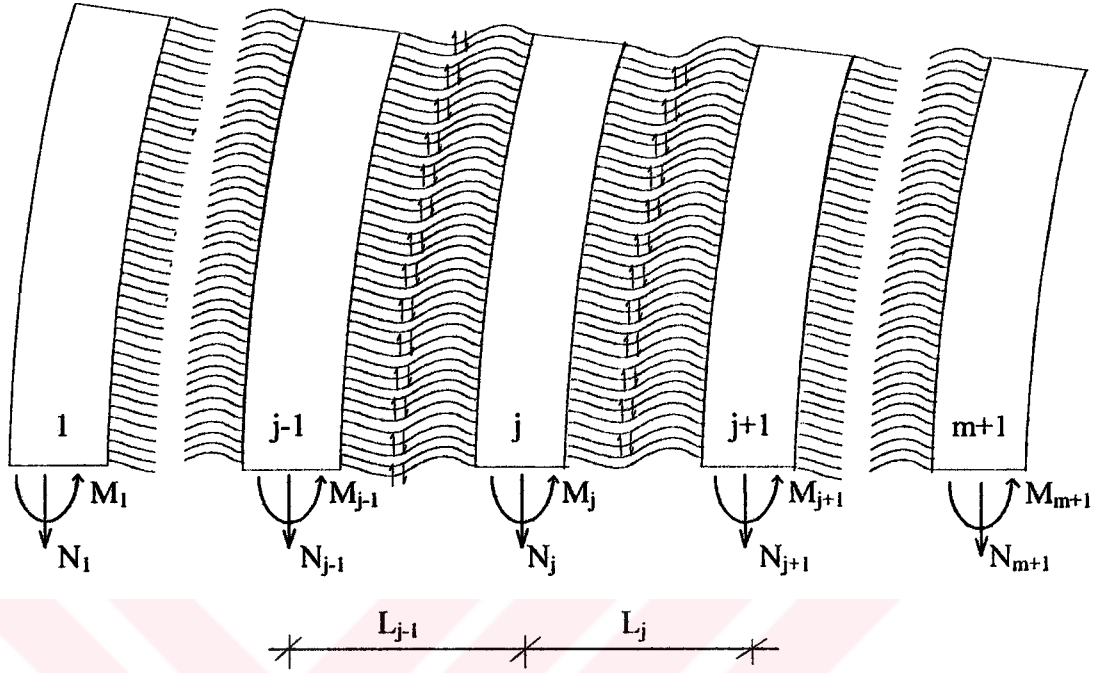
Deprem bölgelerinde kolonlar, taşıdıkları düşey yüklerle ek olarak yatay yönde de deprem etkisinde kalmaktadır. Bu durumda yatay etkilere karşı, rijitlikleri kolonlara göre daha fazla olan perde elemanlar tercih edilmektedir. Yatay kuvvetleri, perdeli elemanlar yardımı ile temele aktarmak, diğer düşey taşıyıcıların daha az kesme kuvveti almasına yardımcı olmakta, dolayısı ile yapının alt katlarında kolon ve kiriş kesitlerinin aşırı büyümesini önlemektedir. Perdeli sistemlerde kiriş ve bilhassa kolonlara gelen momentler azaldığından bu elemanlarda önemli ölçüde donatı tasarrufu sağlanmaktadır.

#### 4. YÜKSEK BİNALARDA ÇOK SIRA BOŞLUKLU PERDELER Murat BİKÇE

Yüksek binalardaki perdeler, genellikle, yatay yüklerin büyük kısmına karşı koyarlar. Bu tür yapılardaki birbirinden bağımsız çalışan perdelerin eğilme rijitliğine sahip elemanlar ile birbirlerine bağlanması ile yapının yatay yönde rijitliği daha da arttırılır. Örneğin kapı, pencere veya koridor geçişleri için bırakılan boşluklardan dolayı çok sayıda perde olarak düşünülen deprem perdeleri pencere veya kapı üstü lento kirişleri ile birbirlerine bağlanmış gibi düşünülebilirler. Lento veya döşeme elemanları perdelerle rijit bağlandıklarında bu elemanlar bağlantı kirişi görevini üstlenirler.

Boşluklu perdede yatay kuvvetlerin perde üzerindeki etkisi bağlantı kirişlerinin aksenal rijitliğine bağlıdır. Bağlantı kirişlerinin aksenal rijitlikleri çok küçük olduğu zaman, yüklemeye sonra kirişler perdeler arasında kuvvet aktarılmasını sağlayamadığından bütün yük yanal kuvvetin etki ettiği ilk perde tarafından taşınacaktır. Bağlantı kirişleri sonsuz rijit olduğu zaman ise, perdeler yüklemeye eğilme rijitlikleri oranında karşı koyacaklardır ve herhangi bir yükseklikte perdelerin yatay yerdeğiştirmeleri, dönmeleri ve eğrilikleri eşit olacağı gibi perdelerin momentleri de atalet momentleriyle orantılı olacaktır. Gerçekte sonsuz rijit kiriş olamayacağı halde çeşitli analiz yöntemlerinde işlem kolaylığı da sağladığı için kirişler aksenal yönde sonsuz rijit kabul edilirler. Rijit diyafram kabulü diye de adlandırılan bu kabul, döşemelerin sağladığı rijitlikten dolayı gerçeğe çok yakın sonuçlar vermektedir. Bu tezde, ayrıca, katlardaki boşluklar arasındaki bağlantı kirişlerinin özelliklerinin ve aralarındaki uzaklıkların tüm bina boyunca (veya bölge bölge) sabit olduğu kabul edilecektir. Ayrıca, kirişler perdelerle rijit bağlanırsa tüm perdeler çok sıra boşluklu bir perde gibi davranıp dış kuvvetlere birlikte karşı koyarlar.

Bu çalışmada, çok sıra boşluklu perdeyi oluşturan komşu iki boşluk sırası arasındaki her bir düşey aksenal betonarme taşıyıcı, “duvar” olarak adlandırılmıştır. Perdeler yatay yükler etkisi ile yatay yerdeğiştirme yaptıklarından duvarlar arasında bulunan bağlantı kirişleri dönmeye ve düşey yerdeğiştirmeye zorlanırlar. Buna bağlı olarak kirişler çift eğrilikli olur ve duvarların serbestçe eğilmesine karşı koyarlar (Şekil 4.6).



Şekil 4.6. Çok sıra boşluklu perdenin yatay yükler etkisi altındaki davranışı

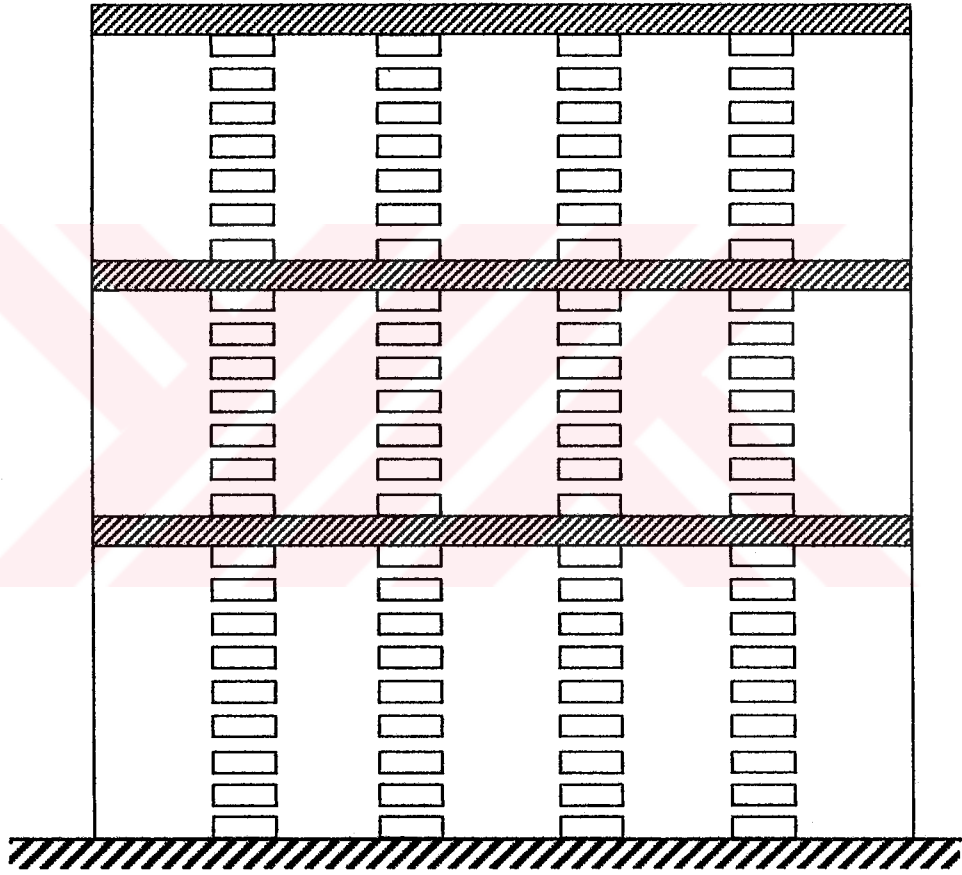
Duvarlardaki eğilme etkisi ile bağlantı kirişlerinde kesme kuvvetleri oluşur. Bu kesme kuvvetleri ise perdelerde aksel kuvvetlerin ortaya çıkmasına neden olur. Örneğin Şekil 4.6'da görülen güçlendiricisiz çok sıra boşluklu perde için dış kuvvetlerden dolayı perde sistemine etki eden  $M_e$  momenti duvarlardaki  $M_j$  reaksiyon momentleri ve  $N_j$  aksel kuvvetleri ile karşılanır.

#### 4.4. Güçlendirilmiş Boşluklu Perde

Perdelerde bırakılan boşluklar gözönüne alınarak yapılan çalışmalar sonunda perdelerin, dolayısı ile binaların, projelendirilmesinin ekonomik şekilde yapılabilmesi için, bina yüksekliklerinin 30-40 kat ile sınırlı kalması gerektiği ortaya çıkmıştır. Daha yüksek binalarda genel tasarım kurallarına (tepe noktasının yatay yerdeğiştirmesinin toplam bina yüksekliğine oranı  $\approx 1/500$  v.b.) uymak amacıyla perdelerin güçlendirilmesi gerekmektedir. Bu tür yapı elemanlarına ise "güçlendirilmiş boşluklu perde" denilmektedir.

#### 4. YÜKSEK BİNALARDA ÇOK SIRA BOŞLUKLU PERDELER Murat BİKÇE

Boşluklu perdelerin güçlendirilmesi ile yatay yerdeğiştirmelerde azalmalar görüleceğinden perde yüksekliğinde artış sağlanabilir. Bu nedenle binada depo, servis veya başka bir amaç ile boş bırakılan kata yüksek bir kiriş yapmak en uygun çözüm olarak görünmektedir. Yapılacak olan bu kiriş, çelik kafes sistem veya rijitliğı yüksek bir betonarme kiriş olabilir. Yapısal davranışta iyileşmeyi sağlayacak olan bu yüksek kirişlerin sayısı ve yerleri proje mühendisine bağlıdır (Şekil 4.7).



Şekil 4.7. Güçlendirilmiş çok sıra boşluklu perde

Güçlendirilmiş boşluklu perde problemi çeşitli modelleme yöntemlerinin yanı sıra 1960'lı yıllardan itibaren SBY ile de ele alınmış, perdenin tepesinde (Coull, 1974), tepesinde ve tabanında (Choo ve Coull, 1984) güçlendirici kirişler olmak üzere tek bölge problemler için analitik çözümler verilmiştir. Güçlendirici kirişin bina yüksekliği içinde herhangi bir yükseklikte alınması ile bölge sayısı ikiye çıkmış

#### 4. YÜKSEK BİNALARDA ÇOK SIRA BOŞLUKLU PERDELER Murat BİKÇE

ve güçlendirici kiriş yüksekliğinin değiştirilebildiği çözümler yapılmıştır (Chan ve Kuang, 1988). Coull ve Bensmail (1988), ilk olarak, güçlendirici kiriş sayısını ikiye çıkarmışlar ve üç bölge problem için analitik çözüm vermişlerdir. Gerek formülasyondaki uzunluk gerekse bölge sayısındaki kısıtlamadan dolayı sorun, daha sonra, tekrar ele alınmış (Aksoğan ve Ark., 1993), cebrik işlem yapabilen MATHEMATICA programı ile çok bölge boşluklu perdeler için çözüm yapan bir bilgisayar programı hazırlanmıştır. Anlatılan bu çalışmalarda perdeler statik yük etkisinde çözülmüştür. Literatürde güçlendirilmiş perdeler üzerine yapılan tüm bu statik analiz çalışmaları tek sıra boşluklu perdeler içindir. SBY kullanılarak yapılan boşluklu perde analizinde boşluk sıra sayısının artmasıyla birlikte bilinmeyen sayısı da artmakta ve formülasyondaki uzunluk dolayısı ile kapalı çözümler vermek zorlaşmaktadır. Bu yüzden bilinmeyen sayısını düşük tutmak amacı ile SBY kullanılarak bugüne kadar yapılmış olan statik analizlerde rijit temele oturan, güçlendiricisiz, iki sıra ve simetrik üç sıra boşluklu perdeler üzerine çıkılmamıştır (Coull ve Subedi, 1972). Literatürde güçlendirilmiş çok sıra boşluklu perdelerin statik analizi üzerine yapılan çalışmaya rastlanmamıştır. Boşluklu perdelerin dinamik analizi üzerine fazla çalışma yapılmamış, yalnız Coull ve Mukherjee (1973), güçlendiricisiz tek sıra boşluklu perdelerin, Li ve Choo (1996) ise tepesinde, tabanında ve ortasında birer adet güçlendirici kiriş bulunan tek sıra boşluklu perdelerin serbest titreşim analizini yapmışlardır. Aksoğan ve ark. (1999), sonlu sayıda güçlendirici kirişi olan ve bölgeler arasında kesit değişikliği olan tek sıra boşluklu perdelerin serbest titreşim analizini yapmışlardır.

Bu tezde, elastik temele oturan, sonlu sayıda güçlendirici kirişi olan ve bağlantı kirişi-duvar bağlantı esnekliğini dikkate alan çok sıra boşluklu perdelerin hem statik hem de dinamik analizleri yapılmıştır. Bu çalışmada, her katta ardarda sıralanan bağlantı kirişi yükseklikleri de değiştirilebilmektedir. Bu çalışmanın dinamik kısmında, önce, serbest titreşim analizi yapılmış, daha sonra da, zamanla değişen yükler etkisindeki çok sıra boşluklu perdelerin zorlanmış titreşim ve deprem analizleri yapılmıştır.

## 5. STATİK YÜK ETKİSİNDEKİ ÇOK SIRA BOŞLUKLU PERDELERİN ANALİZ YÖNTEMLERİ

### 5.1. Giriş

1960'lı yıllardan itibaren boşluklu perdelerin analizi konusunda çalışmalar yapılmıştır. Çok sıra boşluklu perde analiz yöntemlerinden en basiti kiriş teorisi olarak adlandırılan yöntemdir ki, bu yöntemde perde zemine ankastre bağlı konsol kiriş gibi düşünülerek modellenir. Yıllar önce yaygın olarak kullanılan bu yöntemde perdelerin atalet momenti, bina yüksekliği boyunca boşluk bulunan ve bulunmayan yerler için ayrı ayrı hesap yapılırdı. Ancak daha sonraki çalışmalarda çok katlı çerçeve çözümlerinin kiriş teorisine göre daha gerçekçi sonuçlar verdiği anlaşılmış ve araştırmacılar tarafından eşdeğer çerçeve yöntemi geliştirilmiştir.

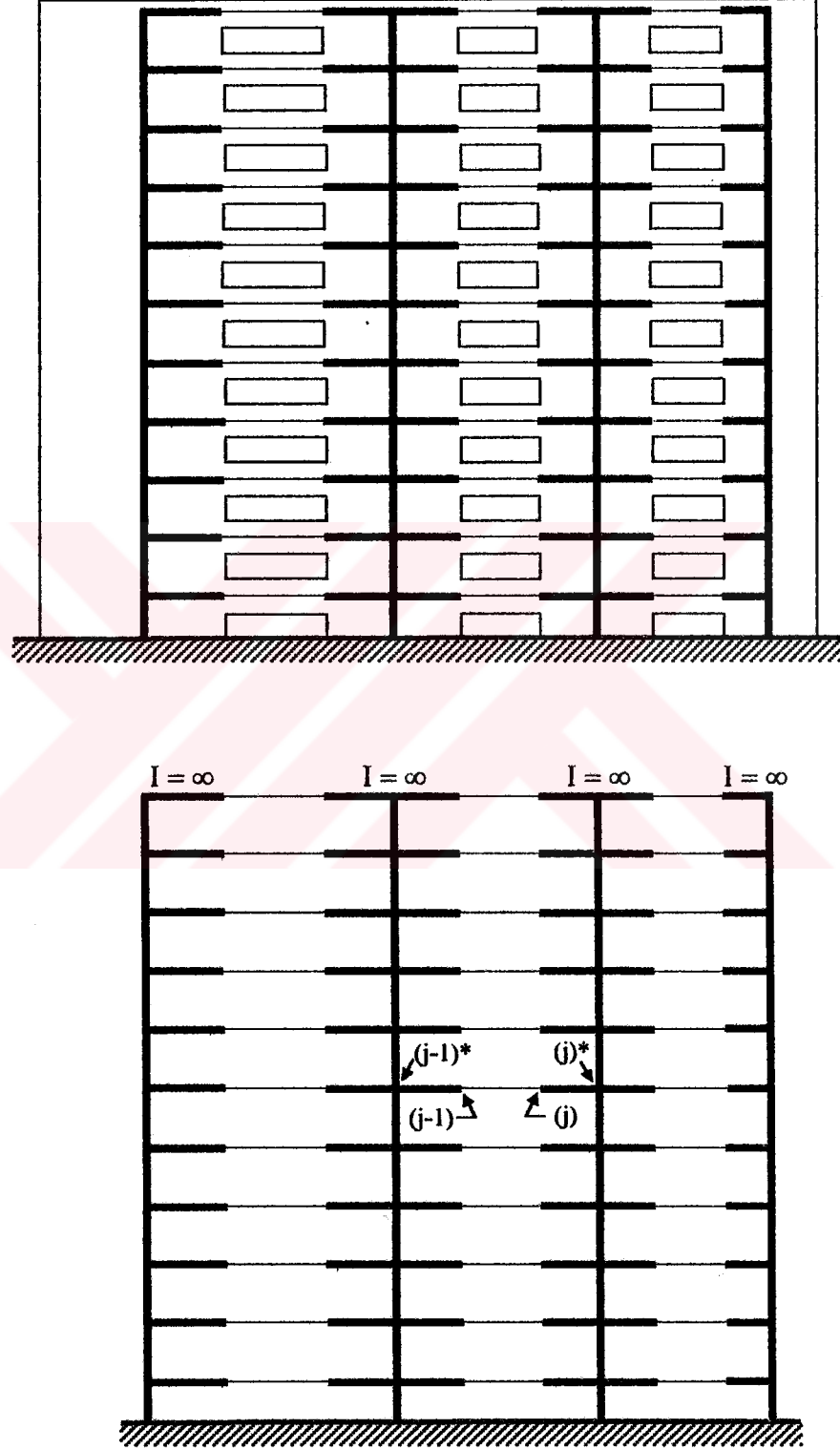
### 5.2. Eşdeğer Çerçeve Yöntemi

Çok sıra boşluklu perdelerin kişisel bilgisayarlarda analizi için iyi bir yöntem çerçeve benzetimidir (Şekil 5.1). Perdeler üzerinde yapılan ilk araştırmalarda kullanılan bu yöntem günümüzde de güncelliğini yitirmemiş olup basit problemlerin çözümünde tercih edilen yöntem olmaya devam etmektedir. Bu yöntemde hem çözüm zamanı kısa olmakta, hem de yapı içindeki diğer taşıyıcı sistem olan çerçeveler ile etkileşim dikkate alınabilmektedir. Perde ve bağ kirişleri eksenlerinin kesişme noktaları düğüm olarak düşünülüp, perde-bağ kirişi yerine kolon-kiriş sistemi çözülmektedir. Bağ kirişleri ile perde birleşim yerlerindeki gerilme yığılmalarının dikkate alınamaması bu yöntemin önemli bir eksikliğidir.

Yöntemin anafikri duvarların katlar arasında kalan parçalarını ve duvarları bağlayan kirişleri çubuk eleman olarak modellemektir. Duvar eksenlerinin dönmesinden dolayı bağ kirişlerinin uçlarında dönmeye ek olarak düşey yerdeğiştirmeler de oluşur. Bu yerdeğiştirmeler eşdeğer çerçeve yönteminde bağlantı kirişinin duvarlara saplandığı yerler ile duvar eksenleri arasında kalan uzunlukların sonsuz rijit olarak hesaba alınması ile göz önüne alınır (Şekil 5.2).

5. STATİK YÜK ETKİSİNDEKİ ÇOK SIRA BOŞLUKLU PERDELERİN ANALİZ YÖNTEMLERİ

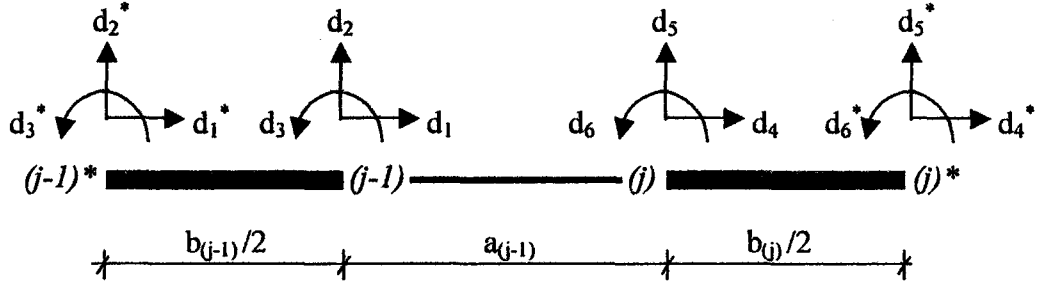
Murat BİKÇE



Şekil 5.1. Çok sıra boşluklu perdenin eşdeğer çerçeve yöntemi ile modellenmesi



5. STATİK YÜK ETKİSİNDEKİ ÇOK SIRA BOŞLUKLU PERDELERİN ANALİZ YÖNTEMLERİ Murat BİKÇE



Şekil 5.2. Uçlarında rijit bölgeler bulunan bir çubuk elemanın serbestlik dereceleri

Şekil 5.2’de görülen bağlantı kirişi uçlarındaki deplasmanlar duvar eksenleri cinsinden ifade edilerek bilinmeyen sayısı azaltılır. Burada;

- (j-1), (j) : Duvar-kiriş bağlantı noktaları,
- (j-1)\*, (j)\* : Duvar eksen noktaları,
- $d_1, d_2, d_3, d_4, d_5, d_6$  : Duvar-kiriş bağlantısındaki düğüm deplasmanları,
- $d_1^*, d_2^*, d_3^*, d_4^*, d_5^*, d_6^*$  : Perde eksenindeki düğüm deplasmanlarıdır.

Duvar-kiriş bağlantı noktalarının yerdeğiştirmeleri ile duvar eksen noktalarının yerdeğiştirmeleri arasındaki ilişki

$$\begin{bmatrix} d_1 \\ d_2 \\ d_3 \\ d_4 \\ d_5 \\ d_6 \end{bmatrix} = \underbrace{\begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & b_{(j-1)}/2 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & -b_{(j)}/2 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}}_{\underline{H}} \begin{bmatrix} d_1^* \\ d_2^* \\ d_3^* \\ d_4^* \\ d_5^* \\ d_6^* \end{bmatrix} \Rightarrow \underline{d} = \underline{H} \underline{d}^* \quad (5.1)$$

şeklinde bulunur. Düzlemde altı serbestlik derecesi olan ve uçlarında rijit bölgeler bulunan elastik bir çubuğun eleman rijitlik matrisi



## 5. STATİK YÜK ETKİSİNDEKİ ÇOK SIRA BOŞLUKLU PERDELERİN ANALİZ YÖNTEMLERİ

Murat BİKÇE

$$\underline{k} = \begin{bmatrix} EA/L & 0 & 0 & -EA/L & 0 & 0 \\ 0 & 12EI/L^3 & 6EI/L^2 & 0 & -12EI/L^3 & 6EI/L^2 \\ 0 & 6EI/L^2 & 4EI/L & 0 & -6EI/L^2 & 2EI/L \\ -EA/L & 0 & 0 & EA/L & 0 & 0 \\ 0 & -12EI/L^3 & -6EI/L^2 & 0 & 12EI/L^3 & -6EI/L^2 \\ 0 & 6EI/L^2 & 2EI/L & 0 & -6EI/L^2 & 4EI/L \end{bmatrix} \quad (5.2)$$

ile Şekil 5.2’de görülen elemanın rijitlik matrisi arasındaki ilişki

$$\underline{k}^* = \underline{H}^t \underline{k} \underline{H} \quad (5.3)$$

olarak verilir.

### 5.2.1. Bağlantı Kirişi-Duvar Bağlantı Esnekliğinin Eşdeğer Çerçeve Yöntemiyle Modellenmesi

Boşluklu perdelerde bağlantı kirişi-duvar bağlantısının gerçekte tam rijit davranmadığı bölüm 4.3’te belirtilmişti. Bu çalışmada, bağlantı kirişlerini uçlarında dönel yaylar bulunan kirişler olarak düşünüp, elastik bağlantı çok sıra boşluklu perdelerle modellenmiştir (Şekil 5.3).



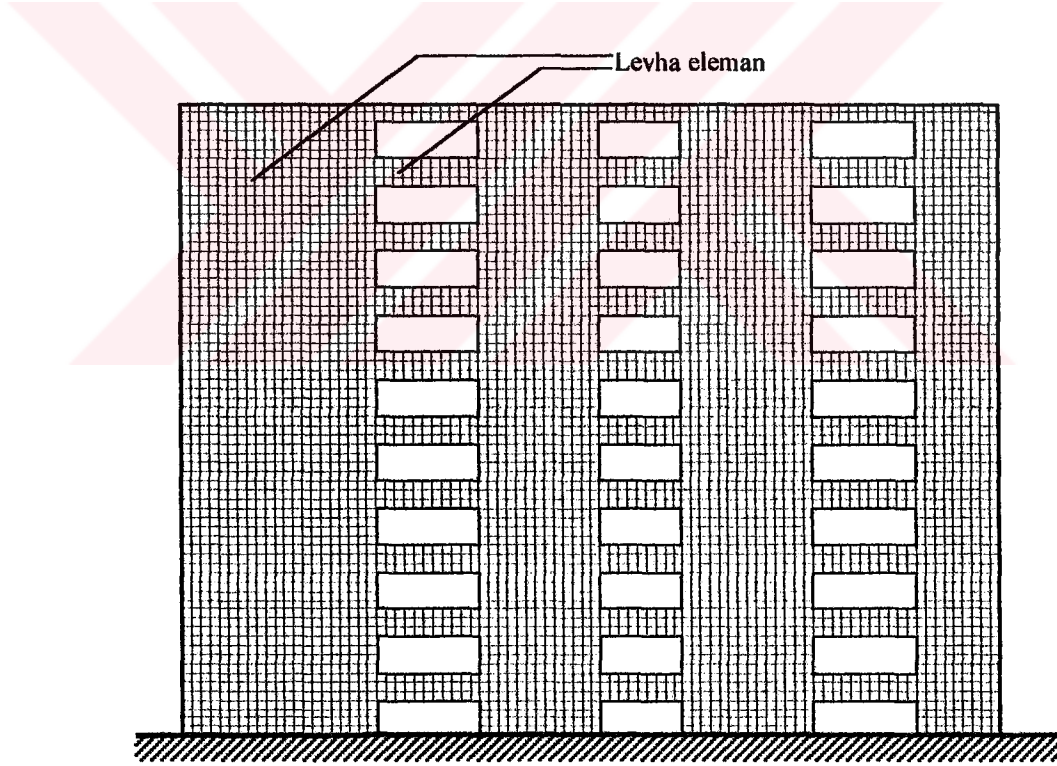
Şekil 5.3. Elastik bağlantılı kiriş modeli

Şekil 5.3’te görülen dönel yayın yay katsayısı bağlantı rijitliğini göstermektedir. Eşdeğer çerçeve yöntemi ile çözüm yapılırken bağlantı kirişi uçlarında boyu çok kısa (1 cm) çubuklar düşünülerek, bu çubukların atalet momentleri dönel yay rijitliğini verecek şekilde ayarlanacaktır.

### 5.3. Sonlu Elemanlar Yöntemi

Sonlu elemanlar yöntemi genel olarak tüm yapısal analiz problemleri için kullanılabilir. Bu yöntemin gerçekçi sonuçlar vermesi kullanılacak modelin yapısal davranışa uygun hazırlanması ve yöntemin genel kurallarına uyulması ile mümkündür.

Taşıyıcı sistem, birçok elemanın düğümlerde birleşmesi ile oluşmuş ağ şeklinde ele alınmaktadır. Elemanlar tanımlanırken duvarlar levha sonlu elemanı, bağlantı kirişleri ise boşlukların küçük veya büyük oluşuna göre levha veya kiriş sonlu elemanı ile modellenmektedir. Şekil 5.4'te küçük boşluklu perdenin duvar ve bağlantı kirişlerinin levha sonlu elemanlarıyla modellenmesi görülmektedir.

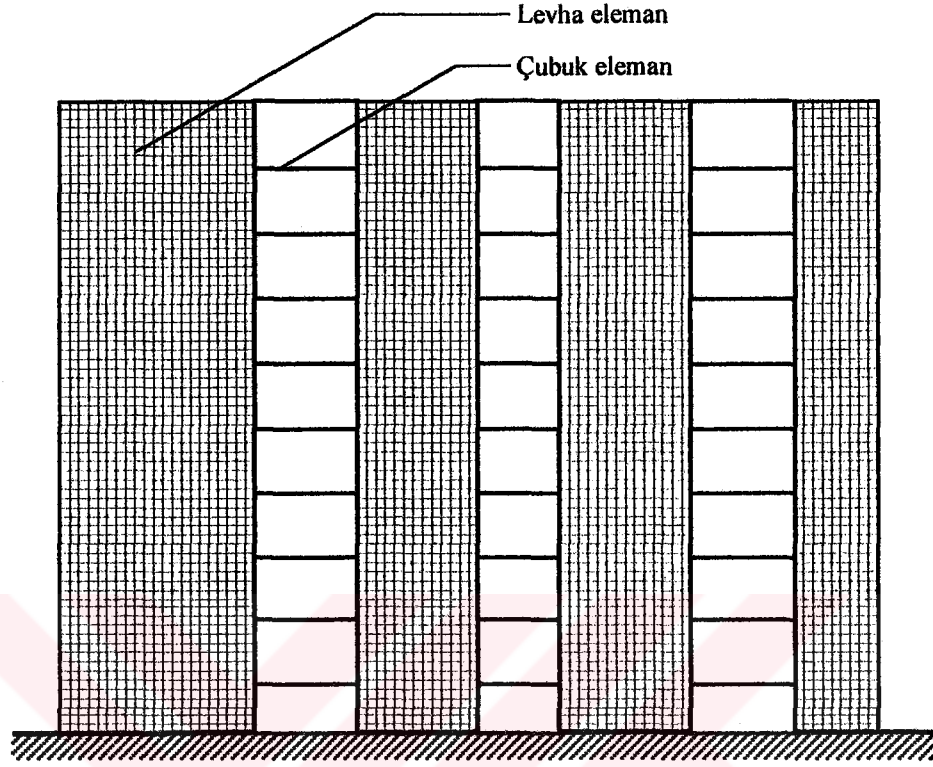


Şekil 5.4. Çok sıra boşluklu perdede duvarların ve bağlantı kirişlerinin levha sonlu elemanları ile modellenmesi

Büyük boşluklu perdelerde duvarları levha sonlu elemanı ile bağlantı kirişlerini ise ince olduğu için tek boyutlu çubuk eleman olarak modellemek daha uygun olmaktadır (Şekil 5.5).

## 5. STATİK YÜK ETKİSİNDEKİ ÇOK SIRA BOŞLUKLU PERDELERİN ANALİZ YÖNTEMLERİ

Murat BİKÇE



Şekil 5.5. Çok sıra boşluklu perdede duvarların levha ve bağlantı kirişlerinin çubuk elemanları ile modellenmesi

Sonlu elemanlar yönteminde sisteme etki eden dış yükler, eşdeğer düğüm yükleri olarak ele alınmakta, sistemin bilinmeyenleri ise bu yükler altında düğümlerin yapmış olduğu deplasmanlar olmaktadır. Sonlu eleman tipi olarak genelde iki boyutlu, dört düğümlü ve her düğümünde üç serbestlik derecesi olan düzlem gerilme elemanı kullanılmaktadır. Bu elemanlar yardımıyla yapı üzerinde ağ oluşturulur ve matris cebri ile tüm sistem için bir denklem takımı hesaplanır. Düğümlerdeki uygunluk ve sınır koşullarının tanımlanmasıyla bu denklem takımı çözülür ve istenilen büyüklükler hesaplanır.

Sonlu elemanlar yönteminde problemin çözümü için sırasıyla şu adımlar izlenir:

- 1) Seçilen referans elemanları ile yapı üzerinde ağ oluşturup yapıyı modellenir (Şekil 5.4-5),

## 5. STATİK YÜK ETKİSİNDEKİ ÇOK SIRA BOŞLUKLU PERDELERİN ANALİZ YÖNTEMLERİ Murat BİKÇE

- 2) Şekil değiştirme fonksiyonları seçilir,
- 3) Elemanın geometrik ve elastik özelliklerini kullanarak eleman rijitlik matrisi oluşturulur,
- 4) Tüm elemanlara ait eleman rijitlik matrislerini kullanarak sistem rijitlik matrisi oluşturulur,
- 5) Sınır koşullarını kullanarak sistem rijitlik matrisi üzerinde düzenlemeler yapılır,
- 6) Düğüm noktalarının yerdeğiştirmelerini bulmak için bulunan denge denklemleri çözülür,
- 7) Eleman rijitlik matrisleri kullanılarak gerekli büyüklükler bulunur.

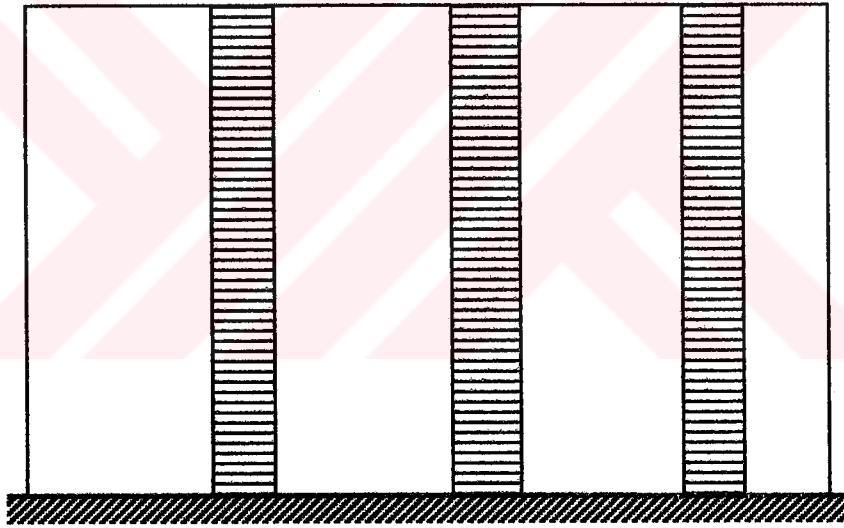
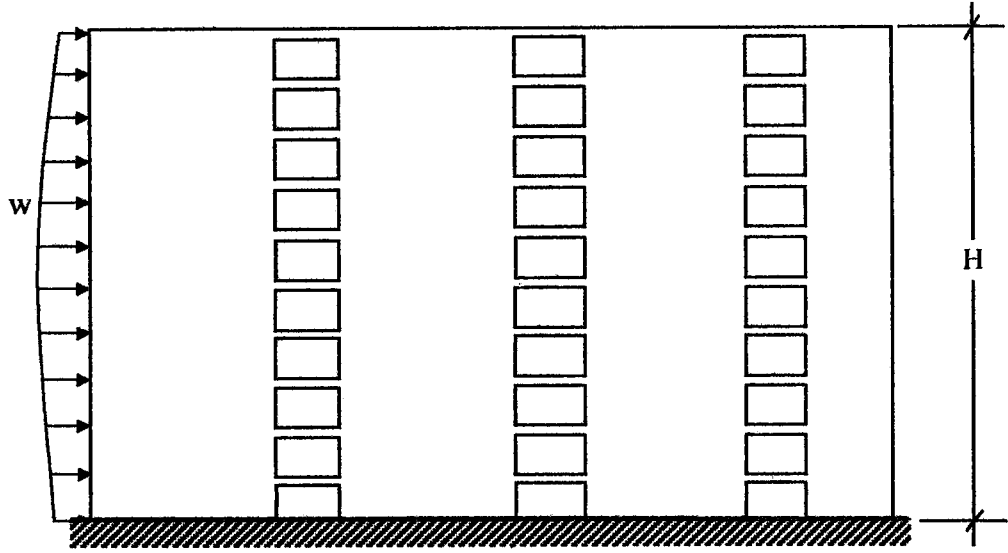
İki boyutlu sonlu elemanların kullanılması ile çok sıra boşluklu perdelerin daha gerçekçi analizleri yapılabilir. Çok sıra boşluklu betonarme perde duvarların sonlu elemanlar yöntemi ile elastik analizi yapılırken, perdeler ve bağlantı kirişleri için birbirleriyle uyumlu sonlu eleman tiplerinin seçilmesi ve seçilen sonlu elemanların yapının şekil değiştirmiş durumunu temsil edebilmesine dikkat edilmelidir.

### 5.4. Sürekli Bağlantı Yöntemi (SBY)

Rosman (1964) ile başlayan bu yöntemin gelişimi son otuz beş yıldan günümüze kadar çeşitli kurumlarda araştırmacılar tarafından sürdürülmüş ve bu konuda birçok makale yayınlanmıştır. Yöntemin anafikri, her kat yüksekliğinde duvarları birbirlerine bağlayan bağ kirişlerinde ve/veya döşemelerde bulunan kesme kuvvetlerini sürekli dağıtılmış reaksiyonlar olarak modellemektir.

Bu yöntemde, bağ kirişlerine komşu perde duvarlarının aynı dönmeyi yaptığı, dolayısıyla bağ kirişlerinin moment sıfır noktalarının açıklık ortasında oluşacağı kabul edilmektedir. Ayrıca, bağ kirişleri eşdeğer sürekli ortama dönüştürülerek temsil edilmektedir (Şekil 5.6). Böylece, bütün önemli büyüklükler yükseklığe bağlı olarak ifade edilebilir. Sonuç olarak, iki boyutlu bir sistem olan boşluklu perdelerin

5. STATİK YÜK ETKİSİNDEKİ ÇOK SIRA BOŞLUKLU PERDELERİN ANALİZ YÖNTEMLERİ Murat BİKÇE



Şekil 5.6. Çok sıra boşluklu perdenin SBY ile modellenmesi

çözümü SBY ile tek boyutlu şekle gelmektedir. SBY yöntemi kullanılarak tek sıra veya simetrik iki sıra boşluklu perdeler için problem lineer diferansiyel denklem takımı ile formüle edilip kapalı çözüm elde edilir. Ancak, SBY kullanılarak yapılan boşluklu perde analizinde boşluk sıra sayısının artmasıyla birlikte bilinmeyen sayısı da artmakta ve formülasyondaki uzunluk dolayısı ile kapalı çözümler vermek zorlaşmaktadır.

## 5. STATİK YÜK ETKİSİNDEKİ ÇOK SIRA BOŞLUKLU PERDELERİN ANALİZ YÖNTEMLERİ Murat BİKÇE

Bu çalışmada, çok sıra boşluklu perdelerin analizi SBY kullanılarak yapılmıştır. Bağlantı kirişleri herhangi bir yatay yük altında eksenleri doğrultusunda sonsuz rijitmiş gibi ele alındığından tüm duvarlar aynı yanal yerdeğiştirmeyi yaparlar ve buna bağlı olarak aynı eğime sahip oldukları kabul edilebilir. Bu çalışmada, SBY'nin temel diferansiyel denklemleri, her sıra boşluk için bağlantı kirişlerinin moment sıfır noktaları olan orta noktalarında düşey yerdeğiştirme için yazılan uygunluk denklemlerinden oluşur. Her bölgede boşluk sayısı kadar denklemden oluşan ikinci dereceden, lineer, girişimli diferansiyel denklem takımı, değişken dönüşümü ile özdeğer problemi şekline dönüştürülür ve daha sonra da katsayılar matrisi köşegen ve denklem takımı girişimsiz şekle sokularak çözülür. Bu analizde tabandaki sınır koşulları yazılırken elastik mesnet durumu için temelin düşey, yatay ve dönel rijitlikleri de gözönüne alınır.

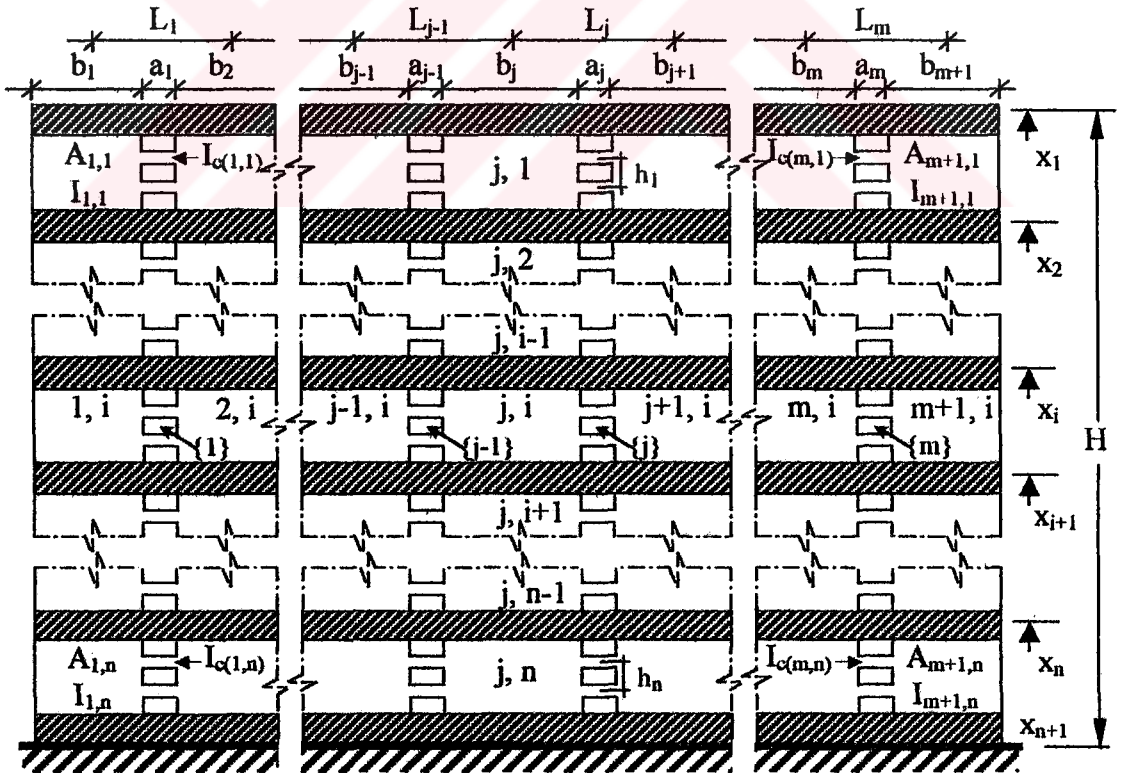
Bazı durumlarda perde düzensiz boşluklara veya karmaşık temel sistemine sahip olabilir. Bu nedenle yapıyı sürekli reaksiyonlarla modellemek olanaksızlaşır. Bu gibi durumlarda eşdeğer çerçeve yöntemini veya sonlu elemanlar yöntemini kullanmak sağlıklı olacaktır. Unutmamak gerekir ki, sonlu elemanlar yönteminde karmaşık problemler kolayca modellenenilmekte ise de bu tür problemlerin çözümünde diğer yöntemler sonlu elemanlar yönteminden daha ekonomiktir.



## 6. ÇOK SIRA BOŞLUKLU DEPREM PERDELERİNİN SÜREKLİ BAĞLANTI YÖNTEMİ İLE STATİK ANALİZİ

### 6.1. Giriş

Yüksek binalarda, rüzgar ve depremden meydana gelen yatay kuvvetler genellikle perdeler tarafından karşılanır. İçi dolu bir perde konsol kiriş gibi çalıştığından hesabı kolaydır. Ancak, içlerinde kapı, pencere ve koridor geçişleri için bırakılan boşluklarla zayıflayan deprem perdeleri yüksek dereceden hiperstatik olduklarından hesapları da güçleşmektedir. Yatay yüklere karşı etkili bir dayanım gösteren deprem perdelerinin çok katlı yapılarda yaygın bir şekilde tercih edilmesi ile birlikte, mimari nedenlerle bırakılan boşluk sıra sayısında da artış olmuştur (Şekil 6.1).



Şekil 6.1. Güçlendirici kirişleri olan çok sıra boşluklu perde

## 6. ÇOK SIRA BOŞLUKLU DEPREM PERDELERİNİN SÜREKLİ BAĞLANTI YÖNTEMİ İLE STATİK ANALİZİ

Murat BİKÇE

Yatay yükler etkisindeki boşluklu perdelerin analizi için çok yaygın bir şekilde kullanılan yöntemlerden birisi SBY'dir. SBY kullanılarak yapılan boşluklu perde analizinde boşluk sıra sayısının artmasıyla birlikte bilinmeyen sayısı da artmakta ve formülasyondaki uzunluk dolayısı ile kapalı çözümler vermek zorlaşmaktadır. Bu yüzden bilinmeyen sayısını düşük tutmak amacı ile SBY kullanılarak bugüne kadar yapılmış olan araştırmalarda rijit temele oturan, güçlendiricisiz, simetrik olmayan iki sıra ve simetrik üç sıra boşluklu perdeler üzerine çıkılmamıştır (Coull ve Subedi, 1972). Halbuki, perdeler katlarda bulunan kapı, pencere ve koridor geçişleri için bırakılan boşluklar nedeniyle simetrik olmayan ve ikiden fazla sayıda sıra boşluklu olarak ortaya çıkabilmektedir. Koo ve Cheung (1984), temel bilinmeyen olarak aldıkları perdedeki aksenal kuvveti, çeşitli koordinat fonksiyonları cinsinden ifade ederek, yaptıkları statik çalışmanın sonunda verdikleri örnekte büyük hata oranları ile karşılaşmışlardır. Coull, Puri ve Tottenham (1972), matris ilerleme yöntemi ile yükseklik boyunca sonlu sayıda süreksizliği içeren ve rijit temele oturan çok sıra boşluklu perdelerin nümerik analizini yapmışlardır. Soane (1967), analog bilgisayar kullanarak çok sıra boşluklu perdelerin yanal rijitliği üzerine genel bir program yapmıştır. Elkholy ve Robinson (1973), sonlu farklar yöntemi kullanarak çok sıra boşluklu perdeler üzerine yaptıkları statik çalışmada bazı analitik hatalar yapmışlardır.

Eğer bina çok yüksekse binanın duvar kalınlığını yüksekliği boyunca kademe kademe azaltmak ekonomik olur (Coull ve Puri, 1967).

Bağlantı kirişlerinin tepenin yanal yerdeğiştirmesini ve tabanın eğilme momentini azaltma görevlerini, yüksekliklerinin kısıtlanması nedeniyle, yeterince sağlayamadıkları binalarda belirli yüksekliklere güçlendirici kirişler diye adlandırılan yüksek bağlantı kirişleri yerleştirilir. Coull (1974) tek sıra boşluklu, tepesinde güçlendirici kiriş bulunan, elastik temel üzerine oturan ve simetrik olmayan tek sıra boşluklu perde problemi için kapalı çözümler elde etmiştir. Chan ve Kuang (1988-1989) elastik temele oturan ve üzerinde herhangi bir yükseklikte tek güçlendirici kiriş bulunan tek sıra boşluklu perdeleri SBY ile incelemişlerdir. Coull ve Bensmail (1991), SBY ile elastik temel üzerine oturan ve iki güçlendirici kirişi olan perdeleri incelemişlerdir. Güçlendirici kiriş sayısı ve yeri üzerine tek sıra boşluklu perdeler



## 6. ÇOK SIRA BOŞLUKLU DEPREM PERDELERİNİN SÜREKLİ BAĞLANTI YÖNTEMİ İLE STATİK ANALİZİ

Murat BİKÇE

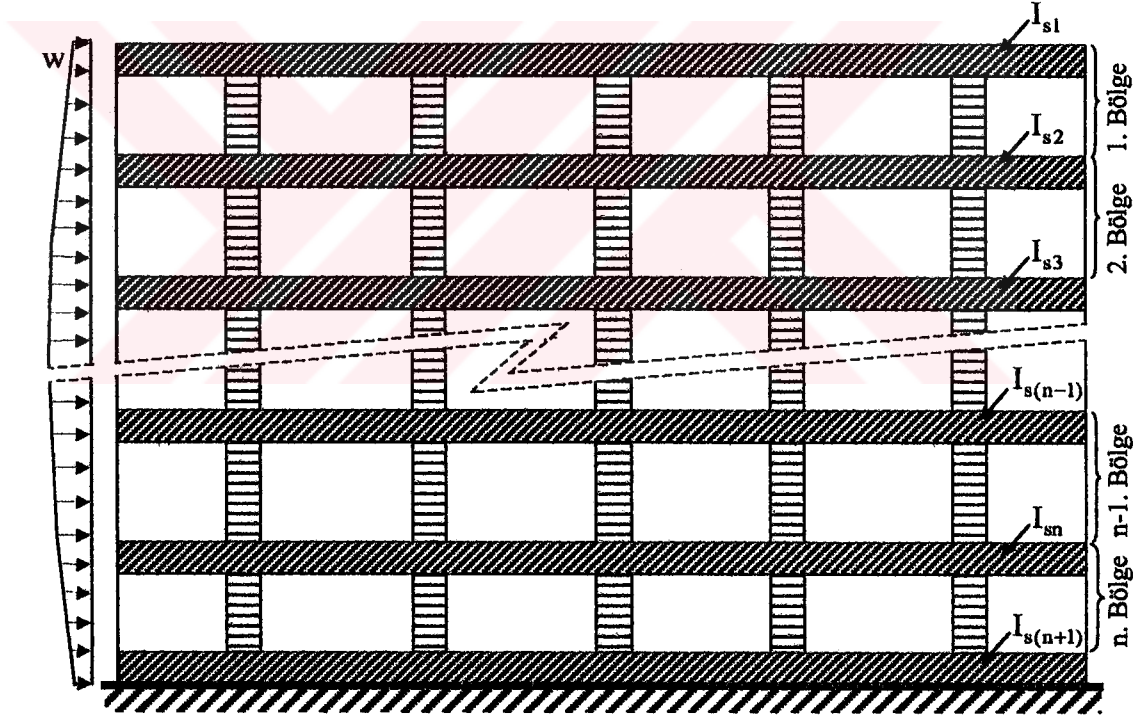
için yapılan araştırmalar hız kazanarak güçlendirici kirişin istenilen sayıda ve yerde konulmaları üzerine statik analizler yapılmıştır (Aksoğan, Türker ve Oskouei, 1993). Literatürde SBY kullanılarak çok sıra boşluklu perdelerin statik analizi konusunda bir çalışmaya rastlanmamıştır.

Bu çalışmada, elastik temele oturan, sonlu sayıda güçlendirici kirişi olan ve bağlantı kirişi-duvar bağlantı esnekliğini dikkate alan çok sıra boşluklu perdelerin SBY kullanılarak statik analizi yapılmıştır. Duvar ve boşluk genişlikleri tüm bina boyunca sabit tutulmasına rağmen, kalınlık ve kat yüksekliği değişimi bölgeden bölgeye yapılabilmekte, bir duvar ve bağlantı kirişinin geometrik ve fiziksel özellikleri diğer duvar ve bağlantı kirişlerinde değiştirilebilmektedir. SBY’de bağlantı kirişleri her boşluk sırası için bina boyunca eşdeğer rijitlikte tabakalar şeklinde bir ortama dönüştürülerek incelenmektedir. Bu değişiklik yapının özelliklerinin yüksekliğin fonksiyonları olarak verilmesini sağlar. Bağlantı kirişleri herhangi bir yatay yük altında eksenleri doğrultusunda sonsuz rijit kabul edildiğinden tüm duvarlar aynı yanal yerdeğiştirmeyi yaparlar ve buna bağlı olarak aynı eğime sahip oldukları kabul edilebilir. Bu yöntemin temel diferansiyel denklemleri, her sıra boşluk için bağlantı kirişlerinin moment sıfır noktaları olan orta noktalarında düşey yerdeğiştirme için yazılan uygunluk denklemlerinden oluşur. Her bölgede boşluk sayısı kadar denklemden oluşan ikinci dereceden, lineer, girişimli diferansiyel denklem takımı, değişken dönüşümü yapılarak özdeğer problemi şekline dönüştürülür ve daha sonra katsayılar matrisinin köşegen şekle getirilmesiyle girişimsiz duruma dönüşen denklemler çözülür (Meirovitch,1980). Bu analizde taban sınır koşulları yazılırken elastik mesnet durumu için temelin düşey, yatay ve dönel rijitlikleri de gözönüne alınır. Bu yöntemin doğruluğunu kontrol etmek amacı ile MATHEMATICA bilgisayar programlama dilinde bir bilgisayar programı yazılarak literatürdeki çeşitli örnekler çözülmüş ve elde edilen sonuçlar SAP2000 yapı analizi programından elde edilen sonuçlarla karşılaştırılarak, sonuçların oldukça uyumlu olduğu gözlenmiştir.

## 6.2. Sürekli Bağlantı Yönteminde Yapılan Kabuller

Çok sıra boşluklu perdelerin analizinde yapılan kabuller şunlardır:

1. Herhangi iki duvarı birbirine bağlayan bağlantı kirişlerinin ve her bir duvarın özelliği bölge yüksekliği boyunca sabittir.
2. Eğilme rijitliği  $EI_{c,j,i}$  olan ayırık bağlantı kirişlerinin yerine eğilme rijitliği birim yükseklik için  $EI_{c,j,i} / h_i$  olan eşdeğer sürekli bağlantı ortamı oluşturulur (Şekil 6.1-2). Burada önemli bir nokta en üstteki bağlantı kirişlerinin atalet momentlerinin birinci bölgedeki bağlantı kirişlerinin atalet momentlerinin yarısına eşit olduğu varsayımdır.



Şekil 6.2. Güçlendirilmiş çok sıra boşluklu perdenin SBY ile modellenmesi

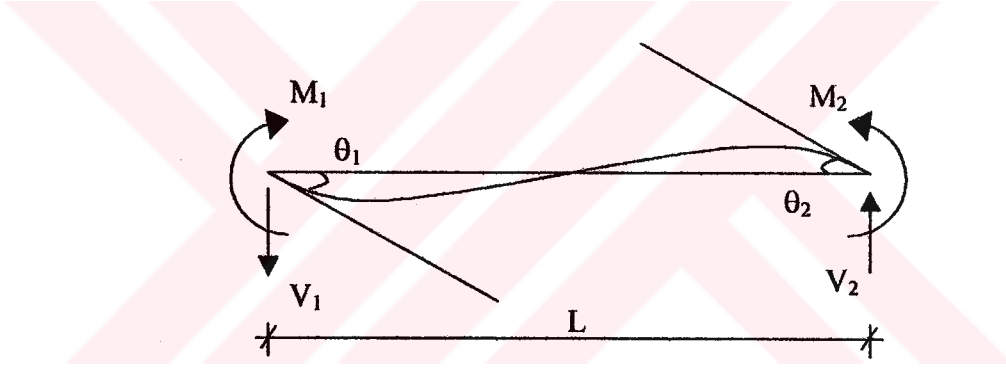
3. Bağlantı kirişlerinin eksenleri doğrultusunda sonsuz rijit oldukları kabul edilir. Bundan dolayı tüm duvarlar aynı yükseklikte eşit yatay yerdeğiştirme yaparlar. Bu kabule göre aynı yükseklikte bütün duvarların eğimleri ve eğrilikleri de birbirlerine eşit kabul edilebilir. Her bir duvardaki eğilme momenti perde eğilme rijitliği ile orantılıdır.

## 6. ÇOK SIRA BOŞLUKLU DEPREM PERDELERİNİN SÜREKLİ BAĞLANTI YÖNTEMİ İLE STATİK ANALİZİ

Murat BİKÇE

4. Eğilmeden önce eksene dik olan düzlem kesitler eğilmeden sonra eksene dik ve düzlem kalırlar.
5. Her bölgede bağlantı kirişlerinin duvarlarla bağlantıları aynı eşdeğer yay sabitine sahiptirler.
6. Bağlantı kirişlerindeki ayrık kesme kuvvetlerinin yerini onlara eşdeğer ve birim yükseklikteki değeri  $q_{j,i}$  olan sürekli kesme kuvvetleri alır.
7. Bağlantı kirişlerinin üzerinde yük olmadığı ve uçlarındaki dönmeler eşit olduğu için moment sıfır noktaları orta noktalarıdır.

Boy değişimleri gözardı edilen bağlantı kirişleri ve güçlendirici kirişler yalnız uçlarından yüklenirler. Son kabulü daha iyi anlayabilmek için Şekil 6.3'te uçlarından yüklenmiş bağlantı kirişinin serbest cisim diyagramı görülmektedir.



Şekil 6.3. Eğilmiş bir bağlantı kirişi

Burada bağlantı kirişinin her iki ucunda bulunan  $\theta_1$  ve  $\theta_2$  açılarının 3. kabule göre eşit olduğuna dikkat edilmelidir.

$$\theta_1 = \theta_2 = \theta \quad (6.1)$$

Açı yöntemine göre eleman ucundaki moment

$$M_1 = \frac{EI}{L}(4\theta_1 + 2\theta_2 + 6\psi) + M_{12} \quad (6.2)$$

şeklindedir. Yukarıdaki denklemde  $\theta = \theta_1 = \theta_2$  ve  $\psi = 0$  ve  $M_{12} = 0$  olarak yerlerine yazılırsa

## 6. ÇOK SIRA BOŞLUKLU DEPREM PERDELERİNİN SÜREKLİ BAĞLANTI YÖNTEMİ İLE STATİK ANALİZİ

Murat BİKÇE

$$M_1 = \frac{6EI}{L}\theta \quad (6.3)$$

şeklini alır. Aynı yöntemin elemanın diğer ucu için uygulanması ile

$$M_2 = \frac{6EI}{L}\theta \quad (6.4)$$

$M_2$  ve  $M_1$  denklemlerinin eşit oldukları görülmektedir. Her iki moment değeri  $M$  olarak adlandırılıp Şekil 6.3'teki kirişin birinci ucuna göre moment alınırsa

$$V_2 = \frac{2M}{L} \quad (6.5)$$

olarak bulunur. Kiriş için yazılan düşey kuvvetlerin dengesinden

$$V_1 = V_2 = V \quad (6.6)$$

eşitliği bulunur. Kirişin orta noktası için moment alınırsa

$$M_{ort} = \frac{2M}{L} \times \frac{L}{2} - M = 0 \quad (6.7)$$

olduğu açıkça görülür.

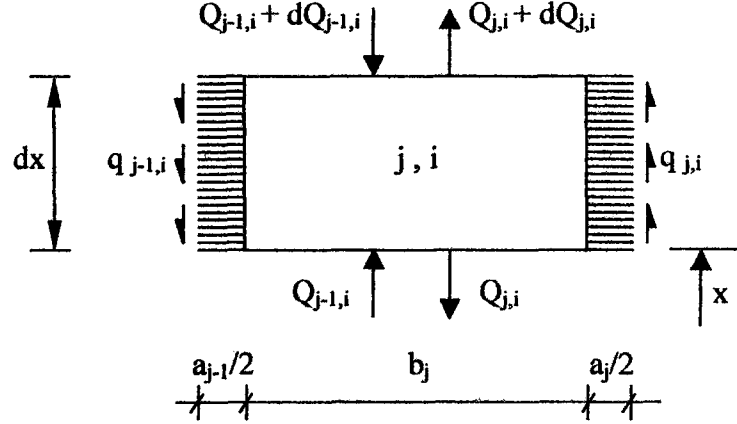
### 6.3. Herhangi Bir Boşluştaki Eksenel Kuvvet Bileşeni ( $Q_{j,i}$ ) ve Bağlantı Kirişlerinde Oluşan Birim Boydaki Kesme Kuvveti ( $q_{j,i}$ ) Arasındaki İlişki

Sürekli bağlantı ortamına dönüştürülmüş çok sıra boşluklu perde sisteminde,  $i$  bölgesinde  $j$  numaralı duvarın sağ ve sol tarafındaki yayılı tabakaların moment sıfır

6. ÇOK SIRA BOŞLUKLU DEPREM PERDELERİNİN SÜREKLİ BAĞLANTI YÖNTEMİ İLE STATİK ANALİZİ

Murat BİKÇE

noktaları olan orta noktalarından geçen düşey kesitler alınırsa birim boyağıdaki değeri  $q_{j-1,i}$  ve  $q_{j,i}$  ile gösterilen kesme kuvvetleri ortaya çıkar (Şekil 6.4).



Şekil 6.4. Perdede düşey kuvvetlerin dengesi

Şekil 6.4'te görülen,  $i$  bölgesindeki  $j$  numaralı duvarın,  $dx$  uzunluğundaki parçasına etkiyen düşey kuvvetlerin dengesinden

$$Q_{j-1,i} - Q_{j,i} - Q_{j-1,i} - dQ_{j-1,i} + Q_{j,i} + dQ_{j,i} - q_{j-1,i}dx + q_{j,i}dx = 0 \quad (6.8)$$

denklemini elde edilir. Burada dikkat edilmesi gereken şey  $(j,i)$  numaralı duvar üzerinde eksenel kuvvet yerine perdenin komşu boşluklarındaki kesme kuvvetlerinin tepeden itibaren toplamları olan  $Q_{j-1,i}$  ve  $Q_{j,i}$  kuvvetlerinin kullanılacak olmasıdır. Bunların sayısal farkı eksenel kuvvetin yönünü ve şiddetini verecektir. Denklem (6.8) üzerinde gerekli kısaltmalar ve düzenlemeler yapıldıktan sonra,

$$\frac{dQ_{j-1,i}}{dx} - \frac{dQ_{j,i}}{dx} = q_{j,i} - q_{j-1,i} \quad j = 1, 2, \dots, m+1, \quad i = 1, 2, \dots, n \quad (6.9)$$

eşitlikleri elde edilir. Analiz boyunca

$$Q_{0,i} = Q_{m+1,i} = q_{0,i} = q_{m+1,i} = V_{0,i} = V_{m+1,i} = 0 \quad i = 1, 2, \dots, n \quad (6.10)$$

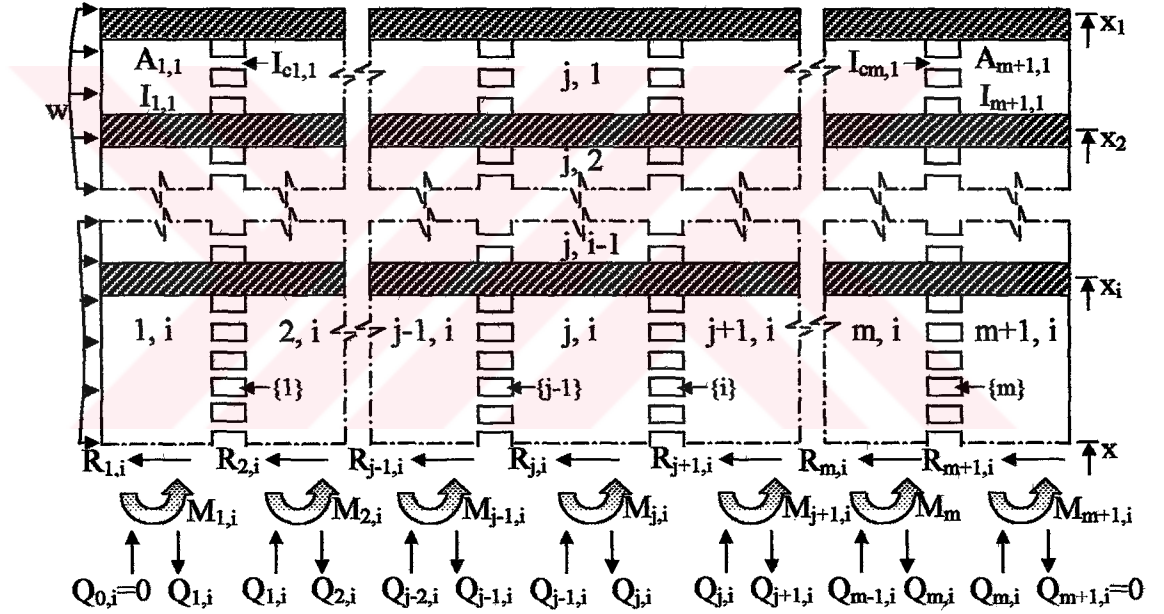
olduğu unutulmamalıdır. (6.9) ve (6.10) denklemlerinin bir sonucu olarak

$$\frac{dQ_{j,i}}{dx} = -q_{j,i} \quad j = 1, 2, \dots, m, \quad i = 1, 2, \dots, n \quad (6.11)$$

eşitlikleri yazılabilir.

#### 6.4. Moment-Eğrilik İlişkisi

Şekil 6.5'te görülen herhangi bir x yüksekliğinde keşilmiş perde için



Şekil 6.5. Çok sıra boşluklu perdenin yatay bir kesitindeki iç kuvvetler

moment eğrilik ilişkisi

$$EI_{j,i} \frac{d^2 y_i}{dx^2} = M_{j,i} \quad j = 1, 2, \dots, m+1, \quad i = 1, 2, \dots, n \quad (6.12)$$

şeklinde yazılabilir. i bölgesinde bütün duvarlar için yazılan bu denklemler taraf tarafa toplanarak aşağıdaki eşitlikler elde edilir:

## 6. ÇOK SIRA BOŞLUKLU DEPREM PERDELERİNİN SÜREKLİ BAĞLANTI YÖNTEMİ İLE STATİK ANALİZİ

Murat BİKÇE

$$E \sum_{j=1}^{m+1} I_{j,i} \frac{d^2 y_i}{dx^2} = \sum_{j=1}^{m+1} M_{j,i} \quad i = 1, 2, \dots, n \quad (6.13)$$

Şekil 6.5'te alınan kesit yüksekliğinde herhangi bir noktaya göre momentlerin dengesinden, dış kuvvetlerin toplam momenti  $M_{ei}$  olarak gösterilirse

$$\sum_{j=1}^{m+1} M_{j,i} + \sum_{j=1}^m Q_{j,i} L_j - M_{ei} = 0 \quad i = 1, 2, \dots, n \quad (6.14)$$

denklemleri elde edilir. Bu denklemlerde kesit yüksekliğindeki duvar momentleri toplamı bir tarafa alınarak

$$\sum_{j=1}^{m+1} M_{j,i} = M_{ei} - \sum_{j=1}^m Q_{j,i} L_j \quad i = 1, 2, \dots, n \quad (6.15)$$

şeklinde elde edilen ifadeler (6.13) denklemlerinde yerlerine konulursa

$$E \sum_{j=1}^{m+1} I_{j,i} \frac{d^2 y_i}{dx^2} = M_{ei} - \sum_{j=1}^m Q_{j,i} L_j \quad i = 1, 2, \dots, n \quad (6.16)$$

denklemleri elde edilir. Bu denklemlerde, bölgelerdeki duvarların atalet momentleri toplamları

$$\sum_{j=1}^{m+1} I_{j,i} = I_i \quad i = 1, 2, \dots, n \quad (6.17)$$

olarak gösterilirse, çok sıra boşluklu perdeler için moment eğrilik ilişkisi

$$EI_i \frac{d^2 y_i}{dx^2} = M_{ei} - \sum_{j=1}^m Q_{j,i} L_j \quad i = 1, 2, \dots, n \quad (6.18)$$

şeklinde elde edilmiş olur.

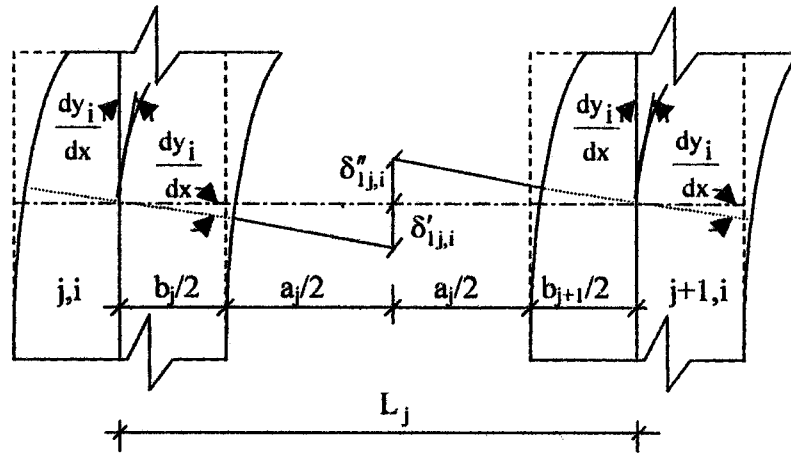
## 6.5. Formülasyon

### 6.5.1. Çok Sıra Boşluklu Perdelerin Düşey Doğrultudaki Bağlı Hareketleri

Çok sıra boşluklu perdelerin uygunluk denklemleri, bağlantı kirişlerinin moment sıfır noktaları olan orta noktalarında hesaplanacak bağlı düşey yerdeğiştirmelerden bulunacaktır. Yani, ortadan kesilmiş gibi düşünülen bağlantı kirişinin solda ve sağda kalan uçlarının birbirine göre bağlı düşey yerdeğiştirmesinin sıfır olması koşulu uygunluk denklemlerini oluşturacaktır. Düşey doğrultudaki bağlı hareketler, j numaralı boşluk için genel yazılacağından diğer sıra boşluklar için de geçerli olacaktır. Uygunluk denklemleri yazılırken j numaralı duvarda bağlantı kirişi ucunun aşağı doğru, (j+1) numaralı perdede ise bağlantı kirişi ucunun yukarı doğru hareketi pozitif alınacaktır.

#### 6.5.1.1. Perdelerin Dönmesinden Doğan Bağlı Düşey Yerdeğiştirme ( $\delta_{1,j,i}$ )

Duvar kiriş bağlantısı rijit olduğundan herhangi bir x koordinatında bağlantı kirişinin duvarlara bağlı uçlarının dönmeleri, duvarların dönmelerine eşit olacaktır (Şekil 6.6).



Şekil 6.6. Duvarların dönmesinden doğan bağlı düşey yerdeğiştirme



## 6. ÇOK SIRA BOŞLUKLU DEPREM PERDELERİNİN SÜREKLİ BAĞLANTI YÖNTEMİ İLE STATİK ANALİZİ

Murat BİKÇE

(j,i) numaralı duvar eksenini ile bağlantı kirişinin momenti sıfır olan orta noktası arasında kalan mesafe  $(a_j+b_j)/2$  olup kiriş ucunun yaptığı bağıl düşey yerdeğiştirme

$$\delta'_{1,j,i} = \frac{(a_j + b_j) dy_i}{2 dx} \quad (6.19)$$

şeklinde yazılabilir. Benzer şekilde, aynı koordinatta bulunan duvarlar eşit dönme yapacağından, (j+1,i) numaralı duvarda bulunan bağlantı kirişi uçlarının yaptıkları bağıl düşey yerdeğiştirme de

$$\delta''_{1,j,i} = \frac{(a_j + b_{j+1}) dy_i}{2 dx} \quad (6.20)$$

olarak yazılabilir. Böylece, iki kiriş ucu arasındaki toplam bağıl düşey yerdeğiştirme de

$$\delta_{1,j,i} = \delta'_{1,j,i} + \delta''_{1,j,i} = L_j \frac{dy_i}{dx} \quad j = 1,2,\dots,m, \quad i = 1,2,\dots,n \quad (6.21)$$

olarak bulunur.

### 6.5.1.2. Bağlantı Kirişindeki Kesme Kuvvetinden Doğan Bağıl Düşey Yerdeğiştirme ( $\delta_{2,j,i}$ )

Bilindiği gibi ucunda tekil P kuvveti bulunan  $\ell$  uzunluktaki konsol kirişin ucundaki yerdeğiştirme

$$\delta = \frac{P\ell^3}{3EI} \quad (6.22)$$

şeklinde verilir. SBY'nde birim boydaki kesme kuvveti fonksiyonu  $q_{j,i}$  olduğundan her bir bağlantı kirişine gelen kesme kuvveti

6. ÇOK SIRA BOŞLUKLU DEPREM PERDELERİNİN SÜREKLİ BAĞLANTI YÖNTEMİ İLE STATİK ANALİZİ Murat BİKÇE

$$P = q_{j,i} h_i \quad (6.23)$$

olarak elde edilir.

Şekil 6.7'deki gibi birbirini izleyen iki perdeyi birleştiren bağlantı kirişleri için (6.23) denklemini kullanarak (6.22) tekrar düzenlenirse

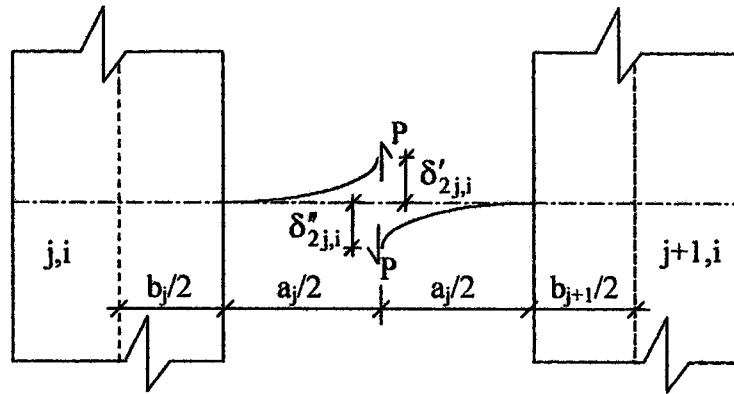
$$\delta'_{2,j,i} = -\frac{q_{j,i} h_i \left(\frac{a_j}{2}\right)^3}{3EI_{c,j,i}} \quad j = 1,2,\dots,m, \quad i = 1,2,\dots,n \quad (6.24)$$

ve

$$\delta''_{2,j,i} = -\frac{q_{j,i} h_i \left(\frac{a_j}{2}\right)^3}{3EI_{c,j,i}} \quad j = 1,2,\dots,m, \quad i = 1,2,\dots,n \quad (6.25)$$

denklemleri elde edilir. İki giriş ucu arasındaki toplam bağıl düşey yerdeğiştirme ise bu iki denklemin toplanması ile aşağıdaki şekilde bulunur:

$$\delta_{2,j,i} = \delta'_{2,j,i} + \delta''_{2,j,i} = -\frac{q_{j,i} h_i a_j^3}{12EI_{c,j,i}} \quad j = 1,2,\dots,m, \quad i = 1,2,\dots,n \quad (6.26)$$



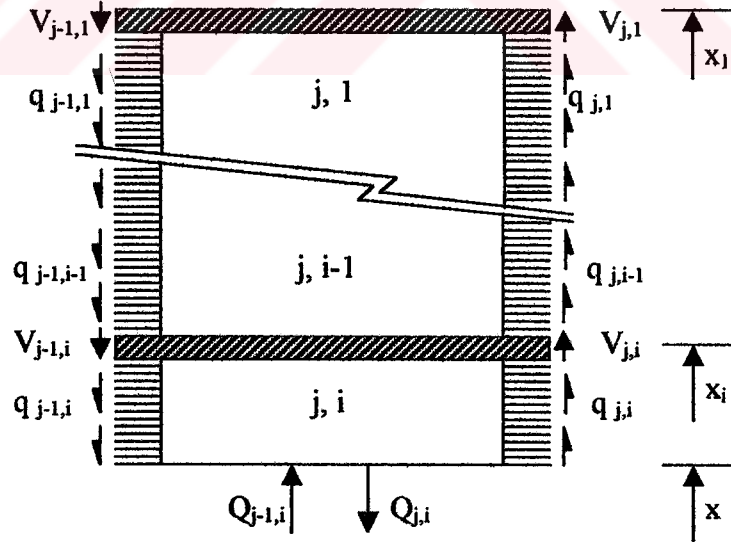
Şekil 6.7. Bağlantı kirişlerindeki kesme kuvvetlerinden doğan bağıl düşey yerdeğiştirme

6.5.1.3. Perde Aksenal Kuvvetlerinden Doğan Bağıl Düşey Yerdeğiştirme (  $\delta_{3j,i}$  )

Şekil 6.8 yardımıyla herhangi bir kesitin üstündeki perde parçası için yazılan düşey kuvvetlerin dengesinden

$$\begin{aligned}
 & Q_{j-1,i} - \sum_{t=1}^i V_{j-1,t} - \sum_{t=1}^{i-1} \left( \int_{x_{t+1}}^{x_t} q_{j-1,t} dx \right) - \int_x^{x_i} q_{j-1,i} dx \\
 & - Q_{j,i} + \sum_{t=1}^i V_{j,t} + \sum_{t=1}^{i-1} \left( \int_{x_{t+1}}^{x_t} q_{j,t} dx \right) + \int_x^{x_i} q_{j,i} dx = 0 \\
 & j = 1, 2, \dots, m, \quad i = 1, 2, \dots, n \qquad (6.27)
 \end{aligned}$$

denklemleri elde edilir. Burada (6.10) eşitliğinin geçerli olduğu unutulmamalıdır. (6.27) denklemleri düzenlenecek olursa



Şekil 6.8. Bir perde parçası üzerindeki düşey kuvvetler

$$Q_{j-1,i} - Q_{j,i} = \int_x^{x_i} (q_{j-1,i} - q_{j,i}) dx + \sum_{t=1}^{i-1} \left( \int_{x_{t+1}}^{x_t} (q_{j-1,t} - q_{j,t}) dx \right) + \sum_{t=1}^i (V_{j-1,t} - V_{j,t})$$

$j = 1, 2, \dots, m, \quad i = 1, 2, \dots, n$  (6.28)

ifadeleri elde edilir. Herhangi bir bölgenin j numaralı boşluğunda birim boyda oluşan kesme kuvvetinin perde eksenel kuvvetine katkısı, kesitin üstünde kalan bağlantı kirişleri ile güçlendirici kirişlerdeki kesme kuvvetlerinin toplamına eşit olarak,

$$Q_{j,i} = \int_x^{x_i} q_{j,i} dx + \sum_{t=1}^{i-1} \left( \int_{x_{t+1}}^{x_t} q_{j,t} dx \right) + \sum_{t=1}^i V_{j,t} \quad j = 1, 2, \dots, m, \quad i = 1, 2, \dots, n \quad (6.29)$$

şeklinde bulunur. Bilindiği gibi uçlarında P çekme veya basınç kuvveti uygulanan bir elemanın toplam boy değiştirmesi aşağıdaki şekilde bulunur:

$$\delta = \frac{PL}{EA} \quad (6.30)$$

Şekil 6.9'da görülen duvarlardaki eksenel kuvvet bileşenlerinden dolayı bağlantı kirişlerinde doğan düşey yerdeğişmeler j numaralı duvarda

$$\delta'_{3,j,i} = -\frac{1}{E} \left\{ \frac{1}{A_{j,i}} \right\} \int_0^x (Q_{j,i} - Q_{j-1,i}) dx \quad (6.31)$$

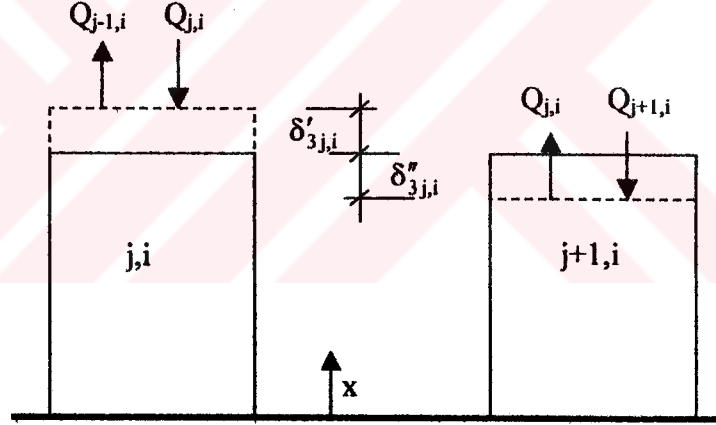
ve (j+1) numaralı duvarda

$$\delta''_{3,j,i} = -\frac{1}{E} \left\{ \frac{1}{A_{j+1,i}} \right\} \int_0^x (Q_{j,i} - Q_{j+1,i}) dx \quad (6.32)$$

6. ÇOK SIRA BOŞLUKLU DEPREM PERDELERİNİN SÜREKLİ BAĞLANTI YÖNTEMİ İLE STATİK ANALİZİ Murat BİKÇE

şeklinde verilebilir. Her bir bölge için aksel kuvvetlerden dolayı bağlantı kirişlerinde doğan toplam bağıl düşey yerdeğiştirme, bu ifadelerin toplanması ile aşağıdaki şekilde elde edilir:

$$\begin{aligned} \delta_{3j,i} &= \delta'_{3j,i} + \delta''_{3j,i} \\ &= -\frac{1}{E} \sum_{t=i+1}^n \left[ \left\{ \frac{1}{A_{j,t}} \right\}_{x_{t+1}}^{x_t} \int (Q_{j,t} - Q_{j-1,t}) dx + \left\{ \frac{1}{A_{j+1,t}} \right\}_{x_{t+1}}^{x_t} \int (Q_{j,t} - Q_{j+1,t}) dx \right] \\ &\quad - \frac{1}{E} \left[ \left\{ \frac{1}{A_{j,i}} \right\}_{x_{i+1}}^x \int (Q_{j,i} - Q_{j-1,i}) dx + \left\{ \frac{1}{A_{j+1,i}} \right\}_{x_{i+1}}^x \int (Q_{j,i} - Q_{j+1,i}) dx \right] \\ j &= 1, 2, \dots, m, \quad i = 1, 2, \dots, n \end{aligned} \quad (6.33)$$

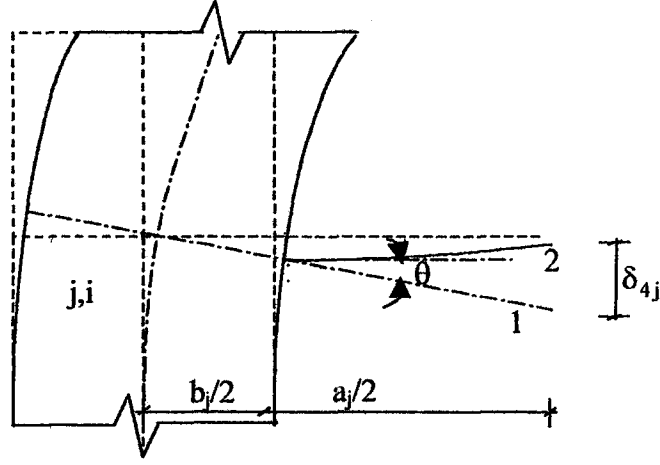


Şekil 6.9. Perde aksel kuvvet bileşenlerinden doğan bağıl düşey yerdeğiştirme

6.5.1.4. Bağlantı Kirişi-Duvar Elastik Bağlantısından Doğan Bağıl Düşey Yerdeğiştirme (  $\delta_{4j,i}$  )

Şekil 6.10'da görülen durumda bağlantı kirişi-duvar bağlantısı rijit olan perdeler için bağlantı kirişinin 1 nolu yerdeğiştirmeyi yapması beklenmektedir. Oysa bağlantının elastik olduğu durumlarda kirişin yapacağı bağıl düşey yerdeğiştirme

6. ÇOK SIRA BOŞLUKLU DEPREM PERDELERİNİN SÜREKLİ BAĞLANTI YÖNTEMİ İLE STATİK ANALİZİ Murat BİKÇE



Şekil 6.10. Bağlantı kirişlerinin elastik bağlantılı olması durumu

hareketi 2'deki gibi olacaktır. Elastik bağlantının dönel yay davranışı ile ifade edileceği daha önce belirtilmişti (Bölüm 5.2.1). Dönel yaydan dolayı oluşan bağlı düşey yerdeğiştirme

$$\delta'_4 = -\theta \times \frac{a_j}{2} \quad (6.34)$$

eşitliği ile bulunur. Dönel bir yaydaki moment değeri

$$M = c \theta \quad (6.35)$$

olup  $c$  dönel yay sabitidir. (6.35) eşitliğinden  $\theta$ 'yu çeker ve (6.34) de yerine yazarsak

$$\delta'_4 = -\frac{M a_j}{c 2} \quad (6.36)$$

elde edilir. Yukarıdaki denklemde  $M$ , bağlantı kirişi ucundaki moment olup, moment sıfır noktasındaki düşey kuvvet cinsinden

## 6. ÇOK SIRA BOŞLUKLU DEPREM PERDELERİNİN SÜREKLİ BAĞLANTI YÖNTEMİ İLE STATİK ANALİZİ

Murat BİKÇE

$$M = P \frac{a_j}{2} \quad (6.37)$$

şeklinde elde edilir. Burada, P kesme kuvveti olup şöyle ifade edilir:

$$P = q_{j,i} h_i \quad (6.38)$$

(6.36-38) yardımıyla (j) numaralı duvar için bulunan  $\delta'_4$  ifadesi, (j+1) numaralı duvar için de benzer şekilde bulunan  $\delta''_4$  ifadesi ile toplanırsa, bağlantı kirişi-duvar bağlantılarının elastik olmasından doğan bağıl düşey yerdeğiştirmeler

$$\delta_{4,j,i} = -\frac{q_{j,i} h_i a_j^2}{2 C_{cb_i}} \quad j = 1,2,\dots,m, \quad i = 1,2,\dots,n \quad (6.39)$$

şeklinde elde edilir.

### 6.5.1.5. Temel Hareketinden Doğan Bağıl Düşey Yerdeğiştirme ( $\delta'_{ij}$ )

Gerçekte binaların oturdukları temeller rijit değildir ve hesaplarda çoğunlukla elastik alınmak zorundadırlar. Zemin özelliğinden dolayı temelde dönme ve/veya çökme gibi çeşitli hareketler meydana gelmektedir. Bu hareketlerden dolayı bağlantı kirişlerinde de bağıl düşey yerdeğiştirme (  $\delta'_{ij}$  ) olacaktır (Şekil 6.11). Fakat temelin bu hareketleri yüksekliğe bağlı olmadığından bu tür bağıl düşey yerdeğiştirmeler bina boyunca sabittir.

Şekil 6.11'de görülen j ve (j+1) numaralı duvarların tabanlarındaki çökmeler, sırasıyla,

$$\delta'_{ij} = \frac{Q_{j,n} - Q_{j-1,n}}{K_{v_j}} \quad j = 1,2,\dots,m \quad (6.40)$$

6. ÇOK SIRA BOŞLUKLU DEPREM PERDELERİNİN SÜREKLİ BAĞLANTI YÖNTEMİ İLE STATİK ANALİZİ Murat BİKÇE

$$\delta_{ij}'' = \frac{Q_{j,n} - Q_{j+1,n}}{K_{v_{j+1}}} \quad j = 1, 2, \dots, m \quad (6.41)$$

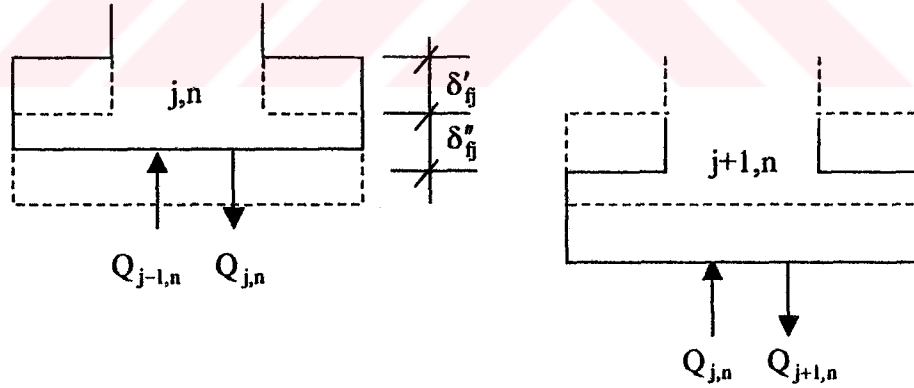
olacaktır. Burada,  $k_j$  zemin yatak katsayısını ve  $A_{bj}$  duvar tabanındaki sömelen taban alanını göstermek üzere temel düşey rijitlik sabitleri

$$K_{v_j} = k_j A_{bj} \quad j = 1, 2, \dots, m + 1 \quad (6.42)$$

şeklinde verilebilir. (6.40) ve (6.41) eşitliklerinin toplamı

$$\delta_{ij} = \delta_{ij}' + \delta_{ij}'' = \frac{Q_{j,n} - Q_{j-1,n}}{K_{v_j}} + \frac{Q_{j,n} - Q_{j+1,n}}{K_{v_{j+1}}} \quad j = 1, 2, \dots, m \quad (6.43)$$

olarak  $j$  numaralı boşluktaki toplam bağıl düşey yerdeğiştirmeyi verecektir.



Şekil 6.11. Temel hareketinden doğan bağıl düşey yerdeğiştirme

### 6.5.2. Perde Aksinel Kuvvet Fonksiyonunun Bulunması

Bu çalışmada, dikkat edilmesi gereken bir nokta,  $i$  bölgesinde  $j$  numaralı duvar üzerinde aksinel kuvvet yerine duvarın komşu boşluklarındaki kesme kuvvetlerinin tepeden itibaren toplamları olan  $Q_{j,i}$  ve  $Q_{j-1,i}$  fonksiyonlarının temel



6. ÇOK SIRA BOŞLUKLU DEPREM PERDELERİNİN SÜREKLİ BAĞLANTI YÖNTEMİ İLE STATİK ANALİZİ Murat BİKÇE

bilinmeyenler olarak ele alınıyor olmasıdır. Bunların arasındaki fark,  $i$  bölgesindeki  $j$  numaralı duvarın aksenal kuvvetini

$$T_{j,i} = Q_{j-1,i} - Q_{j,i} \quad j = 1, 2, \dots, m+1, \quad i = 1, 2, \dots, n \quad (6.44)$$

şeklinde verir.

Temel bilinmeyenler olan  $Q_{j,i}$  ve  $Q_{j-1,i}$  fonksiyonlarını bulabilmek için 6.5.1'in alt bölümlerinde  $j$  numaralı boşluk için hesaplanan bağıl düşey yerdeğiştirme ifadeleri kullanılarak, bağlantı kirişlerinin orta noktasında uygunluk denklemleri yazılacaktır. Tüm bölgeler için uygunluk denklemleri yazılarak bir diferansiyel denklem takımı elde edilir. Bu denklem takımı, (6.21), (6.26), (6.33), (6.39) ifadeleri ve temel hareketinden doğan bağıl düşey yerdeğiştirme,  $\delta_{fi}$ , toplam sıfıra eşitlenerek

$$L_j \frac{dy_i}{dx} - \frac{h_i a_j^2}{2C_{cbi}} q_{j,i} - \frac{h_i a_j^3}{12EI_{ej,i}} q_{j,i} - \frac{1}{E} \sum_{t=i+1}^n \left[ \left\{ \frac{1}{A_{j,t}} \right\}_{x_{t+1}}^{x_t} \int (Q_{j,t} - Q_{j-1,t}) dx + \left\{ \frac{1}{A_{j+1,t}} \right\}_{x_{t+1}}^{x_t} \int (Q_{j,t} - Q_{j+1,t}) dx \right] - \frac{1}{E} \left[ \left\{ \frac{1}{A_{j,i}} \right\}_{x_{i+1}}^x \int (Q_{j,i} - Q_{j-1,i}) dx + \left\{ \frac{1}{A_{j+1,i}} \right\}_{x_{i+1}}^x \int (Q_{j,i} - Q_{j+1,i}) dx \right] - \delta_{fi} = 0$$

$$j = 1, 2, \dots, m, \quad i = 1, 2, \dots, n \quad (6.45)$$

şeklinde bulunur. Bu denklemlerin  $x$ 'e göre türevi alınır ve  $x_t$ ,  $x_{t+1}$  ve  $x_{i+1}$  değerleri sabit olup

$$\frac{d}{dx} \int_{x_{t+1}}^{x_t} (Q_{j,t} - Q_{j-1,t}) dx = 0 \quad (6.46)$$

ve

6. ÇOK SIRA BOŞLUKLU DEPREM PERDELERİNİN SÜREKLİ BAĞLANTI YÖNTEMİ İLE STATİK ANALİZİ Murat BİKÇE

$$\begin{aligned} \frac{d}{dx} \int_{x_{i+1}}^x (Q_{j,i} - Q_{j-1,i}) dx &= \frac{dx}{dx} (Q_{j,i} - Q_{j-1,i}) - \frac{dx_{i+1}}{dx} (Q_{j,i} - Q_{j-1,i}) \\ &= Q_{j,i} - Q_{j-1,i} \end{aligned} \quad (6.47)$$

olduğu düşünülürse aşağıdaki denklemler elde edilir:

$$L_j \frac{d^2 y_i}{dx^2} - \left( \frac{h_i a_j^2}{2C_{cbi}} + \frac{h_i a_j^3}{12EI_{c,j,i}} \right) \frac{dq_{j,i}}{dx} - \frac{1}{E} \left[ \begin{aligned} &\left\{ \frac{1}{A_{j,i}} \right\} (Q_{j,i} - Q_{j-1,i}) \\ &+ \left\{ \frac{1}{A_{j+1,i}} \right\} (Q_{j,i} - Q_{j+1,i}) \end{aligned} \right] = 0$$

$$j = 1, 2, \dots, m, \quad i = 1, 2, \dots, n \quad (6.48)$$

Burada da (6.18) ve (6.11) denklemleri yerlerine konulursa

$$\begin{aligned} \frac{L_j}{EI_i} \left( M_{ci} - \sum_{j=1}^m Q_{j,i} L_j \right) + \left( \frac{h_i a_j^2}{2C_{cbi}} + \frac{h_i a_j^3}{12EI_{c,j,i}} \right) \frac{d^2 Q_{j,i}}{dx^2} \\ - \frac{1}{EA_{j,i}} Q_{j,i} + \frac{1}{EA_{j,i}} Q_{j-1,i} - \frac{1}{EA_{j+1,i}} Q_{j,i} + \frac{1}{EA_{j+1,i}} Q_{j+1,i} = 0 \end{aligned}$$

$$j = 1, 2, \dots, m, \quad i = 1, 2, \dots, n \quad (6.49)$$

denklemleri elde edilir. Bu denklem takımı

$$\left( \frac{h_i a_j^2}{2C_{cbi}} + \frac{h_i a_j^3}{12EI_{c,j,i}} \right) = \beta_{j,i}^2 \quad j = 1, 2, \dots, m, \quad i = 1, 2, \dots, n \quad (6.50)$$

tanımları yapılarak gerekli düzenlemelerle

6. ÇOK SIRA BOŞLUKLU DEPREM PERDELERİNİN SÜREKLİ BAĞLANTI YÖNTEMİ İLE STATİK ANALİZİ Murat BİKÇE

$$\begin{aligned} & \frac{L_j}{EI_i} \left( M_{ei} - \sum_{j=1}^m Q_{j,i} L_j \right) + \overbrace{\left( \frac{h_i a_j^2}{2C_{cbi}} + \frac{h_i a_j^3}{12EI_{c,j,i}} \right)}^{\beta_{j,i}^2} \frac{d^2 Q_{j,i}}{dx^2} \\ & + \frac{1}{EA_{j,i}} Q_{j-1,i} - \left( \frac{1}{EA_{j,i}} + \frac{1}{EA_{j+1,i}} \right) Q_{j,i} + \frac{1}{EA_{j+1,i}} Q_{j+1,i} = 0 \\ & j = 1, 2, \dots, m, \quad i = 1, 2, \dots, n \end{aligned} \quad (6.51)$$

şekline döndürür. Bu denklemler düzenlenir ve her iki taraf  $\beta_{j,i}^2$  'ye bölünürse

$$\begin{aligned} & \frac{d^2 Q_{j,i}}{dx^2} - \frac{L_j}{EI_i} \frac{1}{\beta_{j,i}^2} \left[ \sum_{t=1}^{j-2} Q_{t,i} L_t + Q_{j-1,i} L_{j-1} + Q_{j,i} L_j + Q_{j+1,i} L_{j+1} + \sum_{t=j+2}^m Q_{t,i} L_t \right] \\ & + \frac{L_j}{EI_i} \frac{1}{\beta_{j,i}^2} M_{ei} + \frac{1}{EA_{j,i}} \frac{1}{\beta_{j,i}^2} Q_{j-1,i} - \frac{1}{E\beta_{j,i}^2} \left( \frac{1}{A_{j,i}} + \frac{1}{A_{j+1,i}} \right) Q_{j,i} \\ & + \frac{1}{E\beta_{j,i}^2 A_{j+1,i}} Q_{j+1,i} = 0 \quad j = 1, 2, \dots, m, \quad i = 1, 2, \dots, n \end{aligned} \quad (6.52)$$

denklem takımı elde edilir. Bu denklem takımı da bazı düzenlemelerle

$$\begin{aligned} & \frac{d^2 Q_{j,i}}{dx^2} - \frac{L_j}{EI_i} \frac{1}{\beta_{j,i}^2} \sum_{t=1}^{j-2} Q_{t,i} L_t - \frac{L_j}{EI_i} \frac{1}{\beta_{j,i}^2} \left( L_{j-1} - \frac{I_i}{L_j A_{j,i}} \right) Q_{j-1,i} \\ & - \frac{L_j}{EI_i} \frac{1}{\beta_{j,i}^2} \left( L_j + \frac{I_i}{L_j} \left( \frac{1}{A_{j,i}} + \frac{1}{A_{j+1,i}} \right) \right) Q_{j,i} - \frac{L_j}{EI_i} \frac{1}{\beta_{j,i}^2} \left( L_{j+1} - \frac{I_i}{L_j A_{j+1,i}} \right) Q_{j+1,i} \\ & - \frac{L_j}{EI_i} \frac{1}{\beta_{j,i}^2} \sum_{t=j+2}^m Q_{t,i} L_t = - \frac{L_j}{EI_i} \frac{1}{\beta_{j,i}^2} M_{ei} \quad j = 1, 2, \dots, m, \quad i = 1, 2, \dots, n \end{aligned} \quad (6.53)$$

şekline döndürür. Şimdi de bazı düzenlemeler yapılır ve her iki taraf  $\beta_{j,i}^2 \frac{EI_i}{L_j}$  ile

çarpılırsa, güçlendirilmiş çok sıra boşluklu perdeler için, ikinci mertebeden homojen olmayan lineer denklem takımı eksenel kuvvetin bileşenleri cinsinden

6. ÇOK SIRA BOŞLUKLU DEPREM PERDELERİNİN SÜREKLİ BAĞLANTI YÖNTEMİ İLE STATİK ANALİZİ Murat BİKÇE

$$\begin{aligned}
 & \frac{EI_i}{L_j} \beta_{j,i}^2 \frac{d^2 Q_{j,i}}{dx^2} - \sum_{t=1}^{j-2} Q_{t,i} L_t \left( 1 - \frac{I_i}{L_j L_{j-1} A_{j,i}} \right) Q_{j-1,i} L_{j-1} \\
 & - \left( 1 + \frac{I_i}{L_j^2} \left( \frac{1}{A_{j,i}} + \frac{1}{A_{j+1,i}} \right) \right) Q_{j,i} L_j - \left( 1 - \frac{I_i}{L_j L_{j+1} A_{j+1,i}} \right) Q_{j+1,i} L_{j+1} \\
 & - \sum_{t=j+2}^m Q_{t,i} L_t = -M_{ei} \quad j=1,2,\dots,m, \quad i=1,2,\dots,n
 \end{aligned} \tag{6.54}$$

şeklinde bulunmuş olur. Bu denklem takımını matris formda ifade etmek için

$$\begin{aligned}
 \alpha_{jz}^2 &= \left( 1 + \frac{I_i}{L_j^2} \left( \frac{1}{A_{j,i}} + \frac{1}{A_{j+1,i}} \right) \right) & (j=z) \\
 \alpha_{jz}^2 &= \left( 1 - \frac{I_i}{L_j L_{j-1} A_{j,i}} \right) & (j=z+1) \\
 \alpha_{jz}^2 &= \left( 1 - \frac{I_i}{L_j L_{j+1} A_{j+1,i}} \right) & (j=z-1) \\
 \alpha_{jz}^2 &= 1 & (j < z-1) \\
 \alpha_{jz}^2 &= 1 & (j > z-1) \\
 \gamma_{j,i}^2 &= \frac{EI_i}{L_j} \left( \frac{h_j a_j^2}{2C_{cbj}} + \frac{h_j a_j^3}{12EI_{c,j,i}} \right) \quad z=1,2,\dots,m, \quad j=1,2,\dots,m, \quad i=1,2,\dots,n
 \end{aligned} \tag{6.55}$$

şeklinde kısaltmalar yapılırsa, sonuç olarak

$$\left[ \gamma_{j,i}^2 Q_{j,i}^n \right]_{m \times 1} - \left[ \alpha_{jk}^2 \right]_{m \times m} \left[ Q_{j,i} L_j \right]_{m \times 1} = \left[ -M_{ei} \right]_{m \times 1} \quad j=1,2,\dots,m, \quad i=1,2,\dots,n \tag{6.56}$$

denklemleri elde edilir. Görüldüğü gibi (6.56) numaralı diferansiyel denklem takımı girişimlidir ve boşluk sayısına bağlı olarak matris boyutları büyüdüğünden ikiden fazla boşluk sayısı için kapalı çözümünü aramak pratik olmaktan çok uzaktır.

6. ÇOK SIRA BOŞLUKLU DEPREM PERDELERİNİN SÜREKLİ BAĞLANTI YÖNTEMİ İLE STATİK ANALİZİ Murat BİKÇE

Burada, (6.56) numaralı denklemlerin çözümü için matris ortogonalizasyon yöntemi kullanılacaktır. Bunun için, önce

$$Q_{j,i}L_j = Z_{j,i} \Rightarrow Q_{j,i} = \frac{Z_{j,i}}{L_j} \Rightarrow Q_{j,i}^* = \frac{Z_{j,i}^*}{L_j}$$

$$j = 1,2,\dots,m, \quad i = 1,2,\dots,n \quad (6.57)$$

şeklinde değişken dönüşümü yapılarak (6.56) numaralı denklemler, temel bilinmeyenler  $Z_{j,i}$  olmak üzere

$$\underbrace{\begin{bmatrix} \frac{\gamma_{1,i}^2}{L_{1,i}} & 0 & \dots & 0 \\ 0 & \frac{\gamma_{2,i}^2}{L_{2,i}} & \dots & 0 \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ 0 & 0 & \dots & \frac{\gamma_{m,i}^2}{L_{m,i}} \end{bmatrix}}_{\underline{A}} \underbrace{\begin{bmatrix} Z_{1,i}^* \\ Z_{2,i}^* \\ \dots \\ Z_{m,i}^* \end{bmatrix}}_{\underline{Z}^*} + \underbrace{\begin{bmatrix} -\alpha_{11}^2 & -\alpha_{12}^2 & \dots & -\alpha_{1m}^2 \\ -\alpha_{21}^2 & -\alpha_{22}^2 & \dots & -\alpha_{2m}^2 \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ -\alpha_{m1}^2 & -\alpha_{m2}^2 & \dots & -\alpha_{nm}^2 \end{bmatrix}}_{\underline{B}} \underbrace{\begin{bmatrix} Z_{1,i} \\ Z_{2,i} \\ \dots \\ Z_{m,i} \end{bmatrix}}_{\underline{Z}} = \underbrace{\begin{bmatrix} -M_{ei} \\ -M_{ei} \\ \dots \\ -M_{ei} \end{bmatrix}}_{\underline{M}_{ei}}$$

$$i = 1,2,\dots,n \quad (6.58)$$

şeklinde yazılabilir. Burada,  $\underline{A}$  ve  $\underline{B}$   $m \times m$ ,  $\underline{Z}$  ve  $\underline{M}_{ei}$  ise  $m \times 1$  boyutlu matrislerdir.

Bu denklemlerin homojen kısmı

$$\underline{A} \underline{Z}^* + \underline{B} \underline{Z} = \underline{0} \quad (6.59)$$

şeklinde yazılıp, bu özdeğer problemi çözülür ve her özdeğere karşı gelen özvektörler ilgili kolonlara yazılırsa T dönüşüm matrisi elde edilir. (6.51) numaralı denklem takımı,  $\underline{Z}$  vektörü katsayılarının sabit olmasından dolayı diyagonalize edilebilir. Bu amaçla  $\underline{Z}$ , dönüşüm matrisi kullanılarak,

$$\underline{Z} = \underline{T} \underline{Y} \quad (6.60)$$

şeklinde yazılır ve türevleriyle birlikte (6.58) numaralı denklemlerin matris formunda yerine konulursa

$$\underline{A} \underline{T} \underline{Y}'' + \underline{B} \underline{T} \underline{Y} = \underline{M}_{ei} \quad (6.61)$$

eşitliği elde edilir. Burada  $\underline{T}$  ve  $\underline{Y}$ , sırasıyla,  $m \times m$  boyutunda dönüşüm matrisi ve  $m \times 1$  boyutunda  $x$ 'e bağlı lineer bağımsız fonksiyonlardan oluşan bir matristir. Bu denklemin her iki tarafı  $\underline{T}^T$  ile çarpılırsa  $\underline{A}$  ve  $\underline{B}$  matrisleri köşegen şekle dönüşür ve

$$\tilde{\underline{A}} \underline{Y}'' + \tilde{\underline{B}} \underline{Y} = \tilde{\underline{M}}_{ei} \quad (6.62)$$

şeklinde girişimsiz bir diferansiyel denklem takımı elde edilir. Denklem (6.61)'in tüm  $i = 1, 2, \dots, n$  bölgeleri için genel çözümü

$$Y_{j,i} = C_{j,i} \text{Cosh} \left( \sqrt{\frac{\tilde{B}_{j,i}}{\tilde{A}_{j,i}}} x \right) + D_{j,i} \text{Sinh} \left( \sqrt{\frac{\tilde{B}_{j,i}}{\tilde{A}_{j,i}}} x \right) + \frac{1}{\tilde{B}_{j,i}} \left[ \sum_{k=0}^{\infty} \left( \frac{\tilde{B}_{j,i}}{\tilde{A}_{j,i}} \right)^{-k} \frac{d^{2k}}{dx^{2k}} (\tilde{M}_{ei}) \right]$$

$j = 1, 2, \dots, m, \quad i = 1, 2, \dots, n \quad (6.63)$

şeklinde verilebilir. Bu şekilde verilen çözüm  $M_{ei}$  dış kuvvet momentinin yüksekliğe bağlı olarak polinom şeklinde ifade edildiği her durum için geçerlidir. Bu nedenle, özel durumlar olarak literatürde ele alınan üniform yayılı, üçgen şeklinde yayılı ve tepede tekil yatay kuvvetler için de uygulanabilir. Başka fonksiyonlar ile verilen  $M_{ei}$  durumları için özel çözümlerin ele alınan probleme göre bulunması gerekir. (6.63) genel çözümünde boşluk sıra sayısı kadar  $C_{j,i}$  ve  $D_{j,i}$  sabitleri bulunmaktadır. Sınır koşullarını yazmaya başlamadan önce sınır koşullarında

kullanacağımız güçlendirici kirişteki kesme kuvveti değerini belirlememiz gerekmektedir.

### 6.5.3. Güçlendirici Kirişteki Kesme Kuvveti Değerinin Belirlenmesi

Herhangi bir bölge için yazılan uygunluk denklemleri

$$\begin{aligned}
 & L_j \frac{dy_i}{dx} - \frac{h_i a_j^2}{2C_{cb_i}} q_{j,i} - \frac{h_i a_j^3}{12EI_{c_{j,i}}} q_{j,i} \\
 & - \frac{1}{E} \sum_{t=i+1}^n \left[ \underbrace{\left\{ \frac{1}{A_{j,t}} \right\}_{x_{t+1}}^{x_t} \int (Q_{j,t} - Q_{j-1,t}) dx + \left\{ \frac{1}{A_{j+1,t}} \right\}_{x_{t+1}}^{x_t} \int (Q_{j,t} - Q_{j+1,t}) dx}_{\Psi} \right] \\
 & - \frac{1}{E} \left[ \left\{ \frac{1}{A_{j,i}} \right\}_{x_{i+1}}^x \int (Q_{j,i} - Q_{j-1,i}) dx + \left\{ \frac{1}{A_{j+1,i}} \right\}_{x_{i+1}}^x \int (Q_{j,i} - Q_{j+1,i}) dx \right] - \delta_{ij} = 0 \\
 & j = 1, 2, \dots, m, \quad i = 1, 2, \dots, n
 \end{aligned} \tag{6.64}$$

olarak verilmişti. Benzer şekilde o bölgenin üst sınırındaki güçlendirici kiriş için yazılan uygunluk denklemleri

$$\begin{aligned}
 & L_j \frac{dy_i}{dx} \Big|_{x=x_i} - \frac{a_j^2}{2C_{cb_i}} V_{j,i} - \frac{a_j^3}{12EI_{s_i}} V_{j,i} \\
 & - \frac{1}{E} \sum_{t=i}^n \left[ \underbrace{\left\{ \frac{1}{A_{j,t}} \right\}_{x_{t+1}}^{x_t} \int (Q_{j,t} - Q_{j-1,t}) dx + \left\{ \frac{1}{A_{j+1,t}} \right\}_{x_{t+1}}^{x_t} \int (Q_{j,t} - Q_{j+1,t}) dx}_{\Psi} \right] - \delta_{ij} = 0 \\
 & j = 1, 2, \dots, m, \quad i = 1, 2, \dots, n
 \end{aligned} \tag{6.65}$$

şeklinde olur. (6.64) denklemleri güçlendirici kirişin bulunduğu  $x_i$  konumu için tekrar yazılırsa

6. ÇOK SIRA BOŞLUKLU DEPREM PERDELERİNİN SÜREKLİ BAĞLANTI YÖNTEMİ İLE STATİK ANALİZİ

Murat BİKÇE

$$L_j \frac{dy_i}{dx} \Big|_{x=x_i} - \left( \frac{h_i a_j^2}{2C_{cbi}} + \frac{h_i a_j^3}{12EI_{c_j,i}} \right) q_{j,i} \Big|_{x=x_i} - \Psi - \delta_{ij} = 0$$

$$j = 1, 2, \dots, m, \quad i = 1, 2, \dots, n \quad (6.66)$$

denklemleri elde edilir. (6.65) ve (6.66) denklemleri taraf tarafa çıkarılır ve düzenleme yapılırsa

$$\left( \frac{a_j^2}{2C_{sbi}} + \frac{a_j^3}{12EI_{s_i}} \right) V_{j,i} = \left( \frac{h_i a_j^2}{2C_{cbi}} + \frac{h_i a_j^3}{12EI_{c_j,i}} \right) q_{j,i} \Big|_{x=x_i}$$

$$j = 1, 2, \dots, m, \quad i = 1, 2, \dots, n + 1 \quad (6.67)$$

bağıntıları elde edilir. (6.67) denklemlerinin sağ ve sol yanı H/H ile çarpılır ve

$$S_{j,i} = \frac{\left( \frac{h_i}{C_{cbi}} + \frac{h_i a_j}{6EI_{c_j,i}} \right) \frac{1}{H}}{\left( \frac{1}{C_{sbi}} + \frac{a_j}{6EI_{s_i}} \right) H} \quad j = 1, 2, \dots, m, \quad i = 1, 2, \dots, n + 1 \quad (6.68)$$

tanımı yapılırsa güçlendirici kirişlerdeki kesme kuvveti değerleri

$$V_{j,i} = S_{j,i} H q_{j,i} \Big|_{x=x_i} \quad j = 1, 2, \dots, m, \quad i = 1, 2, \dots, n + 1 \quad (6.69)$$

olarak bulunur. Bu ifadelerde (6.11) eşitlikleri yerine yazılırsa güçlendirici kirişlerdeki kesme kuvveti değerleri,  $Q_{j,i}$  kuvvetleri cinsinden

$$V_{j,i} = -S_{j,i} H \frac{dQ_{j,i}}{dx} \Big|_{x=x_i} \quad j = 1, 2, \dots, m, \quad i = 1, 2, \dots, n + 1 \quad (6.70)$$

olarak bulunur.



#### 6.5.4. Sınır Koşulları

a) Şekil 6.12’de görülen, j numaralı duvarın en üst bölgesi için, düşey kuvvetlerin dengesinden

$$Q_{j-1,l} - Q_{j,l} = \int_x^H (q_{j-1,l} - q_{j,l}) dx + (V_{j-1,l} - V_{j,l}) \quad j=1,2,\dots,m \quad (6.71)$$

denklemleri elde edilir. Burada da (6.10) ifadesinin geçerli olduğu unutulmamalıdır. (6.71) denklemlerinin bir sonucu olarak

$$Q_{j,l} = \int_x^H q_{j,l} dx + V_{j,l} \quad j=1,2,\dots,m \quad (6.72)$$

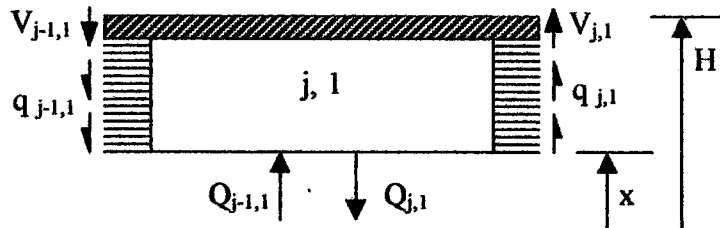
yazılabilir. (6.72) eşitliği bina tepe noktası için ( $x=H$ ) uygulanırsa sağ tarafta birinci terim düşer ve birinci tip sınır koşulları olarak

$$Q_{j,l} \Big|_{x=H} - V_{j,l} = 0 \quad j=1,2,\dots,m \quad (6.73)$$

elde edilir. Özel durum olarak perde tepesinde güçlendirici kiriş yoksa

$$Q_{j,l} \Big|_{x=H} = 0 \quad j=1,2,\dots,m \quad (6.74)$$

olacaktır.



Şekil 6.12. Perdenin tepesinde düşey kuvvetlerin dengesi

6. ÇOK SIRA BOŞLUKLU DEPREM PERDELERİNİN SÜREKLİ BAĞLANTI YÖNTEMİ İLE STATİK ANALİZİ Murat BİKÇE

b) Perdenin en alt bölgesi için uygunluk denklemleri

$$L_j \frac{dy_n}{dx} \Big|_{x=x_n} - \left( \frac{h_n a_j^2}{2C_{cb_n}} + \frac{h_n a_j^3}{12EI_{c_{j,n}}} \right) q_{j,n} - \frac{1}{E} \left[ \left\{ \frac{1}{A_{j,n}} \right\} \int_0^x (Q_{j,n} - Q_{j-1,n}) dx + \left\{ \frac{1}{A_{j+1,n}} \right\} \int_0^x (Q_{j,n} - Q_{j+1,n}) dx \right] - \delta_{fj} = 0$$

$$j = 1, 2, \dots, m \quad (6.75)$$

şeklinde yazılır ve  $x = 0$  için uygulanırsa

$$L_j \frac{dy_n}{dx} \Big|_{x=0} - \left( \frac{h_j a_j^2}{2C_{cb_n}} + \frac{h_j a_j^3}{12EI_{c_{j,n}}} \right) q_{j,n} \Big|_{x=0} - \delta_{fj} = 0 \quad j = 1, 2, \dots, m \quad (6.76)$$

denklemleri elde edilir.

Doğal olarak, taban sınır koşulunun yazılmasında duvar tabanındaki eşdeğer dönel rijitlik sabiti  $K_{rj}$  de etkili olacaktır. Bilindiği gibi perde tabanındaki eğim

$$\frac{dy_{j,n}}{dx} \Big|_{x=0} = \frac{M_{j,n}}{K_{rj}} \quad j = 1, 2, \dots, m+1 \quad (6.77)$$

olarak yazılabilir. Burada, duvarlardaki eşdeğer dönel rijitlik sabitleri

$$K_{rj} = k_j I_{b_j} \quad j = 1, 2, \dots, m+1 \quad (6.78)$$

şeklinde bulunur. Bu ifadelerde,  $k_j$  ve  $I_{b_j}$ , sırasıyla,  $j$  numaralı duvarın, zemin yatak katsayısı ve taban (sömel) atalet momentidir. Bu durumda (6.77) ifadesi, her duvar için, o duvarın taban (sömel) atalet momenti ile doğru orantılı olacaktır. Oysa ki, üçüncü kabule göre aynı yükseklikte bütün duvarların eğimleri ve eğrilikleri

6. ÇOK SIRA BOŞLUKLU DEPREM PERDELERİNİN SÜREKLİ BAĞLANTI YÖNTEMİ İLE STATİK ANALİZİ Murat BİKÇE

birbirlerine eşit olmalıdır. Bu çalışmada, belirli yükseklikte eğimin her duvar için aynı olması kabulünün tabanda da uygulanabilmesi amacıyla duvar taban (sömel) atalet momentlerinin tabandaki eğim ve eğrilikleri

$$\left. \frac{dy_{1,n}}{dx} \right|_{x=0} = \dots = \left. \frac{dy_{m+1,n}}{dx} \right|_{x=0} = \frac{M_{1,n}}{K_{r1}} = \dots = \frac{M_{m+1,n}}{K_{r_{m+1}}} \quad (6.79)$$

şeklinde eşit yapacak şekilde seçildiği, varsayılacaktır. Bu kabule göre perdenin eğimi

$$\left. \frac{dy_n}{dx} \right|_{x=0} = \frac{\sum_{j=1}^{m+1} M_{j,n}}{\sum_{j=1}^{m+1} K_{rj}} \quad j = 1, 2, \dots, m+1 \quad (6.80)$$

olarak alınacaktır. (6.15) ve (6.80) denklemlerinden

$$\left. \frac{dy_n}{dx} \right|_{x=0} = \frac{M_{en} - \sum_{j=1}^m Q_{j,n} L_j}{\sum_{j=1}^{m+1} K_{rj}} \quad (6.81)$$

eşitliği elde edilir. (6.81) ve (6.45) ifadeleri (6.76) denklemlerinde yerlerine konulacak olursa

$$\frac{L_j}{\sum_{j=1}^{m+1} K_{rj}} \left( M_{en} - \sum_{j=1}^m (Q_{j,n} L_j) \right) - \left( \frac{h_n a_j^2}{2C_{cbn}} + \frac{h_n a_j^3}{12EI_{c_{j,n}}} \right) q_{j,n} \Big|_{x=0} - \frac{Q_{j,n} - Q_{j-1,n}}{K_{v_j}} - \frac{Q_{j,n} - Q_{j+1,n}}{K_{v_{j+1}}} = 0 \quad j = 1, 2, \dots, m \quad (6.82)$$

6. ÇOK SIRA BOŞLUKLU DEPREM PERDELERİNİN SÜREKLİ BAĞLANTI YÖNTEMİ İLE STATİK ANALİZİ Murat BİKÇE

denklemleri elde edilir. (6.11) ifadeleri (6.82) denklemlerinde yerlerine konular ve düzenlenirse

$$\begin{aligned} & \frac{L_j}{\sum_{j=1}^{m+1} K_{rj}} \left( M_{en} - \sum_{j=1}^m (Q_{j,n}|_{x=0} L_j) \right) + \left( \frac{h_n a_j^2}{2C_{cbn}} + \frac{h_n a_j^3}{12EI_{c_{j,n}}} \right) \frac{dQ_{j,n}}{dx} \Big|_{x=0} \\ & - \left( \frac{1}{K_{v_j}} + \frac{1}{K_{v_{j+1}}} \right) Q_{j,n} \Big|_{x=0} + \frac{1}{K_{v_j}} Q_{j-1,n} \Big|_{x=0} + \frac{1}{K_{v_{j+1}}} Q_{j+1,n} \Big|_{x=0} = 0 \\ & j = 1, 2, \dots, m \end{aligned} \quad (6.83)$$

olarak ikinci tip sınır koşulları elde edilmiş olur.

Özel durum olarak perde tabanı rijit ise temel rijitlik sabitleri sonsuz büyüklükte olacağından (6.83) denklemlerindeki 1., 3., 4. ve 5. terimler düşer ve sınır koşulları

$$\frac{dQ_{j,n}}{dx} \Big|_{x=0} = 0 \quad j = 1, 2, \dots, m \quad (6.84)$$

şeklinde elde edilir.

c) Şekil 6.13'te görülen  $x_i$  yükseklikteki güçlendirici kiriş için düşey yöndeki kuvvetlerin dengesinden

$$Q_{j,i-1} \Big|_{x=x_i} + V_{j,i} - Q_{j,i} \Big|_{x=x_i} = 0 \quad j = 1, 2, \dots, m, \quad i = 2, 3, \dots, n \quad (6.85)$$

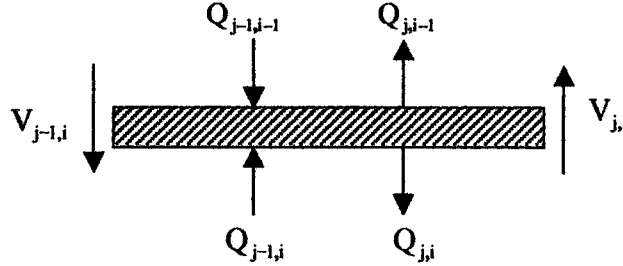
denklemleri elde edilir. (6.70) ifadeleri (6.85) denklemlerinde yerlerine konularsa

$$Q_{j,i-1} \Big|_{x=x_i} - S_{j,i} H \frac{dQ_{j,i}}{dx} \Big|_{x=x_i} - Q_{j,i} \Big|_{x=x_i} = 0 \quad j = 1, 2, \dots, m, \quad i = 2, 3, \dots, n \quad (6.86)$$

6. ÇOK SIRA BOŞLUKLU DEPREM PERDELERİNİN SÜREKLİ BAĞLANTI YÖNTEMİ İLE STATİK ANALİZİ

Murat BİKÇE

şeklinde üçüncü tip sınır koşulları da elde edilmiş olur.



Şekil 6.13.  $x_i$  yükseklikteki güçlendirici kirişe etki eden düşey kuvvetler

d) Sırası ile, (i-1) ve i bölgeleri için uygunluk denklemleri

$$\begin{aligned}
 & L_j \frac{dy_{i-1}}{dx} - \frac{h_{i-1} a_j^2}{2C_{cb_{i-1}}} q_{j,i-1} - \frac{h_{i-1} a_j^3}{12EI_{c_{j,i-1}}} q_{j,i-1} \\
 & - \frac{1}{E} \sum_{t=i}^n \left[ \left\{ \frac{1}{A_{j,t}} \right\}_{x_{t+1}}^{x_t} \int_{x_{t+1}}^{x_t} (Q_{j,t} - Q_{j-1,t}) dx + \left\{ \frac{1}{A_{j+1,t}} \right\}_{x_{t+1}}^{x_t} \int_{x_{t+1}}^{x_t} (Q_{j,t} - Q_{j+1,t}) dx \right] \\
 & - \frac{1}{E} \left[ \left\{ \frac{1}{A_{j,i-1}} \right\}_{x_i}^x \int_{x_i}^x (Q_{j,i-1} - Q_{j-1,i-1}) dx + \left\{ \frac{1}{A_{j+1,i-1}} \right\}_{x_{i+1}}^x \int_{x_{i+1}}^x (Q_{j,i-1} - Q_{j+1,i-1}) dx \right] - \delta_{ij} = 0 \\
 & j = 1, 2, \dots, m, \quad i = 2, 3, \dots, n
 \end{aligned} \tag{6.87}$$

$$\begin{aligned}
 & L_j \frac{dy_i}{dx} - \frac{h_i a_j^2}{2C_{cb_i}} q_{j,i} - \frac{h_i a_j^3}{12EI_{c_{j,i}}} q_{j,i} \\
 & - \frac{1}{E} \sum_{t=i+1}^n \left[ \left\{ \frac{1}{A_{j,t}} \right\}_{x_{t+1}}^{x_t} \int_{x_{t+1}}^{x_t} (Q_{j,t} - Q_{j-1,t}) dx + \left\{ \frac{1}{A_{j+1,t}} \right\}_{x_{t+1}}^{x_t} \int_{x_{t+1}}^{x_t} (Q_{j,t} - Q_{j+1,t}) dx \right] \\
 & - \frac{1}{E} \left[ \left\{ \frac{1}{A_{j,i}} \right\}_{x_{i+1}}^x \int_{x_{i+1}}^x (Q_{j,i} - Q_{j-1,i}) dx + \left\{ \frac{1}{A_{j+1,i}} \right\}_{x_{i+1}}^x \int_{x_{i+1}}^x (Q_{j,i} - Q_{j+1,i}) dx \right] - \delta_{ij} = 0 \\
 & j = 1, 2, \dots, m, \quad i = 2, 3, \dots, n
 \end{aligned} \tag{6.88}$$

6. ÇOK SIRA BOŞLUKLU DEPREM PERDELERİNİN SÜREKLİ BAĞLANTI YÖNTEMİ İLE STATİK ANALİZİ Murat BİKÇE

şeklinde yazılır ve her iki denklem de  $x_i$  yüksekliği için uygulanacak olursa, sırasıyla,

$$L_j \frac{dy_{i-1}}{dx} \Big|_{x=x_i} = \left( \frac{h_{i-1} a_j^2}{2C_{cb_{i-1}}} + \frac{h_{i-1} a_j^3}{12EI_{c_{j,i-1}}} \right) q_{j,i-1} \Big|_{x=x_i} + \frac{1}{E} \sum_{t=i+1}^n \left[ \left\{ \frac{1}{A_{j,t}} \right\}_{x_{t+1}}^{x_t} \int_{x_{t+1}}^{x_t} (Q_{j,t} - Q_{j-1,t}) dx + \left\{ \frac{1}{A_{j+1,t}} \right\}_{x_{t+1}}^{x_t} \int_{x_{t+1}}^{x_t} (Q_{j,t} - Q_{j+1,t}) dx \right] + \delta_{ij} = 0$$

$$j = 1, 2, \dots, m, \quad i = 2, 3, \dots, n \quad (6.89)$$

$$L_j \frac{dy_i}{dx} \Big|_{x=x_i} = \left( \frac{h_i a_j^2}{2C_{cb_i}} + \frac{h_i a_j^3}{12EI_{c_{j,i}}} \right) q_{j,i} \Big|_{x=x_i} + \frac{1}{E} \sum_{t=i+1}^n \left[ \left\{ \frac{1}{A_{j,t}} \right\}_{x_{t+1}}^{x_t} \int_{x_{t+1}}^{x_t} (Q_{j,t} - Q_{j-1,t}) dx + \left\{ \frac{1}{A_{j+1,t}} \right\}_{x_{t+1}}^{x_t} \int_{x_{t+1}}^{x_t} (Q_{j,t} - Q_{j+1,t}) dx \right] + \delta_{ij} = 0$$

$$j = 1, 2, \dots, m, \quad i = 2, 3, \dots, n \quad (6.90)$$

denklemleri elde edilir. Her iki denklem  $x = x_i$  yüksekliğinde yazıldığından eğimleri birbirine eşit olup

$$\frac{dy_i}{dx} \Big|_{x=x_i} = \frac{dy_{i-1}}{dx} \Big|_{x=x_i} \quad i = 2, 3, \dots, n \quad (6.91)$$

bağıntıları yazılabilir. (6.89) ve (6.90) denklemlerinin ikinci tarafları birbirine eşitlenirse

$$\left( \frac{h_i a_j^2}{2C_{cb_i}} + \frac{h_i a_j^3}{12EI_{c_{j,i}}} \right) q_{j,i} \Big|_{x=x_i} - \left( \frac{h_{i-1} a_j^2}{2C_{cb_{i-1}}} + \frac{h_{i-1} a_j^3}{12EI_{c_{j,i-1}}} \right) q_{j,i-1} \Big|_{x=x_i} = 0$$

$$j = 1, 2, \dots, m, \quad i = 2, 3, \dots, n \quad (6.92)$$

6. ÇOK SIRA BOŞLUKLU DEPREM PERDELERİNİN SÜREKLİ BAĞLANTI  
YÖNTEMİ İLE STATİK ANALİZİ Murat BİKÇE

denklemleri elde edilir. (6.11) ifadeleri (6.92) denklemlerinde yerlerine konulursa, dördüncü tip sınır koşulları da

$$\left( \frac{h_i a_j^2}{2C_{cb_i}} + \frac{h_i a_j^3}{12EI_{c_{j,i}}} \right) \frac{dQ_{j,i}}{dx} \Big|_{x=x_i} - \left( \frac{h_{i-1} a_j^2}{2C_{cb_{i-1}}} + \frac{h_{i-1} a_j^3}{12EI_{c_{j,i-1}}} \right) \frac{dQ_{j,i-1}}{dx} \Big|_{x=x_i} = 0$$

$$j = 1, 2, \dots, m, \quad i = 2, 3, \dots, n \quad (6.93)$$

şeklinde elde edilmiş olur. Özel durum olarak birbirini izleyen iki bölgenin kat yükseklikleri, bağlantı kirişi atalet momenti ve bağlantı kirişi duvar bağlantısı esneklikleri eşit ise, bu bağıntılar

$$\frac{dQ_{j,i}}{dx} \Big|_{x=x_i} = \frac{dQ_{j,i-1}}{dx} \Big|_{x=x_i} \quad j = 1, 2, \dots, m, \quad i = 2, 3, \dots, n \quad (6.94)$$

şekline döndürür.

Boşluk sayısı  $m$  ve bölge sayısı  $n$  olduğuna göre  $2 \times m \times n$  sayıda sınır koşuluna ihtiyaç olacaktır. Perdenin en üst bölgesinde  $m$  adet, perdenin en alt bölgesinde  $m$  adet,  $x_i$  yüksekliğindeki güçlendirici kiriş üzerinde düşey kuvvetlerin dengesinden  $m \times (n-1)$  adet ve perdenin  $x_i$  yüksekliğinde  $(i-1)$  ve  $i$  bölgelerinin eğimlerinin aynı olmasından  $m \times (n-1)$  adet olmak üzere toplam  $2 \times m \times n$  adet sınır koşulu yazılarak bilinmeyen integrasyon sabitleri elde edilir. İntegrasyon sabitleri yardımıyla (6.63) genel çözümden bulunan  $Y_{j,i}$  değerleri, (6.60) denkleminde yerlerine konular ve bulunan ifade (6.57) numaralı denklemlerin ikincisinde kullanılırsa  $Q_{j,i}$  bilinmeyen fonksiyonları belirlenmiş olur. Perde tabanında bir güçlendirici kiriş olduğu zaman  $Q_{j,i}$  o güçlendirici kirişteki kesme kuvveti kadar artırılmalıdır.

### 6.6. Yatay Yerdeğiştirme Fonksiyonunun Belirlenmesi

Elde edilen  $Q_{j,i}$  ifadeleri (6.18) numaralı moment eğrilik ilişkilerinde yerlerine konulup iki kez integre edilirse

$$y_i = \frac{1}{EI_i} \int \left[ \int \left( M_{ei} - \sum_{j=1}^m Q_{j,i} L_j \right) dx \right] dx + H_i x + G_i \quad i = 1, 2, \dots, n \quad (6.95)$$

ifadeleri elde edilir. Bu denklemlerdeki toplam  $2 \times n$  integrasyon sabiti,  $x_i$  yükseklikte komşu iki bölge yanal deplasmanlarının ve türevlerinin

$$\begin{aligned} y_i \Big|_{x=x_i} &= y_{i-1} \Big|_{x=x_i} \quad i = 2, 3, \dots, n \\ \frac{dy_i}{dx} \Big|_{x=x_i} &= \frac{dy_{i-1}}{dx} \Big|_{x=x_i} \quad i = 2, 3, \dots, n \end{aligned} \quad (6.96)$$

şeklinde eşitliği ile perde tabanında yanal deplasmanın

$$y_n \Big|_{x=0} = \frac{W}{\sum_{j=1}^{m+1} K_{hj}} \quad (6.97)$$

ve dönmenin

$$\frac{dy_n}{dx} \Big|_{x=0} = \frac{\sum_{j=1}^{m+1} M_{j,n}}{\sum_{j=1}^{m+1} K_{rj}} \quad (6.98)$$

olması koşullarından bulunur. Eğer temel rijit ise (6.97-98) sınır koşulları, sırasıyla,



6. ÇOK SIRA BOŞLUKLU DEPREM PERDELERİNİN SÜREKLİ BAĞLANTI  
YÖNTEMİ İLE STATİK ANALİZİ Murat BİKÇE

$$y_n|_{x=0} = 0 \quad (6.99)$$

$$\frac{dy_n}{dx}|_{x=0} = 0 \quad (6.100)$$

şekline dönüştür.

Yukarıdaki ifadelerden elde edilen sınır koşullarını kullanarak  $2xn$  adet eşitliğin ortak çözümünden toplam  $2xn$  adet integrasyon sabiti bulunur. Bulunan bu sabitler (6.95) denklemlerinde yerlerine yazılırsa tüm bölgelere ait yatay yerdeğiştirme fonksiyonları belirlenmiş olur.

## 7. ÇOK SIRA BOŞLUKLU DEPREM PERDELERİNİN SERBEST TİTREŞİM ANALİZİ

### 7.1. Giriş

Tasarım sırasında, bir yapının serbest titreşim özelliklerini bilmek, dinamik yatay yüklerin ele alınışı ve ona göre hesap yapılması için büyük önem taşır. Bu konuda Li ve Choo (1984), güçlendirici kirişsiz tek sıra boşluklu perdelerin serbest titreşim analizini yaparak serbest titreşim frekanslarını ve mod şekillerini vermişlerdir. Li ve Choo (1996), elastik temele oturan, güçlendirici kirişli tek sıra boşluklu perdelerin serbest titreşim analizini yaptıkları çalışmalarında önemli analitik hatalar yapmışlardır. Aksoğan, Arslan ve Salari (1999), bölgeler arası kesit değişikliğini gözönüne alarak, sonlu sayıda güçlendirici kirişli olan elastik temele oturmuş tek sıra boşluklu perdelerin dinamik analizini yapmışlardır. Literatürde çok sıra boşluklu perdelerin öntasarımı konusunda SBY kullanılarak yapılan dinamik çalışmaya rastlanmamıştır.

Bu çalışmada, önce, elastik temele oturan, sonlu sayıda güçlendirici kirişli olan çok sıra boşluklu perdelerin serbest titreşim analizi yapılmış, daha sonra da, zamanla değişen yükler etkisindeki çok sıra boşluklu perdelerin zorlanmış titreşimleri mod superpozisyon tekniği ve Newmark yöntemi kullanılarak incelenmiştir.

Eğer SBY çok sıra boşluklu perdeler doğrudan doğruya uygulanacak olursa yapılacak dinamik analiz sonucunda her bölge için yazılacak yüksek dereceden diferansiyel denklemlerin hepsinin ortak çözülmesi gerektiğinden kapalı çözüm zor veya olanaksızdır. Bu sorunu ortadan kaldırmak amacıyla problem özel bir uygulama ile çözülecektir.

Bu çalışmada kullanılan özel yöntem iki adımdan oluşur. Birinci adımda elastik temele oturan çok sıra boşluklu perde ayrı kütlelerden oluşan bir toplanmış kütle sistemine dönüştürülür. Kütle sayısı sistemin serbestlik derecesini oluşturur ve çözümü yapan kişi tarafından serbestçe seçilebilir. Ancak, her bir kütlenin büyüklüğü

## 7. ÇOK SIRA BOŞLUKLU DEPREM PERDELERİNİN SERBEST TİTREŞİM ANALİZİ

Murat BİKÇE

yapının yüksekliği boyunca ortalama kütle dağılımından elde edilir ve böylece yapının kütle matrisi bir köşegen matris olarak bulunur.

Bundan sonra sıra sistemin rijitlik matrisinin bulunmasına gelmiştir. Bunun için ayrı kütlelerin her birinin yatay yerdeğiştirmeleri doğrultusunda birim yük ile yüklenmeleri ve yerdeğiştirmelerinin bulunması gerekir. Bu yüklemelerin her biri için SBY kullanılarak boşluk sıralarındaki bağlantı kirişlerinin ve güçlendirici kirişlerin dönüm noktaları olan orta noktalarında uygunluk denklemleri yazılır. Boşluk sayısı kadar denklemden oluşan ikinci dereceden, lineer, girişimli diferansiyel denklem takımı, güçlendirici kirişlerle ve/veya perde kalınlığının değiştirilmesiyle iki ve daha fazla bölgeye ayrılan çok sıra boşluklu perdelerde her bölge için tekrarlanır. Ortak çözülmesi gereken bu diferansiyel denklem takımı değişken dönüşümü yapılarak özdeğer problemi şekline dönüştürülür. Daha sonra katsayılar matrisinin köşegen şekle getirilmesiyle girişimsiz forma dönüşen denklemler çözülür. Bu analiz sırasında temelin düşey, yatay ve dönöl rijitlikleri de gözönüne alınarak tabanda sınır koşulları yazılır. Yatay yerdeğiştirmelerin bulunması sırasında, bölgeler arasında hem komşu iki bölgenin hem de aralarındaki güçlendirici kirişin aynı yatay yerdeğiştirme ve eğime sahip olmaları koşulları uygulanır.

Çok sıra boşluklu perdenin, tüm birim yükleme durumları için yerdeğiştirme şekilleri bulunduktan sonra esneklik matrisi doğrudan doğruya yazılabilir ve tersi alınarak da rijitlik matrisi bulunur. Rijitlik matrisi ve toplanmış kütle kabulü ile elde edilen kütle matrislerinin serbest titreşim denkleminde yerlerine konulması ile sistemin doğal frekansları ve bunlara ait şekil vektörleri elde edilir.

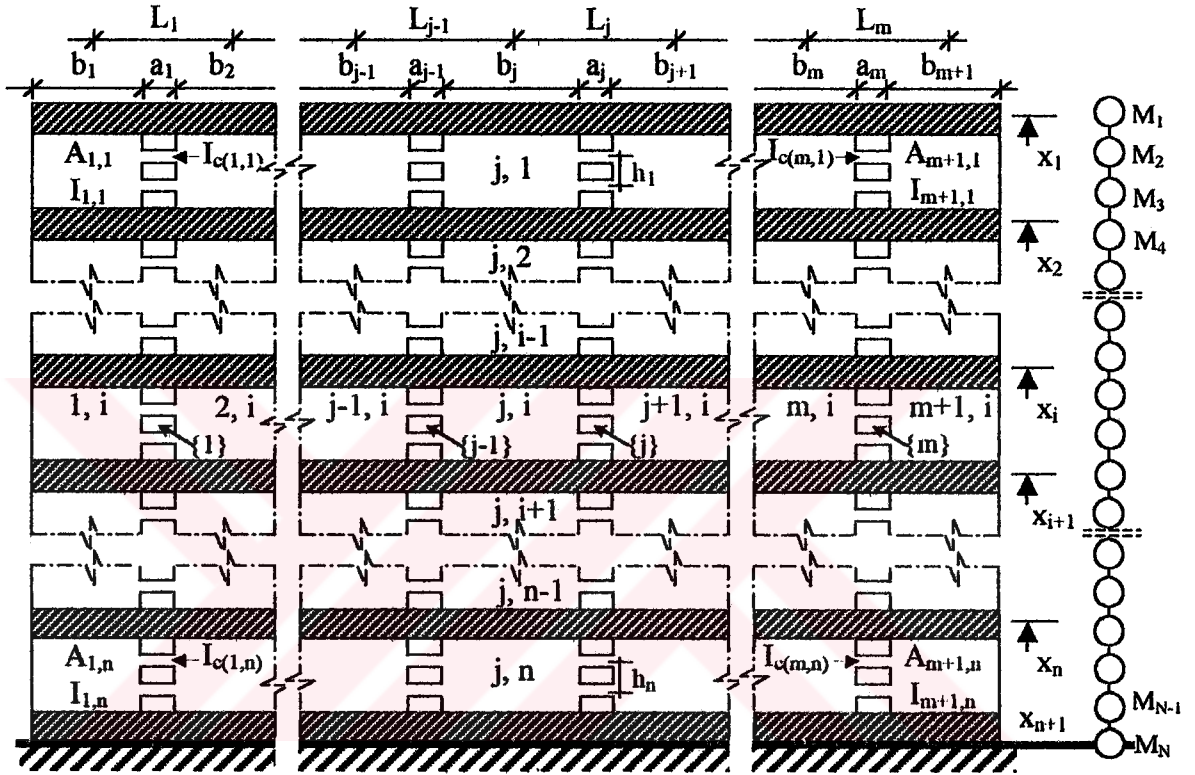
### 7.2. Kütle Matrisinin Oluşturulması

Problemin çözümü için çok sıra boşluklu perde, önce, ayrı kütlelerle modellenecek, sonra da, SBY kullanılacaktır. Çok sıra boşluklu perdenin kütle matrisi bir köşegen matris olarak toplanmış kütle kabulü ile bulunmaktadır. Her bölgeye uygun sayıda toplanmış kütle yerleştirilecek bölge toplam kütlelerinin bu sayıya bölünmesi ile bölgedeki kütlelerin büyüklüğü bulunacak, uçlardaki kütlelerin büyüklüğü ise diğer kütlelerin yarısına eşit olacaktır (Şekil 7.1). Bu işlemler tüm

## 7. ÇOK SIRA BOŞLUKLU DEPREM PERDELERİNİN SERBEST TİTREŞİM ANALİZİ

Murat BİKÇE

bölgeler için yapıp güçlendirici kirişlerden gelen katkılar da hesaplandıktan sonra yapının  $M$  kütle matrisi köşegen matris olarak bulunur. Bu matrisin boyutu, kütle sayısı  $N$  olmak üzere,  $N \times N$  olur.



Şekil 7.1. Güçlendirici kirişleri olan çok sıra boşluklu perde için toplanmış kütle modeli

Her kütle için düşey ve dönel atalet etkileri gözardı edilerek yalnız yatay yerdeğiştirme doğrultusunda serbestlik derecesi gözönüne alınır. Bu kabul, yüksek modlarda küçük hatalar doğurmakla birlikte kütle sayısının artırılmasıyla elde edilen sonucun hassasiyeti de artmaktadır. Bu çalışmada, kütlelerin düşey ve dönel atalet etkilerinden daha önemli olan temellerin elastikliği gözönüne alınmıştır. Bunun için her duvar temeli yatay, düşey ve dönel yay ile modellenmiştir.

### 7.3. Rijitlik Matrisinin Oluşturulması

#### 7.3.1. Giriş

SBY’de yapılan önemli kabuller şunlardır. Bağlantı kirişlerinin boy değişimleri gözardı edildiğinden aynı yükseklikte tüm duvarların yatay yerdeğiştirmeleri, eğimleri ve eğrilikleri birbirine eşittir. Bağlantı kirişlerinin ve güçlendirici kirişlerin moment sıfır noktaları orta noktalarıdır. SBY’de eğilme rijitliği  $EI_{cj,i}$  olan bağlantı kirişlerinin yerine eğilme rijitliliği birim yükseklik için  $EI_{cj,i}/h_i$  olan eşdeğer rijitlikteki sürekli yayılı tabakalar düşünülür. Burada,  $E$ ,  $I_{cj,i}$  ve  $h_i$ , sırasıyla, elastisite modülü,  $i$  bölgesinde  $j$  numaralı boşluktaki bağlantı kirişlerinin atalet momenti ve  $i$  bölgesindeki kat yüksekliğidir. Aynı şekilde, bağlantı kirişlerindeki kesme kuvvetlerinin yerine sürekli yayılı tabakanın moment sıfır noktaları boyunca birim boydaki değeri  $q_{j,i}$  olan sürekli yayılı kesme kuvveti fonksiyonu düşünülür.

Esneklik matrisi her toplanmış kütleli bölgenin bulunduğu yükseklikteki yatay yerdeğiştirme doğrultusunda birim kuvvet uygulayarak bulunacaktır. Her birim yük uygulamasından elde edilen yatay yerdeğiştirmeler esneklik matrisinin bir kolonunu oluşturacaktır. Böylece, bir genel birim yükleme için yapılan analiz tüm esneklik matrisini bulmak için yeterlidir. Esneklik matrisinin tersi alınarak da rijitlik matrisi bulunur.

Bölüm 6’deki temel formüller bu bölüm için de geçerli olduğundan sadece birim yüklemeden dolayı değışikliğe uğrayan formüller bu bölümde ele alınacaktır.

#### 7.3.2. Perde Eksenel Kuvvet Fonksiyonunun Bulunması

Bu çalışmada, dikkat edilmesi gereken bir nokta,  $i$  bölgesinde  $j$  numaralı duvar üzerinde eksenel kuvvet yerine duvarın komşu boşluklarındaki kesme kuvvetlerinin tepeden itibaren toplamları olan  $Q_{j,i}$  ve  $Q_{j-1,i}$  fonksiyonlarının temel bilinmeyenler olarak ele alınıyor olmasıdır. Bunların arasındaki fark

7. ÇOK SIRA BOŞLUKLU DEPREM PERDELERİNİN SERBEST TİTREŞİM ANALİZİ Murat BİKÇE

$$T_{j,i} = Q_{j-1,i} - Q_{j,i} \quad j=1,2,\dots,m+1, \quad i=1,2,\dots,n \quad (7.1)$$

şeklinde  $i$  bölgesindeki  $j$  numaralı duvarın aksenal kuvvetini verecektir.

İşlemler sırasında birim yük daha önce tanımlanan bölgelerin birinin içine rastladığında o bölge iki yeni bölgeye ayrılır. Uygunluk denklemleri yazılırken ifade kolaylığı sağlaması için Macaulay parantezleri kullanılacaktır. Macaulay parantezleri

$$\left. \begin{array}{l} x > x' \text{ için } \langle x - x' \rangle^n = (x - x')^n \text{ ve } \langle x - x' \rangle^0 = 1 \\ x \leq x' \text{ için } \langle x - x' \rangle^n = 0 \quad \text{ve} \quad \langle x - x' \rangle^0 = 0 \end{array} \right\} \quad (7.2)$$

şeklinde tanımlanmaktadır. Buna göre  $M_{ei}$  moment değeri birim yükleme durumu için

$$M_{ei} = \langle H_p - x \rangle^1 \quad (7.3)$$

olarak yazılabilir. Macaulay parantezi tanımına göre

$$\left. \begin{array}{l} H_p > x \text{ ise } \langle H_p - x \rangle^1 = (H_p - x) \\ H_p \leq x \text{ ise } \langle H_p - x \rangle^1 = 0 \end{array} \right\} \quad (7.4)$$

olduğu için (7.3) denklemi, yükün üzerindeki bölge için sıfır, altındaki bölge için yükün uygulandığı nokta ile moment alınan noktanın yükseklik farkının birim yük ile çarpımına eşit olduğu anlaşılacaktır.

Herhangi bir  $x$  yüksekliğinde çok sıra boşluklu perde için moment-eğrilik ilişkisi

$$EI_i \frac{d^2 y_i}{dx^2} = \langle H_p - x \rangle^1 - \sum_{j=1}^m Q_{j,i} L_j \quad i=1,2,\dots,n \quad (7.5)$$

## 7. ÇOK SIRA BOŞLUKLU DEPREM PERDELERİNİN SERBEST TİTREŞİM ANALİZİ

Murat BİKÇE

şeklinde yazılabilir. Burada  $H_p$ ,  $L_j$  ve  $I_i$ , sırasıyla, birim yükün bulunduğu yükseklik,  $j$  ve  $(j+1)$  numaralı duvar eksenleri arasındaki uzaklık ve  $i$  bölgesindeki duvar atalet momentleri toplamıdır.

Çok sıra boşluklu perdenin  $j$  numaralı boşluğunda sürekli yayılı tabakaların moment sıfır noktaları olan orta noktalarının bina boyunca kesildiği düşünülecektir. Uygunluk denklemleri, perdenin herhangi bir  $i$  bölgesinde kesilen uçların yaptığı bağıl düşey yerdeğiştirme toplamalarının sıfıra eşitlenmesi ile

$$\begin{aligned}
 & L_j \frac{dy_i}{dx} - \frac{h_i a_j^2}{2C_{cbi}} q_{j,i} - \frac{h_i a_j^3}{12EI_{cj,i}} q_{j,i} \\
 & - \frac{1}{E} \sum_{k=i+1}^n \left[ \left\{ \frac{1}{A_{j,k}} \right\}_{x_{k+1}}^{x_k} \int_{x_{k+1}}^{x_k} (Q_{j,k} - Q_{j-1,k}) dx + \left\{ \frac{1}{A_{j+1,k}} \right\}_{x_{k+1}}^{x_k} \int_{x_{k+1}}^{x_k} (Q_{j,k} - Q_{j+1,k}) dx \right] \\
 & - \frac{1}{E} \left[ \left\{ \frac{1}{A_{j,i}} \right\}_{x_{i+1}}^x \int_{x_{i+1}}^x (Q_{j,i} - Q_{j-1,i}) dx + \left\{ \frac{1}{A_{j+1,i}} \right\}_{x_{i+1}}^x \int_{x_{i+1}}^x (Q_{j,i} - Q_{j+1,i}) dx \right] - \delta_{fi} = 0 \\
 & j = 1, 2, \dots, m, \quad i = 1, 2, \dots, n
 \end{aligned} \tag{7.6}$$

şeklinde bulunur. Bu uygunluk denklemi, (6.10) eşitliği geçerli kalmak üzere tüm boşluklar için yazılabilir. Burada  $a_j$ ,  $C_{cbi}$ ,  $I_{cj,i}$ ,  $A_{j,i}$  ve  $\delta_{fi}$ , sırasıyla,  $j$  numaralı boşluk genişliği,  $i$  bölgesinde kiriş-duvar bağlantı esnekliği,  $i$  bölgesinin  $j$  numaralı boşluğundaki bağlantı kirişi atalet momenti,  $i$  bölgesindeki  $j$  numaralı duvarın en kesit alanı ve temel bağıl düşey yerdeğiştirmesidir. Bu denklemlerdeki terimler, kesilen kiriş uçlarının, sırasıyla, perdenin eğilmesinden, kiriş-duvar bağlantısının dönmesinden, bağlantı kirişlerinin kesme kuvvetiyle eğilmesinden, duvarların tabandan  $i$  bölgesine kadar olan kısımlarının boy değişimlerinden,  $i$  bölgesinde duvarların boy değişiminden ve temeldeki bağıl hareketten doğan bağıl düşey yerdeğiştirmelerdir. Denklem (7.6)'nın  $x$ 'e göre türevi alınıp, (6.11) ve (7.5) ifadeleri yerlerine yazılarak düzenlenirse



7. ÇOK SIRA BOŞLUKLU DEPREM PERDELERİNİN SERBEST TİTREŞİM ANALİZİ Murat BİKÇE

$$\left[ \gamma_{j,i}^2 Q_{j,i}'' \right]_{m \times 1} - \left[ \alpha_{jk}^2 \right]_{m \times m} \left[ Q_{j,i} L_j \right]_{m \times 1} = - \left[ \langle H_p - x \rangle^1 \right]_{m \times 1}$$

$$j = 1, 2, \dots, m, \quad i = 1, 2, \dots, n \quad (7.7)$$

şeklinde matris formda Q için ikinci mertebeden homojen olmayan lineer bir diferansiyel denklem takımının genel ifadesi bulunmuş olur. Burada,

$$\alpha_{jk}^2 = \left( 1 + \frac{I_i}{L_j^2} \left( \frac{1}{A_{j,i}} + \frac{1}{A_{j+1,i}} \right) \right) \quad (j = k)$$

$$\alpha_{jk}^2 = \left( 1 - \frac{I_i}{L_j L_{j-1} A_{j,i}} \right) \quad (j = k+1)$$

$$\alpha_{jk}^2 = \left( 1 - \frac{I_i}{L_j L_{j+1} A_{j+1,i}} \right) \quad (j = k-1)$$

$$\alpha_{jk}^2 = 1 \quad (j < k-1)$$

$$\alpha_{jk}^2 = 1 \quad (j > k+1)$$

$$\gamma_{j,i}^2 = \frac{EI_i}{L_j} \left( \frac{h_i a_j^2}{2C_{cbi}} + \frac{h_i a_j^3}{12EI_{ej,i}} \right) \quad k = 1, 2, \dots, m, \quad j = 1, 2, \dots, m, \quad i = 1, 2, \dots, n \quad (7.8)$$

tanımları geçerlidir. Görüldüğü gibi (7.7) numaralı diferansiyel denklem takımı girişimlidir ve boşluk sayısına bağlı olarak matris boyutları büyüdüğünden ikiden fazla boşluk sıra sayısı için kapalı çözümünü aramak pratikten çok uzaktır. Burada, (7.7) numaralı denklemlerin çözümü için matris ortogonalizasyon yöntemi kullanılacaktır. Bunun için, önce

$$Q_{j,i} L_j = Z_{j,i} \Rightarrow Q_{j,i} = \frac{Z_{j,i}}{L_j} \Rightarrow Q_{j,i}'' = \frac{Z_{j,i}''}{L_j}$$

$$j = 1, 2, \dots, m, \quad i = 1, 2, \dots, n \quad (7.9)$$



## 7. ÇOK SIRA BOŞLUKLU DEPREM PERDELERİNİN SERBEST TİTREŞİM ANALİZİ

Murat BİKÇE

şeklinde değişken değişimi yapılarak (7.7) numaralı denklemler, temel bilinmeyenler  $Z_{j,i}$  olmak üzere, daha açık olarak

$$\underbrace{\begin{bmatrix} \gamma_{1,i}^2 & 0 & \dots & 0 \\ L_{1,i} & & & \\ 0 & \gamma_{2,i}^2 & \dots & 0 \\ & L_{2,i} & & \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & 0 & \dots & \gamma_{m,i}^2 \\ & & & L_{m,i} \end{bmatrix}}_{\underline{A}} \underbrace{\begin{bmatrix} Z''_{1,i} \\ Z''_{2,i} \\ \vdots \\ Z''_{m,i} \end{bmatrix}}_{\underline{Z}''} + \underbrace{\begin{bmatrix} -\alpha_{11}^2 & -\alpha_{12}^2 & \dots & -\alpha_{1m}^2 \\ -\alpha_{21}^2 & -\alpha_{22}^2 & \dots & -\alpha_{2m}^2 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ -\alpha_{m1}^2 & -\alpha_{m2}^2 & \dots & -\alpha_{mm}^2 \end{bmatrix}}_{\underline{B}} \underbrace{\begin{bmatrix} Z_{1,i} \\ Z_{2,i} \\ \vdots \\ Z_{m,i} \end{bmatrix}}_{\underline{Z}} = \underbrace{\begin{bmatrix} -\langle H_p - x \rangle^1 \\ -\langle H_p - x \rangle^1 \\ \vdots \\ -\langle H_p - x \rangle^1 \end{bmatrix}}_{\underline{M}_{ei}}$$

$$i = 1, 2, \dots, n \quad (7.10)$$

şeklinde yazılabilir. Burada,  $\underline{A}$  ve  $\underline{B}$   $m \times m$ ,  $\underline{Z}$  ve  $\underline{M}_{ei}$  ise  $m \times 1$  boyutlu matrislerdir.

Bu denklemin homojen kısmı

$$\underline{A} \underline{Z}'' + \underline{B} \underline{Z} = \underline{0} \quad (7.11)$$

şeklinde yazılarak bu özdeğer problemi çözülür ve her özdeğere karşı gelen özvektörler ilgili kolonlara yazılırsa  $\underline{T}$  dönüşüm matrisi elde edilir. Denklem (7.10),  $\underline{Z}$  vektörü katsayılarının sabit olmasından dolayı diyagonalize edilebilir. Bu amaçla  $\underline{Z}$ , dönüşüm matrisi kullanılarak

$$\underline{Z} = \underline{T} \underline{Y} \quad (7.12)$$

şeklinde ifade edilir ve (7.10) numaralı denklemin matris formunda yerine konulursa

$$\underline{A} \underline{T} \underline{Y}'' + \underline{B} \underline{T} \underline{Y} = \underline{M}_{ei} \quad (7.13)$$

## 7. ÇOK SIRA BOŞLUKLU DEPREM PERDELERİNİN SERBEST TİTREŞİM ANALİZİ

Murat BİKÇE

eşitliği elde edilir. Burada  $\underline{T}$  ve  $\underline{Y}$ , sırasıyla,  $m \times m$  boyutunda dönüşüm matrisi ve  $m \times 1$  boyutunda  $x$ 'e bağlı lineer bağımsız fonksiyonlardan oluşan matristir. Bu denklemin her iki tarafı  $\underline{T}^T$  ile çarpılırsa  $\underline{A}$  ve  $\underline{B}$  matrisleri köşegen şekle döndürür ve

$$\tilde{\underline{A}} \underline{Y}' + \tilde{\underline{B}} \underline{Y} = \tilde{\underline{M}}_{ei} \quad (7.14)$$

şeklinde girişimsiz bir diferansiyel denklem takımı elde edilir. Denklem (7.14)'ün tüm  $i = 1, 2, \dots, n$  bölgeleri için genel çözümü

$$Y_{j,i} = C_{j,i} \text{Cosh} \left( \sqrt{\frac{\tilde{B}_{j,i}}{\tilde{A}_{j,i}}} x \right) + D_{j,i} \text{Sinh} \left( \sqrt{\frac{\tilde{B}_{j,i}}{\tilde{A}_{j,i}}} x \right) + \frac{1}{\tilde{B}_{j,i}} \langle H_p - x \rangle^1$$
$$j = 1, 2, \dots, m, \quad i = 1, 2, \dots, n \quad (7.15)$$

olarak elde edilebilir. Elde edilen (7.15) numaralı genel çözümde, her bir  $i$  bölgesi için boşluk sıra sayısı kadar  $C_{j,i}$  ve  $D_{j,i}$  sabitleri bulunmaktadır. Sınır koşulları yazılmadan önce, sınır koşullarında kullanılacak olan güçlendirici kirişlerdeki kesme kuvveti değerleri belirlenmelidir.

### 7.3.3. Güçlendirici Kirişlerdeki Kesme Kuvveti Değerlerinin Belirlenmesi

Güçlendirici kirişlerdeki kesme kuvveti değerlerini belirlemek amacıyla, (7.6) numaralı uygunluk denklemleri hem  $i$  bölgesinin  $x_i$  konumu için, hem de  $x_i$  yükseklikteki güçlendirici kiriş için yazılarak ortak çözülür ve düzenlemeler yapılırsa

$$S_{j,i} = \frac{1}{H} \frac{\left( \frac{h_i}{C_{cbi}} + \frac{h_i a_j}{6EI_{ej,i}} \right)}{\left( \frac{1}{C_{sbi}} + \frac{a_j}{6EI_{si}} \right)} \quad j = 1, 2, \dots, m, \quad i = 1, 2, \dots, n + 1 \quad (7.16)$$

## 7. ÇOK SIRA BOŞLUKLU DEPREM PERDELERİNİN SERBEST TİTREŞİM ANALİZİ

Murat BİKÇE

şeklinde bir tanım yapılarak güçlendirici kirişlerdeki kesme kuvveti değerleri

$$V_{j,i} = -S_{j,i} H \left. \frac{dQ_{j,i}}{dx} \right|_{x=x_i} \quad j = 1, 2, \dots, m, \quad i = 1, 2, \dots, n+1 \quad (7.17)$$

olarak elde edilir.

### 7.3.4. Sınır Koşulları

Her bölgede boşluk sıra sayısı kadar  $C_{j,i}$  ve  $D_{j,i}$  bilinmeyen integral sabiti çifti bulunmaktadır. Boşluk sayısı  $m$  ve bölge sayısı  $n$  olduğuna göre  $2 \times m \times n$  sayıda sınır koşuluna ihtiyaç olacaktır. Bu sabitler aşağıda sıralanan sınır koşulları yardımıyla bulunacaktır.

a) Perdenin en üst bölgesi için düşey kuvvetlerin dengesinden birinci tip sınır koşulları olarak

$$Q_{j,1} \Big|_{x=H} - V_{j,1} = 0 \quad j = 1, 2, \dots, m \quad (7.18)$$

elde edilir. Özel durum olarak perde tepesinde güçlendirici kiriş yoksa

$$Q_{j,1} \Big|_{x=H} = 0 \quad j = 1, 2, \dots, m \quad (7.19)$$

olacaktır.

b) Perdenin en alt bölgesi için uygunluk denklemleri yazılıp  $x=0$  için uygulanarak perde tabanındaki eğim ve bağıl düşey yerdeğiştirmeler, sırasıyla

$$\left. \frac{dy_n}{dx} \right|_{x=0} = \frac{M_{en}(0) - \sum_{j=1}^m Q_{j,n} L_j}{\sum_{j=1}^{m+1} K_{rj}} \quad (7.20)$$

7. ÇOK SIRA BOŞLUKLU DEPREM PERDELERİNİN SERBEST TİTREŞİM ANALİZİ Murat BİKÇE

$$\delta_{ij} = \frac{Q_{j,n} - Q_{j-1,n}}{K_{v_j}} + \frac{Q_{j,n} - Q_{j+1,n}}{K_{v_{(j+1)}}} \quad j=1,2,\dots,m \quad (7.21)$$

şeklinde yerlerine konulunca, ikinci tip sınır koşulları,

$$\begin{aligned} & \sum_{j=1}^{m+1} \frac{L_j}{K_{r_j}} \left( M_{en}(0) - \sum_{j=1}^m (Q_{j,n}|_{x=0} L_j) \right) + \left( \frac{h_n a_j^2}{2C_{cb_n}} + \frac{h_n a_j^3}{12EI_{c_{j,n}}} \right) \frac{dQ_{j,n}}{dx} \Big|_{x=0} \\ & - \left( \frac{1}{K_{v_j}} + \frac{1}{K_{v_{j+1}}} \right) Q_{j,n} \Big|_{x=0} + \frac{1}{K_{v_j}} Q_{j-1,n} \Big|_{x=0} + \frac{1}{K_{v_{j+1}}} Q_{j+1,n} \Big|_{x=0} = 0 \\ & j=1,2,\dots,m \end{aligned} \quad (7.22)$$

elde edilmiş olur. Özel durum olarak perde tabanı rijit ise bu koşullar

$$\frac{dQ_{j,n}}{dx} \Big|_{x=0} = 0 \quad j=1,2,\dots,m \quad (7.23)$$

şekline döndürür.

c)  $x_i$  yükseklikteki güçlendirici giriş için düşey yöndeki kuvvetlerin dengesinden

$$Q_{j,i-1} \Big|_{x=x_i} + S_{j,i} H \frac{dQ_{j,i}}{dx} \Big|_{x=x_i} - Q_{j,i} \Big|_{x=x_i} = 0 \quad j=1,2,\dots,m, \quad i=2,3,\dots,n \quad (7.24)$$

şeklinde üçüncü tip sınır koşulları da elde edilmiş olur.

d) Sırası ile (i-1) ve i bölgeleri için uygunluk denklemleri  $x_i$  yükseklikte yazılarak aynı yükseklikte eğimlerin eşitliği koşulundan eşitlenirse

## 7. ÇOK SIRA BOŞLUKLU DEPREM PERDELERİNİN SERBEST TİTREŞİM ANALİZİ

Murat BİKÇE

$$\left( \frac{h_i a_j^2}{2C_{cb_i}} + \frac{h_i a_j^3}{12EI_{c_{j,i}}} \right) \frac{dQ_{j,i}}{dx} \Big|_{x=x_i} - \left( \frac{h_{i-1} a_j^2}{2C_{cb_{i-1}}} + \frac{h_{i-1} a_j^3}{12EI_{c_{j,i-1}}} \right) \frac{dQ_{j,i-1}}{dx} \Big|_{x=x_i} = 0$$

$j = 1, 2, \dots, m, \quad i = 2, 3, \dots, n$  (7.25)

şeklinde dördüncü tip sınır koşulları da elde edilmiş olur. Özel durum olarak birbirini izleyen iki bölgenin kat yükseklikleri, bağlantı kirişi atalet momenti ve bağlantı kirişi duvar bağlantısı esneklikleri eşit ise, bu koşullar

$$\frac{dQ_{j,i}}{dx} \Big|_{x=x_i} = \frac{dQ_{j,i-1}}{dx} \Big|_{x=x_i} \quad j = 1, 2, \dots, m, \quad i = 2, 3, \dots, n$$
 (7.26)

şekline dönüşür.

Perdenin en üst bölgesinde  $m$  adet,  $x_i$  yükseklikteki güçlendirici kiriş üzerindeki düşey kuvvetlerin dengesinden  $m \times (n-1)$  adet, perdenin  $x_i$  yüksekliğinde  $(i-1)$  ve  $i$  bölgelerinin eğimlerinin aynı olmasından  $m \times (n-1)$  adet ve perdenin en alt bölgesinde temel özelliklerinden  $m$  adet olmak üzere toplam  $2m \times n$  adet sınır koşulu yazılıp ortak çözülerek bilinmeyen integrasyon sabitleri elde edilir.

Daha sonra, (7.15) genel çözümünden bulunan  $Y_{j,i}$  ifadeleri, (7.12) denkleminde yerlerine konular ve bulunan ifadeler (7.9) denklemlerinin ikincisinde kullanılırsa  $Q_{j,i}$  bilinmeyen fonksiyonları belirlenmiş olur. Perde tabanında bir güçlendirici kiriş olduğu zaman  $Q_{j,i}$  o güçlendirici kirişteki kesme kuvveti kadar artırılmalıdır.

### 7.3.5. Yatay Yerdeğiştirme Fonksiyonunun Belirlenmesi

Bir önceki bölümde elde edilen  $Q_{j,i}$  ifadeleri (7.5) numaralı moment eğrilik ilişkisinde yerlerine konularak elde edilen denklem iki kez integre edilirse

7. ÇOK SIRA BOŞLUKLU DEPREM PERDELERİNİN SERBEST TİTREŞİM ANALİZİ Murat BİKÇE

$$y_i = \frac{1}{EI_i} \int \left[ \int \left( < H_p - x >^1 - \sum_{j=1}^m Q_{j,i} L_j \right) dx \right] dx + H_i x + G_i \quad i = 1, 2, \dots, n \quad (7.27)$$

ifadeleri elde edilir. Bu denklemlerdeki, bölge sayısı kadar  $H_i$  ve  $G_i$  bilinmeyen integrasyon sabiti çifti,  $x_i$  yükseklikte komşu iki bölge yanal deplasmanlarının ve türevlerinin eşitliği

$$y_i \Big|_{x=x_i} = y_{i-1} \Big|_{x=x_i} \quad i = 2, 3, \dots, n \quad (7.28)$$

$$\frac{dy_i}{dx} \Big|_{x=x_i} = \frac{dy_{i-1}}{dx} \Big|_{x=x_i} \quad i = 2, 3, \dots, n$$

ve perde tabanında yanal deplasman ve dönmenin, sırasıyla,

$$y_n \Big|_{x=0} = \frac{1}{\sum_{j=1}^{m+1} K_{hj}} \quad (7.29)$$

$$\frac{dy_n}{dx} \Big|_{x=0} = \frac{\sum_{j=1}^{m+1} M_{j,n}}{\sum_{j=1}^{m+1} K_{\tau j}} \quad (7.30)$$

olması koşullarından bulunur. Eğer temel rijit ise (7.29-30) sınır koşulları

$$\begin{aligned} y_n \Big|_{x=0} &= 0 \\ \frac{dy_n}{dx} \Big|_{x=0} &= 0 \end{aligned} \quad (7.31)$$

şekline dönüşür.

## 7. ÇOK SIRA BOŞLUKLU DEPREM PERDELERİNİN SERBEST TİTREŞİM ANALİZİ

Murat BİKÇE

Yukarıdaki denklemlerden elde edilen sınır koşullarını kullanarak  $2 \times n$  adet eşitliğin ortak çözümünden toplam  $2 \times n$  adet integrasyon sabiti bulunur. Bulunan bu sabitler (6.95) denklemlerinde yerlerine yazılırsa tüm bölgelere ait yatay yerdeğiştirme fonksiyonları belirlenmiş olur.

Yukarıda anlatılan hesaplar sonucunda esneklik matrisi,  $\underline{F}$ , kolon kolon oluşturulur ve tersi alınırsa

$$\underline{K} = \underline{F}^{-1} \quad (7.32)$$

rijitlik matrisi bulunur.

### 7.4. Özdeğer ve Özvektörlerin Belirlenmesi

Yapının kütle matrisi belirlendikten ve her bir kütle seviyesindeki birim yükten dolayı oluşan yatay yerdeğiştirme değerleri ile esneklik ve rijitlik matrisleri tespit edildikten sonra artık özdeğer ve özvektörler bulunabilir. Bilindiği gibi  $p(t)$  dış kuvvetine maruz tek serbestlik dereceli bir sistemin hareket denklemi

$$m \ddot{x} + c \dot{x} + k x = p(t) \quad (7.33)$$

şeklinde dir. Bu denklemin sağ tarafının sıfır olması durumunda sönümlü serbest titreşim denklemi

$$m \ddot{x} + c \dot{x} + k x = 0 \quad (7.34)$$

şeklinde elde edilir. Çok serbestlik dereceli bir sistem için bu denklem kapalı olarak

$$\underline{M} \ddot{\underline{X}} + \underline{C} \dot{\underline{X}} + \underline{K} \underline{X} = \underline{0} \quad (7.35)$$

şeklinde yazılır. Bu denklemde  $\underline{X}$  yerdeğiştirme vektörü olup

## 7. ÇOK SIRA BOŞLUKLU DEPREM PERDELERİNİN SERBEST TİTREŞİM ANALİZİ

Murat BİKÇE

$$\underline{X} = \underline{u} \sin(\omega t + \theta) \quad (7.36)$$

kabulü yapılır. Burada  $\underline{u}$  genlik vektörü ve  $\omega$  frekanstır.  $\theta$  faz açısı olup sabit olduğu için (7.36) ifadesinin zamana göre türevleri

$$\begin{aligned} \dot{\underline{X}} &= \omega \underline{u} \cos(\omega t + \theta) \\ \ddot{\underline{X}} &= -\omega^2 \underline{u} \sin(\omega t + \theta) \end{aligned} \quad (7.37)$$

şeklinde bulunur. Elde edilen denklemler çok serbestlik dereceli bir sistemin sönümsüz serbest titreşimi için geçerli olan

$$\underline{M} \ddot{\underline{X}} + \underline{K} \underline{X} = \underline{0} \quad (7.38)$$

denkleminde yerlerine konulursa aşağıdaki denklem elde edilir:

$$-\omega^2 \underline{M} \underline{u} + \underline{K} \underline{u} = \underline{0} \quad (7.39)$$

Bu denklem düzenlenir ve  $\lambda = \omega^2$  yazılırsa sonuç olarak

$$(\underline{K} - \lambda \underline{M}) \underline{u} = \underline{0} \quad (7.40)$$

denklemini elde edilir. Bu denklemin sıfır vektörden farklı bir çözümünün olması için

$$|\underline{K} - \lambda \underline{M}| = 0 \quad (7.41)$$

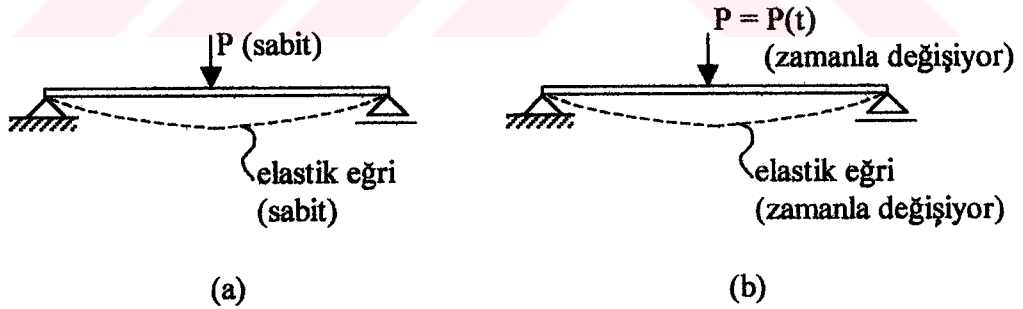
karakteristik denkleminin sağlanması gerekir. Sistem serbestlik derecesi mertebesinde olan bu denklemin çözümünden bulunan özdeğerler (7.40)'da tek tek yerlerine konularak çözüm yapılarak her özdeğere karşı gelen özvektör elde edilir.



## 8. ÇOK SIRA BOŞLUKLU DEPREM PERDELERİNİN ZORLANMIŞ TİTREŞİM ANALİZİ

### 8.1. Giriş

Dinamik analiz ile statik analiz arasında iki önemli fark vardır. Bunlardan ilki, statik analizde sabit bir yük altında sistemin yüke karşı gösterdiği direncin de sabit kalmasıdır (Şekil 8.1a). Oysa ki, dinamik analizde hem yük hem de sistemin yüke karşı gösterdiği direnç zamanla değişmektedir (Şekil 8.1b). Dolayısıyla problem zamanla değiştiğinden her zaman değerine karşı gelen çözüm de değişmektedir. Sonuçta, dinamik analizin statik analize göre çok daha karışık ve çok daha zaman alıcı olduğu söylenebilir. İki analiz arasındaki diğer fark, statik yük ile yüklenmiş bir sistemde oluşan iç kuvvetler ve sistemin elastik eğrisi yalnız bu yüke bağlıdır ve kuvvetlerin dengesi prensibinden kolayca hesaplanabilir. Ancak, sistemin dinamik yükler etkisinde yaptığı yerdeğiştirmeler ivmeye zıt yönde oluşan atalet kuvvetlerine de bağlıdır. Böylece, denge denklemlerine dış yük ve iç kuvvetlere ek olarak atalet kuvvetleri de girer.



Şekil 8.1. a) Statik analizde ve b) dinamik analizde elastik eğrinin durumu

### 8.2. Mod-Süperpozisyon (Birleştirme) Yöntemi

#### 8.2.1. Giriş

Çok serbestlik dereceli yapıların zorlanmış titreşim analizinde serbestlik derecesi arttıkça denklem takımının çözümü zorlaşmakta ve özellikle zaman artım

## 8. ÇOK SIRA BOŞLUKLU DEPREM PERDELERİNİN ZORLANMIŞ TİTREŞİM ANALİZİ

Murat BİKÇE

değeri azaldıkça veya adım sayısı arttıkça hesap miktarı fazlaşmakta olup çok yüksek bilgisayar kapasitesi gerekmektedir. Bir önceki bölümde kütle ve rijitlik matrisleri belirlenen boşluklu perdeye ait hareket denklemini açık formda

$$\begin{bmatrix} m_{11} & m_{12} & m_{13} & \cdot & m_{1N} \\ m_{21} & m_{22} & m_{23} & \cdot & m_{2N} \\ m_{31} & m_{32} & m_{33} & \cdot & m_{3N} \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ m_{N1} & m_{N2} & m_{N3} & \cdot & m_{NN} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \ddot{x}_1 \\ \ddot{x}_2 \\ \ddot{x}_3 \\ \cdot \\ \ddot{x}_N \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} c_{11} & c_{12} & c_{13} & \cdot & c_{1N} \\ c_{21} & c_{22} & c_{23} & \cdot & c_{2N} \\ c_{31} & c_{32} & c_{33} & \cdot & c_{3N} \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ c_{N1} & c_{N2} & c_{N3} & \cdot & c_{NN} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \dot{x}_1 \\ \dot{x}_2 \\ \dot{x}_3 \\ \cdot \\ \dot{x}_N \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} k_{11} & k_{12} & k_{13} & \cdot & k_{1N} \\ k_{21} & k_{22} & k_{23} & \cdot & k_{2N} \\ k_{31} & k_{32} & k_{33} & \cdot & k_{3N} \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ k_{N1} & k_{N2} & k_{N3} & \cdot & k_{NN} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \\ \cdot \\ x_N \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} P_1 \\ P_2 \\ P_3 \\ \cdot \\ P_N \end{bmatrix} \quad (8.1)$$

şeklinde yazılabilir. Bu denklem takımı incelendiğinde her bir denklemin bütün düğümlere ait büyüklükleri içerdiği görülmektedir. Bu denklem takımının çözümü mümkün olmakla birlikte çok serbestlik dereceli perdelerde çözüm oldukça zorlaşmaktadır. Mod-süperpozisyon yönteminin bu denklem takımına uygulanması ile

$$\begin{bmatrix} \tilde{m}_{11} & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \tilde{m}_{22} & \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \tilde{m}_{33} & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \tilde{m}_{NN} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \ddot{x}_1 \\ \ddot{x}_2 \\ \ddot{x}_3 \\ \cdot \\ \ddot{x}_N \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \tilde{c}_{11} & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \tilde{c}_{22} & \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \tilde{c}_{33} & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \tilde{c}_{NN} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \dot{x}_1 \\ \dot{x}_2 \\ \dot{x}_3 \\ \cdot \\ \dot{x}_N \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \tilde{k}_{11} & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \tilde{k}_{22} & \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \tilde{k}_{33} & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \tilde{k}_{NN} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \\ \cdot \\ x_N \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} P_1 \\ P_2 \\ P_3 \\ \cdot \\ P_N \end{bmatrix} \quad (8.2)$$

## 8. ÇOK SIRA BOŞLUKLU DEPREM PERDELERİNİN ZORLANMIŞ TİTREŞİM ANALİZİ

Murat BİKÇE

şeklinde girişimsiz bir denklem takımı elde edilir. Bu denklem takımında ise her bir denklem yalnız bir düğüme ait büyüklükleri içerdiği için çok serbestlik dereceli perdelerde çözüm kolay olmaktadır.

### 8.2.2. Girişimsiz Denklem Takımının Oluşturulması

Bu yöntemin ilk adımında her özdeğere karşılık gelen özvektör ilgili kolona yazılarak modal matris aşağıdaki şekilde oluşturulur:

$$\underline{\Phi} = [\underline{\Phi}_1 \ \underline{\Phi}_2 \ \underline{\Phi}_3 \ \cdots \ \underline{\Phi}_i \ \cdots \ \underline{\Phi}_N] \quad (8.3)$$

Burada  $\underline{\Phi}_i$  i numaralı özdeğere karşı gelen özvektör olup  $N \times 1$  boyutundadır. Burada,  $N$  serbestlik derecesidir ve  $N_i$  ise i numaralı bölgenin uçları arasında kalan toplanmış kütle sayısı olmak üzere

$$N = \sum_{i=1}^n (N_i + 1) + 1 \quad (8.4)$$

ile hesaplanabilir. Bütün özvektörlerin yerlerine yazılması ile  $n \times n$  boyutundaki modal matris elde edilir. Bu modal matris yardımı ile  $\underline{Y}$  modal yerdeğiştirme vektörü

$$\underline{X} = \underline{\Phi} \underline{Y} \quad (8.5)$$

şeklinde tanımlanır. Bu denklemin zamana göre birinci ve ikinci türevlerinden

$$\begin{aligned} \underline{\dot{X}} &= \underline{\Phi} \underline{\dot{Y}} \\ \underline{\ddot{X}} &= \underline{\Phi} \underline{\ddot{Y}} \end{aligned} \quad (8.6)$$

Bir sistemin

## 8. ÇOK SIRA BOŞLUKLU DEPREM PERDELERİNİN ZORLANMIŞ TİTREŞİM ANALİZİ

Murat BİKÇE

$$\underline{M} \ddot{\underline{X}} + \underline{C} \dot{\underline{X}} + \underline{K} \underline{X} = \underline{P} \quad (8.7)$$

şeklinde verilen hareket denkleminde (8.5) ve (8.6) ifadeleri yerlerine konulursa

$$\underline{M} \underline{\Phi} \ddot{\underline{Y}} + \underline{C} \underline{\Phi} \dot{\underline{Y}} + \underline{K} \underline{\Phi} \underline{Y} = \underline{P} \quad (8.8)$$

denklemin elde edilir. Bu denklemin her iki tarafı  $\underline{\Phi}^T$  ile çarpılırsa

$$\underline{\Phi}^T \underline{M} \underline{\Phi} \ddot{\underline{Y}} + \underline{\Phi}^T \underline{C} \underline{\Phi} \dot{\underline{Y}} + \underline{\Phi}^T \underline{K} \underline{\Phi} \underline{Y} = \underline{\Phi}^T \underline{P} \quad (8.9)$$

denklemin elde edilir. Özvektörlerin ortogonalite özelliğinden girişimsiz kütle matrisi

$$\underline{\tilde{M}} = \underline{\Phi}^T \underline{M} \underline{\Phi} = \begin{bmatrix} \tilde{m}_{11} & & \\ & \tilde{m}_{22} & \\ & & \tilde{m}_{NN} \end{bmatrix} \quad (8.10)$$

girişimsiz sönüm matrisi

$$\underline{\tilde{C}} = \underline{\Phi}^T \underline{C} \underline{\Phi} = \begin{bmatrix} \tilde{c}_{11} & & \\ & \tilde{c}_{22} & \\ & & \tilde{c}_{NN} \end{bmatrix} \quad (8.11)$$

girişimsiz rijitlik matrisi

$$\underline{\tilde{K}} = \underline{\Phi}^T \underline{K} \underline{\Phi} = \begin{bmatrix} \tilde{k}_{11} & & \\ & \tilde{k}_{22} & \\ & & \tilde{k}_{NN} \end{bmatrix} \quad (8.12)$$

ve modal kuvvetler

$$\tilde{\underline{P}} = \underline{\Phi}^T \underline{P} = \begin{bmatrix} \tilde{P}_1 \\ \tilde{P}_2 \\ \vdots \\ \tilde{P}_N \end{bmatrix} \quad (8.13)$$

şeklinde bulunur. Sonuç olarak, girişimsiz sistem denklemini

$$\tilde{\underline{M}} \ddot{\underline{Y}} + \tilde{\underline{C}} \dot{\underline{Y}} + \tilde{\underline{K}} \underline{Y} = \tilde{\underline{P}} \quad (8.14)$$

şeklinde elde edilmiş olur. Yapılacak hesaplar sonunda  $\underline{Y}$  modal yerdeğiştirme vektörü belirlendikten sonra sistemin gerçek yerdeğiştirmeleri

$$\underline{X} = \underline{\Phi} \underline{Y} = \begin{bmatrix} \Phi_1 & \Phi_2 & \Phi_3 & \dots & \Phi_N \end{bmatrix} \begin{bmatrix} Y_1 \\ Y_2 \\ Y_3 \\ \vdots \\ Y_N \end{bmatrix} \quad (8.15)$$

bağıntısı ile hesaplanır.

### 8.3. Zaman Tanım Alanında Analiz

Zamanla değişen yükler etkisindeki boşluklu perdelerin her zaman artımına karşı gelen yerdeğiştirme veya eleman uç kuvvetlerinin hesabına zaman tanım alanında analiz denir. (8.7)'deki hareket denklemini

$$\underline{M} \ddot{\underline{X}} + \underline{C} \dot{\underline{X}} + \underline{K} \underline{X} = \underline{P}(t) \quad (8.16)$$

şeklinde yazılmış ve mod-superpozisyonu için girişimsiz durumda

$$\tilde{M} \ddot{Y} + \tilde{C} \dot{Y} + \tilde{K} Y = \tilde{P}(t) \quad (8.17)$$

şekline dönüştüğü gösterilmiştir. Ancak, (8.17) denklemi incelendiğinde ikinci mertebeden bir diferansiyel denklem takımı olduğu ve özellikle çok serbestlik dereceli perdeler için çözümün zor ve zaman alıcı olacağı anlaşılabilir. Çözümü kolaylaştırmak ve hesapları azaltmak için çeşitli sayısal çözüm yöntemleri geliştirilmiştir.

**a ) Merkezi sonlu farklar yöntemi :** Merkezi sonlu farklar yönteminde diferansiyel denklem takımının çözümü için sonlu farklar yönteminden yararlanılır. Bu yöntemde birinci ve ikinci türevlerin merkezi farklar cinsinden ifade edilmesi ile elde edilen hız ve ivme bağıntıları belirli bir zaman aralığında seçilen uygun zaman artımı ile adım adım hesaplanarak her t anında sistemin bilinmeyenleri hesaplanır.

**b ) Houbolt yöntemi:** Houbolt yöntemi merkezi farklar yöntemi ile benzerlik göstermekle beraber aralarındaki fark, Houbolt yönteminde kullanılan hız ve ivme bağıntılarının geri farklar ifadelerinden elde edilmesidir. Diğer bir fark da, Houbolt yönteminde, t anındaki ve daha önceki fonksiyon değerleri bilinirken t+Δt anı için çözüm yapılıyor olmasıdır.

**c ) Wilson θ yöntemi :** Wilson θ yöntemi lineer ivme yönteminin genişletilmiş şeklidir. Lineer ivme yönteminde ivmenin t anı ile t+Δt anı arasında lineer değiştiği kabul edilmektedir. Wilson θ yönteminde ise ivmenin t anı ile t+θΔt (θ≥1) arasında lineer değiştiği kabul edilmektedir. Sistemin kararlı olması için θ≥1.37 seçilmesi gerekmekte olup genellikle hesaplarda θ=1.40 alınır.

**d ) Newmark yöntemi :** Newmark integrasyon yöntemi lineer ivme ile ortalama sabit ivme kabullerine dayanmaktadır.

Bu çalışmada dinamik yükler etkisindeki güçlendirilmiş boşluklu perdelerin zorlanmış titreşim analizinde Newmark yöntemi kullanılacaktır.

### 8.3.1. Newmark Yöntemi

Newmark integrasyon yönteminde lineer ivme ile ortalama sabit ivme kabullerinin yapıldığı belirtilmişti. Bu yöntemde hız hesabı için

$$\dot{x}_{t+\Delta t} = \dot{x}_t + [(1-\delta)\ddot{x}_t + \delta\ddot{x}_{t+\Delta t}] \Delta t \quad (8.18)$$

ve yerdeğiştirme hesabı için

$$x_{t+\Delta t} = x_t + \dot{x}_t \Delta t + [(0.5-\alpha)\ddot{x}_t + \alpha\ddot{x}_{t+\Delta t}] \Delta t^2 \quad (8.19)$$

bağıntıları kullanılır. Bu bağıntılardaki  $\alpha$  ve  $\delta$  parametreleri, lineer ivme ile ortalama sabit ivme kabullerine göre sırası ile 1/6 ve 1/2 değerlerini alırlar. Newmark yönteminin çözüm adımları aşağıdaki şekildedir:

1) (8.17)'de elde edilen denklem için başlangıç değerleri kabul edilir. Perdenin  $t=0$  anında yerdeğiştirme ve hız vektörleri sıfır alınır:

$$\begin{aligned} \underline{Y}_0 &= \underline{0} \\ \underline{\dot{Y}}_0 &= \underline{0} \end{aligned} \quad (8.20)$$

İvme vektörünün başlangıç değeri ise (8.20) değerleri (8.17)'de yerine konularak elde edilen

$$\underline{\tilde{M}} \underline{\ddot{Y}}_0 + \underline{\tilde{C}} \underline{\dot{Y}}_0 + \underline{\tilde{K}} \underline{Y}_0 = \underline{\tilde{P}}(t) \quad (8.21)$$

denklemden

$$\underline{\ddot{Y}}_0 = \underline{\tilde{M}}^{-1} [\underline{\tilde{P}}(t) - \underline{\tilde{C}} \underline{\dot{Y}}_0 - \underline{\tilde{K}} \underline{Y}_0] \quad (8.22)$$

## 8. ÇOK SIRA BOŞLUKLU DEPREM PERDELERİNİN ZORLANMIŞ TİTREŞİM ANALİZİ

Murat BİKÇE

şeklinde elde edilir.

2) Zaman artım değerleri  $\Delta t$  ile  $\alpha$  ve  $\delta$  parametreleri belirlenir:

$$\begin{aligned}\delta &= 0.50 \\ \alpha &\geq 0.25(0.5 + \delta)^2\end{aligned}\quad (8.23)$$

3) Newmark yönteminde kullanılacak olan sabitler hesaplanır:

$$\begin{aligned}a_0 &= \frac{1.0}{\alpha \Delta t^2} \\ a_1 &= \frac{\delta}{\alpha \Delta t} \\ a_2 &= \frac{1.0}{\alpha \Delta t} \\ a_3 &= \frac{1.0}{2\alpha} - 1.0 \\ a_4 &= \frac{\delta}{\alpha} - 1.0 \\ a_5 &= \frac{\Delta t}{2.0} \left( \frac{\delta}{\alpha} - 2.0 \right) \\ a_6 &= \Delta t (1.0 - \delta) \\ a_7 &= \alpha \Delta t\end{aligned}\quad (8.24)$$

4) Sistem efektif rijitlik matrisi oluşturulur:

$$\underline{\tilde{K}}_{ef} = \underline{\tilde{K}} + a_0 \underline{\tilde{M}} + a_1 \underline{\tilde{C}}\quad (8.25)$$

5) Bu adımda belirtilecek hesaplar her  $\Delta t$  değeri için tekrarlanacaktır.

(a)  $t+\Delta t$  zamanında efektif yük vektörü hesaplanır:



## 8. ÇOK SIRA BOŞLUKLU DEPREM PERDELERİNİN ZORLANMIŞ TİTREŞİM ANALİZİ

Murat BİKÇE

$$\underline{\tilde{P}}_{ef\ t+\Delta t} = \underline{\tilde{P}}_{t+\Delta t} + \underline{\tilde{M}} (a_0 \underline{Y}_t + a_2 \underline{\dot{Y}}_t + a_3 \underline{\ddot{Y}}_t) + \underline{\tilde{C}} (a_1 \underline{Y}_t + a_4 \underline{\dot{Y}}_t + a_5 \underline{\ddot{Y}}_t) \quad (8.26)$$

(b)  $t+\Delta t$  zamanında perde yerdeğiştirme değerleri hesaplanır:

$$\underline{\tilde{K}}_{ef} \underline{Y}_{t+\Delta t} = \underline{\tilde{P}}_{ef\ t+\Delta t} \quad (8.27)$$

(c)  $t+\Delta t$  zamanında ivme

$$\underline{\ddot{Y}}_{t+\Delta t} = a_0 (\underline{Y}_{t+\Delta t} - \underline{Y}_t) - a_2 \underline{\dot{Y}}_t - a_3 \underline{\ddot{Y}}_t \quad (8.28)$$

ve hız

$$\underline{\dot{Y}}_{t+\Delta t} = \underline{\dot{Y}}_t + a_6 \underline{\ddot{Y}}_t + a_7 \underline{\ddot{Y}}_{t+\Delta t} \quad (8.29)$$

vektörleri hesaplanır.

(d) Perde için gerçek yerdeğiştirme

$$\underline{X}_{t+\Delta t} = \underline{\Phi} \underline{Y}_{t+\Delta t} \quad (8.30)$$

hız

$$\underline{\dot{X}}_{t+\Delta t} = \underline{\Phi} \underline{\dot{Y}}_{t+\Delta t} \quad (8.31)$$

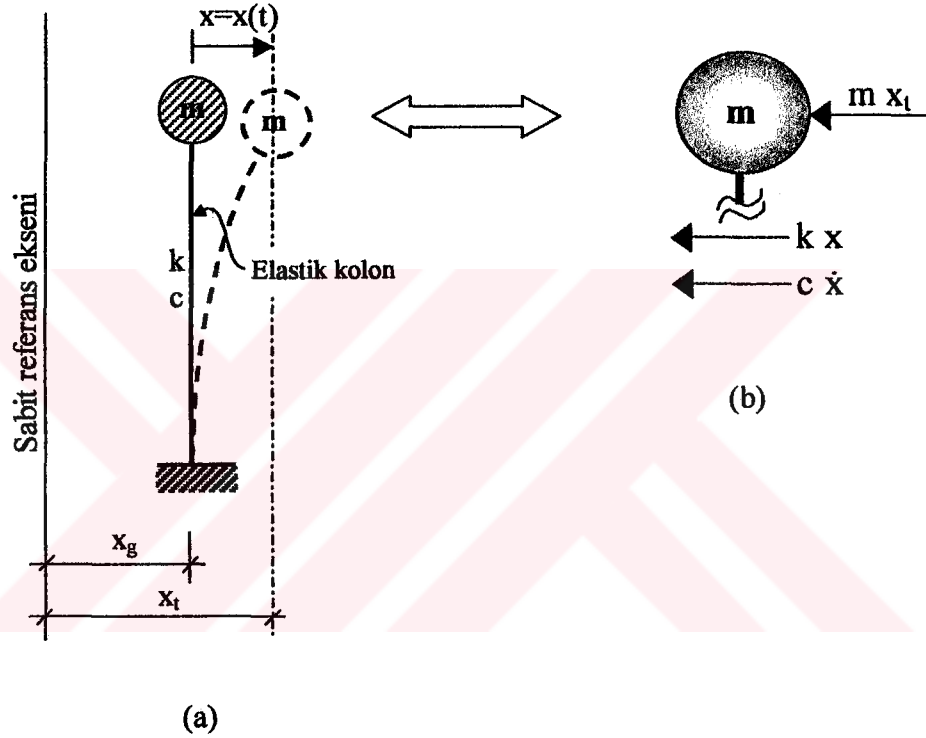
ve ivme

$$\underline{\ddot{X}}_{t+\Delta t} = \underline{\Phi} \underline{\ddot{Y}}_{t+\Delta t} \quad (8.32)$$

vektörleri hesaplanır.

#### 8.4. Spektrum (Deprem) Analizi

Şekil 8.2.(a)'da, ucunda  $m$  kütlesi bulunan ağırlığı ihmal edilmiş elastik bir kolonun, deprem etkisi ile  $t$  zamanında ilk konumundan (sabit referans eksenini)  $x_g$  kadar yerdeğiştirme yaptığı görülmektedir. Kolonun ucundaki  $m$  kütlesinin yaptığı



Şekil 8.2. Toplanmış bir kütlenin (a) deprem etkisi ile hareketi (b) serbest cisim diyagramı

toplam yerdeğiştirme sisteminin sabit referans eksenine göre yaptığı yerdeğiştirme ile kütlenin sistem eksenine göre yaptığı yerdeğiştirme toplamına eşittir:

$$x_t = x_g + x \quad (8.33)$$

Kolonun ucundaki  $m$  kütlesine etki eden kuvvetler Şekil 8.2(b)'deki serbest cisim diyagramında görülmektedir. D'Alembert prensibiyle bu sistem için

## 8. ÇOK SIRA BOŞLUKLU DEPREM PERDELERİNİN ZORLANMIŞ TİTREŞİM ANALİZİ

Murat BİKÇE

$$m \ddot{x}_1 + c \dot{x} + k x = 0 \quad (8.34)$$

şeklinde yazılan hareket denkleminde (8.33) yerine konulur

$$m \ddot{x}_g + m \ddot{x} + c \dot{x} + k x = 0 \quad (8.35)$$

sol taraftaki ilk terim sağ tarafa geçirilir

$$m \ddot{x} + c \dot{x} + k x = -m \ddot{x}_g \quad (8.36)$$

ve

$$p(t) = -m \ddot{x}_g \quad (8.37)$$

olarak adlandırılırsa

$$m \ddot{x} + c \dot{x} + k x = p(t) \quad (8.38)$$

şeklinde, tek serbestlik dereceli sistemler için, temel denklem elde edilir. Bu denklemin çok serbestlik dereceli sistemler için olan şekli ise şöyledir:

$$\underline{M} \ddot{\underline{X}} + \underline{C} \dot{\underline{X}} + \underline{K} \underline{X} = \underline{P}(t) \quad (8.39)$$

Bu denklemin sağ tarafındaki yük terimi

$$\underline{P}_1 = -\underline{M} \underline{r} \ddot{x}_g \quad (8.40)$$

ile hesaplanır. Burada,  $\underline{r}$ , yerleştirme (Pseudostatik) vektörüdür ve sistem serbestlik derecelerine eşit sayıdaki elemanlarından deprem hareketi doğrultusundakiler bir ve diğerleri sıfır alınır.

## 8. ÇOK SIRA BOŞLUKLU DEPREM PERDELERİNİN ZORLANMIŞ TİTREŞİM ANALİZİ

Murat BİKÇE

(8.39)'daki denklem takımı girişimsiz duruma dönüştürüldükten sonra her bir düğüm noktasma karşı gelen yük terimi

$$P_i = -\underline{\Phi}_i^T \underline{M} \underline{r} \ddot{x}_g \quad (8.41)$$

ile gösterilir. Burada

$$L_i = \underline{\Phi}_i^T \underline{M} \underline{r} \quad (8.42)$$

kısaltması yapılırsa yük terimi

$$P_i = -L_i \ddot{x}_g \quad (8.43)$$

olarak gösterilebilir. Girişimsiz şekle dönüştürülen denklem takımı

$$\alpha_i = \frac{L_i}{N_i} \quad (8.44)$$

tanımı yapılarak

$$\ddot{Y}_i + 2\zeta_i \omega_i \dot{Y}_i + \omega_i^2 Y_i = -\alpha_i \ddot{x}_g \quad i = 1, 2, \dots, n \quad (8.45)$$

şeklinde yazılabilir. Bu denklemlerde maksimum yerdeğiştirme

$$(Y_i)_{\max} = \max|Y_i| = \alpha_i S_d(T_i, \zeta_i) \quad (8.46)$$

şeklinde verilir. İvme, hız ve yerdeğiştirme spektrumları arasında

## 8. ÇOK SIRA BOŞLUKLU DEPREM PERDELERİNİN ZORLANMIŞ TİTREŞİM ANALİZİ

Murat BİKÇE

$$(Y_i)_{\max} = \alpha_i S_d$$

$$(Y_i)_{\max} = \alpha_i \frac{S_v}{\omega} \quad (8.47)$$

$$(Y_i)_{\max} = \alpha_i \frac{S_a}{\omega^2}$$

bağıntıları vardır. Her mod'a ait maksimum yerdeğiştirmeler belirlendikten sonra boşluklu perdenin gerçek yerdeğiştirmeleri modal matris ile maksimum yerdeğiştirme değerleri çarpılarak bulunur. Her mod için maksimum yerdeğiştirme vektörleri yukarıda anlatıldığı şekilde belirlendikten sonra ilgili düğüm noktasının verilen deprem spektrumu etkisinde yaptığı yerdeğiştirmeyi hesaplamak için SRSS (Square Root of Sum of Squares) yöntemi kullanılır. Başka bir deyişle i numaralı düğüm noktasının yaptığı maksimum yerdeğiştirme

$$x_i = \sqrt{(\Phi_{i1} Y_1)^2 + (\Phi_{i2} Y_2)^2 + (\Phi_{i3} Y_3)^2 + \dots + (\Phi_{iN} Y_N)^2} \quad (8.48)$$

olarak hesaplanır.

## 9. SAYISAL UYGULAMALAR VE SONUÇLAR

### 9.1. Giriş

Çok sıra boşluklu perdelerin statik ve dinamik analizlerinden sonra MATHEMATICA programlama dilinde biri statik diğeri de serbest titreşim, zaman tanım alanı ve deprem analizi yapabilen iki bilgisayar programı hazırlanmıştır. Öntasarım amacıyla hazırlanan programlarda, temel elastik olarak dikkate alınıp bölgeden bölgeye perde kalınlığı, kat yüksekliği, kiriş-duvar bağlantı esnekliği, bağlantı kirişi kesit alanı ve atalet momenti değiştirilebilmekte ve perde asimetrik alınabilmektedir. Statik analizde dış kuvvetlerin momenti yüksekliğe bağlı polinom şeklinde alındığı için özel durumlar olarak literatürde ele alınan üniform yayılı, üçgen şeklinde yayılı ve tepede tekil yatay kuvvetler için çözüm kolaylıkla yapılabilmektedir. Dinamik analizde ise çok sıra boşluklu perdede toplanmış kütle kabulü yapılarak bölgelerde istenilen sayıda kütle alınabilmekte ve serbest titreşim, zaman tanım alanı ve deprem analizleri yapılabilmektedir.

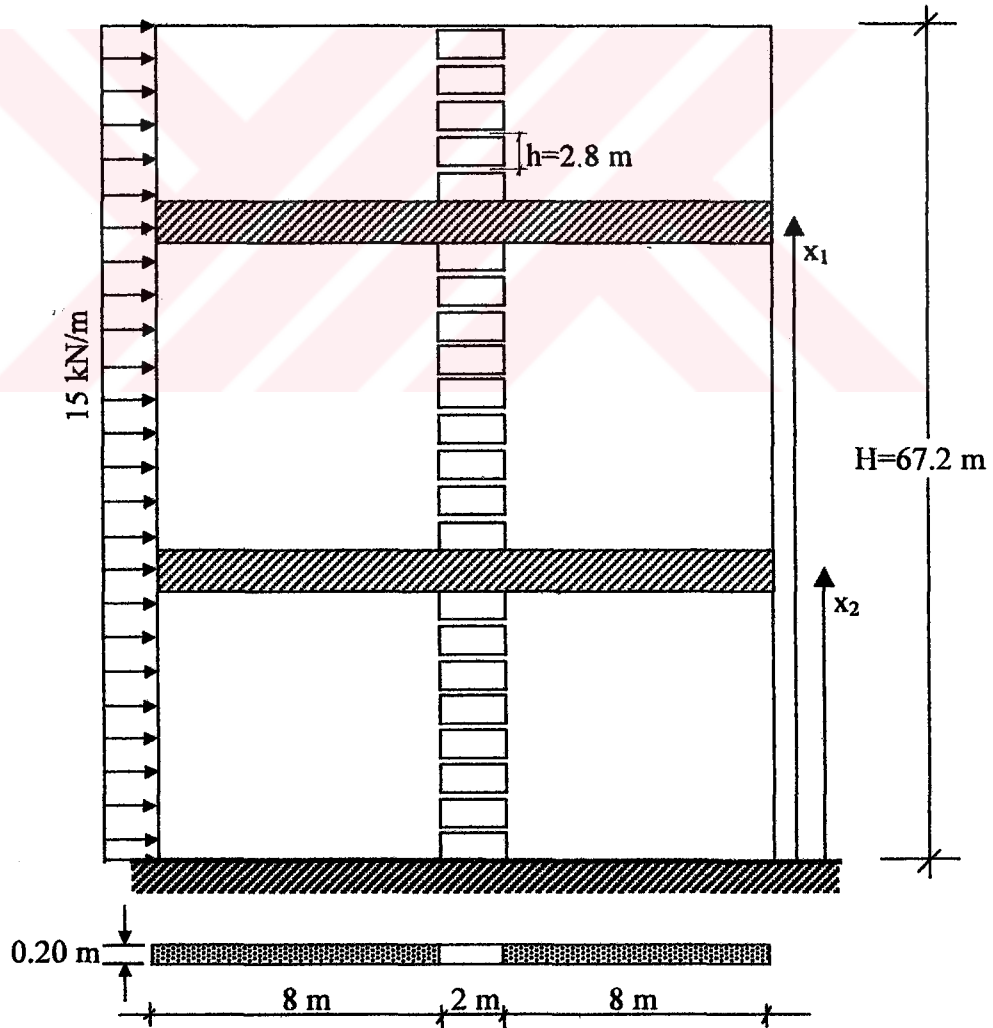
Sayısal uygulamalarda hem statikten hem de dinamikten örnekler ele alınmıştır. Literatürde SBY kullanılarak çözülmüş olan bir ve iki sıra boşluklu perde örnekleri ve diğer yöntemler kullanılarak yapılan güçlendirici kirişsiz üç ve beş sıra boşluklu perde örnekleri seçilerek çözülmüştür. Ayrıca, bölgeden bölgeye geometrik değişiklikleri kapsayacak şekilde hazırlanan dört sıra boşluklu perde örneği de statik örnek olarak ele alınmıştır. Dinamik örneklerde ise literatürde SBY kullanılarak çözülen bir sıra boşluklu perde örnekleri incelenmiştir. Literatürde çok sıra boşluklu perdelerin dinamik analizi konusunda herhangi bir çalışmaya rastlanmadığından, uygulama olarak, statikteki örneklerin dinamik analizleri yapılmıştır.

Yapılan analizlerin ve hazırlanan programların doğruluğunu kontrol etmek amacıyla bazı örnekler hem bu çalışmada hazırlanan programlar ile hem de SAP2000 yapı analizi programı ve PAFEC sonlu elemanlar programı ile çözümlenerek elde edilen sonuçlar karşılaştırılmış ve sonuçların oldukça uyumlu oldukları gözlenmiştir.

## 9.2. Sayısal Uygulamalar

### Örnek 1:

Bu ilk örnekte, Coull ve Bensmail (1991) tarafından ele alınan tek sıra boşluklu bir perde, bu çalışmada statik analiz için hazırlanan program ile ve SAP2000 yapı analizi programı ile çözümlenerek elde edilen sonuçlar o çalışmada verilen sonuçlarla karşılaştırılmıştır. Perde, simetrik ve elastik temele oturmakta olup değişik yüksekliklerde bir veya iki güçlendiricisi bulunduğuna göre çözülmüştür (Şekil 9.1).



Şekil 9.1. Örnek 1'e ait tek sıra boşluklu perde ve en kesiti

Bu örnekte, toplam yüksekliği 67.2 m, kat yüksekliği 2.8 m, kalınlığı 0.2 m, boşluk genişliği 2 m, bağlantı ve güçlendirici giriş yükseklikleri, sırasıyla, 0.35 m ve 1.00 m ve elastisite modülü  $2 \times 10^7$  kN/m<sup>2</sup> olan perde üzerine yatay olarak 15 kN/m üniform yük etki etmektedir. Problemin, güçlendiricisiz, çeşitli yüksekliklerde tek güçlendiricili ve iki güçlendiricili durumları incelenmiştir. Tek güçlendirici olduğu zaman güçlendirici yerleri ( $x_1/H$ ) 1, 0.67, 0.5, 0.33, 0 ve iki güçlendirici olduğunda ise güçlendiricilerin yerleri ( $x_1/H; x_2/H$ ) 1;0, 0.5;0, 1;0.5, 0.75;0.25, 0.67;0.33 olarak verilmiştir. Temel zemininin aşağıdaki üç tip özellikleri için ayrı ayrı çözüm yapılmıştır (Literatürde  $K_h$  verilmemiş olup burada  $K_h = \infty$  alınmıştır).

Durum a:  $K_v = 4.39 \times 10^5$  kN/m  $K_r = 13.56 \times 10^6$  kN-m/rad

Durum b:  $K_v = 1.46 \times 10^5$  kN/m  $K_r = 5.42 \times 10^6$  kN-m/rad

Durum c: Rijit temel

Problem, önce, tek güçlendirici ile, daha sonra iki güçlendirici çeşitli yüksekliklere konularak, hem bu çalışmada hazırlanan program ile hem de SAP2000 yapı analizi programı ile çözülmüştür. Bu örneğe ait sonuçlar, tek güçlendiricili durum için Çizelge 9.1'de ve iki güçlendiricili durum için ise Çizelge 9.2'de SAP2000 yapı analizi programıyla bulunanlarla karşılaştırılmıştır. Problem, bu çalışmada hazırlanan program ile çözüldüğünde literatürde verilen sonuçlarla tamamen üstüste çakışan sonuçlar elde edilmiştir. Bu nedenle Çizelge 9.1-2'de sonuçların SAP2000 ile karşılaştırılması yapılırken bu çalışmada elde edilen sonuçlarla Coull ve Bensmail'in sonuçları aynı kolonda ortak değer olarak verilmiştir.



Çizelge 9.1. Zemin tiplerine göre Örnek 1'in tek güçlendiricili durumu için yerdeğiştirme, eksenel kuvvet ve toplam moment değerlerinin SAP2000 sonuçlarıyla karşılaştırılması

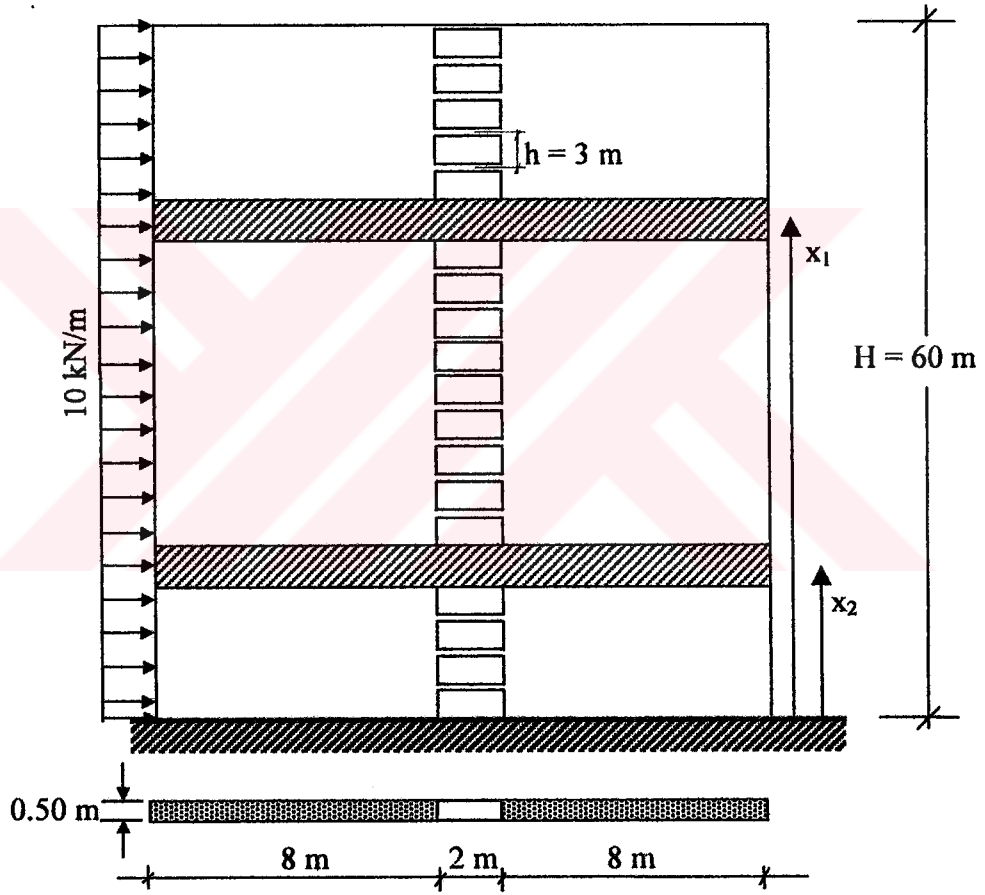
Zemin Özellikleri		Güçlendirici Yeri	Coul ve Bensmail (1991) ve Bu çalışma			SAP2000			Fark (%) SAP2000'e göre		
$K_v \times 10^5$ kN/m	$K_r \times 10^6$ kNm/rad		$x_1/H$	$y_H$ (m)	$T_0$ (kN)	$\sum M_0$ (kNm)	$y_H$ (m)	$T_0$ (kN)	$\sum M_0$ (kNm)	$y_H$	$T_0$
4.387	13.6	-	0.08137	2190	11969	0.08132	2172.6	12143.0	0.06	0.80	1.43
		1	0.07825	2197	11894	0.07844	2179.7	12071.2	0.24	0.79	1.47
		0.67	0.07476	2218	11685	0.07482	2202.2	11846.2	0.07	0.71	1.36
		0.5	0.07327	2252	11351	0.07328	2237.0	11498.9	0.01	0.67	1.29
		0.33	0.07296	2315	10720	0.07286	2301.9	10849.8	0.14	0.57	1.20
1.459	5.42	0	0.07841	2451	9361	0.07815	2452.8	9340.2	0.34	0.08	0.22
		-	0.15521	2290	10965	0.15519	2280.4	11064.4	0.02	0.42	0.90
		1	0.15203	2294	10926	0.15225	2284.2	11026.3	0.15	0.43	0.91
		0.67	0.14846	2305	10817	0.14853	2296.2	10906.9	0.04	0.38	0.82
		0.5	0.14691	2323	10642	0.14691	2314.7	10721.9	0.00	0.36	0.75
$\infty$	$\infty$	0.33	0.14656	2356	10314	0.14642	2349.1	10378.1	0.09	0.29	0.62
		0	0.15215	2419	9678	0.15185	2420.7	9661.8	0.19	0.07	0.17
		-	0.03724	1628	17584	0.03701	1627.5	17604.0	0.63	0.03	0.11
		1	0.03446	1645	17419	0.03446	1642.6	17452.3	0.01	0.14	0.19
		0.67	0.03157	1690	16967	0.03148	1689.1	16988.1	0.30	0.06	0.12
$\infty$	$\infty$	0.5	0.03078	1759	16281	0.03065	1756.9	16308.7	0.41	0.11	0.17
		0.33	0.03143	1879	15079	0.03123	1874.6	15132.4	0.65	0.23	0.35

Çizelge 9.2. Zemin tiplerine göre Örnek 1'in iki güçlendiricili durumu için yerdeğiştirme, eksenel kuvvet ve toplam moment değerlerinin SAP2000 sonuçlarıyla karşılaştırılması

Zemin Özellikleri		Güçlendirici Yerleri		Coul ve Bensmail (1991) ve Bu çalışma			SAP2000			Fark (%) SAP2000'e göre		
$K_v \times 10^5$ kN/m	$K_r \times 10^6$ kNm/rad	$x_1/H$	$x_2/H$	$y_H$ (m)	$T_0$ (kN)	$\sum M_0$ (kNm)	$y_H$ (m)	$T_0$ (kN)	$\sum M_0$ (kNm)	$y_H$	$T_0$	$\sum M_0$
4.387	13.6	1	0	0.07552	2453	9337	0.07549	2455.1	9318.3	0.03	0.08	0.20
		0.5	0	0.07140	2410	9166	0.07126	2471.8	9149.8	0.19	2.50	0.18
		1	0.5	0.07165	2216	11333	0.07178	2238.7	11481.6	0.19	1.02	1.29
1.459	5.42	0.75	0.25	0.06930	2300	10248	0.06932	2353.1	10337.8	0.03	2.26	0.87
		0.67	0.3	0.06894	2320	10641	0.06897	2310.1	10768.2	0.04	0.43	1.18
		1	0	0.14926	2426	9668	0.14921	2421.6	9652.7	0.04	0.18	0.16
$\infty$	$\infty$	0.5	0	0.14519	2427	9597	0.14502	2428.6	9582.5	0.12	0.07	0.15
		1	0.5	0.14528	2300	10633	0.14540	2315.6	10712.9	0.08	0.67	0.75
		0.75	0.25	0.14292	2379	10074	0.14289	2375.4	10113.9	0.02	0.15	0.40
$\infty$	$\infty$	0.67	0.3	0.14253	2350	10274	0.14252	2353.2	10336.5	0.01	0.14	0.60
		1	0.5	0.02924	1765	16239	0.02924	1760.9	16269.6	0.01	0.23	0.19
		0.75	0.25	0.02840	1972	14207	0.02836	1964.4	14234.9	0.13	0.39	0.20
$\infty$	$\infty$	0.67	0.3	0.02762	1903	14882	0.02755	1894.2	14937.1	0.23	0.46	0.37

**Örnek 2:**

Bu örnekte, Choo ve Li (1997) tarafından ele alınan tek sıra boşluklu bir perde, incelenerek elde edilen sonuçlar o çalışmada verilen sonuçlarla karşılaştırılmıştır. Perde simetrik olup rijit ve elastik temele oturduğuna ve çeşitli yüksekliklerde bir veya iki güçlendiricisi bulunduğuna göre çözülmüştür (Şekil 9.2).



Şekil 9.2. Örnek 2'ye ait tek sıra boşluklu perde ve en kesiti

Bu örnekte, toplam yüksekliği 60 m, kat yüksekliği 3 m, kalınlığı 0.5 m, boşluk genişliği 2 m, bağlantı ve güçlendirici giriş yükseklikleri, sırasıyla, 0.333 m ve 1.20 m ve elastisite modülü  $15 \times 10^6 \text{ kN/m}^2$  olan perdeye yatay olarak 10 kN/m üniform yük etki etmektedir. Problemin, güçlendiricisiz, çeşitli yüksekliklerde tek

güçlendiricili ve iki güçlendiricili durumları incelenmiştir. Tek güçlendiricili durumda güçlendirici yerleri ( $x_1/H$ ) 1, 0.9, 0.8, 0.7, 0.6, 0.5, 0.45, 0.4, 0.35, 0.3, 0.25, 0.2, 0.15, 0.1, 0 ve iki güçlendiricili durumda ise güçlendiricilerin yerleri ( $x_1/H; x_2/H$ ) 1;0, 0.5;0.9, 0.5;0.8, 0.5;0.7, 0.5;0.6, 0.5;0.5, 0.5;0.45, 0.5;0.4, 0.5;0.35, 0.5;0.3, 0.5;0.25, 0.5;0.2, 0.5;0.15, 0.5;0.1 olarak verilmiştir. Zemin özellikleri için aşağıdaki iki durum incelenmiştir (Literatürde  $K_h$  verilmemiş olup burada  $K_h = \infty$  alınmıştır).

Durum a: Rijit temel

Durum b:  $K_v = 9.311 \times 10^5$  kN/m  $K_r = 3.106 \times 10^7$  kN-m/rad

Problem, rijit ve elastik zemin koşulları için, önce, tek güçlendiricili, daha sonra, iki güçlendirici çeşitli yüksekliklere konularak çözülmüştür. Bu örneğe ait sonuçlar, tek güçlendiricili durum için Çizelge 9.3'te ve iki güçlendiricili durum için ise Çizelge 9.4'te literatürdekilerle karşılaştırılmıştır.

Çizelge 9.3. Örnek 2'nin tek güçlendiricili durumu için bu çalışmada hazırlanan program ile çözümlmesinden elde edilen sonuçların literatürde verilen sonuçlarla karşılaştırılması

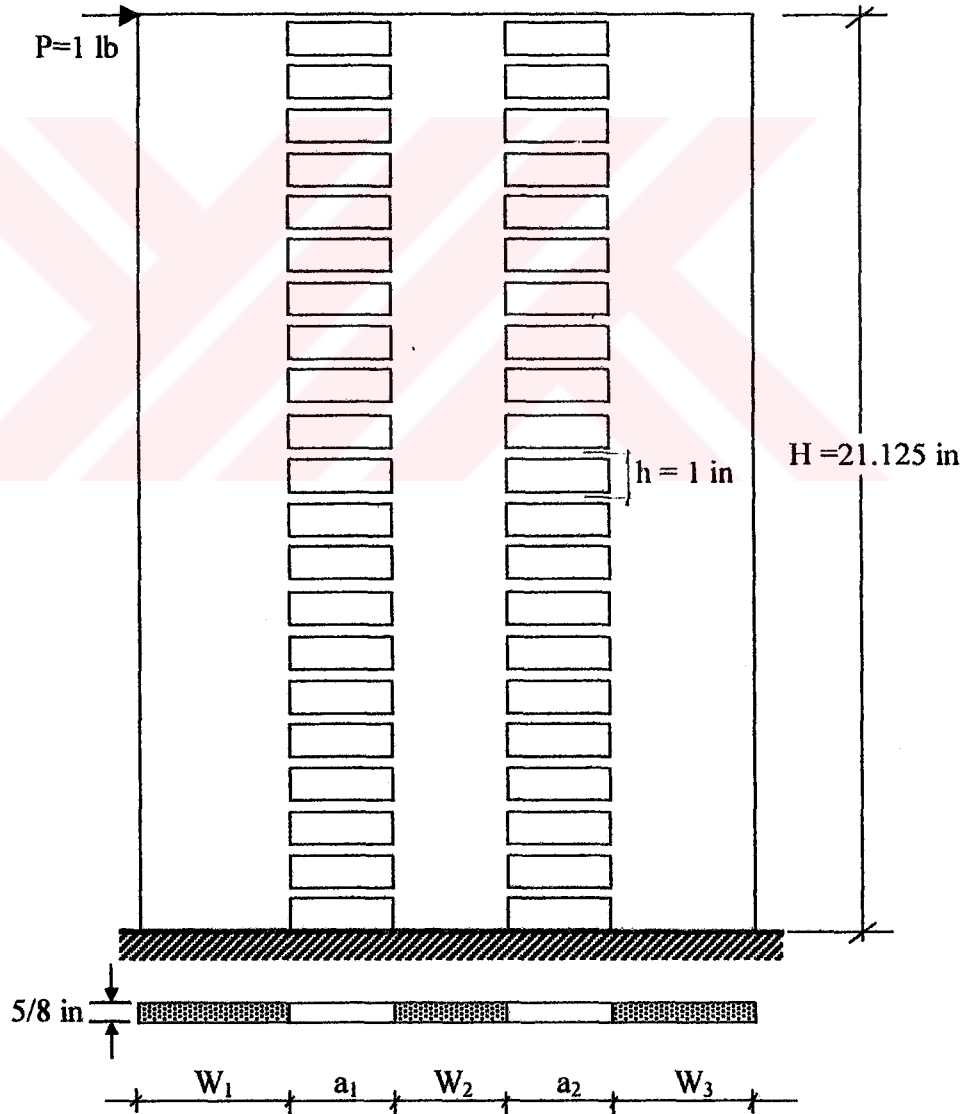
Zemin Özellikleri		Güçlendirici Yeri $x_1/H$	$y_H$ (mm)		$T_0$ (kN)		$\sum M_0$ (kNm)	
$K_v \times 10^5$ kN/m	$K_r \times 10^7$ kNm/rad		Choo ve Li	Bu çalışma	Choo ve Li	Bu çalışma	Choo ve Li	Bu çalışma
$\infty$	$\infty$	-	9.906	9.916	766.0	765	10340	10346
		-	20.19	20.20	1065	1065	7346	7350
		1.00	18.58	18.58	1080	1080	7203	7206
		0.90	17.08	17.09	866.7	866.20	9333	9336
		0.80	17.08	16.63	879.1	878.64	9209	9212
		0.70	16.16	16.16	898.0	897.53	9021	9024
		0.60	15.75	15.75	925.0	924.68	8750	8752
		0.50	15.47	15.47	962.1	961.79	8370	8382
		0.45	15.40	15.39	984.7	984.46	8153	8155
9.311	3.106	0.40	15.38	15.38	1010	1009.92	7899	7900
		0.35	15.42	15.42	1038	1037.97	7619	7620
		0.30	15.53	15.52	1068	1068.15	7317	7318
		0.25	15.70	15.70	1100	1099.51	7004	7004
		0.20	15.95	15.95	1130	1130.27	6696	6696
		0.15	16.26	16.26	1157	1157.03	6429	6429
		0.10	16.63	16.63	1173	1172.84	6270	6271
		0.00	17.56	17.56	857.8	857.20	9423	9427

Çizelge 9.4. Örnek 2'nin iki güçlendiricili durumu için bu çalışmada hazırlanan program ile çözümlmesinden elde edilen sonuçların literatürde verilen sonuçlarla karşılaştırılması

Zemin Özellikleri		Güçlendirici Yeri		$y_H$ (mm)		$T_0$ (kN)		$\sum M_0$ (kNm)	
$K_v \times 10^5$ kN/m	$K_r \times 10^7$ kNm/rad	$x_1/H$	$x_2/H$	Choo ve Li	Bu çalışma	Choo ve Li	Bu çalışma	Choo ve Li	Bu çalışma
9.311	3.106	1	0	17.56	17.56	857.8	857.2	9423	9427
			0.90	15.29	15.29	963.3	963.20	8367	8370
			0.80	15.14	15.13	965.0	964.72	8350	8353
			0.70	15.04	15.04	967.5	967.24	8325	8326
			0.60	15.04	15.04	971.1	970.87	8289	8295
			0.50	15.17	15.17	977.0	976.73	8230	8232
			0.45	14.97	14.97	999.4	999.18	8006	8005
			0.40	14.81	14.81	1026	1025.47	7744	7745
			0.35	14.69	14.69	1055	1054.90	7450	7450
			0.30	14.62	14.62	1087	1086.86	7130	7131
			0.25	14.61	14.61	1121	1120.44	6795	6794
			0.20	14.66	14.66	1154	1154.00	6459	6460
			0.15	14.77	14.77	1185	1184.46	6155	6155
			0.10	14.95	14.95	1206	1205.55	5944	5945

**Örnek 3:**

Bu örnekte, Coull ve Subedi (1972) tarafından ele alınan iki sıra boşluklu bir perde, bu çalışmada statik analiz için hazırlanan program ile ve SAP2000 yapı analizi programı ile ayrı ayrı çözülmüş ve elde edilen yerdeğiştirmeler o çalışmada verilen yerdeğiştirmelerle karşılaştırılmıştır. Bu örnekteki güçlendiricisiz iki sıra boşluklu perde rijit temele oturmakta olup tepesinde yatay olarak 1 poundluk bir yük etki etmektedir (Şekil 9.3).



Şekil 9.3. Örnek 3'e ait iki sıra boşluklu perde ve en kesiti



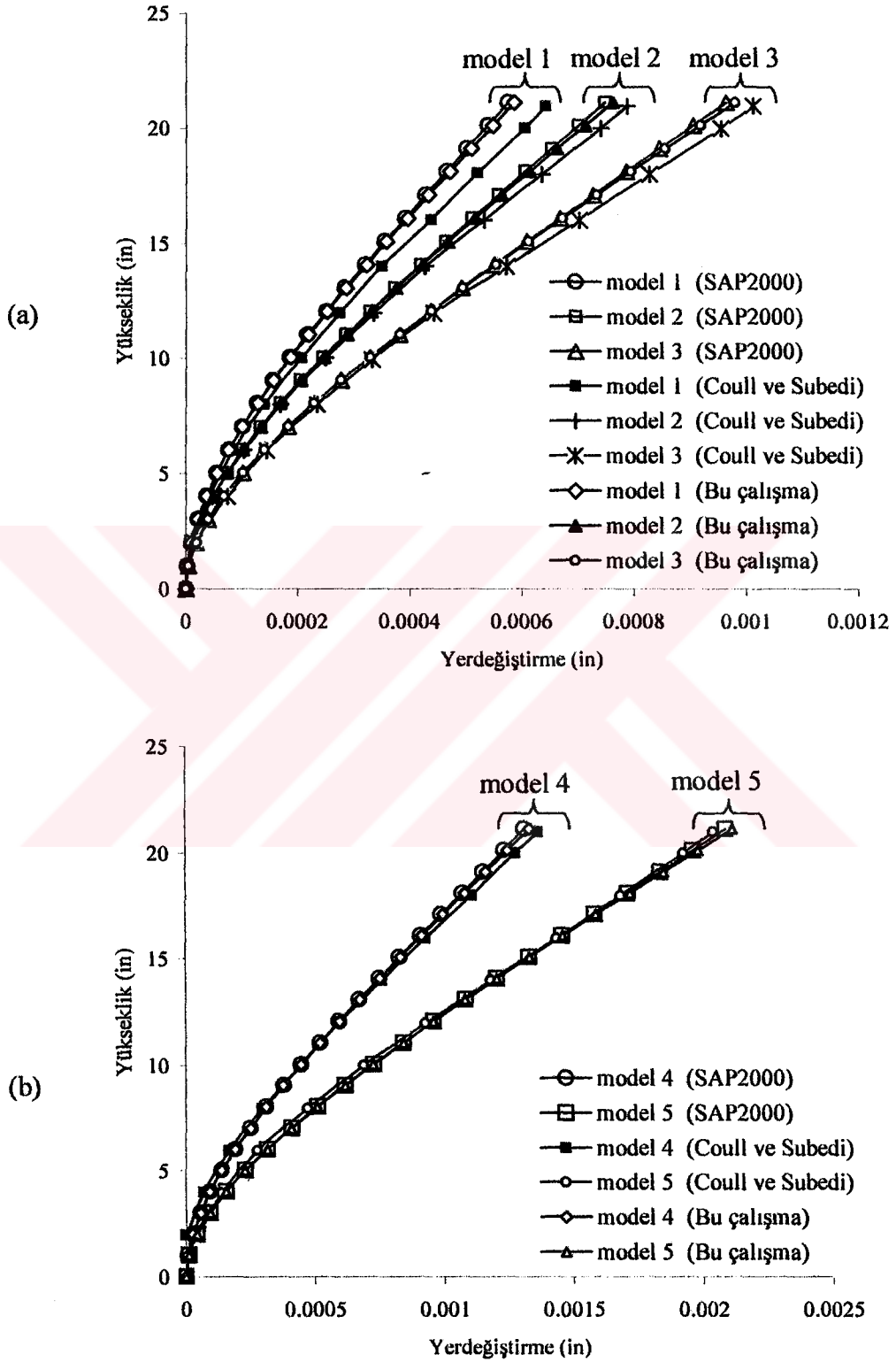
Bu örnekte, perde yüksekliği 21.125 in, kat yüksekliği 1 in, perde kalınlığı 5/8 in, boşluk genişlikleri 2 in, bağlantı kirişi yüksekliği 0.25 in ve elastisite modülü  $4.6 \times 10^5$  lb/in<sup>2</sup> olarak verilmiştir. Bu perdenin duvar genişlikleri değiştirilerek beş farklı model oluşturulmuştur (Çizelge 9.5).

Çizelge 9.5. Örnek 3'e ait değişik modeller

Boyutlar (in)	MODEL				
	1	2	3	4	5
H	21.125	21.125	21.125	21.125	21.125
h	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
W <sub>1</sub>	3	3	2	0.625	0.625
W <sub>2</sub>	3	2	2	2	0.625
W <sub>3</sub>	2	2	2	2	2
a <sub>1</sub>	2	2	2	2	2
a <sub>2</sub>	2	2	2	2	2

Problem, Çizelge 9.5'te görülen 5 farklı model için bu çalışmada hazırlanan program ile ve SAP2000 yapı analizi programı ile çözümlenerek, yerdeğiştirmeler için bulunan sonuçlar Şekil 9.4a-b'de literatürde verilenlerle birlikte sunulmuştur.

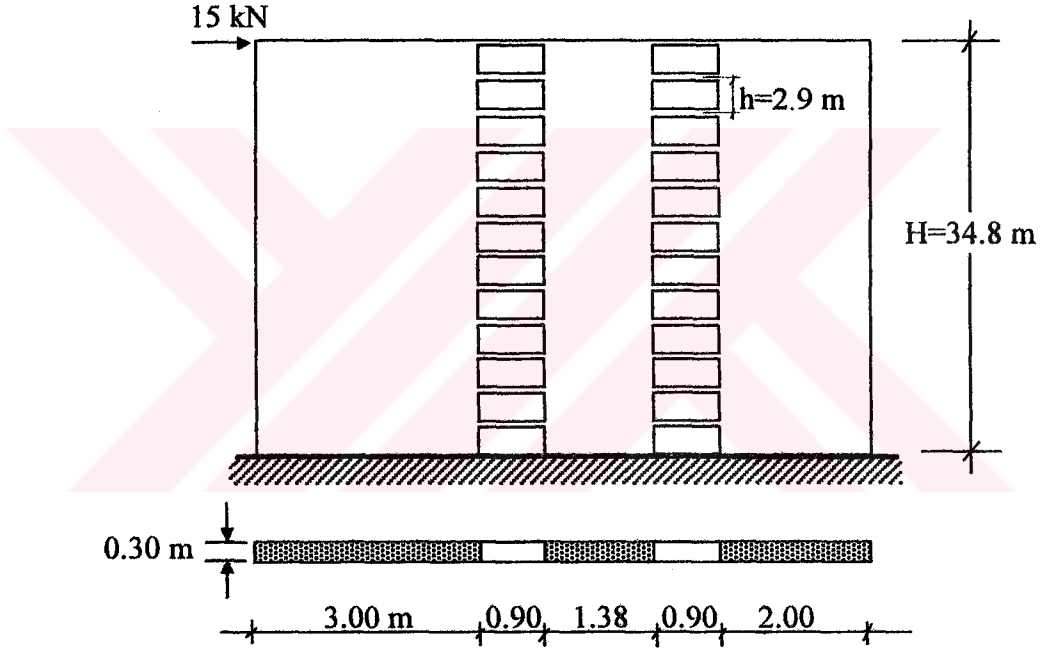




Şekil 9.4. Örnek 3'te değişik modeller için bulunan yerdeğiştirme sonuçlarının karşılaştırılması (a) Model 1-3 (b) Model 4-5

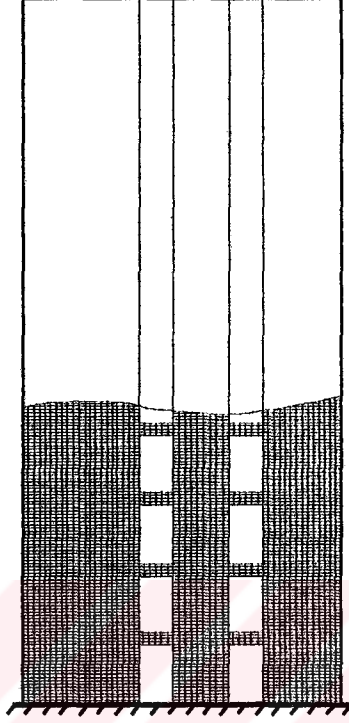
**Örnek 4:**

Önemli gerilmelerin, perde tabanındaki toplam momentin ve perde tepesindeki yerdeğiştirmenin diğer yöntemlerle uyumluluğunu göstermek amacıyla bu örnekte rijit temele oturan, toplam yüksekliği 34.80 m, kat yüksekliği 2.9 m ve kalınlığı 0.30 m olan iki sıra boşluklu bir perde ele alınmıştır. Değişik genişlikte üç duvardan oluşan perdeye, tepesinde 15 kN'luk tekil bir yük etki etmektedir (şekil 9.5).



şekil 9.5. Örnek 4'e ait çok sıra boşluklu perde ve en kesiti

Bu problemde, tüm bağlantı kirişlerinin yüksekliği 0.80 m, perde kalınlığı 0.30 m ve elastisite modülü  $2.00 \times 10^7$  kN/m<sup>2</sup> olarak alınmıştır. Yukarıda boyutları verilen iki sıra boşluklu perde örneğinde, bu çalışmada hazırlanan bilgisayar programından, şekil 9.6'da görülen sonlu elemanlar açı oluşturularak PAFEC (1978) sonlu elemanlar programından ve SAP2000 yapı analizi programından elde edilen değerler karşılaştırılmış ve oransal farklarıyla birlikte Çizelge 9.6'da sunulmuştur. Çizelgede PAFEC kolonunda sunulan taban gerilme değerleri, PAFEC (1978) sonlu elemanlar programından duvar tabanları için bulunan gerilmelerin ortalamalarıdır.



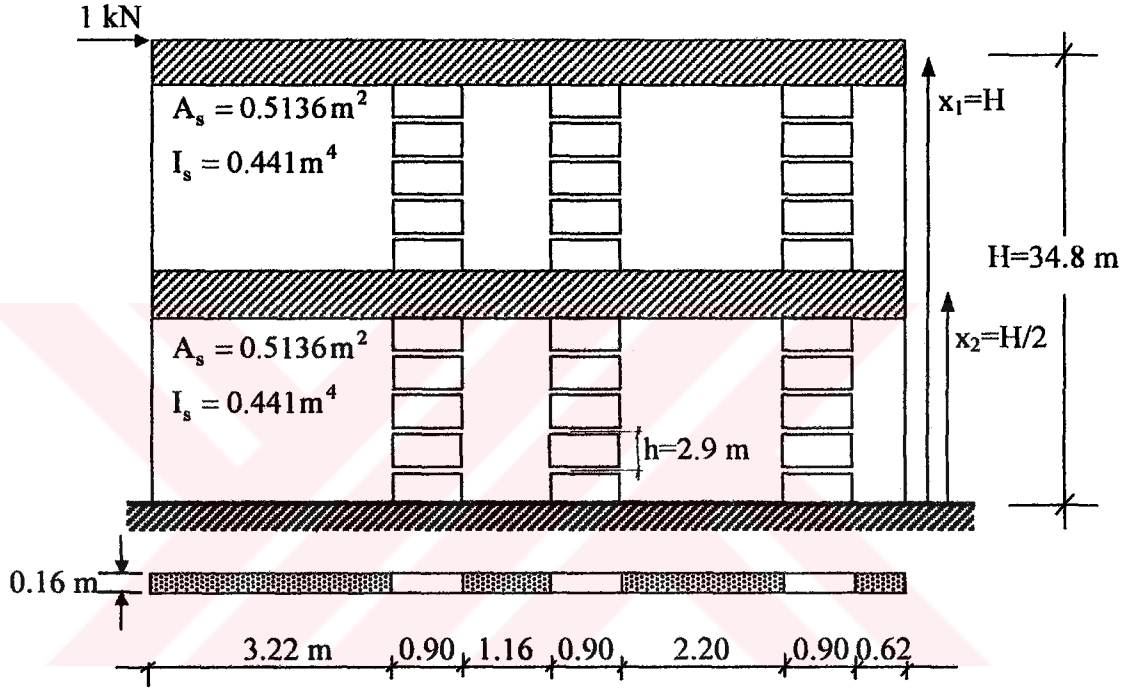
Şekil 9.6. Örnek 4'te sonlu elemanlar ağının oluşturulması

Çizelge 9.6. Örnek 4'ün PAFEC sonlu elemanlar programı ile, SAP2000 yapı analizi programı ile ve bu çalışmada hazırlanan program ile çözülmesinden elde edilen bazı büyüklüklerin karşılaştırılması

Büyüklükler	PAFEC	SAP2000	Bu çalışma	Fark (%)	
				(PAFEC'e göre)	(SAP2000'e göre)
$\sigma_1$ (kN/m <sup>2</sup> )	94.1605	95.2744	95.1985	1.10	0.08
$\sigma_2$ (kN/m <sup>2</sup> )	-25.9375	-25.0952	-25.4238	1.98	1.31
$\sigma_3$ (kN/m <sup>2</sup> )	-123.7800	-125.5958	-125.2553	1.19	0.27
$\Sigma M_i$ (kNm)	63.1521	61.8631	62.6059	0.86	1.20
$y_H$ (m)	0.00089	0.00088	0.00089	0.00	1.14

**Örnek 5:**

Beşinci örnek olarak, Koo ve Cheung (1984) tarafından ele alınan üç sıra boşluklu bir perde, önce literatürde verildiği şekliyle güçlendiricisiz olarak, daha sonra da, tepesine ve ortasına güçlendirici kiriş konularak çözülmüştür (Şekil 9.7).



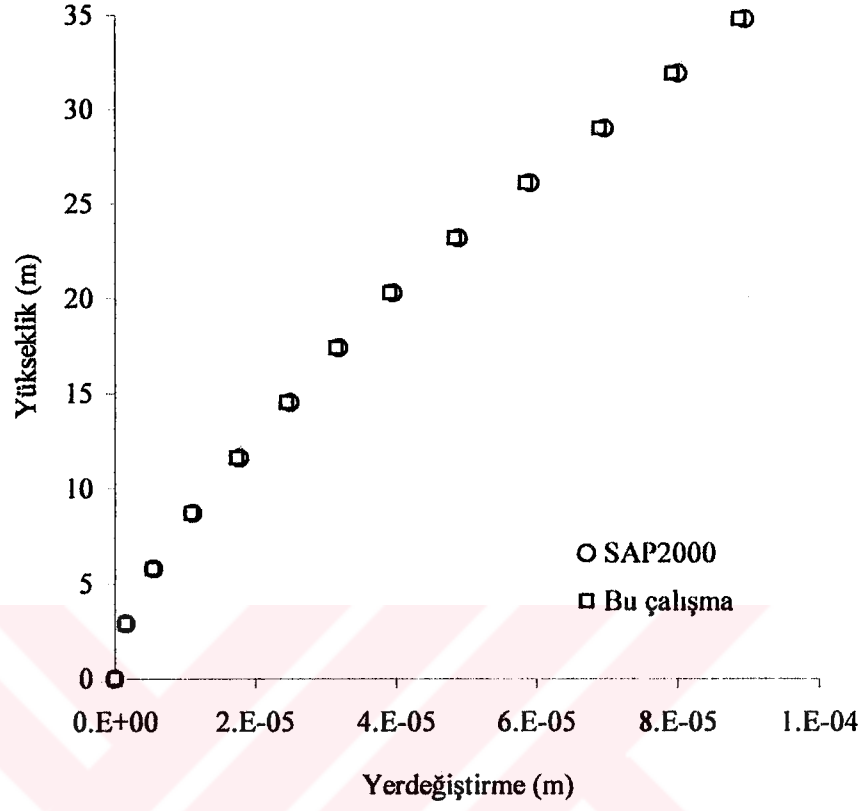
Şekil 9.7. Örnek 5'e ait üç sıra boşluklu perde ve en kesiti

Toplam yüksekliği 34.8 m, kat yükseklikleri 2.9 m, kalınlığı 0.16 m, bağlantı kirişi yükseklikleri 0.31 m ve elastisite modülü  $2 \times 10^7$  kN/m<sup>2</sup> olan perdeye tepesinde yatay olarak 1 kN'luk bir tekil kuvvet etki etmektedir. Literatürde verilen perde tabanı için duvar eksenlerindeki gerilmeler, perde tabanı toplam momenti ve perde tepesi için bulunan yerdeğiştirme değerleri, problemin bu çalışmada hazırlanan program ile çözülmesinden ve SAP2000 yapı analiz programı ile çözülmesinden elde edilen değerler ile karşılaştırılarak oransal farklarıyla birlikte Çizelge 9.7'de sunulmuştur. Literatürdeki çalışmada, temel bilinmeyenler olan aksenal kuvvetler koordinat fonksiyonları cinsinden ifade edilerek çözüme gidilmiştir. Çizelge 9.7'de de görüldüğü gibi bu yöntem özellikle orta duvarlarda büyük hata oranları vermektedir.

Çizelge 9.7. Örnek 5'in güçlendiricisiz durumu için bazı büyüklüklerin değişik yöntemlerle karşılaştırılması

Büyüklükler	Koo ve Cheung	SAP2000	Bu çalışma	SAP2000 ile fark (%)	
				Koo ve Cheung	Bu çalışma
$\sigma_1$ (kN/m <sup>2</sup> )	8.7763	8.7344	8.8127	0.48	0.90
$\sigma_2$ (kN/m <sup>2</sup> )	-0.5199	-0.7543	-0.7483	31.08	0.79
$\sigma_3$ (kN/m <sup>2</sup> )	-8.2818	-7.5284	-7.5741	10.01	0.61
$\sigma_4$ (kN/m <sup>2</sup> )	-15.2315	-17.2379	-17.4935	11.64	1.48
$\Sigma M_i$ (kNm)	5.9387	5.6800	5.6058	4.55	1.30
$y_H$ (m)	-	$1.00 \times 10^{-4}$	$9.9564 \times 10^{-4}$	-	0.54

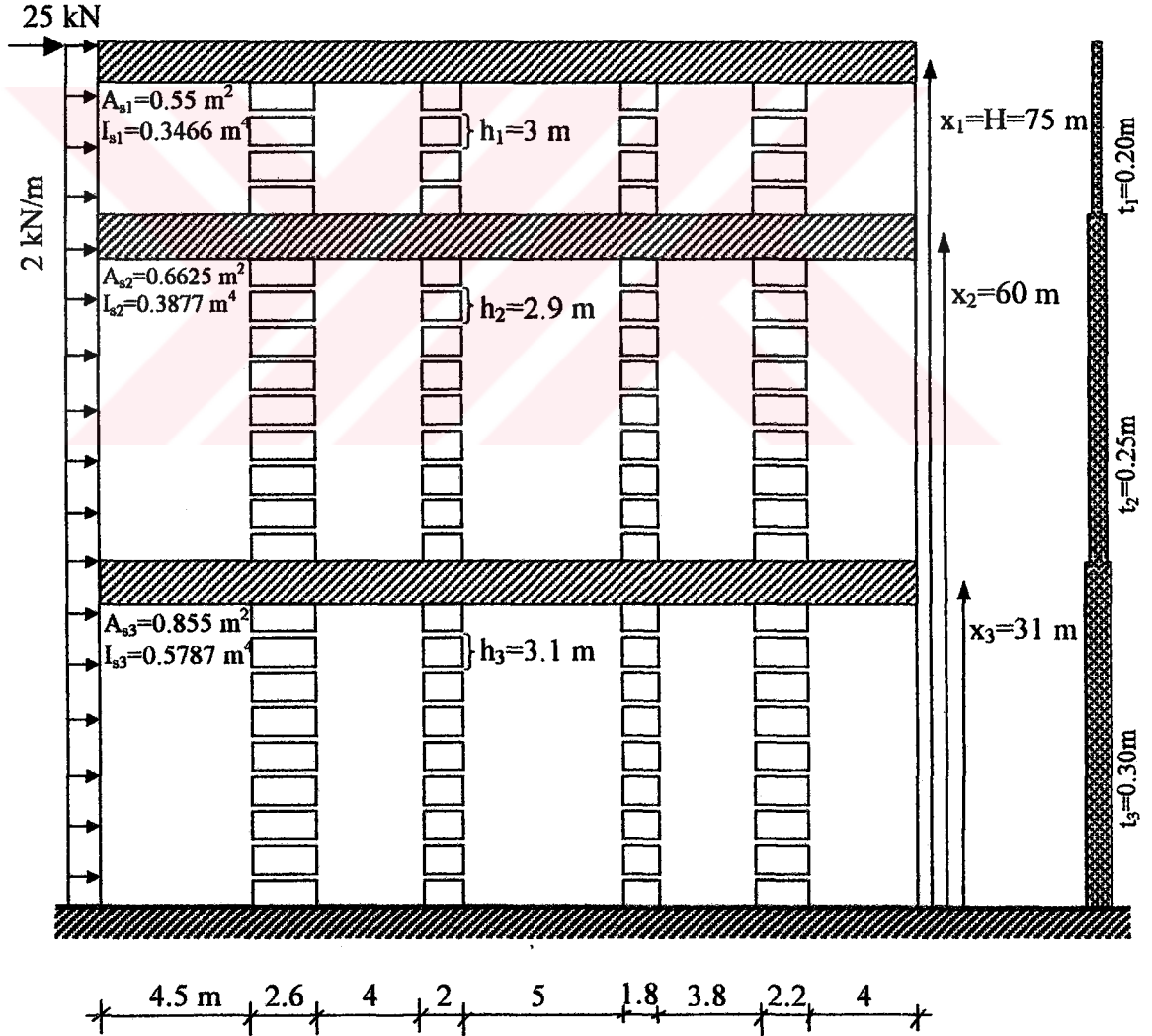
Aynı örnek, perdenin tepesine ve ortasına alanı 0.5136 m<sup>2</sup> ve atalet momenti 0.441m<sup>4</sup> olan güçlendirici kirişler yerleştirilerek yeniden çözümlenmiş, bu çalışmadan ve SAP2000 yapı analiz programından elde edilen yatay yerdeğiştirmeler Şekil 9.8'de sunulmuştur.



Şekil 9.8. Örnek 5'in güçlendiricili durumu için yerdeğiştirme grafiği

**Örnek 6:**

Yapılan bu çalışmada, mimari nedenlerle oluşabilecek, bölgeden bölgeye bağlantı kirişi, kat yüksekliği, güçlendirici kiriş ve kalınlık değişiklikleri dikkate alınmaktadır. Ayrıca, perdedeki duvar ve boşluk genişlikleri asimetrik alınabilmektedir. Bu değişiklikleri içerecek şekilde hazırlanan bu örnek problem, üç güçlendiricili, rijit veya elastik temele oturan ve bölgeden bölgeye kalınlığı değişen dört sıra boşluklu bir perdedir (Şekil 9.9).



Şekil 9.9. Örnek 6'ya ait dört sıra boşluklu perde ve boy kesiti

Toplam yüksekliği 75 m, tepeden başlayarak her bölge için, kalınlığı, 0.20 m, 0.25 m, 0.30 m, güçlendirici kiriş alanı, 0.55 m<sup>2</sup>, 0.6625 m<sup>2</sup>, 0.855 m<sup>2</sup>, atalet momentleri, 0.3466 m<sup>4</sup>, 0.3877 m<sup>4</sup>, 0.5787 m<sup>4</sup>, kat yükseklikleri, 3 m, 2.9 m, 3.1 m, elastisite modülü 2.876x10<sup>7</sup> kN/m<sup>2</sup> ve bağlantı kirişi yükseklikleri, soldan sağa doğru, sırasıyla, 0.25 m, 0.20 m, 0.35 m, 0.30 m olarak alınan perdenin tepesine yatay olarak 25 kN'luk tekil yük ve 2 kN/m'lik üniform yayılı yük etki etmektedir. Gözönüne alınan değişik zemin tipleri aşağıda verilmiştir:

Rijit zemin :  $K_r=\infty$ ,  $K_v=\infty$ ,  $K_h=\infty$

Sert zemin :  $K_r=2.72 \times 10^7$  kN-m/rad,  $K_v=8.78 \times 10^5$  kN/m,  $K_h=7.52 \times 10^6$  kN/m

Yumuşak zemin :  $K_r=1.36 \times 10^7$  kN-m/rad,  $K_v=4.39 \times 10^5$  kN/m,  $K_h=3.76 \times 10^6$  kN/m

Problemin bu çalışmada hazırlanan program ile ve SAP2000 yapı analiz programı ile çözülmesinden elde edilen değerler Çizelge 9.8-9'da sunulmuş ve Çizelge 9.10'da sonuçlar arasındaki oransal farklar verilmiştir.

Çizelge 9.8. Örnek 6 için SAP2000 yapı analizi programından elde edilen bazı sonuçlar

Zemin Özellikleri			SAP2000						
$K_v$ $\times 10^5$ kN/m	$K_r$ $\times 10^7$ kNm/rad	$K_h$ $\times 10^6$ kN/m	$T_1$ (kN)	$T_2$ (kN)	$T_3$ (kN)	$T_4$ (kN)	$T_5$ (kN)	$\sum M$ (kNm)	$y_H \times 10^{-5}$ (m)
$\infty$	$\infty$	$\infty$	174.1	71.8	35.8	-108.7	-172.9	1907	221
8.78	2.72	7.52	193.7	82.1	45.7	-125.7	-195.8	1190	299
4.39	1.36	3.76	203.5	88.2	42.1	-128.7	-205.2	886	351



Çizelge 9.9. Örnek 6 için bu çalışmada hazırlanan programdan elde edilen bazı sonuçlar

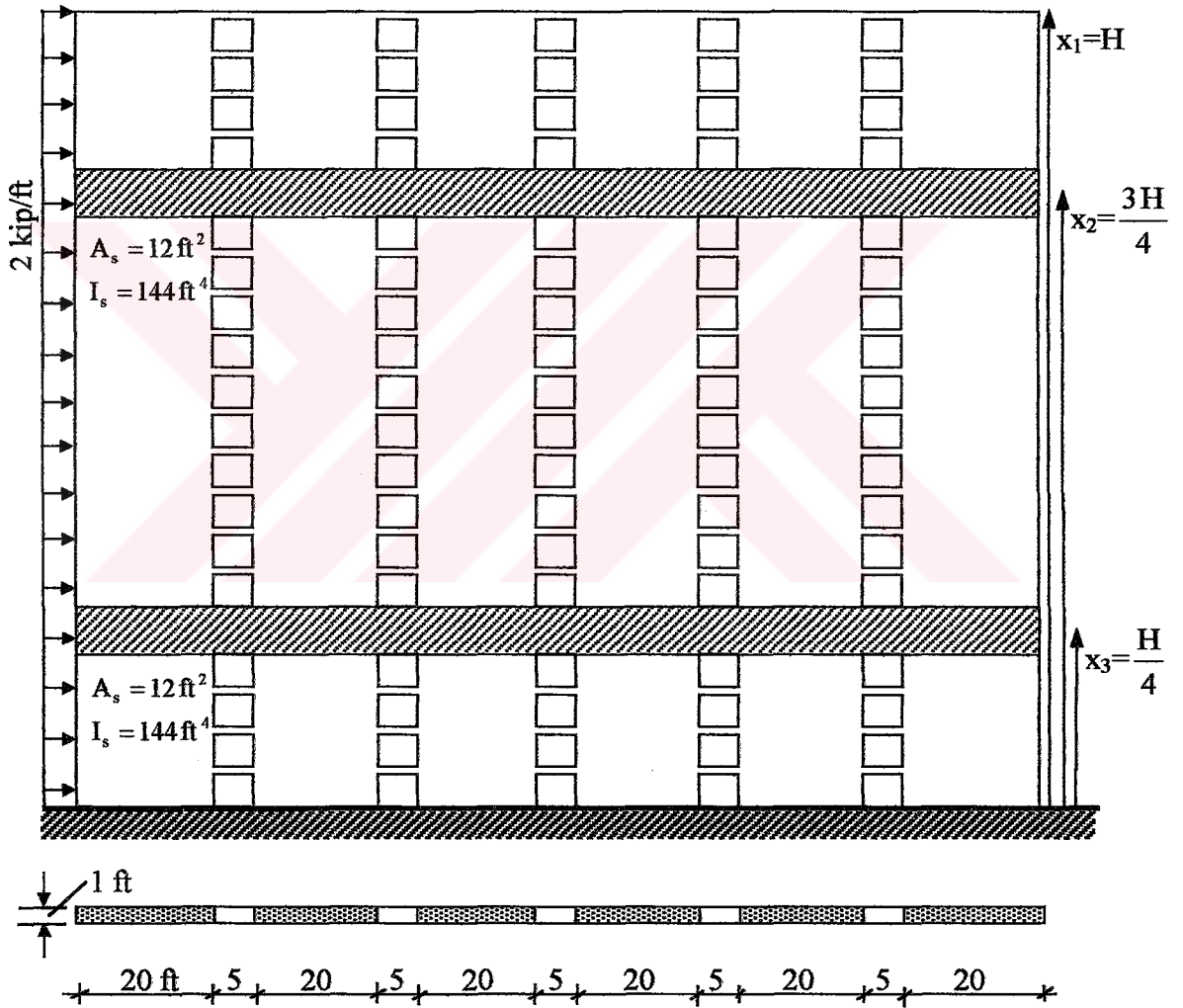
Zemin Özellikleri			Bu çalışma						
$K_v$ $\times 10^5$ kN/m	$K_r$ $\times 10^7$ kNm/rad	$K_h$ $\times 10^6$ kN/m	$T_1$ (kN)	$T_2$ (kN)	$T_3$ (kN)	$T_4$ (kN)	$T_5$ (kN)	$\sum M$ (kNm)	$y_H \times 10^{-5}$ (m)
$\infty$	$\infty$	$\infty$	172.4	70.9	37.1	-109.7	-172.2	1938	222
8.78	2.72	7.52	192.7	81.3	47.6	-129.1	-196.6	1178	301
4.39	1.36	3.76	202.7	87.6	43.7	-131.9	-206.3	868	351

Çizelge 9.10. Örnek 6'da bazı büyüklükler için bu çalışmadaki yöntemle bulunan sonuçların SAP2000 sonuçları ile oransal farkları

Zemin Özellikleri			SAP2000 ile fark (%)						
$K_v$ $\times 10^5$ kN/m	$K_r$ $\times 10^7$ kNm/rad	$K_h$ $\times 10^6$ kN/m	$T_1$	$T_2$	$T_3$	$T_4$	$T_5$	$\sum M$	$y_H$
$\infty$	$\infty$	$\infty$	0.98	1.25	3.63	0.92	0.40	1.63	0.45
8.78	2.72	7.52	0.52	0.97	4.16	2.70	0.41	1.01	0.67
4.39	1.36	3.76	0.39	0.68	3.80	2.49	0.54	2.03	0.00

**Örnek 7:**

Bu örnekte, Elkholy ve Robinson (1973) tarafından sonlu farklar yöntemi kullanılarak ele alınan beş sıra boşluklu bir perde, değişik zemin özellikleri için önce literatürde verildiği şekliyle ve daha sonra da yüksekliğin  $\frac{1}{4}$  ve  $\frac{3}{4}$ 'ünde güçlendirici kiriş konularak çözülmüştür (Şekil 9.10).



Şekil 9.10. Örnek 7'ye ait beş sıra boşluklu perde ve en kesiti

Toplam yüksekliği 200 ft, kat yüksekliği 10 ft, kalınlığı 1 ft, bağlantı kirişi yüksekliği 2 ft ve elastisite modülü  $2 \times 10^5$  kip/ft<sup>2</sup> olan perdeye yatay olarak 2 kip/ft

uniform yayılı yük etki etmektedir. Literatürde verilen perde tepesi için yerdeğiştirme değerleri, problemin bu çalışmada hazırlanan program ile çözülmesinden ve SAP2000 yapı analiz programı ile çözülmesinden elde edilen yerdeğiştirmeler ile karşılaştırılarak oransal farklarıyla birlikte Çizelge 9.11'de sunulmuştur. Literatürdeki çalışmada Elkholy ve Robinson (1973) temelin elastikiyetinden doğan bağıl düşey yerdeğiştirmelerin ifadesini yazarken iki işaret hatası yapmış olduklarından, temeli elastik olan örneklerde SAP2000 yapı analizi programı ile ve bu çalışmadaki yöntemle bulunan sonuçlar tam bir uyum gösterdiği halde, onların verdikleri ifadelerden çok farklı sonuçlar çıkmaktadır (Çizelge 9.11).

Çizelge 9.11. Örnek 7'de değişik yöntemlerle yapılan çalışmalarda bulunan tepe noktası yatay yerdeğiştirmelerinin güçlendiricisiz durum için karşılaştırılması

Zemin Özellikleri*		$y_H$ (ft)			SAP2000 ile fark (%)	
$K_v$ kip/ft	$K_r$ kip-ft/rad	Elkholy ve Robinson	Bu çalışma	SAP2000	Elkholy ve Robinson	Bu çalışma
$\infty$	$\infty$	0.00945	0.008856	0.009007	4.92	1.67
$9 \times 10^6$	$3 \times 10^8$	0.00972	0.009110	0.009319	4.3	2.15
$4 \times 10^6$	$\infty$	0.00959	0.008880	0.009031	6.19	1.67
$\infty$	$1.5 \times 10^8$	0.00985	0.009250	0.009505	3.63	2.68
$4 \times 10^6$	$1.5 \times 10^8$	0.01000	0.009277	0.009531	4.92	2.66
$3 \times 10^4$	$\infty$	0.02890	0.011863	0.012024	140	1.34
$3 \times 10^3$	$1 \times 10^5$	0.30300	0.050472	0.051140	492.49	1.31
$6 \times 10^2$	$2 \times 10^4$	1.41000	0.212936	0.213606	560.09	0.31

\* Literatürde  $K_h$  verilmemiş olup burada  $K_h = \infty$  alınmıştır

Aynı örnek perde, yüksekliğin  $\frac{1}{4}$  ve  $\frac{3}{4}$ 'ünde alanı  $12 \text{ ft}^2$  ve atalet momenti  $144 \text{ ft}^4$  olan güçlendirici kirişler yerleştirilerek yeniden çözümlenmiş ve bu çalışmadan ve SAP2000 yapı analiz programından elde edilen yatay yerdeğiştirmeler Çizelge 9.12'de sunulmuştur.

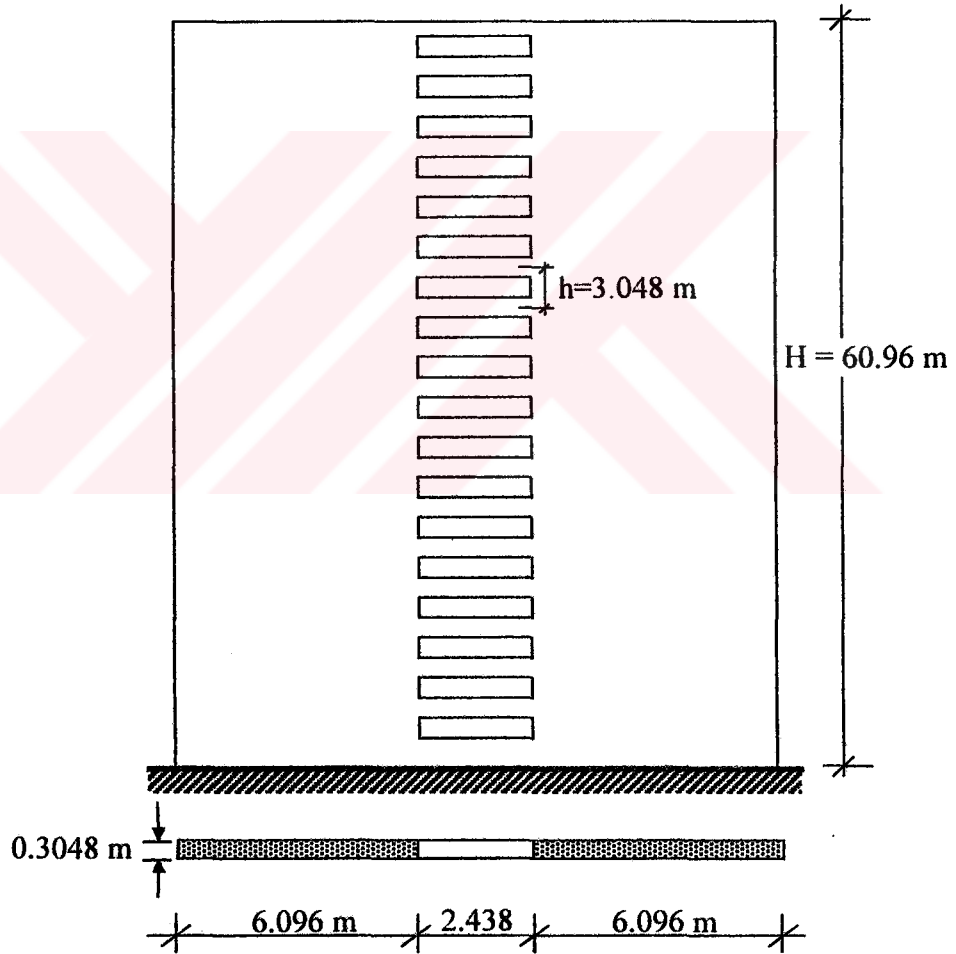
Çizelge 9.12. Örnek 7'nin güçlendiricili durumu için tepe noktası yatay yerdeğıştirmelerinin SAP2000 yapı analizi programından elde edilenlerle karşılaştırılması

Zemin Özellikleri*		$y_H$ (ft)		SAP2000 ile fark (%)
$K_v$ kip/ft	$K_r$ kip-ft/rad	Bu çalışma	SAP2000	Bu çalışma
$\infty$	$\infty$	0.007454	0.007539	1.13
$9 \times 10^6$	$3 \times 10^8$	0.007693	0.007821	1.63
$4 \times 10^6$	$\infty$	0.007478	0.007562	1.11
$\infty$	$1.5 \times 10^8$	0.007812	0.007987	2.19
$4 \times 10^6$	$1.5 \times 10^8$	0.007838	0.008013	2.18
$3 \times 10^4$	$\infty$	0.010483	0.010580	0.91
$3 \times 10^3$	$1 \times 10^5$	0.048919	0.049458	1.09
$6 \times 10^2$	$2 \times 10^4$	0.211378	0.211918	0.25

\* Burada  $K_h = \infty$  alınmıştır

**Örnek 8:**

Serbest titreşim analizinin ilk örneği olarak, Mukherjee ve Coull tarafından ilk olarak çözümü yapılan ve daha sonra Li ve Choo (1994) tarafından tekrar ele alınan tek sıra boşluklu bir perde (Şekil 9.11), bu çalışmada dinamik analiz için hazırlanan program ile ve SAP2000 yapı analizi programı ile ayrı ayrı çözülmüş ve elde edilen sonuçlar literatürde verilen sonuçlarla karşılaştırılmıştır. Bu örnekteki boşluklu perde, simetrik ve güçlendirici kirişsiz olup rijit temele oturmaktadır.



Şekil 9.11. Örnek 8'e ait boşluklu perde ve en kesiti

Toplam yüksekliği 60.96 m, duvar genişlikleri 6.096 m, kat yüksekliği 3.048 m, boşluk genişliği 2.438 m, kalınlığı 0.3048 m, bağlantı kirişi alanı 0.2127 m<sup>2</sup> ve

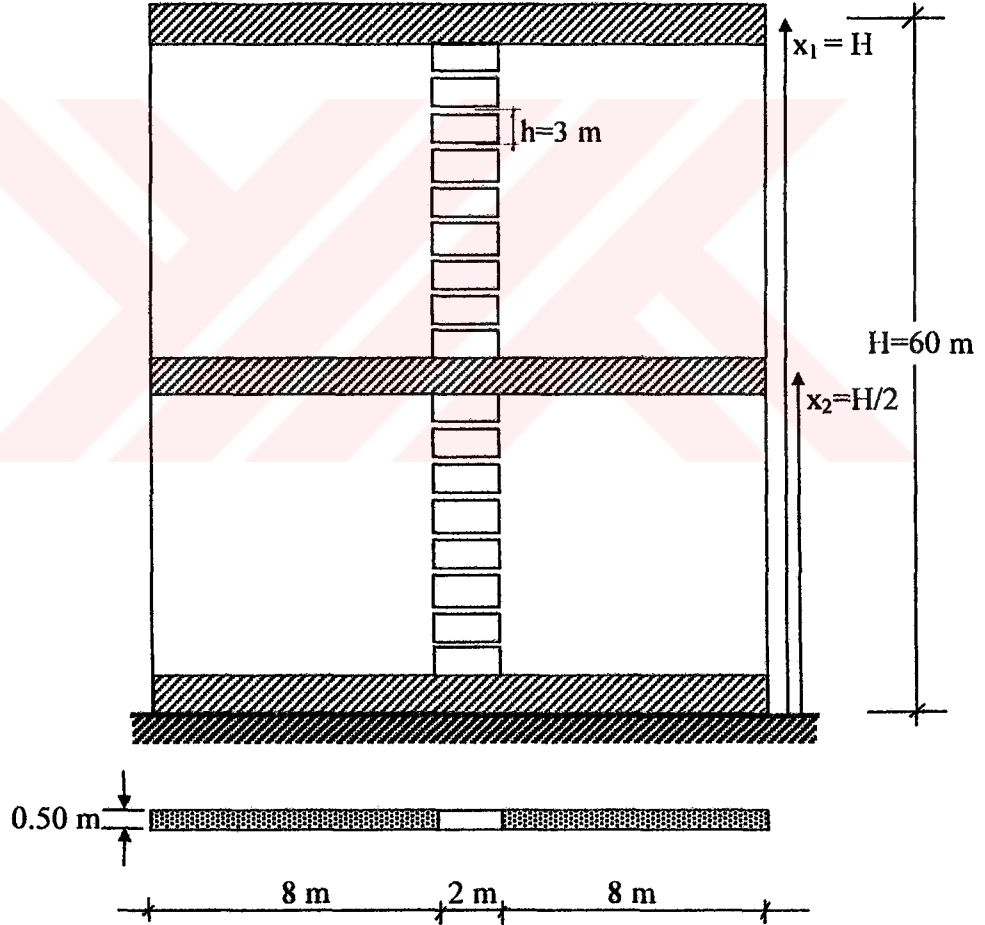
atalet momenti  $8.63 \times 10^{-3} \text{ m}^4$  olan perdenin malzemesinin elastisite modülü  $2.876 \times 10^7 \text{ kN/m}^2$  ve yoğunluğu  $2405 \text{ kg/m}^3$  olarak verilmiştir. Yapılan analiz sonucunda elde edilen frekanslar literatürde verilenler ile Çizelge 9.13'te karşılaştırılmıştır. Çizelge 9.13'te, Galerkin ve matris ilerleme (matrix progression) yöntemleri için verilen sonuçlar, Mukherjee ve Coull (1974) tarafından yapılan çalışmadan alınmıştır.

Çizelge 9.13. Örnek 8'e ait frekansların (Hz) literatürdekilerle karşılaştırılması

Mod	Yöntemler				
	Li ve Choo	Galerkin	Matris ilerleme	SAP2000	Bu çalışma
1	2.08	2.08	2.05	2.08	2.08
2	9.34	9.37	8.78	9.34	9.34

**Örnek 9:**

Bu örnekte, Li ve Choo (1996) tarafından ele alınan tek sıra boşluklu bir perde, bu çalışmada dinamik analiz için hazırlanan program ile çözümlenerek elde edilen sonuçlar o çalışmada verilen sonuçlarla karşılaştırılmıştır. Perde, simetrik ve güçlendirici kirişli olup rijit ve elastik temele oturduğuna göre ayrı ayrı çözülmüştür (Şekil 9.12). Güçlendirici kirişler binanın tepesine, tabanına ve yüksekliğin yarısına yerleştirilmiştir.



Şekil 9.12. Örnek 9'a ait tek sıra boşluklu perde ve en kesiti

Toplam yüksekliği 60 m, duvar genişlikleri 8 m, boşluk genişliği 2 m, kat yükseklikleri 3 m, bağlantı kirişi yükseklikleri 0.333 m, güçlendirici kiriş

yükseklikleri 1 m ve kalınlığı 0.5 m olan perdenin malzemesinin elastisite modülü  $15 \times 10^6$  kN/m<sup>2</sup> ve yoğunluğu 2400 kg/m<sup>3</sup> olarak verilmiştir. Zemin özellikleri aşağıda görülmektedir.

Rijit Zemin :  $K_r = \infty$ ,  $K_v = \infty$ ,  $K_h = \infty$

Sert Zemin :  $K_r = 2.72 \times 10^7$  kNm/rad,  $K_v = 8.78 \times 10^5$  kN/m,  $K_h = 7.52 \times 10^5$  kN/m

Yumuşak Zemin:  $K_r = 0.54 \times 10^7$  kNm/rad,  $K_v = 1.46 \times 10^5$  kN/m,  $K_h = 1.36 \times 10^5$  kN/m

Yapılan analiz sonucunda, üç zemin tipi için elde edilen ilk on doğal frekans literatürde verilenler ile Çizelge 9.14'te karşılaştırılmıştır.

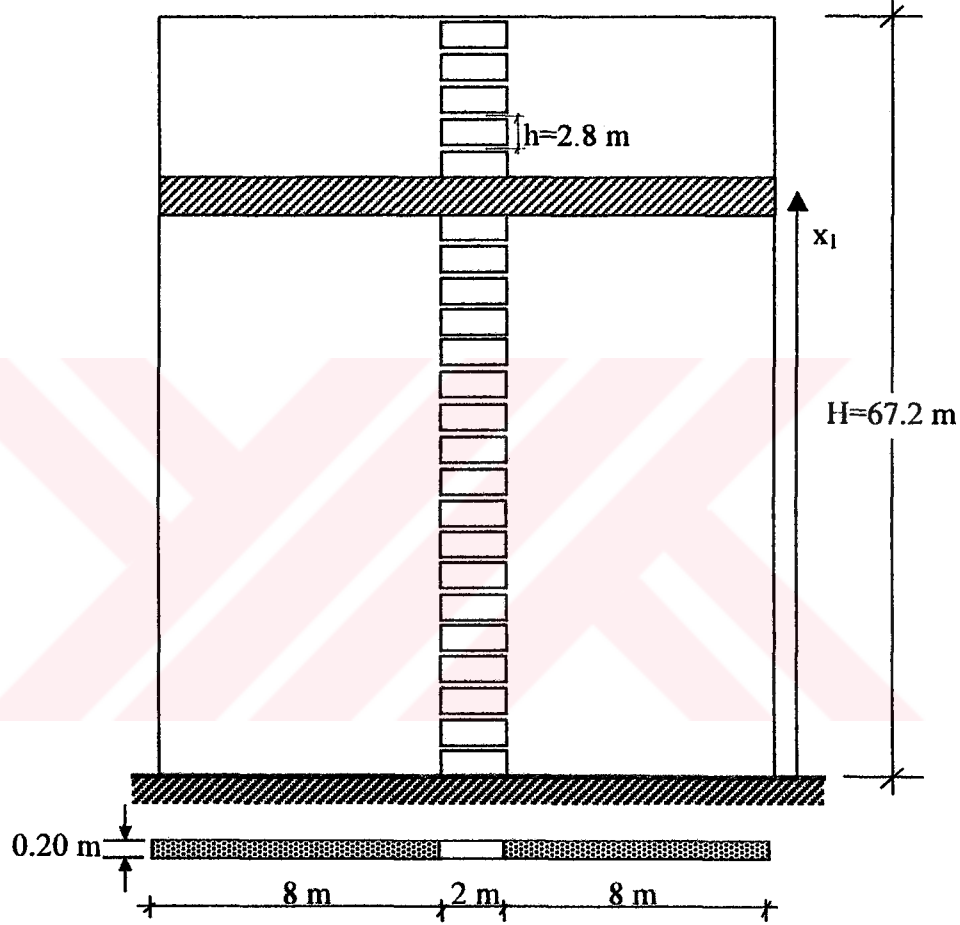
Çizelge 9.14. Örnek 9'a ait frekansların (Hz) literatürdekilerle karşılaştırılması

Mod	Zemin Tipi					
	Rijit Zemin		Sert Zemin		Yumuşak Zemin	
	Li ve Choo	Bu çalışma	Li ve Choo	Bu çalışma	Li ve Choo	Bu çalışma
1	1.665	1.665	1.055	1.064	0.546	0.541
2	7.001	7.000	5.332	5.409	3.342	3.351
3	19.19	19.18	12.24	12.24	9.640	9.735
4	32.86	32.86	23.55	23.72	22.05	22.25
5	53.32	53.32	37.93	38.40	36.71	37.09
6	77.61	77.61	58.35	58.61	56.43	56.52
7	109.4	109.4	85.69	86.34	84.56	84.96
8	141.5	141.5	118.5	119.0	117.5	117.9
9	180.9	180.9	153.2	154.1	152.5	153.1
10	223.9	223.9	193.6	193.9	192.0	192.1



**Örnek 10:**

Bu örnekte, literatürde statik analizi yapılan (Coull ve Bensmail, 1991) tek sıra boşluklu bir perdenin (Şekil 9.13), boyutları aynen alınarak serbest titreşim analizi yapılmıştır.



Şekil 9.13. Örnek 10'a ait tek sıra boşluklu perde ve en kesiti

Toplam yüksekliği 67.2 m, kat yüksekliği 2.8 m, kalınlığı 0.2 m, boşluk genişliği 2 m, bağlantı ve güçlendirici kiriş yükseklikleri, sırasıyla, 0.35 m ve 1.00 m, zemin özellikleri  $K_v = 4.39 \times 10^5$  kN/m,  $K_r = 13.56 \times 10^6$  kN-m/rad ve  $K_h = \infty$  ve elastisite modülü  $2 \times 10^7$  kN/m<sup>2</sup> olan perdenin yoğunluğu 2400 kg/m<sup>3</sup> olarak alınmıştır. Şekil 9.13'te görülen örnek perdenin, güçlendiricisiz ve güçlendiricinin tepede ve  $x_1/H = 0.67$ 'de olması durumları için, hem bu çalışmada hazırlanan programdan hem de SAP2000 yapı analizi programından elde edilen ilk on doğal frekansları (DF) Çizelge 9.15-17'de verilmiştir.

Çizelge 9.15. Örnek 10'da güçlendiricisiz durum için frekansların (Hz) SAP2000 yapı analizi programından elde edilenlerle karşılaştırılması

Mod	SAP2000	Bu çalışma	Fark (%)
1	0.94004	0.94067	0.07
2	5.16975	5.17599	0.12
3	13.49018	13.47014	0.15
4	26.06606	26.04666	0.07
5	43.15313	43.11934	0.08
6	64.69720	64.66657	0.05
7	90.71596	90.67735	0.04
8	121.14700	121.11396	0.03
9	155.97300	155.93816	0.02
10	195.11620	195.09227	0.01

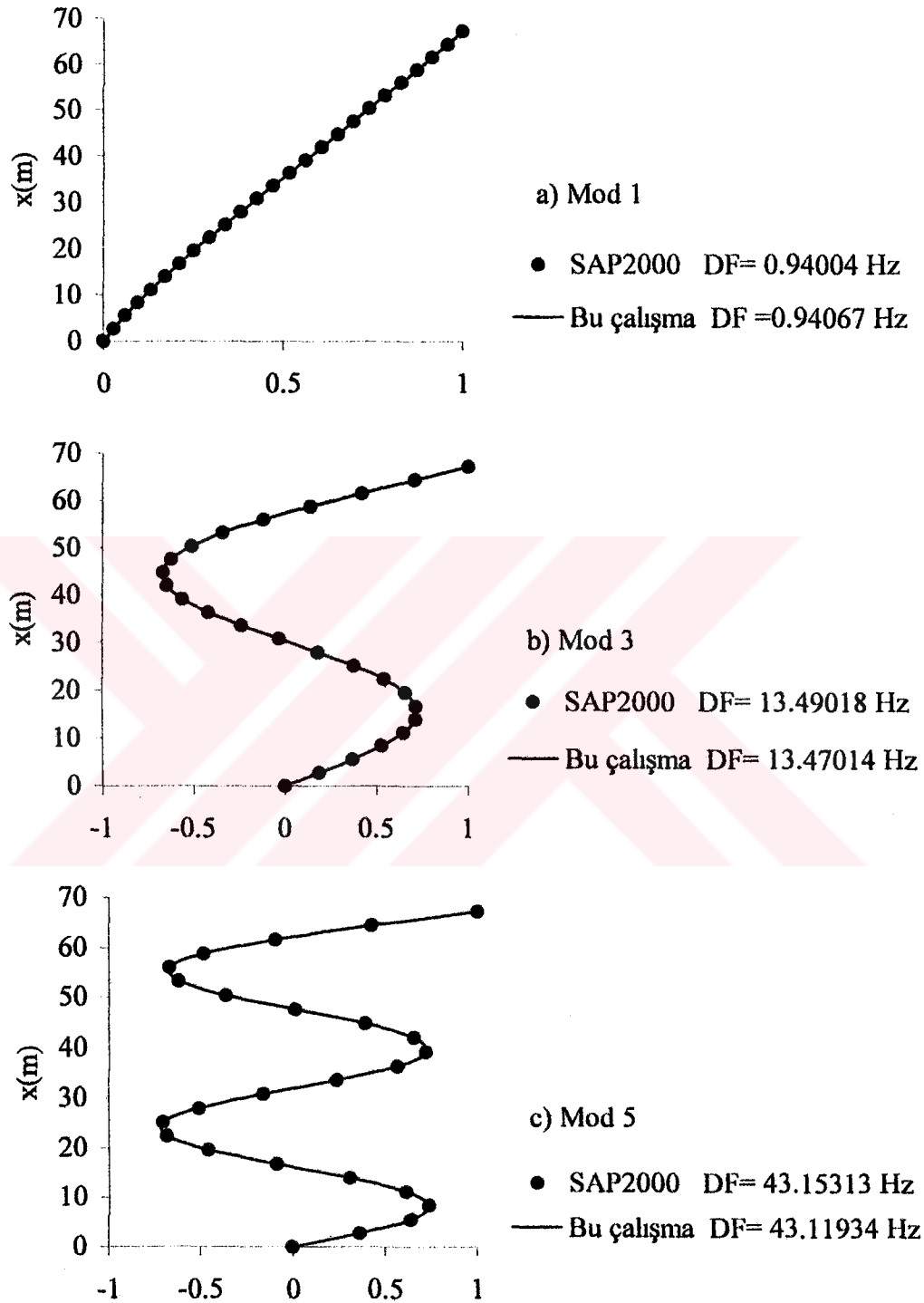
Çizelge 9.16. Örnek 10'da tepede tek güçlendirici giriş bulunması durumu için frekansların (Hz) SAP2000 yapı analizi programından elde edilenlerle karşılaştırılması

Mod	SAP2000	Bu çalışma	Fark (%)
1	0.95178	0.95345	0.17
2	5.40633	5.43948	0.61
3	14.10035	14.12915	0.20
4	26.91199	26.97135	0.22
5	44.23080	44.27166	0.09
6	65.90461	65.97752	0.11
7	92.08367	92.13364	0.05
8	122.59390	122.67947	0.07
9	157.53860	157.60135	0.04
10	196.71820	196.82188	0.05

Çizelge 9.17. Örnek 10'da  $x_1/H = 0.67$  olarak tek güçlendirici kiriş bulunması durumu için frekansların (Hz) SAP2000 yapı analizi programından elde edilenlerle karşılaştırılması

Mod	SAP2000	Bu çalışma	Fark (%)
1	0.97653	0.97904	0.26
2	5.41023	5.45912	0.90
3	13.40594	13.47886	0.54
4	26.78361	26.91264	0.48
5	43.81585	43.99302	0.40
6	64.55320	64.66663	0.18
7	91.33335	91.42589	0.10
8	121.59470	121.72246	0.11
9	155.82820	155.97285	0.09
10	195.89150	196.09180	0.10

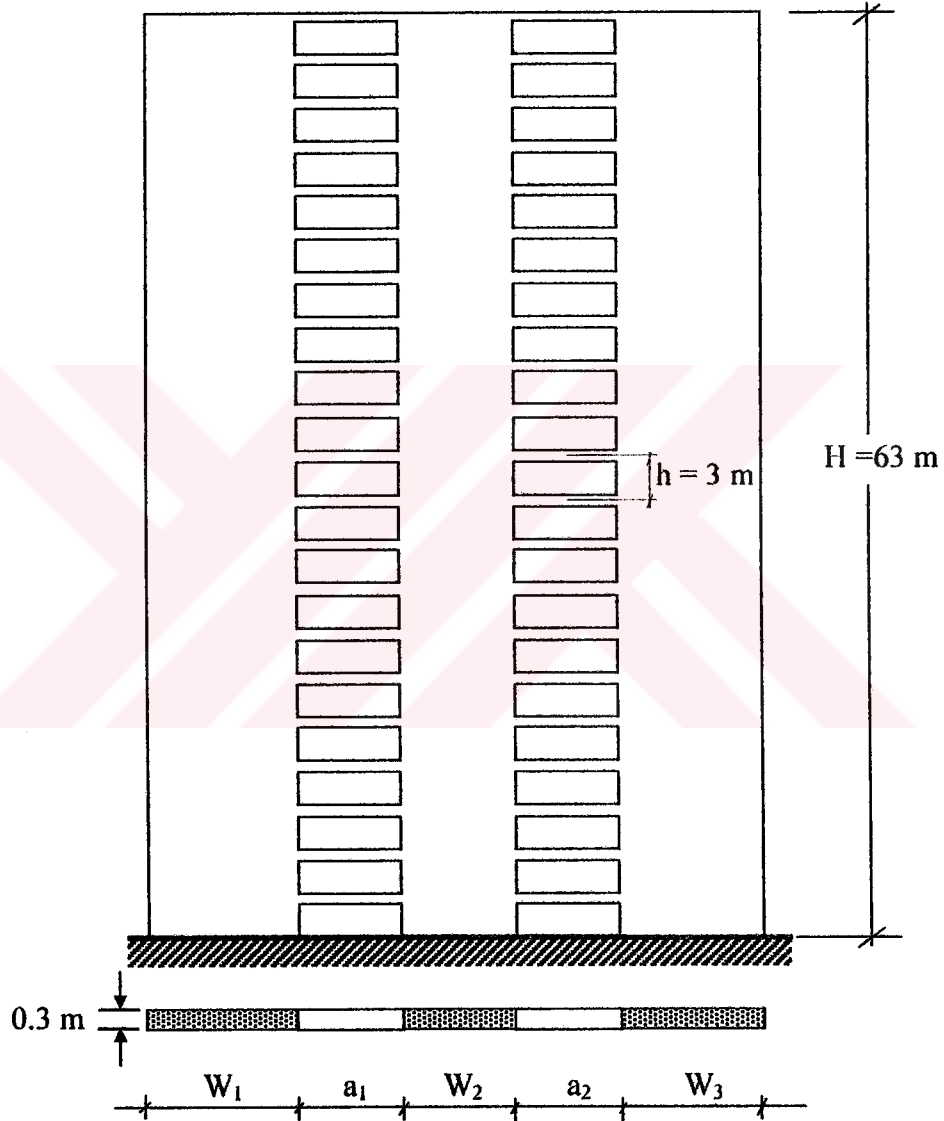
Problemin güçlendiricisiz durumu için bu çalışmada hazırlanan programdan ve SAP2000 yapı analizi programından elde edilen birinci, üçüncü ve beşinci mod şekil vektörleri ilk terime göre normalize edilerek Şekil 9.14'te karşılaştırılmıştır.



Şekil 9.14. Örnek 10'un güçlendiricisiz durumu için birinci, üçüncü ve beşinci mod şekil vektörlerinin SAP2000 yapı analizi programından elde edilenlerle karşılaştırılması

**Örnek 11:**

Bu örnekte, iki sıra boşluklu bir perdenin (Şekil 9.15) serbest titreşim analizi yapılmıştır.



Şekil 9.15. Örnek 11'e ait perde ve en kesiti

Toplam yüksekliği  $63$  m, kat yüksekliği  $3$  m, kalınlığı  $0.3$  m, boşluk genişliği  $2$  m, bağlantı kirişi yüksekliği  $0.25$  m ve elastisite modülü  $2.876 \times 10^7$  kN/m<sup>2</sup> olan perdenin yoğunluğu  $2400$  kg/m<sup>3</sup> olarak alınmıştır. Çizelge 9.18'de görülen beş farklı model için bu çalışmada hazırlanan programla ve SAP2000 yapı analizi programıyla

çözümler yapıp elde edilen ilk on doğal frekans (DF) karşılaştırılarak oransal farklarıyla birlikte Çizelge 9.19-23'te sunulmuştur.

Çizelge 9.18. Örnek 11'e ait değişik modeller

Boyutlar (m)	MODEL				
	1	2	3	4	5
H	63	63	63	63	63
h	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0
W <sub>1</sub>	3	3	2	0.625	0.625
W <sub>2</sub>	3	2	2	2	0.625
W <sub>3</sub>	2	2	2	2	2
a <sub>1</sub>	2	2	2	2	2
a <sub>2</sub>	2	2	2	2	2

Çizelge 9.19. Örnek 11'de model 1'e ait doğal frekansların (Hz) SAP2000 yapı analizi programından elde edilenlerle karşılaştırılması

Mod	SAP2000	Bu çalışma	Fark (%)
1	0.93720	0.93607	0.12
2	3.57505	3.55071	0.68
3	8.07241	8.01582	0.70
4	14.48549	14.41155	0.51
5	22.98931	22.90268	0.38
6	33.55379	33.46239	0.27
7	46.18428	46.09097	0.20
8	60.84587	60.75725	0.15
9	77.51079	77.43217	0.10
10	96.12118	96.06151	0.06

Çizelge 9.20. Örnek 11’de model 2’ye ait doğal frekansların (Hz) SAP2000 yapı analizi programından elde edilenlerle karşılaştırılması

Mod	SAP2000	Bu çalışma	Fark (%)
1	0.87818	0.87755	0.07
2	3.29572	3.27434	0.65
3	7.33073	7.27728	0.73
4	13.03572	12.96358	0.55
5	20.58967	20.50385	0.42
6	29.96759	29.87636	0.30
7	41.17856	41.08506	0.23
8	54.19090	54.10199	0.16
9	68.98112	68.90235	0.11
10	85.49720	85.43778	0.07

Çizelge 9.21. Örnek 11’de model 3’e ait doğal frekansların (Hz) SAP2000 yapı analizi programından elde edilenlerle karşılaştırılması

Mod	SAP2000	Bu çalışma	Fark (%)
1	0.82799	0.82882	0.10
2	2.99822	2.98518	0.43
3	6.41315	6.36733	0.71
4	11.06027	10.98899	0.64
5	17.16531	17.07383	0.53
6	24.71257	24.61166	0.41
7	33.72787	33.62217	0.31
8	44.18274	44.08156	0.23
9	56.06349	55.97415	0.16
10	69.32531	69.25985	0.09

Çizelge 9.22. Örnek 11’de model 4’e ait doğal frekansların (Hz) SAP2000 yapı analizi programından elde edilenlerle karşılaştırılması

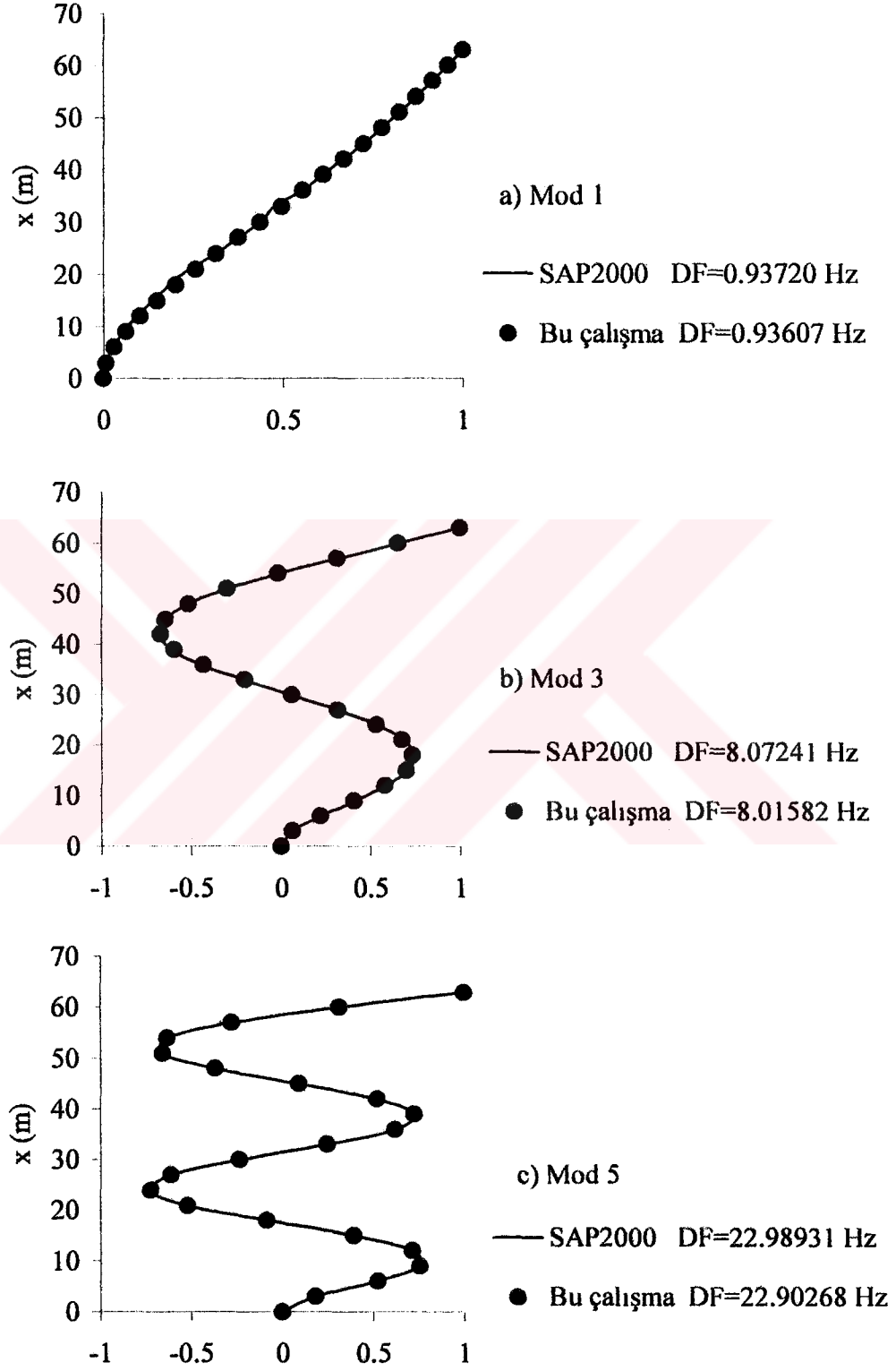
Mod	SAP2000	Bu çalışma	Fark (%)
1	0.77685	0.77803	0.15
2	2.87909	2.87200	0.25
3	6.19833	6.16234	0.58
4	10.57575	10.51304	0.59
5	16.28876	16.20195	0.53
6	23.31866	23.21969	0.42
7	31.70838	31.60227	0.33
8	41.42806	41.32610	0.25
9	52.47137	52.38192	0.17
10	64.79402	64.73138	0.10

Çizelge 9.23. Örnek 11’de model 5’e ait doğal frekansların SAP2000 yapı analizi programından elde edilenlerle karşılaştırılması

Mod	SAP2000	Bu çalışma	Fark (%)
1	0.71998	0.72179	0.25
2	2.63175	2.62943	0.09
3	5.57369	5.54714	0.48
4	9.34934	9.29591	0.57
5	14.23849	14.15903	0.56
6	20.22656	20.13293	0.46
7	27.36446	27.26228	0.37
8	35.62559	35.52722	0.28
9	45.00955	44.92423	0.19
10	55.47704	55.42034	0.10

Model 1 için bu çalışmada hazırlanan programdan ve SAP2000 yapı analizi programından elde edilen birinci, üçüncü ve beşinci mod şekil vektörleri ilk terime göre normalize edilerek Şekil 9.16’da karşılaştırılmıştır.

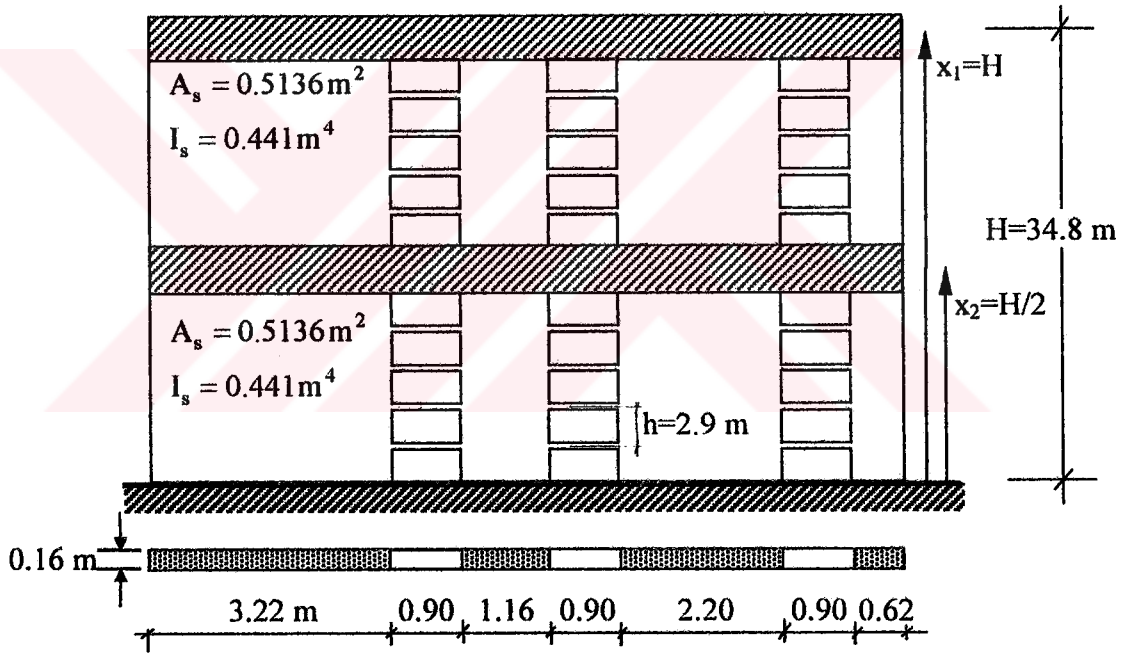




Şekil 9.16. Örnek 11'in model 1 için birinci, üçüncü ve beşinci mod şekil vektörlerinin SAP2000 yapı analizi programından elde edilenlerle karşılaştırılması

**Örnek 12:**

Bu örnekte, literatürde statik analizi yapılan (Koo ve Cheung, 1984) üç sıra boşluklu bir perdenin (Şekil 9.17), boyutları aynen alınarak serbest titreşim analizi yapılmıştır. Toplam yüksekliği 34.8 m, kat yüksekliği 2.9 m, kalınlığı 0.16 m, bağlantı kirişi yüksekliği 0.31 m ve elastisite modülü  $2 \times 10^7$  kN/m<sup>2</sup> olan perdenin yoğunluğu 2400 kg/m<sup>3</sup> olarak alınmıştır. Problem, önce literatürde verildiği şekliyle güçlendiricisiz olarak, daha sonra da, perdenin tepesine ve ortasına alanı 0.5136 m<sup>2</sup> ve atalet momenti 0.441 m<sup>4</sup> olan güçlendirici kirişler konularak çözülmüştür.



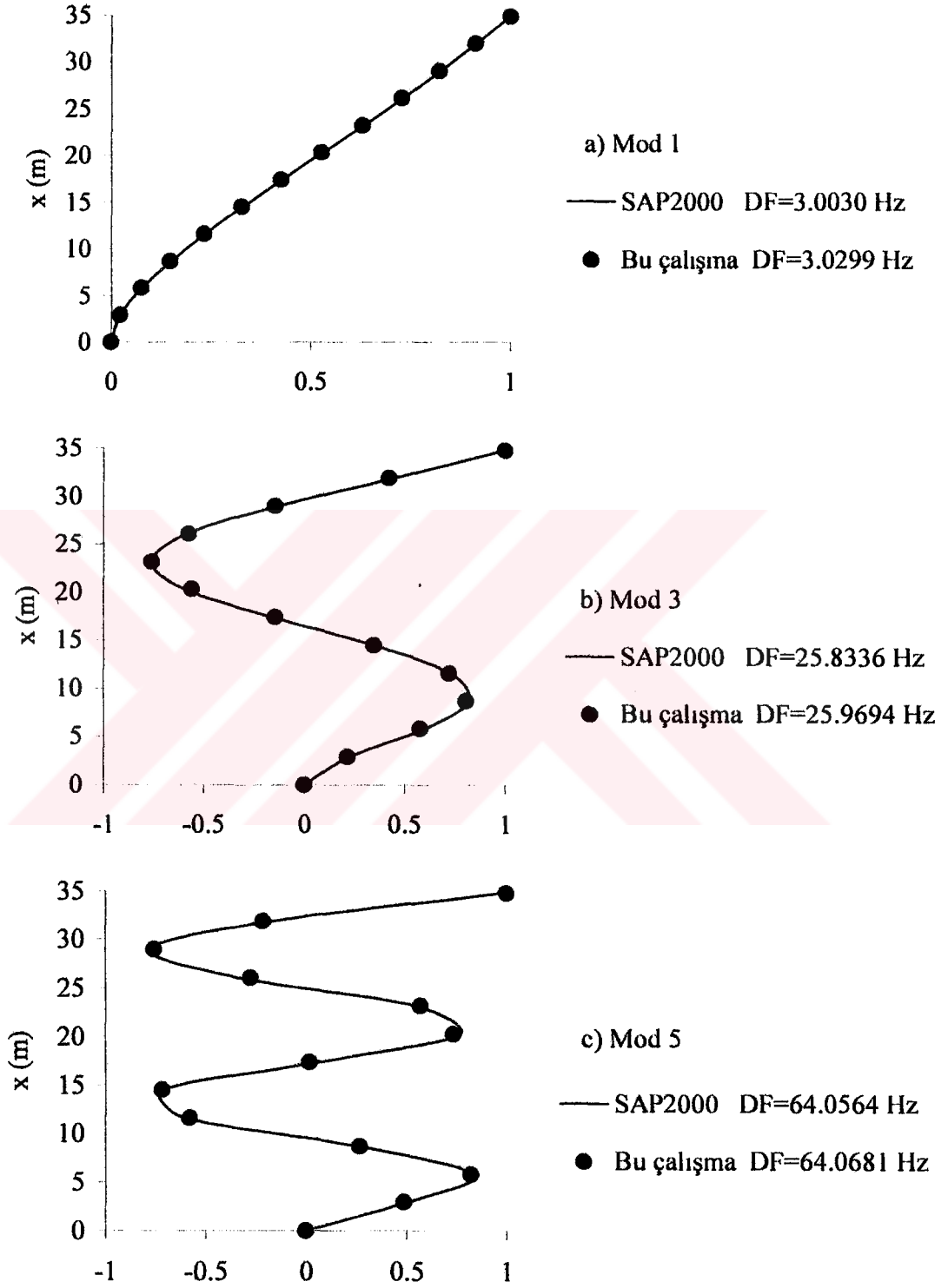
Şekil 9.17. Örnek 12'ye ait perde ve en kesiti

Problem, hem bu çalışmada hazırlanan programla, hem de SAP2000 yapı analizi programıyla çözülmüş ve ilk on doğal frekans (DF) oransal farklarıyla birlikte Çizelge 9.24'te verilmiştir.

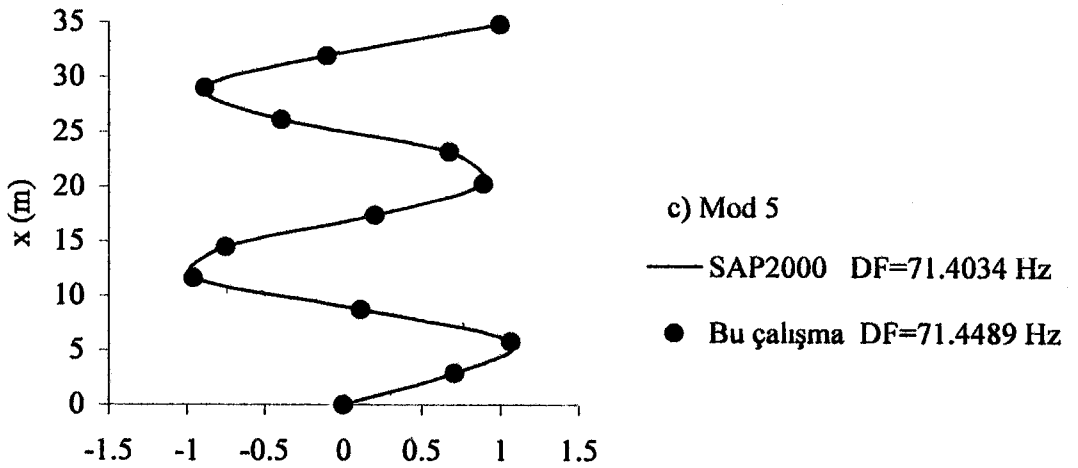
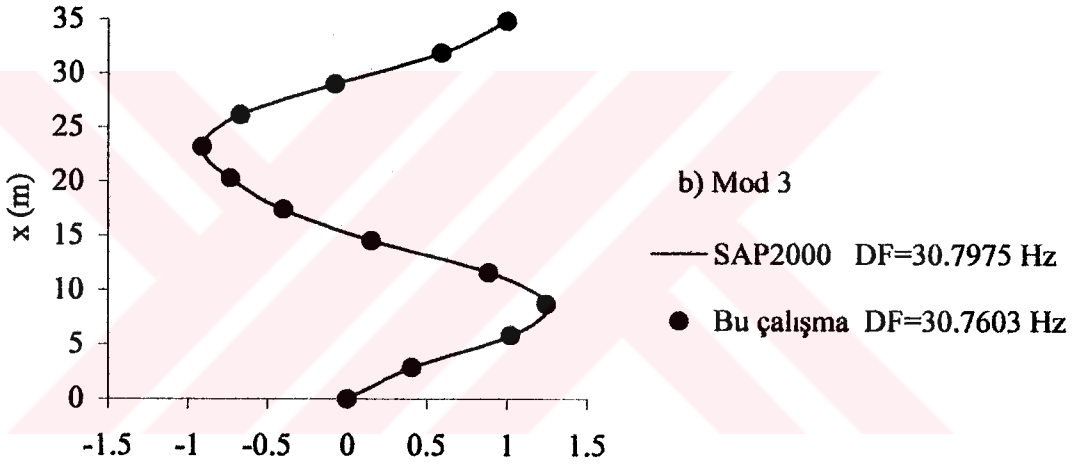
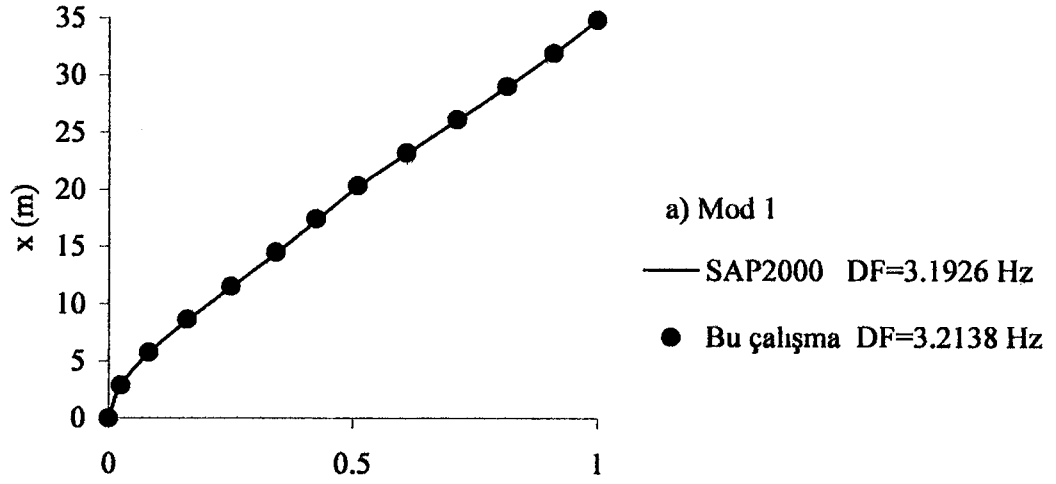
Çizelge 9.24. Örnek 12'ye ait doğal frekansların (Hz) SAP2000 yapı analizi programından elde edilenlerle karşılaştırılması

Mod	Güçlendiricisiz			Güçlendiricili		
	SAP2000	Bu çalışma	Fark (%)	SAP2000	Bu çalışma	Fark (%)
1	3.00306	3.02997	0.90	3.19262	3.21384	0.66
2	11.88105	12.00357	1.03	12.05041	12.21866	1.40
3	25.83363	25.96939	0.53	30.79749	30.76031	0.12
4	42.81160	42.88386	0.17	45.57915	45.67126	0.06
5	64.05646	64.06809	0.02	71.40341	71.44899	0.06
6	89.26016	89.43366	0.19	93.34096	93.67218	0.35
7	118.37030	119.01975	0.55	133.66632	133.04263	0.47
8	150.52390	152.13498	1.07	157.50701	160.44588	1.87
9	184.31590	187.38336	1.66	193.21675	194.83797	0.84
10	217.05510	222.00053	2.28	221.64852	227.51254	2.65

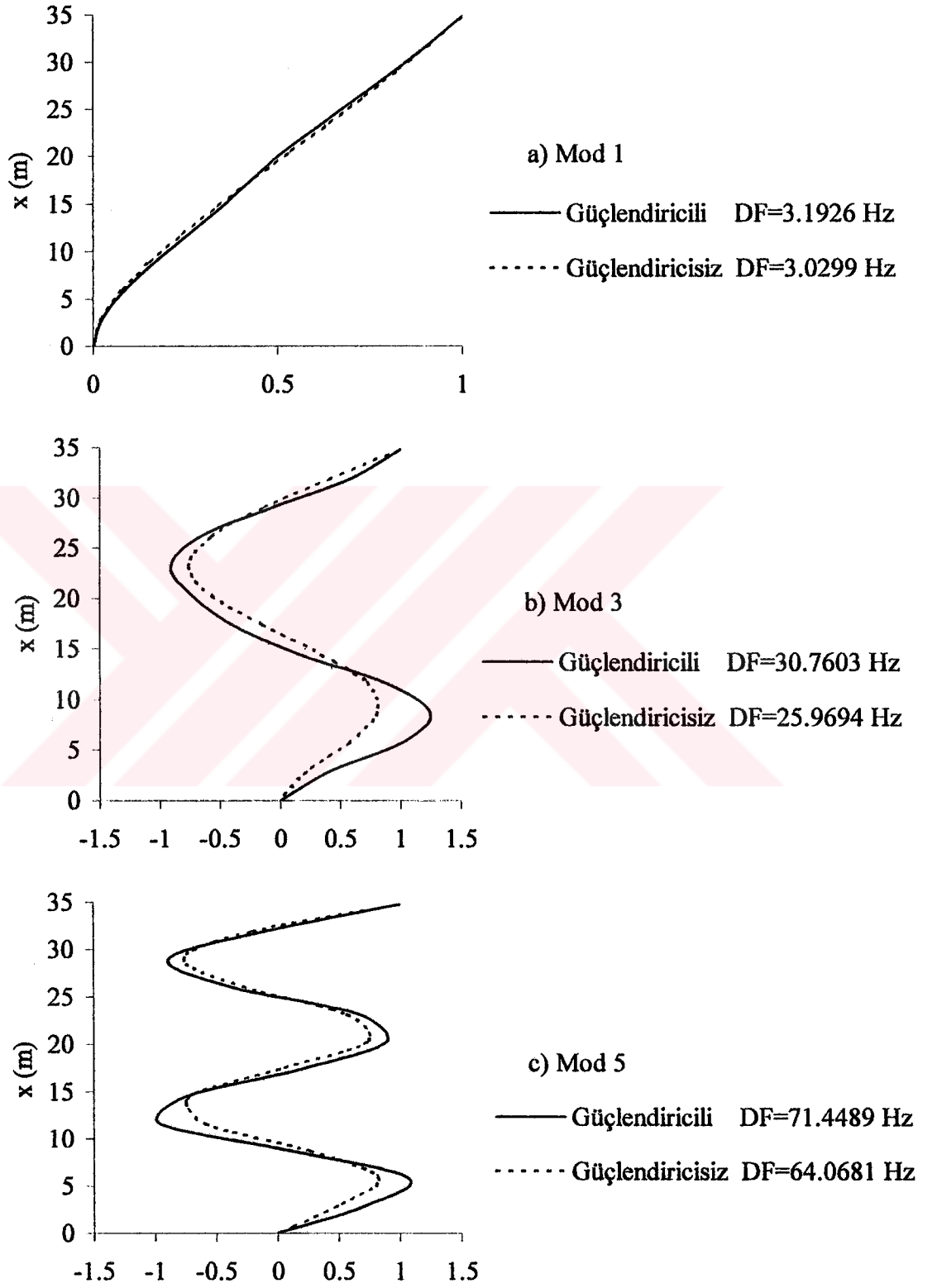
Üç sıra boşluklu perde örneğine ait güçlendiricisiz ve güçlendiricili durumlar için bu çalışmada hazırlanan programdan ve SAP2000 yapı analizi programından elde edilen birinci, üçüncü ve beşinci mod şekil vektörleri ilk terime göre normalize edilerek Şekil 9.18-19'da sunulmuştur. Ayrıca, iki durum için bu çalışmada hazırlanan programla bulunan mod şekil vektörleri Şekil 9.20'de birlikte gösterilmiştir.



Şekil 9.18. Örnek 12'nin güçlendiricisiz durumu için birinci, üçüncü ve beşinci mod şekil vektörlerinin SAP2000 yapı analizi programından elde edilenlerle karşılaştırılması



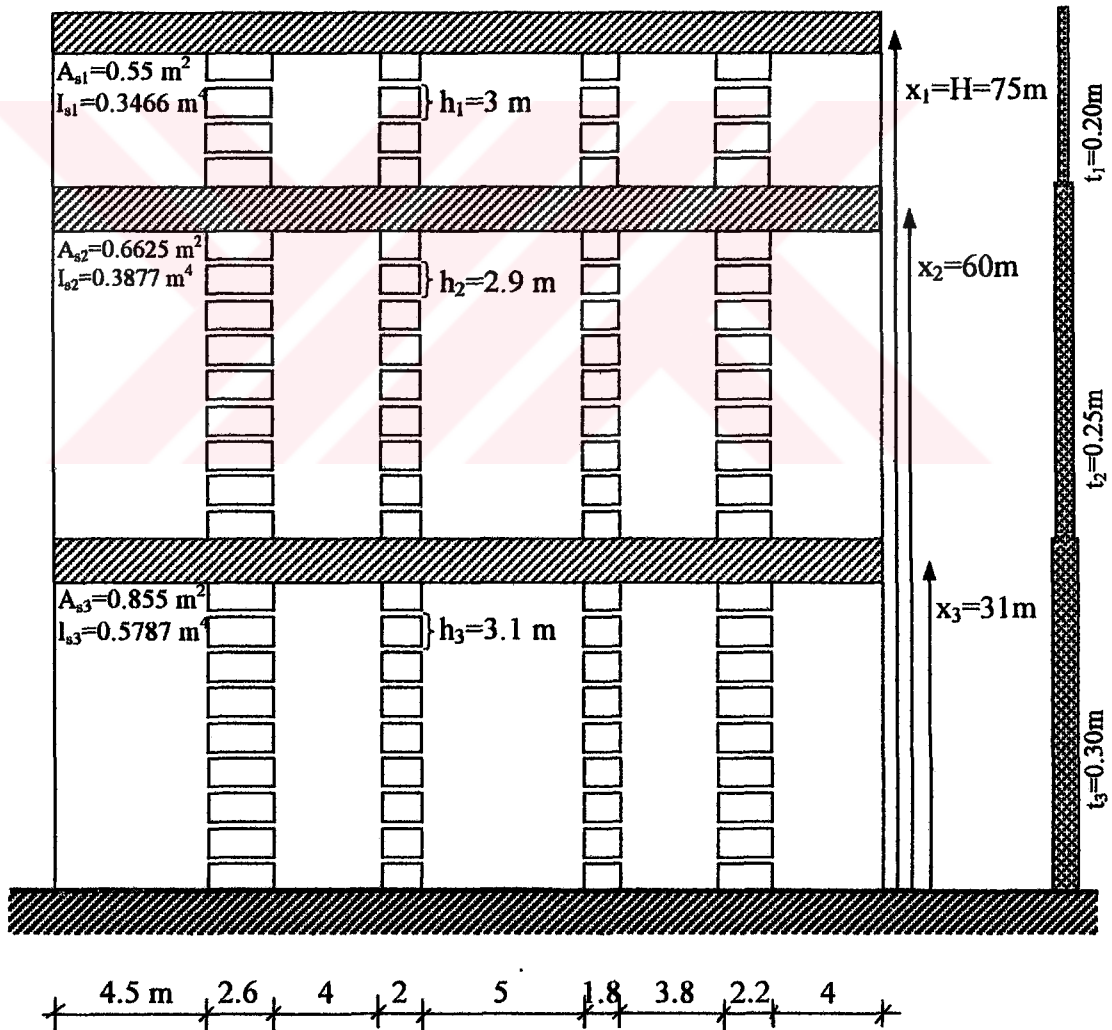
Şekil 9.19. Örnek 12'nin güçlendiricili durum için birinci, üçüncü ve beşinci mod şekil vektörlerinin SAP2000 yapı analizi programından elde edilenlerle karşılaştırılması



Şekil 9.20. Örnek 12'nin güçlendiricili ve güçlendiricisiz durumları için birinci, üçüncü ve beşinci mod şekil vektörlerinin karşılaştırılması

**Örnek 13:**

Yapılan bu çalışmada, mimari nedenlerle oluşabilecek, bölgeden bölgeye bağlantı kirişi, kat yüksekliği, güçlendirici kiriş ve kalınlık değişiklikleri dikkate alınmaktadır. Ayrıca sıralanan duvar ve boşluk genişlikleri farklı uzunluklarda alınabilmektedir. Bu örnekte, bu değişiklikleri içerecek şekilde hazırlanan güçlendirilmiş, rijit temele oturan bölgeden bölgeye kalınlığı değişen dört sıra boşluklu bir perde ele alınarak serbest titreşim analizi yapılmıştır (Şekil 9.21).



Şekil 9.21. Örnek 13'e ait dört sıra boşluklu perde ve boy kesiti

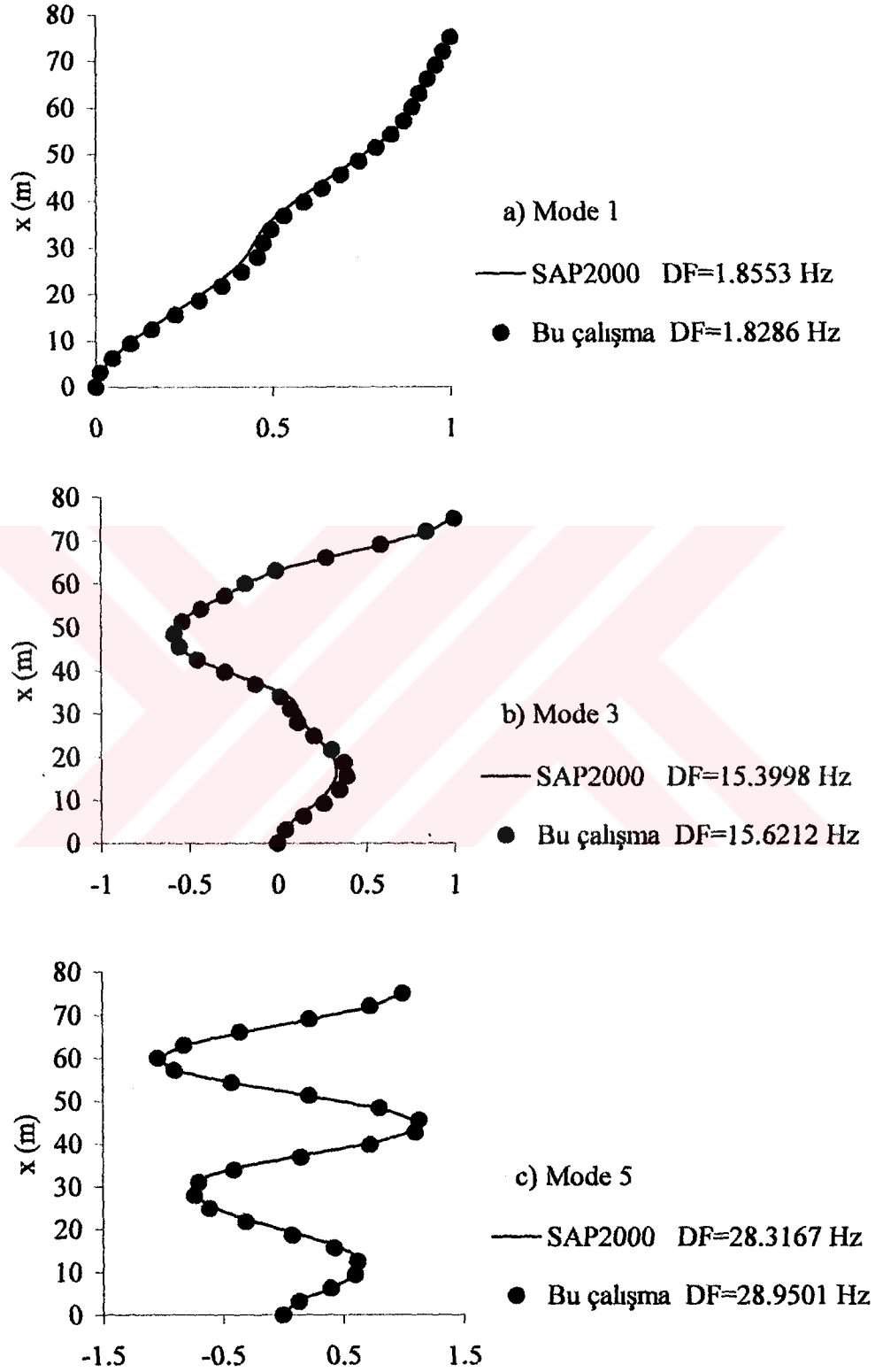
Perdenin, toplam yüksekliği 75 m, tepeden başlayarak her bölge için, kalınlığı, 0.20 m, 0.25 m, 0.30 m, güçlendirici kiriş alanı, 0.55 m<sup>2</sup>, 0.6625 m<sup>2</sup>, 0.855 m<sup>2</sup>, atalet momentleri, 0.3466 m<sup>4</sup>, 0.3877 m<sup>4</sup>, 0.5787 m<sup>4</sup>, kat yükseklikleri, 3 m, 2.9 m, 3.1 m, elastisite modülü 2.876x10<sup>7</sup> kN/m<sup>2</sup>, bağlantı kirişi yükseklikleri, soldan sağa doğru, sırasıyla, 0.25 m, 0.20 m, 0.35 m, 0.30 m ve yoğunluğu 2400 kg/m<sup>3</sup> olarak alınmıştır. İlk on doğal frekans (DF) için hem hazırlanan programdan hem de SAP2000 yapı analizi programından bulunan sonuçlar Çizelge 9.25'te görülmektedir.

Çizelge 9.25: Örnek 13'e ait doğal frekansların (Hz) SAP2000 yapı analizi programından elde edilenlerle karşılaştırılması

Mod	SAP2000	Bu çalışma	Fark (%)
1	1.8553	1.8286	1.44
2	5.4568	5.5011	0.81
3	15.3998	15.6212	1.44
4	19.5020	19.1140	1.99
5	28.3167	28.9501	2.24
6	46.7337	46.1191	1.32
7	59.0100	59.7613	1.27
8	87.3234	87.0965	0.26
9	97.3274	96.7175	0.63
10	113.9738	116.470	2.19

Bu çalışmada hazırlanan programdan ve SAP2000 yapı analizi programından elde edilen birinci, üçüncü ve beşinci mod şekil vektörleri ilk terime göre normalize edilerek Şekil 9.22'de karşılaştırma yapılmıştır.





Şekil 9.22. Örnek 13'e ait birinci, üçüncü ve beşinci mod şekil vektörlerinin SAP2000 yapı analizi programından elde edilenlerle karşılaştırılması

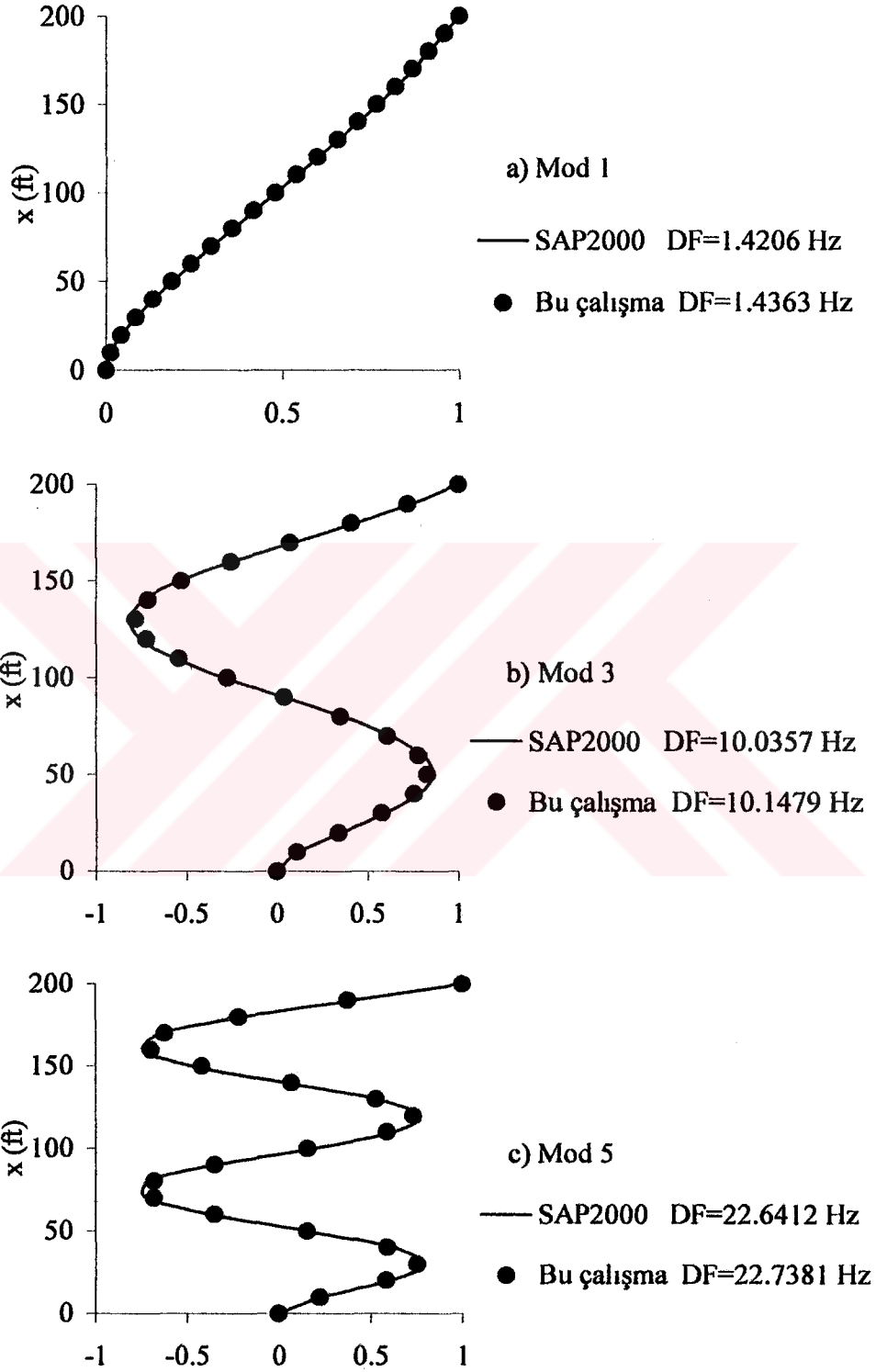


$K_h = \infty$ , bağlantı kirişi yükseklikleri 2 ft ve elastisite modülü  $2 \times 10^5$  kip/ft<sup>2</sup> olarak verilmiş olan bu örnek perde için güçlendirici kiriş alanı 12 ft<sup>2</sup>, güçlendirici kiriş atalet momenti 144 ft<sup>4</sup> ve yoğunluk  $1527 \times 10^{-4}$  kip/ft<sup>3</sup> alınarak çözüm yapılmıştır. Hem güçlendiricisiz, hem de güçlendiricili olarak, bu çalışmada hazırlanan programla yapılan analiz sonucunda elde edilen ilk on doğal frekans (DF) SAP2000 yapı analiz programından bulunanlarla karşılaştırılarak oransal farklarıyla birlikte Çizelge 9.26'da sunulmuştur.

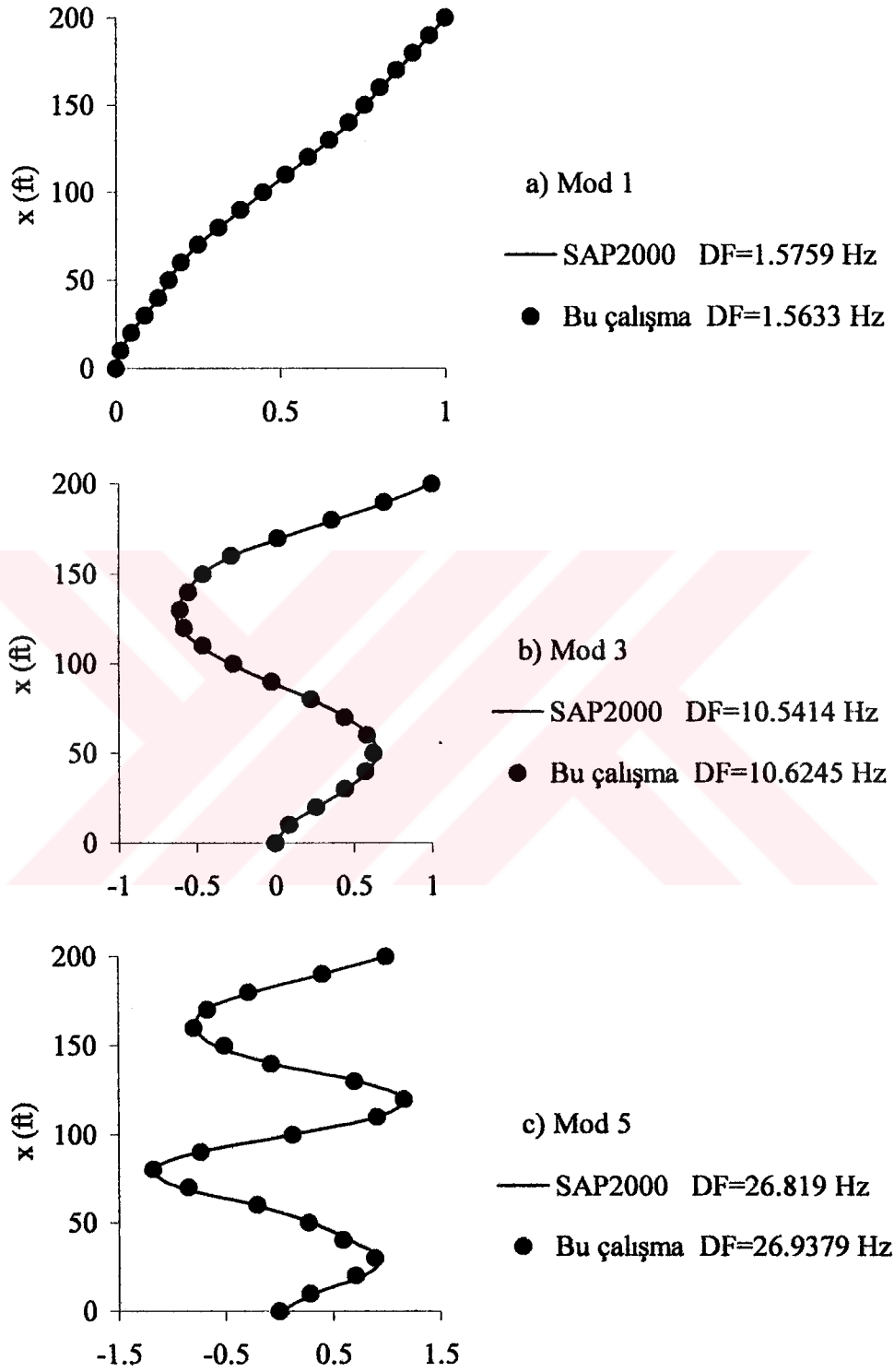
Çizelge 9.26. Örnek 14'e ait doğal frekansların (Hz) SAP2000 yapı analizi programından elde edilenlerle karşılaştırılması

Mod	Güçlendiricisiz			Güçlendiricili		
	SAP2000	Bu çalışma	Fark (%)	SAP2000	Bu çalışma	Fark (%)
1	1.4206	1.4363	1.11	1.5633	1.5759	0.81
2	4.9781	5.0445	1.34	5.8251	5.8937	1.18
3	10.0356	10.1479	1.12	10.5414	10.6245	0.79
4	15.7272	15.8470	0.76	16.4968	16.6099	0.69
5	22.6412	22.7381	0.43	26.8118	26.9379	0.47
6	30.7472	30.8214	0.24	35.6444	35.8231	0.50
7	40.2204	40.2796	0.15	42.0400	41.5256	1.22
8	51.0169	51.0995	0.16	52.7775	52.9952	0.41
9	63.1797	63.3266	0.23	69.6975	70.2666	0.82
10	76.6337	76.9126	0.36	83.4785	84.0288	0.66

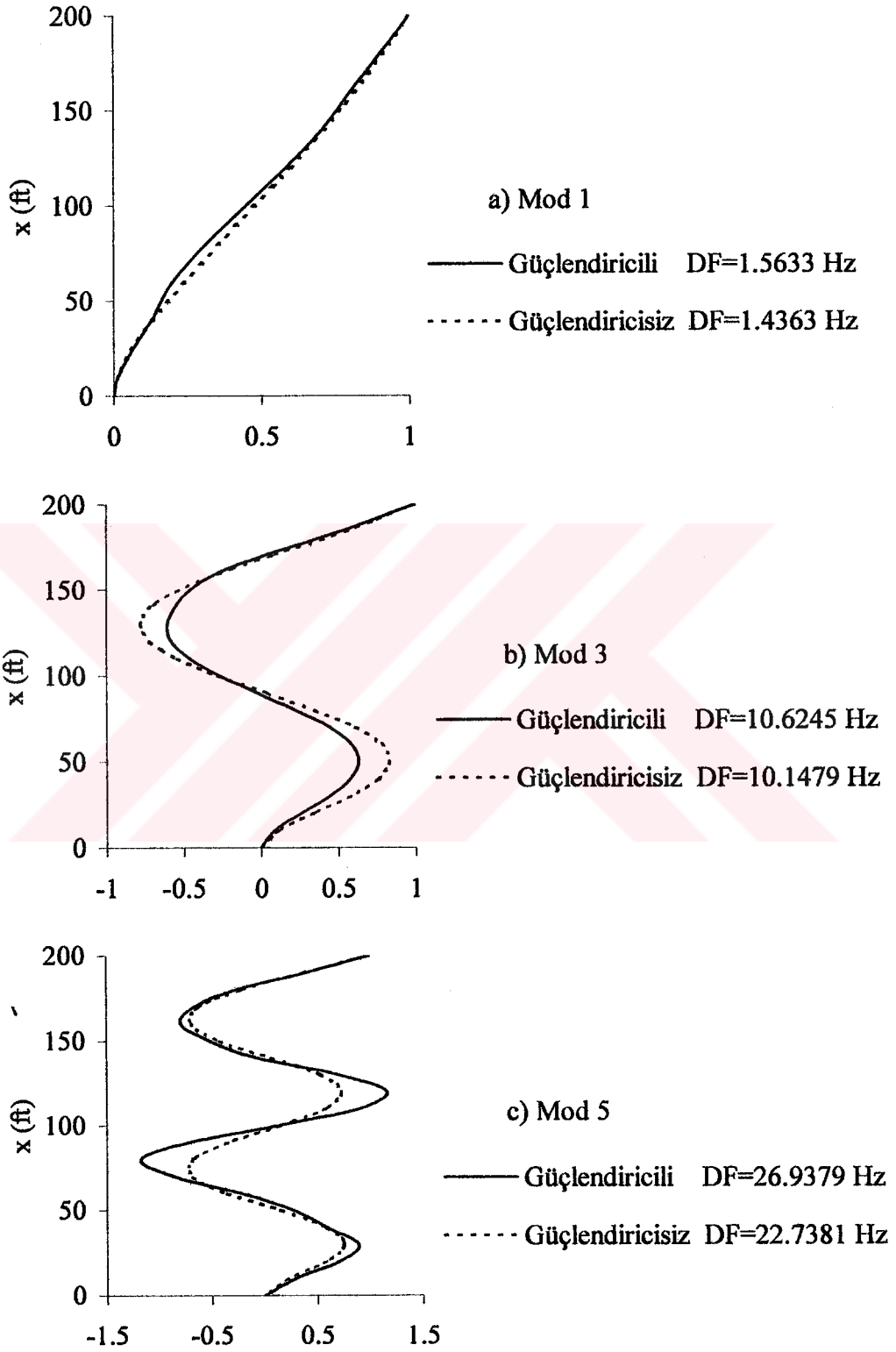
Bu örneğin, verilen zemin özellikleri ile, güçlendiricisiz ve güçlendiricili durumları için, bu çalışmada hazırlanan programdan ve SAP2000 yapı analizi programından elde edilen birinci, üçüncü ve beşinci mod şekil vektörleri ilk terime göre normalize edilerek Şekil 9.24-26'da karşılaştırılmıştır. Ayrıca, güçlendiricili durumun değişik zemin özellikleri için de, yine birinci terime göre normalize edilmiş birinci, üçüncü ve beşinci mod şekil vektörleri Şekil 9.27'de sunulmuştur.



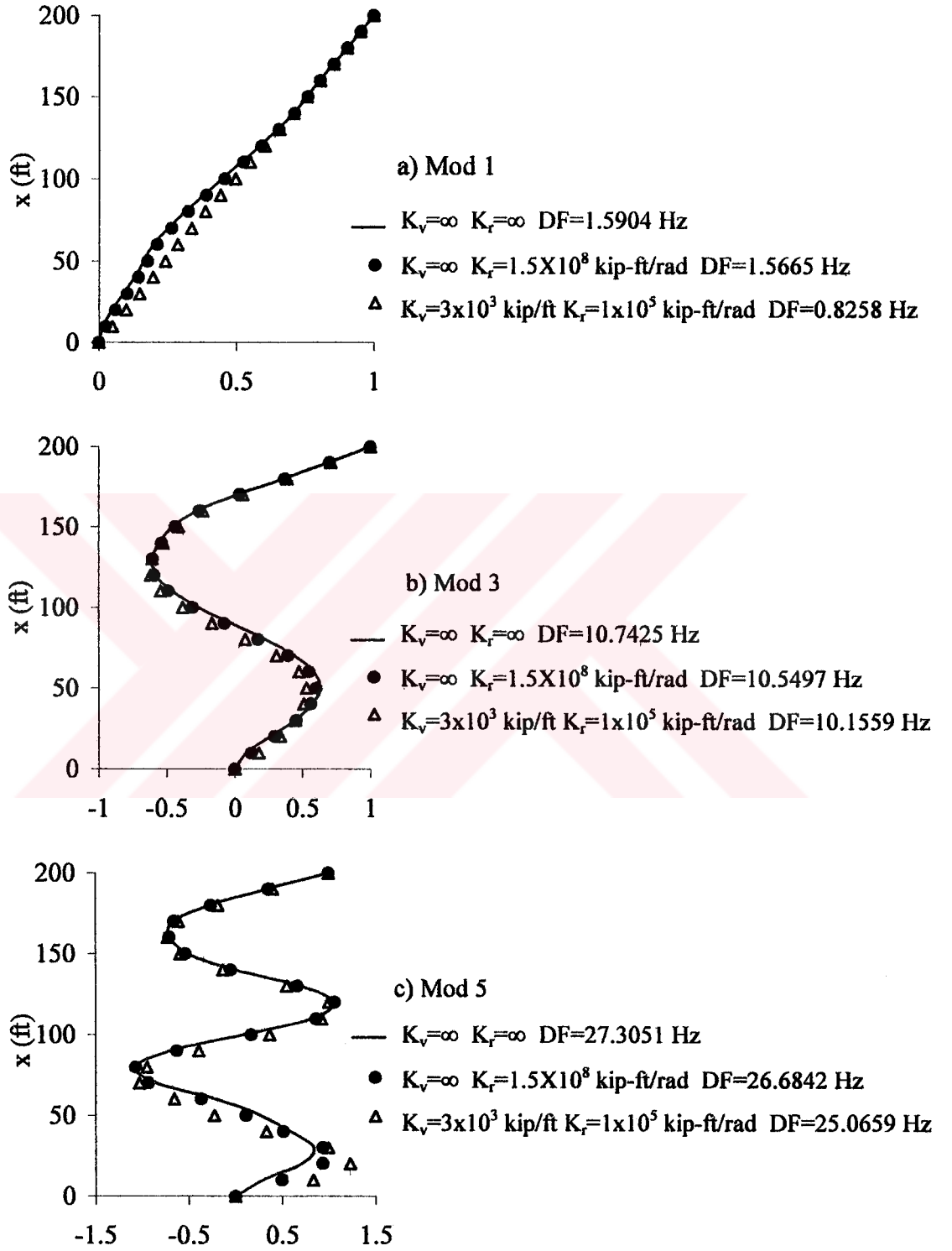
Şekil 9.24. Örnek 14'te güçlendiricisiz durum için birinci, üçüncü ve beşinci mod şekil vektörlerinin SAP2000 yapı analizi programından elde edilenlerle karşılaştırılması



Şekil 9.25. Örnek 14'te güçlendiricili durum için birinci, üçüncü ve beşinci mod şekil vektörlerinin SAP2000 yapı analizi programından elde edilenlerle karşılaştırılması



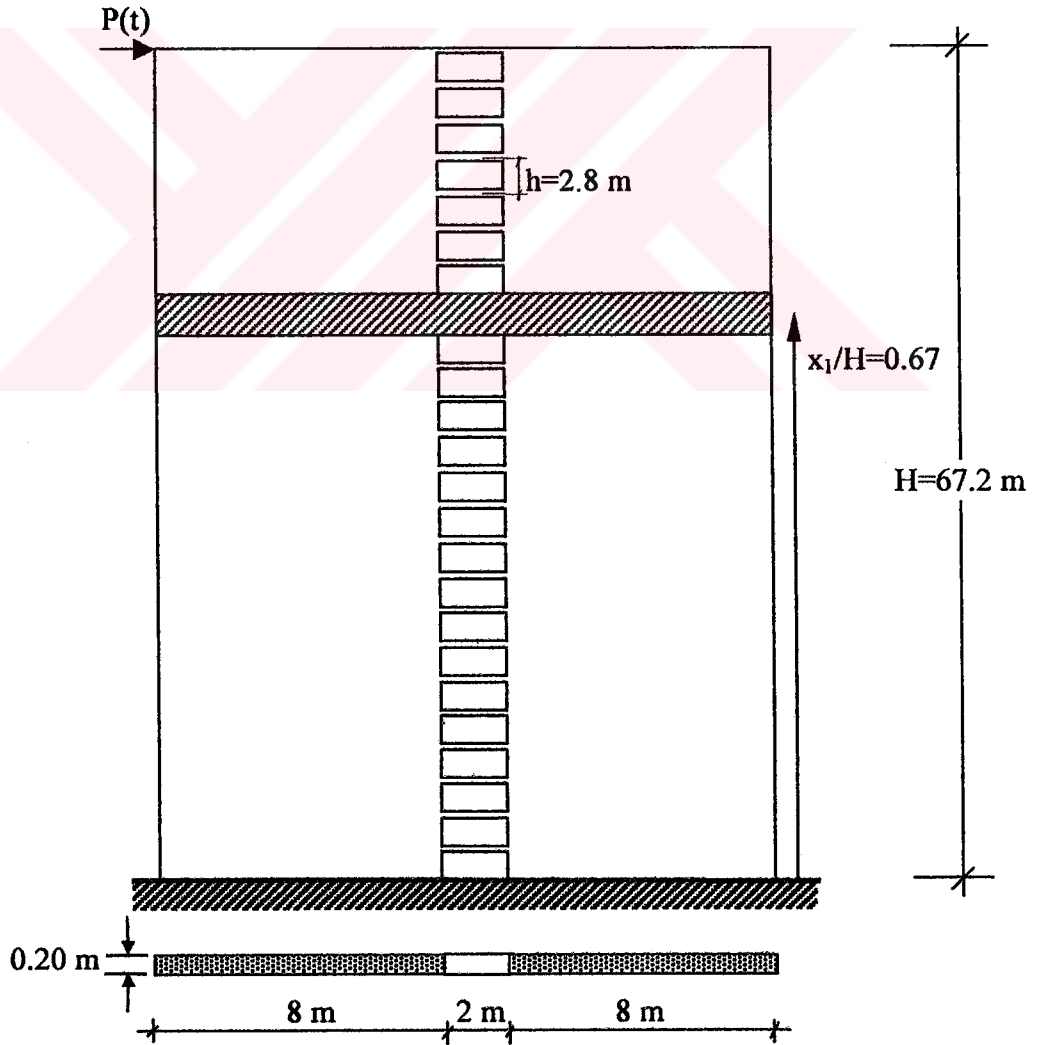
Şekil 9.26. Örnek 14'e ait güçlendiricisiz ve güçlendiricili durumlar için birinci, üçüncü ve beşinci mod şekil vektörlerinin karşılaştırılması



Şekil 9.27. Örnek 14'te güçlendiricili durumda değişik zemin özellikleri için birinci, üçüncü ve beşinci mod şekil vektörlerinin karşılaştırılması

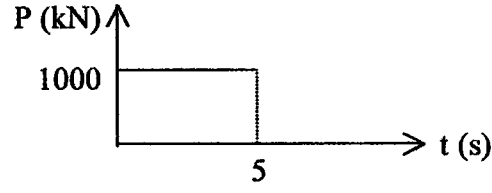
**Örnek 15:**

Zorlanmış titreşim analizinin ilk örneği olarak, literatürde statik analizi yapılan (Coull ve Bensmail, 1991) tek sıra boşluklu bir perde (Şekil 9.28), boyutları aynen alınarak dinamik yük etkisinde çözülmüştür. Toplam yüksekliği 67.2 m, kat yüksekliği 2.8 m, kalınlığı 0.2 m, boşluk genişliği 2 m, bağlantı ve güçlendirici kiriş yükseklikleri, sırasıyla, 0.35 m ve 1.00 m, elastisite modülü  $2 \times 10^7$  kN/m<sup>2</sup> ve yoğunluğu 2400 kg/m<sup>3</sup> olan bu perdenin  $x_1/H=0.67$  yükseklikte bir güçlendirici kirişi vardır. Bu perdeye tepe noktasında yatay olarak Şekil 9.29'da görülen kuvvet etki etmektedir.



Şekil 9.28. Örnek 15'e ait tek sıra boşluklu perde ve en kesiti





Şekil 9.29. Örnek 15'e ait yükleme

Sönümsüz durum için, bu çalışmada hazırlanan programın çalıştırılması sonucunda elde edilen perde tepesi maksimum yerdeğiştirmesi Çizelge 9.27'de SAP2000 yapı analizi programından elde edilenle karşılaştırılmıştır.

Çizelge 9.27. Sönümsüz durum için Örnek 15'e ait maksimum tepe yerdeğiştirmesinin SAP2000 yapı analizi programından elde edilenle karşılaştırılması

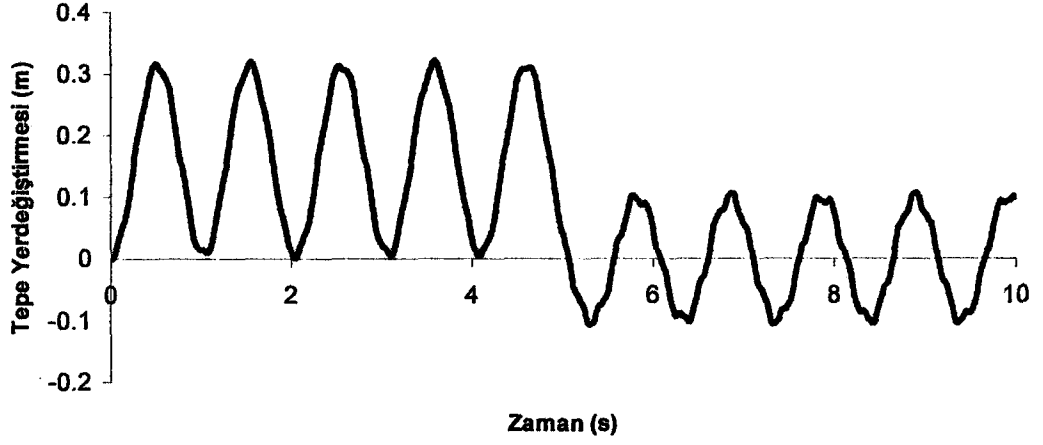
SAP2000	Bu çalışma	Fark (%)
0.3219 m	0.3213 m	0.19

Aynı problem %5 sönüm oranı ile çözüldüğünde her iki yöntemle elde edilen sonuçlar Çizelge 9.28'de karşılaştırılmıştır.

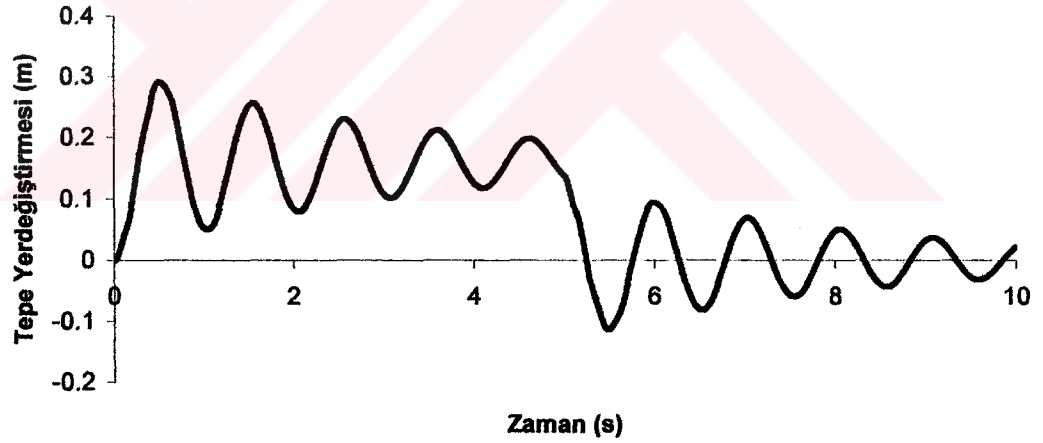
Çizelge 9.28. Sönümlü durum için Örnek 15'e ait maksimum tepe yerdeğiştirmesinin SAP2000 yapı analizi programından elde edilenlerle karşılaştırılması

SAP2000	Bu çalışma	Fark (%)
0.2941 m	0.2923 m	0.58

Sönümsüz ve sönümlü durumlar için perde tepesi yerdeğiştirmesinin zamana göre değişimi Şekil 9.30-31'de verilmiştir.



şekil 9.30. Örnek 15'te sönümsüz durum için perde tepesindeki yerdeğiştirmenin zamanla değişimi



şekil 9.31. Örnek 15'te sönümlü durum için perde tepesindeki yerdeğiştirmenin zamanla değişimi

**Örnek 16:**

Bu örnekteki boşluklu perde deprem analizi için hazırlanmıştır. Örnek 15'teki perdenin aynısı olan bu perde sönümsüz durum için Çizelge 9.29'daki spektral ivme değerleri (Wilson, 1997) etkisinde çözülmüştür.

Çizelge 9.29. Örnek 16 için spektral ivme değerleri

Peryot (s)	Spektral ivme (cm/s <sup>2</sup> )
0.0	294.3
0.1	343.35
0.2	686.7
0.5	882.9
0.6	882.9
1.0	588.6
2.0	490.5
100.0	0.0

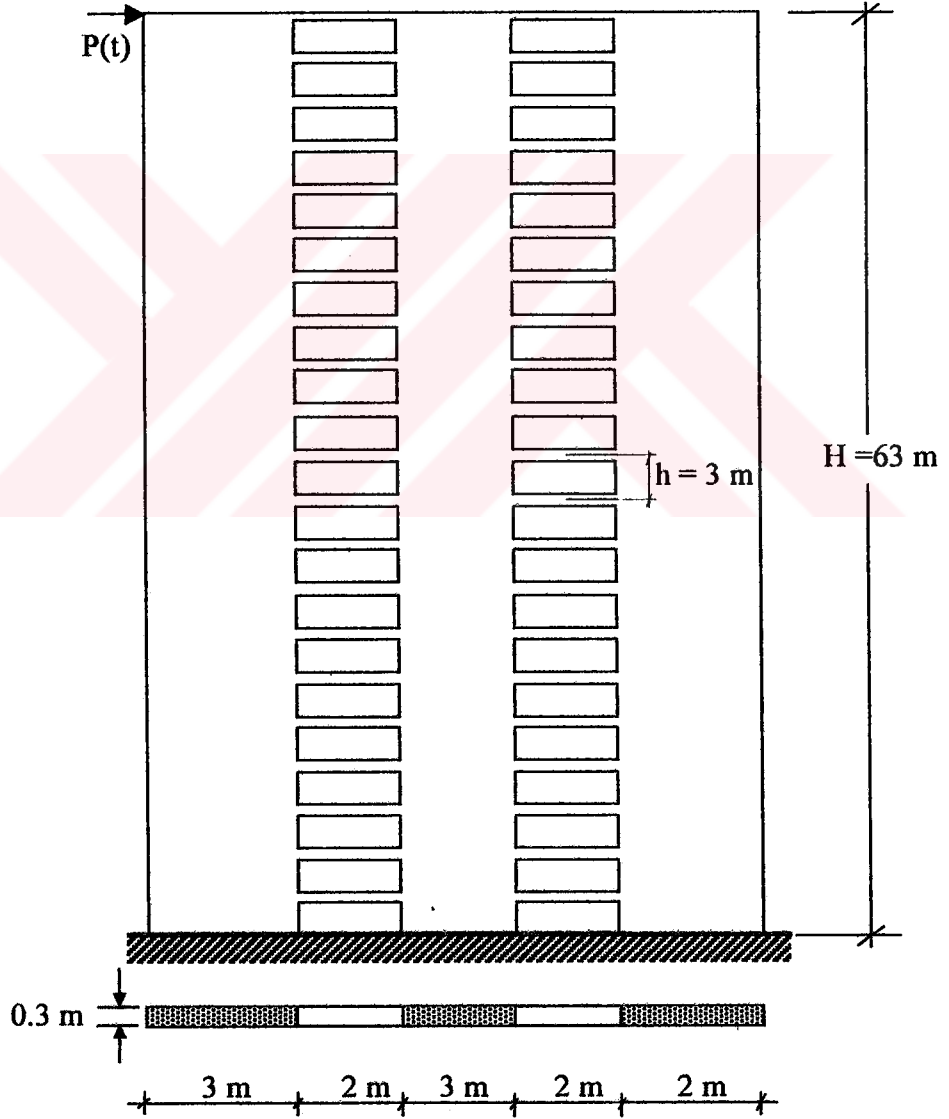
Bu çalışmada hazırlanan programın çalıştırılması sonucunda elde edilen perde tepesi maksimum yerdeğiştirmesi SAP2000 yapı analizi programından elde edilen sonuçlar ile Çizelge 9.30'da karşılaştırılmıştır.

Çizelge 9.30. Örnek 16'ya ait maksimum tepe yerdeğiştirmesinin SAP2000 yapı analizi programından elde edilenle karşılaştırılması

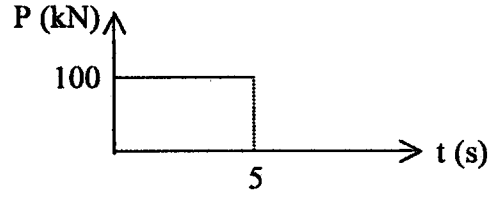
SAP90	Bu çalışma	Fark (%)
0.23233 m	0.22969 m	1.13

**Örnek 17:**

Bu örnekte, iki sıra boşluklu bir perde (Şekil 9.32), dinamik yük etkisinde çözülmüştür. Toplam yüksekliği 63 m, kat yüksekliği 3 m, kalınlığı 0.3 m, boşluk genişliği 2 m, bağlantı kirişi yüksekliği 0.25 m, duvar genişlikleri, sırasıyla, 3 m, 3 m, 2 m ve elastisite modülü  $2.876 \times 10^7$  kN/m<sup>2</sup> olan perdenin yoğunluğu 2400 kg/m<sup>3</sup> olarak alınmıştır. Bu perdeye tepe noktasında yatay olarak Şekil 9.33'te görülen kuvvet etki etmektedir.



Şekil 9.32. Örnek 17'ye ait iki sıra boşluklu perde ve en kesiti



Şekil 9.33. Örnek 17'ye ait yükleme

Sönümsüz durum için, bu çalışmada hazırlanan programın çalıştırılması sonucunda elde edilen perde tepesi maksimum yerdeğiştirmesi Çizelge 9.31'de SAP2000 yapı analizi programından elde edilenle karşılaştırılmıştır.

Çizelge 9.31. Sönümsüz durum için Örnek 17'ye ait maksimum tepe yerdeğiştirmesinin SAP2000 yapı analizi programından elde edilenle karşılaştırılması

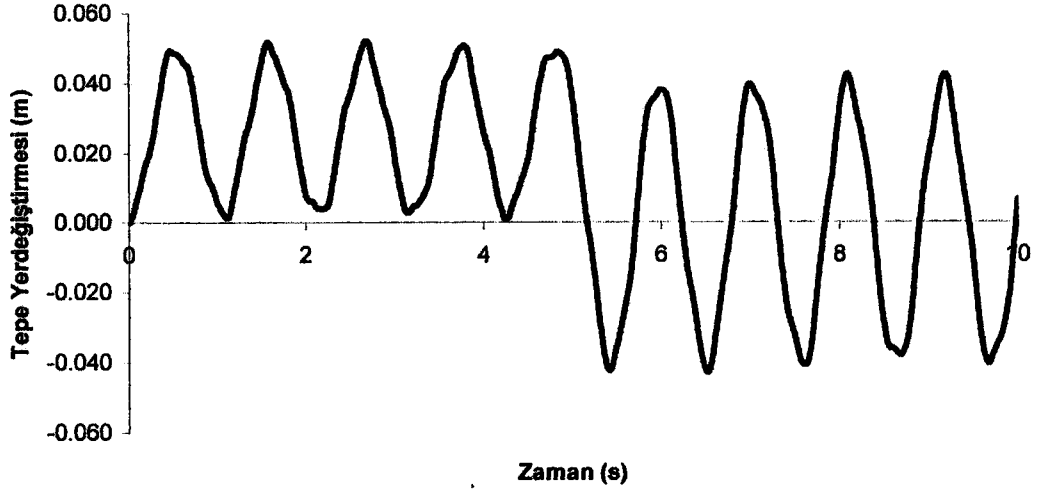
SAP2000	Bu çalışma	Fark (%)
0.05167 m	0.05208 m	0.79

Aynı problem %5 sönüm oranı ile çözüldüğünde her iki yöntemle elde edilen sonuçlar Çizelge 9.32'de karşılaştırılmıştır.

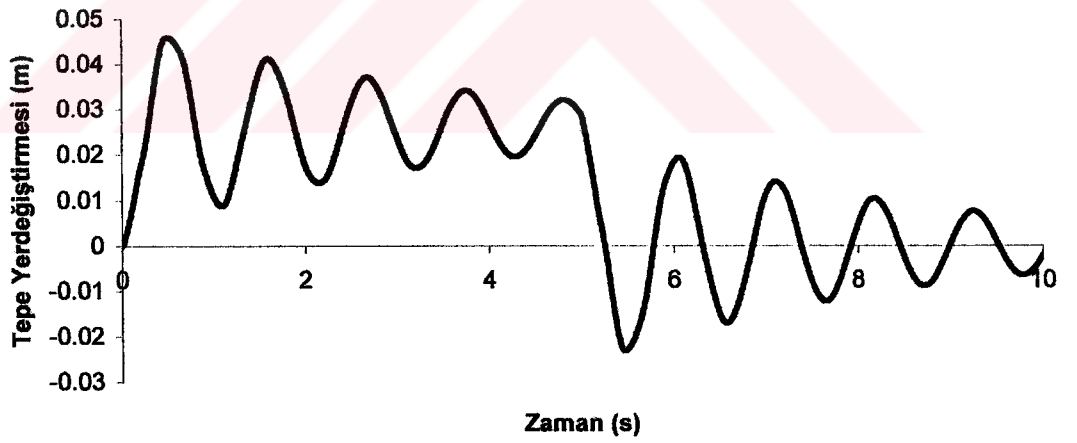
Çizelge 9.32. Sönümlü durum için Örnek 17'ye ait maksimum tepe yerdeğiştirmesinin SAP2000 yapı analizi programından elde edilenle karşılaştırılması

SAP2000	Bu çalışma	Fark (%)
0.04519 m	0.04588 m	1.53

Sönümsüz ve sönümlü durumlar için perde tepesi yerdeğiştirmesinin zamana göre değişimi Şekil 9.34-35'te verilmiştir.



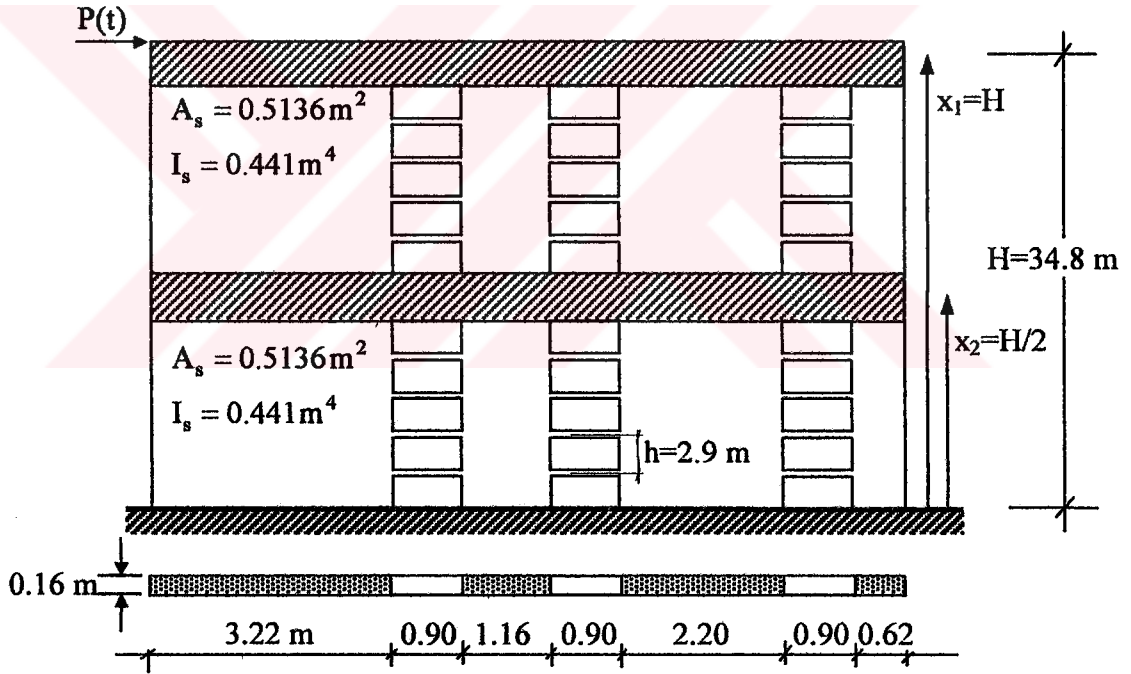
Şekil 9.34. Örnek 17’de sönümsüz durum için perde tepesindeki yerdeğiştirmenin zamanla değişimi



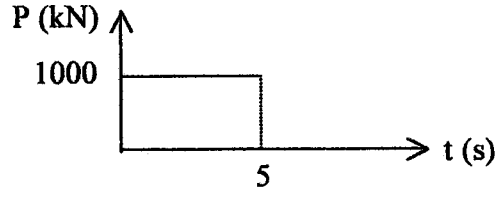
Şekil 9.35. Örnek 17’de sönümlü durum için perde tepesindeki yerdeğiştirmenin zamanla değişimi

**Örnek 18:**

Bu örnekte, literatürde statik analizi yapılan (Koo ve Cheung, 1984) üç sıra boşluklu bir perde (Şekil 9.36), boyutları aynen alınarak dinamik yük etkisinde çözülmüştür. Toplam yüksekliği 34.8 m, kat yüksekliği 2.9 m, kalınlığı 0.16 m, bağlantı kirişi yüksekliği 0.31 m ve elastisite modülü  $2 \times 10^7$  kN/m<sup>2</sup> olan perdenin yoğunluğu 2400 kg/m<sup>3</sup> olarak alınmıştır. Problem önce literatürde verildiği şekliyle güçlendiricisiz olarak, daha sonra da, aynı perdenin tepesine ve ortasına alanı 0.5136 m<sup>2</sup> ve atalet momentini 0.441m<sup>4</sup> olan güçlendirici kirişler konularak çözülmüştür. Bu perdeye tepe noktasında yatay olarak Şekil 9.37’de görülen kuvvet etki etmektedir.



Şekil 9.36. Örnek 18'e ait üç sıra boşluklu perde ve en kesiti



Şekil 9.37. Örnek 18'e ait yükleme

Sönümsüz durum için programın çalıştırılması sonucunda elde edilen perde tepesi maksimum yerdeğiştirmesi SAP2000 yapı analizi programından elde edilen sonuçlar ile Çizelge 9.33'te karşılaştırılmıştır.

Çizelge 9.33. Sönümsüz durum için Örnek 18'e ait maksimum tepe yerdeğiştirmelerinin SAP2000 yapı analizi programından elde edilenlerle karşılaştırılması

Güçlendiricisiz			Güçlendiricili		
SAP2000	Bu çalışma	Fark (%)	SAP2000	Bu çalışma	Fark (%)
0.1988 m	0.1972 m	0.81	0.1781 m	0.1769 m	0.67

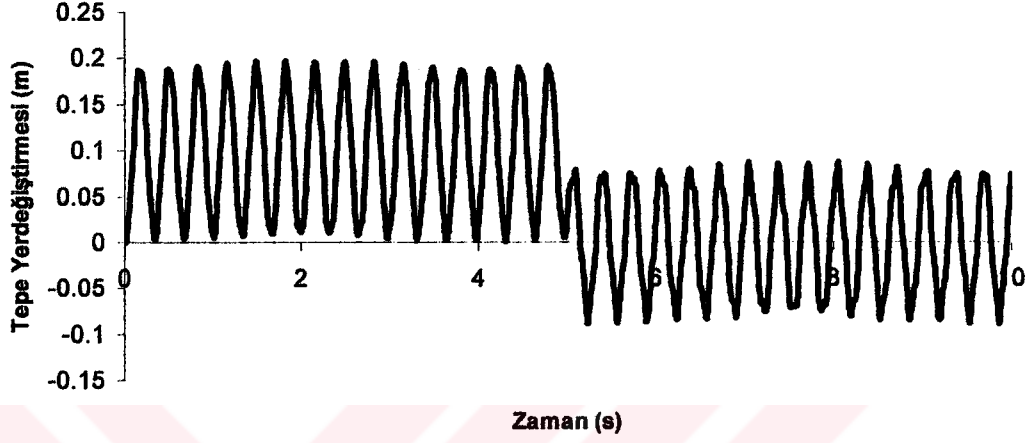
Aynı problem %5 sönüm oranı ile çözüldüğünde her iki yöntemle elde edilen sonuçlar Çizelge 9.34'te karşılaştırılmıştır.

Çizelge 9.34. Sönümlü durum için Örnek 18'e ait maksimum tepe yerdeğiştirmelerinin SAP2000 yapı analizi programından elde edilenlerle karşılaştırılması

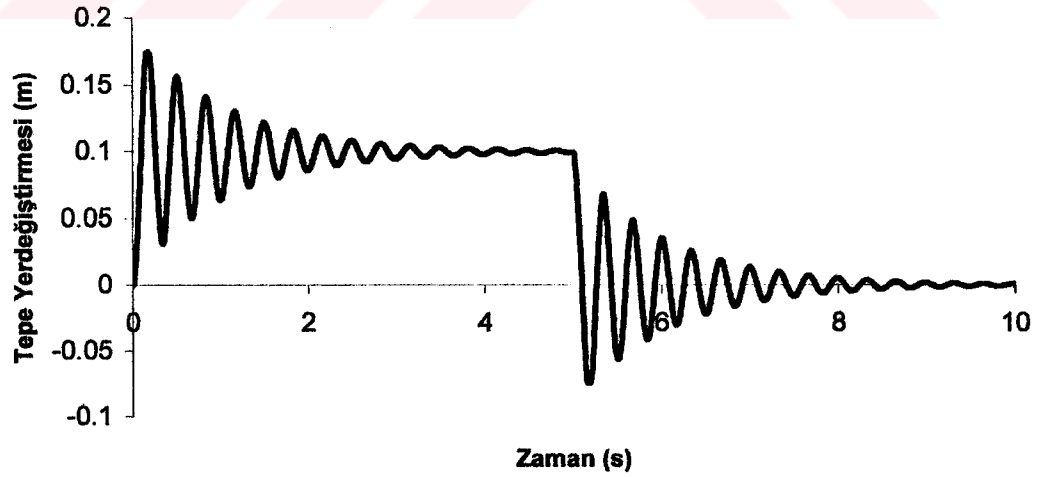
Güçlendiricisiz			Güçlendiricili		
SAP2000	Bu çalışma	Fark (%)	SAP2000	Bu çalışma	Fark (%)
0.1764 m	0.1748 m	0.89	0.1594 m	0.1579 m	0.92



Bu örnekte, güçlendirici yok iken sönümsüz ve sönümlü durumlar için perde tepesi yerdeğiştirmesinin zamana göre değişimi Şekil 9.38-39'da verilmiştir.



Şekil 9.38. Örnek 18'de güçlendirici yok iken sönümsüz durum için perde tepesindeki yerdeğiştirmenin zamanla değişimi



Şekil 9.39. Örnek 18'de güçlendirici yok iken sönümlü durum için perde tepesindeki yerdeğiştirmenin zamanla değişimi

**Örnek-19:**

Bu örnekteki boşluklu perde deprem analizi için hazırlanmıştır. Örnek 18'deki perdenin aynısı olan bu perde sönümsüz olarak hem güçlendiricili hem de güçlendiricisiz durum için Çizelge 9.35'teki spektral ivme değerleri (Wilson, 1997) etkisinde çözülmüştür.

Çizelge 9.35. Örnek 19 için spektral ivme değerleri

Peryot (s)	Spektral ivme (cm/s <sup>2</sup> )
0.0	294.3
0.1	343.35
0.2	686.7
0.5	882.9
0.6	882.9
1.0	588.6
2.0	490.5
100.0	0.0

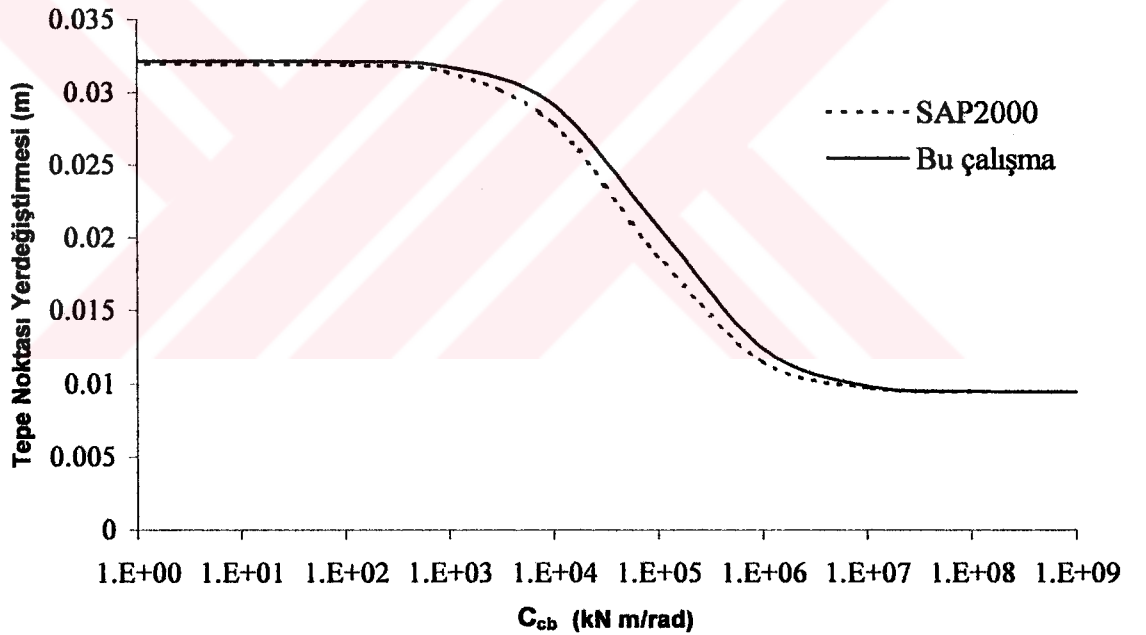
Çizelge 9.36'da perde tepesi maksimum yerdeğiştirmesi için, bu çalışmada hazırlanan program ile elde edilen sonuçlar SAP2000 yapı analizi programından elde edilen sonuçlarla karşılaştırılmıştır.

Çizelge 9.36. Örnek 19'a ait maksimum tepe yerdeğiştirmelerinin SAP2000 yapı analizi programından elde edilenlerle karşılaştırılması

Güçlendiricisiz			Güçlendiricili		
SAP2000	Bu çalışma	Fark (%)	SAP2000	Bu çalışma	Fark (%)
0.03228 m	0.03184 m	1.4	0.02854 m	0.02819 m	1.2

**Örnek 20:**

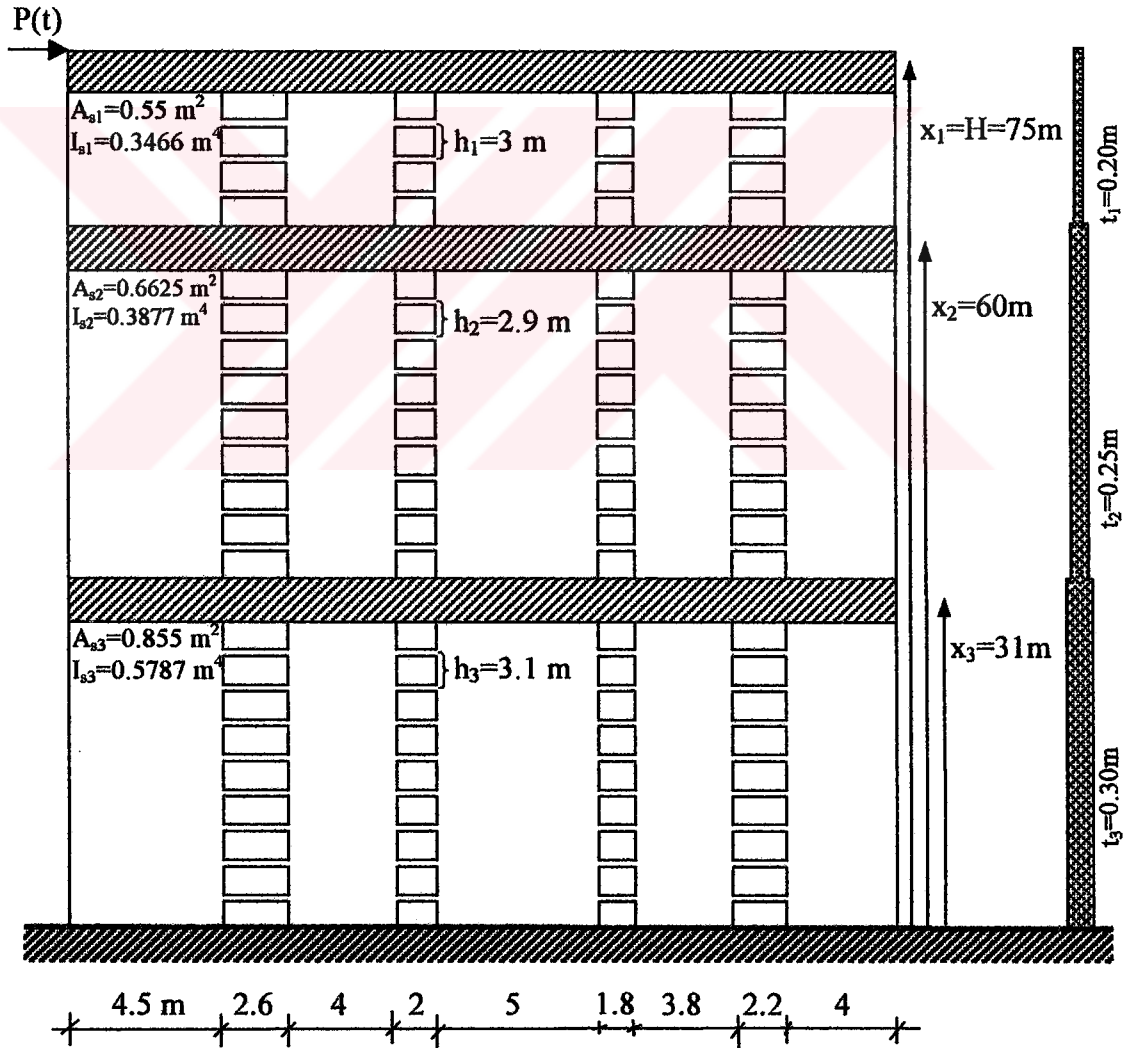
Bu çalışmada kullanılan bilgisayar programları, çok sıra boşluklu perdenin bağlantı kirişleri ile güçlendirici kirişlerinin duvarlarla birleştikleri yerlerdeki kiriş-duvar bağlantı esnekliklerini hesaba katacak şekilde hazırlanmıştır. Bu etkileri incelemek amacıyla hazırlanan bu örnekte, Örnek 19'daki veriler kullanılacaktır. Bağlantı kirişleri ile duvarların arasındaki bağlantının esnekliğindeki değişimin perde tepesi maksimum yerdeğiştirmesine etkisinin daha iyi görülmesi için hem bu çalışmada hazırlanan program ile hem de SAP2000 yapı analizi programı ile bulunan sonuçlar Şekil 9.40'ta birlikte verilmiştir.



Şekil 9.40. Örnek 20'deki üç sıra boşluklu perdeye ait bağlantı kirişi ile duvar arasındaki bağlantı rijitliğindeki ( $C_{cb}$ ) değişimin perde tepesi maksimum yerdeğiştirmesine etkisi

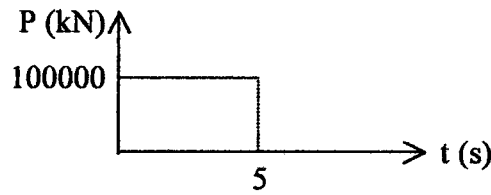
**Örnek 21:**

Yapılan bu çalışmada, mimari nedenlerle oluşabilecek, bölgeden bölgeye bağlantı kirişi, kat yüksekliği, güçlendirici kiriş ve kalınlık değişiklikleri dikkate alınmaktadır. Ayrıca, duvar ve boşluk genişlikleri istenilen değerlerde alınabilmektedir. Bu değişiklikleri içerecek şekilde hazırlanan bu örnekte güçlendirilmiş, rijit temele oturan bölgeden bölgeye kalınlığı değişen dört sıra boşluklu bir perde dinamik yük etkisinde çözülmüştür (Şekil 9.41).



Şekil 9.41. Örnek 21'e ait dört sıra boşluklu perde ve boy kesiti

Perdenin, toplam yüksekliği 75 m, tepeden başlayarak her bölge için, kalınlığı, 0.20 m, 0.25 m, 0.30 m, güçlendirici kiriş alanı, 0.55 m<sup>2</sup>, 0.6625 m<sup>2</sup>, 0.855 m<sup>2</sup>, atalet momentleri, 0.3466 m<sup>4</sup>, 0.3877 m<sup>4</sup>, 0.5787 m<sup>4</sup>, kat yükseklikleri, 3 m, 2.9 m, 3.1 m, elastisite modülü 2.876x10<sup>7</sup> kN/m<sup>2</sup>, bağlantı kirişi yükseklikleri, soldan sağa doğru, sırasıyla, 0.25 m, 0.20 m, 0.35 m, 0.30 m ve yoğunluğu 2400 kg/m<sup>3</sup> olarak alınmıştır. Bu perdeye tepe noktasında yatay olarak Şekil 9.42’de görülen kuvvet etki etmektedir.



Şekil 9.42. Örnek 21’e ait yükleme

Sönümsüz durum için, bu çalışmada hazırlanan programın çalıştırılması sonucunda elde edilen perde tepesi maksimum yerdeğiştirmesi SAP2000 yapı analizi programından elde edilenle Çizelge 9.37’de karşılaştırılmıştır.

Çizelge 9.37. Sönümsüz durum için Örnek 21’e ait maksimum tepe yerdeğiştirmesinin SAP2000 yapı analizi programından elde edilenle karşılaştırılması

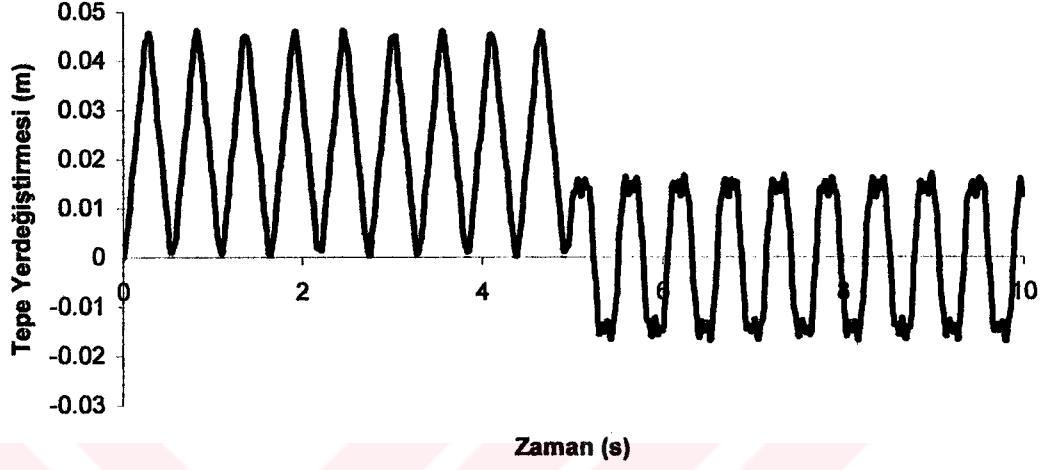
SAP2000	Bu çalışma	Fark (%)
0.04617 m	0.04624 m	0.15

Aynı problem %5 sönüm oranı ile çözüldüğünde her iki yöntemle elde edilen sonuçlar Çizelge 9.38’de karşılaştırılmıştır.

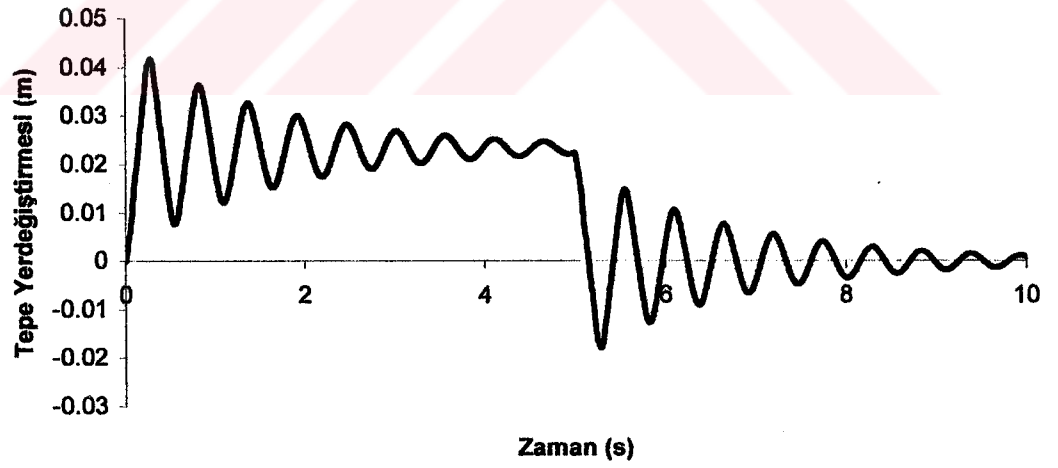
Çizelge 9.38. Sönümlü durum için Örnek 21’e ait maksimum tepe yerdeğiştirmesinin SAP2000 yapı analizi programından elde edilenle karşılaştırılması

SAP2000	Bu çalışma	Fark (%)
0.04206 m	0.04182 m	0.57

Sönümsüz ve sönümlü durumlar için perde tepesi yerdeğiştirmesinin zamana göre değişimi Şekil 9.43-44'te verilmiştir.



Şekil 9.43. Örnek 21'de sönümsüz durum için perde tepesindeki yerdeğiştirmenin zamanla değişimi



Şekil 9.44. Örnek 21'de sönümlü durum için perde tepesindeki yerdeğiştirmenin zamanla değişimi

**Örnek 22:**

Bu örnekteki boşluklu perde deprem analizi için hazırlanmıştır. Örnek 21'deki perdenin aynısı olan bu perde sönümsüz durum için Çizelge 9.39'daki spektral ivme değerleri (Wilson, 1997) etkisinde çözülmüştür.

Çizelge 9.39. Örnek 22 için spektral ivme değerleri

Peryot (s)	Spektral ivme (cm/s <sup>2</sup> )
0.0	294.3
0.1	343.35
0.2	686.7
0.5	882.9
0.6	882.9
1.0	588.6
2.0	490.5
100.0	0.0

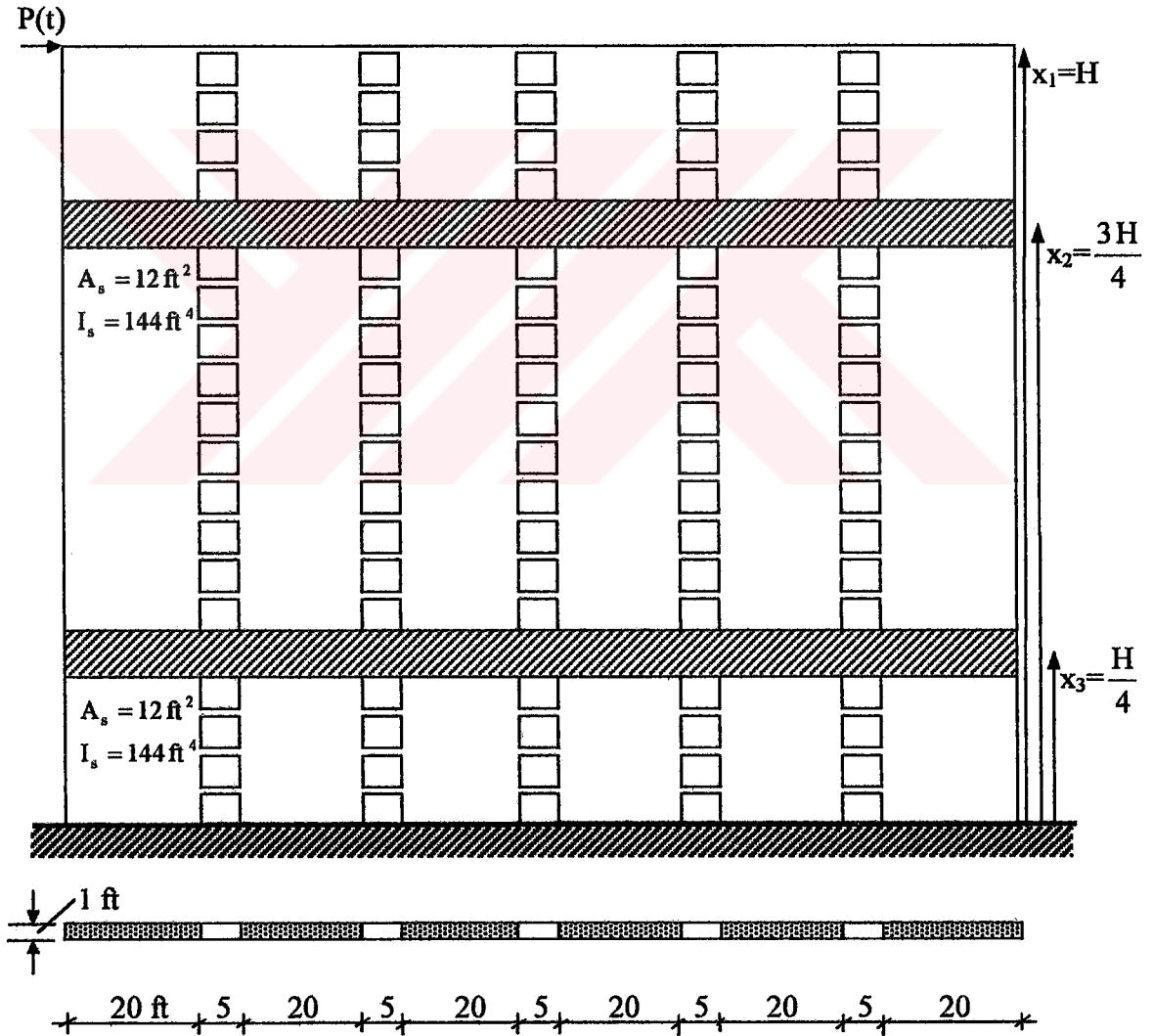
Çizelge 9.40'ta perde tepesi maksimum yerdeğiştirmesi için bu çalışmada elde edilen sonuç ile SAP2000 yapı analizi programından elde edilen sonuç karşılaştırılmıştır.

Çizelge 9.40. Örnek 22'ye ait maksimum tepe yerdeğiştirmesinin SAP2000 yapı analizi programından elde edilenle karşılaştırılması

SAP2000	Bu çalışma	Fark (%)
0.09358 m	0.09532 m	1.85

**Örnek 23:**

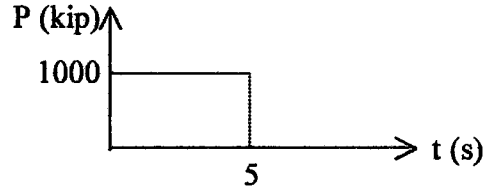
Bu örnekte, literatürde statik analizi yapılan (Elkholy ve Robinson, 1973) beş sıra boşluklu bir perde (Şekil 9.45), boyutları aynen alınarak dinamik yük etkisinde çözülmüştür. Toplam yüksekliği 200 ft, kat yüksekliği 10 ft, kalınlığı 1 ft, boşluk genişlikleri 5 ft, bağlantı kirişi yükseklikleri 2 ft ve elastisite modülü  $2 \times 10^5$  kip/ft<sup>2</sup> olarak verilen bu perdede güçlendirici kiriş alanı 12 ft<sup>2</sup>, güçlendirici kiriş atalet momenti 144 ft<sup>4</sup> ve yoğunluk  $1527 \times 10^{-4}$  kip/ft<sup>3</sup> olarak alınmıştır.



Şekil 9.45. Örnek 23'e ait beş sıra boşluklu perde ve en kesiti



Problem, önce literatürde verildiği şekliyle güçlendiricisiz olarak, daha sonra da, yüksekliğin  $\frac{1}{4}$  ve  $\frac{3}{4}$ 'ünde güçlendirici kirişler konularak çözülmüştür. Bu perdeye tepe noktasında yatay olarak Şekil 9.46'da görülen kuvvet etki etmektedir.



Şekil 9.46. Örnek 23'e ait yükleme

Bu çalışmada hazırlanan programın çalıştırılması sonucunda literatürde verilen çeşitli zemin koşulları için elde edilen perde tepesi maksimum yerdeğiştirmeleri SAP2000 yapı analiz programından elde edilen sonuçlarla sönümsüz durum için Çizelge 9.41'de karşılaştırılmıştır.

Çizelge 9.41. Örnek 23'te sönümsüz durumda çeşitli zemin tipleri için maksimum tepe yerdeğiştirmelerinin SAP2000 yapı analizi programından elde edilenlerle karşılaştırılması

Zemin Özellikleri*		Güçlendiricisiz			Güçlendiricili		
$K_v$ kip/ft	$K_r$ kip-ft/rad	SAP2000 (ft)	Bu çalışma (ft)	Fark (%)	SAP2000 (ft)	Bu çalışma (ft)	Fark (%)
$\infty$	$\infty$	0.2121	0.2078	2.03	0.1816	0.1817	0.06
$9 \times 10^6$	$3 \times 10^8$	0.2115	0.2087	1.32	0.1816	0.1837	1.16
$4 \times 10^6$	$\infty$	0.2126	0.2081	2.12	0.1816	0.1822	0.33
$\infty$	$1.5 \times 10^8$	0.2161	0.2102	2.73	0.1860	0.1805	2.96
$4 \times 10^6$	$1.5 \times 10^8$	0.2159	0.2104	2.55	0.1864	0.1808	3.00
$3 \times 10^4$	$\infty$	0.2439	0.2414	1.03	0.2150	0.2167	0.79
$3 \times 10^3$	$1 \times 10^5$	0.6373	0.6276	1.52	0.5942	0.5983	0.69

\* Burada  $K_h = \infty$  alınmıştır

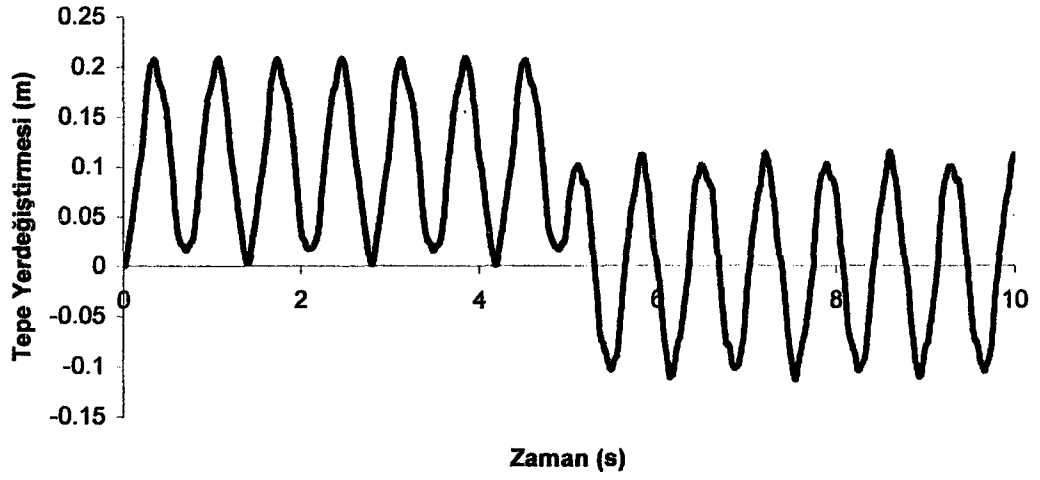
Aynı problem %5 sönüm oranı ile çözümlenerek iki yöntemle elde edilen sonuçlar Çizelge 9.42’de karşılaştırılmıştır.

Çizelge 9.42. Örnek 23’te sönümlü durumda değişik zemin tipleri için maksimum tepe yerdeğiştirmelerinin SAP2000 yapı analizi programından elde edilenlerle karşılaştırılması

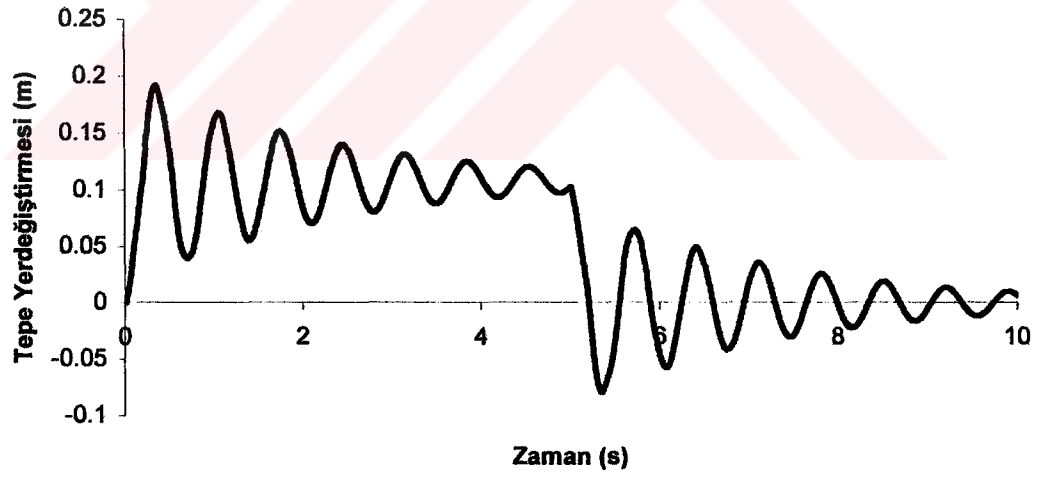
Zemin Özellikleri*		Güçlendiricisiz			Güçlendiricili		
$K_v$ kip/ft	$K_r$ kip-ft/rad	SAP2000 (ft)	Bu çalışma (ft)	Fark (%)	SAP2000 (ft)	Bu çalışma (ft)	Fark (%)
$\infty$	$\infty$	0.1918	0.1900	0.94	0.1626	0.1616	0.62
$9 \times 10^6$	$3 \times 10^8$	0.1940	0.1917	1.19	0.1646	0.1634	0.73
$4 \times 10^6$	$\infty$	0.1920	0.1902	0.94	0.1628	0.1619	0.55
$\infty$	$1.5 \times 10^8$	0.1954	0.1928	1.33	0.1660	0.1645	0.90
$4 \times 10^6$	$1.5 \times 10^8$	0.1927	0.1931	0.21	0.16.63	0.1647	0.96
$3 \times 10^4$	$\infty$	0.2226	0.2195	1.39	0.1929	0.1923	0.31
$3 \times 10^3$	$1 \times 10^5$	0.5816	0.5727	1.53	0.5507	0.5470	0.67

\* Burada  $K_h = \infty$  alınmıştır

Zemin özellikleri  $K_v=9.00 \times 10^6$  kip/ft,  $K_r=3.00 \times 10^8$  kip-ft/rad ve  $K_h = \infty$  alınarak güçlendiricisiz durum için sönümsüz ve sönümlü durumlarda perde tepesi yerdeğiştirmesinin zamana göre değişimi Şekil 9.47-48’de verilmiştir.



şekil 9.47. rnek 23'te elastik bir zemin için sönümsüz durumda perde tepesindeki yerdeğiştirmenin zamanla değişimi



şekil 9.48. rnek 23'te elastik bir zemin için sönümlü durumda perde tepesindeki yerdeğiştirmenin zamanla değişimi

**Örnek 24:**

Bu örnekteki boşluklu perde deprem analizi için hazırlanmıştır. Örnek 23'teki perdenin aynısı olan bu perde sönümsüz durum için Çizelge 9.43'teki spektral ivme değerleri (Wilson, 1997) etkisinde çözülmüştür.

Çizelge 9.43. Örnek 24 için spektral ivme değerleri

Peryot (s)	Spektral ivme ( $\text{in/s}^2$ )
0.0	115.9
0.1	135.18
0.2	270.35
0.5	347.6
0.6	347.6
1.0	231.7
2.0	193.1
100.0	0.0

Bu çalışmada hazırlanan programın çalıştırılması sonucunda, literatürde verilen çeşitli zemin tipleri için, sönümsüz durumda elde edilen perde tepesi maksimum yerdeğiştirmeleri Çizelge 9.44'te SAP2000 yapı analiz programından elde edilen sonuçlarla karşılaştırılmıştır.

Çizelge 9.44. Örnek 24'te değişik zemin tipleri için maksimum tepe yerdeğiştirmelerinin SAP2000 yapı analizi programından elde edilenlerle karşılaştırılması

Zemin Özellikleri		Güçlendiricisiz			Güçlendiricili		
$K_v$ kip/ft	$K_r$ kip-ft/rad	SAP2000 (ft)	Bu çalışma (ft)	Fark (%)	SAP2000 (ft)	Bu çalışma (ft)	Fark (%)
$\infty$	$\infty$	0.1447	0.1437	0.69	0.1277	0.1264	1.02
$9 \times 10^6$	$3 \times 10^8$	0.1466	0.1442	1.64	0.1297	0.1281	1.23
$4 \times 10^6$	$\infty$	0.1448	0.1428	1.38	0.1279	0.1265	1.09
$\infty$	$1.5 \times 10^8$	0.1481	0.1471	0.68	0.1312	0.1292	1.52
$4 \times 10^6$	$1.5 \times 10^8$	0.1482	0.1473	0.61	0.1314	0.1293	1.60
$3 \times 10^4$	$\infty$	0.1605	0.1593	0.75	0.1455	0.1443	0.82
$3 \times 10^3$	$1 \times 10^5$	0.3361	0.3342	0.57	0.3195	0.3135	1.88

### 9.3. Sonuçlar ve Öneriler

Sayısal uygulamaların ilk yedi örneğinde statik analiz yapılmıştır. Birinci ve ikinci örnekte, iki farklı makale çalışmasında verilen (Coull ve Bensmail, 1991, Choo ve Li, 1997), rijit ve elastik zemine oturmuş, güçlendiricili tek sıra boşluklu perdeler, bu çalışmada statik analiz için hazırlanan program ile tekrar çözümlenerek, literatürde verilen bazı büyüklüklerle karşılaştırıldığında, tamamen üst üste çakışan sonuçlar elde edilmiştir. Üçüncü örnekte, Coull ve Subedi (1972) tarafından deneyde çalışılan boyutlardaki iki sıra boşluklu perdenin beş farklı modeli için verilen yatay yerdeğiştirmeler, bu çalışmadan ve SAP2000 yapı analizi programından elde edilenlerle Şekil 9.4a-b'de karşılaştırılmıştır. Dördüncü örnekte, gerilmelerin, perde tabanındaki toplam momentin ve yatay yerdeğiştirmelerin diğer yöntemlerle uyumluluğunu göstermek amacıyla seçilen iki sıra boşluklu perde örneği, bu çalışmada statik analiz için hazırlanan programla, SAP2000 yapı analizi programıyla ve PAFEC sonlu elemanlar programıyla çözümlenerek elde edilen bazı büyüklükler Çizelge 9.6'da karşılaştırılmıştır. Beşinci örnekte, rijit temele oturan üç sıra boşluklu perde, önce literatürde (Koo ve Cheung, 1984) verildiği gibi güçlendiricisiz, daha sonra da güçlendirici konularak çözümlenmiş ve SAP2000 yapı analizi programı ile elde edilen sonuçlarla karşılaştırılmıştır. Koo ve Cheung (1984), eksenel kuvvetleri koordinat fonksiyonları cinsinden ifade ederek yaptıkları çalışmanın sonunda verdikleri bu örneği çeşitli yöntemlerle karşılaştırdıklarında, özellikle orta duvarlarda büyük hata oranları ile karşılaşmışlardır. Bölgeden bölgeye bağlantı kirişi, kat yüksekliği, güçlendirici giriş ve kalınlıkların değiştiği altıncı örnekte, sıralanan duvar ve boşluk genişlikleri de asimetrik seçilmiştir. Dört sıra boşluklu perdede çeşitli zemin koşulları için bu çalışmadan ve SAP2000 yapı analizi programından elde edilen çeşitli büyüklükler Çizelge 9.8-9'da sunulmuştur. Yedinci örnekte, Elkholy ve Robinson (1984) tarafından sonlu farklar yöntemi kullanılarak ele alınan beş sıra boşluklu bir perde, değişik zemin özellikleri için önce literatürde verildiği şekliyle ve daha sonra da yüksekliğin  $\frac{1}{4}$  ve  $\frac{3}{4}$ 'ünde güçlendirici giriş konularak bu çalışmada hazırlanan program ile ve SAP2000 yapı analizi programı ile çözümlenmiştir. Yedinci örnekte yapılan karşılaştırmalardan Çizelge 9.11'de, zemin özellikleri kötüleştiğinde,

Elkholy ve Robinson (1973) tarafından verilen değerlerin diğer iki yöntemin sonuçlarından çok farklı olduğu görülmekte olup bunun nedeni sonlu farklar yöntemi ile yapılan o çalışmada yazarların analizde elastik temel ile ilgili hatalar yapmış olmalarıdır.

Serbest titreşim analizi için yedi örnek ele alınmıştır. Sekizinci örnekte, Li ve Choo (1994) tarafından ele alınan tek sıra boşluklu perde örneği için o çalışmada verilen diğer yöntemlerin frekansları, bu çalışmadan ve SAP2000 yapı analizi programından elde edilen frekanslarla karşılaştırılmıştır. Dokuzuncu örnekte, Li ve Choo (1996) tarafından verilen güçlendirilmiş tek sıra boşluklu perde örneğinin ilk on doğal frekansı bu çalışmadan elde edilenlerle çeşitli zemin koşulları için Çizelge 9.14'te karşılaştırılmıştır. Önceki çalışmalarda çok sıra boşluklu perdelerin dinamik analizi üzerine herhangi bir çalışmaya rastlanmadığından bu çalışmada statik analizi yapılan tek ve çok sıra boşluklu perdelerin boyutları aynen alınarak serbest titreşim, zaman tanım alanı ve deprem analizleri yapılmıştır. Örnek 11 bu çalışmada oluşturulmuştur. Serbest titreşim analizi yapılan tüm örneklerin ilk on doğal frekansları SAP2000 yapı analizi programından elde edilenlerle karşılaştırılarak oransal farklarıyla birlikte sunulmuştur. Ayrıca birinci, üçüncü ve beşinci mod şekil vektörleri ilk terime göre normalize edilerek SAP2000 yapı analizi programından elde edilenlerle karşılaştırılmıştır.

Zaman tanım alanı ve deprem analizi için toplam 9 örnek seçilmiştir. Bu çalışmada serbest titreşim analizi yapılan örneklerden seçilen problemler, dinamik yük etkisinde sönümlü ve sönümsüz durumlar için çözümlenerek maksimum tepe yerdeğiştirmeleri SAP2000 yapı analizi programı ile karşılaştırılmıştır. Ayrıca bu örneklerin sönümlü ve sönümsüz durumları için perde tepesindeki yerdeğiştirmelerin zamanla değişimleri de sunulmuştur. Örnek 16, 19, 22 ve 24'te önceki örneklerin spektral ivme değerleri (Wilson, 1997) etkisinde çözümlenerek elde edilen maksimum tepe yerdeğiştirmeleri SAP2000 yapı analizi programından elde edilenlerle karşılaştırılmıştır.

Bu çalışmada kullanılan bilgisayar programları çok sıra boşluklu perdenin bağlantı kirişi ve güçlendirici kirişinde kiriş-duvar bağlantı esnekliğini hesaba katacak şekilde hazırlanmıştır. Bu etkileri incelemek amacıyla 20. örnek problem

oluşturulmuş ve bağlantı esnekliğindeki değişimin perde tepesi maksimum yerdeğiştirmeye etkisi Şekil 9.40'ta SAP2000 yapı analizi ile karşılaştırılarak sunulmuştur.

Bu çalışmada önerilen yöntem, iki bakımdan büyük kolaylık sağlamaktadır. Birincisi, çubuk elemanlar olarak hesap yapan diğer yöntemlere göre data hazırlamasının çok daha kolay olmasıdır. Ayrıca, değişik olasılıkları denemek için perdede bazı değişiklikler yapılması gerektiğinde yeni data hazırlanırken eskisinde bazı küçük değişiklikler yapılmasının yeterli olması da büyük kolaylık sağlamaktadır. İkinci kolaylık ise, burada verilen yöntemle yapılan çözüm süresinin diğer yöntemlere göre daha kısa olmasıdır. Örneğin, Elkholy ve Robinson (1973) tarafından sonlu farklar yöntemi kullanılarak yapılan çözümde aynı problem için gerekli çözüm süresi bu çalışmada kullanılan yöntem için gerekenin yaklaşık olarak beş katı kadardır. Bu iki kolaylık gözönüne alındığında kolayca görülebilir ki, bu yöntem öntasarım amacı ile çok etkin bir şekilde kullanılabilir. Perdenin özelliklerini ve güçlendirici kirişlerin yerlerini saptamada çok fazla sayıda olasılık, kısa bir süre içerisinde denenerek, sistem seçimi aşaması etkin bir şekilde ve kısa bir sürede tamamlanır. Daha sonra yapılan kesin çözümde istenilen tür bir yöntem uygulanabilir.



## KAYNAKLAR

- AKSOĞAN, O., TÜRKER, H.T. and OSKOUEI, A.V., 1993, Stiffening of Coupled Shear Walls at Arbitrary Number of Heights, *Advances in Civil Engineering, First Technical Congress, North Cyprus, 2*, s.780-787.
- AKSOĞAN, O., ARSLAN, H.M. and SALARI, N., May. 1999, Free Vibrations of Stiffened Coupled Shear Walls on Flexible Foundations, *Third International Conference on Seismology and Earthquake Engineering, Tehran, Iran*, s.623-630.
- ARSLAN, H.M., 1996, Boşluklu Deprem Perdelerinin Yatay Yüklere Karşı Güçlendirilmesi, *Master Tezi, Ç.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana*, 96 s.
- ARSLAN, H.M., 1999, Kesit Değişikliği Olan Güçlendirilmiş Boşluklu Deprem Perdelerinin Dinamik Analizi, *Doktora Tezi, Ç.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana*, 172 s.
- ARSLAN, H.M. ve AKSOĞAN, O., Eylül 1995, Güçlendirici Kirişlerin ve Kesit Değişikliklerinin Elastik Mesnetlenmiş Boşluklu Deprem Perdelerinin Davranışına Etkileri, *IX. Ulusal Mekanik Kongresi, Ürgüp, 7*, s.158-167.
- BARRETT, L.C., and WYLIE, C.R., 1987, *Advanced Engineering Mathematics, McGRAW-HILL BOOK COMPANY, London*, 1076 s.
- BATHE., K.J. and WILSON, E.L., 1976, *Numerical Methods in Finite Element Analysis, Prentice-Hall Inc., New Jersey*, 528 s.
- BORESI, A.P. and CHONG, K.P., 1991, *Approximate Solution Methods in Engineering Mechanics, Elsevier Applied Science, London and New York*, 147 s.

- CHAN, H.C. and KUANG, J.J., 1988, Effect of a Single Deep Beam on Twin Shear Walls with Rotational Coupling, Proceedings of the Institution of Civil Engineers, 85(2), s.503-515.
- CHAN, H.C. and KUANG, J.J., 1989, Stiffened Coupled Shear Walls, Journal of Structural Engineering, 115(4), s.689-703.
- CHEUNG, Y.K., 1976, Finite Strip Method in Structural Analysis, Pergamon Press. New York. 283 s.
- CHEUNG, Y.K. and SWADDIWUDHIPONG, S., 1978, Analysis of Frame Shear Wall Structures Using Finite Strip Elements, Proceedings of the Institution of Civil Engineers, 65(2), s.517-535.
- CHOO, B.S. and COULL, A., 1984, Stiffening of Laterally Loaded Coupled Shear Walls on Elastic Foundations, Building and Environment, 19(4), s.251-256.
- CHOO B.S. and LI G.Q., 1997, Structural Analysis of Multi-stiffened Coupled Shear Walls on Flexible Foundations, Computers and Structures, 64(4), s.837-848.
- COULL, A., 1974, Stiffening of Coupled Shear Walls against Foundation Movement, Structural Engineering, 52(1), s.23-26.
- COULL, A. and BENSMAIL, L., 1991, Stiffened Coupled Shear Walls, Journal of Structural Engineering, 117(8), s.2205-2223.
- COULL, A. and PURI, R.D., 1967, Analysis of Coupled Shear Walls of Variable Thickness, Building Science, 2, s.181-188.
- COULL, A. and PURI, R.D., 1968, Analysis of Coupled Shear Walls of Variable Cross-section, Building Science, 2, s.313-320.

COULL, A., PURI, R.D. and TOTTENHAM, H., 1972, Numerical Elastic Analysis of Coupled Shear Walls, Proceedings of the Institution of Civil Engineers, 53(2), s.109-128.

COULL, A. and MUKHERJEE, P.R., 1973, Approximate Analysis of Natural Vibrations of Coupled Shear Walls, Earthquake Engineering and Structural Dynamics, 2, s.171-183.

COULL, A. and SMITH, B.S., 1991, Tall Building Structures: Analysis and Design, John Wiley & Sons, New York, 537 s.

COULL, A. and SUBEDI, N.K., 1972, Coupled Shear Walls with Two and Three Bands of Openings, Building Science, Pergamon Press, 7, Great Britain, s.81-86.

ELKHOLY, N.S. and ROBINSON, N., 1973, Analysis of Multi-bay Coupled Shear Walls, Building Science, Pergamon Press, 8, Great Britain, s.153-157.

JOHNSON, D. and CHOO, B.S., Jan. 1993, The Static and Dynamic Analysis of Coupled Shear Walls by a Discrete Force Method, The Structural Engineer, Journal of the Institution of Structural Engineers, 71(1), s.10-14.

KOO, K.K. and CHEUNG, Y.K., 1984, The Static Analysis of Multi-bay Coupled Shear Walls, Building and Environment, 19(2), s.93-99.

LI, G.Q. and CHOO, B.S., 1994, Free Vibrations of Coupled Shear Walls, Proceedings of the Fifth International Conference on Advances in Structural Dynamics, 2, s.859-868.

- LI, G.Q. and CHOO, B.S., Sept. 1995, Natural Frequency Evaluation of Coupled Shear Walls, *The Structural Engineer, Journal of the Institution of Structural Engineers*, 73(18), s.301-304.
- LI, G.Q. and CHOO, B.S., 1996, A Continuous-Discrete Approach to the Free Vibration Analysis of Stiffened Pierced Walls on Flexible Foundations, *International Journal of Solids and Structures*, 33(2), s.249-263.
- MACLEOD, I.A., 1973, Analysis of Shear Wall Buildings by Frame Method, *Proceedings of the Institution of Civil Engineers*, 55(2), s.593-603.
- MEIROVITCH L., 1980, *Computational methods in structural dynamics* (first edition), Sijthoff and Norrdhoff, Netherlands, 439 s.
- MUKHERJEE, P.R. and COULL, A., 1973, Free Vibrations of Coupled Shear Walls, *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, 1, s.377-386.
- MUKHERJEE, P.R. and COULL, A., Sept. 1974, Free Vibrations of Coupled Shear Walls on Flexible Bases, *Proceedings of the Institution of Civil Engineers*, 57(2), s.493-511.
- PAFEC LTD., 1978, *PAFEC 75 Data Preparation Manual*, Nottingham, 562 s.
- ROSS, S.L., June 1964, *Differential Equations*, Blaisdell Publishing Comp., London, 594 s.
- ROSMAN, R., June 1964, Approximate Analysis of Shear Walls Subject to Lateral Loads, *Journal of the American Concrete Institute*, 61(6), s.717-732.
- SOANE, A.J.M., 1967, The Analysis of Interconnected Shear Walls by Analogue Computation, *In Tall Buildings*, Pergamon Press, London, s.207-221.

TANRIKULU, A.K., Yapı Dinamiği Ders Notları.

TRAUM, E.E., 1967, Multistorey Pierced Shear Walls of Variable Cross-section, A. COULL and B.S. SMITH editors, Symposium on Tall Buildings, Southamton, Pergamon Press, Oxford, s.181-204.

TSO, W.K., ASCE, A.M. and CHAN, H.B., 1970, Dynamic Analysis of Plane Coupled Shear Walls, Journal of Engineering Mechanics, ASCE, 97(EM1), s.33-49.

WILSON, E.L. and HABIBULLAH, A., 1992, SAP90-Structural Analysis Users Manual, Computers and Structures Inc., Berkeley, California, 286 s.

WILSON E.L., 1997, SAP2000 Integrated Finite Element Analysis and Design of Structures. 1-2, Computers and Structures, Inc, California, 211 s.

YERLİ, H.R., 1994, Düzlem Çerçeve Sistemlerin Mod-Süperpozisyon Metodu ile Zorlanmış Titreşim Analizi ve Mathematica Uygulamaları. Master Tezi, Ç.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana, 148 s.

## ÖZGEÇMİŞ

1969 yılında Antakya'da doğdum, İlk, orta ve lise öğrenimimi Kırıkhan-Hatay'da tamamladım. Lisans öğrenimime 1985-86 eğitim döneminde Fırat Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü'nde başladım. 10.07.1989 tarihinde bu bölümden mezun oldum. 1991-92 yıllarında askerlik görevimi Ankara'da Yedek Subay olarak yaptım. 1993-94 yılları arası yabancı dil eğitimi amacıyla Almanya'da bulundum. 05.04.1994 yılında Mustafa Kemal Üniversitesi Müh.-Mim.Fak. İnşaat Müh. Bölümü'nde Araştırma Görevlisi olarak göreve başladım. 1995-96 eğitim döneminde M.K.Ü. İnşaat Müh. Bölümü Yapı Anabilim Dalı'nda başladığım Yüksek Lisans eğitimimi Haziran 1997'de tamamladım. 1998-99 eğitim yılı güz döneminde Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı'nda doktora eğitimime başladım. Evli ve bir çocuk babasıyım.

# EKLER



## EK 1. MATHEMATICA Dilinde Hazırlanmış Statik Analiz Programının

### Veri Dosyası

BOSLUKS	(*BOŞLUK SAYISI =m (1 TANE)*)
a[1] a[2]...a[m]	(*BOŞLUK GENİŞLİKLERİ (m TANE)*)
BOLGES	(*BÖLGE SAYISI =n (1 TANE)*)
x[1] x[2]...x[n]	(*BÖLGELERİN BAŞLANGIÇ YÜKSEKLİKLERİ (n TANE)*)
h[1] h[2]...h[n]	(*KAT YÜKSEKLİKLERİ (n TANE)*)
W[1,1] W[1,2]...W[m+1,n]	(*PERDE GENİŞLİKLERİ (nx(m+1) TANE)*)
tw[1] tw[2]...tw[n]	(*PERDE KALINLIKLARI (n TANE)*)
hcb[1,1] hcb[1,2]...hcb[m,n]	(*BAĞLANTI KİRİŞİ YÜKSEKLİKLERİ (nxm TANE)*)
Ccb[1] Ccb[2]...Ccb[n]	(*BAĞLANTI KİRİŞİ ESNEKLİĞİ (n TANE)*)
tcb[1] tcb[2]...tcb[n]	(*BAĞLANTI KİRİŞİ KALINLIĞI (n TANE)*)
Is[1] Is[2]...Is[n+1]	(*GÜÇLENDİRİCİ ATALET MOM (n+1 TANE)*)
Csb[1] Csb[2]...Csb[n+1]	(*GÜÇLENDİRİCİ ESNEKLİĞİ (n+1 TANE)*)
KR	(*ZEMİNİN DÖNMEYE KARŞI RİJİTLİĞİ (1 TANE)*)
KV	(*ZEMİN ÇÖKMEYE KARŞI RİJİTLİĞİ (1 TANE)*)
KH	(*ZEMİN YATAY YERD. KARŞI RİJİTLİĞİ (1 TANE)*)
EE	(*ELASTİSİTE MODÜLÜ (1 TANE)*)
H	(*SİSTEM YÜKSEKLİĞİ =H (1 TANE)*)



P w wü

(\*TEKİL, ÜNİF, ÜÇGEN YÜK  
(3 TANE)\*)

BOLMES[1] BOMES[2]...BOLMES[n] (\*BÖLME SAYISI (n TANE)\*)



## EK 2. MATHEMATICA Dilinde Hazırlanmış Statik Analiz Programının

### Listesi

!cls

d1 = Date[]

vd=OpenRead["c:\bikce\dosya\datadosya.txt"]

cd=OpenWrite["c:\bikce\dosya\ciktidosya.txt"]

(\* - DATALARIN OKUNMASI - \*)

BOSLUKS=Read[vd,Number];m=BOSLUKS; PERDES=BOSLUKS+1

(j=1;Label[BOSLUK-GENISLIKLERI];a[j]=Read[vd,Number];j=j+1;If[j<=m,Goto[BOSLUK-GENISLIKLERI]])

BOLGES=Read[vd,Number];n=BOLGES

(ii=1;Label[BOLGENIN-BASLANGIC-

YUKSEKLIKLERI];x[ii]=Read[vd,Number];ii=ii+1;If[ii<=n,Goto[BOLGENIN-BASLANGIC-YUKSEKLIKLERI]])

(ii=1;Label[KAT-YUKSEKLIKLERI];h[ii]=Read[vd,Number];ii=ii+1;If[ii<=n,Goto[KAT-YUKSEKLIKLERI]])

(\*PERDE-GENISLIKLERI\*)Do[W[j,i]=Read[vd,Number},{i,1,n},{j,1,m+1}]

(\*PERDE-KALINLIKLERI\*)Do[tw[i]=Read[vd,Number},{i,1,n}]

(\*BAGLANTI-KIRISI-YUKSEKLIĞI\*)Do[hcb[j,i]=Read[vd,Number},{i,1,n},{j,1,m}]

(ii=1;Label[BAGLANTI-KIRISI-

ESNEKLIĞI];Ccb[ii]=Read[vd,Number];ii=ii+1;If[ii<=n,Goto[BAGLANTI-KIRISI-ESNEKLIĞI]])

(ii=1;Label[BAGLANTI-KIRISI-

KALINLIKLERI];tcb[ii]=Read[vd,Number];ii=ii+1;If[ii<=n,Goto[BAGLANTI-KIRISI-KALINLIKLERI]])

(ii=1;Label[GUCLENDIRICI-KIRISI-ATALET-

MOM];Is[ii]=Read[vd,Number];ii=ii+1;If[ii<=n+1,Goto[GUCLENDIRICI-KIRISI-ATALET-MOM]])

(ii=1;Label[GUCLENDIRICI-KIRISI-

ESNEKLIĞI];Csb[ii]=Read[vd,Number];ii=ii+1;If[ii<=n+1,Goto[GUCLENDIRICI-KIRISI-ESNEKLIĞI]])

KR=Read[vd,Number];KRR=KR/PERDES;

(ii=1;Label[KR];KR[ii]=KRR;ii=ii+1;If[ii<=PERDES,Goto[KR]])

KV=Read[vd,Number];KVV=KV\*PERDES;

(ii=1;Label[KV];KV[ii]=KVV;ii=ii+1;If[ii<=PERDES,Goto[KV]])

KH=Read[vd,Number];KHH=KH/PERDES;

(ii=1;Label[KH];KH[ii]=KHH;ii=ii+1;If[ii<=PERDES,Goto[KH]])

EE=Read[vd,Number]

H=Read[vd,Number]

(\*TEKIL\*) P=Read[vd,Number]; (\*UNIFORM\*) w=Read[vd,Number]; (\*UCGEN\*)

wl=Read[vd,Number]

(ii=1;Label[bolge-bolme-sayisi];BOLMES[ii]=Read[vd,Number];ii=ii+1;

If[ii<=n,Goto[bolge-bolme-sayisi]])

Close[vd]

Print["DATALARI ALDIM"]

Print["\*\*\*\*\*PROGRAM BASLIYOR\*\*\*\*\*"]

(\* - ALPHA VE GAMMA'LARIN HESABI - \*)

(\*PERDE-AKS-ARASI-MESAFELER\*)

```

Do[
L[j,i]=a[j]+(W[j,i]+W[j+1,i])/2;
Print["L[" j, ", ", i, "] = ", L[j,i]]
,{i,1,n},{j,1,m}}
(*PERDE-ALANLARI*)
Do[
AA[j,i]=tw[i]*W[j,i];
Print["A[" j, ", ", i, "] = ", AA[j,i]]
,{i,1,n},{j,1,m+1}}
(*PERDE-ATALET-MOMENTLERI*)
Do[
Iw[j,i]=(tw[i]*W[j,i]^3)/12;
Print["Iw[" j, ", ", i, "] = ", Iw[j,i]]
,{i,1,n},{j,1,m+1}}
(*PERDE-ATALET-MOMENTLERI-TOPLAMI*)
Do[
TIw[i]=Sum[Iw[j,i],{j,1,m+1}];
Print["TIw[" i, "] = ", TIw[i]]
,{i,1,n}}
(*BAGLANTI-KIRISI-ATALET-MOMENTLERI*)
Do[
Ic[j,i]=(tcb[i]*hcb[j,i]^3)/12;
Print["Ic[" j, ", ", i, "] = ", Ic[j,i]]
,{i,1,n},{j,1,m}}
Do[
Gamaalt[j,i]=N[(EE*TIw[i]/L[j,i])*((h[i]*a[j]^2)/(2*Ccb[i])+(h[i]*a[j]^3)/(12*EE*Ic[j,i]))];
Print["Gamaalt[" j, ", ", i, "] = ", Gamaalt[j,i]]
,{i,1,n},{j,1,m}}
Do[
Do[
If[j]==z,Alpha[j,z]==((TIw[i]/L[j,i]^2)*(1/AA[j,i]+1/AA[j+1,i]+1));
If[j]==z-1,Alpha[j,z]==(1-(TIw[i]/(L[j,i]*L[j+1,i]*AA[j+1,i])));
If[j]<z-1,Alpha[j,z]=1];
If[j]==z+1,Alpha[j,z]==(1-(TIw[i]/(L[j,i]*L[j-1,i]*AA[j,i])));
If[j]>z+1,Alpha[j,z]=1];
Print["Alpha[" j, ", ", z, "] = ", Alpha[j,z]]
,{j,1,m},{z,1,m}];
Alphabolge[i]=Array[Alpha,{m,m}];
Print[MatrixForm[Alphabolge[i]]]
,{i,1,n}}
Do[
Do[
If[j]==z,Gama[j,z]=Gamaalt[j,i]/L[j,i],Gama[j,z]=0]
,{j,1,m},{z,1,m}];
Gamabolge[i]=Array[Gama,{m,m}];
Print[MatrixForm[Gamabolge[i]]]
,{i,1,n}}
Do[
mm[i]=Gamabolge[i];
kk[i]=-Alphabolge[i];
Print[MatrixForm[mm[i]]];
Print[MatrixForm[kk[i]]]
,{i,1,n}}
Do[
b[i]=N[Inverse[mm[i]].kk[i]];

```

```

Print["b[" ,i,"]= ",MatrixForm[b[i]]];
Özd[i] = Eigenvalues[b[i]];
Print["Özd[" ,i,"]= ",MatrixForm[Özd[i]]];
Özv[i] = Eigenvectors[b[i]];
Print["Özv[" ,i,"]= ",MatrixForm[Özv[i]]];
QC[i]=Transpose[Özv[i]];
Print["QC [" ,i,"]= ",MatrixForm[QC[i]]]
,{i,1,n}
(* - DİFERANSİYEL DENK. ÇÖZÜM HAZIRLIĞI - *)
Do[
Do[
a[z,1]=QC[i][[z,j]];
Print["a[" ,z,"1]= ",a[z,1]];
If[z==m,
QCa[j,i]=Array[a,{m,1}];
Print["QCa[" ,j," ,",i,"]= ",MatrixForm[QCa[j,i]]]
,{j,1,m},{z,1,m}
,{i,1,n}
Do[
Do[
pcic[z,j]=-Mdis[i];
Print[pcic[z,j]]
,{j,1,1},{z,1,m}];
pc[i]=Array[pcic,{m,1}];
Print["pc[" ,i,"]= ",MatrixForm[pc[i]]]
,{i,1,n}
Do[
mmm[j,i]=Transpose[QCa[j,i]].mm[i].QCa[j,i];
mmm[j,i]=mmm[j,i][[1,1]];
kkk[j,i]=Transpose[QCa[j,i]].kk[i].QCa[j,i];
kkk[j,i]=kkk[j,i][[1,1]];
pcpc[j,i]=Transpose[QCa[j,i]].pc[i];
pcpc[j,i]=pcpc[j,i][[1,1]];
Print[mmm[j,i]];
Print[kkk[j,i]];
Print[pcpc[j,i]]
,{i,1,n},{j,1,m}
Do[
Do[
If[j==z,kgenelic[j,z]=kkk[j,i]];
If[j!=z,kgenelic[j,z]=0];
If[j==z,mgenelic[j,z]=mmm[j,i]];
If[j!=z,mgenelic[j,z]=0]
,{j,1,m},{z,1,m}];
kgenel[i]=Array[kgenelic,{m,m}];
mgenel[i]=Array[mgenelic,{m,m}];
Print["kgenel[" ,i,"]= ",MatrixForm[kgenel[i]]];
Print["mgenel[" ,i,"]= ",MatrixForm[mgenel[i]]]
,{i,1,n}
Do[
Do[
pgenelic[j,1]=pcpc[j,i]
,{j,1,m}];
pgenel[i]=Array[pgenelic,{m,1}];
Print["pgenel[" ,i,"]= ",MatrixForm[pgenel[i]]]

```

```

,{i,1,n}}
Do[
mminv[i]=Inverse[mgenel[i]];
p[i]=mminv[i].pgenel[i];
wi[i]=mminv[i].kgenel[i]
,{i,1,n}}
t=0
Do[
t=t+1;
H1=H;
wii[i]=-wi[i][[j]];
pii[i]=p[i][[j,1]]/Mdis[i];
Print["wii["j,"i,"]= ",wii[i]];
Print["pii["j,"i,"]= ",pii[i]];
Y[j,i]=
-(6*pii[i]*w + 6*H1*P*pii[i]*wii[i] + 3*H1^2*pii[i]*w*wii[i] +
2*H1^2*pii[i]*wii[i]*wü)/(6*wii[i]^2) +
((pii[i]*wü)/(H1*wii[i]^2)) +
(P*pii[i] + H1*pii[i]*w + (H1*pii[i]*wü)/2)/wii[i]*x -
(pii[i]*w*x^2)/(2*wii[i]) - (pii[i]*wü*x^3)/(6*H1*wii[i]) +
B[2*t-1]/Exp[Sqrt[wii[i]*x] + Exp[Sqrt[wii[i]*x]*B[t*2];
(*Y[i]=B[2*i-1]*Exp[-Sqrt[wii[i]*x]+B[i*2]*Exp[Sqrt[wii[i]*x]-pii/wii;*)
Print["Y["j,"i,"]= ",Y[j,i]];
Ybirtürev[j,i]=D[Y[j,i],x];
Print["Ybirtürev["j,"i,"]= ",Ybirtürev[j,i]]
,{i,1,n},{j,1,m}}
KRtopl=0
KHtopl=0
Do[
KRtopl=KRtopl+KR[j];
KHtopl=KHtopl+KH[j]
,{j,1,m+1}}
Do[
If[Is[i]==0,ita[j,i]=0,
ita[j,i]=(((6*EE*Is[i])*Csb[i])/((6*EE*Is[i])+a[j]*Csb[i]))*((h[i]/Ccb[i])+(h[i]*a[j]/(6*EE*Ic[j,i])))*(
1/H)
];
Print["ita["j,"i,"]= ",ita[j,i]]
,{i,1,n},{j,1,m}}
Do[
aYtopl[j,0]=0;aYbirtürevtopl[j,0]=0
,{j,1,m}}
Do[
Do[
aYtopl[j,z]=aYtopl[j,z-1]+QC[i][[j,z]]*Y[z,i];
aYbirtürevtopl[j,z]=aYbirtürevtopl[j,z-1]+QC[i][[j,z]]*Ybirtürev[z,i];
If[z==m,
ZZ[j,i]=aYtopl[j,z];
Print["ZZ["j,"i,"]= ",ZZ[j,i]];
ZZbirtürev[j,i]=aYbirtürevtopl[j,z];
Print["ZZbirtürev["j,"i,"]= ",ZZbirtürev[j,i]]]
,{j,1,m},{z,1,m}}
,{i,1,n}}
ZZtopl[n]=Sum[ZZ[j,n],{j,1,m}}
Mdis =(wü x/H1) (H1-x)^2/2+(wü-wü x/H1) (H1-x)^2/3 + P (H1-x) + w (H1-x)^2/2

```

```

(** - DENKLEMLERE GEÇİŞ - **)
(* TEPE SINIR SARTI*)
Do[
If[
ita[j,1]==0,
Denk[j]==((ZZ[j,1]/.x->H)/L[j,1]),
Denk[j]==((ZZ[j,1]/.x->H)/L[j,1]) + ita[j,1]*H*((ZZbirtürev[j,1]/.x->H)/L[j,1])
];
Print["Denk["j,"]= ",Denk[j]]
,{j,1,m}
(* TABAN SINIR SARTI*)
Do[
birinciterim[j]=L[j,n]*(Mdis/.x->0)/KRtopl;
ikinciterim[j]=L[j,n]*(ZZtopl[n]/.x->0)/KRtopl;
ucuncuterim[j]==(h[n]*a[j]^2)/(2*Ccb[n]*L[j,n])+
(h[n]*a[j]^3)/(12*EE*Ic[j,n]*L[j,n])*(ZZbirtürev[j,n]/.x->0);
dorduncuterim[j]==(1/(L[j,n]*KV[j+1])+1/(L[j,n]*KV[j]))*(ZZ[j,n]/.x->0);
If[j==1,besinciterim[j]=0,besinciterim[j]==(1/(L[j-1,n]*KV[j]))*(ZZ[j-1,n]/.x->0)];
If[j==m,altinciterim[j]=0,altinciterim[j]==(1/(L[j+1,n]*KV[j+1]))*(ZZ[j+1,n]/.x->0)]
,{j,1,m}
Do[
Denk[j+m]==birinciterim[j]-ikinciterim[j]
+ucuncuterim[j]-dorduncuterim[j]+
besinciterim[j]+altinciterim[j];
Denk[j+m]==Simplify[Denk[j+m]];
Print["Denk["j+m,"]= ",Denk[j+m]]
,{j,1,m}
(* GÜÇLENDİRİCİ SINIR SARTI*)
t=0
Do[
t=t+1;
Denk[2*m+t]==(ZZ[j,i-1]/.x->x[i])/L[j,i-1]-
ita[j,i]*H*(ZZbirtürev[j,i]/.x->x[i])/L[j,i]-
(ZZ[j,i]/.x->x[i])/L[j,i];
Denk[2*m+t]==Simplify[Denk[2*m+t]];
Print["Denk["2*m+t,"]= ",Denk[2*m+t]]
,{i,2,n},{j,1,m}
(* x=x[i] de EĞİMLERİN EŞİTLİĞİ SINIR SARTI*)
t=2*m+(n-1)*m
Do[
t=t+1;
Denk[t]==
-((h[i]*a[j]^2)/(2*Ccb[i]*L[j,i])+
(h[i]*a[j]^3)/(12*EE*Ic[j,i]*L[j,i]))*
(ZZbirtürev[j,i]/.x->x[i])
+((h[i-1]*a[j]^2)/(2*Ccb[i-1]*L[j,i-1])+
(h[i-1]*a[j]^3)/(12*EE*Ic[j,i-1]*L[j,i-1]))*
(ZZbirtürev[j,i-1]/.x->x[i]));
Denk[t]==Simplify[Denk[t]];
Print["Denk["t,"]= ",Denk[t]]
,{i,2,n},{j,1,m}
denklist=Table[Denk[t]==0,{t,1,(2 m n)}]
Print["denklist= ",denklist]
billist=Table[B[j],{j,1,(2 m n)}]
coz=Solve[denklist,billist]

```

```

Print["coz= ",coz]
Do[B[j]=B[j]/.coz[[1,j]]
,{j,1,(2 m n)}]
Do[
Do[
Ygenelic[j,1]=Y[j,i]
,{j,1,m}];
Ygenel[i]=Array[Ygenelic,{m,1}];
Print["Ygenel["i,"]=",Ygenel[i]]
,{i,1,n}]]
Do[
tt[i]=QC[i].Ygenel[i]
,{i,1,n}]]
Do[
Do[
If[j==0,Tic[j,i]=0];
If[0<j && j<m+1, Tic[j,i]=tt[i][[j,1]]/L[j,i]];
If[j==m+1,Tic[j,i]=0]
,{j,0,m+1}]]
,{i,1,n}]]
Do[
If[j==1,T[j,i]=Tic[j,i]];
If[1<j && j<m+1, T[j,i]=-(Tic[j-1,i]-Tic[j,i])];
If[j==m+1,T[j,i]=-Tic[j-1,i]];
Print["T["j,"","i,"]= ",T[j,i]/.x->0]
,{i,1,n},{j,1,m+1}]]
Do[
TLtopl[i]=Sum[Tic[j,i]*L[j,i],{j,1,m}]]
,{i,1,n}]]
Me=Mdis
Do[
MMtopl[i]=Me-TLtopl[i]
,{i,1,n}]]
Do[
M[j,i]=MMtopl[i]*Iw[j,i]/Tlw[i];
Print["M["j,"","i,"]= ",M[j,i]/.x->0]
,{i,1,n},{j,1,m+1}]]
Print["deplasman çözümüne giriyorum"]
Do[
ydfdenk[i]=MMtopl[i]/(EE*Tlw[i])
,{i,1,n}]]
t=0
Do[
t=t+1;
yt1[i]=Integrate[ydfdenk[i],x]+CC[2*t-1];
Print["yt1["i,"]= ",yt1[i]]
,{i,1,n}]]
t=0
Do[
t=t+1;
yt2[i]=Integrate[yt1[i],x]+CC[2*t];
Print["yt2["i,"]= ",yt2[i]]
,{i,1,n}]]
(* - DEPLASMAN İÇİN SINIR ŞARTLARI BASLIYOR - *)
(* - x= x[i] DE DEPLASMANLAR ESİT - *)

```

```

ys=0
Do[
ys=ys+1;
ysDENK[ys]=(yt2[i-1]/.x->x[i])-(yt2[i]/.x->x[i]);
Print["ysDENK[" ,ys,"]= ",ysDENK[ys]]
,{i,2,n}
(* - x= x[i] DE EGIMLER ESIT - *)
ys=n-1
Do[
ys=ys+1;
ysDENK[ys]=(yt1[i]/.x->x[i])-(yt1[i-1]/.x->x[i]);
Print["ysDENK[" ,ys,"]= ",ysDENK[ys]]
,{i,2,n}
(* - TABANDA YANAL DEPLASMAN - *)
Wo=(P(H-x)+(w (H-x)^2)/2+((wü x/H) (H-x)^2)/2+((wü-wü x/H) (H-x)^2)/3)/.x->0
ys=2*(n-1)+1
ysDENK[ys]=(yt2[n]/.x->0)-Wo/KHtopl
Print["ysDENK[" ,ys,"]= ",ysDENK[ys]]
(* - PERDE TABANININ DÖNMESİ O NOKTADAKI PERDE DÖNMESİNE ESİTTİR - *)
ys=2*(n-1)+2
ysDENK[ys]=(yt1[n]/.x->0)-(MMtopl[n]/.x->0)/KRtopl
Print["ysDENK[" ,ys,"]= ",ysDENK[ys]]
ydenklist=Table[ysDENK[t]==0,{t,1,(2*n)}]
Print["ydenklist= ",ydenklist]
ybillist=Table[CC[j],{j,1,(2*n)}]
ycoz=Solve[ydenklist,ybillist]
Print["ycoz= ",ycoz]
Do[CC[j]=CC[j]/ycoz[[1,j]]
,{j,1,(2*n)}]
Do[
y[i]=yt2[i]
,{i,1,n}
Print["deplasman çözümünden çıkıyorum"]

Print["yazmaya başlıyorum"]
Write[cd,vd]
Write[cd,cd]
Write[cd,"-----"]
Write[cd,"Bosluk Sayisi = ",m]
Write[cd,"Bosluk Genislikleri = ";
Do[WriteString[cd,a[j]," ",{j,1,m}]
Write[cd,""]
Write[cd,"Bolge Sayisi = ",n]
Write[cd,"Bolge Basl. Yuks = ";
Do[WriteString[cd,x[i]," ",{i,1,n}]
Write[cd,""]
Do[Write[cd,"h [" ,i,"]= ",h[i]],{i,1,n}]
Write[cd,"Sistem Yuksekligi = ",H]
Write[cd,"Perde Genislikleri = ";
Do[WriteString[cd,"W[" ,j," ,i,"]= ",W[j,i]," ",{i,1,n},{j,1,m+1}]
Write[cd,""]
Write[cd,"Perde Kalinliklari tw = "]
Do[WriteString[cd,tw[i]," ",{i,1,n}]
Write[cd,""]
Write[cd,"Baglanti Kir. Yuks. = "]

```



```

Do[WriteString[cd,"hcb["j,"",i,]= ",hcb[j,i]," ",",{i,1,n},{j,1,m}}
Write[cd,""]
Write[cd,"Baglanti Kir. Esnekligi Ccb = "]
Do[WriteString[cd,Ccb[i]," ",",{i,1,n}}
Write[cd,""]
Write[cd,"Baglanti Kir. Kalinligi tcb = "]
Do[WriteString[cd,tcb[i]," ",",{i,1,n}}
Write[cd,""]
Write[cd,"Guclendirici atalet mom. Is = "]
Do[WriteString[cd,Is[i]," ",",{i,1,n+1}}
Write[cd,""]
Write[cd,"Guclendirici esnekligi Csb = "]
Do[WriteString[cd,Csb[i]," ",",{i,1,n+1}}
Write[cd,""]
Write[cd,"Zemin Donme KR = "]
Do[WriteString[cd,KR[j]," ",",{j,1,m+1}}
Write[cd,""]
Write[cd,"Zemin Cokme KV = "]
Do[WriteString[cd,KV[j]," ",",{j,1,m+1}}
Write[cd,""]
Write[cd,"Elastisite Modulu = ",EE]
Write[cd,"Yukler = ",P," ",w," ",w0]
Write[cd,"-----"]
Do[
Write[cd,"L["j,"",i,]= ",L[j,i]]
,{i,1,n},{j,1,m}}
Do[
Write[cd,"A["j,"",i,]= ",AA[j,i]]
,{i,1,n},{j,1,m+1}}
Do[
Write[cd,"Iw["j,"",i,]= ",Iw[j,i]]
,{i,1,n},{j,1,m+1}}
Do[
Write[cd,"TIw["i,]= ",TIw[i]]
,{i,1,n}}
Do[
Write[cd,"Ic["j,"",i,]= ",Ic[j,i]]
,{i,1,n},{j,1,m}}
Do[
Write[cd,"Gamabolge["i,]= ",Gamabolge[i]];
Write[cd,"Alphabolge["i,]= ",Alphabolge[i]]
,{i,1,n}}
Write[cd,"-----"]
x[n+1]=0
Do[
aralik[i] = (x[i] - x[i + 1]);
artis[i] = N[(x[i] - x[i + 1])/BOLMES[i]];
Do[
sayi=x[i]-t;
Tsonuc[j,i]=T[j,i]/. {H1->H,x->sayi};
Msonuc[j,i]=M[j,i]/. {H1->H,x->sayi};
ysonuc[i]=y[i]/. {H1->H,x->sayi};
If[j==1,
Write[cd," "];
Write[cd,"Hesap seviyesi = ",sayi];

```

```

Write[cd,"-----"];
Write[cd," T["j","i"]=" ,Tsonuc[j,i],
" M["j","i"]=" ,Msonuc[j,i]];
If[j==m+1,Write[cd," y = ",ysonuc[i]]];
If[t==0 && j==m+1,Write[cd,"dy/dx = ",yt1[i]/.{H1->H,x->sayi}]];
,{t,0,aralik[i],artis[i]}, {j,1,m+1});
,{i,1,n});
Do[
aralik[i] = (x[i] - x[i + 1]);
artis[i] = N[(x[i] - x[i + 1])/BOLMES[i]];
Do[
sayi=x[i]-t;
ysonuc[i]=y[i]/.{H1->H,x->sayi};
If[j==m+1,Write[cd,ysonuc[i]]];
,{t,0,aralik[i],artis[i]}, {j,1,m+1});
,{i,1,n});
x=.
H=.
d2 = Date[]
calismasuresi=d2-d1
Print["programın çalışma süresi = ",calismasuresi]
Write[cd,"programın çalışma zamanı = ",calismasuresi]
Close[cd]
END

```

**EK 3. MATHEMATICA Dilinde Hazırlanmış Dinamik Analiz Programının  
Veri Dosyası**

BOSLUKS	(*BOŞLUK SAYISI =m (1 TANE)*)
a[1] a[2]...a[m]	(*BOŞLUK GENİŞLİKLERİ (m TANE)*)
BOLGES	(*BÖLGE SAYISI =n (1 TANE)*)
x[1] x[2]...x[n]	(*BÖLGELERİN BAŞLANGIÇ YÜKSEKLİKLERİ (n TANE)*)
h[1] h[2]...h[n]	(*KAT YÜKSEKLİKLERİ (n TANE)*)
W[1,1] W[1,2]...W[m+1,n]	(*PERDE GENİŞLİKLERİ (nx(m+1) TANE)*)
tw[1] tw[2]...tw[n]	(*PERDE KALINLIKLARI (n·TANE)*)
hcb[1,1] hcb[1,2]...hcb[m,n]	(*BAĞLANTI KİRİŞİ YÜKSEKLİKLERİ (n·xm TANE)*)
Ccb[1] Ccb[2]...Ccb[n]	(*BAĞLANTI KİRİŞİ ESNEKLİĞİ (n TANE)*)
tcb[1] tcb[2]...tcb[n]	(*BAĞLANTI KİRİŞİ KALINLIĞI (n TANE)*)
Is[1] Is[2]...Is[n+1]	(*GÜÇLENDİRİCİ ATALET MOM (n+1 TANE)*)
Csb[1] Csb[2]...Csb[n+1]	(*GÜÇLENDİRİCİ ESNEKLİĞİ (n+1 TANE)*)
KR	(*ZEMİNİN DÖNMEYE KARŞI RİJİTLİĞİ (1 TANE)*)
KV	(*ZEMİNİN ÇÖKMEYE KARŞI RİJİTLİĞİ (1 TANE)*)
KH	(*ZEMİNİN YATAY YERD. KARŞI RİJİTLİĞİ (1 TANE)*)
EE	(*ELASTİSİTE MODÜLÜ (1 TANE)*)
ro	(*BETONUN YOĞUNLUĞU (1 TANE)*)
ksi	(*SÖNÜM ORANI (1 TANE)*)

tetki	(*DİNAMİK YÜKÜN ETKİ SÜRESİ (1 TANE) *)
Po	(*DİNAMİK YÜK (1 TANE) *)
delt	(*ZAMAN ARTIM DEĞERİ (1 TANE) *)
tson	(*ANALİZ SÜRESİ (1 TANE) *)
H	(*SİSTEM YÜKSEKLİĞİ (1 TANE)*)
bolmesay[1] bolmesay[2]...bolmesay[n]	(*BÖLGELERİ BÖLME SAYISI (n TANE)*)



## EK 4. MATHEMATICA Dilinde Hazırlanmış Dinamik Analiz Programının

### Listesi

```
!cls
d1 = Date[]
Print[" DİNAMİK İÇİN HAZIRLANAN PROGRAM BAŞLIYOR "]
vd=OpenRead["c:\bikce\dosya\dinamik_data.txt"]
cd=OpenWrite["c:\bikce\dosya\dinamik_cikti.txt"]
cd1=OpenWrite["c:\bikce\dosya\dinamik_OZD_OZV_FREK.txt"]
cd2=OpenWrite["c:\bikce\dosya\dinamik_TIME_HIS_MAXDEP.txt"]
cd3=OpenWrite["c:\bikce\dosya\sekiLvektorleri.txt"]
cd4=OpenWrite["c:\bikce\dosya\dinamik_SPECTRUM_MAXDEP.txt"]

(* - DATALARIN OKUNMASI - *)
BOSLUKS=Read[vd,Number];m=BOSLUKS; PERDES=BOSLUKS+1
(j=1;Label[BOSLUK-GENISLIKLERI];a[j]=Read[vd,Number];j=j+1;If[j<=m,Goto[BOSLUK-
GENISLIKLERI]])
  BOLGES=Read[vd,Number];n=BOLGES
  (ii=1;Label[BOLGENIN-BASLANGIC-
YUKSEKLIKLERI];xx[ii]=Read[vd,Number];ii=ii+1;If[ii<=n,Goto[BOLGENIN-BASLANGIC-
YUKSEKLIKLERI]])
  (ii=1;Label[KAT-YUKSEKLIKLERI];xh[ii]=Read[vd,Number];ii=ii+1;If[ii<=n,Goto[KAT-
YUKSEKLIKLERI]])
  (*PERDE-GENISLIKLERI*)      Do[W[j,i]=Read[vd,Number},{i,1,n},{j,1,m+1}]
  (*PERDE-KALINLIKLERI*)     Do[tw[i]=Read[vd,Number},{i,1,n}]
  (*BAGLANTI-KIRISI-YUKSEKLIGI*) Do[hcb[j,i]=Read[vd,Number},{i,1,n},{j,1,m}]
  (ii=1;Label[BAGLANTI-KIRISI-
ESNEKLIGI];xCcb[ii]=Read[vd,Number];ii=ii+1;If[ii<=n,Goto[BAGLANTI-KIRISI-ESNEKLIGI]])
  (ii=1;Label[BAGLANTI-KIRISI-
KALINLIKLERI];tcb[ii]=Read[vd,Number];ii=ii+1;If[ii<=n,Goto[BAGLANTI-KIRISI-
KALINLIKLERI]])
  (ii=1;Label[GUCLENDIRICI-KIRISI-ATALET-
MOM];xIs[ii]=Read[vd,Number];ii=ii+1;If[ii<=n+1,Goto[GUCLENDIRICI-KIRISI-ATALET-
MOM]])
  (ii=1;Label[GUCLENDIRICI-KIRISI-
ESNEKLIGI];xCsb[ii]=Read[vd,Number];ii=ii+1;If[ii<=n+1,Goto[GUCLENDIRICI-KIRISI-
ESNEKLIGI]])
  KV=Read[vd,Number];KVV=KV*PERDES;
  (ii=1;Label[KV];KV[ii]=KVV;ii=ii+1;If[ii<=PERDES,Goto[KV]])
  KR=Read[vd,Number];KRR=KR/PERDES;
  (ii=1;Label[KR];KR[ii]=KRR;ii=ii+1;If[ii<=PERDES,Goto[KR]])
  KH=Read[vd,Number];KHH=KH/PERDES;
  (ii=1;Label[KH];KH[ii]=KHH;ii=ii+1;If[ii<=PERDES,Goto[KH]])
  EE=Read[vd,Number]
  ro=Read[vd,Number]
  ksi=Read[vd,Number]
  tetki=Read[vd,Number]
  Po=Read[vd,Number]
  delt=Read[vd,Number]
  tson=Read[vd,Number]
  H=Read[vd,Number]
  (i=1;Label[bolgebolmesay];bolmesay[i]=Read[vd,Number];i=i+1;If[i<=BOLGES,Goto[bolgebolmesa
y]])
```

```

Close[vd]
Print["DATALARI ALDIM"]

(* - ALPHA VE GAMMA'LARIN HESABI - *)
(*PERDE-AKS-ARASI-MESAFELER*)
Do[xL[j,i]=a[j]+(W[j,i]+W[j+1,i])/2;Print["xL["j,"",i,"]= ",xL[j,i]},{i,1,n},{j,1,m}]
(*PERDE-ALANLARI*)
Do[AA[j,i]=tw[i]*W[j,i];Print["A["j,"",i,"]= ",AA[j,i]},{i,1,n},{j,1,m+1}]
(* HER BOLGENİN PERDE ALANLARI TOPLAMI *)
Do[AATOPL[i]=Sum[AA[j,i]},{j,1,m+1}];Print["AATOPL["i,"]= ",AATOPL[i]},{i,1,n}]
(*PERDE-ATALET-MOMENTLERI*)
Do[xlw[j,i]=(tw[i]*W[j,i]^3)/12;Print["xlw["j,"",i,"]= ",xlw[j,i]},{i,1,n},{j,1,m+1}]
(*PERDE-ATALET-MOMENTLERI-TOPLAMI*)
Do[xTIw[i]=Sum[xlw[j,i]},{j,1,m+1}];Print["xTIw["i,"]= ",xTIw[i]},{i,1,n}]
(* BAGLANTI KIRISI ALANLARI ve HACIMLARI *)
Do[Acb[j,i]=tcb[i]*a[j];Print["Acb["j,"",i,"]= ",Acb[j,i]},{i,1,n},{j,1,m}]
Do[HACIMcb[j,i]=Acb[j,i]*hcb[j,i];Print["HACIMcb["j,"",i,"]= ",HACIMcb[j,i]},{i,1,n},{j,1,m}]
(* HER BOLGENİN BAGLANTI-KIRISI-ALANLARI VE HACIMLARI TOPLAMI *)
Do[AcbTOPL[i]=Sum[Acb[j,i]},{j,1,m}];Print["AcbTOPL["i,"]= ",AcbTOPL[i]},{i,1,n}]
Do[HACIMcbTOPL[i]=Sum[HACIMcb[j,i]},{j,1,m}];Print["HACIMcbTOPL["i,"]=
",HACIMcbTOPL[i]},{i,1,n}]
(* HER BOLGENİN BAGLANTI-KIRISI-BIRIM HACIMLARI *)
Do[BIRIMHACIMcb[i]=0.1*10^-20;Print["BIRIMHACIMcb["i,"]= ",BIRIMHACIMcb[i]},{i,1,n}]
(*BAGLANTI-KIRISI-ATALET-MOMENTLERI*)
Do[xlc[j,i]=(tcb[i]*hcb[j,i]^3)/12;Print["xlc["j,"",i,"]= ",xlc[j,i]},{i,1,n},{j,1,m}]
(* GUCLENDİRİCİ HESAPLARI *)
tcb[n+1]=tcb[n]
Do[tsb[i]=tcb[i];hsb[i]=(12*xls[i]/tsb[i])^(1/3)},{i,1,n+1}]
Do[HACIMsb[j,i]=tsb[i]*a[j]*hcb[j,i];Print["HACIMsb["j,"",i,"]=
",HACIMsb[j,i]},{i,1,n+1},{j,1,m}]
Do[HACIMsbTOPL[i]=Sum[HACIMsb[j,i]},{j,1,m}];Print["HACIMsbTOPL["i,"]=
",HACIMsbTOPL[i]},{i,1,n+1}]
(*GAMALARIN HESABI*)
Do[
Gamaalt[j,i]=N[(EE*xTIw[i]/xL[j,i])*((xh[i]*a[j]^2)/(2*xCcb[i])+(xh[i]*a[j]^3)/(12*EE*xlc[j,i]))];
Print["Gamaalt["j,"",i,"]= ",Gamaalt[j,i]
,{i,1,n},{j,1,m}]
Do[
Do[
If[j==z,Alpha[j,z]==((xTIw[i]/xL[j,i]^2)-(1/AA[j,i]+1/AA[j+1,i])+1)];
If[j==z-1,Alpha[j,z]==(1-(xTIw[i]/(xL[j,i]*xL[j+1,i]*AA[j+1,i])));
If[j<z-1,Alpha[j,z]==1];
If[j==z+1,Alpha[j,z]==(1-(xTIw[i]/(xL[j,i]*xL[j-1,i]*AA[j,i])));
If[j>z+1,Alpha[j,z]==1];
Print["Alpha["j,"",z,"]= ",Alpha[j,z]]
,{j,1,m},{z,1,m}];
Alphabölge[i]=Array[Alpha,{m,m}];
Print[MatrixForm[Alphabölge[i]]]
,{i,1,n}]
Do[
Do[
If[j==z,Gama[j,z]=Gamaalt[j,i]/xL[j,i],Gama[j,z]=0]
,{j,1,m},{z,1,m}];
Gamabölge[i]=Array[Gama,{m,m}];
Print[MatrixForm[Gamabölge[i]]]

```

```

,{i,1,n}
Do[
  xmm[i]=Gamabölge[i];
  xkk[i]=-Alphabölge[i];
  Print[MatrixForm[xmm[i]]];
  Print[MatrixForm[xkk[i]]]
,{i,1,n}
Do[
  b[i]=N[Inverse[xmm[i]].xkk[i]];
  Print["b[" ,i,"]= ",MatrixForm[b[i]]];
  Özd[i] = Eigenvalues[b[i]];
  Print["Özd[" ,i,"]= ",MatrixForm[Özd[i]]];
  Özv[i] = Eigenvectors[b[i]];
  Print["Özv[" ,i,"]= ",MatrixForm[Özv[i]]];
  xQC[i]=Transpose[Özv[i]];
  Print["QC [" ,i,"]= ",MatrixForm[xQC[i]]]
,{i,1,n}
(* - DİFERANSİYEL DENK. ÇÖZÜM HAZIRLIĞI - *)
Do[
  Do[
    a[z,1]=xQC[i][[z,j]];
    Print["a[" ,z,"1]= ",a[z,1]];
    If[z==m,
      xQCa[j,i]=Array[a,{m,1}];
      Print["xQCa[" ,j," ,i,"]= ",MatrixForm[xQCa[j,i]]]
    ,{j,1,m},{z,1,m}
  ],{i,1,n}

<<c:\kullanalar\bikce\yazdir1.txt

xx[n+1]=0.0
Do[
  katadedi[i] = N[(xx[i] - xx[i + 1])/xh[i]];
  bolgserbder[i]=N[(xx[i] - xx[i + 1])/bolmesay[i]];
  bolgserbder[i]=bolmesay[i]+1;
  Print[i," . bölge serbestlik derecesi =",bolgserbder[i]];
  Print[i," . bölge serbestlik derecesi =",bolgserbder[i]];
  If[i==n,
    toplkatadedi=IntegerPart[Sum[katadedi[iii],{iii,1,n}]];
    Print["toplkatadedi = ",toplkatadedi];
    sistserbder=Sum[bolmesay[iii],{iii,1,n}]+1;
    Print["sistserbder= ",sistserbder]
  ,Continue]
,{i,1,n}

(*****deplasman hesapları*****

toplalalik=0
yuksirasi=0
Do[
  aralik[i] = (xx[i] - xx[i + 1]);
  Do[
    Print["toplalalik= ",toplalalik];
    Print["tka = ",tka];
    Print["H = ",H];

```

```

yuksirasi=yuksirasi+1;
HH1=H-toplalarik-tka;
Print["HH1 =",HH1];
<<c:\kullanalar\bikce\dosya\deplasman.txt;
  If[i==n&&tka==aralik[i]-bolgserbadim[i],
    HH1=0;
    Print["HH1 =",HH1];
    yuksirasi=sistserbder;
    <<c:\kullanalar\bikce\dosya\deplasman.txt
    ,Continue]
  ,{tka,0,aralik[i]-bolgserbadim[i],bolgserbadim[i]};
toplalarik=toplalarik+aralik[i]
,{i,1,n}}

(*****esneklik matrisi olusturuluyor*****

Do[
  esneklikic[sat,sut]=ysonuc[sat,sistserbder-sut+1]
  ,{sat,1,sistserbder},{sut,1,sistserbder}}
esneklikmatrisi=Array[esneklikic,{sistserbder,sistserbder}]
Print[esneklikmatrisi]
Write[cd,"esneklik matrisi = ",esneklikmatrisi]

(**** kütteleler hesaplanıyor****)

toplalarik=0
kutlesirasi=0
bolgekutledagaltuc[0]=(BIRIMHACIMcb[1]*bolgserbadim[1]*ro)/2
Do[
  aralik[i] = (xx[i] - xx[i + 1]);
  bolgekutledag[i]=(AATOPL[i]+BIRIMHACIMcb[i])*bolgserbadim[i]*ro;
  If[xIs[i]>0,
    bolgekutledagustuc[i]=AATOPL[i]*bolgserbadim[i]*ro/2+HACIMsbTOPL[i]*ro
    ,bolgekutledagustuc[i]=bolgekutledag[i]/2
  ];
  bolgekutledagaltuc[i]=bolgekutledag[i]/2;

Do[
  kutlesirasi=kutlesirasi+1;
  If[tka==0,
    kutle[kutlesirasi]=(bolgekutledagustuc[i]+bolgekutledagaltuc[i-1])/10.
    ,kutle[kutlesirasi]=(bolgekutledag[i])/10.
  ];
  Print["kutle[" ,kutlesirasi, "]= " ,kutle[kutlesirasi]];
  If[i==n&&(tka==aralik[i]-bolgserbadim[i]),
    If[xIs[i+1]>0,

bolgekutledagaltuc[i]=AATOPL[i]*bolgserbadim[i]*ro/2+HACIMsbTOPL[i+1]*ro
  ,bolgekutledagaltuc[i]=bolgekutledag[i]/2-
BIRIMHACIMcb[i]*bolgserbadim[i]*ro/2
  ];
BIRIMHACIMcb[i]*bolgserbadim[i]*ro/2;
  kutle[kutlesirasi+1]=bolgekutledagaltuc[i]/10.;
  Print["kutle[" ,kutlesirasi+1, "]= " ,kutle[kutlesirasi+1]]
  ,Continue]

```



```
,{tka,0,aralik[i]-bolgserbadim[i],bolgserbadim[i]};
toplalalik=toplalarik+aralik[i]
,{i,1,n}}
```

```
(*****kutle matrisi oluşturuluyor*****)
```

```
Do[
    If[sat==sut,
        kutleic[sat,sut]=kutle[sat]
        ,kutleic[sat,sut]=0.
    ]
    ,{sat,1,sistserbder},{sut,1,sistserbder}]
kutlematrisi=Array[kutleic,{sistserbder,sistserbder}]
Print[kutlematrisi]
Write[cd,"kutle matrisi = ",kutlematrisi]
```

```
(*****Sonum Matrisi Olusturuluyor*****)
```

```
sonummatrisi=1.0*IdentityMatrix[sistserbder]
Print[sonummatrisi]
Write[cd,"sonum matrisi = ",sonummatrisi]
```

```
(*****DINAMIK PROBLEMIN OZDEGER VE OZVEKTORUNUN
BULUNMASI*****)
```

```
HAZIRLIKMAT=esneklkmatrisi.kutlematrisi
HAZIRLIKMATRIS=Table[HAZIRLIKMAT[[satir,sutun]],{satir,sistserbder},{sutun,sistserbder}]
HAZIRLIKMATRIS=HAZIRLIKMATRIS*10^12
Print["HAZIRLIKMATRIS= ",MatrixForm[HAZIRLIKMATRIS]]
HAZIRLIKMATRISINV=Inverse[HAZIRLIKMATRIS]
HAZIRLIKMATRISINV=HAZIRLIKMATRISINV*10^12
OZDEGERMATRIS = Eigenvalues[HAZIRLIKMATRISINV]
OZDEGERMATRIS=Sort[OZDEGERMATRIS]
Print["OZDEGERMATRIS= ",MatrixForm[OZDEGERMATRIS]]
Write[cd1,"OZDEGERLER ";Write[cd1,OZDEGERMATRIS]
OZVEKTORMATRIS = Sqrt[OZDEGERMATRIS]
Print["OZVEKTORMATRIS= ",MatrixForm[OZVEKTORMATRIS]]
Write[cd1,"OZVEKTORLER"];Write[cd1,OZVEKTORMATRIS]
DOGALFREKANS=OZVEKTORMATRIS/(2*Pi)//N
Print["DOGALFREKANS= ",MatrixForm[DOGALFREKANS]]
Write[cd1,"DOGALFREKANS"];Do[Write[cd1,DOGALFREKANS[[i]];If[i==10,Do[Write[cd1,"
]],Continue},{i,1,sistserbder}}]
(*OZVEKTORLER SIRALANARAK GIRISIMSIZ ESNEKLİK MATRISI VE KUTLE
MATRISLERI OLUşTURULUYOR*)
Print["."]
Print["OZVEKTORLER SIRALANARAK GIRISIMSIZ M, C VE K MATRISLERI
OLUSTURULUYOR"]
HAZ=Eigensystem[HAZIRLIKMATRISINV]
HAZOZDEG=HAZ[[1]]
HAZOZVEK=HAZ[[2]]
HAZGECICI=Sort[HAZ[[1]]]
sel=0
(Label[DISDONGU];
sel=sel+1;
sel1=0 ;
```

```

(Label[ICDONGU];
sel1=sel1+1;
If[HAZGECICI[[sel]]==HAZOZDEG[[sel1]],Continue,Goto[ICDONGU]] );
ozdeg[sel]=HAZGECICI[[sel]];
ozvek[sel]=HAZOZVEK[[sel1]];
<<c:\kullanlar\bikce\dosya\normalizasyon.txt;
If[sel==sistserbder,Continue,Goto[DISDONGU]] )
MODALMATRISTR=Table[ozvek[far],{far,1,sistserbder}] (*CUNKU Eigenvectors ozvektorleri
satur olarak veriyor*)
MODALMATRIS=Transpose[MODALMATRISTR]
RIJITLIKMATRISI=Inverse[esneklikmatrisi]
ISLRIJITLIKMATRISI=RIJITLIKMATRISI.MODALMATRIS
KGIRISIMSIZ1=MODALMATRISTR.ISLRIJITLIKMATRISI
ARAKUTLE=kutlematrisi.MODALMATRIS
MGIRISIMSIZ1=MODALMATRISTR.ARAKUTLE
KGIRISIMSIZ=IdentityMatrix[sistserbder]
MGIRISIMSIZ=IdentityMatrix[sistserbder]
Do[
KGIRISIMSIZ[[ii,ii]]=KGIRISIMSIZ1[[ii,ii]];
MGIRISIMSIZ[[ii,ii]]=MGIRISIMSIZ1[[ii,ii]]
,{ii,1,sistserbder}]
SGIRISIMSIZ=IdentityMatrix[sistserbder]
(*Girisimsiz Sonum Matrisi Olusturuluyor*)
Do[
SGIRISIMSIZ[[ii,ii]]=2 MGIRISIMSIZ[[ii,ii]] ksi OZVEKTORMATRIS[[ii]]
,{ii,1,sistserbder}]
Print["*****"]
Print["*****"]
Print["*** Time-History Analizi => 1 *****"]
Print["*** *****"]
Print["*** Spectrum Analizi => 2 *****"]
Print["*** *****"]
Print["*** CIKMAK ICIN => 3 *****"]
Print["*****"]
Print["*****"]

atip=Input["Analiz Tipini Girin="]
If[atip==1
, <<c:\kullanlar\bikce\dosya\Time_History.txt
, If[atip==2
, <<c:\kullanlar\bikce\dosya\Spectrum.txt
, Continue
]
];

d2 = Date[];
calismasturesi=d2-d1;
Print["programin calisma sturesi = ",calismasturesi];
Write[cd,"programin calisma zamani = ",calismasturesi];
Close[cd];Close[cd1];Close[cd2];Close[cd3];Close[cd4]

END

```

## yazdir1.txt programının listesi

```
Print["."]
Write[cd,vd]
Write[cd,cd]
Write[cd,"-----"]
Write[cd,"Bosluk Sayisi = ",m]
Write[cd,"Bosluk Genislikleri = "];
Do[WriteString[cd,a[j]," "],{j,1,m}]
Write[cd,""]
Write[cd,"Bolge Sayisi = ",n]
Write[cd,"Bolge Basl. Yuks = "];
Do[WriteString[cd,xx[i]," "],{i,1,n}]
Write[cd,""]
Do[Write[cd,"xh [",i,"]= ",xh[i]],{i,1,n}]
Write[cd,"Sistem Yuksekligi = ",H]
Write[cd,"Perde Genislikleri = "];
Do[WriteString[cd,"W["j,"",i,"]= ",W[j,i]," "],{i,1,n},{j,1,m+1}]
Write[cd,""]
Write[cd,"Perde Kalinliklari tw = "]
Do[WriteString[cd,tw[i]," "],{i,1,n}]
Write[cd,""]
Write[cd,"Baglanti Kir. Yuks. = "]
Do[WriteString[cd,"hcb["j,"",i,"]= ",hcb[j,i]," "],{i,1,n},{j,1,m}]
Write[cd,""]
Write[cd,"Baglanti Kir. Esnekligi xCcb = "]
Do[WriteString[cd,xCcb[i]," "],{i,1,n}]
Write[cd,""]
Write[cd,"Baglanti Kir. Kalinligi tcb = "]
Do[WriteString[cd,tcb[i]," "],{i,1,n}]
Write[cd,""]
Write[cd,"Guclendirici atalet mom. xls = "]
Do[WriteString[cd,xIs[i]," "],{i,1,n+1}]
Write[cd,""]
Write[cd,"Guclendirici esnekligi xCsb = "]
Do[WriteString[cd,xCsb[i]," "],{i,1,n+1}]
Write[cd,""]
Write[cd,"Zemin Donme KR = "]
Do[WriteString[cd,KR[j]," "],{j,1,m+1}]
Write[cd,""]
Write[cd,"Zemin Cokme KV = "]
Do[WriteString[cd,KV[j]," "],{j,1,m+1}]
Write[cd,""]
Write[cd,"Elastisite Modulu = ",EE]
Write[cd,"Yukler = ",P," ",w," ",wt]
Write[cd,"-----"]
Do[
Write[cd,"xL["j,"",i,"]= ",xL[j,i]]
,{i,1,n},{j,1,m}]
Do[
Write[cd,"A["j,"",i,"]= ",AA[j,i]]
,{i,1,n},{j,1,m+1}]
Do[
Write[cd,"xIw["j,"",i,"]= ",xIw[j,i]]
,{i,1,n},{j,1,m+1}]
]
```

```

Do[
Write[cd,"xTlw["i,"]= ",xTlw[i]]
,{i,1,n}]
Do[
Write[cd,"xlc["j,","i,"]= ",xlc[j,i]]
,{i,1,n},{j,1,m}]
Do[
Write[cd,"Gamabolge["i,"]= ",Gamabolge[i]];
Write[cd,"Alphabolge["i,"]= ",Alphabolge[i]]
,{i,1,n}]
Write[cd,"-----"]

```



## deplasman.txt programının listesi

```

If[HH1<=xx[i],
  Do[x[one]=xx[one];Print["xone[" ,one,"]=" ,x[one]]
    ;h[one]=xh[one];Ccb[one]=xCcb[one];Is[one]=xIs[one]
    ;Do[Ic[j,one]=xIc[j,one],{j,1,m+1}];Csb[one]=xCsb[one]
    ;Do[L[j,one]=xL[j,one],{j,1,m+1}];Do[lw[j,one]=xlw[j,one],{j,1,m+1}]
    ;TIw[one]=xTIw[one];Do[QCa[j,one]=xQCa[j,one],{j,1,m+1}]
    ;QC[one]=xQC[one];mm[one]=xmm[one]
    ;kk[one]=xkk[one];xbolgserbadim[one]=bolgserbadim[one]
    ,{one,1,i}];
  x[i+1]=HH1;itrn=i+1;Print["xitrun[" ,i+1,"]=" ,x[i+1]]
  ;h[i+1]=xh[i];Cob[i+1]=xCcb[i]
  ;Is[i+1]=0;Do[Ic[j,i+1]=xIc[j,i],{j,1,m+1}]
  ;Csb[i+1]=0;Do[L[j,i+1]=xL[j,i],{j,1,m+1}]
  ;Do[lw[j,i+1]=xlw[j,i];Print["lw[" ,j," ,",i+1,"]=" ,lw[j,i+1]],{j,1,m+1}]
  ;Do[TIw[i+1]=xTIw[i];QC[i+1]=xQC[i]
  ;QCa[j,i+1]=xQCa[j,i],{j,1,m+1}]
  ;mm[i+1]=xmm[i];kk[i+1]=xkk[i];xbolgserbadim[i+1]=bolgserbadim[i];
  Do[x[two]=xx[two-1];Print["xtwo[" ,two,"]=" ,x[two]]
    ;h[two]=xh[two-1];Ccb[two]=xCcb[two-1]
    ;Is[two]=xIs[two-1]
    ;Do[Ic[j,two]=xIc[j,two-1],{j,1,m+1}];Csb[two]=xCsb[two-1]
    ;Do[L[j,two]=xL[j,two-1],{j,1,m+1}]
    ;Do[lw[j,two]=xlw[j,two-1],{j,1,m+1}];TIw[two]=xTIw[two-1]
    ;Do[QCa[j,two]=xQCa[j,two-1],{j,1,m+1}];QC[two]=xQC[two-1]
  ];mm[two]=xmm[two-1]
  ;kk[two]=xkk[two-1];xbolgserbadim[two]=bolgserbadim[two-1];Print["
xbolgserbadim[two] = ",xbolgserbadim[two]]
  ,{two,i+2,n+2}]
  ];Continue
]
Do[
  Do[
    pcic[z,j]=-(H1-x);
    Print[pcic[z,j]]
    ,{j,1,1},{z,1,m}];
    pc[i]=Array[pcic,{m,1}];
    Print["pc[" ,i,"]=" ,MatrixForm[pc[i]]]
    ,{i,1,n+1}]
  Do[
    mmm[j,i]=Transpose[QCa[j,i]].mm[i].QCa[j,i];
    mmm[j,i]=mmm[j,i][[1,1]];
    kkk[j,i]=Transpose[QCa[j,i]].kk[i].QCa[j,i];
    kkk[j,i]=kkk[j,i][[1,1]];
    pcpc[j,i]=Transpose[QCa[j,i]].pc[i];
    pcpc[j,i]=pcpc[j,i][[1,1]];
    Print[mmm[j,i]];
    Print[kkk[j,i]];
    Print[pcpc[j,i]]
    ,{i,1,n+1},{j,1,m}]
  Do[
    Do[
      If[j==z,kgenelic[j,z]=kkk[j,i]];
      If[j!=z,kgenelic[j,z]=0];

```

```

        If[j==z,mgenelic[j,z]=mmm[j,i]];
        If[j!=z,mgenelic[j,z]=0]
        ,{j,1,m},{z,1,m});
kgenel[i]=Array[kgenelic,{m,m}];
mgenel[i]=Array[mgenelic,{m,m}];
Print["kgenel[" ,i,"]= ",MatrixForm[kgenel[i]]];
Print["mgenel[" ,i,"]= ",MatrixForm[mgenel[i]]]
,{i,1,n+1}}
Do[
    Do[
        pgenelic[j,1]=pcpc[j,i]
        ,{j,1,m}];
    pgenel[i]=Array[pgenelic,{m,1}];
    Print["pgenel[" ,i,"]= ",MatrixForm[pgenel[i]]]
    ,{i,1,n+1}}
Do[
mminv[i]=Inverse[mgenel[i]];
p[i]=mminv[i].pgenel[i];
wi[i]=mminv[i].kgenel[i]
,{i,1,n+1}}
Print["dif denk. çözümlüne giriyorum"]
t=0
Do[
t=t+1;
H1=HH1;
wii[i]=-wi[i][[j,j]];
pii[i]=p[i][[j,1]];
Print["wii[" ,i,"]= ",wii[i]];
Print["pii[" ,i,"]= ",pii[i]];
If[j<itrun,
    Y[j,i]=B[2*t-1]*Exp[-Sqrt[wii[i]]*x]+B[t*2]*Exp[Sqrt[wii[i]]*x]
    ,Y[j,i]=B[2*t-1]*Exp[-Sqrt[wii[i]]*x]+B[t*2]*Exp[Sqrt[wii[i]]*x]-pii[i]/wii[i]
];
Print["Y[" ,j," ,i,"]= ",Y[j,i]];
Ybirtürev[j,i]=D[Y[j,i],x];
Print["Ybirtürev[" ,j," ,i,"]= ",Ybirtürev[j,i]]
,{i,1,n+1},{j,1,m}}
KRtopl=KR
Do[
If[Is[i]==0,ita[j,i]=0,
ita[j,i]=(((6*EE*Is[i])*Csb[i])/((6*EE*Is[i])+a[j])*Csb[i]))*
((h[i]/Ccb[i])+(h[i]*a[j]/(6*EE*Ic[j,i])))*(1/H)
];
Print["ita[" ,j," ,i,"]= ",ita[j,i]]
,{i,1,n+1},{j,1,m}}
Do[
aYtopl[j,0]=0;aYbirtürevtopl[j,0]=0
,{j,1,m}}
Do[
Do[
aYtopl[j,z]=aYtopl[j,z-1]+QC[i][[j,z]]*Y[z,i];
aYbirtürevtopl[j,z]=aYbirtürevtopl[j,z-1]+QC[i][[j,z]]*Ybirtürev[z,i];
If[z==m,
ZZ[j,i]=aYtopl[j,z];
Print["ZZ[" ,j," ,i,"]= ",ZZ[j,i]];

```

```

ZZbirtürev[j,i]=aYbirtürevtopl[j,z];
Print["ZZbirtürev["j,"i,"]= ",ZZbirtürev[j,i]]]
,{j,1,m},{z,1,m}}
,{i,1,n+1}}
ZZtopl[n+1]=Sum[ZZ[j,n+1},{j,1,m}}

```

(\*\* - DENKLEMLERE GEÇİŞ - \*\*)

(\* TEPE SINIR SARTI\*)

```

Do[
If[
ita[j,1]==0,
Denk[j]==(ZZ[j,1]/.x->H)/L[j,1],
Denk[j]==(ZZ[j,1]/.x->H)/L[j,1] + ita[j,1]*H*((ZZbirtürev[j,1]/.x->H)/L[j,1])
];
Print["Denk["j,"]= ",Denk[j]]
,{j,1,m}}

```

(\* TABAN SINIR SARTI\*)

```

Do[
birinciterim[j]=L[j,n+1]*((HH1-x)/.x->0)/KRtopl;
ikinciterim[j]=L[j,n+1]*(ZZtopl[n+1]/.x->0)/KRtopl;
ucuncuterim[j]==((h[n+1]*a[j]^2)/(2*Ccb[n+1]*L[j,n+1])+
(h[n+1]*a[j]^3)/(12*EE*lc[j,n+1]*L[j,n+1]))*(ZZbirtürev[j,n+1]/.x->0);
dorduncuterim[j]=(1/(L[j,n+1]*KV[j+1])+1/(L[j,n+1]*KV[j]))*(ZZ[j,n+1]/.x->0);
If[j]==1,besinciterim[j]=0,besinciterim[j]=(1/(L[j-1,n+1]*KV[j]))*(ZZ[j-1,n+1]/.x->0);
If[j]==m,altinciterim[j]=0,altinciterim[j]=(1/(L[j+1,n+1]*KV[j+1]))*(ZZ[j+1,n+1]/.x->0)]
,{j,1,m}}

```

```

Do[
Denk[j+m]=birinciterim[j]-ikinciterim[j]
+ucuncuterim[j]-dorduncuterim[j]+
besinciterim[j]+altinciterim[j];
Denk[j+m]=Simplify[Denk[j+m]];
Print["Denk["j+m,"]= ",Denk[j+m]]
,{j,1,m}}

```

(\* GÜCLENDİRİCİ SINIR SARTI\*)

```

t=0
Do[
Print["güçl sın şartı girdim"];
t=t+1;
Denk[2*m+t]=(ZZ[j,i-1]/.x->x[i])/L[j,i-1]-
ita[j,i]*H*(ZZbirtürev[j,i]/.x->x[i])/L[j,i]-
(ZZ[j,i]/.x->x[i])/L[j,i];
Denk[2*m+t]=Simplify[Denk[2*m+t]];
Print["Denk["2*m+t,"]= ",Denk[2*m+t]]
,{i,2,n+1},{j,1,m}}

```

(\* x=x[i] de EĞİMLERİN EŞİTLİĞİ SINIR SARTI\*)

t=2\*m+(n)\*m

Do[

```

Print["egim sın şartı girdim"];
t=t+1;
Denk[t]=
-((h[i]*a[j]^2)/(2*Ccb[i]*L[j,i])+
(h[i]*a[j]^3)/(12*EE*Ic[j,i]*L[j,i]))*
(ZZbirtürev[j,i]/.x->x[i])
+((h[i-1]*a[j]^2)/(2*Ccb[i-1]*L[j,i-1])+
(h[i-1]*a[j]^3)/(12*EE*Ic[j,i-1]*L[j,i-1]))*
(ZZbirtürev[j,i-1]/.x->x[i]));
Denk[t]=Simplify[Denk[t]];
Print["Denk[" ,t,"]= ",Denk[t]]
,{i,2,n+1},{j,1,m}}
denklist=Table[Denk[t]==0,{t,1,(m (2+2 n))}]
denklist=Simplify[denklist]
Print["denklist= ",denklist]
billist=Table[B[j],{j,1,(m (2+2 n))}]
coz=Solve[denklist,billist]
Print["coz= ",coz]
Do[B[j]=B[j]/.coz[[1,j]]
,{j,1,(m (2+2 n))}]
Print["dif denk. çözümden çıkıyorum"]
Do[
Do[
Ygenelic[j,1]=Y[j,i]
,{j,1,m}];
Ygenel[i]=Array[Ygenelic,{m,1}];
Print["Ygenel[" ,i,"]=",Ygenel[i]]
,{i,1,n+1}]
Do[
tt[i]=QC[i].Ygenel[i]
,{i,1,n+1}]
Do[
Do[
If[j==0,Tic[j,i]=0];
If[0<j && j<m+1,Tic[j,i]=tt[i][[j,1]]/L[j,i]];
If[j==m+1,Tic[j,i]=0]
,{j,0,m+1}}
,{i,1,n+1}]
Do[
If[j==1,T[j,i]=Tic[j,i]];
If[1<j && j<m+1,T[j,i]=-(Tic[j-1,i]-Tic[j,i])];
If[j==m+1,T[j,i]=-Tic[j-1,i]];
Print["T[" ,j," ,",i,"]= ",T[j,i]/.{x->0,H1->HH1}]
,{i,1,n+1},{j,1,m+1}]
Do[
TLtopl[i]=Sum[Tic[j,i]*L[j,i],{j,1,m}]
,{i,1,n+1}]
Do[
If[i<itrun,Me=0,Me=(H1-x)];
MMtopl[i]=Me-TLtopl[i]
,{i,1,n+1}]
Do[
M[j,i]=MMtopl[i]*Iw[j,i]/TIw[i];
Print["M[" ,j," ,",i,"]= ",M[j,i]/.{x->0,H1->HH1}]
,{i,1,n+1},{j,1,m+1}]

```



```

Print["deplasman çözümüne giriyorum"]
Do[
ydidfdenk[i]=MMtopl[i]/(EE*TIw[i])
,{i,1,n+1}]
t=0
Do[
t=t+1;
yt1[i]=Integrate[ydidfdenk[i],x]+CC[2*t-1];
Print["yt1[" ,i,"]= ",yt1[i]]
,{i,1,n+1}]
t=0
Do[
t=t+1;
yt2[i]=Integrate[yt1[i],x]+CC[2*t];
Print["yt2[" ,i,"]= ",yt2[i]]
,{i,1,n+1}]

```

(\* - DEPLASMAN İÇİN SINIR SARTLARI BASLIYOR - \*)

```

(* - x= x[i] DE DEPLASMANLAR ESIT - *)
ys=0
Do[
ys=ys+1;
ysDENK[ys]=(yt2[i-1]/.x->x[i])-(yt2[i]/.x->x[i]);
Print["ysDENK[" ,ys,"]= ",ysDENK[ys]]
,{i,2,n+1}]

```

(\* - x= x[i] DE EGİMLER ESIT - \*)

```

ys=n
Do[
ys=ys+1;
ysDENK[ys]=(yt1[i]/.x->x[i])-(yt1[i-1]/.x->x[i]);
Print["ysDENK[" ,ys,"]= ",ysDENK[ys]]
,{i,2,n+1}]

```

(\* - TABANDA YANAL DEPLASMAN SIFIRDIR - \*)

```

ys=2*n+1
ysDENK[ys]=(yt2[n+1]/.x->0)
Print["ysDENK[" ,ys,"]= ",ysDENK[ys]]

```

(\* - PERDE TABANININ DÖNMESİ O NOKTADAKİ PERDE DÖNMESİNE ESİTTİR - \*)

```

ys=2*n+2
ysDENK[ys]=(yt1[n+1]/.x->0)-(MMtopl[n+1]/.x->0)/KRtopl
Print["ysDENK[" ,ys,"]= ",ysDENK[ys]]
ydenklist=Table[ysDENK[t]==0,{t,1,(2*n+2)}]
Print["ydenklist= ",ydenklist]
ybillist=Table[CC[j],{j,1,(2*n+2)}]
ycoz=Solve[ydenklist,ybillist]
Print["ycoz= ",ycoz]
Do[CC[j]=CC[j]/.ycoz[[1,j]],{j,1,(2*n+2)}]
Do[
y[i]=yt2[i]+1/KH

```

```
,{i,1,n+1}]
<<c:\kullananlar\bikce\dosya\yazdir2.txt
(****sıfırlama****)
H1=.
Do[B[j]=.,{j,1,(m (2+2 n))}]
Do[CC[j]=.,{j,1,(2*n+2)}]
hesapseviyesi=.
HH1=.
Print["deplasman çözümünden çıkıyorum"]
```



## yazdır2.txt programının listesi

```
ytoplalarik=0
deplsirasi=0
Do[
  yaralik[ii] = (xx[ii] - xx[ii + 1]);
  Print["yaralik[" ,ii,"]= " ,yaralik[ii]," xbolgserbadim[" ,ii,"]= " ,xbolgserbadim[ii]];
  Do[
    (*If[ii<itrun, , ];*)
    deplsirasi=deplsirasi+1;
    sutunsirasi=sistserbder-deplsirasi;
    hesapseviyesi=H-ytoplalarik-tka1;
    Print["hesapseviyesi =" ,hesapseviyesi];
    If[HH1>0,
      If[HH1<=hesapseviyesi,
        ysonuc[yuksirasi,sutunsirasi+1]=y[ii]/. {H1->HH1,x->hesapseviyesi};
        Print["HH1 <= hesapseviyesi y[" ,yuksirasi," ,",sutunsirasi+1,"]=
",ysonuc[yuksirasi,sutunsirasi+1]]
        ,ysonuc[yuksirasi,sutunsirasi+1]=y[ii+1]/. {H1->HH1,x->hesapseviyesi};
        Print["HH1 > hesapseviyesi y[" ,yuksirasi," ,",sutunsirasi+1,"]=
",ysonuc[yuksirasi,sutunsirasi+1]]
      ]
      ,ysonuc[yuksirasi,sutunsirasi+1]=N[1/KH];
      Print["y[" ,yuksirasi," ,",sutunsirasi+1,"]= " ,ysonuc[yuksirasi,sutunsirasi+1]]
    ];
    If[ii==n && tka1==(yaralik[ii]-xbolgserbadim[ii]),
      hesapseviyesi=0;Print["hesapseviyesi =" ,hesapseviyesi];
      ysonuc[yuksirasi,1]=N[1/KH];
      Print["y[" ,yuksirasi," ,",1,"]= " ,ysonuc[yuksirasi,1]]
      ,Continue]
    ,{tka1,0,yaralik[ii]-xbolgserbadim[ii],xbolgserbadim[ii]};
    ytoplalarik=ytoplalarik+yaralik[ii]
  ],{ii,1,n}]
```

### normalizasyon.txt programının listesi

```
sekilvektoru[sel] = (1/ozvek[sel][[1]])*ozvek[sel]
Write[cd3,cd3]
Write[cd3,sel," sekil vektoru "]
Do[
  Write[cd3,sekilvektoru[sel][[asa2]]]
  ,{asa2,1,sistserbder}]
```



## time\_history.txt programının listesi

```
Print[" "]
tip=Input["Yukleme tipini giriniz="]
If[tip==1,(
  omga=Input["Cos[omega t], omega degerini giriniz="];
  tetki=Input["Yükün etkime süresini (t) giriniz="];
  fy[t_]=Which[t<=tetki,Po*Cos[omga t],t>tetki,0];
)
,If[tip==2,(
  t1=Input["üçgen yükün tepe noktasının zamanını (t1) giriniz="];
  tetki=Input["Yükün etkime süresini (t2) giriniz="];
  fy[t_]=(Which[(t>=0.&&t<t1),(t/t1*Po),
    (t>=t1&&t<=tetki),(2*Po-t/t1*Po),
    (t>tetki),0])
);
(Po=Input["Adım deşerini (Po) giriniz="];
tetki=Input["Yükün etkime süresini giriniz="];
fy[t_]=Which[t<=tetki,Po,t>tetki,0];
)]

ji=Input["Yukun Etkidigi Dugum Numarasini Girin="]
sigma=0.5
alfa=0.25*(0.5+sigma)^2
a0=1./(alfa*delt^2)
a1=sigma/(alfa*delt)
a2=1./(alfa*delt)
a3=1./(2*alfa)-1.
a4=sigma/alfa-1.
a5=delt/2.*(sigma/alfa-2.)
a6=delt*(1-sigma)
a7=sigma*delt
effk=KGIRISIMSIZ+a0*MGIRISIMSIZ+a1*SGIRISIMSIZ
yy0=Table[0,{sistserbder}]
tcc=-1
Do[
  tcc=tcc+1;
  If[tip==1,
    omga=Input["Cos[omega t], omega degerini giriniz="];
    fy[tcc_]=Which[tcc<=tetki,Po*Cos[omga tcc],tcc>tetki,0]
  ,If[tip==2,
    t1=Input["ucgen yukun tepe noktasini zamanini (t1) giriniz="];
    fy[tcc_]=Which[(tcc>=0.&&tcc<t1),(tcc/t1*Po),(tcc>=t1&&t<=tetki),(2*Po-
tcc/t1*Po),(tcc>tetki),0]
    ,fy[tcc_]=Which[tcc<=tetki,Po,tcc>tetki,0]
  ]
]
,{tcc,delt,tson,delt}}

yy0[[ji]]=fy[0]
Print["yy0[[ji]]= ",yy0[[ji]]]
yy0=MODALMATRISTR.yy0
Print["yy0= ",yy0]
depman[0]=Table[0,{sistserbder}]
hiz[0]=Table[0,{sistserbder}]
```

```

ivme[0]=Inverse[MGIRISIMSIZ].(yy0-SGIRISIMSIZ.hiz[0]-KGIRISIMSIZ.depman[0])
d3=Date[]
tcc=-1
Do[
tcc=tcc+1;
(ek=MGIRISIMSIZ.(a0*depman[tcc]+a2*hiz[tcc]+a3*ivme[tcc])
+SGIRISIMSIZ.(a1*depman[tcc]+a4*hiz[tcc]+a5*ivme[tcc]) );
xyy=Table[0,{sistserbder}];
If[tip==1,
omga=Input["Cos[omega t], omega degerini giriniz="];
fy[ttc_]=Which[ttc<=tetki,Po*Cos[omga ttc],ttc>tetki,0]
,If[tip==2,
t1=Input["ucgen yukun tepe noktasini zamanini (t1) giriniz="];
fy[ttc_]=Which[(ttc>=0.&&ttc<t1),(ttc/t1*Po),(ttc>=t1&&t<=tetki),(2*Po-
ttc/t1*Po),(ttc>tetki),0]
,fy[ttc_]=Which[ttc<=tetki,Po,ttc>tetki,0]
]
];
xyy[[ji]]=fy[ttc];
xyy=MODALMATRISTR.xyy;
eyvek=xyy+ek;
If[tcc==100||tcc==300||tcc==500||tcc==750||tcc==999||tcc==1000||tcc==1001
||tcc==1500||tcc==1999||tcc==2000||tcc==2999||tcc==3000
,Print["iterasyon =",tcc," ttc = ",tcc," tson = ",tson," fy["",tcc,"]=",fy[ttc]
," xyy=",xyy," xyy[[ji]]=",xyy[[ji]]," ji=","ji],Continue
];
depman[tcc+1]=LinearSolve[effk,eyvek];
ivme[tcc+1]=a0*(depman[tcc+1]-depman[tcc])-a2*hiz[tcc]-a3*ivme[tcc];
hiz[tcc+1]=hiz[tcc]+a6*ivme[tcc]+a7*ivme[tcc+1]
,{ttc,delt,tson,delt}
d4 = Date[]
acalismasadres=d4-d3
Print["Time History Analiz süresi = ",acalismasadres]
ijji=Input["deplasmanı bulunacak nokta numarasini giriniz="]
max=depman[0][[ijji]]
Do[
dep[x][ic]=MODALMATRIS.depman[ic];
If[max>=dep[x][ic][[ijji]],Continue,max=dep[x][ic][[ijji]]];
If[ic==0||ic==100||ic==300||ic==500||ic==750||ic==999||ic==1000
||ic==1500||ic==1999||ic==2000||ic==2999||ic==3000
,Print["iterasyon =",ic," ic = ",ic," tcc+1 = ",tcc+1
," depx["",ic,"][[1]]= ",dep[x][ic][[1]],Continue
];
hiz[x][ic]=MODALMATRIS.hiz[ic];
ivmex[ic]=MODALMATRIS.ivme[ic]
,{ic,0,tcc+1}
Write[cd2,cd2]
Write[cd2," MAKSIMUM DEPLASMAN =",max]
ic=tcc+1
zamanartim=0.
Do[
zamanartim=zamanartim+delt;
(*Write[cd2,zamanartim," zamaninda ",ji," nolu dugumun depl = ", depx[i][[ijji]]*)
Write[cd2, depx[i][[ijji]]]
,{i,0,ic}
];

```

### spectrum.txt programının listesi

```
(*cf[i]=Sqrt[KGIRISIMSIZ[[i,i]]/MGIRISIMSIZ[[i,i]]; veya cf[i]=OZVEKTORMATRIS[[i]]; *)
yer=Table[1.,{sistserbder}]
Do[{li[i]=ozvek[i].kutlematrisi.yer},{i,1,sistserbder}]
Do[{alfai[i]=li[i]/MGIRISIMSIZ[[i,i]]},{i,1,sistserbder}]
Do[{prdi[i]=(2*Pi/OZVEKTORMATRIS[[i]])/N},{i,1,sistserbder}]
Do[{yimax[i]=alfai[i]*sa[i]/OZVEKTORMATRIS[[i]]^2/10;Print["yimax="
",yimax[i]},{i,1,sistserbder}]
Do[{maxdepv[i]=ozvek[i]*yimax[i]},{i,1,sistserbder}]
ji=Input["deplasmanı bulunacak nokta numarasini giriniz="]
maxdep=0.
Do[{maxdep=maxdep+maxdepv[i][[ji]]^2};Print["maxdep= ",maxdep},{i,1,sistserbder}]
maxdep=Sqrt[maxdep]
Write[cd4,cd4]
Write[cd4," MAKSIMUM DEPLASMAN =",maxdep]
(*Print["for Ti=",prdi[i],and ksi=",ksi];*)
(*sa[i]=Input["enter the design acceleration (sa) ="];*)
(*mdi=0
(Label[b1];
mdi=mdi+1;
maxdepv[mdi]=ozvek[mdi]*yimax[mdi];
If[mdi==sistserbder,Continue,Goto[b1]] )
maxdep=0
mdii=0
(Label[b2];
mdii=mdii+1;
maxdep=maxdep+maxdepv[mdii][[ji]]^2;
If[mdii==sistserbder,Continue,Goto[b2]] ) *)
```