



İSTANBUL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

129480

YÜKSEK LİSANS TEZİ

MEVCUT BETONARME YAPILARIN YENİ DEPREM
YÖNETMELİĞİNE GÖRE PROJELENDİRİLMESİ
VE
GÜÇLENDİRME TEKNİKLERİ

Barış SAYIN

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman

Doç. Dr. Seyit Ali KAPLAN

HAZİRAN 2003

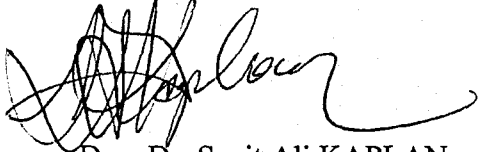
T.C. YÜKSEKÖĞRETİM KURULU
DOKÜMANTASYON MERKEZİ

129480

İSTANBUL

İSTANBUL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Bu çalışma 11.07.2003 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı
Yapı Programında Yüksek Lisans Tezi olarak kabul edilmiştir.

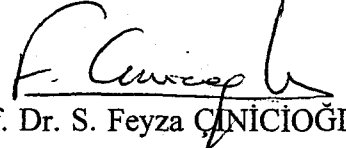


Doç. Dr. Seyit Ali KAPLAN

Jüri üyesi (Danışman)

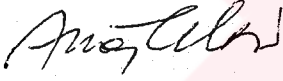
Prof. Dr. Tuncer ÇETİK

Jüri üyesi



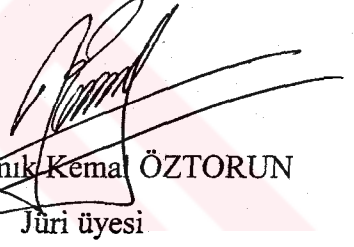
Prof. Dr. S. Feyza ÇİNİCİOĞLU

Jüri üyesi



Prof. Dr. Zekai CELEP

Jüri üyesi



Doç. Dr. Namık Kemal ÖZTORUN

Jüri üyesi

ÖNSÖZ

Yüksek lisans tez çalışmasında, betonarme yapılarda çerçeve arasına yerleştirilen dolgu duvarların, deprem yükleri altında yapının davranışına olan etkileri incelenmiştir.

Bu çalışmanın gerçekleşmesinde, yakın ilgi ve değerli yardımlarını esirgemeyen, bilgi ve tecrübesiyle destek olan danışman hocam Doç. Dr. Seyit Ali KAPLAN'a ve Yapı Ana Bilim Dalı Başkanı, hocam Prof. Dr. Tuncer ÇELİK'e sonsuz teşekkürlerimi ve saygılarımı sunarım.

Her zaman bana destek olan aileme ve bu çalışmada önemli katkılarda bulunan, yardımlarını esirgemeyen Araş. Gör. Barış YILDIZLAR başta olmak üzere tüm arkadaşlara sevgi ve teşekkürlerimi iletiyorum.

Haziran 2003

Barış SAYIN

İÇİNDEKİLER

sayfa no

ÖNSÖZ.....	I
İÇİNDEKİLER.....	II
ŞEKİL LİSTESİ.....	IV
TABLO LİSTESİ.....	VII
ÖZET.....	VIII
SUMMARY.....	IX
1. GİRİŞ.....	1
1.1. KONU.....	1
1.2. ÇALIŞMANIN KAPSAM VE AMACI.....	3
2. MALZEME VE YÖNTEM.....	5
2.1. DOLGU DUVARLAR İLE İLGİLİ YAPILMIŞ OLAN DENEYSEL ÇALIŞMALARIN İNCELENMESİ.....	5
2.1.1. DOLGU DUVARLI ÇERÇEVENİN SÜNEKLİĞİ.....	5
2.1.1.1. ÇALIŞMANIN AMACI.....	5
2.1.1.2. DENEYDE KULLANILAN ÇERÇEVENİN TANIMLANMASI.....	6
2.1.1.3. TEST DÜZENEGİ VE ÇALIŞMA PRENSİBİ.....	7
2.1.1.4. DOLGU DUVARLARIN ANALİZİ.....	8
2.1.1.5. DENEY SONUÇLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ.....	9
2.1.1.5.1. Çatlama Oluşumu.....	9
2.1.1.5.2. Yük Taşıma Kapasitesi.....	9
2.1.1.5.3. Yük Yer Değiştirme Davranışı.....	10
2.1.1.5.4. Rijitlik.....	10
2.1.1.5.5. Süneklik.....	10
2.1.1.5.6. Toplam Süneklik.....	11
2.1.1.5.7. Enerji Yutma Kapasitesi.....	12
2.1.1.5.8. Davranış.....	12
2.1.1.5.9. Göçme Durumu.....	13
2.1.1.6. DOLGU DUVARLI ÇERÇEVENİN DAVRANIŞIYLA BETONARME ÇERÇEVENİN DAVRANIŞININ KARŞILAŞTIRILMASI.....	14
2.1.1.6.1. Yük Taşıma Kapasitesi.....	14
2.1.1.6.2. Rijitlik.....	14
2.1.1.6.3. Toplam Süneklik.....	15
2.1.1.6.4. Enerji Yutma Kapasitesi.....	15
2.1.1.7. DENEY SONUÇLARI.....	17
2.1.2. DOLGU DUVARLI BETONARME ÇERÇEVELERİN DENEYSEL DEĞERLENDİRMESİ.....	17
2.1.2.1. DENEYSEL PROGRAM.....	18
2.1.2.1.1. Örnek Yapı ve Test Örnekleri.....	18
2.1.2.2. TEST DÜZENEGİ VE ARAÇLAR.....	20
2.1.2.2.1. Yükleme Durumları.....	20
2.1.2.3. DENEYSEL SONUÇLAR.....	21
2.1.2.3.1. Zayıf Çerçeveli Örnekler.....	23
2.1.2.3.2. Güçlü Çerçeveli Örnekler.....	26
2.1.2.4. ÖTELENME SINIRLARI.....	27
2.1.2.5. SONUÇLAR.....	28
2.1.3. BETONARME ÇERÇEVELERİN DAVRANIŞINA DOLGU DUVARLARIN ETKİSİ.....	30
2.1.3.1. ÇALIŞMANIN AMACI.....	30

2.1.3.2.	TESTİN UYGULANDIĞI YAPI VE DENEY DÜZENEGİ İLE İLGİLİ GENEL BİLGİLER.....	30
2.1.3.3.	YÜK UYGULANMASI.....	32
2.1.3.4.	DENEY SONUÇLARI.....	32
2.2.	DENEYSSEL VE ANALİTİK ÇALIŞMALAR KAPSAMINDA YAPILARDA DOLGU DUVAR ETKİSİNİN MODELLENEREK ANALİZ YÖNTEMLERİNE YANSITILMASI.....	41
2.2.1.	KONU İLE İLGİLİ ÇALIŞMALAR	41
2.2.2.	ANALİZ YÖNTEMLERİNDEKİ YAKLAŞIMLAR	47
2.2.2.1.	POLİNOMSAK GERİLME FONKSİYONLARI YAKLAŞIMI	47
2.2.2.2.	EŞDEĞER DİYAGONAL BASINÇ ÇUBUĞU YAKLAŞIMI	47
2.2.2.3.	SONLU ELEMANLAR YAKLAŞIMI.....	48
2.2.3.	DOLGU DUVARLARIN YAPILAR ÜZERİNDEKİ ETKİLERİ.....	49
2.2.3.1.	DOLGU DUVARLARIN YAPI DAVRANIŞI ÜZERİNE OLASI OLUMSUZ ETKİLERİ	51
2.2.3.1.1.	Burulma ve Kısa Kolon Etkisi.....	51
2.2.3.1.2.	Çıkmalı Binalarda Dolgu Duvarların Etkisi	53
2.2.4.	DOLGU DUVARLI ÇERÇEVELERİN GÖÇME BİÇİMLERİ.....	55
2.2.5.	DOLGU DUVARLI ÇERÇEVELERİN YATAY YÜK ALTINDA DAVRANIŞI	55
2.2.6.	BOŞLUKLU DOLGU DUVARLAR	57
2.2.7.	DOLGU DUVARLI ÇERÇEVELERİN TEKRARLAYAN YÜKLER ALTINDA DAVRANIŞLARI İÇİN MODELLEME BİÇİMİ	58
2.2.8.	DOLGU DUVARLI ÇERÇEVELERİN ANALİZİ.....	64
2.2.8.1.	YATAY YÜKÜN DAĞILIMI	64
2.2.8.2.	ÇERÇEVELERİN ANALİZİ	65
2.2.9.	DOLGU DUVARLARIN DAYANIMI.....	67
3.	BULGULAR.....	68
3.1.	DOLGU DUVARLARIN NÜMERİK UYGULAMALARLA YAPI DAVRANIŞINA OLAN ETKİLERİNİN BELİRLENMESİ	68
3.1.1.	DÜZLEMSEL ÇERÇEVE ÖRNEKLERİ	68
3.1.2.	5 KATLI ÖRNEK YAPI ANALİZİ.....	84
3.1.2.1.	GENEL BİLGİLER.....	84
3.1.2.2.	DOLGU DUVAR MODELLEME TEKNİKLERİ VE SONUÇLAR.....	85
3.1.2.2.1.	Dolgu Duvarın SAP2000’de Eşdeğer Diyagonal Çubuk Olarak Modellenmesi	85
3.1.2.2.2.	Dolgu Duvardan Dolayı Oluşan Rijitlik Artışının Kolonlara Aktarılarak SAP2000’de Analiz Edilmesi	91
3.1.2.2.3.	Dolgu Duvardan Dolayı Oluşan Rijitlik Artışının Kolon Aralarına Orta Kolon Monte Edilmesiyle SAP2000’de Analiz Edilmesi ...	92
3.1.2.2.4.	Dolgu Duvarın STA4CAD’te Panel Olarak Modellenmesi	93
3.1.2.2.5.	Dolgu Duvardan Dolayı Oluşan Rijitlik Artışının Kolonlara Aktarılarak STA4CAD’te Analiz Edilmesi.....	97
3.1.2.2.6.	Dolgu Duvardan Dolayı Oluşan Rijitlik Artışının Kolon Aralarına Orta Kolon Monte Edilmesiyle STA4CAD’te Analiz Edilmesi	98
3.1.2.3.	ANALİZ SONUÇLARININ DEĞERLENDİRMESİ	99
4.	TARTIŞMA VE SONUÇ.....	100
	KAYNAKLAR	102
	ÖZGEÇMİŞ	106

ŞEKİL LİSTESİ

sayfa no

Şekil 2.1	Tek Açıklıklı 7 Katlı Dolgu Duvarlı Bina.....	6
Şekil 2.2	Donatı Detayları.....	7
Şekil 2.3	Test Düzeneği.....	8
Şekil 2.4	Dolgu Duvarlı Çerçeveye Gelen Yükler.....	9
Şekil 2.5	Dolgu Duvarların Yüklemeler Altındaki Süneklik Faktörleri.....	11
Şekil 2.6	Yükleme Durumuna Göre Oluşan Taban Kesme Kuvveti.....	12
Şekil 2.7	Çatlama Örnekleri.....	13
Şekil 2.8	Rijitlik – Tekrarlı Yükler.....	14
Şekil 2.9	Toplam Sünekliğin Karşılaştırılması.....	15
Şekil 2.10a	Enerji Yutma Kapasitesinin Karşılaştırılması.....	16
Şekil 2.10b	Toplam Enerji Kapasitesinin Karşılaştırılması.....	16
Şekil 2.11	Dolgu Duvar Malzemeleri (a) Tam Dolu (b) Boşluklu.....	18
Şekil 2.12	Test Örnekleri a) Zayıf Çerçeve($h/L=0.67$) b) Güçlü Çerçeve ($h/L=0.67$) c) Zayıf Çerçeve ($h/L=0.48$) d)Kiriş Kolon Kesitleri.....	19
Şekil 2.13	Test Düzeneği.....	21
Şekil 2.14	Hasar Durumları (a) Örnek 4 (Yatay derz boyunca kayma) (b) Örnek 5 (Kolonlarda Kesme Göçmesi) (c) Örnek 7 (Köşelerde Ezilme).....	22
Şekil 2.15	Monotonik Olarak Yük Uygulanan Örnekler için Yük-Deplasman Eğrileri.....	23
Şekil 2.16	h/L oranı 0.67 olan Zayıf Çerçeveli Örn. (a)Örnek 4 (b)Örnek 5.....	24
Şekil 2.17	h/L oranı 0.48 olan Zayıf Çerçeveli, Güçlü Dolgulu Örnekler (a) Örnek 11 (b) Örnek 12.....	25
Şekil 2.18	h/L oranı 0.67 olan Güçlü Çerçeveli Örnekler (a) Örnek 6 (b) Örnek 7.....	27
Şekil 2.19	Dolgu Duvarlı Çerçevelerin Göçme Mekanizmaları.....	29
Şekil 2.20	Test Edilen 4 Katlı 2 Açıklıklı Yapının Plan ve Kesiti.....	31
Şekil 2.21	Üniform Dolgu Duvarlı Betonarme Çerçeve.....	33
Şekil 2.22	Yumuşak Katı Olan Dolgu Duvarlı Betonarme Çerçeve.....	33
Şekil 2.23	Kat Deplasmanları.....	34
Şekil 2.24	Taban Kesme Kuvvetlerinin Zamana Bağlı Değişim Eğrileri.....	35
Şekil 2.25a	Tekrarlı ve Yön Değiştiren Yükleme Etkisinde Toplam Kat Kesme Kuvveti-Rölatif Yerdeğiştirme Diyagramları (A) Çıplak Betonarme Çerçeve.....	36
Şekil 2.25b	Tekrarlı ve Yön Değiştiren Yükleme Etkisinde Toplam Kat Kesme Kuvveti-Rölatif Yerdeğiştirme Diyagramları (B) Üniform Dolgu Duvarlı Betonarme Çerçeve.....	37
Şekil 2.25c	Tekrarlı ve Yön Değiştiren Yükleme Etkisinde Toplam Kat Kesme Kuvveti Rölatif Yerdeğiştirme Diyagramları (C)Yumuşak Katlı Betonarme Çerçeve.....	38
Şekil 2.26	Katlararası Maksimum Ötelenme Değerleri.....	39
Şekil 2.27	Kat Seviyelerinde Absorbe Edilen Enerji- Zaman Eğrileri.....	40
Şekil 2.28	Tek Katlı Tek Açıklıklı Çerçeve Sisteme Eşdeğer Model Çerçeve Sistem.....	42
Şekil 2.29	Çerçeve İçindeki Dolgu Düzleminin Üçgen veya Dikdörtgen Sonlu Elemanlar Ağı ile Modellenmesi.....	49

Şekil 2.30	İki Çerçevesinde Dolgu Duvar Bulunan Çok Katlı Betonarme Yapının Kat Planı.....	51
Şekil 2.31	Betonarme Çerçevenin Bir Kısımında Dolgu Duvar Bulunması.....	52
Şekil 2.32	Kısa Kolon Etkisi Sonucu Kolonda Oluşan Mafsallaşma Mayıs 2003 Bingöl Depremi.....	53
Şekil 2.33	Konsol Çıkmalara Oturan Binanın İç Görünüşü.....	53
Şekil 2.34	Çıkmalı Binada Dolgu Duvarın Kirişler Üzerine Oturması.....	54
Şekil 2.35	Dolgu Duvarlı Çerçevenin Yatay Yük Altındaki Davranışı.....	56
Şekil 2.36	Tekrarlı Yükleme Etkisinde Dolgu Duvarlarda X-Çekme Çatlaklarının Oluşması - Mayıs 2003 Bingöl Depremi.....	56
Şekil 2.37	Açıklıklı Dolgu Duvarlı Çelik Çerçevelerin Davranışı.....	58
Şekil 2.38	Betonarme Çerçveyi Dolduran Dolgu Duvar.....	59
Şekil 2.39	Dolgu Duvarlı Çerçevenin Yatay Yük Altındaki Davranışı.....	59
Şekil 2.40	Dolgu Duvarın İki Ucu Mafsal Diyagonal Çubuk Olarak Modellenmesi.....	60
Şekil 2.41	Dolgu Çerçevelerin Deformasyonları ve Göçme Durumları.....	61
Şekil 2.42	Dolgu Duvarlı ve Dolgu Duvarsız Çerçevelerde Yük-Deplasman Eğrileri.....	62
Şekil 2.43	Monotonik Yükleme Altında Dolgu Duvarlı Betonarme Çerçevelerin Yük Deplasman Eğrileri.....	62
Şekil 2.44	A-Zayıf Çerçeve B- Güçlü Çerçeve.....	63
Şekil 2.45	Değişik Konumlardaki Duvarlara Göre Rijitliklerdeki Değişim.....	64
Şekil 2.46	Eşdeğer Diyagonal Çubuk Modeli.....	65
Şekil 2.47	Eşdeğer Diyagonal Çubuk.....	66
Şekil 2.48	Dolgu Duvarların Davranışına Harç Dayanımının Etkisi.....	67
Şekil 3.1	Tek Açıklıklı Düzlemsel Çerçeve.....	68
Şekil 3.2	Yatay Yükün Etkimesi Sonucu Çerçevenin Elastik Eğrisi.....	69
Şekil 3.3	Dolgu Duvarın İki Ucu Mafsal Çubuk Olarak Modellenmesi.....	71
Şekil 3.4	Yatay Yükün Etkimesi Sonucu Dolgu Duvarlı Çerçevenin Elastik Eğrisi.....	71
Şekil 3.5	Dolgu Duvarlı Çerçeveler ve Basit Çerçevdeki Deplasmanlar.....	72
Şekil 3.6	İki Açıklıklı Düzlemsel Çerçeve.....	74
Şekil 3.7	Yatay Yükün Etkimesi Sonucu Dolgu Duvarlı Çerçevenin Elastik Eğrisi.....	75
Şekil 3.8	Dolgu Duvarın İki Ucu Mafsal Çubuk Olarak Modellenmesi.....	76
Şekil 3.9	Yatay Yükün Etkimesi Sonucu Dolgu Duvarlı Çerçevenin Elastik Eğrisi.....	76
Şekil 3.10	Değişik Elastik Modülleri İçin Dolgu Duvarlı Çerçevelerin ve Basit Çerçevenin Deplasman Değerleri (X yönü).....	77
Şekil 3.11	Dolgu Duvarlı Çerçevenin Modellenmesi.....	79
Şekil 3.12	Dolgu Duvarlı Betonarme Çerçeve.....	81
Şekil 3.13	Kat Planı.....	85
Şekil 3.14	Yapının Üç Boyutlu Çerçeve Görünümü.....	86
Şekil 3.15	Yapının X ve Y yönünde Yatay Yük Etkisindeki Davranışı.....	87
Şekil 3.16	Dolgu Duvarın Yapıda Diyagonal Çubuk Olarak Modellenmesi.....	88
Şekil 3.17	A) Y ve B) X Yönündeki Yatay Yük Etkisinde Yapının Davranışı.....	88
Şekil 3.18	A) Dolgu Duvarlı Çerçeve B) Basit Çerçeve.....	89
Şekil 3.19	Kolonlarda Oluşan Momentler.....	90
Şekil 3.20	Yapının Üç Boyutlu Görünüşü.....	91

Şekil 3.21	Yapının Üç Boyutlu Görünüşü.....	92
Şekil 3.22	Yapının Üç Boyutlu Görünüşü.....	93
Şekil 3.23	Dolgu Duvarın Panel Olarak Modellenmesi.....	95
Şekil 3.24	Yapının Üç Boyutlu Görünüşü.....	97
Şekil 3.25	Yapının Üç Boyutlu Görünüşü.....	98
Şekil 3.26	Analiz Sonuçlarının Karşılaştırılması.....	99



TABLO LİSTESİ

sayfa no

Tablo 2.1	Deney Örnekleri.....	20
Tablo 2.2	Çeşitli Durumlara Göre Kat Yüksekliğinin Oranı Olarak Ötelenme Değerleri.....	28
Tablo 2.3	Üç Deney Sonucunda Ölçülen Değerler.....	32
Tablo 3.1	Basit Çerçeve Yata Yüyük Etkisinde Oluşan Yer Değiş tirmeler.....	69
Tablo 3.2	Basit ve Dolgu Duvarlı Çerçeve Elde Edilen Yer Değiş tirmeler.....	72
Tablo 3.3	Basit Çerçeve ve Dolgu Duvarlı Çerçevelerde Yer Değiş tirmelerin Eş itlenmesiyle Yüyük Değiş imlerini Belirleme.....	72
Tablo 3.4	Kolonun h yüksekliğinin Değiş imlerine Bağ li Olarak Çerçeve Yer Değiş tirmelerinin Dolgu Duvar Yer Değiş tirmelerine Eş itlenmesi.....	73
Tablo 3.5	Kolonun h yüksekliğinin Değiş imlerine Bağ li Olarak Çerçeve Yer Değiş tirmelerinin Dolgu Duvar Yer Değiş tirmelerine Eş itlenmesi.....	74
Tablo 3.6	Değiş ik Elastik Modülleri İç in Dolgu Duvarlı Çerçevelerin ve Basit Çerçevenin Yer Değiş tirmeleri Değerleri (X yönü).....	77
Tablo 3.7	Basit Çerçeve ve Dolgu Duvarlı Çerçevelerde Yer Değiş tirmelerin Eş itlenmesi İç in Gerekli Yüyük Değiş imlerini Belirleme.....	78
Tablo 3.8	Yapının Kat Ağ ırlıkları.....	84
Tablo 3.9	Kat Yer Değiş tirmeleri.....	86
Tablo 3.10	Kat Yer Değiş tirmeleri.....	87
Tablo 3.11	Kat Yer Değiş tirmeleri.....	89
Tablo 3.12	Yapıda Yumuş ak Kat Etkisinin Momentlerle Gösterilmesi.....	90
Tablo 3.13	Yapıda X ve Y Yönünde Oluş an Yer Değiş tirmeler.....	92
Tablo 3.14	Yapıda X ve Y Yönünde Oluş an Yer Değiş tirmeler.....	93
Tablo 3.15	Kat Yer Değiş tirmeleri.....	94
Tablo 3.16	Düş ey ve Yatay Doğ rultuda Katlararası Yer Değiş tirme Değerleri.....	94
Tablo 3.17	Kat Yer Değiş tirmeleri.....	95
Tablo 3.18	Düş ey ve Yatay Doğ rultuda Katlararası Yer Değiş tirme Değerleri.....	96
Tablo 3.19	Kat Yer Değiş tirmeleri.....	96
Tablo 3.20	Kat Yer Değiş tirmeleri.....	97
Tablo 3.21	Kat Yer Değiş tirmeleri.....	98

ÖZET

MEVCUT BETONARME YAPILARIN YENİ DEPREM YÖNETMELİĞİNE GÖRE PROJELENDİRİLMESİ VE GÜÇLENDİRME TEKNİKLERİ

Türkiye'nin, dünyanın önemli deprem kuşaklarının üzerinde bulunması, yapıların projelendirilmesi ve inşâsı sırasında deprem etkilerinin göz önüne alınmasını kaçınılmaz kılmaktadır. Deprem etkisi önemli yüklemelerden biri olmakta ve yapı, ömrü boyunca bu etkiye en az bir kere maruz kalabilmektedir. Bu sebeple, yapı davranışına mühendislik açısından, söz konusu etkileri de içeren bir tasarım veya optimum bir yaklaşımla karar verilmelidir.

Yaşanılan son depremler sonrasında Türkiye'de inşâ edilmiş betonarme binaların önemli bir kısmının gerekli mühendislik ve tasarım koşullarını sağlamadığı görülmüştür. Depreme maruz kalan ve bu riski yaşayan herkes ya hasarlı binalarını onarma yoluna gitmekte yada olası bir deprem için güvenli bulmadığı binalarını güçlendirmektedir. Perde ve kolonlarda yapılan çeşitli çalışmalar, güçlendirme uygulamalarının büyük bir kısmını oluşturmaktadır.

Deprem esnasında binaların davranışında etkili olan faktörler detaylı olarak irdelenmelidir. Bu irdeleme doğru ve kapsamlı yapılmadığında, güçlendirme gayretleri, binayı depreme karşı dayanıklı hale getirmek yerine tam tersi bir etkiyle binayı daha da zayıf konumuna getirebilmekte ve ülke ekonomisine zarar vermektedir. Yapılacak doğru teşhis, binaların daha kısa zamanda ve daha basit önlemlerle istenilen performansa ulaştırılmasına yardımcı olacaktır. Bu hususların yanında, bu çalışmanın da temel konusu olan, binalarda taşıyıcı eleman olarak ele alınmayan, dolgu duvarların etkisinin göz ardı edilmemesi çok önemlidir.

Bu çalışmada binalarda çerçeve arasını dolduran dolgu duvarların deprem etkisi altında yapı davranışına olan olumlu ve olumsuz etkileri ayrıntılı bir şekilde incelenmiş ve yapılmış olan deneysel ve analitik çalışmalar ışığında gerekli öneriler sunulmuştur. Dolgu duvarların yapıda bulunduğu konumlar araştırılmış ve oluşturabileceği olumlu ve olumsuz etkiler vurgulanmıştır.

Çalışmada öncelikle, dolgu duvarlar ile ilgili olarak yapılan deneysel ve analitik çalışmalar ayrıntılı olarak incelenmiştir. Deneysel çalışmalardan, dolgu duvarların yapı modellerine nasıl yansıtılacağı saptanmış; deneysel ve analitik çalışmalarda betonarme çerçevenin ve dolgu duvarın güçlü-zayıf olduğu durumlara göre karşılaştırmaları yapılmış; göçme mekanizmaları, yatay rijitlik, enerji yutma kapasitesi gibi davranış özellikleri belirlenmiştir. Elde edilen sonuçlardan dolgu duvar panellerini iki ucu mafsal basınç çubuğu olarak kabul etmenin gerçekçi bir yaklaşım olduğu görülmüştür. Bu kabul kapsamında, yapı analiz programlarıyla dolgu duvar, diyagonal basınç çubuğu ve diğer yöntemlerle modellenmiştir. Örnek bina üzerinde analizler ve karşılaştırmalar yapılarak elde edilen sonuçlar ve öneriler sunulmuştur.

ABYYHY (Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik-1998) ve TS 500 (Betonarme Yapıların Hesap ve Yapım Kuralları-2000) yönetmeliklerinde, dolgu duvarların, betonarme yapıların davranış özelliklerine etkisiyle ilgili standart yöntemler yer almamaktadır. Bu çalışma, dolgu duvarların var olduğu bilinen etkilerinin önemini vurgulamak amacıyla yapılmıştır.

SUMMARY

DESIGN AND STRENGTHENING METHODS FOR EXISTING REINFORCED CONCRETE STRUCTURES ACCORDING TO NEW EARTHQUAKE SPECIFICATION

Turkey is situated on the one of the dangerous earthquake zones of the world. This situation makes designers and people who implement projects in the construction areas to give extra attention to the earthquake effects related subjects of construction. Although we need to provide the construction with adequate earthquake resistance, also we need to consider that the construction we design may experience one or two earthquakes in its long service life. This is an important point in terms of optimum usage of engineering approach.

Earthquakes we experienced in our country recently proved that many buildings do not fulfill the requirements of earthquake design in Turkey. People living bitter consequences of earthquake chose either to repair their damaged buildings or to reinforce the building to achieve those earthquake design requirements. Earthquake reinforcement of the buildings with adding extra columns and concrete shear or strut walls to the existing structures is forming the majority of reinforcement works done so far.

We need to scrutinize the factors that have crucial effects on the various responses of buildings during an earthquake. Those factors that are not being examined enough to reflect the most realistic response of the building, may mislead the reinforcement and repair projects of the building and cause damages not only for the structure but also for the national economy. The right diagnosis of structural damages is the answer to avoid from these bitter consequences. As a right diagnosis shortens the time frame allocated for repair work, also it enables us to implement simple project solutions to correct the structural problems caused by earthquake. While doing diagnosis of earthquake-damaged buildings, we shouldn't underestimate the importance of the filling walls in the buildings

This thesis investigates the advantages and disadvantages of filling masonry walls between load carrying structures in the building from experimental and analytical perspectives and makes recommendation regarding the results of this investigation. According to the positions of filling walls in the structure, problems are emphasized and the right and simplest solutions are recommended by giving high attention to architectural and economical considerations.

In this thesis experimental and analytical works are conducted to profoundly understand the realistic behavior of filling walls in the structures under earthquake forces and by the means of experimental results, the practical implementations of filling walls in building modeling are explained. By analyzing the joint behavior of structure and filling masonry walls in the building under strong and weak situations; collapse mechanism, horizontal rigidity and energy absorption capacity of this joint behavior is defined. As a result of all those experimental and analytical works, we realized that modeling masonry filling walls as a pressure strut with hinges at the two ends is a fairly realistic approach. According to this recognition, an exemplary building is modeled and its structural

analyzed is done. Results from this modeling are compared and recommendations are made accordingly.

The importance and joint behavior of filling masonry walls with load carrying structure of the building under earthquake effects are not taken into account and not mentioned in Turkish construction standards (ABYYHY and TS 500 – 2000). This thesis is especially written to highlight the importance of filling masonry walls in the structures under earthquake effects.



1. GİRİŞ

1.1. KONU

Yurdumuzda, taşıyıcı sistemi çerçeve türünden olan betonarme binalar incelendiğinde, sözkonusu binaların önemli kısmının, geçerli olan son deprem şartnamesini ve hatta bir önceki şartnamenin kriterlerini bile sağlamadığı ortaya çıkmaktadır. İstanbul başta olmak üzere Marmara Bölgesi'nde beklenen şiddetli bir depreme karşı binaların incelenmesi ve gerekenlerin güçlendirilmesi günümüz toplumunun karşı karşıya bulunduğu en önemli sorunlardan birini oluşturmaktadır. Özellikle İstanbul'daki binaların önemli bir kısmının projesinin mevcut olmadığı, mühendislik hizmeti görmediği veya projesinin mevcut olduğu bildirilse bile, bu projeye uyulmadığı kuvvetle tahmin edilmektedir.

Bu sebeplerden ve sayının çok olmasından dolayı mevcut binaların deprem güvenliklerinin incelenmesi ile birlikte güçlendirme gereken binalara ait güçlendirme işleminin ayrıntılı bir dizi kabullere dayanan hesaplar sonucu ortaya çıkarılmasının sağlıklı olmayacağı açıktır. Ayrıntılı incelemenin yapılabilmesi için gerekli ilk şart binanın taşıyıcı sisteminin sağlıklı belirlenebilmesidir [1]. Genellikle bu tür incelemede taşıyıcı sistemin basit bazı yerel zayıflıkların göz önüne alınması zordur. Örneğin, bazı kolonlarda donatının kenetlenme boyu yeterli değilse veya bazı kiriş-kolon birleşim bölgelerinde beton yerleşimi sorunlu ise veya kolonlar kattan katta küçük de olsa eksen değiştiriyorsa, böyle bir sistemde doğrusal olmayan bir hesap yapmanın kabul edilebilir doğrulukta bir sonuç vereceği oldukça şüpheli olacaktır. Burada sözü edilen pek çok kusurun binalarımızın büyük bölümünde bulunduğu bilinmektedir. Buna karşılık ayrıntılı taşıyıcı sistem hesabına gerek olmaksızın binanın deprem güvenliğinin belirlenmesinde olduğu gibi, basit önlemlerin uygulanması ile yapılan güçlendirmenin yeterliliğinin belirlenmesinde de basit hesap yöntemlerinin kullanılması önemlidir.

Betonarme binalarda çerçeve içinde bulunan bölme duvarlarının kapasiteye katkılarının göz önüne alınması, binalarda mevcut olan ek yatay yük kapasitesinin ortaya çıkmasını sağlayacaktır. Ayrıca, bölme duvarlarının yatay yük kapasitesine olan katkılarının belirlenmesi, çerçeve türünden binalara bölme duvarları eklenmesiyle veya mevcut bölme duvarların taşıyıcılığının artırılması ile yapılacak güçlendirme işlemi de faydalı olacaktır. Bu tür güçlendirme uygulaması, ekonomik olması, kolay uygulanabilir olması ve uygulaması yapılan yapı için yeterli bir çözüm olacağı kanıtlanabiliyorsa özellikle tercih edilebilir [2].

Yukarıda açıklanan sebeplerden dolayı, yapıya etkiyen yatay yükün karşılanmasında, çerçeve türünden betonarme taşıyıcı sisteme sahip bir binanın mevcut bölme duvarlarının veya eklenen bölme duvarlarının katkısı ve genel taşıyıcı sistem davranışına olan etkisinin incelenmesi önemlidir.

Bina taşıyıcı sisteminin modellenmesindeki amaç, dış kuvvetlerden dolayı oluşacak deplasmanları ve iç kuvvetleri doğru bir şekilde hesaplamaktır. Bu hesaplarda taşıyıcı sistem davranışını belirleyen faktörleri bir bütün halinde ele almak gerekir. Ancak böylelikle taşıyıcı sistemin optimum ve güvenli bir tasarımı söz konusu olabilir.

Günümüzde yapı davranışını belirlemek için yapılan analiz ve tasarımlarda özellikle betonarme yapılarda çerçeveler arasında yer alan dış duvarlar ile iç bölme duvarların etkisine yer verilmemektedir. Bu durum yapının deprem etkisi gibi yatay yükler altındaki gerçek davranışlarını belirlemede, doğruya yakın sonuçları elde edilmemesinin nedenlerinden biridir.

Betonarme çerçeveli sistemler, en çok kullanılan yapı sistemleri olmalarına karşın kullanılan hesap yöntemlerinde, dolgu duvarların yapı rijitliğine etkisi dikkate alınmamaktadır. Bu durumun başlıca üç nedeni vardır : (1) Dolgu duvarların katkısını dikkate alan hesap modelleri oluşturmak nispeten güç ve karmaşık bir iştir; (2) Dolgu duvarların katkısını dikkate alan hesap metotları, en azından proje tasarımı seviyesinde yoktur. (3) Yapının enerji yutma kapasitesine ve rijitliğine katkısı genel olarak bilinmesine rağmen güvenli tarafta kalınması için hesaplarda dolgu duvarların etkisi ihmal edilmektedir.

Dolgu duvarlar sık sık betonarme ve çelik yapıların iç bölmelerinde ve dış kısımlarında kullanılmakta ve yapıyı dış ortamdan ayıran, yapıda mimari açıdan farklı mekanların oluşturulmasını sağlayan yapı elemanlarıdır. Dolgu duvarlar mimari elemanlar olarak düşünülerek mühendislerce hesaplarda sık sık ihmal edilmektedir. Bununla birlikte duvarlar yapısal olmayan elemanlar olarak düşünülse dahi yapı deprem yüklerine maruz kaldığında çerçeveye birlikte çalışmaktadırlar. Bu durumun yapı performansını nasıl etkilediği tartışmalara konu olmuştur. Bazı ülkelerde dolgu duvarlar çerçeveleri güçlendiren elemanlar olarak kullanılmaktadır ve çeşitli deprem yükleri altında yapının performansının artırdığı kanıtlanmıştır.

Dolgu duvarlar rijitlikleri ve ağırlıkları ile yapıyı önemli ölçüde etkilerler. Bu etkilerin göz önüne alınabilmesi için dolgu duvarlı çerçeve davranışının modellenmesi gerekmektedir. Yüklerin artışına bağlı olarak dolgu duvarlı çerçevede, dolgu duvar ve çerçeve arasında meydana gelen ayrılma ve dolgu duvarda oluşan çatlaklar davranışın modellenmesi açısından önemli olmaktadır. Bu amaçla, genellikle yatay yükler temel alınarak çeşitli modeller ortaya atılmıştır.

Çerçeve türünden betonarme taşıyıcı sistemlerin taşıma güçlerinin belirlenmesinde dolgu duvarların etkisi genel olarak hesaba katılmazken, söz konusu duvarların etkisi 1998 Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmeliğinde [3] iki konuda göz önüne alınır. Bu konulardan birincisinde, mevcut binalarda yer alan bölme duvarlarının sonradan kaldırılmasına bağlı olarak oluşabilecek olumsuz durumları ve bu durumlardan dolayı binanın yatay yük taşıma kapasitesinin zayıflatılmaması için ek tedbir alınması şart koşulur. Deprem yönetmeliğinde bölme duvarları ile ilgili ikinci bir husus da, taşıyıcı sistemde tanımlanan komşu katlar arası dayanım düzensizliğinin kontrolünde bölme duvarlarının etkisinin hesaba katılmasıdır.

Üzerinde durulması gereken önemli nokta şudur ki, binada duvarlar enerji alır durumda ise, zeminden etkileyen deprem ivmesi bina içinde azalır. Buna karşın duvarlar enerji alır durumda değilse bina deprem ivmesini kendi içinde yükseltir. Buna ilaveten duvarlar çerçeve arasına dolgu olarak geldi ise çerçevenin yük taşıma kabiliyeti artar. Yani duvarlar bir yandan binaya gelen deprem ivmesini azaltıcı rol oynarken diğer yandan binanın savunmasını yapacak çerçevelerin kabiliyetini kat kat artırmakta, ayrıca duvarın kendisi de bizzat perde gibi çalışarak betonarme sisteme ilave bir katkı sağlamaktadır.

Söz konusu elemanlar, aslında binanın fedaisi ve hatta kurtarıcısı olarak düşünülebilir. Binadaki tuğla duvarların bu denli etkili olmasına karşın acaba mevcut binalarda durum nedir ve duvarlar etkili olabilecek şekilde bina içerisinde bulunmakta mıdır, duvarlardan yeterli yarar sağlayıcı tasarım yapılmış mıdır gibi sorular akla gelmektedir [4].

Dünyanın birçok ülkesinde yürürlükte olan deprem yönetmeliklerinin çoğunda dolgu duvar panellerinin, yapının sistem davranışına olan etkileri gözardı edilmektedir. Meksika'da kullanılan şartnamede, taşıyıcı sistemin bir parçası olsun olmasının binanın davranışına etkisi olabilecek her elemanın rijitliğinin binanın analitik modeline katılması mecburi tutulmakta ve çerçeve dolgularının iki ucu mafsallı diyagonal çubuklar ile idealize edilmeleri önerilmektedir. Çin'deki şartnamede ise tuğla dolgu duvarların yatay kuvvet direnci hesaba katılarak elde edilmiş elastik ve inelastik yanal deplasman oranı sınırlamaları getirilmiştir. Kanada deprem şartnamesinde duvarlar gibi belli bir rijitliği olan elemanlar ile çerçeveler arasındaki etkileşimlerin, bu elemanların davranışından veya göçmelerinden dolayı sistemin taşıma kapasitesinin etkilememesini temin edecek şekilde tasarlanması önerilmektedir. Mısır ve Etiyopya'da kullanılan şartnamelerde de benzeri bölümler vardır. Amerika, Venezüella ve Romen şartnamelerinde taşıyıcı olan ve olmayan elemanlar için rölatif kat deplasmanı sınırlamaları getirilmesi ile yetinilmiştir.

Yapı analizlerinde yapılan uygulama, tasarım ve analiz sırasında dolgu duvar panellerini sadece yapı ağırlıklarının belirlenmesinde statik yük olarak alıp, analizlerde kolon, giriş, perde ve döşeme gibi elemanların modellenmesiyle oluşturulan çerçeveyi kullanmaktır. Ancak deprem sırasında binalarda oluşan hasarlar üzerinde yapılan gözlem ve araştırmalarda, duvarlarda büyük kalıcı şekil değiştirmelerin olduğu saptanmıştır. Bu kalıcı şekil değiştirmelere bakılarak duvarların sistem davranışında etkileşim içinde olduğu görüşüne varılarak çeşitli çalışmalar yapılmıştır. Bu konuda, son yıllarda yapılan deneysel ve analitik çalışmalar sonucunda, dolgu duvarların taşıyıcı sistemin davranışını (periyot, rijitlik, yük taşıma kapasitesi, süneklik, göçme mekanizması, enerji yutma kapasitesi) büyük ölçüde değiştirebildiği ispatlanmış ve taşıyıcı sistem analizlerinde duvarların modellenmesi konusunda aşamalar kaydedilmiştir.

TS500 ve deprem yönetmeliğimizde, diğer gelişmiş ülkelerin deprem yönetmeliklerinde olduğu gibi, dolgu duvarlı betonarme çerçevelerin davranış özelliklerinin (rijitlik, dayanım, süneklik v.b.) belirlenmesiyle ilgili standart yöntemlerin yer almaması günümüz koşullarında bu konuyu çok daha önemli kılmaktadır.

1.2. ÇALIŞMANIN KAPSAM VE AMACI

Dolgu duvarlı yapı sistemlerinin analizi için geliştirilen hesap yöntemlerinin pratik uygulamalara aktarılmasını öngören bu çalışmanın amacı,

- A) Dolgu duvarların, mevcut deprem yönetmeliklerine uygun olarak boyutlandırılan çok katlı betonarme çerçevelerden oluşan yapı sistemlerinin yatay yükler altındaki genel davranışlarına olan etkilerinin geniş şekilde araştırılması,
- B) Elde edilen sonuçlara dayanarak, dolgu duvarların çok katlı betonarme yapıların

deprem yükleri altındaki davranışları üzerinde yarattıkları olumlu ve/veya olumsuz etkilerinin belirlenmesi,

- C) Dolgu duvarları, taşıyıcı sistem modellerinde temsil edecek elemanların ve özelliklerinin belirlenmesi,
- D) Dolgu duvarların yapıların yatay yük etkisinde yapacağı yer değiştirmelere olan etkisi nümerik örneklerle gösterildikten sonra 5 katlı x ve y doğrultusunda simetrik olan binanın bir yönünün tamamıyla dolgu duvar olması nedeniyle deprem gibi yatay yükler etkisinde yapıda oluşturacağı etkiler ortaya konulmuştur.
- E) Önerilerin belirlenmesi suretiyle amaç, deprem etkilerine karşı daha güvenli ve ekonomik yapı tasarımına katkı sağlamaktır.



2. MALZEME VE YÖNTEM

2.1. DOLGU DUVARLAR İLE İLGİLİ YAPILMIŞ OLAN DENEYSEL ÇALIŞMALARIN İNCELENMESİ

Bu bölümde dolgu duvar ile ilgili deneysel çalışmalar ayrıntılı bir şekilde sunulmaya çalışılacaktır. Burada amaç, deneysel çalışmalar sonucunda duvarların yatay yük altında yapıya olan etkilerini kapsamlı olarak vermenin dışında, dolgu duvarı modellemek adına var olan modeller arasından tatmin edici, basit ve uygulanabilir bir metoda ulaşmaktır.

2.1.1. DOLGU DUVARLI ÇERÇEVENİN SÜNEKLİĞİ

(Ductility of Infilled Frames)

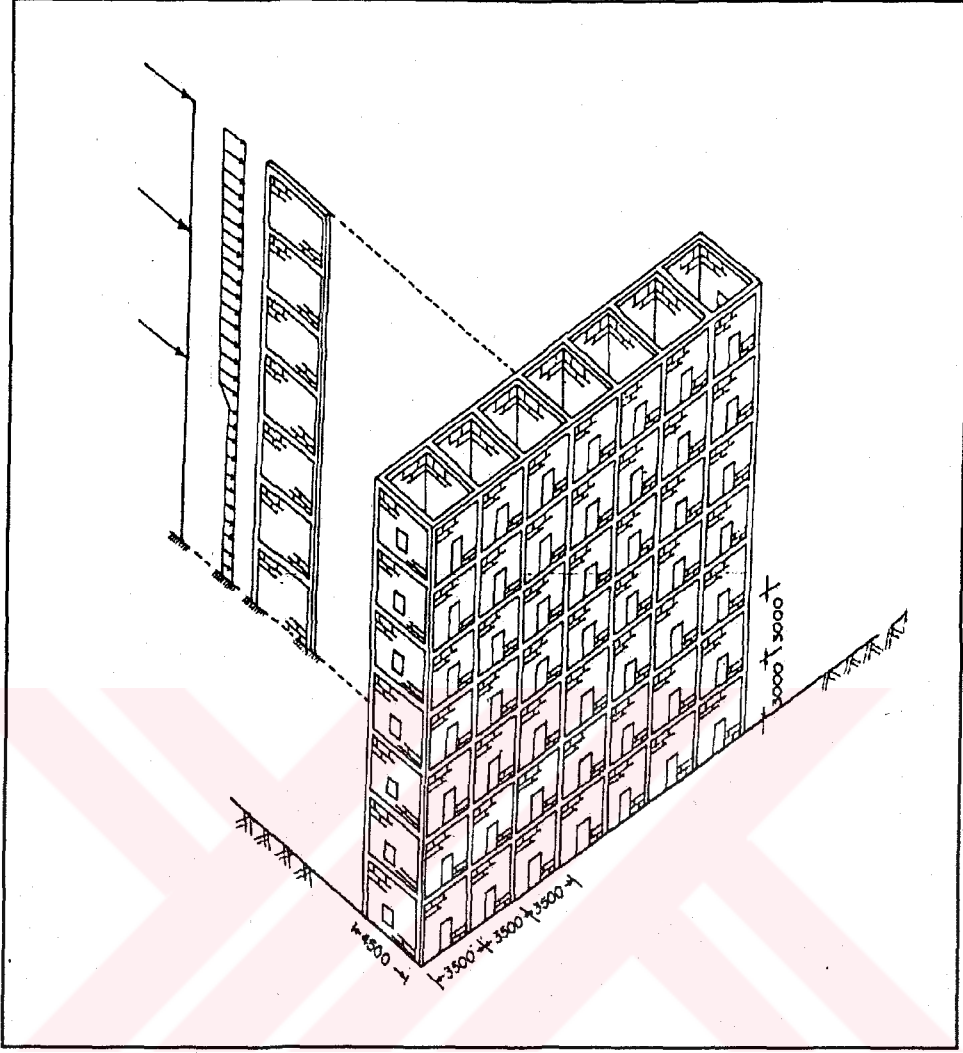
P. Govindan, M. Lakshmiathy and A. R. Santhakumar

2.1.1.1. ÇALIŞMANIN AMACI

Yapılan çalışmada yatay yüklere maruz kalan 7 katlı dolgu duvarlı betonarme çerçeveye dolgu duvarsız betonarme çerçevenin davranışları karşılaştırılmış ve tuğla duvarlı çerçevenin göçme durumları belirlenmiştir. Özellikle, tekrarlı yatay yüklere maruz kalan dolgu çerçevenin dayanımı, sünekliliği ve enerji yutma karakteristikleri araştırılmıştır [5].

Çalışmanın amaçları

- 1) Deprem ve rüzgar yükleri gibi tekrarlı yükler altındaki dolgu duvarlı çerçevenin davranışını araştırmak.
- 2) Deneyle dayanarak deprem ve rüzgar yüklerine maruz kalan dolgu duvarlı çerçevenin duktilitesini belirlemek.
- 3) Çok güçlü tekrarlı yükler altında dolgu duvarlı çerçeve boyutlandırılması için rijitlik ve dayanım değişimlerinin belirlenmesi

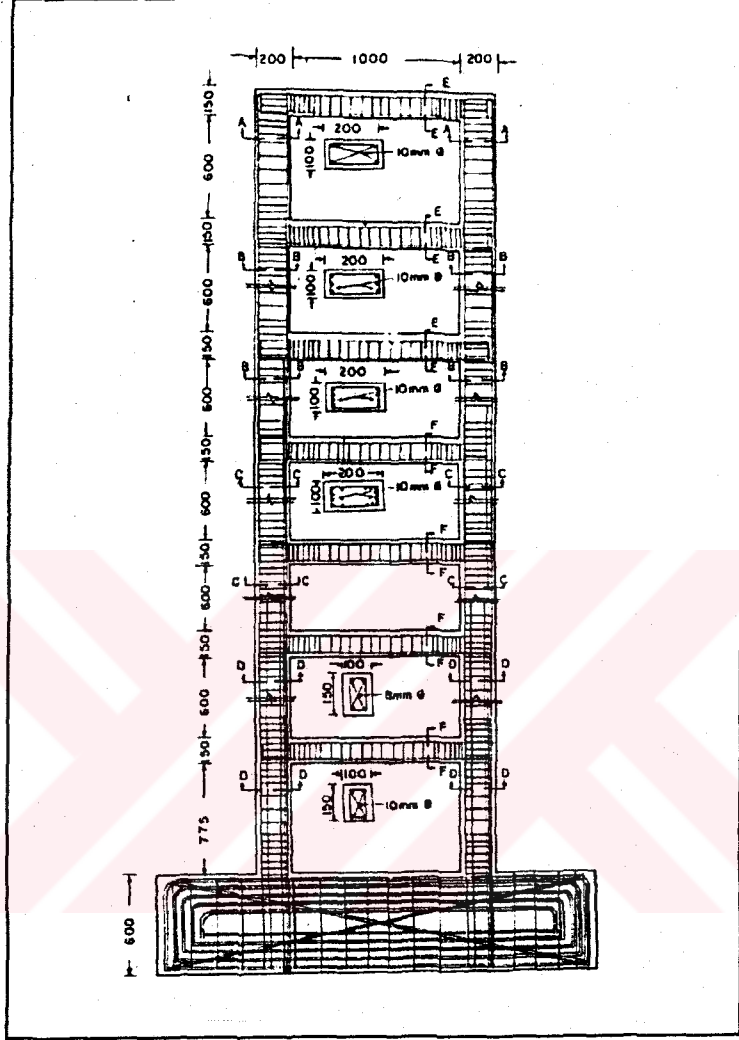


Şekil 2.1 Tek Açıklıklı 7 Katlı Dolgu Duvarlı Bina

2.1.1.2. DENEYDE KULLANILAN ÇERÇEVENİN TANIMLANMASI

Şekil 2.1’de tipik tek açıklıklı 7 katlı bir yapı gösterilmiştir. Ayrıca dolgu duvarlı bu çerçevenin yaklaşık 1/4 modelin Şekil 2.2’de donatı detayları gösterilmiştir. 75 mm kalınlığındaki dolgu malzemesiyle, çimento harcı kullanılarak çerçeve arası doldurulmuştur. Betonarme çerçeveler iki şekilde analiz edilmiştir: 1. Çıplak Betonarme Çerçeve, 2. Dolgu Duvarlı Çerçeve. Betonarme çerçeve, kolonlarda plastik şekil değiştirme oluşmadan önce kat kirişlerinde plastik mafsallık oluşacak biçimde yatay yüklere maruz bırakılmak suretiyle dizayn edilmiştir.

200·200·400 mm boyutlarındaki numune için prizma deneyi esas alınmış; çerçevelerde ortalama küp dayanımı $22 N/mm^2$, donatıların akma gerilmesi $462 N/mm^2$ ve tuğlanın ortalama dayanımı $2.38 N/mm^2$ bulunmuştur.



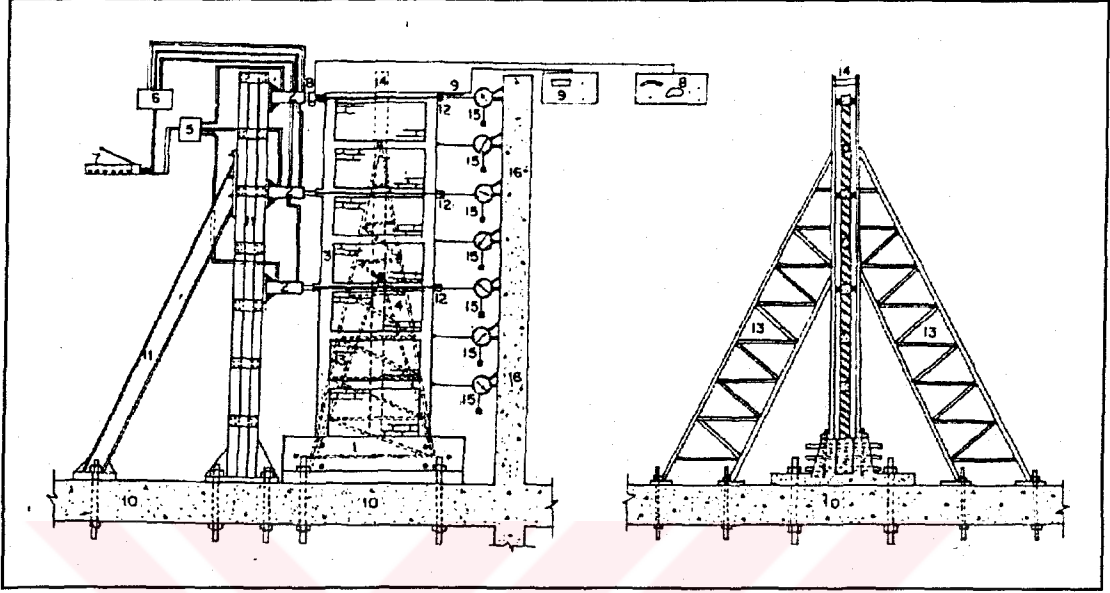
Şekil 2.2 Donatı Detayları

2.1.1.3. TEST DÜZENİĞİ VE ÇALIŞMA PRENSİBİ

Şekil 2.3'te test düzeneği görülmektedir. Çerçeve tekrarlı yüklere maruz bırakılmıştır. Temel bloğu tabanda rijitliği tam sağlamak için ayrı olarak dizayn edilmiştir.

Gerçek yapıda, dolgu duvarlı çerçeve döşemelerle sağlanan rijitlik nedeniyle burkulmaz. Fakat bu testte, Şekil 2.3'te gösterildiği gibi dolgu duvarların destekler arasında hareketine izin verildiğinden burkulma durumu ortaya çıkacaktır. Tekrarlı yükleme, bir konsola bağlı 3 tane yük uygulayıcıyla kontrol edilmiştir. Yer değiştirme ölçerler, rijit olarak betonarme kolonlara bağlanarak ayırıcıyla çerçeveye rijit olarak tutturulmuştur.

Test sırasında beton, çelik ve tuğla dolgularındaki gerilmeler ve her bir katın deformasyonu belirlenmiştir. Ölçüler özellikle çeşitli yüklemeler sırasında çatlamadan sonraki ve nihai yüke yakın yüklerdeki davranışı göstermek için yapılmıştır.



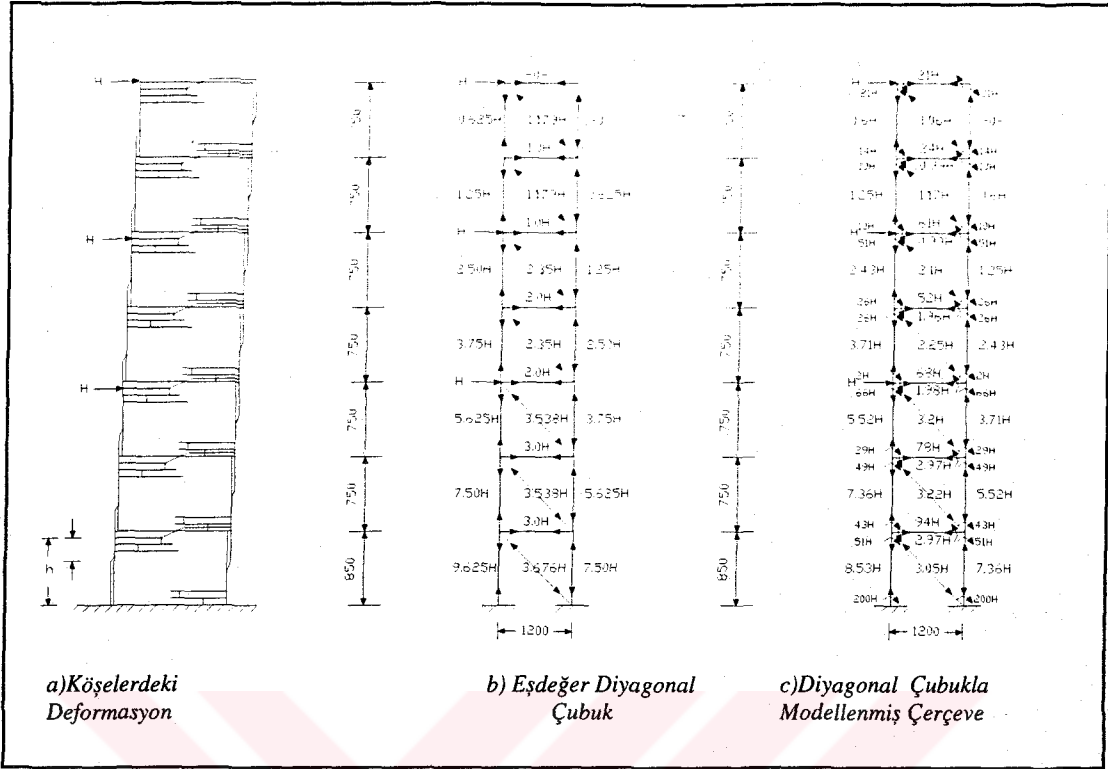
Şekil 2.3 Test Düzenegi

2.1.1.4. DOLGU DUVARLARIN ANALİZİ

Stafford Smith tarafından önerilen, mafsallı çubuk olarak ele alınan çerçeve ve Smolira tarafından önerilen mafsallı eşdeğer diyagonal çubuk olarak ele alınan rijit bağlantılı kabul edilen kafes kiriş analizleri yapılarak her iki analizde de dolgu duvarın etkisi eşdeğer çubukla temsil edilmiştir. Çeşitli elemanlardaki kuvvetler iki analizde de şekil 2.4'te gösterildiği gibi kullanılmıştır.

Nihai kesme kuvveti iki analiz için sırasıyla 141 kN ve 124.5 kN ' dur. Stafford Smith analizine göre hata oranı yaklaşık $\%11.7$ olarak belirlenmiştir. İki yük faktörü dikkate alınarak servis yükündeki taban kesme kuvveti sırasıyla 70.5 kN ve 62.25 kN ' dur.

Sadece elastik analiz dikkate alınmıştır. Non-lineer analiz yapılmamıştır ve göçme yükü ilgili bölgedeki mafsal oluşumuna göre belirlenmiştir.



Şekil 2.4 Dolgu Duvarlı Çerçeveye Gelen Yükler

2.1.1.5. DENEY SONUÇLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ

2.1.1.5.1. Çatlama Oluşumu

Çatlama ilk olarak taban kesme kuvveti 29 kN olduğunda alt kattaki basınç çalışan kolonda oluşurken taban kesme kuvveti 34 kN olduğunda ikinci kattaki dolgu duvardaki dolgu ve çerçeve arasında oluşmuştur. Taban kesme kuvveti 51 kN olduğunda ilk ve ikinci kattaki kirişler çatlamıştır. Taban kesme kuvveti 64 kN olduğunda, kesme çatlakları ilk olarak dolgu panellerde ve sonra üçüncü kattaki panellerde oluşmuştur. Servis yükü 70 kN olduğunda basınç kolonunun temel seviyesindeki dolgu duvar için çatlak genişliği 0.1 mm'dir.

2.1.1.5.2. Yük Taşıma Kapasitesi

Stafford Smith'in [6] analizlerinde bulunan 141 kN değerine karşılık çerçevenin taşıma yükü kapasitesi 146.1 kN'dur. Kolonun eğilme davranışı ihmal edilmesine rağmen bulunan değerler ve önceki sonuçlar arasında iyi bir korelasyon vardır. Göçme yüküne yakın değerlerde, tüm kolon gerilme altındadır (tüm kesit çatlamıştır) ve eğilme katkısı en küçüktür.

2.1.1.5.3. Yük Yer Değiştirme Davranışı

İlk akma, betonarme çerçevedeki deplasman 20 mm olduğunda oluşmuştur. Dolgu duvarlı çerçevedeki ilk akma, deplasman 102 mm de iken oluşmuştur. Sadece 19. yüklemde dolgu duvarlı çerçeve akma deplasmanına ulaşmıştır. Önceki yüklemelerde akma gerçekleşmemektedir.

2.1.1.5.4. Rijitlik

Rijitlik, en üst kat seviyesindeki yerdeğiştirmeye neden olan yük olarak tanımlanmıştır. Dolgu duvarlı çerçevenin rijitliği ilk yüklemde 2500 N/mm iken 24. yüklemde 280 N/mm olarak belirlenmiştir. Genel olarak sonraki yüklemelerde rijitlikte bir azalma olduğu gözlenmiştir.

2.1.1.5.5. Süneklik

Yapılarda büyük kalıcı şekil değiştirmeler nedeni ile göçmenin önlenmesi, taşıyıcı sistemin yatay yük dayanımının büyük bir kısmının lineer olmayan şekil değiştirmelerde de devam edebilme özelliğiyle mümkündür. Taşıyıcı sistemin, elemanlarının veya kullanılan malzemenin lineer olmayan davranışta da dayanımının önemli bir kısmını sürdürme özelliği süneklik olarak isimlendirilir. Süneklik kavramı aynı zamanda büyük şekil ve yer değiştirme yapabilme, tekrarlı yüklemde enerji yutabilme özelliğini de içerir.

Matematiksel olarak süneklik (μ), ulaşılacak toplam yer değiştirmenin (Δ_u), elastik sınıra erişildiğindeki yer değiştirmeye (Δ_y) oranı olarak tarif edilebilir.

$$\mu = \frac{\Delta_u}{\Delta_y} \quad (2.7)$$

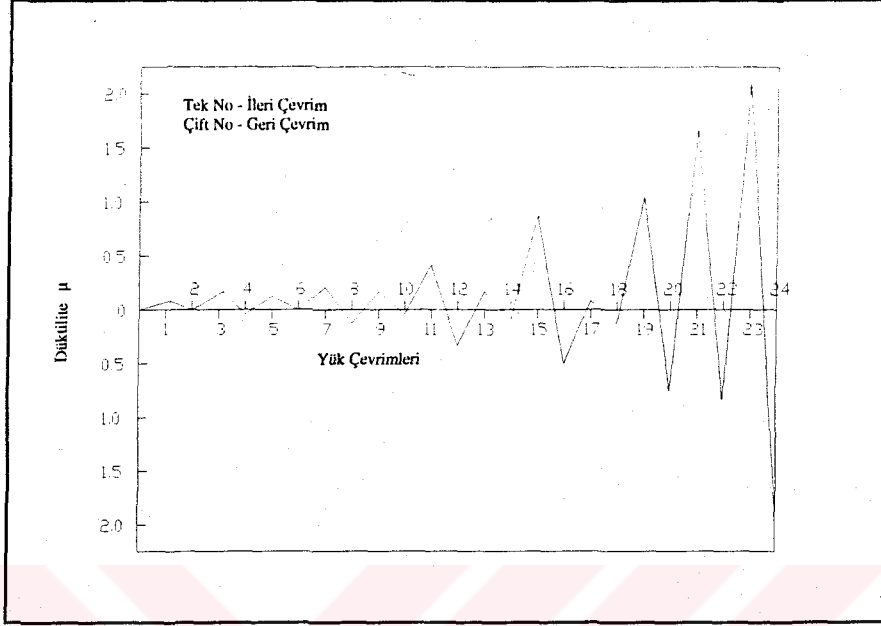
Sünek davranışta, sisteme giren enerjinin bir kısmı doğrusal olmayan davranış ile sönmülendirken, büyük şekil değiştirmeler yeniden dağılıma imkan verecek ve taşıma kapasiteleri olan diğer elemanların daha fazla yük almasını sağlayacaktır.

Kompozit çerçeve (Dolgu Duvarlı Çerçeve) ile basit çerçeve sistemlerinin süneklikleri karşılaştırıldığında, basit betonarme çerçevenin daha sünek davranış sergileyeceği söylenebilir. Basit çerçevenin sünekliği, kompozit çerçevenin sünekliğinden 3.29 kat büyük olduğu görülmektedir. Çeşitli yükler altındaki süneklik faktörleri Şekil 2.5'te gösterilmiştir.

Süneklik, ilk ileri yüklemde 0.0392 iken 24. yüklemde 2.4588'dir. İlk tekrarlı yüklemdeki süneklik 0.0127 iken, 24. yüklemde 2.1568'dir.

Akma öncesi her bir yüklemde seçilen maksimum yük, önceden saptanan çatlama derecesi esas alınarak yapılır. Önceki yüklemelerdeki süneklik faktörleri daha büyük olmasına rağmen ($\mu_{13} > \mu_{17}$) bu durum tesadüfidir çünkü akma sonrası performansını göstermez. 19.yüklemde (donatının akma gerilmesine geldiği yüklem) önceki yüklemelerdeki bazı yük seviyeleri (yüklem 17 ve 18) önceki daha büyük

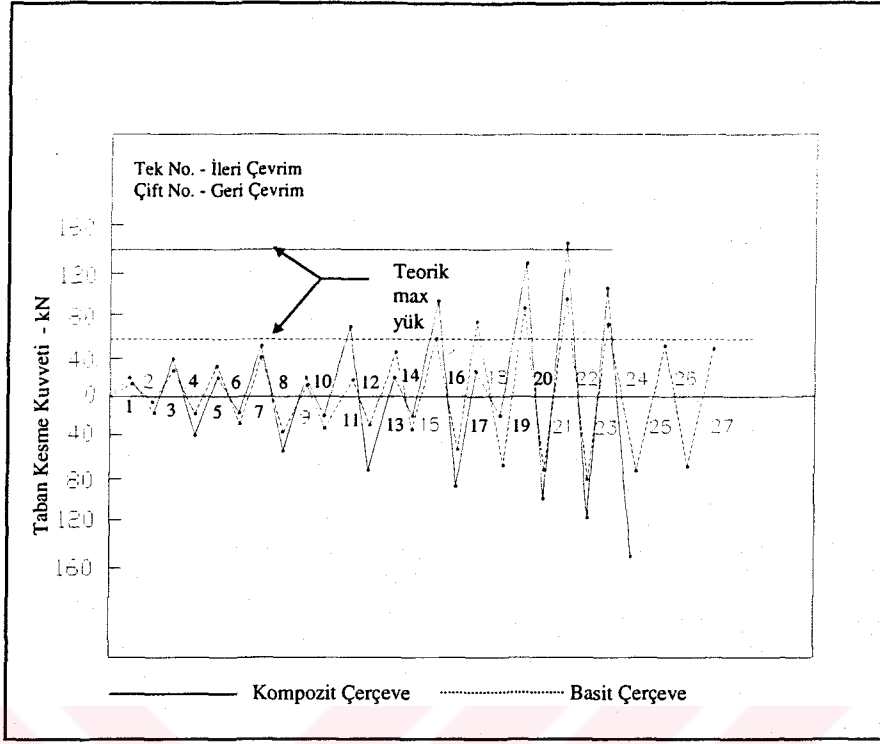
yüklemelerdeki meydana gelen rijitlik azalmasını göstermek için oldukça düşük tutulmuştur (Yükleme 15 ve 16).



Şekil 2.5 Dolgu Duvarların Yüklemeler Altındaki Süneklik Faktörleri

2.1.1.5.6. Toplam Süneklik

Yapı yüklemelere maruz bırakıldığında, herhangi bir yüklemedeki toplam süneklik, ileri ve geri yüklemelerin her ikisi dikkate alınarak ilgili yüklemdeki sonraki her bir yükleme için ulaşılan maksimum yük seviyesindeki sünekliklerinin toplamıdır. Toplam süneklik, depreme dayanıklı yapı tasarımı açısından önemli bir parametredir.



Şekil 2.6 Yükleme Durumuna Göre Oluşan Taban Kesme Kuvveti

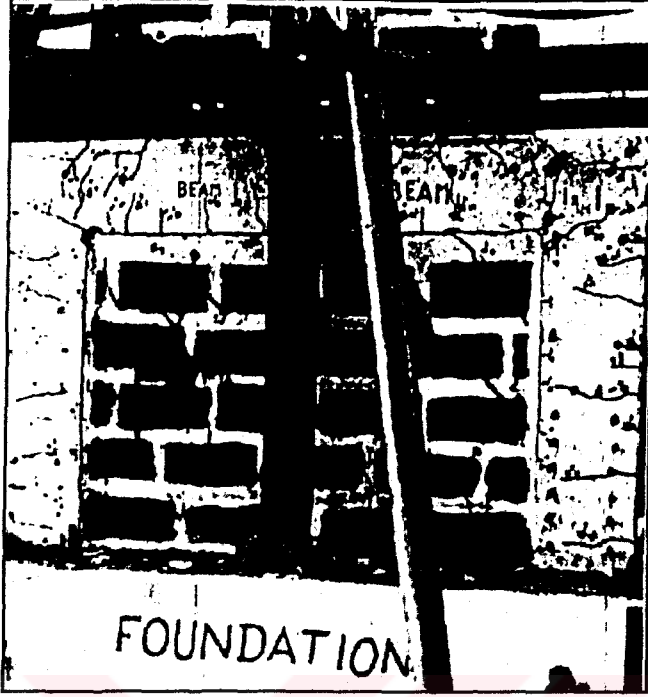
2.1.1.5.7. Enerji Yutma Kapasitesi

Çeşitli yüklemeler altındaki enerji yutma durumu, yük-yer değiştirme diyagramındaki yük-çevrim eğrileri altındaki alanlardan hesaplanır. İlk yükleme sırasında enerji yutma kapasitesi 0.009 kNm iken 24.yükleme sırasındaki ise 10.22 kNm'dir. Dolgu duvarlı çerçevelerde toplam enerji yutma kapasitesi 29.414 kNm'dir.

2.1.1.5.8. Davranış

Bu analiz, en üst kattaki dolgu duvarlı çerçevedeki göçmeden önce en alt kattaki dolgu duvarlarda göçme oluşacağını ve ileri yükleme sırasında meydana gelen çatlama, dolgu çerçevenin önemli bir eleman olarak davrandığını göstermiştir. Tersinir yükleme sırasında çatlamlar ileri yükleme tamamlandığında oluşmuş ve yeni çatlaklar diyagonal gerilme çaprazında oluşmuştur. Şekil 2.7'de ileri ve geri yüklemelerdeki çatlaklar verilmiştir.

Göçme anında dolgu duvarlı çerçevede tuğlalarda dökülme ve patlamalar görülmekte ve tuğla duvardaki bu hasar dolgu duvarda, dağılan parçalara neden olmaktadır.



Şekil 2.7 Çatlama Örnekleri

2.1.1.5.9. Göçme Durumu

Alt katlardaki tuğlanın çeşitli şekillerde çatlamasından sonra ilk mafsall oluşumu 3.kat kirişlerinin uç kısmında başlamıştır. 2., 3., 4. ve 5. mafsall oluşumları, sırasıyla 2., 3., 4. ve 5. kat kirişlerinde oluşmuştur. Sonra zemin kattaki basınç ve çekme kolonlarının altında plastik mafsallar oluşacaktır. Çekme kolonu dolgu duvardaki diyagonal çubuk etkisinden dolayı basınca çalışmıştır.

Diyagonal çubuk ve temelin kesişim noktasında çekme kolonu, göçmenin başlayacağı bölgesel burkulmaya maruz kalmıştır.

Plastik mafsallaşmalar 6. ve 7. kat kirişlerinde oluşmamış, 5. kat dolgu duvarı sadece biraz hasar görmüştür. 6. ve 7. kat dolgu duvarları tam anlamıyla hasara uğramış, bununla birlikte 6. ve 7. kattaki dolgu duvarlarla çerçeveler arasında ayırıcı çatlaklar oluşmuştur.

2.1.1.6. DOLGU DUVARLI ÇERÇEVENİN DAVRANIŞIYLA BETONARME ÇERÇEVENİN DAVRANIŞININ KARŞILAŞTIRILMASI

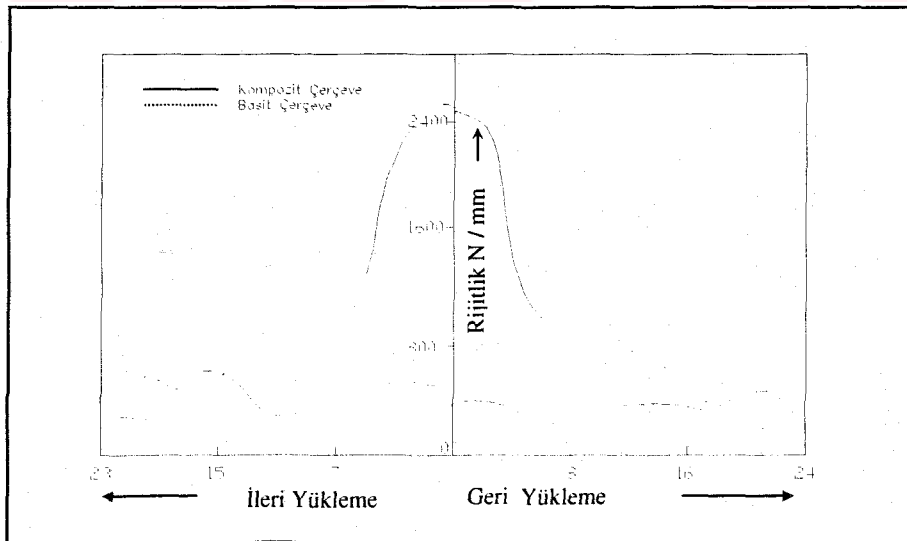
Her iki çerçevede, dolgu duvarın olması dışında aynı özelliklere sahiptir. Bu testler, dolgu duvarın betonarme çerçevenin davranışına olan tüm etkisini göstermek için yapılmıştır.

2.1.1.6.1. Yük Taşıma Kapasitesi

Şekil 2.6'da çeşitli yüklemeler altındaki örnekler için yük durumları gösterilmiştir. Aynı şekilde ayrıca her iki çerçeve için nihai taban kesme kuvvetleri teorik olarak gösterilmiştir. Her iki çerçevede, önceki çalışmalardan elde edilen yük değerlerinden daha fazla yüke karşı koyma kapasitelerine sahip olmuşlardır. Dolgu duvar, gelen yüklerin bir kısmını karşıladığından dolgu duvarlı çerçevenin taşıma kapasitesi betonarme çerçevenin taşıma kapasitesinden iki kat daha fazladır.

2.1.1.6.2. Rijitlik

Govindan ve diğerlerinin üzerinde çalıştıkları basit çerçeve ve kompozit çerçevelerin, tekrarlı yükler altında rijitliklerinin değişimi Şekil 2.8'de gösterilmiştir. Burada rijitlik, en üst katta birim yer değiştirme oluşması için gerekli kuvvet olarak tanımlanmaktadır. Şekil 2.8'den de anlaşıldığı gibi yüklemenin başlangıç safhalarında (ilk çatlamadan önce) kompozit çerçeve basit çerçeveden 5 kat daha rijittir. Dolgu duvarının ihmal edilmesi ile sistemde var olan büyük bir rijitlik göz ardı edilmektedir. Yatay yükler altında, basit çerçevenin işletme (servis) yükü 36 kN'dur. Bu yük altında dolgu duvarlı çerçevenin rijitliği, yalın çerçeveninkinin 2.67 katıdır. Bununla birlikte kompozit sistemin göçme yükü 146.1 kN'dur. Bu bağlamda, dolgu duvarlı çerçevenin 73.05 kN işletme yükü altında işlevini sürdürdüğü söylenebilir.

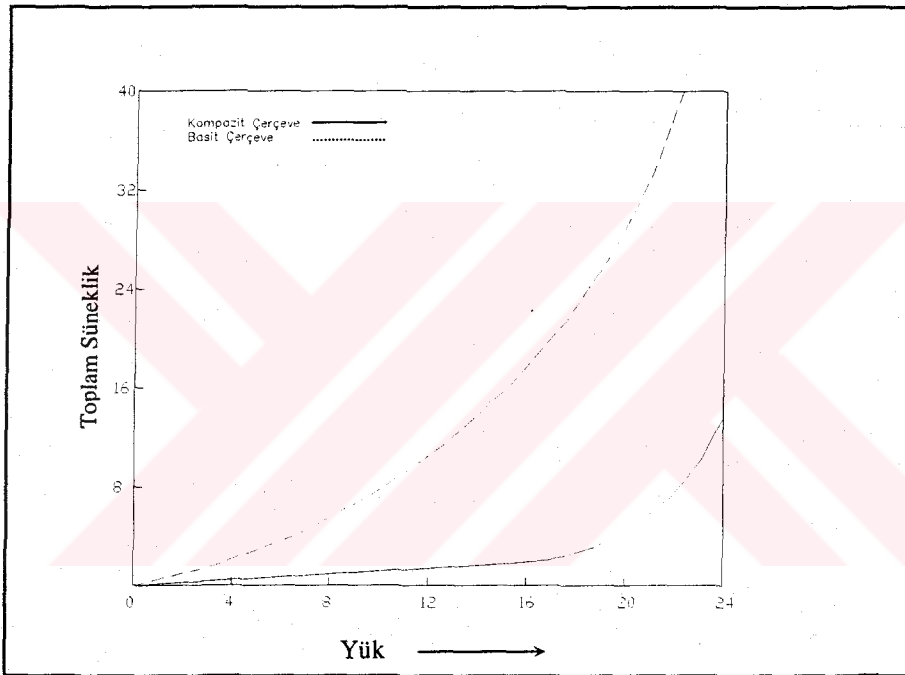


Şekil 2.8 Rijitlik - Tekrarlı Yükler

Bu yük altında, dolgu duvarlı betonarme çerçevenin rijitliği ile 36 kN işletme yükü altında basit çerçevenin rijitliği birbirine çok yakındır. Bu durum dikkate alınarak, dolgu duvarlı çerçevelerin, basit çerçevenin işletme yükünden daha yüksek işletme yükleri altında, rijitlikte azalma oluşacağı korkusu olmaksızın işlevini sürdürebileceği söylenebilir [7]. Eğer çerçeve sadece betonarme çerçeve olarak dizayn edilirse, fakat dolgu duvarlı çerçeve olarak yapılırsa daha yüksek rijitliğe sahip olduğu testlerden kanıtlanmıştır.

2.1.1.6.3. Toplam Süneklik

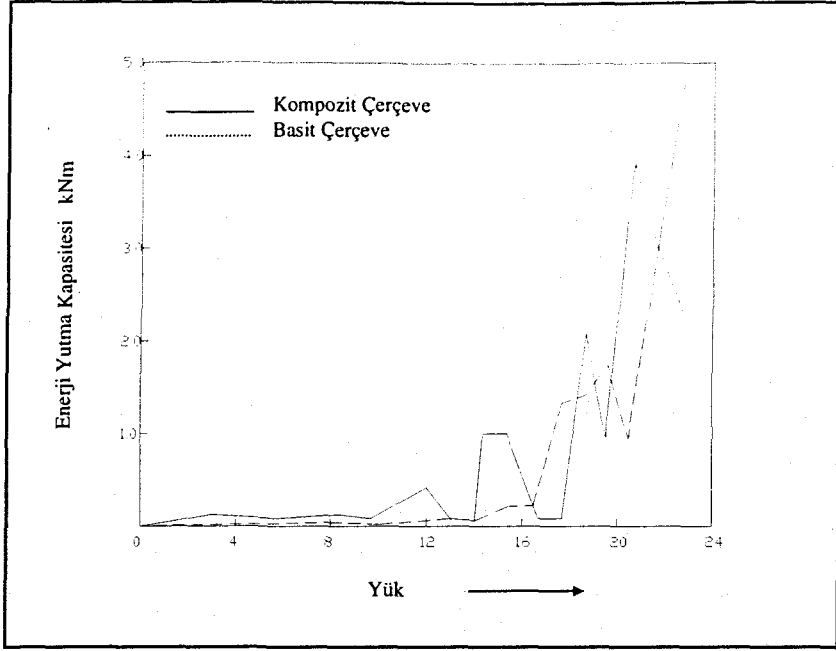
Şekil 2.9'da çerçevelerin sünekliklerinin karşılaştırması görülmektedir. Dolgu duvarlı çerçevenin nihai toplam sünekliği oldukça azdır. Betonarme çerçevenin toplam sünekliği, dolgu duvarlı çerçevenin sünekliğinin 3.29 katıdır.



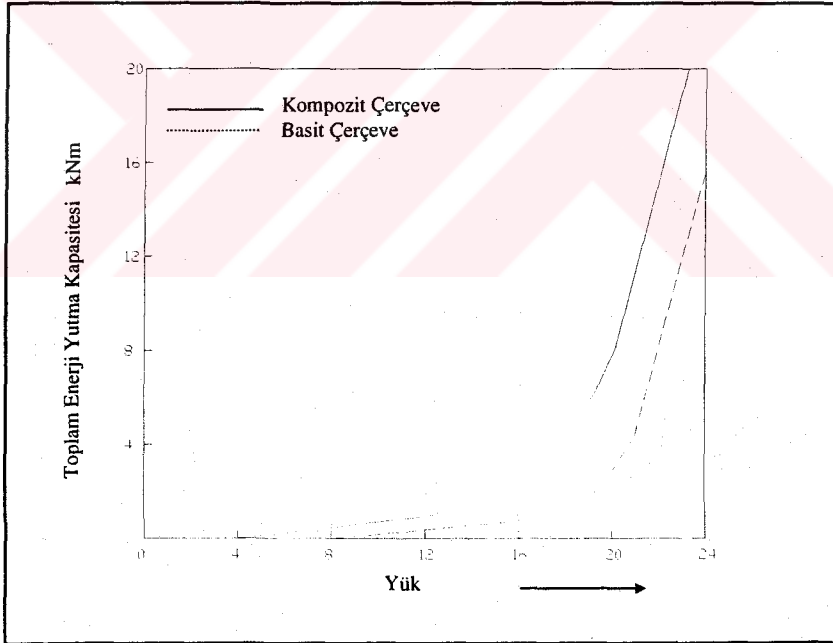
Şekil 2.9 Toplam Sünekliğin Karşılaştırılması

2.1.1.6.4. Enerji Yutma Kapasitesi

Şekil 2.10a, basit çerçeve ile kompozit çerçevelerin farklı yükler altındaki enerji yutma kapasitelerini göstermektedir. Dolgu duvarlı çerçeve ve betonarme çerçevenin toplam enerji yutma kapasiteleri Şekil 2.10b'de karşılaştırılmıştır. Dolgu duvarlı çerçevenin toplam enerji yutma kapasitesi daha iyi olduğu ve doğal olarak daha büyük yük altında göçme durumu oluşacağı saptanmıştır.



Şekil 2.10 a Enerji Yutma Kapasitesinin Karşılaştırılması



Şekil 2.10 b Toplam Enerji Kapasitesinin Karşılaştırılması

2.1.1.7. DENEY SONUÇLARI

Deneysel sonuçlarına dayanılarak elde edilen sonuçlar aşağıda özetlenmiştir :

- Dolgu duvarlı çerçevenin yük taşıma kapasitesi betonarme çerçeveye oranla iki kat daha fazladır.
- Servis yükü altında dolgu duvarlı çerçevenin rijitliği betonarme çerçevenin rijitliğinden 2.7 kat büyüktür.
- Dolgu duvarlı çerçevenin rijitliği başlangıçta betonarme çerçeveye kıyasla 5 kat daha büyüktür.
- Betonarme çerçevenin toplam sünekliği, dolgu duvarlı çerçeveden 3.29 kat büyük olduğu görülmüştür.
- Dolgu duvarlı çerçevenin enerji yutma kapasitesinin betonarme çerçeveninkine oranı 1.5 olarak belirlenmiştir.
- Yüklemenin son aşamalarında dolgu duvardaki hasar önemli ölçüdedir. Tuğladaki kırılma ve patlamalar nedeniyle bina içindeki sakinleri tehlikeye atacak şekilde enkaz haline gelecektir. Bu durumda çimento ve benzeri malzemelerle daha fazla güçlendirme yapılmalıdır. Bu gibi güçlendirme detayları yapılan çalışmanın kapsamı dışında kalmaktadır.

■ Dolgu duvarların betonarme çerçevenin davranışına olan etkilerini göstermek üzere yapılan bu deneysel çalışma sonucunda yukarıda da belirtildiği gibi yük taşıma kapasitesi, rijitlik, süneklik, enerji yutma kapasitesi ve göçme yükü parametreleri, yatay yüklere tabi tutulan iki çerçeve için karşılaştırılmış ve duvarın yapıya olan etkileri ortaya konulmuştur. Deprem gibi yatay yükler etkisinde binada oluşacak kesme kuvvetlerinin deneysel sonuçlarının Smith tarafından önerilen dolgu duvarın basınç çubuğu olarak modellenmesiyle yaptığı analiz sonuçlarıyla %11.7 farkla hemen hemen aynı olduğu görülmüştür. Bu sonuçlar bize dolgu duvarı eşdeğer diyagonal basınç çubuğu şeklinde modellemenin bina analizlerinde doğru ve güvenilir olduğu görüşünü vermektedir.

2.1.2. DOLGU DUVARLI BETONARME ÇERÇEVELERİN DENEYSEL DEĞERLENDİRMESİ

(Experimental Evaluation of Masonry - Infilled RC Frames)

Armin B. Mehrabi, P. Benson Shing, Micheal P. Schuller and James L. Noland

Yapılan çalışmada, şartnameler esas alınarak dolgu duvarların, betonarme çerçevelerin sismik performansına olan etkileri araştırılmıştır. Rüzgar yüklerine karşı ve güçlü deprem kuvvetlerine karşı dizayn edilen iki tip çerçeve ele alınmıştır. 12 adet 1/2 ölçeğinde tek katlı, tek açıklıklı çerçeve örnekleri test edilerek panellerin yükseklik/uzunluk, düşey yüklerin dağılımı ve yatay yükler altında dolgu panellerin çerçevelere olan etkileri parametrelerle belirlenmiştir [8].

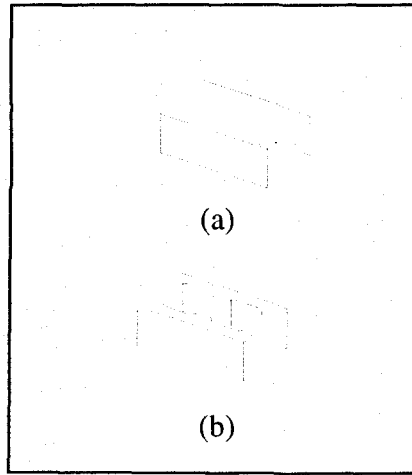
2.1.2.1. DENEYSEL PROGRAM

2.1.2.1.1. Prototip Yapı ve Deneysel Örnekleri

Örnek yapı olarak 6 katlı, her bir açıklığın h/L oranı $2/3$ olan üç açıklıklı betonarme çerçeve seçilmiştir. Hareketli servis yükü 2.39 kPa, ölü yük 6.21 kPa olarak alınırken yükler Uniform Building Code (UBC-1991) şartnamesinden alınmıştır. Parametrik çalışmak amacıyla bir tanesi 1.24 kPa yatay rüzgar basıncı ve 44.5 m/s rüzgar hızı için zayıf çerçeve ve diğeri UBC' deki Sismik Bölge 4'ten alınan eşdeğer statik kuvvetlere dizayn edilen güçlü çerçeve yatay yüklere göre dizayn edilmiştir. Yük direncinin, dolgu duvarlar ihmal edilerek bulunması amacıyla çerçeveler, ACI 318-89 (Building 1989) şartnamesi esas alınarak tasarlanmıştır.

Deney örnekleri, örnek yapının en alt katındaki iç açıklıklarının $1/2$ ölçek modelleri olarak seçilmiştir. Şekil 2.12'de zayıf ve güçlü çerçeve örnekleri gösterilmiştir. Zayıf kolonlar ve güçlü kirişe sahip olan zayıf çerçeve dizaynı Şekil 2.12a'da gösterilirken, kolonların daha güçlü olduğu ve akmanın ilk olarak kirişte olması beklendiği güçlü çerçeve örneği Şekil 2.12b'de gösterilmiştir. Güçlü çerçevedeki kiriş dizaynı kritik bölgelerde donatılandırma hariç zayıf çerçeve ile aynıdır. Gevrek kesme kırılmasını engellemek için güçlü çerçevedeki kiriş kolon birleşim yerlerine dört adet etriye konulmuştur. Böylece güçlü çerçevenin zayıf çerçeveden daha sünek olması amaçlanmıştır. Güçlü çerçevenin h/L oranı $1/1.5$ olmasına karşın, zayıf çerçevenin $1/1.5$ ve $1/2$ olmak üzere iki h/L oranı vardır. Şekil 2.12c'de dolgu panel için daha düşük bir h/L oranı olan bir çerçeve gösterilmiştir. Şekil 2.12d'de ise güçlü ve zayıf çerçeveler için kiriş ve kolon kesitleri verilmiştir. Dolgu paneller için $0.1 \cdot 0.1 \cdot 0.2$ m boşluklu ve dolu beton dolgu blokları örneklerde kullanılmıştır (Şekil 2.11)

Tablo 2.1'de, deneye tabi tutulan 12 örnek gösterilmiştir. Bazı çerçeve örneklerinin bir defadan fazla deneye tabi tutulması, çatlaklardan sonra epoksi enjeksiyonu yapıp ve ezilen bölgelerin çimento macunuyla yamalanıp tekrar test edilmesiyle sağlanmıştır. Böylece ilk durumla dayanım olarak karşılaştırma yapılmıştır. Her bir deney için yeni dolgu paneli kullanılmıştır. Örnekler dolgu panel yapıldıktan en az 28 gün sonra test edilmiştir.



Şekil 2.11 Dolgu Duvar Malzemeleri (a) Tam Dolu (b) Boşluklu

Tablo 2.1 Deney Örnekleri

Örnek no	Çerçeve Tipi	Dolgu duvar Durumu	Dolgu Duvar h/L oranı	Yatay Yük	Yatay Yük (kN)	
					Kolon	Kiriş
1	Zayıf	Dolgusuz	0.67	Monotonik	294	
2	Zayıf-Onarılmış (1)*	Boşluklu	0.67	Monotonik	294	
3	Zayıf-Onarılmış (2)*	Tam Dolu	0.67	Monotonik	294	
4	Zayıf	Boşluklu	0.67	Tekrarlı	196	98
5	Zayıf	Tam Dolu	0.67	Tekrarlı	196	98
6	Güçlü	Boşluklu	0.67	Tekrarlı	196	98
7	Güçlü	Tam Dolu	0.67	Tekrarlı	196	98
8	Zayıf-Onarılmış (4)*	Boşluklu	0.67	Monotonik	196	98
9	Zayıf-Onarılmış (8)*	Tam Dolu	0.67	Monotonik	196	98
10	Zayıf	Boşluklu	0.48	Tekrarlı	196	98
11	Zayıf	Tam Dolu	0.48	Tekrarlı	196	98
12	Zayıf-Onarılmış (10)*	Tam Dolu	0.48	Tekrarlı		147

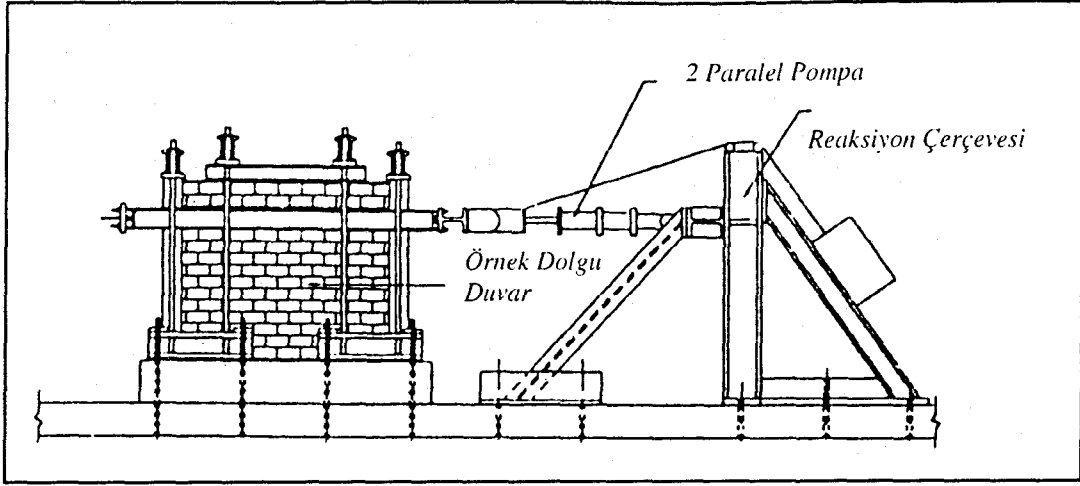
* Onarılmış Örnek

2.1.2.2. DENEY DÜZENEGİ VE ARAÇLAR

Şekil 2.13'te test düzeneği gösterilmiştir. İki adet kontrol edilebilen hidrolik pompalar yardımıyla $\pm 5\%$ dış merkezlikle 489 kN yatay yük uygulanmıştır. Betonarme kirişte herhangi bir gerilme oluşumundan kaçınmak için her bir yönde çekme etkisi iletecek dört adet çelik çubuk kullanılmıştır. Düşey yükler elle kontrol edilen hidrolik jackler sayesinde uygulanarak yükler, düşey yük çubuklarına bağlanan gerilme ölçerleriyle takip edilmiştir. Gerilme ve yer değiştirme ölçerleri farklı bölgelerdeki donatılardaki gerilmeler ve örneklerin deformasyonları takip edilerek her bir test için düzenlenmiştir.

2.1.2.2.1. Yükleme Durumları

Tablo 2.1'de görüldüğü gibi örnekler düşey ve yatay yüklerin farklı kombinasyonlarına maruz kalmıştır. Örneğe uygulanan düşey yük her bir deney sırasında kalıcı olarak uygulanmıştır. İki farklı düşey yük dağılımı yapılmıştır: a) Düşey yükler sadece kolonlara uygulanmıştır, b) Toplam düşey yükün 1/3'ü kirişe ve 2/3'ü ise kolonlara uygulanmıştır. Şekil 2.13'te çelik I kirişiyle betonarme kiriş boyunca yük uygulaması gösterilmiştir. Düzlemde yatay deplasman oluşturacak monotonik olarak yükselen ve tekrarlayan iki tane tip seçilerek tekrarlı yük testleri 5 kez uygulanmıştır. Yatay yük dolgu duvarda açıkça büyük çatlak oluşturacağı beklenen yükten daha küçük yatay yüke kadar, yük seviyesi derece derece yükseltilip dolgu panelin çatlaması monotonik olarak yükselen yatay yüklere maruz kalan örneklerden belirlenmiştir. Tekrarlı yüklerin kontrolü yavaş yükselen deplasman değeriyle kontrol edilmiştir. Her bir örnek her bir değer seviyesinde yer değiştirme yükleri olarak 3 kez tersinir yük uygulanmıştır. Büyük çatlak ilk olarak yer değiştirme 3.8 mm olduğunda dolgu panelde oluşmuş ve genellikle deney, örnekte önemli hasar gözlemlendiğinde sona erdirilmiştir.



Şekil 2.13 Deney Düzenegi

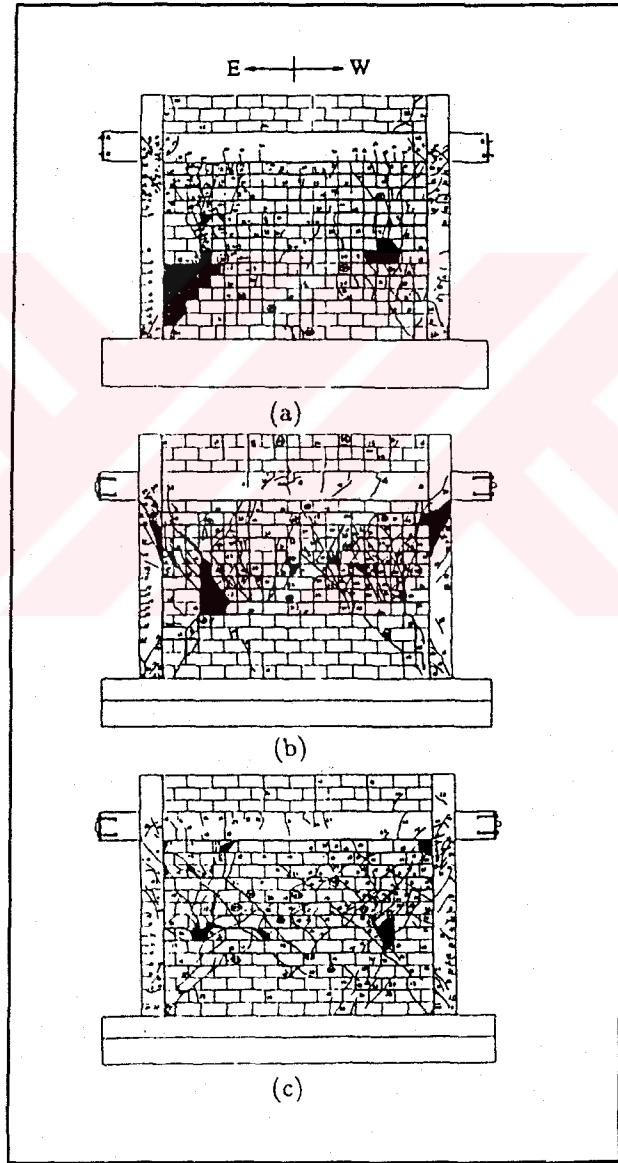
2.1.2.3. DENEYSEL SONUÇLAR

Zayıf çerçeve olarak sadece boş çerçeve test edilmiş ve oldukça sünek bir davranış gösterdiği gözlenmiştir. Bununla birlikte kiriş - kolon bölgelerinde bazı önemli kesme çatlakları oluşmuştur. Dolgu panelli çerçevede ise dolgu çatlağıyla birlikte non-lineer davranış başladığı ve bu çatlakların genellikle yaklaşık 45° açılarla en üst basınç bölgelerinde oluştuğu görülmüştür. Daha sonra panelin ortasına yakın yerlerde ise derz yatağı boyunca diyagonal kayma çatlakları olarak adlandırılan yatay kayma çatlakları meydana gelmiştir.

Şekil 2.14'te gösterildiği gibi, dolgu panelli çerçevelerdeki göçme mekanizması panel ve çerçevelerin dayanımlarına oldukça bağlıdır. Genel olarak zayıf panelli çerçevenin (boşluklu dolgu) yatay yük direnci derz yatağı boyunca paneldeki kaymalarla belirlenmiş ve bu durumda panelin direnci çerçeve-panel etkileşiminden etkilendiği görülmüştür (Şekil 2.14a). Örneğin toplam direncin boş çerçevenin eğilme direnci ve panelin kayma-kesme dayanımına eşit olduğu belirlenmiştir. Şekil 2.14b'de 5 örneğinde güçlü panel ve zayıf çerçeve durumunda nihai direnç ve göçme diyagonal/kayma çatlağı ve basınç kolonunun kesme göçmesiyle oluşmuştur. Şekil 2.14c'de ise 7 örneğinde gösterildiği gibi güçlü panel ve güçlü çerçevede nihai direnç, dolgunun köşelerindeki çatlaklarla belirlenmiştir. Bu durumda diyagonal basınç çubuğu mekanizması tamamen oluşmuş ve dolgu duvar, çerçevenin yatay direncinden oldukça etkilenmiştir. Bu gibi mekanizmalar testlerde görüldüğü gibi çerçeve-panel etkileşiminden önemli derecede etkilenirler.

Tekrarlı yükler uygulandığında 1, 4 ve 5 örneklerinde görüldüğü gibi zayıf çerçeve-zayıf panel örneğinin rijitliği boş çerçevenin rijitliğinden 15 kat daha büyükken zayıf çerçeve-güçlü panel örneği 50 kat daha büyüktür. Bununla birlikte onarılan örneklerde, 8 ve 9 gibi, rijitlikteki yükselme oldukça küçük olmuştur. Zayıf çerçeve-zayıf panelin maksimum yük direnci boş çerçevenin 1.5 katı iken, zayıf çerçeve-güçlü panelde ise 2.3 katıdır. Dolgu duvarsız hiçbir güçlü çerçeve örneği yapılmamıştır. Bununla birlikte güçlü çerçevenin yatay yük direnci 145 kN olarak saptanmıştır. Ancak örnek 1'de görüldüğü gibi gerçek ve teorik değerler arasındaki olası farktan dolayı %15 yükseltilecek hesaplanmıştır. 6 ve 7 örnekleri, dayanım değerleri karşılaştırılarak zayıf

ve güçlü panellere sahip güçlü çerçevelerin dirençlerinin sırasıyla 1.4 ve 3.2 kat yükseldiği görülmüştür. Ayrıca, güçlü panelli çerçeveler zayıf panelli çerçevelerden çerçeve dizaynına bakılmaksızın daha iyi enerji yutma özelliğine sahiptir. Dolgu duvarın direnci bu çalışmada düşünülen örneklerdeki değişen h/L oranına önemli bir şekilde bağlı olmadığı görülmektedir. Bununla birlikte eğer h/L oranının değişmesi, farklı göçme mekanizmalarına yol açıyorsa bu gözlem geçerli değildir. Ayrıca, kolonlar ve kirişler arasındaki düşey yük dağılımı dolgu panelinin direncini etkilememektedir. Yine de 11 ve 12 örneklerinde görüldüğü gibi toplam düşey yükün %50 yükselmesi rijitliği %30 ve maksimum direnci %25 artırmaktadır. Genel olarak tekrarlı yükler uygulanan bu örnekler de yatay deplasman değerine bağlı olarak monotonik olarak yükselen yüklere maruz kaldığı duruma göre daha düşük dirence ve daha hızlı yük kaybına uğramıştır.



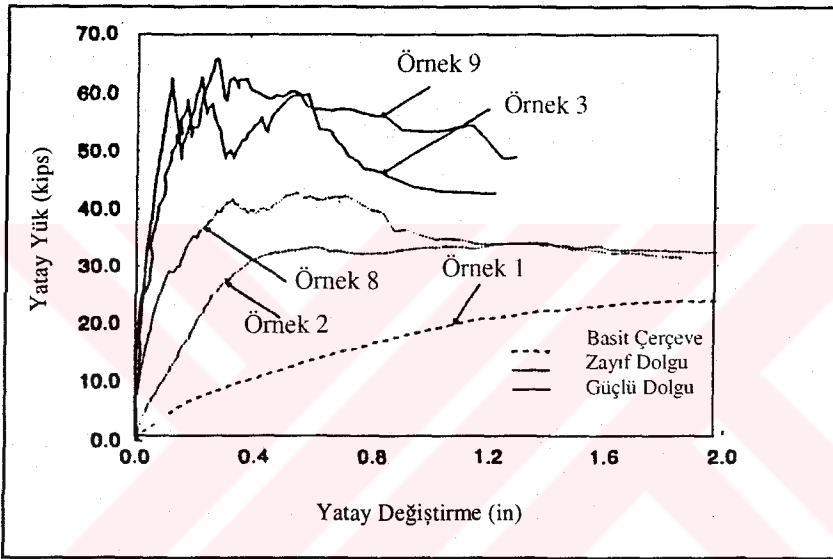
Şekil 2.14 Hasar Durumları (a) Örnek 4 (Yatay derz boyunca kayma) (b) Örnek 5 (Kolonlarda Kesme Göçmesi) (c) Örnek 7 (Köşelerde Ezilme)

2.1.2.3.1. Zayıf Çerçevesel Örnekler

1-5 ve 8-12 örnekleri zayıf çerçevesel örneklerdir. Bu örneklerin bazıları monotonik olarak yükselen yatay yüklere maruz kalırken, diğerleri tekrarlı yatay yüklere maruz kalmıştır. Örnek 12'ye 440 kN düşey yük uygulanırken diğerlerine 294 kN toplam düşey yük uygulanmıştır. 1-3 örneklerinde sadece kolonlara düşey yük uygulanmıştır. Diğerlerinde ise kolonlar ve kirişler arasında düşey yükler dağıtılmıştır. 10-12 örnekleri h/L oranı yaklaşık 1/2 iken, diğer örnekler için h/L oranı 1/1.5 olarak belirlenmiştir.

Monotonik Olarak Yükselen Yüklere Maruz Kalan Örnekler

Monotonik olarak yükselen yüklere maruz kalan örneklerin yatay yük- yatay yer değiştirme eğrileri şekil 2.15'te gösterilmiştir.



Şekil 2.15 Monotonik Olarak Yük Uygulanan Örnekler için Yük-Deplasman Eğrileri (1 in=2.54 cm, 1 kip=4.45 kN)

Örnek 1

Boş çerçeve olarak deneye tabi tutulan bu örnekteki kolonlarda plastik mafsallar oluşmasına karşın oldukça duktıl davranış göstermiştir. Akma, ilk olarak kolon kesitlerinin alt kısımlarındaki boyuna donatıda oluşmuş ve daha sonra kiriş kesitlerinin kenarındaki eğilme donatılarında oluşmuştur. Beton kırılması 48.3 mm yatay deplasman ve maksimum yük 107 kN da iken, basınç kolonunun üst ucu ile çekme kolonunun alt ucunda meydana gelmiştir.

Örnek 2 ve 8

1 ve 4 no'lu zayıf çerçevesel örnekler tamir edilmiş ve zayıf panelli olarak düzenek tekrar kurulmuştur. Bu örnekler sırasıyla 2 ve 8 örnekleri olarak test edilmiştir. Bu örnekler benzer davranışlar göstermiştir, çünkü örnekler aynı dizayna sahiptir fakat farklı yük dağılımlarına sahiptir. Bununla birlikte örnek 2'nin değerleri test başlangıcında 2 yatay pompadan birinin kontrol bağlantısı koptuğundan alınamamış ve herhangi bir data

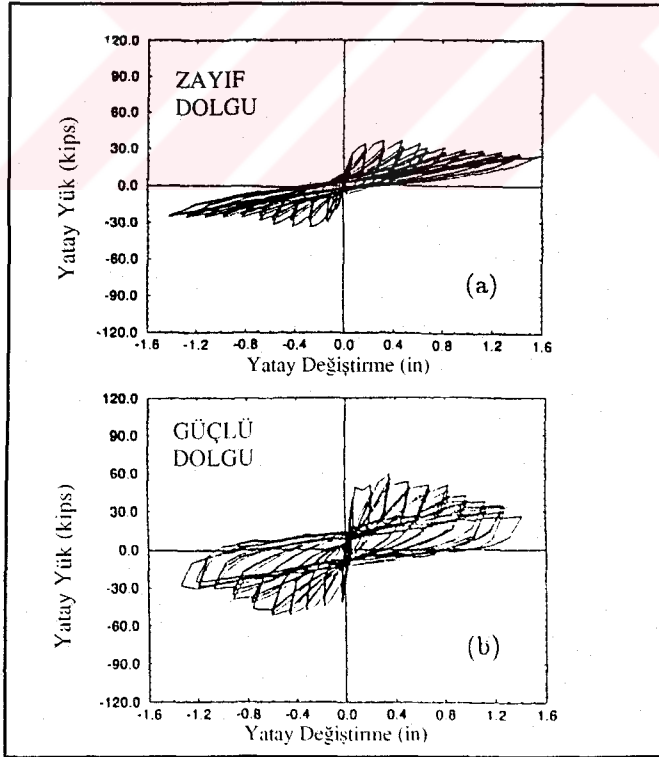
kaydedilmeden örneğe büyük yatay kuvvet uygulanmıştır. Bu kuvvet dolgu duvarı çatlatacak kadar büyüktür. Böylece, örneğin çatlama sonrası durumunu göstermek için şekil 2.15'te örnek 2'nin yük-deplasman eğrisi gösterilmiştir. Her iki örnekte de ilk büyük hasar dolgu duvardaki diyagonal/kayma çatlağı şeklinde oluşmuştur. Ve yatak derzlerindeki büyük kaymalar bunu takip etmiştir ki bu durumda yatay yük direnci oldukça azalmıştır. Boyuna donatının akması ve dolgunun kırılması daha sonra olmuştur.

Örnek 3 ve 9

İkinci kez tamir edilen 2 ve 8 örnekleri dolu blok malzemeleriyle dolgu duvar yapılarak 3 ve 9 örnekleri olarak test edilmişlerdir. Her iki örnekte de dolgu duvardaki ilk diyagonal / kayma çatlağı, basınç kolonlarının üstünde oluşan kesme çatlaklarıyla yükün oldukça düşmesinden sonra her bir yöndeki maksimum yatay yükte oluşmuştur. Kolonlardaki kesme çatlakları oldukça genişleyene kadar deplasmanın derece yükselmesiyle yatay yük tekrar yükseltilmiştir.

Tekrarlı Yüke Maruz Kalan Örnekler

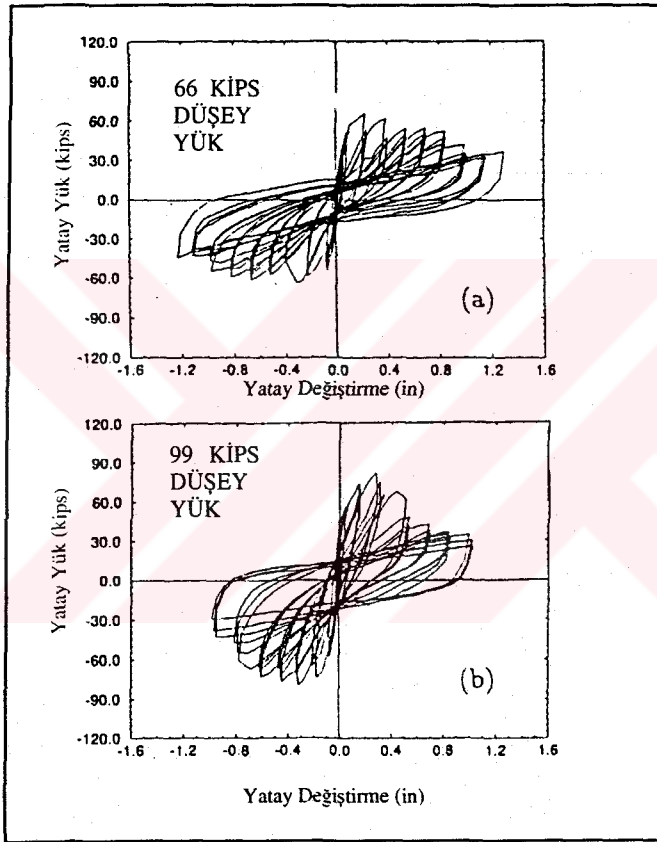
Örnek 4-5 ve Örnek 10-12 tekrarlı yatay yüklere maruz kalmıştır. Örnek 4 ve 10 zayıf panellere sahipken, örnek 5, 11 ve 12 güçlü panellere sahiptir. Yükler doğu-batı yönünde uygulanmıştır (şekil 2.14). Geleneksel atamaya göre doğu yönünde negatif, batı yönünde ise pozitif olarak yatay deplasman ve kuvvet alınmıştır. Şekil 2.16'da örnek 4-5, şekil 2.17'de ise örnek 11 ve 12'nin yük-çevrim eğrileri gösterilmiştir.



Şekil 2.16 *h/L oranı 0.67 olan Zayıf Çerçevesel Örnekler*
(a) Örnek 4 (b) Örnek 5

Örnek 4

Örnek 4'ün h/L oranı $2/3$ ve örnek 10'un h/L oranı $1/2$ oranı dışında iki örnekte aynı dizayna (zayıf paneller) ve yükleme şartlarına sahiptir. Her iki örnekte benzer davranışlara ve göçme şekillerine sahiptir. Bununla birlikte Örnek 10'un maksimum yatay direnci örnek 4'ten %17 daha fazladır. Şekil 2.14a ve 2.16a'da örnek 4'ün göçme şekilleri ve yük-çevrim eğrileri gösterilmiştir. Bu örneklerde ilk büyük hasar maksimum yatay yüklerde dolgudaki diyagonal/kayma çatlağı oluşmuştur. Tekrarlı yüklerde deplasman genişliği artarken yatay derzler boyunca büyük kaymalar oluşmuş bu durumda göçme, harç yerlerindeki direnç kaybıyla sonuçlanmıştır. Akma ilk olarak kolonlardaki boyuna donatılarda oluşurken daha yüksek deplasman değerlerinde dolgu panellerindeki ezilmeler köşelerde ve panellerin kenarlarında oluşmuştur.



Şekil 2.17 h/L oranı 0.48 olan Zayıf Çerçeveseli, Güçlü Dolgulu Örnekler
(a) Örnek 11 (b) Örnek 12

Örnek 5, 11 ve 12

Örnek 5, 11 ve 12 zayıf çerçevelere ve güçlü panellere sahiptir. Örnek 5'in h/L oranı $2/3$ iken örnek 11 ve 12'nin $1/2$ 'dir. Örnek 12, diğerlerinden %50 daha fazla düşey yüke maruz kalmıştır. Davranış ve göçme biçimleri bu örnekler için oldukça benzerdir. Şekil 2.14b'de örnek 5'in göçme şekli gösterilmiştir. Şekil 2.16b, 2.17a ve 2.17b'de sırasıyla örnek 5, 11 ve 12'nin yük-deplasman eğrileri gösterilmiştir. Yük-çevrim eğrilerinde gösterildiği gibi bu örneklerdeki direnç kaybı zayıf panellere sahip 4 ve 10 örneklerinden daha hızlıdır. Bununla birlikte kolonlardaki kesme göçmesine rağmen bu

örneklerin enerji yutması 4 ve 10 örneklerinden daha iyidir. Dolgu panellerdeki diyagonal/kayma çatlakları maksimum yatay yükte oluşacaktır. Bu çatlakları kolonlardaki kesme çatlakları takip etmiştir. Tekrarlı yüklerle deplasman genlikleri artarken dolgu panelde ezilmeler oluşmuştur. Örnek 11'in maksimum yatay yük dayanımı örnek 5 ten %5 fazla, örnek 12'den %25 daha azdır.

2.1.2.3.2. Güçlü Çerçevesel Örnekler

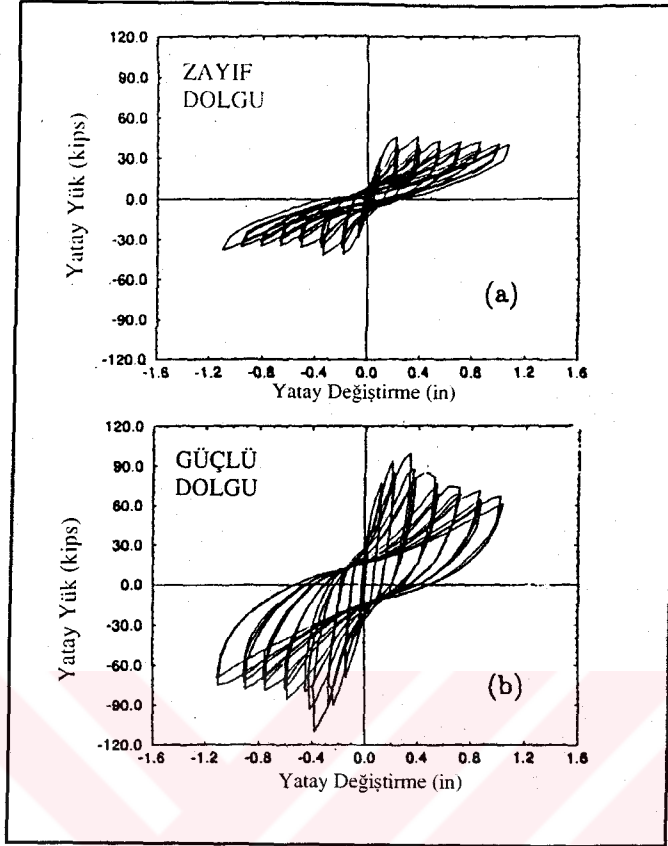
Örnek 6 ve 7 güçlü çerçevelere sahiptir. Örnek 6 zayıf panelli iken, örnek 7 güçlü panelli çerçevedir. Dolgu duvarların h/L oranı her iki örnekte de 0.67'dir.

Örnek 6

Örnek 6'nın davranışı örnek 4'e oldukça benzemektedir. Ama yatay dayanımı %28 daha fazladır. Örnek 4'e benzemeyen, kaymanın ilk olarak kiriş duvar ara yüzeyinde yatay derz boyunca oluşması ve kirişteki boyuna donatıdaki akmanın kolonlardakinden önce oluşmasıdır. Yük-Yer değiştirme eğrileri şekil 2.18a'da gösterilmiştir.

Örnek 7

Dolgu duvardaki ilk çatlak kiriş duvar ara yüzündeki yatay derzlerde oluşmuştur. Bu durumun davranışa önemli bir etkisi olmamıştır. Yatay direnç, dolgu duvardaki diyagonal/kayma çatlağı oluştuğunda düşerken bu durumu kolon üstlerindeki kesme çatlakları takip etmiştir. Bununla birlikte yatay yük, yer değiştirme genliğinin yükselmesiyle derece derece tekrar yükseltilmiştir. Duvarın köşelerinde ezilme oluştuğunda maksimum yatay direncine ulaşılmıştır. Güçlü panel olması ve kolonlarda çok miktarda kesme donatısı olmasından dolayı kesme göçmesi olmamıştır. Örnek 7'nin maksimum dayanımı ise zayıf çerçeveye ve güçlü panele sahip olan örneklerden %88 daha fazladır. Örnek 7'nin göçme şekilleri ve yük-çevrim eğrileri Şekil 2.14c ve 2.18b'de görülmektedir.



Şekil 2.18 h/L oranı 0.67 olan Güçlü Çerçevesel Örnekler
(a) Örnek 6 (b) Örnek 7

2.1.2.4. ÖTELENME SINIRLARI

Ötelenme limitleri (Kat ötelenmesi/kat yüksekliği) binadaki yapısal ve yapısal olmayan hasarın büyüklüğünü kontrol etmek için kullanılır. Tabloda, deneylerdeki her büyük sonuç roma rakamlarıyla aşağıdaki şekilde gösterilmiştir.

I	=	Dolgu duvardaki ilk büyük çatlak : diyagonal veya diyagonal/kayma
II	=	Maksimum yatay yük
III	=	Maksimum yatay yükte %80 azalma
IV	=	Kolondaki büyük kesme çatlak
V	=	Kiriş-kolon noktasındaki kesme çatlak
VI	=	Harç yerindeki kayma
VII	=	Dolgudaki iç ezilme
VIII	=	Dolgudaki köşe ezilmesi
IX	=	Kolondaki donatı akması
X	=	Kirişteki donatı akması
XI	=	Kolonlardaki beton ezilmesi
XII	=	Örnekteki maksimum yatay yük etkisi

Tablo 2.2 Çeşitli Durumlara Göre Kat Yüksekliğinin Oranı Olarak Ötelenme Değerleri

Örnek No	Kat Yüksekliğine Bağlı Ötelenme Değerleri %											
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
1	-	3.1	6.8	-	1.32	-	-	-	0.96	1.29	3.1	4.9
2	V.Y.	V.Y.	V.Y.	-	V.Y.	V.Y.	-	-	1.19	1.98	V.Y.	3.7
3	0.21	0.21	1.16	0.71	-	-	-	-	-	V.Y.	V.Y.	3.2
4	0.17	0.63	1.45	1.82	1.40	0.99	1.24	-	V.Y.	-	2.23	2.6
5	0.33	0.79	1.42	1.32	2.07	1.32	1.40	-	1.54	-	1.90	2.3
6	0.36	0.61	1.78	-	1.73	0.40	0.91	-	-	0.56	-	1.8
7	0.46	0.71	1.04	1.82	1.65	0.46	1.16	0.82	1.42	-	-	1.9
8	0.20	0.91	1.82	1.98	-	1.49	1.59	1.98	V.Y.	V.Y.	2.48	3.1
9	0.33	0.48	1.98	0.66	-	0.82	2.07	-	V.Y.	V.Y.	2.81	2.9
10	0.17	0.40	1.88	-	-	0.41	1.40	0.91	1.65	V.Y.	2.31	2.4
11	0.36	0.74	1.50	1.32	-	0.91	0.91	-	1.15	-	2.15	2.1
12	0.17	0.55	1.02	0.95	-	0.66	0.66	-	V.Y.	V.Y.	1.65	1.7

V.Y. = Veri Yok.

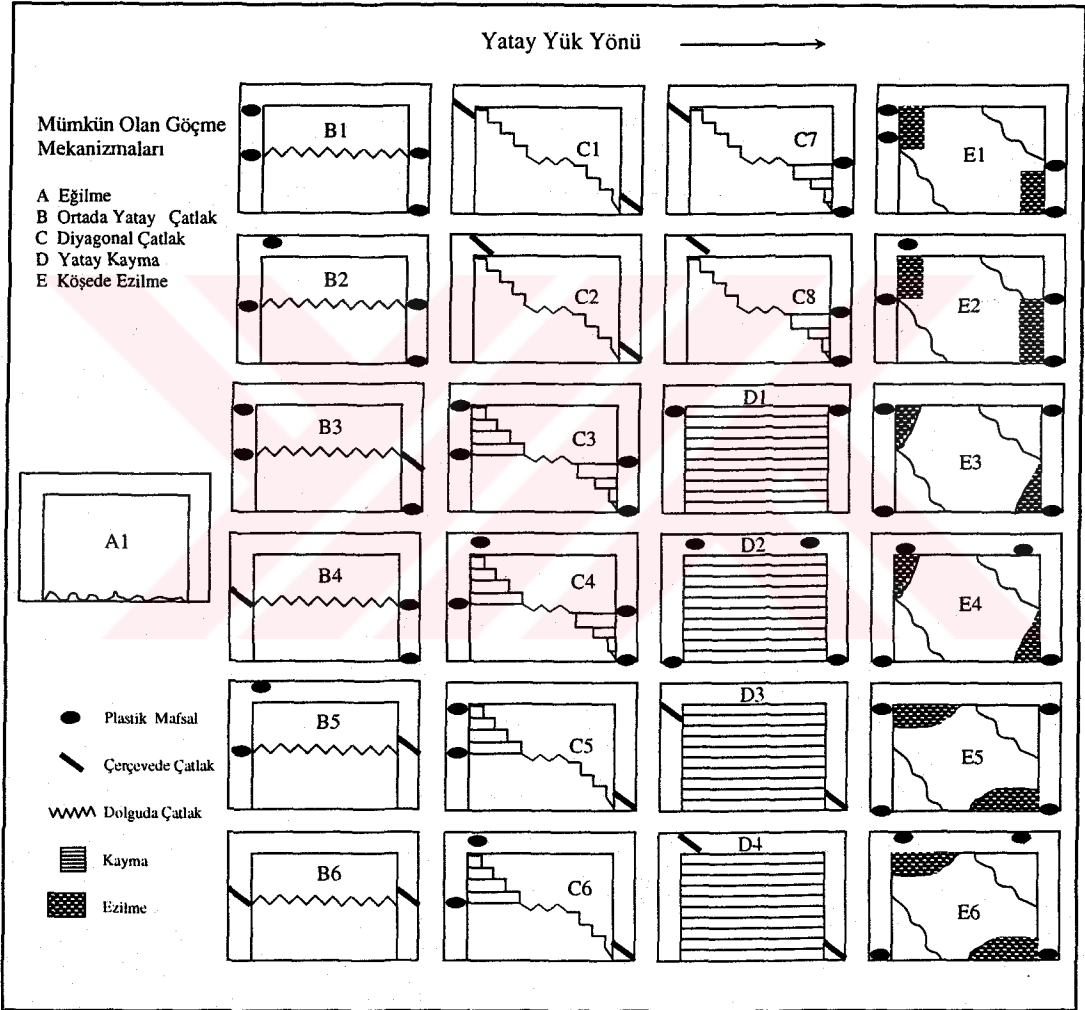
Tablo 2.2'de gösterilen bütün örnekler test edilmiştir. Dolgudaki ilk büyük çatlak ötelenme %0.17 ve %0.46 arasında iken meydana geldi. Bu değerler, yapının kullanılabilir limiti içindedir. Bu limit, yatay direncin maksimum direncin %80 ine azaldığı durumda %1 ve %2 arasında değişmektedir. Bu ötelenme seviyesi, nihai limit durumu olarak düşünülebilir. Ötelenme, kolonlarda oluşan çeşitli kesme çatlaklarında %0.7 ve %2 arasında değişmektedir. Genel olarak, Güçlü panellere sahip örnekler, zayıf panellere sahip örneklerden daha düşük ötelenme seviyesine sahip olduğu saptanmıştır. Kolonlardaki ezilme, ötelenme seviyesi %1.7 ve %2.8 arasında iken olmuştur. Daha düşük sınır kapasitesi, rölatif olarak yüksek eksenel yüke sahip örnek 12'de görülmüştür.

2.1.2.5. SONUÇLAR

Deneysel sonuçlar, dolgu panellerinin betonarme çerçevelerin performansını önemli ölçüde etkilediğini göstermiştir.

Bu çalışmada geçerli şartnamelere göre dizayn edilen iki tip çerçeve örneği düşünülmüştür. Biri ortalama rüzgar yükleri ve diğeri ise güçlü deprem yüklerine göre dizayn edilmiştir. Her iki dolu ve boşluklu beton dolgu panelleri güçlü ve zayıf dolgu olarak ele alınmış ve deneysel sonuçlar, dolgu panellerin önemli ölçüde betonarme çerçevelerin performansını artırdığı göstermiştir. Ayrıca, güçlü çerçeveli - güçlü panelli dolgular, zayıf çerçeveli - zayıf panellerden yük direnci ve enerji yutma kapasitesi olarak daha iyi performans göstermiştir. Zayıf çerçeveli ve güçlü panelli örneklerde, kolonlarda kesme kırılması oluşmuştur. Yinede bu durum genellikle çoğu durumda %1 in ötesinde rölatif olarak büyük ötelenme seviyelerine oluşmuştur. Bu örnekler aynı zamanda zayıf çerçeveli - zayıf panelli örneklerle göre iyi enerji yutma kapasitesini göstermişlerdir. Bununla birlikte, bu tip göçmenin genel dezavantajı yapının stabilitesini onarılamaz bir şekilde tehlikeye atmasından kaynaklanır. Dolgu duvarlı çerçeve örneklerinin yatay yüklere karşı direnci boş çerçeveden kalıcı olarak daha yüksektir. Bu çalışmalar karmaşık göçme mekanizmalarının, çerçeve ile panelin birlikte çalışmasından olabileceğini göstermiştir. Bu mekanizmalar Şekil 2.19'da gösterilmiştir.

Ayrıca, çerçevenin güçlü sismik yükleri karşılayacak biçimde dizayn edilmesi gerektiğini ve dolgu panellerinin yapının performansına oldukça katkı sağladığını göstermektedir. Aynı zamanda dolgu panellerinin varolan nondüktil çerçevelerin performansını artırmak için kullanılabileceğini göstermektedir. Bu amaç doğrultusunda, metotlar onarılmaz hasarlardan ve yıkımlardan kaçınmak için nondüktil kolonların kesme direncini artırmak için geliştirilmelidir. Boyutlama yaparken dolgu panelleri hesaba katmak adına başka çalışmalar yapılmalıdır. Söz konusu çalışmalar yapıların sünekliklerini ve enerji yutma kapasitesini yükseltmek için dolgu duvarların olduğu güçlendirme metotlarını içermelidir. Ayrıca, çok katlı yapılarda panel açıklıklarının etkisi ve çok açıklıklı çerçeve etkisi araştırılmalıdır.



Şekil 2.19 Dolgu Duvarlı Çerçevelerin Göçme Mekanizmaları

■ Dolgu duvarlı çerçeveleri tek katlı - tek açıklıklı bir çerçeve olarak deneysel inceleyen bu çalışmada kiriş ve kolon elemanlarının tasarımına göre güçlü çerçeve ve zayıf çerçeve, duvar malzemesinin dolu ve boşluklu olmasına bağlı olarak güçlü dolgu ve zayıf dolgu örnekleri bütün alternatifler ele alınarak yüklere tabi tutulmuştur. Duvar ile çerçevenin güçlü ve zayıf olmasına bağlı olarak yük direnci ve enerji yutma

kapasitelerinin oldukça farklılıklar gösterdiği ortaya çıkmıştır. Bu bağlamda duvar malzemesinin dayanımının çerçevenin davranışını değiştirmede doğrudan etkili olduğu sonucu çıkarılmaktadır. Bu ise duvar malzemesinin kalınlığı ve elastisite modülü parametrelerinin doğru bir şekilde analizlere girmesi gerçeğini ortaya koymaktadır. Diğer yandan betonarme çerçevenin tasarımında beton kalitesi ve donatı yerleşiminin de binanın yatay kapasitesini değiştirdiği görülmüştür.

2.1.3. BETONARME ÇERÇEVELERİN DAVRANIŞINA DOLGU DUVARLARIN ETKİSİ

(Effect of Infills on the Global Behaviour of R/C Frames : Energy Considerations From Pseudodynamic Tests) Paolo Negro and Guido Verzeletti

2.1.3.1. ÇALIŞMANIN AMACI

Yapılan çalışmada Eurocode 2 ve 8'e göre boyutlamaları yapılmış olan 4 katlı, her iki yönde 2 açıklıklı betonarme çerçeve, aynı özelliklere sahip; dolgu duvarsız, dolgu duvarlı ve yumuşak zemin katlı (sadece en alt katta dolgu duvarının bulunmaması ile oluşturulan) üç ayrı tipte bina üzerinde (şekil 2.21 ve 2.22), 1/1 ölçekte European Association of Structural Mechanics Laboratories (EASML) laboratuvarlarında deneysel çalışmalar yapılmıştır. Deneysel çalışmada, her üç çerçevenin yani çıplak, üniform dolgu ve alt katında dolgu duvar bulunmayan çerçeve için yatay yük etkisi altındaki titreşim frekansları, spektral ivmeleri, deplasmanları, taban kesme kuvvetleri, kat ötelenmeleri, giriş ve kolonlarda oluşabilecek dönmeleri, binanın enerji yutma kapasiteleri bulunarak karşılaştırmalarının yapılarak dolgu duvarın çerçevede bulunmasının ve konumlarının etkileri araştırılmıştır [9].

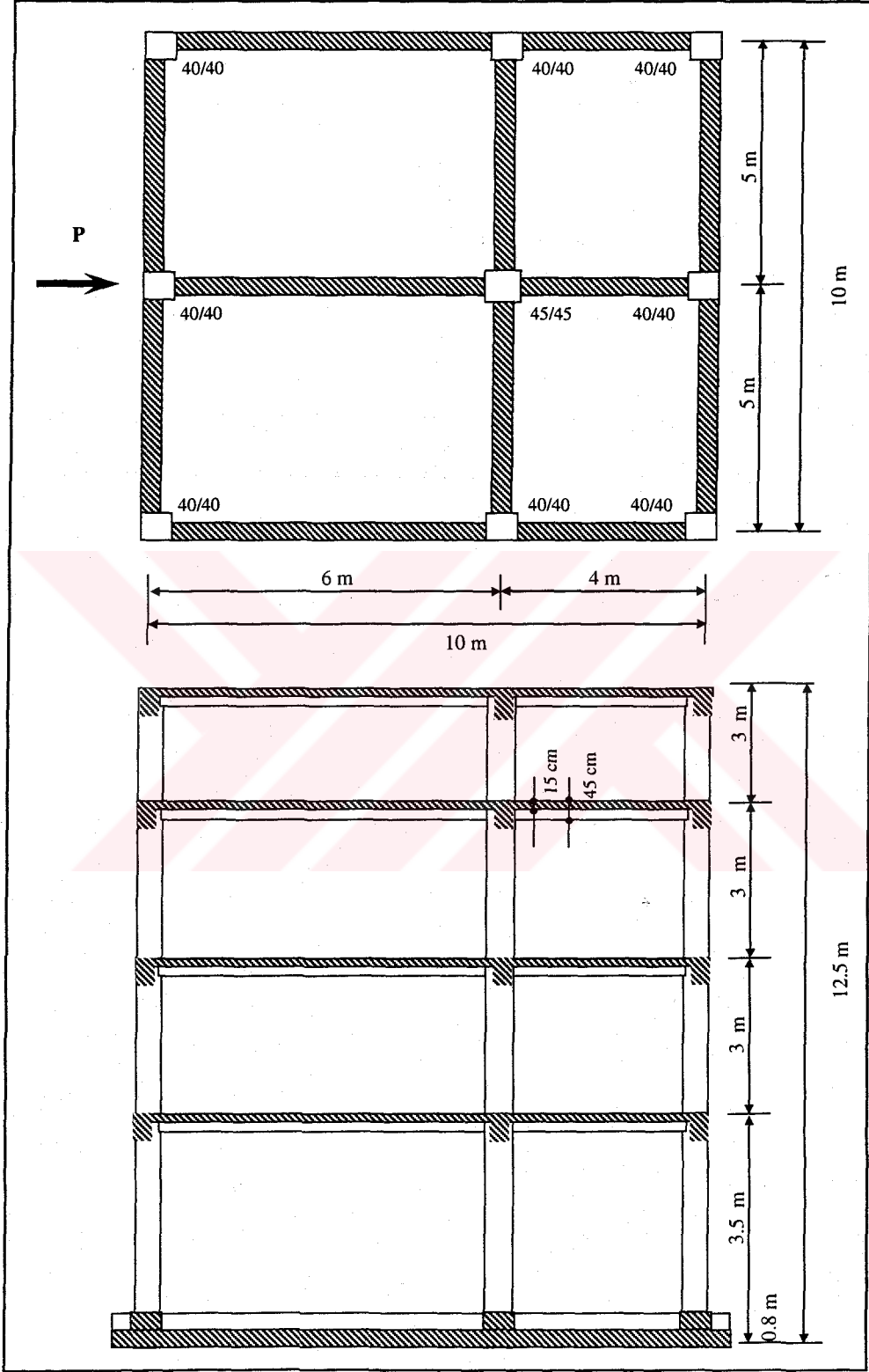
2.1.3.2. DENEYİN UYGULANDIĞI YAPI VE DENEY DÜZENEGİ İLE İLGİLİ GENEL BİLGİLER

Deney elemanı olan yapının plandaki boyutları 10m/10m ve toplam yapı yüksekliği 12.5m dir (şekil 2.20). Kat yükseklikleri zemin katta 3.5m, diğer katlarda ise 3m dir. Yapı, testin uygulandığı doğrultuda simetrik olup 5m lik eşit iki açıklığa, diğer doğrultuda ise 6m ve 4m olarak simetrik olmayan iki açıklığa sahiptir. Canlı ve ölü yük Eurocode 2 ve 8'e uygun olarak 2 kN/m² dir. Etkin yer ivmesi katsayısı EC8'deki B tipi zemin için 0.3g alınmıştır.

Bütün kolonlar kare kesitli olup, orta kolon 450mm/450mm, dış kolonlar 400mm/400mm boyutlarındadır. Kirişler, yüksekliği 450mm, genişliği 300mm olan dikdörtgen kesite sahiptir. Döşeme elemanlarının kalınlığı her katta aynı olup 150mm dir. Bütün elemanların boyutlandırılması ve detaylandırılması Eurocode8'e uygun olarak yapılmıştır. Betonarme olarak tasarlanmış yapıda Eurocode2'de tanımlanmış yapılmış olan C25/30 tipi beton ve B500 tipi donatı malzemeleri kullanılmıştır [10].

Yapının dolgu duvarları 245/112/190(h) mm boyutlarında taşıyıcı olmayan, hafif tuğlalardan örülmüştür. Tuğlanın toplam kesite göre boşluk oranı %42'dir. Tuğla blokların basınç dayanımı delikleri doğrultusunda 13.3 MPa iken deliklerine dik doğrultusunda 3.3 MPa'dır. Çimento, kireç ve kum oranı 1:1:5 olan harcın basınç dayanımı 5 MPa'dır. Tuğla dayanımı üzerine yapılmış diyagonal basınç testleri sonucunda tuğlanın düşey yönde anma basınç dayanımı 2.4 MPa ve elastisite modülü

2515 MPa bulunurken, çekme dayanımı 0.28 MPa ve kayma modülü 1240 MPa bulunmuştur.



Şekil 2.20 Test Edilen 4 Katlı 2 Açıklıklı Yapının Plan ve Kesiti

YÜK UYGULANMASI

Bu yapı, iki kontrol bağlantılı hidrolik pompalar vasıtasıyla her katta 500 kN yüke maruz bırakılmıştır.

2.1.3.3. DENEY SONUÇLARI

Üniform Dolgu Duvarlı Betonarme Çerçeve

Bütün katlarında dolgu duvar bulunan 4 katlı betonarme yapıya yükler uygulanarak çıplak çerçeveyle olan sismik davranışları karşılaştırılmıştır. Duvarların yapımı sırasında hiçbir özel uygulama yapılmamıştır. Böylece deneyin başında öngörülen çerçeve panel etkileşimi tamamen sağlanmaya çalışılmıştır. Duvar yüzeylerinde sıva yapılmamıştır. (Şekil 2.21)

Yüklemeler aynen çıplak betonarme çerçevede olduğu gibidir. Deneyden önce, her kat için diğer katlar tutulmak kaydıyla küçük miktar dönme sağlanıp, yer değiştirme yapmasıyla rijitlik matrisi belirlenmiştir. Deney, dolgu duvarın ilk ve ikinci katta tamamen yıkılmasına kadar sürdürülmüştür. Paneller üçüncü katta büyük hasarlara maruz kalmıştır.

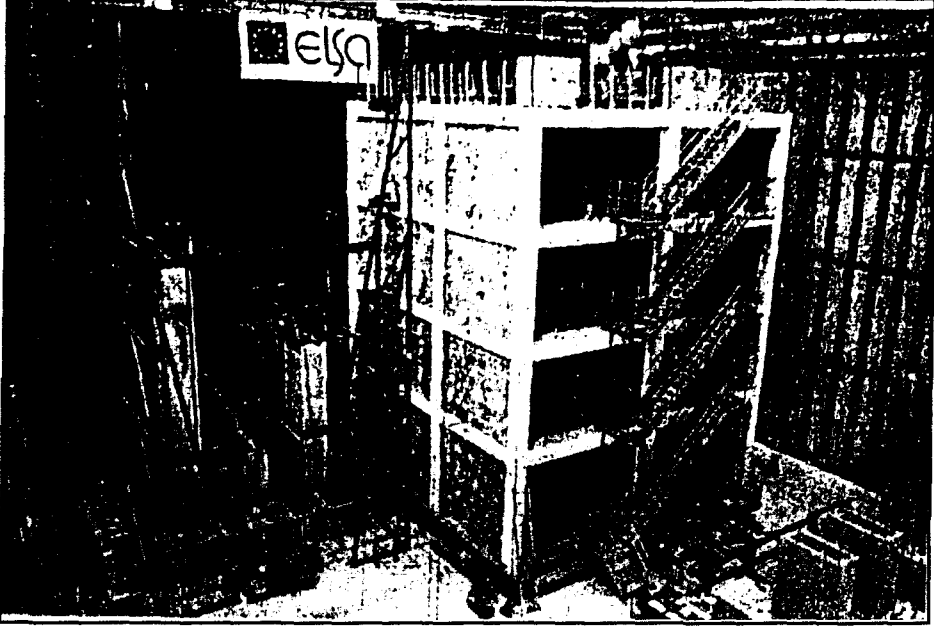
Yumuşak Katlı Betonarme Çerçeve

İlk katta dolgu duvar bulunmayan çerçeveyi deneye tabi tutmakla, yumuşak kat mekanizmasının oluşması beklenmiştir. Test sonuçlarında, beklediği gibi zemin katta ötelenme oluşmuş ve sadece ikinci katta dolgu duvarlarda hasarlar oluşmuştur (Şekil 2.22).

Farklı dolgu duvar konumları sonucu oluşan değerler Tablo 2.3'te gösterilmiştir. Dolgu duvarların yapı davranışını nasıl etkilediği açık bir şekilde görülmektedir.

Tablo 2.3 Üç Deney Sonucunda Ölçülen Değerler

YAPI	Frekans (Hz)	Spektral İvme (g)	Maksimum Yer Değiştirme (mm)	Maks. Taban Kesme Kuvveti Oranı (V_0/W)	Maksimum Yanal Ötelenme (%)	Kirişte Maks. Dönme (mrad)	Kolonda Maks. Dönme (mrad)
Çıplak Çerçeve	1.78	1.11	210	0.40	2.4	13.9	14.9
Üniform Dolgu Çerçeve	3.30	1.16	80	0.62	1.1	-	-
Yumuşak Katlı Çerçeve	1.66	1.19	180	0.47	3.5	15.0	32.6



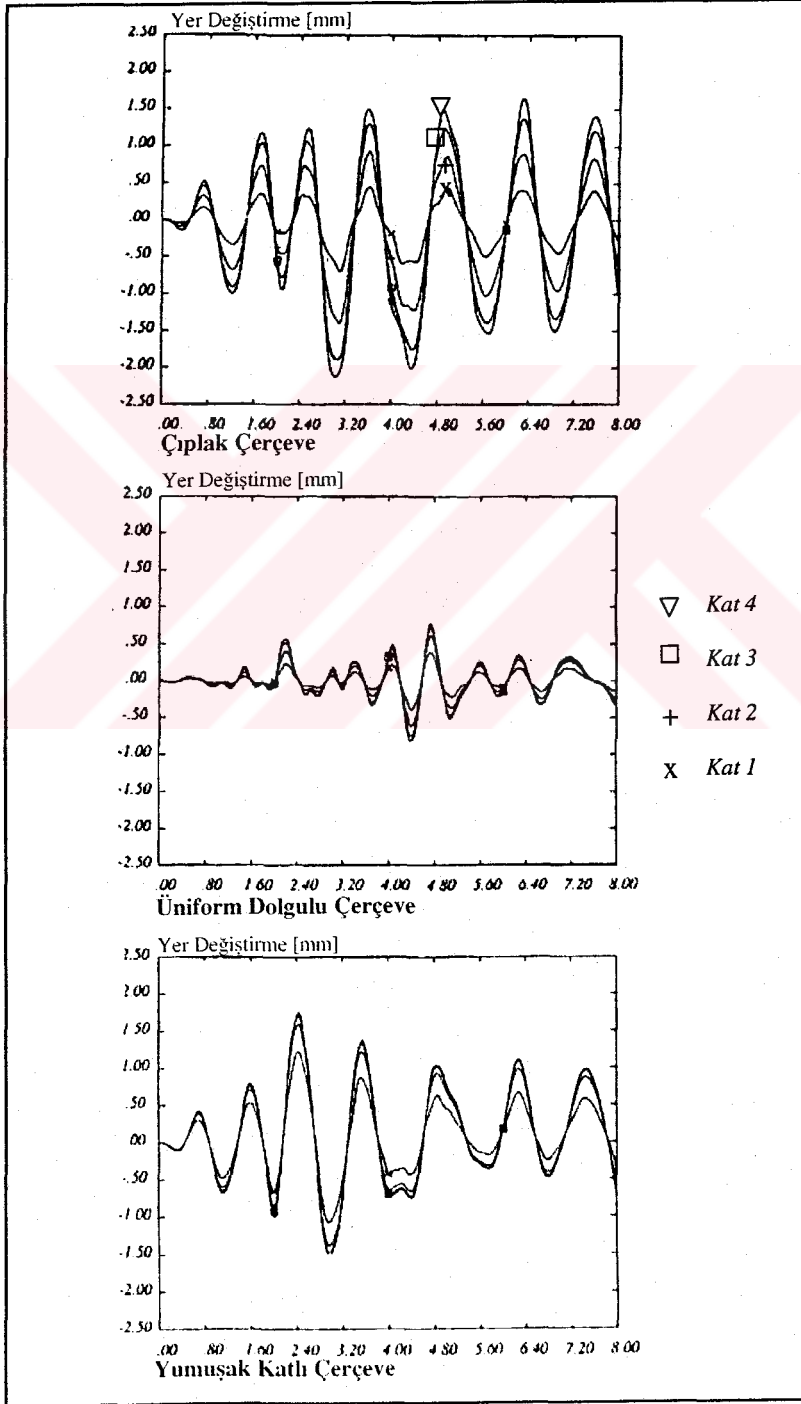
Şekil 2.21 Üniorm Dolgu Duvarlı Betonarme Çerçeve



Şekil 2.22 Yumuşak Katı Olan Dolgu Duvarlı Betonarme Çerçeve

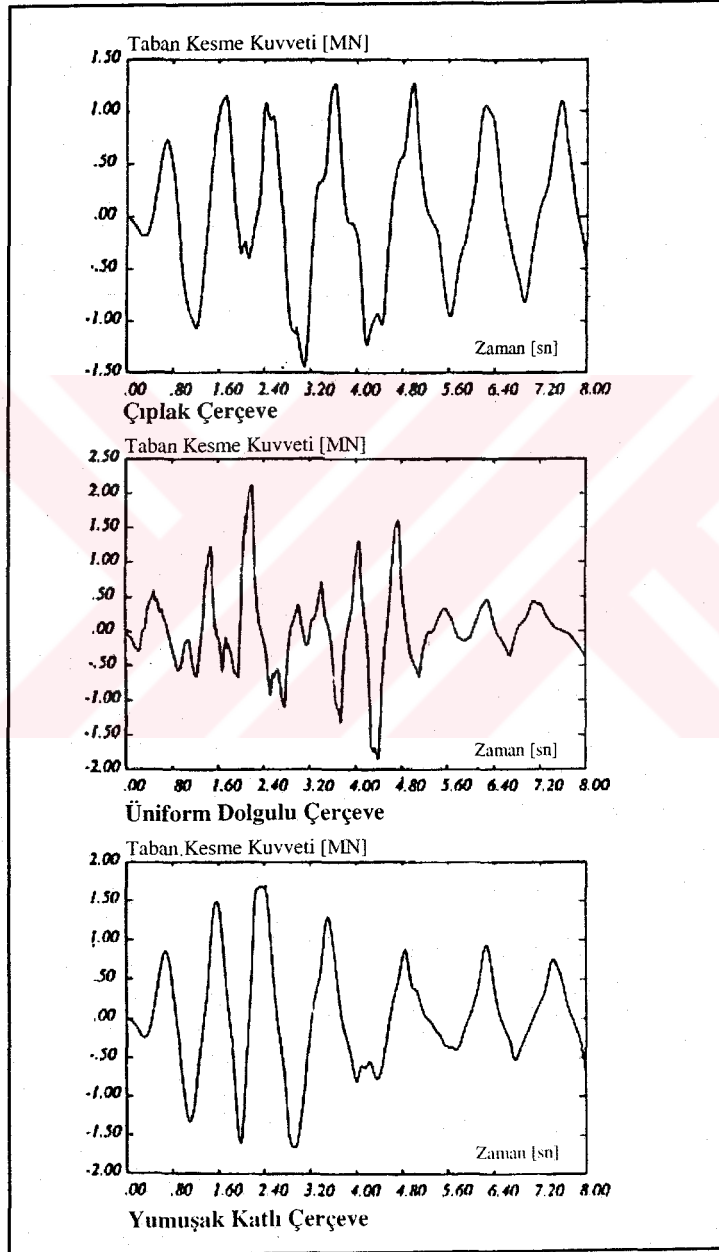
Ölçülen Kat Yer Değişimleri Şekil 2.23'te gösterilmiştir. Maksimum yer değişime 210 mm ile çıplak çerçevede oluşmuştur. Üniform Dolgu duvarlı çerçevedeki maksimum deplasman çıplak çerçevenin deplasmanından 2.5 kat daha azdır.

Taban kesme kuvvetlerinin zamana bağlı eğrileri şekil 2.24'te gösterilmiştir. Yumuşak katlı yapının maksimum taban kesme kuvveti çıplak çerçeveden (1.45 MN) oldukça büyüktür. Üniform dolgu duvarlı çerçevenin maksimum taban kesme kuvveti, çıplak çerçeveden hemen hemen %50 fazladır.

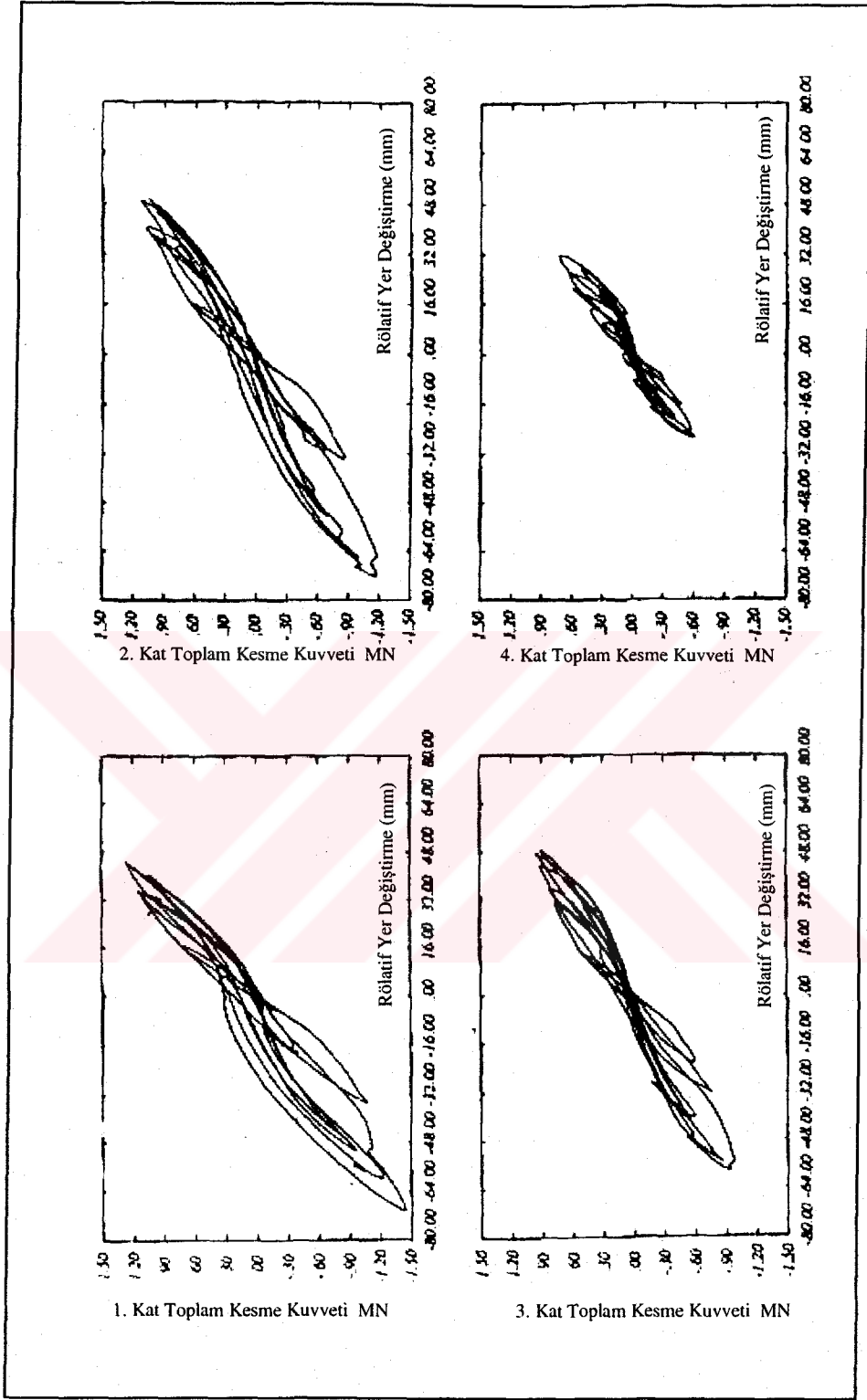


Şekil 2.23 Kat Yer Değişimi

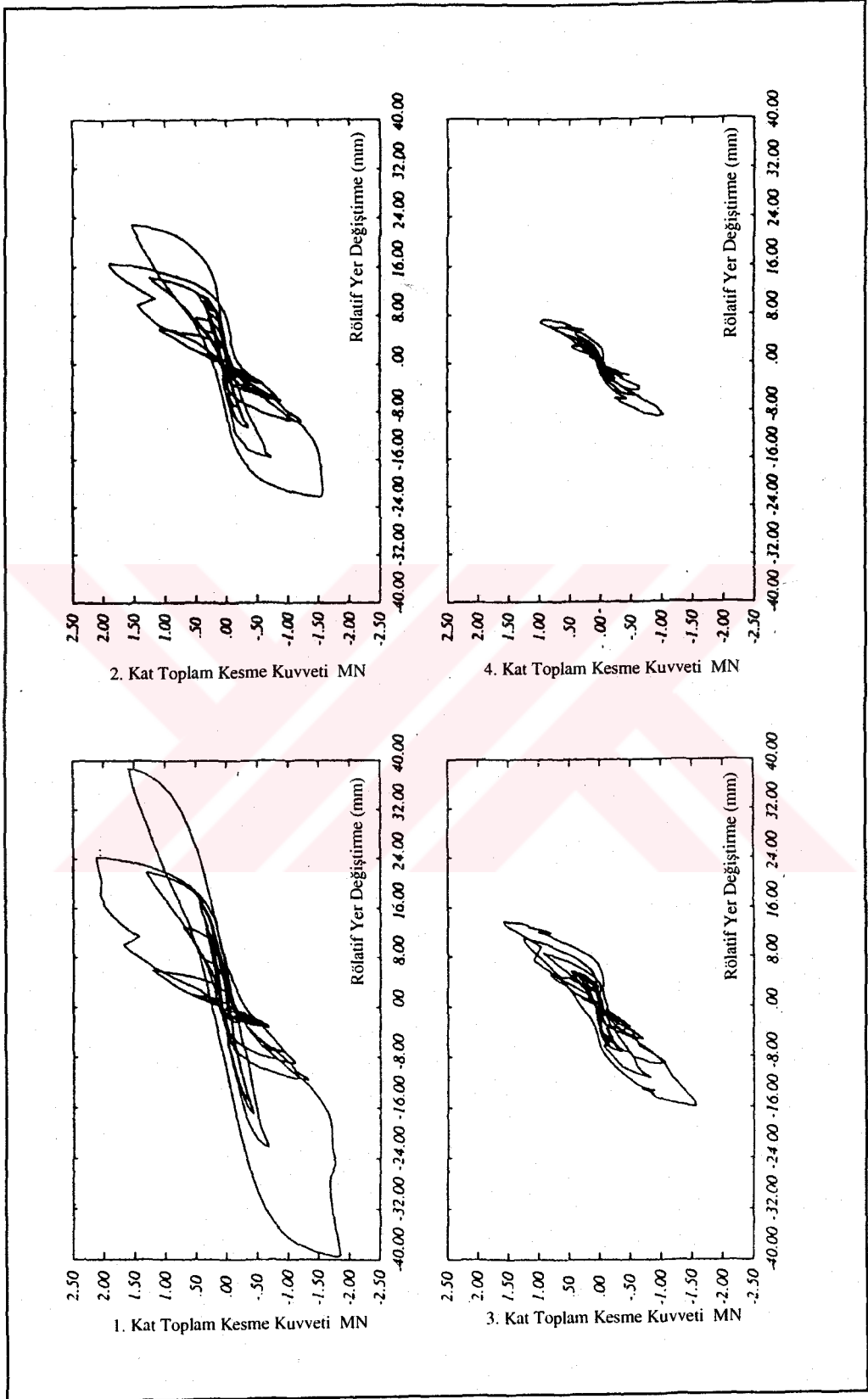
Diğer yandan spektral ivmeler her üç durum içinde çok yakın değerler vermiştir. Kat seviyelerinde kesme kuvveti histeri eğrileri yapının davranışını açık bir şekilde göstermektedir. Katlar arası ötelenme yüzdeleri şekil 2.27’de verilmiştir. Üniform dolgu duvarlı çerçevenin ötelenme yüzdesi çıplak çerçevenin ötelenme yüzdesinden daha azdır. Çıplak çerçevede en büyük değer ilk katın yerine ikinci katta ortaya çıkmıştır. Yumuşak katlı yapı için katlararası deplasman, zemin kat ve üstü için %3.5 ile en büyük değeri vermiştir.



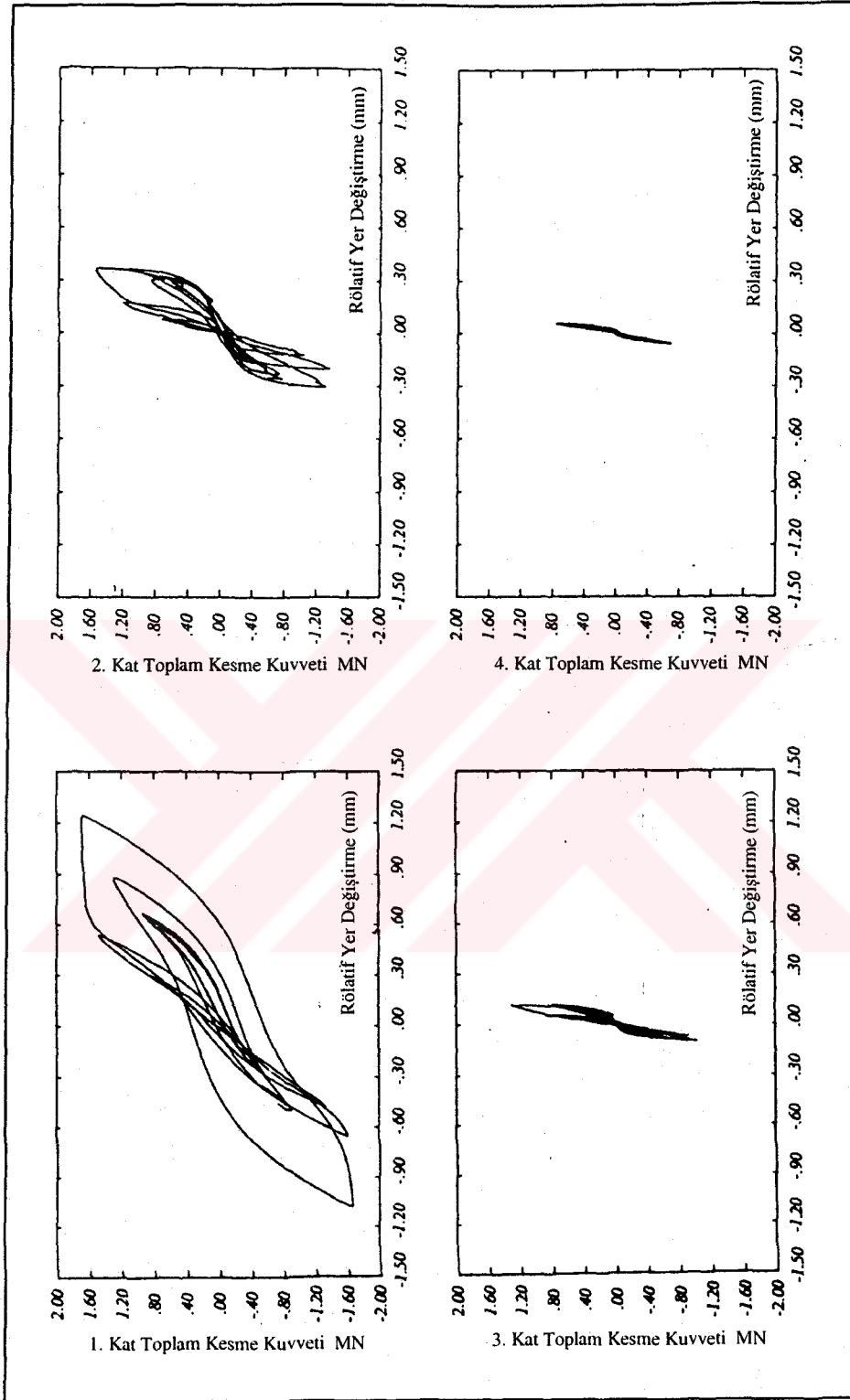
Şekil 2.24 Taban Kesme Kuvvetlerinin Zamana Bağlı Değişim Eğrileri



Şekil 2.25a Tekrarlı ve Yön Değiştiren Yükleme Etkisinde Toplam Kat Kesme Kuvveti-Rölatif Yerdeğiştirme Diyagramları (A) Çıplak Betonarme Çerçeve

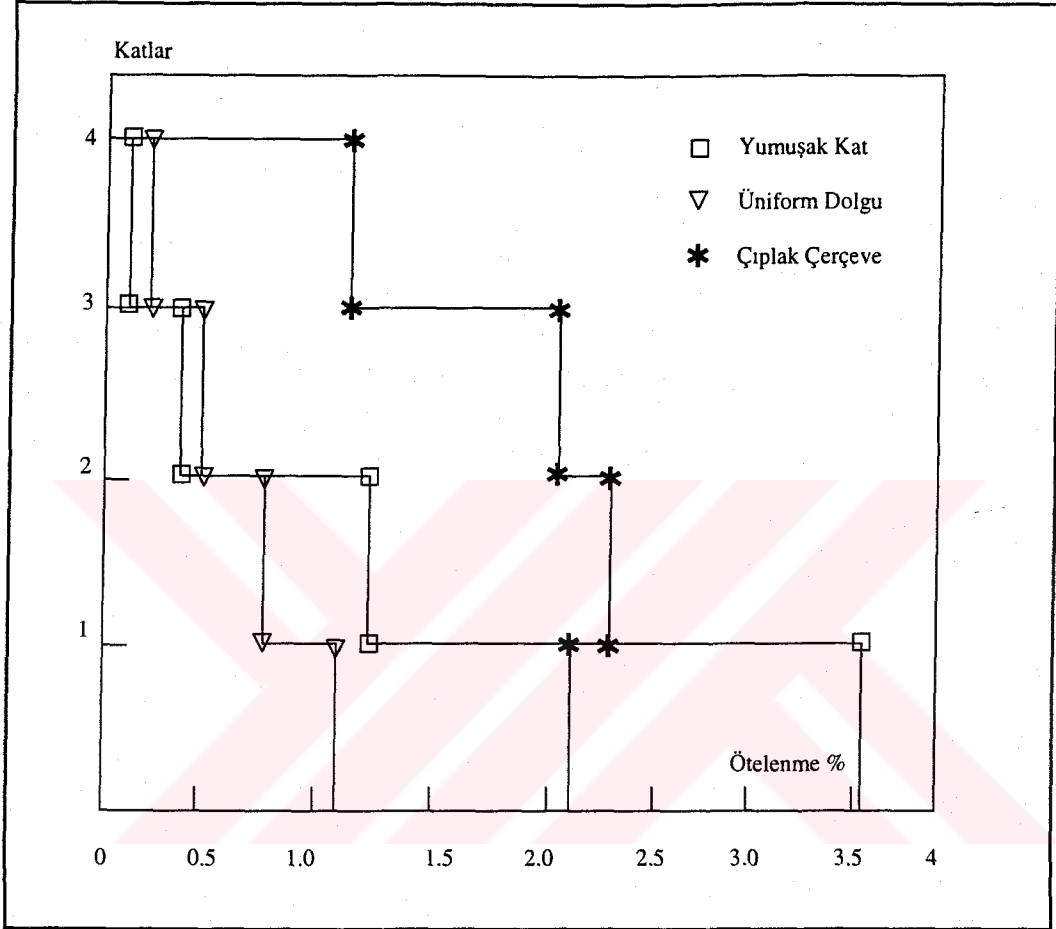


Şekil 2.25b Tekrarlı ve Yön Değiştiren Yükleme Etkisinde Toplam Kat Kesme Kuvveti-Rölatif Yerdeğiştirme Diyagramları (B) Ünlform Dolgu Duvarlı Betonarme Çerçeve



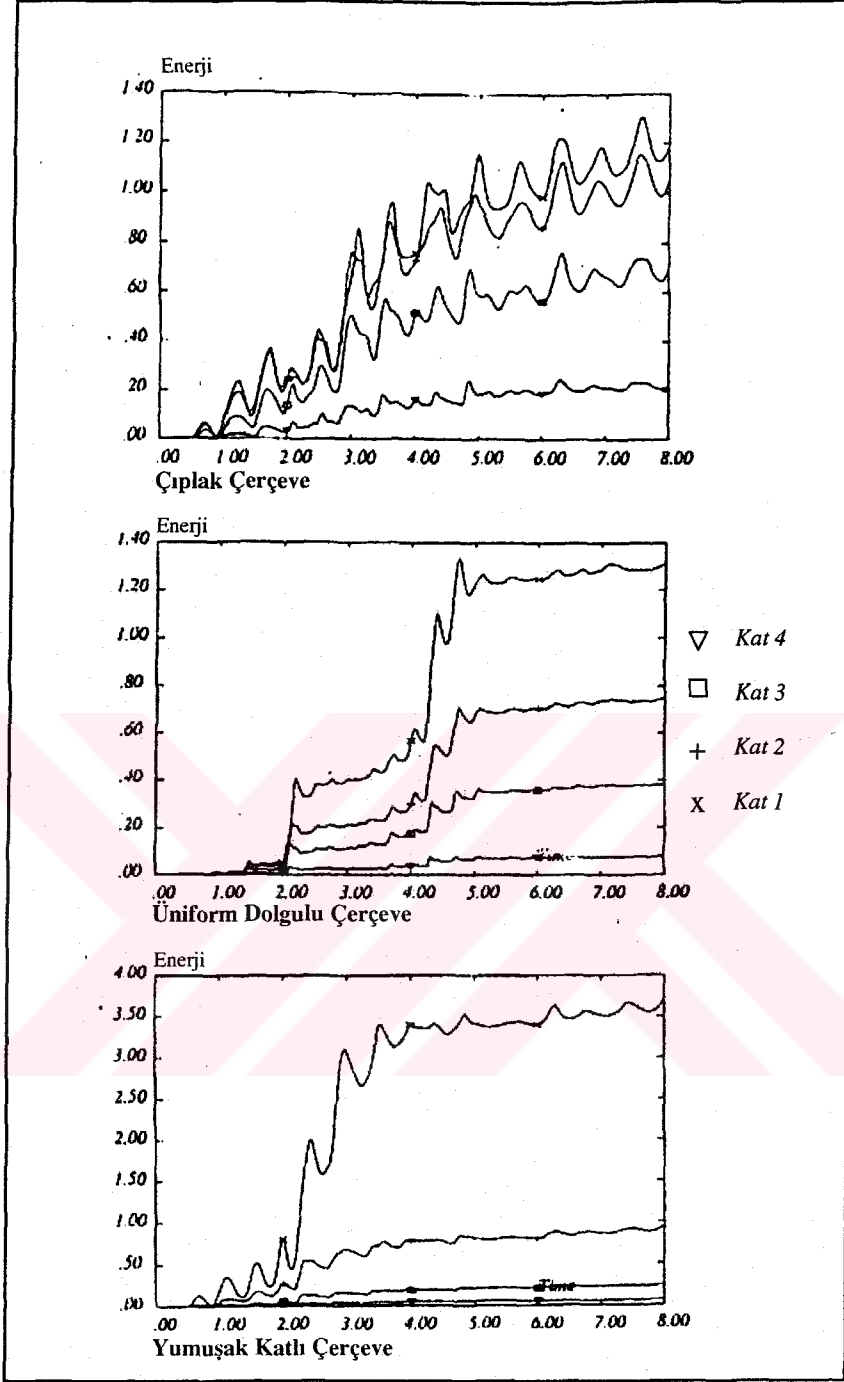
Şekil 2.25c Tekrarlı ve Yön Değiştiren Yükleme Etkisinde Toplam Kat Kesme Kuvveti-Rölatif Yerdeğiştirme Diyagramları (C)Yumuşak Katlı Betonarme Çerçeve

Her üç çerçeve için katlararası ötelenme değerlerine bakıldığında üniform dolgu duvarlı çerçevede % 1.13, çıplak çerçevede % 2.4 ve yumuşak katlı çerçevede ise % 3.55 olarak belirlenmiştir (şekil 2.26). Bununla birlikte, en büyük değerler, üniform dolgu çerçevede en alt katta, çıplak çerçevede ise ikinci katta oluşmuştur.



Şekil 2.26 Katlararası Maksimum Ötelenme Değerleri

Her bir kat için zamana göre toplam absorbe edilen enerji ve katlarda enerji dağılımı her üç test içinde Şekil 2.27'de gösterilmiştir. Toplam tüketilen enerji elastik şekil değiştirme enerjisi ve çevrimsel enerjinin toplamını gösterir. Bununla birlikte elastik enerji toplam absorbe edilen enerjinin çok az bir kısmına karşılık gelir. Çıplak çerçevede enerjinin çoğunu ilk iki kat alırken, üçüncü katın enerji sönümlenmesi oldukça azdır ve ihmal edilebilir. Üniform dolgu duvarlı çerçevelerin enerji yutma kapasiteleri üst katlara doğru azalmaktadır. Yumuşak katlı çerçevede hemen hemen enerjinin tamamı en alt kat tarafından tüketilmiştir.



Şekil 2.27 Kat Seviyelerinde Absorbe Edilen Enerji- Zaman Eğrileri

■ Negro ve Verzeletti'nin yaptığı bu çalışma, analizlerde yapısal eleman kabul edilmeyen dolgu duvarların yapının davranışını değiştirdiğini göstermiştir. Ayrıca dolgu duvarların üniform olarak yerleştirilmesinin yapının maruz kalacağı enerjinin önemli bir kısmını karşılamada etkili olduğunu göstermiştir. Yapı boyunca yerleştirilmeyen duvarların (yumuşak kat) ise çerçevede büyük hasarlara yol açtığını bu deneyler sonucunda görüyoruz. Bu açıdan bakıldığında dolgu duvarların yapının her durumunda etkisinin olduğu ve bu etkiyi olumlu şekilde kullanmanın gerekliliğini vurgulamakta fayda vardır.

2.2. DENEYSSEL VE ANALİTİK ÇALIŞMALAR KAPSAMINDA YAPILARDA DOLGU DUVAR ETKİSİNİN MODELLENEREK ANALİZ YÖNTEMLERİNE YANSITILMASI

2.2.1. KONU İLE İLGİLİ ÇALIŞMALAR

Dolgu duvarların çerçeve davranışına olan etkileri 1950'lerden beri araştırmacılar tarafından incelenmektedir. Bu konuda 1949 yılında Massashusetts Institute of Technology (MIT)'te başlatılan daha sonra Stanford üniversitesinde devam edilen bir dizi çalışma 1957, 1958 ve 1960'da Benjamin ve Williams tarafından sunulmuştur. Bu çalışmalar kapsamında betonarme çerçeveler içindeki boşluklu ve boşluksuz tuğla ve beton dolgular test edilmiş ve dolgulu çerçevelerin rijitlik ve mukavemetleri ile ilgili yaklaşık formüller verilmiş ve kesin bir matematiksel analiz yapmanın konunun yapısı itibarıyla mümkün olmadığı sonucuna varılmıştır [7,11,12,13].

1955 yılında Whitney ve diğerleri tarafından yayınlanan bir çalışmada ise yine dolgulu çerçevelerin rijitlik ve mukavemetleri irdelenmiştir [14].

Polyakov'un çeşitli yıllarda yayınlanan (1952, 1957, 1960) çalışmalarının kapsamı genel olarak dolgu çerçevelerin yük altındaki davranışlarını anlamaya yönelik test çalışmalarını içermektedir. Basınç çubuğu yönteminin temelleri de bu çalışmalarla atılmıştır [15,16,17].

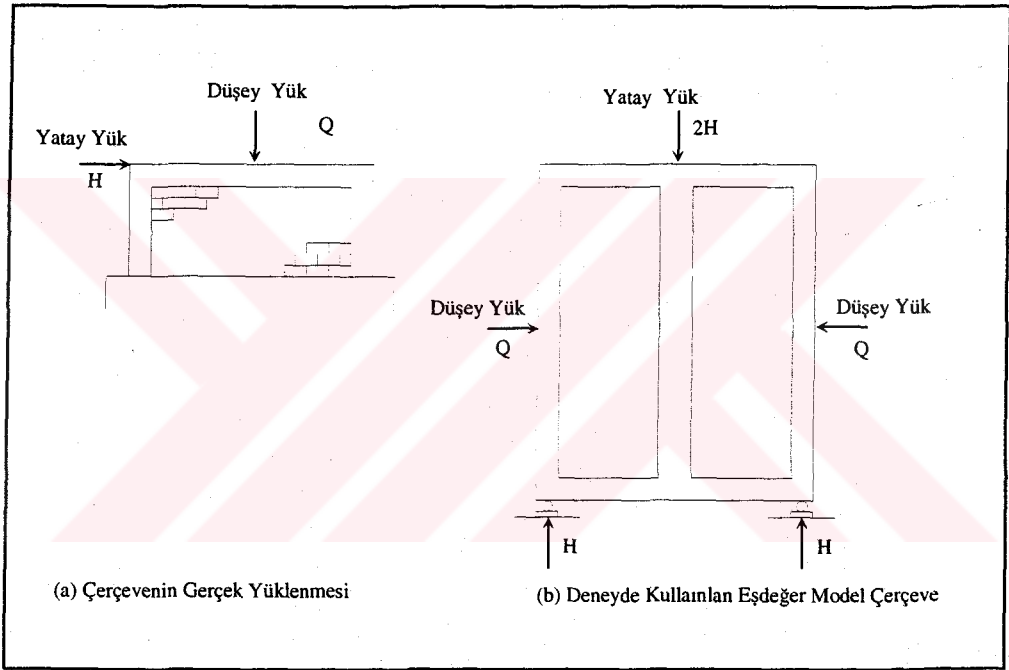
Benjamin ve Williams (1958) yaptıkları çalışmada, duvar düzlemine etki eden yatay yükler altında tuğla yığma duvarların davranışlarıyla ilgili araştırmalarını ve sonuçlarını açıklamışlardır. Burada yükseklik/uzunluk (h/L) oranının maksimum mukavemet ve rijitlik üzerinde önemli bir etkisinin olduğunu ve kolonlardaki donatı oranının değiştirilmesinin çatlama sınırları dışında rijitliği etkilemediği sonucuna varmışlardır [11].

Holmes, (1961) iç kısmı betonarme ve tuğla ile doldurulmuş tek katlı çelik çerçeveler üzerinde yaptığı araştırma sonuçlarına göre, yatay yük altında çerçevenin bir diyagonal ucu boyunca dolgunun sıkıştığı ve diğer diyagonal tarafta ise dolgunun çerçeveden ayrıldığı sonucundan hareketle dolguyu basınç diyagonaline yerleştirilmiş basınç çubuğu olarak kabul etmiştir. Bu basınç çubuğunun en kesit alanını, dolgunun t kalınlığı ve d diyagonal uzunluğu cinsinden $td/3$ olarak belirtmiştir. Böylece dolgunun etkili genişliği diyagonal uzunluğunun $1/3$ 'üne, kalınlığı ve elastik modülü dolgunun kalınlık ve elastik modülüne eşit olan iki ucu mafsallı bir fiktif diyagonal basınç çubuğu ile temsil edilebileceğini gösteren sonuçlar elde etmiştir [18].

Smith (1962, 1966, 1967) yaptığı çalışmalar sonucunda elde ettiği deneysel ve analitik sonuçları mukayese ederek basınç çubuğu metodunu geliştirmiştir. Araştırmalarında diyagonal basınç çubuğu yaklaşımı, daha ayrıntılı bir şekilde ele alınmıştır. Smith konu ile ilgili araştırmalarının ilk sonuçlarını 1962'de yayınladığı bir makalede açıklamıştır. Dolgu ile çerçeve arasında bağlantının olmadığı durumlarda, yatay yükün dolguya köşelerde küçük bir alan boyunca etkideği kabulü ile önceleri çerçevesiz dolgu duvar modelleri üzerinde diyagonal yüklemeler yaparak basınç çubuğu davranışına açıklık getirmeye çalışmıştır. Daha sonraki deneylerde tek katlı tek açıklıklı dolgulu çerçeve

sistemlerin yatay yük etkisi altındaki davranışını araştırmıştır. Bu deneylerde, tek katlı açıklıklı ve kolon uçları ankastre bir çerçeve ile statik bakımdan aynı özellikleri gösterebilecek çerçeveyi kullanmıştır (şekil 2.28). Smith, deneysel ve teorik çalışmaları sonucunda basınç çubuğu genişliğinin, çerçevenin değişik yükseklik/açıklık oranlarına göre diyagonal uzunluğunun 1/4 ile 1/11 arasında değiştiği sonucuna varmıştır. Yatay yük kapasitesini veren bir formülasyonuda birim şekil değiştirme enerjisi metoduyla elde etmiştir [19,20,21].

Smith daha sonraki yıllarda diyagonal basınç çubuğu yaklaşımını çok katlı iç kısmı dolu çerçeve sistemlere göre uygulayarak, konu ile ilgili makaleyi 1967 yılında yayınlamıştır. Çalışmalarında dolgu çerçeve davranışlarının açıklanması için temas uzunluğu (α) ve bağıl rijitlik (λ, h) parametrelerini geliştirmiştir.



Şekil 2.28 Tek Katlı Tek Açıklıklı Çerçeve Sisteme Eşdeğer Model Çerçeve Sistem

Smith ve Carter (1969) dolgu çerçevelerin yanal mukavemet ve rijitliklerinin hesaplanabilmesi için bir metod (Basınç Çubuğu Metodu) önermişler ve diyagonal çubuğun etkili genişliği, dolgu mukavemeti gibi parametrelere ait grafikler üretmişlerdir [6].

Mallick ve Severn (1967) dolgulu çerçeve sisteminin analiz etmek için, Sonlu elemanlar yöntemini kullanmışlardır. Çalışmalarında, dolgu panellerini yatay yük etkisinde dikdörtgen paneller ve köşegenel yük etkisinde kare paneller olarak ele almışlar ve dolgu panellerini düzlemsel şekil değiştiren elemanlar olarak modellendirmişlerdir. Yapmış oldukları deneylerden elde ettikleri bu teorik yaklaşımla elde edilen neticeler birbirleriyle uyum sağlamıştır [22].

Ersoy ve diğeri tarafından 1969-1971 yılları arasında, Türkiye Bilimsel ve Teknik Araştırma Kurumunun desteği ile O.D.T.Ü. İnşaat Mühendisliği Bölümünde yapılan araştırma projesinde, dolgulu çerçevelerin davranış ve mukavemetini incelemek amacıyla, değişik yükler altında dokuz adet dolgu duvarlı betonarme çerçeve denenmiştir. Deneylerde, dolgulu çerçevelerin yük taşıma kapasitesi ve rijitliğine birinci derecede tesir edeceğini düşündükleri çerçeve açıklığının çerçeve yüksekliğine oranı, kiriş rijitliğinin kolon rijitliğine oranı, dolgu kalınlığı, dolgu ile çerçeve arasında aderansın etkisinin olup olmaması durumu, çerçeveye etki eden yatay yükün düşey yüke oranı, gibi değişkenler dikkate alınmıştır.

Deney modellerinde Smith tarafından da uygulanmış olan; kolon uçları ankastre tek katlı tek açıklıklı bir çerçeve ile statik bakımdan aynı özelliklere sahip, iki gözlü çerçeve modelleri kullanılmıştır (Şekil 2.28).

Yatay yük tesiri altında yüklenmemiş köşelerde dolgu ile çerçeve arasında başlayan ayrılma çatlakları ve daha büyük yüklemelerde dolguda görülen diyagonal çatlakları gibi genel model davranışları, çalışmacıları dolgunun çerçeve içinde çapraz bir basınç elemanı gibi çalıştığı sonucuna götürmüştür. Deney sonuçlarına uyum sağlayan analiz metodu olarak diyagonal basınç çubuğu analojisi benimsenmiştir. Yatay yük etkisinde yük-yer değiştirme ilişkisi, sistemin çatlama öncesi davranışının elastik sınırlar içinde olduğu kabulü ile elde edilmiştir.

Sistemin statik analizi, diyagonal basınç çubuğu yaklaşımı esas alınarak *STRESS* (Structural Engineering System Solver) bilgisayar programıyla yapılmıştır.

Modeller üzerinde yapılan deney ve analizlerden özetle,

- 1) Dolgunun, çerçeve yatay yük taşıma kapasitesini belirgin oranda arttırdığı, yanal yer değiştirmeyi %65 oranında azalttığı,
- 2) Yatay yük altında çerçevenin davranışını temsilen geliştirilen diyagonal basınç çubuğu analojisindeki basınç çubuğu genişliği, diyagonal uzunluğunun %7 ile %13'ü arasında olabileceği,
- 3) Yatay yükler altında dolgunun basınç çubuğu gibi davranmasıyla, kolon alt uçlarına gelen ilave kesme kuvvetlerinden dolayı kolonlarda kayma kırılmasının olabileceği,
- 4) Dolgunun, çerçevenin yatay yük taşıma kapasitesine olan etkisini tam olarak gösterebilmesi için, kolonlarda oluşabilecek yerel kayma kırılmalarını önleyecek şekilde kolon alt uçlarının ilave donatı ile güçlendirilmesi gerektiği

sonuçları elde edilmiştir.

Mallick ve Garg (1971) yaptıkları çalışmalarda pencere, kapı gibi boşlukların yanal rijitliğe etkisini incelemiştir. Araştırmacılar, boşluklu dolgulu sistemler üzerinde yaptıkları deneylerin sonuçları ile Sonlu elemanlar yaklaşımıyla elde ettikleri sonuçlar

arasında kabul edilebilir benzerlikler olduğu sonucuna varmışlardır. Bu bağlamda deney sonuçlarını kontrol etmekte sonlu elemanlar yöntemini kullandıkları çalışmada boşluklar için yöntemler önermişlerdir [23].

Fedorkiv ve Sözen 1968 yılında kargir örgü duvarlı betonarme çerçevelerin analizi için ayrı bir fiziksel model geliştirmişlerdir. Burada çerçeve içindeki dolgu duvar, sonlu 'n' adet yay sistemiyle temsil edilmiştir. Böylelikle rijit bir ortamın düzlemsel gerilme ve şekil değiştirmeleri dinamik olarak ifade edilmiştir. Bu model, dolgulu çerçeve sistemin statik ve dinamik davranışlarının analizinde başarıyla kullanılmıştır.

Fiorato ve diğerlerinin 1970'de yayınlanan çalışmasında ise yanal statik yük altında çeşitli kat ve açıklık sayısına sahip çerçevelerle deneyler yapılmıştır [24]. Geniş çaplı yapılan deneysel çalışmalarda, dolgulu çerçeve sistemin davranışı için, farklı duvar malzemesiyle doldurulmuş bir ve beş katlı tek açıklıklı ve iki katlı üç açıklıklı model çerçeveler incelenmiştir. Kat ve açıklıklara ilave olarak, çerçevedeki donatının miktar, cins ve yerleştiriliş biçimi, kolonlara uygulanan düşey yükün şiddeti, dolgu duvarlardaki boşlukların büyüklüğü ve konumu gibi değişkenlerin, sistemin davranışı üzerindeki etkilerini araştırmışlardır. Araştırma sonuçlarında, dolgu duvarlı çerçeve sisteminin yatay yük tesiri altında, dolgu duvarlarda kayma çatlakları oluşuncaya kadar bir konsol giriş gibi davrandığı, çatlak oluşuktan sonraki davranışın diyagonal takviyeli bir çerçevenin davrandığı gibi olduğunu öne sürmüşlerdir. Ayrıca, çerçeve-duvar ortak davranışının, boş çerçeveye göre daha fazla taşıma gücü ve rijitliğe sahip olduğunu, fakat süneklikte aynı oranda bir azalma olduğunu belirtmişlerdir.

Smolira, 1973 yılında yayınladığı makalesinde, iç kısımları doldurulmuş çerçevelerin yatay kuvvetlere karşı mukavemetini incelemiştir. Smolira'nın analiz yöntemi diyagonal basınç çubuğu yaklaşımına dayanmakta ve hesaplar kuvvet deplasman metodu kullanılarak yapılmıştır. Analizlerde yatay kuvvet etkisiyle, dolgulu çerçeve sistemin düğüm noktalarında oluşan yatay yer değiştirmenin, diyagonal basınç çubuğunda meydana gelecek kısalmaya eşdeğer olduğu varsayılmıştır.

Düğüm noktalarındaki eğilme momentleri, basınç çubuğunda oluşacak kuvvet ve sistemdeki deplasmanlar, yatay kuvvetin şiddetine bağlı olarak fleksibilite katsayıları kullanılarak oluşturulan bir hesap matrisinden elde edilmiştir.

Çalışmada, diyagonal basınç çubuğu yaklaşımıyla, çerçeveye tesir eden yatay yüklerin bir temas uzunluğu boyunca dolguya aktarıldığı varsayılmakta ve temas uzunluğu boyunca ortaya çıkan yerel gerilme etkilerinin de kurulacak hesap matrisine dahil edilebileceği belirtilmiştir.

Smolira, yaptığı bir seri deneyden elde ettiği sonuçlarla, analitik yolla bulunduğu değerleri karşılaştırmış ve dolgulu çerçeve sistemlerin davranışının bu analiz yoluyla uygun bir doğruluk derecesinde tahmin edilebileceği sonucuna varmıştır.

Gülkan ve Hasti 1974 yılında yayınladıkları çalışmalarında, farklı yükseklikteki dolgu duvarlı basit çerçevelerin yanal rijitliğindeki artışların analizi için, dolgu duvarın rijitliğinin elastik bir zemin ile temsil edildiği ve Rayleigh-Ritz yöntemine dayalı bir

analitik model geliştirmişlerdir. Çalışmada, Fiorato ve arkadaşlarının model deneylerinin grafikleri ile kendi analitik modellerinden elde ettikleri grafikler karşılaştırılmış ve sonuçların uyum içinde olduğu gösterilmiştir.

Killinger ve Bertero 1976 yılında yayınladıkları çalışmalarında yığma dolgu duvarların, betonarme çerçevelerin sismik davranışı üzerindeki etkisini deneysel ve analitik olarak araştırmışlardır. Dolgulu çerçevelerin özellikle kuvvetli yer hareketleri sırasında, boş çerçevelere göre çok daha rijit bir davranış içinde olduğunu öne sürmüşlerdir. Dolgu duvar, bir eşdeğer kafes kiriş elemanı olarak modellendirilmiştir. Bu çalışmada da analitik sonuçların, gözlenen deneysel sonuçlarla iyi uyum sağladığı belirlenmiştir.

Liau ve Lee tarafından yapılan araştırmalarda, dolgulu çerçeve sistem, bir düzlem gerilme problemi olarak kabul edilmiş ve analizlerde gerilme fonksiyonları, Fourier serileri şeklinde tanımlanan polinomlar olarak kullanılmıştır. Bu çalışmalarda, çerçeve elemanlarının düğüm noktalarında tam rijit olduğu, dolgu panelinin lineer elastik, homojen ve izotropik olduğu kabul edilerek ayrıntılı teorik ve deneysel çalışmaların sonuçları tek katlı dolgulu çerçeveler için verilmiştir. Büyük yatay kuvvetlerin etkisi altında dolgunun, çerçeve iç yüzlerinden ayrılmasından dolayı ortaya çıkan kayma etkisi analizlerde hesaba dahil edilmemiştir [25].

Riddington ve Smith (1977) sonlu elemanlar metodu ile hazırladıkları bir program yardımıyla çeşitli tipteki (bir kat bir açıklıklı, bir kat üç açıklıklı, üç kat bir açıklıklı) çerçeveleri bağıl rijitlik parametresi, açıklık / yükseklik oranı, ara yüzey sürtünmesi gibi parametreleri değiştirerek analiz etmiş ve analizlerde her düğüm noktasında iki serbestlik derecesi (yatay ve düşey ötemeli) ve yer değiştirmeleri sınırları boyunca lineer değişen fonksiyonlarla ifade edilen dikdörtgen elemanlar kullanılmıştır. Sonuçta basınç çubuğu etkili genişliği olarak diyagonal uzunluğun onda birini (1/10) almanın güvenli bir mertebe kabulü olacağı sonucuna varılmıştır [26].

Wood (1978) deneysel çalışmaları ve yaptığı plastik analiz neticesinde dolgu panellerine ait 4 göçme modu tespit etmiş ve bu modların herbirine ait göçme kesme mukavemetlerinin panellerin göçme mukavemetine ve çerçevenin eğilme mukavemetine bağlı olduğunu açıklamıştır. Deneysel sonuçlarında, tespit ettiği bir katsayı yardımıyla analitik neticelere dönüştürmüştür [27].

Axley ve Bertero'da [28] 1979 yılında yaptıkları araştırmalarında, dolgu etkisinin dolgu duvarlı çerçeve sistemin davranışındaki rijitlik katkısını araştırmışlardır. Çalışmada, dolgu duvar 12 serbestlik dereceli dikdörtgen sonlu elemanlar ile modellenmiş ve genel amaçlı SAP IV [29] bilgisayar programına uyarlanmıştır.

Bertero ve Brokken (1981) betonarme çerçevelerde dolgu olarak hafif beton kullanarak yaptıkları deneylerde yapının davranışının oldukça fazla değişikliğe uğradığını tespit etmişler ve bu elemanların izole edilmeyerek bina davranışına katkıda bulunmaları gerektiğini önermişlerdir [30].

Dawe ve Yong (1985) tek katlı tek açıklıklı çerçeveler yatay yük altında incelemişler ve sonuçta Smith ve Carterin 1969 ve Wood'un 1978 yılında yayınlanan çalışmalarında önerilen analitik metotlar ile uyumlu sonuçlara ulaştıklarını bildirmişlerdir [31].

Dawe ve Yong (1985) deneyler sonucunda boşlukların sistemin taşıma kapasitesine etkisi olmadığını sadece ilk çatlak yükünü düşürdüğünü ve dolgu duvarın çatlak sonrası rijitliğinin harç malzemesinin mukavemeti ile doğru orantılı olduğunu saptamışlardır [32].

Focardi ve Manzini (1986) farklı özelliklere sahip dolgu duvarların olduğu betonarme çerçeveler üzerine yaptıkları çalışmada tekrarlı yatay yükleme testleri sonucunda; dolgu duvarlı çerçevenin diyagonal rijitliği ile dolgu duvarın yüksekliğinin uzunluğuna oranı (h/L) arasında önemli bir ilişki olduğunu belirlemişlerdir. Ayrıca, çalışmalarında h/L oranının 0.5 ile 1.7 arasındaki değerlerinde, çerçevenin rijitliğinin fazla değişmezken bu değer 0.5'in altında olması halinde rijitliğin önemli oranda azaldığı sonucuna varmışlardır.

Ersoy ve Tankut (1992) yaptıkları çalışmada sismik yükler altında çeşitli dolgu duvarların davranışlarını araştırmışlardır. Depremlerde hasar görmüş veya görme ihtimali olan çerçevelerin takviyesinden yola çıkarak, dolgu duvarların kullanılma sınırlarını, teorik ve deneysel çalışmalar ile belirlemeye çalışmışlardır. Deneysel çalışma sonucunda dolgu duvarın rijitliğinin etkisi, dayanımı, enerji yutma kapasitesi, yatay ötelenme ve süneklik gibi faktörler bulunmuştur. Ayrıca farklı analitik metotlar üzerine de çalışma yapılmıştır. Analitik metotlar kullanılarak bulunan sonuçlar deneysel sonuçlarla karşılaştırılmıştır. Sonuç olarak, sismik harekete karşı dolgu duvarların etkili olduğu, dolgu duvarların yatay dayanım kapasitesinin yükseltilecek kolonların eğilme kapasitesinin yükseltilebileceği, dolgu duvarların çerçeveye bağlanmadığı takdirde tekrarlı yükler etkisinde etkisiz olabileceği, dolgu duvarlar nedeniyle yapının rijitliğinin önemli oranda arttığı sonuçlarına varılmıştır [33].

Gülkan ve Wasti (1993) Sonlu Elemanlar Metodu kullanarak kısmi yükseklikli tuğla dolguları incelediler ve dolgu çerçevenin rijitliğinin yatay yük seviyesine bağlı olarak değiştiğini, bu tip dolguların sistem rijitliğine katkılarının, yükseklikleri çerçeve toplam yüksekliğinin %60'ından daha az olduğunda, ihmal edilebileceğini ve zararlı etkilerinden dolayı mümkün olduğu kadar kısmi yükseklikli dolgulardan kaçınmak gerektiği sonucuna ulaştılar [34].

Schueller'in (1994) deney ağırlıklı çalışmalarında ise amaç genel olarak bağıl rijitliğin etkisini incelemektir. Bu çalışmalarda çerçevenin dolguya göre yüksek bağıl rijitliğe sahip olmasının kesme mukavemeti açısından sistem davranışı için daha iyi olduğu sonucuna varılmıştır [35].

Saneinejad ve Hobbs (1995) tuğla dolgulu çelik veya betonarme çerçeveler için bir analiz ve tasarım modeli önermişlerdir. Geçmiş tecrübeler ve kullandıkları lineer olmayan sonlu elemanlar analizi ile, malzeme özelliklerinin bilinmesi koşuluyla dolgunun bir fiktif basınç çubuğu ile temsil edilebileceğini ve sistemin bilgisayar programlarında kuşaklı çerçeve olarak çözülebileceğini göstermişlerdir [36].

Zarnic ve Tomasevic (1995) yaptıkları çalışmada dolgu duvarların yapı üstünde, olumlu ve olumsuz etkilerinin olduğunu saptamışlardır. Bu nedenle de yapının hesap aşaması ve inşası için iki metot önermişlerdir. Birincisinde, dolgu duvarların ikinci derece yapı elemanı sayılması ve yeterli miktarda derzler sayesinde sistemden koparılması gerektiğini belirtmişlerdir. Böylece, deprem esnasında yapının serbest yer değiştirmesi

sağlanmış olurken, ikincisinde, dolgu duvarlar yapının önemli parçaları olarak inşa edileceklerse, hesap aşamasında dolgu duvarlar ve çerçeveler arasındaki değişik kuvvet dağılımlarının göz önüne alınmaları gerektiği üzerinde durmuşlardır [37].

Mehrabi ve diğerleri (1996) deneysel olarak dolgu duvarlı betonarme çerçeveler üzerine çalışma yapmışlardır. Şartnameler esas alınarak dolgu panellerinin betonarme çerçevelerin sismik performansına olan etkileri araştırılmıştır. Biri rüzgar yüklerine karşı ve diğeri güçlü deprem kuvvetlerine olmak üzere iki tip çerçeve ele alınmıştır. 12 adet 1/2 ölçeğinde tek katlı, tek açıklıklı çerçeve örnekleri deneye tabi tutulmuştur. Panellerin yükseklik/uzunluk (h/L), düşey yüklerin dağılımı ve yatay yüklerle dolgu panellerin çerçevelere olan etkileri parametrelerle belirlenmiştir. Deneysel sonuçlar, dolgu panellerinin betonarme çerçevelerin performansını önemli ölçüde etkilediğini göstermiştir. Bununla birlikte, güçlü çerçeveli ve güçlü panelli örnekler zayıf çerçeveli ve zayıf çerçeveli örneklerden yük dayanımı ve enerji kapasitesi olarak daha iyi performansa sahip oldukları saptanmıştır. Dolgu panelli örneklerin yatay yük direncinin çerçeve örneklerinden daha yüksek olduğu görülmüştür [38].

Ghosh ve Amde (2002) çalışmalarında dolgu duvarlı çerçevelerin yatay yüklere karşı göçme şekillerini ve nihai dayanım yüklerini araştırmışlardır. Söz konusu çalışmada dolgu duvar ve çerçeve arasındaki ara yüzeyleri ve dolgu malzemesinin harç yerlerini dolgu duvarları sonlu elemanlar analizini kullanarak modellemişlerdir. Daha önce yapılan analitik çalışmalarla, elde ettikleri sonuçları karşılaştırmışlardır. Çalışmalar sonucunda basınca çalışan dolgu duvarlı çerçevelerin genel olarak göçme durumlarının köşelerde ezilme şeklinde olduğu gözlenmiştir. Öte yandan sonlu eleman yöntemiyle hazırlanan sayısal modelin dolgu duvarlı çerçevelerin yük taşıma kapasitesi hakkında doğru bir tahmin yapmaya elverişli olmamasının yanında sismik yüklere karşı göçme şekilleri, süneklik ve çatlama yerleri hakkında detaylı bilgi sağlanamadığını belirtmişlerdir [39].

2.2.2. ANALİZ YÖNTEMLERİNDEKİ YAKLAŞIMLAR

Bugüne kadar yapılan çalışmalardan, dolgu çerçeve sistemin analizi için geliştirilen yaklaşımlar, üç ana başlık altında toplanabilir.

2.2.2.1. POLİNOMSAJ GERİLME FONKSİYONLARI YAKLAŞIMI

Polinomsal Gerilme Fonksiyonları Yaklaşımı, Fourier serileri biçiminde tanımlanan sekiz terimli gerilme fonksiyonuna dayandırılmıştır.

Liauw ve Lee [25] tarafından geliştirilen bu yaklaşımda, dolgu duvarın elastik, homojen ve izotrop malzemedan yapılmış olduğu ve gerilme fonksiyonunun çerçeve ile dolgu duvar arasındaki sınır koşullarının sürekliliğini sağladığı kabul edilmiştir.

Bu yaklaşımda çerçeve ile dolgu duvar temas yüzeyleri arasındaki ayrılma ve kayma gibi şekil değiştirmeler hesaba katılmamıştır.

2.2.2.2. EŞDEĞER DİYAGONAL BASINÇ ÇUBUĞU YAKLAŞIMI

Eşdeğer diyagonal basınç çubuğu yaklaşımı, [18,19] dolgulu çerçeveler için çok basit, bir hesap tarzı getirmektedir. Bu yaklaşımda, kat hizalarına tesir eden yatay kuvvetler altındaki dolgunun, kuvvetin tesir ettiği bu düğüm noktası ile diyagonaldeki düğüm noktası arasında bir basınç çubuğu gibi davrandığı varsayılmaktadır.

Burada, dolguya eşdeğer basınç çubuğu enkesit alanı, dolgu kalınlığı ile diyagonal uzunluğun belli bir oranının çarpımı olarak kabul edilmektedir.

Bu metotta, malzemenin Hooke kanununa uyduğu, dolgulu çerçeve sisteme statik kuvvetlerin tesir ettiği ve deformasyonların yeterince küçük olduğu varsayılmıştır. Çerçeve ve dolgunun diyagonal uçlarda temas halinde olduğu ve w gibi bir yatay yük etkisinde yapının tüm serbest düğüm noktalarında aynı Δ deplasmanı yapacağı kabul edilmiştir.

Yaklaşımda, a,b,c,d noktalarındaki eğilme momentleri, dolgudaki P basınç kuvveti ve Δ yer değiştirmesi bu noktalardaki yer değiştirmelerin uygunluk şartlarını, çerçeve ile dolgu arasındaki yer değiştirmelerin uygunluk şartını ve yatay kuvvetlerin denge şartlarını ifade eden, Kuvvet – Yer Değiştirme yöntemine dayanan bir hesap matrisinden elde edilmektedir. Diğer önemli bir kabulde, varsayılan diyagonal basınç çubuğunun, belirli bir temas uzunluğu boyunca çerçevede basınç gerilmesi oluşturmasıdır. Oldukça karmaşık olan ve dolgu kalitesine bağlı olarak değişen temas uzunluğu ancak deneylere dayalı olarak hesaplanabilir.

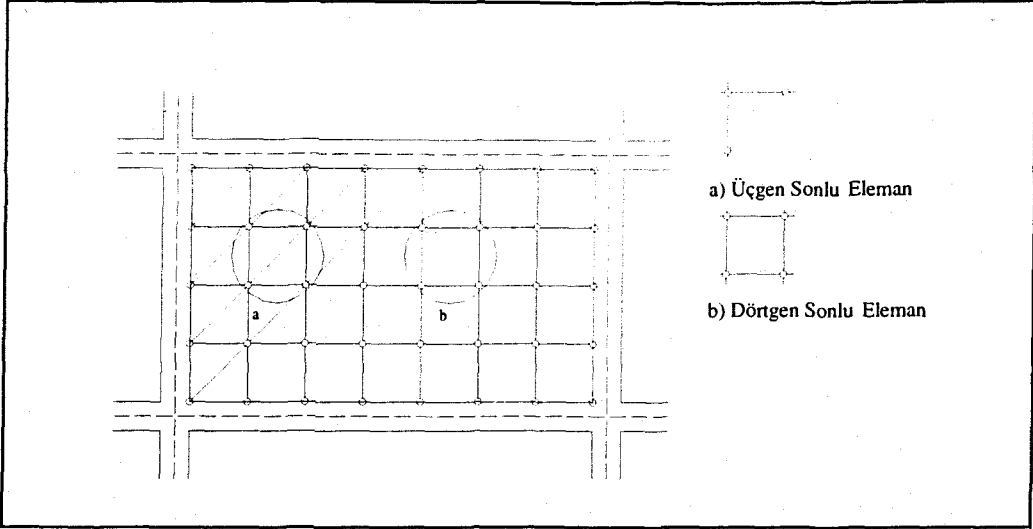
Hesaplanabilen temas uzunluğu boyunca etkili olan temas basıncının yaratacağı açılal dönme değerleri, düğüm noktalarının yer değiştirme uygunluk şartlarına dahil edilerek, daha kesin analiz sonuçları da elde edilebilir.

Ancak, hesap kolaylığı bakımından tercih edilebilir gibi görünen diyagonal basınç çubuğu yaklaşımında, dolgudaki gerilme dağılımları, kısmi dolguların davranışının modellendirilmesi ve dolgu panellerin düğüm noktalarındaki dönme şekil değiştirmelerinin etkisi hesaplarda tam olarak ifade edilememektedir.

2.2.2.3. SONLU ELEMANLAR YAKLAŞIMI

Bu yaklaşımda sürekli bir ortam kabul edilen düzlem dolgu sistem, iki boyutlu üçgen veya dikdörtgenlerden oluşan elemanlar ile modellenir (Şekil 2.29).

Bu modelleme ile sistem, sadece düğüm noktalarında denge ve süreklilik şartlarını sağlayan sonlu sayıda (bir veya birden fazla) elemanlardan oluşmuş çok yüksek dereceden hiperstatik bir düzlem gerilme problemi olarak ortaya çıkmaktadır. Çözümü, bilgisayar kullanımı ile mümkün olan bu yaklaşımda dolgu ile çerçeve arasındaki uygunluk tam olarak sağlanabilmektedir.



Şekil 2.29 Çerçeve İçindeki Dolgu Düzleminin Üçgen veya Dikdörtgen Sonlu Elemanlar Ağı ile Modellenmesi

Bazı çalışmacılar dolgulu çerçeve sistemlerin hesabı için, yapıların taşıyıcı sistemlerinin statik ve dinamik analizini lineer elastik olarak yapan SAP IV [29] ve ETAPS [33] gibi hazır bilgisayar programlarını kullanmışlardır.

2.2.3. DOLGU DUVARLARIN YAPILAR ÜZERİNDEKİ ETKİLERİ

Çok katlı yapılarda dolgu duvarlardan taşıyıcı olarak yararlanmak düşünülmediği için, bunların, dış ve iç mekanlar adasındaki yalıtım görevlerini aksatmayacak şekilde hafif yapılmasına özen gösterilir. Hafifliğin sağlanması için özel olarak geliştirilmiş malzemeler (hafif beton) olduğu gibi, bilinen klasik malzemeler, boşluklu olarak üretilip (tuğla) kullanılır. Hafif malzemeler ise, bünyesindeki boşluk oranı yüksek malzemelerdir; dolayısıyla, düşük olan mukavemetleri, boşluklar yüzünden, daha düşürülmüş olmaktadır [34].

Dolgu duvarların hafifletilmelerinin temel nedeni, yapı sabit yükünü, böylelikle de kütesini azaltmaktır. Bu suretle, yapının inşasındaki kolaylık ve ekonomi dışında, yapının yer sarsıntılarında maruz kalacağı atalet kuvvetlerinde de azalma sağlanmış olur.

Dolgu duvar ile birlikte yer değiştiren taşıyıcı çerçeve sistem, salt boş çerçeve sisteme göre, gerçek davranış bakımından farklılıklar gösterebilmektedir.

Çerçeve ile birlikte dolgu duvarın oluşturduğu sistem, özellikle yatay yüklemeler altında, kendi düzlemleri içinde yanal dayanımın artmasını sağladığı gibi deformasyonları da azaltmaktadır.

Dolgulu çerçevelerin taşıma kapasitelerinin büyüklüğü, dolgunun çerçeve düzleminde çubuk sistem tarafından sınırlandırılarak tutulması nedeninden kaynaklanmakta olup

ayrıca birçok karmaşık parametreye de bağlıdır. Bu parametreler; dolgu duvar malzemesinin cins ve kalitesine, çerçeve ile dolgu arasında bırakılan veya oluşturulan boşlukların büyüklüğüne, dolgu ile çerçeve arasında aderansın oluşup oluşmamasına, tuğla dolgulu duvarlarda nem etkisine, betonarme çerçevelerde beton malzemesinin rötre ve sünmesine ve buna benzer faktörlere bağlı olarak değişebilmektedir.

Belirtilen bu parametrelerin birçoğu zamana bağlı olarak değiştiğinden, analizlerde matematiksel olarak ifade edilmeleri güçtür. Ayrıca değişik yapı malzemesi ve yapı tekniği kullanılması karşımıza davranışları çok farklı dolgulu çerçeve sistemlerini çıkarmakta ve ayrı ayrı incelenmeleri gerekmektedir.

Dolgu duvarlar, taşıyıcı elemanların (kolon ve kirişlerin) hareketlerini kısıtladığından, yapının rijitliğine katkısı olması beklenir. Ne kadar hafifletilirse de yapının dolgu duvarları, özellikle yapının elastikiyetini fazla zorlamayan küçük hareketlerinde, çerçevelerin rijitliğini büyük ölçüde artırır. Diğer taraftan, salt sabit yük açısından bakılırsa, yapı kütesini de artırır.

Yapıların titreşim özelliklerine etki eden en büyük faktörler rijitlik ve kütedir. Yapı kütesinin artması yapı doğal titreşim periyotlarının büyümesine; yapı rijitliğinin artması ise, tam tersi, yapı doğal periyotlarının küçülmesine; neden olur. Bununla beraber, yapılan çeşitli çalışmalar göstermiştir ki dolgu duvarların rijitlik katkısı kütle katkısına oranla çok daha baskındır [35]. Değişik mekanik özelliklere sahip malzemelerden inşa edilmiş karma yapılar deprem kuvvetlerine karşı koyabilecek şekilde, dikkatlice planlanmalıdır. Çünkü deprem kuvvetleri etkideğinde, farklı yapı sistemleri arasında, değişik tesirli kuvvetler doğmaktadır. Bu kuvvetler dikkate alınmadığı takdirde, yapının beklenmedik bir şekilde hareket etmesine neden olurlar.

Her ne kadar dolgu duvarlar ikinci derece yapı elemanı olarak kabul edilseler de yapıların yatay yükler altındaki davranışına katkılarının ihmal edilmesi, bazı zamanlarda binanın beklenmedik davranışlar göstermesine neden olur. Öyle ki, bireysel yapı elemanlarının çökmesi ya da bütün binanın çökmesi gibi büyük zararlara neden olabilir. Bununla birlikte, dolgu duvarlar, çerçevesiz yapıların depreme karşı davranışlarında, genellikle yararlı etkiler göstermektedirler. Depreme maruz kalmış çeşitli yerleşim yerlerinde yapılan incelemelerde; dolgu duvarların, yüksek binaların çökmesine engel olduğu gözlenmiştir. Diğer taraftan çok iyi gözlenen bir başka olgu da, ticari ve diğer bazı amaçlarla dolgu duvarsız olan zemin katların, deprem sırasında, yumuşak kat (soft storey) oluşması ile aşırı hasar görmeleridir. Yapılan birçok deney sonucunda dolgu duvarlar, devirli sarsıntı şokları esnasında, bünyesinde oluşan kayma ve sürtünmeler, basınç uçlarındaki ezilmeler gibi davranışlarla, yapının enerji sönümü özelliğini de artırır [36,37].

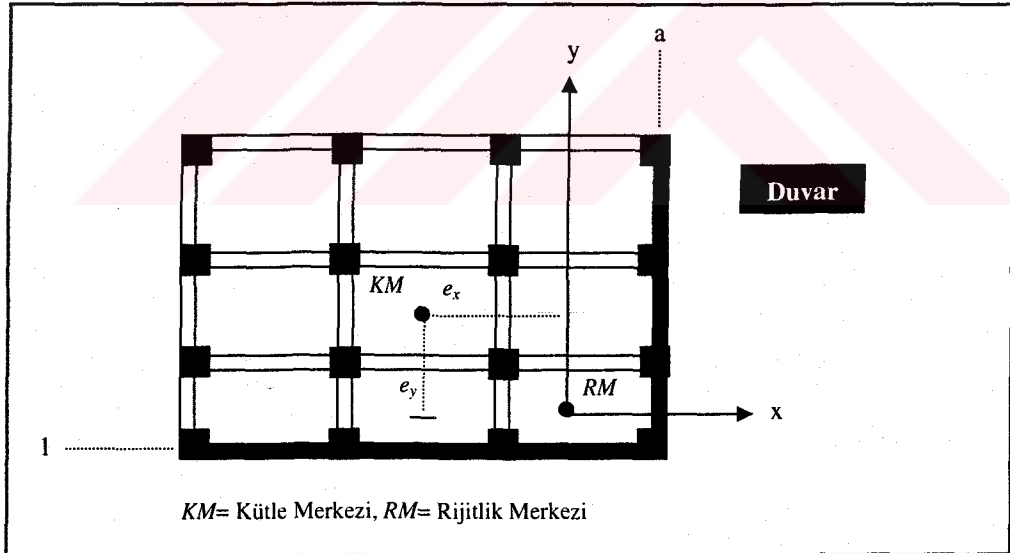
Bütün bu değerlendirmelerin ışığı altında görülmüştür ki, ana çerçeve ve dolgu duvarlar arasındaki etkileşim mekanizmasının anlaşılması çok önemlidir.

2.2.3.1. DOLGU DUVARLARIN YAPI DAVRANIŞI ÜZERİNE OLASI OLUMSUZ ETKİLERİ

2.2.3.1.1. Burulma ve Kısa Kolon Etkisi

Yapılarda alanları bölmek amacıyla inşa edilen dolgu duvarların sadece yatay yük taşıma kapasitesinde artışa sebep olduğu ve dolayısıyla dinamik etkiler altındaki davranışı olumlu yönde etkilediği çok yaygın bir düşüncedir. Buna karşılık, dolgu duvarlar nedeniyle yapının davranışının değiştiği ve bu sebeple depremde oluşan hasarın beklenenden daha büyük olduğu sayısız örnek vardır. Dayanaksız ve kırılğan olmalarına rağmen dolgu duvarlar, yatay yükler altında yapının davranışını değiştirebilir ve taşıyıcı sistemin bazı elemanlarında hesaplarda öngörülemeyen etkilere neden olabilirler.

Simetrik, çok katlı betonarme bir yapının. Şekil 2.30'da verilen kat planından görüldüğü gibi komşu iki kenar boyunca '1' ve 'a' eksenlerinde dolgu duvar mevcuttur. Tasarım aşamasında dolgu duvarların göz ardı edilmesi ile çözülecek olan sistemin her bir doğrultusundaki çerçevelerin benzer etkilere maruz kaldığı söylenebilir. Gerçekte ise, dolgu duvarlar nedeniyle '1' ve 'a' aksı çerçeve rijitlikleri, diğer aksların rijitliklerine nazaran daha büyük olacaktır. Sistemin tümü için düşünüldüğünde rijitlikteki bu artış sebebiyle yapının doğal periyodu küçülecektir. Ayrıca, sistemin rijitlik merkezinin kütle merkezinden uzaklaşması ile oluşacak eksantrisite nedeniyle yapı, hesaplarda öngörülemeyen, burulma etkilerine de maruz kalacaktır.



Şekil 2.30 İki Çerçevesinde Dolgu Duvar Bulunan Çok Katlı Betonarme Yapının Kat Planı

Dolgu duvarların bir başka etkisi de Şekil 2.31'de gösterildiği gibi pencere v.b. nedenlerle boşluk bırakılarak, dolgu duvarların kat yüksekliğinin bir kısmında var olması durumudur. Duvarın etkisi ihmal edildiğinde yatay kuvvetler altında, kolonlarda plastik kesitlerin kolon alt ve üst uçlarında oluşması beklenir ve kolonlar (2.1) eşitliğinden hesaplanan kayma kuvvetini belirli bir güvenlikle taşıyabilecek şekilde tasarlanır.

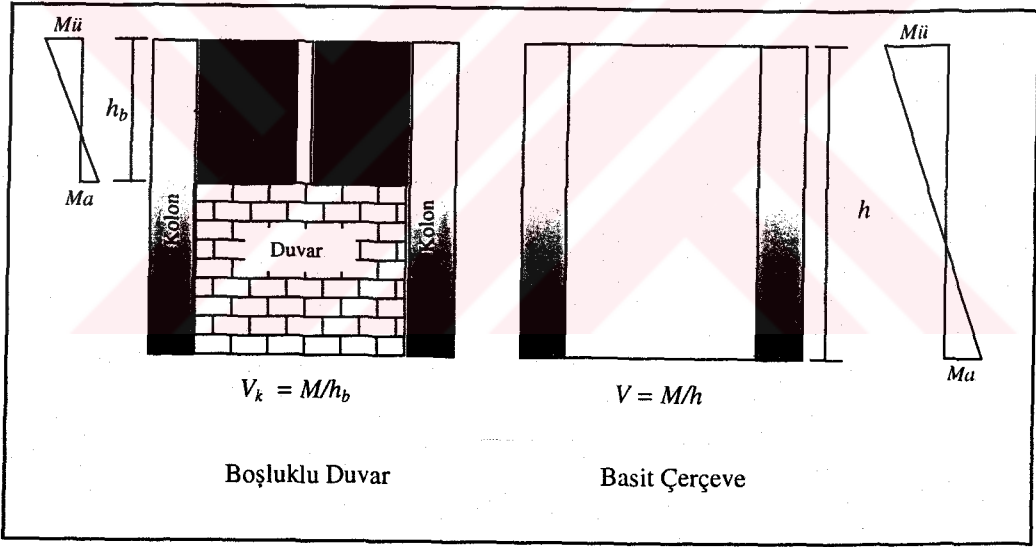
$$V = \frac{M_a + M_u}{h} \quad (2.1)$$

Ancak, gerçek davranışta, dolgu duvarların varlığı nedeniyle, sağ ve orta kolonun serbest açıklığı küçülecek ve bu kolonlarda, kolon alt ucunda öngörülen plastik kesit, duvarın üst bitim bölgesi seviyesinde oluşacaktır (şekil 2.31).

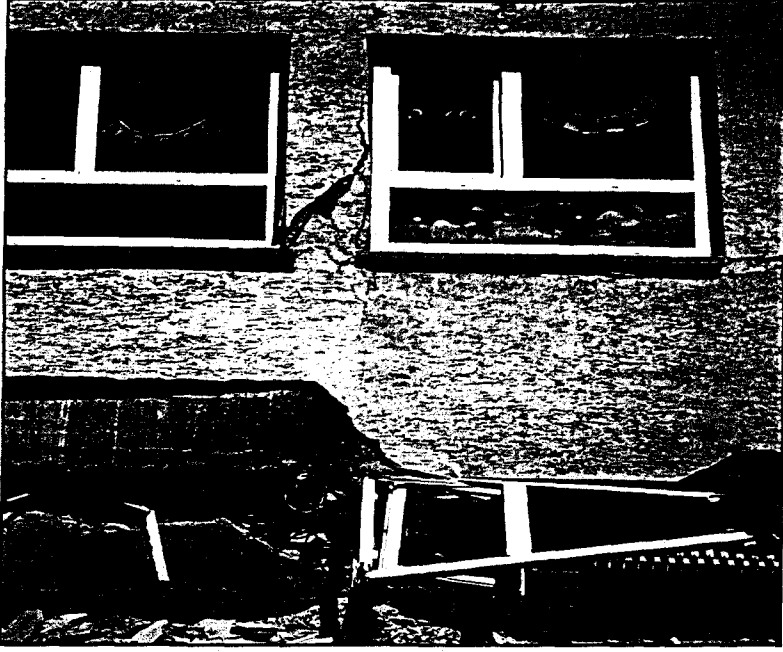
Böyle bir durumda sağ ve sol kolonda oluşacak kayma kuvveti (2.2) eşitliği ile verildiği gibi hesaplanabilir.

$$V_k = \frac{M_a + M_u}{h_b} \quad (2.2)$$

V_k değerinin, V değerinden büyük olacağı açıktır. Diğer bir anlatımla, kolonlar tasarlandıkları maksimum kuvvetten daha büyük kayma kuvvetine maruz kalacaklardır, [41].



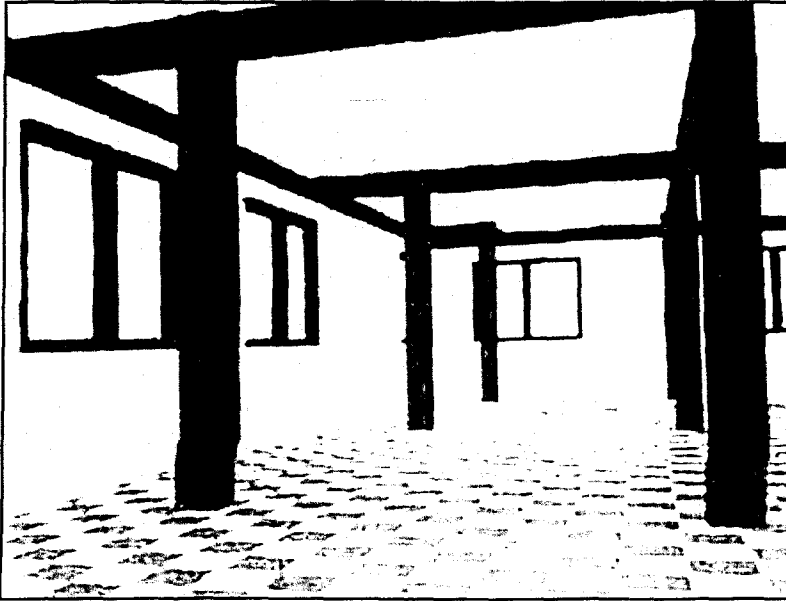
Şekil 2.31 Betonarme Çerçevenin Bir Kısımında Dolgu Duvar Bulunması Hali



Şekil 2.32 Kısa Kolon Etkisi Sonucu Kolonda Oluşan Mafsallaşma / Mayıs 2003 Bingöl Depremi

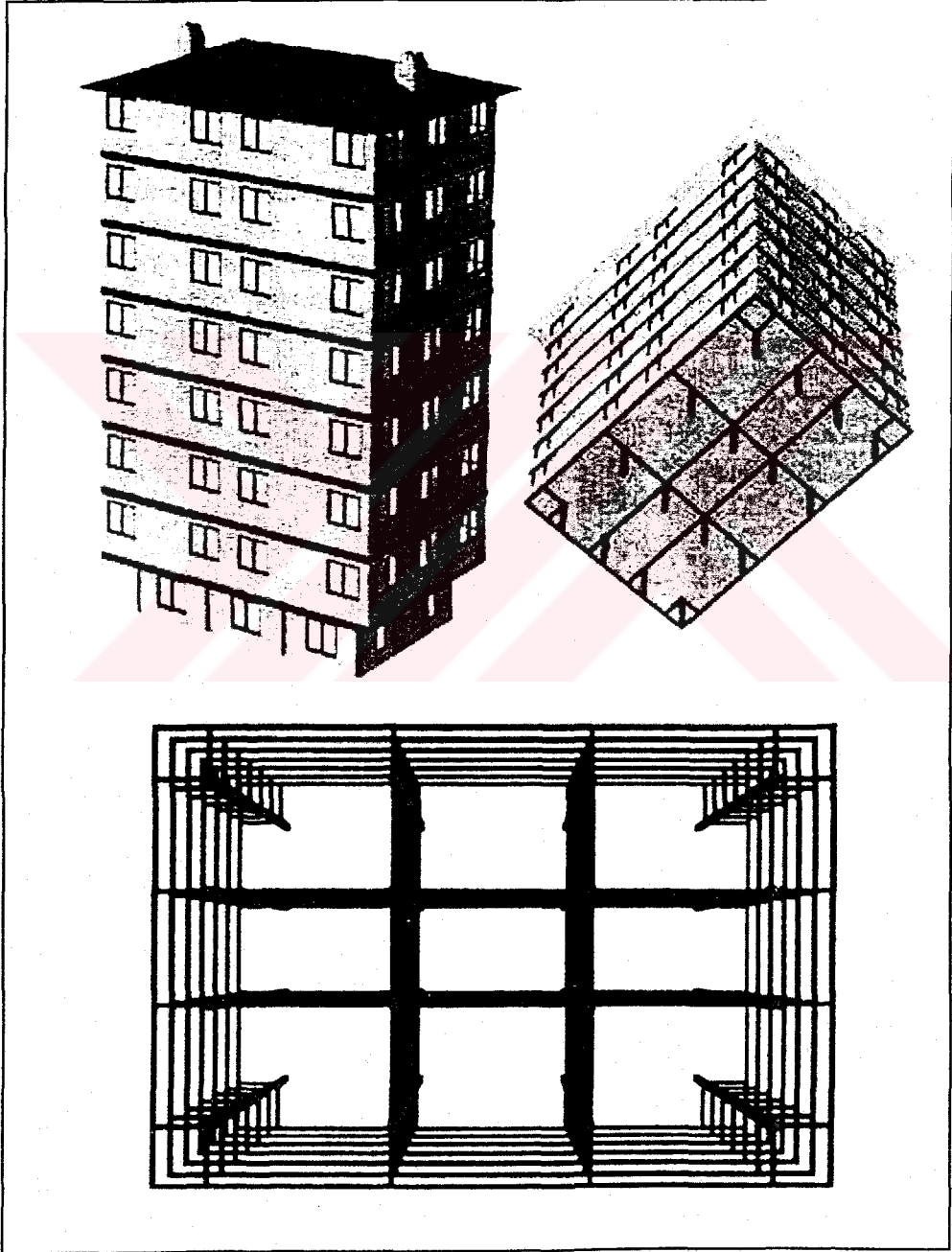
2.2.3.1.2. Çıkmalı Binalarda Dolgu Duvarların Etkisi

Mevcut binalarda çoğunlukla zemin kat üzerindeki normal katlar konsol kirişler üzerindedir. Mimari nedenlerden dolayı da normal katlarda konsolları taşıyan kolonlar arasında sarkan kiriş bağlantısı yapılmaz (Şekil 2.33). Zira salon ortasında sarkan kirişlerin bulunması istenmediğinden sarkan kirişler dış duvarlar hizasındadır. Ve kolonlar arasında sarkan kiriş bağlantısı bulunmaz [4].



Şekil 2.33 Konsol Çıkmalara Oturan Binanın İç Görünüşü

Duvarların çerçeve içinde bulunmaması, deprem etkisi altında binaya olan olumlu etkileri bir yana yapı davranışına olumsuz etkileri söz konusu olacaktır. Bir anlamda ağırlığından dolayı yapının daha fazla deprem kuvvetlerine maruz kalmasına sebep olacaktır. Zemin üzerinde çıkma yapıldıktan sonra sarkan kirişlerin kolonlarla ilişkileri kesilmiştir. Çevre kirişlerin kolonlardan ayrılması ve dış duvarların kolon-kiriş sistemi arasında yer almayışı bina enerji yutma kapasitesi açısından ve yatay yüke karşı savunma sistemi gücü açısından telafisi mümkün olmayan bir hata yapılmış olmaktadır. Yani proje aşamasında depreme karşı zayıf bir bina yapımına karar verilmiş olmaktadır.



Şekil 2.34 Çıkmaltı Binada Dolgu Duvarın Kirişler Üzerine Oturması

2.2.4. DOLGU DUVARLI ÇERÇEVELERİN GÖÇME BİÇİMLERİ

Dolgu duvarlı çerçevelerin kuvvetli yer hareketine (depreme) karşı davranışı temel olarak (1) duvar malzemesinin mekanik özelliklerine, duvarın kalınlığına, kullanılan örgü harcına, (2) dolgu duvarın çerçeveye ne şekilde bağlandığına, duvarda bulunabilecek boşluklara (pencere ve kapı boşlukları gibi) ve duvarın geometrisine bağlıdır.

Yapılan bir çok deney sonucunda, dolgu duvarların çerçeveye olan etkilerindeki en önemli değişikliğin duvarlarda bulunan boşluklar olduğu anlaşılmıştır. Dolgu duvarlarda yer alan pencere, kapı boşlukları ve bunları çevreleyen kasalar, duvar davranışını doğrudan etkiler. Boşluklu duvarlar, boşluksuz olanlara oranla daha sünek ve daha az rijittirler. Boşluğun duvar düzlemindeki yeri ve geometrisi de sonuca etkendir [36,38].

Dolgu duvarlı çerçeveler için iki farklı güç tükenmesi mekanizması gözlenmiştir. Birinci durumda; çerçevenin basınç tarafında bulunan kolonun alt ve üst kısmında plastik mafsallar meydana gelmekte ve çekme tarafındaki (yatay yükün etkidiği taraftaki) kolon, kısa kolon etkisi ile kesme kırılmasına maruz kalmaktadır, ikinci durumda ise; çerçeve kolonlarının her ikisinde de alt ve üst kısımlarında plastik mafsallar meydana gelir ve kolonlar eğilme veya kesme-eğilme kırılmasına maruz kalır.

Özellikle, kısmi dolgu duvarlar, kolon eğilme boylarının küçülmesine neden olurlar. Bu durumda kolonların aşırı kesme kuvveti çekmesi, kesme kırılmasına sebep olur (kısa konsol kırılması). Dolgu duvarların göçmeleri ise başlıca üç durumda gerçekleşir:

- 1) Yükleme maruz kalan köşelerin kırılması
- 2) Dolgu duvarın harç derzleri boyunca, diyagonal çatlayıp kayması
- 3) Kargir duvarın harç derzleri boyunca, diyagonal çatlayıp kayması [39]

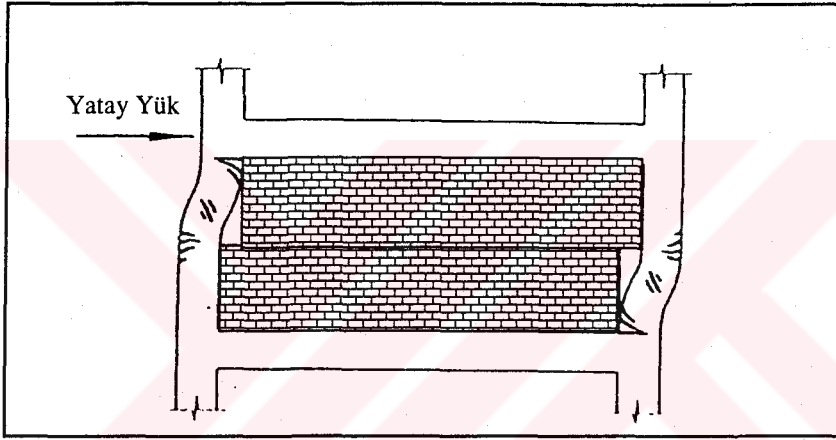
2.2.5. DOLGU DUVARLI ÇERÇEVELERİN YATAY YÜK ALTINDA DAVRANIŞI

Betonarme çerçeveli dolgu duvarlı yapı tiplerinin deprem esnasındaki davranışları incelendiğinde bazı temel davranış biçimleri belirlenebilir.

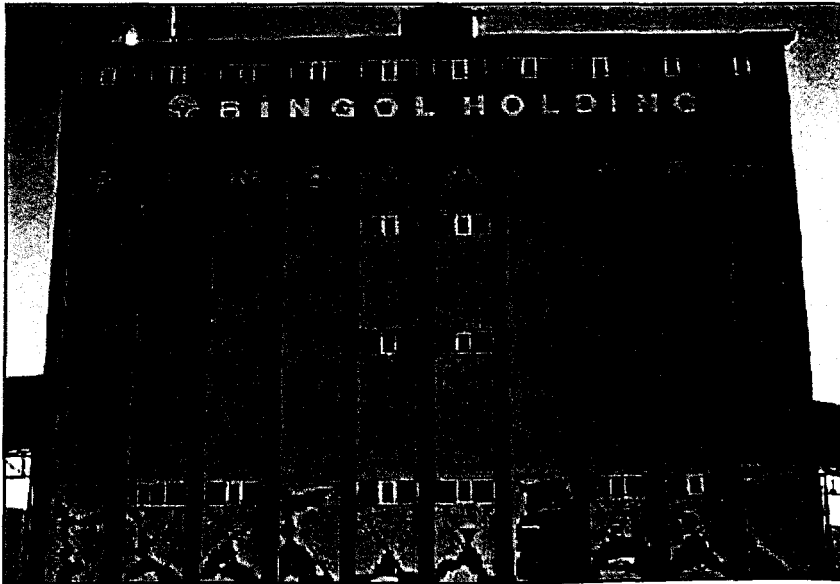
Betonarme yapılarda deprem hasarı sıva çatlakları ile başlar. İlk sıva çatlakları sıva kalınlığının az olduğu bölgelerde oluşur. Daha sonra, kiriş-duvar ve kolon-duvar birleşim derzlerinde yine sıva çatlakları görülür. Binalarda hasar, bu tür sıva çatlakları düzeyinde ise, genellikle yapının betonarme taşıyıcı elemanlarında hasar bulunmamaktadır.

Daha şiddetli depremlerde, dolgu duvarın tuğla ya da daha zayıf mukavemetli boşluklu briket olmasına da bağlı olarak, dolgu duvarı hasarı başlamaktadır. Duvar düzlemine karşıdan bakıldığında, daha çok örgü harç derzlerini izleyen kırıklı biçiminde derin çatlaklar görülür. Dolgu duvarı hasarının daha ileri aşamasında ise, duvarlar taşıyıcı elemanlardan ayrılır ve tuğla ya da briket parçaları kopup düşmeye başlar. Genellikle dolgu duvarların iyice parçalanıp iri parçalar halinde dökülmeye başlaması ile, özellikle kolon-kiriş birleşimlerine yakın bölgelerde kirişlerde ve kolonlarda mafsallaşmalar görülür [40].

Düzlemi içinde etkiyen yatay kuvvetin küçük değerlerinde çerçeve ve dolgu duvarlar tamamen uyum içinde, bir perde duvar gibi birlikte hareket edeceklerdir. Yatay yer değiştirmelerin artmaya başlamasıyla bu davranış çok karmaşık hal alır. Çerçeve elemanları eğilme davranışı biçiminde şekil değiştirmeye çalışırken, dolgu duvar paneli de kayma davranışı biçiminde şekil değiştirmeye çalışacaktır (Şekil 2.35). Sonuç olarak, çekme gerilmelerinin artması ile kendiliğinden oluşan çekme çaprazının uçları olan köşelerde, çerçeve ve dolgu duvarları birbirinden ayrılacak, diğer köşegen doğrultusunda oluşacak olan basınç gerilmeleri, duvar içinde sanal bir basınç çubuğu meydana getirecektir. Deprem kuvvetleri gibi tekrarlı yüklemeye etkisinde, basınca çalışan diyagonal yükün yön değiştirmesi ile çekme gerilmelerine maruz kalacaktır. Bu işlem tekrarlandıkça kalıcı şekil değiştirmeler yayılacak, çatlakların sayısı ve genişliği artacaktır. Şekil 2.36'da tekrarlı yüklemeye etkisinde, duvarlarda oluşan çekme çatlakları görülmektedir. Çok yüksek duvarlarda, dolgu duvar ayrıca betonarme hatıl ile çerçeveye bağlanmamış ise duvar düzlemine dik atalet kuvvetleri ile yana yıkılmalar da meydana gelebilir.



Şekil 2.35 Dolgu Duvarlı Çerçevenin Yatay Yük Altındaki Davranışı



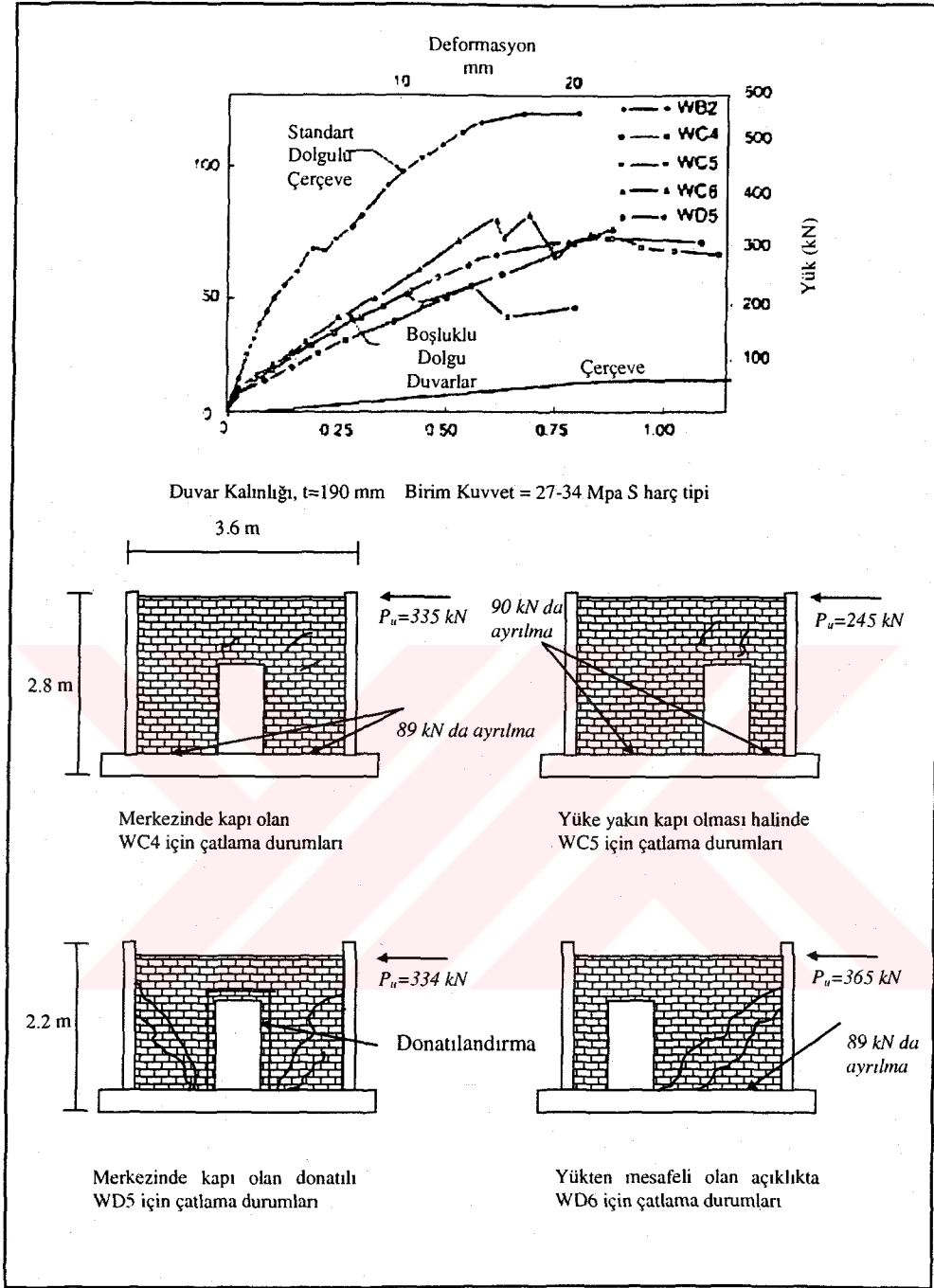
Şekil 2.36 Tekrarlı Yükleme Etkisinde Dolgu Duvarlarda X-Çekme Çatlaklarının Oluşması - Mayıs 2003 Bingöl Depremi

2.2.6. BOŞLUKLU DOLGU DUVARLAR

Dolgu duvarlar, çoğu zaman, değişik kısımlarda ve değişik büyüklerde, boşluklara sahiptir. Küçük boşlukların (mesela kablo geçirmek için) ve eşdeğer diyagonal çubuklar dışındaki açıklıkların etkisi önemsizdir. Ancak yük yer değiştirdiğinde panelin diğer tarafı diyagonal band görevi görür. Dawe ve Seah [50], çelik çerçevelerde, dolgu duvarlardaki boşlukların etkisini araştırmışlardır. Şekil 2.37'deki yük-yer değiştirme eğrileri göstermektedir ki boşluk olmayan duvarlarla karşılaştırıldığında açıklıklar duvarın rijitliğini ve yük taşıma kapasitesini oldukça azaltmaktadır. Bunun sebebi, açıklığın (boşluğun) diyagonal bağlantı hareketi ile çakışmasıdır. Böylece boşluğun herhangi bir tarafında vaktinden önce kesme kuvveti yetersizliği oluşur. Birçok durumda göçmenin başlangıcı açıklığın her tarafında, duvarla çerçevenin ayrılmasından kaynaklanır. WD5 örneğinde, çelik donatı eklemek, boşluğun etrafında duvarın ilk rijitliğini arttırmış, ancak en büyük yükü arttırmamıştır. WD6 örneğinde (açıklık yükten uzak bir bölgeye konulduğunda) diyagonal çatlaklar oluşmuştur, çatlağın oluştuğu bölgede desteğe bağlı olarak, biraz daha fazla yük kapasitesine imkan vermiştir (açıklığın yükün olduğu bölgeye daha yakın olduğu bir durumla karşılaştırıldığında). Bu sebebe bağlı olarak ve yanal yükün iki yönlü de uygulandığı dikkate alındığında, en iyi çözüm, kapı boşluğunu, duvarın merkezine koymaktır.

Diğer deneysel ve analitik çalışmalar kare şeklindeki panellere merkezi biçime konulan boşlukların, dolgulu çerçevelerin rijitliğini %75 azalttığını ve panelin yük kapasitesini ise %40 düşürdüğünü göstermektedir.

Yatay yükler, duvar geometrisi, konumu, şekli, boşlukların büyüklükleri gibi birçok parametre olduğundan boşlukları olan dolgulu çerçeveler için basit analitik yöntemler geliştirmek kolay değildir. Yatay yükler altında kompozit hareket sebebiyle duvarlardaki gerilmeleri belirlemek için sonlu elemanlar analizi kullanılabilir. Bu durum dışında, taşıyıcı duvar kabulüyle boşluklu dolgu duvarların rijitlikleri oranında kesme kuvvetleri dağıtılarak perde duvarlar olarak aynı şekilde boyutlandırılabilir.

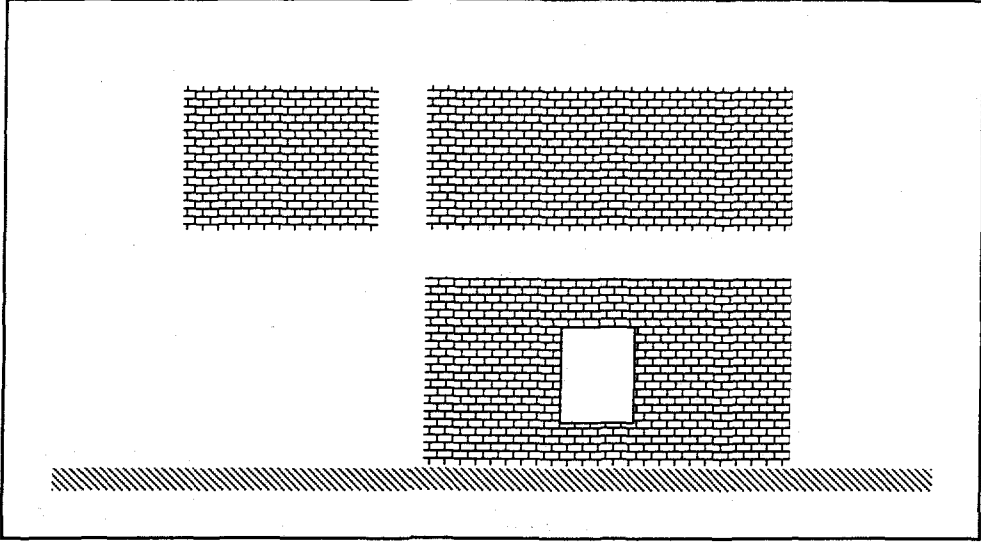


Şekil 2.37 Boşluklu Dolgu Duvar Çelik Çerçevelerin Davranışı

2.2.7. DOLGU DUVARLI ÇERÇEVELERİN TEKRARLANAN YÜKLER ALTINDA DAVRANIŞLARI İÇİN MODELLEME BİÇİMİ

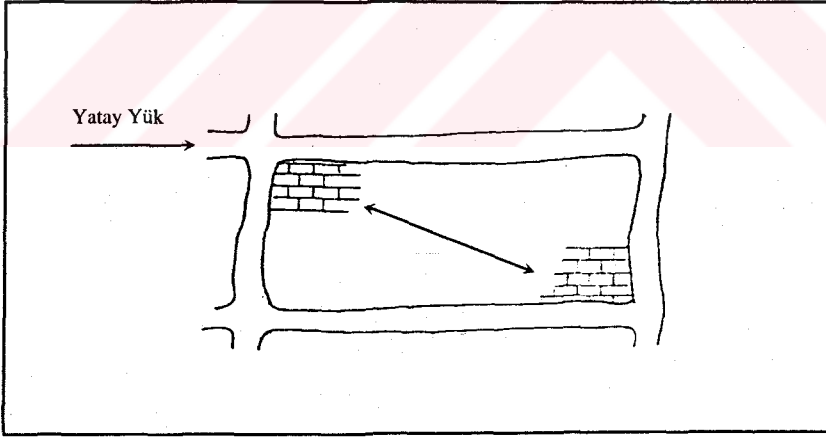
Dolgu duvarlı çerçevelerin hesabı için ortaya konulmuş, uygulama alanı bulmuş, güvenilir ve uygulaması kolay bir yöntem, tam olarak geliştirilmemesine karşın, bu konuda kabul edilebilen öneriler ve deneysel bulgular fazla miktarda mevcuttur.

Tipik bir dolgu duvarlı çerçeve Şekil 2.38'deki gibi düşünülebilir.



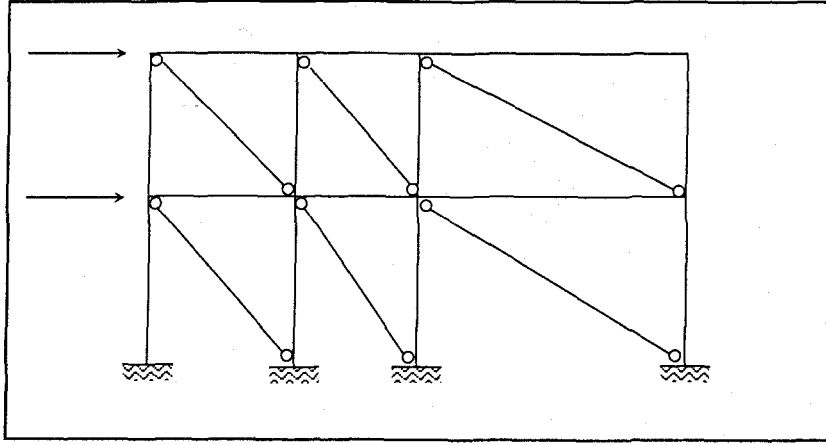
Şekil 2.38 Betonarme Çerçeveni Dolduran Dolgu Duvar

Bu çerçevenin dolgu duvarlı her bir gözü, yatay yükler altında, Şekil 2.39'daki gibi deformasyon yapmak eğilimindedir. Dolgu duvarlar, çerçevelerin, yatay ötelenmelerine bir basınç çubuğu gibi karşı koymaktadırlar.



Şekil 2.39 Dolgu Duvarlı Çerçevenin Yatay Yük Altındaki Davranışı

Dolayısıyla yatay yükün yönüne bağlı olarak, dolgu duvarlı çerçeveler Şekil 2.40'ta gösterildiği gibi modellenerek ifade edilebilir.



Şekil 2.40 Dolgu Duvarın İki Ucu Mafsalsal Diyagonal Çubuk Olarak Modellenmesi

Dolgu duvarlı çerçevelerin hesabı konusunda, ortaya konulan önerilerin hemen hepsi, esas olarak, bu yaklaşıma dayanmaktadır. Bu çalışmaların pek çoğu, dolgu duvarını temsil edecek diyagonal basınç çubuğunun eşdeğer kesitinin ne alınması gerektiğini tespit etmek amacıyla yapılmıştır.

Yapılan çok çeşitli araştırmaların ve deneylerin sonucuna göre; dolgu duvarlar, taşıyıcı olarak düşünülmemelerine rağmen, işletme yükleri altında yapının yatay rijitliğine katkıda buldukları bir gerçektir. Araştırmalar, bu bölmelerin, yatay yüklere karşı, yapı mukavemetine katkıda bulunacak tarzda inşa edilmeleri halinde, bilhassa yatay yer değiştirme sınırlarını sağlamak bakımından, önemli katkılarının olduğunu göstermektedir. Bu problemin kabul edilebilir bir çözümü, dolgu duvarın eşdeğeri bir basınç diyagonalini çerçeveye eklenerek yapılabilir ve bu diyagonalin etkin genişliği, dolgunun ve çerçevenin bağlı rijitliklerinin bir fonksiyonudur.

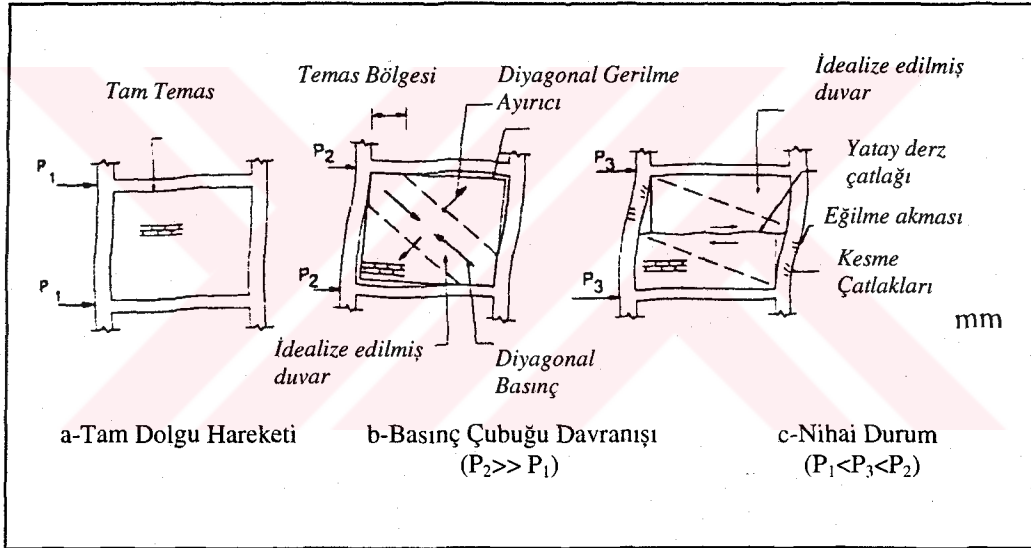
Çerçeveler arasında yer alan dolgu duvarlar, sistemin sadece rijitliğini ve sönümünü artırmak ve dolayısıyla, hakim titreşim periyodunu kısaltmakla kalmaz, aynı zamanda, sistemin davranış modunu ve dolayısıyla, farklı çerçeve elemanlarına kuvvetlerin dağılımını da tamamen değiştirebilirler. Bu nedenle, dolgu duvarların rijitlik katkılarının hesapta ihmal edilmesi tehlikeli de olabilir. Ancak, dolgu duvarların etkisi hesaba katılırsa, bunların bir kısmının veya tümünün tahrip olması durumunda, sistemin davranışının ne olacağını da düşünmek gerekir. Böylece, temel problem ortaya konulmuş olur ve dolgu duvarlar hesaba katılabilir. Ancak bunun olumlu ve olumsuz bütün yönleri güvenilir hesaplarla ortaya konulmalıdır.

Dolgu duvar ve yapı çerçevesinin etkileşim mekanizması, iki bileşenin ara yüzlerindeki temas alanına bağlıdır. Böylece, bütünsel hareketin boyu, yatay yükün seviyesine, ara yüzlerdeki yapışma derecesine ve de iki bileşenin geometrik ve rijitlik özelliklerine bağlıdır.

Yanal yükün çok az olduğu seviyelerde ara yüzlerdeki bağlantı tam teması sağlandığı sürece, dolgu duvar ve çerçeve arasında tam bütünsel hareket ortaya çıkar (Şekil 2.41a). Bu safhada, dolgu duvarın sistemin toplam rijitliğine etkisi maksimumdur (Şekil 2.42b).

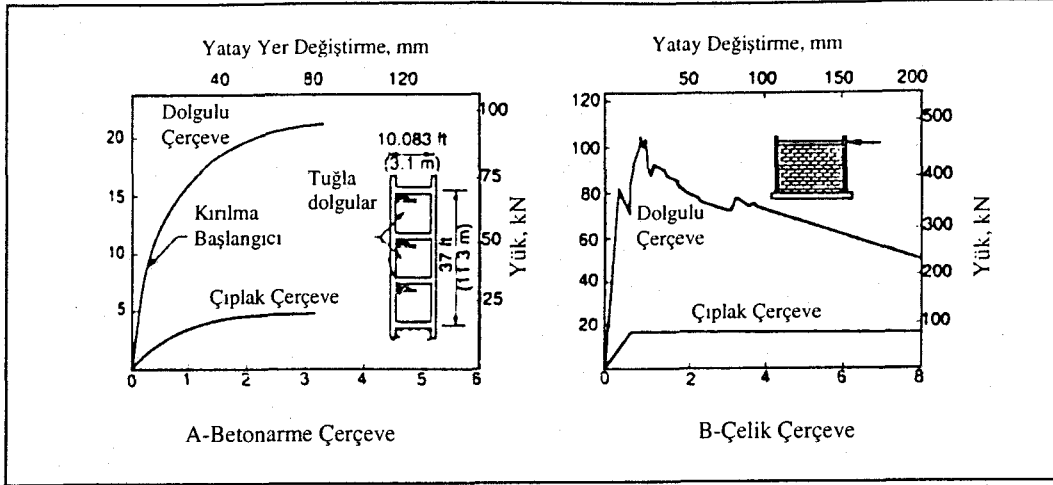
Yük artarken deformasyonlar artar ve duvardan sıkıştırıcı güçlerin iletiildiği iki köşe bölgesinin alanı haricindeki yerlerde duvar ve çerçeve arasında ayrılmalar oluşur (Şekil 2.41b). Böyle durumlarda tuğla duvar çerçeve içinde, yapı sistemini çok sıkı bağlanmış gibi bir hale dönüştüren diyagonal basınç bandı oluşturur. Duvar içinde çatlaklar oluşurken yanıl rijitlik azalır. Yatay yük arttığında daha fazla çatlaklar oluşur, rijitlik azalır. Diyagonal desteğinde etkisi azalır. Yük daha da artıça çatlaklar ve ayrılmalar artar, duvar kesmede yetersiz kalır ve kolonlarda eğilme meydana gelir.

Bir başka alternatifte göre ise duvar, diyagonal gerilme yerine derz yatağı boyunca oluşan kesme kuvveti yüzünden göçebilir. Bu kırılma sonrası durumda, sistem band sistemi gibi davranır (Şekil 2.41c). Kesme kuvveti çatlağının oluşması paneli iki parçaya ayırır. Böylece etkili kolon yüksekliği yarıya inebilir. Bu durumda göçme mekanizması kolonların esneklik veya kesme kuvveti kapasitesi ile kontrol edilir (Şekil 2.42). Kolonun eğilme kapasitesi yıkılmaya karşı korunma sağlar ancak kesme kuvveti yetersizliği, komşu kolonların aşırı yüklenmesine sebep olur.



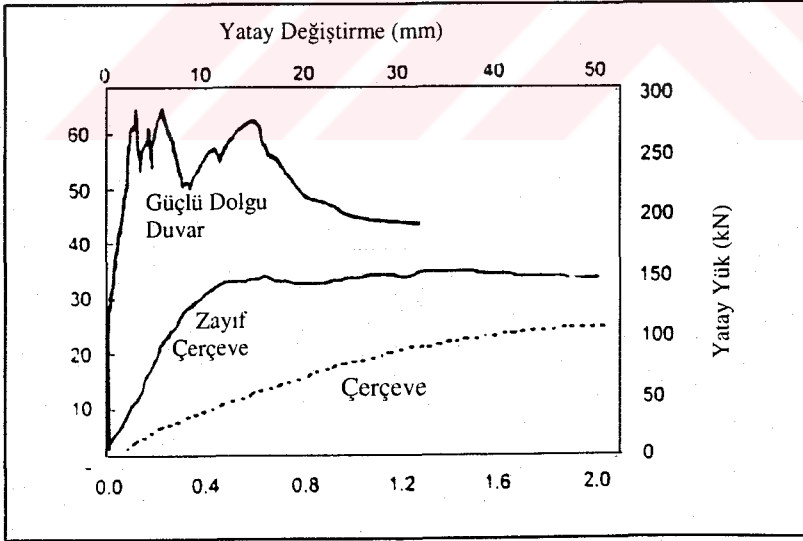
Şekil 2.41 Dolgu Çerçevelerin Yer Değiştirmeleri ve Göçme Durumları

Dolgu betonarme çerçeve yapıların küçük ölçekli testleri bize göstermiştir ki; çok güçlü dolgu durumunda, kolonlar kesme kuvveti açısından yetersiz kalabilir. Araştırmacılara göre, tuğla dolgunun çerçeveye bağlanması, ayrılmaları önler ve yetersizliğin kolonda kesme göçmesi veya eğilme yetersizliği oluşmadan, tuğla duvarın içinde oluşmasını sağlar [41].



Şekil 2.42 Dolgu Duvarlı ve Dolgu Duvarsız Çerçeve Yük - Değişirme Eğrileri

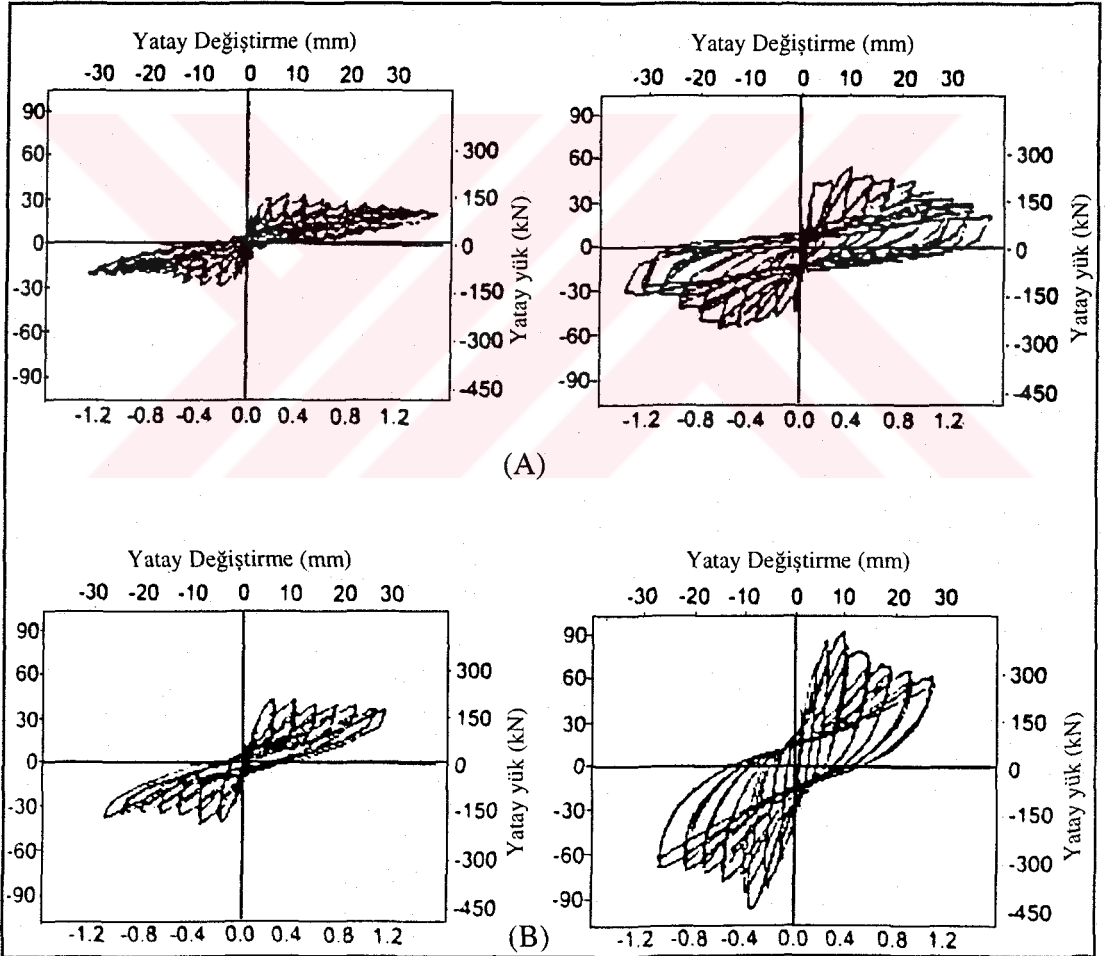
Kayma göçmesi mekanizmasından kaçınmak gerekir. Çünkü bu yarı yüksek dolgu duvar (şekil 2.31) durumuna çok benzer bir durum yaratır. Bu durumlar da, kolonların eğilme momenti kapasitesi değişmediği için, kesme kuvveti göçmesini engellemek için yapılan tasarımlar, plastik momentler arasındaki mesafelerin yarılanması sonucu etkisiz hale getirilebilir (bu yarı yükseklikte oluşan plastik momenttir). Böylece kesme kuvvetleri iki katına çıkarılabilir. Buna ek olarak, plastik momentin kolonun yarı yüksekliğine transfer edilmesi, kolon kapasitesinin bu bölgede yetersiz kalmasına sebep olabilir.



Şekil 2.43 Monotonik Yükleme Altında Dolgu Duvarlı Betonarme Çerçevelerin Yük - Değişirme Eğrileri

Dolgu ve çerçevenin rijitlik farkını kullanarak dolgu duvarlı betonarme çerçevenin davranışıyla ilgili bir araştırmada iki çerçeve örneği dikkate alınmıştır: Söz konusu örneklerden biri, belli bir yatay yüke dayanabilecek şekilde tasarlanan zayıf çerçeve, diğeri de şiddetli deprem yüküne dayanabilecek kuvvetli bir çerçevedir. Bu örneklerin tasarımında dolgu duvar göz ardı edilmiştir. Kuvvetli çerçeve örneğinde, ek olarak,

kirişlerde ve kolonlarda, herhangi bir kesme kuvveti göçmesine engel olmak ve düktil davranışı sağlamak için çapraz donatı kullanılmıştır. İki çeşit tuğla dolgu dikkate alınmıştır: Tuğlalardan biri, boşluklu beton dolgu duvar kullanan zayıf bir dolgu, diğeri ise bağlantıları tamamen harçlanmış sağlam içi dolu beton duvar kullanılan kuvvetli bir dolgudur. Şekil 2.43, tek yönlü yanal yüklemeler altında zayıf ve kuvvetli dolgulu zayıf çerçevelerin yük-deplasman eğrilerini göstermektedir. Görüldüğü üzere; dolgunun katkısı ile dayanım (zayıf dolgu için %50, kuvvetli dolgu için %160) ve rijitlik artar. İlginç olan, kuvvetli dolgu, atalet kuvvetini ve rijitliğini önemli ölçüde artırırken, düktiliteyi azaltmakta çünkü dolgudaki diyagonal çatlamayı kolonlardaki kesme kuvveti göçmesi izlemektedir. Şekil 2.44'teki periyodik test sonuçları bu durumu kanıtlamaktadır. Bu istenmeyen gevrek duruma göre, kuvvetli dolgulu zayıf bir çerçeve tavsiye edilmez. Şekil 2.44'teki yük-çevrim eğrisi iyi enerji yutma özelliklerine sahip istikrarlı bir davranış sergilemektedir. Zayıf dolgularla karşılaştırıldıklarında kuvvetli dolgu çerçeveler, rijitlik kaybına daha sonra ulaşmaktadırlar [8].



Şekil 2.44 A-Zayıf Çerçeve B- Güçlü Çerçeve

2.2.8. DOLGU DUVARLI ÇERÇEVELERİN ANALİZİ

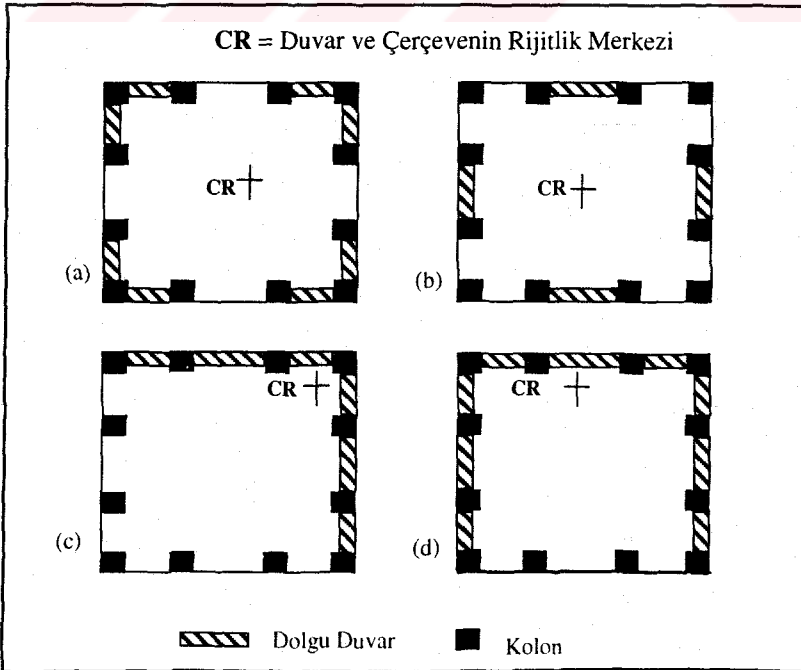
Dolgu duvarlı bir çerçeve analizi, yatay kuvvetlerin binadaki çerçevelere dağılımı ve dağılmış kuvvetler altında her bir çerçevenin analizi olmak üzere iki ana kısımdan oluşmaktadır.

2.2.8.1. YATAY YÜKÜN DAĞILIMI

Yapı analiz metotları, genel olarak dolgu duvarların çerçevenin rijitliğini artırdığı kabul edilerek dolgu duvarlı binalarda rüzgar ve sismik kuvvetlerin, yatay yük direncine sahip elemanlara eşit olarak uygulanması şeklinde kullanılır.

Bu durum, şekil 2.45'de bir binanın değişik kısımlarına dolgu yapılmasıyla oluşan etkiler dikkate alarak gösterilmiştir. Simetrik olarak düzenlenmiş dolgulu çerçeveler yatay yüklere direnç için ideal geometriye sahiptir. Bu duvarlar hem iki ana eksende eşit güce ve burulmaya karşı iyi dirence sahiptirler hem de rijitlik merkezleri merkezde yer aldığından burulma kuvvetlerine neden olmazlar ve uygulanan yatay yüklerin sonucunda yaklaşık olarak çakışır. Böylece yatay yüklerin dolgu çerçevelere dağılımı basit bir şekilde yapılabilir.

Fakat Şekil 2.45c ve 2.45d'de gösterildiği gibi çerçeveler bitişik arazi çizgileri üzerinde dolgu duvarlı ve sokaktaki bina cephesinde cam pencereler varsa bu defa yatay yüklere karşı değişik davranış ortaya çıkacaktır. Şekil 2.45c'de dolgulu çerçeveler çok daha rijit olduğundan birleştirilmiş yapısal sistemin rijitlik merkezi merkezden köşeye doğru kaymıştır. Böylece varolan yatay dışmerkez yüklerden kaynaklanan çok büyük burulma kuvvetleri ortaya çıkar. Ayrıca, etkili olarak artan sismik güçler nedeniyle kombine sistemin titreşiminin doğal periyodu azaltılmış olur. Bu bina planı burulmaya karşı oldukça az dayanıma sahiptir.



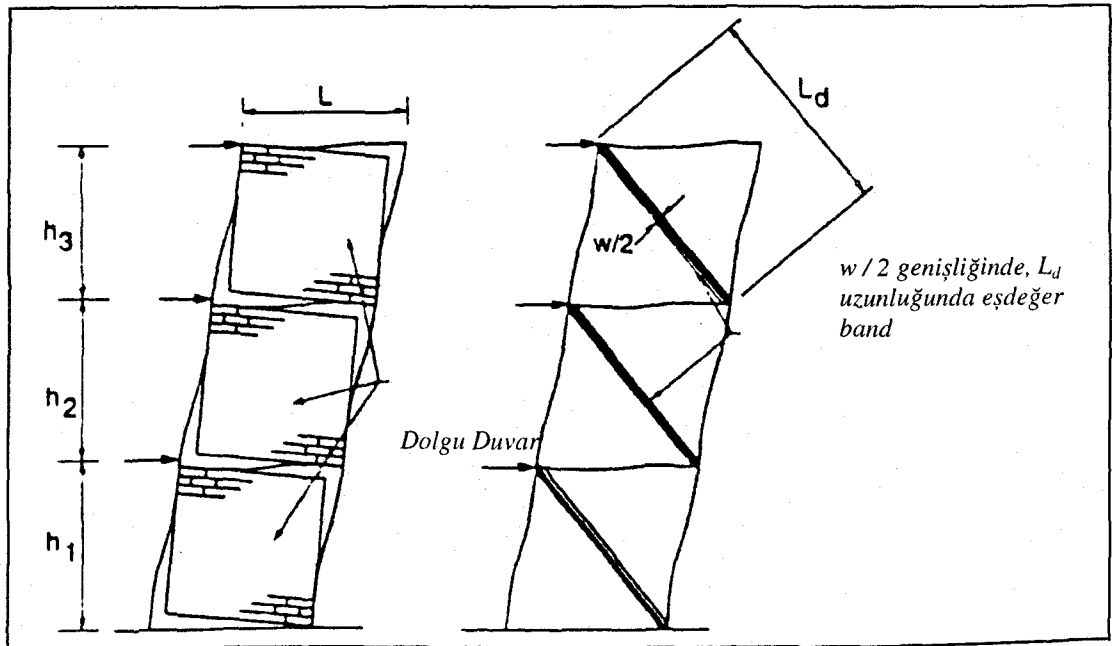
Şekil 2.45 Değişik Konumlardaki Duvarlara Göre Rijitliklerdeki Değişim

Şekil 2.45c'de gösterildiği gibi köşelerinde dolguların olduğu binaların çoğunlukla çöktüğü 1985 Mexico City depreminden (Bina göçmeleri büyük parçalar halinde oluşmuştur) sonra dolgu duvarların rijitliği artırıcı etkilerini dikkate alınması düşünülmüştür. Şekil 2.45d'deki dolgu duvarların konumları Şekil 2.45c'deki durumla aynı büyüklükteki burulma etkilerine maruz kalacaktır. Fakat Şekil 2.45d'deki duvarlar burulmaya karşı daha fazla dayanıma sahiptirler. Çünkü dolgu çerçeveler kombine sistemin rijitlik merkezinden uzağa konulmuştur.

2.2.8.2. ÇERÇEVELERİN ANALİZİ

Dolgu duvarlı çerçeveler için analiz ve tasarım prosedürleri geliştirmek için önemli deneysel ve analitik araştırmalar yapılmıştır. Pratik sınır koşullarının tanımlanmasındaki belirsizlik sebebiyle sonlu elemanlar yöntemi veya elastik teoriyi kullanan karmaşık analizlere olanak tanınmamış, bunun için yüksek değişkenliğe sahip parametreler çokluğuna dayanan yaklaşık analizler olarak kabul edilebilir. Böyle bir durumda kesme-kayma göçmesi engellenmelidir ki yatay hareket ortaya çıkmasına engel olunarak yatay yük taşıma kapasitesi kontrol altına alınmalıdır.

Deprem yükleriyle simüle edilen 2 katlı dolgulu betonarme çerçeveler üzerinde yapılan küçük ölçekli testlere göre diyagonal band kabulü yatay davranışı oldukça kabul edilebilir bir şekilde ortaya çıkarır. Bu metot da, sistem Şekil 2.45a'da gösterildiği gibi dolgu duvar ağ elemanlarının (eşdeğer diyagonal çubukları) sağladığı bir desteklenmiş çerçeve gibi modellenmiştir. Diyagonal bandların geometrik özellikleri duvarla kolonlar arasında ki temasın uzunluğunun (α_h) ve duvarla kirişler arasındaki temasın uzunluğunun (α_L) fonksiyonlarıdır (Şekil 2.47). Panelin uzunluğunun dörtte birinden onda birine kadar olabilen temas uzunlukları belirlenmiştir. Holmes [42] diyagonal çubuğun genişliğinin panelin diyagonal uzunluğunun üçte birine eşit olmasını tavsiye ederken Yeni Zelanda Şartnamesi [43] panel uzunluğunun dörtte birine eşit bir genişliği almaktadır.



Şekil 2.46 Eşdeğer Diyagonal Çubuk Modeli

Kirişlerin, kolonların ve dolgu duvarın göreceli rijitliklerine göre belirlenen α_h ve α_L yi hesaplamak için aşağıdaki denklemler önerilmektedir [20, 44].

$$\alpha_h = \frac{\pi}{2} \sqrt[4]{\frac{4E_f I_c h}{E_m t \sin 2\theta}} \quad (2.3)$$

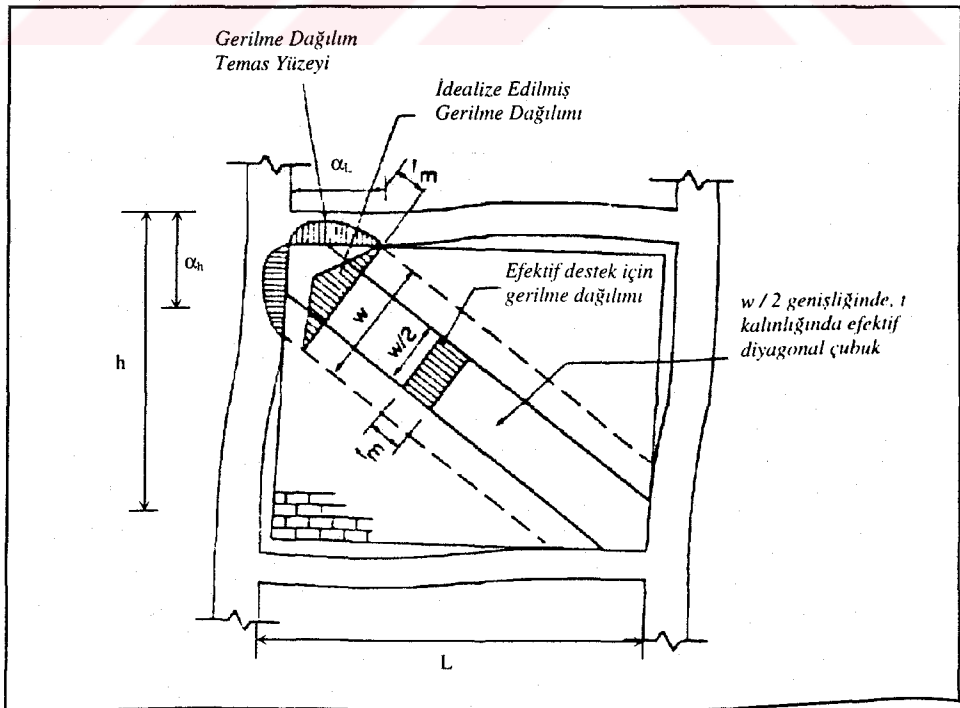
$$\alpha_L = \pi \sqrt[4]{\frac{4E_f I_b h}{E_m t \sin 2\theta}} \quad (2.4)$$

- E_m, E_f = Duvar ve çerçeve malzemesinin elastik modülü
 t, h, L = Dolgu duvarın sırasıyla kalınlığı, yüksekliği ve uzunluğu
 I_c, I_b = Kolonun ve kirişin atalet momentleri
 θ = $\tan^{-1}(h/L)$

Diyagonal çubuğun ' $w/2$ ' genişliği boyunca üçgensel gerilim dağılımı varsayılırsa (Şekil 2.47) eşdeğer diyagonal çubuktaki güç $\frac{1}{2} f_m w t$ 'tir (ortalama basınç gerilmesi f_m maksimum gerilmenin yarısıdır). Hendry [45] eşdeğer veya efektif band genişliğini (w) belirlemek için aşağıdaki denklemi önermiştir:

$$\frac{w}{2} = \frac{1}{2} \sqrt{\alpha_h^2 + \alpha_L^2} \quad (2.5)$$

Diyagonal bantların geometrik ve malzeme özellikleri hesaplandığında dolgu duvarlı çerçevelerde oluşan rijitliği, iç kuvvetleri ve deplasmanları belirlemek için eşdeğer diyagonal çubuk kabulüne dayalı çerçeve analizi kullanılabilir.



Şekil 2.47 Eşdeğer Diyagonal Çubuk

Ancak elastik davranış esas alınarak yapılmış analitik modeller, periyodik yükler altında elastik olmayan histerik karakteristikler oluşturmada başarısız olurlar ve sistemin duktilitesini belirlemede kullanılamazlar. Sonlu elemanlar yöntemi [46] ve plastik mafsal mekanizmasını [47] kullanan elastik olmayan modeller, dolgu çerçevenin inelastik davranışını anlamada ve kuvvet ile duktilitesini belirlemede faydalı olmuşlardır.

2.2.9. DOLGU DUVARLARIN DAYANIMI

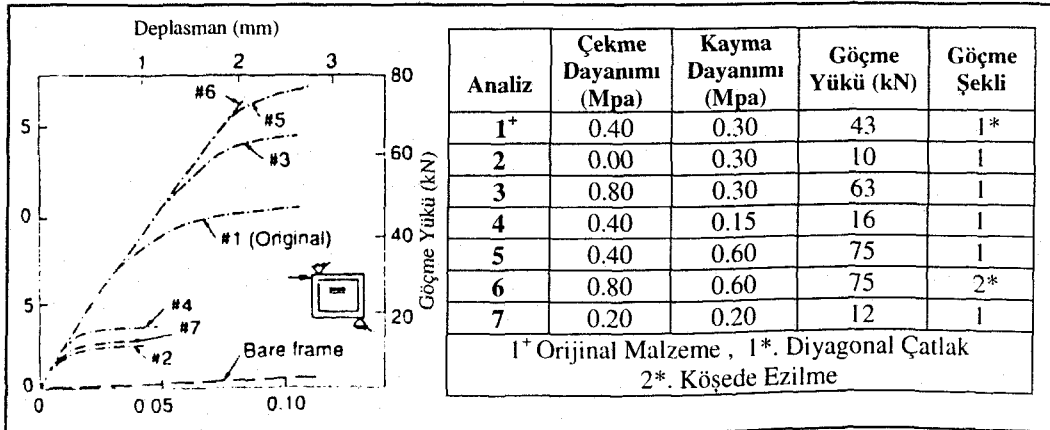
Diyagonal çubuk uçlarında ezilme olasılığına rağmen, Dhanasekar ve Page [48] dolgu duvarın çekme ve kesme kuvvetlerinin etkisinin dolgu çerçevelerin yük kapasitesini ve davranışını kritik biçimde etkilediğini göstermiştir (şekil 2.48)

Duvarın kapasitesini belirlemek için basit ve mantıklı metot; F_h çubuk kuvvetinin yatay bileşenine, dolgu duvarın yatay enkesit alanında derz yatağındaki kesme kuvveti tarafından direnç gösterildiği varsayılmasıdır. Duvarın merkezindeki kesme kuvveti gerilmesi f_v şu şekilde hesaplanır:

$$f_v = \frac{1.5F_h}{A_n} \quad (2.6)$$

Bu ifade duvarın uzunluğu boyunca kesme kuvveti gerilmesinin parabolik dağılımını varsayar. Derz yatağındaki kesme sürtünmesinin ihmal edilmesi sonucu kesme dayanımı 0.35 ile 0.70 MPa arasında değere sahip tuğla duvar ile 0.17 ile 0.35 MPa arası değer alan boşluklu dolgu kuvvetine sahip olan çubuk kuvvetinin düşey bileşeni oluşur.

Derz yatağı boyunca oluşan kesme-kayma göçmesi kolondaki kesme kuvvetinin iki katına çıkarılması ve bu durumda komşu kolonların fazla gerilmeye maruz kalıp, gevrek göçme oluşacağından, tasarımda bu noktalar boyunca kritik kesme dayanımı sağlanmalıdır. Bununla birlikte derz yatağı boyunca düşük kesme kuvveti olduğunda veya tasarımcı duvarın yatay derz boyunca erken göçebileceğini öngördüğünde, dolgu duvarlı çerçevede oluşan bu erken göçme olasılığına karşı yatay derz kabulüne [43,49] dayanan bir analiz yapılmalıdır. Özellikle yüksek sismik bölgeler için dolgu duvar, kesme kuvveti göçmesine karşı güçlendirilmelidir.



Şekil 2.48 Dolgu Duvarların Davranışına Harç Dayanımının Etkisi

3. BULGULAR

3.1. DOLGU DUVARLARIN SAYISAL UYGULAMALARLA YAPI DAVRANIŞINA OLAN ETKİLERİNİN BELİRLENMESİ

3.1.1. DÜZLEMSEL ÇERÇEVE ÖRNEKLERİ

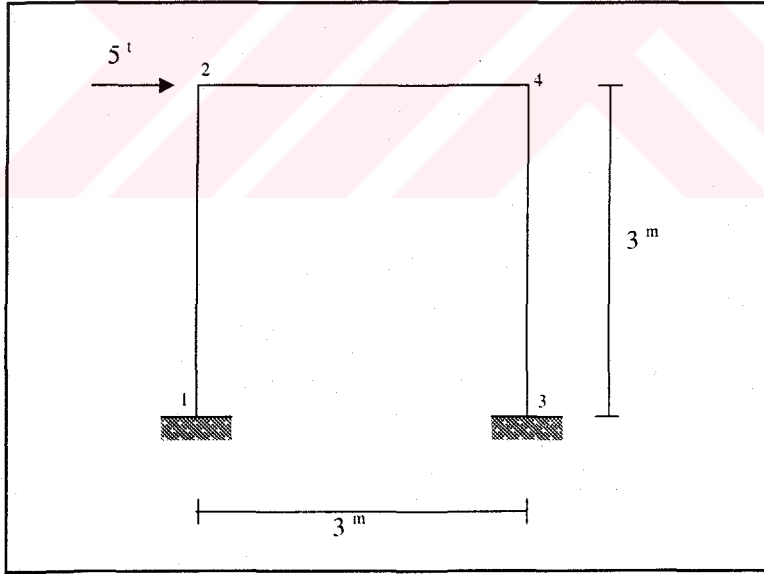
Örnek 3.1 YÜK DEĞİŞTİRME ve YÜK DEĞİŞİMLERİNİN BELİRLENMESİ

Şekil 3.1'de görülen tek açıklıklı düzlemsel çerçeveye 5t yatay yük etkimektedir.

- A) Basit Çerçeve durumuna göre gerekli analizi yapınız. Çerçeve arasının dolgu duvarlı olduğu duruma göre analizi tekrarlayarak düğüm noktalarında oluşacak deplasmanları, dolgu duvarın elastisite modülündeki değişimlerinde dikkate alarak karşılaştırınız.

Çerçeve

Kolon : 25x30 cm
Kiriş : 25x30 cm
Elastisite Modülü, E_f : 2000000 t/m²



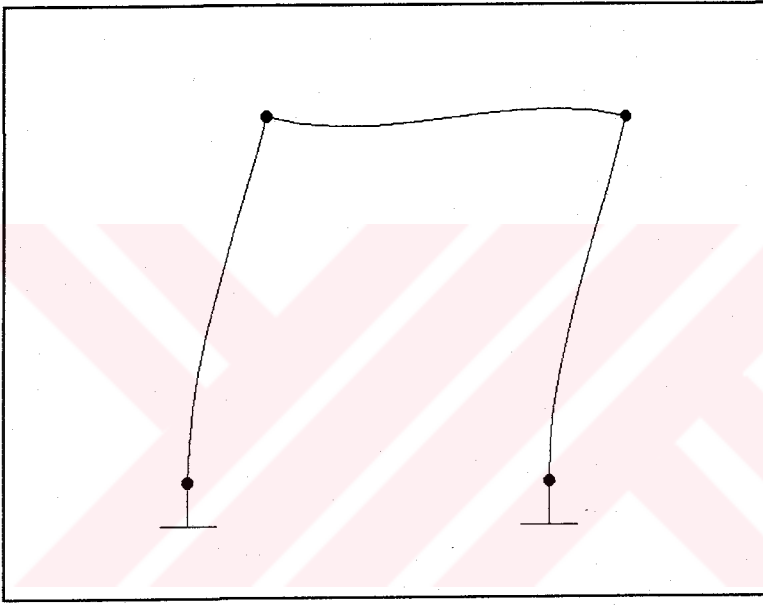
Şekil 3.1 Tek Açıklıklı Düzlemsel Çerçeve

Çözüm : (Basit Çerçeve)

SAP2000 Yapı Analiz Programıyla yapılan analiz sonucu yatay yük altında yük değiştirme değerleri ve elastik eğri aşağıda verilmiştir.

Tablo 3.1 Basit Çerçevede Yatay Yük Etkisinde Oluşan Deplasmanlar

Düğüm Noktası	X Yönünde Yer Değiştirme (cm)
1	-
2	0.74
3	0.74
4	-



Şekil 3.2 Yatay Yükün Etkimesi Sonucu Çerçevenin Elastik Eğrisi

Çerçeve arasında dolgu duvarın olması durumunda;

Çözüm : (Dolgu Duvarlı Çerçeve)

Dolgu duvarın analize dahil edilmesi için modellenmesi gerekmektedir. Dolgu duvar, açıklanan metot gereğince iki ucu mafsal çubuk olarak modellenecektir. Basınç çubuğunun genişliği, eşdeğer diyagonal çubuk genişliği hesabında belirlenecektir. Kalınlık ise, tuğlanın kalınlığı alınacaktır. Elastisite modülü tuğlanın yapım kalitesine göre değiştiğinden farklı değerler alabilmektedir. Bu nedenle, elastisite modülünde değişiklikler yaparak çerçevede oluşacak deplasman değişimleri görülebilecektir.

A) Eşdeğer diyagonal çubuk genişliği hesabı:

Elastisite Modülü, bant genişliğini etkilediğinden, $E=100000 \text{ t/m}^2$, $E=250000 \text{ t/m}^2$ ve $E_m=500000 \text{ t/m}^2$ değerleri için genişlik hesabı yapılacaktır.

$E_m=500000 \text{ t/m}^2$ için;

$$\theta = \tan^{-1} \frac{h}{L} = \tan^{-1} \frac{3}{3} = 50^\circ \quad t = 0.19 \text{ m} \quad b=0.25 \text{ m} \quad h=0.30 \text{ m}$$

$$I_c = \frac{b \cdot h^3}{12} = \frac{0.25 \cdot 0.30^3}{12} = 5.62 \cdot 10^{-4}$$

Denklem 2.3' ten

$$\alpha_h = \frac{\pi}{2} \sqrt[4]{\frac{4E_f I_c h}{E_m t \sin 2\theta}} = \frac{3.14}{2} \sqrt[4]{\frac{4 \cdot 2000000 \cdot 5.62 \cdot 10^{-4} \cdot 3}{500000 \cdot 0.19 \cdot \sin 100}} = 0.96 \text{ m}$$

Denklem 2.4'ten

$$\alpha_L = \pi \sqrt[4]{\frac{4E_f I_b h}{E_m t \sin 2\theta}} = 3.14 \sqrt[4]{\frac{4 \cdot 2000000 \cdot 5.62 \cdot 10^{-4} \cdot 3}{500000 \cdot 0.19 \cdot \sin 100}} = 1.92 \text{ m}$$

Denklem 2.5'i kullanarak diyagonal bant genişliği

$$\frac{w}{2} = \frac{1}{2} \sqrt{\alpha_h^2 + \alpha_L^2} = \frac{1}{2} \sqrt{0.96^2 + 1.92^2} = 1.1 \text{ m}$$

Diyagonal bandın uzunluğu $L_d = \sqrt{h^2 + L^2} = \sqrt{3^2 + 3^2} = 4.242 \text{ m}$ ve

Diyagonal bant genişliğinin dolgu uzunluğuna oranı $\frac{w/2}{L_d} = \frac{1.1}{4.242} = 0.25$ bulunur.

Aynı yöntem uygulanarak, gerekli işlemler yapılırsa,

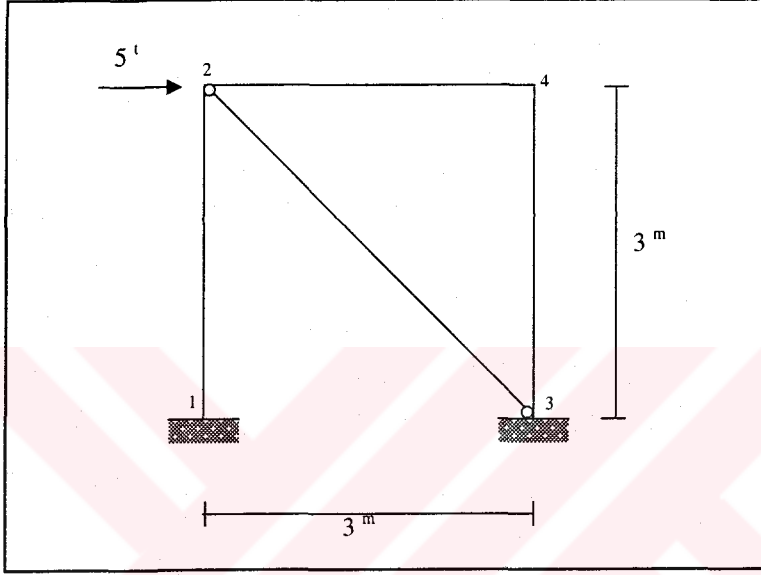
$E=250000 \text{ t/m}^2$ için diyagonal bant genişliği : $w/2=1.3 \text{ m}$
 $E=100000 \text{ t/m}^2$ için diyagonal bant genişliği : $w/2=1.6 \text{ m}$

değerleri bulunacaktır.

Tuğla : (Eşdeğer Diyagonal Çubuk)

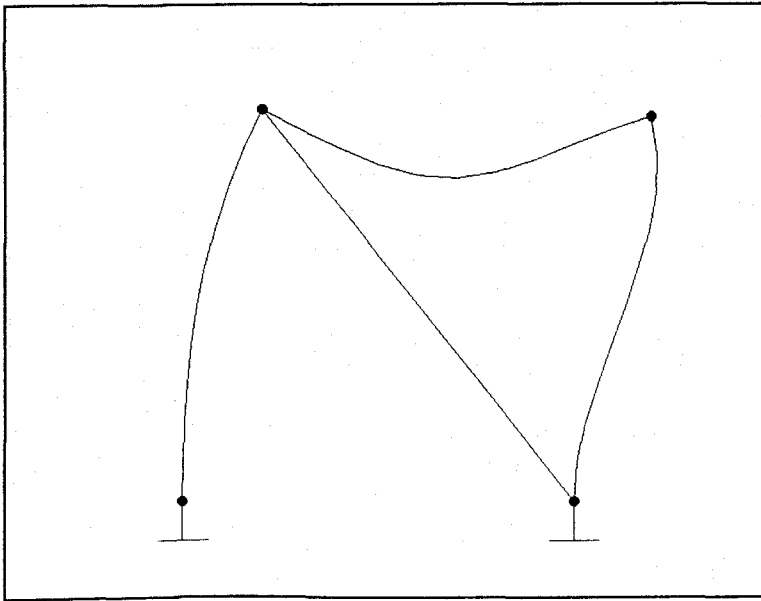
Genişlik : 1.1 m / 1.3 m / 1.6 m
 Kalınlık, t : 0.19 m
 Elastisite Modülleri, E_m : 100000 t/m² / 250000 t/m² / 500000 t/m² alınacaktır.

Dolgu duvarın modellenmesi Şekil 3.3'te gösterilmiştir.



Şekil 3.3 Dolgu Duvarın İki Ucu Mafsal Çubuk Olarak Modellenmesi

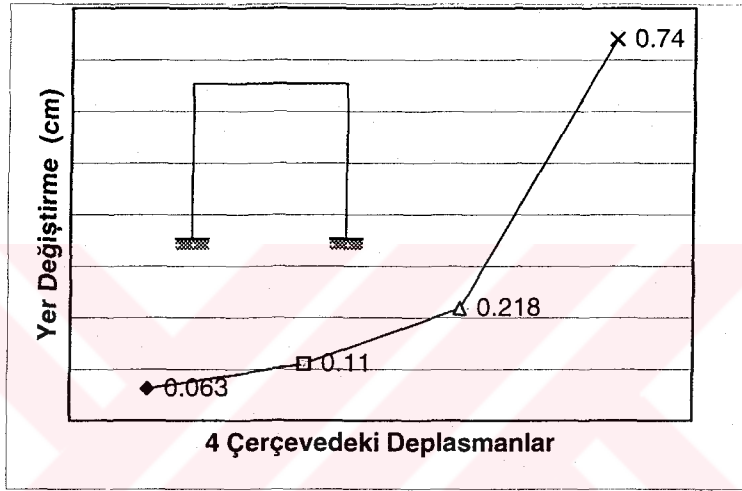
Analizler sonucunda elde edilen elastik eğri Şekil 3.4'te ve yer değiştirme değerleri tablo 3.2'de verilmiştir.



Şekil 3.4 Yatay Yükin Etkimesi Sonucu Dolgu Duvarlı Çerçevenin Elastik Eğrisi

Tablo 3.2 Basit ve Dolgu Duvarlı Çerçeve Elde Edilen Yer Değişimleri

X YÖNÜNDE YER DEĞİŞTİRMELER (cm)				
Düğüm Noktası	Dolgu E=100000 t/m ²	Dolgu E=250000 t/m ²	Dolgu E=500000 t/m ²	Basit Çerçeve
1	-	-	-	-
2	0.218	0.11	0.063	0.74
3	0.218	0.11	0.063	0.74
4	-	-	-	-



Şekil 3.5 Dolgu Duvarlı Çerçeveler ve Basit Çerçevadaki Deplasmanlar

Dolgu duvarın, çerçeve davranışını değiştirdiği açıkça görülmektedir.

- B) Basit çerçevedeki yatay yük sonucu oluşan deplasmanları dolgu duvarda elde edilen yer değiştirmelere eşitlemek için gerekli yük değişikliklerini yapınız.

Basit çerçevede yapılan gerekli yatay yük değişiklikleri sonucu bulunan yük değerleri ve yük oranları tablo 3.3'te verilmiştir.

Tablo 3.3 Basit Çerçeve ve Dolgu Duvarlı Çerçevelerde Deplasmanların Eşitlenmesiyle Yük Değişimlerini Belirleme

	Deplasman (cm)	Yük (t)
Basit Çerçeve	0.218	1.45
Dolgulu Çerçeve E=100000 t/m ²	0.218	5.00
Dolgulu Çerçeve E=250000 t/m ²	0.218	9.80
Dolgulu Çerçeve E=500000 t/m ²	0.218	16.8

- C) Basit çerçevedeki kolonların b genişliği sabit tutulmak üzere, h yüksekliğini değiştirerek dolgu duvarlı çerçevelerde bulunan deplasmanlarla basit çerçevedeki deplasmanları eşitleyiniz.

Tek açıklıklı çerçevede yatay yük nedeniyle oluşan yer değiştirmeler belirlenmişti. Çerçevede bulunan iki kolonun genişliği sabit tutulmak üzere yüksekliğinde yapılan değişikliklerle 5t yatay yük sonucu çerçevede oluşan yer değiştirmeleri üç elastisite modülü için analizleri yapılan dolgu duvarlı çerçevelerin deplasmanlarına eşitlemek için gerekli kesit değişiklikleri ve oranları tablo 3.4'te gösterilmiştir.

Tablo 3.4 *Kolonun h yüksekliğinin Değişimlerine Bağlı Olarak Çerçeve Deplasmanlarının Dolgu Duvar Deplasmanlarına Eşitlenmesi*

	Kesit $b \times h$ (cm^2)	Atalet Momenti (cm^4)	Yer Değiştirme (cm)	Rijitlik oranı
Basit Çerçeve	25x30	56250	0.74	
Basit Çerçeve	25x55	346614	0.218	1/6
E=100000 t/m² - Dolgulu Çerçeve	-		0.218	
Basit Çerçeve	25x75	878906	0.11	1/15
E=250000 t/m² - Dolgulu Çerçeve	-		0.11	
Basit Çerçeve	25x95	1786198	0.063	1/30
E=500000 t/m² - Dolgulu Çerçeve	-		0.063	

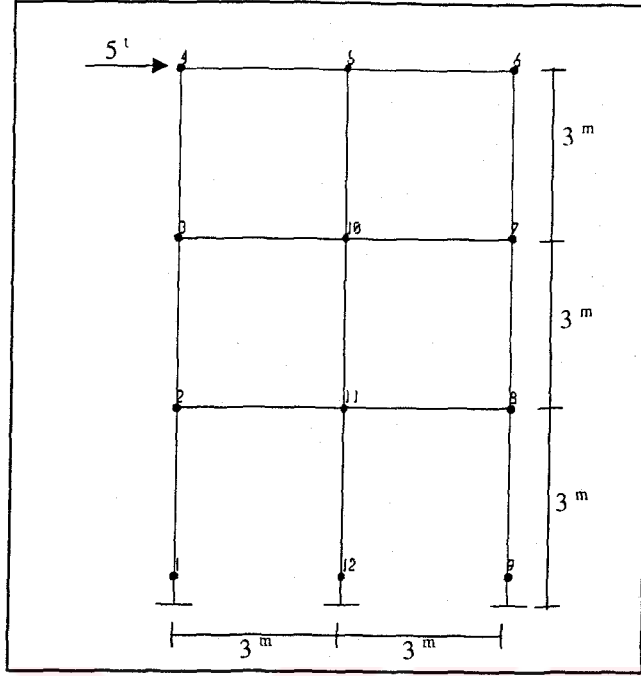
Örnek 3.2 *YER DEĞİŞTİRME ve YÜK DEĞİŞİMLERİNİN BELİRLENMESİ*

Şekil 3.6'da görülen iki açıklıklı düzlemsel çerçeveye 5t yatay yük etkimektedir.

- A) Basit Çerçeve durumuna göre gerekli analizi yapınız. Çerçeve arasının dolgu duvarlı olduğu duruma göre analizi tekrarlayarak düğüm noktalarında oluşacak deplasmanları, dolgu duvarın elastisite modülündeki değişimleri de dikkate alarak karşılaştırınız.

Çerçeve

Kolon : 25x30 cm
 Kiriş : 25x30 cm
 Elastisite Modülü, E_f : 2000000 t/m²



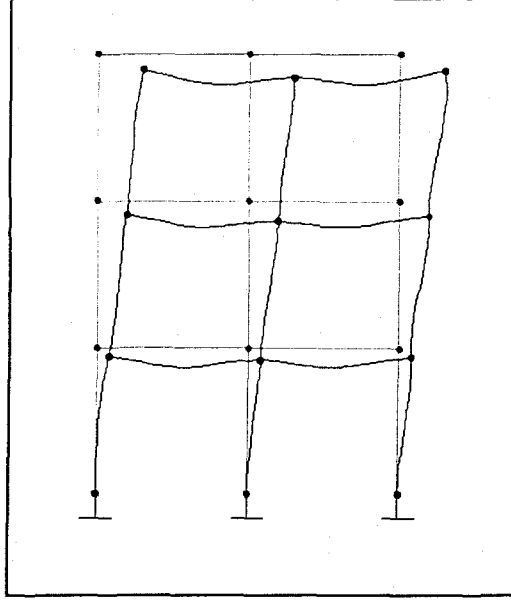
Şekil 3.6 İki Açıklıklı Düzlemsel Çerçeve

Çözüm : (Basit Çerçeve)

SAP2000 Yapı Analiz Programıyla yapılan analiz sonucu yatay yük altında x yönündeki yer değiştirme değerleri ve elastik eğri aşağıda verilmiştir.

Tablo 3.5 Kolonun h yüksekliğinin Değişimlerine Bağlı Olarak Çerçeve Deplasmanlarının Dolgu Duvar Deplasmanlarına Eşitlenmesi

Düğüm Noktası	X Yönünde Yer Değiştirme (cm)
1	-
2	0.59
3	1.46
4	2.23
5	2.23
6	2.23
7	1.46
8	0.59
9	-
10	1.46
11	0.59
12	-



Şekil 3.7 Yatay Yükün Etkimesi Sonucu Dolgu Duvarlı Çerçevenin Elastik Eğrisi

Çerçeve arasında dolgu duvarların olması durumunda;

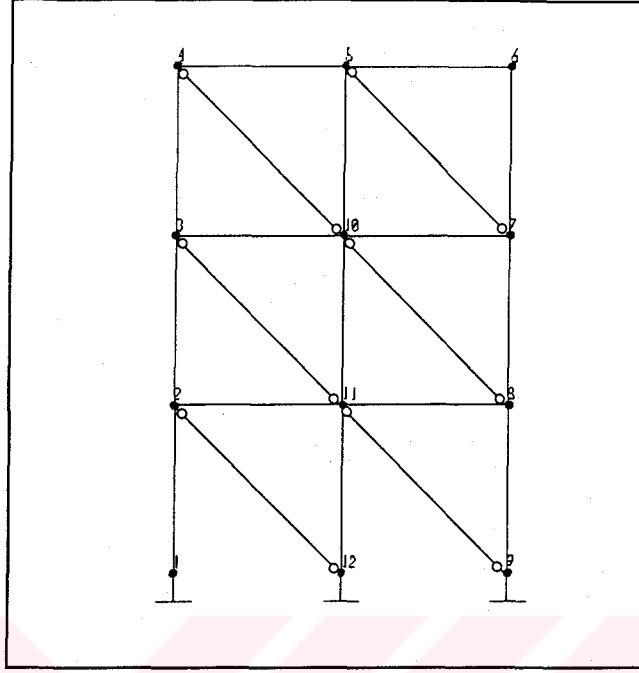
Çözüm : (Dolgu Duvarlı Çerçeve)

Dolgu duvarın analize dahil edilmesi için modellenmesi gerekmektedir. Dolgu duvar, öncelikle açıklanan metot gereğince iki ucu mafsallı çubuk olarak modellenecektir. Basınç çubuğunun genişliği, eşdeğer diyagonal çubuk genişliği hesabında belirlenecektir. Kalınlık ise, tuğlanın kalınlığına eşit alınacaktır. Elastisite modülü tuğlanın yapım kalitesine göre değiştiğinden farklı değerler alabilmektedir. Bu nedenle, elastisite modülünde değişiklikler yaparak çerçevede oluşacak deplasman değişimleri görülebilecektir.

Tuğla : (Eşdeğer Diyagonal Çubuk)

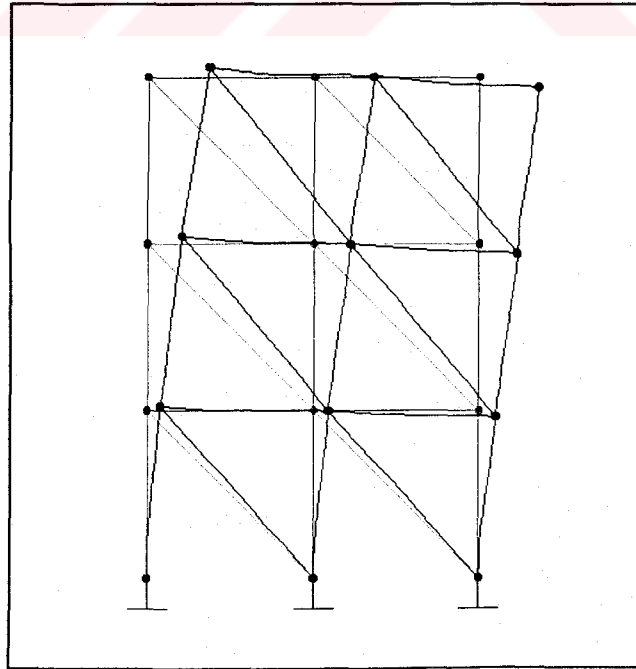
Genişlik : 1.1 m / 1.3 m / 1.6 m (örnek 3.1'den)
 Kalınlık, t : 0.19 m
 Elastisite Modülleri, E_m : 100000 t/m² / 250000 t/m² / 500000 t/m² alınacaktır.

Dolgu duvarın modellenmesi Şekil 3.8'de gösterilmiştir.



Şekil 3.8 Dolgu Duvarın İki Ucu Mafsallı Çubuk Olarak Modellenmesi

Analiz sonucunda elde edilen elastik eğri Şekil 3.9'da gösterilmiştir.

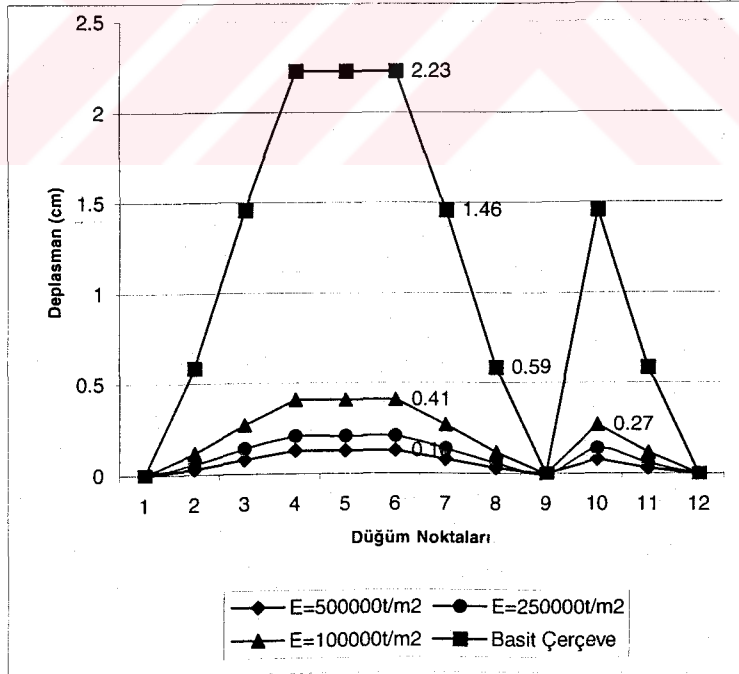


Şekil 3.9 Yatay Yükleme Sonucu Dolgu Duvarlı Çerçevenin Elastik Eğri

Dolgu duvarın elastisite modülünün 100000 t/m^2 , 250000 t/m^2 ve 500000 t/m^2 olduğunda dolgu duvarlı çerçevelerin deplasman değerleri Tablo 3.6'da ve Şekil 3.10'da grafik olarak verilmiştir.

Tablo 3.6 Değişik Elastik Modülleri İçin Dolgu Duvarlı Çerçevelerin ve Basit Çerçevenin Yer Değiştirme Değerleri (X doğrultusu)

Düğüm Noktası	Dolgu Duvarlı Çerçeve $E=500000 \text{ t/m}^2$	Dolgu Duvarlı Çerçeve $E=250000 \text{ t/m}^2$	Dolgu Duvarlı Çerçeve $E=100000 \text{ t/m}^2$	Basit Çerçeve
1	-	-	-	-
2	0.03	0.06	0.12	0.59
3	0.08	0.14	0.27	1.46
4	0.13	0.21	0.41	2.23
5	0.13	0.21	0.41	2.23
6	0.13	0.21	0.41	2.23
7	0.08	0.14	0.27	1.46
8	0.03	0.06	0.12	0.59
9	-	-	-	-
10	0.08	0.14	0.27	1.46
11	0.03	0.06	0.12	0.59
12	-	-	-	-



Şekil 3.10 Değişik Elastik Modülleri İçin Dolgu Duvarlı Çerçevelerin ve Basit Çerçevenin Yer Değiştirme Değerleri (X doğrultusu)

- B) Basit çerçevedeki yatay yük sonucu oluşan yer değiştirmeleri dolgu duvarda elde edilen deplasmanlara eşitlemek için gerekli yük değişikliklerini yapınız.

Dolgu duvarlarda oluşan deplasman değerlerine ulaşmak için basit çerçeveye değişik yatay yük değerleri verilmiştir. Sonuç olarak, dolgu duvarlarda oluşan yer değiştirme değerlerine ulaşılmıştır. Bu yük değerleri tablo 3.7'de gösterilmiştir.

Tablo 3.7 Basit Çerçeve ve Dolgu Duvarlı Çerçevelerde Yer Değiştirmelerin Eşitlenmesi İçin Gerekli Yük Değişimlerini Belirleme

	Deplasman (cm) 2-8-11 noktaları	Deplasman (cm) 3-7-10 noktaları	Deplasman (cm) 4-5-6 noktaları	Yük (t)
Basit Çerçeve	0.12	0.27	0.41	1.00
Dolgulu Çerçeve $E=100000 \text{ t/m}^2$	0.12	0.27	0.41	5.00
Dolgulu Çerçeve $E=250000 \text{ t/m}^2$	0.12	0.27	0.41	10.0
Dolgulu Çerçeve $E=500000 \text{ t/m}^2$	0.12	0.27	0.41	15.0

Örnek 3.3 DOLGU DUVARLI ÇERÇEVENİN RİJİTLİK ANALİZİ

Betonarme Çerçevede dolgu duvar olması durumunda Şekil 3.11a'da gösterilen çerçevenin rijitliğindeki değişmeyi belirleyiniz.

Dolgu duvar :

$$\text{Kalınlık } t = 140 \text{ mm}$$

$$\text{Elastik Modül } E_m = 13800 \text{ MPa}$$

Çerçeve :

Kiriş ve kolonların alanı,

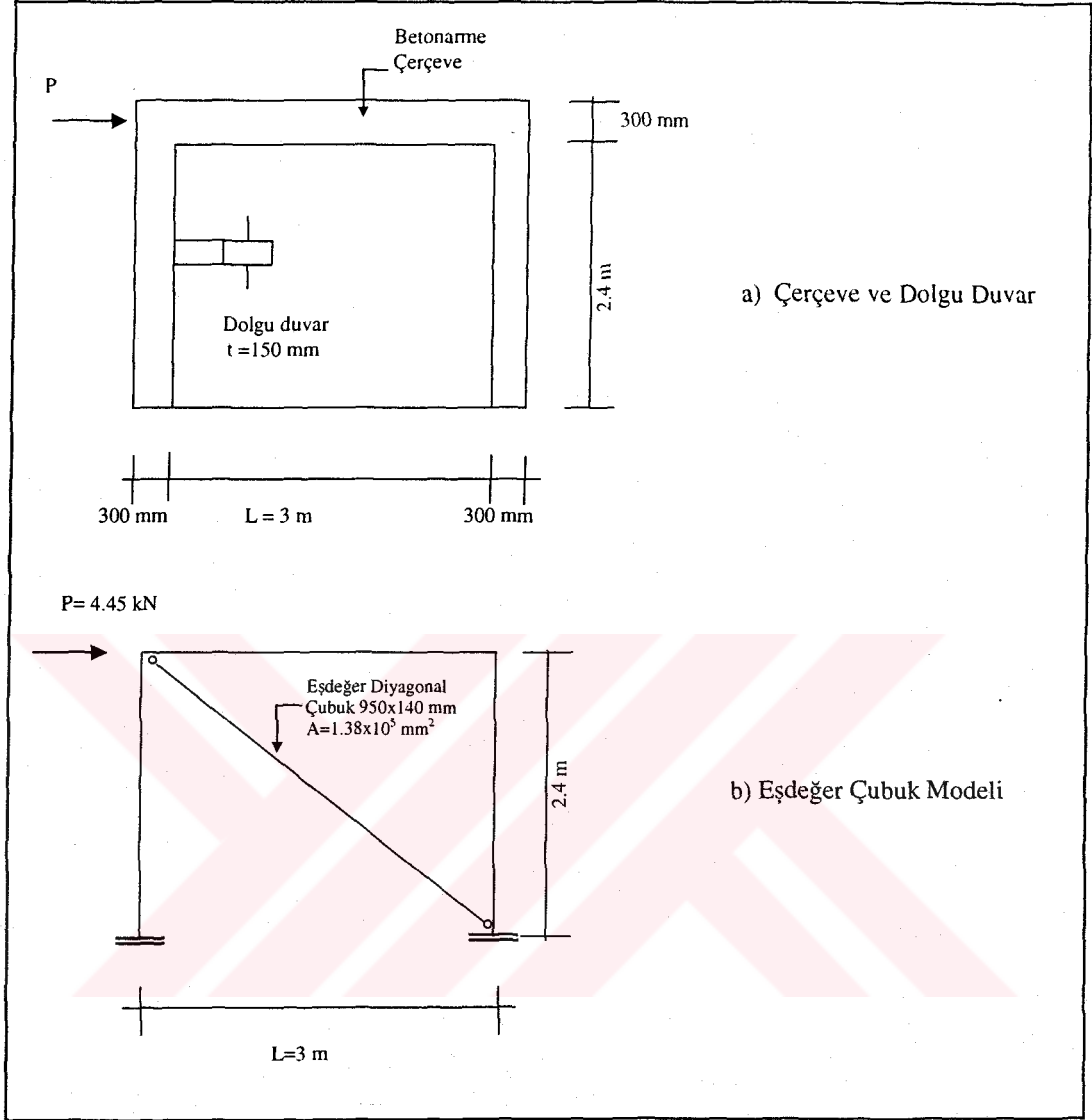
$$A_b = A_c = 300 \cdot 300 = 90000 \text{ mm}^2$$

Kiriş ve kolonların atalet momenti,

$$I_b = I_c = \frac{b \cdot h^3}{12} = \frac{300 \cdot 300^3}{12} = 6.75 \cdot 10^8 \text{ mm}^4$$

Elastik Modüller,

$$E_f = 20700 \text{ MPa}$$



Şekil 3.11 Dolgu Duvarlı Çerçevenin Modellenmesi

Çözüm:

A)

Eşdeğer diyagonal bant genişliği hesabı

$$\theta = \tan^{-1} \frac{h}{L} = \tan^{-1} \frac{2.4}{3} = 38.65^\circ$$

Denklem 2.3' ten

$$\alpha_h = \frac{\pi}{2} \sqrt[4]{\frac{4E_f I_c h}{E_m t \sin 2\theta}} = \frac{3.14}{2} \sqrt[4]{\frac{4 \cdot 20700 \cdot 6.75 \cdot 10^8 \cdot 2400}{13800 \cdot 140 \cdot \sin 77.3}} = 0.811 \text{ m}$$

Denklem 2.4'ten

$$\alpha_L = \pi \cdot \sqrt[4]{\frac{4E_f I_b h}{E_m t \sin 2\theta}} = 3.14 \cdot \sqrt[4]{\frac{4 \cdot 20700 \cdot 6.75 \cdot 10^8 \cdot 2400}{13800 \cdot 140 \cdot \sin 77.3}} = 1.716 \text{ m}$$

[Yatay temas uzunluğu dolgu uzunluğunun 0.57 katı bulunmuştur. Smith [20] temas uzunluğu için yarısı kadarını önermiştir.]

Denklem 2.5'i kullanarak diyagonal bant genişliği (Şekil 3.2)

$$\frac{w}{2} = \frac{1}{2} \sqrt{\alpha_h^2 + \alpha_L^2} = \frac{1}{2} \sqrt{0.811^2 + 1.716^2} = 949 \text{ mm}$$

Diyagonal çubuğun uzunluğu $L_d = \sqrt{h^2 + L^2} = \sqrt{2.4^2 + 3^2} = 3840 \text{ mm}$ ve

Diyagonal çubuk genişliğinin dolgu uzunluğuna oranı $\frac{w/2}{L_d} = \frac{949}{3840} = 0.247$ dir.

Yeni Zelanda Şartnamesinde bu oran 1 / 4'e yakın olarak verilmiştir [43].

Diyagonal band alanı, $A_d = 38 \cdot 5.625 = 132860 \text{ mm}^2$

(B)

Yapı analiz metotları kullanarak veya dolguları diyagonal bandlı yada bandsız alan düzlem çerçeve bilgisayar programlarıyla yapılan çerçeve modeli Şekil 3.1'de gösterilmiştir (Şekil 3.11b).

Diyagonal çubuk yoksa;

4.45 kN yatay kuvvet için $\Delta_{yatay} = 0.33 \text{ mm}$

- Rijitlik, $k_f = \frac{P}{\Delta} = \frac{4.45}{0.33} = 13.5 \text{ kN/mm}$

Diyagonal çubuk varsa;

4.45 kN yatay kuvvet için $\Delta_{yatay} = 0.018 \text{ mm}$

- Rijitlik, $k_m = \frac{P}{\Delta} = \frac{4.45}{0.018} = 247.2 \text{ kN/mm}$

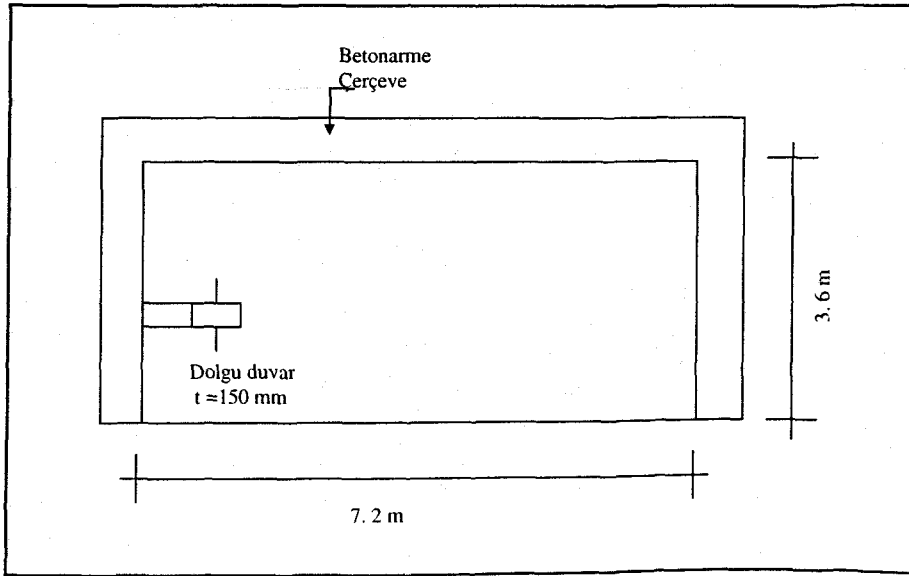
$$\text{Rijitlik oranı, } \frac{k_m}{k_f} = \frac{247.2}{13.5} \cong 18$$

Dolgu duvar, çerçevenin rijitliğini 18 kat artırmaktadır. Bu durum çerçevedeki yanal yükleri karşılamakta dolgu duvarların ne kadar önemli olduğunu ve tasarımlarda dolgu duvarların dikkate alınması gerektiğini açıkça göstermektedir.

Örnek 3.4 DOLGU DUVARIN YATAY YÜK DİRENCİNİN BULUNMASI

7.2 m uzunluğunda 3.6 m yüksekliğinde bir betonarme çerçeve 150 mm genişliğinde boşluklu blok duvar ile dolduruluyor. Toplam yatay yük direncini dolgu duvarın sağlayacağı varsayılarak dolgu duvarlı çerçevenin taşıyabileceği maksimum servis yükünü belirleyiniz.

$$f'_m = 10.4 \text{ MPa}$$



Şekil 3.12 Dolgu Duvarlı Betonarme Çerçeve

Çözüm:

Dolgu duvarın yük taşıma kapasitesi panelin merkezindeki kesme kuvveti direnciyle belirlenecektir. *Denklem 2.6'* da gösterildiği gibi uygulanan kesme kuvveti gerilmesi

$$f_v = 1.5 \frac{F_h}{A_n}$$

Dolgu duvarın karşılayabileceği maksimum kesme kuvveti gerilmesi, f_v , (derz boyunca kesme kaymasına bağlı olarak)

$$0.225 + 0.45 \cdot \frac{F_v + W/2}{A_n} = 1.5 \cdot \frac{F_h}{A_n}$$

F_v = Eşdeğer çubuk kuvvetinin düşey bileşenidir. $W/2$ dolgu duvarın üst yarısının ağırlığıdır. m^2 ye gelen $1700 N$ ağırlık için dolgu duvarın üst yarısının ağırlığı;

$$\text{Dolgu duvarın üst yarısının alanı } \frac{W}{2} = 1700 \cdot \frac{7.2 \cdot 3.6}{2} = 22000 N$$

Dolgunun uzunluk-yükseklik oranı $7200/3600 = 2 \Rightarrow F_h = 2 \cdot f_v$ olur.

150 mm kalınlığındaki dolgu duvarın harç yüzünün kalınlığı 25 mm, Bunun sonucunda etkili net alan

$$A_n = 2 \cdot 7200 \cdot 25 = 360000 \text{ mm}^2$$

Böylece, dolgu duvarın yatay yük dayanımı

$$0.225 + 0.45 \cdot \frac{F_v + W/2}{A_n} = 1.5 \cdot \frac{F_h}{A_n} = 0.225 + 0.45 \cdot \frac{0.5F_h + 22000}{360000} = 1.5 \cdot \frac{F_h}{360000}$$

$F_h = 79800 N$ bulunur.

79800 N yatay yük için kesme gerilmesi

$$\frac{F_h}{A_n} = \frac{79800}{360000} = 0.21 \text{ MPa}$$

Diyagonal çekmeden oluşabilecek göçme durumundan korunabilmek için, uygulanan kesme gerilmesi $0.125\sqrt{f'_m}$ 'i aşmamalıdır.

$$0.125\sqrt{f'_m} = 0.125\sqrt{10.4} = 0.4 \text{ MPa}$$

$$0.21 \text{ MPa} < 0.4 \text{ MPa} \text{ Ok.}$$

Böylelikle eşdeğer çubuğun kapasitesi, kesme kuvvetinden oluşacak kaymaya karşı kontrol edilmiştir.

Çubuktaki basınç gerilmesi de kontrol edilmelidir:

$$P = \sqrt{(F_h)^2 + (0.5F_h)^2} = \sqrt{(79800)^2 + (39900)^2} = 89219 \text{ N}$$

çubuğun etkili genişliğinin, uzunluğunun 1/4'ü olduğunu varsayarsak;

$$1/4\sqrt{(3600)^2 + (7200)^2} = 2010 \text{ mm}$$

Çubuğun Basınç Gerilmesi;

$$\frac{89219}{2 \cdot 25 \cdot 2010} = 0.89 \text{ MPa}$$

Gerilmenin $0.1f'_m$ den küçük olması çubuğun uçlarında bölgesel çatlama ve burkulmanın oluşmasını önler.

Çerçeve kirişinin tabanına sıkıca donatı ve dolgu kullanmak, basınç desteğinin duvarın geri kalanından ayrılıp kopmasına engel olur ve burkulmaya karşı direnci önemli ölçüde artırır.

3.1.2. 5 KATLI ÖRNEK YAPI ANALİZİ

Analizleri yapılan düzlemsel çerçeve örnekleri, dolgu duvarın, çerçevenin rijitliğine olan katkısını göstermiştir. Bu etkileri, bir yapıda daha kapsamlı olarak göstermek adına x ve y yönünde 4 açıklıklı 5 katlı bir yapı seçilmiştir (şekil 3.13). Sistemin simetrik seçilmesiyle duvar etkisinin net bir biçimde ortaya çıkarılması amaçlanmıştır.

Analizler, sap2000 ve sta4cad yapı analiz programlarıyla yapılmıştır. Dolgu duvarın modellenmesinde eşdeğer diyagonal çubuk modeli kabulü yapılmasına karşın sta4cad'te panel olarak çözümlenmeleri de yapılmıştır. Böylece duvarın, değişik modelleme biçimleri arasında, davranış olarak bir kıyaslama imkanı sağlanmıştır.

Duvarın çerçeveye olan rijitlik katkısı Örnek 3.3'te belirlenmişti. Dolgu duvarın rijitlikte yaptığı artışı duvarın bulunduğu akstaki kolonlara yansıtılması sap2000 ve sta4cad'te yapılan analizlerle belirlenmiştir. Ayrıca İki kolon arasında bulunan dolgu duvar, rijitliğine bağlı kalmak koşuluyla kolon olarak modellenip hesaplarda yer almıştır.

Çözümlenelerde ilk olarak, seçilen yapının bitişik nizam olarak inşa edildiği ve bu nedenle yapının tek tarafındaki çerçevelerin arasının tamamen dolgu duvarla örüldüğü kabul edilmiştir. Dolgu duvarın çerçeve davranışına olan etkileri göstermek için bina öncelikle basit çerçeve olarak çözülmüş, daha sonra duvarın modellenerek analize dahil edilmesiyle analiz tekrarlanmıştır. Ayrıca, yapının 1. katındaki dolgu duvarlar kaldırılarak yapıdaki yumuşak kat oluşumunun etkileri verilmiştir. Son olarak, yapılan tüm analizler karşılaştırılarak duvarın çerçeveye etkisi ve nasıl modellendirilmesi gerektiği ortaya çıkarılmıştır.

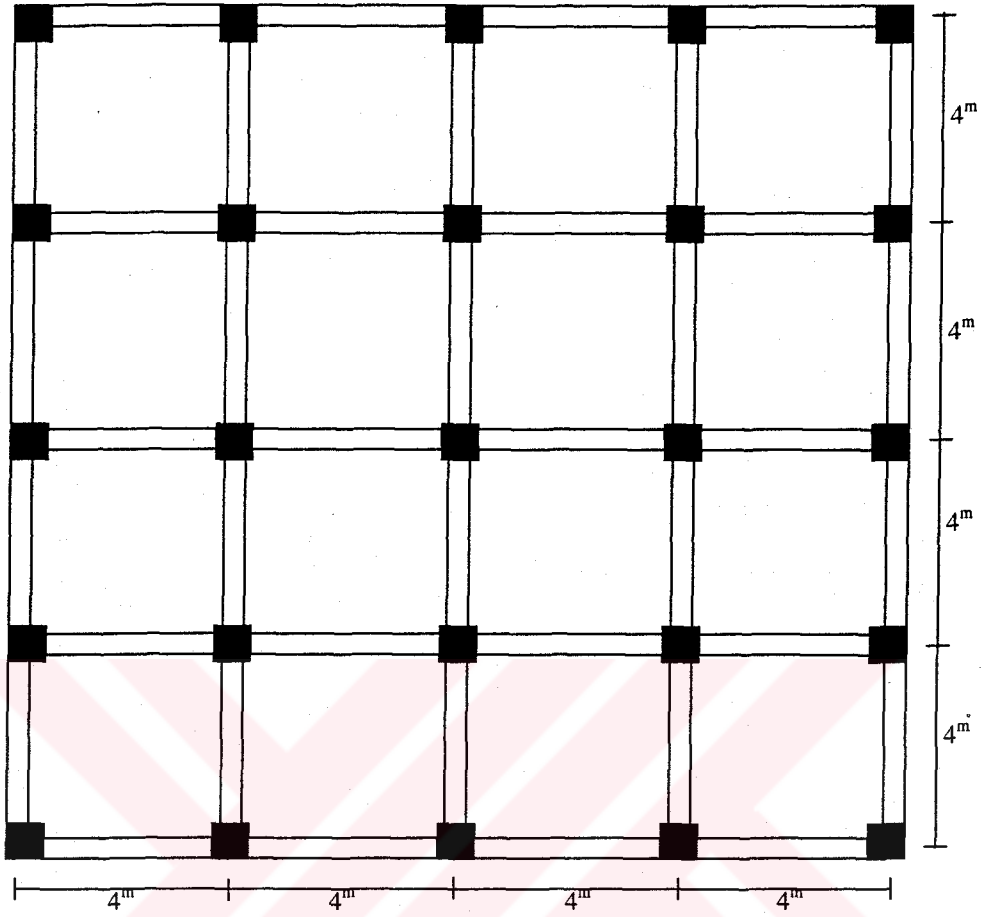
3.1.2.1. GENEL BİLGİLER

16 x 16 m² olan yapıda, her kat için kolon boyutları 40 x 40 cm², kiriş boyutları ise 25 x 40 cm² ebatlarındadır. Kat yüksekliği bütün katlarda 3m dir. Döşeme kalınlığı 12 cm'dir. Spektrum ivmesi $A_0=0.40$ ve davranış katsayısı $R=4$ olarak alınmıştır. Beton kalitesi BS 20 iken elastisite modülü 2000000 t/m² olarak belirlenmiştir. Dolgu duvarın elastisite modülü 1380000 t/m² alınmıştır [48].

Yapı ağırlıklarını belirlenmesinde TS 498 yönetmeliği esas alınmış olup, hareketli yük 0.2 t/m² alınmıştır. Hareketli yükler azaltma katsayısı n , 0.30 seçilmiştir. Kat ağırlıkları tablo 3.8'de verilmiştir.

Tablo 3.8 Yapının Kat Ağırlıkları

KAT	W_p (t)	W_g (t)	ΣW_k (t)
1	175	50	190
2	175	50	190
3	175	50	190
4	175	50	190
5	175	50	190
W_t			950 t

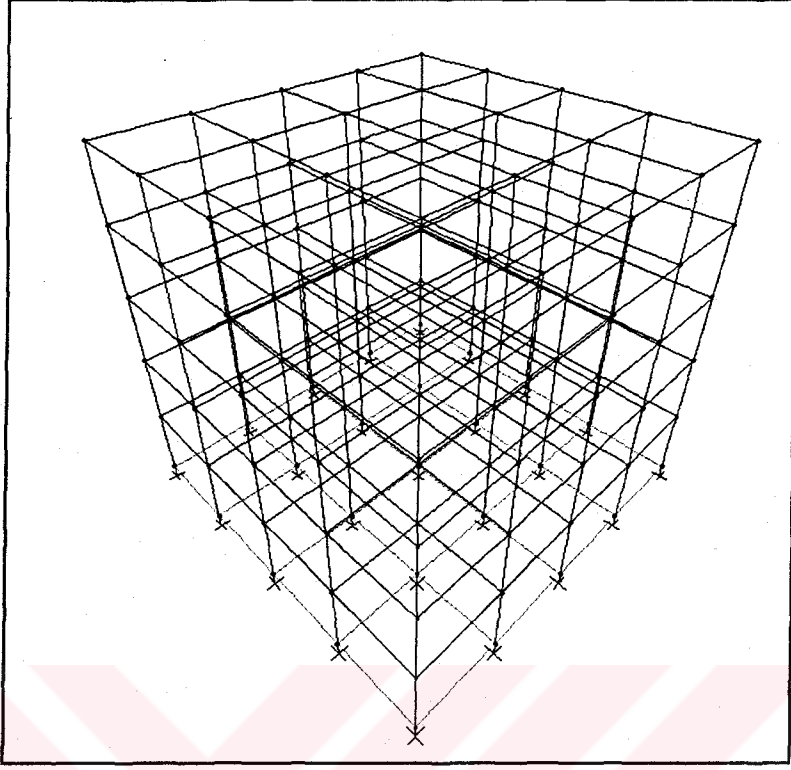


Şekil 3.13 Kat Planı

3.1.2.2. DOLGU DUVAR MODELLEME TEKNİKLERİ VE SONUÇLAR

3.1.2.2.1. Dolgu Duvarın SAP2000'de Eşdeğer Diyagonal Çubuk Olarak Modellenmesi

- A) Beş katlı yapı, dolgu duvarlar ihmal edilerek sap2000 yapı analiz programında analiz edilerek sonuçlar elde edilmiştir. Şekil 3.14'te yapı çerçevesi üç boyutlu olarak gösterilmiştir.

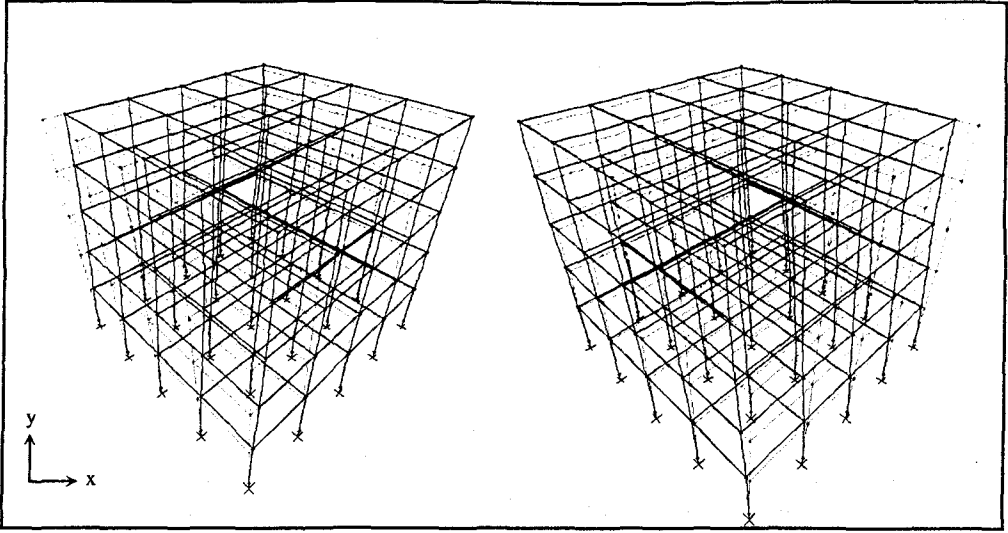


Şekil 3.14 Yapının Üç Boyutlu Çerçeve Görünümü

Yapının sap2000 programıyla analizi yapılmış ve kat deplasmanları Tablo 3.9'da verilmiştir.

Tablo 3.9 Kat Yer Değiştirmeleri

Kat (diyafram)	X Yönü Deprem		Y Yönü Deprem	
	δ_x (cm)	δ_y (cm)	δ_x (cm)	δ_y (cm)
1	0.59	-	-	0.59
2	1.42	-	-	1.42
3	2.17	-	-	2.17
4	2.74	-	-	2.74
5	3.07	-	-	3.07



Şekil 3.15 Yapının X ve Y yönünde Yatay Yük Etkisindeki Davranışı

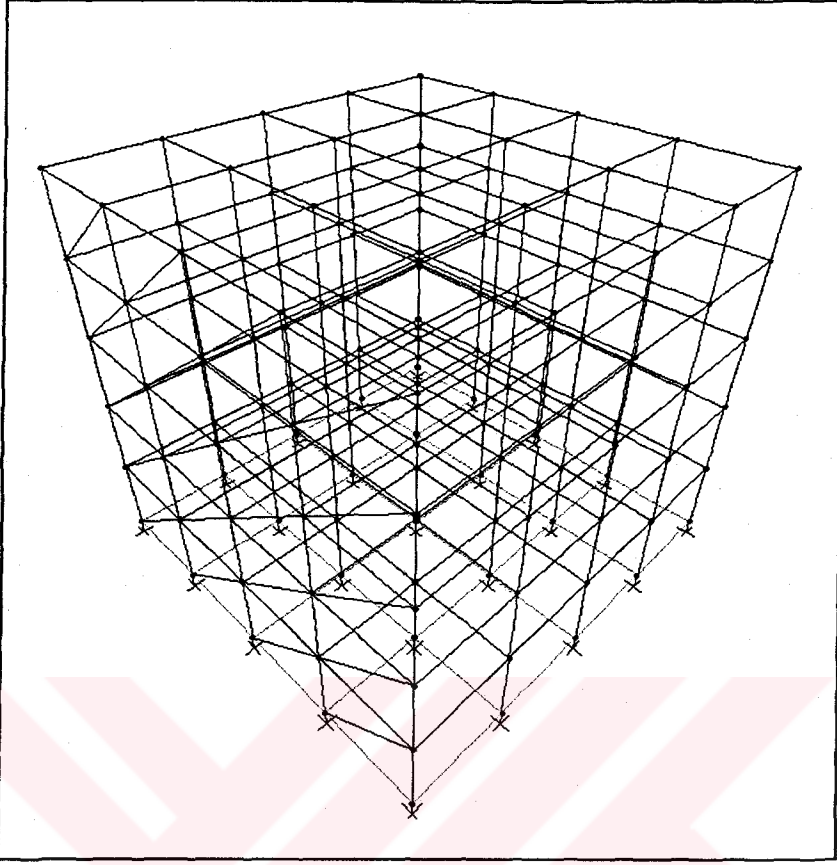
- B) 2. analizde dolgu duvarlar eşdeğer diyagonal çubuk olarak modellenip, analize dahil edilecektir. Eşdeğer diyagonal çubuğun genişliği, örnek 3.1 ve 3.2'de hesaplandığı gibi bulunacaktır.

Kat deplasmanları tablo 3.10'da verilmiştir.

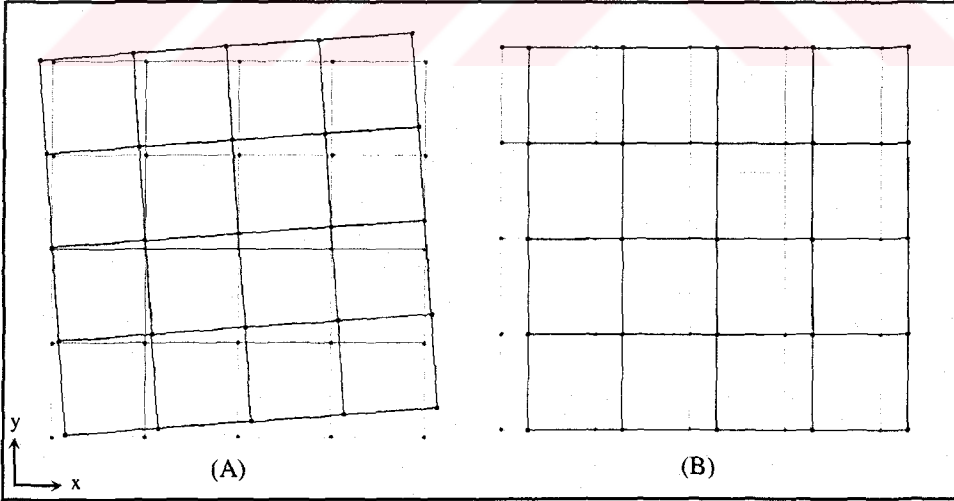
Tablo 3.10 Kat Yer Değiştirmeleri

Kat (diyafram)	X Yönü Deprem		Y Yönü Deprem	
	δ_x	δ_y	δ_x	δ_y
1	0.43	-0	-0	0.25
2	1.05	-0	-0	0.59
3	1.60	-0	-0	0.91
4	2.02	-0	-0	1.16
5	2.20	-0	-0	1.31

Yapıda dolgu duvarların diyagonal çubuk olarak modellenmesi şekil 3.16'da gösterilmiştir.



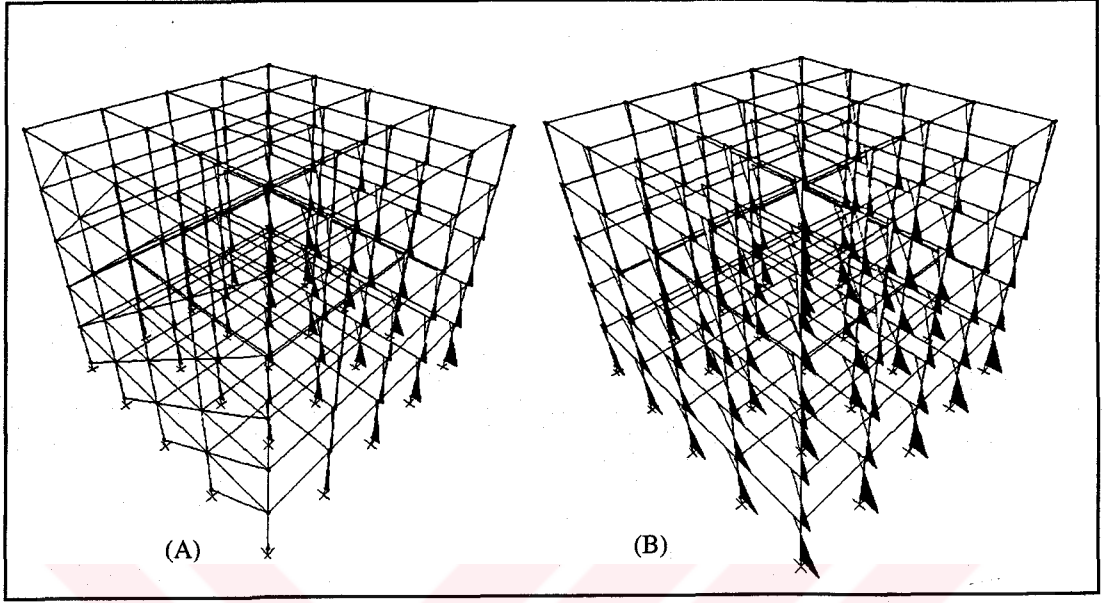
Şekil 3.16 Dolgu Duvarın Yapıda Diyagonal Çubuk Olarak Modellenmesi



Şekil 3.17 A) Y ve B) X Yönündeki Yatay Yük Etkisinde Yapının Davranışı

Tek taraflı dolgu duvar durumunda yapının burulma etkisine maruz kaldığı şekil 3.17'den anlaşılmaktadır. Dolgu duvar, bu etkisiyle yapının davranışını olumsuz bir biçimde değiştirmektedir. Basit çerçeve ve dolgu duvarlı çerçeve analizleri sonucunda çerçeve elemanlarına gelen momentler oldukça farklı değerler almıştır. Dolgu duvarın

olduğu taraftaki kolonlara gelen momentler diğer taraftaki kolonlara oranla oldukça küçüktür (şekil 3.18)



Şekil 3.18 A) Dolgu Duvarlı Çerçeve B) Basit Çerçeve

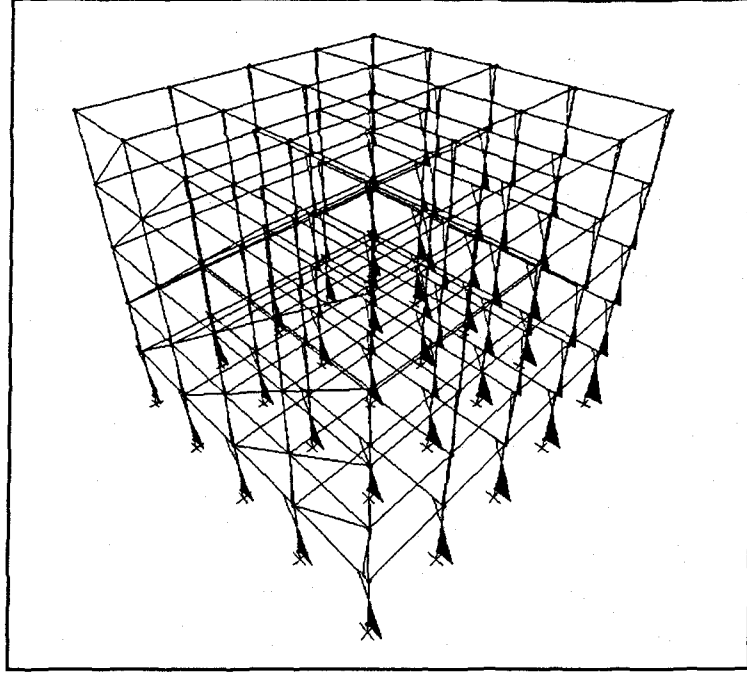
C) 3. analizde ise 1. kat duvarları kaldırılıp yapı davranışı belirlenmiştir.

Tablo 3.11'de, yapıda oluşan kat deplasmanları verilmiştir.

Tablo 3.11 Kat Yer Değiştirmeleri

Kat (diyafram)	X Yönu Deprem		Y Yönu Deprem	
	δ_x	δ_y	δ_x	δ_y
1	0.43	-0	-0	0.40
2	1.05	-0	-0	0.76
3	1.60	-0	-0	1.08
4	2.02	-0	-0	1.33
5	2.20	-0	-0	1.48

Alt katta duvar olmamasından dolayı, kat kolonları daha fazla moment etkilerine maruz kalmıştır (Şekil 3.19).



Şekil 3.19 Kolonlarda Oluşan Momentler

1. katta dolgu duvarın olmaması yada çeşitli nedenlerle kaldırılması alt kolonlarını büyük etkilere maruz bırakacaktır. Dolgu duvarın yapı boyunca olması ve 1. katta olmaması durumundaki kolonlarda oluşan momentler Tablo 3.12’de verilmiştir.

Tablo 3.12 Yapıda Yumuşak Kat Etkisinin Momentlerle Gösterilmesi

1.kat	Yapı Dolgu Duvarlı Moment (tm)	1.kat Dolgu Duvarsız Moment (tm)
Kolon 1-alt	-0.38	-7.41
Kolon 1-üst	0.05	5.41
Kolon 2-alt	-0.49	-7.99
Kolon 2-üst	0.29	6.60
Kolon 3-alt	-0.49	-7.34
Kolon 3-üst	0.59	6.51
Kolon 4-alt	-0.48	-7.99
Kolon 4-üst	0.26	6.60
Kolon 5-alt	-0.48	-7.53
Kolon 5-üst	0.26	5.63

3.1.2.2.2. Dolgu Duvardan Dolayı Oluşan Rijitlik Artışının Kolonlara Aktarılarak SAP2000'de Analiz Edilmesi

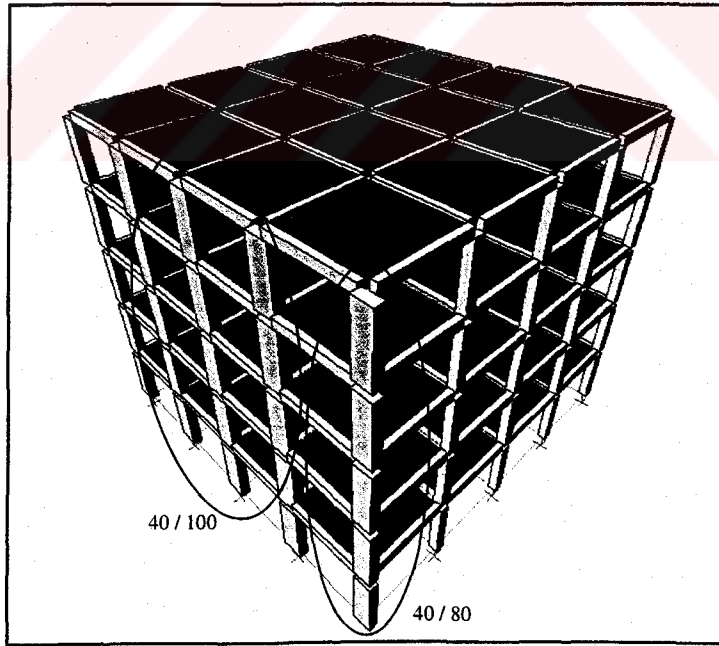
Dolgu duvarın çerçevede oluşturduğu rijitlik artışı, atalet momentlerini esas alarak kolonların yüksekliğinin artırılmasıyla yapı davranışı belirlenmiştir. Örnek 3.3'te dolgu duvarın, çerçevenin rijitliğini 18 kat artırdığı saptanmıştır. Bu kabulden hareketle kenar kolonlarda tek tarafın duvarın olması nedeniyle $18/2=9$ kat rijitliği artırmak için kolon yüksekliği $h_1 = 40$ cm olmak üzere;

$$\frac{b \cdot h_1^3}{12} \cdot 9 = \frac{b \cdot h_2^3}{12} \Rightarrow \frac{40 \cdot 40^3}{12} \cdot 9 = \frac{40 \cdot h_2^3}{12} \Rightarrow h_2 \cong 80 \text{ cm}.$$

Ara kolonlarda ise, dolgu duvar nedeniyle oluşan 18 kat rijitliği kolonlara aktarmak için, kolon yüksekliği $h_1=40$ cm olmak üzere;

$$\frac{b \cdot h_1^3}{12} \cdot 18 = \frac{b \cdot h_2^3}{12} \Rightarrow \frac{40 \cdot 40^3}{12} \cdot 18 = \frac{40 \cdot h_2^3}{12} \Rightarrow h_2 \cong 100 \text{ cm bulunur.}$$

Dolgu duvarın bulunduğu taraftaki kolon boyutları; kenar kolonlar $40 \times 80 \text{ cm}^2$, ara kolonlar $40 \times 100 \text{ cm}^2$ olacaktır.



Şekil 3.20 Yapının Üç Boyutlu Görünüşü

Yapıda x ve y yönünde oluşan deplasmanlar tablo 3.13'te verilmiştir.

Tablo 3.13 Yapıda X ve Y Yönünde Oluşan Deplasmanlar

Kat (diyafram)	X Yönü Deprem		Y Yönü Deprem	
	δ_x	δ_y	δ_x	δ_y
1	0.56	-0	-0	0.27
2	1.40	-0	-0	0.77
3	2.16	-0	-0	1.34
4	2.74	-0	-0	1.69
5	3.09	-0	-0	1.92

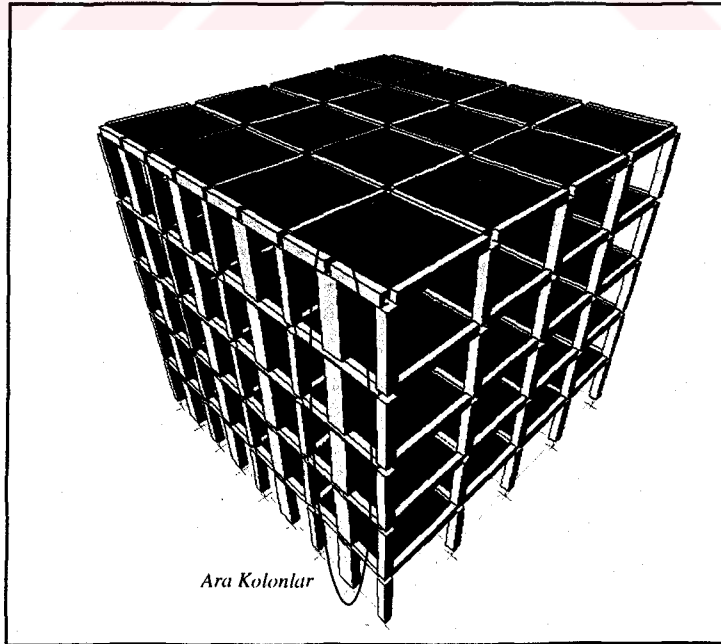
3.1.2.2.3. Dolgu Duvardan Dolayı Oluşan Rijitlik Artışının Kolon Aralarına Orta Kolon Monte Edilmesiyle SAP2000'de Analiz Edilmesi

Dolgu duvar nedeniyle oluşan rijitlik artışını duvarın bulunduğu çerçeve arasına kolon teşkil edilmesiyle bulunmuştur.

Duvarın kalınlığı 19 cm ve genişliği çerçeve boyunun 1/4'ü olmak üzere 1m olarak alınmış ve duvarın genişliği 40 cm kabul edilerek yüksekliği belirlenmiştir :

$$\frac{b_1 \cdot h_1^3}{12} = \frac{b_2 \cdot h_2^3}{12} \Rightarrow \frac{19 \cdot 100^3}{12} = \frac{40 \cdot h_2^3}{12} \Rightarrow h_2 = 80 \text{ cm bulunur.}$$

Bu durumda, dolgu duvar, var olan kolonlar arasında 40 x 80 cm² lik kolonlar biçiminde modellenmiştir (Şekil 3.21).



Şekil 3.21 Yapının Üç Boyutlu Görünüşü

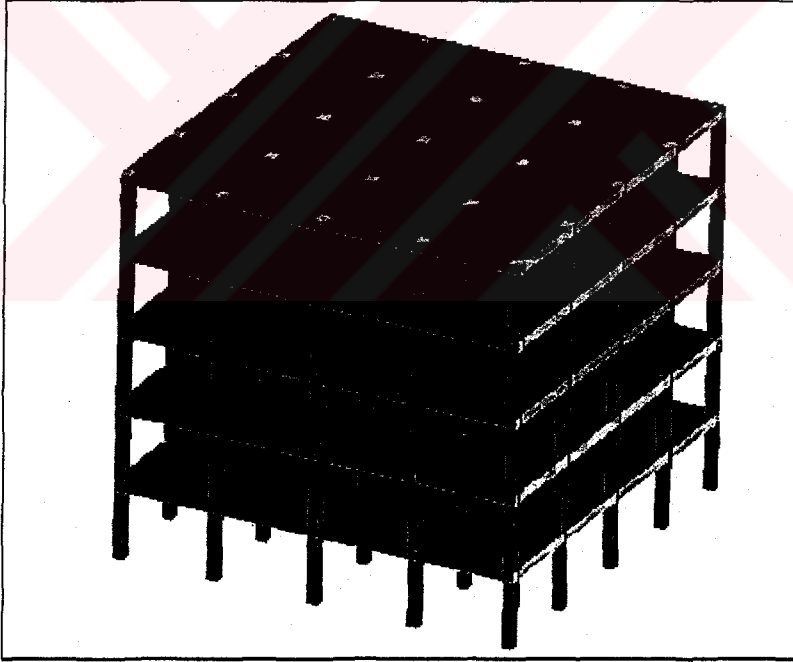
Yapıda x ve y yönünde oluşan yer değiştirmeler tablo 3.14'te verilmiştir.

Tablo 3.14 Yapıda X ve Y Doğrultusunda Oluşan Yer Değiştirmeler

Kat (diyafram)	X Yönü Deprem		Y Yönü Deprem	
	δ_x	δ_y	δ_x	δ_y
1	0.59	-0	-0	0.27
2	1.42	-0	-0	0.82
3	2.20	-0	-0	1.31
4	2.80	-0	-0	1.78
5	3.17	-0	-0	2.02

3.1.2.2.4. Dolgu Duvarın STA4CAD'te Panel Olarak Modellenmesi

- A) Beş katlı yapı, dolgu duvarlar ihmal edilerek sta4cad yapı analiz programında analiz edilerek sonuçlar elde edilmiştir. Şekil 3.22'de yapı çerçevesi üç boyutlu olarak gösterilmiştir.



Şekil 3.22 Yapının Üç Boyutlu Görünüşü

Yapının sta4cad programıyla analizi yapılmış ve kat deplasmanları tablo 3.15'te verilmiştir.

Tablo 3.15 Kat Yer Değiştirmeleri

Kat (diyafram)	X Yönü Deprem		Y Yönü Deprem	
	δ_x (cm)	δ_y (cm)	δ_x (cm)	δ_y (cm)
1	0.59	-	-	0.59
2	1.42	-	-	1.42
3	2.16	-	-	2.16
4	2.73	-	-	2.73
5	3.06	-	-	3.06

A1, B2 düzensizliklerinin kontrolü tablo 3.16'da verilmiştir.

$\eta_{bi} = \Delta_{imax} / \Delta_{iort} > 1.2$ ve $\eta_{ki} = \Delta_{iort} / \Delta_{i+1ort} > 1.5$ olmalıdır [3].

Tablo 3.16 Düşey ve Yatay Doğrultuda Katlararası Yer Değiştirme Değerleri

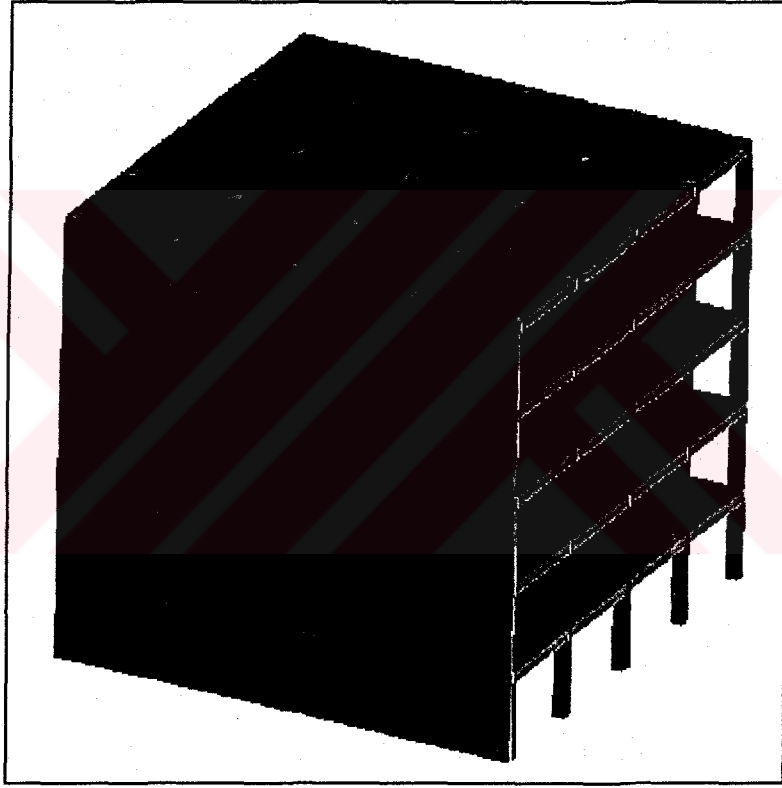
X YÖNÜ (+ % 5)					
Kat (diyafram)	ΔX düst (cm)	ΔX dalt (cm)	ΔX ort (cm)	$\eta_{bi} \Delta X_{dmax} / \Delta X_{dort}$ (A1 düzensizliği)	$\eta_{ki} \Delta X_{orti} / \Delta X_{orti+1}$ (B2 düzensizliği)
1	0.65	0.52	0.59	1.10	0.71
2	0.91	0.74	0.83	1.10	1.11
3	0.82	0.67	0.74	1.10	1.32
4	0.62	0.51	0.56	1.10	1.40
5	0.36	0.30	0.33	1.10	0.00
X YÖNÜ (- % 5)					
Kat (diyafram)	ΔX düst (cm)	ΔX dalt (cm)	ΔX ort (cm)	$\eta_{bi} \Delta X_{dmax} / \Delta X_{dort}$ (A1 düzensizliği)	$\eta_{ki} \Delta X_{orti} / \Delta X_{orti+1}$ (B2 düzensizliği)
1	0.53	0.65	0.59	1.10	0.71
2	0.74	0.91	0.83	1.10	1.11
3	0.67	0.82	0.74	1.10	1.32
4	0.51	0.62	0.56	1.10	1.40
5	0.30	0.36	0.33	1.10	0.00
Y YÖNÜ (+ % 5)					
Kat (diyafram)	ΔY düst (cm)	ΔY dalt (cm)	ΔY ort (cm)	$\eta_{bi} \Delta Y_{dmax} / \Delta Y_{dort}$ (A1 düzensizliği)	$\eta_{ki} \Delta Y_{orti} / \Delta Y_{orti+1}$ (B2 düzensizliği)
1	0.52	0.65	0.59	1.10	0.71
2	0.74	0.91	0.83	1.10	1.11
3	0.67	0.82	0.74	1.10	1.32
4	0.50	0.62	0.56	1.10	1.40
5	0.30	0.36	0.33	1.10	0.00
Y YÖNÜ (- % 5)					
Kat (diyafram)	ΔY düst (cm)	ΔY dalt (cm)	ΔY ort (cm)	$\eta_{bi} \Delta Y_{dmax} / \Delta Y_{dort}$ (A1 düzensizliği)	$\eta_{ki} \Delta Y_{orti} / \Delta Y_{orti+1}$ (B2 düzensizliği)
1	0.65	0.52	0.59	1.10	0.71
2	0.91	0.74	0.83	1.10	1.11
3	0.82	0.67	0.74	1.10	1.32
4	0.62	0.51	0.56	1.10	1.40
5	0.36	0.30	0.33	1.10	0.00

Tablo 3.13'ten anlaşıldığı üzere, yapıda A1 ve B2 düzensizliği bulunmamaktadır. ($\eta_{bi}=\Delta_{imax}/\Delta_{iort}=1.1<1.2$ ve $\eta_{ki}=\Delta_{iort}/\Delta_{i+1ort}=1.4<1.5$)

Ayrıca, $\Delta_{imax}/h_i \leq 0.0035 \Rightarrow 0.0031 \leq 0.0035$ ve $\max \theta_i \leq 0.12 \Rightarrow 0.015 \leq 0.12$

koşullarını sağlamaktadır.

- B) Beş katlı yapının tek tarafında çerçeveler arasının tamamen dolgu duvar olduğu duruma göre sta4cad'te analizler yapılmıştır. Bu analizler yapılırken dolgu duvar panel olarak modellenmiştir. Dolgu duvarın elastisite modülü 1380000 t/m^2 olarak alınmıştır [48].



Şekil 3.23 Dolgu Duvarın Panel Olarak Modellenmesi

Kat deplasmanları tablo 3.17'de verilmiştir

Tablo 3.17 Kat Yer Değiştirmeleri

Kat (diyafram)	X Yönü Deprem		Y Yönü Deprem	
	δ_x	δ_y	δ_x	δ_y
1	0.50	~0	~0	0.25
2	1.27	~0	~0	0.61
3	1.96	~0	~0	0.93
4	2.50	~0	~0	1.18
5	2.82	~0	~0	1.34

Tablo 3.18 Düşey ve Yatay Doğrultuda Katlararası Deplasman Değerleri

X YÖNÜ (+ % 5)					
Kat (diyafram)	ΔX üst (cm)	ΔX alt (cm)	ΔX ort (cm)	$\eta_{bi} \Delta X_{dmax}/\Delta X_{dort}$ (A1 düzensizliği)	$\eta_{ki} \Delta X_{orti}/\Delta X_{orti+1}$ (B2 düzensizliği)
1	0.54	0.47	0.50	1.07	0.66
2	0.80	0.71	0.76	1.07	1.09
3	0.74	0.65	0.69	1.07	1.31
	0.56	0.49	0.53	1.07	1.67
	0.34	0.29	0.32	1.07	0.00
X YÖNÜ (-% 5)					
Kat (diyafram)	ΔX üst (cm)	ΔX alt (cm)	ΔX ort (cm)	$\eta_{bi} \Delta X_{dmax}/\Delta X_{dort}$ (A1 düzensizliği)	$\eta_{ki} \Delta X_{orti}/\Delta X_{orti+1}$ (B2 düzensizliği)
1	0.47	0.54	0.50	1.07	0.66
2	0.71	0.80	0.76	1.07	1.09
3	0.65	0.74	0.69	1.07	1.31
	0.49	0.56	0.53	1.07	1.67
	0.29	0.34	0.32	1.07	0.00
Y YÖNÜ (+ % 5)					
Kat (diyafram)	ΔY üst (cm)	ΔY alt (cm)	ΔY ort (cm)	$\eta_{bi} \Delta Y_{dmax}/\Delta Y_{dort}$ (A1 düzensizliği)	$\eta_{ki} \Delta Y_{orti}/\Delta Y_{orti+1}$ (B2 düzensizliği)
1	0.20	0.58	0.39	1.48	0.69
2	0.27	0.87	0.57	1.53	1.09
3	0.25	0.79	0.52	1.52	1.35
	0.18	0.59	0.38	1.52	1.60
	0.12	0.36	0.24	1.49	0.00
Y YÖNÜ (-% 5)					
Kat (diyafram)	ΔY dsol (cm)	ΔY dsağ (cm)	ΔY ort (cm)	$\eta_{bi} \Delta Y_{dmax}/\Delta Y_{dort}$ (A1 düzensizliği)	$\eta_{ki} \Delta Y_{orti}/\Delta Y_{orti+1}$ (B2 düzensizliği)
1	0.24	0.47	0.36	1.32	0.69
2	0.32	0.71	0.51	1.37	1.09
3	0.30	0.65	0.47	1.37	1.33
4	0.22	0.48	0.35	1.36	1.60
5	0.14	0.30	0.22	1.22	0.00

Yapının bir tarafında dolgu duvar bulunması durumunda Y yönünde burulma etkilerine maruz kaldığı görelî kat deplasman değerlerinden belirlenmektedir.

($\eta_{bi} = \Delta_{imax} / \Delta_{iort} = 1.53 < 1.2$ A1 düzensizliği)

C) Üç katlı yapının tek tarafında, çerçeveler arasının 2. ve 3. katında dolgu duvar olduğu duruma göre analizler yapılmıştır.

Kat yer değiştirmeleri Tablo 3.19'da verilmiştir.

Tablo 3.19 Kat Yer Değiştirmeleri

Kat (diyafram)	X Yönü Deprem		Y Yönü Deprem	
	δ_x (cm)	δ_y (cm)	δ_x (cm)	δ_y (cm)
1	0.50	-0	-0	0.48
2	1.26	-0	-0	0.89
3	1.56	-0	-0	1.21
4	2.49	-0	-0	1.46
5	2.81	-0	-0	1.61

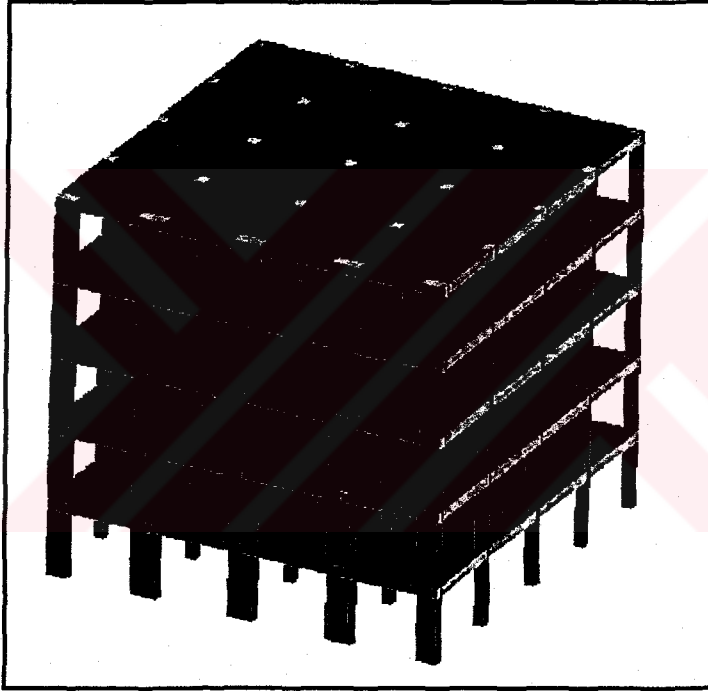
A1, B2 düzensizliklerinin kontrolü yapıldığında;

$$\eta_{bi} = \Delta_{i\max} / \Delta_{i\text{ort}} = 1.645 > 1.2 \quad \text{ve} \quad \eta_{ki} = \Delta_{i\text{ort}} / \Delta_{i+1\text{ort}} = 1.67 > 1.5$$

değerleri neticesinde A1 ve B2 düzensizlikleri tespit edilmiştir.

3.1.2.2.5. Dolgu Duvardan Dolayı Oluşan Rijitlik Artışının Kolonlara Aktarılarak STA4CAD'te Analiz Edilmesi

Bölüm 3.1.2.2.2'de dolgu duvarın rijitliği olan katkısının kolonların yüksekliğindeki değişime olan yansıması belirlenmişti. Sta4cad'te yapılan analiz sonucu elde edilen deplasman değerleri Tablo 3.20'de verilmiştir.



Şekil 3.24 Yapının Üç Boyutlu Görünüşü

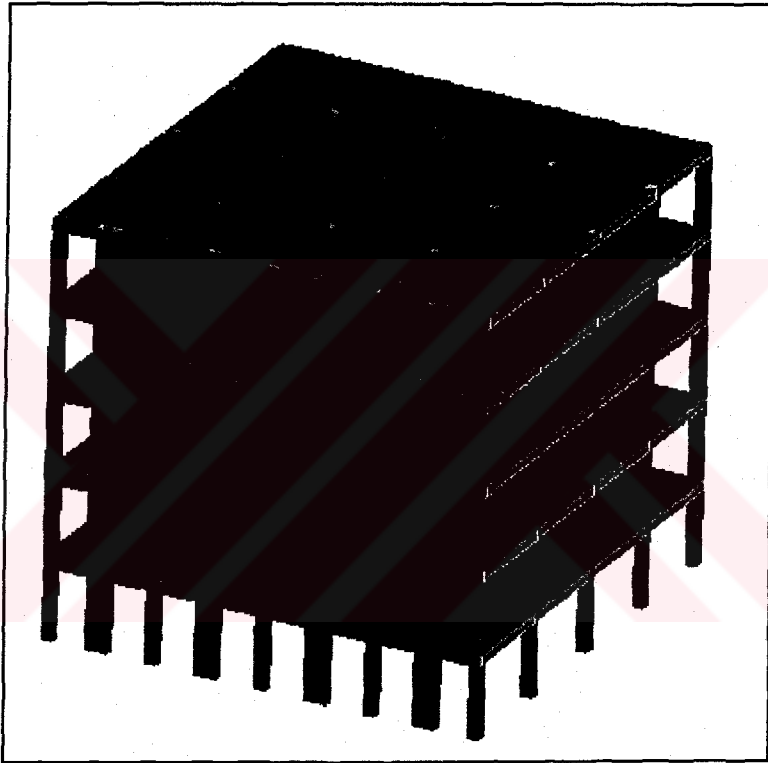
Tablo 3.20 Kat Yer Değiştirmeleri

Kat (diyafram)	X Yönu Deprem		Y Yönu Deprem	
	δ_x (cm)	δ_y (cm)	δ_x (cm)	δ_y (cm)
1	0.54	-0	-0	0.24
2	1.38	-0	-0	0.69
3	2.14	-0	-0	1.15
4	2.73	-0	-0	1.54
5	3.09	-0	-0	1.84

3.1.2.2.6. Dolgu Duvardan Dolayı Oluşan Rijitlik Artışının Kolon Aralarına Orta Kolon Monte Edilmesiyle STA4CAD'te Analiz Edilmesi

Bölüm 3.1.2.2.3'te dolgu duvardan dolayı rijitlikteki artışın kolon aralarında yerleştirilecek orta kolonların boyutları belirlenmişti. Sta4cad'te yapılan analiz sonucu elde edilen deplasman değerleri tablo 3.21'de verilmiştir.

Basit çerçeve, tek tarafı dolgu duvarlı çerçeve ile 2. ve 3. katın dolgu duvarlı çerçeve olduğu durumlara göre yapılan analizlerinden şu sonuçlar çıkarılmıştır:



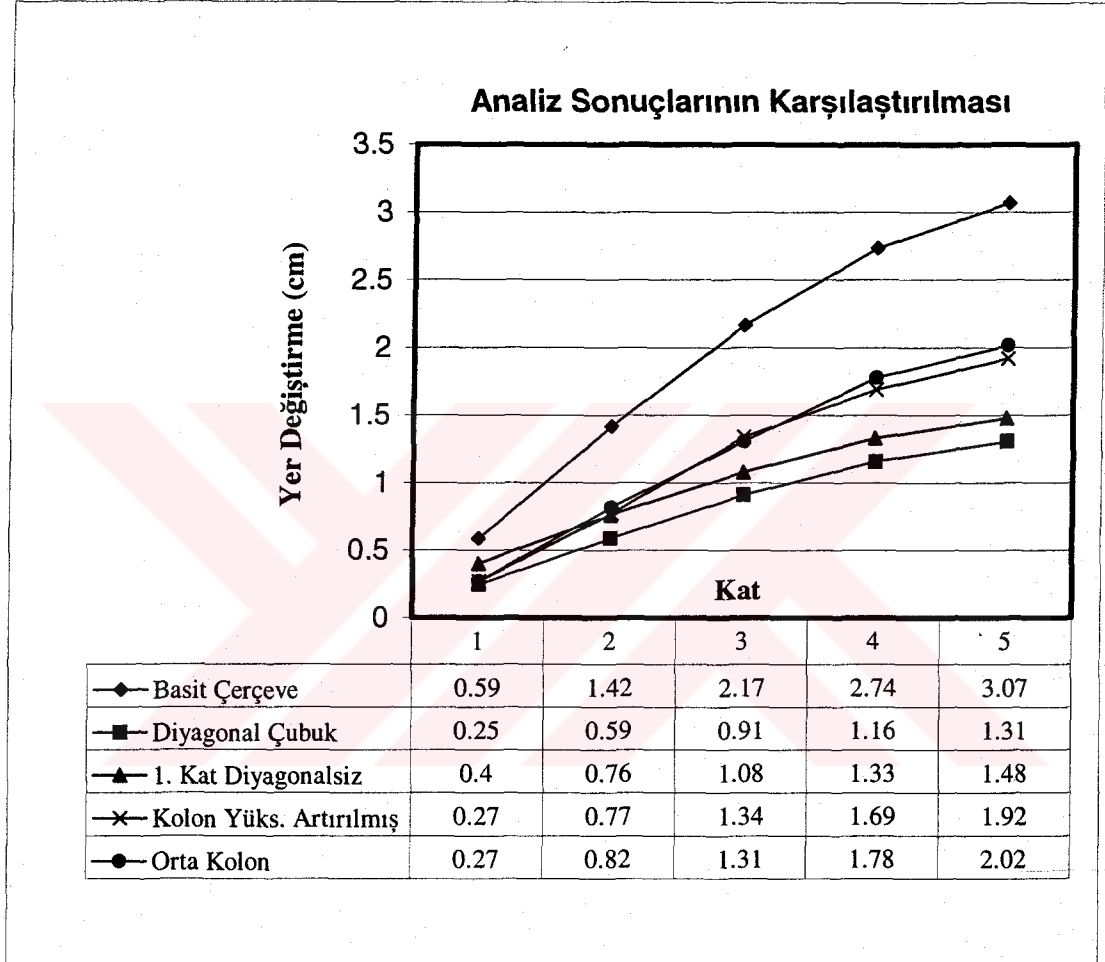
Şekil 3.25 Yapının Üç Boyutlu Görünüşü

Tablo 3.21 Kat Yer Değiştirmeleri

Kat (diyafram)	X Yönü Deprem		Y Yönü Deprem	
	δ_x	δ_y	δ_x	δ_y
1	0.48	-0	-0	0.27
2	1.20	-0	-0	0.76
3	1.85	-0	-0	1.24
4	2.35	-0	-0	1.63
5	2.66	-0	-0	1.92

3.1.2.3. ANALİZ SONUÇLARININ DEĞERLENDİRMESİ

Dolgu duvarın etkileri, değişik modelleme teknikleri kullanılarak sap2000 ve sta4cad programlarıyla analizleri yapılmıştır. Diyagonal çubuk, panel, kolonların yüksekliğinin değiştirilmesi ve orta kolonlar ilave edilerek yapılan analizler yaklaşık sonuçlar vermiştir. Bu sonuçlar Şekil 3.26'da gösterilmiştir.



Şekil 3.26 Analiz Sonuçlarının Karşılaştırılması

Analizler, dolgu duvarın, yapıda rijitlik merkezinin yerini değiştirdiğini, böylece, kütle merkeziyle çakışmamasından dolayı yatay yük etkisinde yapının burulma davranışına sebep olduğu belirlenmiştir.

Bu çalışmada, sayısal sonuç olarak verilmese de, dolgu duvarın yapının ağırlığını artırması nedeniyle yapı periyodunda artış meydana getireceği beklense de rijitliğe olan katkısı nedeniyle yapının periyodunu belirgin biçimde düşürdüğü gözlenmiştir.

Diğer yandan, dolgu duvarların yapıya gelen taban kesme kuvvetlerini artırdığı, dolayısıyla yapının daha büyük deprem kuvvetlerine maruz kalacağı analizler ışığında görülmüştür.

4. TARTIŞMA VE SONUÇ

Dolgu duvarların betonarme çerçevelerin davranışına etkileri yarım yüzyılı aşan bir süreden beri araştırmacılar tarafından kapsamlı olarak çalışılmış ve çeşitli sonuçlar elde edilmiştir.

1998 Deprem Yönetmeliğinde, yapıların statik hesabında dolgu duvarlar yer almamaktadır. Dolgu duvarların hesaplara geçirilmesinde yardımcı olacak bir aşama olması amacıyla bu çalışmanın gerçekleştirilmesine gerek görülmüştür. Çalışmada, öncelikle konuyla ilgili yapılmış deneysel çalışmalar ayrıntılı olarak açıklanmış ve daha sonra literatürde yapılmış çalışmalar, sonuçlarıyla birlikte verilmiştir. Böylece dolgu duvarla ilgili ileride yapılacak çalışmalarda bu bilgilere kolay ulaşılması imkanı sağlanmıştır. Deneysel çalışmalardan elde edilen sonuçlar, hiçbir değişiklik yapılmadan verilmiştir. Elde edilen deneysel sonuçlar kapsamında, yapı analiz programlarıyla duvar etkisi, hesaplanabilir biçimde örnek yapıya uygulanmıştır.

Duvarların, çerçevenin deprem yükleri altındaki etkilerinin analiz yöntemlerine yansıtılması için yapı analiz programlarıyla (sap2000, sta4cad) hesaplamaları yapılmıştır.

Bu çalışmadan elde edilen sonuçlar aşağıda verilmiştir:

- 1- Dolgu duvar, iki boyutlu düzlemsel çerçeve üzerinde, laboratuvar sonuçlarına uygun olarak diyagonal basınç çubuğu olarak modellenmiştir. Dolgu duvarlı ve çiplak çerçeve yatay yüke maruz bırakılmış ve dolgu duvarlı çerçevenin, basit çerçeveye oranla 18 kat daha rijit davrandığı sonucu bulunmuştur.
- 2- Dolgu duvarın yapı taşıyıcı sistem davranışına büyük etkisi olduğu belirlenmiştir. Bir yanda yük dağılımını değiştirirken, diğer yandan rijitlik ve ağırlık merkezini etkileyerek, yapı davranışını çok önemli oranda değiştirebilmektedir.
- 3- Duvarın genişliğini, diyagonal çubuk uzunluğunun 1/4'ü ve kalınlığını ise tuğlanın kalınlığı olarak, duvarı diyagonal eşdeğer basınç çubuğu olarak modellemenin, yapılmış olan laboratuvar çalışmalarıyla uyum içinde olduğu saptanmıştır.
- 4- Genişliği, tuğla duvarın boyunun (L) 1/4'ü ve kalınlığı tuğlanın kalınlığı alınmak koşuluyla, tuğla duvar, donatısız perde duvar olarak düşünülebilir. Malzeme özellikleri duvar özelliklerine sahip olan perde elemanı, kenar ve ara kolonlara rijitlikleri oranında dağıtılmak suretiyle, kolonların yüksekliği artırılarak yapının statik çözümüne gidilmiştir. Sonuçta, diyagonal çubuk kabulünden elde edilen değerlerle yakın değerler bulunmuştur.

- 5- Diğer bir yöntem olarak, dolgu duvarların, kiriş ve kolonlar arasında, sonlu elemanlar kabulünü esas alarak panel olarak kabul edilmesiyle analizler yapılmış ve yapılan laboratuvar çalışmalarından elde edilen sonuçlara yakın değerler bulunmuştur.
- 6- Binanın bitişik olarak inşa edilmesi nedeniyle, tek tarafının tamamen dolgu duvarla örülü olması, deprem sırasında rijitlik merkezi ve kütle merkezinin akışmamasına sebep olarak yapının burulma davranışını gösterdiği saptanmıştır.
- 7- Zemin katta dolgu duvarın olmadığı duruma göre analizler sonucunda gerek mimari gerekse ticari nedenlerle zemin kattaki duvarların kaldırılmasının zemin kattaki kolonların, deprem esnasında tasarım momentlerine ek momentlere maruz kaldığı belirlenmiştir.

Yapılarda, gerek işçilik gerekse malzeme bakımından önemli bir yere sahip olan duvarların deprem davranışına olan etkilerinin doğru olarak belirlenmesi ve yapı analizlerine dahil edilmesi hem ekonomik tasarımlar yapılmasına hem de daha güvenli yapıların inşa edilmesi sonucunu getirecektir.



KAYNAKLAR

- [1] CELEP, Z., 1998, "Post-Earthquake Rehabilitation of Moderately Damaged Masonry Structures", Second Japan-Turkey Workshop on Earthquake Engineering, Technical University of Istanbul, 73-90, Istanbul.
- [2] PAULAY, T., & PRIESTLY, M.J.N., 1992, "Seismic Design of Masonry Buildings", John Wiley&Sons, Inc., Newyork.
- [3] ABYYHY, 1998, "Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik", Bayındırlık ve İskan Bakanlığı, Ankara
- [4] KAPLAN, S.A., 2001, "Çıkmalı Binaların Depreme Karşı Güvensizliği ve Mevzuatta Düzeltilmesi Gereken Hususlar", "Sempozyum : Mevcut Yapıların Deprem Yüklerine Karşı Güçlendirilmesi ve Çıkmalı Binalardaki Sorunlar" Avcılar, İstanbul
- [5] GOVINDAN, P., LAKSHMIPATY M. & SANTHAKUMAR, A. R., July-August, 1986, "Ductility of Infilled Frames", A.C.I. Journal, pp. 567-576.
- [6] SMITH, B.S. & CARTER, C., 1969, "A Method of Analysis For Infill Frames", Proc Institution n.of Civil Engineers, London, England, Part 2, Vol. 44, 31-48.
- [7] BENJAMIN, J.R. & WILLIAMS, H.A., November, 1958, "Behaviour of One-Story Walls Containing Openings", A.C.I. Journal, Vol. 30, No.6, p.605.
- [8] MEHRABI, A.B., SHING, P.B., SCHULLER, M.P. & Noland, J.L., 1996, "Experimental Evaluation of Masonry-Infilled R/C Frames", J. Struct. Engrg., ASCE, Vol. 122, pp. 228-237.
- [9] NEGRO, P. & VERZELETTI, G., July, 1996, "Effect of Infills on the Global Behaviour of R/C Frames: Energy Considerations from Pseudo-synamic Tests", Earthquake Engineering and Structural Dynamics, Vol. 25, No. 7, pp. 753-773.
- [10] Eurocode No. 2, 1994, "Design of Concrete Structures", Commission of the European Communities.
- [11] BENJAMIN, J.R. & WILLIAMS, H.A., July, 1958, "The Behaviour of One Story Brick Shear Walls", Journal of Structural Division, ASCE, Vol. 84, No. ST 4, pp. 1723.
- [12] BENJAMIN, J.R. & WILLIAMS, H.A., May, 1957, "The Behaviour of One Story Reinforced Concrete Shear Walls", Journal of Structural Division, ASCE, Vol. 83, No. ST 3, pp. 1254.

- [13] BENJAMIN, J.R. & WILLIAMS, H.A., August, 1960, "Reinforced Concrete Shear Walls Assemblies", Journal of Structural Division, ASCE, Vol. 86, No. ST 8, pp. 2566.
- [14] WHITNEY, C.S., ANDERSON, B.G. & COHEN, E., March, 1955, "Design of Blast Resistant Construction for Atomic Explosions", Journal A.C.I., pp. 655-673
- [15] POLYAKOV, S.V., 1952, "On The Strength and "Deformation of Stone Masonry Filling In Framed Walls Under Shearing Load", Stroitel'naya promyslennost (Construction Industry), No.3.
- [16] POLYAKOV, S.V., 1957, "Masonry In The Walls Frame Structure (investigation of strength and rigidity)", Gossotroyarkhizdat (State publishing house of literature on building and architecture).
- [17] POLYAKOV, S.V., 1960, "On The Interaction Between Masonry Filler Walls And Enclosing Frame When Loaded In The Plane of The Walls", Trans.in Earthquake Engrg, EERI, 36-42.
- [18] HOLMES, M., 1961, "Steel Frames With Brickwork And Concrete Infilling" Proc., Instn. of Civ. Engrs., London, England, Part 2, Vol. 19, 473-478.
- [19] SMITH, B.S., 1962, "Lateral Stiffness of Infilled Frames", Journal of Structural Engineering, ASCE, Vol. 88, 183-199.
- [20] SMITH, B.S., 1966, "Behaviour of Square Infilled Frames." Journal of Structural Engineering., ASCE, Vol.92, 381-403.
- [21] SMITH, B.S., 1967, "Methods for Predicting The Lateral Stiffness and Strength of Multi-Infilled Frames" Build. Sci., Vol.2, Pergamon Press, Oxford, U.K., 247-257.
- [22] MALLICK, D.V. & SEVERN, R.T., 1967, "The Behaviour of Infilled Frames Under Static Loading" , Proceedings Institution of Civil Engineers, London, England, Part 2, Vol.38, 639-656.
- [23] MALLICK, D.V. & GARG, R.P., 1971, "Effect of Openings on The Lateral Stiffness of Infilled Frames", Proc., Instn.of Civ., Engrs., London, England, Part 2, Vol.49, 193-210.
- [24] FIORATO, A.E., SÖZEN, M.A. & GAMBLE, W.L., 1970, "An Investigation of the Interaction of Reinforced Concrete Frames With Masonry Filler Walls", Univ. Of Illinois Civ. Eng. Studies, Structural Research Series No. 370.
- [25] LIAUW, T.C. & LEE, S.W., 1977, "On The Behaviour And The Analysis of Multistorey Infilled Frames Subject to Lateral Loading", Proc., Instn. of Civ. Engrs., London, England, Part 2, Vol.63, 641-656.
- [26] RIDDINGTON, J.R. & SMITH, B.S., 1977, "Analysis of Infilled Frames Subjected to Racking With Design Recommendations", Structural Eng. Vol. 52, No.6, 263-268.

- [27] WOOD, R.H., 1978, "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.
- [28] AXLEY, J.W. & BERTERO, V.V., September, 1979, "Infill Panels. Their Influence on Seismic Response of Buildings", Report No EERC 79-28, Earthquake Engineering Research Center, University of California, Berkeley, California.
- [29] BATHE, K. J., WILSON, E. L. & PETERSON, F. E., June, 1975, "A Structural Analysis Program for Static and Dynamic Response of Linear Systems SAPIV", College of Engineering, University of California, Berkeley, California.
- [30] BROKKEN, S.T. & BERTERO, V.V., 1981, "Studies On Effects of Infills In Seismic Resistant R/C Construction" Report EERC 81-12, Univ. of California, Berkeley, California.
- [31] DAWE, J.L. & YONG, T.C., 1985, "An Investigation of Factors Influencing The Behaviour of Masonry Infill In Steel Frames Subjected to In Plane-Shear" Proc. 7th International Brick Masonry Conference, Australia.
- [32] DAWE, J.L. & YONG, T.C., 1985, "Experimental Investigation On The Shear Resistance of Masonry Panels", Proc., 7th International Brick Masonry Conference, Australia.
- [33] Computers & Structures, Inc., 1984-2003, ETABS, Extended Three Dimensional Analysis of Building Systems, University Avenue, Berkeley, California, USA.
- [34] YORULMAZ, M. & ALTAN Y.T., 1971, "Çeşitli Forme Yapı Taşlarıyla Yapılmış Duvar Numunelerinin İki İstikametli Yükleme Altında Davranışları, İ.T.Ü. Mimarlık Fakültesi Yayını.
- [35] ERSOY, U. & TANKUT, T., August, 1992, "Histeretic Response of Reinforced Concrete Infilled Frames" ASCE Journal of Structural Engineering Vol. 118, No: 8.
- [36] ZARNIC, R. & TOMASEVIC, M., 1995, "An Experimentally Obtained Method for Evaluation of the Behaviour of Masonry Infilled R/C Frames", References for Data Base of Confined Masonry Walls Proceeding of 9WCEE, pp. VI 163-168.
- [37] ZARNIC, R. & TOMASEVIC, M., 1995, "Modelling of Response of Masonry Infilled Frame, 10th European Conference on Earthquake Engineering, Balkema, Rotterdam.
- [38] ZARNIC, R. & TOMASEVIC, M., 1995, "The Behaviour of Masonry Infilled Reinforced Concrete Frames Subjected to Cyclic Lateral Loading, References for Data Base of Confined Masonry Walls Proceeding of 8WCEE, pp. 863-870.

- [39] FOCARDI, F. & MANZINI, E., 1986, "Cyclic and Monotonic Diagonal Tension Tests on Various Shape Reinforced and Non-Reinforced Brick Walls, 8th European Conference on Earthquake Engineering, Lisbon.
- [40] ZARNIC, R. & Others, 1986, "Experimental Study of Methods for Repair and Strengthening of Masonry Infilled Reinforced Concrete Frames", 8th European Conference on Earthquake Engineering, Lisbon.
- [41] HARRIS, H.G., BALLOUZ G. & KOPATZ, K., June, 1993, "Preliminary Studies in Seismic Retrofitting of Lightly Reinforced Concrete frames Using Masonry Infills", in Proceedings of the Sixth North American Masonry Conference, Drexel University, Philadelphia, pp. 383-395.
- [42] HOLMES, M., 1963, "Combined Loading on Infilled Frames", "Proceedings of the Institute of Civil Engineers, Vol. 25, pp. 31-38.
- [43] Standart Association of New Zealand, 1990, "Code of Practice for the Design of Masonry Structures", NZS 4230: Part 1, Wellington.
- [44] AMRHEIN, J. E., ANDERSON, J. & ROBLES, V., July-December 1985, "Mexico Earthquake- September 1985", "The Masonry Society Journal", Vol. 4, No. 2, G.12-17.
- [45] HENDRY, A., 1981, "Structural Brickwork", Macmillan, London.
- [46] MEHRABI, A. B. & SHING, P. B., May, 1997, "Finite Element Modelling of Masonry-Infilled RC Frames ", Journal of the Structural Division, Proceedings of ASCE, Vol. 123, No. 5, pp.604-613.
- [47] SANEINEJAD, A. & HOBBS, B., April, 1995, "Inelastic Design of Infilled Frames", J. Struct Engrg., ASCE, Vol. 121, No. 4, pp. 634-650.
- [48] DHANASEKAR, M. & PAGE, A., December 1986, " The Influence of Brick Masonry Infill Properties on the Behaviour of Infilled Frames", in Proceedings of the Institution of Civil Engineers, Part 2, Paper 9061.
- [49] KADIR, M.R.A., 1974, "The Structural Behaviour of Masonry Infill Panels in Framed Structures", Ph. D. Thesis, University of Edinburgh.
- [50] DAWE J.L. & SEAH, C-K., December 1989, "Behaviour of Masonry Infill Steel Frames", in Canadian Journal of Civil Engineering, Vol. 16, 865-876.

ÖZGEÇMİŞ

1978 yılında Yozgat'ta doğdu. İlk ve orta öğrenimini İstanbul'da tamamladı. 1995 yılında Fatih Vatan Lisesi'nden mezun olarak İstanbul Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü'nde lisans öğrenimine başladı. Lisans öğrenimini 1999 yılında tamamlayarak İstanbul Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Ana Bilim Dalı'nda yüksek lisans eğitime başladı. Aynı dönemde Sakarya Deprem Konutları'nda saha mühendisi olarak çalıştı. 2001 yılında aynı Enstitünün İnşaat Mühendisliği Ana Bilim Dalı'nda Araştırma Görevlisi olarak göreve başladı.

