TÜBİTAK

TÜRKİYE BİLİMSEL VE
TEKNİK ARAŞTIRMA KURUMU

THE SCIENTIFIC AND TECHNICAL
RESEARCH COUNCIL OF TURKEY

1997-822

TAŞIYICI OLMAYAN BÖLME DUVARLARIN DEPREM DAVRANIŞINA KATKILARI VE SONUÇLARIN DEPREM YÖNETMELİĞİNE UYARLANMASI

PROJE NO: İNTAG/TOKİ - 531

ODTÜ Deprem Müh. Ars. Mrk.
Syf: 110

İnşaat Teknolojileri Araştırma Grubu

Construction Technologies Research Grant Committee

1995-00241

1997-822

TAŞIYICI OLMAYAN BÖLME DUVARLARIN DEPREM DAVRANIŞINA KATKILARI VE SONUÇLARIN DEPREM YÖNETMELİĞİNE UYARLANMASI

PROJE NO: İNTAG/TOKİ - 531

ODTÜ Deprem Müh. Ars. Mrk.
Syf: 110
Ref: 45

PROF. DR. ERGİN ÇITIPITIOĞLU
PROF. DR. ÇETİN YILMAZ
PROF. DR. NURİ AKKAŞ
İNŞ. YÜK. MÜH. ERSİN MURAT DEĞER

NİSAN 1997
ANKARA

ÖNSÖZ

Bu proje kapsamında taşıyıcı olmadığı varsayılan bölme duvarlarının binaların deprem davranışına etkisi incelenmiştir. Deprem sırasında yapı taşıyıcı sisteminin elastik kaldığı durumda taşıyıcı sistem/yük taşımayan bölme duvarları etkileşimini gözönüne alan ve bilgisayarda uygulanan bir hesap yöntemi geliştirilmiştir. Bu amaçla bölme duvarlar eşdeğer basınç çubukları şeklinde modellenmiştir. Duvar özellikleri gözönünde tutularak eşdeğer basınç çubuklarının alanı, elastik modülü ve kırılma yükleri evvelce yapılmış olan araştırmaların sonuçları kullanılarak hesaplanmıştır.

Yapının üç boyutlu modelinde basınç çubuklarının elastik sınıra kadar eşdeğer statik deprem yükleri altında ardışık kırılma durumlarını iteratif bir yöntemle hesaplamak ve yapı elemanlarının moment, kesme kuvveti ve eksenel kuvvet zarflarını elde etmek amacıyla SAP 90 bilgisayar programı için ön ve art işlemciler geliştirilmiştir. Geliştirilen hesap yöntemi örnek olarak tipik bir okul binasına uygulanmış ayrıca, 1996 Dinar depreminde taşıyıcı sistemi elastik kalmış iki bina geliştirilen yöntemle incelenmiş, bölme duvarlarının hesap ile tesbit edilen hasar durumlarının yerinde görülen hasarı çok yakından takip ettiği anlaşılmıştır.

Bu çalışma TÜBİTAK ve TOPLU KONUT İDARESİ tarafından İNŢAG/TOKİ - 531 No.lu proje ile desteklenmiştir.

İÇİNDEKİLER

	Sayfa No.
Önsöz	ii
İçindekiler	iii
Şekil Listesi	v
Tablo Listesi	x
Sembol Listesi	xiii
Öz	xv
Abstract	xvi
1. Genel	1
2. Projenin Tanıtılması	2
3. Kaynak Araştırması	6
4. Dünya Deprem Şartnamelerinin Gözden Geçirilmesi	14
5. Kullanılan Yöntemler	16
5.1. Basınç Çubuğu Metodu	17
6. Dolgu Duvarlı Binalar İçin Parametrik Çalışmalar	28
7. Dolgu Duvarlı Binalar İçin Deprem Hesabı Tekniği	36
8. Örnek Uygulamalar	41
8.1. Uygulama 1: Dört Katlı Okul Binasının Deprem Hesabı	41
8.1.1. X Yönündeki Bina Çerçeveleri	46
8.1.2. Y Yönündeki Bina Çerçeveleri	50
8.1.3. Okul Binasının Eşdeğer Statik Yüklerle Deprem Hesabı Sonuçlarının Tartışması	56
8.2. Uygulama 2: Dinar Halk Eğitim Merkezi Binasının	

Deprem Hesabı 57

8.2.1. X Yönündeki Bina Çerçeveleri 61

8.2.2. Y Yönündeki Bina Çerçeveleri 66

8.2.3. Dinar Halk Eğitim Merkezi Binasının Eşdeğer Statik Yüklerle Deprem Hesabı Sonuçlarının Tartışması 77

8.3. Uygulama 3: PTT Binasının Deprem Hesabı 79

8.3.1. X Yönündeki Bina Çerçeveleri 83

8.3.2. Y Yönündeki Bina Çerçeveleri 92

8.3.3. PTT Binasının Eşdeğer Statik Yüklerle Deprem Hesabı Sonuçlarının Tartışması 103

9. Sonuçlar 104

10. Kaynak Listesi 106

Bibliyografik Bilgi Formu 111

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa No.

Şekil 1. Dolgu Duvarlı Betonarme Bina 1

2. Kısmi Dolgu Duvarlı Betonarme Çerçeve 3

3. İki Kenar Çerçevesi Dolgu Duvarlı Betonarme Binanın Kat Planı 4

4. Dolgu Duvarlı Çerçevenin Yatay Yük Altındaki Davranışı . 17

5. Dolgu Duvarlı Çerçevenin Basınç Çubuklu Modeli 18

6. Dolgu Duvarın Kırılma Modları 18

7. Betonarme Çerçeve Elemanlarının Kırılma Modları 19

8. Basınç Çubuğu Metodunun Bina Çerçevesine Uygulanması. 20

9. Dolgu Duvarlı Çerçeve Parametreleri 21

10. Dolgu Duvarlar için Efektif Genişlik Tahminlerinin Karşılaştırılması 23

11. Dolu Tuğla (1.8/100) ve Kireç Harcı ile Örülen Dolgu Duvar için Kırılma Dayanımı/β Oranı Eğrileri 30

12. Dolu Tuğla (1.8/100) ve Çimento Harcı ile Örülen Dolgu Duvar için Kırılma Dayanımı/β Oranı Eğrileri 30

13. Dolu Tuğla (2.0/240) ve Kireç Harcı ile Örülen Dolgu Duvar için Kırılma Dayanımı/β Oranı Eğrileri 31

14. Dolu Tuğla (2.0/240) ve Çimento Harcı ile Örülen Dolgu Duvar için Kırılma Dayanımı/β Oranı Eğrileri 31

15. Delikli Tuğla (7.5) ve Kireç Harcı ile Örülen Dolgu Duvar için Kırılma Dayanımı/β Oranı Eğrileri 32

Şekil 16. Delikli Tuğla (7.5) ve Çimento Harcı ile Örülen Dolgu Duvar için Kırılma Dayanımı/β Oranı Eğrileri 32
17. Beton Blok (BB6) ve Kireç Harcı ile Örülen Dolgu Duvar için Kırılma Dayanımı/β Oranı Eğrileri 33
18. Beton Blok (BB6) ve Çimento Harcı ile Örülen Dolgu Duvar için Kırılma Dayanımı/β Oranı Eğrileri 33
19. Gaz Beton (G6) ve Kireç Harcı ile Örülen Dolgu Duvar için Kırılma Dayanımı/β Oranı Eğrileri 34
20. Gaz Beton (G6) ve Çimento Harcı ile Örülen Dolgu Duvar için Kırılma Dayanımı/β Oranı Eğrileri 34
21. Dolgu Duvarları Gözönüne Alınarak Yapılan Deprem Analizi Akış Diyagramı 40
22. Okul Binasının Tipik Kat Planı 42
23. Okul Binasındaki Duvarların Planda Dizilimi 43
24. 1 Aksındaki Bina Çerçevesi 46
25. 2 Aksındaki Bina Çerçevesi 47
26. 3 Aksındaki Bina Çerçevesi 48
27. 4 Aksındaki Bina Çerçevesi 49
28. A Aksındaki Bina Çerçevesi 50
29. B Aksındaki Bina Çerçevesi 51
30. C Aksındaki Bina Çerçevesi 52
31. D Aksındaki Bina Çerçevesi 53
32. D Aksındaki Bina Çerçevesinde Dolgu Duvarlar Gözönüne Alınmayınca Oluşan Kesme Kuvveti Dağılımı 54

Şekil 33. D Aksındaki Bina Çerçevesinde 197 No.lu Dolgu Duvar Elemanı Kırılmadan Önceki Kesme Kuvveti Dağılımı 55

34. D Aksındaki Bina Çerçevesinde 198 No.lu Dolgu Duvar Elemanı Kırılmadan Önceki Kesme Kuvveti Dağılımı 55

35. Dinar Halk Eğitim Merkezi Binasının Zemin Kat Planı 58

36. Dinar Halk Eğitim Merkezi Binasının Birinci Kat Planı 59

37. Dinar Halk Eğitim Merkezi Binasının İkinci Kat Planı 59

38. A Aksındaki Bina Çerçevesi 61

39. B Aksındaki Bina Çerçevesi 62

40. C Aksındaki Bina Çerçevesi 63

41. D Aksındaki Bina Çerçevesi 64

42. E Aksındaki Bina Çerçevesi 65

43. 1 Aksındaki Bina Çerçevesi 66

44. 2 Aksındaki Bina Çerçevesi 67

45. 3 Aksındaki Bina Çerçevesi 68

46. 4 Aksındaki Bina Çerçevesi 69

47. 5 Aksındaki Bina Çerçevesi 70

48. 6 Aksındaki Bina Çerçevesi 71

49. 7 Aksındaki Bina Çerçevesi 72

50. 8 Aksındaki Bina Çerçevesi 73

51. 9 Aksındaki Bina Çerçevesi 74

52. 10 Aksındaki Bina Çerçevesi 75

53. 11 Aksındaki Bina Çerçevesi 76

54. Dinar Halk Eğitim Merkezi Binasının Görünüşü 78

Şekil 55. Depremde Hasar Görmüş Dolgu Duvar 78

56. PTT Binasının Zemin Kat Planı 80

57. PTT Binasının Birinci Kat Planı 80

58. PTT Binasının İkinci Kat Planı 81

59. PTT Binasının Üçüncü Kat Planı 81

60. A Aksındaki Bina Çerçevesi 83

61. C-D Aksları Arasındaki Bina Çerçevesi 84

62. D Aksındaki Bina Çerçevesi 85

63. D-D′ Aksları Arasındaki Bina Çerçevesi 86

64. E Aksındaki Bina Çerçevesi 87

65. E′-F Aksları Arasındaki Bina Çerçevesi 88

66. F Aksındaki Bina Çerçevesi 89

67. G Aksındaki Bina Çerçevesi 90

68. G Aksı Ötesindeki Bina Çerçevesi 91

69. 1 Aksındaki Bina Çerçevesi 92

70. 1-3′ Aksları Arasındaki Bina Çerçevesi 93

71. 2 Aksındaki Bina Çerçevesi 94

72. 3 Aksındaki Bina Çerçevesi 95

73. 3-4 Aksları Arasındaki Bina Çerçevesi 96

74. 3′ Aksındaki Bina Çerçevesi 97

75. 4 Aksındaki Bina Çerçevesi 98

76. 5 Aksındaki Bina Çerçevesi 99

77. 5′ Aksındaki Bina Çerçevesi 100

78. 5′-6 Aksları Arasındaki Bina Çerçevesi 101

Şekil 79. 6 Aksındaki Bina Çerçevesi 102

TABLO LİSTESİ

Sayfa No.

Tablo 1. Kapı Boşluklu Dolgu Duvarlar için Azaltma Faktörleri 25

2. Pencere Boşluklu Dolgu Duvarlar için Azaltma Faktörleri .. 26

3. Kısmi Dolgu Duvarlar için Azaltma Faktörleri 27

4. Okul Binasının Dolgu Duvarları için Kullanılan Eşdeğer Çubuk Alanları 45

5. 2 Aksında Ardışık Kırılma Sırası 47

6. 3 Aksında Ardışık Kırılma Sırası 48

7. 4 Aksında Ardışık Kırılma Sırası 49

8. A Aksında Ardışık Kırılma Sırası 50

9. B Aksında Ardışık Kırılma Sırası 51

10. C Aksında Ardışık Kırılma Sırası 52

11. D Aksında Ardışık Kırılma Sırası 53

12. D Aksındaki 65 ve 66 No.lu Kolon Elemanlarında Kısa Kolon Etkisi 56

13. Dinar Halk Eğitim Merkezinin Dolgu Duvarları için Eşdeğer Çubuk Alanları 60

14. A Aksında Ardışık Kırılma Sırası 61

15. B Aksında Ardışık Kırılma Sırası 62

16. C Aksında Ardışık Kırılma Sırası 63

17. D Aksında Ardışık Kırılma Sırası 64

18. E Aksında Ardışık Kırılma Sırası 65

19. 1 Aksında Ardışık Kırılma Sırası 66

Tablo 20. 2 Aksında Ardışık Kırılma Sırası 67

21. 3 Aksında Ardışık Kırılma Sırası 68

22. 4 Aksında Ardışık Kırılma Sırası 69

23. 5 Aksında Ardışık Kırılma Sırası 70

24. 6 Aksında Ardışık Kırılma Sırası 71

25. 7 Aksında Ardışık Kırılma Sırası 72

26. 8 Aksında Ardışık Kırılma Sırası 73

27. 9 Aksında Ardışık Kırılma Sırası 74

28. 10 Aksında Ardışık Kırılma Sırası 75

29. 11 Aksında Ardışık Kırılma Sırası 76

30. PTT Binasının Dolgu Duvarları için Kullanılan Eşdeğer Çubuk Alanları 82

31. A Aksındaki Ardışık Kırılma Sırası 83

32. C-D Aksları Arası Ardışık Kırılma Sırası 84

33. D Aksındaki Ardışık Kırılma Sırası 85

34. D-D′ Aksları Arası Ardışık Kırılma Sırası 86

35. E Aksındaki Ardışık Kırılma Sırası 87

36. E′-F Aksları Arası Ardışık Kırılma Sırası 88

37. F Aksındaki Ardışık Kırılma Sırası 89

38. G Aksı Ötesindeki Ardışık Kırılma Sırası 91

39. 1-3′ Aksları Arası Ardışık Kırılma Sırası 93

40. 2 Aksındaki Ardışık Kırılma Sırası 94

41. 3 Aksındaki Ardışık Kırılma Sırası 95

42. 3-4 Aksları Arası Ardışık Kırılma Sırası 96

Tablo 43. 4 Aksındaki Ardışık Kırılma Sırası 98

44. 5 Aksındaki Ardışık Kırılma Sırası 99

45. 5′ Aksındaki Ardışık Kırılma Sırası 100

46. 5′-6 Aksları Arası Ardışık Kırılma Sırası 101

47. 6 Aksındaki Ardışık Kırılma Sırası 102

SEMBOL LİSTESİ

A_I	Boşluksuz Dolgu Duvarın Eşdeğer Çubuk Alanı.
$(A_I)_{OP}$	Boşluklu veya Kısmi Dolgu Duvarların Eşdeğer Çubuk Alanları.
A_{OP}	Dolgu Duvarın Boşluk Alanı.
A_{TOTAL}	Dolgu Duvarın Toplam Alanı.
d	Dolgu Duvarın Diyagonal Uzunluğu.
CR	Rijitlik Merkezi.
CS	Kesme Merkezi.
E	Çerçevenin Elastisite Modülü.
E_I	Dolgu Duvarın Elastisite Modülü.
f_{bs}'	Dolgu Duvarın Aderans Dayanımı.
f_c'	Dolgu Duvarın Basınç Dayanımı.
$(f_c)_T$	Dolgu Duvar Biriminin Basınç Dayanımı.
f_t'	Dolgu Duvarın Çekme Dayanımı.
F	Yatay Yük Değeri.
h	Kiriş Enkesit Orta Noktalarından Ölçülen Kolon Yüksekliği.
h'	Dolgu Duvarın Yüksekliği.
I	Kolonun Atalet Momenti.
l	Kolon Enkesit Orta Noktalarından Ölçülen Kiriş Uzunluğu.
l'	Dolgu Duvarın Uzunluğu.
r	Boşluklu ve Kısmi Dolgu Duvarlar için Eşdeğer Çubuk Alanı ve Kırılma Yükü Azaltma Faktörü.
(R_I)	Boşluksuz Dolgu Duvarlar için R_C, R_F, R_I, R_S ve R_T Diyagonal

Yük Değerleri.

$(R_I)_{OP}$	Boşluklu veya Kısmi Dolgu Duvarlar için R_C, R_F, R_I, R_S ve R_T Diyagonal Yük Değerleri.
R_C	Dolgu Duvar için Basınç Kırılması Diyagonal Yükü.
R_F	Dolgu Duvar için Diyagonal Kırılma Yükü.
R_S	Dolgu Duvar için Kesme Kırılması Diyagonal Yükü.
R_T	Dolgu Duvar için Diyagonal Kesme Çatlağı Kırılması Diyagonal Yükü.
t	Dolgu Duvarın Kalınlığı.
w	Dolgu Duvarın Efektif Genişliği.
α	Temas Uzunluğu.
θ	Dolgu Duvarın Diyagonalinin Yatayla Yaptığı Açı.
λ	Dolgu Duvar ve Çerçeve Elemanları için Karakteristik Değer.
μ	Dolgu Duvar Birimi ve Harç Arasındaki İçsel Sürtünme Katsayısı.
β	Dolgu Duvarlı Çerçevenin Açıklığının Yüksekliğine Oranı, l/h.

ÖZ

Bu çalışmada taşıyıcı olmadığı varsayılan bölme duvarlarının binaların deprem davranışına etkisi incelenmiştir. Deprem sırasında yapı taşıyıcı sisteminin elastik kaldığı durumda taşıyıcı sistem/yük taşımayan bölme duvarları etkileşimi için bilgisayarla hesap yöntemi geliştirilmiştir. Bu amaçla bölme duvarlar eşdeğer basınç çubukları şeklinde modellenmiştir. Duvar özellikleri gözönünde tutularak eşdeğer basınç çubuklarının alanı, elastik modülü ve kırılma yükleri evvelce yapılmış olan araştırmaların sonuçları kullanılarak belirlenmiştir.

Yapının üç boyutlu modelinde basınç çubuklarının elastik sınıra kadar eşdeğer statik deprem yükleri altında ardışık kırılma durumlarını iteratif bir yöntemle hesaplamak ve yapı elemanlarının moment, kesme kuvveti ve eksenel kuvvet zarflarını elde etmek amacıyla SAP 90 bilgisayar programı için ön ve art işlemciler geliştirilmiştir. Geliştirilen hesap yöntemi örnek olarak tipik bir okul binasına uygulanmış ayrıca, 1996 Dinar depreminde taşıyıcı sistemi elastik kalmış iki bina geliştirilen yöntemle incelenmiş, bölme duvarlarının hesap ile tesbit edilen hasar durumlarının yerinde görülen hasarı çok yakından takip ettiği anlaşılmıştır.

Sonuç olarak taşıyıcı olmayan bölme duvarlarının şartnamelerde öngörülen salınım sınırları geçilmemesi ve taşıyıcı sistemin elastik limiti aşmamasına rağmen, hasar görebileceği tesbit edilmiştir. Bölme duvarlarının basınç çubuğu ile modellenip ardışık kırılma hesabı yapılmasının taşıyıcı sistem/yük taşımayan bölme duvarları etkileşimini hesaba katmak için iyi bir yaklaşım olduğu anlaşılmıştır.

Anahtar kelimeler: Dolgu duvar, Deprem yükü, Ardışık kırılma, Kırılma dayanımı.

ABSTRACT

In this study, the effects of non-structural masonry infill walls to the seismic behavior of R/C buildings are investigated. During the earthquake, when the structural system remains elastic, a computerized analysis technique is developed to consider non-structural masonry infill wall/structural system interaction. For this purpose, infill walls are modeled by equivalent compression struts. In the light of the results of previous research, equivalent strut areas, elastic moduli and and failure loads are determined by considering the properties of infill walls.

In the three dimensional model of a structure, to calculate the sequential failure path of infill walls by iteration and to produce envelope files containing end moment, shear and axial force envelopes of structural elements under equivalent static lateral forces in the elastic range, pre and post processors are developed for computer analysis by SAP 90. Proposed technique is applied to a typical school building and two public buildings whose structural system remained elastic during 1996 Dinar Earthquake. It is found that there is a good agreement between the results obtained by using the proposed technique for identifying failure of infills with those subjected to earthquake damage.

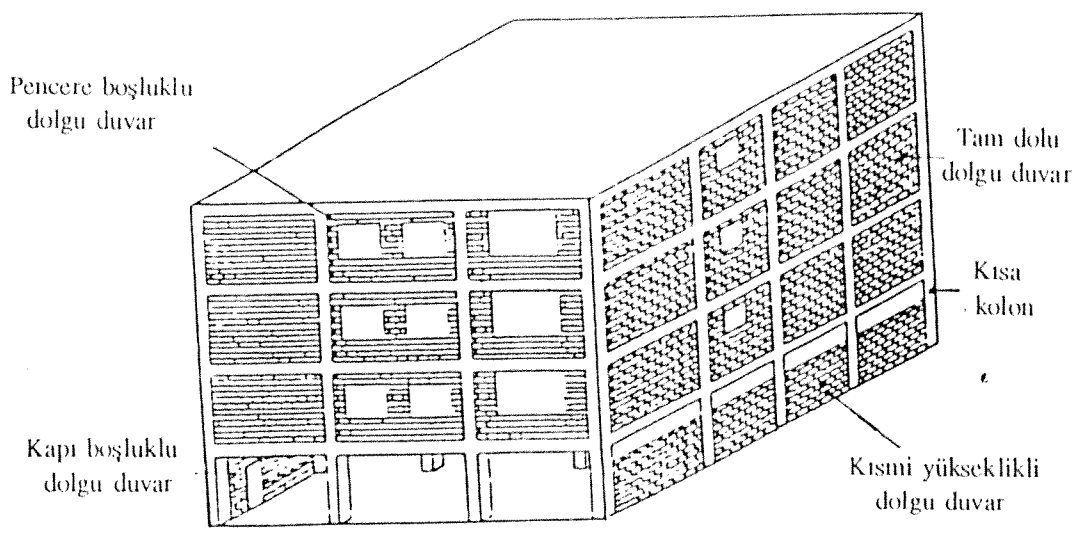
As a result, it is concluded that non-structural masonry infill walls may be damaged eventhough the story drift ratios specified in the earthquake codes and when elastic limit of the structural system is not exceeded. It is understood that to model non-structural masonry infill walls with compression struts and then to determine the sequential failure paths of infill walls to consider the non-structural masonry infill walls/structural system interaction is a good

approach.

Key words: Infill wall, Earthquake load, Sequential failure, Failure strength.

1. GENEL

Taşıyıcı olmayan dolgu duvarlar betonarme binalarda dış cephe ve iç bölme elemanları olarak kullanılır. Türkiye'de duvar yapımında tuğla, beton blok briket ve gaz beton malzemelerine rastlanmaktadır. Bu malzemeler dolu ve delikli olarak üretilmektedir. Bunların yanısıra diğer bazı malzemelere de az olmakla beraber rastlanmaktadır, fakat herhangi bir Türk Standardına sahip olmadıkları için kapsam dışında tutulmuşlardır. Duvar yapımında kullanılan harç ise basınç dayanımına göre beş tip üretilmektedir. Ayrıca, mimari ve ısı yalıtımı amaçlı olarak duvarın her iki yüzü sıva ve dekoratif elemanlarla kaplanabilmektedir. Dolgu duvarlar donatılı ve donatısız olarak iki kısma ayrılır. Türkiye'de donatısız dolgu duvarlar kullanılmaktadır. Öte yandan dolgu duvarın geometrisi kullanıma göre kısmi, kapı veya pencere boşluklu, boşluksuz olabilmektedir. (Şekil 1.)



Şekil 1. Dolgu Duvarlı Betonarme Bina.

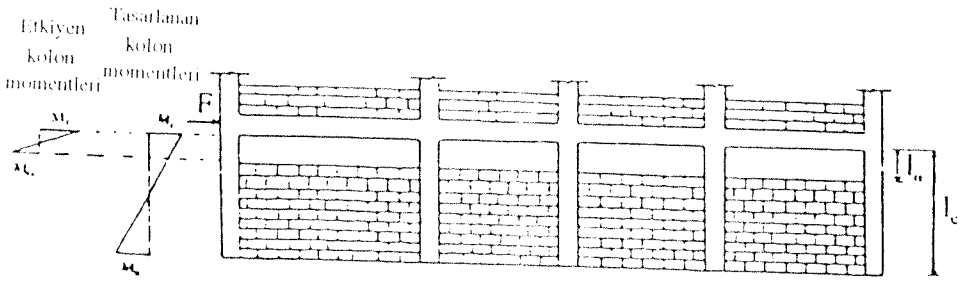
2. PROJENİN TANITILMASI

Dolgu duvarları binanın taşıyıcı olmayan elemanları olarak kabul edildiğinden statik eşdeğer deprem yükü altında yapı davranışına etkileri gözönüne alınmamaktadır. Fakat, deprem esnasında taşıyıcı olmayan dolgu duvar/yapısal sistem etkileşmesinin yapısal davranışı değiştirdiği bilinen bir gerçektir. Taşıyıcı olmayan dolgu duvarların varlığı yapının sismik performansı açısından toplam yatay yük kapasitesini arttıracağı için faydalı olabilir. Fakat, dolgu duvarların yapısal davranışta meydana getirdiği değişmeler sebebiyle oluşan deprem hasarlarının örnekleri de fazladır. Bu zararlı etkiler aşağıdaki şekilde açıklanabilir:

Dolgu duvarlı çerçeve sisteminin yatay yük kapasitesi ve yatay rijitliği dolgu duvarsız çerçeve sistemine kıyasla artmaktadır. Yatay rijitlikteki artış dolgu duvarlı çerçevelere iletilen kuvvetlerde doğrudan bir artışa sebep olmaktadır. Öte yandan, dolgu duvarın dayanımı yatay rijitliğiyle kıyaslanamayacak ölçüde küçük olduğundan artan yük etkisiyle dolgu duvar ani olarak kırılmakta ve dolgu duvarın taşıdığı tüm yük bitişiğindeki kolona aktarılmaktadır. Bu etki sonucunda, bilhassa köşe kolonlarında aşırı yanal deplasmanlar meydana gelmektedir. Literatürde, bu olaya "kolonun yürümesi" denilmektedir.

Binalarda bant pencere oluşturmak amacıyla kısmi dolgu duvarlar (Şekil 2.) kullanılmaktadır. Çoğu zaman, bu tür duvarların bitişigindeki kolonlar serbest yükseklikleri katlar arası yükseklik alınarak tasarlanmaktadır. Gerçekte kolonun kısmi duvar yüksekliği kadarlık kısmının yatay ötelenmesi sınırlanmaktadır. Bu nedenle, kolonun serbest yüksekliği yaklaşık olarak kısmi dolgu duvar yüksekliği kadar kısalmaktadır. Kısalan kolonlar daha rijit olacağından yüksek kesme kuvvetlerine maruz kalmaktadır. Kolon kesme kuvveti kolonun

tasarlandığı kesme kuvvetinden çok daha fazla olacağından meydana gelen kolon hasarlarının örnekleri geçmiş depremlerde fazlasıyla gözlemlenmiştir (Stratta ve Feldman, 1971; Çıtıpıtıoğlu ve Uzsoy, 1972; Tankut vd., 1995). Bu olaya "kısa kolon etkisi" denilmektedir.



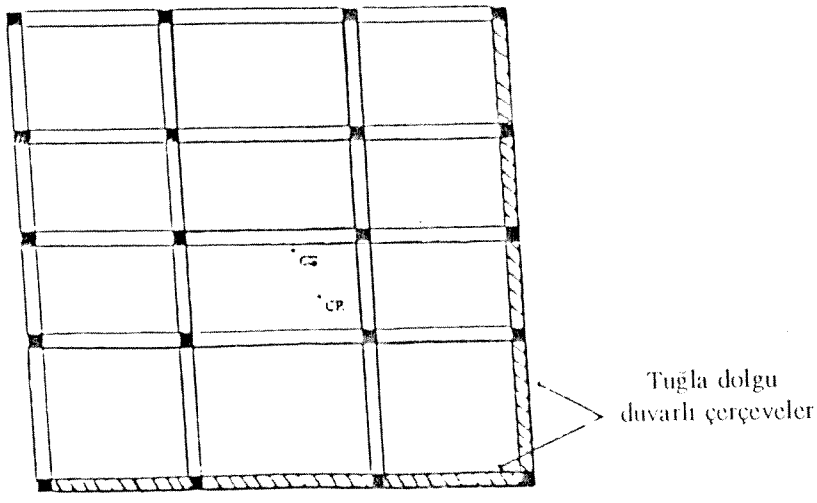
Şekil 2. Kısmi Dolgu Duvarlı Betonarme Çerçeve.

Bazı binalarda ilk kat kolonları diğer katlardakilere kıyasla daha yüksek, ilk kat dolgu duvarlarının sayısı ise diğer katlardakilerle karşılaştırıldığında daha az olabilmektedir. Bu durum, binanın cadde tarafına bakan kısmında dükkan veya benzeri şekilde kullanıldığında ortaya çıkmaktadır. Böyle durumlarda, ilk katın kat rijitliği diğer katlara kıyasla daha az olmakta ve tipik "yumuşak kat problemi" oluşmaktadır. Böylece, ilk kat kolonları aşırı yanal deformasyon yüzünden hasara ve yıkılmaya maruz kalmaktadırlar. Yumuşak kat yüzünden meydana gelen çok sayıda yapısal hasara geçmiş depremlerde rastlanmıştır (Tankut vd., 1995).

Dolgu duvarlar bina planında simetrik olarak yerleştirilmedikleri takdirde binanın burulma davranışı yapısal hasara yol açacak oranda değişebilir. Dolgu duvarlı çerçevelerin rijitliklerinin dolgu duvarsız olanlara oranla daha fazla olması yapısal sistemin rijitlik merkezinin binanın rijitleşmiş kısımlarına kaymasına sebep olmaktadır (Şekil 3.). Bunun

sonucu olarak yapı büyük burulma momentlerine maruz kalmakta ve hasar görmektedir.

Dolgu duvarlar düzlemlerine paralel yöndeki yüklerin etkisiyle meydana gelen kırılmalara ek olarak düzlemlerine dik yöndeki depremin etkisiyle de hasarlara uğrayabilmektedir (Paulay ve Priestley, 1992). Dolgu duvarların bu tür kırılmaları bina içinde oturanlar ile bina yakınındaki yayalar için potansiyel bir tehlike oluşturmaktadır.



Şekil 3. İki Kenar Çerçevesi Dolgu Duvarlı Betonarme Binanın Kat Planı.

Gözlemlenen deprem hasarlarının ışığı altında, taşıyıcı olmayan dolgu duvarların eşdeğer deprem yükü hesabında gözönüne alınmamasının binaların yapısal davranışını değiştirip yapısal hasarlara ve can kaybına sebep oldukları söylenebilir. Bu sorunu gidermek için iki yaklaşım mevcuttur. İlk yaklaşımda duvarları yapı sisteminden aralarına sıkışabilir malzeme konularak ayırmak önerilmektedir. Bu halde mimari zorluklar ve çevresinde desteksiz kalan duvarların düzlemine dik yöndeki deprem etkisiyle yıkılması problemleri ortaya çıkmaktadır. İkinci yaklaşım taşıyıcı olmayan dolgu duvarların etkilerinin binanın

yapısal davranışında analitik olarak hesaba katılmasını önermektedir.

Projenin amacı, taşıyıcı olmayan dolgu duvarlarının binaların eşdeğer statik deprem yükü hesabında gözönüne alınmasını sağlayacak pratik bir tekniğin geliştirilmesidir. Dolgu duvarları için basınç çubuğu modeli kullanılmıştır. Basınç çubuğunun kesit özellikleri ve kırılma yükü önceden yapılmış araştırmalardan yararlanılarak elde edilmiştir. Kapı veya pencere boşluklu dolgu duvarlar için bu metod azaltma faktörleri kullanılarak uygulanmıştır. Kısmi dolgu duvarlar için de benzer yaklaşımda bulunulmuştur. Bunun ötesinde yapılan çalışmalarda ana ilgi dolgu duvarların etkisiyle yapısal sistemde meydana gelen hasarların belirlenmesine gösterilmiştir.

3. KAYNAK ARAŞTIRMASI

Dolgu duvarların çerçeve sistemleri içindeki davranışı 1950'lerin ortalarından itibaren tüm dünyada çok sayıda araştırmanın konusu olmuştur. Bu araştırmalar üç ana grupta toplanmaktadır: Deneysel araştırmalar, analitik araştırmalar, deneysel ve analitik araştırmalar. Dolgu duvarlar hakkındaki ilk çalışmalar (Polyakov, 1952) temelde deneysel olup özellikle dolgu duvarlı çerçevenin yatay yükler altındaki davranışının anlaşılmasında faydalı olmuştur. Basınç çubuğu metodunun gelişmesi bu çalışmaların ürünüdür. Bu metod uygulamada basit olup araştırmacıların çoğunluğu tarafından pratik amaçlarla yatay yük altında binaların gözlemlenen davranışını yeterli yaklaşımla yansıttığı kabul edilmiştir. Sonlu elemanlar yöntemi gibi analitik metodların ve bilgisayarların ortaya çıkmasıyla bazı araştırmacılar dolgu duvar/yapısal sistem etkileşiminin karmaşık yanlarını ve boşluklu dolgu duvarları incelemek için sonlu elemanlar tekniğini kullanmışlardır (Mallick ve Severn, 1967; Mallick ve Garg, 1971). 1970'li yılların başlamasıyla, dolgu duvarlı çerçevelerin, dolgu duvarsız çerçevelere oranla sismik performanslarını incelemek için birçok deneysel çalışmalar yapılmıştır (Fiorato vd., 1970; Bertero ve Klingner, 1976). Bazı araştırmacılar (Wood, 1978; Liauw ve Kwan, 1983) dolgu duvarlı çerçeveleri plastisite teorisini kullanarak incelemişlerdir.

Dolgu duvarlı çerçevelerle ilgili halihazırdaki bilgi birikimini öğrenebilmek için geniş bir literatür araştırması yapılmış ve aşağıda özetlenmiştir.

Polyakov(1960), dolgu duvarlı çerçevelerin dolgu duvarlarının basınç çubuklarıyla modellenebileceğini göstermek için üç açıklıklı ve üç katlı tuğla duvar dolgulu çelik çerçeveleri deneye tabi tutmuştur. Test sonuçları ile model arasında uygunluk olması

sonucunda Polyakov basınç çubuğu metodunu dolgu duvarlı çerçeve analizi için ilk defa önermiştir.

Holmes (1961), bir açıklıklı ve bir katlı tuğla ve beton dolgulu çerçeveleri denemiştir. Deney sonuçlarının ışığı altında, dolgu duvarlı çerçevenin rijitliğini ve dayanımını modelleyebilmek için dolgu duvarın elastisite modülü, kalınlığı duvarla eş ve efektif çubuk genişliği duvarın diyagonal uzunluğunun üçte biri olan eşdeğer diyagonal basınç çubuğu ile modellenmesini önermiştir.

Basınç çubuğu metodu Stafford Smith (1962, 1966, 1967) tarafından sistemli bir şekilde araştırılmıştır. Stafford Smith dolgu duvarlı çerçevelerin yatay yükler altındaki davranışını anlayabilmek için hem deneysel hem de analitik araştırmalar yapmıştır. Araştırmaların sonucunda dolgu duvarlı çerçevelerin yatay rijitlik ve dayanımının duvar boyutları ve fiziksel özelliklerinin yanısıra duvar ile kolon arasındaki temas uzunluğuna bağlı olduğunu göstermiştir. Temas uzunluğu duvar ile çerçevenin relatif rijitliklerine bağlıdır. Stafford Smith dolgu duvarlı çerçevenin davranışını modellemede çok önemli olan relatif rijitlik parametresini önermiştir.

Stafford Smith ve Carter (1969) dolgu duvarlı çerçeveler için ilk pratik hesap yaklaşımını önermiştir. Bu yaklaşımda dolgu duvarlı çerçevenin yatay rijitliğini ve dayanımını bulmak için basınç çubuğu metodu kullanılmıştır. Dolgu duvarın kırılma dayanımını ve eşdeğer basınç çubuğunun efektif genişliğini bulmak için bazı eğriler önerilmiştir.

Mallick ve Severn (1967) tarafından dolgu duvarlı çerçevelerin yatay rijitliğini

belirlemek için sonlu elemanlar tekniği kullanılmıştır. Bu çalışmada dolgu duvar ve çerçeve arasındaki kaymayı gözönüne alarak temas uzunluğunca meydana gelen gerilmeler incelenmiştir. Sonlu elemanlar metodunu uyguluyarak yapılan hesapların iki katlı çerçeveler için dahi çok uzun sürdüğü sonucuna varılmıştır.

Mallick ve Garg (1971) bir katlı boşluklu dolgu duvarlı çerçeve modelleri denemiştir. Bu deneylerde boşluğun yerinin dolgu duvarlı çerçevenin yatay rijitliğine olan etkisi incelenmiştir. Test sonuçları ile sonlu elemanlar metodu kullanılarak hesaplanan değerlerin uyum içinde olduğu anlaşılmıştır. Bu çalışmanın sonucunda boşluğun yerinin basınç diyagonaline yaklaşmasının dolgu duvar/çerçeve sisteminin davranışını kötü olarak etkilediği sonucuna varılmıştır. Kapı ve pencere boşluklu dolgu duvarlı çerçevelerde en iyi davranışı sağlamak için bazı boşluk yerleri önerilmiştir.

Fiorato vd. (1970) dolgu duvarlı betonarme çerçevelerin statik yatay yükler altındaki davranışını incelemiştir. Bu çalışmanın sonucunda dolgu duvarların yatay yüklerin etkisiyle çerçeve davranışını çok değiştirdiği ve dolgu duvarlı çerçevelerin dolgu duvarsızlara oranla çok fazla rijit ve kuvvetli fakat daha az sünek olduğu sonucuna varılmıştır.

Sachansky ve Brankov (1973) dolgu duvarlı betonarme binaların büyük deprem yüklerinin etkisinde davranışını incelemişlerdir. Altı katlı betonarme bir binayı boşluklu ve boşluksuz dolgu duvarları gözönüne alarak hesaplamışlardır. Boşluklu ve boşluksuz dolgu duvarlarını eşdeğer basınç çubuklarıyla modellemişlerdir.

Yeşilyurt (1973) dolgu duvarların bitişiğindeki kolonların yaklaşık rijitliklerini

araştırmıştır. Bu amaçla efektif kolon uzunluğunu sonlu elemanlar metoduyla hesaplayan bir bilgisayar programı yazılmıştır. Bu çalışmaların ışığında kolonun yatay ve burulma rijitliğinin bulunması için efektif kolon uzunluğunun bir çok faktöre bağlı olması nedeniyle pratik amaçlar için kullanılamayacağı sonucuna varmıştır.

Klingner ve Bertero (1976) dolgu duvarlı betonarme çerçevelerin histeretik davranışını incelemek için deneysel ve analitik çalışmalar yapmışlardır. Büyük yer hareketlerinin etkisinde dolgu duvarlı çerçevelerin dolgu duvarsızlara oranla daha fazla rijit , yüksek dayanımlı ve enerji yoketme ve yutma kapasitelerinin daha fazla olduğunu belirtmişlerdir. Test sonuçlarının analitik inceleme sonuçlarıyla uyum içinde olduğu sonucuna varmışlardır.

Riddington ve Stafford Smith (1977) dolgu duvarlı çerçeveleri çözmek için bir sonlu elemanlar programı geliştirmiştir. Üç tip dolgu duvarlı çerçeve çeşitli parameterlerin etkilerini incelemek için hesaplanmıştır. Bu parametreler dolgu duvar ve çerçeve birleşimlerinin özellikleri, dolgu duvarın uzunluğunun yüksekliğine oranı, relatif rijitlik parametresi ve kolon-kiriş birleşiminin rijitliğidir. Dolgu duvarlı çerçevenin yatay ötelenmesini hesaplamak için kullanılacak basınç çubuğunun efektif genişliğinin çubuk uzunluğunun onda birine eşit alınmasının güvenilir olduğu önerilmiştir.

King ve Pandey (1978) dolgu duvarlı çerçeve yapıları hesap etmek için sonlu elemanlar metodunu temel alan bir prosedür önermiştir. Dolgu duvar ve çerçeve arasındaki etkileşimi modelleyebilmek için "değiştirilmiş sürtünme" elemanları kullanılmıştır. Boşluklu ve boşluksuz dolgu duvarlı çok katlı ve çok gözlü çerçevelerin deney sonuçlarının teorik

bulgularla uyum içinde olduğu belirtilmiştir.

Wood (1978) dolgu duvarların dört kırılma modu olduğunu deneysel olarak gösterip bu sava ilişkin bir plastik teori önermiştir. Kırılma modları ve kesme dayanımları panelin ezilme gerilmesine ve çerçevenin eğilme dayanımına bağlıdır. Wood önerdiği yöntemde teorik yaklaşımlarla deneysel sonuçların arasındaki farklılıkları gözönüne alan bir düzeltme faktörü kullanmıştır.

Meli ve Bazan (1980) tuğla duvarların sismik davranışını analitik olarak araştırmışlardır. Tuğlanın davranışını lineer ve kırılma sonrası fazda modelleyip lineer olmayan bilgisayar programı geliştirmek için kırılma kriterleri oluşturulmuştur. Bu çalışmanın ışığında tuğla duvarların monotonik yatay yük altında lineer olmayan sonlu elemanlar analizinin duvarın yük-deformasyon eğrisi ve çatlak gelişiminin tahmininde başarılı olduğu fakat bu yaklaşımdaki nümerik eforun çok fazla olmasının pratik faydayı azalttığı sonucuna varılmıştır. Bu yüzden pratikte dolgu duvarlı binaların sismik analizinde eşdeğer çubuk yaklaşımı gibi basit modellerin kullanılması önerilmektedir.

Bertero ve Brokken (1981) tuğla ve hafif beton dolgu duvarlarının betonarme bina çerçevelerine olan etkilerini deneysel ve analitik olarak incelemiştir. Bu çalışmanın ışığında bina çerçevelerinin sismik davranışının dolgu duvarlarının etkisiyle önemli ölçüde değiştiği sonucuna varılmış ve hesaplarda dolgu duvarların yapısal sisteme etkilerinin gözönüne alınmasının duvarları yapısal sistemden izole etme yöntemine göre daha pratik ve gerçekçi olduğu sonucuna varılmıştır.

Liauw ve Kwan (1983) bir ve çok katlı dolgu duvarlı çerçeveler için bir plastik teori önermiştir. Duvar kırılma modlarını ve dayanımlarını elde edebilmek için lineer olmayan sonlu elemanlar metodu kullanmıştır. Plastik analizde çerçevenin eğilme dayanımının önemli bir parametre olduğu ve önerilen teorinin deneysel sonuçlarla uyum içinde olduğu sonucuna varılmıştır.

Del Valle (1984) çerçeve sistemlerinin gerçek davranışının dolgu duvarların etkisiyle çok değiştiğini, bu nedenle gerçek davranışı modelleyebilmek için dolgu duvarları basınç çubuklarıyla temsil eden bilgisayar analizlerinin kullanılması önermiştir. Orta açıklığında dolgu duvar olan üç katlı üç gözlü çerçeve, dolgu duvarları diyagonal çubuklarla modelleyerek ve dolgu duvar etkisini gözönüne almadan hesaplanmıştır. Analizler sonucunda dolgu duvarların yapının yanal deplasmanını azalttığı ve yanal rijitliğini arttırdığı sonucuna varılmıştır. İç kuvvet dağılımındaki değişikliklerin hem dolgu duvarlarda hem de çerçeve elemanlarında hasarlara yol açabildiğine dikkat çekilmiştir.

Dawe ve Yong (1985) bir katlı bir açıklıklı dolgu duvarlı çelik çerçeveleri test etmiştir. Deney sonuçları dolgu duvarlardaki boşlukların ilk çatlama yükünü etkilediği fakat yük kapasitesini pek etkilemediğini göstermiştir. Harç dayanımının düşmesinin dolgu duvarın rijitliğini çatlak oluşumundan sonra düşürdüğü gözlemlenmiştir.

Yong ve Dawe (1985) bir katlı bir açıklıklı donatılı dolgu duvarlı çelik çerçeveleri düzgün artan yükler altında test ettiler. Bu çalışmanın sonuçlarının elastik (Stafford Smith ve Carter, 1969) ve plastik (Wood, 1978) hesap teorileriyle yeterli yaklaşımla uyum içinde olduğu anlaşılmıştır.

Page ve Dhanasekar (1986) tuğla dolgu duvar özelliklerinin dolgu duvarlı çerçeve davranışına etkilerini sonlu elemanlar metodunu kullanarak inceledi. Modelde dolgu duvarın lineer olmayan deformasyon özelliklerinin ve harç bağlantılarının dolgu duvar davranışına etkileri gözönüne alınmıştır. Dolgu duvarlı çerçevenin deneysel davranışının sonlu elemanlar modeli ile başarılı olarak temsil edebildiği anlaşılmıştır. Araştırmacılar hesap ve deneysel çalışmalarının ışığında sadece relatif rijitlik parametresinin değil de dolgu duvarın kesme ve çekme dayanımlarının basınç dayanımına oranlarının dolgu duvarlı çerçeve davranışına önemli ölçüde etkidiği sonucuna vardılar.

Wasti ve Gülkan (1993) sonlu elemanlar metodunu kullanarak bir katlı ve bir açıklıklı değişken yükseklikte dolgu duvarlı çerçevelerin lineer olmayan davranışını inceledi. Dolgu duvarlı çerçevenin rijitliğinin yatay yük seviyesinin bir fonksiyonu olduğunu ve yatay kırılma yüküne yaklaştıkça rijitliğin düştüğünü gözlemlediler. Kısmi dolgu duvarlarda dolgu duvar yüksekliği toplam yüksekliğin %40'ından az ise duvarın çerçeve rijitliğine etkisinin ihmal edilebileceği sonucuna vardılar. Çalışmada dolgu duvarlı çerçevelerin iç kuvvet dağılımının dolgu duvarlar hesaba katılmadığı duruma göre çok değiştiği ve bu etkinin gözönüne alınmamasının yapısal eleman boyutlandırılmasında ve doğal periyot hesabında hatalara yol açacağı sonucuna vardılar.

Schuller vd. (1994) çerçeve ve dolgu duvarın relatif dayanımlarını bulmak için dolgu duvarlı betonarme çerçeveleri yatay yükler altında test etti. Dolgu duvarlı çerçevelerde çerçeve elemanlarının kuvvetli olmasının zayıf olmasına göre daha avantajlı bir durum olduğu sonucuna vardı. Çünkü, zayıf çerçeve elemanlarında kolonlar kesme kırılmasına maruz kalıp hasar gördükleri halde kuvvetli çerçeve elemanlarında bu durum oluşmamaktadır. Ayrıca,

zayıf dolgu duvarın kesme kırılması riskinin diğer kırılma modlarına kıyasla daha fazla olduğu kaydedilmiştir.

Saneinejad ve Hobbs (1995) beton veya tuğla duvar dolgulu çelik çerçevelerin yatay yükler altında hesap ve tasarımı için bir yöntem önerdi. Deneysel çalışmalarının ve lineer olmayan sonlu elemanlar yöntemiyle yapılan hesapların ışığında dolgu duvarların mekanik özelliklerinin bilinmesi durumunda diyagonal çubuklarla modellenebileceği sonucuna vardılar.

Mehrabi vd. (1996) bir katlı ve bir açıklıklı dolgu duvarlı betonarme çerçevelerin deneysel davranışını araştırdı. Betonarme çerçevelerin yatay yüke dayanım ve enerji yok etme kapasitelerinin dolgu duvarlarının etkisiyle arttığını gözlemlendi. Dolgu duvarlı çerçeveler tarafından taşınan yatay yüklerin her zaman dolgu duvarsız çerçevelerinkinden fazla olduğu tesbit edildi. Dolgu duvarlı çerçevenin kırılma mekanizmasının çerçeve elemanlarının ve dolgu duvarın dayanımlarına bağlı olduğu sonucuna varıldı.

4. DÜNYA DEPREM ŞARTNAMELERİNİN GÖZDEN GEÇİRİLMESİ

Dünya'da ve Türkiye'deki geçmiş depremler (Paulay ve Priestley, 1992; Tankut vd., 1995) dolgu duvarların yapısal sisteme etkisinin hesaba katılmamasının sonucu meydana gelmiş bina hasar ve can kayıplarına neden olduğunu göstermiştir. Bu konuyla ilgili olarak deprem şartnamelerindeki maddeleri gözden geçirmek büyük önem taşımaktadır. Bu konudaki çalışma (ERR World List, 1992) sonuçları aşağıda özetlenmektedir. Birçok ülkenin deprem şartnamelerinde taşıyıcı olmayan dolgu duvarların eşdeğer statik yatay yük hesabında yapı ağırlığına ve yapı tipi faktörüne etkileri gözönüne alınmaktadır. Meksika Şartnamesinde, yapısal davranışa etkileri bulunduğu takdirde, taşıyıcı olan veya olmayan tüm yapı elemanlarının analitik modelde gözönüne alınması öngörülmüştür. Bu noktada, dolgu duvarlar için çubuk yaklaşımı önerilmiştir. Çin Halk Cumhuriyeti Şartnamesinde, tuğla dolgu duvarlı bina çerçevelerinin yatay kuvvet dayanımını gözönüne alan elastik ve elastik olmayan ötelenme oranları için sınırlamalar getirilmiştir. Kanada Şartnamesinde, dolgu duvarların kırılması neticesinde yapı sistemi taşıma kapasitesinin zayıflamaması için dolgu duvar/yapısal sistem etkileşmesinin tasarımda gözönüne alınması önerilmektedir. Mısır ve Etiopya Şartnamelerinde de Kanada Şartnamesindekine benzer öneriler yapılmaktadır. Amerikan Şartnamesinde, taşıyıcı olan veya olmayan elemanlar için ötelenme limitleri verilmiştir. Venezuella ve Romanya Şartnamelerinde de Amerikan Şartnamesindekine benzer öneriler yapılmaktadır. Endonezya Şartnamesinde, katlar arası ötelenme oranı 0.0003' den fazla olduğu zaman kısmi veya tam dolgu duvarların yapısal sistemden izole edilmesi önerilmektedir. Peru Şartnamesinde, eğer yapının sismik davranışı taşıyıcı olmayan dolgu duvarlardan etkileniyorsa, duvarları yapısal analizde gözönüne almak ve tasarım projesinde tüm detayları göstermek önerilmektedir. Yunanistan Şartnamesinde, çerçeve sistemlerinde kısmi dolgu duvarların

bitişiğindeki kolonların kritik kısmı için uygulanan donatı şartı tüm kolon uzunluğunca uygulanması önerilmektedir.

5. KULLANILAN YÖNTEMLER

Literatür araştırmalarının ışığında dolgu duvarlı çerçevelerin yatay yükler altındaki davranışını incelemek için temel olarak iki metodun kullanıldığı söylenebilir:

- Basınç çubuğu metodu.
- Sonlu elemanlar metodu.

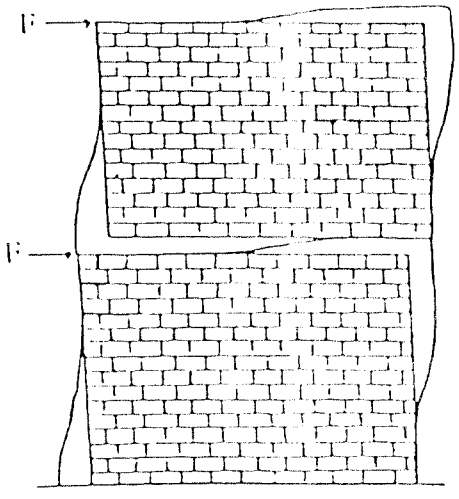
Basınç çubuğu metodunda, dolgu duvarlı çerçeve, dolgu duvarları eşdeğer basınç çubuklarıyla (Stafford Smith ve Carter, 1969) modelleyerek incelenir. Temel olarak boşluksuz dolgu duvarları gözönüne alan bu yöntem dolgu duvarlı çerçeve sistemlerinin analizi için pratik ve kolay uygulanabilir bir metoddur. Literatürde, basınç çubuğu metodunun kullanımına kapı veya pencere boşluklu dolgu duvarlar ve kısmi dolgu duvarlar için fazla rastlanmamakla beraber kavram olarak metodun boşluklu dolgu duvarlara hipotetik basınç çubukları kullanılarak (Liauw ve Lee, 1977) ve kısmi dolgu duvarlara dolgunun üst köşesinden itibaren diyagonal basınç çubuklarıyla modelleyerek (Klingner ve Bertero, 1976) uygulanabileceği ifade edilmiştir.

Öte yandan sonlu elemanlar metodu ile dolgu duvar/çerçeve etkileşmesinin karmaşık yanları ve boşluklu dolgu duvarlar incelenebilmektedir. Fakat, bu metodla bir katlı bir açıklıklı çerçeve çözümü için dahi çok fazla bilgisayar zamanı gerekmektedir. Bu yüzden metod bina analizi için henüz pratik görülmemektedir. Ayrıca dolgu duvar kalitesi şantiyedeki yapım koşullarına çok bağlıdır. Örneğin işçilik kalitesi, bu sonlu elemanlar metodu için yapılan kabullerin kolayca değişmesine neden olabilmektedir.

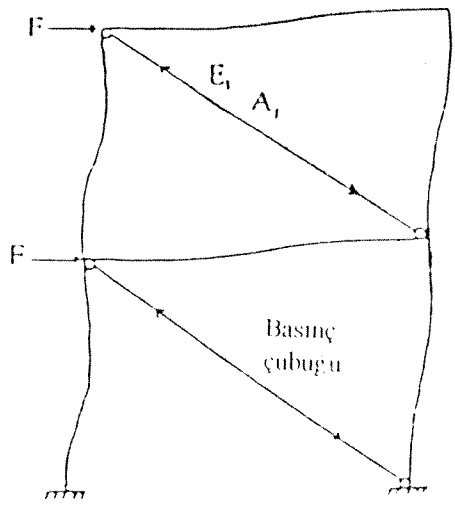
Yukarıdaki açıklamaların ışığında pratik amaçlarla kullanılmak üzere basınç çubuğu metodunun sonlu elemanlar metoduna oranla daha uygun olduğu görülmüştür.

5.1. Basınç Çubuğu Metodu

Dolgu duvarlı çerçevelerin yatay yükler altında davranışı şu şekilde açıklanabilir: Yatay yük uygulandığı anda çerçeve elemanları ile dolgu duvar arasında ayrılmalar meydana gelir ve sadece basınç alan diyagonalin uçlarında,köşe noktasının her iki yanında belli uzunluklarda temas kalır (Şekil 4.). Dolgu duvarlı çerçevenin bu davranışı dolgu duvarları sadece eksenel yük alan basınç çubuklarıyla modelleyerek gösterilebilir (Şekil 5.).

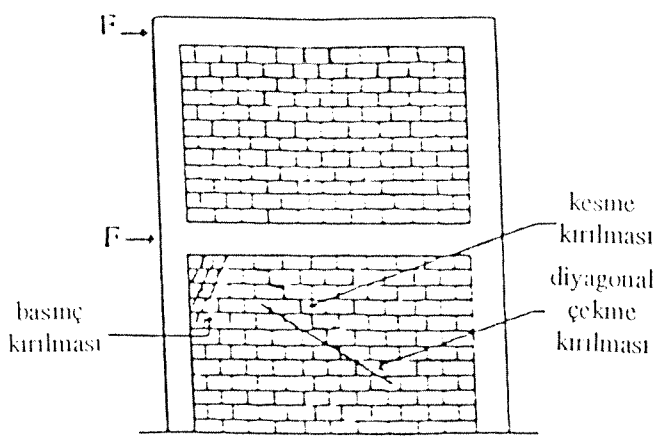


Şekil 4. Dolgu Duvarlı Çerçevenin Yatay Yük Altındaki Davranışı.



Şekil 5. Dolgu Duvarlı Çerçevenin Basınç Çubuklu Modeli.

Yatay yük arttıkça ya dolgu duvar ya da çerçeve elemanları hasara maruz kalır. Dolgu duvarlar üç modda kırılır (Şekil 6.).



Şekil 6. Dolgu Duvarın Kırılma Modları.

1) Kesme çatlağı kırılması: Bu modda kırılma tuğla ve harç birleşim yerlerinde aşağı doğru merdiven basamağı şeklinde olur.

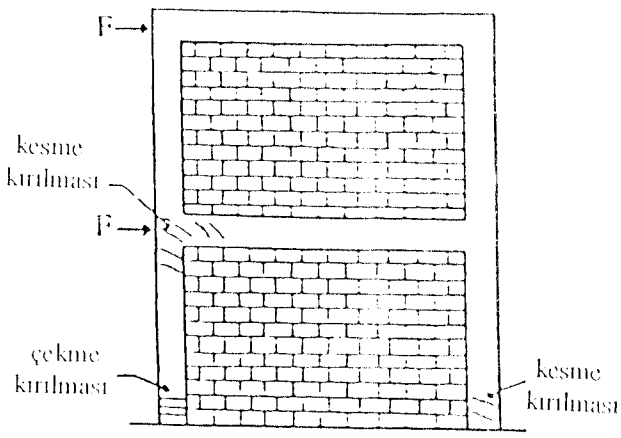
2) Diyagonal çekme çatlağı kırılması: Bu modda kırılma bir veya birkaç çizgi şeklinde basınç alan diyagonal boyunca olur.

3) Basınç kırılması: Bu modda basınç alan duvar uçlarının birinde yüksek basınç gerilmeleri neticesinde ezilmeler meydana gelir.

Eğer, dolgu duvar çerçeve elemanlarına göre relatif olarak kuvvetli ise, hasar çerçeve elemanlarında meydana gelir. Çerçeve elemanları için iki tür hasar modu görülür. (Şekil 7):

1) Basınç kuvvetinin uygulandığı taraftaki kolonda çekme gerilmeleri sonucunda oluşan hasar.

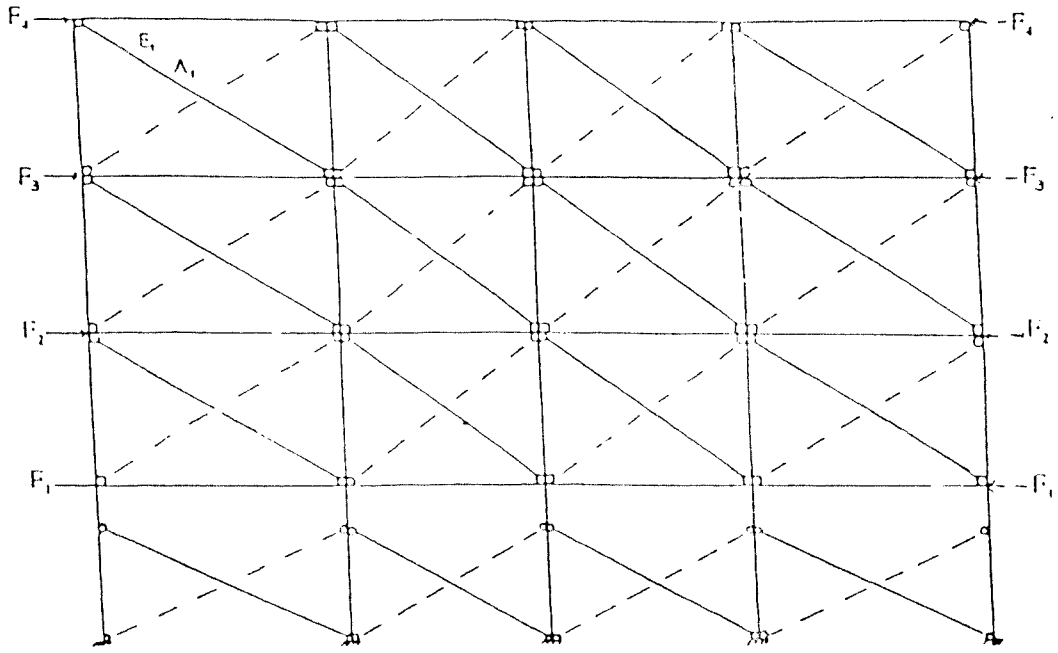
2) Kolonlarda, kirişte veya birleşim yerlerinde kayma gerilmeleri neticesinde oluşan hasar.



Şekil 7. Betonarme Çerçeve Elemanlarının Kırılma Modları.

Basınç çubuğu metodu dolgu duvarlı çerçeve hesabında olduğu gibi dolgu duvarlı

binaların analizinde de kullanılabilir. Şekil 8'de bir bina çerçevesinin dolgu duvarları gözönüne alınarak modellenmesi gösterilmiştir.



Şekil 8. Basınç Çubuğu Metodunun Bina Çerçevesine Uygulanması.

Dolgu duvarların bina yapısal sistemi içindeki davranışını etkileyen bir çok faktör vardır (Şekil 9). Dolgu duvarın diyagonal dayanımı ve rijitliğinin dolgu duvar boyutlarına, fiziksel özelliklerine ve yük uygulanan taraftaki kolonla olan temas uzunluğuna bağlı olduğu gösterilmiştir (Stafford Smith, 1966). Temas uzunluğu, α, dolgu duvar ve çerçevenin relatif rijitliklerine bağlıdır ve aşağıdaki denklemle ifade edilir.

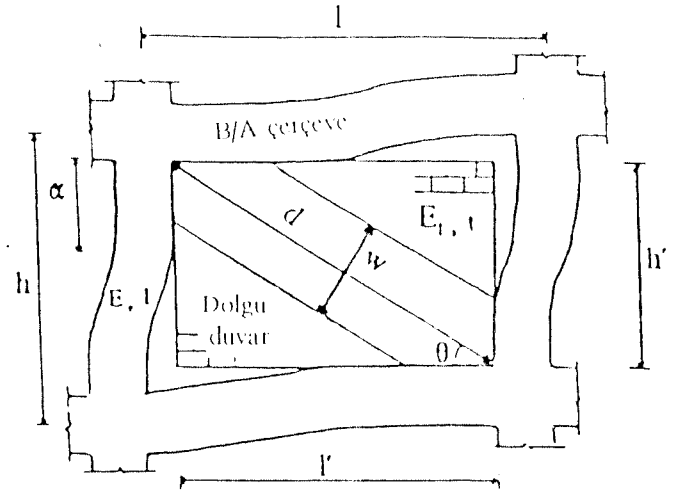
$$(\alpha/h) = [\pi/(2*\lambda h)] \qquad (1)$$

Yukarıdaki denklemde, λh çerçeve/dolgu duvar relatif rijitliğini gösteren boyutsuz bir

parametredir. λ (Stafford Smith, 1966) aşağıdaki denklemle ifade edilir.

$$\lambda = [(E_I * t * \sin 2\theta) / (4 * E * I * h')]^{1/4} \qquad (2)$$

Denklem (2)'de E ve I, sırasıyla çerçevenin elastisite modülü ve kolonun atalet momentidir. E_I, t ve h', sırasıyla dolgu duvarın elastisite modülü, kalınlığı ve yüksekliğidir. θ ise dolgu duvar diyagonali ile yatay arasında kalan açıdır. Yukarıdaki iki denklemde, λ, elastik zemine oturan kiriş teorisinde kullanılan karakteristik değere benzer bir semboldür.



Şekil 9. Dolgu Duvarlı Çerçeve Parametreleri.

Relatif rijitlik parametresi, λh, dolgu duvarlı çerçevenin yatay yük altındaki davranışının tahmini için en önemli değerdir. Kırılma dayanımı, kırılma modu ve efektif basınç çubuğu alanı relatif rijitlik parametresinin bir fonksiyonu olarak ifade edilebilir. Denklem (2)'de, λ'nın bulunmasında tek güçlük dolgu duvarın elastisite modülünün tespitidir. Dolgu duvar kompozit bir malzeme oldugu için, elastisite modülü dolgu duvar biriminin,

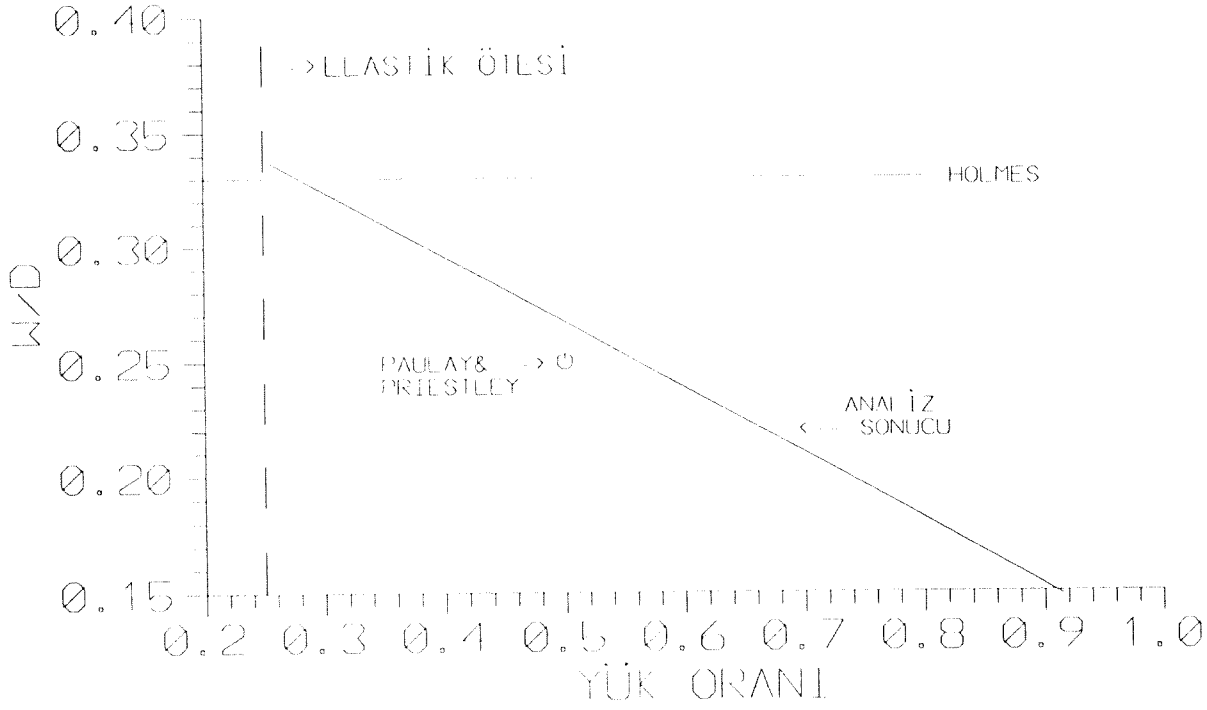
harcın ve sıvanın özelliklerine bağlıdır. Bu konudaki deneysel araştırmalar (Sahlin, 1971; Bayülke, 1978) göstermiştir ki dolgu duvarın elastisite modülü, dolgu duvar biriminin basınç dayanımı ve harcın tipine bağlıdır. Literatürde, sıvanın etkisini gözönüne alan bir çalışmaya rastlanmamıştır. Bu nedenle sıvanın etkisi, analiz sonucunda nisbi olarak hesaba katılabilir. Araştırmaların ışığında aşağıdaki denklemlerin dolgu duvarın elastisite modülünün tespitinde kullanılabileceği kararlaştırılmıştır.

Kireç harçlı dolgu duvar; $E_I = 500*(f_c)_I$ (3)

Çimento harçlı dolgu duvar; $E_I = 1000*(f_c)_I$ (4)

Denklem (3) ve (4)'te, $(f_c)_I$ dolgu duvar biriminin basınç dayanımıdır. Dolgu duvarın elastisite modülü, bunları basınç çubuğu olarak modelde gözönüne alabilmek için gereken iki parametreden birisidir.

Efektif basınç çubuğu alanı, A_I, ise basınç çubuğu modeli için gereken ikinci parametredir. Efektif basınç çubuğu alanı, dolgu duvarın kalınlığıyla, t, efektif dolgu duvar genişliğinin, w, çarpılmasıyla bulunur. Bu nedenle, birimsiz parametre, w/d, efektif basınç çubuğu alanının tespiti için önemli bir parametredir. Burada d dolgu duvarı simgeleyen çubuğun uzunluğudur. Birimsiz parametre, w/d'yi etkileyen faktörler relatif rijitlik parametresi, λh, dolgulu çerçevenin açıklığının yüksekliğine oranı, l/h, ve diyagonal çubukta herhangi bir andaki yükün, R_I diyagonal basınç kırılması yüküne, R_C oranıdır. Sonuç olarak dolgulu bir çerçevenin efektif basınç çubuğu alanı tüm yük seviyeleri boyunca değişkendir (Şekil 10.). Yüklenmemiş durumda, $R_I/R_C=0$, efektif basınç çubuğu alanı en fazladır. Basınç kırılması durumunda, $R_I/R_C=1$, ise efektif basınç çubuğu alanı en az olur.



Şekil 10. Dolgu Duvarlar için Efektif Genişlik Tahminlerinin Karşılaştırılması.

Basınç diyagonalindeki yük arttıkça artan çatlaklar ve duvardaki ezilmeler efektif çubuk alanının azalmasına yol açar. Bu demektir ki R_I/R_C oranı belli bir değeri aşınca, dolgu duvarın davranışı elastikten plastiğe geçer. Herhangi bir dolgu duvar için R_I değeri R_F değerine eşit veya büyük ise duvar kırılmış sayılır. Bu nedenle bir dolgu duvarın taşıyabileceği en fazla diyagonal basınç R_I, R_F'e eşittir. Basınç çubuğu metodu dolgu duvarlı çerçevelerin sadece elastik analizinde kullanılabileceği için yük oranı R_F/R_C 0.25'ten küçük ise dolgu duvarı elastik olarak kabul etmek, bu oranın üzerinde plastik kabulü yapmak pratik ve güvenilir bir yaklaşımdır (Stafford Smith ve Carter 1969). R_F/R_C oranında R_F dolgu duvarın kırılma yükü, R_C ise dolgu duvarın basınçtan kırılma yüküdür. Elastik limitte, dolgu duvar ya kesme çatlağı modunda yada diyagonal çekme çatlağı modunda kırılabilir, basınç kırılması

ise elastik olmayan kırılma modudur.

Dolgu duvarlı çerçevenin yatay dayanımını bulurken çerçeve ve dolgu duvar kırılma modlarından en zayıfı kırılma modu olarak alınır. Dolgu duvarın her üç kırılma modunu da etkileyen faktörler relatif rijitlik parametresi λh, dolgu duvarlı çerçevenin açıklığının yüksekliğine oranı l/h, kat yüksekliği h ve dolgu duvarın kalınlığı t'dir. Bunların yanısıra kırılma moduna bağlı ve dolgunun fiziksel özellikleri olan faktörler de vardır. Basınç kırılması yükü R_C, dolgu duvarın basınç kırılma dayanımına f_c'; diyagonal çekme kırılması yükü R_T, dolgu duvarın çekme kırılma dayanımına f_t'; kesme çatlağı kırılması yükü R_S, dolgu duvarın aderans dayanımına f_{bs}' ve dolgu duvar birimi ile harç arasındaki iç sürtünme katsayısına μ bağlıdır. Kırılma yükü R_F ve kırılma modu R_C, R_T ve R_S yüklerinin en az olanına eşittir.

Tüm inşaat mühendisliği işlerinde olduğu gibi dolgu duvarların davranışı işçiliğin ve şantiyede kullanılan duvar malzemelerinin kalitesine bağlıdır. Özellikle dolgu duvar biriminin fiziksel özelliklerindeki büyük farklılıklara dikkat edilmelidir (Bayülke 1978).

Kapı ve pencere boşluklu dolgu duvarlar için yukarıdaki parametrelere ek olarak boşluk alanının tüm duvar alanına oranı ve boşluğun duvar üzerindeki yeri önemli faktörlerdir. Bu tür duvarlar için basınç çubuğu metodu hipotetik eşdeğer diyagonal çubuklar kullanılarak uygulanabilir. Boşluklu dolgu duvarların eşdeğer çubuk alanları ve kırılma yükleri boşluksuzlara göre daha azdır. Bu yüzden boşluklu dolgu duvarların eşdeğer çubuk alanları ve kırılma yükleri yukarıdaki parametreler gözönüne alınarak azaltma faktörü 'r' kadar azaltılır. Azaltma faktörü 'r' deneysel çalışmalar baz alınarak önerilmiş ve Tablo 1, 2 ve 3'te

gösterilmiştir. Bu faktör 5 ve 6 no.lu denklemlerde yerine konularak eşdeğer çubuk alanı ve kırılma yükü bulunur.

$$(A_i)_{OP} = r * A_i \quad \text{.....} \quad (5)$$

$$(R_i)_{OP} = r * R_i \quad \text{.....} \quad (6)$$

yukarıdaki denklemlerde $(A_i)_{OP}$ ve $(R_i)_{OP}$ boşluklu dolgu duvarlar için eşdeğer çubuk alanını ve kırılma yükünü temsil etmektedirler.

Tablo 1. Kapı Boşluklu Dolgu Duvarlar için Azaltma Faktörleri.

A_{OP}/A_{TOTAL} (%)	Boşluğun Yeri	
	Boşluk orta bölgede iken 'r' faktörü	Boşluk kolonlara yakın iken 'r' faktörü
0	1.00	1.00
10	0.40	0.50
20	0.20	0.30
30	0.10	0.20
40	0.05	0.10
50	0.00	0.0

Tablo 2. Pencere Boşluklu Dolgu Duvarlar için Azaltma Faktörleri.

A_{OP}/A_{TOTAL} (%)	Boşluğun Yeri	
	Boşluk orta bölgede iken 'r' faktörü	Boşluk kolonlara yakın iken 'r' faktörü
0	1.00	1.00
5	0.75	0.80
10	0.60	0.70
20	0.40	0.50
30	0.25	0.25
40	0.10	0.10
50	0.00	0.00

Kısmi dolgu duvarlar için literatürde basınç çubuğu metodunu kullanan deneysel bir çalışmaya rastlanmamıştır. Kısmi dolgu duvarlar için eşdeğer diyagonal çubukların kullanılması Klingner ve Bertero (1976) tarafından analitik olarak önerilmiştir. Wasti ve Gülkan (1993) analitik çalışmalarının ışığında kısmi dolgu duvarların çerçeve sisteminin rijitliğine katkılarının A_{OP}/A_{TOTAL} oranı .40'dan büyük olunca önemsiz olduğunu ifade etmişlerdir. Kısmi dolgu duvarlar için azaltma faktörleri Tablo 3'te verilmiştir.

Tablo 3. Kısmi Dolgu Duvarlar için Azaltma Faktörleri.

A_{OP}/A_{TOTAL} (%)	'r' faktörü
0	1.00
5	0.75
10	0.60
20	0.40
30	0.25
40	0.10
50	0.00

Tablo 1, 2 ve 3'te verilen azaltma faktörlerinin açıklamaları şöyle yapılabilir.

Kapı ve pencere boşluklu dolgu duvarlar için,

- A_{OP}/A_{TOTAL} oranı arttıkça, eşdeğer çubuk alanı azalır.

- Dolgu duvardaki boşluğun yeri kolonlara yaklaştıkça, eşdeğer çubuk alanı artar. Eğer boşluk orta bölgede ise eşdeğer çubuk alanı en düşük değeri alır. Çünkü, deprem esnasında dolgu duvarın her iki diyagonalide basınca maruz kalabilir ve orta bölge her iki diyagonalinde etki alanındadır. Bu yüzden orta bölge kolonlara yakın bölgeye göre daha kritiktir. Kısmi dolgu duvarlar için A_{OP}/A_{TOTAL} oranı arttıkça, eşdeğer çubuk alanı azalır.

6. DOLGU DUVARLI BİNALAR İÇİN PARAMETRİK ÇALIŞMALAR

Dolgu duvarlı yapı çerçevelerinin parametrik olarak çalışılması için 'INFILL' adında bir bilgisayar programı geliştirilmiştir. Bu çalışmaların ışığında, Türkiye'deki dolgu duvarlı çerçevelerin relatif rijitlik parametrelerinin,λh, 1 ile 7 arasında değiştiği belirlenmiştir. Eğer λh değeri 4'ten küçükse, bu durum zayıf dolgu duvar/kuvvetli çerçeve kombinasyonunu gösterip, özellikle delikli dolgu duvar birimi ile örülmüş dolgu duvarlar için geçerlidir. Diğer taraftan, eğer λh değeri 4 ile 7 arasında ise, bu durum orta dayanımlı dolgu duvar/orta dayanımlı çerçeve kombinasyonunu gösterip, özellikle dolu dolgu duvar birimi ile örülmüş dolgu duvarlar için geçerlidir.

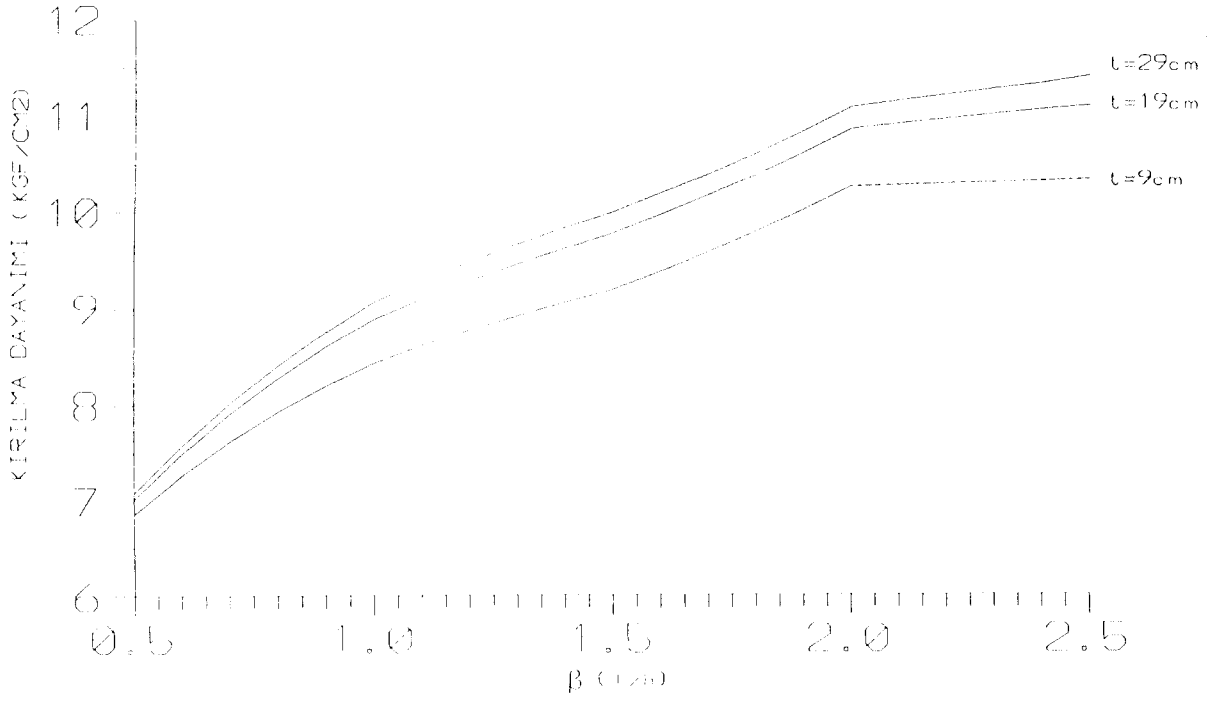
Türkiye'deki dolgu duvarlar için kesme çatlağı kırılması modu dominant moddur. Bu nedenle dolgu duvarlı çerçevenin kırılma yükü ve dayanımı esas olarak duvarın aderans dayanımı ve duvar birimi ile harç arasındaki içsel sürtünme katsayısının fonksiyonudur. Literatürdeki çalışmalarda aderans dayanımının 100 kN/m^2 ile 400 kN/m^2 arasında değiştiği görülmüştür. Çimento harçlı dolgu duvarların aderans dayanımı kireç harçlı dolgu duvarlara nazaran daha fazladır. Dolu dolgu duvar birimi ile örülmüş duvarlar için içsel sürtünme katsayısı 0.6 ve delikli dolgu duvar birimi ile örülmüş duvarlar için iç sürtünme katsayısı sıfır olarak alınabilir (Stafford Smith ve Carter, 1969). Türk Standartlarında dolgu duvar biriminin sadece basınç dayanımı, $(f_c)_T$ verilmektedir. Dolgu duvarın basınç mukavemeti, f_c' ise aşağıdaki formüllerle hesaplanabilir (Bayülke, 1978).

Kireç harçlı dolgu duvarlar; $f_c' = 0.25 * (f_c)_T$ ... (5)

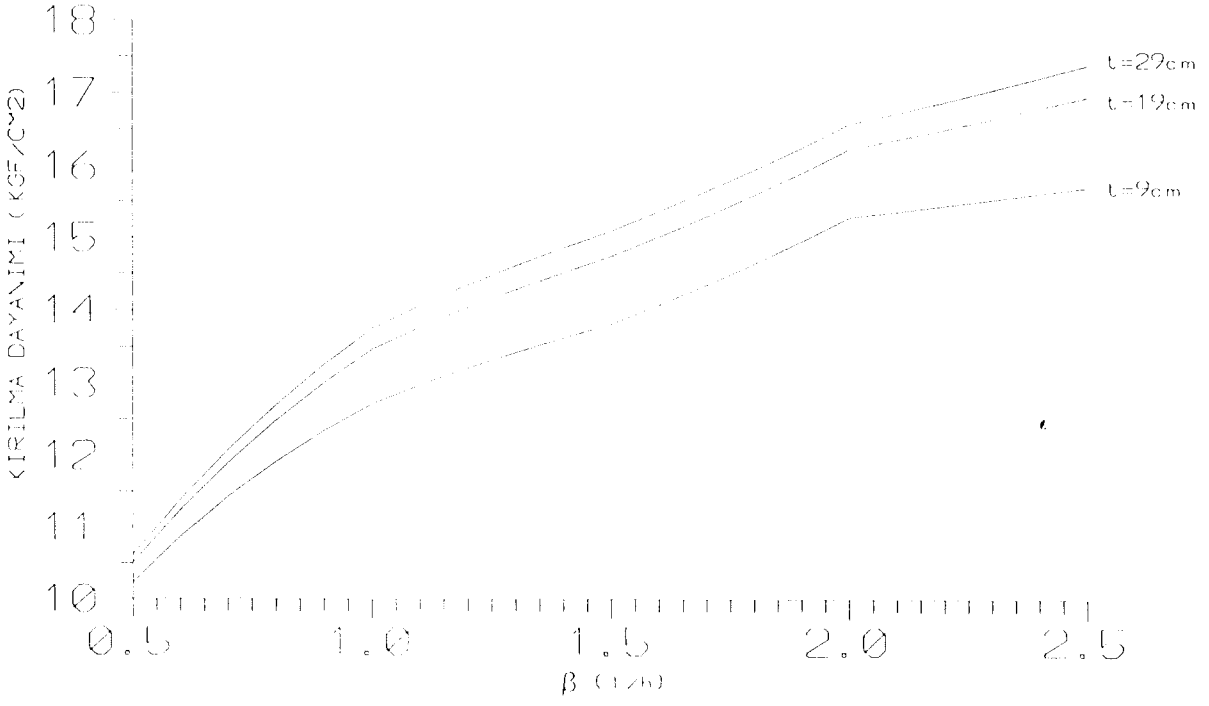
Çimento harçlı dolgu duvarlar; $f_c' = 0.50 * (f_c)_T$ ... (6)

Dolgu duvarın çekme dayanımı, f_t' basınç dayanımının, f_c' onda biri olarak alınabilir.

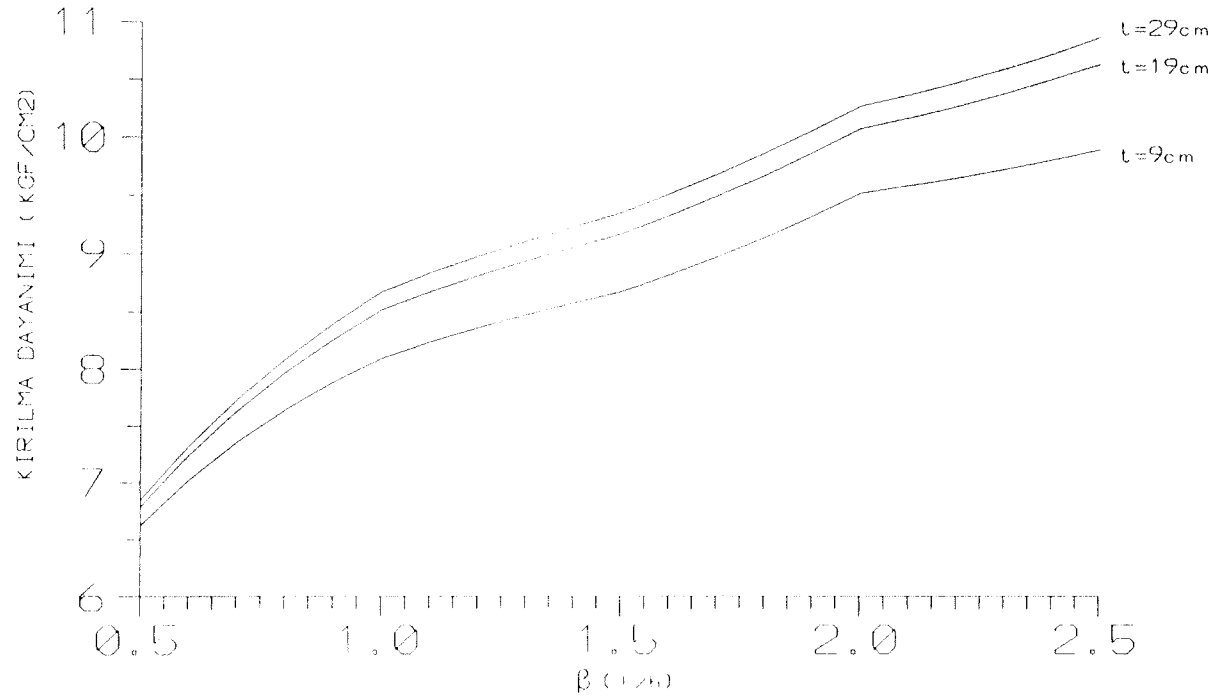
Türkiye'de kullanılan dolgu duvarların mekanik özelliklerini baz alarak, betonarme binalardaki dolgu duvarlar için standart eğriler geliştirilmiştir. Türkiye'de kullanılan çeşitli dolgu duvar tiplerinin kırılma dayanımları β oranı cinsinden Şekil 11'den Şekil 20'ye kadar verilmiştir.



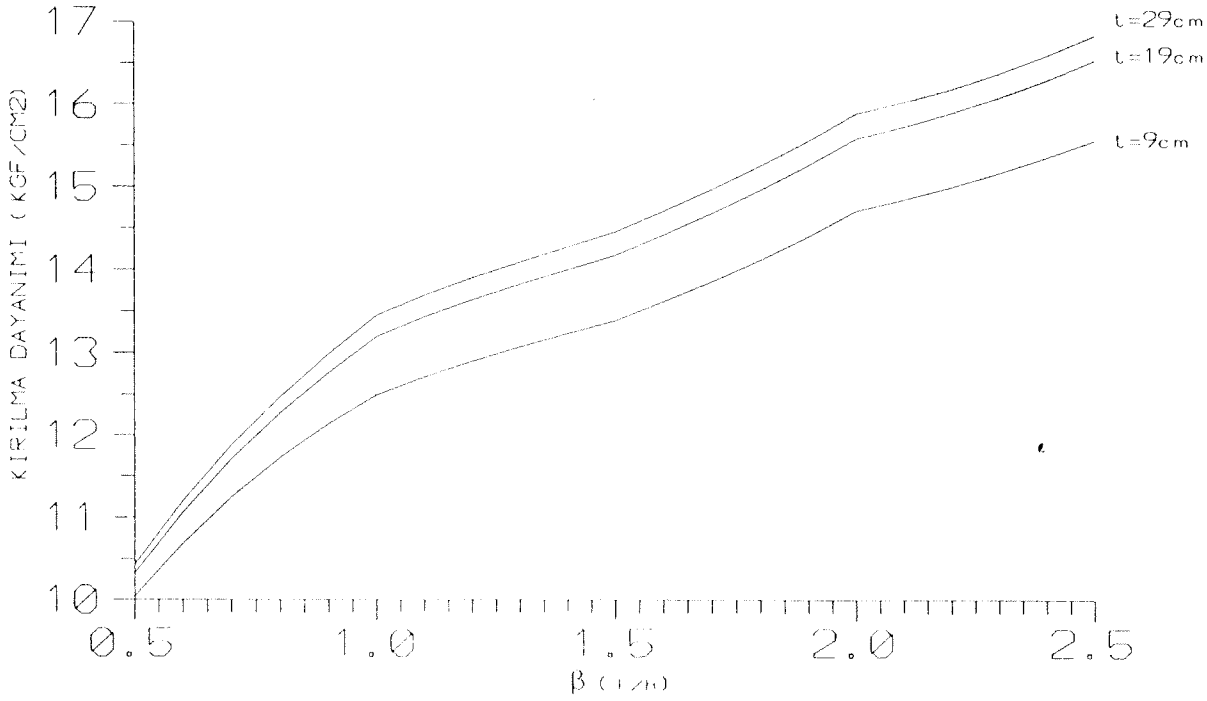
Şekil 11. Dolu Tuğla (1.8/100) ve Kireç Harcı ile Örülen Dolgu Duvar için Kırılma Dayanımı/β Oranı Eğrileri.



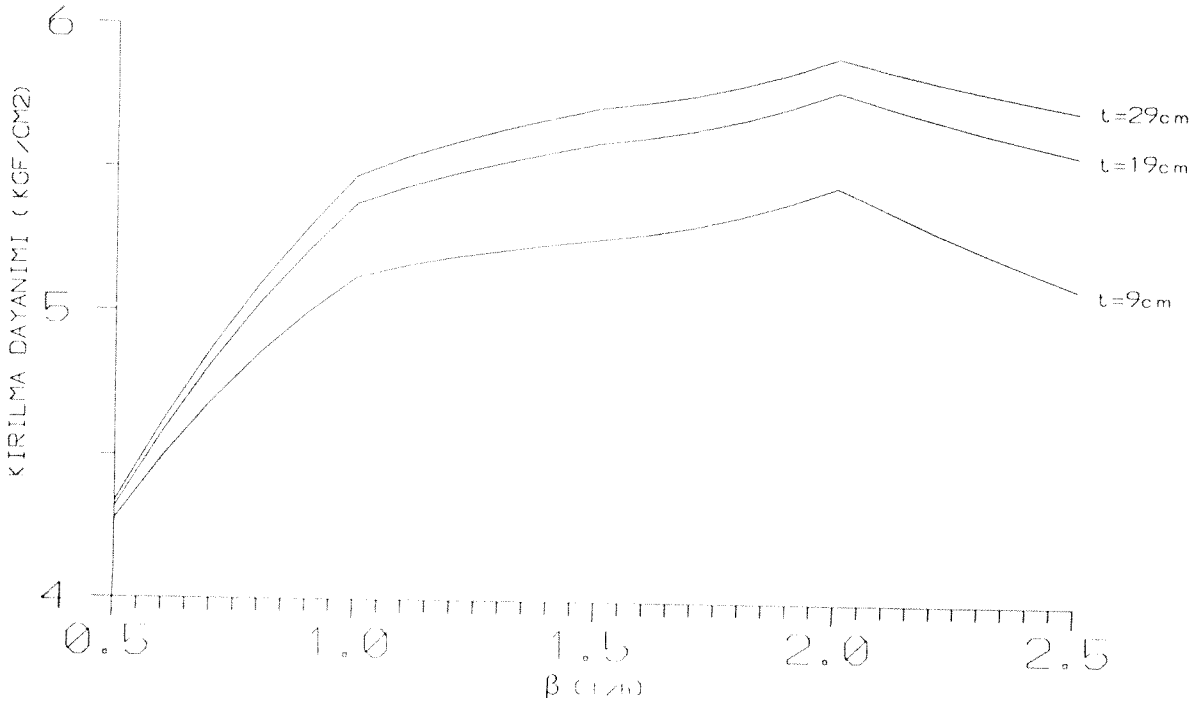
Şekil 12. Dolu Tuğla (1.8/100) ve Çimento Harcı ile Örülen Dolgu Duvar için Kırılma Dayanımı/β Oranı Eğrileri.



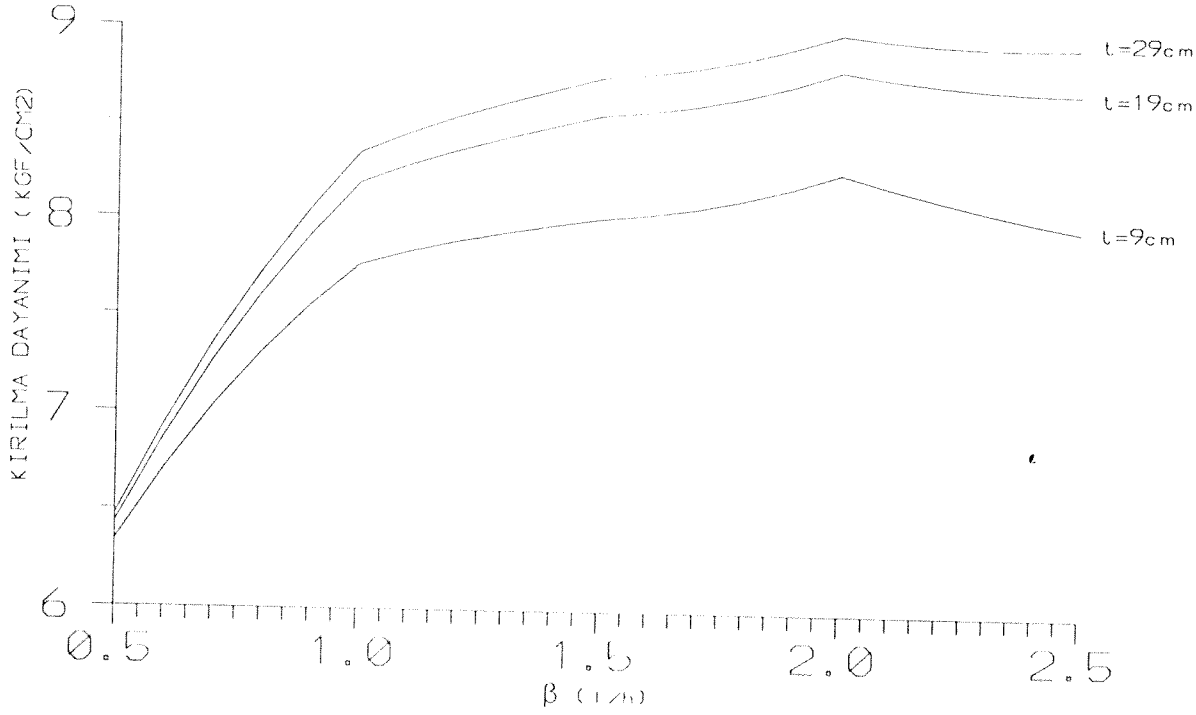
Şekil 13. Dolu Tuğla (2.0/240) ve Kireç Harcı ile Örülen Dolgu Duvar için Kırılma Dayanımı/β Oranı Eğrileri.



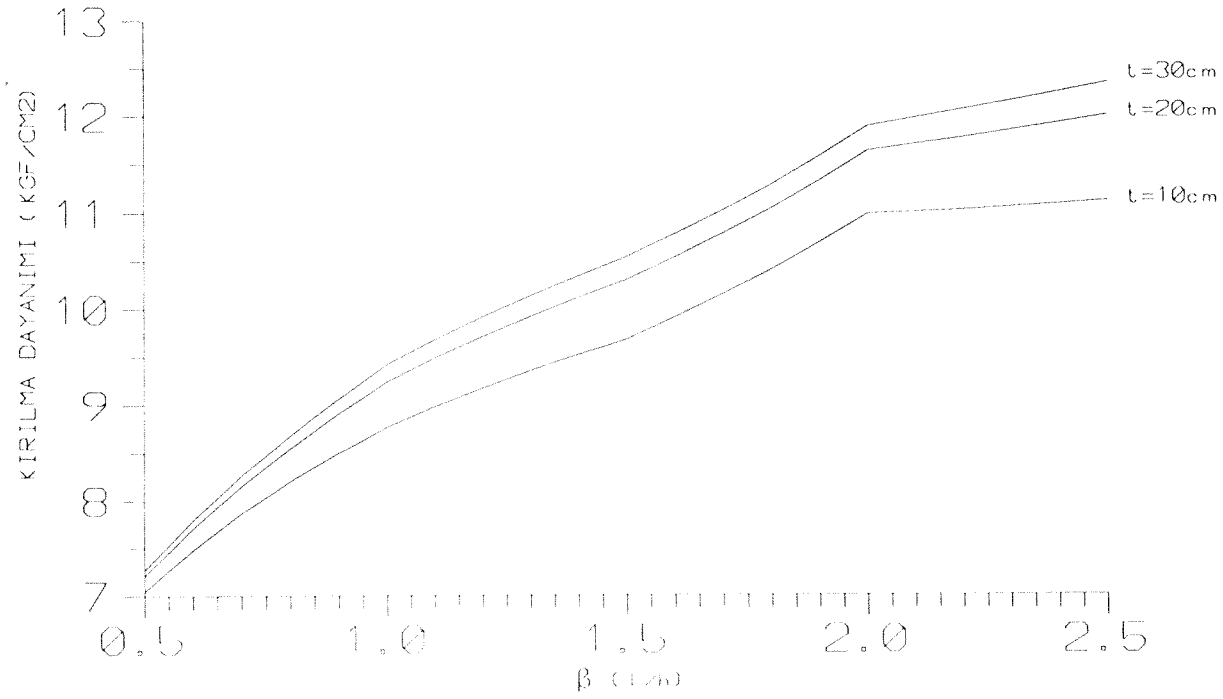
Şekil 14. Dolu Tuğla (2.0/240) ve Çimento Harcı ile Örülen Dolgu Duvar için Kırılma Dayanımı/β Oranı Eğrileri.



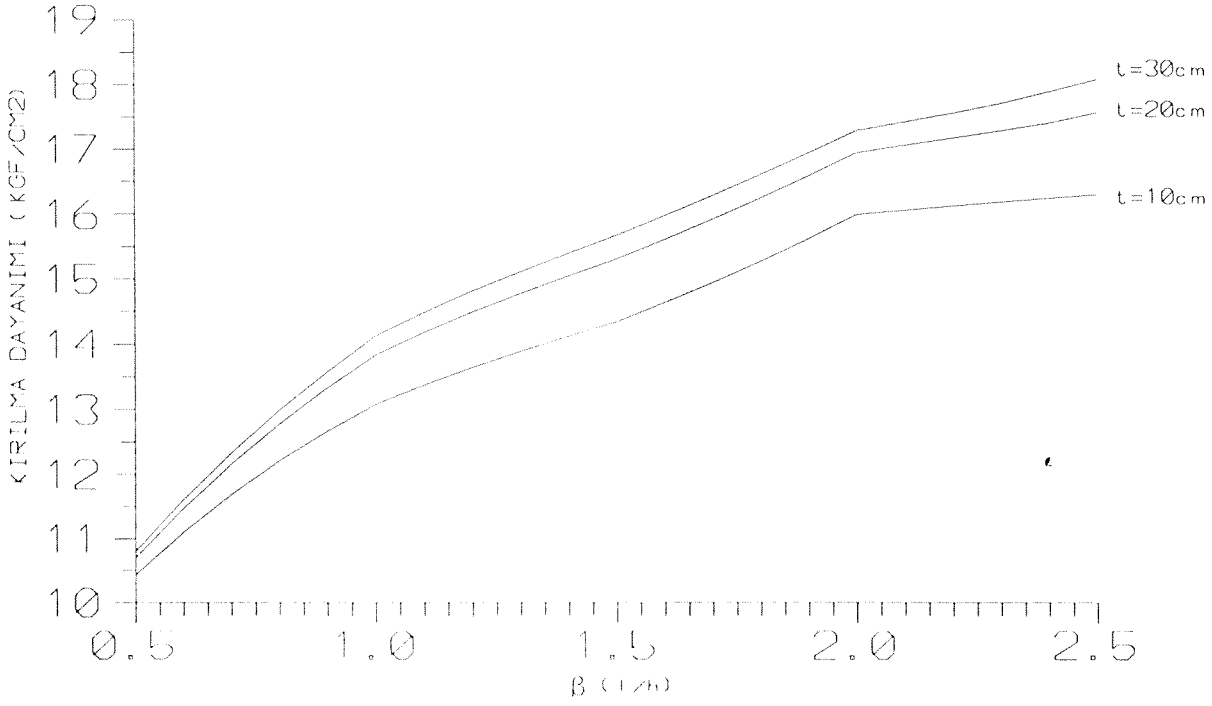
Şekil 15. Delikli Tuğla (7.5) ve Kireç Harcı ile Örülen Dolgu Duvar için Kırılma Dayanımı/β Oranı Eğrileri.



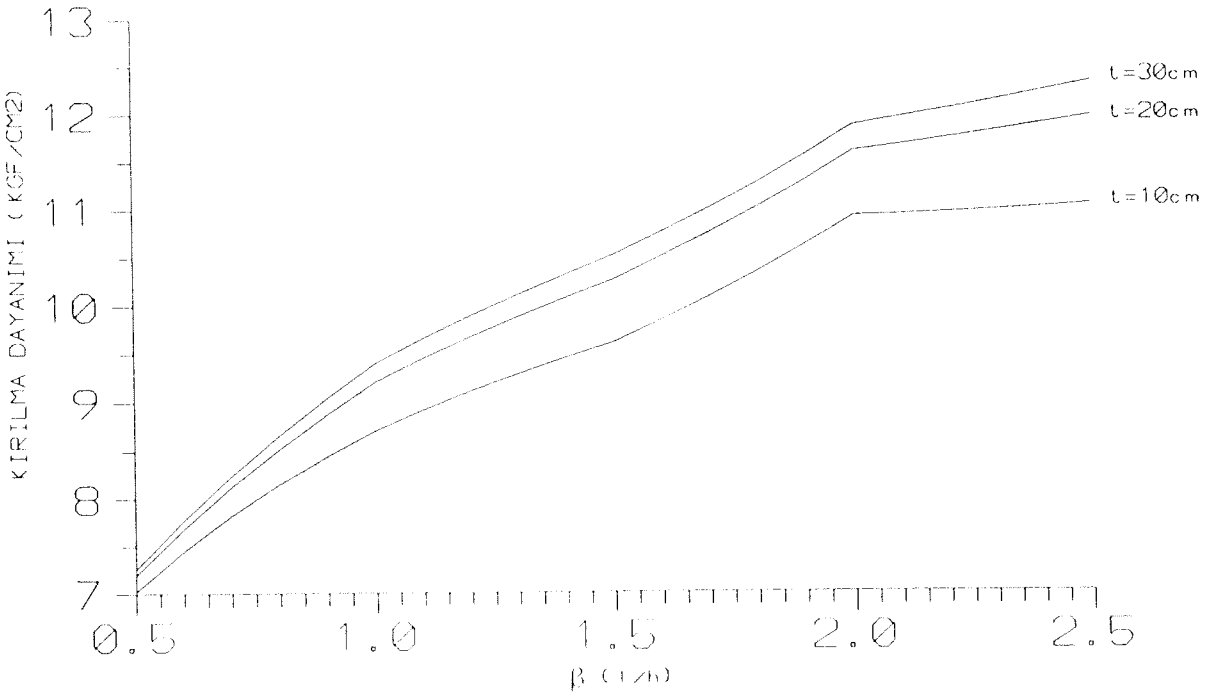
Şekil 16. Delikli Tuğla (7.5) ve Çimento Harcı ile Örülen Dolgu Duvar için Kırılma Dayanımı/β Oranı Eğrileri.



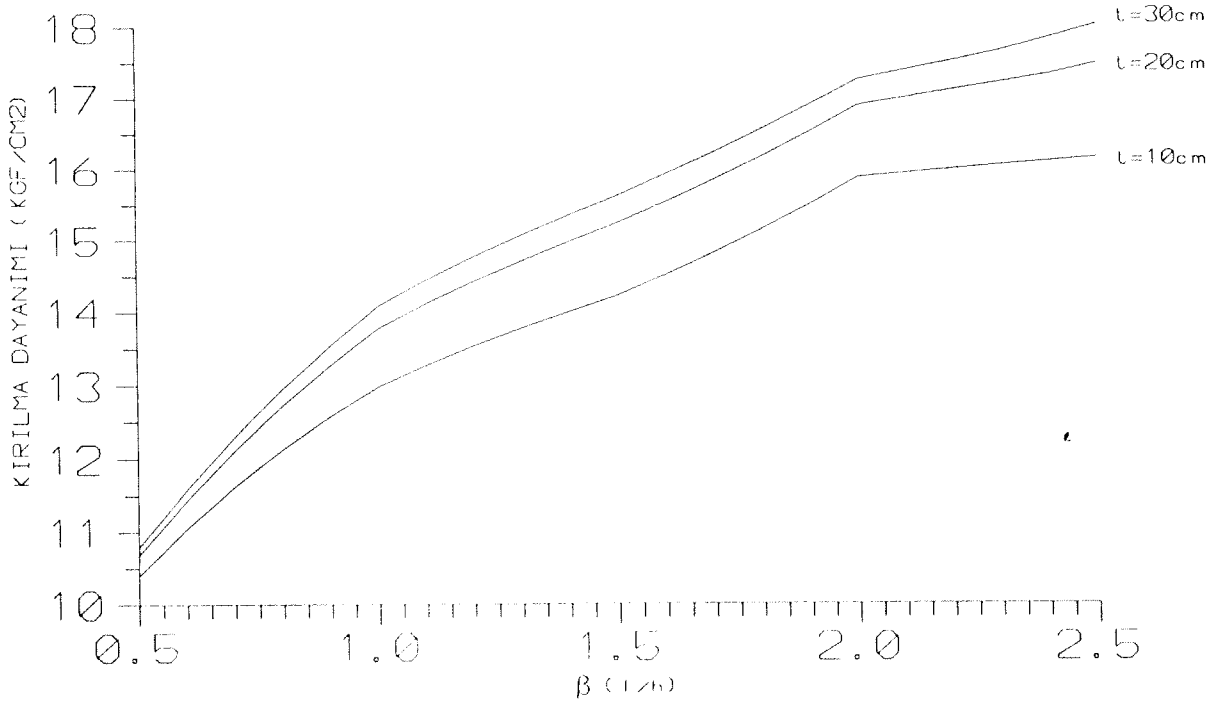
Şekil 17. Beton Blok (BB6) ve Kireç Harcı ile Örülen Dolgu Duvar için Kırılma Dayanımı/β Oranı Eğrileri.



Şekil 18. Beton Blok (BB6) ve Çimento Harcı ile Örülen Dolgu Duvar için Kırılma Dayanımı/β Oranı Eğrileri.



Şekil 19. Gaz Beton (G6) ve Kireç Harcı ile Örülen Dolgu Duvar için Kırılma Dayanımı/β Oranı Eğrileri.



Şekil 20. Gaz Beton (G6) ve Çimento Harcı ile Örülen Dolgu Duvar için Kırılma Dayanımı/β Oranı Eğrileri.

Eğrilerin incelenmesinden aşağıdaki sonuçlar çıkarılabilir:

- Dolgu duvarın kalınlığı arttıkça kırılma dayanımı artar.

- Dolgu duvarın β oranı arttıkça kırılma dayanımı artar.

- Dolgu duvarın kırılma dayanımı harcın tipine bağlıdır. Çimento harçlı dolgu duvarın kırılma dayanımı kireç harçlı dolgu duvarın kırılma dayanımından yaklaşık %50 daha fazladır.

- Aynı dolgu duvar birimi için basınç dayanımı arttıkça kırılma dayanımı düşer. (Stafford Smith and Carter, 1969).

- Dolgu duvarın kırılma dayanımı kullanılan dolgu duvar biriminin tipine bağlıdır. Dolu tuğla ile örülmüş dolgu duvarın kırılma dayanımı delikli tuğla ile örülmüş olanın yaklaşık iki katıdır. Gaz beton ve beton blokların kırılma dayanımları dolu tuğlanın kırılma dayanımından biraz fazladırlar.

Eğrilerde dolgu duvarın kırılma dayanımına sıvanın etkisi gözönüne alınmamıştır. Literatürde bu etkinin gözönüne alındığı güvenilir bir araştırmaya rastlanmamıştır. Bu nedenle, sıvanın etkisini gözönüne almak için, pratik amaçlı olarak basınç çubuğu metoduyla bulunan kırılma dayanımının %5 arttığı varsayılabilir.

7. DOLGU DUVARLI BİNALAR İÇİN DEPREM HESABI TEKNİĞİ

Taşıyıcı olmayan dolgu duvarlar için tasarım mühendislerinin kullanabileceği üç boyutlu bir deprem hesabı tekniği geliştirilmiştir. Dolgu duvarlar hipotetik alan ve elastisite modülüne sahip basınç çubuklarıyla modellenmektedir. Üç boyutlu yapı modeli eşdeğer yatay statik yük prensibine göre elastik olarak incelenmiştir. Önce tüm dolgu duvarlar iki diyagonal çubukla gösterilir. Basınç çubuklarını belirlemek için her iki diyagonal çubuğun bulunduğu model için ilk bir çözüm yapılır. Bunun sonunda çekme kuvvetine maruz kalan çubuklar alanları sıfıra eşitlenerek modelden çıkarılır. Böylece basınç çubuklu üç boyutlu yapı modeli elde edilir. Sonra bu model eşdeğer statik yatay yüke göre hesaplanır. Bu model tüm dolgu duvarların sağlam olduğu ilk durumu gösterir. Bu hesabın sonuçları kullanarak çubuklardaki basınç kuvvetleri çubuk kırılma yüküyle karşılaştırılır ve en düşük pursantajdaki statik deprem yükünde kırılan basınç çubuğu tesbit edilir. Sonra bu çubuk modelden alanı sıfıra eşitlenerek modelden çıkarılır. Çubuğun kırılması dolgu duvarın kırıldığını ve yapısal modelin değiştiğini gösterir. Sonuç olarak yeni model diğer dolgu duvarlarının kırılma sıralarını belirlemek için eşdeğer statik deprem yüküne göre hesap edilir. Modelin her değişiminde çubukların basınç yükü alıp almadıkları kontrol edilir. Eğer çubukta çekme kuvveti çıkmış ise diğer diyagonal aktive edilir. Eşdeğer statik deprem yükü altında kalan çubuklarda oluşan basınç kuvvetleri kırılma yüklerinden az olana kadar analizler tekrarlanır. Böylece elastik limitte dolgu duvarlar için ardışık kırılma sırası bulunmuş olur. En son olarak tüm dolgu duvarların alanları sıfıra eşitlenerek dolgu duvarların yapı analizinde gözönüne alınmadığı durum için eleman uç kuvvetleri tesbit edilir. Bu son analiz halihazırda tasarım mühendisleri tarafından uygulanan yöntemdir.

Yapısal elemanlar için en elverişsiz eleman uç kuvvetleri (kuvvet zarfları) binanın tüm dolgu duvarları gözönüne alınarak, ardışık kırılma adımları gözönünde bulundurularak ve dolgu duvarların olmadığı durumlara göre belirlenir. Tasarımı tamamlamak böylece hesaplanan eleman uç kuvvet değerleri (kuvvet zarfları) düşey yük hesabının sonuçlarıyla birleştirilir.

Önerilen tekniğin uygulanabilmesi için "SAP90" bilgisayar programıyla kullanılmak üzere ön işlemci "INFILL" ve art işlemci "ENVELOPE" programları geliştirilmiştir.

Ön işlemci program "INFILL" , "SAP90" programı tarafından dolgu duvar modellemesinde kullanılacak basınç çubuğu verilerini hesaplar. Program her dolgu duvar için aşağıdaki işleri yapar:

- Denklem (3) ve (4)'ü kullanarak eşdeğer elastisite modülünün hesabı.
- Relatif rijitlik parametresinin bulunması.
- Kırılma yükünün hesabı.
- Eşdeğer basınç çubuğu alanının bulunması.

Kullanıcı buna ek olarak SAP90 programı için gerekli üç boyutlu yapısal modeli hazırlamalıdır.

Art işlemci program "ENVELOPE" esas olarak eleman uç kuvvetlerinin hesabı için kullanılır. Program her SAP90 analizi sonucunda elde edilen kuvvet çıktı dosyasını kullanır ve aşağıdaki işleri yapar:

- Kırılan basınç çubuklarını tesbit eder ve alanlarını sıfır yaparak SAP90

girdi dosyasındaki yapısal modelden çıkarır.

- Uç kuvvet zarf değerlerini eleman uç kuvvet dosyasına karşılık gelen yük durumu numarasına göre işler.

- Yeni modelde çekme kuvvetine maruz kalan basınç çubuklarını gerekirse diğer yöndeki çubukla değiştirir.

Önerilen teknikle ilgili işlemler için "Makro Akış" diyagramı Şekil 21.'de gösterilmiştir.

Art işlemci tarafından üretilen uç kuvvetleri dosyası aşağıdaki bilgileri içerir:

Kolonlar ve perdeler için:

(a) Maksimum eksenel kuvvet ve buna karşılık gelen moment değerleri ile yük durumu numarası.

(b) Minimum eksenel kuvvet ve buna karşılık gelen moment değerleri ile yük durumu numarası.

(c) Maksimum moment ve buna karşılık gelen eksenel kuvvet değerleri ile yük durumu numarası.

(d) Minimum moment ve buna karşılık gelen eksenel kuvvet değerleri ile yük durumu numarası.

(e) Maksimum kesme kuvveti değeri ve karşılık gelen yük durumu numarası.

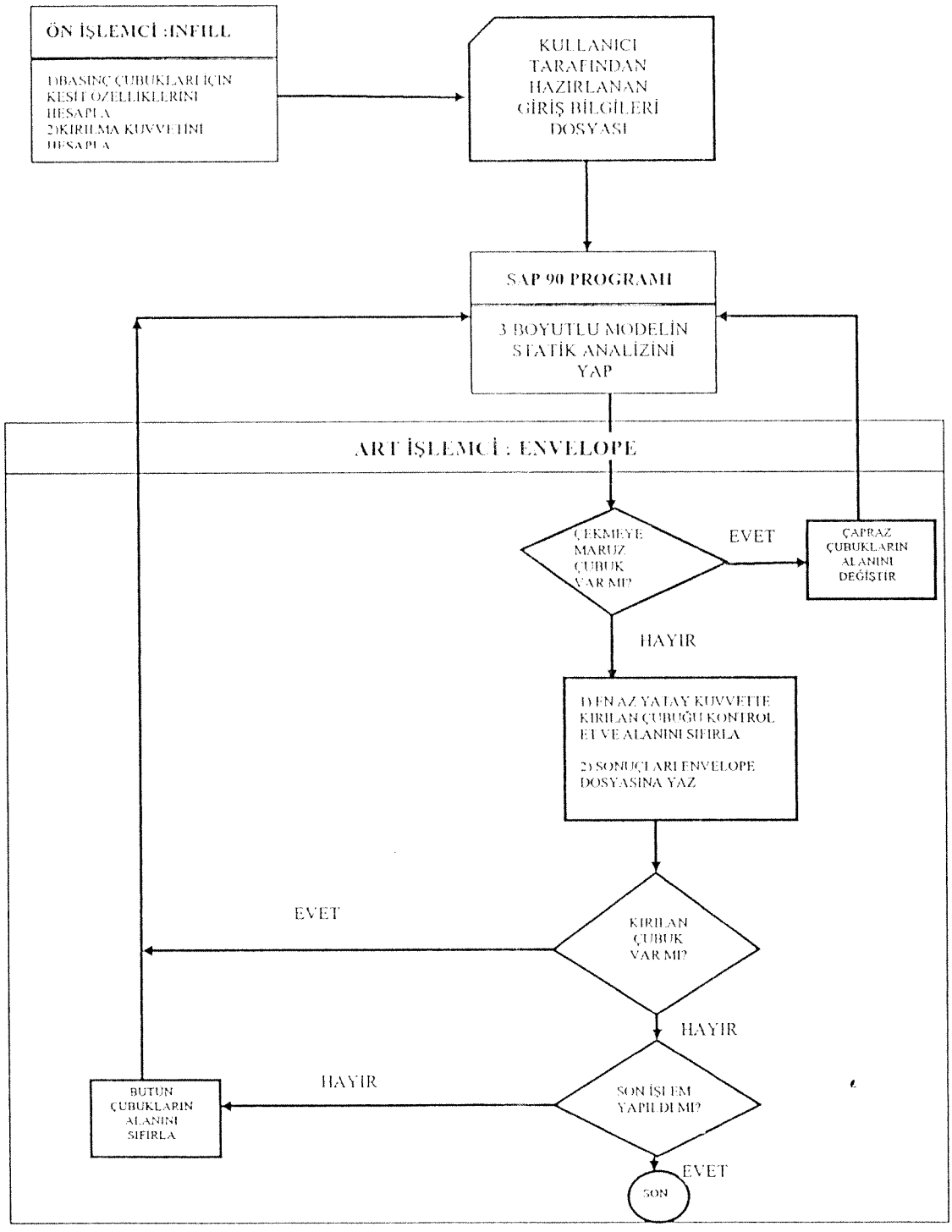
Kirişler için:

(a) Maksimum moment ve buna karşılık gelen eksenel kuvvet değerleri ile yük

durumu numarası.

(b) Minimum moment ve buna karşılık gelen eksenel kuvvet değerleri ile yük durumu numarası.

(c) Maksimum kesme kuvveti değeri ve karşılık gelen yük durumu numarası.



Şekil 21. Dolgu Duvarları Gözönüne Alınarak Yapılan Deprem Analizi Akış Diyagramı.

8. ÖRNEK UYGULAMALAR

Geliştirilen teknik örnek olarak üç binaya uygulanmıştır. Birinci bina olarak hipotetik okul binası seçilmiştir. Diğer iki bina ise 1995 Dinar depreminde yapısal sistemi elastik kalmış fakat duvarları hasar görmüş binalardır.

8.1. Uygulama 1: Dört Katlı Okul Binasının Deprem Hesabı

Okul binasının İzmir'de bulunduğu varsayılmıştır. Bina önerilen tekniği denemek için oluşturulmuş olup tam düzenli bir plana sahiptir. Tüm kat planlarının ve dolgu duvar dizilimlerinin aynı olduğu varsayılmıştır. Bina hakkında genel bilgi aşağıdadır:

Beton Kalitesi	:	BS14 (TS500)
Çelik kalitesi	:	St I (TS500)
Zemin tipi	:	II-C
Kolon boyutları	:	30cmx60cm (2 ve 3 aksları)
		30cmx40cm (1 ve 4 aksları)
Kiriş boyutları	:	30cmx80cm (Tümü)
Dış ve iç dolgu duvarlar	:	Yatay delikli tuğla
		$(f_c)_T$ = 75 kgf/cm2 (TS4563)
Harç tipi	:	Tip C-1 Kum:Çimento (5:1)
		(TS2848)

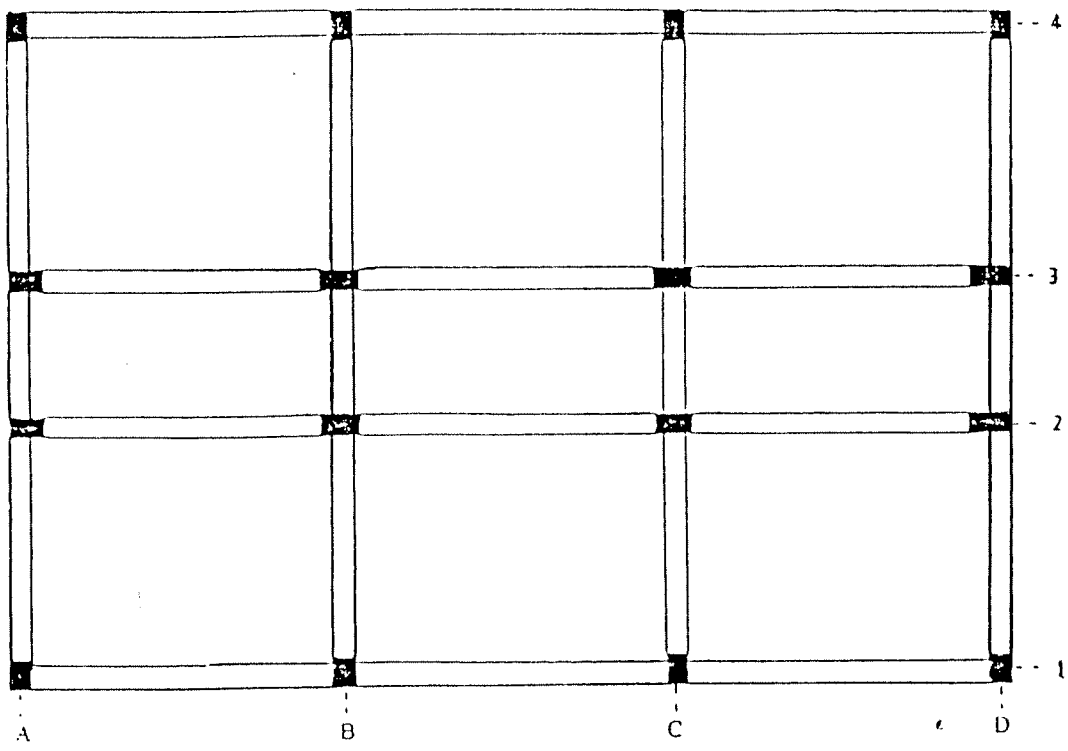
Dış dolgu duvarlar 19cm ve iç dolgu duvarlar 9cm kalınlığındadırlar.

Binaya etkiyen eşdeğer statik deprem yüklerini belirlemek için 1975 Deprem Şartnamesi kullanılmıştır.

Binanın toplam ağırlığı 950 tondur.

Yapıya etkiyen toplam eşdeğer yatay statik yük 113 tondur.

X ve Y yönlerindeki doğal periyotlar sırasıyla 0.32 saniye ve 0.25 saniye olarak hesaplanmıştır.



Şekil 22. Okul Binasının Tipik Kat Planı.

Her kata ait olan dolgu duvar planı Şekil 23.'de verilmiştir. Şekildeki kod numaraların anlamı aşağıdaki gibidir.

1 -------> Tam dolu dolgu duvar.

2 -------> Pencere boşluklu dolgu duvar.

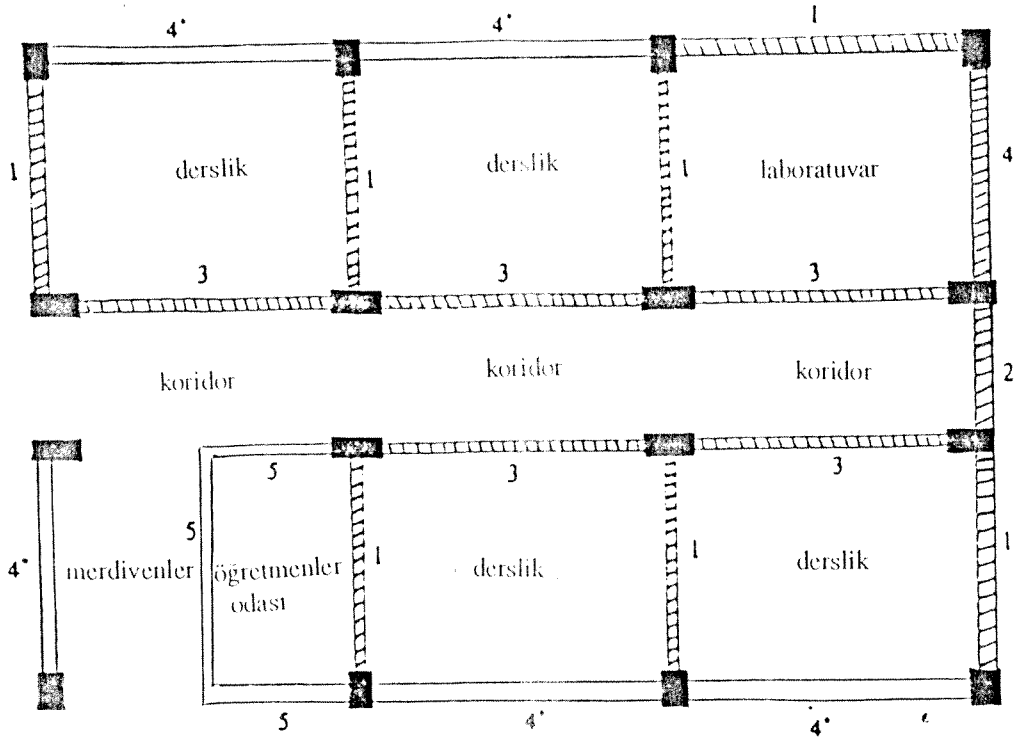
3 -------> Kapı boşluklu dolgu duvar.

4 -------> Kısmi dolgu duvar.

4* -------> A_{OP}/A_{TOTAL} oranı .50'den büyük olan kısmi dolgu duvar.

5 -------> Dolgusuz çerçeve.

4*ve 5 ile gösterilen duvarlar analizde gözönüne alınmamışlardır.



Şekil 23. Okul Binasındaki Duvarların Planda Dizilimi.

Binada toplam 56 adet taşıyıcı olmayan dolgu duvar vardır. Bunlardan 24'ü X yönündeki akslarda ve 32'si Y yönündeki akslardadır. Dolgu duvarların eşdeğer çubuk alanları

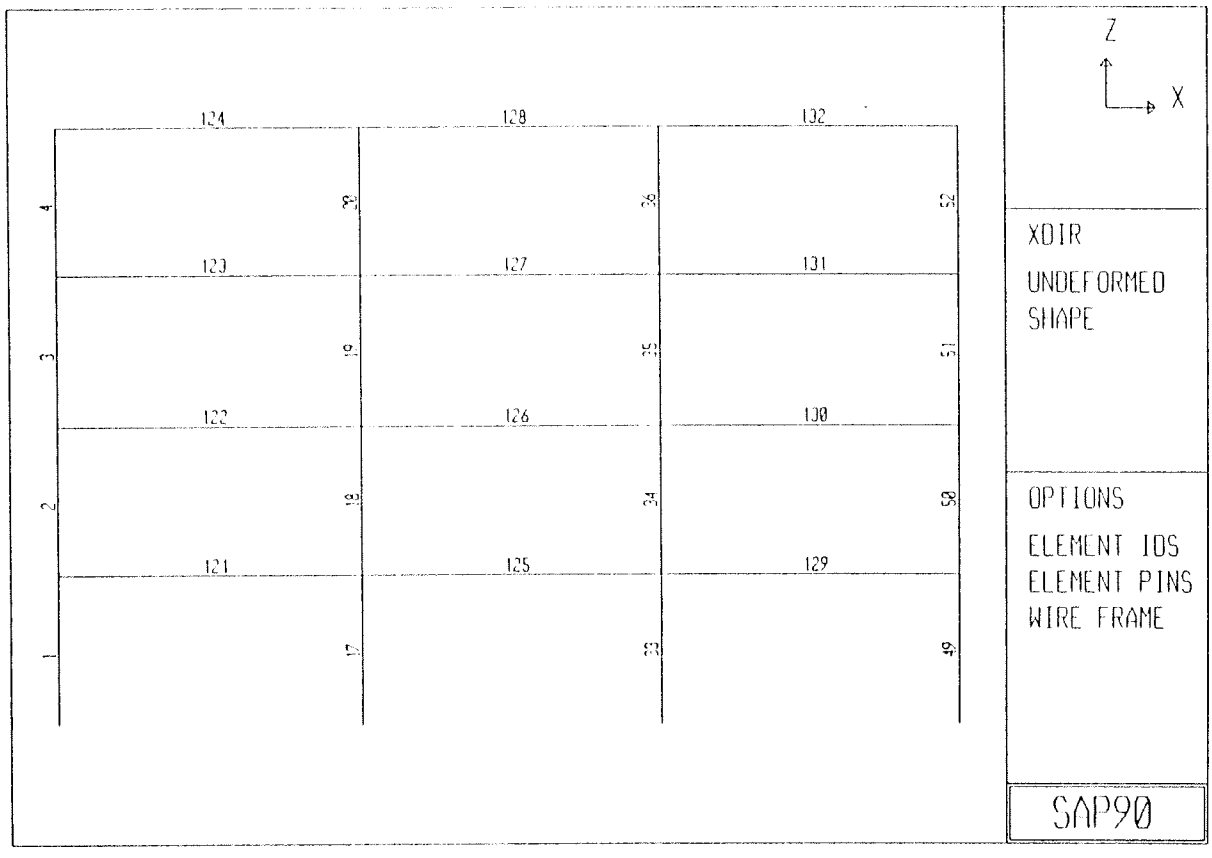
Tablo 4.'te verilmiştir. Binanın üç boyutlu modeline X ve Y yönlerinden ayrı ayrı eşdeğer statik yatay yük uygulanarak deprem hesabı yapılmıştır. X ve Y yönlerindeki bina çerçeveleri ve dolgu duvarların ardışık kırılma sıraları ilerki bölümde verilmiştir. Dolgu duvarların ardışık kırılma sırası, kısa kolon etkisi ve binanın burulmasına olan etkisi (kayma merkezinin yeri) araştırılmıştır.

Tablo 4. Okul Binasının Dolgu Duvarları için Kullanılan Eşdeğer Çubuk Alanları.

Eleman No.	Çubuk Alanı (m^2)	Eleman No.	Çubuk Alanı (m^2)
169	.2692	197	.1419
170	.2692	198	.1419
171	.2692	199	.1419
172	.2692	200	.1419
173	.1398	201	.0561
174	.1398	202	.0561
175	.1398	203	.0561
176	.1398	204	.0561
177	.1365	205	.0561
178	.1365	206	.0561
179	.1365	207	.0561
180	.1365	208	.0561
181	.1398	209	.0561
182	.1398	210	.0561
183	.1398	211	.0561
184	.1398	212	.0561
185	.1365	213	.0561
186	.1365	214	.0561
187	.1365	215	.0561
188	.1365	216	.0561
189	.2765	217	.0561
190	.2765	218	.0561
191	.2765	219	.0561
192	.2765	220	.0561
193	.1392	221	.2882
194	.1392	222	.2882
195	.1392	223	.2882
196	.1392	224	.2882

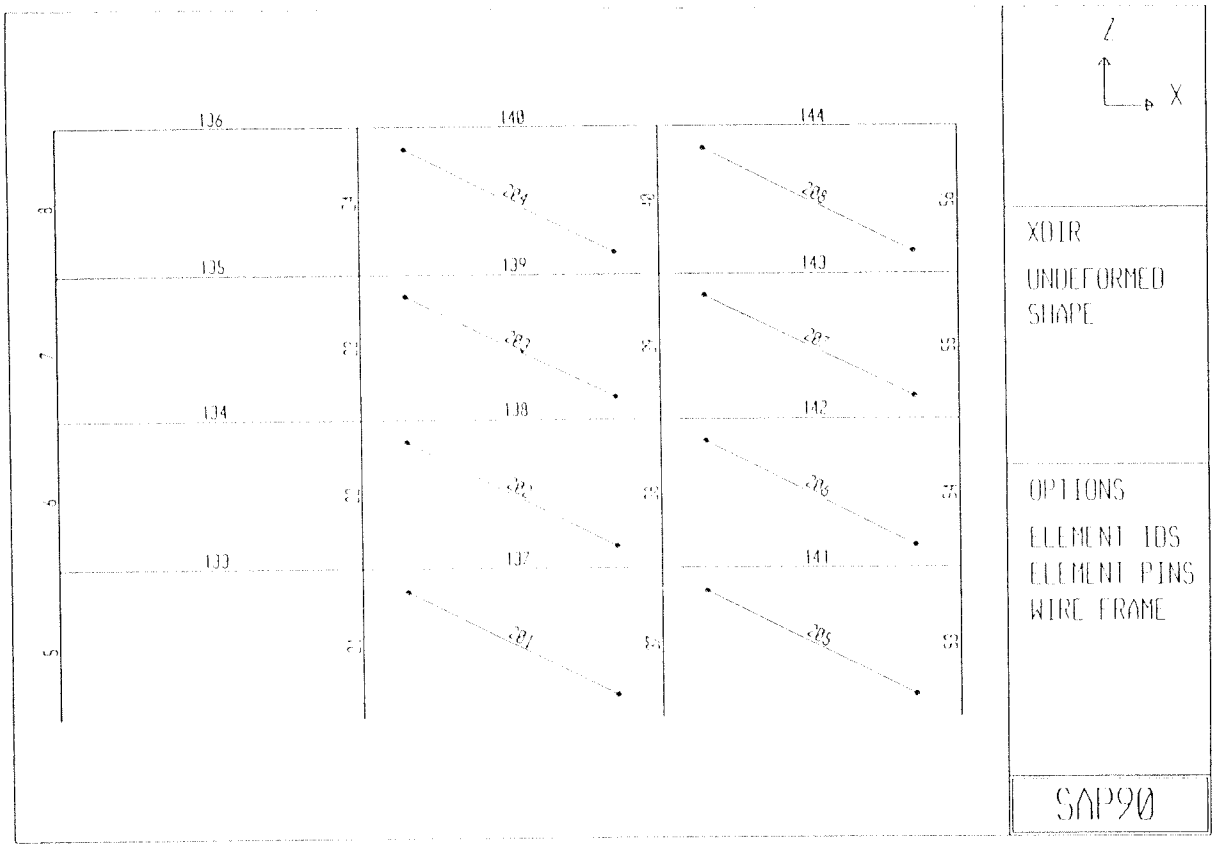
8.1.1. X Yönündeki Bina Çerçeveleri

1 Aksındaki Bina Çerçevesi: Bu çerçevede hiç taşıyıcı olmayan dolgu duvar olmayıp Şekil 24.'te gösterilmiştir.



Şekil 24. 1 Aksındaki Bina Çerçevesi.

2 Aksındaki Bina Çerçevesi: Bu çerçevede 8 adet taşıyıcı olmayan dolgu duvar bulunup, Şekil 25.'te gösterilmiştir.



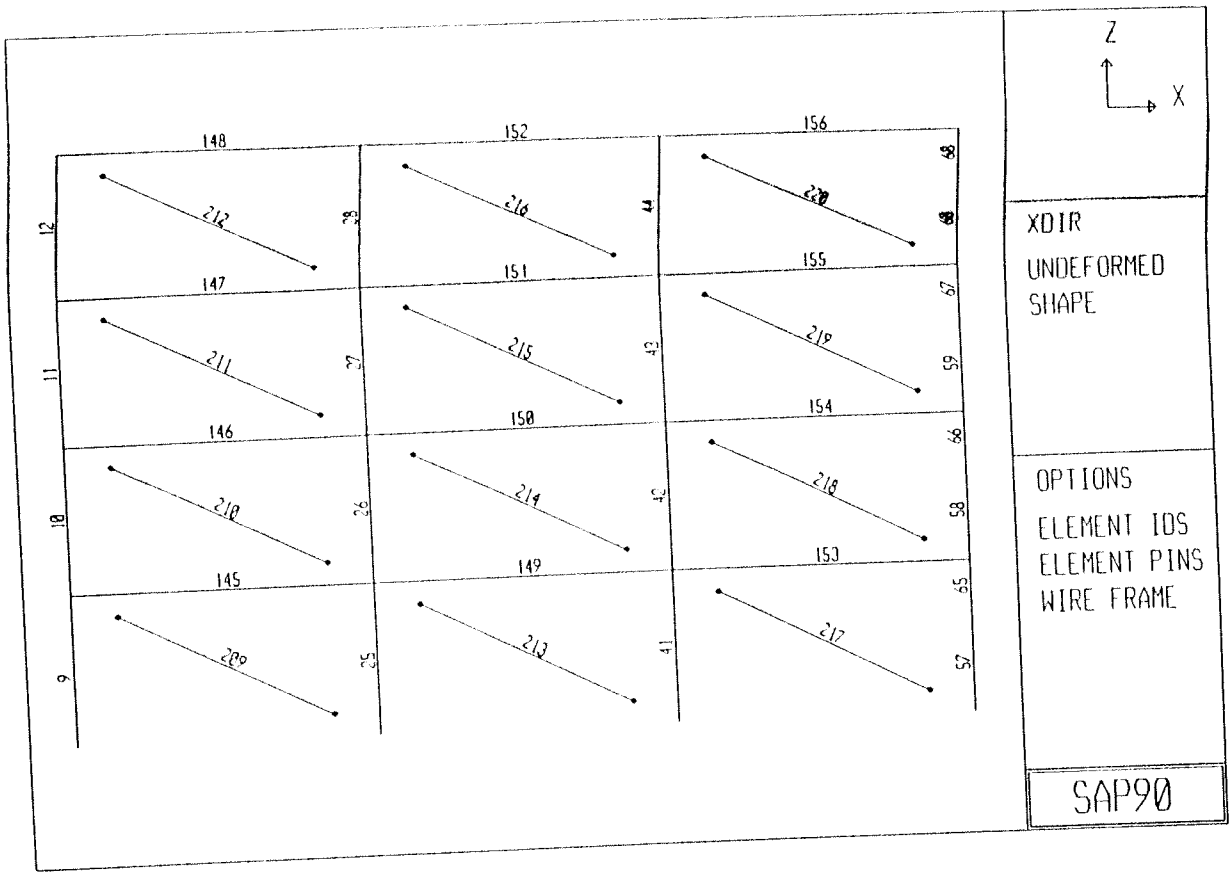
Şekil 25. 2 Aksındaki Bina Çerçevesi.

Dolgu duvarların ardışık kırılma sırası Tablo 5'te verilmiştir.

Tablo 5. 2 Aksındaki Ardışık Kırılma Sırası.

Kat No:	1. kat		2. kat		3. kat		4. kat	
Eleman No:	201	205	202	206	203	207	204	208
Kırılma No:	**6**	**7**	**1**	**2**	13	15	19	21

3 Aksındaki Bina Çerçevesi: Bu çerçevede 12 adet dolgu duvar bulunup Şekil 26'da gösterilmiştir.



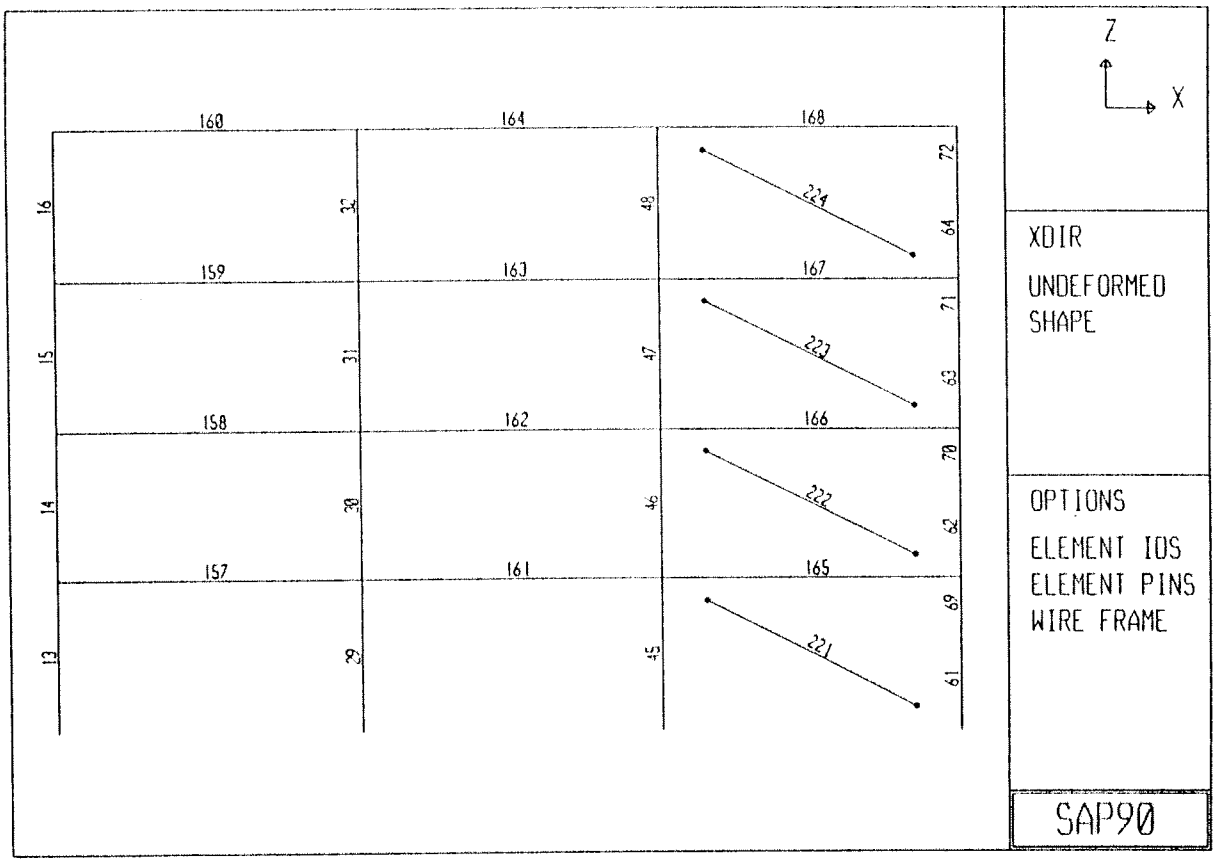
Şekil 26. 3 Aksındaki Bina Çerçevesi.

Dolgu duvarların ardışık kırılma sırası Tablo 6'da verilmiştir.

Tablo 6. 3 Aksındaki Ardışık Kırılma Sırası.

Kat No:	1. kat			2. kat			3. kat			4. kat		
Eleman No:	209	213	217	210	214	218	211	215	219	212	216	220
Kırılma No:	**10**	**8**	**9**	**5**	**3**	**4**	17	14	16	23	20	22

4 Aksındaki Bina Çerçevesi: Bu çerçevede 4 adet taşıyıcı olmayan dolgu duvar bulunup Şekil 27'de gösterilmiştir.



Şekil 27. 4 Aksındaki Bina Çerçevesi.

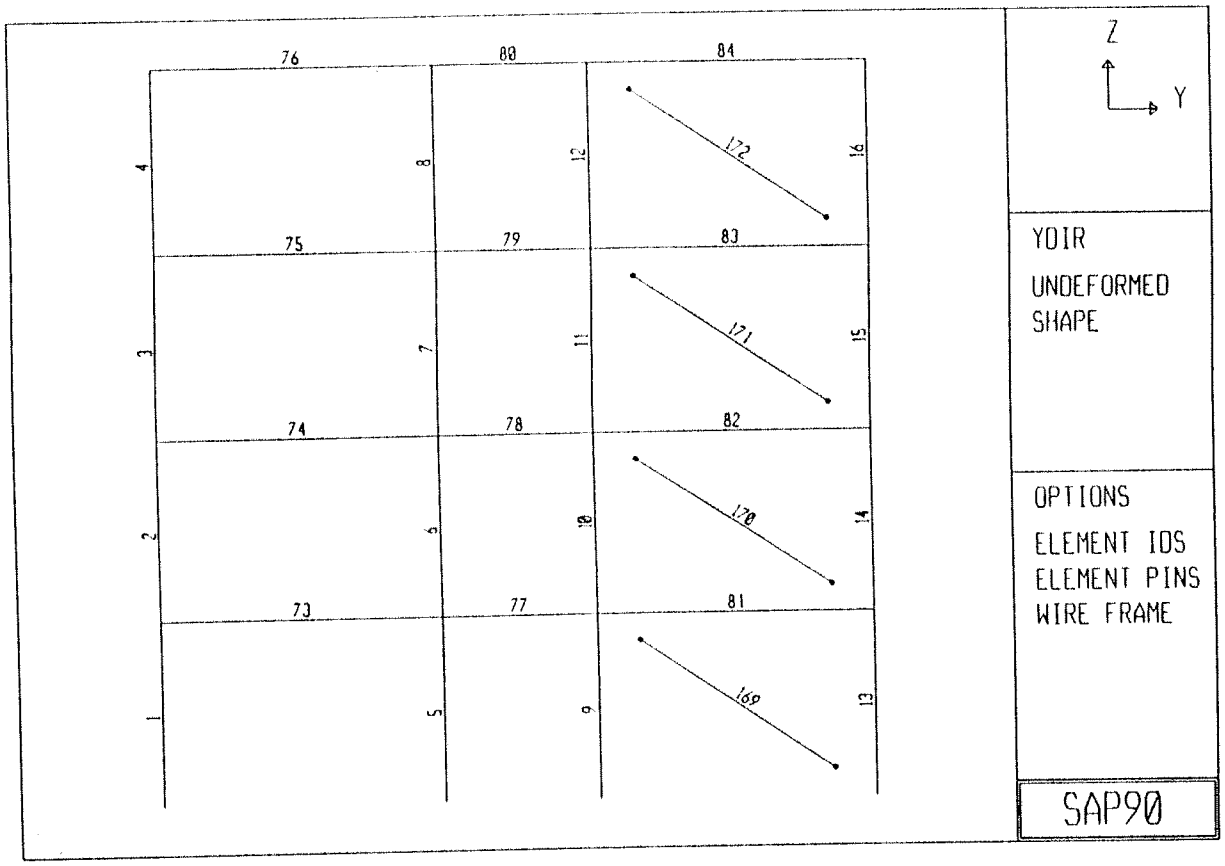
Dolgu duvarların ardışık kırılma sırası Tablo 7'de verilmiştir.

Tablo 7. 4 Aksındaki Ardışık Kırılma Sırası.

Kat No:	1. kat	2. kat	3. kat	4. kat
Eleman No:	221	222	223	224
Kırılma No:	12	11	18	24

8.1.2. Y Yönündeki Bina Çerçeveleri

A Aksındaki Bina Çerçevesi: Bu çerçevede 4 adet taşıyıcı olmayan dolgu duvar bulunup Şekil 28.'de gösterilmiştir.



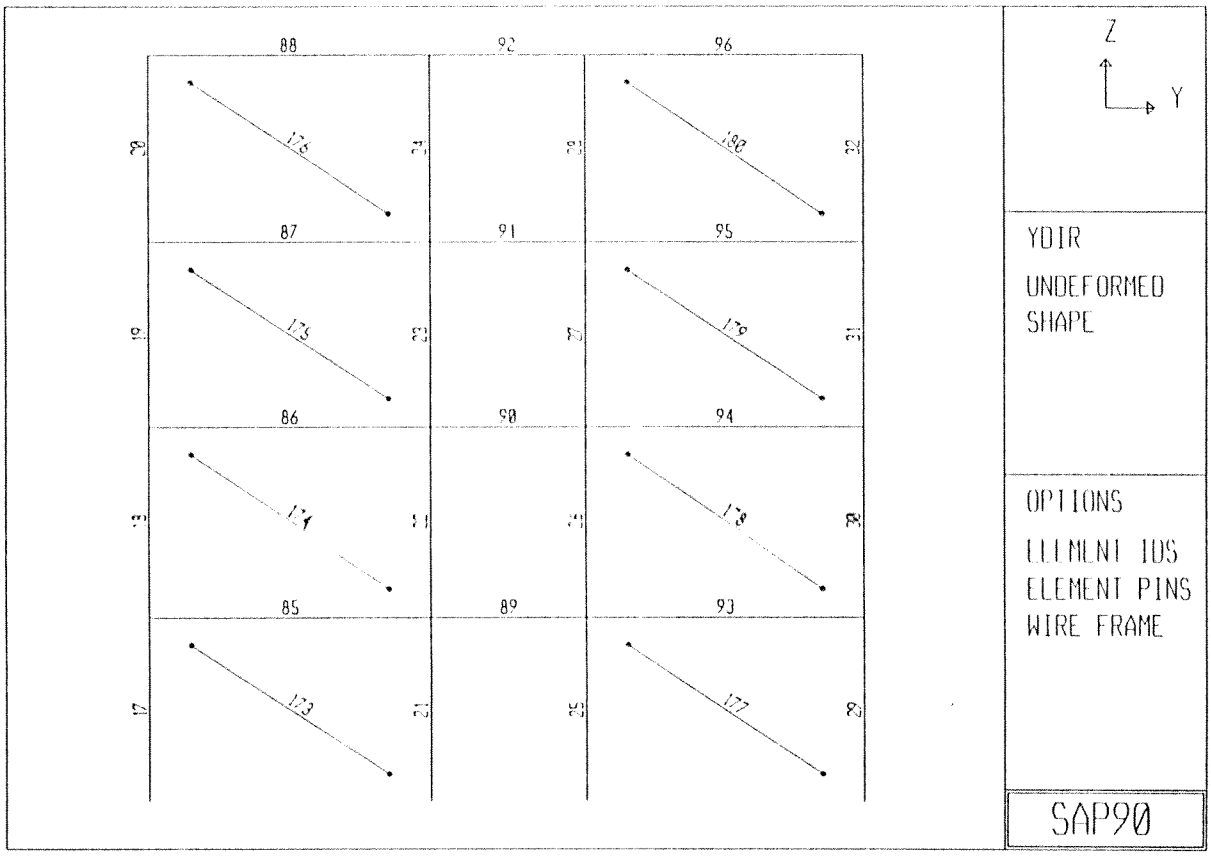
Şekil 28. A Aksındaki Bina Çerçevesi.

Dolgu duvarların ardışık kırılma sırası Tablo 8.'de verilmiştir.

Tablo 8. A Aksındaki Ardışık Kırılma Sırası.

Kat No:	1. kat	2. kat	3. kat	4. kat
Eleman No:	169	170	171	172
Kırılma No:	1	6	17	25

B Aksındaki Bina Çerçevesi: Bu çerçevede 8 adet taşıyıcı olmayan dolgu duvar bulunup Şekil 29.'da gösterilmiştir.



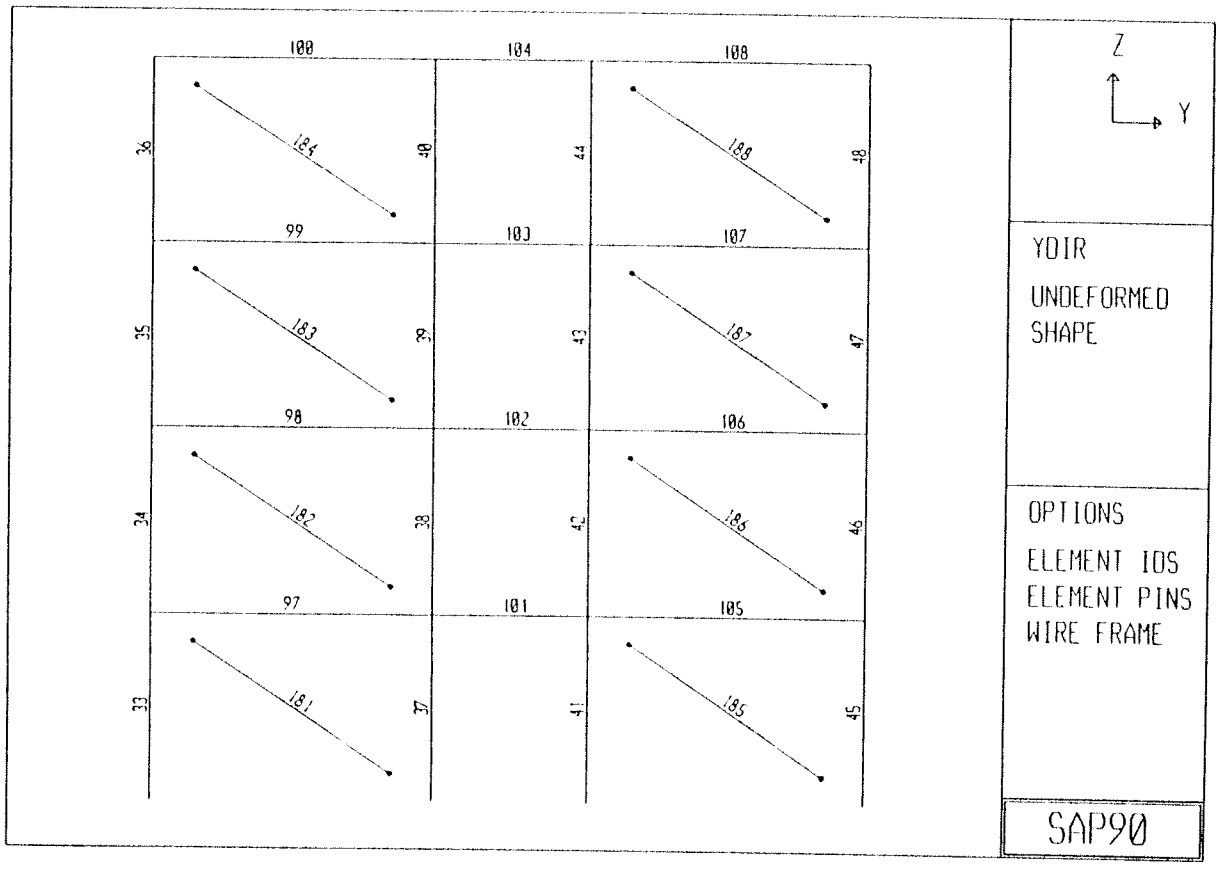
Şekil 29. B Aksındaki Bina Çerçevesi.

Dolgu duvarların ardışık kırılma sırası Tablo 9.'da verilmiştir.

Tablo 9. B Aksındaki Ardışık Kırılma Sırası.

Kat No:	1. kat		2. kat		3. kat		4. kat	
Eleman No:	173	177	174	178	175	179	176	180
Kırılma No:	3	2	8	7	19	18	27	26

C Aksındaki Bina Çerçevesi: Bu çerçevede 8 adet taşıyıcı olmayan dolgu duvar bulunup Şekil 30.'da gösterilmiştir.



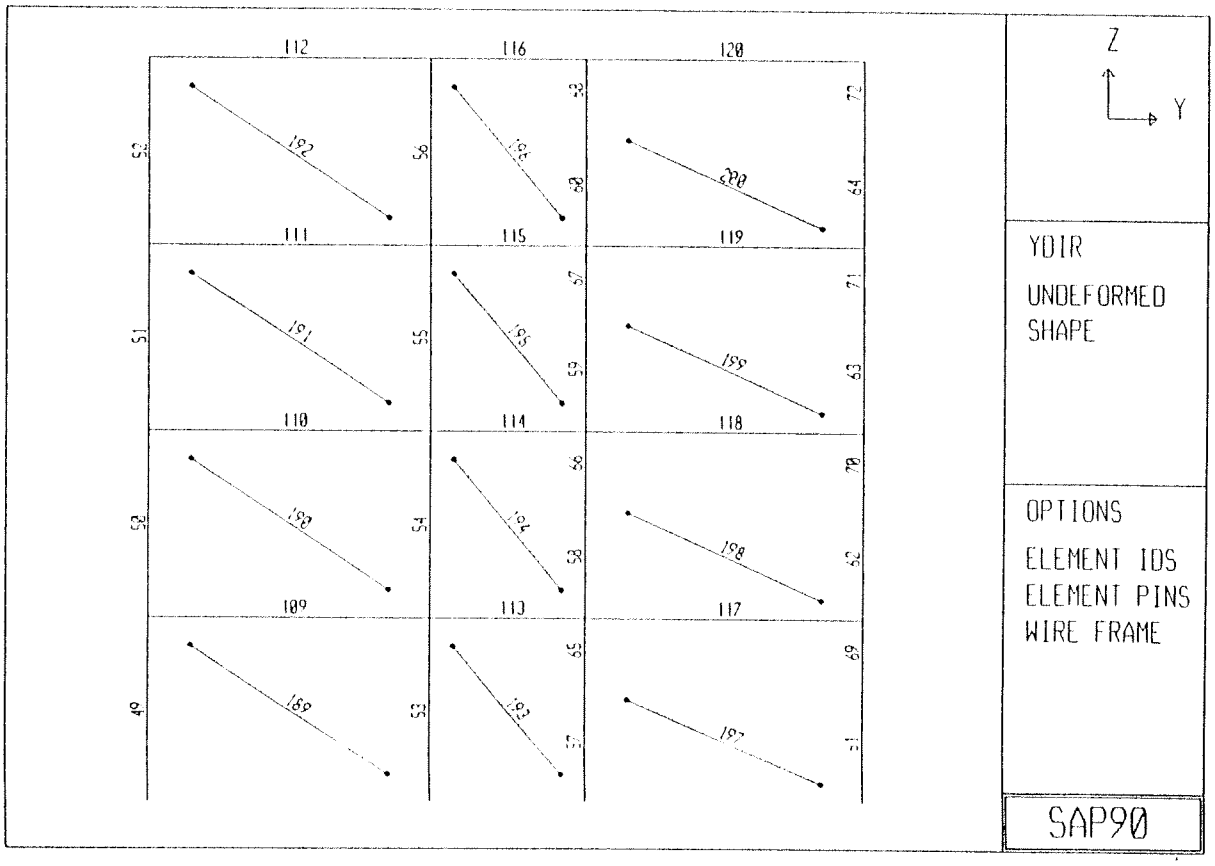
Şekil 30. C Aksındaki Bina Çerçevesi.

Dolgu duvarların ardışık kırılma sırası Tablo 10.'da verilmiştir.

Tablo 10. C Aksındaki Ardışık Kırılma Sırası.

Kat No:	1. kat		2. kat		3. kat		4. kat	
Eleman No:	181	185	182	186	183	187	184	188
Kırılma No:	**5**	**4**	**10**	**9**	21	20	29	28

D Aksındaki Bina Çerçevesi: Bu çerçeve de 12 adet taşıyıcı olmayan dolgu duvar bulunup Şekil 31.'de gösterilmiştir. Bunlardan dördü kısmi dolgu duvardır. 4. kat dolgu duvarları kırılmamıştır.



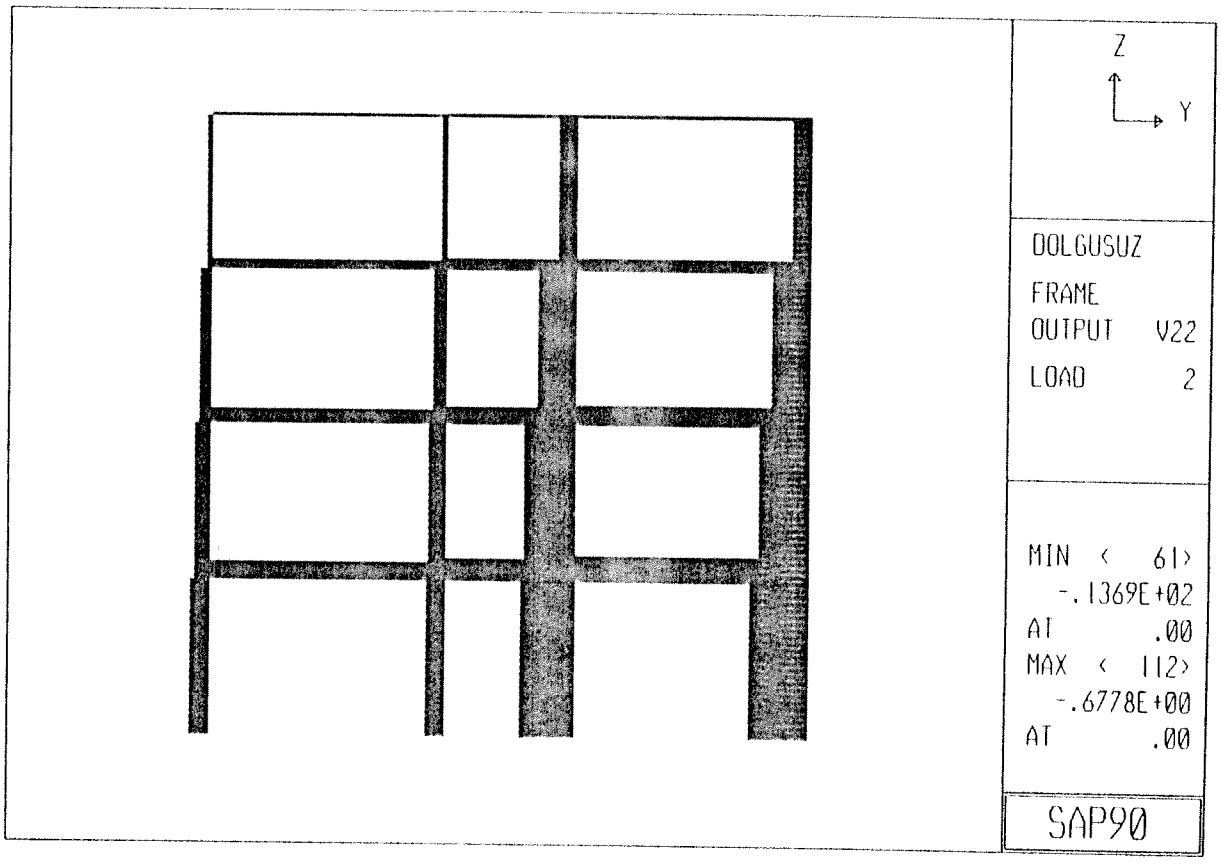
Şekil 31. D Aksındaki Bina Çerçevesi.

Dolgu duvarların ardışık kırılma sırası Tablo 11.'de verilmiştir.

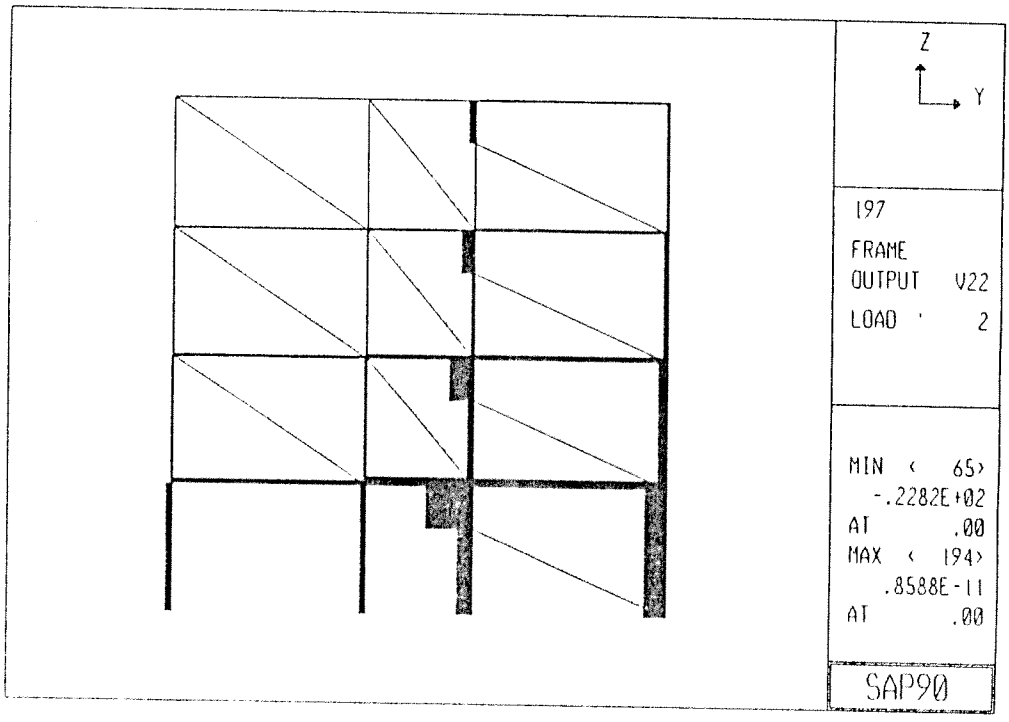
Tablo 11. D Aksındaki Ardışık Kırılma Sırası.

Kat No:	1. kat			2. kat			3. kat			4. kat		
Eleman No:	189	193	197	190	194	198	191	195	199	192	196	200
Kırılma No:	12	11	13	15	14	16	24	22	23	-	-	-

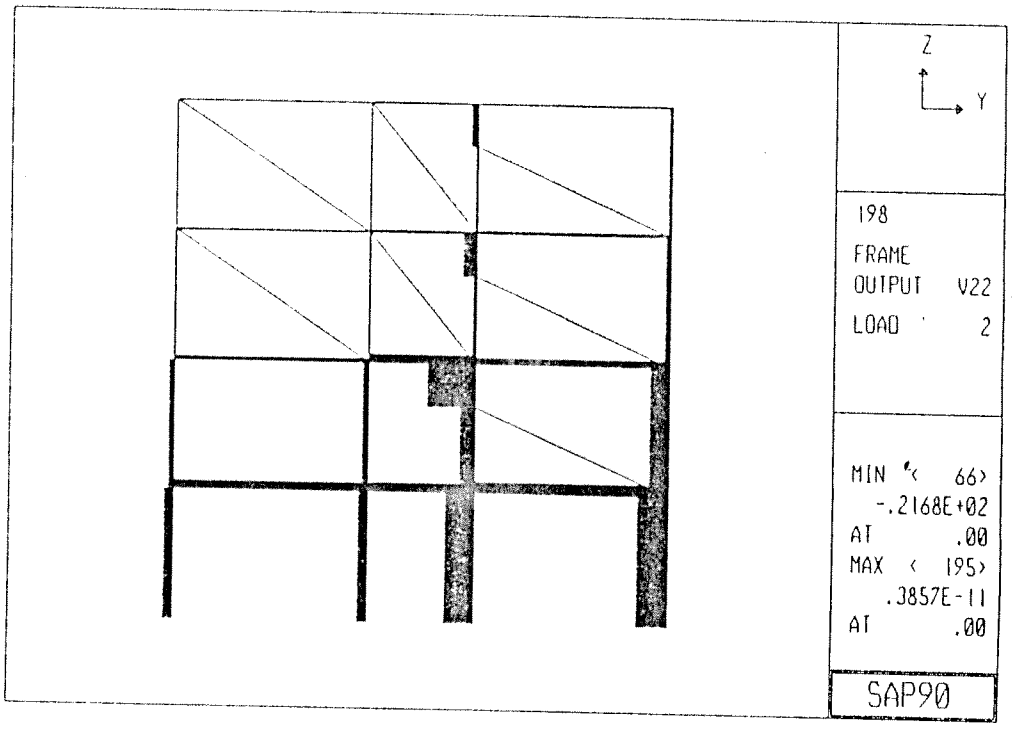
Kısa kolon etkisi: Binanın D Aksı boyunca (Şekil 31.) 197, 198, 199 ve 200 No.lu dolgu duvar elemanları kısmi dolgu duvarları temsil etmektedirler. Bu duvarların kırılması 65, 66, 67 ve 68 No.lu kolon elemanlarının kesme kırılmasına maruz kalmasına yol açar. Aşağıdaki şekiller bu ifadenin doğruluğunu göstermektedir.



Şekil 32. D Aksındaki Bina Çerçevesinde Dolgu Duvarlar Gözönüne Alınmadığında Oluşan Kesme Kuvveti Dağılımı.



Şekil 33. D Aksındaki Bina Çerçevesinde 197 No.lu Dolgu Duvar Elemanı Kırılmadan Önceki Kesme Kuvveti Dağılımı.



Şekil 34. D Aksındaki Bina Çerçevesinde 198 No.lu Dolgu Duvar Elemanı Kırılmadan Önceki Kesme Kuvveti Dağılımı.

Tablo 12. D Aksındaki 65 ve 66 No.lu Kolon Elemanlarında Kısa Kolon Etkisi.

Eleman no.	Kesme Kuvveti Değerleri (tons)			% Artış
	Dolgu Duvarsız	Dolgu Duvarlı		
		Eleman 197 Kırılmadan Önce	Eleman 198 Kırılmadan Önce	
65	12.83	22.82	-	78
66	12.03	-	21.68	80

Burulma Etkisi: Binanın dolgu duvarları gözönüne alınarak ve alınmayarak yapılan çözümlerin ışığında, binanın kayma merkezinin dolgu duvarlar gözönüne alındığında dolgu duvarsız duruma nazaran X yönünde %6 kaydığı ve Y yönünde %1'den az kaydığı görülmüştür.

8.1.3. Okul Binasının Eşdeğer Statik Yüklerle Deprem Hesabı Sonuçlarının Tartışması

Dört katlı okul binası için taşıyıcı olmayan dolgu duvarları gözönüne alarak ve almayarak deprem hesabı yapılmıştır. Bu hesapların sonucunda taşıyıcı olmayan dolgu duvarların varlığının binanın sismik davranışını büyük ölçüde etkilediği görülmüştür. Bu etkiler aşağıda özetlenmiştir:

- Bu tür düzenli yapısal sisteme sahip binalarda her kattaki dolgu duvar adedi ve yerleşim planı aynı ise ilk iki kat dolgu duvarları üst katlardakilere göre daha erken kırılır.

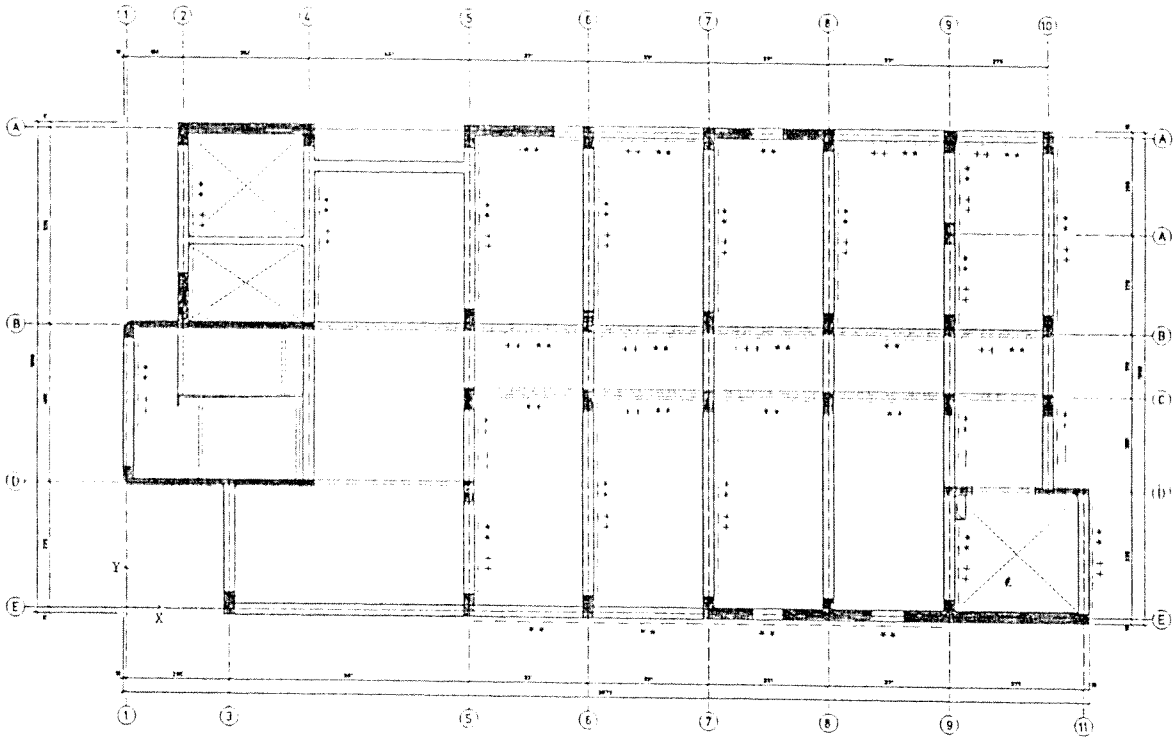
- Kısmi dolgu duvarlar kısa kolon etkisi yaratır. Bu etki sonucunda kolondaki kesme kuvveti dolgu duvarın gözönüne alınmadığı duruma göre %80 artmıştır.

- X yönünde binanın kayma merkezi dolgu duvarlar gözönüne alındığı durumda dolgu duvarsız duruma göre %6 oranında kaymıştır. Bu durum binanın burulma davranışını hesapta olmayan şekilde etkilemektedir.

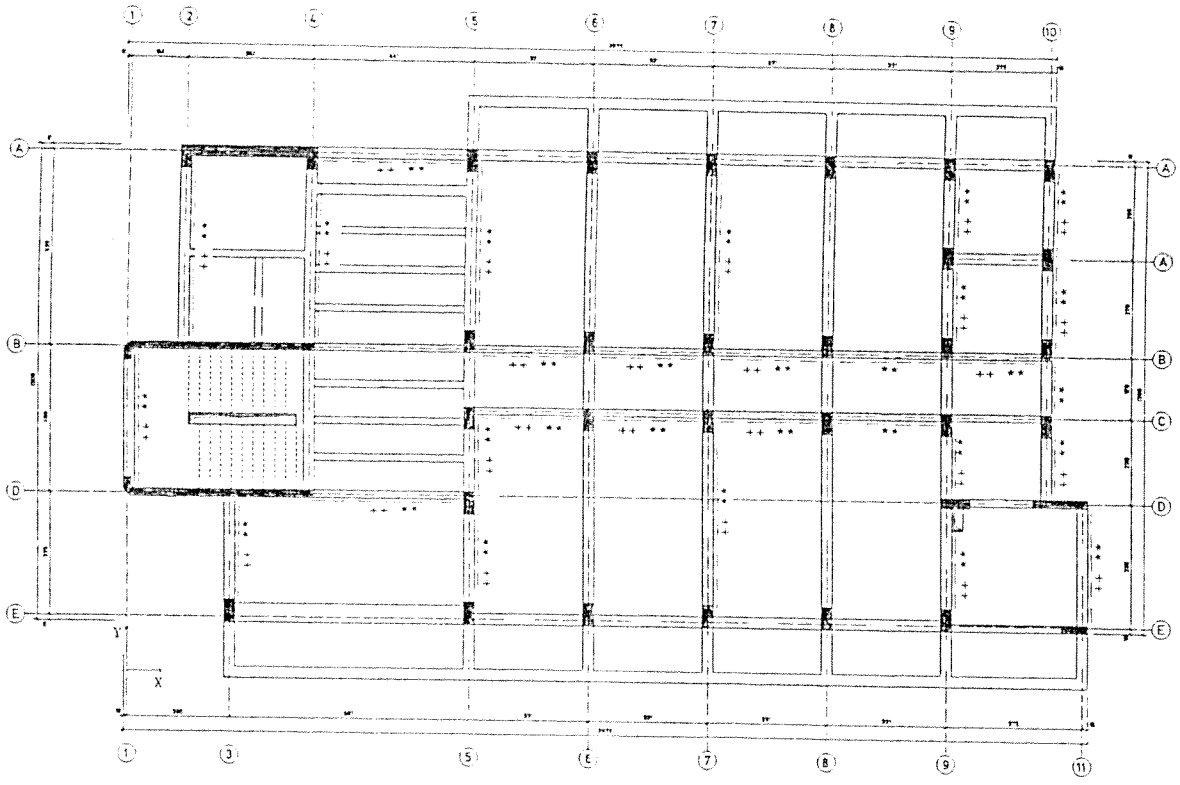
8.2. Uygulama 2: Dinar Halk Eğitim Merkezi Binasının Deprem Hesabı

Dinar Halk Eğitim Merkezi dört katlı bir bina olup bodrum kat, zemin kat ve iki tipik kattan meydana gelmiştir. Yapısal sistemi betonarme çerçevelerden oluşmuştur. Bodrum kat perde duvarlarla çevrelenmiştir. Zemin, birinci ve ikinci katların kalıp planları sırasıyla Şekil 35, 36 ve 37'da gösterilmektedir. Dolgu duvarlar şekillerde kesik çizgilerle işaretlenmişlerdir. Dış ve iç dolgu duvarlar delikli tuğladan yapılmış ve sıvalı olup kalınlıkları sırasıyla 29 cm ve 19 cm'dir. X yönünde bir kaç perde duvar bulunmasına karşın Y yönünde hiç perde duvar yoktur. 1 Ekim 1995'teki depremin binaya etkiyen dominant ivmesinin Y yönüne paralel olduğu görülmektedir. Bunun bir sonucu olarak dolgu duvar hasarlarının büyük çoğunluğu Y yönündedir. Depremde hasar gören dolgu duvarlar Şekillerde "++" işaretiyle gösterilmiştir. Bodrum katta ise perde duvarların sayesinde hemen hiç dolgu duvar hasarı oluşmamıştır. Yapısal sistemin yerinde incelenmesi sonucunda yapının genelde elastik kaldığı, görünür kalıcı deformasyonun ve plastik mafsallaşmaların olmadığı gözlenmiştir. Fakat özellikle Y yönündeki dolgu duvarlarda kalıcı hasarlar (kırılmalar) meydana gelmiştir. Yapısal sistemi

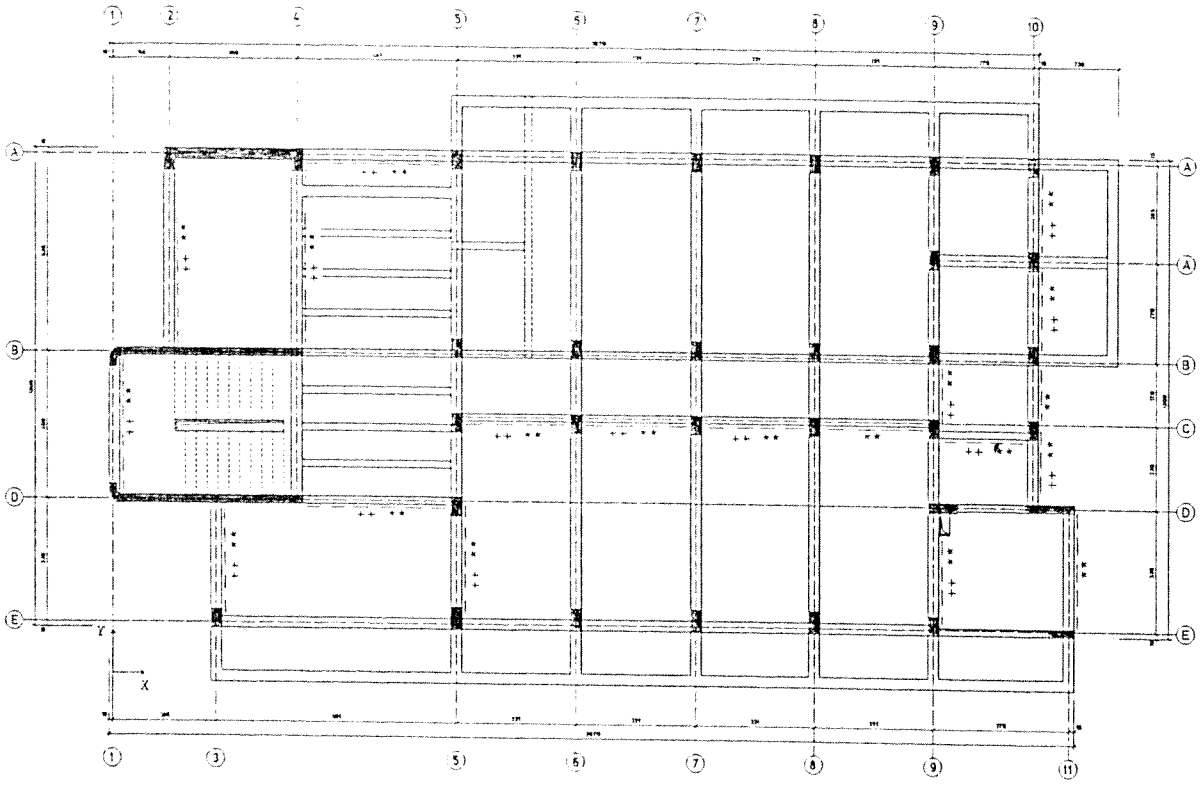
elastik kalıp bir çok dolgu duvarı hasar gören bu binaya önerilen hesap tekniğinin uygulanması elverişli görülmüştür. Binanın üç boyutlu yapısal modeli yapılıp SAP 90 bilgisayar programı kullanılarak çözümlenmiştir. Binada 103 adet taşıyıcı olmayan dolgu duvar mevcuttur. Bunların içinde kısmi dolgu duvarlar bulunmamaktadır. Eşdeğer statik deprem yüklerini belirlemek için 1975 deprem şartnamesi kullanılmıştır. Yapının toplam ağırlığı 2250 ton'dur. Binaya etkiyen toplam eşdeğer statik yatay kuvvet 270 ton'dur. X ve Y yönlerindeki doğal periyotlar sırasıyla 0.23 s. ve 0.18 saniyedir. Hesap sonucunda kırıldığı belirlenen dolgu duvarlar Şekillerde "**" işaretiyle gösterilmiştir. Dolgu duvarlar için kullanılan eşdeğer çubuk alanları Tablo 13'te verilmiştir.



Şekil 35. Dinar Halk Eğitim Merkezi Binasının Zemin Kat Planı.



Şekil 36. Dinar Halk Eğitim Merkezi Binasının Birinci Kat Planı.



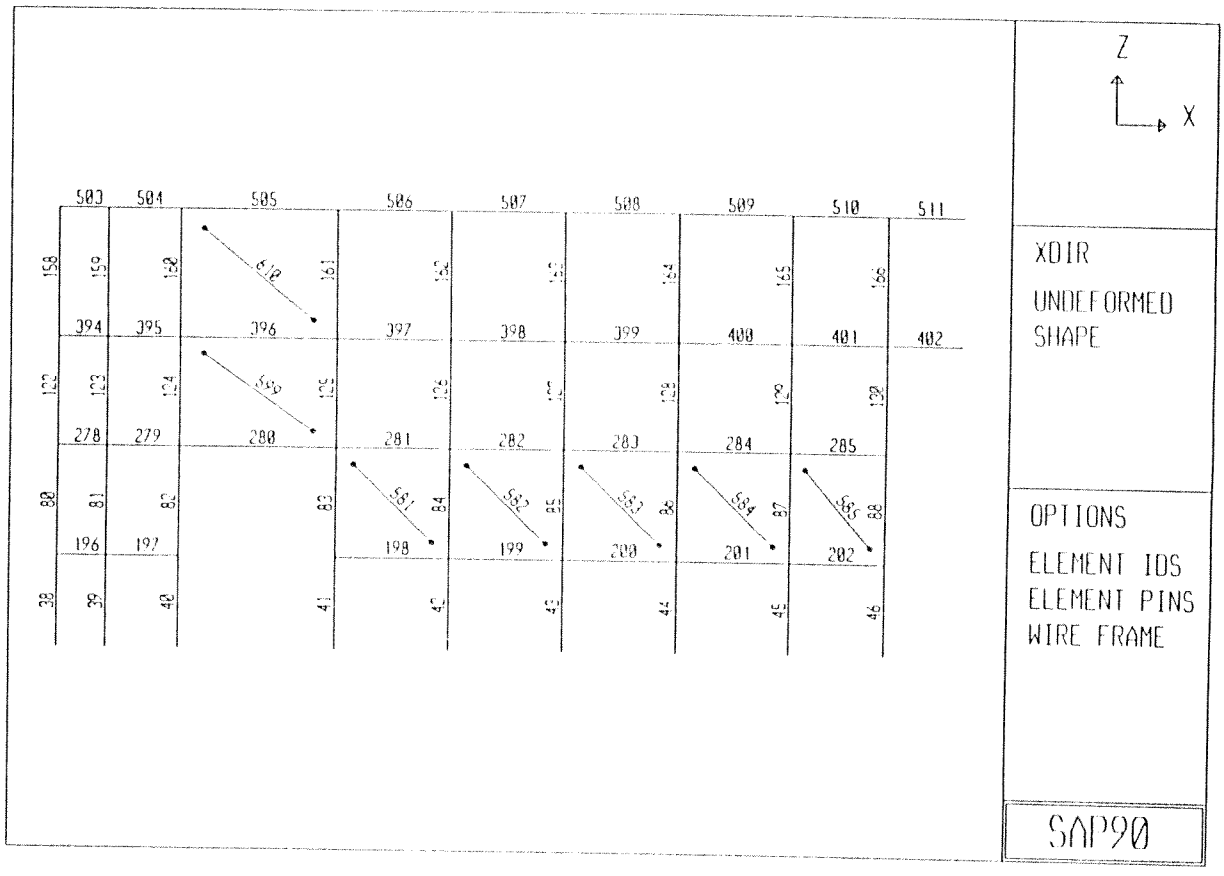
Şekil 37. Dinar Halk Eğitim Merkezi Binasının İkinci Kat Planı.

Tablo 13. Dinar Halk Eğitim Merkezi Binasının Dolgu Duvarları için Kullanılan Eşdeğer Çubuk Alanları.

ELEMAN NO.	ÇUBUK ALANI (m^2)	ELEMAN NO.	ÇUBUK ALANI (m^2)	ELEMAN NO.	ÇUBUK ALANI (m^2)	ELEMAN NO.	ÇUBUK ALANI (m^2)
576	.2385	602	.0685	628	.2525	654	.2602
577	.0508	603	.2566	629	.2559	655	.3601
578	.2385	604	.0522	630	.3403	656	.3688
579	.0178	605	.2566	631	.2048	657	.3601
580	.0743	606	.0685	632	.1441	658	.2840
581	.2238	607	.0685	633	.3058	659	.2384
582	.0160	608	.2566	634	.2678	660	.2747
583	.0160	609	.0961	635	.3737	661	.2774
584	.0912	610	.0863	636	.3726	662	.0962
585	.3581	611	.2803	637	.3737	663	.3871
586	.0685	612	.2803	638	.3726	664	.1579
587	.0685	613	.2803	639	.3737	665	.1651
588	.0685	614	.2803	640	.3737	666	.3245
589	.0685	615	.0858	641	.2938	667	.3632
590	.0278	616	.1233	642	.0134	668	.2500
591	.0685	617	.1187	643	.2826	669	.4516
592	.0685	618	.2802	644	.2853	670	.1616
593	.2566	619	.2333	645	.0185	671	.3267
594	.2566	620	.1230	646	.4210	672	.3103
595	.0160	621	.2333	647	.4250	673	.2994
596	.0160	622	.3386	648	.3245	674	.1356
597	.0160	623	.2333	649	.3403	675	.4450
598	.0912	624	.3417	650	.2048	676	.0857
599	.0353	625	.2333	651	.4141	677	.0904
600	.2566	626	.2716	652	.1441	678	.3525
601	.0685	627	.2149	653	.3035		

8.2.1. X Yönündeki Bina Çerçeveleri

A Aksındaki Bina Çerçevesi: Bu çerçevede 7 adet taşıyıcı olmayan dolgu duvar bulunup Şekil 38.'de gösterilmiştir.



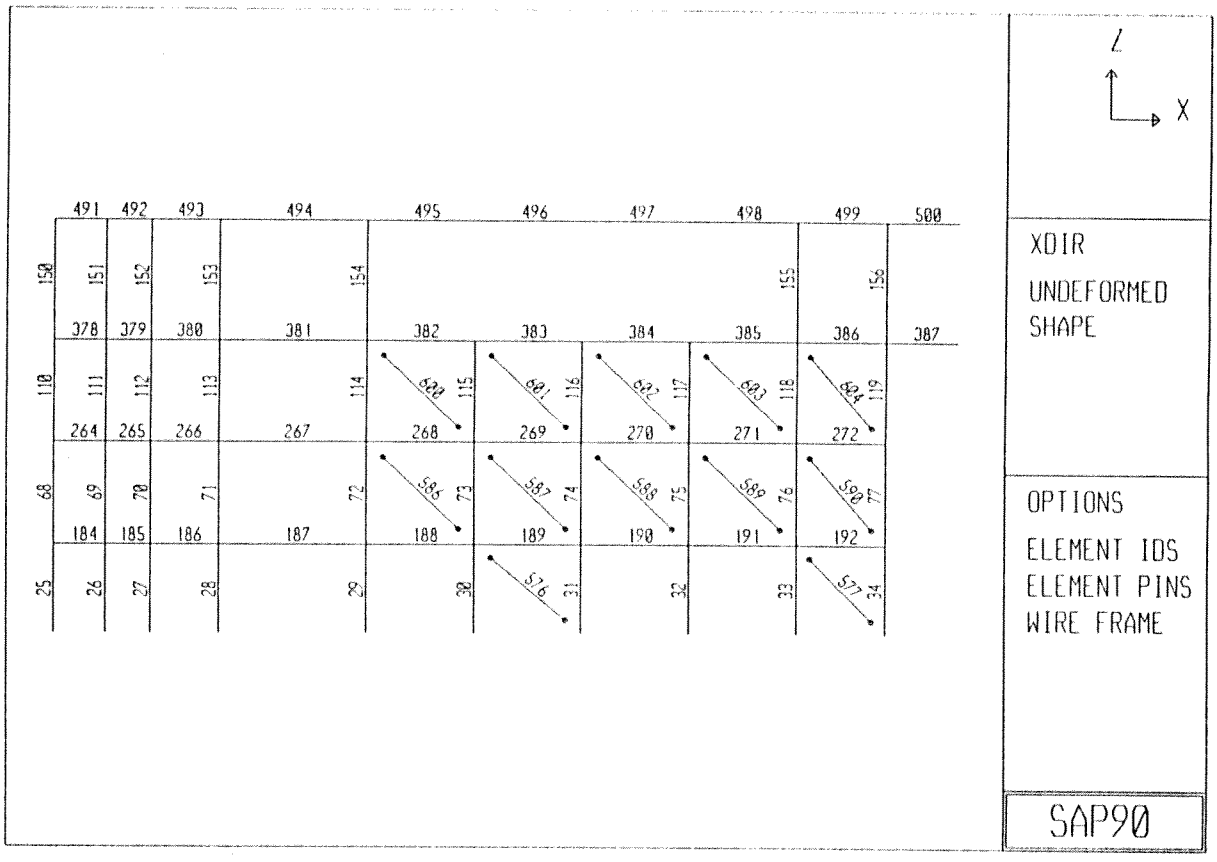
Şekil 38. A Aksındaki Bina Çerçevesi.

Dolgu duvarların ardışık kırılma sırası Tablo 14.'te verilmiştir.

Tablo 14. A Aksındaki Ardışık Kırılma Sırası.

Kat No:	1. kat	2. kat					3. kat	4. kat
Eleman No:	yok	581	582	583	584	585	599	610
Kırılma No:	-	11	14	19	21	27	**3**	**4**

B Aksındaki Bina Çerçevesi: Bu çerçevede 10 adet taşıyıcı olmayan dolgu duvar bulunup Şekil 39.'da gösterilmektedir.



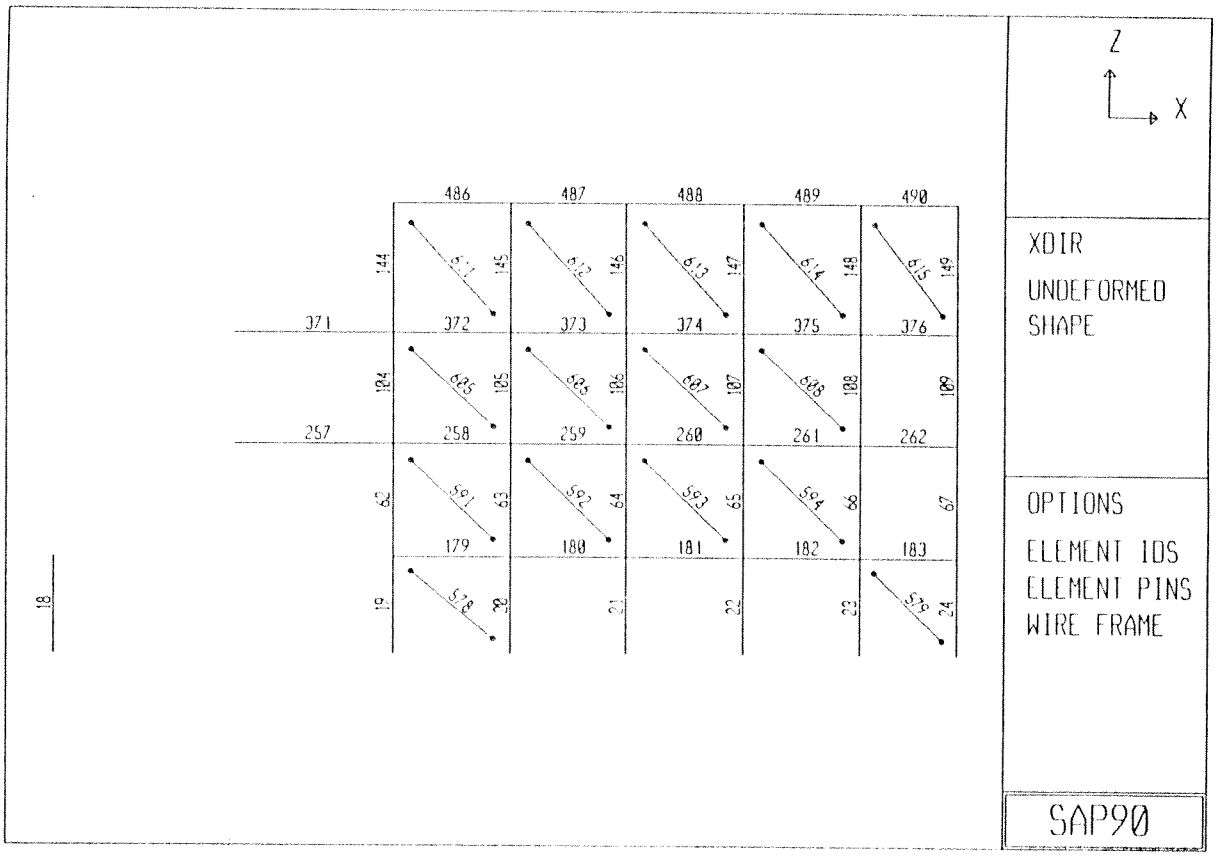
Şekil 39. B Aksındaki Bina Çerçevesi.

Dolgu duvarların ardışık kırılma sırası Tablo 15.'te verilmiştir.

Tablo 15. B Aksındaki Ardışık Kırılma Sırası.

Kat No:	1. kat		2. kat					3. kat					4. kat
Eleman No:	576	577	586	587	588	589	590	600	601	602	603	604	yok
Kırılma No:	-	-	22	13	20	28	12	18	5	7	26	8	-

C Aksındaki Bina Çerçevesi: Bu çerçevede 13 adet taşıyıcı olmayan dolgu duvar bulunup Şekil 40.'ta gösterilmektedir.



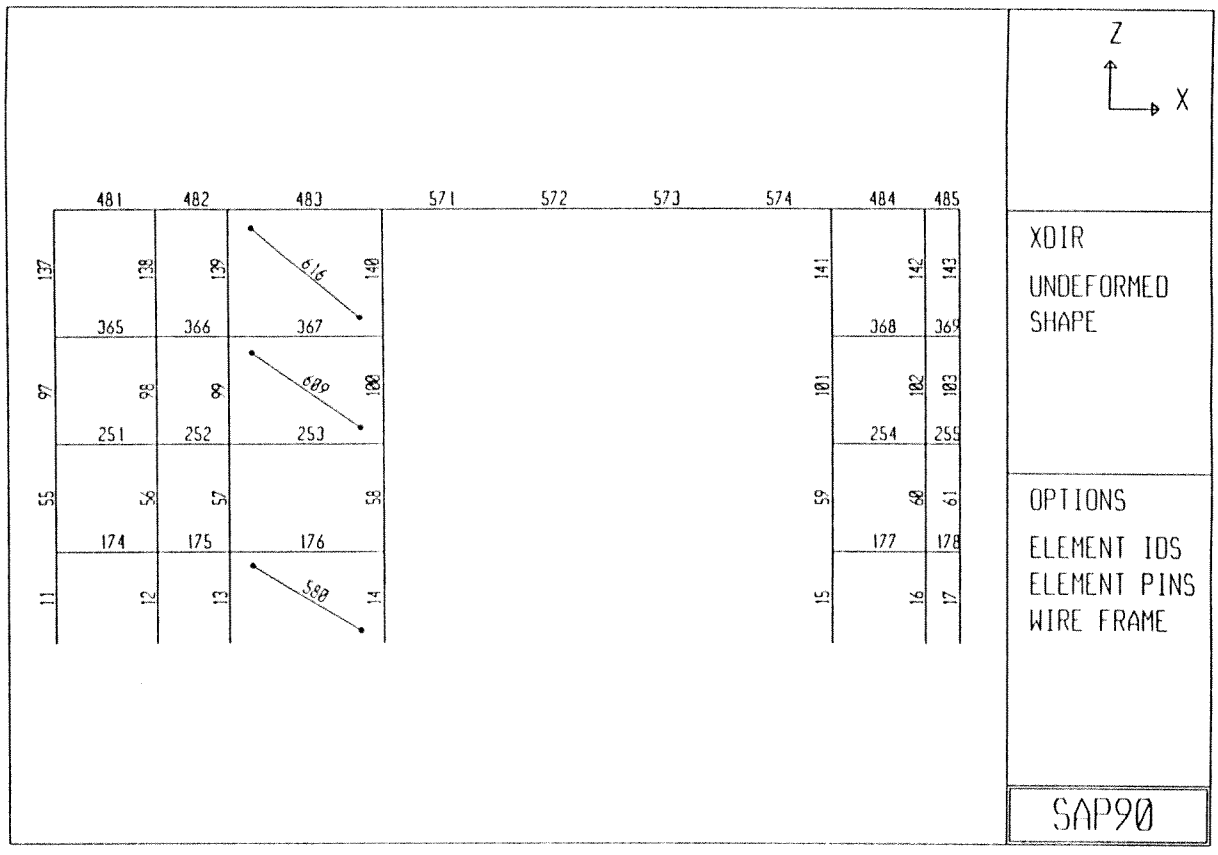
Şekil 40. C Aksındaki Bina Çerçevesi.

Dolgu duvarların ardışık kırılma sırası Tablo 16.'da verilmiştir.

Tablo 16. C Aksındaki Ardışık Kırılma Sırası.

Kat No:	1. kat		2. kat				3. kat				4. kat				
Eleman No:	578	579	591	592	593	594	605	606	607	608	611	612	613	614	615
Kırılma No:	-	-	25	17	29	32	23	6	9	30	24	16	10	31	15

D Aksındaki Bina Çerçevesi: Bu çerçevede 3 adet taşıyıcı olmayan dolgu duvar bulunup Şekil 41.'de gösterilmektedir.



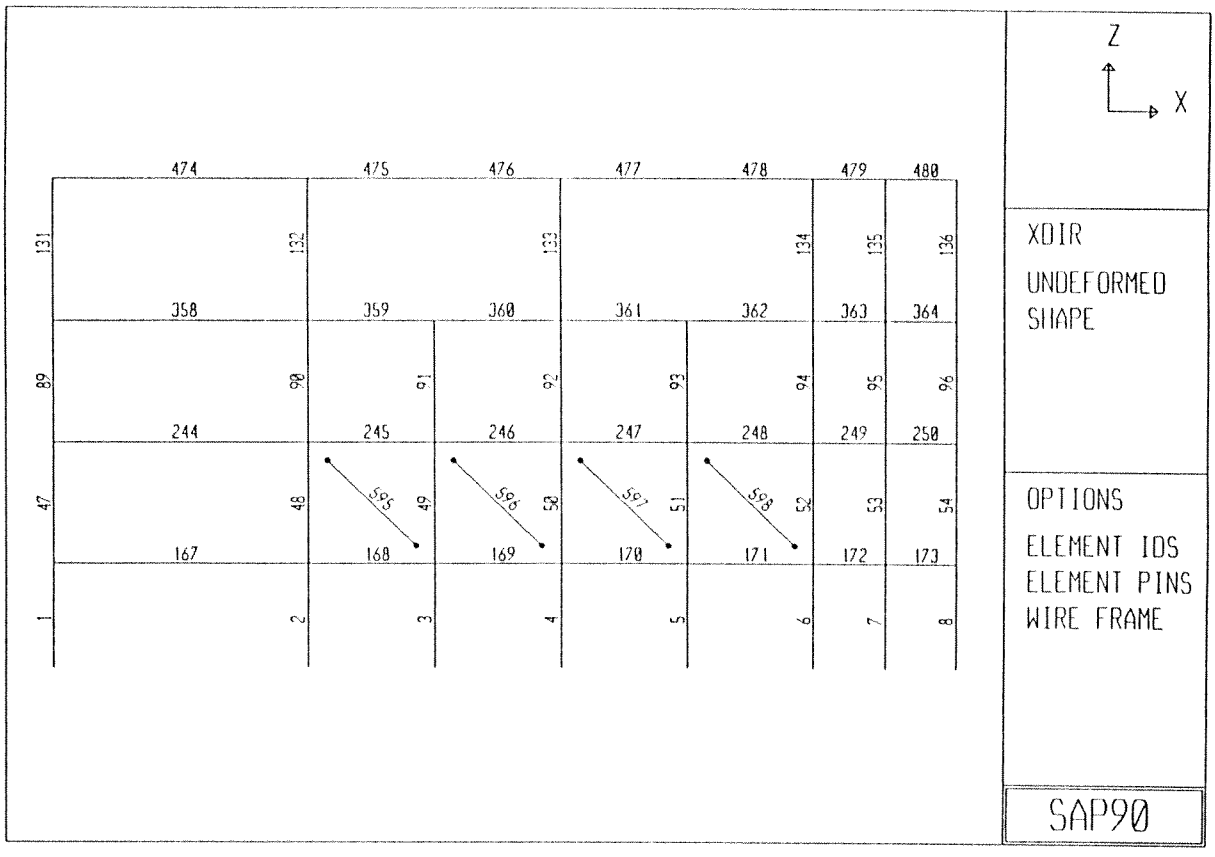
Şekil 41. D Aksındaki Bina Çerçevesi.

Dolgu duvarların ardışık kırılma sırası Tablo 17.'de verilmiştir.

Tablo 17. D Aksındaki Ardışık Kırılma Sırası.

Kat No:	1. kat	2. kat	3. kat	4. kat
Eleman No:	580	yok	609	616
Kırılma No:	-	-	**1**	**2**

E Aksındaki Bina Çerçevesi: Bu çerçevede 4 adet taşıyıcı olmayan dolgu duvar bulunup Şekil 42.'de gösterilmektedir.



Şekil 42. E Aksındaki Bina Çerçevesi.

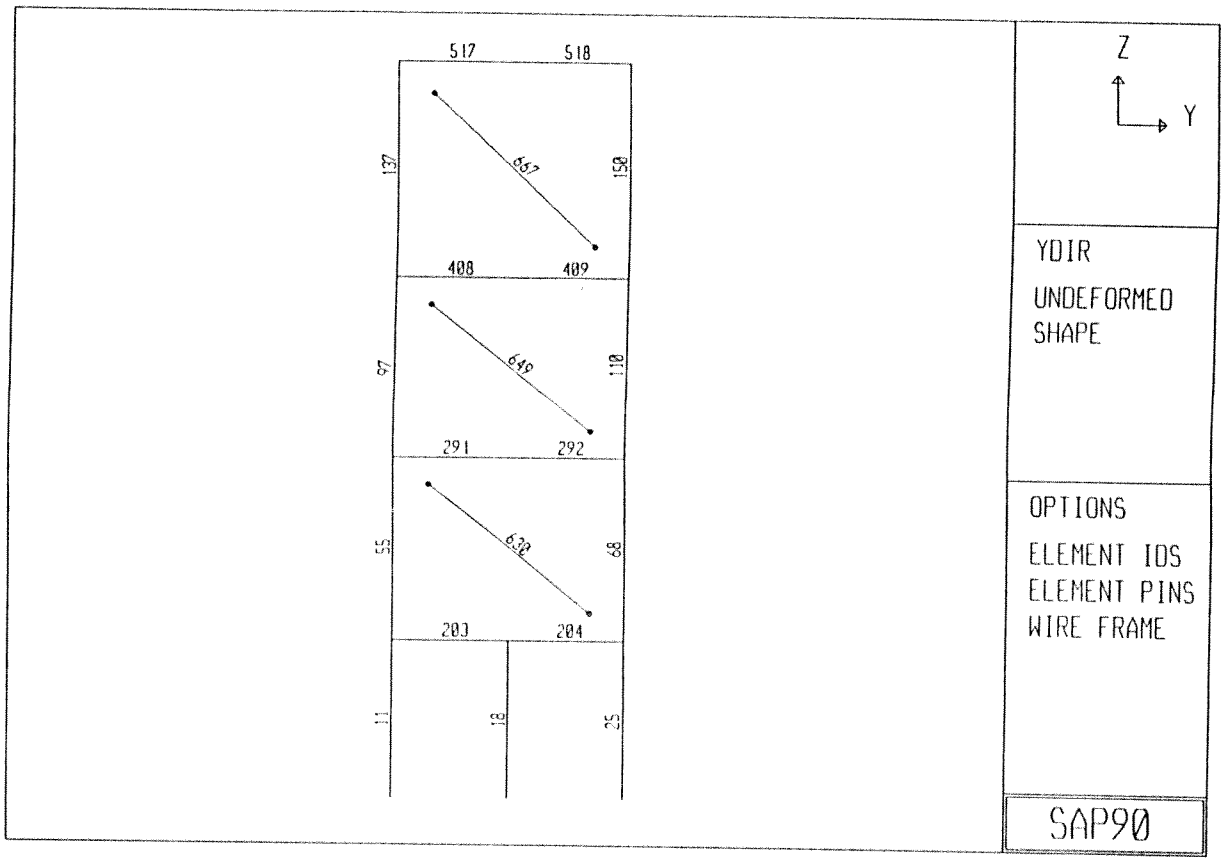
Dolgu duvarların ardışık kırılma sırası Tablo 18.'de verilmiştir.

Tablo 18. E Aksındaki Ardışık Kırılma Sırası.

Kat No:	1. kat	2. kat				3. kat	4. kat
Eleman No:	yok	595	596	597	598	yok	yok
Kırılma No:	-	36	34	35	33	-	-

8.2.2. Y Yönündeki Bina Çerçeveleri

1 Aksındaki Bina Çerçevesi: Bu çerçevede 3 adet taşıyıcı olmayan dolgu duvar bulunup Şekil 43.'te gösterilmektedir.



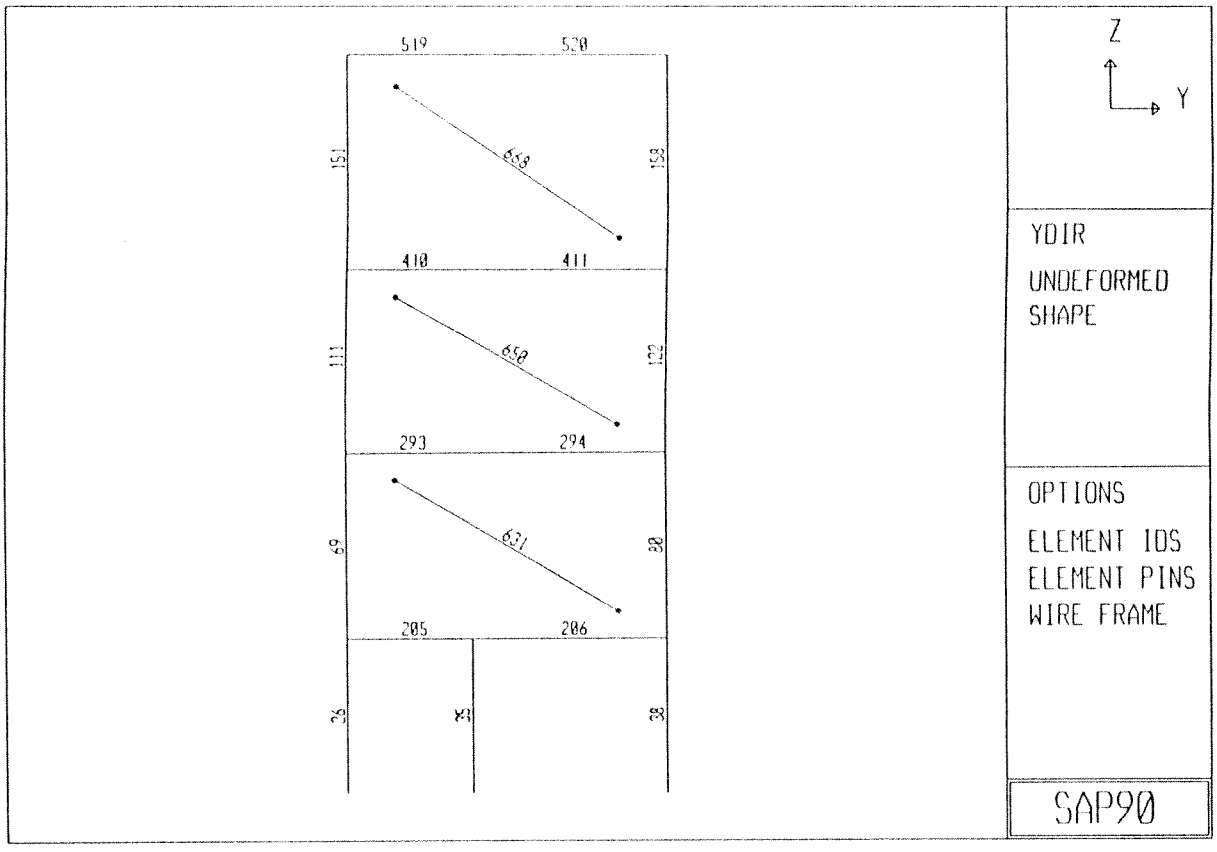
Şekil 43. 1 Aksındaki Bina Çerçevesi.

Dolgu duvarların ardışık kırılma sırası Tablo 19.'da verilmiştir.

Tablo 19. 1 Aksındaki Ardışık Kırılma Sırası.

Kat No:	1. kat	2. kat	3. kat	4. kat
Eleman No:	yok	630	649	667
Kırılma No:	-	7	24	40

2 Aksındaki Bina Çerçevesi: Bu çerçevede 3 adet taşıyıcı olmayan dolgu duvar bulunup Şekil 44.'te gösterilmektedir.



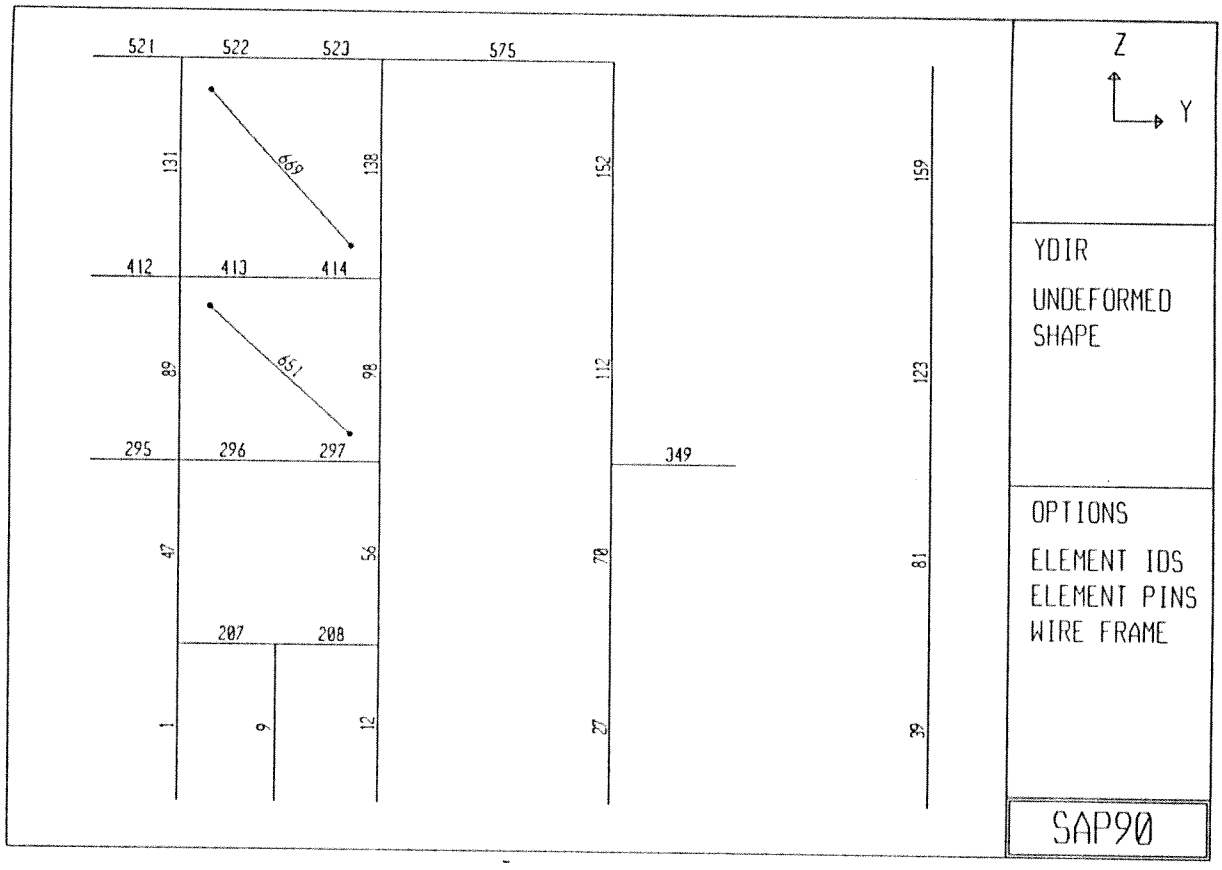
Şekil 44. 2 Aksındaki Bina Çerçevesi.

Dolgu duvarların ardışık kırılma sırası Tablo 20.'de verilmiştir.

Tablo 20. 2 Aksındaki Ardışık Kırılma Sırası.

Kat No:	1. kat	2. kat	3. kat	4. kat
Eleman No:	yok	631	650	668
Kırılma No:	-	3	21	38

3 Aksındaki Bina Çerçevesi: Bu çerçevede 2 adet taşıyıcı olmayan dolgu duvar bulunup Şekil 45.'te gösterilmektedir.



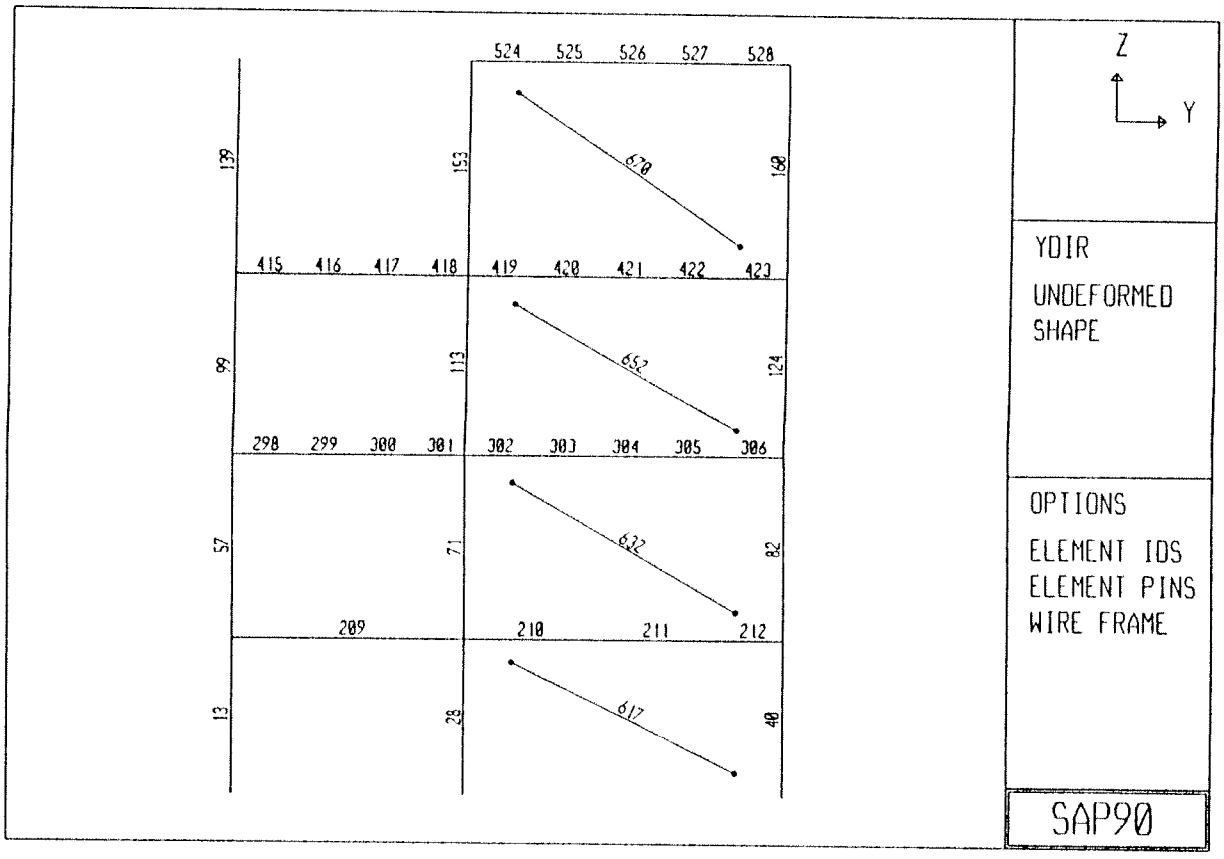
Şekil 45. 3 Aksındaki Bina Çerçevesi.

Dolgu duvarların ardışık kırılma sırası Tablo 21.'de verilmiştir.

Tablo 21. 3 Aksındaki Ardışık Kırılma Sırası.

Kat No:	1. kat	2. kat	3. kat	4. kat
Eleman No:	yok	yok	651	669
Kırılma No:	-	-	25	41

4 Aksındaki Bina Çerçevesi: Bu çerçevede 4 adet taşıyıcı olmayan dolgu duvar bulunup Şekil 46.'da gösterilmektedir.



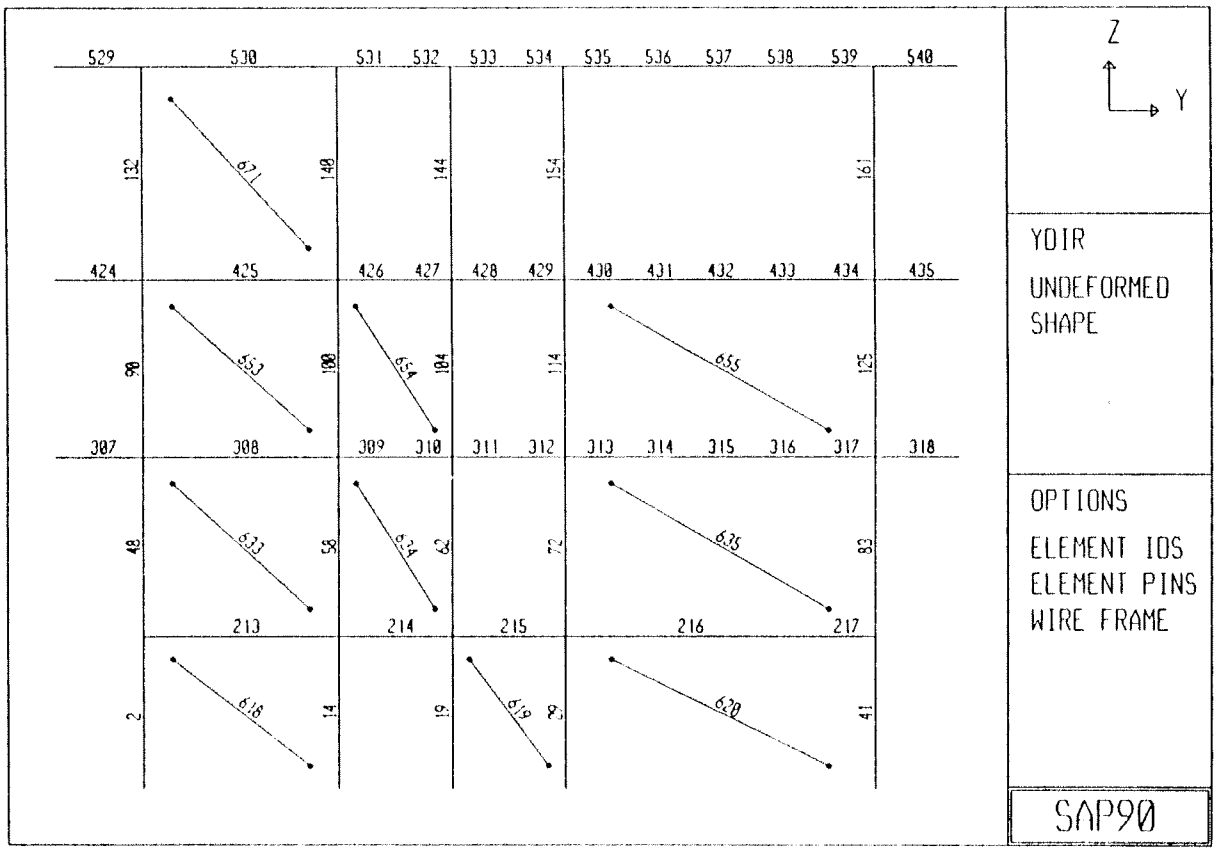
Şekil 46. 4 Aksındaki Bina Çerçevesi.

Dolgu duvarların ardışık kırılma sırası Tablo 22.'de verilmiştir.

Tablo 22. 4 Aksındaki Ardışık Kırılma Sırası.

Kat No:	1. kat	2. kat	3. kat	4. kat
Eleman No:	617	632	652	670
Kırılma No:	-	5	23	39

5 Aksındaki Bina Çerçevesi: Bu çerçevede 10 adet taşıyıcı olmayan dolgu duvar bulunup Şekil 47.'de gösterilmektedir.



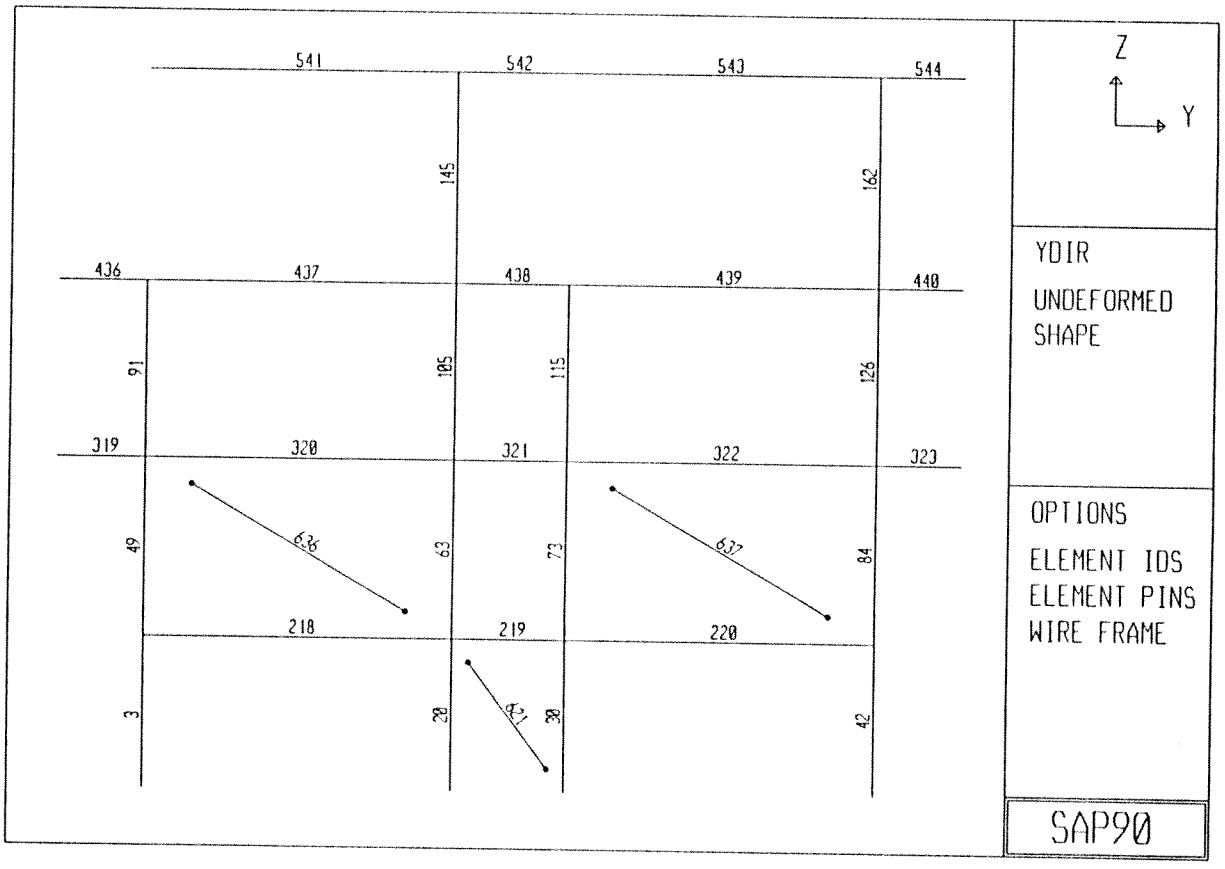
Şekil 47. 5 Aksındaki Bina Çerçevesi.

Dolgu duvarların ardışık kırılma sırası Tablo 23.'te verilmiştir.

Tablo 23. 5 Aksındaki Ardışık Kırılma Sırası.

Kat No:	1. kat			2. kat			3. kat			4. kat
Eleman No:	618	619	620	633	634	635	653	654	655	671
Kırılma No:	-	-	-	**6**	**1**	**4**	26	**2**	22	42

6 Aksındaki Bina Çerçevesi: Bu çerçevede 3 adet taşıyıcı olmayan dolgu duvar bulunup Şekil 48.'de gösterilmektedir.



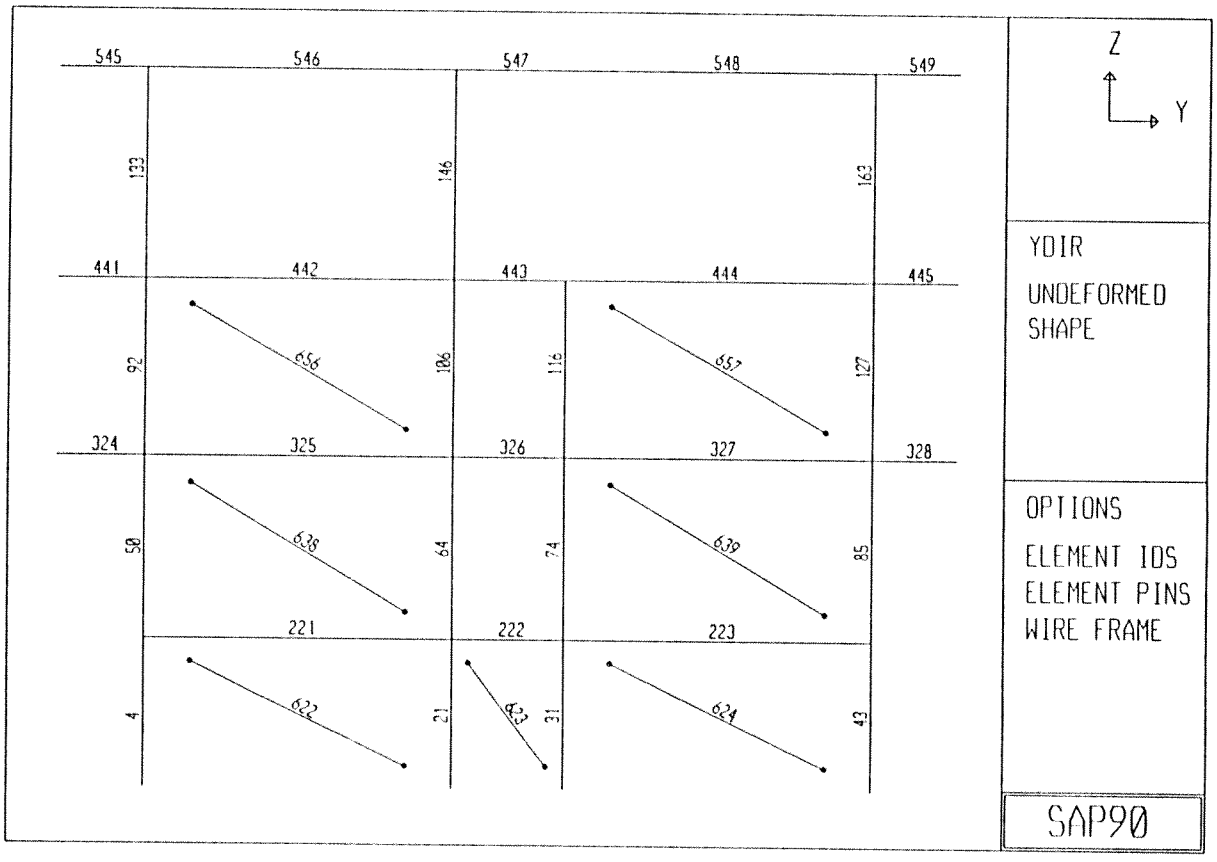
Şekil 48. 6 Aksındaki Bina Çerçevesi.

Dolgu duvarların ardışık kırılma sırası Tablo 24.'te verilmiştir.

Tablo 24. 6 Aksındaki Ardışık Kırılma Sırası.

Kat No:	1. kat	2. kat		3. kat	4. kat
Eleman No:	621	636	637	yok	yok
Kırılma No:	-	**9**	**8**	-	-

7 Aksındaki Bina Çerçevesi: Bu çerçevede 7 adet taşıyıcı olmayan dolgu duvar bulunup Şekil 49.'da gösterilmektedir.



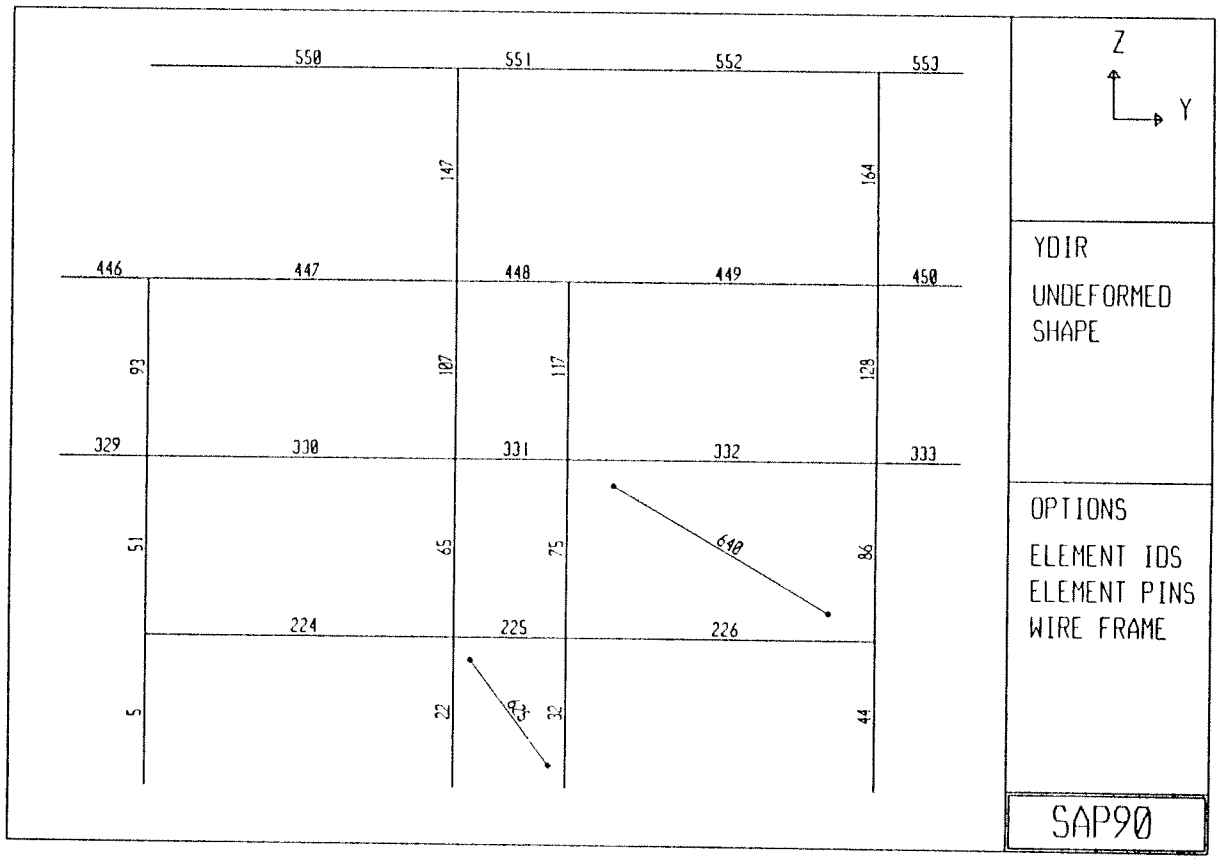
Şekil 49. 7 Aksındaki Bina Çerçevesi.

Dolgu duvarların ardışık kırılma sırası Tablo 25.'te verilmiştir.

Tablo 25. 7 Aksındaki Ardışık Kırılma Sırası.

Kat No:	1. kat			2. kat		3. kat		4. kat
Eleman No:	622	623	624	638	639	656	657	yok
Kırılma No:	-	-	-	11	**10**	27	28	-

8 Aksındaki Bina Çerçevesi: Bu çerçevede 2 adet taşıyıcı olmayan dolgu duvar bulunup Şekil 50.'de gösterilmektedir.



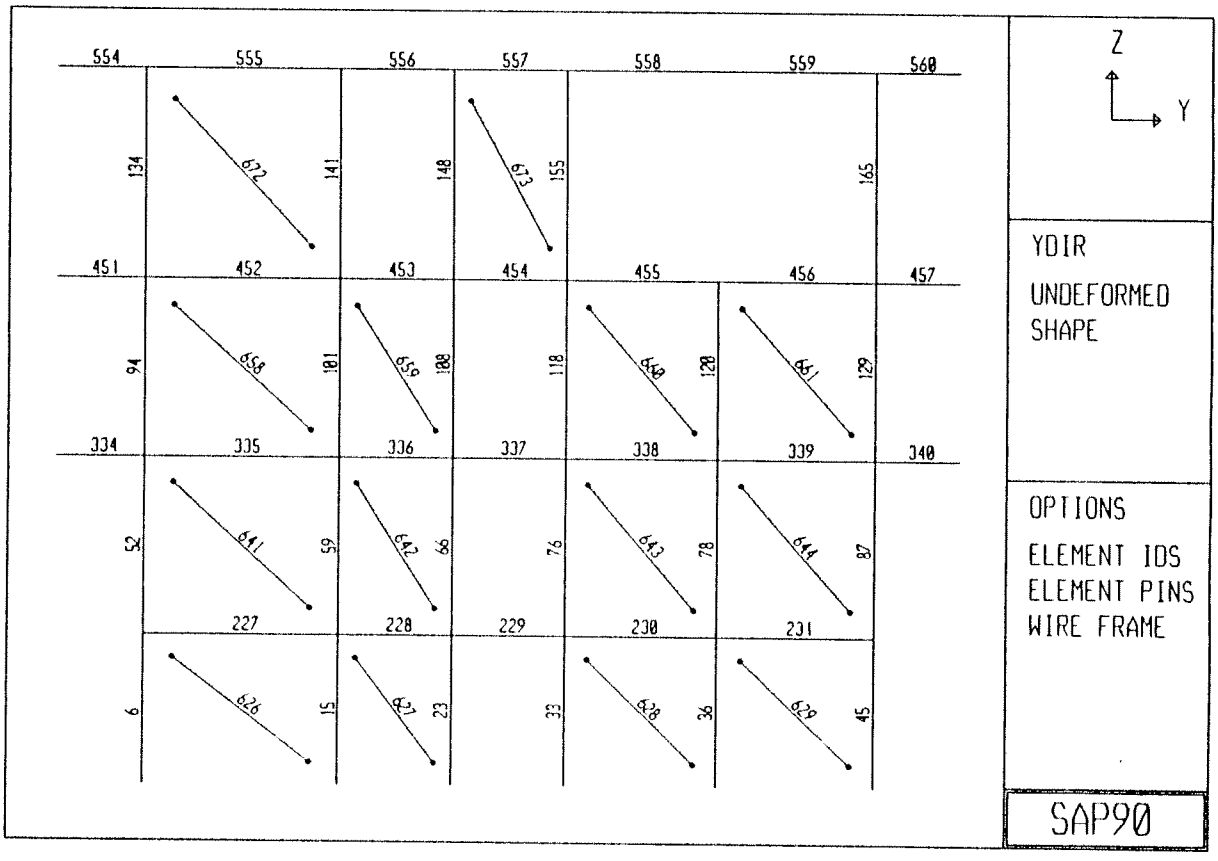
Şekil 50. 8 Aksındaki Bina Çerçevesi.

Dolgu duvarların ardışık kırılma sırası Tablo 26.'da verilmiştir.

Tablo 26. 8 Aksındaki Ardışık Kırılma Sırası.

Kat No:	1. kat	2. kat	3. kat	4. kat
Eleman No:	625	640	yok	yok
Kırılma No:	-	13	-	-

9 Aksındaki Bina Çerçevesi: Bu çerçevede 14 adet taşıyıcı olmayan dolgu duvar bulunup Şekil 51.'de gösterilmektedir.



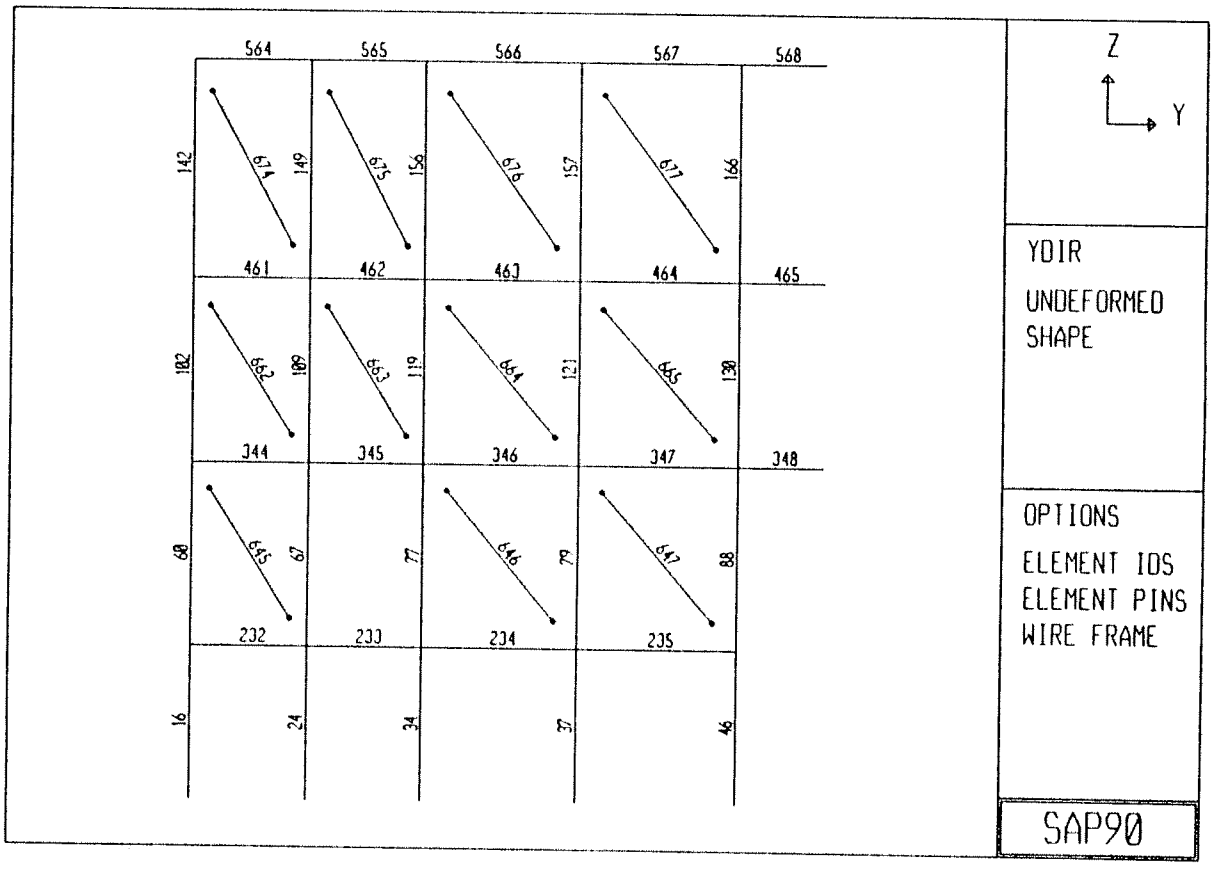
Şekil 51. 9 Aksındaki Bina Çerçevesi.

Dolgu duvarların ardışık kırılma sırası Tablo 27.'de verilmiştir.

Tablo 27. 9 Aksındaki Ardışık Kırılma Sırası.

Kat No:	1. kat				2. kat				3. kat				4. kat	
Eleman No:	626	627	628	629	641	642	643	644	658	659	660	661	672	673
Kırılma No:	-	-	-	-	15	12	16	14	31	29	30	34	43	47

10 Aksındaki Bina Çerçevesi: Bu çerçevede 11 adet taşıyıcı olmayan dolgu duvar bulunup Şekil 52.'de gösterilmektedir.



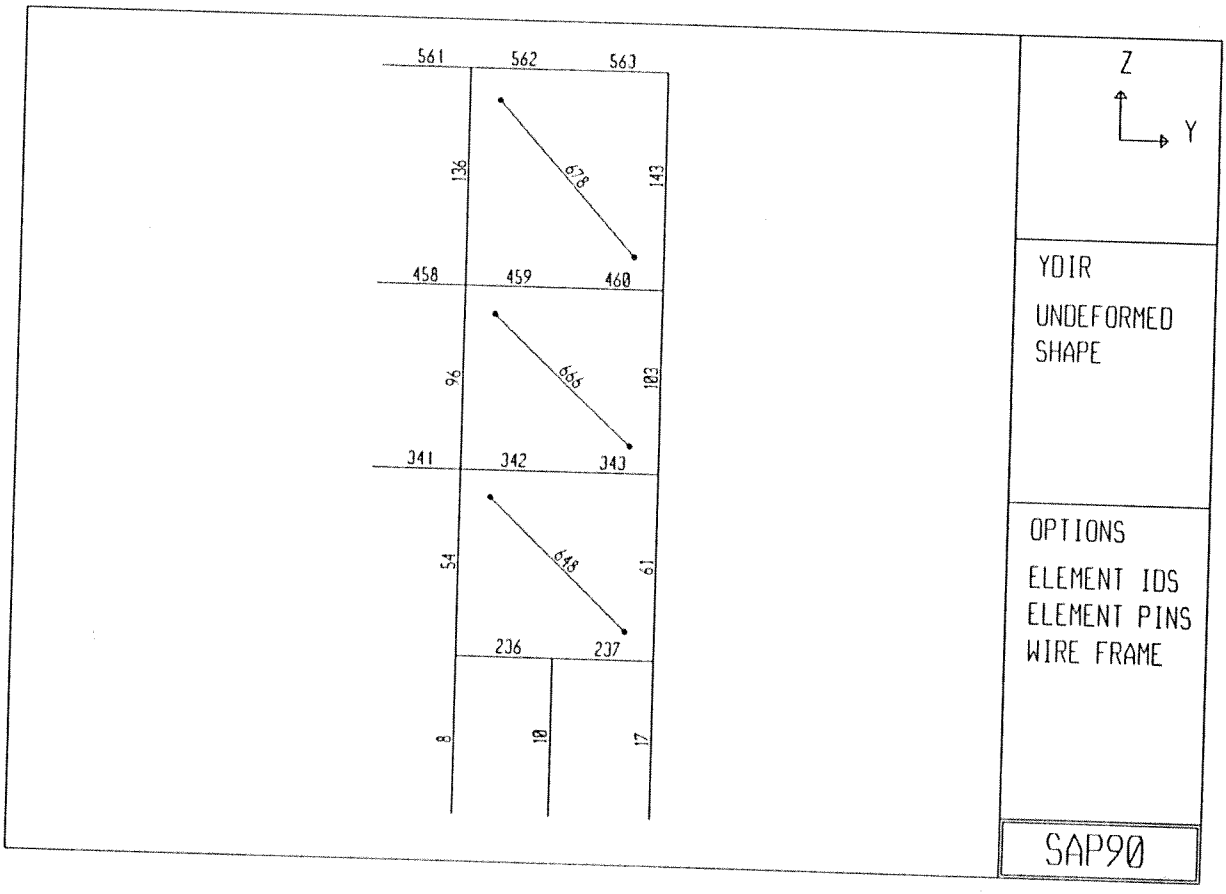
Şekil 52. 10 Aksındaki Bina Çerçevesi.

Dolgu duvarların ardışık kırılma sırası Tablo 28.'de verilmiştir.

Tablo 28. 10 Aksındaki Ardışık Kırılma Sırası.

Kat No:	1. kat	2. kat			3. kat				4. kat			
Eleman No:	yok	645	646	647	662	663	664	665	674	675	676	677
Kırılma No:	-	17	18	19	32	36	33	35	44	48	46	45

11 Aksındaki Bina Çerçevesi: Bu çerçevede 3 adet taşıyıcı olmayan dolgu duvar bulunup Şekil 53.'te gösterilmektedir.



Şekil 53. 11 Aksındaki Bina Çerçevesi.

Dolgu duvarların ardışık kırılma sırası Tablo 29.'da verilmiştir.

Tablo 29. 11 Aksındaki Ardışık Kırılma Sırası.

Kat No:	1. kat	2. kat	3. kat	4. kat
Eleman No:	yok	648	666	678
Kırılma No:	-	20	37	49

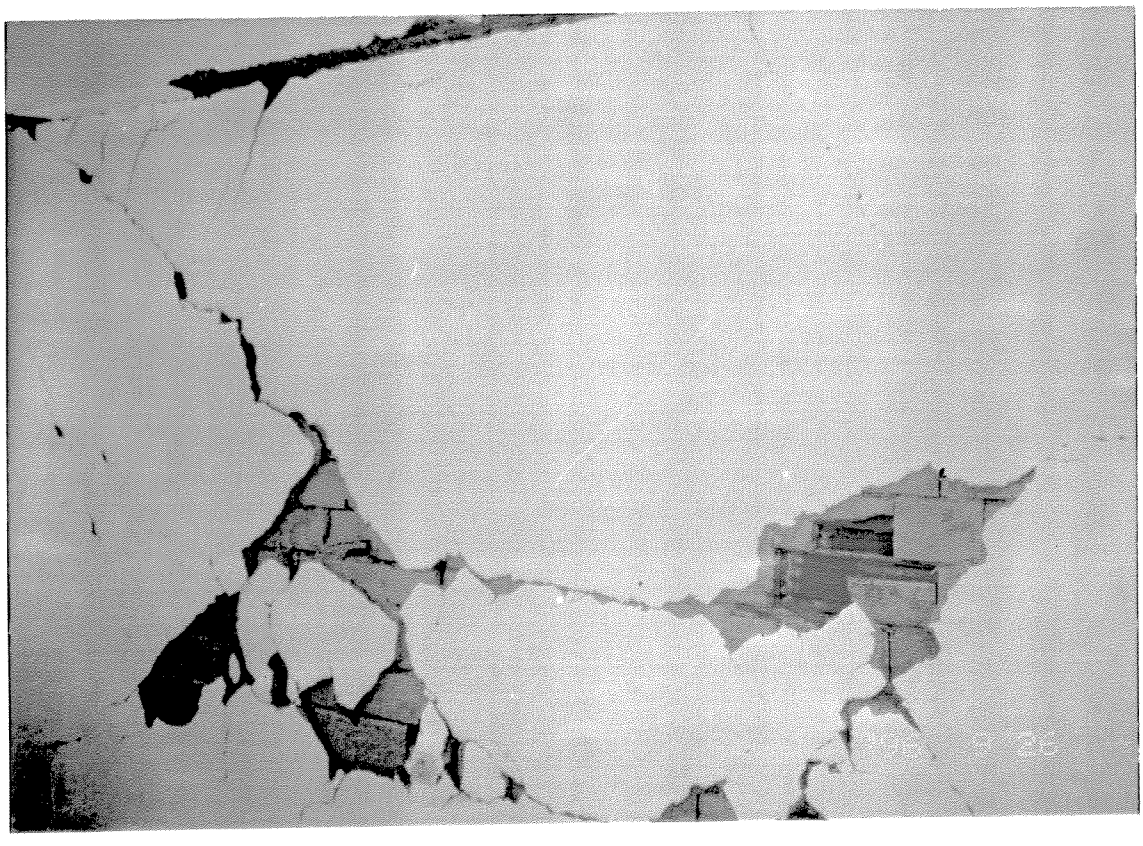
Burulma Etkisi: Binanın dolgu duvarları gözönüne alınarak ve alınmayarak yapılan hesapların ışığında kayma merkezinin dolgu duvarlar gözönüne alındığında dolgu duvarsız duruma nazaran Y yönünde %5.5 kaydığı ve X yönünde %1'den az kaydığı görülmüştür.

8.2.3. Dinar Halk Eğitim Merkezi Binasının Eşdeğer Statik Yüklerle Deprem Hesabı Sonuçlarının Tartışması

Halk Eğitim Merkezinin üç boyutlu deprem hesabı statik eşdeğer yükler altında taşıyıcı olmayan dolgu duvarları gözönüne alarak ve almayarak yapılmıştır. Bu hesaplar sonucunda taşıyıcı olmayan dolgu duvarların varlığının binanın sismik davranışını büyük ölçüde etkilediği belirlenmiştir. (Şekil. 54, 55) Bu etkiler aşağıda özetlenmiştir:

- Y yönündeki dolgu duvarlarda deprem etkisiyle meydana gelen hasarlar önerilen teknik ile belirlenen dolgu duvar hasarlarıyla karşılaştırılınca birbirine çok yakın sonuçlar elde edilmiştir.
- Depremin binaya etkidiği esas yön yaklaşık Y yönü olduğu için depremde X yönünde pek hasar meydana gelmemiştir. Bu nedenle depremin X yönünde etkidiği varsayılarak yapılan analiz sonuçlarından elde edilen dolgu duvar hasarları ile depremin yol açtığı dolgu duvar hasarları bu yönde uyuşmamaktadır.
- Binanın eşdeğer yük hesabında elastik kat salınımları şartname değerlerini sağladığı halde bölme duvarlarının depremde hasar görmüş olması kat salınım limitlerinin dolgu duvar hasarlarının kontrolü için yeterli olmadığını göstermiştir. Bu nedenle önerilen yöntem kullanılarak hesap yapılmasının gerekli olduğu anlaşılmıştır.

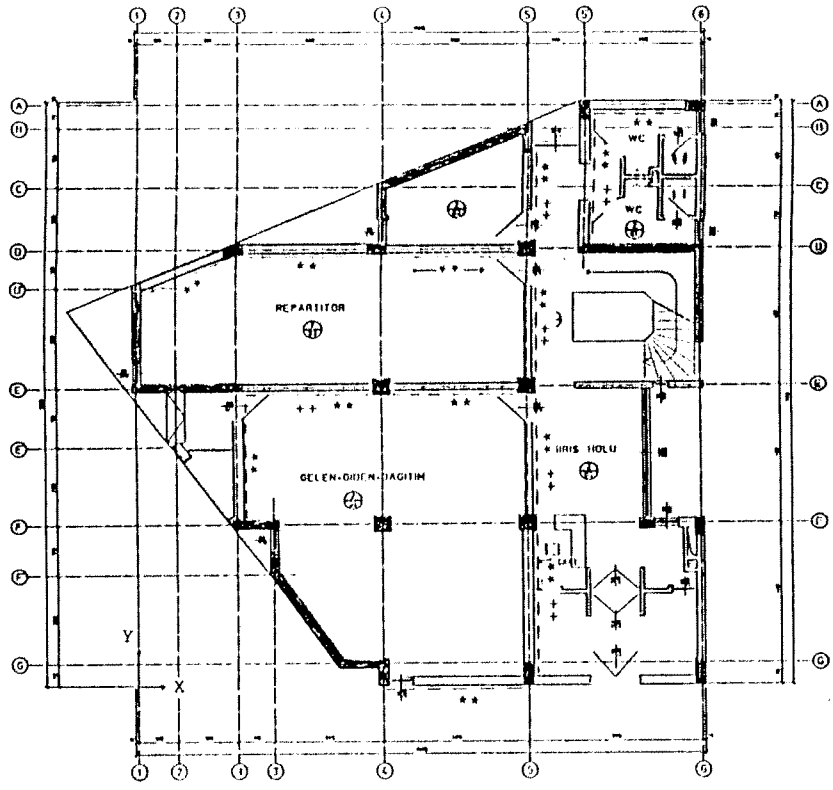
Şekil 54. Dinar Halk Eğitim Merkezi Binasının Görünüşü.



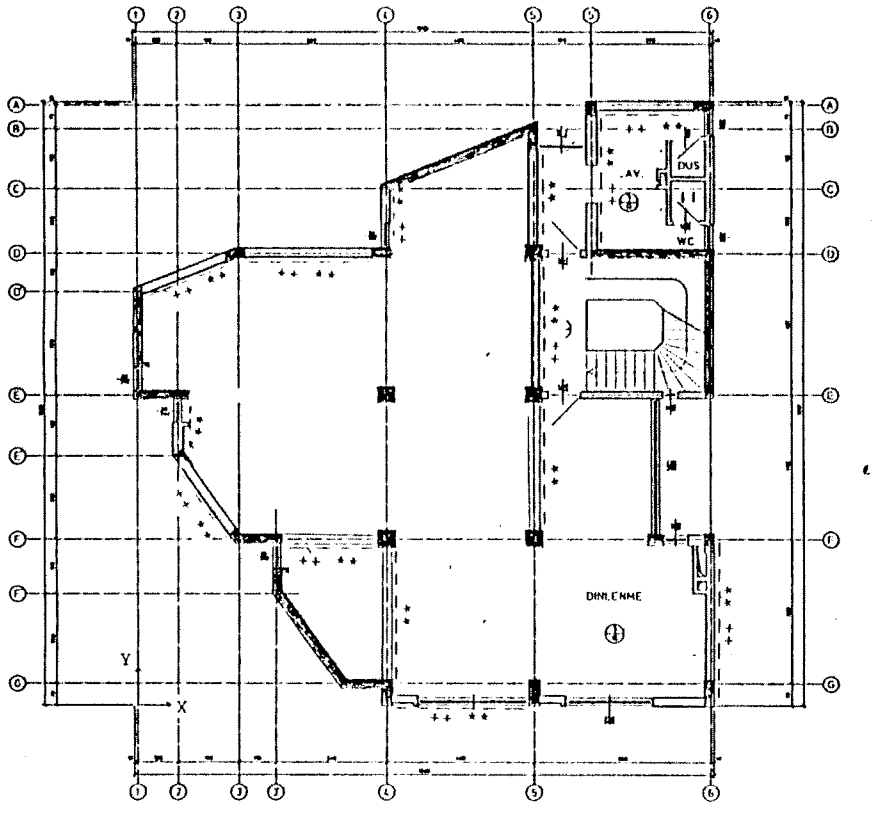
Şekil 55. Depremde Hasar Görmüş Dolgu Duvar.

8.3. Uygulama 3: PTT Binasının Deprem Hesabı

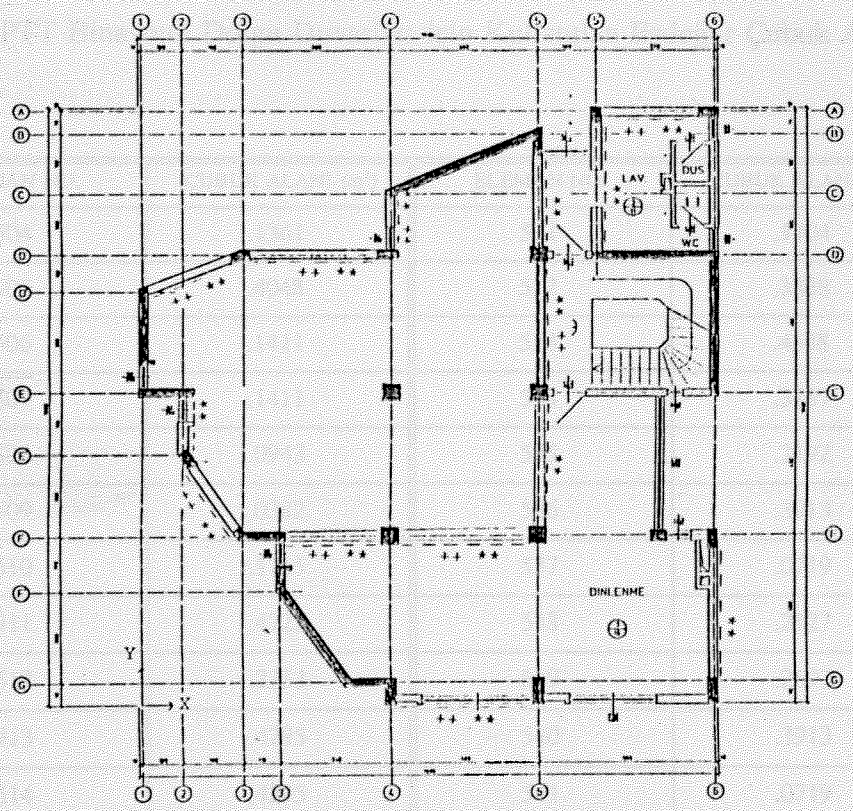
PTT binası beş katlı bir bina olup bodrum kat, zemin kat ve üç tipik kattan kattan meydana gelmiştir. Yapısal sistemi betonarme çerçevelerden oluşmuştur. Bodrum kat perde duvarlarla çevrelenmiştir. Zemin, birinci, ikinci ve üçüncü katların kalıp planları sırasıyla Şekil 56, 57, 58 ve 59'da gösterilmektedir. Dolgu duvarlar şekillerde kesik çizgilerle işaretlenmişlerdir. Dış ve iç dolgu duvarlar delikli tuğladan yapılmış ve sıvalı olup kalınlıkları 20 cm'dir. 1 Ekim 1995'teki depremin binaya etkiyen dominant ivmesinin X yönüne paralel olduğu görülmektedir. Bunun bir sonucu olarak dolgu duvar hasarlarının büyük çoğunluğu X yönündedir. Depremde hasar gören dolgu duvarlar Şekillerde "++" işaretiyle gösterilmiştir. Bodrum katta ise perde duvarların sayesinde hemen hiç dolgu duvar hasarı oluşmamıştır. Yapısal sistemin yerinde incelenmesi sonucunda yapının genelde elastik kaldığı, görünür kalıcı deformasyonun ve plastik mafsallaşmaların olmadığı gözlenmiştir. Fakat özellikle X yönündeki dolgu duvarlarda kalıcı hasarlar (kırılmalar) meydana gelmiştir. Yapısal sistemi elastik kalıp bir çok dolgu duvarı hasar gören bu binaya önerilen hesap tekniğinin uygulanması elverişli görülmüştür. Binanın üç boyutlu yapısal modeli SAP 90 bilgisayar programı yardımı ile çözümlenmiştir. Binada 53 adet taşıyıcı olmayan dolgu duvar mevcuttur. Bunların içinde kısmi dolgu duvarlar bulunmamaktadır. Eşdeğer statik deprem yüklerini belirlemek için 1975 deprem şartnamesi kullanılmıştır. Yapının toplam ağırlığı 1991 ton'dur. Binaya etkiyen toplam eşdeğer statik yatay kuvvet 239 ton'dur. X ve Y yönlerindeki doğal periyotlar sırasıyla 0.43 s. ve 0.44 saniyedir. Hesap sonucunda kırıldığı belirlenen dolgu duvarlar Şekillerde "**" işaretiyle gösterilmiştir. Dolgu duvarlar için kullanılan eşdeğer çubuk alanları Tablo 30'te verilmiştir.



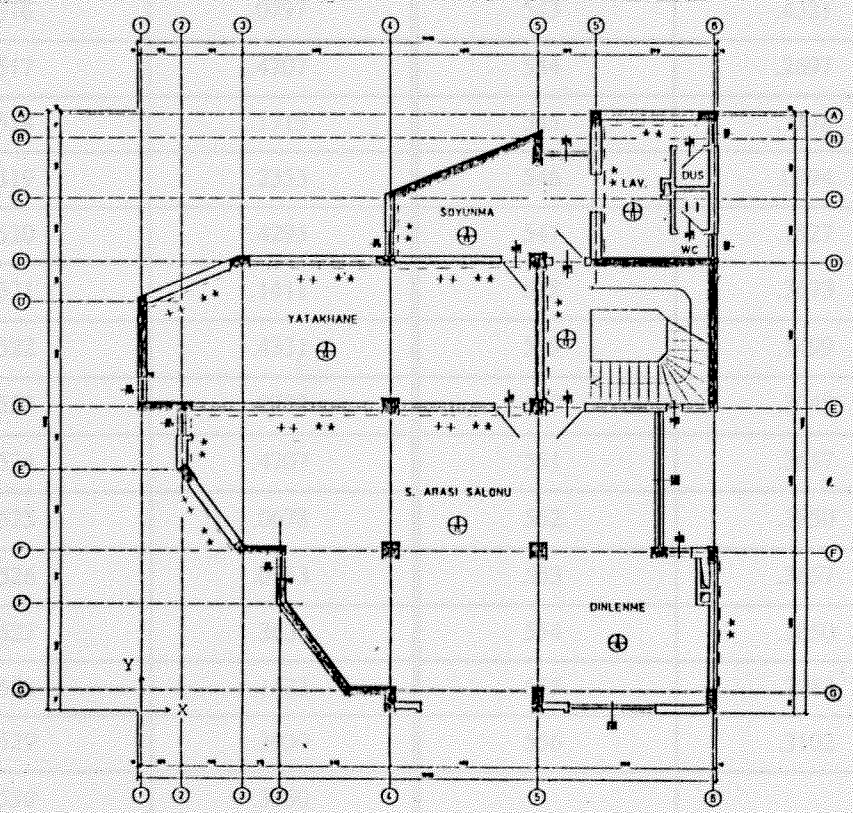
Şekil 56. PTT Binasının Zemin Kat Planı.



Şekil 57. PTT Binasının Birinci Kat Planı.



Şekil 58. PTT Binasının İkinci Kat Planı.



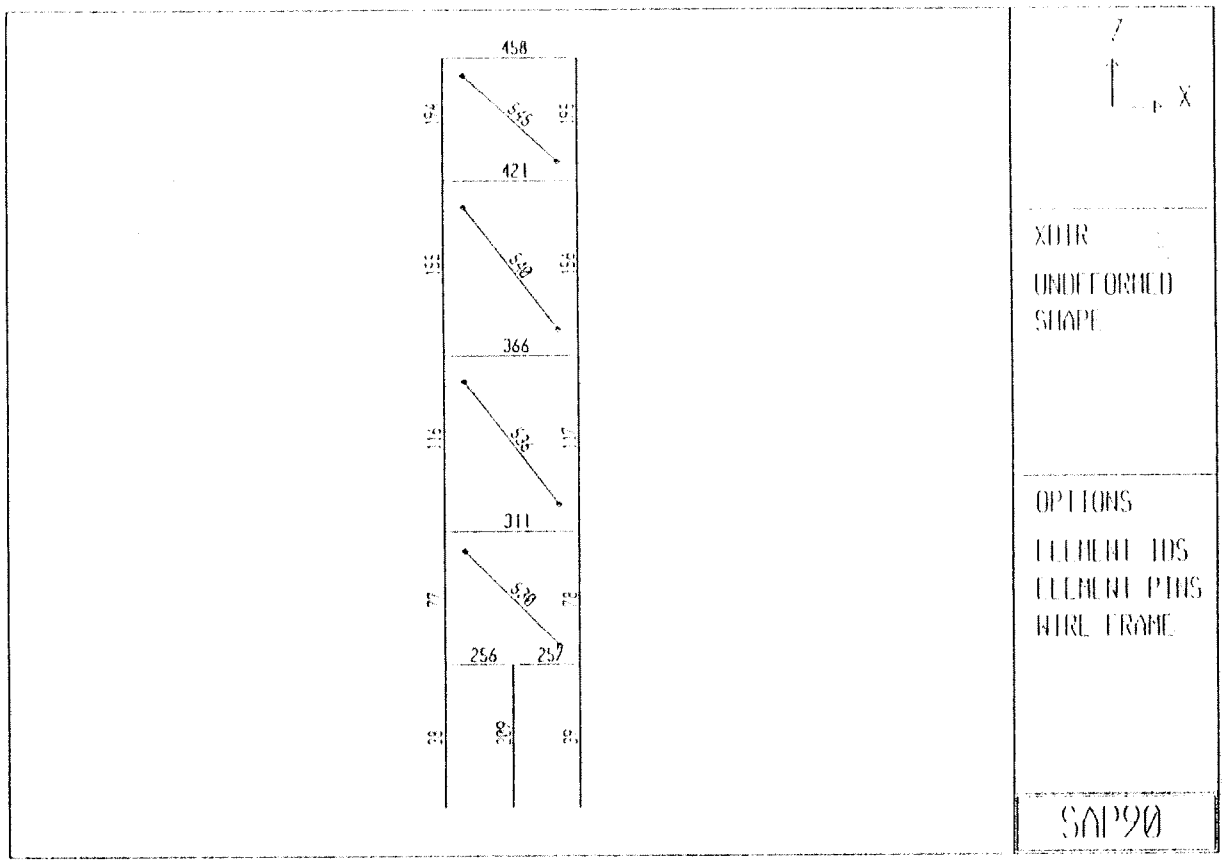
Şekil 59. PTT Binasının Üçüncü Kat Planı.

Tablo 30. PTT Binasının Dolgu Duvarları için Kullanılan Eşdeğer Çubuk Alanları.

ELEMAN NO.	ÇUBUK ALANI (m^2)	ELEMAN NO.	ÇUBUK ALANI (m^2)
504	.1361	531	.1404
505	.4048	532	.3838
506	.1411	533	.4548
507	.1411	534	.3737
508	.0943	535	.2192
509	.0382	536	.3913
510	.1715	537	.0719
511	.4725	538	.2127
512	.2353	539	.2697
513	.4295	540	.3913
514	.4295	541	.0719
515	.4331	542	.5064
516	.0797	543	.4321
517	.4707	544	.2697
518	.1715	545	.3178
519	.2353	546	.0994
520	.4295	547	.1527
521	.1411	548	.3673
522	.4331	549	.1499
523	.0797	550	.3048
524	.4707	551	.3657
525	.0678	552	.3850
526	.0753	553	.3657
527	.3638	554	.3850
528	.1432	555	.2983
529	.3930	556	.3102
530	.3250		

8.3.1. X Yönündeki Bina Çerçeveleri

A Aksındaki Bina Çerçevesi: Bu çerçevede 4 adet taşıyıcı olmayan dolgu duvar bulunup Şekil 60.'da gösterilmiştir.



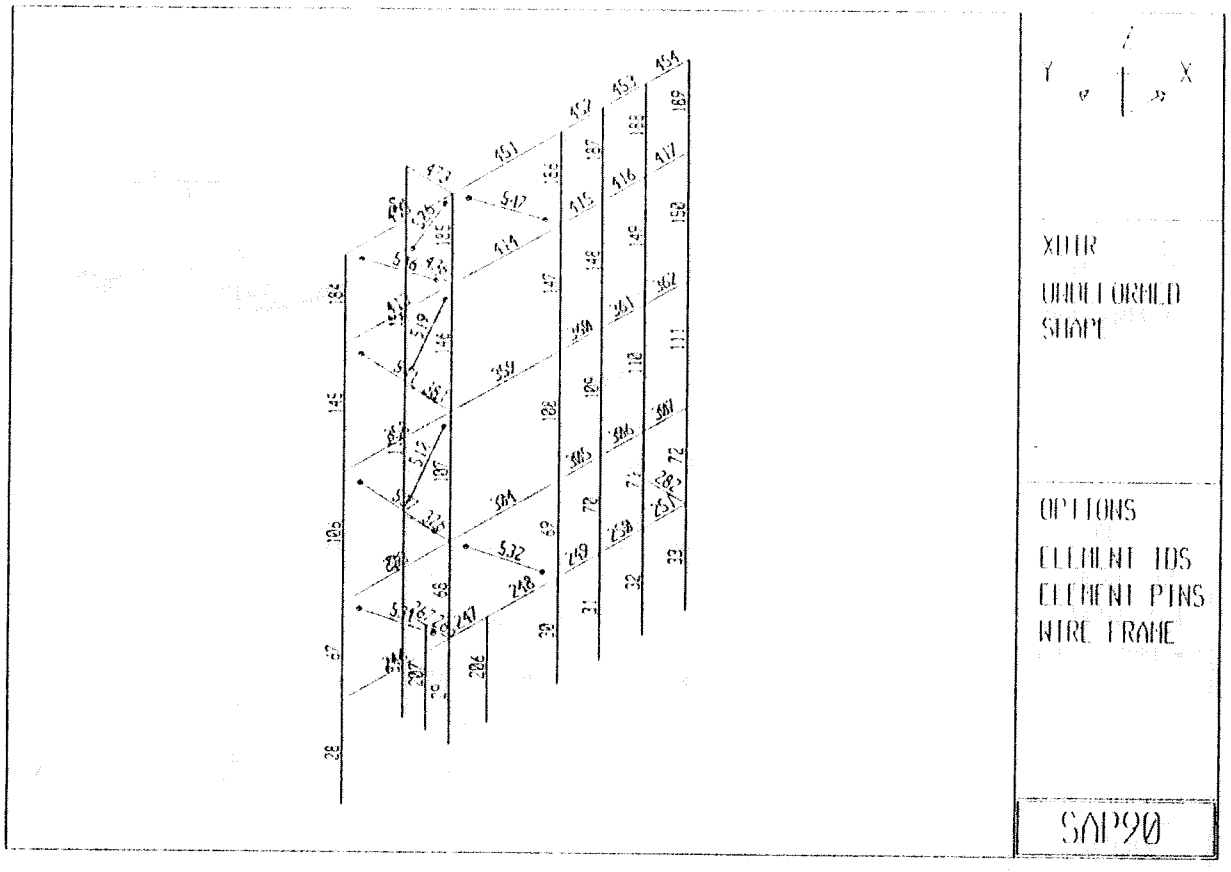
Şekil 60. A Aksındaki Bina Çerçevesi.

Dolgu duvarların ardışık kırılma sırası Tablo 31.'de verilmiştir.

Tablo 31. A Aksındaki Ardışık Kırılma Sırası.

Kat No:	1. kat	2. kat	3. kat	4. kat	5. kat
Eleman No:	yok	530	536	540	545
Kırılma No:	-	27	20	22	28

C-D Aksları Arası Bina Çerçevesi: Bu çerçevede 3 adet taşıyıcı olmayan dolgu duvar bulunup Şekil 61.'de gösterilmiştir.



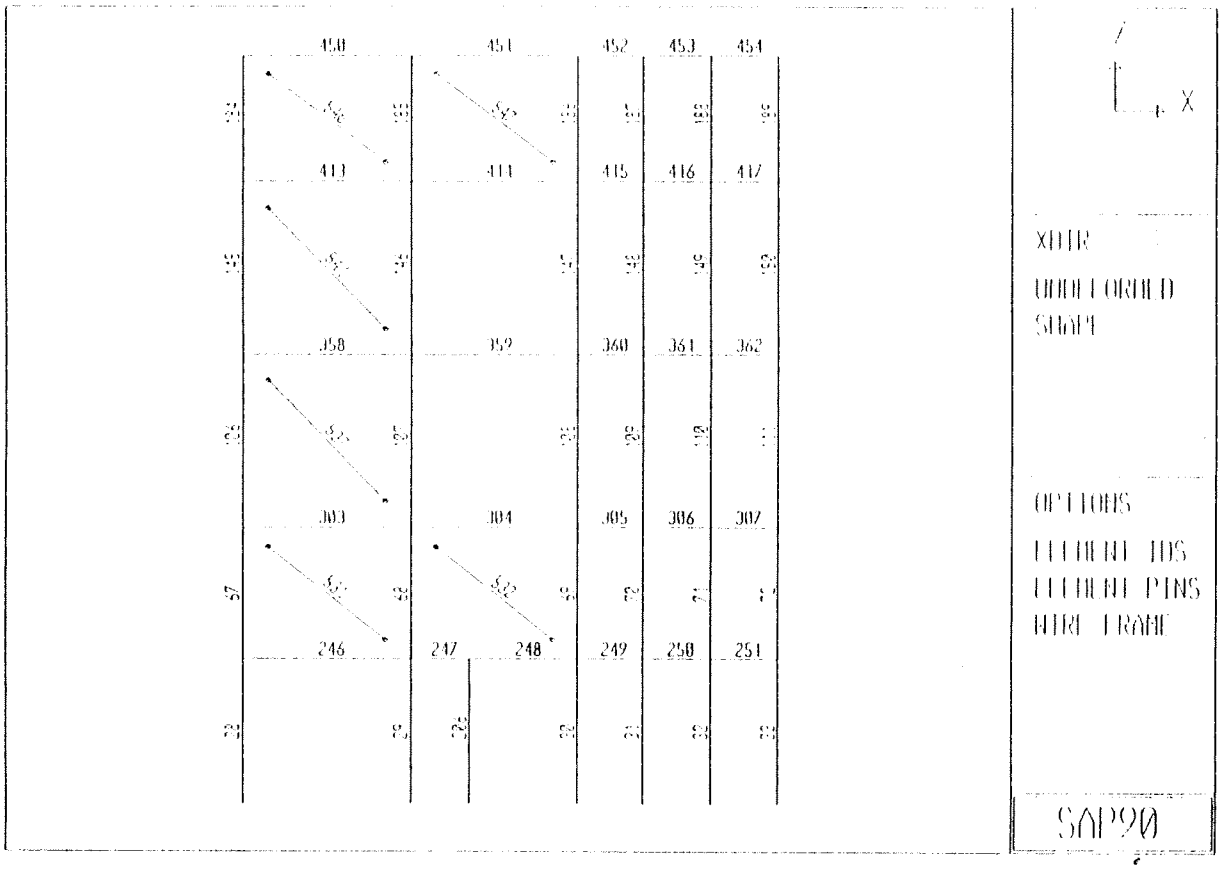
Şekil 61. C-D Aksları Arası Bina Çerçevesi.

Dolgu duvarların ardışık kırılma sırası Tablo 32.'de verilmiştir.

Tablo 32. C-D Aksları Arası Ardışık Kırılma Sırası.

Kat No:	1. kat	2. kat	3. kat	4. kat	5. kat
Eleman No:	yok	yok	512	519	526
Kırılma No:	-	-	-	23	19

D Aksındaki Bina Çerçevesi: Bu çerçevede 6 adet taşıyıcı olmayan dolgu duvar bulunup Şekil 62.'de gösterilmiştir.



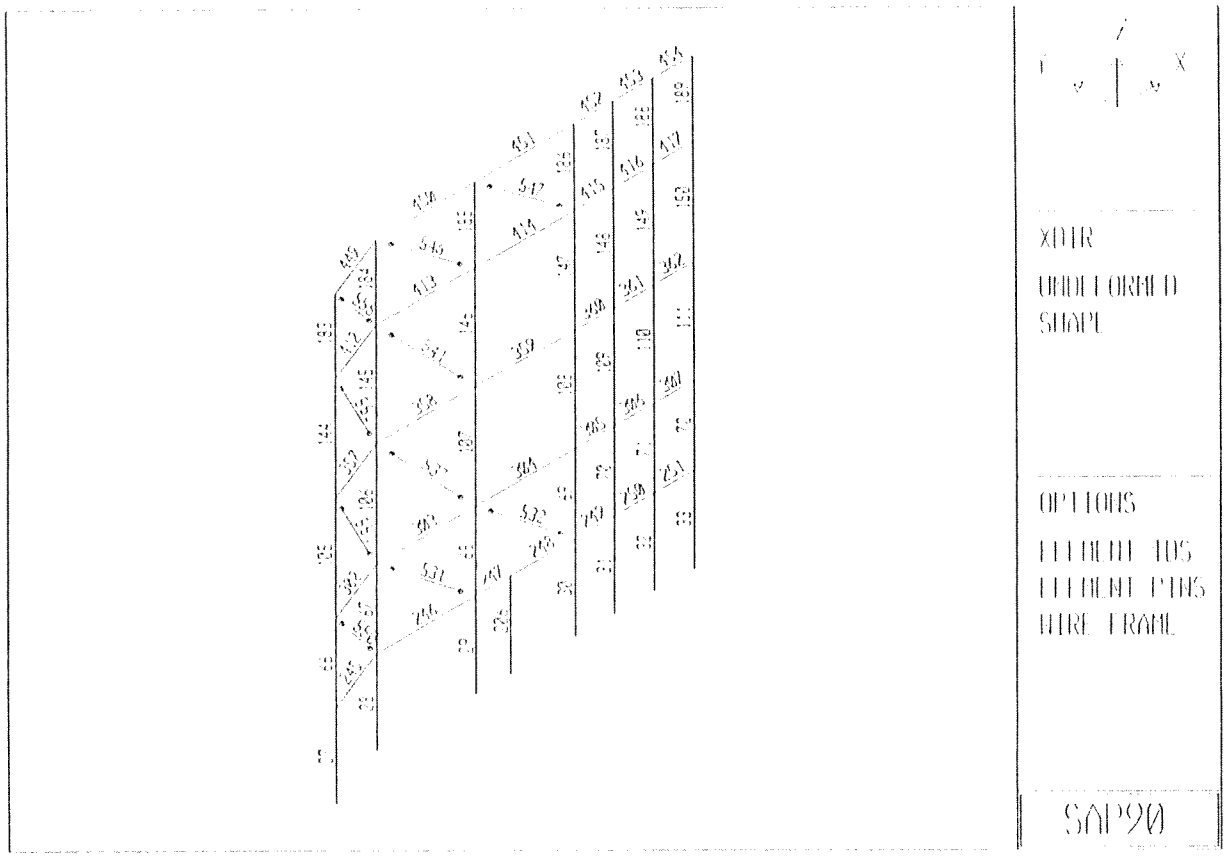
Şekil 62. D Aksındaki Bina Çerçevesi.

Dolgu duvarların ardışık kırılma sırası Tablo 33.'de verilmiştir.

Tablo 33. D Aksındaki Ardışık Kırılma Sırası.

Kat No:	1. kat	2. kat		3. kat	4. kat	5. kat	
Eleman No:	yok	531	532	537	541	546	547
Kırılma No:	-	12	21	**1**	**2**	**3**	16

D-D′ Aksları Arası Bina Çerçevesi: Bu çerçevede 4 adet taşıyıcı olmayan dolgu duvar bulunup Şekil 63.'te gösterilmiştir.



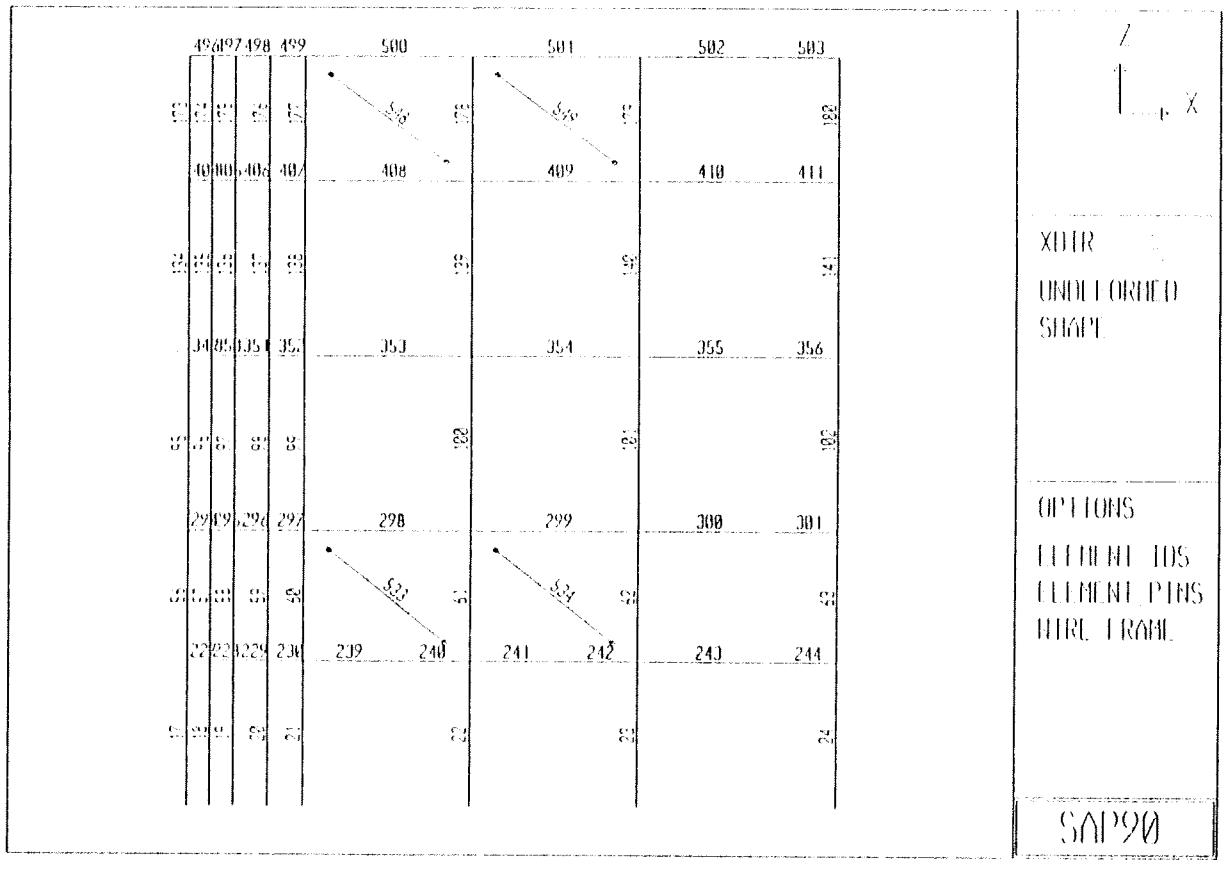
Şekil 63. D-D′ Aksları Arası Bina Çerçevesi.

Dolgu duvarların ardışık kırılma sırası Tablo 34.'de verilmiştir.

Tablo 34. D-D′ Aksları Arası Ardışık Kırılma Sırası.

Kat No:	1. kat	2. kat	3. kat	4. kat	5. kat
Eleman No:	yok	550	551	553	555
Kırılma No:	-	-	24	25	26

E Aksındaki Bina Çerçevesi: Bu çerçevede 4 adet taşıyıcı olmayan dolgu duvar bulunup Şekil 64.'te gösterilmiştir.



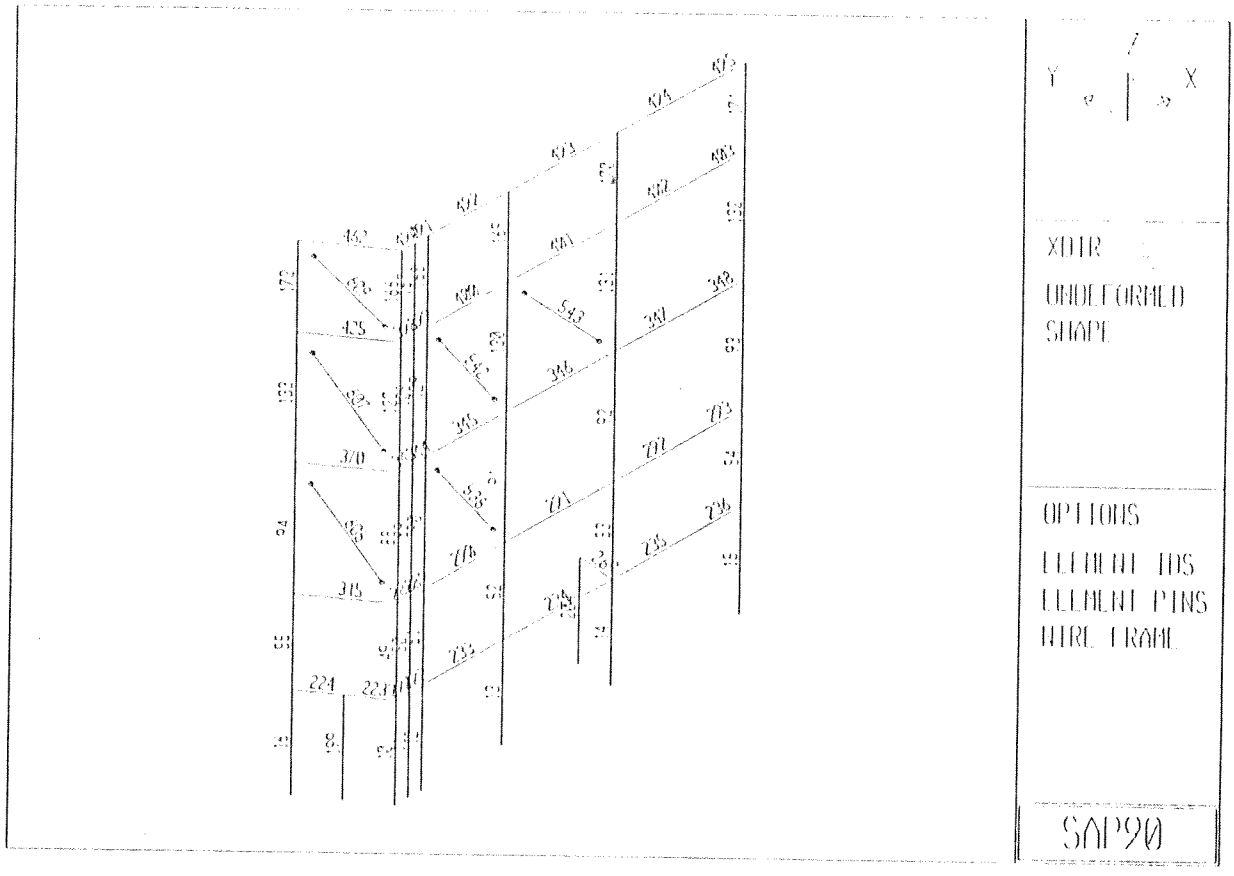
Şekil 64. E Aksındaki Bina Çerçevesi.

Dolgu duvarların ardışık kırılma sırası Tablo 35.'te verilmiştir.

Tablo 35. E Aksındaki Ardışık Kırılma Sırası.

Kat No:	1. kat	2. kat		3. kat	4. kat	5. kat	
Eleman No:	yok	533	534	yok	yok	548	549
Kırılma No:	-	11	18	-	-	**8**	**10**

E'-F Aksları Arası Bina Çerçevesi: Bu çerçevede 3 adet taşıyıcı olmayan dolgu duvar bulunup Şekil 65.'de gösterilmiştir.



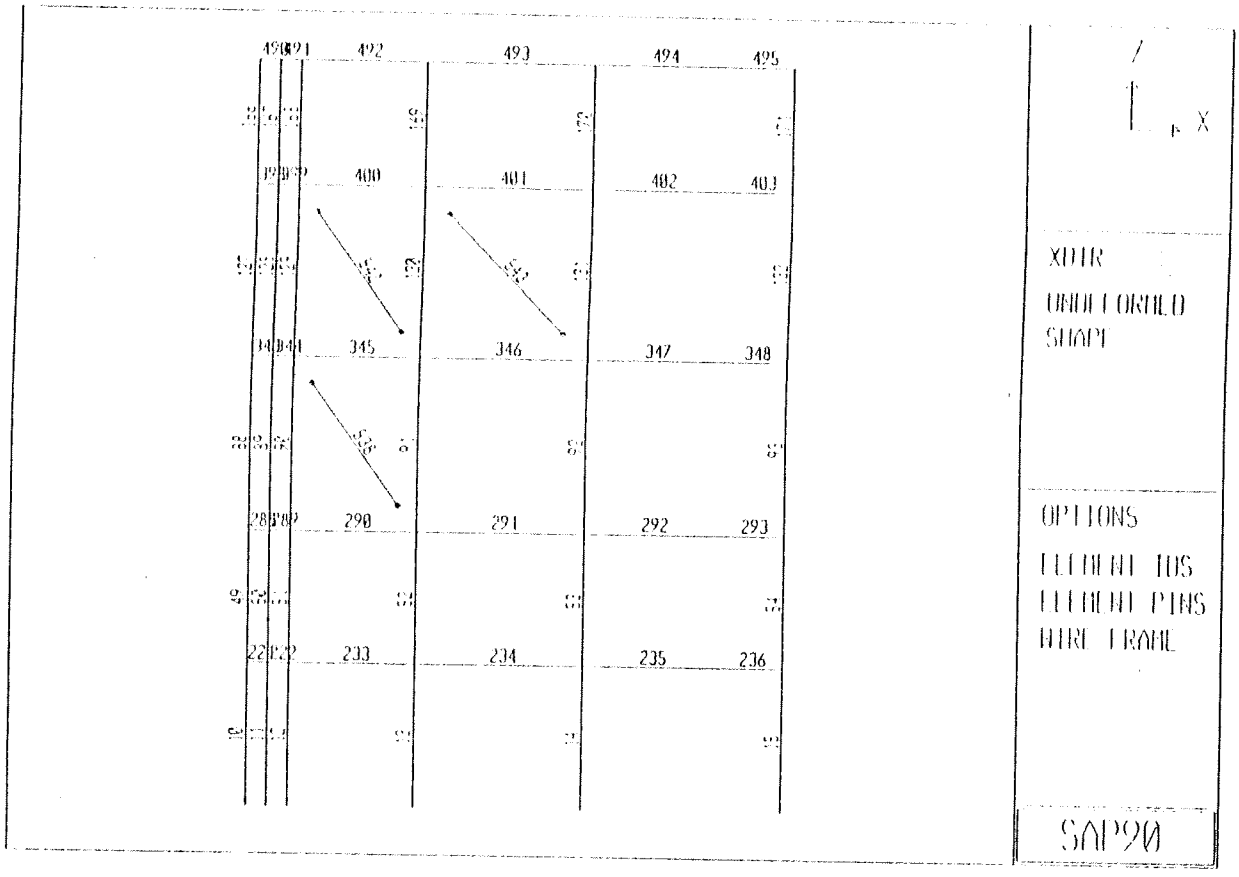
Şekil 65. E'-F Aksları Arası Bina Çerçevesi.

Dolgu duvarların ardışık kırılma sırası Tablo 36.'da verilmiştir.

Tablo 36. E'-F Aksları Arası Ardışık Kırılma Sırası.

Kat No:	1. kat	2. kat	3. kat	4. kat	5. kat
Eleman No:	yok	yok	605	607	609
Kırılma No:	-	-	14	15	17

F Aksındaki Bina Çerçevesi: Bu çerçevede 3 adet taşıyıcı olmayan dolgu duvar bulunup Şekil 66.'da gösterilmiştir.



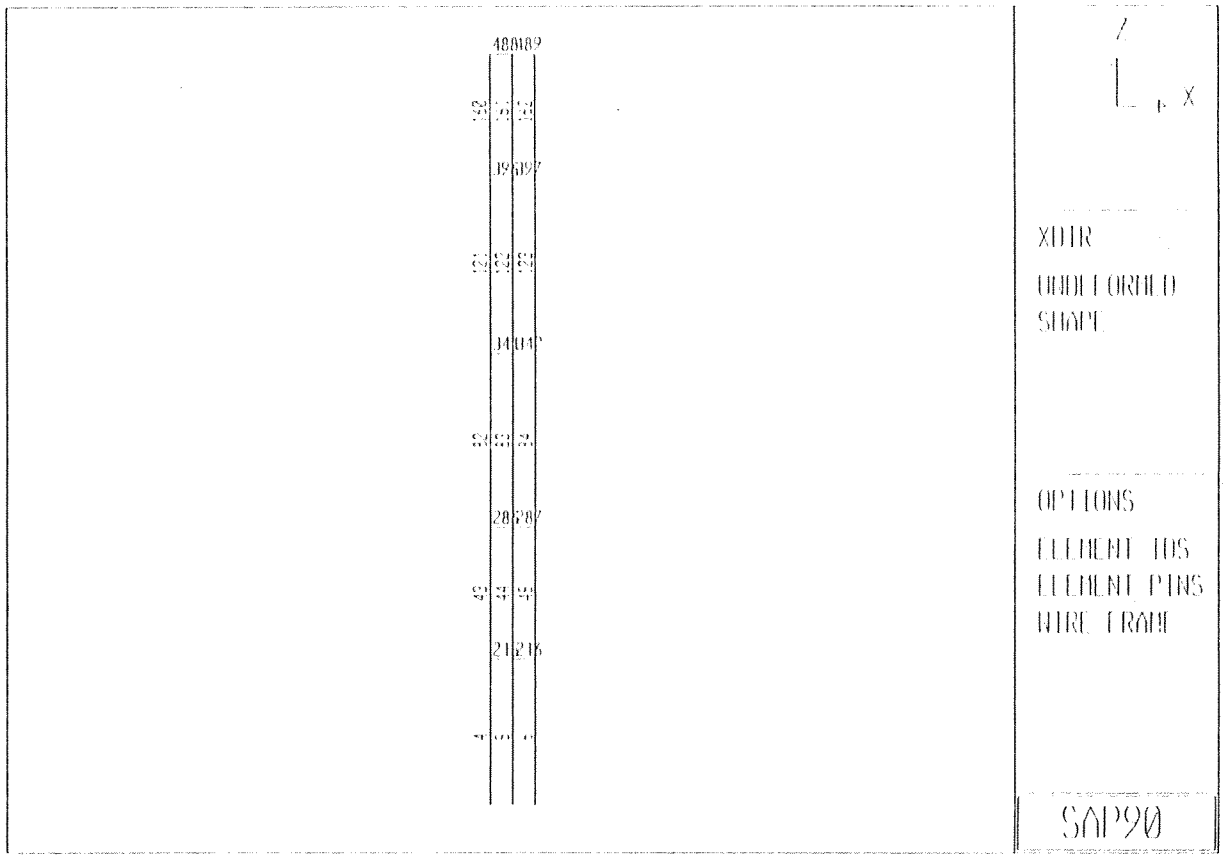
Şekil 66. F Aksındaki Bina Çerçevesi.

Dolgu duvarların ardışık kırılma sırası Tablo 37.'de verilmiştir.

Tablo 37. F Aksındaki Ardışık Kırılma Sırası.

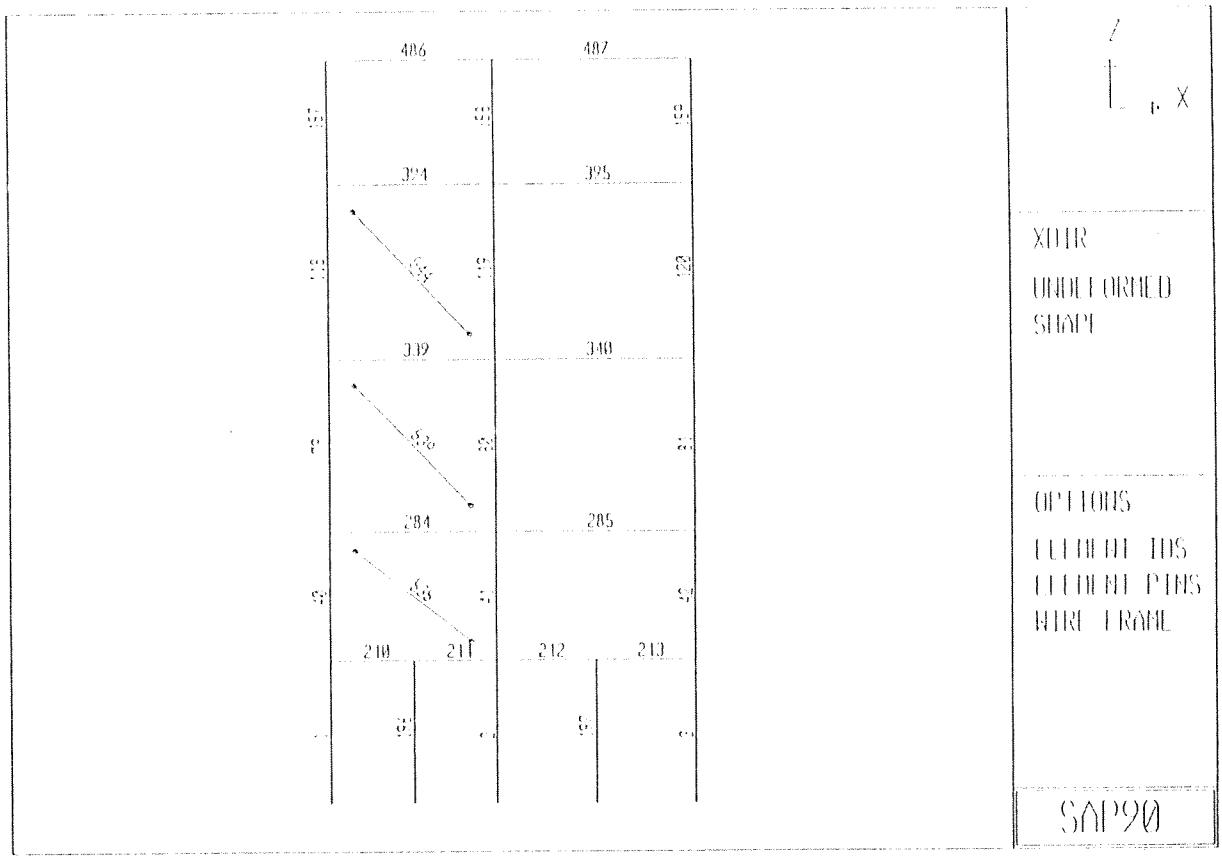
Kat No:	1. kat	2. kat	3. kat	4. kat		5. kat
Eleman No:	yok	yok	538	542	543	yok
Kırılma No:	-	-	**4**	**9**	**6**	-

G Aksındaki Bina Çerçevesi: Bu çerçevede hiç taşıyıcı olmayan dolgu duvar olmayıp Şekil 67.'de gösterilmiştir.



Şekil 67. G Aksındaki Bina Çerçevesi.

G Aksı Ötesindeki Bina Çerçevesi: Bu çerçevede 3 adet taşıyıcı olmayan dolgu duvar bulunup Şekil 68.'de gösterilmiştir.



Şekil 68. G Aksı Ötesindeki Bina Çerçevesi.

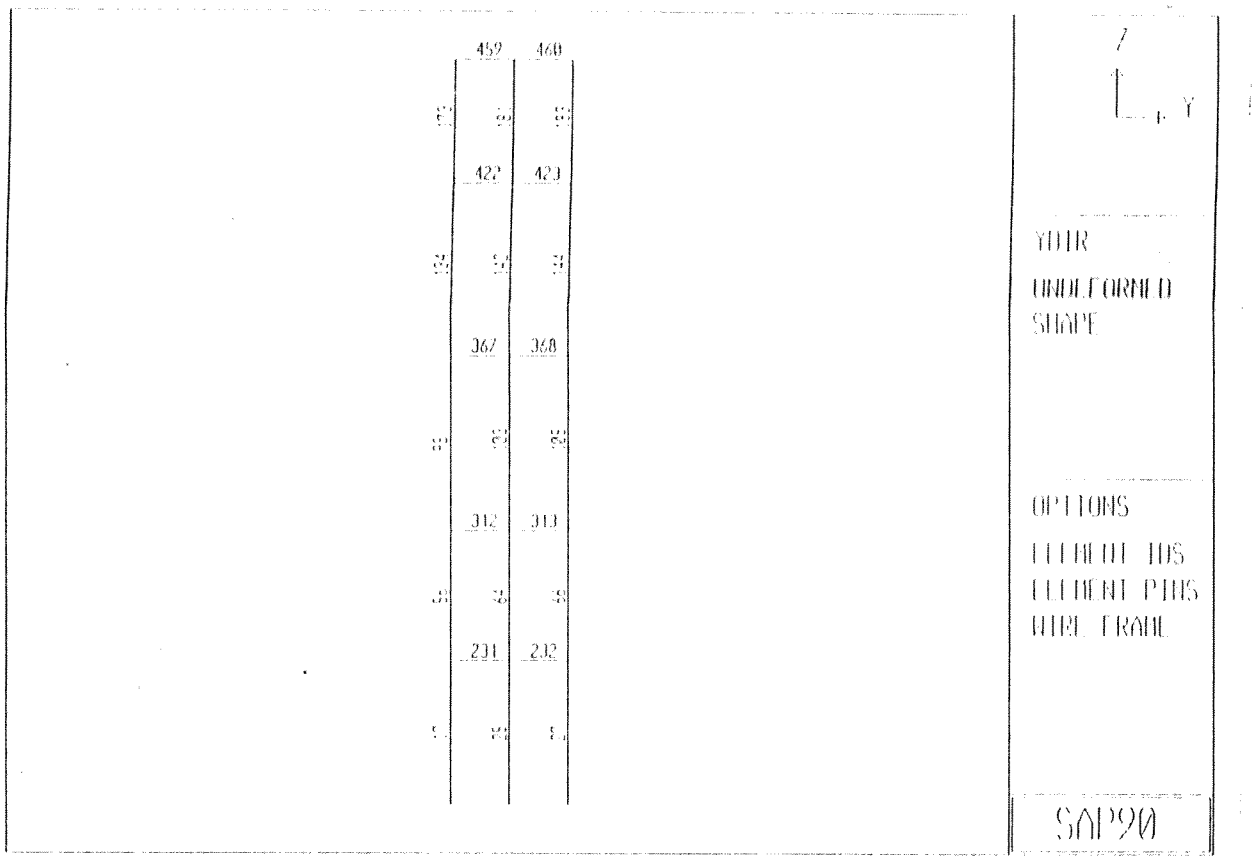
Dolgu duvarların ardışık kırılma sırası Tablo 38.'de verilmiştir.

Tablo 38. G Aksı Ötesindeki Ardışık Kırılma Sırası.

Kat No:	1. kat	2. kat	3. kat	4. kat	5. kat
Eleman No:	yok	535	539	544	yok
Kırılma No:	-	13	**5**	**7**	-

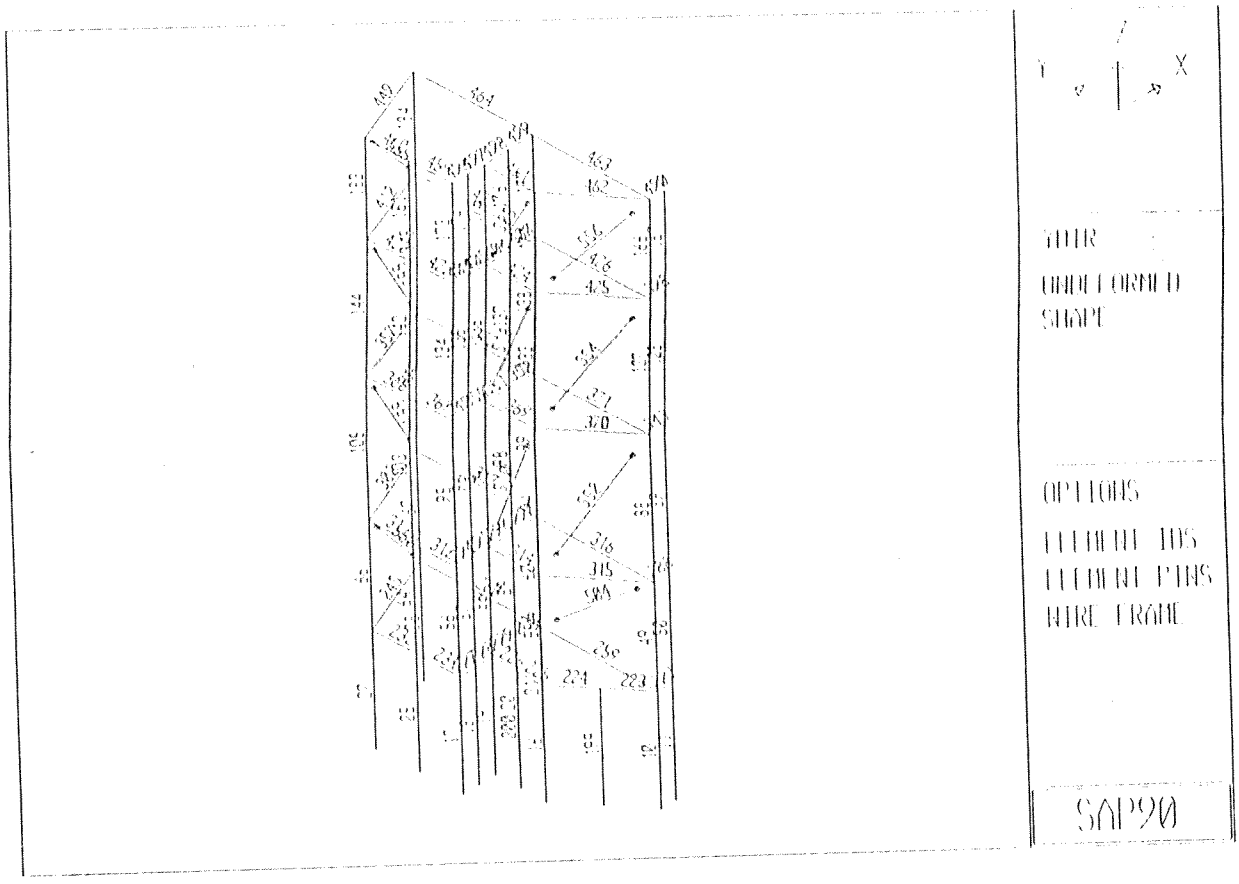
8.3.2. Y Yönündeki Bina Çerçeveleri

1 Aksındaki Bina Çerçevesi: Bu çerçevede hiç taşıyıcı olmayan dolgu duvar bulunmayıp Şekil 69.'da gösterilmiştir.



Şekil 69. 1 Aksındaki Bina Çerçevesi.

1-3′ Aksları Arası Bina Çerçevesi: Bu çerçevede 4 adet taşıyıcı olmayan dolgu duvar bulunup Şekil 70.'te gösterilmiştir.



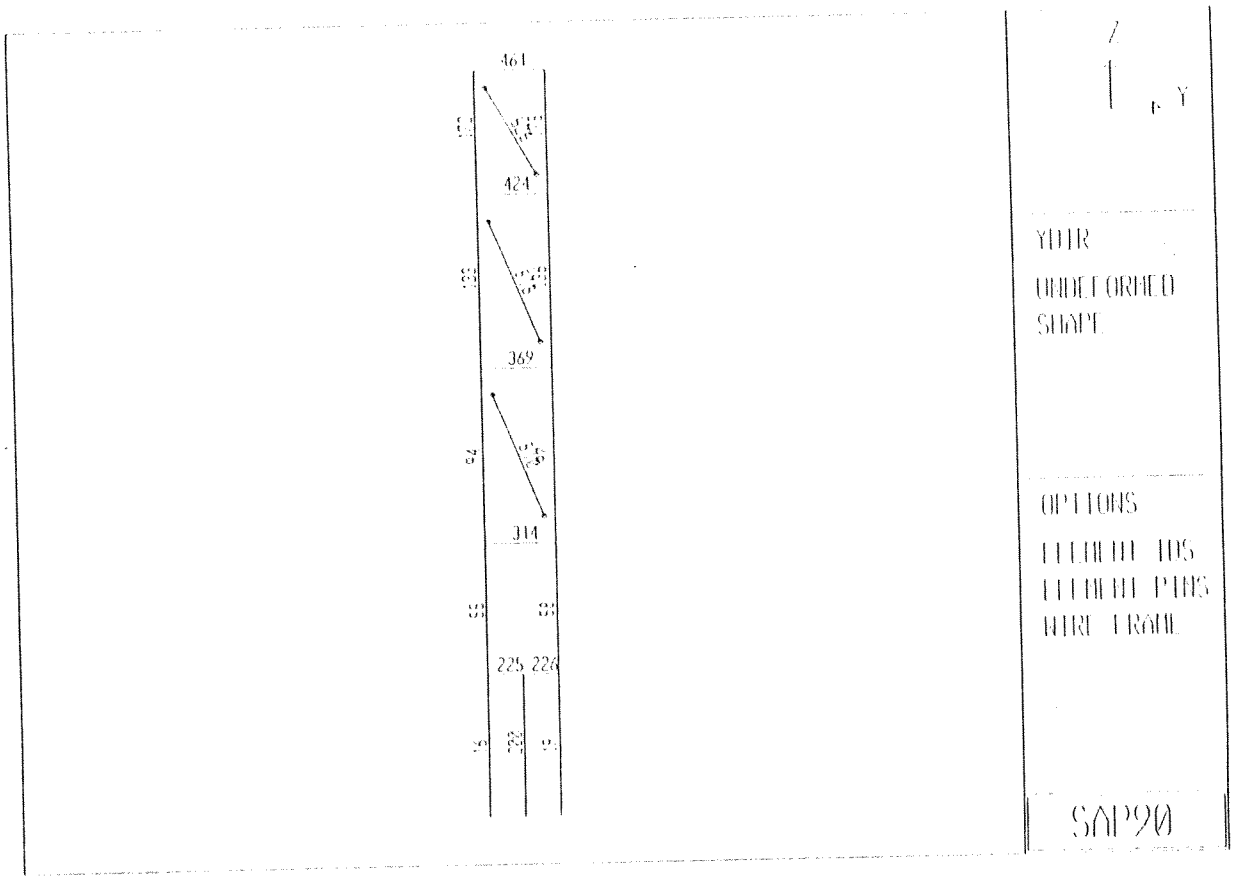
Şekil 70. 1-3′ Aksları Arası Bina Çerçevesi.

Dolgu duvarların ardışık kırılma sırası Tablo 39.'da verilmiştir.

Tablo 38. 1-3′ Aksları Arası Ardışık Kırılma Sırası.

Kat No:	1. kat	2. kat	3. kat	4. kat	5. kat
Eleman No:	yok	yok	552	554	556
Kırılma No:	-	-	17	24	28

2 Aksındaki Bina Çerçevesi: Bu çerçevede 3 adet taşıyıcı olmayan dolgu duvar bulunup Şekil 71.'de gösterilmiştir.



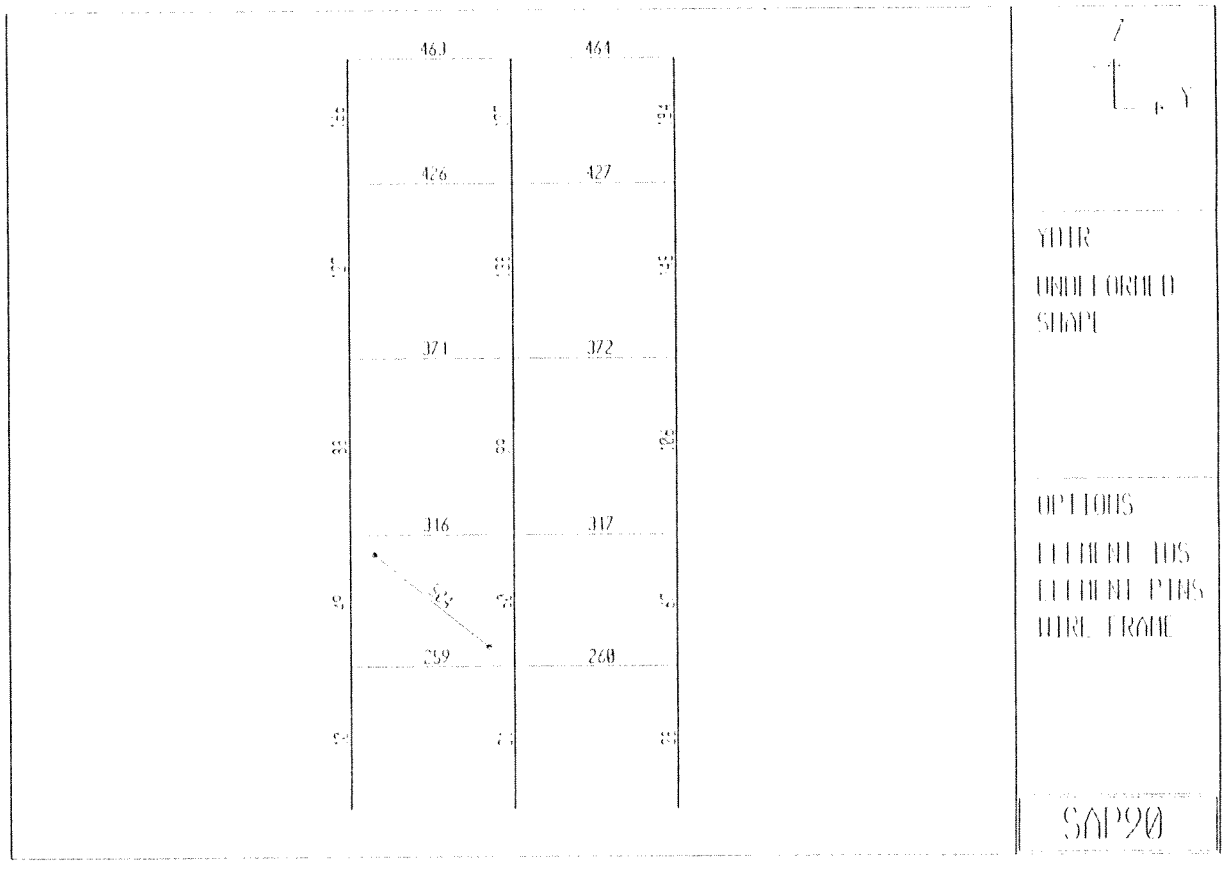
Şekil 71. 2 Aksındaki Bina Çerçevesi.

Dolgu duvarların ardışık kırılma sırası Tablo 40.'ta verilmiştir.

Tablo 40. 2 Aksındaki Ardışık Kırılma Sırası.

Kat No:	1. kat	2. kat	3. kat	4. kat	5. kat
Eleman No:	yok	yok	510	518	525
Kırılma No:	-	-	16	20	21

3 Aksındaki Bina Çerçevesi: Bu çerçevede 1 adet taşıyıcı olmayan dolgu duvar bulunup Şekil 72.'de gösterilmiştir.



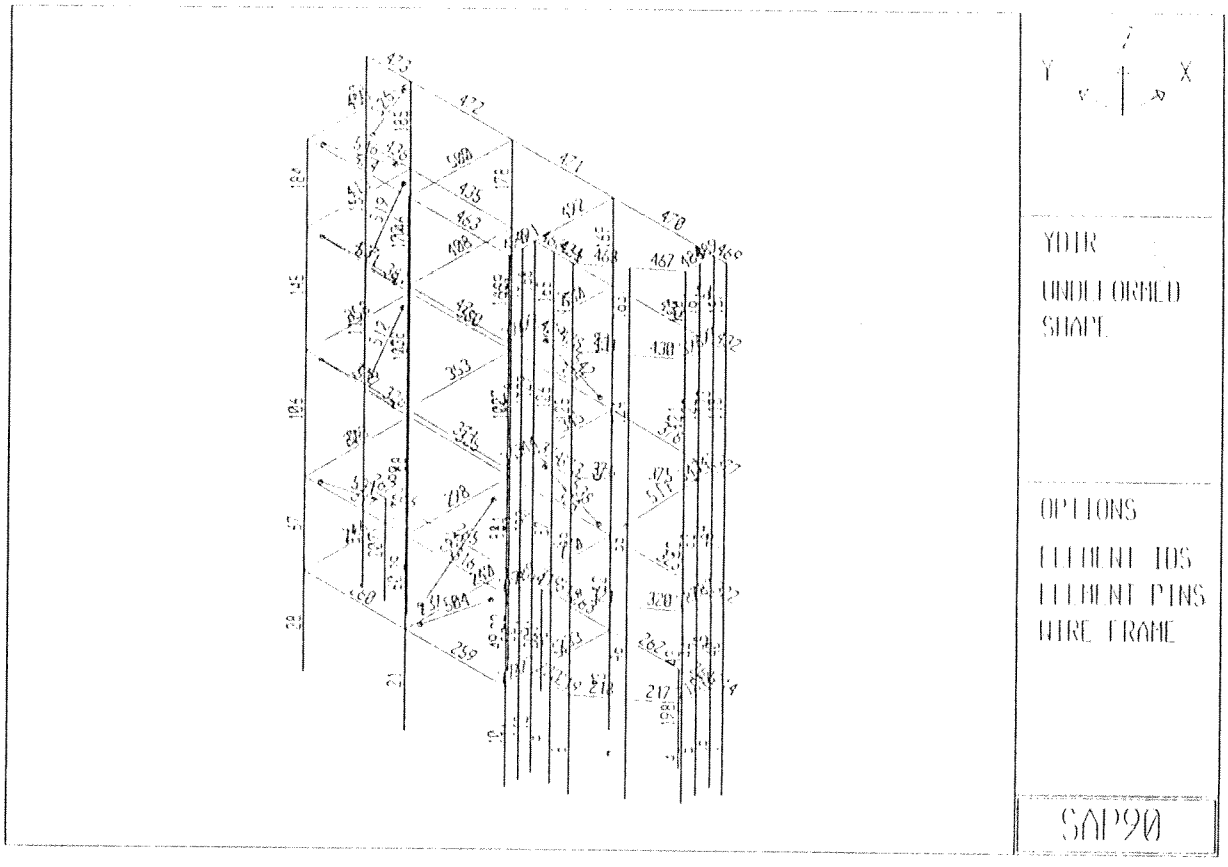
Şekil 72. 3 Aksındaki Bina Çerçevesi.

Dolgu duvarların ardışık kırılma sırası Tablo 41.'de verilmiştir.

Tablo 41. 3 Aksındaki Ardışık Kırılma Sırası.

Kat No:	1. kat	2. kat	3. kat	4. kat	5. kat
Eleman No:	yok	504	yok	yok	yok
Kırılma No:	-	13	-	-	-

3-4 Aksları Arasındaki Bina Çerçevesi: Bu çerçevelerde 7 adet taşıyıcı olmayan dolgu duvar bulunup Şekil 73.'te gösterilmiştir.



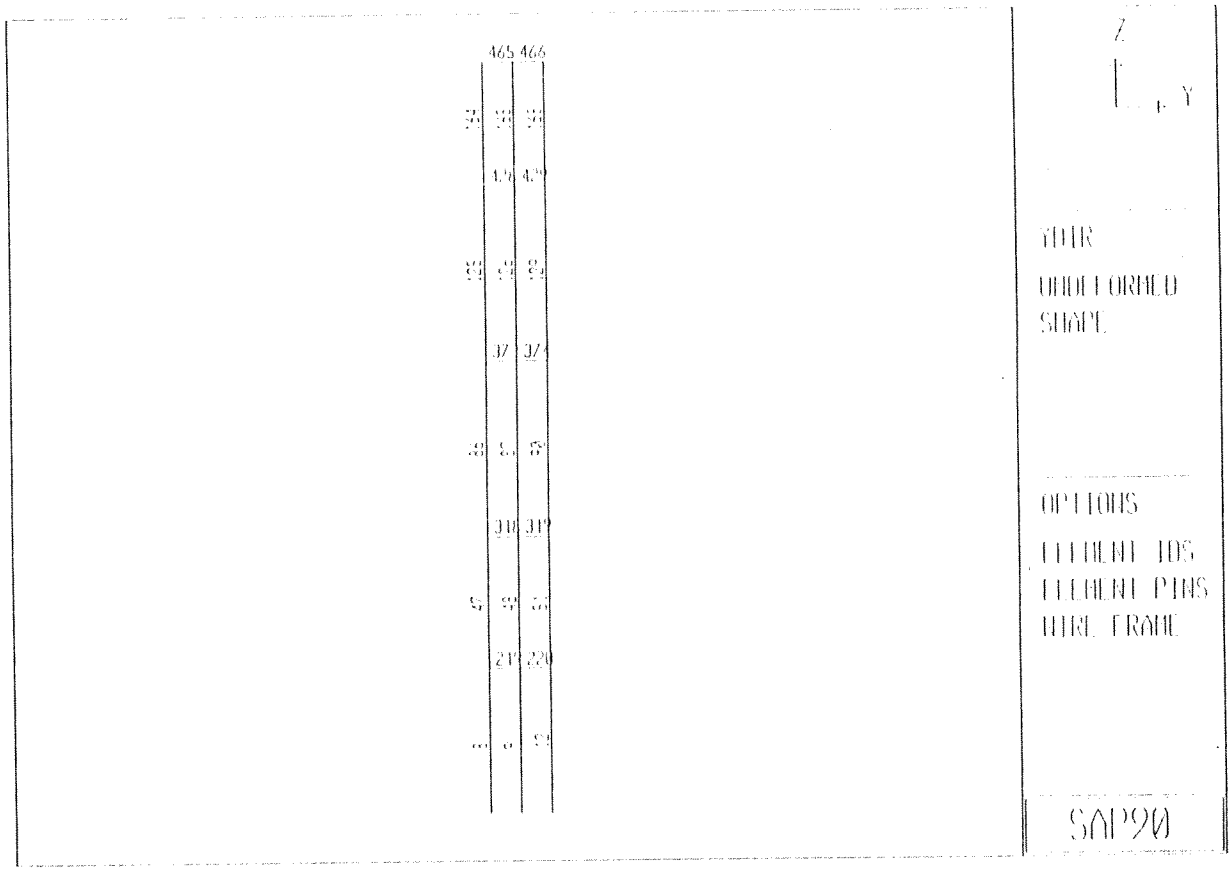
Şekil 73. 3-4 Aksları Arası Bina Çerçevesi.

Dolgu duvarların ardışık kırılma sırası Tablo 42.'de verilmiştir.

Tablo 42. 3-4 Aksları Arası Ardışık Kırılma Sırası.

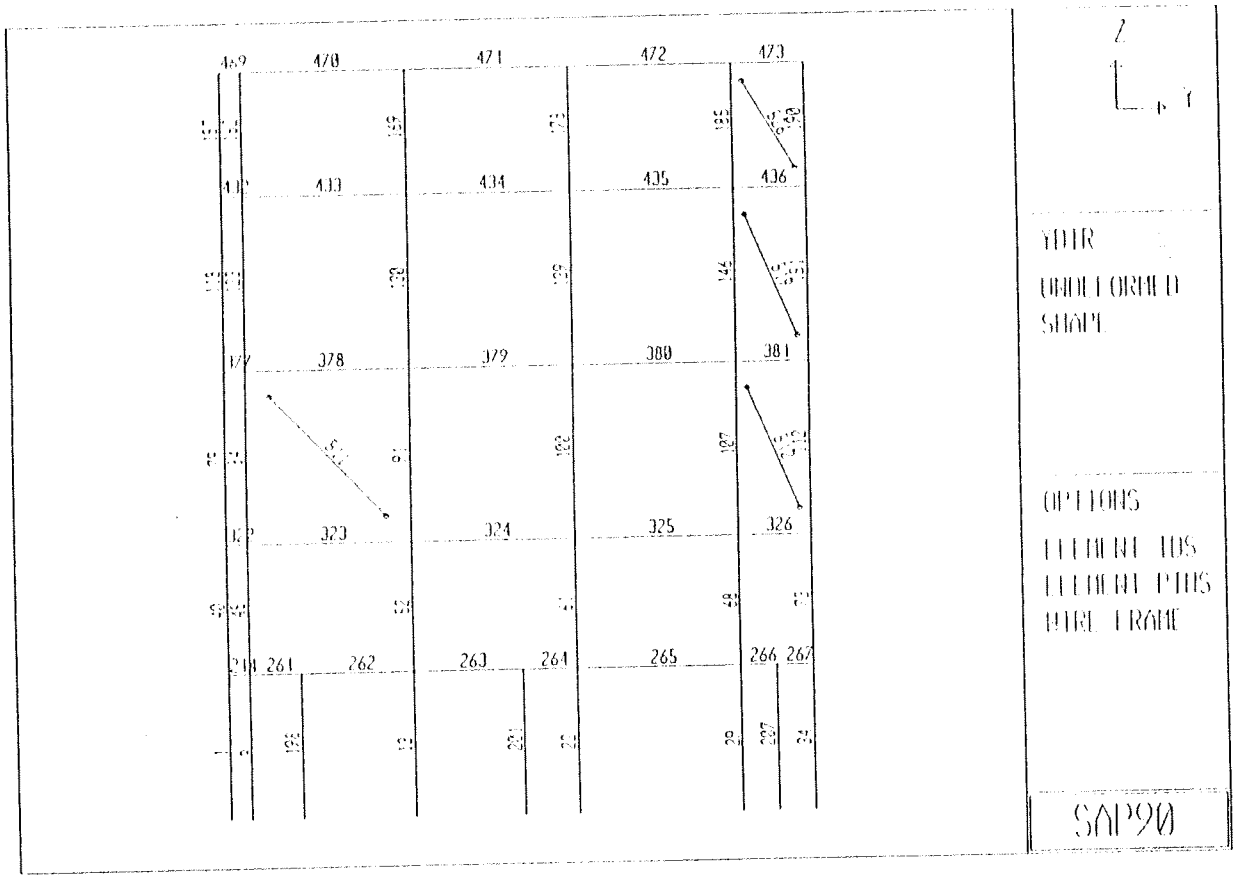
Kat No:	1. kat	2. kat		3. kat		4. kat		5. kat
Eleman No:	yok	531	586	537	538	541	542	546
Kırılma No:	-	-	-	-	38	-	-	34

3′ Aksındaki Bina Çerçevesi: Bu çerçevede hiç taşıyıcı olmayan dolgu duvar bulunmayıp Şekil 74.'te gösterilmiştir.



Şekil 74. 3′ Aksındaki Bina Çerçevesi.

4 Aksındaki Bina Çerçevesi: Bu çerçevede 4 adet taşıyıcı olmayan dolgu duvar bulunup Şekil 75.'te gösterilmiştir.



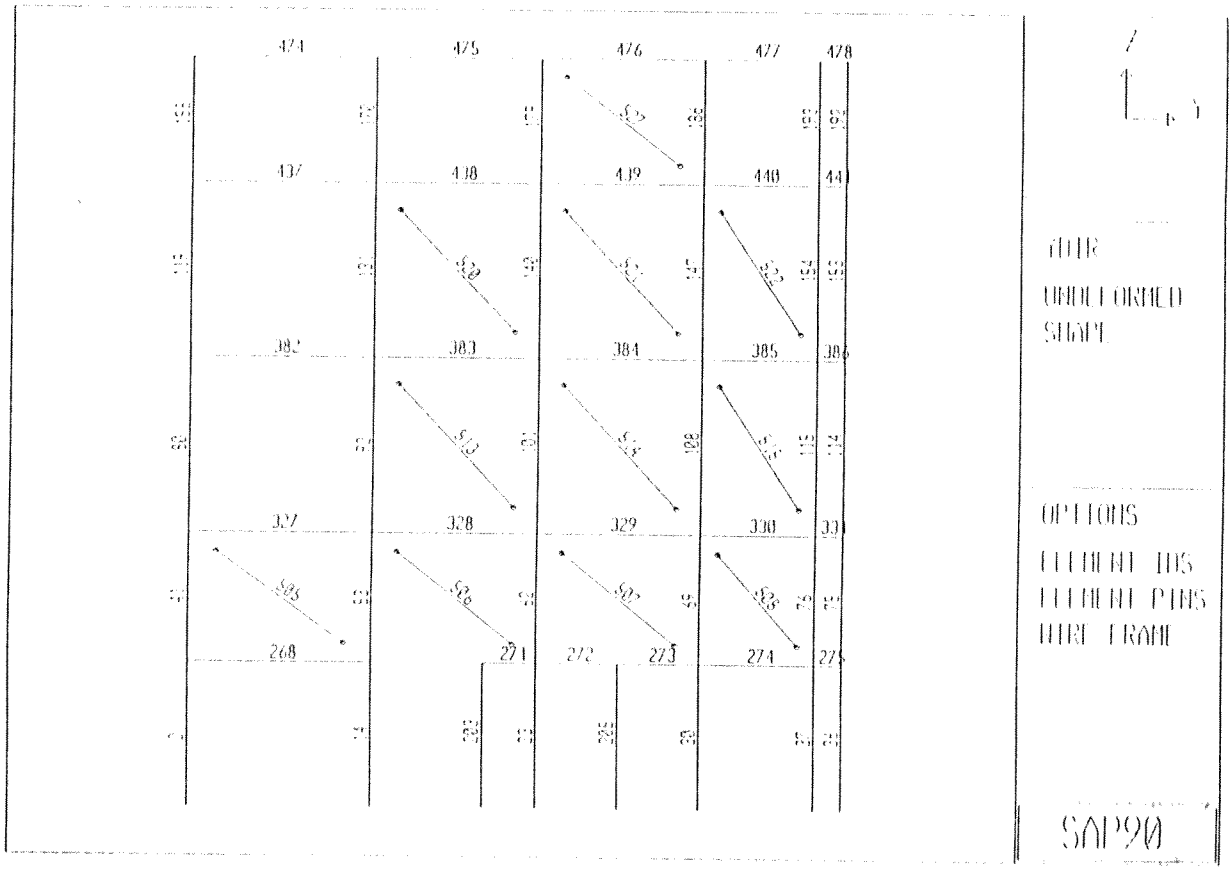
Şekil 75. 4 Aksındaki Bina Çerçevesi.

Dolgu duvarların ardışık kırılma sırası Tablo 43.'de verilmiştir.

Tablo 43. 4 Aksındaki Ardışık Kırılma Sırası.

Kat No:	1. kat	2. kat	3. kat		4. kat	5. kat
Eleman No:	yok	yok	511	512	519	526
Kırılma No:	-	-	9	18	22	23

5 Aksındaki Bina Çerçevesi: Bu çerçevede 11 adet taşıyıcı olmayan dolgu duvar bulunup Şekil 76.'da gösterilmiştir.



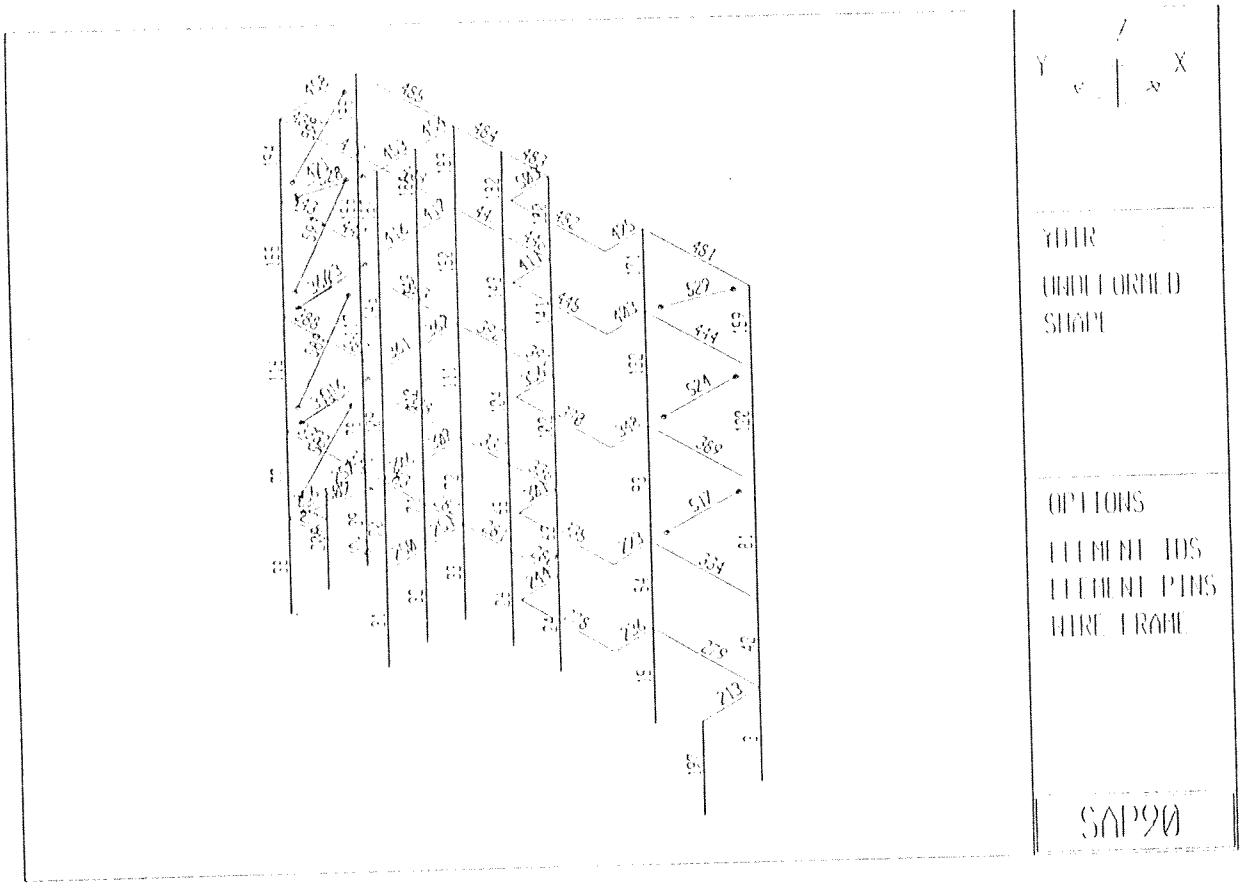
Şekil 76. 5 Aksındaki Bina Çerçevesi.

Dolgu duvarların ardışık kırılma sırası Tablo 44.'te verilmiştir.

Tablo 44. 5 Aksındaki Ardışık Kırılma Sırası.

Kat No:	1. kat	2. kat				3. kat			4. kat			5. kat
Eleman No:	yok	505	506	507	508	513	514	515	520	521	522	527
Kırılma No:	-	**2**	**5**	**4**	**1**	**10**	**6**	11	14	**8**	19	31

5'-6 Aksları Arasındaki Bina Çerçevesi: Bu çerçevede 4 adet taşıyıcı olmayan dolgu duvar bulunup Şekil 78.'de gösterilmiştir.



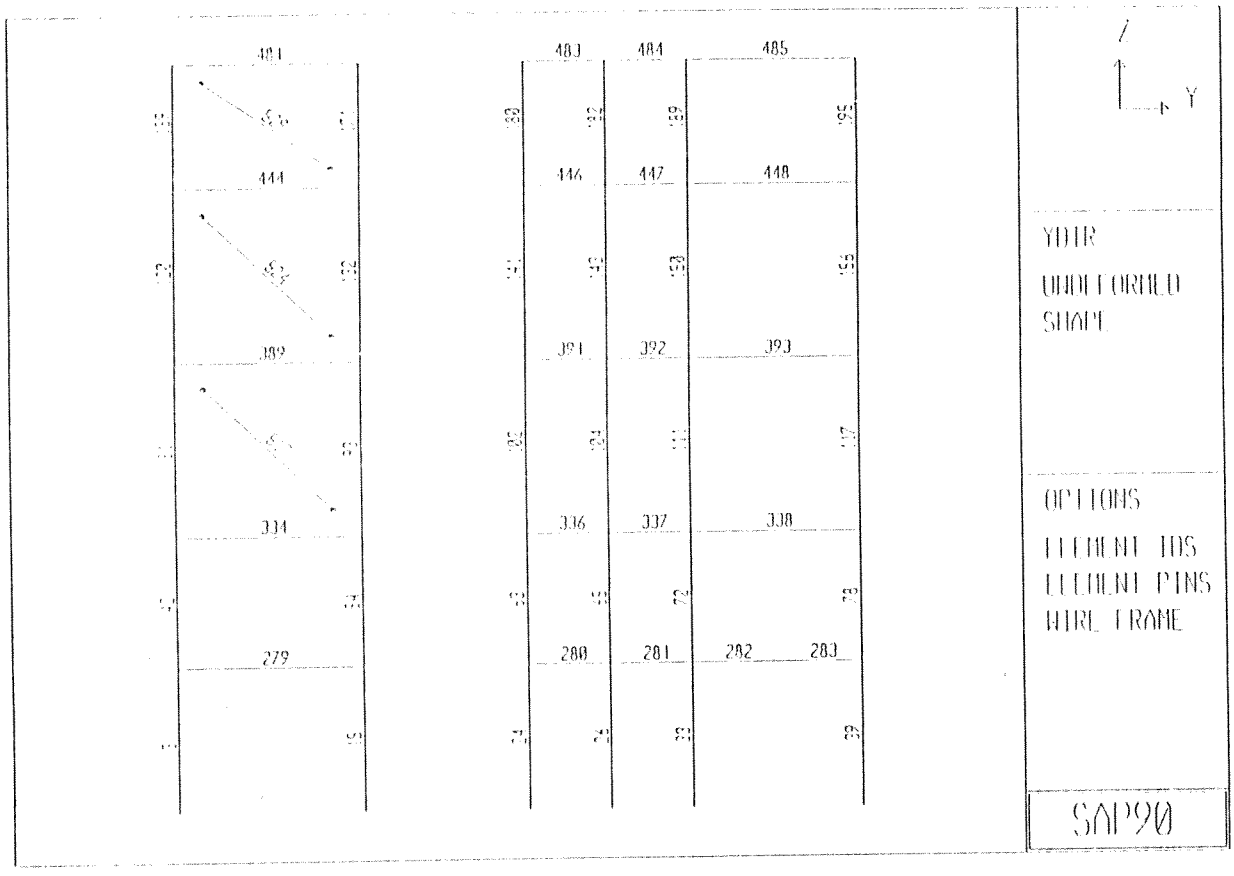
Şekil 78. 5'-6 Aksları Arası Bina Çerçevesi.

Dolgu duvarların ardışık kırılma sırası Tablo 46.'da verilmiştir.

Tablo 46. 5'-6 Aksları Arası Ardışık Kırılma Sırası.

Kat No:	1. kat	2. kat	3. kat	4. kat	5. kat
Eleman No:	yok	583	589	593	598
Kırılma No:	-	36	35	37	-

6 Aksındaki Bina Çerçevesi: Bu çerçevede 3 adet taşıyıcı olmayan dolgu duvar bulunup Şekil 79.'da gösterilmiştir.



Şekil 79. 6 Aksındaki Bina Çerçevesi.

Dolgu duvarların ardışık kırılma sırası Tablo 47.'de verilmiştir.

Tablo 47. 6 Aksındaki Ardışık Kırılma Sırası.

Kat No:	1. kat	2. kat	3. kat	4. kat	5. kat
Eleman No:	yok	yok	517	524	529
Kırılma No:	-	-	12	25	33

Burulma Etkisi: Binanın dolgu duvarları gözönüne alınarak ve alınmayarak yapılan hesapların ışığında kayma merkezinin dolgu duvarlar gözönüne alındığında dolgu duvarsız duruma nazaran X yönünde %2.5 kaydığı ve Y yönünde %1'den az kaydığı görülmüştür.

8.3.3. PTT Binasının Eşdeğer Statik Yüklerle Deprem Hesabı Sonuçlarının Tartışması

PTT binasının üç boyutlu deprem hesabı statik eşdeğer yükler altında taşıyıcı olmayan dolgu duvarları gözönüne alarak ve almayarak yapılmıştır. Bu hesaplar sonucunda taşıyıcı olmayan dolgu duvarların varlığının binanın sismik davranışını büyük ölçüde etkilediği belirlenmiştir. Bu etkiler aşağıda özetlenmiştir:

- X yönündeki dolgu duvarlarda deprem etkisiyle meydana gelen hasarlar önerilen teknik ile belirlenen dolgu duvar hasarlarıyla karşılaştırılınca birbirine çok yakın sonuçlar elde edilmiştir.
- Depremin binaya etkidiği esas yön yaklaşık X yönü olduğu için depremde Y yönünde pek hasar meydana gelmemiştir. Bu nedenle depremin Y yönünde etkidiği varsayılarak yapılan analiz sonuçlarından elde edilen dolgu duvar hasarları ile depremin yol açtığı dolgu duvar hasarları bu yönde uyuşmamaktadır.
- Binanın eşdeğer yük hesabında elastik kat salınımları şartname değerlerini sağladığı halde bölme duvarlarının depremde hasar görmüş olması kat salınım limitlerinin dolgu duvar hasarlarının kontrolü için yeterli olmadığını göstermiştir. Bu nedenle önerilen yöntem kullanılarak hesap yapılmasının gerekli olduğu anlaşılmıştır.

9. SONUÇLAR

Bu çalışmada; binaların yük taşımadığı varsayılan dolgu duvarları ile taşıyıcı sistemleri arasındaki etkileşim için tasarım pratiğinde kullanılabilecek bir yöntem geliştirilmiştir. Her ne kadar şartnamelerde binaların sismik tasarım hesaplarında taşıyıcı olmayan bölme duvarlarının gözönüne alınması önerilmekte ise de yapılan literatür araştırmasında pratik bir yönteme rastlanmamıştır.

Literatürde, iki boyutlu çerçeveler için yapılmış olan analitik ve deneysel çalışmalar sonucunda yük taşımayan bölme duvarlarının "eşdeğer basınç çubukları" ile modellenebileceğinin uygun olduğu anlaşılmıştır. Basınç çubukları için kullanılabilecek kesit alanı, elastisite modülü, kırılma yükü gibi özellikleri hesaplamak için grafik ve analitik yöntemler verilmiştir. Ancak basınç çubuğu yönteminin üç boyutlu eşdeğer statik deprem hesabında nasıl uygulanacağı belirlenmemiştir.

Çalışmanın birinci kısmında eşdeğer basınç çubuğu parametrelerinin hesaplanması için mevcut literatür kullanılarak SAP 90 programı için "INFILL" adlı bir ön işlemci geliştirilmiştir. Ön işlemci yardımı ile Türkiye'de kullanılan çeşitli tipteki dolgu duvarlar için eşdeğer basınç çubuğu parametrelerinin hesaplanması sağlanmıştır.

Çalışmanın ikinci kısmında yük taşımayan dolgu duvarlarının eşdeğer basınç çubuğu ile tanımlandığı üç boyutlu yapı modellerinin elastik analizi için SAP 90 programı ile kullanılan "ENVELOPE" adlı bir art işlemci geliştirilmiştir. "ENVELOPE" iterasyon yöntemi ile eşdeğer statik yüke kadar, varsa, kırılan bölme duvarlarını tesbit edip ardışık duvar

kırılmalarını hesaba katmaktadır. Burada kırılma yükü aşılan basınç çubukları otomatik olarak sistem dışı bırakılmakta ve ortaya çıkan yeni çubuk sistemi ile hesaba devam edilmektedir. Bu sırada yapı elemanlarının uç kuvvetleri için zarf (maksimum, minimum) değerleri elde edilmektedir. Zarf değerleri düşey yük etkileri ile birleştirilerek tasarımda kullanılacaktır.

Yapılan çalışmada yük taşımayan bölme duvarlarının eşdeğer statik deprem yükü altında elastik limit aşılmadan kırılabileceği görülmüştür. Buna göre yük taşımayan bölme duvarlarının yapı davranışına olumsuz etkileri olduğu ve bunun hesaba katılması gerektiği sonucuna varılmıştır.

Önemli bir sonuç da; yapılar için şartnamelerde verilmiş olan kat veya bina salınım limitlerinin yeterli olmadığı, örneğin bu değerler aşılmadığı halde bölme duvarlarının kırılabileceğinin anlaşılmasıdır. 1 Ekim 1995 Dinar depreminde taşıyıcı sistemi elastik kalabilmiş iki kamu binasında bölme duvarlarındaki hasarın projede geliştirilen yöntemle hesap safhasında tesbit edilebildiği gösterilmiştir. Sonuç olarak iteratif basınç çubuğu yönteminin pratikte yararlı olacağı anlaşılmıştır.

10. KAYNAK LİSTESİ

Earthquake Resistant Regulations A World List-1992. International Association for Earthquake Engineering, (1992).

Specifications for Structures to be built in Disaster Area (Part 1) - 1975, Ministry of Reconstruction and Resettlement, Turkish Government, Ankara, Turkey, (1975).

Clay bricks (Wall tile), TS 704, Ankara, (1979).

Solid bricks and vertically perforated bricks, TS 705, Ankara, (1985).

Horizontal coring bricks, TS 4563, Ankara, (1985).

Concrete blocks and bricks for walls, TS 406, Ankara, (1988).

Gas and foam concrete material and elements for building, TS 453, Ankara, (1988).

Mortar for masonry, TS 2848, Ankara, (1977).

Brokken, S. T., Bertero, V. V., Studies on effects of infills in seismic resistant R/C construction, Rep. EERC 81-12, Univ. of California, Berkeley, Calif., (1981).

Çıtıpıtıoğlu, E., Uzsoy, Ş., Influence of infill walls on building frames: An example from the May 12, 1971 earthquake in Turkey, Bull. Seism. Soc. Amer., Vol. 62, No. 5, 1113-7, (1972).

Dawe, J. L., Yong, T. C., An investigation of factors influencing the behavior of masonry infill in steel frames subjected to in-plane shear, Proc., 7th International Brick Masonry Conference, Australia, (1985).

Dawe, J. L., Yong, T. C., Experimental investigation on the shear resistance of masonry panels, Proc., 7th International Brick Masonry Conference, Australia, (1985).

Değer, E. M., Design Aspects of Non-Structural Masonry Infill Walls in Reinforced Concrete Buildings, (Yüksek Lisans tezi), Orta Doğu Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, (1996).

Değer, E. M., Çıtıpıtıoğlu, E., Yılmaz, Ç., Non Structural Infill Walls in Seismic Design of R/C Buildings, 4th International Conference on Concrete Technology in Developing Countries, Gazimağusa-Turkish Republic of Northern Cyprus, (1996) pp: 535-544.

Del Valle, C. E., Earthquake damage to non-structural elements, 8th WCEE, San Francisco, (1984).

Dhanasekar, M., Page, A. W., The influence of brick masonry infill properties on the behavior of infilled frames, Proc., Instn. of Civ. Engrs., London, England, Part 2, Vol. 81, 593-605, (1986).

Fiorato, A. E., Sözen, M. A., Gamble, W. L., An investigation of the interaction of reinforced concrete frames with masonry filler walls, Univ. of Illinois Civ. Eng. Studies, Struct. Res. Series No. 370., (1970).

Gülkan, P., Wasti, S. T., Çerçeve-dolgu etkileşmesi: Lineer olmayan bir irdeleme. İnşaat Mühendisliği 12. Teknik Kongresi, Ankara, (1993) pp: 39-52.

Holmes, M. Steel frames with brickwork and concrete infilling, Proc., Instn. of Civ. Engrs., London, England, Part 2, Vol. 19, 473-8, (1961).

King, G. J. W., Pandey, P. C. The analysis of infilled frames with finite elements, Proc., Instn. of Civ. Engrs., London, England, Part 2, Vol. 65, 749-760, (1978).

Klingner, R. E., Bertero, V. V., Infilled frames in earthquake-resistant construction, Rep. EERC 76-32, Univ. of California, Berkeley, Calif., (1976).

Liauw, T. C., Kwan, K. H., Plastic theory of non-integral infilled frames, Proc., Instn. of Civ. Engrs., London, England, Part 2, Vol. 75, 379-396, (1983).

Liauw, T. C., Lee, S. W., On the behaviour and the analysis of multi-storey infilled frames subject to lateral loading, Proc., Instn. of Civ. Engrs., London, England, Part 2, Vol. 63, 641-656, (1977).

Mallick, D. V., Severn, R. T., The behaviour of infilled frames under static loading, Proc., Instn. of Civ. Engrs., London, England, Part 2, Vol. 38, 639-656, (1967).

Mallick, D. V., Garg, R. P., Effects of openings on the lateral stiffness of infilled frames, Proc., Instn. of Civ. Engrs., London, England, Part 2, Vol. 49, 193-210, (1971).

Mehrabi, A. B., Shing, P. B., Schuller, M. P., Noland, J. L., Experimental evaluation of masonry-infilled R/C frames, J. Struct. Engrg., ASCE, Vol. 122, 228-237, (1996).

Meli, R., Bazan, E., Seismic analysis of structures with masonry walls, 7th WCEE, İstanbul, (1980) pp: 633-640.

Paulay, T., Priestley, M. J. N., Seismic design of reinforced concrete and masonry buildings, John Wiley & Sons Inc., (1992).

Polyakov, S. V., On the strength and deformation of stone masonry filling in framed walls under shearing load, Stroitel'naya promyshlennost (Construction Industry) No. 3., (1952).

Polyakov, S. V., Masonry in the walls of frame structures (investigation of strength and rigidity), Gosstroyarkhizdat, (State publishing house of literature on building and

architecture), (1957).

Polyakov, S. V., On the interaction between masonry filler walls and enclosing frame when loaded in the plane of the wall Trans. in Earthquake Engrg., EERI, 36-42, (1960).

Riddington, J. R., Stafford Smith, B., Analysis of infilled frames subjected to racking with design recommendations, The Structural Engineer, Vol. 52, No. 6, 263-268, (1977).

Sachansky, S., Brankov, G., Influence of the nonelastic deformations of the structures on the changing dynamic characteristics and response, 5th WCEE, Rome, (1973).

Saneinejad, A., Hobbs, B., Inelastic design of infilled frames, J. Struct. Engrg., ASCE, Vol. 121, 634-650, (1995).

Schuller, M. P., Mehrabi, A. B., Noland, J. L., Shing, P. B., Performance of masonry-infilled R/C frames under in-plane lateral loads: Experiments, NCEER Workshop on seismic response of masonry infills, San Francisco, CA., (1994).

Sözen, M. A., Structural damage caused by the Skopje earthquake of 1963, A Rep. to the committee on masonry and reinforced concrete of the ASCE and the ACI, Univ. of Illinois, Urbana, Illinois., (1964).

Stafford Smith, B., Lateral stiffness of infilled frames, J. Struct. Engrg., ASCE, Vol. 88, 183-199, (1962).

Stafford Smith, B., Behavior of square infilled frames, J. Struct. Engrg., ASCE, Vol. 92, 381-403, (1966).

Stafford Smith, B., Methods for predicting the lateral stiffness and strength of multi-story infilled frames, Build. Sci., Vol. 2, Pergamon Press, Oxford, U. K., 247-257, (1967).

Stafford Smith, B., Carter, C., A method of analysis for infill frames, Proc., Instn. of Civ. Engrs., London, England, Part 2, Vol. 44, 31-48, (1969).

Stratta, J. L., Feldman, J., Interaction of infill walls and concrete frames during earthquakes, Bull. Seism. Soc. Amer., Vol. 61, No. 3, 609-612, (1971).

Tankut, T., Ersoy, U., Koçyiğit, A., Wasti, T., Ural, D., 1 Ekim Dinar Depremi, İnşaat teknolojileri araştırma grubu, Tübitak, (1995).

Wasti, S. T., Gülkan, P., The stiffness of infilled portal frame under horizontal load, Cento symposium on earthquake engineering, Tehran 1976, 141-150, (1976).

Wood, R. H., Plastic composite action and collapse design of unreinforced shear wall panel in frames, Proc., Instn. of Civ. Engrs., London, England, Part 2, Vol. 65, 381-411, (1978).

Yeşilyurt, S., Effective stiffness of columns embedded in infill walls, (Yüksek Lisans tezi), Orta Doğu Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, (1973).

Stafford Smith, B., Carter, C., A method of analysis for infill frames, Proc., Instn. of Civ. Engrs., London, England, Part 2, Vol. 44, 31-48, (1969).

Stratta, J. L., Feldman, J., Interaction of infill walls and concrete frames during earthquakes, Bull. Seism. Soc. Amer., Vol. 61, No. 3, 609-612, (1971).

Tankut, T., Ersoy, U., Koçyiğit, A., Wasti, T., Ural, D., 1 Ekim Dinar Depremi, İnşaat teknolojileri araştırma grubu, Tübitak, (1995).

Wasti, S. T., Gülkan, P., The stiffness of infilled portal frame under horizontal load, Cento symposium on earthquake engineering, Tehran 1976, 141-150, (1976).

Wood, R. H., Plastic composite action and collapse design of unreinforced shear wall panel in frames, Proc., Instn. of Civ. Engrs., London, England, Part 2, Vol. 65, 381-411, (1978).

Yeşilyurt, S., Effective stiffness of columns embedded in infill walls, (Yüksek Lisans tezi), Orta Doğu Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, (1973).

BİBLİYOGRAFİK BİLGİ FORMU

1- Proje No: INTAG/TOKİ531

2- Rapor Tarihi: Nisan 1997

3- Projenin Başlangıç ve Bitiş Tarihleri: 1.4.1994-30.9.1995 30.6.1996 süre uzatımı

4- Projenin Adı: Taşıyıcı Olmayan Bölme Duvarların Deprem Davranışına Katkıları ve Sonuçların Deprem Yönetmeliğine Uyarlanması

5- Proje Yürütücüsü ve Yardımcı Araştırıcılar: Prof.Dr. Ergin Çıtıpıtıoğlu (Yürütücü)
Prof. Dr. Çetin Yılmaz (Araştırmacı)
Prof. Dr. Nuri Akkaş (Araştırmacı)

6- Projenin Yürütüldüğü Kuruluş ve Adresi:
Orta Doğu Teknik Üniversitesi
Deprem Mühendisliği Araştırma Merkezi, 06531 Ankara

7- Destekleyen Kuruluş(ların) Adı ve Adresi: Yok

8- Öz (Abstract):

Ülkemizin maruz kaldığı son depremler, taşıyıcı olmadığı varsayılan yapı duvarlarının aslında titreşim anında sistemin davranışını etkilediğini açıkça göstermiştir. Deprem analizi yapılırken, taşıyıcı olmayan bölme duvarları rijitliklerinin tasarım sırasında hesaba katılması gerekir.

Projenin amacı, taşıyıcı olmadığı varsayılan bölme duvarlarının, binaların deprem anındaki davranışını nasıl etkilediğini analitik yöntemle incelemektir. Normal tasarımda pratik sayılmayan sonlu elemanlar yöntemi yerine, pratik yöntem olarak bölme duvarlarının "basınç çubukları" ile modellenerek hesaba katılması sağlanmıştır. Bu yöntemle bölme duvarlarının ardışık dayanım kaybı incelenmiştir. Nümerik hesaplar için SAP90 bilgisayar programı ile kullanılmak üzere bir ön ve art işlemci geliştirilmiş ve Dinar depreminde duvarları hasar görmüş iki binaya uygulanarak iyi sonuçlar elde edilmiştir. Geliştirilen yöntem ile taşıyıcı olmayan bölme duvarlarının pratik olarak hesaba katılabileceği gösterilmiştir.

Anahtar Kelimeler:

9- Proje ile ilgili Yayın/Tebliğlerle ilgili Bilgiler
1. Değer, E.M., "Design Aspects of Non-Structural Masonry Infill Walls in Reinforced Concrete Buildings", M.S. Tezi, İnşaat Mih. Böl., ODTÜ, Eylül 1996.
2. Değer, E.M., Çıtıpıtıoğlu, E. ve Yılmaz, Çetin, "Non-Structural Infill Walls in Seismic Design of R/C Buildings", Proceeding Fourth International Conf. of Concrete Technology in Developing Countries, 7-8 Nov.,1996, Gazimagusa, KKTC, pp. 535-544.

10- Bilim Dalı:
Doçentlik B. Dalı Kodu:
Uzmanlık Alanı Kodu:
ISIC Kodu:

11- Dağıtım (*) : ☐ Sınırlı ☒ Sınırsız

12- Raporun Gizlilik Durumu : ☐ Gizli ☒ Gizli Değil

(*) Projenizin Sonuç Raporunun ulaştırılmasını istediğiniz kurum ve kuruluşları ayrıca belirtiniz

TÜBİTAK Yayın - Dağıtım Daire Başkanlığı 92 - 0054