

**KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**DEPREM KUMAŞIYLA GÜÇLENDİRİLEN ÇEVİRİSEL YÜK ETKİSİNDEKİ
DOLGU DUVARLI BETONARME ÇERÇEVELERİN DAVRANIŞLARININ
DENEYSEL VE TEORİK OLARAK İNCELENMESİ**

DOKTORA TEZİ

İnş. Yük. Müh. Mehmet Emin ARSLAN

**AĞUSTOS 2013
TRABZON**

KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

DEPREM KUMAŞIYLA GÜÇLENDİRİLEN ÇEVİRİMSSEL YÜK ETKİSİNDEKİ
DOLGU DUVARLI BETONARME ÇERÇEVELERİN DAVRANIŞLARININ
DENEYSSEL VE TEORİK OLARAK İNCELENMESİ

İnş. Yük. Müh. Mehmet Emin ARSLAN

Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsünde
“DOKTOR (İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ)”
Unvanı Verilmesi İçin Kabul Edilen Tezdir.

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 26.06.2013
Tezin Savunma Tarihi : 26.08.2013

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Ing. Ahmet DURMUŞ

Trabzon 2013

Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü

İnşaat Mühendisliği Ana Bilim Dalında

Mehmet Emin Arslan Tarafından Hazırlanan

DEPREM KUMAŞIYLA GÜÇLENDİRİLEN ÇEVİRİMSSEL YÜK ETKİSİNDEKİ
DOLGU DUVARLI BETONARME ÇERÇEVELERİN DAVRANIŞLARININ
DENEYSEL VE TEORİK OLARAK İNCELENMESİ

başlıklı bu çalışma, Enstitü Yönetim Kurulunun 02.07.2013 gün ve 1512 sayılı
kararıyla oluşturulan jüri tarafından yapılan sınavda

DOKTORA TEZİ

olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri






Başkan : Prof. Dr. Ing. Ahmet DURMUŞ

Üye : Prof. Dr. Metin HÜSEM

Üye : Prof. Dr. Burhan ÇUHADAROĞLU

Üye : Prof. Dr. Ayşe DALOĞLU

Üye : Prof. Dr. Sıddık ŞENER


.....

.....

.....

.....

.....

Prof. Dr. Sadettin KORKMAZ

Enstitü Müdürü

ÖNSÖZ

Bu çalışma Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı'nda Doktora tezi olarak gerçekleştirilmiştir.

“Deprem kumaşıyla güçlendirilen çevrimsel yük etkisindeki dolgu duvarlı betonarme çerçevelerin davranışlarının deneysel ve teorik olarak incelenmesi” konulu bu çalışmayı bana önererek yoğun çalışma programına rağmen çalışmamı başlangıcından yazımına kadar sürekli takip edip, bu süre içinde bana bilimsel düşünce disiplini kazandıran, tezimin her aşamasında bilgi ve deneyimlerinden yararlandığım danışman hocam Prof. Dr. Ing. Sayın Ahmet DURMUŞ'a minnet ve şükranlarımı sunmayı bir görev sayarım.

Çalışmamı inceleyerek bilgi ve tavsiyelerini paylaştan tez izleme komitesindeki değerli hocalarım Prof. Dr. Sayın Metin HÜSEM'e ve Prof. Dr. Sayın Burhan ÇUHADAROĞLU'na ayrı ayrı teşekkürlerimi sunarım.

Jüri üyeliği gibi önemli bir görevi üstlenen ve tezimi titizlikle inceleyen değerli hocalarım Prof. Dr. Ayşe DALOĞLU ve Prof. Dr. Sıddık ŞENER minnettar olduğumu belirtmek isterim.

Çalışmalarım sırasında ilgi ve yardımlarını gördüğüm Prof. Dr. Adem DOĞANGÜN, Doç. Dr. Selim PUL, Doç. Dr. Ahmet Can ALTUNIŞIK, Yrd. Doç. Dr. Temel TÜRKER, Doç. Dr. Süleyman ADANUR, Prof. Dr. Alemdar BAYRAKTAR, Doç. Dr. Ramazan LİVAOĞLU, Öğrt. Gör. Dr. Ercan YOZGAT ve İnş. Müh. Orhan KILIÇ'a teşekkür etmek isterim.

Yurtiçi Doktora Bursu vermek suretiyle ödüllendirip çalışmamı desteklemiş olan TÜBİTAK Bilim İnsanı Destekleme Daire Başkanlığı yöneticilerine teşekkürlerimi sunarım.

Burada, öğrenim boyunca bana emeği geçen tüm hocalarımı saygı ile anarken, çalışmam süresince bana her türlü imkan ve desteği sağlayan eşim Anıl ARSLAN'a, ömürlerini yetiştirmeye adanmış, fedakârlıklarını asla unutamayacağım annem Ayten ARSLAN ve babam Ömer ARSLAN'a müteşekkir olduğumu belirtir çalışmamın betonarme yapıların güçlendirilmesi konusunda ülkemiz için yararlı olmasını içtenlikle dilerim.

Mehmet Emin ARSLAN
Trabzon, 2013

TEZ BEYANNAMESİ

Doktora Tezi olarak sunduğum “Deprem Kumaşıyla Güçlendirilen Çevrimsel Yük Etkisindeki Dolgu Duvarlı Betonarme Çerçevelerin Davranışlarının Deneysel ve Teorik Olarak İncelenmesi” başlıklı bu çalışmayı baştan sona kadar danışmanım Prof. Dr. Ing. Ahmet DURMUŞ’un sorumluluğunda tamamladığımı, verileri/örnekleri kendim topladığımı, deneyleri/analizleri ilgili laboratuvarında yaptığımı, başka kaynaklardan aldığım bilgileri metinde ve kaynakçada eksiksiz olarak gösterdiğimi, çalışma sürecinde bilimsel araştırma ve etik kurallara uygun olarak davrandığımı ve aksinin ortaya çıkması durumunda her türlü yasal sonucu kabul ettiğimi beyan ederim. 26.06.2013

Mehmet Emin ARSLAN

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa No</u>
ÖNSÖZ.....	III
TEZ BEYANNAMESİ.....	IV
İÇİNDEKİLER.....	V
ÖZET	IX
SUMMARY	X
ŞEKİLLER DİZİNİ	XI
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	XX
SİMGELER DİZİNİ	XXII
1. GENEL BİLGİLER	1
1.1. Giriş.....	1
1.2. Yapıların Davranışlarını Etkileyen Bazı Parametreler.....	2
1.2.1. Rijitlik Değişimi.....	2
1.2.2. Süneklik Değişimi.....	3
1.2.3. Enerji Tüketim Kapasite Değişimi.....	4
1.3. Yapıların Başarıma Dayalı Tasarımı.....	5
1.3.1. Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik-2007'ye (DBYBHY-2007) Göre Başarım Seviyeleri ve Kesit Hasar Sınırları.....	6
1.3.1.1. Kesitlerde Hasar Sınırları.....	6
1.4. Deneysel Modal Çözümleme Yöntemleri.....	7
1.4.1. Çevresel Titreşimler Altında Modal Çözümleme Yöntemleri.....	10
1.4.1.1. Geliştirilmiş Frekans Tanım Alanında Ayırıştırma.....	11
1.4.1.2. Stokastik Altalan Belirleme	12
1.4.2. Zorlanmış Titreşimler Altında Modal Çözümleme Yöntemi.....	13
1.5. Dolgu Duvarlı Çerçeveler	14
1.5.1. Dolgu Duvarların Özellikleri	14
1.5.2. Dolgu Duvarların, Çerçeve Sistem Betonarme Binaların Davranışına Etkileri.....	16
1.5.2.1. Yatay ve Düşey Yük Taşıma Kapasitesine Etkileri	16
1.5.2.2. Rijitlik Üzerindeki Etkileri	17

1.5.2.3.	Enerji Tüketme Kapasitesi Üzerindeki Etkileri	17
1.5.3.	Dolgu Duvarlı Betonarme Çerçeve Sistemlerin Yapısal Çözümlerinde Kullanılan Bazı Yaklaşımlar	17
1.5.3.1.	Eşdeğer Basınç Çubuğu Yaklaşımı.....	18
1.5.3.2.	Sonlu Elemanlar Yaklaşımı	19
1.6.	Binaların Onarım ve Güçlendirilmelerinde Kullanılan Malzeme ve Teknikler	20
1.6.1.	Lifli Polimerlerle Onarım ve Güçlendirme	21
1.6.2.	Dolgu Duvarlı Çerçeveler Konusunda Daha Önce Gerçekleştirilen Bazı Çalışmalar	24
2.	YAPILAN ÇALIŞMALAR	30
2.1.	Deneysel ve Teorik Çalışmalar	30
2.1.1.	Deneysel Çalışmalar	30
2.1.1.1.	Deney Çerçevelerinin Üretiminde Kullanılan Malzeme Özellikleri.....	31
2.1.1.2.	Deney Çerçevelerinin Hazırlanmasında Kullanılan Betonların Üretimleri, Yerleştirilmeleri, Bakımları ve Deney Anında Yaşları.....	36
2.1.1.3.	Betonların Bazı Mekanik Özellikleri	36
2.1.1.4.	Deney Çerçevelerinin Hazırlanması	37
2.1.1.5.	Deney Düzenekleri, Yükleme Sistemi, Ölçümlerde Kullanılan Aletler ve Deneylelerin Yapılışı	44
2.1.1.6.	Deney Çerçevelerinin Dinamik Özelliklerinin Deneysel Modal Çözümlemeyle Belirlenmesi	51
2.1.2.	Teorik Çalışmalar.....	52
2.1.2.1.	Deney Çerçevelerinin Dinamik Özelliklerinin Sonlu Elemanlar Yöntemiyle Belirlenmesi	52
2.1.2.2.	Deney Çerçevelerinin Doğrusal Olmayan Statik İtme Yöntemiyle Kapasite Eğrilerinin Belirlenmesi.....	53
3.	BULGULAR.....	59
3.1.	Deney Çerçevelerinin Düzlem İçi ve Düzlem Dışı Yüklemelerinden Elde Edilen Bulguları	59
3.1.1.	Düşük Dayanımlı Betonla Üretilen Dolgu Duvarsız Çerçevenin Düzlem İçi Yüklemelerden Elde Edilen Deney Bulguları.....	59
3.1.2.	Geleneksel Betonla Üretilen Dolgu Duvarsız Düzlem İçi Yüklemelerden Elde Edilen Deney Bulguları	63
3.1.3.	Düşük Dayanımlı Betonla Üretilen Tuğla Dolgu Duvarlı Çerçevenin Düzlem İçi Yüklemelerden Elde Edilen Deney Bulguları.....	67
3.1.4.	Düşük Dayanımlı Betonla Üretilen Deprem Kumaşlı Çerçevenin Düzlem İçi Yüklemelerden Elde Edilen Deney Bulguları.....	70

3.1.5.	Geleneksel Betonla Üretilen Tuğla Dolgu Duvarlı Çerçevenin Düzlem İçi Yüklemelerden Elde Edilen Deneysel Bulguları.....	74
3.1.6.	Geleneksel Betonla Üretilen Deprem Kumaşlı Çerçevenin Düzlem İçi Yüklemelerden Elde Edilen Deneysel Bulguları	78
3.1.7.	Geleneksel Betonla Üretilen Gaz Beton Dolgu Duvarlı Çerçevenin Düzlem İçi Yüklemelerden Elde Edilen Deneysel Bulguları	81
3.1.8.	Geleneksel Betonla Üretilen Gaz Beton Dolgu Duvarlı Deprem Kumaşlı Çerçevenin Düzlem İçi Yüklemelerden Elde Edilen Deneysel Bulguları.....	85
3.1.9.	Geleneksel Betonla Üretilen Tuğla Dolgu Duvarlı Çerçevenin Düzlem Dışı Yüklemelerden Elde Edilen Bulgular	88
3.1.10.	Geleneksel Betonla Üretilen Tuğla Dolgu Duvarlı Deprem Kumaşlı Çerçevenin Düzlem Dışı Yüklemelerden Elde Edilen Bulgular.....	89
3.1.11.	Geleneksel Betonla Üretilen Gaz Beton Dolgu Duvarlı Deprem Kumaşlı Çerçevenin Düzlem Dışı Yüklemelerden Elde Edilen Bulgular.....	90
3.2.	Deneysel Çerçevelerinin Dinamik Özelliklerinin Sonlu Elemanlar ve Deneysel Modal Çözümleme Yöntemleriyle Belirlenmesi	90
3.2.1.	Deneysel Çerçevelerinin Dinamik Özelliklerinin Sonlu Elemanlar Yöntemiyle Belirlenmesi	90
3.2.2.	Deneysel Çerçevelerinin Dinamik Özelliklerinin Çevresel Titreşimler Altında Modal Çözümleme Yöntemiyle Belirlenmesi.....	93
3.2.2.1.	Düşük Dayanımlı Dolgu Duvarsız ve Tuğla Dolgu Duvarlı Çerçevelerden Alınan Ölçümler.....	93
3.2.2.2.	Geleneksel Betonlu Dolgu Duvarsız ve Tuğla Dolgu Duvarlı Çerçevelerden Alınan Ölçümler.....	97
3.3.	Deneysel Çerçevelerinin Statik İtme Çözümlenmelerinden Elde Edilen Bulgular .	101
3.3.1.	Düşük Dayanımlı Betonla Üretilen Dolgu Duvarsız Çerçevenin Statik İtme Çözümlemesinden Elde Edilen Bulgular	102
3.3.2.	Geleneksel Betonla Üretilen Dolgu Duvarsız Çerçevenin Statik İtme Çözümlemesinden Elde Edilen Bulgular	104
3.3.3.	Düşük Dayanımlı Betonla Üretilen Tuğla Dolgu Duvarlı Çerçevenin Statik İtme Çözümlemesinden Elde Edilen Bulgular.....	106
3.3.4.	Düşük Dayanımlı Betonla Üretilen Tuğla Dolgu Duvarlı Deprem Kumaşlı Çerçevenin Statik İtme Çözümlemesinden Elde Edilen Bulgular	108
3.3.5.	Geleneksel Betonla Üretilen Tuğla Dolgu Duvarlı Çerçevenin Statik İtme Çözümlemesinden Elde Edilen Bulgular	110
3.3.6.	Geleneksel Betonla Üretilen Tuğla Dolgu Duvarlı Deprem Kumaşlı Çerçevenin Statik İtme Çözümlemesinden Elde Edilen Bulgular	112
3.3.7.	Geleneksel Betonla Üretilen Gaz Beton Dolgu Duvarlı Çerçevenin Statik İtme Çözümlemesinden Elde Edilen Bulgular.....	114
3.3.8.	Geleneksel Betonla Üretilen Gaz Beton Dolgu Duvarlı Deprem Kumaşlı Çerçevenin Statik İtme Çözümlemesinden Elde Edilen Bulgular	116

4.	İRDELEME	118
4.1.	Düzlem İçi ve Düzlem Dışı Yüklenen Çerçevelerden Elde Edilen Bulgularının İrdelenmesi	118
4.1.1.	Düzlem İçi Yüklenen Çerçevelerden Elde Edilen Bulguların İrdelenmesi	118
4.1.1.1.	Taşıma Kapasitelerinin İrdelenmesi.....	118
4.1.1.2.	Enerji Tüketme Kapasitesi ve Sünekliklerin İrdelenmesi.....	120
4.1.1.3.	Rijitliklerin İrdelenmesi	124
4.1.2.	Düzlem Dışı Yüklenen Çerçeve Bulgularının İrdelenmesi.....	127
4.2.	Düzlem İçi Yüklenen Çerçevelerin Deneysel ve Teorik Bulgularının Karşılaştırmalı Olarak İrdelenmesi	128
4.2.1.	Düşük Dayanımlı Betonla Üretilen Dolgu Duvarsız Çerçevenin Deneysel ve Statik İtme Çözümleme Bulgularının İrdelenmesi	128
4.2.2.	Geleneksel Betonla Üretilen Dolgu Duvarsız Çerçevenin Deneysel ve Statik İtme Çözümleme Bulgularının İrdelenmesi	130
4.2.3.	Düşük Dayanımlı Betonla Üretilen Tuğla Dolgu Duvarlı Çerçevenin Deneysel ve Statik İtme Çözümleme Bulgularının İrdelenmesi.....	133
4.2.4.	Düşük Dayanımlı Betonla Üretilen Tuğla Dolgu Duvarlı Deprem Kumaşlı Çerçevenin Deneysel ve Statik İtme Çözümleme Bulgularının İrdelenmesi....	135
4.2.5.	Geleneksel Betonla Üretilen Tuğla Dolgu Duvarlı Çerçevenin Deneysel ve Statik İtme Çözümleme Bulgularının İrdelenmesi	138
4.2.6.	Geleneksel Betonla Üretilen Tuğla Dolgu Duvarlı Deprem Kumaşlı Çerçevenin Deneysel ve Statik İtme Çözümleme Bulgularının İrdelenmesi....	140
4.2.7.	Geleneksel Betonla Üretilen Gaz Beton Dolgu Duvarlı Çerçevenin Deneysel ve Statik İtme Çözümleme Bulgularının İrdelenmesi.....	142
4.2.8.	Geleneksel Betonla Üretilen Gaz Beton Dolgu Duvarlı Deprem Kumaşlı Çerçevenin Deneysel ve Statik İtme Çözümleme Bulgularının İrdelenmesi....	144
4.3.	Sonlu Elemanlar ve Deneysel Modal Çözümleme Bulgularının Karşılaştırılmalı Olarak İrdelenmesi ve Model İyileştirilmesi	146
5.	SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	155
6.	KAYNAKLAR	158
ÖZGEÇMİŞ		

Doktora Tezi

ÖZET

DEPREM KUMAŞIYLA GÜÇLENDİRİLEN ÇEVİRİMSSEL YÜK ETKİSİNDEKİ
DOLGU DUVARLI BETONARME ÇERÇEVELERİN DAVRANIŞLARININ
DENEYSEL VE TEORİK OLARAK İNCELENMESİ

Mehmet Emin ARSLAN

Karadeniz Teknik Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı
Danışman: Prof.Dr.Ing.Ahmet DURMUŞ
2013, 179 Sayfa

Bilindiği gibi, çerçeve sistem betonarme yapıların yatay yüklere göre yapısal çözümlerinde dolgu duvarların, herhangi bir yük taşımadığı kabul edilerek, bunlar kirişlere yük olarak verilmektedir. Oysa dolgu duvarlar, çerçeve sistem yapıların yatay yük etkisinde davranışlarını önemli derecede etkilemektedir. Öyle ki, bu duvarlar yapıların rijitliklerini, sünekliklerini, sönüm oranlarını, periyotlarını, göçme mekanizmalarını ve dolayısıyla da yük taşıma kapasitelerini değiştirmektedir.

Bu çalışmanın temel amacı, geleneksel ve düşük dayanımlı betonlarla üretilen, deprem kumaşı olarak adlandırılan cam lifli polimerlerle güçlendirilen, düzlem içi ve düzlem dışı çevrimsel yatay yük etkisinde dolgu duvarsız ve dolgu duvarlı betonarme çerçevelerin davranışlarının deneysel ve teorik olarak incelenmesinden ibarettir. Bu amaçla birinci bölüm çalışmaya ilişkin genel bilgilere ayrılmıştır. İkinci bölümde, deneylerde kullanılan malzemelerin bazı özellikleri, deney çerçeveleri, deney düzeneği, ölçü aygıtları, deneylerin yapılışı ve gerçekleştirilen teorik çalışmalar verilmektedir. Elde edilen deneysel ve teorik bulgular üçüncü bölümde toplanmakta ve bu bulgular dördüncü bölümde irdelenmektedir. Beşinci bölümde, çalışmanın bütününden çıkartılabilecek başlıca sonuç ve öneriler özetlenmektedir. Bu son bölümü kaynaklar dizini izlemektedir. Elde edilen sonuçlar, deprem kumaşının yapıların güçlendirilmesinde kullanılabileceğini göstermektedir.

Anahtar Kelimeler: Betonarme çerçeve, Düzlem içi ve dışı yükleme, Çevrimsel yük, Dolgu duvar, Güçlendirme, Cam lifli polimer, Deneysel, Teorik.

PhD. Thesis

SUMMARY

EXPERIMENTAL AND THEORETICAL INVESTIGATION OF BEHAVIOR OF IN-FILLED RC FRAMES STRENGTHENED WITH GFRP UNDER CYCLIC LOADING

Mehmet Emin ARSLAN

Karadeniz Technical University
The Graduate School of Natural and Applied Sciences
Civil Engineering Graduate Program
Supervisor: Prof. Dr. Ing. Ahmet DURMUŞ
2013, 179 Pages

As it is well-known, infill walls are accepted as non-structural members and used in structural analysis as dead load on beam members. However, infill walls affect the behavior of frame structures considerably under lateral loads since these walls change stiffness, ductility, damping ratio, period, failure mechanisms and consequently load carrying capacity of structures.

The main purpose of this study is to investigate behavior of one-bay, one-story plane and in-filled RC frames produced with low strength and ordinary concrete strengthened using glass fiber reinforced polymer under in plane as well as out of plane cyclic loading experimentally and theoretically. For this purpose, the first chapter is allocated to general information. In the second chapter; some properties of materials used in experiments, test specimens, test set-ups, measuring equipments, experiments and theoretical studies are given. Experimental and theoretical results obtained are collected in the third chapter and these results are discussed in the forth chapter. In the fifth chapter, the main conclusions and recommendations drawn from the whole of the study are summarized. This is followed by references list and the author's biography. Obtained results show that glass fiber reinforced polymer can be used for strengthening of structures.

Key Words: RC Frame, In plane and out of plane loading, cyclic lateral load, Infill wall, strengthening, Glass fiber reinforced polymer, Experiments, Theory.

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa No

Şekil 1.1.	Çevrimsel yükler altında sekant rijitliğinin belirlenmesi	3
Şekil 1.2.	Eşdeğer elastoplastik enerji tüketme ölçütüne göre yerdeğiştirme sünekliği parametrelerinin şematik gösterilimi.	3
Şekil 1.3.	Çevrimsel yük altında enerji tüketiminin şematik gösterilimi.....	4
Şekil 1.4.	Bina başarımları seviyeleri.....	6
Şekil 1.5.	Sünek kesitlerde hasar sınırları ve hasar bölgeleri	7
Şekil 1.6.	B&K 8210 tipi darbe çekici.....	8
Şekil 1.7.	Piezoelektrik tipi ivmeölçerin iç mekanizması.....	8
Şekil 1.8.	B&K 8340 tipi bir eksenli (a), B&K 4506 tipi üç eksenli (b) ve B&K 4507 tipi bir eksenli (c) ivmeölçerler.....	9
Şekil 1.9.	B&K 3560 C tipi 17 kanallı veri toplama ünitesi.	10
Şekil 1.10.	Çevresel titreşimleri kullanan deneysel modal çözümleme yöntemine göre yapıların dinamik karakteristiklerinin belirlenmesi.....	10
Şekil 1.11.	Zorlanmış Titreşim Yöntemi'nin şematik gösterimi (a) ve Frekans davranış fonksiyonunun belirlenmesi (b).....	13
Şekil 1.12.	Dolgu duvar gerilme-şekil değiştirme eğrisi	15
Şekil 1.13.	Dolgu duvarsız ve duvarlı çerçevede oluşan eğilme momentleri.....	17
Şekil 1.14.	Dolgulu çerçevelerde yapısal çözümlemelerde kullanılan eşdeğer basınç çubuğu yaklaşımına ilişkin bir model.....	18
Şekil 1.15.	Çerçevedeki dolgu duvarın iki ucu mafsallı eşdeğer basınç çubuğuyla temsil edilmesi	18
Şekil 1.16.	Çerçeve içindeki dolgu düzleminin üçgen ya da dikdörtgen sonlu elemanlar ağı ile modellenmesi	20
Şekil 1.17.	Bir kolona lifli polimer uygulaması örneği	22
Şekil 1.18.	Deprem kumaşının betonarme bir çerçevenin dolgu duvarına uygulanışı	23
Şekil 1.19.	Dolgu duvarlı ve dolgu duvarsız betonarme çerçevelerin çevrimsel yatay yükler altında rijitliklerinin değişimi	24
Şekil 2.1.	Beton üretiminde kullanılan agreganın granülometri eğrisi	32
Şekil 2.2.	Donatı çekme deneylerinin yapıldığı Üniwersal deney aletinden bir görünüm.....	34
Şekil 2.3.	Betonların üretiminde kullanılan düşey eksenli betonyerden bir görünüm.....	35
Şekil 2.4.	Deney çerçevelerinin boyutları ve şematik donatı planları	38

Şekil 2.5.	Deney çerçevelerinin donatı planına ilişkin bir görünüm.....	38
Şekil 2.6.	Deney çerçeve donatılarının kalıplara yerleştirilmelerinden bir görünüm	39
Şekil 2.7	Çerçevelerin ıslak çuval altında saklanmalarına ilişkin bir görünüm.....	39
Şekil 2.8.	Dolgu duvarsız deney çerçevelerine ilişkin bir görünüm	40
Şekil 2.9.	Dolgu duvarda kullanılan yatay delikli tuğla (a) ve gaz beton blok (b) boyutları.....	40
Şekil 2.10.	Çerçeve dolgu duvarlarının örülmesi ve sıvanmasına ilişkin görünümeler	42
Şekil 2.11	Deprem kumaşının dolgu duvarlı çerçevelere uygulanışından bir görünüm....	43
Şekil 2.12.	Düzlem içi davranışı incelenen çerçevelerin deney anından bir görünüm	44
Şekil 2.13.	Deney çerçevelerinin düzlem içi davranışlarının incelenmesinde kullanılan deney düzeneğinin şematik bir görünümü.....	45
Şekil 2.14.	Düzlem dışı davranışı incelenen çerçevelerin deney anından bir görünüm	45
Şekil 2.15.	Düzlem dışı davranışı incelenen çerçevelerin deney düzeneği şeması	46
Şekil 2.16.	Deney çerçevelerin rijit taban döşemesine montajında kullanılan temellere ilişkin görünümeler.....	46
Şekil 2.17.	Temel donatılarına ilişkin donatı şeması	47
Şekil 2.18.	Çerçeve temellerinin delikli rijit döşemeye montajında kullanılan dolu gövdeli gijon ve somunlara ilişkin bir görünüm.....	47
Şekil 2.19.	Deney çerçevelerine yatay çevrimsel yük uygulamada kullanılan yükleme sisteminden bir görünüm	48
Şekil 2.20.	Deney çerçevelerine çevrimsel yatay yükün uygulanmasında kullanılan denetim paneline ilişkin bir görünüm	48
Şekil 2.21.	Deney çerçevelerine uygulanan çevrimsel yük değerlerinin ölçülmesinde kullanılan 500kN kapasiteli CAS marka yassı tip yük hücresinden bir görünüm.....	49
Şekil 2.22.	Çevrimsel yükler altında oluşan yerdeğiştirmelerin ölçülmesinde kullanılan Opkon marka LPM300 kodlu 300mm kapasiteli doğrusal potansiyometrik yerdeğiştirme ölçer	49
Şekil 2.23.	Yük ve yerdeğiştirmeleri bilgisayara aktarmada kullanılan 32 kanallı veri toplama sisteminden bir görünüm	50
Şekil 2.24.	Çerçevelerin yüklenmesinde kullanılan çevrimsel yükleme şeması	50
Şekil 2.25.	Çevresel titreşimleri kullanan deneysel modal çözümleme yöntemiyle dolgu duvarsız (a) ve tuğla dolgu duvarlı (b) çerçevelerin dinamik özelliklerinin belirlenmesine ilişkin deney düzenekleri	51
Şekil 2.26.	Dolgu duvarsız (a) ve tuğla dolgu duvarlı (b) düşük dayanımlı ve geleneksel betonla üretilen çerçevelerin doğrusal elastik sonlu eleman modelleri	52
Şekil 2.27.	Deprem yükü etkisindeki bir binanın şematik davranışı	54
Şekil 2.28.	Çevrimsel yükler altında oluşan histeriktik çevrimler ve zarf eğrisi.....	54

Şekil 2.29. Şematik bir betonarme çerçeve (a) ve bunun yük-yerdeğiştirme eğrisi (b).....	55
Şekil 2.30. Bir çerçevenin tekdüze yatay yüklemelerde, şematik yük-yerdeğiştirmeleri...	56
Şekil 2.31. Bir çerçevenin şematik kapasite eğrisi	56
Şekil 2.32. Deney çerçevelerinin statik itme çözümlemesinde kullanılan model.....	57
Şekil 2.33. Statik itme çözümlemelerinde kullanılan FEMA-356 yönetmeliğinde önerilen yerdeğiştirme kabul ölçütü	57
Şekil 3.1. Düşük dayanımlı betonla üretilen dolgu duvarsız PRCF-1 çerçevesinin deneyi anından bir görünüm	60
Şekil 3.2. PRCF-1 çerçevesinin histeriktik yük-yerdeğiştirme eğrisi.....	60
Şekil 3.3. PRCF-1 çerçevesine ilişkin dayanım zarfı eğrisi	61
Şekil 3.4. PRCF-1 çerçevesine ilişkin yığışimli toplam tüketilen enerji eğrisi	62
Şekil 3.5. PRCF-1 çerçevesine ilişkin rijitlik azalım eğrisi	62
Şekil 3.6. PRCF-1 çerçevesinin deney sonundan görünüm.....	63
Şekil 3.7. Geleneksel betonla üretilen dolgu duvarsız PRCF-2 çerçevesinin deneyi esnasından bir görünüm	64
Şekil 3.8. PRCF-2 çerçevesinin histeriktik yük-yerdeğiştirme eğrisi.....	64
Şekil 3.9. PRCF-2 çerçevesine ilişkin dayanım zarfı eğrisi	65
Şekil 3.10. PRCF-2 çerçevesine ilişkin yığışimli toplam tüketilen enerji eğrisi	65
Şekil 3.11. PRCF-2 çerçevesine ilişkin rijitlik azalım eğrisi	66
Şekil 3.12. PRCF-2 çerçevesinin deney sonundan bazı görünüm.....	66
Şekil 3.13. Düşük dayanımlı betonla üretilen tuğla dolgu duvarlı RCF-1 çerçevesinin deneyi esnasından bir görünüm	67
Şekil 3.14. RCF-1 çerçevesinin histeriktik yük-yerdeğiştirme eğrisi	68
Şekil 3.15. RCF-1 çerçevesine ilişkin dayanım zarfı eğrisi.....	68
Şekil 3.16. RCF-1 çerçevesine ilişkin yığışimli toplam tüketilen enerji eğrisi	69
Şekil 3.17. RCF-1 çerçevesine ilişkin rijitlik azalım eğrisi	69
Şekil 3.18. RCF-1 çerçevesinin deney sonundan bazı görünüm.....	70
Şekil 3.19. Düşük dayanımlı betonla üretilen deprem kumaşlı tuğla dolgu duvarlı RCF-2 çerçevesinin deneyi esnasından bir görünüm	71
Şekil 3.20. RCF-2 çerçevesinin histeriktik yük-yerdeğiştirme eğrisi	72
Şekil 3.21. RCF-2 çerçevesine ilişkin dayanım zarfı eğrisi.....	72
Şekil 3.22. RCF-2 çerçevesine ilişkin yığışimli toplam tüketilen enerji eğrisi	73
Şekil 3.23. RCF-2 çerçevesine ilişkin rijitlik azalım eğrisi	73
Şekil 3.24. RCF-2 çerçevesinin deney sonundan bazı görünüm.....	74
Şekil 3.25. Geleneksel betonla üretilen tuğla dolgu duvarlı RCF-3 çerçevesinin deneyi esnasından bir görünüm	75

Şekil 3.26. RCF-3 çerçevesinin histeriktik yük-yerdeğiştirme eğrisi	75
Şekil 3.27. RCF-3 çerçevesine ilişkin dayanım zarfı eğrisi	76
Şekil 3.28. RCF-3 çerçevesine ilişkin yığışımlı toplam tüketilen enerji eğrisi	76
Şekil 3.29. RCF-3 çerçevesine ilişkin rijitlik azalım eğrisi	77
Şekil 3.30. RCF-3 çerçevesinin deney sonundan bazı görünümeler	77
Şekil 3.31. Geleneksel betonla üretilen tuğla dolgu duvarlı deprem kumaşlı RCF-4 çerçevesinin deneyi esnasından bir görünüm	78
Şekil 3.32. RCF-4 çerçevesinin histeriktik yük-yerdeğiştirme eğrisi	79
Şekil 3.33. RCF-4 çerçevesine ilişkin dayanım zarfı eğrisi	79
Şekil 3.34. RCF-4 çerçevesine ilişkin yığışımlı toplam tüketilen enerji eğrisi	80
Şekil 3.35. RCF-4 çerçevesine ilişkin rijitlik azalım eğrisi	80
Şekil 3.36. RCF-4 çerçevesinin deney sonundan bazı görünümeler	81
Şekil 3.37. Geleneksel betonla üretilen gaz beton dolgu duvarlı RCF-5 çerçevesinin deneyi esnasından bir görünüm	82
Şekil 3.38. RCF-5 çerçevesinin histeriktik yük-yerdeğiştirme eğrisi	82
Şekil 3.39. RCF-5 çerçevesine ilişkin dayanım zarfı eğrisi	83
Şekil 3.40. RCF-5 çerçevesine ilişkin yığışımlı toplam tüketilen enerji eğrisi	83
Şekil 3.41. RCF-5 çerçevesine ilişkin rijitlik azalım eğrisi	84
Şekil 3.42. RCF-5 çerçevesinin deney sonundan bir görünüm	84
Şekil 3.43. Geleneksel betonla üretilen gaz beton dolgu duvarlı deprem kumaşlı RCF-6 çerçevesinin deneyi esnasından bir görünüm	85
Şekil 3.44. RCF-6 çerçevesinin histeriktik yük-yerdeğiştirme eğrisi	86
Şekil 3.45. RCF-6 çerçevesine ilişkin dayanım zarfı eğrisi	86
Şekil 3.46. RCF-6 çerçevesine ilişkin yığışımlı toplam tüketilen enerji eğrisi	87
Şekil 3.47. RCF-6 çerçevesine ilişkin rijitlik azalım eğrisi	87
Şekil 3.48. RCF-6 çerçevesinin deney sonundan bir görünüm	88
Şekil 3.49. DDÇ-1 çerçevesinin histeriktik yük-yerdeğiştirme eğrisi	89
Şekil 3.50. DDÇ-2 çerçevesinin histeriktik yük-yerdeğiştirme eğrisi	89
Şekil 3.51. DDÇ-3 çerçevesinin histeriktik yük-yerdeğiştirme eğrisi	90
Şekil 3.52. Düşük dayanımlı dolgu duvarsız çerçevenin sonlu elemanlar yöntemiyle elde edilen şematik ilk beş modu ve doğal frekansları	91
Şekil 3.53. Düşük dayanımlı tuğla dolgu duvarlı çerçevenin sonlu elemanlar yöntemiyle elde edilen şematik ilk beş modu ve doğal frekansları	91
Şekil 3.54. Geleneksel betonlu dolgu duvarsız çerçevenin sonlu elemanlar yöntemiyle elde edilen şematik ilk beş modu ve doğal frekansları	92
Şekil 3.55. Geleneksel betonlu tuğla dolgu duvarlı çerçevenin sonlu elemanlar yöntemiyle elde edilen şematik ilk beş modu ve doğal frekansları	92

Şekil 3.56. Düşük dayanımlı betonla üretilen dolgu duvarsız çerçevenin dinamik özelliklerinin belirlenmesine ilişkin deney anından bir görünüm (a) ve bu çerçeveye üzerinde ivmeölçerlerin konumu (b)	93
Şekil 3.57. Düşük dayanımlı dolgu duvarsız çerçevenin spektral yoğunluk fonksiyonu ...	93
Şekil 3.58. Düşük dayanımlı dolgu duvarsız çerçevenin kararlılık fonksiyonu	94
Şekil 3.59. Düşük dayanımlı dolgu duvarsız çerçevenin deneysel modal çözümlerinden elde edilen mod şekilleri	94
Şekil 3.60. Düşük dayanımlı tuğla dolgu duvarlı çerçevenin dinamik özelliklerinin belirlenmesine ilişkin deney anından bir görünüm (a) ve bu çerçeveye üzerinde ivmeölçerlerin konumları (b)	95
Şekil 3.61. Düşük dayanımlı tuğla dolgu duvarlı çerçevenin spektral yoğunluk fonksiyonu	96
Şekil 3.62. Düşük dayanımlı tuğla dolgu duvarlı çerçevenin kararlılık fonksiyonu	96
Şekil 3.63. Düşük dayanımlı tuğla dolgu duvarlı çerçevenin deneysel modal çözümlerinden elde edilen mod şekilleri	96
Şekil 3.64. Geleneksel betonla üretilen dolgu duvarsız çerçevenin dinamik özelliklerinin belirlenmesine ilişkin deney anından bir görünüm (a) ve bu çerçeveye üzerinde ivmeölçerlerin konumu (b)	97
Şekil 3.65. Geleneksel betonlu dolgu duvarsız çerçevenin spektral yoğunluk fonksiyonu	98
Şekil 3.66. Geleneksel betonlu dolgu duvarsız çerçevenin kararlılık fonksiyonu	98
Şekil 3.67. Geleneksel betonlu dolgu duvarsız çerçevenin deneysel modal çözümlerinden elde edilen mod şekilleri	99
Şekil 3.68. Geleneksel betonlu tuğla dolgu duvarlı çerçevenin dinamik özelliklerinin belirlenmesine ilişkin deney anından bir görünüm (a) ve bu çerçeveye üzerinde ivmeölçerlerin konumları (b)	99
Şekil 3.69. Geleneksel betonlu tuğla dolgu duvarlı çerçevenin spektral yoğunluk fonksiyonu	100
Şekil 3.70. Geleneksel betonlu tuğla dolgu duvarlı çerçevenin kararlılık fonksiyonu	100
Şekil 3.71. Geleneksel betonlu tuğla dolgu duvarlı çerçevenin deneysel modal çözümlerinden elde edilen mod şekilleri	101
Şekil 3.72. PRCF-1 çerçevesinin statik itme çözümlerinden elde edilen kapasite eğrisi	102
Şekil 3.73. PRCF-1 çerçevesinin statik itme çözümlerinden elde edilen yığışımli olarak tüketilen toplam enerji eğrisi	103
Şekil 3.74. PRCF-1 çerçevesinin statik itme çözümlerisiyle elde edilen rijitlik azalim eğrisi	103
Şekil 3.75. PRCF-2 çerçevesinin statik itme çözümlerinden elde edilen kapasite eğrisi	104
Şekil 3.76. PRCF-2 çerçevesinin statik itme çözümlerinden elde edilen yığışımli olarak tüketilen toplam enerji eğrisi	105

Şekil 3.77. PRCF-2 çerçevesinin statik itme çözümlemesiyle elde edilen rijitlik azalım eğrisi	105
Şekil 3.78. RCF-1 çerçevesinin statik itme çözümlemesinden elde edilen kapasite eğrisi	106
Şekil 3.79. RCF-1 çerçevesinin statik itme çözümlemesinden elde edilen yığışımli olarak tüketilen toplam enerji eğrisi	107
Şekil 3.80. RCF-1 çerçevesinin statik itme çözümlemesiyle elde edilen rijitlik azalım eğrisi	107
Şekil 3.81. RCF-2 çerçevesinin statik itme çözümlemesinden elde edilen kapasite eğrisi	108
Şekil 3.82. RCF-2 çerçevesinin statik itme çözümlemesinden elde edilen yığışımli olarak tüketilen toplam enerji eğrisi	109
Şekil 3.83. RCF-2 çerçevesinin statik itme çözümlemesiyle elde edilen rijitlik azalım eğrisi	109
Şekil 3.84. RCF-3 çerçevesinin statik itme çözümlemesinden elde edilen kapasite eğrisi	110
Şekil 3.85. RCF-3 çerçevesinin statik itme çözümlemesinden elde edilen yığışımli olarak tüketilen toplam enerji eğrisi	111
Şekil 3.86. RCF-3 çerçevesinin statik itme çözümlemesiyle elde edilen rijitlik azalım eğrisi	111
Şekil 3.87. RCF-4 çerçevesinin statik itme çözümlemesinden elde edilen kapasite eğrisi	112
Şekil 3.88. RCF-4 çerçevesinin statik itme çözümlemesinden elde edilen yığışımli olarak tüketilen toplam enerji eğrisi	113
Şekil 3.89. RCF-4 çerçevesinin statik itme çözümlemesiyle elde edilen rijitlik azalım eğrisi	113
Şekil 3.90. RCF-5 çerçevesinin statik itme çözümlemesinden elde edilen kapasite eğrisi	114
Şekil 3.91. RCF-5 çerçevesinin statik itme çözümlemesinden elde edilen yığışımli olarak tüketilen toplam enerji eğrisi	115
Şekil 3.92. RCF- çerçevesinin statik itme çözümlemesiyle elde edilen rijitlik azalım eğrisi	115
Şekil 3.93. RCF-6 çerçevesinin statik itme çözümlemesinden elde edilen kapasite eğrisi	116
Şekil 3.94. RCF-6 çerçevesinin statik itme çözümlemesinden elde edilen yığışımli olarak tüketilen toplam enerji eğrisi	117
Şekil 3.95. RCF-6 çerçevesinin statik itme çözümlemesiyle elde edilen rijitlik azalım eğrisi	117
Şekil 4.1. Düzlem içi çevrimsel yatay yük etkisindeki deney çerçevelerinin dayanımlarına ilişkin zarf eğrileri.....	119

Şekil 4.2.	Düzlem içi çevrimsel yük etkisindeki deney çerçevelerinin taşıma kapasitelerine ilişkin histogram	119
Şekil 4.3.	Düzlem içi çevrimsel yük etkisindeki çerçevelerin yığışımli olarak tükettikleri toplam enerjinin ötelenme oranıyla değişim eğrileri	121
Şekil 4.4.	Düzlem içi çevrimsel yatay yük etkisindeki çerçevelerin %3.5 bağlı ötelenme oranı için enerji tüketme kapasitelerine ilişkin histogram	122
Şekil 4.5.	Düzlem içi çevrimsel yükler altındaki çerçevelerin yerdeğiştirme sünekliklerine ilişkin histogram.....	123
Şekil 4.6.	Düzlem içi çevrimsel yatay yük etkisindeki çerçeve sekant rijitliklerinin ötelenme oranıyla değişim eğrileri	125
Şekil 4.7.	Düzlem içi çevrimsel yatay yük etkisindeki çerçevelerin başlangıç sekant rijitliklerine ilişkin histogram	126
Şekil 4.8.	Düzlem dışı yükleme altındaki çerçevelerin itme yönündeki dayanım zarfı eğrileri.....	127
Şekil 4.9.	PRCF-1 çerçevesinin düzlem içi çevrimsel yük etkisindeki deneyinden ve statik itme çözümlerinden elde edilen dayanım zarf eğrileri.....	128
Şekil 4.10.	PRCF-1 çerçevesinin düzlem içi çevrimsel yük etkisindeki deneyinden ve statik itme çözümlerinden elde edilen enerji tüketme eğrileri.....	129
Şekil 4.11.	PRCF-1 çerçevesinin düzlem içi çevrimsel yük etkisindeki deneyinden ve statik itme çözümlerinden elde edilen rijitliklerinin ötelenme oranıyla değişim eğrileri	130
Şekil 4.12.	PRCF-2 çerçevesinin düzlem içi çevrimsel yük etkisindeki deneyinden ve statik itme çözümlerinden elde edilen dayanım zarf eğrileri.....	131
Şekil 4.13.	PRCF-2 çerçevesinin düzlem içi çevrimsel yük etkisindeki deneyinden ve statik itme çözümlerinden elde edilen enerji tüketme eğrileri.....	132
Şekil 4.14.	PRCF-2 çerçevesinin düzlem içi çevrimsel yük etkisindeki deneyinden ve statik itme çözümlerinden elde edilen rijitliklerinin ötelenme oranıyla değişim eğrileri	132
Şekil 4.15.	RCF-1 çerçevesinin düzlem içi çevrimsel yük etkisindeki deneyinden ve statik itme çözümlerinden elde edilen dayanım zarf eğrileri.....	133
Şekil 4.16.	RCF-1 çerçevesinin düzlem içi çevrimsel yük etkisindeki deneyinden ve statik itme çözümlerinden elde edilen enerji tüketme eğrileri.....	134
Şekil 4.17.	RCF-1 çerçevesinin düzlem içi çevrimsel yük etkisindeki deneyinden ve statik itme çözümlerinden elde edilen rijitliklerinin ötelenme oranıyla değişim eğrileri	135
Şekil 4.18.	RCF-2 çerçevesinin düzlem içi çevrimsel yük etkisindeki deneyinden ve statik itme çözümlerinden elde edilen dayanım zarf eğrileri.....	136
Şekil 4.19.	RCF-2 çerçevesinin düzlem içi çevrimsel yük etkisindeki deneyinden ve statik itme çözümlerinden elde edilen enerji tüketme eğrileri.....	137

Şekil 4.20. RCF-2 çerçevesinin düzlem içi çevrimsel yük etkisindeki deneyinden ve statik itme çözümlerinden elde edilen rijitliklerinin ötelenme oranıyla değişim eğrileri	137
Şekil 4.21. RCF-3 çerçevesinin düzlem içi çevrimsel yük etkisindeki deneyinden ve statik itme çözümlerinden elde edilen dayanım zarf eğrileri.....	138
Şekil 4.22. RCF-3 çerçevesinin düzlem içi çevrimsel yük etkisindeki deneyinden ve statik itme çözümlerinden elde edilen enerji tüketme eğrileri.....	139
Şekil 4.23. RCF-3 çerçevesinin düzlem içi çevrimsel yük etkisindeki deneyinden ve statik itme çözümlerinden elde edilen rijitliklerinin ötelenme oranıyla değişim eğrileri	139
Şekil 4.24. RCF-4 çerçevesinin düzlem içi çevrimsel yük etkisindeki deneyinden ve statik itme çözümlerinden elde edilen dayanım zarf eğrileri.....	140
Şekil 4.25. RCF-4 çerçevesinin düzlem içi çevrimsel yük etkisindeki deneyinden ve statik itme çözümlerinden elde edilen enerji tüketme eğrileri.....	141
Şekil 4.26. RCF-4 çerçevesinin düzlem içi çevrimsel yük etkisindeki deneyinden ve statik itme çözümlerinden elde edilen rijitliklerinin ötelenme oranıyla değişim eğrileri	141
Şekil 4.27. RCF-5 çerçevesinin düzlem içi çevrimsel yük etkisindeki deneyinden ve statik itme çözümlerinden elde edilen dayanım zarf eğrileri.....	143
Şekil 4.28. RCF-5 çerçevesinin düzlem içi çevrimsel yük etkisindeki deneyinden ve statik itme çözümlerinden elde edilen enerji tüketme eğrileri.....	143
Şekil 4.29. RCF-5 çerçevesinin düzlem içi çevrimsel yük etkisindeki deneyinden ve statik itme çözümlerinden elde edilen rijitliklerinin ötelenme oranıyla değişim eğrileri	144
Şekil 4.30. RCF-6 çerçevesinin düzlem içi çevrimsel yük etkisindeki deneyinden ve statik itme çözümlerinden elde edilen dayanım zarf eğrileri.....	145
Şekil 4.31. RCF-6 çerçevesinin düzlem içi çevrimsel yük etkisindeki deneyinden ve statik itme çözümlerinden elde edilen enerji tüketme eğrileri.....	145
Şekil 4.32. RCF-6 çerçevesinin düzlem içi çevrimsel yük etkisindeki deneyinden ve statik itme çözümlerinden elde edilen rijitliklerinin ötelenme oranıyla değişim eğrileri	146
Şekil 4.33. Düşük dayanımlı ve geleneksel betonla üretilen dolgu duvarsız çerçevelerin sonlu elemanlar ve çevresel titreşimleri kullanan deneysel modal çözümler yöntemiyle elde edilen doğal frekanslarının değişimi.....	147
Şekil 4.34. Düşük dayanımlı ve geleneksel betonla üretilen tuğla dolgu duvarlı çerçevelerin sonlu elemanlar ve çevresel titreşimleri kullanan deneysel modal çözümler yöntemiyle elde edilen doğal frekanslarının değişimi.....	148
Şekil 4.35. Sonlu elemanlar model iyileştirilmesinde kullanılan akış şeması	149
Şekil 4.36. Düşük dayanımlı betonla üretilen dolgu duvarsız çerçevenin model iyileştirilmesinden sonra elde edilen mod şekilleri	150
Şekil 4.37. Düşük dayanımlı betonla üretilen tuğla dolgu duvarlı çerçevenin model iyileştirilmesinden sonra elde edilen mod şekilleri	151

Şekil 4.38. Geleneksel betonla üretilen dolgu duvarsız çerçevenin model iyileştirilmesinden sonra elde edilen mod şekilleri	151
Şekil 4.39. Geleneksel betonla üretilen tuğla dolgu duvarlı çerçevenin model iyileştirilmesinden sonra elde edilen mod şekilleri	152
Şekil 4.40. Düşük dayanımlı betonla üretilen dolgu duvarsız çerçevenin sonlu elemanlar modelinden, deneysel ölçümlerden ve model iyileştirilmesinden sonra elde edilen frekans değerleri	153
Şekil 4.41. Düşük dayanımlı betonla üretilen tuğla dolgu duvarlı çerçevenin sonlu elemanlar modelinden, deneysel ölçümlerden ve model iyileştirilmesinden sonra elde edilen frekans değerleri	153
Şekil 4.42. Geleneksel betonla üretilen dolgu duvarsız çerçevenin sonlu elemanlar modelinden, deneysel ölçümlerden ve model iyileştirilmesinden sonra elde edilen frekans değerleri.....	154
Şekil 4.43. Geleneksel betonla üretilen tuğla dolgu duvarlı çerçevenin sonlu elemanlar modelinden, deneysel ölçümlerden ve model iyileştirilmesinden sonra elde edilen frekans değerleri.....	154

ÇİZELGELER DİZİNİ

	<u>Sayfa No</u>
Çizelge 1.1. Tuğla duvar elastisite modülleri.....	16
Çizelge 1.2. Gaz betona ilişkin bazı fiziksel ve mekanik özellikler	16
Çizelge 2.1. Deneye tabi tutulan dolgu duvarlı ve dolgu duvarsız betonarme çerçeveler ve yükleme şekilleri.....	31
Çizelge 2.2. Betonların üretiminde kullanılan kalker agregasının bazı fiziksel özellikleri	31
Çizelge 2.3. Betonların üretiminde kullanılan çimentonun kimyasal, fiziksel ve mekanik özellikleri.....	33
Çizelge 2.4. Deney çerçevelerinin üretiminde kullanılan dişli donatıların bazı özellikleri	33
Çizelge 2.5. Geleneksel (GB) ve düşük dayanımlı betonların (DDB) bileşimi	35
Çizelge 2.6. Deney çerçevelerinin üretiminde kullanılan geleneksel ve düşük dayanımlı betonların bazı mekanik özellikleri.....	37
Çizelge 2.7. Yatay delikli tuğla ve gaz beton bloklara ilişkin bazı fiziksel ve mekanik özellikler.....	41
Çizelge 2.8. Tuğla dolgu duvarın örülmesinde ve sıvanmasında kullanılan harçların karışım oranları ve 28 günlük ortalama basınç dayanımları	41
Çizelge 2.9. Deney çerçevelerinin sonlu elemanlar yöntemiyle teorik olarak çözümlenmelerinde kullanılan malzemelerin bazı mekanik ve fiziksel özellikler.....	53
Çizelge 3.1. Düşük dayanımlı dolgu duvarsız çerçevenin doğal frekans ve sönüm oranları	95
Çizelge 3.2. Düşük dayanımlı tuğla dolgu duvarlı çerçevenin doğal frekans ve sönüm oranları	97
Çizelge 3.3. Geleneksel betonlu dolgu duvarsız çerçevenin doğal frekans ve sönüm oranları	99
Çizelge 3.4. Geleneksel betonlu tuğla dolgu duvarlı çerçevenin doğal frekans ve sönüm oranları	101
Çizelge 4.1. Düzlem içi yüklenen deney çerçevelerinin birbirine göre taşıma kapasitelerindeki değişim oranları	120
Çizelge 4.2. Düzlem içi yüklenen deney çerçevelerinin %3.5 bağıl ötelenme oranı için birbirine göre enerji tüketme kapasite artış oranları	121
Çizelge 4.3. Deney çerçevelerinin çevrimsel yükler altında yerdeğiştirme süneklikleri	123

Çizelge 4.4.	Düzlem içi yüklenen çerçevelerinin birbirine göre yerdeğiştirme sünegliği artış oranları.....	124
Çizelge 4.5.	Düzlem içi yüklenen deney çerçevelerinin başlangıç rijitlik oranları	128
Çizelge 4.6.	Düşük dayanımlı ve geleneksel betonla üretilen dolgu duvarsız ve tuğla dolgu duvarlı çerçevelerin sonlu elemanlar ve çevresel titreşim yöntemiyle elde edilen doğal frekansları	147
Çizelge 4.7.	Sonlu elemanlar modelinde iyileştirmeden önce ve iyileştirmeden sonra kullanılan malzeme özellikleri	150
Çizelge 4.8.	Düşük dayanımlı ve geleneksel betonla üretilen çerçevelerin model iyileştirilmesinden sonra elde edilen frekans değerleri.....	152

SİMGELER DİZİNİ

A_k	Tepki sinyalinin GSY fonksiyonuna ilişkin k. artık değer matrisi
A_*	Durum matrisi
B	Ortamdaki verileri simgeleyen matrisi
B_*	Veri matrisi
C	Sönüm matrisi
C_*	Sistem davranış matrisi
D_*	Doğrudan iletim matrisi
DN	Doğal nem
DS	Doyma suyu
E_c	Betonun elastisite modülü, çerçevenin elastisite modülü
E_{dolgu}	Dolgu duvar elastisite modülü
E_{GFRP}	Deprem kumaşının elastisite modülü
E_m	Basınç altındaki dolgu duvarın elastisite modülü
$E_{sıva}$	Sıvanın elastisite modülü
E_*	Beklenen değer operatörü
f_c	Tuğla duvarın basınç dayanımı
f_{dolgu}	Dolgu duvar basınç dayanımı
f_{GFRP}	Deprem kumaşının dayanımı
f_m	Dolgu duvarın basınç dayanımı
$f_{sıva}$	Sıva basınç dayanımı
F_{mak}	Her çevrimdeki pozitif maksimum yükler
F_{min}	Her çevrimdeki negatif maksimum yükler
$GÇ$	Kesit göçme sınırı
GV	Kesit güvenlik sınırı
$G_{xx}(j\omega)$	Etki sinyalinin güç spektral yoğunluk fonksiyonu
$G_{yy}(j\omega)$	Tepki sinyalinin güç spektral yoğunluk fonksiyonu
h	Çerçeve yüksekliği, kat yüksekliği
h'	Dolgu duvar yüksekliği

$H(j\omega)$	Frekans davranış fonksiyonu
$H_{ik}(i\omega)$	Transfer Matrisi
\bar{H}	Kompleks eşleniği ve transpoze
I_c	Kolonun atalet momenti
k	Sekant rijitliği
K	Rijitlik matrisi
l	Çerçeve açıklığı
L	Çubuk eleman boyu
l'	Dolgu duvar genişliği
M	Sistemin kütle matrisi
MN	Kesit minimum hasar sınırı
n	Mod sayısı
$R(t)$	Titreşim kuvveti
R_k	Artık değer fonksiyonu
R_k^*	Artık değer fonksiyonunun kompleks eşleniği
SE	Su emme oranı
S_i	Skaler tekil değerleri içeren diyagonal matris
s_{ij}	Skaler tekil değerler
T	Transpoze
t_{dolgu}, t	Dolgu duvar kalınlığı
t_{GFRP}	Deprem kumaşının kalınlığı
$t_{sıva}$	Sıva kalınlığı
U_i	Tekil vektörleri içeren bütün matris
u_{ij}	Tekil vektör
u_k	Belirgin sinyal verisi
$U(t)$	Zamana bağlı yerdeğiştirme vektörü
$\dot{U}(t)$	Zamana hız vektörü
$\ddot{U}(t)$	Zamana bağlı ivme vektörü
V_a	Agrega mutlak hacmi
V_h	1 m ³ betonda hapsedilmiş hava hacmi (dm ³)
v_k	İvmeölçer kusurlarından dolayı işlenen gürültü sinyali
V_w	1 m ³ betondaki su hacmi (dm ³)

w	Eşdeğer sanal basınç çubuğu genişliği
W_a	1 m ³ betondaki agrega kütlesi (kg)
W_c	1 m ³ betondaki çimento kütlesi (kg)
w_k	Modeldeki belirsizlikler ve kusurlar nedeniyle işlenen gürültü sinyalleri
$x(t)$	Durum vektörü
β_i	Agrega sınıfının kütlece oranı
γ_a	Agreganın doymun kuru yüzeyli (DKY) birim kütlesi (kg/dm ³)
γ_c	Çimentonun birim kütlesi (kg/dm ³)
δ	Yatay yerdeğiştirme
δ_{mak}	Her çevrimdeki pozitif maksimum yüklere karşılık gelen yerdeğiştirmeler
δ_{min}	Her çevrimdeki negatif maksimum yüklere karşılık gelen yerdeğiştirmeler
δ_{pq}	Kronecker deltası
δ_u	Nihai yerdeğiştirme
δ_y	Akma yerdeğiştirmesi
ϵ_{cu}	Kırılma şekil değiştirmesi
ϵ_{su}	Donatı çeliğinin kopma birim şekil değiştirmesi
$\epsilon_{0.05}$	Duvar prizma basınç dayanımının %5'i olan $\sigma_{0.05}$ gerilmesine karşı gelen şekil değiştirme
$\epsilon_{0.33}$	Duvar prizma basınç dayanımının %33'ü olan $\sigma_{0.33}$ gerilmesine karşı gelen şekil değiştirme
ρ_s	Kesitte bulunan enine donatının hacimsel oranı
ρ_{sm}	Kesitte bulunması gereken enine donatının hacimsel oranı
θ	Eşdeğer sanal basınç çubuğun yatayla yaptığı açı, ötelenme oranı
λ	Dolgu ile çerçevenin rijitlik parametresi
μ	Yerdeğiştirme sünekliği
λ_k	Kutup fonksiyonu
*	Kompleks eşlenik
\emptyset	Donatı çapı

Not: Simgeler dizininde verilmeyen simgeler metnin içinde geçtikleri yerde tanımlanmıştır.

1. GENEL BİLGİLER

1.1. Giriş

Bilindiği gibi Türkiye en aktif deprem kuşaklarından biri üzerinde bulunmaktadır. Geçmişte ülkemizde aralıklarla oluşan depremlerin birçok can ve mal kaybına neden olduğu da bir gerçektir. Gelecekte oluşması kuvvetle muhtemel depremlerde can ve mal kaybını en aza indirmek için yapılara ülke ekonomisiyle bağdaşan bir emniyetin kazandırılması gerektiği açıktır. Diğer bir deyişle yeni yapılacak olan yapıların depreme dayanıklı olarak inşa edilmesi, mevcutlardan değerlendirmeler sonunda depreme dayanıklı olmadıklarına karar verilenlerin ise onarım ve güçlendirilmeleri gerekmektedir. Bu işlemlerin gerçekleştirilebilmesi için, ulusal ve uluslararası yönetmeliklerde tasarımda dikkate alınacak hüküm ve öneriler mevcuttur. Bu yönetmelikler öneri ve hükümlerini yapı taşıyıcı sistemlerine göre de yapmaktadırlar. Betonarme yapıların inşasında kullanılan başlıca taşıyıcı sistemler, geleneksel çerçeveli sistemler, perde duvarlı sistemler, eğik elemanlı çerçeveli sistemler, boşluklu perde duvarlı sistemler, perde duvarlı-çerçeveli sistemler, tüp sistemler ve taban izolasyonlu sistemler şeklinde özetlenebilmektedir.

Bunlardan çerçeve sistemler yapılarda oldukça yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu tür taşıyıcı sistemlere sahip binaların, mevcut bölme duvarlar rijitliğe katkı yapsalar bile, yatay rijitlikleri yeterli olmadığından depremlerden oldukça fazla etkilenmektedirler.

Bilindiği gibi güçlendirmede kullanılan çelik ya da betonarme mantolama teknikleri çerçevelerin başarımlarını artırmaktadır. Günümüzde yapıların deprem dayanımını artırmak amacıyla yeni malzeme ve teknikler de geliştirilmiş, bunların kullanımı konusunda birçok araştırma yapılmış ve yapılmaktadır.

Bölme duvarların yapı davranışına katkılarını artırmak için birçok yeni malzeme geliştirilmiştir. Bu malzemelerden özellikle lifli polimerler yapıların güçlendirilmesinde daha çok kullanılmaktadır. Geleneksel malzemelerle gerçekleştirilen onarım ve güçlendirme tekniklerine göre yeni üretilen malzemelerden biri olan lifli polimerle güçlendirmeler konusunda yapılan araştırmalar sınırlı sayıdadır. Bu nedenle, bu konuda yeni araştırmaların yapılması gerekmektedir.

Bu çalışmanın temel amacı, geleneksel ve düşük dayanımlı betonlarla üretilen cam lifli polimerlerden (GFRP) oluşan deprem kumaşı olarak da adlandırılan malzemeyle

güçlendirilen, çevrimsel yük (tersinir tekrarlı) etkisinde dolgu duvarsız ve dolgu duvarlı betonarme çerçevelerin düzlem içi ve düzlem dışı davranışlarının deneysel ve teorik olarak incelenmesidir. Ayrıca, deney çerçevelerinden düşük dayanımlı ve geleneksel betonla üretilen, dolgu duvarsız ve tuğla dolgu duvarlı birer çerçevenin doğal frekansları, mod şekilleri ve sönüm oranları gibi dinamik özellikleri deneysel modal çözümleme yöntemiyle belirlenmiştir. Bu çözümlerden elde edilen bulgularla çerçevelerin SAP2000 yazılımıyla teorik olarak belirlenen dinamik özellikler karşılaştırılarak aradaki fark malzeme özellikleri ve sınır koşulları değiştirilerek iyileştirilmiştir. Bunların dışında, düşük dayanımlı ve geleneksel betonla üretilen çevrimsel yük etkisindeki, dolgu duvarsız ve dolgu duvarlı çerçevelerin statik itme çözümleri de gerçekleştirilmiş ve böylece elde edilen bulgular deneysel bulgularla karşılaştırılmıştır.

1.2. Yapıların Davranışlarını Etkileyen Bazı Parametreler

Yapıların depremlerde belirli düzeylerde başarımlı göstermeleri istenmektedir. Yapıların istenen bu başarımlı gösterebilmesi için dayanımlarının, rijitliklerinin, süneklik ve sönüm oranlarının yeterli düzeyde olması gerekmektedir. Bunun için de boyutlandırmanın anılan özellikleri kazandıracak şekilde yapılması gerekmektedir.

1.2.1. Rijitlik Değişimi

Rijitlik değişimi, yapı elemanlarının deney başlangıcından sonuna kadar başarımlının değerlendirilmesinde kullanılan bir değişkendir. Çevrimsel yükleme altında genellikle sekant rijitliği dikkate alınmaktadır. Bu rijitlik, her çevrimdeki itme ve çekmedeki maksimum yükler ve bunlara karşılık gelen yerdeğiştirme değerlerini birleştiren doğrunun eğimi olarak tanımlanmaktadır. Bu tanıma göre; F_1 ve F_2 , sırasıyla itme ve çekmedeki maksimum yükleri, δ_1 ve δ_2 ise sırasıyla itme ve çekmedeki maksimum yerdeğiştirmeleri göstermek üzere sekant rijitliği

$$k = \frac{|F_1| + |F_2|}{|\delta_1| + |\delta_2|} \quad (1.1)$$

bağıntısıyla belirlenmektedir (Şekil 1.1).

Akma noktası ve nihai yerdeğiştirme belirlenirken genellikle yük-yerdeğiştirme zarf eğrisinden faydalanılmaktadır. Buna göre, δy maksimum yükten çizilen DB doğrusuyla OC doğrusunun kesişim noktasının apsisini ve δu %15 dayanım azalmasına karşılık gelen nihai yerdeğiştirmeyi göstermek üzere (Şekil 1.2), μ yerdeğiştirme sünekliği süneklik katsayısı adı verilen (Park, 1989; Xue ve Yang, 2010),

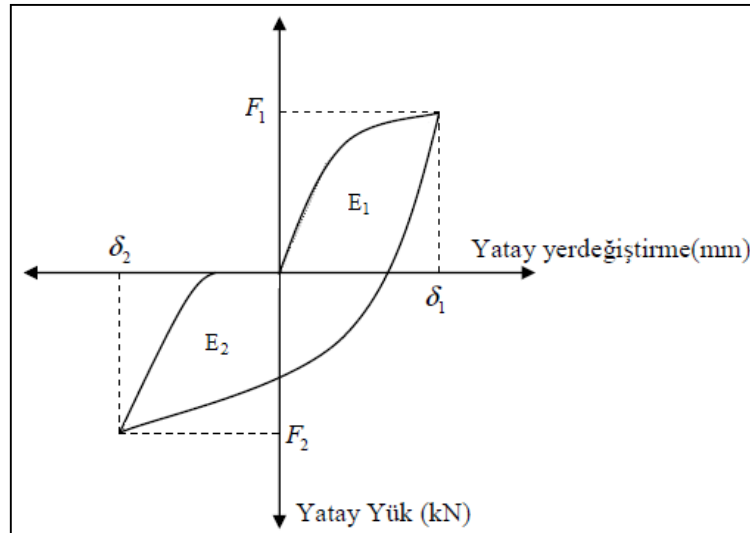
$$\mu = \delta u / \delta y \quad (1.2)$$

ifadesiyle belirlenmektedir.

1.2.3. Enerji Tüketim Kapasite Değişimi

Çevrimsel yatay yük etkisindeki çerçeve sistemler, üzerlerindeki etkileri şekil değiştirme enerjisiyle karşılamaktadır. Toplam tüketilen enerji, her çevrimde tüketilen enerji değerlerinin yığışımlı olarak toplanmasıyla elde edilmektedir. Her çevrimde tüketilen enerji, itme ve çekme yükleme durumları için ayrı ayrı yük-yerdeğiştirme eğrisinin altında kalan alanların toplanması suretiyle hesaplanmaktadır (Şekil 1. 3).

Tüketilen enerjilerin birbirleriyle daha sağlıklı olarak karşılaştırılabilmesi için toplam tüketilen enerji, bağlı yerdeğiştirmenin eleman yüksekliğine oranı olan toplam ötelenme oranına göre eğriler halinde verilmektedir.



Şekil 1.3. Çevrimsel yük altında enerji tüketiminin şematik gösterilimi

1.3. Yapıların Başarıma Dayalı Tasarımı

Başarıma dayalı yapı tasarımını esas alan modern deprem yönetmeliklerinden en yaygın olarak kullanılanlar, Federal Emergency Management Agency (FEMA) tarafından yayınlanan FEMA 273 (FEMA, 1997), FEMA 356 (FEMA, 2000) ve FEMA 440 (FEMA, 2005) dir.

Başarıma dayalı yapı tasarımı ilk olarak mevcut yapıların güçlendirilmesi konusunda ele alınmış bir kavramdır. Güçlendirme projesi düzenlenecek bir yapıda muhtemel bir deprem anında hangi kesitlerde kritik dayanım kayıpları görüleceği, kolon–kiriş birleşim noktalarında oluşacak *plastik mafsalların* dağılımları ve seviyeleri, yapının yatay yük taşıma kapasitesi ve başarım noktası gibi önemli verilerin elde edilmesinde kullanılmaktadır. Bu yöntem, yapıların deprem etkisinde gösterdiği doğrusal olmayan davranışı ve hasar mekanizmalarını etkin bir şekilde belirleme imkanı tanınması nedeniyle yeni yapıların tasarlanmasında da kullanılmaya başlanmıştır. Böylece yapılar kullanım amaçlarına uygun olarak önceden belirlenen bir başarım seviyesine göre tasarlanabilmektedirler.

Yapıların başarımı, depremde uğradıkları hasar durumuyla belirlenmektedir. Yapıların başarım noktası, Kapasite Spektrumu Yöntemi gibi doğrusal olmayan yöntemlerle belirlenmektedir. Bulunacak başarım noktası, yapının deprem anında göçmeden yapabileceği en büyük yerdeğiştirmeye ifade edilmektedir. Ancak bu yerdeğiştirme, yapıda izin verilebilecek en uygun hasar seviyesi olmayabilmektedir. Örneğin depremin hemen ardından kullanılması amaçlanan hastane gibi yapıların olabildiğince az hasar alması istenmekte, göçtüklerinde mal ve can kaybına neden olmayacak olan depo, baraka, kulübe gibi yapılarda böyle bir özellik aranmayabilmektedir.

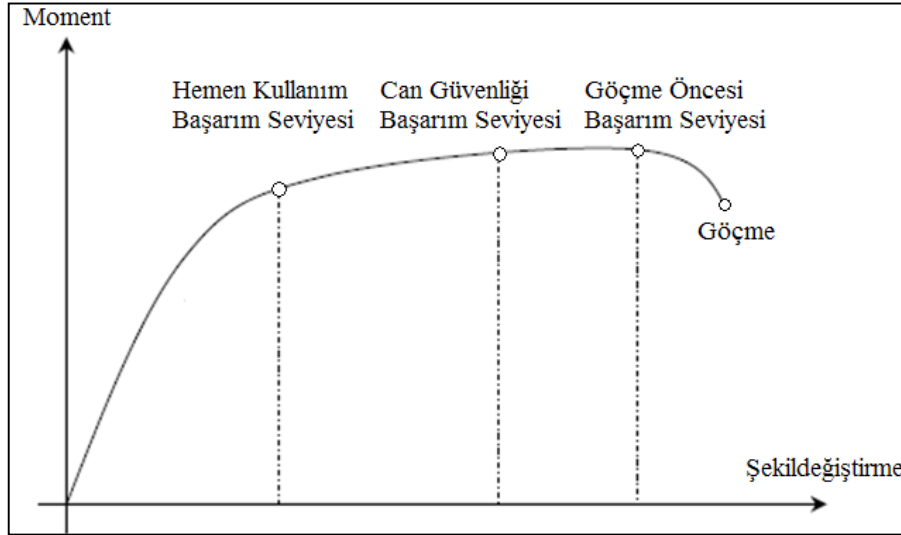
Yapının başarım hedefi, tasarlanacak her yapı için kullanım amacına göre yapının deprem etkileri altında kabul edilecek hasar durumuna ve bu hasarın başarıma yapacağı etki ve tasarımda kullanacağı depremi dikkate almak durumundadır. Tasarımcı yapının başarım düzeyini, uygun bir başarım hedefi, diğer bir deyişle yerdeğiştirme miktarına göre seçmelidir (Celep ve Kumbasar, 2004).

Büyük depremlerin sıkça görüldüğü bölgelerde başarım hedefinin daha sınırlı bir hasar seviyesinde seçilmesi gerektiği deprem sonrasında en düşük seviyede hasar görmesi istenen hastane, itfaiye binası, hükümet binaları gibi önemli yapıların boyutlandırılmasında da büyük depremlerin dikkate alınması gerekmektedir.

Durum böyle olunca hedeflenen başarımlar seviyesine ulaşabilmesi için kolon ve kirişlerin beton, çelik ya da lifli polimerle güçlendirilmesi, dıştan etriye eklenmesi, kesitlerin büyütülmesi, dolgu duvarların kapasitelerinin artırılması ve perde duvarlar eklenmesiyle gerçekleştirilebilmektedir.

1.3.1. Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik-2007'ye (DBYBHY-2007) Göre Başarımlar Seviyeleri ve Kesit Hasar Sınırları

Aşağıdaki Şekil 1.4'den de görüldüğü gibi DBYBHY-2007'ye göre bina başarımlar seviyeleri Hemen Kullanım, Can Güvenliği, Göçme Öncesi ve Göçme seviyesi olarak 4 guruba ayrılmaktadır.

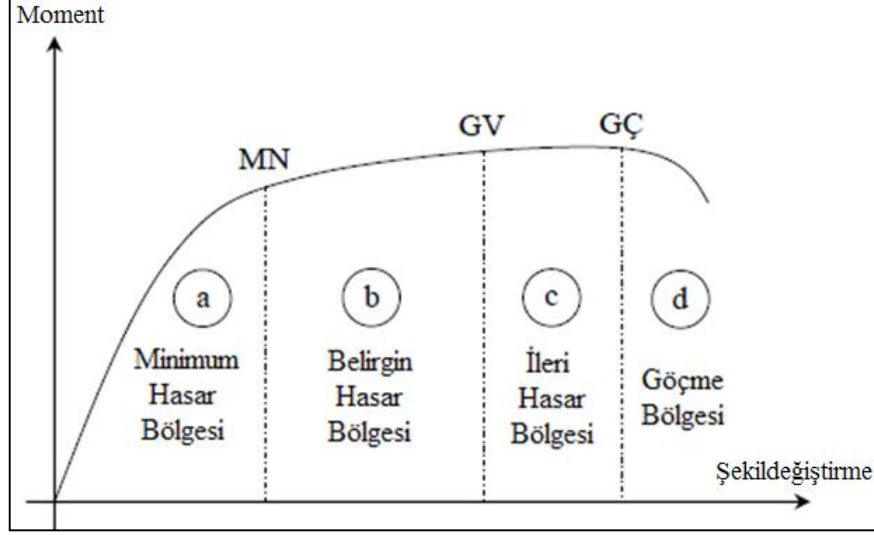


Şekil 1.4. Bina başarımlar seviyeleri

1.3.1.1. Kesitlerde Hasar Sınırları

Yapılar için başarımlar seviyeleri, kesitlerdeki hasar derecesine göre belirlenmektedir. Sünek kesitlerde hasar sınırı üç farklı seviye için tanımlanmaktadır. Bu sınırlar: Minimum Hasar Sınırı (MN), Güvenlik Sınırı (GV) ve Göçme Sınırı (GÇ) olarak adlandırılmaktadır. Minimum hasar sınırı, kesitte doğrusal elastik davranışın bittiği şekildeğiştirme sınırı ($\epsilon_{cu}=0.0035$, $\epsilon_{su}= 0.010$); güvenlik sınırı, kesitin dayanımının güvenli olarak sağlanabileceği elastik ötesi davranış sınırı ($\epsilon_{cu}=0.0035+0.01(\rho_s/\rho_{sm})\leq 0.0135$, $\epsilon_{su}= 0.040$); göçme sınırı ise kesitin göçme öncesi davranış sınırını göstermektedir

($\epsilon_{cu}=0.005+0.0130*(\rho_s/\rho_{sm})\leq 0.0180$ $\epsilon_{su}=0.060$). Gerçekten gevrek davranış gösteren kesitler için bu sınıflandırmanın geçerli olmadığı açıktır.



Şekil 1.5. Sünek kesitlerde hasar sınırları ve hasar bölgeleri

1.4. Deneysel Modal Çözümleme Yöntemleri

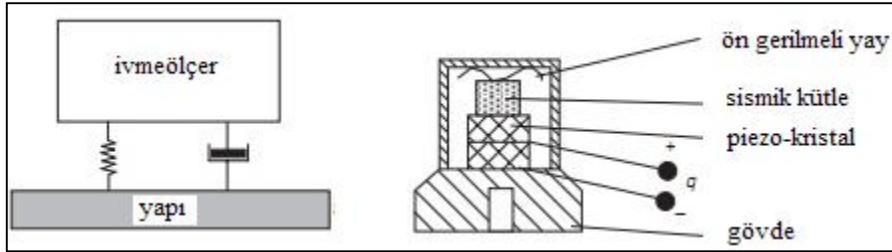
Teknik literatürde Deneysel Modal Çözümleme (DMÇ) yöntemi, yapıların dinamik özellikleri olan; doğal frekanslarını, mod şekillerini ve sönüm oranlarını belirlemede kullanılan bir yöntemdir. Bu yöntem, yapılara uygulanan yük türüne göre Çevresel ve Zorlanmış Titreşim Yöntemleri olarak ikiye ayrılmaktadır.

DMÇ yönteminde, yapıları titreştirmek amacıyla doğal çevresel (deprem, rüzgâr, dalga hareketi, yaya hareketi ve taşıt trafik yükleri) ve yapay etkilerden (sarsıcılar, sarsma tablaları ve darbe çekiçleri) yararlanılmaktadır. Burada yapıda doğru bir titreşim sağlanabilmesi için sarsıcının yapıya ankastre olarak monte edilmesinin gerekli olduğunu belirtmek uygun olmaktadır (Altunışık, 2010). Bunlardan darbe çekiçleri, çok büyük olmayan yapıların ve laboratuvar modellerinin titreştirilmesi için kullanılmaktadırlar. Diğer bir deyişle darbe çekicinin ve başlığının, yapı boyutlarına ve türüne bağlı olarak seçilmesi gerekmektedir. Verilen etkiyi ölçmek için darbe çekicinin içinde sensör adı verilen aygıtlar bulunmaktadır.



Şekil 1.6. B&K 8210 tipi darbe çekici

DMÇ yöntemi kullanılarak gerçekleştirilen ölçümlerde, seçilen yapının tipine ve frekans aralığına göre belirlenen ivmeölçerler rolü önemlidir. Çeşitli tipte ivmeölçerler mevcut olup, yapısal titreşimlerin ölçümlerinde bunlardan genellikle piezoelektrik adıyla anılan ivmeölçerler kullanılmaktadır (Şekil 1.7). Bu tip ivmeölçerler yay-kütle sönümleyici sisteminden oluşmaktadır (Ramos, 2007). İvmeölçerlerin aktif kısımları kuartz ya da seramik kristallerinden üretilmektedir (Altunışık, 2010).



Şekil 1.7. Piezoelektrik tipi ivmeölçerin iç mekanizması

Bir yapının titreşimlerinin doğru olarak elde edilebilmesi için kullanılacak ivmeölçer tipinin seçimi önemlidir. Bu seçim doğru yapılmadığı takdirde bunlarla kaliteli sinyaller alınmasının mümkün olmayacağı açıktır. İvmeölçerlerin seçiminde frekans aralığı, hassasiyeti, ölçebileceği maksimum ivme değeri ve çalışma sıcaklığını dikkate almak gerekmektedir. Bu özelliklerin ayrıntıları aşağıda verilmektedir.

- ✓ Frekans Aralığı: İvmeölçerin, ölçebileceği maksimum ve minimum frekanslar ile bunlar arasındaki değerlerdir.
- ✓ Hassasiyet: İvmeölçerin, yerçekimi ivmesiyle orantılı olarak üretebileceği elektrik gücüdür.

- ✓ Maksimum İvme Değeri: İvmeölçerin, elektrik sinyali bozulmadan ya da kaybolmadan ölçebileceği en büyük ivmedir.
- ✓ Çalışma Sıcaklığı: İvmeölçerin, sağlıklı sinyal üretebileceği maksimum ve minimum ortam sıcaklıklarıdır.

Burada, düşük frekanslı yapılarda yüksek hassasiyetli, yüksek frekansa yapılarda ise düşük hassasiyetli ivmeölçerler seçilmesinin, ivmeölçer ağırlık ve boyutlarının yerleştirilecekleri yapı ağırlık ve boyutlarından daha büyük olmaması gerektiği belirtilmelidir (Sevim, 2010). Aşağıdaki Şekil 1.8'de B&K 4507 B 005 ve B&K 8340 tipi bir eksenli ivmeölçerler ile B&K 4506 B 003 tipi üç eksenli ivmeölçerler verilmektedir (Altunışık, 2010).



Şekil 1.8. B&K 8340 tipi bir eksenli (a), B&K 4506 tipi üç eksenli (b) ve B&K 4507 tipi bir eksenli (c) ivmeölçerler

Veri toplama ünitesi, ivmeölçerlerden gelen sinyalleri toplayan ve bilgisayar programına aktaran elemanlardır. Veri toplama ünitesine aktarılan ham sinyaller, bazı işlemlerle istenen özelliklere getirmek mümkün olmaktadır. Bu işlemler genellikle düşük seviyeli bir sinyalin kalitesini artırmak, gürültü sinyallerinin etkisini azaltmak, istenmeyen sinyalleri filtrelemek, gerekli durumlarda ivmeölçerlerdeki elektrik gücünü ayarlamak ve davranışlarını denetlemek için yapılmaktadır. Bunlardan en önemlisi istenmeyen sinyallerin filtrelenmesidir. Bu sinyaller, seçilen frekans ölçüm aralığı dışında kalan yüksek frekans sinyalleridir. Zira sinyaller düşük hızda ölçüldüğünde yüksek frekans içeriğine sahip olanlar, düşük frekanslıymış gibi ölçülmekte dolayısıyla da ölçüm hatalı olmaktadır. Bu hatanın olmaması için ölçme hızı, en büyük frekansın en az iki katı olarak

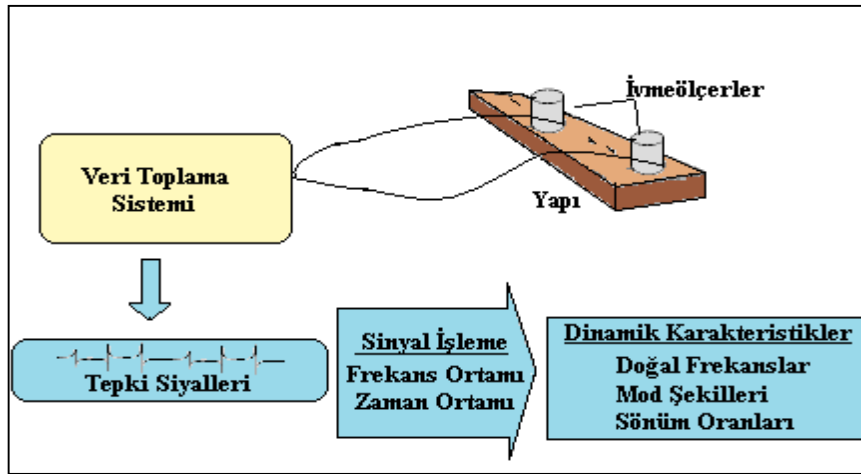
seçilmesi gerekmektedir. Bu çalışmada, ölçümlerde veri ünitesi olarak, B&K 3560 C tipi 17 kanallı aygıt kullanılmaktadır (Şekil 1.9).



Şekil 1.9. B&K 3560 C tipi 17 kanallı veri toplama ünitesi

1.4.1. Çevresel Titreşimler Altında Modal Çözümleme Yöntemleri

Çevresel Titreşimlerin kullanıldığı modal çözümleme yönteminde (ÇTY), etkiyen yük ölçülmediğinden Davranış Fonksiyonu belirlenmemektedir. Dolayısıyla bu yöntem teknik literatürde bazen Operasyonel Modal Analiz olarak da adlandırılmaktadır. ÇTY' ye göre yapıların dinamik karakteristiklerinin belirlenmesine ilişkin akış şeması Şekil 1.10'da verilmektedir. Geliştirilmiş Frekans Tanım Alanında Ayrıştırma (GFTAA) ve Stokastik Altalan Belirleme (SAB) yöntemleri en sık kullanılan çevresel titreşim yöntemleridir.



Şekil 1.10. Çevresel titreşimleri kullanan deneysel modal çözümleme yöntemine göre yapıların dinamik karakteristiklerinin belirlenmesi (Altunışık, 2010)

1.4.1.1. Geliştirilmiş Frekans Tanım Alanında Ayırıştırma

Geliştirilmiş Frekans Tanım Alanında Ayırıştırma (GFTAA) yöntemi, kullanımı kolay olan Frekans Tanım Alanında Ayırıştırma (FTAA) yönteminin genişletilmesiyle elde edilen bir yöntemdir. Bu yöntemde modlar, davranışın spektral yoğunluk fonksiyonundan hesaplanan tekil değer ayırıştırma diyagramlarındaki maksimum değerlerin seçilmesiyle elde edilmektedir. FTAA yönteminde yapının sönüm oranları belirlenememekte, GFTAA yönteminde ise belirlenen doğal frekansların ve mod şekillerinin doğruluğu artırılmakta ve elde edilemeyen sönüm oranları bu yöntemle belirlenebilmektedir (Jacobsen vd., 2006).

GFTAA yönteminde ölçülmeyen etkiyen yük ve davranış fonksiyonu arasındaki ilişki, $G_{xx}(j\omega)$ ve $G_{yy}(j\omega)$ sırasıyla etkiyen yük ve tepki sinyallerinin Güç Spektral Yoğunluk (GSY) fonksiyonlarını, $H(j\omega)$ frekans davranış fonksiyonunu, * ve T sırasıyla ifadelerin kompleks eşleniğini ve transpozisini göstermek üzere;

$$[G_{yy}(j\omega)] = [H(j\omega)]^* [G_{xx}(j\omega)] [H(j\omega)]^T \quad (1.3)$$

bağıntısıyla ifade edilmektedir (Bendat ve Piersol, 2004). Matematiksel düzenlemelerden sonra tepki sinyaline ait GSY fonksiyonu tek kutuplu artık değer fonksiyonu formunda, n mod sayısını, λ_k ve R_k kutup ve artık değer fonksiyonlarını göstermek üzere frekans davranış fonksiyonu;

$$H(j\omega) = \sum_{k=1}^n \frac{R_k}{j\omega - \lambda_k} + \frac{R_k^*}{j\omega - \lambda_k^*} \quad (1.4)$$

bağıntısıyla belirlenmektedir. (1.4) ifadesi (1.3)'de yerine konulduktan ve gerekli düzenlemeler yapıldıktan sonra; s tekil değerleri, \bar{H} kompleks eşleniği ve transpozeyi göstermek üzere;

$$G_{yy}(j\omega) = \sum_{k=1}^n \sum_{s=1}^n \left[\frac{R_k}{j\omega - \lambda_k} + \frac{R_k^*}{j\omega - \lambda_k^*} \right] [G_{xx}(j\omega)] \left[\frac{R_k}{j\omega - \lambda_k} + \frac{R_k^*}{j\omega - \lambda_k^*} \right]^{\bar{H}} \quad (1.5)$$

şeklini almaktadır (Brincker vd., 2000). Matematiksel ifadeler sadeleştirildiğinde tepki sinyaline ilişkin GSY fonksiyonu tek kutuplu artık değer fonksiyonu şeklinde, A_k , tepki sinyalinin GSY fonksiyonuna ilişkin k . artık değer matrisini göstermek üzere (1.5) ifadesi;

$$G_{yy}(j\omega) = \sum_{k=1}^n \frac{A_k}{j\omega - \lambda_k} + \frac{A_k^*}{j\omega - \lambda_k^*} + \frac{B_k}{-j\omega - \lambda_k} + \frac{B_k^*}{-j\omega - \lambda_k^*} \quad (1.6)$$

şeklini almaktadır (Brincker vd., 2000). GFTAA yönteminde ilk adım GSY matrisini belirlemektir. Ayrık frekanslarda tepki sinyalinin GSY'sinin tahmini $\omega = \omega_i$ olarak bilinmekte ve sonra tekil değer matrisi ayrıştırılmaktadır (Brincker vd., 2000). Buna göre (1.6) bağıntısı, u_{ij} tekil vektörleri, $U_i = [u_{i1}, u_{i2}, \dots, u_{im}]$ tekil vektörleri içeren matrisi, s_{ij} skaler tekil değerleri ve $S_i = [s_{i1}, s_{i2}, \dots, s_{im}]$ skaler tekil değerleri içeren köşegen matrisi göstermek üzere;

$$G_{yy}(j\omega_i) = U_i S_i U_i^H \quad (1.7)$$

bağıntısıyla ifade edilmektedir. Bu bağıntıda verilen GSY fonksiyonunda, maksimum noktaları doğal frekanslara, maksimum noktaları oluşturan tekil vektörler (u_{ij}) ise doğal mod şekillerine karşılık gelmektedir (Brincker vd., 2000).

Maksimum etrafındaki GSY fonksiyonundan elde edilen bir serbestlik dereceli tekil değer yoğunluk fonksiyonu kullanılarak doğal frekans ve sönüm oranları elde edilmektedir. Bu işlem Ters Hızlı Fourier Dönüşümüyle, zaman tanım alanında, doğal frekans ve sönüm oranları belirlenebilmektedir (Brincker vd., 2000). İki mod belirgin olduğunda, birinci tekil vektör daima iyi bir mod şekli oluşturmaktadır. İki modun ortogonal olması durumunda ise bu modlara ilişkin tekil vektörler ilgili mod şekil vektörlerini göstermektedir (Brincker vd., 2000; Altunışık, 2010).

1.4.1.2. Stokastik Altalan Belirleme

Stokastik Altalan Belirleme (SAB) yönteminde korelasyona ve spektruma ihtiyaç duyulmadan doğrudan zaman verileriyle çalışan bir yöntemdir (Overschee ve Moor, 1996; Peeters ve Roeck, 2000; Peeters, 2000; Yu ve Ren, 2005). Bu yöntemde yapı sisteminin

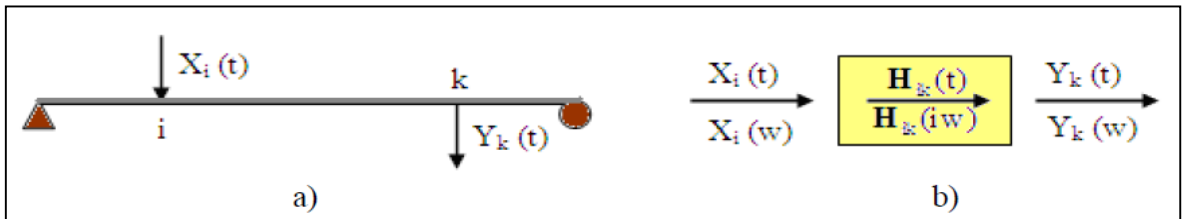
dinamik davranışı doğrusal, sabit katsayılı ikinci derece diferansiyel bir denklem olarak, M, C, K sırasıyla sistemin kütle, sönüm ve rijitlik matrislerini, $R(t)$ titreşim kuvvetini, $U(t), \dot{U}(t), \ddot{U}(t)$ ise bağıl yerdeğiştirme, hız ve ivme vektörlerini göstermek üzere hareket denklemi;

$$M\ddot{U}(t) + C\dot{U}(t) + KU(t) = R(t) = B_*u(t) \quad (1.8)$$

şeklinde ifade edilmektedir. Bu denklemdeki, $R(t)$ kuvvet vektörü yerine, ortamdaki verileri simgeleyen B matrisi ile $u(t)$ vektörünün çarpımı konulabilmektedir. Bu denklem, titreşen yapının davranışını temsil etmesine karşın bu şekliyle SAB yöntemine uygun değildir. Bu nedenle, denklem (1.8) daha uygun, olan ayrık-zaman stokastik durum-uzayı modeli adıyla anılan bir şekle dönüştürülmektedir. Bu konuya ilişkin ayrıntılı bilgi teknik literatürde verilmektedir (Yu ve Ren, 2005).

1.4. 2. Zorlanmış Titreşimler Altında Modal Çözümleme Yöntemi

Zorlanmış Titreşim Yöntemi'nde, yapı $X_i(t)$ gibi yapay bir kuvvetle herhangi bir i noktasından titreştirilmekte ve yapının bu etkiye göstermiş olduğu tepki- $Y_k(t)$, yapay kuvvet sinyali- $X_i(t)$ ile birlikte ölçülmektedir (Şekil 1.11a). Yapay titreşimler, sarsıcılardan ya da darbe çekiçlerinden elde edilmektedir. Zaman tanım alanında ölçülen bu sinyaller frekans tanım alanına Fourier serileri kullanılarak dönüştürüldüğünde, etki-tepki zaman sinyalleri arasındaki ilişkiyi gösteren Frekans Davranış Fonksiyonu- H_{ik} Transfer Matrisi- $H_{ik}(i\omega)$ olarak adlandırılan Frekans Davranış Fonksiyonu matrisine dönüşmektedir (Şekil 1.11b) (Schwarz ve Richardson, 1999).



Şekil 1.11. Zorlanmış Titreşim Yöntemi'nin şematik gösterimi (a) ve Frekans Davranış Fonksiyonunun belirlenmesi (b) (Schwarz ve Richardson, 1999)

Bu yöntemde, etki-tepki sinyalleri arasındaki ilişki, $H_{ik}(iw)$ Frekans Davranış Fonksiyonu'nu, $X_i(w)$ ve $Y_k(w)$ sırasıyla frekans tanım alanındaki tepki ve etki fonksiyonlarını göstermek üzere;

$$H_{ik}(iw) = \frac{Y_k(w)}{X_i(w)} \quad (1.9)$$

bağıntısıyla ifade edilmektedir. Elde edilen Frekans Davranış Fonksiyonu $H_{ik}(iw)$ çeşitli sayısal yöntemler kullanılarak ayrıştırılmakta ve böylece yapıya ilişkin doğal frekanslar, mod şekilleri ve sönüm oranları elde edilmektedir.

1.5. Dolgu Duvarlı Çerçeveler

Daha önce de belirtildiği gibi dolgu duvarlı betonarme çerçeve sistem yapılar birçok bölgede inşa edilmektedir. Bu yapıların dolgu duvarları çeşitli tuğla, briket ve gaz beton gibi malzemelerle örülmektedir. Depremlerden sonra yapılan saha gözlemleri, taşıyıcı olmadıkları kabul edilen dolgu duvarların, yapıların rijitlik, süneklik, enerji tüketme dolayısıyla yük taşıma kapasiteleri, periyot ve sönüm oranı gibi dinamik özelliklerine önemli katkılar yaptığını gösterdiği gibi, bu konuda laboratuvarlarda gerçekleştirilen çalışmalar da bu bulguları teyit etmektedir.

1.5.1. Dolgu Duvarların Özellikleri

Dolgu duvarın özellikleri örülmelerinde kullanılan tuğla, briket ve gaz beton gibi malzeme özellikleriyle örme işlerinde kullanılan harcın özellik ve işçiliğine bağlıdır.

Dolgu duvarın çerçeve sistem davranışlarına etkisinde bunları oluşturan malzemelerin elastisite modüllerinin rolü büyüktür. Dolgu duvarlar heterojen bir yapıya sahip olduğundan yatay, düşey ve çapraz doğrultudaki elastisite modülleri de birbirinden farklıdır. Diğer taraftan dolgu duvarların elastisite modülleri, dolgu malzemelerinin boyutlarına, basınç dayanımına, harcın dayanım ve kalınlığına da bağlı bulunmaktadır. Ayrıca dolgu duvarların sıvalı ya da sıvasız olması ve sıva kalınlığı da elastisite modülü

üzerinde etkili olmaktadır. f_m duvarın basınç dayanımı olmak üzere, duvarın elastisite modülünün,

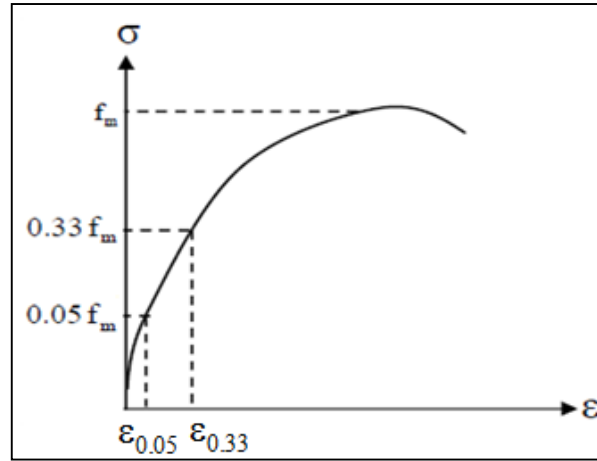
$$E_m = 700 f_m \quad (1.10)$$

ifadesiyle belirlenebileceği belirtilmektedir (Beklen, 2009).

Aşağıdaki Şekil 1.12'de dolgu duvarı temsil eden prizma şeklindeki numune üzerinde gerçekleştirilen deneyden elde edilen gerilme-şekil değiştirme diyagramı verilmektedir (ACI 530, 1995). Bu diyagrama göre duvarın elastisite modülü (1.11) bağıntısıyla hesaplanmaktadır.

$$E_m = \frac{\sigma_{0.33} - \sigma_{0.05}}{\epsilon_{0.33} - \epsilon_{0.05}} \quad (1.11)$$

Yapılan bazı çalışmalarda, araştırmacıların kullandıkları tuğla dolgu duvar elastisite modülleri Çizelge 1.1'de verilmektedir (ACI 530-95).



Şekil 1.12. Dolgu duvar gerilme-şekil değiştirme eğrisi

Bir araştırmada, kullanılan gaz betonlu sıvasız dolgu duvarın elastisite modülü 1500 MPa olarak, sıvalısının ise 2091 MPa olarak belirlenmiştir (Karaduman, 2005). Babayev v.d. (2002), dolgu duvarda kullanılan gaz beton küp (10cmx10cmx10cm) ve prizma (10cmx10cmx40cm) numuneler üzerinde belirlemiş oldukları bazı fiziksel ve mekanik özellikler Çizelge 1.2'de verilmektedir.

Çizelge 1.1. Tuğla duvar elastisite modülleri (Beklen, 2009)

E_m (MPa)	E_c (MPa)	Çalışmayı Yapan, Yıl	Üniversite	E_m / E_c
5200	30000	Aydoğdu, 1995	YTÜ	1/6
6000	28500	Erkaya, 1996	İTÜ	1/5
1240	30000	Yalçın, 1999	İTÜ	1/24
5000	28500	Tüzün, 1999	DEÜ	1/6
2850	28500	Çağatay, 2002	ÇÜ	1/10
6000	12000	Öktem, 2003	İTÜ	1/2
15200	29600	Erçetin, 2004	CBÜ	1/2
1393	28500	Karslıoğlu, 2005	KSÜ	1/20
700	25310	Dündar, 2006	ÇÜ	1/36
1650	2500	Özdoğu, 2006	SAÜ	1/15
17000	28500	Budak, 2006	YTÜ	1/17
714	29600	Çağlayan, 2006	CBÜ	1/40
1000	2800	Tarakçı, 2006	PAÜ	1/28
3000	3200	Dönmez, 2006	İTÜ	1/10
1000	-	DBYBHY	-	-

Çizelge 1.2. Gaz betona ilişkin bazı fiziksel ve mekanik özellikler (Beklen, 2009)

Özgül Ağırlığı (N/m ³)	Ortalama Küp Dayanımı (MPa)	Ortalama Prizmatik Dayanımı (MPa)	Ortalama Başlangıç Elastisite Modülü (MPa)	Ortalama Poisson Oranı
7500-8000	4.90	3.32	1620	0.21
9000	4.60	3.08	1570	0.20
8000-8500	3.60	2.64	1490	0.19

1.5.2. Dolgu Duvarların, Çerçeve Sistem Betonarme Binaların Davranışına Etkileri

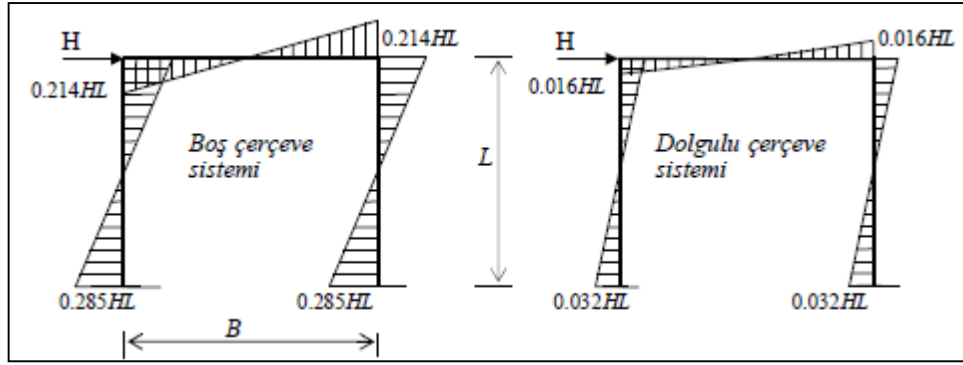
Dolgu duvarların, yapıların tasarımında taşıyıcı olmadıkları kabul edilmektedir. Oysa yapıların stabilite, dayanım, rijitlik ve süneklikleri üzerinde etkileri göz ardı edilemeyecek düzeydedir. Aşağıdaki başlıklar altında bu özellikleri üzerinde durulmaktadır.

1.5.2.1. Yatay ve Düşey Yük Taşıma Kapasitesine Etkileri

Dolgu duvarlar yatay yükler altında belli bir yük ya da yerdeğiştirme değerine kadar çerçeveye birlikte çalışarak çerçeveye daha büyük bir başlangıç rijitliği kazandırmakta, dolayısıyla taşıma kapasitesini artırmaktadır. Dolgu duvarlar yapının ötelenmelerini tıpkı perde duvarlar gibi kısıtlamaktadır.

1.5.2.2. Rijitlik Üzerindeki Etkileri

Bir çerçevenin yatay rijitliği, tepe noktasının tabanına göre birim yerdeğiştirmesine karşılık gelen kuvvet olarak tanımlanmaktadır. Bu rijitlik dolgulu çerçeveler için eşdeğer basınç çubuğu yöntemiyle analitik olarak da elde edilebilmektedir. Dolgu duvarlar çerçeve elemanlarda eğilme etkisini oldukça azalttığından, dolgulu çerçeve sistem, köşegen eşdeğer basınç çubuğu kullanılarak, kafes kiriş şeklinde modellenenmektedir (Smith, 1969; Yozgat 2010). Aşağıdaki Şekil 1.13’de dolgu duvarsız ve duvarlı çerçevede oluşan eğilme moment diyagramı verilmektedir.



Şekil 1.13. Dolgu duvarsız ve duvarlı çerçevede oluşan eğilme momentleri

1.5.2.3. Enerji Tüketme Kapasitesi Üzerindeki Etkileri

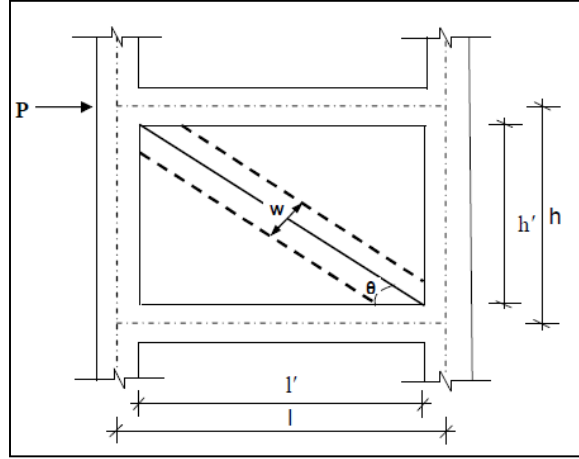
Dolgu duvarlar ile çerçevenin kolon ve kirişlerle olan değme yüzeylerindeki ayrışma ve duvarda oluşan çatlaklar çerçevenin sönümünü ve enerji tüketme kapasitesini artırmaktadır. Yapılan deneyler bu bulguyu teyit etmektedir (Zarnic, 1995; Beklen, 2009).

1.5.3. Dolgu Duvarlı Betonarme Çerçeve Sistemlerin Yapısal Çözümlerinde Kullanılan Bazı Yaklaşımlar

Dolgulu çerçeve sistemlerin yapısal çözümlemesinde kullanılan yaklaşımlar eşdeğer basınç çubuğu yaklaşımı ve sonlu elemanlar yaklaşımıdır.

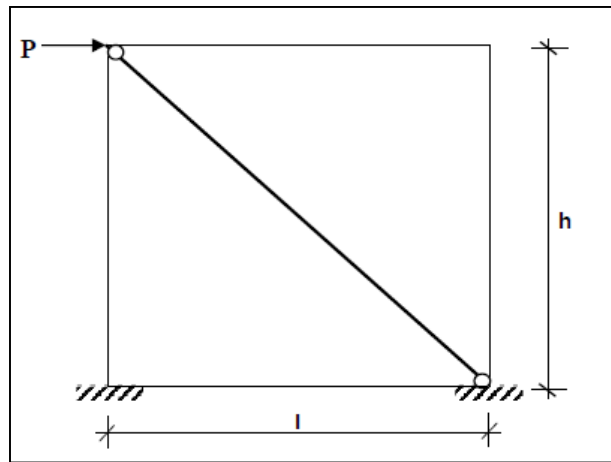
1.5.3.1. Eşdeğer Basınç Çubuğu Yaklaşımı

Eşdeğer basınç çubuğu yaklaşımı, dolgulu çerçeveler için basitleştirilmiş bir yapısal çözümleme yaklaşımıdır. Bu yaklaşımda, kat seviyelerine etkiyen yatay kuvvetler altında dolgu duvarın, kuvvetin etki ettiği düğüm noktası ile köşegendeki düğüm noktası arasında basınç çubuğu gibi çalıştığı kabul edilmektedir (Şekil 1.14) (Smith ve Carter,1969).



Şekil 1.14. Dolgulu çerçevelerde yapısal çözümlemelerde kullanılan eşdeğer basınç çubuğu yaklaşımına ilişkin bir model

Duvarın basınç taşıyan w genişlikli bölgesi yatay yük etkisinde eşdeğer bir çubukla temsil edilmektedir (Şekil 1.15).



Şekil 1.15. Çerçeve'deki dolgu duvarın iki ucu mafsallı eşdeğer basınç çubuğuyla temsil edilmesi

Eşdeğer çubuk kalınlığının belirlenmesi araştırmacıların yaptıkları kabuller doğrultusunda değişim göstermektedir. Teknik literatürde eşdeğer basınç çubuğu genişliği (w) için farklı kabuller yapılmaktadır (FEMA 306, 1998). Burada w , eşdeğer sanal basınç çubuğu genişliği; h , kat yüksekliğini, l , çerçeve açıklığını, h' , dolgu duvar yüksekliğini, l' dolgu duvar genişliğini, E_m , eşdeğer sanal basınç çubuğu elastisite modülünü, t , dolgu duvar kalınlığını, $\theta = \tan^{-1}\left(\frac{h'}{l'}\right)$, eşdeğer sanal basınç çubuğun yatayla yaptığı açığı, E_c , çerçevenin elastisite modülünü, I_c , kolonun atalet momentini göstermek ve

$$\lambda = \sqrt[4]{\frac{E_m t \sin(2\theta)}{4E_c I_c h'}} \quad (1.12)$$

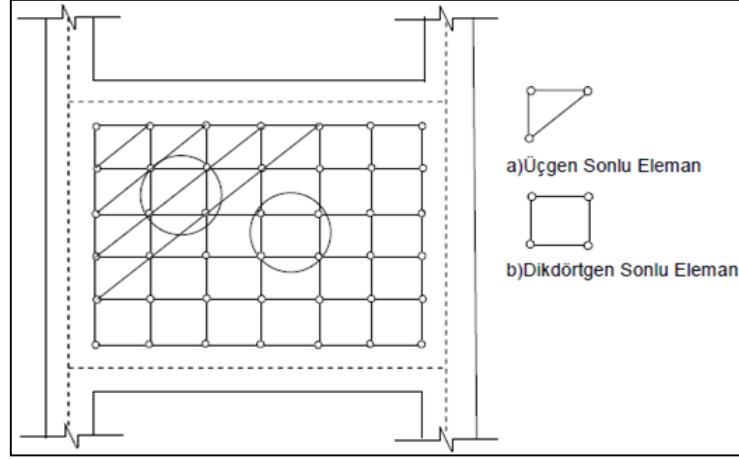
olmak üzere

$$w = 0.175(\lambda h)^{-0.4} \sqrt{h' + l'} \quad (1.13)$$

bağıntısıyla hesaplanmaktadır.

1.5.3.2. Sonlu Elemanlar Yaklaşımı

Bu yaklaşımda sürekli bir ortam kabul edilen düzlem dolgu duvar, iki boyutlu üçgen ya da dikdörtgenlerden oluşan sonlu elemanlar ile modellenmektedir (Şekil 1.16). Bu modelleme ile sistem, sadece düğüm noktalarında denge ve süreklilik koşullarını sağlayan sonlu sayıda elemanlardan oluşmuş çok serbestlik dereceli bir düzlem gerilme problemi olarak dikkate alınmaktadır. Bilgisayarla çözümü mümkün olan bu yaklaşımda dolgu duvarla çerçeve arasındaki uygunluk tam olarak sağlanabilmektedir (Sayın, 2003; Beklen, 2009). Bu modelde dolgu duvarın çerçeve sistemi üzerindeki etkisini ortaya koyabilmek için, dolgu duvarı oluşturan elemanlar harçla birbirine kenetlenmeli ve yük aktarımının yapılabilmesi için çerçeve sistem ve dolgu duvar bağlantısı tam olmalıdır.



Şekil 1.16. Çerçeve içindeki dolgu düzleminin üçgen ya da dikdörtgen sonlu elemanlar ağı ile modellenmesi

1.6. Binaların Onarım ve Güçlendirilmelerinde Kullanılan Malzeme ve Teknikler

Onarım işi, hasar görmüş herhangi bir yapı ya da yapı elemanının hasar görmeden önceki özelliklerinin geri kazanılması amacıyla yapılan bir çalışmadır. Güçlendirme işi ise, bir yapı ya da yapı elemanının taşıma kapasitesini, sünekliğini, stabilitesini ve rijitliği gibi özelliklerinden bir ya da bir kaçını mevcut durumunun üzerine çıkarmak için yapılan işlemlerdir. Bu işlemler çeşitli onarım ve güçlendirme teknikleriyle gerçekleştirilmektedir (Durmuş, 1998). Anlaşıldığı gibi, onarım için yapının hasarlı olması gerekirken, güçlendirme için yapının hasarlı olması gerekmemektedir.

Yapıda meydana gelen hasar durumuna göre onarım ve güçlendirilme enjeksiyonla, hasarlı kısmın kaldırılıp yerine yenisinin yapılmasıyla ve mantolama gibi tekniklerden birinin ya da birkaçının kullanılmasıyla gerçekleştirilmektedir.

Kılcal çatlaklı kolon ve kirişlerin onarımında genellikle reçine enjeksiyonları, büyük çatlaklarda ise çimento harcı enjeksiyonları kullanılmaktadır.

Betonu ezilmiş, donatısı burkulmuş ya da etriyeleri kopmuş hasarlı yapı elemanlarında ise onarım hasarlı kısım çıkarılıp yerine yeni boyuna ve enine donatılar koyup, mevcut donatılarla bağlantı sağlamak suretiyle yapılmaktadır.

Mantolama ise kolon ve kirişlerin taşıma kapasitelerini artırmak amacıyla uygulanan bir tekniktir. Bunlardan betonarme mantolama tekniğinde beton kesit alanı büyütülmekte ve elemana yeni boyuna donatılar ilave edilmektedir (Celep ve Kumbasar, 2009; Yılmaz, 2006). Çelik mantolamada ise elemana boyuna doğrultuda çelik profiller, enine doğrultuda

ise çelik levhalar ya da betonarme donatılar eklenmektedir. Bu mantolamada çirkin görünümü korozyonu önlemek ve yapının yangın dayanımını artırmak için üzerleri hafif betonla kaplanmaktadır (Durmuş, 1998; Demir, 1992)

Rijitlik üzerinde etkisi az olan çelik mantolamada, kolonun taşıma kapasitesi ile sünekliği artmaktadır (Durmuş, 1998; Yörükçü, 2007).

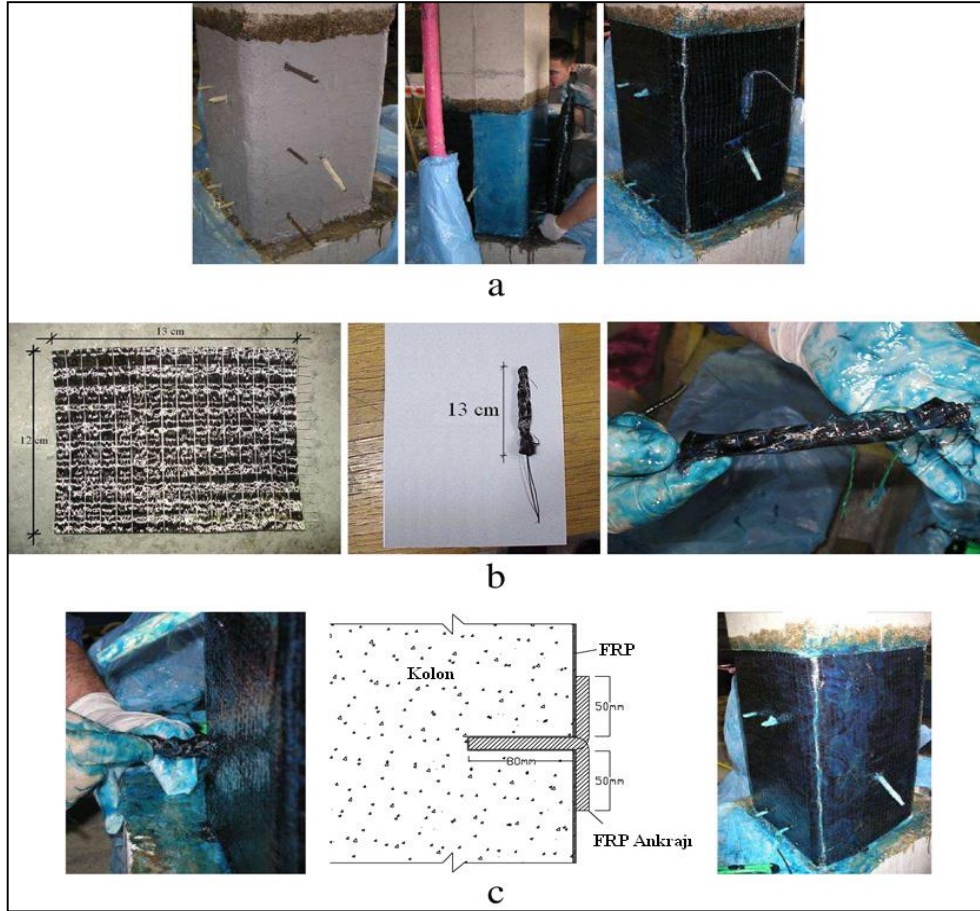
Depremde en fazla hasar gören kiriş-kolon birleşim bölgeleri, taşıyıcı sistemin en çok zorlanan ve güçlendirilmesi en zor olan kısımlarını oluşturmaktadır. Bu bölgelerde farklı doğrultudaki elemanlar birleştiğinden, kesit etkileri birbirleriyle dengelenmekle birlikte, deprem yükleri altında bu bölgede kesme dayanımı ve donatı kenetlenmelerinin yeterli olmaması hasarın temel nedenlerini oluşturmaktadır. Deprem etkisinde birleşim bölgesinin iki tarafındaki eğilme momentinin farklı işarette olması, kiriş kesitinde farklı gerilme durumları doğmasına ve bunun sonucunda birleşim bölgesinde donatı-beton aderansının sökülmesine yol açmaktadır. Hasarın yerel olması ve çatlaklar şeklinde görülmesi durumunda, epoksi reçinesi enjekte edilmesi onarım ve güçlendirme için yeterli olabilmektedir. Hasarın daha da yaygın olması durumunda kiriş-kolon birleşim bölgesi, çelik lamalar yapıştırılarak ve sarılarak güçlendirilebilmekte ve böylece, kesitlerin moment taşıma kapasiteleri artırılmaktadır. Kesme kapasitesini artırmak için ise kolon ve kiriş kesitlerinde genellikle sargı lamaları kullanılmaktadır (Durmuş, 1998; Çamlıbel, 2000).

1.6.1. Lifli Polimerlerle Onarım ve Güçlendirme

Lifli polimerler (FRP), genel olarak karbon, aramid, kevlar ve cam lifli olmak üzere 4 gruba ayrılmaktadır. Bu malzemeler yüksek dayanım, korozyona karşı dayanıklılık ve hafif olmaları gibi üstün mekanik ve fiziksel özelliklere sahiptir. Lifli polimerle bir doğrultuda plakalar, kumaşlar, çubuklar ve çift doğrultuda lifli kumaşlar olarak üretilmektedir. Bunların sünme ve uzamaları az ve çeliğe göre daha ince ve hafif olduğu gibi çekme dayanımı da 5-10 kat daha büyüktür. Güçlendirmede bunlar betonarme elemanlara dıştan uygulanmaktadır. Bunlarla yapı elemanlarının normal kuvvet taşıma kapasiteleri ve eğilme kapasiteleri artırılmaktadır (Atay, 2010). FRP malzemeler genellikle; yüzey düzeltme macunu, epoksi yapıştırıcı, karbon, aramid ve cam lifleri gibi koruyucu kaplamadan oluşmaktadır.

Son yıllarda FRP malzemelerin betonarme sistem ya da elemanların güçlendirilmesinde kullanımı oldukça artmıştır. Teknik literatürde bunların bina ve köprü

ayaklarının güçlendirilmesinde kolayca kullanılabileceği belirtilmektedir. FRP sargılama deprem etkisi altında kolonların yanal rijitlik ve yük kapasitelerinde önemli bir artış yapmamakta ancak yerdeğiştirme kapasitelerini artırmaktadır. Bu nedenle, sargıları yetersiz olan betonarme kolonların plastik mafsalların oluşacağı bölgelerinin güçlendirilmesinde FRP sargıları etkin olarak kullanılmaktadır. Deprem dayanımı yetersiz olan binalarda genellikle, geleneksel güçlendirme teknikleri uygulanmakla birlikte, FRP güçlendirmeleri daha kolay ve ekonomik olmaktadır (Özcan vd., 2008).



Şekil 1.17. Bir kolona lifli polimer uygulaması örneği

Güçlendirmede kullanılan diğer bir malzeme de cam lifli polimerlerden (GFRP) oluşan Deprem Kumaşı olarak da adlandırılan malzemedir. Çalışmaya konu olan deney çerçevelerinin güçlendirilmesinde bu malzeme kullanılmıştır. Aşağıdaki Şekil 1.18'de deprem kumaşının betonarme bir çerçevenin dolgu duvarına uygulanışı görülmektedir.



Şekil 1.18. Deprem kumaşının betonarme bir çerçevenin dolgu duvarına uygulanışı

Lifli polimer (FRP) kullanımının üstünlükleri aşağıda özetlenmektedir.

- ✓ Tasarım kolaylığı sağlamaktadırlar.
- ✓ Korozyona karşı dayanıklıdırlar.
- ✓ Yapıların kullanımı sırasında da uygulanabilmektedirler.
- ✓ Kolaylıkla uygulanabilmektedirler.
- ✓ Maliyeti yüksek makine ve ekipman gerektirmemektedirler.
- ✓ Her çeşit yapı elemanının güçlendirmesinde kullanılabilirler.
- ✓ Bakım gerektirmemektedirler.
- ✓ Üretim denetimleri titizlikle yapıldığından kalitelerinden kuşku duyulmamaktadır.

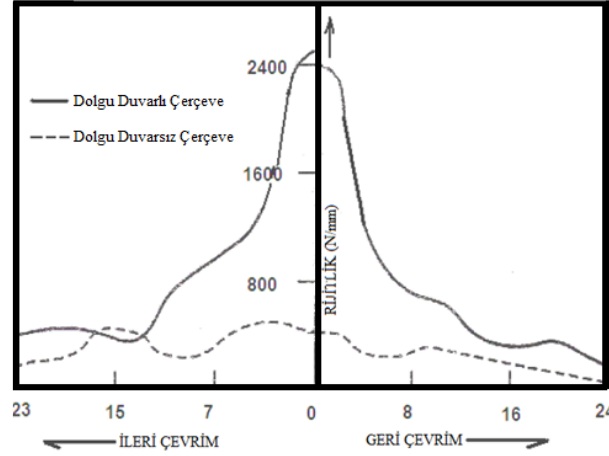
✓ Esnek olduklarından istenilen şekil kolaylıkla verilebilmektedir.

Bunların yapıya kazandırdıkları özellikler ise aşağıda verilmektedir. .

- ✓ Yapının dayanım, dayanıklılık ve dinamik yükler altında yorulma mukavemetlerini artırır.
- ✓ Geometri değişimi yapmadıkları gibi sabit yükü artırmaz ve sehimi azaltırlar.

1.6.2. Dolgu Duvarlı Çerçeveler Konusunda Daha Önce Gerçekleştirilen Bazı Çalışmalar

Teknik literatürden bugüne kadar dolgu duvarlı çerçevelerle onarım ve güçlendirme konusunda deneysel ve teorik birçok çalışmalar gerçekleştirildiği bilinmektedir. Gerçekten; Govindan v.d. (1986) çalışmalarında dolgu duvarlı ve dolgu duvarsız betonarme çerçevelerin, çevrimsel yükler altında rijitliklerinin değişimini göstermişlerdir (Şekil 1.19).



Şekil 1.19. Dolgu duvarlı ve dolgu duvarsız betonarme çerçevelerin çevrimsel yatay yükler altında rijitliklerinin değişimi

Smith (1962, 1965) dolgu duvarlı çerçevelerin yatay yük altında davranışlarını deneysel ve teorik olarak belirlemeye çalışmışlar, model olarak dolgu duvarı köşegen doğrultusunda eşdeğer basınç çubuğuyla temsil etmişlerdir. Sonuç olarak çerçevelerin yatay rijitlik ve dayanımının sadece boyutlara ve mekanik özelliklere bağlı değil, dolgunun çerçeveyle olan temas yüzeyine de bağlı olduğunu göstermiştir. Temas yüzeyinin dolgu duvar ve çerçevenin bağlı rijitlikleri ile değiştiğini ve böylece dolgu duvar davranışını belirleyen göreceli rijitlik kavramını tanımlamıştır.

Ersoy ve Uzsoy. (1971), dolgu duvarlı çerçevelerin davranış ve dayanımları üzerinde deneyler gerçekleştirmişlerdir. Bu deneylerde değişken olarak, çerçeve açıklığının yüksekliğine oranını, dolgu kalınlığını, dolgu ile çerçeve arasında aderansın varlığını ve çerçeveye etki eden yatay yükün düşey yüke oranını dikkate almışlardır.

Bertero ve Brokken (1981) çevrimsel yükler altında bir dizi deney yapmışlardır. Bu deneyler için bir açıklıklı dört katlı dolgu duvarlı çerçeveleri seçmişler ve böylece dolgu duvardaki boşlukların etkisiyle dolgu duvar ve çerçeve arasındaki bağlantıları

incelemişlerdir. Sonuç olarak, dolgu duvarsız çerçeveye eklenen dolgu duvarın, sistemin rijitliğini önemli ölçüde arttırdığı kanısına varmışlardır.

Benjamin ve Williams (1957), betonarme dolgu duvarlı 1/3 ve 1/8 ölçekte bir katlı ve bir açıklıklı betonarme çerçevelerin yatay yükler altındaki davranışlarını incelemişlerdir. İncelemelerde, malzeme özellikleri, dolgu kalınlığı ve donatısı, kolonların özellikleri ve yükleme koşulları gibi değişkenleri dikkate almışlardır.

Gülkan ve Wasti (1993) çalışmalarında, bir açıklıklı ve bir katlı bir çerçeve ele almışlardır. Çerçeveyi, elastik kolon-kiriş elemanlarıyla, dolgu duvarı ise doğrusal olmayan iki boyutlu izoparemetrik elemanlar ile modellemişler ve artan yatay yük altında çerçevenin yük-yerdeğiştirme ilişkisini incelemişlerdir. Sonuç olarak dolgu duvarın, çerçeve davranışını, kolon boyunun üçte birinden fazla olduğu zaman etkilemeye başladığını ve kolon kesme kuvvetinin, dolgusuz çerçeve hesaplarından elde edilenin 4-5 katı olduğunu ortaya koymuşlardır.

Ersoy v.d. (1989) dolgu duvarlar yardımıyla güçlendirilen çerçevelerin deprem etkisindeki davranışlarını araştırmışlardır. Çalışmalarında 1/3 ölçekli iki katlı, bir açıklıklı 14 dolgu duvarlı çerçeveyi depremi benzeştiren, çevrimsel yükler altında deneye tabi tutmuşlardır. Bu deneysel çalışmada incelenen temel değişken dolgu duvardaki donatı düzeni ve dolgu duvarla çerçeve bağlantısı olmuştur. Bunun için deneyler dört değişik donatı düzeni ve bağlantı detayına sahip çerçeveler üzerinde gerçekleştirilmiştir. Diğer taraftan bu deneylerde çerçeve kolonlarının, eksenel yük ve eğilme kapasitelerinin, dayanım, rijitlik ve süreklilik üzerindeki etkilerini de araştırmışlardır.

Bağcı (2003) yaptığı çalışmasında, dolgu duvarlı düzlemsel betonarme çerçevelerin çevrimsel yükler altında malzeme bakımından doğrusal olmayan çözümlemesini yapmıştır. Dolgu duvarlı betonarme düzlem çerçevelerin rijitliklerini dikkate aldığı bir model üzerinde sayısal olarak belirleyen ve çerçeve düğüm noktalarındaki yerdeğiştirme, iç kuvvet ve gerilmeleri hesaplayabilen MATLAB yazılımıyla bilgisayar programı geliştirilmiştir.

İrtem v.d. (2004), Türk Deprem Yönetmeliğine göre tasarlanmış betonarme yapıların başarımını değerlendirdikleri çalışmalarında dolgulu ve dolgusuz olmak üzere 3 katlı iki betonarme binanın, doğrusal olmayan statik çözümleme yöntemlerini [Kapasite Spektrum Yöntemi (KSY) ve Yerdeğiştirme Katsayıları Yöntemi (DKY)] kullanarak gerçekleştirmişlerdir. Kirişlerde plastik mafsall oluşmasını bir eksenli eğilme momentiyle, kolonlarda ise bileşik eğilme ile meydana geldiği kabul edilmiştir. Boşluksuz dolgu

duvarlar, basınç kırılmasına maruz kalacak şekilde, iki ucu mafsallı çubuk elemanlar olarak dikkate alınmıştır. Sonuç olarak dolgu duvarların dikkate alınmasıyla çerçeve davranışının değiştiği ve başarımlarının arttığı kanısına varmışlardır.

Tankut ve Karabay (1989), dolgu duvarların betonarme çerçeveler üzerindeki etkilerini teorik olarak incelemişlerdir. Çalışmalarında değişken olarak kat ve açıklık adedini, kolon boyutlarını ve duvar düzenini dikkate almışlardır. Sonuç olarak uygun yerleştirilen dolgu duvarların yapının deprem dayanımını genellikle artırdığı, ancak, bazı durumlarda yapı genel davranışında bir takım olumsuzlukların olduğunu belirtmişlerdir.

Düzgün v.d. (1989), dolgu duvarlı çerçevelerin farklı yüklemeler altında davranışlarını sonlu elemanlar yöntemini kullanarak teorik olarak incelemişlerdir. Bu incelemede kendilerinin geliştirmiş oldukları bir bilgisayar programını kullanarak, farklı özellik ve konumdaki dolgu duvarların çerçeve davranışı üzerindeki etkilerini de incelemişlerdir.

Kaltakçı ve Arslan (2005), dolgu duvarların betonarme çerçevelerin kapasite eğrileri üzerindeki etkilerini incelemiş ve bu etkilerin göz ardı edilemeyecek düzeyde olduğu kanısına varmışlardır.

Sevil v.d. (2010), bir açıklıklı iki katlı sıvanmış ve sıvanmamış tuğla dolgu duvarlı betonarme çerçeveleri düşey ve yatay çevrimsel yükler altında deneye tabi tutmuş dolgu duvarların çerçeve dayanım ve davranışlarına olan etkilerini incelemişlerdir. Deney sonuçlarını, sonlu elemanlar analizleriyle karşılaştırılmışlardır. Yapısal çözümlemede sıvanmış tuğla dolgu duvar modellenmesiyle ilgili önerilerde bulunmuşlardır.

Sayın ve Kaplan (2005), çerçeve dolgu duvarlarını sap2000 ve sta4cad yazılımlarıyla modellemişlerdir. Kullanılan dolgu duvarlar eşdeğer köşegen basınç çubuğu ve panel olarak modellenmiştir. Çalışmalarında dolgu duvarın rijitlik ve dayanımlarının doğru olarak belirlenmesi durumunda sayısal modellerin gerçeğe yakın sonuçlar verdiğini belirtmişlerdir.

Anıl ve Altın (2006) betonarme dolgu duvarlarla kısmen güçlendirilmiş çerçevelerin çevrimsel yükler altında davranışlarını deneysel olarak incelemişlerdir. Sonuç olarak, kısmen güçlendirilmiş çerçevelerin nihai dayanımlarının ve başlangıç rijitliklerinin dolgu duvarsız çerçevelerden oldukça yüksek olduğunu gözlemlemişlerdir.

Shannag vd. (2007) çerçeve ara açıklığındaki kolon-kiriş birleşimlerinin çevrimsel yükler altında davranışlarını deneysel ve doğrusal olmayan statik itme çözümlemesiyle incelemişlerdir. Bu çalışmada kolon-kiriş birleşim bölgesi yüksek başarılı çelik lifli

beton yardımıyla güçlendirilmiştir. Sonuç olarak, çalışmanın deneysel bulgularıyla, teorik bulgularının birbirine çok yakın olduğunu ve statik itme çözümlerinin yük-sehim ve moment-eğrilik ilişkisinin tahmininde de kullanılabileceğini göstermişlerdir.

Whitney vd. (1995) dolgu duvarlı çerçeve sistem yapıların patlama yükleri etkisindeki davranışlarını araştırmışlar ve dolgu duvarın, çerçevelerin dayanımı ile rijitliğini ihmal edilemeyecek derecede artırdığını gözlemlemişlerdir. Çerçeve dolgu duvarlarının betonarme olması durumunda dayanımın dolgu duvarsız çerçevelere göre 15 kat civarında daha fazla olduğunu belirtmişlerdir.

Klingner ve Bertero (1978), çerçeve sistem 11 katlı betonarme bir yapının 1/3 ölçekli ilk 3 katının modelleri üzerinde deneyler gerçekleştirmişlerdir. Modelde önce çerçeveler dolgu duvarsız deneye tabi tutulmuş, daha sonra deneyler yapıya dolgu duvarlar örülerek yapılmış ve dolgu duvarların yapının rijitliğini 5 kat artırdığını göstermişlerdir.

Govindan vd (1986), dolgu duvarların 7 katlı betonarme bir yapının süneklik, rijitlik, dayanım ve enerji yutma kapasitesini çevrimsel yükler altında incelemişler ve dolgulu çerçevenin dayanımının dolgu duvarsız çerçevenin dayanımından iki kat fazla olduğunu, başlangıç rijitliğinin ise yaklaşık 5 katına çıktığını belirlemişlerdir.

Altın (1990), dolgu duvarlı iki katlı, bir açıklıklı 1/3 ölçekli çerçeveler üzerinde deneysel çalışmalar yapmıştır. Bu deneylerde dolgu duvarlar 1975 deprem yönetmeliğine göre tasarlanmış betonarme perdeli çerçevelere yerleştirmişlerdir. Çevrimsel yükler altında yapılan deneylerde, dolgu donatısı ve dolgu çerçeve bağlantısı birbirinden farklı olarak tasarlanmıştır. Çalışma sonucunda, dayanım ve rijitliğin çerçeve dolgu bağlantı türüne göre oldukça değiştiği kanısına varmışlardır.

Phan vd (1995), betonarme dolgu duvarlı donatı oranı %0.5 olan betonarme çerçevelerin davranışlarını araştırmışlardır. Çerçevelerin güçlendirilmesinde, bir döküm betonarme perde duvarlar ve prefabrike paneller kullanılmıştır.

Mehrabi vd (1996), çalışmalarını 12 adet bir katlı, bir açıklıklı, 1/2 ölçekli çerçeveler üzerinde gerçekleştirmişler ve deprem yüküne göre tasarlanan çerçevelerin rüzgâr yüküne göre tasarlanandan daima daha iyi davranış sergilediği kanısına varmışlardır.

Altın vd (2008), 1/3 ölçekli bir açıklıklı, bir katlı tuğla dolgu duvarlı karbon lifli polimerle (CFRP) güçlendirilmiş betonarme çerçevelerin çevrimsel yükler altında davranışlarını incelemişlerdir. Bu çalışmada CFRP'i farklı genişlik ve düzenlerde

uygulanmışlardır. Deneyler sonunda CFRP in çerçevelerin taşıma kapasitelerini ve rijitliklerini önemli oranda artırdığı sonucuna varmışlardır.

Erdem vd (2006), gerçekleştirdikleri çalışmada, 1/3 ölçekli, 2 katlı, 3 açıklıklı hasarsız betonarme çerçeveleri iki farklı güçlendirme tekniği kullanarak deneysel olarak incelemişlerdir. Çerçevelerin üretiminde binalarda yapılan muhtemel hatalardan bazılarını dikkate almışlardır. Çerçevelerden biri, betonarme dolgu duvarla, diğeri ise CFRP ile güçlendirilmiştir. Deney çerçeveleri, çevrimsel yüke tabi tutulmuştur. Sonuç olarak her iki güçlendirme tekniğinin de kullanılabileceği yargısına varmışlardır.

Farahbod ve Mostafinejad (2011), gerçekleştirdikleri deneysel çalışmada CFRP ile güçlendirilmiş, iki açıklıklı, sürekli kirişli, 6 adet çerçevedeki momentlerinin yeniden dağılımını incelemişlerdir. Bu amaçla tasarım değişkeni olarak CFRP tabaka sayısını ve tabakaların çerçeveye yerleştirilme şekilleri dikkate almışlar ve momentlerdeki yeniden dağılımın %58 civarında olduğunu belirlemişlerdir. Diğer taraftan çerçevelerin taşıma kapasitelerinde %20-%40 arasında bir artış elde etmişlerdir.

Altın vd (2007), betonarme dolgu duvarla güçlendirilmiş, 1/3 ölçekli bir açıklıklı iki betonarme çerçevelerin çevrimsel yükler altında davranışlarını incelemişler, betonarme dolgu duvarın çerçevelerin rijitlik ve dayanımlarını oldukça artırdığını, ancak, çerçeve davranışını olumsuz etkileyen bazı kusurların kolon boyuna donatılarında sıyrılmalara neden olduğunu belirtmektedirler. Sıyrılmaları önlemek için iki kat boyunca donatı eklenmiş, dolgu duvarların her iki tarafına yeni kolonlar yapılmış ve sıyrılmaya boyunca kolon donatısı kaynaklanmıştır. Bu üç farklı güçlendirme tekniğinin yerel kırılmaları önlediğini belirtmişlerdir.

Özsayın vd. (2011), delikli tuğladan örülmüş 36 numune üzerinde CFRP ile güçlendirmeden önce ve sonra bunlar üzerinde bir eksenli merkezi basınç ve köşegen çekme deneyleri gerçekleştirmişlerdir. Bu deneylerin parametreleri, duvar boyutları, tuğla deliklerinin konumu, harç tipi, CFRP miktarı ve güçlendirme şekli olarak belirlenmiş ve CFRP'in delikli tuğla duvarların mekanik özelliklerini önemli derecede artırdığını göstermişlerdir.

Sahoo ve Rai (2010), betonarme çerçevelerin, rijitliklerini, taşıma ve enerji tüketme kapasitelerini artırmak için alüminyum bağlantı elemanı kullanmışlar, böylece güçlendirilen çerçevelerin rijitliklerinde, yatay yük taşıma ve enerji tüketme kapasitelerinde dolgu duvarsız çerçevelere göre önemli bir artış olduğunu ve kullanılan bağlantı elemanının %3.5 bağıl ötelenmeye kadar başarılı olduğunu göstermişlerdir.

Görgülü vd. (2012) betonarme yapıların çelik çapraz elemanlarla güçlendirilmesi üzerine çalışmışlardır. Bu çalışma, yapılarda genellikle yapılan hatalar dikkate alınarak üç boyutlu betonarme model üzerinde gerçekleştirmişler ve uygulanan bu güçlendirme tekniğinin taşıma kapasitelerini artırdığını gözlemlemişlerdir.

Garcia vd (2010), kusurlu olarak üretilen, 1/1 ölçekli, 2 katlı betonarme bir binayı sarsma tablasında deneye tabi tutmuşlar, böylece hasara uğratılan bina onarılmış ve CFRP ile güçlendirilmiştir. Bu tekniğin etkinliğini görebilmek için teorik bir çalışma da yapmışlar ve CFRP'in zayıf olan kolon-kiriş birleşim bölgelerinin davranışını ve binanın deprem başarımını artırmıştır.

Maheri ve Sahebi (1997), çerçeve tipi betonarme yapıları çelik kuşaklarla güçlendirmeye çalışmışlardır. Çalışmada, çekme ve basınç davranışları belirlenmiş, çeşitli aralıklarla yerleştirilen kuşakların kesme dayanımı üzerindeki etkilerini incelemişler ve bu kuşakların dolgu duvarsız çerçeve dayanımını önemli derecede artırdığını belirlemişlerdir.

2. YAPILAN ÇALIŞMALAR

2.1. Deneysel ve Teorik Çalışmalar

2.1.1. Deneysel Çalışmalar

Bu çalışmada, deprem kumaşının, düşük dayanımlı ve geleneksel betonla üretilmiş dolgu duvarlı çerçevelerin, düzlem içi ve düzlem dışı davranışlarına etkisi deneysel ve teorik olarak incelenmektedir. Bu amaçla 8 düzlem içi ve 3 düzlem dışı yüklere maruz bırakılmak üzere toplam 11 adet yaklaşık 1/1 ölçekli, bir katlı ve bir açıklı betonarme çerçeveler üretilmiştir. Düşük dayanımlı ve geleneksel betonla üretilen çerçevelerden ikisi referans numuneleri olarak belirlenmiş ve dolgu duvarsız olarak düzlem içi çevrimsel yükler altında deneye tabi tutulmuşlardır. Dolgu duvar tuğla ve gaz betonla örülen geleneksel betonla üretilen dört adet betonarme çerçevelerden herbiri dolgu duvarlı ve dolgu duvarlı deprem kumaşlı olarak deneye tabi tutulmuşlardır. Geleneksel betonla üretilen çerçeveler üzerinde gerçekleştirilen deneyler aynen düşük dayanımlı betonla üretilenler üzerinde de yapılmıştır. Deney çerçevelerin düzlem dışı davranışlarını belirlemek için geleneksel betonla üç adet betonarme deney çerçevesi üretilmiştir. Düzlem dışı yüklenen deney çerçeveleri sırasıyla, tuğla dolgu duvarlı, deprem kumaşlı tuğla dolgu duvarlı ve deprem kumaşlı gaz beton dolgu duvarlı olarak deneye tabi tutulmuşlardır. Bu deneylerde çerçeve kirişi sadece kolon-kiriş birleşim bölgeleri yük alacak şekilde orta noktasından yatay olarak yüklenmiştir. Diğer taraftan, deney çerçevelerinden düşük dayanımlı ve geleneksel betonla üretilen, dolgu duvarsız ve tuğla dolgu duvarlı birer çerçevenin doğal frekansları, mod şekilleri ve sönüm oranları gibi dinamik karakteristikleri deneysel modal çözümleme yöntemiyle belirlenmiştir. Bu çözümlerden elde edilen bulgularla çerçevelerin SAP2000 yazılımıyla teorik olarak belirlenen dinamik karakteristikleri karşılaştırılarak aradaki fark malzeme özellikleri ve sınır koşulları değiştirilerek giderilmiş ve modelin gerçek davranışı yansıttığı görülmüştür. Çevrimsel olarak yüklenen tuğla ve gaz beton dolgu duvarlı düşük dayanımlı ve geleneksel betonla üretilmiş düzlem içi yüklenen çerçevelerin doğrusal olamayan statik itme çözümlenmeleri de gerçekleştirilmiş ve böylece elde edilen bulgular sonuçları deneysel bulgularla karşılaştırılmıştır.

Çizelge 2.1. Deneye tabi tutulan dolgu duvarlı ve dolgu duvarsız betonarme çerçeveler ve yükleme şekilleri

Çerçeveler	Açıklama
PRCF-1	Düşük dayanımlı betonla üretilen dolgu duvarsız düzlem içi yüklenen referans çerçeve
PRCF-2	Geleneksel betonla üretilen dolgu duvarsız düzlem içi yüklenen referans çerçeve
RCF-1	Düşük dayanımlı betonla üretilen tuğla dolgu duvarlı düzlem içi yüklenen çerçeve
RCF-2	Düşük dayanımlı betonla üretilen tuğla dolgu duvarlı deprem kumaşlı düzlem içi yüklenen çerçeve
RCF-3	Geleneksel betonla üretilen tuğla dolgu duvarlı düzlem içi yüklenen çerçeve
RCF-4	Geleneksel betonla üretilen tuğla dolgu duvarlı deprem kumaşlı düzlem içi yüklenen çerçeve
RCF-5	Geleneksel betonla üretilen gaz beton dolgu duvarlı düzlem içi yüklenen çerçeve
RCF-6	Geleneksel betonla üretilen deprem kumaşlı gaz beton dolgu duvarlı düzlem içi yüklenen çerçeve
DDÇ-1	Geleneksel betonla üretilen tuğla dolgu duvarlı düzlem dışı yüklenen çerçeve
DDÇ-2	Geleneksel betonla üretilen tuğla dolgu duvarlı deprem kumaşlı düzlem dışı yüklenen çerçeve
DDÇ-3	Geleneksel betonla üretilen gaz beton dolgulu deprem kumaşlı düzlem dışı yüklenen çerçeve

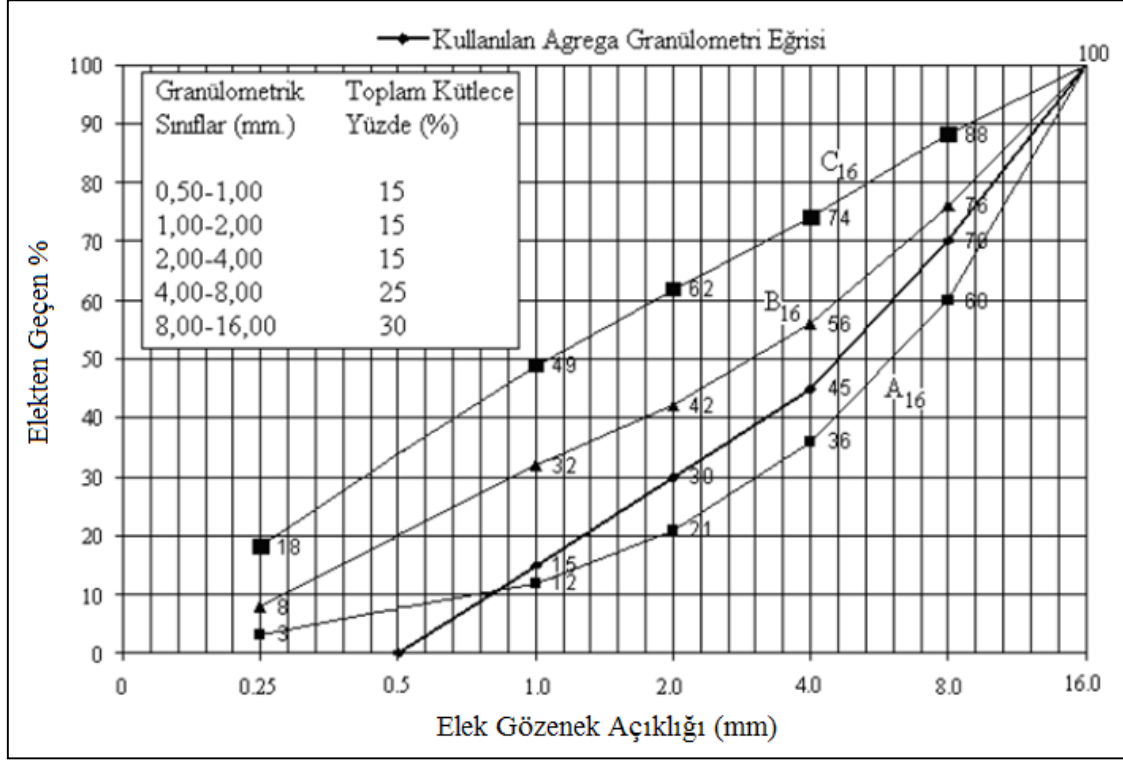
2.1.1.1. Deney Çerçevelerinin Üretiminde Kullanılan Malzeme Özellikleri

Geleneksel ve düşük dayanımlı betonların üretiminde agrega olarak kalker agregası kullanılmıştır. Bu agregaların bazı fiziksel özellikleri aşağıdaki Çizelge 2.2’de, granülometri eğrisi ise Şekil 2.1’de verilmektedir.

Çizelge 2.2. Betonların üretiminde kullanılan kalker agregasının bazı fiziksel özellikleri

Tane Boyutu (mm)	Sıkı Birim Hacim Kütlesi (kg/m ³)	Gevşek Birim Hacim Kütlesi (kg/m ³)	Özgül Kütle (kg/m ³)		Kütlece Su Emme(%)
			Kuru	Doygun	
16mm>İri>4mm	1589	1440	2621	2643	0.9
İnce ≤ 4mm	1632	1464	2573	2607	1.1

Şekilden de görüldüğü gibi, kullanılan granülometri, TS 802'de maksimum tane büyüklüğü 16 mm. olan karışık agregalar için verilen granülometri eğrilerinden A ve C eğrileri arasına düşmektedir.



Şekil 2.1. Beton üretiminde kullanılan agreganın granülometri eğrisi

Betonların üretiminde çimento olarak Trabzon çimento fabrikasında TS EN 197-1 standardına göre üretilen CEM II / B-M 32,5 R (P-LL) çimentosu kullanılmıştır. Bu çimentoya ilişkin kimyasal, fiziksel ve mekanik özellikler Çizelge 2.3'de verilmektedir.

Deney çerçevelerinin üretiminde anma çapları 8mm, 12mm ve 14mm olan dişli donatılar kullanılmıştır. Bu donatılar üzerinde 600 kN kapasiteli universal deney aleti ile (Şekil 2.2) TS 138 EN 10002-1 ve TS 708 'e uygun olarak gerçekleştirilen deney sonuçları aşağıdaki Çizelge 2.4.'de verilmektedir.

Çizelge 2.3. Betonların üretiminde kullanılan çimentonun kimyasal, fiziksel ve mekanik özellikleri

Kimyasal Özellikler		Fiziksel Özellikler		
SiO ₂	18.44	İncelik	0.09mm elek üstü %	1.2
Al ₂ O ₃	4.5			
Fe ₂ O ₃	3.21	Özgül Ağırlık (gr/cm ³)		2.86
CaO	56.5	Özgül Yüzey (cm ² /gr)		4630
MgO	2.57	Litre Ağırlık (gr)		921
SO ₃	2.14	Priz Başlangıcı (saat-dk)		3h-18min.
Kızdırma Kaybı	11.38	Priz Sonu (saat-dk)		4h-18min.
Na ₂ O	0.17	Hacim Genleşmesi (mm)		1
K ₂ O	0.53	Basınç	2.Gün	14.9
Cl	0.0086	Dayanımı (N/mm ²)	7.Gün	27.4
Ölçülemeyen	0.57		28.Gün	38.5
Toplam	100	Eğilme dayanımı (N/mm ²)	2.Gün	3.2
CaO	0.54		7.Gün	5.1
Katkı%	33.27		28.Gün	6.6

Çizelge 2.4. Deney çerçevelerinin üretiminde kullanılan dişli donatıların bazı özellikleri

Anma Çapı (mm)	Ortalama Akma Dayanımı (MPa)	Ortalama Çekme Dayanımı (MPa)	Ortalama Kopma Dayanımı (MPa)	Akma Birim Uzaması (%)	Kopma Birim Uzaması (%)
8	510	570	490	0.23	23
12	480	555	465	0.23	22
14	470	550	455	0.22	22



Şekil 2.2. Donatı çekme deneylerinin yapıldığı Üiversal deney aletinden bir görünüm

Geleneksel ve düşük dayanımlı betonların bileşim hesaplarında mutlak hacim yöntemi kullanılmaktadır (TS 802-09). Bu yöntemde göre, W_c , W_a , V_w , ve V_h sırasıyla 1 m^3 betondaki çimento kütleini (kg), agrega kütleini (kg), su ve hapsedilmiş hava hacmini (dm^3), γ_c ve γ_a sırasıyla çimento ve agreganın doymuş kuru yüzeyli (DKY) özgül kütlelerini (kg/dm^3) göstermek üzere agrega mutlak hacmi;

$$V_a = 1000 - \left(\frac{W_c}{\gamma_c} + V_w + V_h \right) \quad (2.1)$$

bağıntısıyla hesaplamaktadır. Agrega yığınının i adet farklı agrega sınıfından meydana geldiği dikkate alındığında, her bir agrega sınıfının kütlesi farklı olacağından β_i ve γ_{ai} sırasıyla agrega sınıflarının kütlece oranını ve DKY özgül kütleini göstermek üzere toplam agrega kütlesi;

$$\sum \left(\beta_i \frac{W_a}{\gamma_{ai}} \right) = 1000 - \left(\frac{W_c}{\gamma_c} + V_w + V_h \right) \quad (2.2)$$

bağıntısıyla hesaplamak gerekmektedir. Her bir sınıf agreganın kütleleri, toplam agrega kütlelerini, agrega sınıfının kütlece oranıyla çarpmak suretiyle;

$$W_{ai} = \beta_i \cdot W_a \quad (2.3)$$

ifadesiyle belirlenmektedir. Agregalar genellikle doymun kuru yüzeyli halde bulunmamaktadır. Hesapla elde edilen değerden agregaların doyma suyunu belirlemek için doğal nem (DN_i) durumunun ve su emme miktarının (SE_i) belirlenmesi gerekir. Belirlenen bu değerlerden sonra doyma suyu miktarı (DS_i);

$$DS_i = (SE_i - DN_i) \cdot W_{ai} \quad (2.4)$$

bağıntısıyla hesaplanmaktadır. Toplam doyma suyu ise;

$$DS = \sum DS_i \quad (2.5)$$

ifadesiyle belirlenmektedir. Geleneksel betonların üretiminde çimento miktarı 370 kg/m^3 , su/çimento oranı ise 0.5 olarak seçilmiştir. Düşük dayanımlı betonların üretiminde ise bu değerler 250 kg/m^3 ve 0.90 olarak alınmaktadır. Ayrıca 1 m^3 beton için hava miktarı 20 dm^3 olarak kabul edilmektedir. Yukarıda verilen bağıntılar yardımıyla hesaplanan malzeme miktarları Çizelge 2.5’de verilmiştir.

Çizelge 2.5. Geleneksel (GB) ve düşük dayanımlı betonların (DDB) bileşimi

Beton Türü	Elek Gözenek Açıklıklarına Göre Agrega Miktarları (kg/m^3)					Doyma Suyu Miktarı (kg/m^3)	Karma Suyu Miktarı (kg/m^3)	Çimento Miktarı (kg/m^3)	S/Ç
	0,5–1,0	1,0–2,0	2,0–4,0	4,0–8,0	8,0–16,0				
GB	265,50	265,50	265,50	442,50	531,00	7,080	185	370	0.5
DDB	265,35	265,35	265,35	442,25	530,40	7,076	225	250	0.9

2.1.1.2. Deney Çerçevelerinin Hazırlanmasında Kullanılan Betonların Üretimleri, Yerleştirilmeleri, Bakımları ve Deney Anında Yaşları

Geleneksel ve düşük dayanımlı betonların karılmasında 100 litre kapasiteli düşey eksenli bir betonyer kullanılmıştır (Şekil 2.3). Betonlar üretilirken, her bir sınıf agrega, çimento, doyma ve karma suyu tartılmış, önce agregalar nemlendirilmiş betonyere konularak ve doyma suyu ilave edilerek üç dakika karılmıştır. Çimento ilave edilerek üç dakika daha karıldıktan sonra betonyer çalışır durumda iken karma suyu eklenerek karma işlemine bir üç dakika daha devam edilmiş ve üretim tamamlanmıştır.

Betonların yeniden üretilebilirliklerini göstermek için bu betonlardan, çapı 150 mm. yüksekliği 300 mm. olan silindir ve boyutları 150 mm. olan küp denetim numuneleri üretilmiştir. Bu numuneler, yağlanmış kalıplara, üç tabaka halinde yerleştirilmiş ve sıkıştırılmaları frekansı 2800 devir/dak. olan titreşim tablasında gerçekleştirilmiştir.

Üretimlerinden bir gün sonra kalıplarından çıkarılan denetim numuneleri 21 gün süre ile sıcaklığı $22\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$ olan kür havuzunda saklanmış, havuzdan çıkarıldıktan sonra deney anına kadar sıcaklığı $23\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 3\text{ }^{\circ}\text{C}$ ve bağıl nemi $75\% \pm 5\%$ olan laboratuvar ortamında bekletilmiştir. Deney numunelerinin deney anında yaşları 28 gündür.



Şekil 2.3. Betonların üretiminde kullanılan düşey eksenli betonyerden bir görünüm

2.1.1.3. Betonların Bazı Mekanik Özellikleri

Denetim numuneleri üzerinde gerçekleştirilen bir eksenli merkezi basınç deneylerinden elde edilen bazı mekanik özellikler aşağıdaki Çizelge 2.6'da verilmektedir.

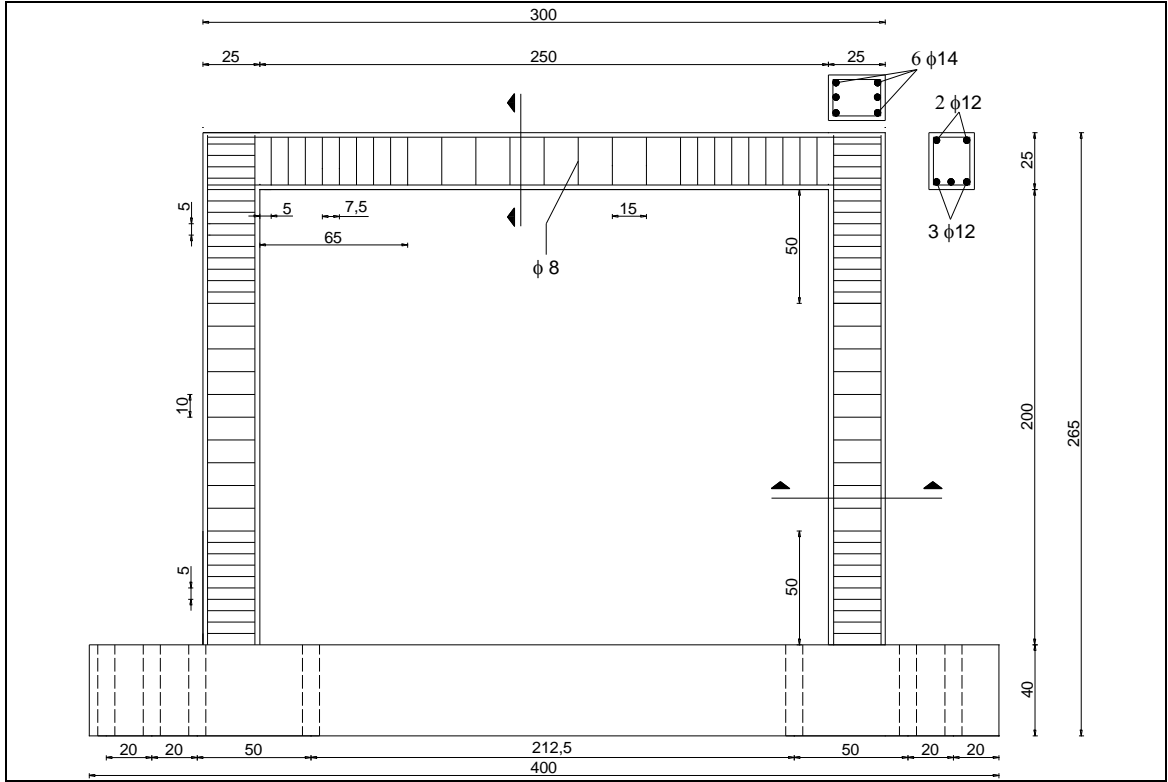
Çizelge 2.6. Deney çerçevelerinin üretiminde kullanılan geleneksel ve düşük dayanımlı betonların bazı mekanik özellikleri

Beton Türü	Geleneksel Beton	Düşük Dayanımlı Beton
Ortalama Standart Silindir Basınç Dayanımı (MPa)	27.15	9.87
Standart Sapma	1.57	0.09
Karakteristik Standart Silindir Basınç Dayanımı (MPa)	25.14	9.75
Ortalama Küp Basınç Dayanımı (15x15x15) (MPa)	32.32	11.48
Standart Sapma	1.60	0.12
Karakteristik Küp Basınç Dayanımı (15x15x15) (MPa)	30.27	11.33
Başlangıç Elastisite Modülü (MPa)	28000	11250

2.1.1.4. Deney Çerçevelerinin Hazırlanması

Karadeniz Teknik Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü Yapı ve Malzeme Laboratuvarında gerçekleştirilen bu çalışmada 8 düzlem içi ve 3 düzlem dışı olmak üzere toplam 11 adet 1/1 ölçekli, bir katlı ve bir açıklı çerçeveler üretilmiştir.

Çerçeve kiriş ve kolonları yürürlükte bulunan TS 500-2000 ve DBYBHY-2007'ye göre donatılmıştır. Kolonlarda 6Ø14, kirişlerde altta 3Ø12, üstte ise 2Ø12'lik donatılar kullanılmıştır. Kolon ve kiriş etriyeleri 8mm çapında dişli donatılardır. Kolonların kiriş içerisinde kalan kısımlarıyla, kiriş alt ve temel üst yüzünden itibaren 50 cm'lik sargı bölgelerinde etriye aralıkları 5 cm, orta bölgelerde 10 cm dir. Kirişlerin sargı bölgelerinde (65 cm) etriyeler 7.5 cm, orta bölgede ise 15 cm arayla yerleştirilmiştir. Deney çerçevelerinin hazırlanmasında 3mm kalınlıklı çelik saclardan üretilmiş, sökölüp takılabilen cıvatalı iki adet çelik kalıp kullanılmıştır. Çerçevelerin şematik donatı detayları Şekil 2.4'de, çerçeve donatıları ise Şekil 2.5'de ve bunların kalıplara yerleştirilmeleri ise Şekil 2.6'da verilmektedir.



Şekil 2.4. Deney çerçevelerinin boyutları ve şematik donatı planları



Şekil 2.5. Deney çerçevelerinin donatı planına ilişkin bir görünüm



Şekil 2.6. Deney çerçeve donatılarının kalıplara yerleştirilmelerinden bir görünüm

Düşey eksenli betonyerde üretilen düşük dayanımlı ve geleneksel betonlar kalıplara üç tabaka halinde yerleştirilerek vibratörle sıkıştırılmıştır. Beton dökümünden iki gün sonra kalıplardan çıkarılan çerçeveler laboratuarda ıslak çuval altında 28 gün saklanmıştır (Şekil 2.7). Hazırlanan deney çerçevelerine ilişkin bir görünüm Şekil 2.8’de verilmektedir.

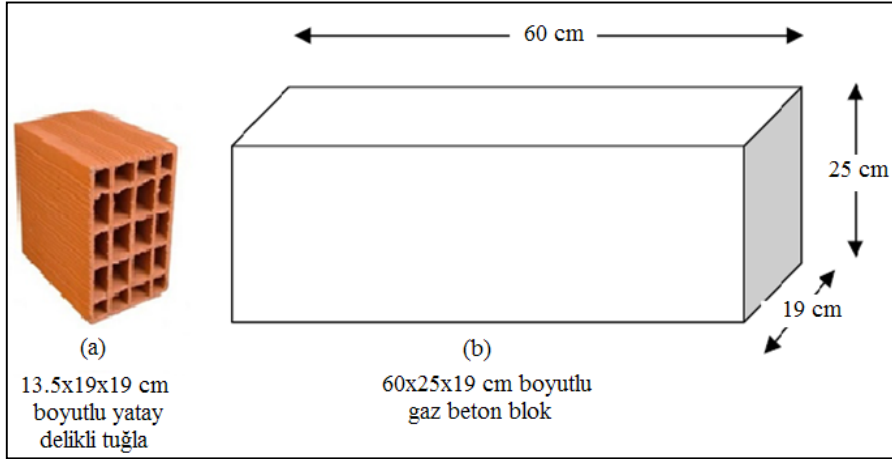


Şekil 2.7. Çerçevelerin ıslak çuval altında saklanmalarına ilişkin bir görünüm



Şekil 2.8. Dolgu duvarsız deney çerçevelerine ilişkin bir görünüm

Çerçeve dolgu duvarlarının örülmesinde 13.5x19x19 cm boyutlarında yatay delikli tuğla ve 60x25x19 cm boyutlarında gaz beton bloklar kullanılmıştır (Şekil 2.9). Bunlara ilişkin bazı mekanik ve fiziksel özellikler Çizelge 2.7’de verilmektedir.



Şekil 2.9. Dolgu duvarda kullanılan yatay delikli tuğla (a) ve gaz beton blok (b) boyutları

Çizelge 2.7. Yatay delikli tuğla ve gaz beton bloklara ilişkin bazı fiziksel ve mekanik özellikler

Dolgu Duvar Malzemesi	YükseklikxEnxBoy (cm)	Ortalama Basınç Dayanımı (MPa)	Elastisite Modülü (MPa)	Birim Hacim Ağırlığı (kg/m ³)
13.5'lik Yatay Delikli Tuğla	13.5x19x19	5.2	2000	600
Gaz Beton	60x25x19	2.5-5.0	1095	500

Tuğla duvarların örülmesinde ve sıvanmasında kullanılan harçların karışım oranları ve 28 günlük ortalama basınç dayanımları aşağıdaki Çizelge 2.8'de, bu duvarların örülmesi ve sıvanmasına ilişkin resimler ise Şekil 2.10'de verilmektedir. Dolgu duvarın gaz betonla örülmesinde ise çimento esaslı, reçine katkılı, hazır gaz beton örgü harçları kullanılmıştır.

Çizelge 2.8. Tuğla dolgu duvarın örülmesinde ve sıvanmasında kullanılan harçların karışım oranları ve 28 günlük ortalama basınç dayanımları

	Malzemeler	Hacim	Ortalama Basınç Dayanımı (MPa)
Tuğla Duvar Harcı	Kum (0-4 mm)	4	4.52
	Çimento (32.5)	2	
	Kireç	1	
	Su	2	
Sıva Harcı	Kum	3	2.56
	Çimento (32.5)	1	
	Su	2	



Şekil 2.10. Çerçeve dolgu duvarlarının örülmesi ve sıvanmasına ilişkin görüntüler

Daha önce madde 1.6.1’de de belirtildiği gibi çerçevelerin güçlendirilmelerinde, deprem kumaşı olarak adlandırılan cam lifli polimerler kullanılmıştır. Kumaşın fabrikasından alınan verilerine göre, birim alan ağırlığı 510g/m^2 , kalınlığı yaklaşık 0.5mm , çekme dayanımı 2200MPa ve elastisite modülü 70000MPa civarındadır. Deprem kumaşının yapıştırılmasında sentetik reçine esaslı, katı madde içeriği %50 ve birim hacim ağırlığı 1g/ml olan lrefalin adlı özel bir yapıştırıcı kullanılmıştır. Deprem kumaşının çerçevelere uygulanışından bir görünüm Şekil 2.11’de verilmektedir.



Şekil 2.11. Deprem kumaşının dolgu duvarlı çerçevelere uygulanışından bir görünüm

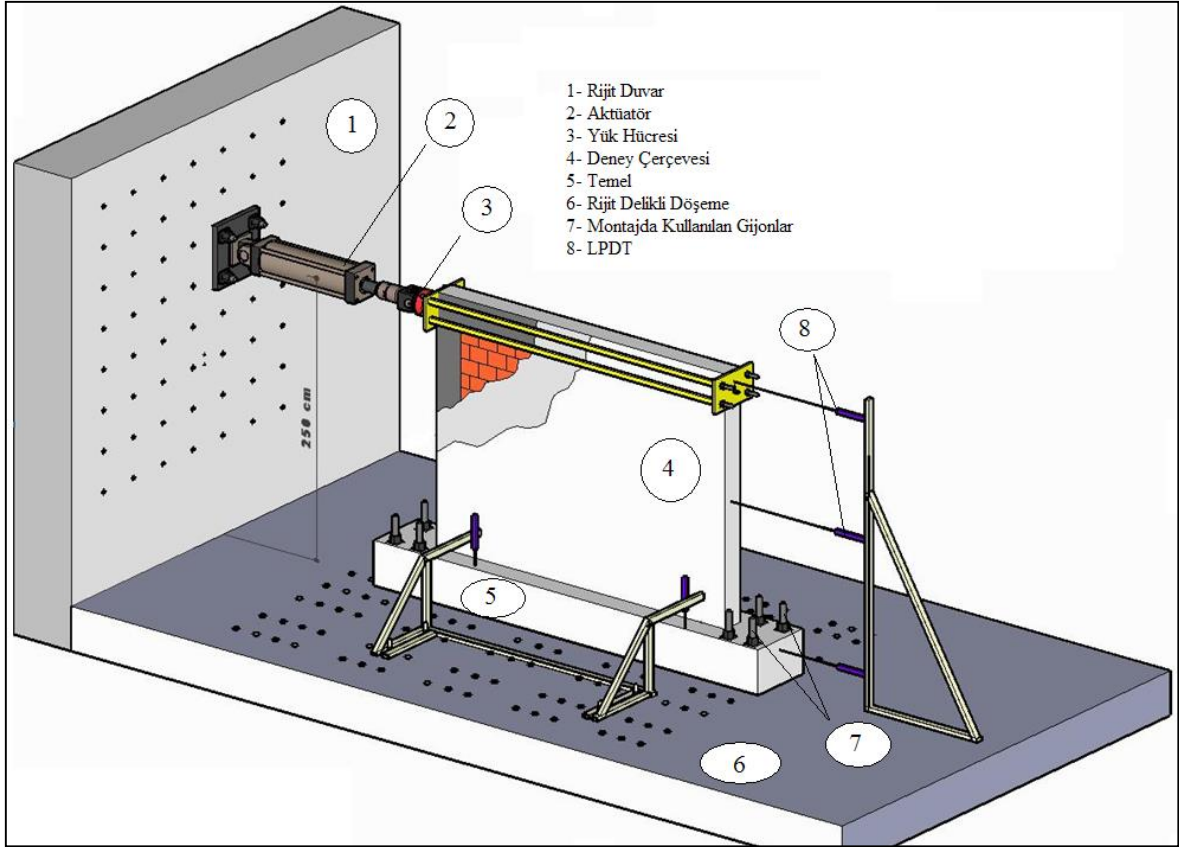
Bu şekilden de görüldüğü gibi lirezalın adlı yapıştırıcı dolgu duvar üzerine önce ince bir astar olarak sürülmekte ardından yapışkanın kalınlığı artırılmaktadır. Bunun üzerine deprem kumaşı yapıştırılmakta, duvarla kumaş arasında oluşan boşluklar giderildikten sonra fazlalık kumaşlar kesilmekte ve kumaşın duvara tam yapışması için, bir gün beklendikten sonra çerçeveler deneye hazır duruma getirilmektedir.

2.1.1.5. Deney Düzenekleri, Yükleme Sistemi,  l mlerde Kullanılan Aletler ve Deneylerin Yapılışı

Deney  r çvelerinin çevrimsel yükler altında düzlem içi ve düzlem dışı davranışlarına ilişkin yükleme düzenekleri ve ölüm sistemlerinin Şematik görünümleri sırasıyla Şekil 2.12, 2.13, 2.14 ve 2.15’de verilmektedir. Őekillerden de g r ld Ğu gibi yüklemelerde kullanılan aktüatör delikli rijit duvara mesnetlenmektedir. Düzlem içi yüklemeler, uçları 4cm kalınlığında levhalarla bağlanan 4U6  elik profiller yardımıyla kiriş uçlarının ağrılık merkezlerinden yapılmaktadır. Düzlem dışı yüklemede ise kiriŐin karŐılıklı yüzlerinde rijitleŐtirilen U20  elik profillerle sadece kolon uçlarına y k aktaracak Şekilde ortalarından yüklenmektedir. Deneylere tabi tutulan  r çveler ve bunların yükleme Şekilleri daha önce  izelge 2.1’de verilmiŐti.



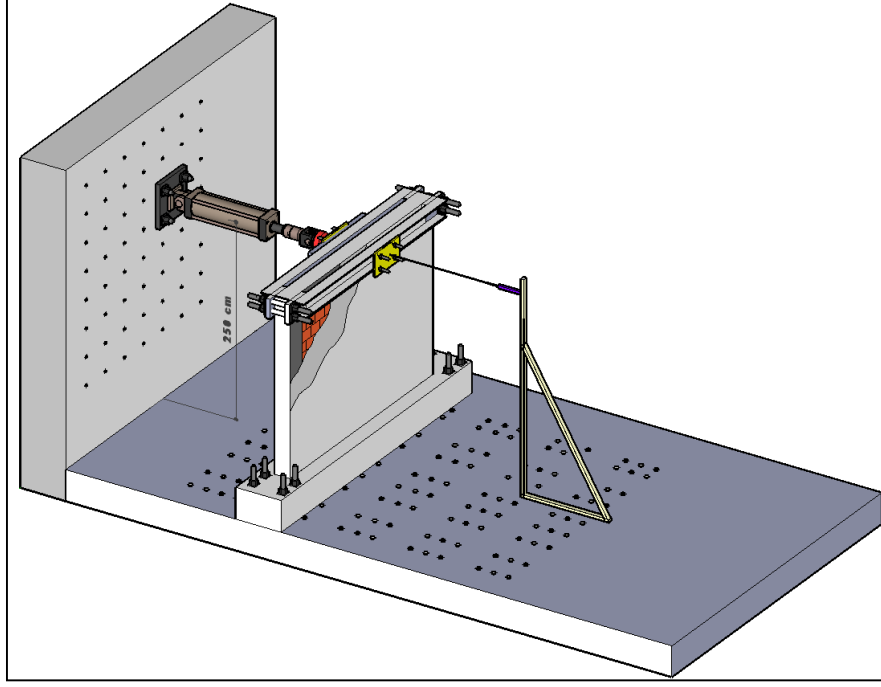
Şekil 2.12. Düzlem içi davranışı incelenen  r çvelerin deney anından bir görünüm



Şekil 2.13. Deney çerçevelerinin düzlem içi davranışlarının incelenmesinde kullanılan deney düzeneğinin şematik bir görünümü

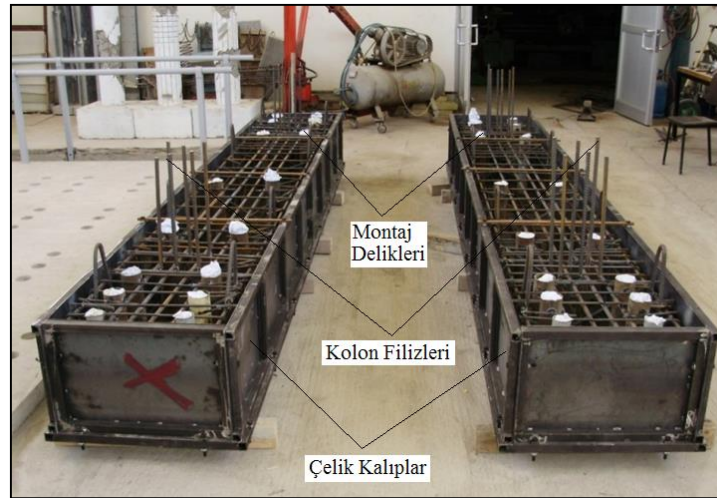


Şekil 2.14. Düzlem dışı davranışı incelenen çerçevelerin deney anından bir görünüm



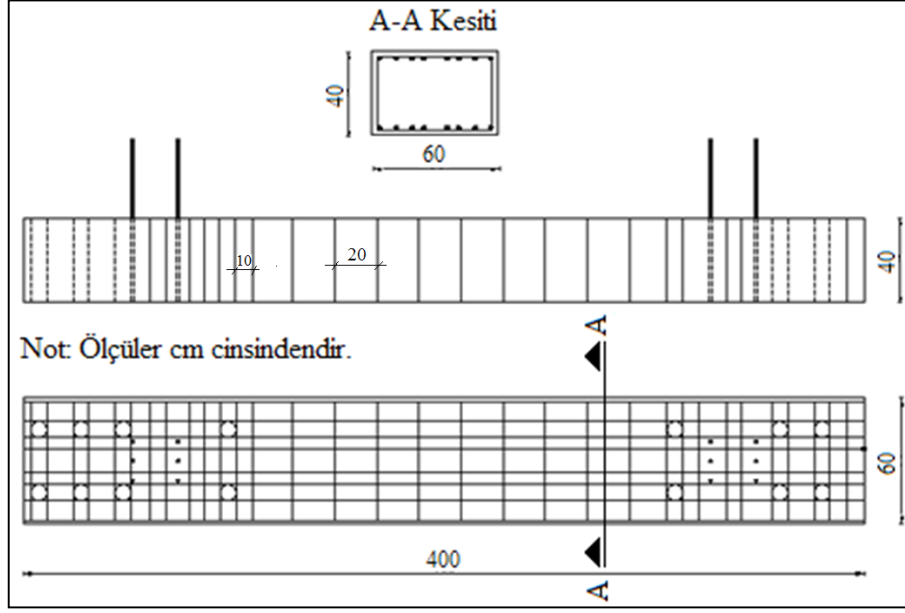
Şekil 2.15. Düzlem dışı davranışı incelenen çerçevelerin deney düzeneği şeması

Çevrimsel yatay yükler altında deneye tabi tutulan çerçevelerin rijit delikli döşemeye montajları gijonlarla yapılmıştır. Kalıplar içindeki temel donatıları ve montaj için temelde bırakılan deliklerin görünümü Şekil 2.16'da verilmektedir. Temellerde boyuna donatı olarak 16mm, enine donatılar ise 8mm çapında nervürlü donatılardır.



Şekil 2.16. Deney çerçevelerin rijit taban döşemesine montajında kullanılan temellere ilişkin görünüm

Temele ilişkin boyutlar ve donatı planı şeması Şekil 2.17’de verilmektedir. Bunların üretiminde de çerçevelerde olduğu gibi 3mm kalınlıklı çelik saçtan yapılmış kalıplar kullanılmıştır. Temellerin rijit döşemeye montajında dolu gövdeli gijonlar kullanılmıştır (Şekil 2.18).



Şekil 2.17. Temel donatılarına ilişkin donatı şeması



Şekil 2.18. Çerçeve temellerinin delikli rijit döşemeye montajında kullanılan dolu gövdeli gijon ve somunlara ilişkin bir görünüm

Deney düzeneğindeki yükleme sistemi (aktüatör); hidrolik güç ünitesi, basınca dayanıklı hortumları, itme ve çekme genlikleri maksimum toplam 200mm olan tersinir yükleme yapabilen bir pistondan oluşmaktadır. Piston her iki ucundan mafsallıdır. Bu mafsallar çerçevenin düşey hareketi sırasında yüklemenin değişmemesini sağlamaktadır. Deney düzeneğindeki yükleme sistemi Şekil 2.19’da verilmektedir.



Şekil 2.19. Deney çerçevelerine yatay çevrimsel yük uygulamada kullanılan yükleme sisteminden bir görünüm

Çevrimsel yükleme, deney çerçevelerine Moog FCS Smart Test marka elektronik kontrol paneliyle uygulanmıştır. Bu yükleme, Matlab diliyle programlanan herhangi bir çevrimsel yükü kontrol paneliyle aktüatörü çalıştırmak suretiyle yapılabilmektedir (Şekil 2.20).



Şekil 2.20. Deney çerçevelerine çevrimsel yatay yükün uygulanmasında kullanılan denetim paneline ilişkin bir görünüm

Deney çerçevelerine uygulanan çevrimsel yük değerleri, yük hücresiyle (Loadcell) ölçülmektedir. Bu çalışmada kullanılan yük hücresi 500kN kapasiteli CAS marka yassı tip yük hücresidir (Şekil 2.21).



Şekil 2.21. Deney çerçevelerine uygulanan çevrimsel yük değerlerinin ölçülmesinde kullanılan 500kN kapasiteli CAS marka yassı tip yük hücresinden bir görünüm

Deneyler süresince çerçevelerde meydana gelen yerdeğişmeler iki ucu mafsallı Opkon marka LPM300 kodlu 300mm kapasiteli Doğrusal Potansiyometrik Yerdeğiştirme Ölçerlerle (LPDT) (Şekil 2.22) 1/8 saniyelik dilimlerde ölçülmüştür.



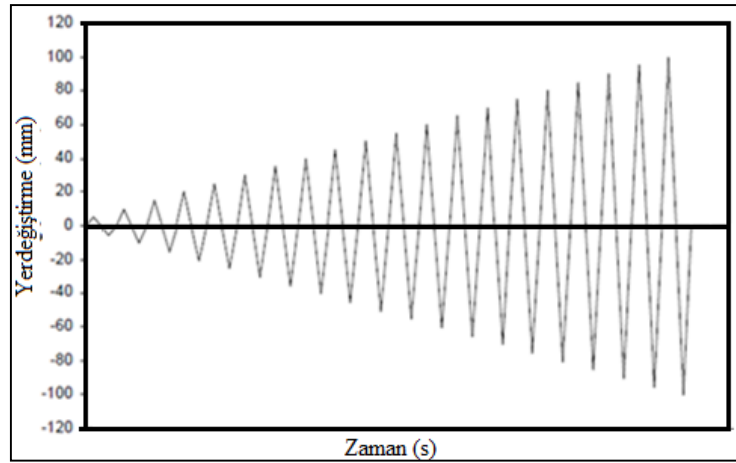
Şekil 2.22. Çevrimsel yükler altında oluşan yerdeğişmelerin ölçülmesinde kullanılan Opkon marka LPM300 kodlu 300mm kapasiteli doğrusal potansiyometrik yerdeğiştirme ölçer

Yük hücresi ve LPDT'lerden alınan ölçümler, bağlantı elemanları yardımıyla veri toplama sistemine (Data Logger) iletilmektedir. Bu, 32 kanallı (Ai8b) genel amaçlı veri toplama sistemi 16-bit çözünürlüğe sahip olup, yerdeğiştirme denetimini 1/20000 hassasiyetle yapabilmektedir (Şekil 2.23).



Şekil 2.23. Yük ve yerdeğiştirmeleri bilgisayara aktarmada kullanılan 32 kanallı veri toplama sisteminden bir görünüm

Deney çerçevelerinin yüklenmesi, yerdeğiştirme denetimli olarak yapılmıştır. Çevrimsel yükler, itme ve çekmede, genlikler 5mm'ye kadar 1mm, daha sonra yığışimli olarak 5'er mm artımlarla gerçekleştirilmiştir (Şekil 2.24).



Şekil 2.24. Çerçevelerin yüklenmesinde kullanılan çevrimsel yükleme şeması

2.1.1.6. Deney Çerçevelerinin Dinamik Özelliklerinin Deneysel Modal Çözümlemeyle Belirlenmesi

Bu başlık altında, düşük dayanımlı ve geleneksel betonla üretilen dolgu duvarsız ve tuğla dolgu duvarlı çerçevelerin dinamik özelliklerini belirlemek için, deneysel modal çözümleme yöntemlerinden biri olan çevresel titreşim yöntemi uygulanmıştır. Bunu uygulamak için B&K8340 tipi bir eksenli ivmeölçerler kullanılmıştır (Bkz Şekil 1.8a). Bu ölçümlerde frekans aralığı, sonlu elemanlar modellerinden elde edilen frekansları da dikkate almak suretiyle, 0.1Hz ve 300Hz arasında seçilmiştir. Doğal frekansları ve mod şekillerini doğru olarak belirleyebilmek için, çerçeve kirişlerine düşey doğrultuda 4, kolonlarına ise yatay doğrultuda 3'er adet ivmeölçer yerleştirilmiştir. Bu deneylerde, çerçevelere uygulanan yüklerin büyüklüğü ve zamanla değişimi bilinmediğinden, doğru bulgulara ulaşabilmek için ölçümler, 15 dakika süreyle, 17 kanallı B&K 3560 tipi veri toplama sistemiyle kaydedilmiş ve kaydedilen bu veriler OMA (2006) yazılımıyla işlenmiştir (Bkz Şekil 1.9). Böylece, çerçevelerin dinamik özellikleri, toplanan verilerin GFTAA ve SAB yöntemleriyle ayrıştırmak suretiyle, belirlenmiştir. Bu deneylere ilişkin deney düzeneği Şekil 2.25'de verilmektedir.

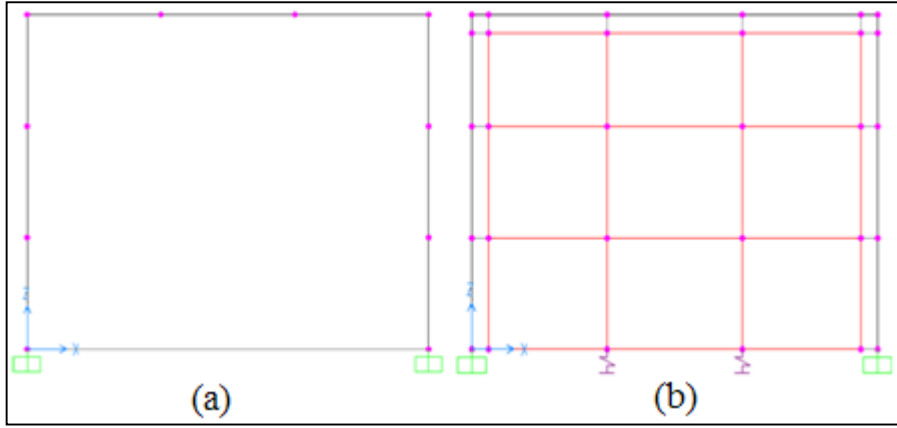


Şekil 2.25. Çevresel titreşimleri kullanan deneysel modal çözümleme yöntemiyle (a) dolgu duvarsız ve (b) tuğla dolgu duvarlı çerçevelerin dinamik özelliklerinin belirlenmesine ilişkin deney düzenekleri

2.1.2. Teorik Çalışmalar

2.1.2.1. Deneysel Çerçevelerin Dinamik Özelliklerinin Sonlu Elemanlar Yöntemiyle Belirlenmesi

Çevresel titreşimler altında düzlem içi davranışları deneysel olarak incelenen çerçeveler davranışları sonlu elemanlar yöntemiyle teorik olarak da incelenerek elde edilen bulgular deneysel bulgularla karşılaştırılmıştır. Bunun için, düşük dayanımlı ve geleneksel betonla üretilen dolgu duvarsız ve tuğla dolgu duvarlı birer çerçeve SAP2000 (2008) yazılımıyla sonlu elemanlar yöntemine göre modellenmiş çerçevelerin dinamik özellikleri teorik olarak belirlenmiştir. Belirlenen teorik bulgular, deneysel bulgularla karşılaştırılmıştır. Teorik ve deneysel bulgular arasındaki fark, sonlu elemanlar modelinde malzeme özellikleri ve sınır şartları değiştirilerek azaltılmaya çalışılmıştır. Düşük dayanımlı ve geleneksel betonla üretilen dolgunsuz ve tuğla dolgu duvarlı deney çerçevelerinin SAP2000 modelleri Şekil 2.26'da ve kullanılan malzemelerin bazı mekanik ve fiziksel özellikleri ise Çizelge 2.9'da verilmektedir. Tuğla dolgu duvarın elastisite modülü daha önce gerçekleştirilmiş çalışmalardan alınmıştır (Beklen, 2009).



Şekil 2.26. (a) Dolgu duvarsız ve (b) tuğla dolgu duvarlı düşük dayanımlı ve geleneksel betonla üretilen çerçevelerin doğrusal elastik sonlu eleman modelleri

Çizelge 2.9. Deney çerçevelerinin sonlu elemanlar yöntemiyle teorik olarak çözümlenmelerinde kullanılan malzemelerin bazı mekanik ve fiziksel özellikler

Malzeme	Elastisite Modülü (N/m ²)	Poisson Oranı	Birim Kütle (kg/m ³)
Çelik	2.000E11	0.3	7,900
Geleneksel Beton	2.800E10	0.2	2,383
Düşük Dayanımlı Beton	1.125E10	0.2	2345
Yatay Delikli Tuğla	2.000E9	0.2	600

Sonlu eleman modellerinin oluşturulmasında yapılan bazı kabuller aşağıda verilmektedir:

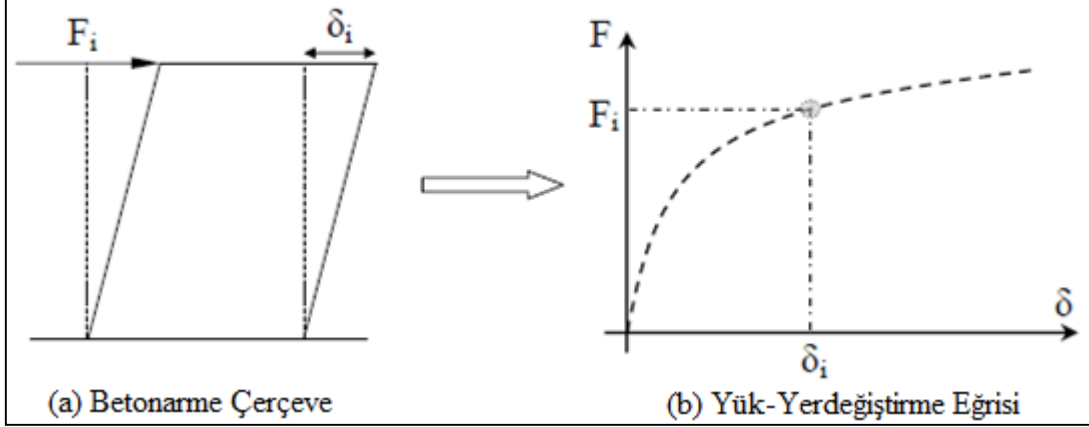
- ✓ Çerçeveler düzlem çerçevedir (X ve Z eksenleri etrafında dönme ve Y eksenini doğrultusunda ise yerdeğiştirme yoktur).
- ✓ Tuğla duvarlar, kabuk (shell) sonlu elemanlarla modellenir.
- ✓ Kolonlar temele ankastridir. Tuğla dolgu duvarlar Z eksenini doğrultusunda yaylarla temele bağlanır.
- ✓ Kolon ve kirişler düğüm noktalarında birbirine rijit olarak bağlanır.

2.1.2.2. Deney Çerçevelerinin Doğrusal Olmayan Statik İtme Yöntemiyle Kapasite Eğrilerinin Belirlenmesi

Bu bölümde, çevrimsel yükler etkisinde düzlem içi yüklenen deney çerçevelerinin doğrusal olmayan statik itme çözümlenmeleriyle taşıma kapasiteleri SAP2000 yazılımıyla teorik olarak belirlenmiştir. Bilindiği gibi, bir kesitte plastik mafsall oluşması için o kesitteki eğilme momentinin direnme momentine ($M_p = M_r$) ulaşmış olması gerekmektedir. Kesit artan yükler altında oluşan bu momentten daha büyük momentleri daha az zorlanan kesitlere aktarmaktadır. Teknik literatürde bu olayın yeniden dağılım ya da adaptasyon olarak adlandırıldığı bilinmektedir.

Deprem gibi, tekrarlı ve yön değiştiren dinamik yüklemeler altında yapıların taşıyıcı elemanlarında yorulmalar ve önemli dayanım kayıpları oluşabilmektedir (Şekil 2.27). Yatay doğrultuda tekrarlı yükler altında oluşan bina tepesinin tabanına göre bağlı yerdeğiştirme şeması Şekil 2.28’de verilmektedir. Bu şekilden görüldüğü gibi her çevrimde kesit rijitliğinin azaldığı ve elastik ötesi davranışa geçildiği görülmektedir. Uygulamada ise

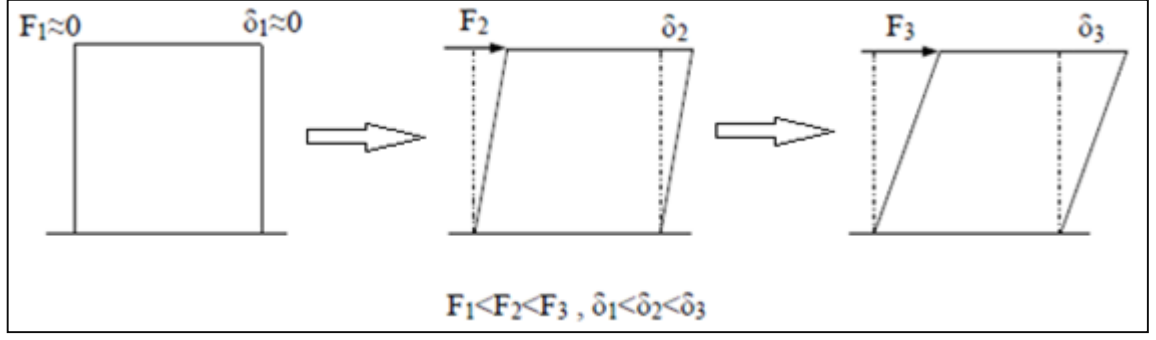
Zarf eğrisinin oluşturulmasında, hesapların zamandan bağımsız olması için, farklı yük etkisi altında oluşan yerdeğiştirmelerin belirlenmesi gerekmektedir. Statik olarak kabul edilen bu yükler, küçük değerlerinden başlayarak adım adım artırılmakta ve bu yüklerle karşılık gelen tepe yerdeğiştirme değeri belirlenerek, yük-yerdeğiştirme eğrisi elde edilmektedir (Şekil 2.29).



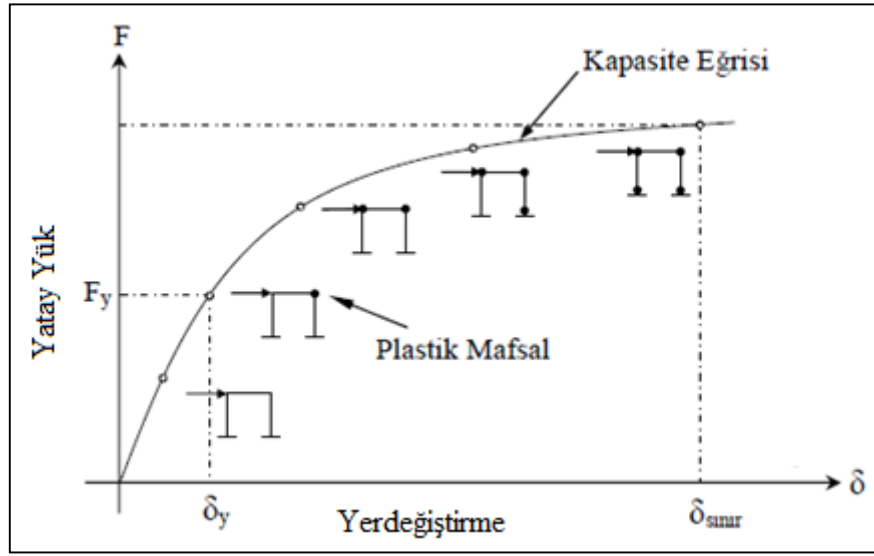
Şekil 2.29. Şematik bir betonarme çerçeve (a) ve bunun yük-yerdeğiştirme eğrisi (b)

Artan yükler altında yerdeğiştirme, göçme sınırına ulaştığında sistem göçmektedir (Şekil 2.30). Bu yüklemelerde yapıda oluşacak plastik mafsalların yerleri de belirlenebilmektedir.

Yatay yüklerin zamandan bağımsız şekilde adım adım artırılarak etki ettirilmesi ve yerdeğiştirmelerin belirlenmesi işlemi “Statik İtme Çözümlemesi” (Pushover Analizi) olarak adlandırılmaktadır. Artımlı yüklemenin her bir adımına karşılık gelen tepe yerdeğiştirmeleri kullanılarak çizilen eğrilere ise Kapasite Eğrisi adı verilmektedir (Şekil 2.31). Bu çözümlemeyle elde edilen bir kapasite eğrisi yardımıyla yapının hasar ve göçme durumları, dayanabileceği en büyük yatay yük, yerdeğiştirme ve böylece olası bir depremde göstereceği başarımlar önceden tahmin edilebilmektedir (Teköz, 2009; Ertem ve Türker, 2002).

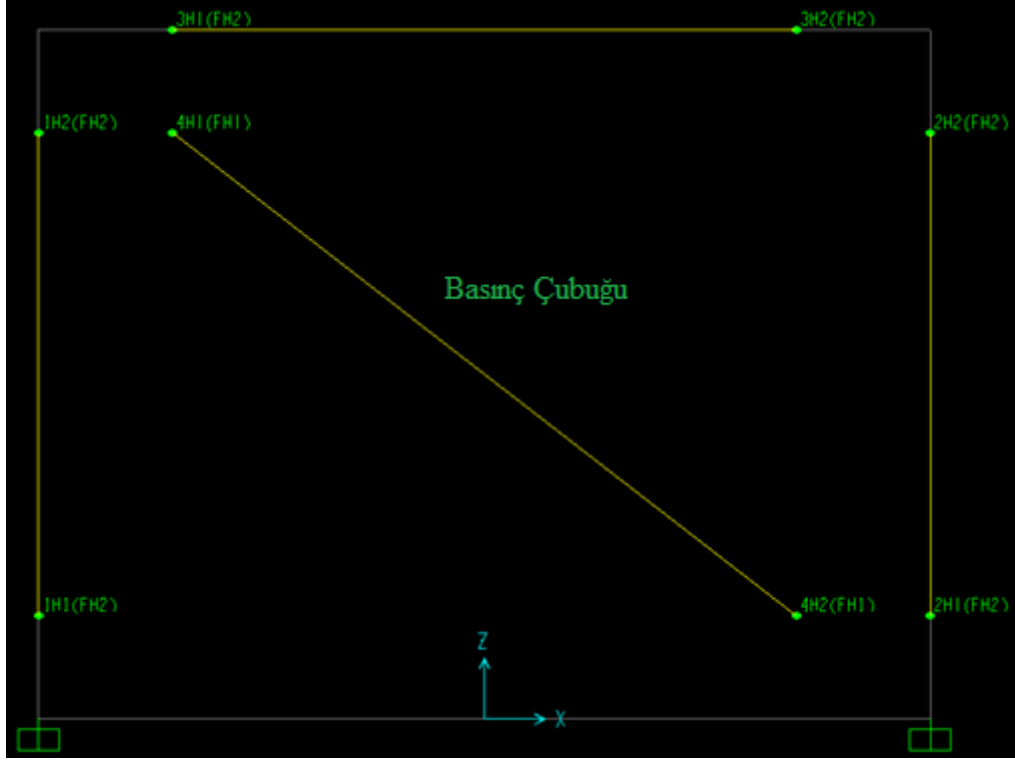


Şekil 2.30. Bir çerçevenin tekdüze yatay yüklemelerde, şematik yük-yerdeğiştirmeleri

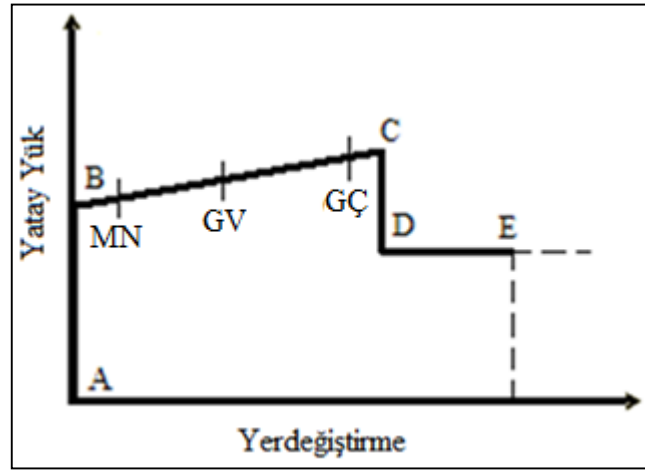


Şekil 2.31. Bir çerçevenin şematik kapasite eğrisi

Bu çalışmada, deney çerçevelerinin kapasite eğrileri, statik itme çözümüyle eşdeğer basınç çubuğu yöntemine göre SAP2000 yazılımı kullanılarak göçme sınırına kadar yüklenmeleriyle belirlenmiştir (Şekil 2.32). Bu çözümlerde FEMA-356 da önerilen yerdeğiştirme kabul ölçütleri kullanılmıştır (Şekil 2.33).



Şekil 2.32. Deney çerçevelerinin statik itme çözümlemesinde kullanılan model



Şekil 2.33. Statik itme çözümlemelerinde kullanılan FEMA-356 yönetmeliğinde önerilen yerdeğiştirme kabul ölçütü

Dolgu duvar yerine ikame edilen eşdeğer basınç çubuğunun dayanımı ve elastisite modülü; duvarın, sıva ve deprem kumaşının katkısıyla (2.1) ve (2.2) bağıntılarıyla hesaplanmaktadır.

$$f_{\text{dolgu}} = \left[\frac{f_{\text{du var}} \cdot t_{\text{du var}} + f_{\text{siva}} \cdot t_{\text{siva}} + f_{\text{GFRP}} \cdot t_{\text{GFRP}}}{t_{\text{dolgu}}} \right] \quad (2.1)$$

$$E_{\text{dolgu}} = \left[\frac{E_{\text{du var}} \cdot t_{\text{du var}} + E_{\text{siva}} \cdot t_{\text{siva}} + E_{\text{GFRP}} \cdot t_{\text{GFRP}}}{t_{\text{dolgu}}} \right] \quad (2.2)$$

Bu bağıntılarla hesaplanan dolgu duvar elastisite modülleri, gaz beton dolgu duvar için 1095MPa, tuğla dolgu duvarlar için 2000MPa, deprem kumaşlı gaz beton dolgu duvar için 1421MPa, deprem kumaşlı tuğla dolgu duvarlar için ise 2282MPa olarak hesaplanmıştır. Duvar basınç dayanımları ise, gaz beton dolgu duvar için 2,56MPa, tuğla dolgu duvarlar için 4,11MPa, deprem kumaşlı gaz beton dolgu duvar için 10,84MPa, deprem kumaşlı tuğla dolgu duvarlar için ise 12,39MPa olarak belirlenmiştir. Her bir çerçeve için eşdeğer basınç çubuğunun genişliği w , sayfa 19'daki (1.13) bağıntısıyla hesaplanmıştır.

3. BULGULAR

Daha önce de belirtilmeye çalışıldığı gibi, deneyler Karadeniz Teknik Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü Yapı ve Malzeme Laboratuvarında gerçekleştirilmiştir. Deneye tabi tutulan çerçevelerin özellikleri Çizelge 2.1'de verilmiştir. Bir katlı ve bir açıklı bu çerçeveler düzlem içi ve düzlem dışı olarak çevrimsel yüklere maruz bırakılmışlardır. Diğer taraftan düzlem içi yüklenen çerçevelerin statik itme çözümlenmeleri SAP2000 programıyla gerçekleştirilmiş ve elde edilen bulgular deney bulgularıyla karşılaştırılmıştır. Bunların dışında düşük dayanımlı ve geleneksel betonla üretilen tuğla dolgu duvarlı ve dolgu duvarsız birer çerçevenin doğal frekans, mod şekilleri ve sönüm oranları gibi dinamik özellikleri deneysel modal çözümlenme yöntemiyle belirlenmiştir. Deneysel bulgular ve sonlu elemanlar çözümlenmesiyle elde edilen bulgular karşılaştırılmak suretiyle, sonlu eleman modelleri iyileştirilmeye çalışılmıştır. Aşağıda deneysel ve teorik çalışmalardan elde edilen bulgular verilmektedir.

3.1. Deney Çerçevelerinin Düzlem İçi ve Düzlem Dışı Yüklemelerinden Elde Edilen Bulguları

Aşağıdaki başlıklar altında geleneksel ve düşük dayanımlı betonlar kullanılarak üretilen dolgu duvarlı ve dolgu dolgusuz, deprem kumaşlı ve deprem kumaşsız çerçevelerin (Bkz. Çizelge 2.1), düzlem içi ve düzlem dışı yüklemelerinden elde edilen deney bulguları ve çerçevelerin yük-yerdeğiştirme, dayanım zarfı eğrileri ile bu eğrilerden elde edilen rijitlik azalması ve toplam tüketilen enerji eğrileri verilmektedir.

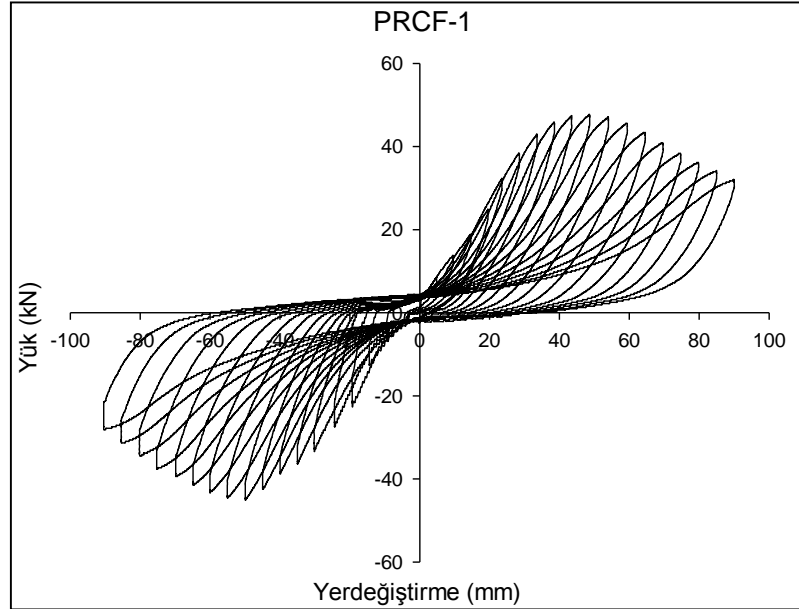
3.1.1. Düşük Dayanımlı Betonla Üretilen Dolgu Duvarsız Çerçevenin Düzlem İçi Yüklemelerden Elde Edilen Deney Bulguları

Çevrimsel yükler altında davranışları incelenen çerçevelerden düşük dayanımlı betonla üretilen dolgu duvarsız PRCF-1 çerçevesinin deney esnasından bir görünümü Şekil 3.1'de, deney sonunda elde edilen histeriktik yük-yerdeğiştirme eğrisi ise Şekil 3.2'de verilmektedir. Bu eğrinin incelenmesinden, itmede elde edilen maksimum yükün 47.762 kN ve buna karşılık gelen yerdeğiştirmenin 48.512 mm, çekmede yükün 45.077 kN ve

yerdeşiştirmenin ise 49.775 mm olduğu görülmektedir. ereve, maksimum yük taşıma kapasitesine %2.28 bağlı ötelenmeyle ulaşmıştır. Burada bu çerçevenin %3.5 bağlı ötelenme oranında yaklaşık olarak 37 kN yük taşıdığını belirtmek uygun olmaktadır.



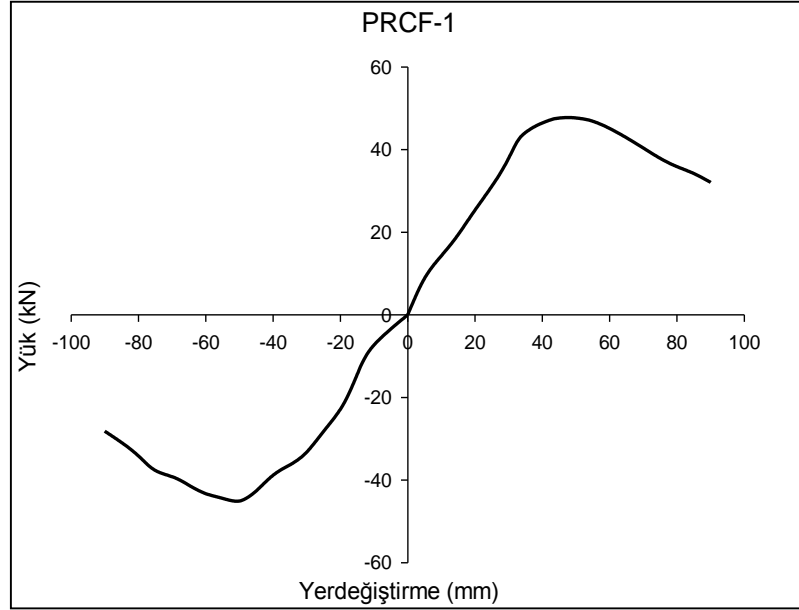
şekil 3.1. Düşük dayanımlı betonla üretilen dolgu duvarsız PRCF-1 erevesinin deneyi anından bir görünüm



şekil 3.2. PRCF-1 erevesinin histeriktik yük-yerdeğiştirme eğrisi

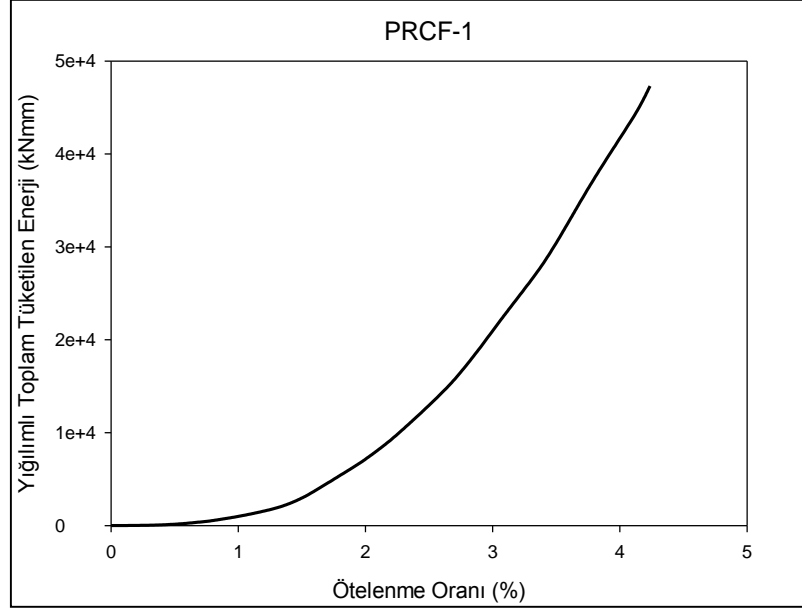
Deneyden elde edilen yük-yerdeğiştirme çevrimlerinin tepe noktaları birleştirilerek elde edilen dayanım zarfı eğrisi Şekil 3.3'de verilmektedir. Bu şekilden de görüldüğü gibi çerçevenin itme ve çekme davranışı pratik olarak simetriktir.

Elastoplastik enerji tüketme ölçütüne göre hesaplanan yerdeğiştirme sünekliği, $\mu = \delta u / \delta y$ itme yönünde 1.82, çekme yönünde ise 1.81 olarak hesaplanmıştır.



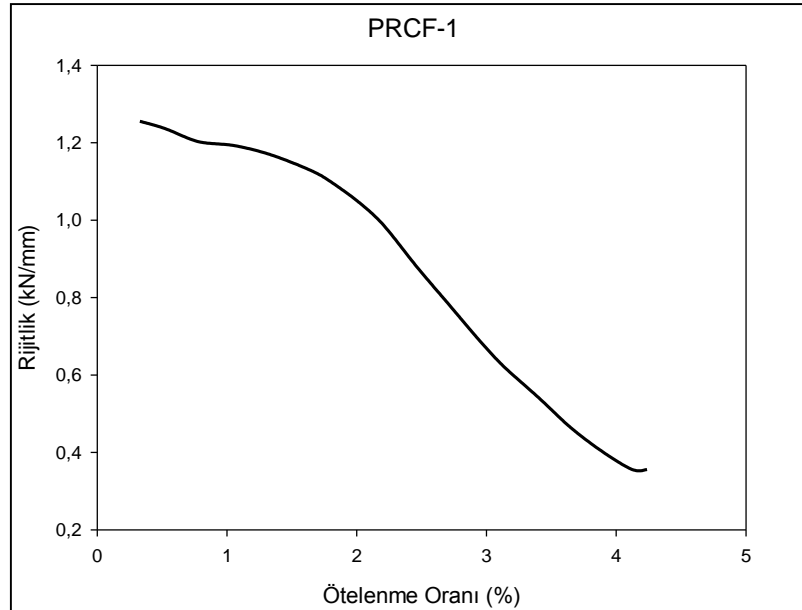
Şekil 3.3. PRCF-1 çerçevesine ilişkin dayanım zarfı eğrisi

PRCF-1 çerçevesinin tükettiği toplam enerji, her çevrimde yük-yerdeğiştirme eğrisinin altında kalan alanların yığışımlı olarak toplanmasıyla elde edilmiştir. Yığışımlı toplam tüketilen enerji ve buna karşılık gelen ötelenme oranları ($\theta = \delta / h$) arasındaki ilişki Şekil 3.4'de verilmektedir. PRCF-1 çerçevesinin deney sonunda tükettiği toplam enerji miktarı 47312 kNmm olarak hesaplanmıştır.



Şekil 3.4. PRCF-1 çerçevesine ilişkin yığılımlı toplam tüketilen enerji eğrisi

Çevrimsel yatay yükün dolgu duvarsız bu çerçevede oluşturduğu çatlaklar çerçevenin rijitliğini azaltmaktadır. PRCF-1 çerçevesine ilişkin rijitlik azalmasına karşılık gelen ötelenme oranı eğrisi Şekil 3.5'de verilmektedir. Şekilden de görüldüğü gibi çerçeveye ilişkin başlangıç rijitliği 1.26 kN/mm iken, deney sonunda rijitliğinin %72'sini kaybetmiştir. Bu çerçevenin deney sonundan bazı görünüşleri Şekil 3.6'da verilmektedir.



Şekil 3.5. PRCF-1 çerçevesine ilişkin rijitlik azalım eğrisi



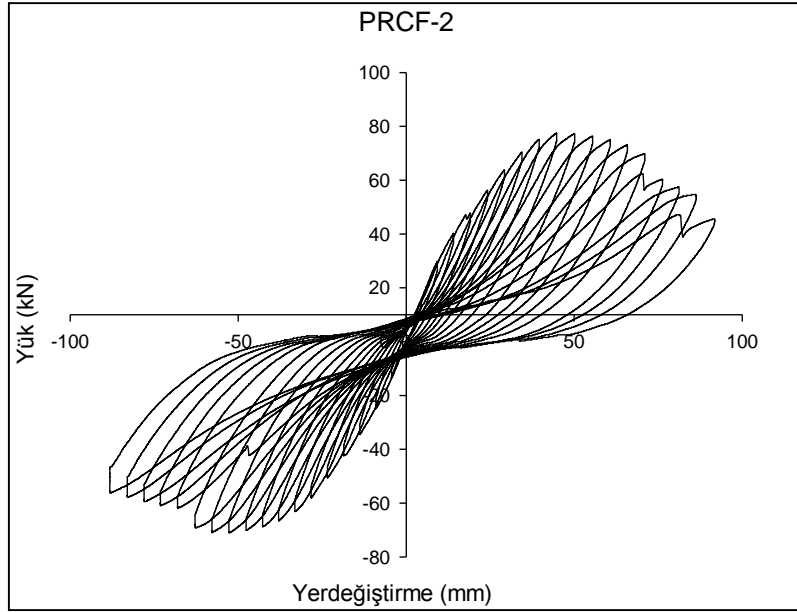
Şekil 3.6. PRCF-1 çerçevesinin deney sonundan görünümür

3.1.2. Geleneksel Betonla Üretilen Dolgu Duvarsız Düzlem İçi Yüklemelerden Elde Edilen Deney Bulguları

Geleneksel betonla üretilen dolgu duvarsız PRCF-2 çerçevesinin deneyi esnasından bir görünümü Şekil 3.7'de, çevrimsel yükler altında gerçekleştirilen deney sonunda elde edilen histeriktik yük-yerdeğiştirme eğrisi ise Şekil 3.8'de verilmektedir. Bu eğrinin incelenmesinden, itmede elde edilen maksimum yükün 77.613 kN ve buna karşılık gelen yerdeğiştirmenin 44,723 mm, çekmede yükün 71.014 kN ve yerdeğiştirmenin ise 52.375 mm olduğu görülmektedir. Çerçeve maksimum yük taşıma kapasitesine %2.10 bağlı ötelenmeyle ulaşmıştır. Çerçeve %3.5'lik ötelenme oranında yaklaşık olarak 60 kN yük taşımaktadır.



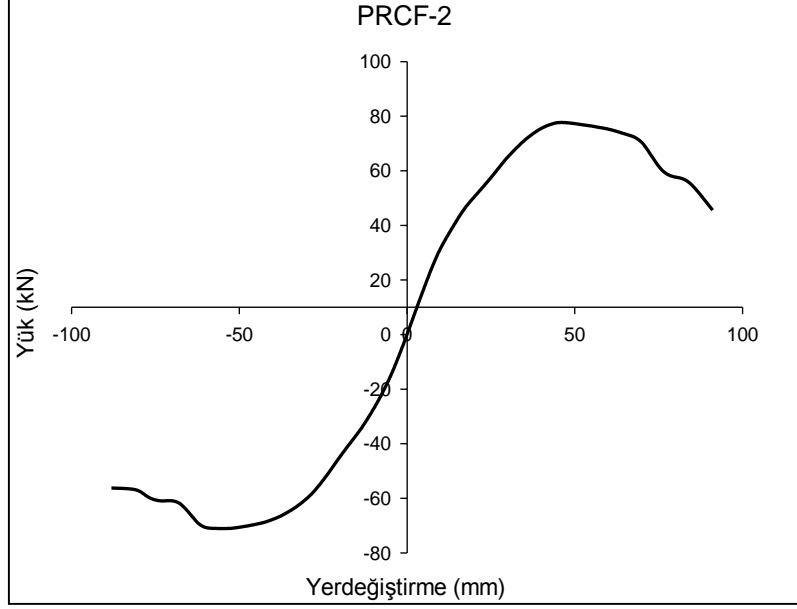
Şekil 3.7. Geleneksel betonla üretilen dolgu duvarsız PRCF-2 çerçevesinin deneyi esnasından bir görünüm



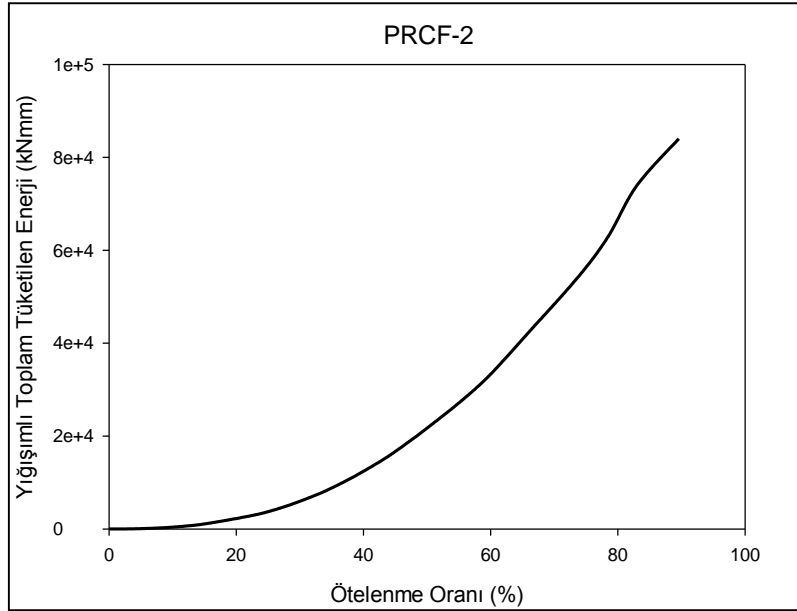
Şekil 3.8. PRCF-2 çerçevesinin histeriktik yük-yerdeğiştirme eğrisi

Deneyden elde edilen yük-yerdeğiştirme çevrimlerinin tepe noktaları birleştirilerek elde edilen dayanım zarfı eğrisi Şekil 3.9'da verilmektedir. Bu şekilden de görüldüğü gibi çerçevenin itme ve çekme davranışı pratik olarak simetriktir. Çerçevenin dayanım zarfı eğrisi kullanılarak hesaplanan $\mu = \delta_u / \delta_y$ yerdeğiştirme sünekliği itme yönünde 2.15, çekme yönünde ise 2.36 olarak belirlenmiştir. Aşağıdaki Şekil 3.10'da PRCF-2 çerçevesine ilişkin

yığışımlı toplam tüketilen enerji-ötelenme oranı eğrisi verilmektedir. PRCF-2 çerçevesinin deney sonunda tükettiği toplam enerji miktarı 84016 kNmm olarak hesaplanmıştır.



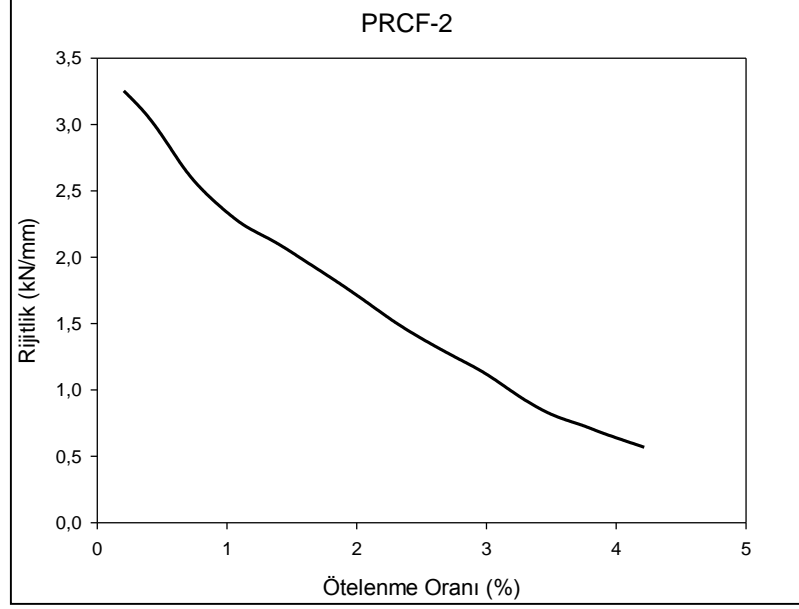
Şekil 3.9. PRCF-2 çerçevesine ilişkin dayanım zarfı eğrisi



Şekil 3.10. PRCF-2 çerçevesine ilişkin yığışımlı toplam tüketilen enerji eğrisi

Aşağıdaki Şekil 3.11’de PRCF-2 çerçevesine ait rijitlik azalması-ötelenme oranı ($\theta=\delta/h$) eğrisi verilmektedir. Şekilden de görüldüğü gibi çerçeveye ilişkin başlangıç rijitliği

3.25 kN/mm iken, deney sonunda rijitliğinin %83'ünü kaybetmiştir. Bu çerçevenin deney sonundan bazı görünümleri Şekil 3.12'de verilmektedir.



Şekil 3.11. PRCF-2 çerçevesine ilişkin rijitlik azalım eğrisi



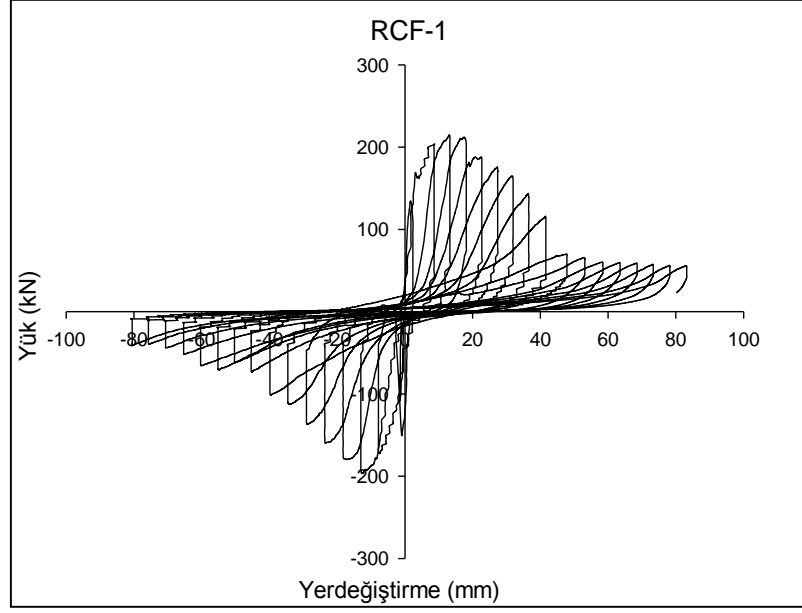
Şekil 3.12. PRCF-2 çerçevesinin deney sonundan bazı görünümler

3.1.3. Düşük Dayanımlı Betonla Üretilen Tuğla Dolgu Duvarlı Çerçevenin Düzlem İçi Yüklemelerden Elde Edilen Deney Bulguları

Çevrimsel yükler altında düzlem içi davranışları incelenen çerçevelerden düşük dayanımlı betonla üretilen tuğla dolgu duvarlı RCF-1 çerçevesinin deney esnasından bir görünümü Şekil 3.13'de, deney sonunda elde edilen histeriktik yük-yerdeğiştirme eğrisi ise Şekil 3.14'de verilmektedir. Bu eğrinin incelenmesinden, itmede elde edilen maksimum yükün 214.918 kN ve buna karşılık gelen yerdeğiştirmenin 13.075 mm, çekmede yükün 196.389 kN ve yerdeğiştirmenin ise 12.778 mm olduğu görülmektedir. Çerçeve maksimum yük taşıma kapasitesine %0.6 bağıl ötelenmeyle ulaşmıştır. Yüklemeye devam edildiğinde 115.948 kN yatay yük ve 41.529 mm yerdeğiştirme değerinden sonra (çekme yönünde 101.494 kN ve 39.672 mm) çerçevenin taşıma kapasitesinin oldukça düştüğü görülmüştür. Bu değer %1.93 ötelenme oranına karşılık gelmektedir. Burada bu çerçevenin %3.5 bağıl ötelenme oranında yaklaşık olarak 52 kN yük taşıdığını belirtmek uygun olmaktadır.

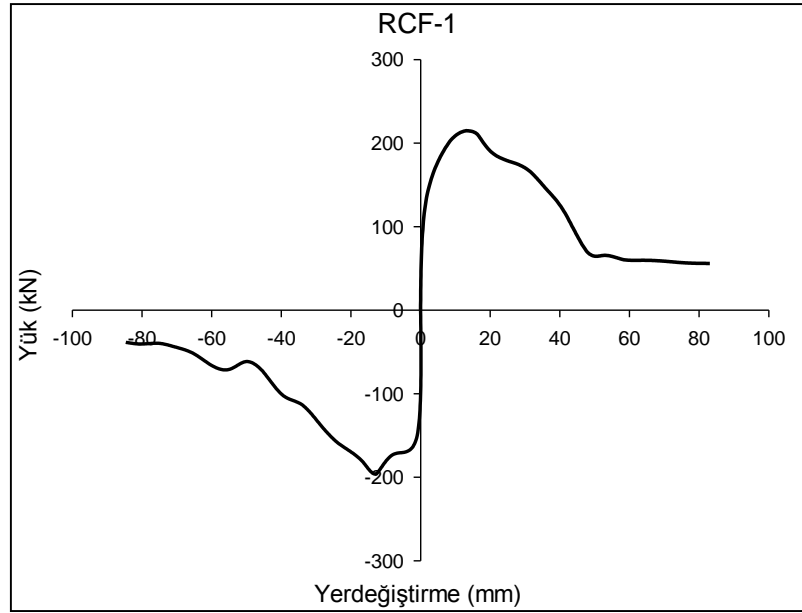


Şekil 3.13. Düşük dayanımlı betonla üretilen tuğla dolgu duvarlı RCF-1 çerçevesinin deney esnasından bir görünüm



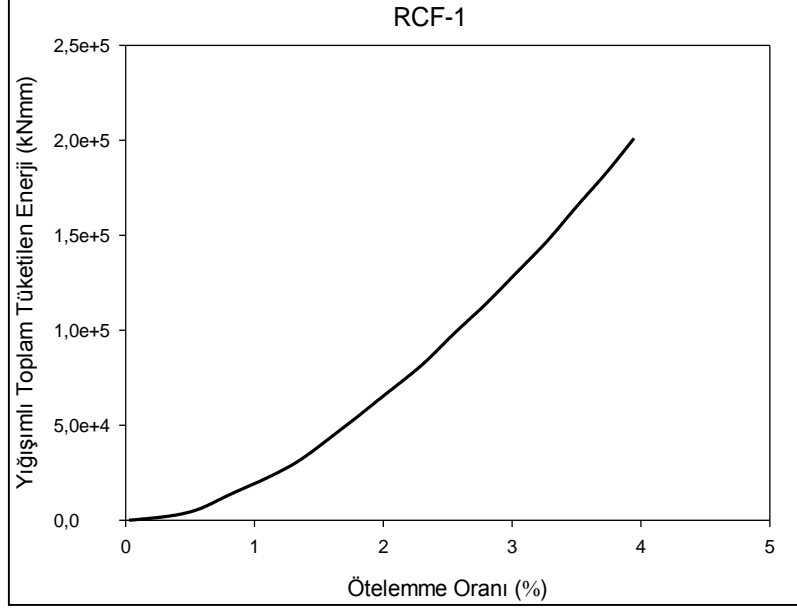
Şekil 3.14. RCF-1 çerçevesinin histeriklik yük-yerdeğiştirme eğrisi

Deneyden elde edilen yük-yerdeğiştirme çevrimlerinin tepe noktaları birleştirilerek elde edilen dayanım zarfı eğrisi Şekil 3.15'de verilmektedir. Bu şekilden de görüldüğü gibi çerçevenin itme ve çekme davranışı pratik olarak simetriktir. Çerçevenin dayanım zarfı eğrisi kullanılarak hesaplanan yerdeğiştirme sünekliği itme yönünde 5.99, çekme yönünde ise 6.16 olarak belirlenmiştir.

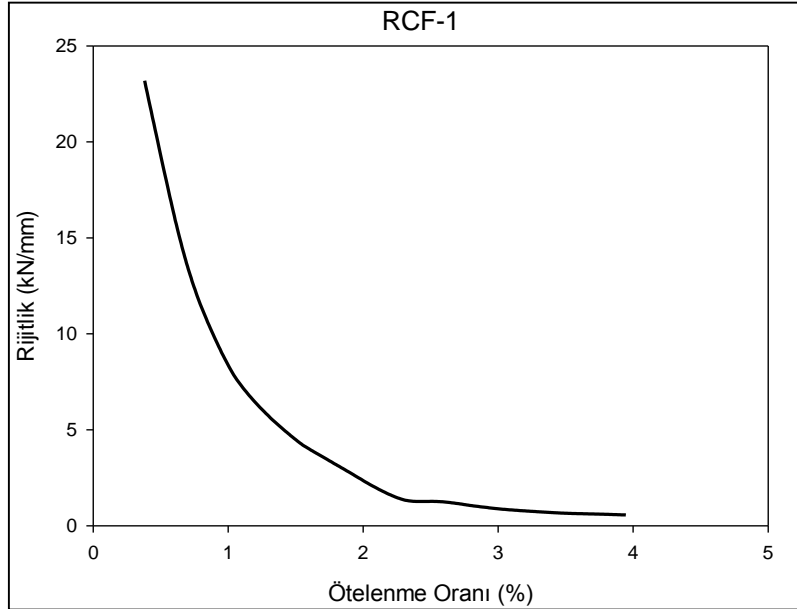


Şekil 3.15. RCF-1 çerçevesine ilişkin dayanım zarfı eğrisi

Aşağıdaki Şekil 3.16'da RCF-1 çerçevesine ilişkin yığılımlı toplam tüketilen enerji-ötelenme oranı eğrisi verilmektedir. RCF-1 numunesinin deney sonunda tükettiği toplam enerji miktarı 201039 kNmm olarak hesaplanmıştır.

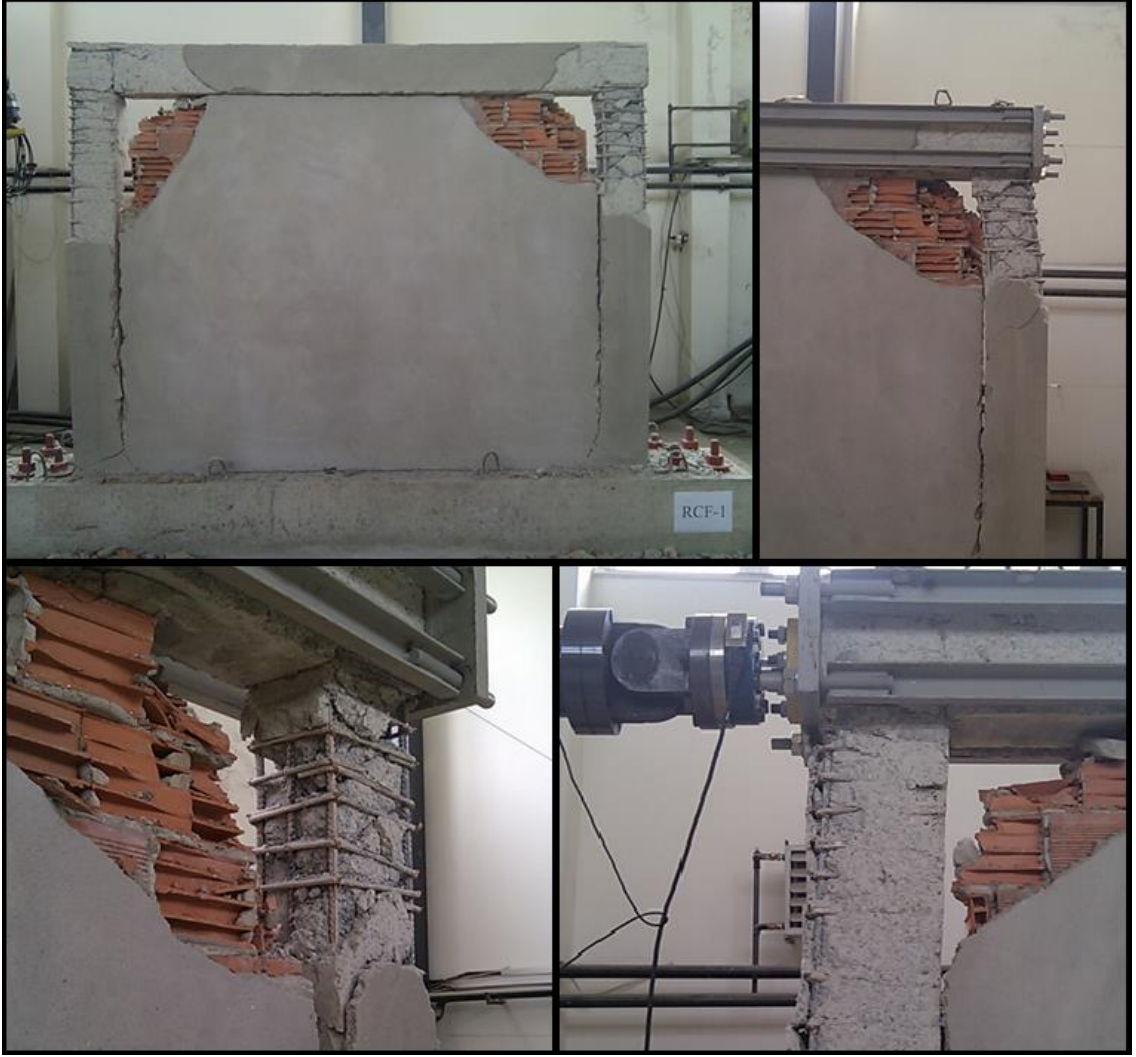


Şekil 3.16. RCF-1 çerçevesine ilişkin yığılımlı toplam tüketilen enerji eğrisi



Şekil 3.17. RCF-1 çerçevesine ilişkin rijitlik azalım eğrisi

PRCF-2 çerçevesine ait rijitlik azalması-ötelenme oranı ($\theta=\delta/h$) eğrisi Şekil 3.17'de verilmektedir. Şekilden de görüldüğü gibi çerçeveye ilişkin başlangıç rijitliği 23.19 kN/mm iken, deney sonunda rijitliğinin %98'ini kaybetmiştir. Bu çerçevenin deney sonundan bazı görüntüleri Şekil 3.18'de verilmektedir.

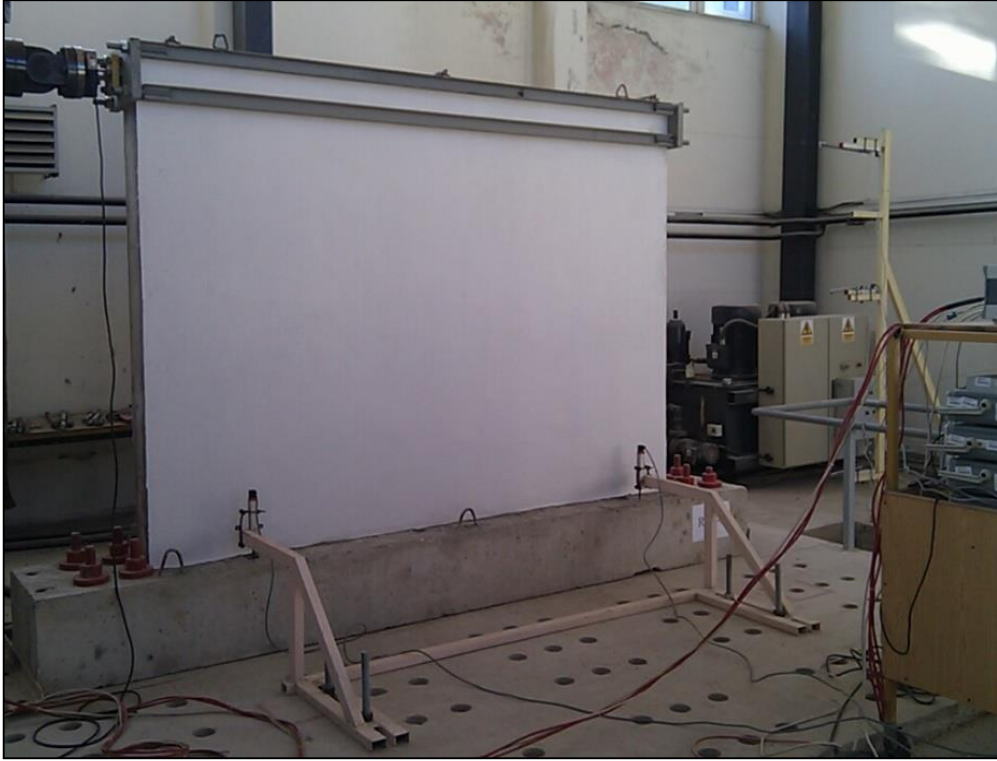


Şekil 3.18. RCF-1 çerçevesinin deney sonundan bazı görüntümler

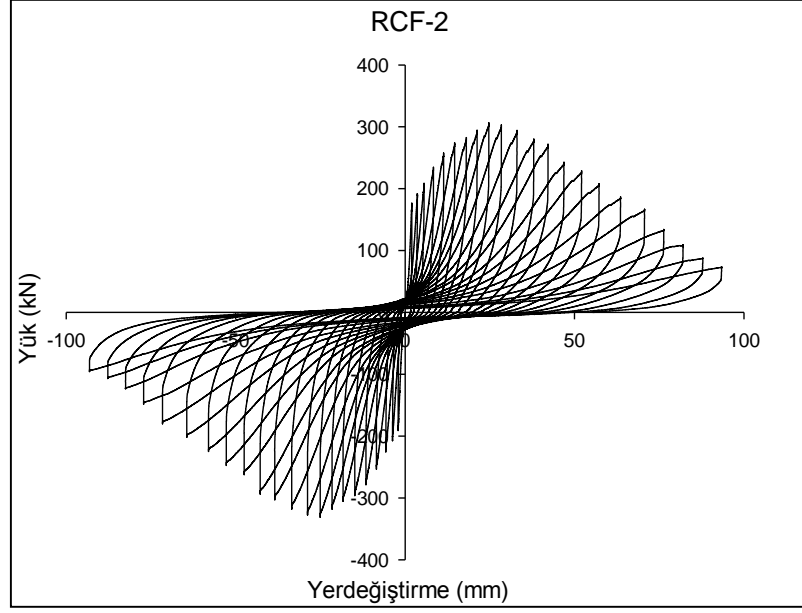
3.1.4. Düşük Dayanımlı Betonla Üretilen Deprem Kumaşlı Çerçevenin Düzlem İçi Yüklemelerden Elde Edilen Deney Bulguları

Çevrimsel yükler altında düzlem içi davranışları incelenen çerçevelerden düşük dayanımlı betonla üretilen tuğla dolgu duvarlı RCF-2 çerçevesinin deney esnasından bir görünümü Şekil 3.19'da, deney sonunda elde edilen histeriktik yük-yerdeğiştirme eğrisi ise

Şekil 3.20'de verilmektedir. Bu eğrinin incelenmesinden, itmede elde edilen maksimum yükün 331.316 kN ve buna karşılık gelen yerdeğiştirmenin 25.039 mm, çekmede yükün 306.522 kN ve yerdeğiştirmenin ise 24.724 mm olduğu görölmektedir. Çerçeve maksimum yük taşıma kapasitesine %1.18 bağıl ötelenmeyle ulaşmıştır. Yüklemeye devam edildiğinde çerçevenin yük taşıma kapasitesindeki düşüşün RCF-1 çerçevesine göre daha yumuşak olduğu görölmektedir. Burada bu çerçevenin %3.5 bağıl ötelenme oranında yaklaşık olarak 160 kN yük taşıdığını belirtmek uygun olmaktadır.

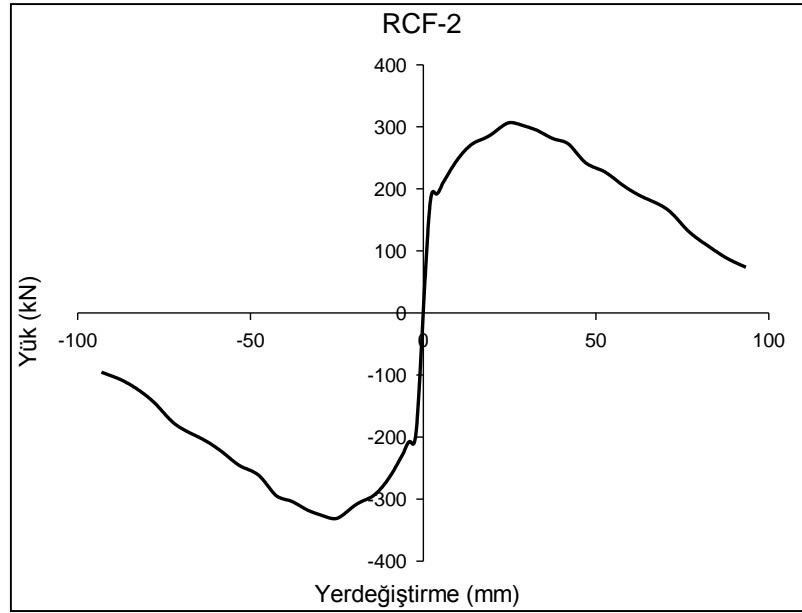


Şekil 3.19. Düşük dayanımlı betonla üretilen deprem kumaşlı tuğla dolgu duvarlı RCF-2 çerçevesinin deneyi esnasından bir görünüm



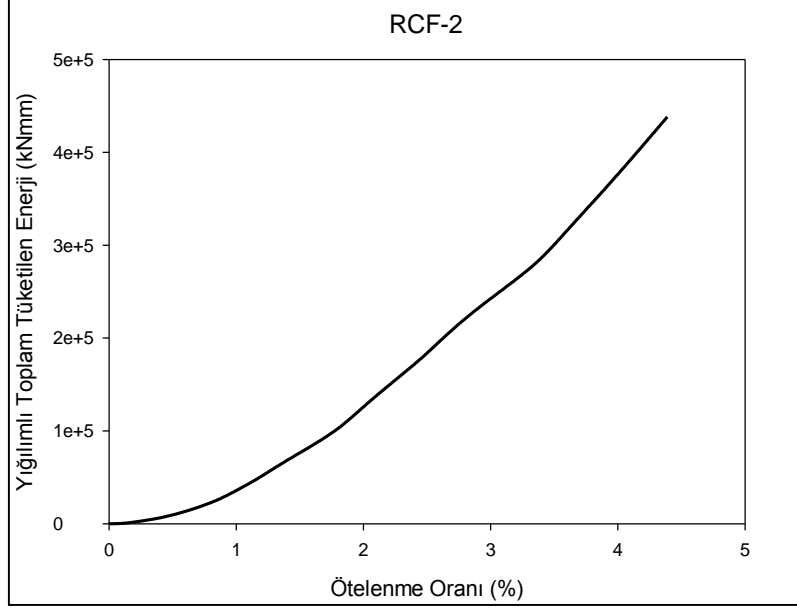
Şekil 3.20. RCF-2 çerçevesinin histeriktik yük-yerdeğiştirme eğrisi

Deneyden elde edilen yük-yerdeğiştirme çevrimlerinin tepe noktaları birleştirilerek elde edilen dayanım zarfı eğrisi Şekil 3.21'de verilmektedir. Bu şekilden de görüldüğü gibi çerçevenin itme ve çekme davranışı pratik olarak simetriktir. Çerçevenin dayanım zarfı eğrisi kullanılarak hesaplanan yerdeğiştirme sünekliliği itme yönünde 7.56, çekme yönünde ise 7.53 olarak belirlenmiştir.

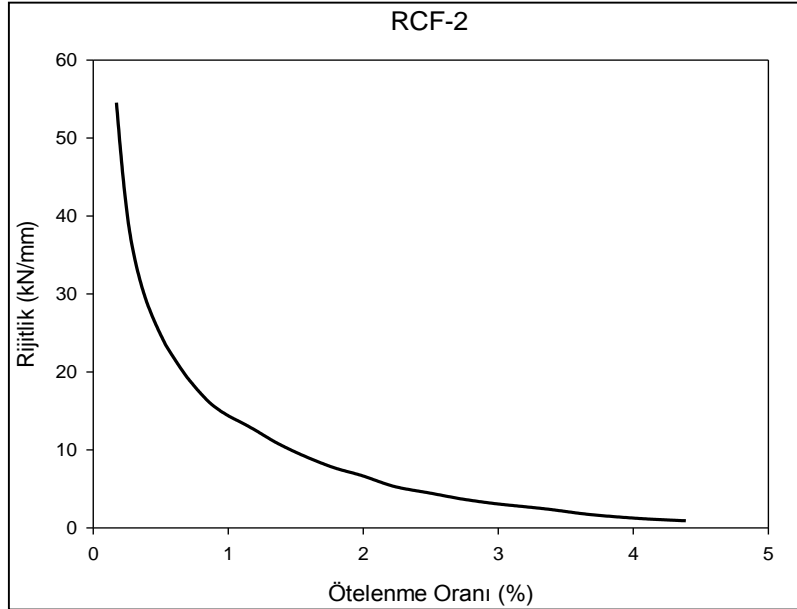


Şekil 3.21. RCF-2 çerçevesine ilişkin dayanım zarfı eğrisi

Aşağıdaki Şekil 3.22'de RCF-2 çerçevesine ilişkin yığılımlı toplam tüketilen enerji-ötelenme oranı eğrisi verilmektedir. RCF-2 numunesinin deney sonunda tükettiği toplam enerji miktarı 438220 kNmm olarak hesaplanmıştır.



Şekil 3.22. RCF-2 çerçevesine ilişkin yığılımlı toplam tüketilen enerji eğrisi



Şekil 3.23. RCF-2 çerçevesine ilişkin rijitlik azalım eğrisi

RCF-2 çerçevesine ilişkin rijitlik azalmasına eğrisi Şekil 3.23'de verilmektedir. Şekilden de görüldüğü gibi çerçeveye ilişkin başlangıç rijitliği 54.54 kN/mm iken, deney sonunda rijitliğinin %98'ini kaybetmiştir. Bu çerçevenin deney sonundan bazı görüntüleri Şekil 3.24'de verilmektedir.

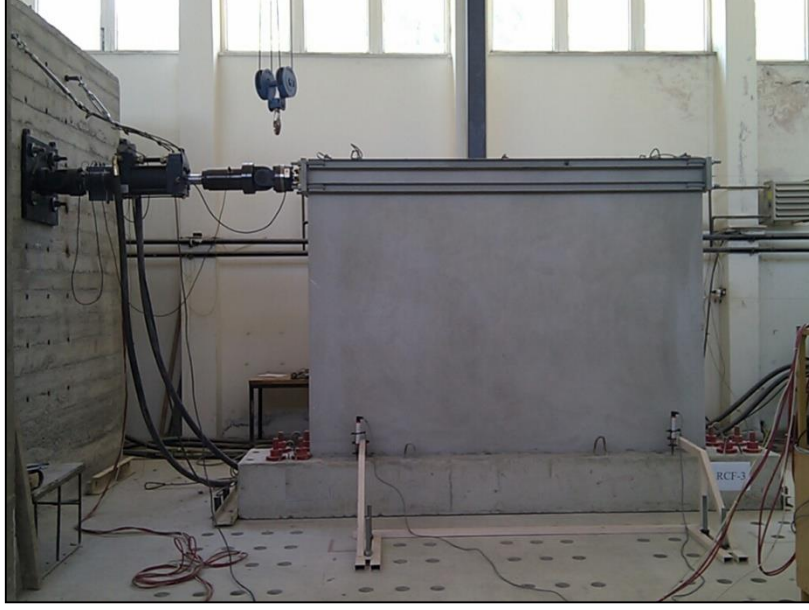


Şekil 3.24. RCF-2 çerçevesinin deney sonundan bazı görüntüleri

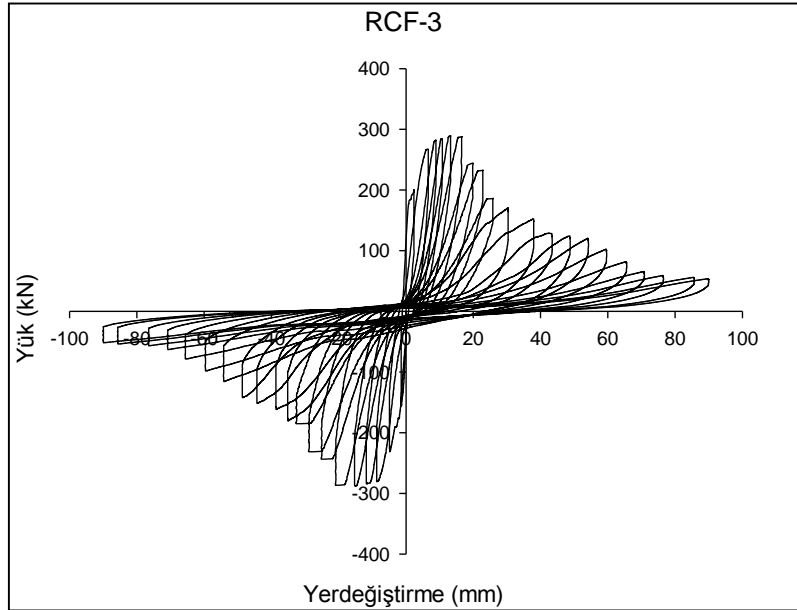
3.1.5. Geleneksel Betonla Üretilen Tuğla Dolgu Duvarlı Çerçevenin Düzlem İçi Yüklemelerden Elde Edilen Deney Bulguları

Çevrimsel yük altında davranışı incelenen geleneksel betonla üretilen tuğla dolgu duvarlı RCF-3 çerçevesinin deney esnasından bir görünümü Şekil 3.25'de, deney sonunda elde edilen histeretik yük-yerdeğiştirme eğrisi ise Şekil 3.26'da verilmektedir. Bu eğrinin incelenmesinden, itmede elde edilen maksimum yükün 288.133 kN ve buna karşılık gelen yerdeğiştirmenin 15.156 mm, itmede yükün 289.147 kN ve yerdeğiştirmenin ise 13.262 mm olduğu görülmektedir. Çerçeve maksimum yük taşıma kapasitesine %0.71 bağlı ötelenmeyle ulaşmıştır. Yüklemeye devam edildiğinde 231.314 kN yatay yük ve 28.750

mm yerdeğiştirme değerinden sonra (çekme yönünde 232.40 kN ve 22.830 mm) çerçevenin taşıma kapasitesinin oldukça düştüğü görülmüştür. Bu değer %1.35 ötelenme oranına karşılık gelmektedir. Burada çerçevenin %3.5 bağlı ötelenme oranında yaklaşık olarak 61 kN yük taşıdığı belirtilmelidir.

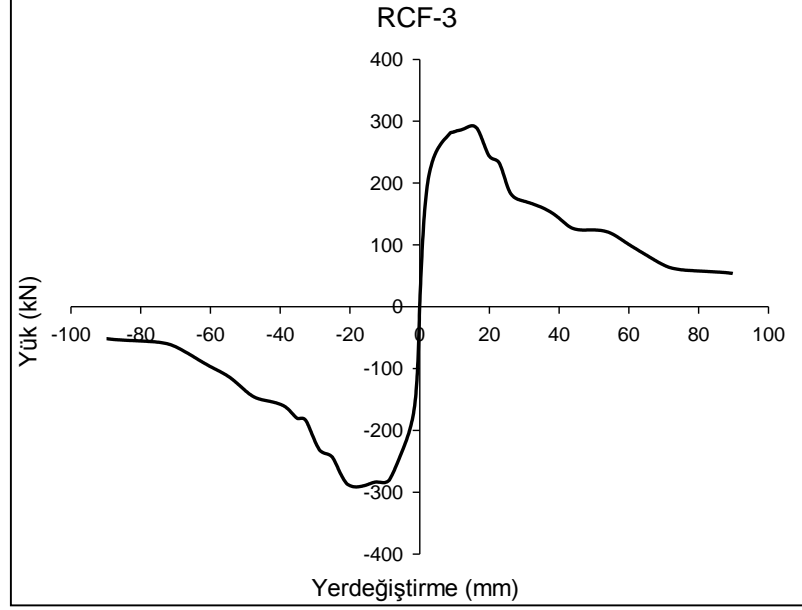


şekil 3.25. Geleneksel betonla üretilen tuğla dolgu duvarlı RCF-3 çerçevesinin deneyi esnasından bir görünüm

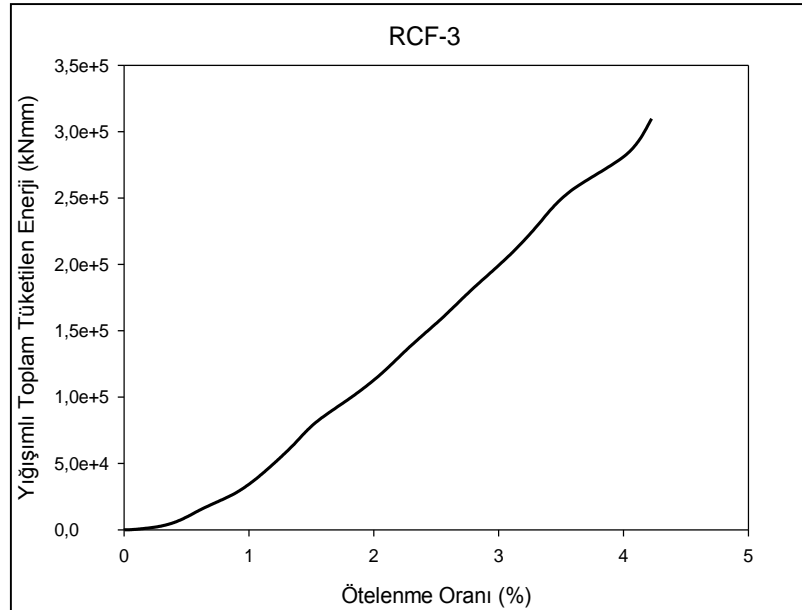


şekil 3.26. RCF-3 çerçevesinin histeriktik yük-yerdeğiştirme eğrisi

Deneyden elde edilen yük-yerdeğiştirme çevrimlerinin tepe noktaları birleştirilerek elde edilen dayanım zarfı eğrisi Şekil 3.27'de verilmektedir. Bu Şekilden de görüldüğü gibi çerçevenin itme ve çekme davranışı pratik olarak simetriktir. Çerçevenin dayanım zarfı eğrisi kullanılarak hesaplanan yerdeğiştirme sünekliği itme yönünde 5.30, çekme yönünde ise 5.60 olarak belirlenmiştir.

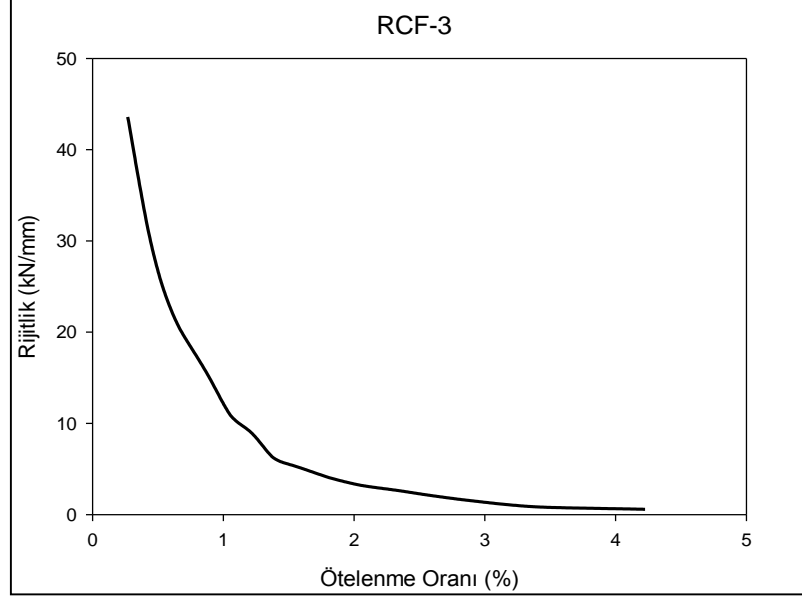


Şekil 3.27. RCF-3 çerçevesine ilişkin dayanım zarfı eğrisi



Şekil 3.28. RCF-3 çerçevesine ilişkin yığışımlı toplam tüketilen enerji eğrisi

RCF-3 çerçevesine ilişkin yığılımlı toplam tüketilen enerji-ötelenme oranı eğrisi Şekil 3.28'de verilmektedir. RCF-3 numunesinin deney sonunda tükettiği toplam enerji miktarı 309755 kNmm olarak hesaplanmıştır.



Şekil 3.29. RCF-3 çerçevesine ilişkin rijitlik azalım eğrisi

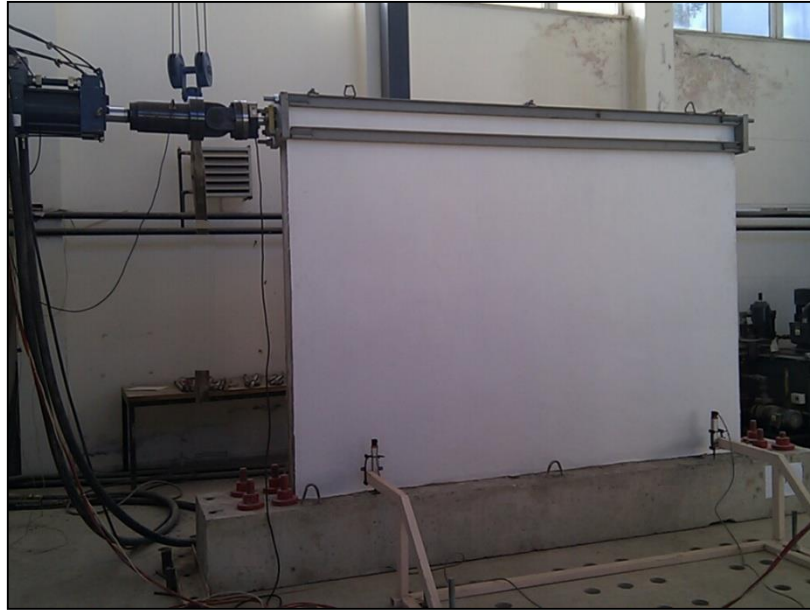


Şekil 3.30. RCF-3 çerçevesinin deney sonundan bazı görüntümler

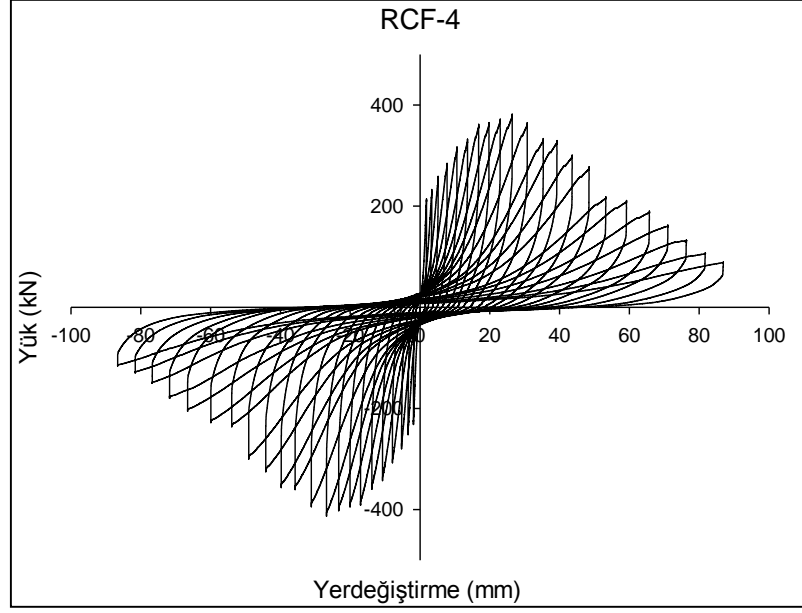
RCF-3 çerçevesine ilişkin rijitlik azalması eğrisi Şekil 3.29'da verilmektedir. Şekilden de görüldüğü gibi çerçeveye ilişkin başlangıç rijitliği 43.586 kN/mm iken, deney sonunda rijitliğinin %99'unu kaybetmiştir. Bu çerçevenin deney sonundan bazı görünümüleri Şekil 3.30'da verilmektedir.

3.1.6. Geleneksel Betonla Üretilen Deprem Kumaşlı Çerçevenin Düzlem İçi Yüklemelerden Elde Edilen Deneysel Bulguları

Çevrimsel yük altında davranışı incelenen geleneksel betonla üretilen tuğla dolgu duvarlı ve deprem kumaşıyla güçlendirilmiş RCF-4 çerçevesinin deney esnasından bir görünümü Şekil 3.31'de, deney sonunda elde edilen histeriktik yük-yerdeğiştirme eğrisi ise Şekil 3.32'de verilmektedir. Bu eğrinin incelenmesinden, itmede elde edilen maksimum yükün 410.710 kN ve buna karşılık gelen yerdeğiştirmenin 26.766 mm, çekmede yükün 381.710 kN ve yerdeğiştirmenin ise 26.429 mm olduğu görülmektedir. Çerçeve maksimum yük taşıma kapasitesine %1.26 ötelenme oranında ulaşmıştır. Yüklemeye devam edildiğinde çerçevenin yük taşıma kapasitesindeki düşüşün RCF-2 çerçevesinde olduğu gibi daha yumuşak olduğu görülmektedir. Burada çerçeve %3.5 bağıl ötelenme oranında yaklaşık olarak 175 kN yük taşıdığı belirtilmelidir.

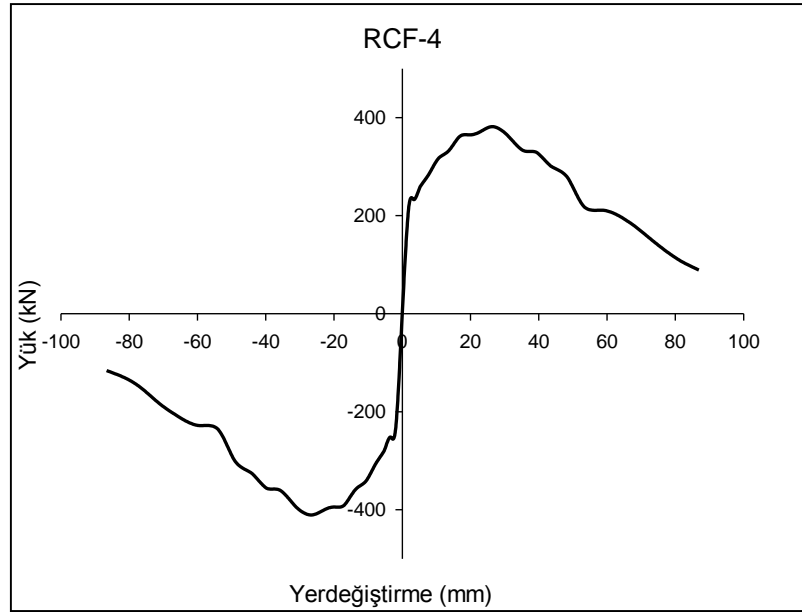


Şekil 3.31. Geleneksel betonla üretilen tuğla dolgu duvarlı deprem kumaşlı RCF-4 çerçevesinin deneyi esnasından bir görünüm



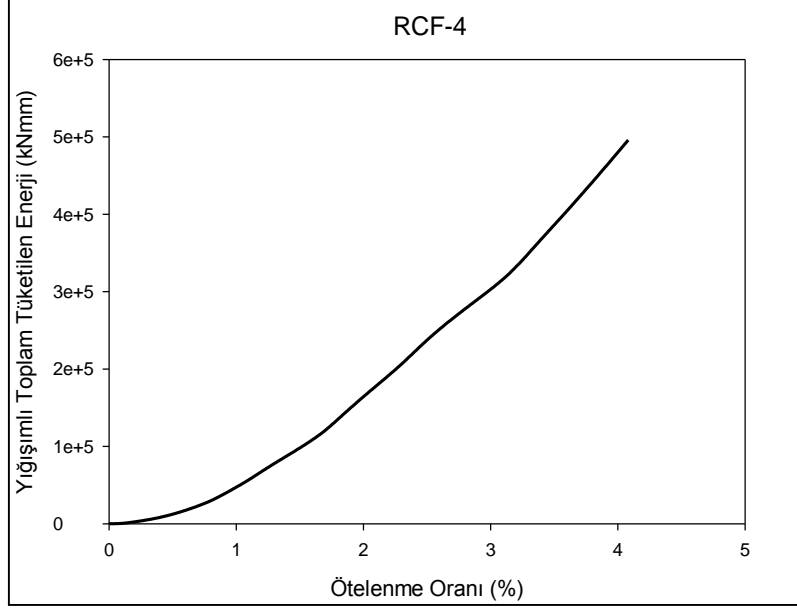
Şekil 3.32. RCF-4 çerçevesinin histeriklik yük-yerdeğiştirme eğrisi

Deneyden elde edilen yük-yerdeğiştirme çevrimlerinin tepe noktaları birleştirilerek elde edilen dayanım zarfı eğrisi Şekil 3.33'de verilmektedir. Bu şekilden de görüldüğü gibi çerçevenin itme ve çekme davranışı pratik olarak simetriktir. Çerçevenin dayanım zarfı eğrisi kullanılarak hesaplanan yerdeğiştirme sünekliği itme yönünde 7.44, çekme yönünde ise 7.40 olarak belirlenmiştir.

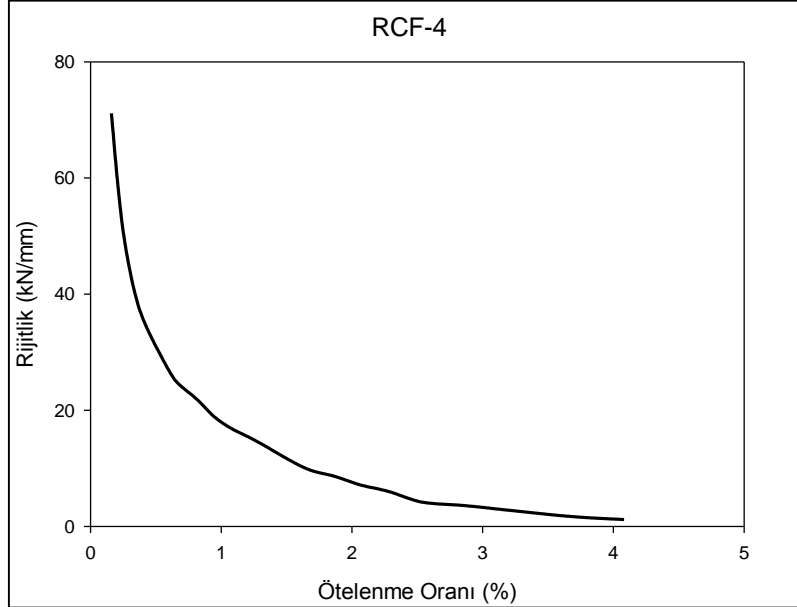


Şekil 3.33. RCF-4 çerçevesine ilişkin dayanım zarfı eğrisi

Aşağıdaki Şekil 3.34'de RCF-4 çerçevesine ilişkin yığılımlı toplam tüketilen enerji-ötelenme oranı eğrisi verilmektedir. RCF-4 numunesinin deney sonunda tükettiği toplam enerji miktarı 495843 kNmm olarak hesaplanmıştır.



Şekil 3.34. RCF-4 çerçevesine ilişkin yığılımlı toplam tüketilen enerji eğrisi



Şekil 3.35. RCF-4 çerçevesine ilişkin rijitlik azalım eğrisi

RCF-4 çerçevesine ilişkin rijitlik azalması eğrisi Şekil 3.35'de verilmektedir. Şekilden de görüldüğü gibi çerçeveye ilişkin başlangıç rijitliği 71.139 kN/mm iken, deney sonunda rijitliğinin %98'ini kaybetmiştir. Bu çerçevenin deney sonundan bazı görüntüleri Şekil 3.36'da verilmektedir.



Şekil 3.36. RCF-4 çerçevesinin deney sonundan bazı görüntümler

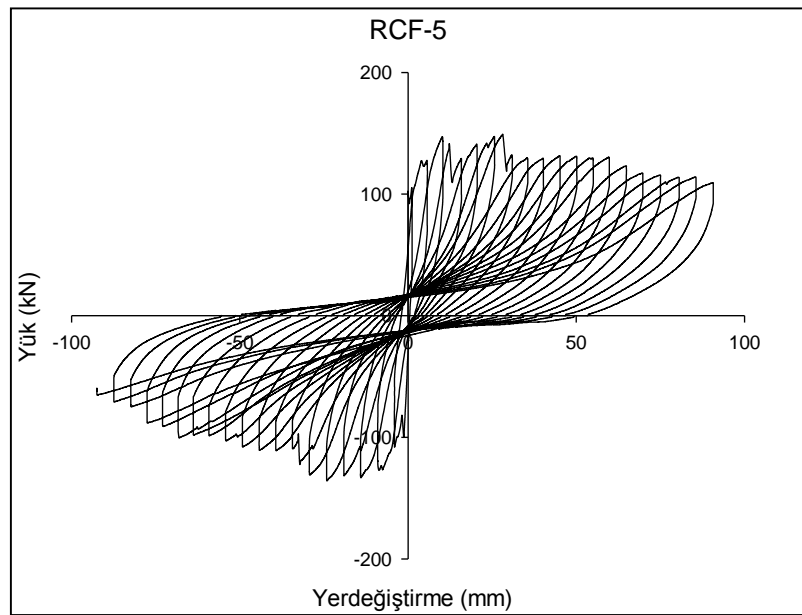
3.1.7. Geleneksel Betonla Üretilen Gaz Beton Dolgu Duvarlı Çerçevenin Düzlem İçi Yüklemelerden Elde Edilen Deney Bulguları

Çevrimsel yük altında davranışı incelenen geleneksel betonla üretilen gaz beton dolgulu RCF-5 çerçevesinin deney esnasından bir görünümü Şekil 3.37'de, deney sonunda elde edilen histeriklik yük-yerdeğiştirme eğrisi ise Şekil 3.38'da verilmektedir. Bu eğrinin incelenmesinden, itmede elde edilen maksimum yükün 148.910 kN ve buna karşılık gelen yerdeğiştirmenin 28.084 mm, çekmede yükün 135.744 kN ve yerdeğiştirmenin ise 24.129

mm olduğu görülmektedir. Çerçeve maksimum yük taşıma kapasitesine %1.14 ötelenme oranında ulaşmıştır. Yükleme devam edildiğinde 130.716 kN yatay yük ve 29.286 mm yerdeğiştirme değerinden sonra çerçevenin taşıma kapasitesinin ani bir düşüş olduğu ancak bu düşüşün RCF-1 ve RCF-3 çerçevelerindeki kadar keskin olmadığı gözlemlenmiştir. Bu yük değeri %1.38 ötelenme oranına karşılık gelmektedir. Burada çerçeve %3.5 bağlı ötelenme oranında yaklaşık 100 kN taşıdığı belirtilmelidir.

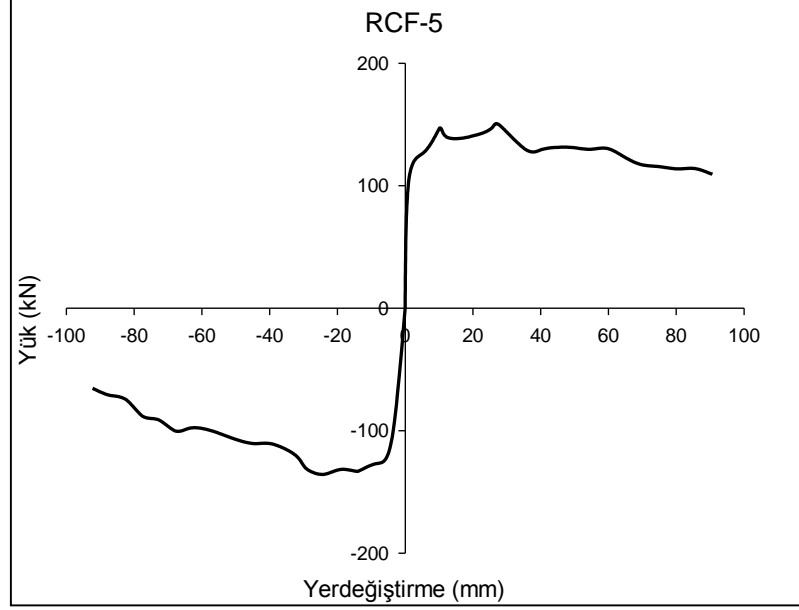


Şekil 3.37. Geleneksel betonla üretilen gaz beton dolgu duvarlı RCF-5 çerçevesinin deneyi esnasından bir görünüm

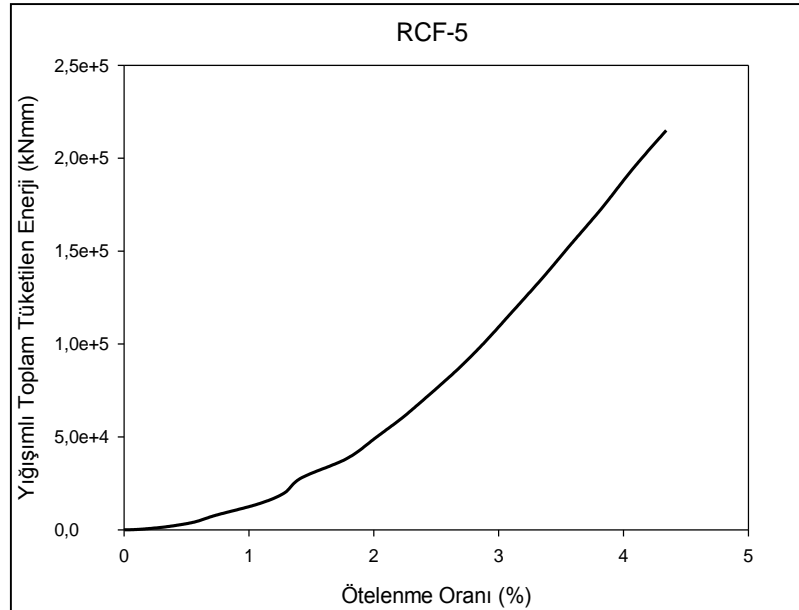


Şekil 3.38. RCF-5 çerçevesinin histeriktik yük-yerdeğiştirme eğrisi

Deneyden elde edilen yük-yerdeğiştirme çevrimlerinin tepe noktaları birleştirilerek elde edilen dayanım zarfı eğrisi Şekil 3.39'da verilmektedir. Bu şekilden de görüldüğü gibi çerçevenin itme ve çekme davranışı pratik olarak simetriktir. Çerçevenin dayanım zarfı eğrisi kullanılarak hesaplanan yerdeğiştirme sünekliği itme yönünde 10.53, çekme yönünde ise 9.38 olarak belirlenmiştir.



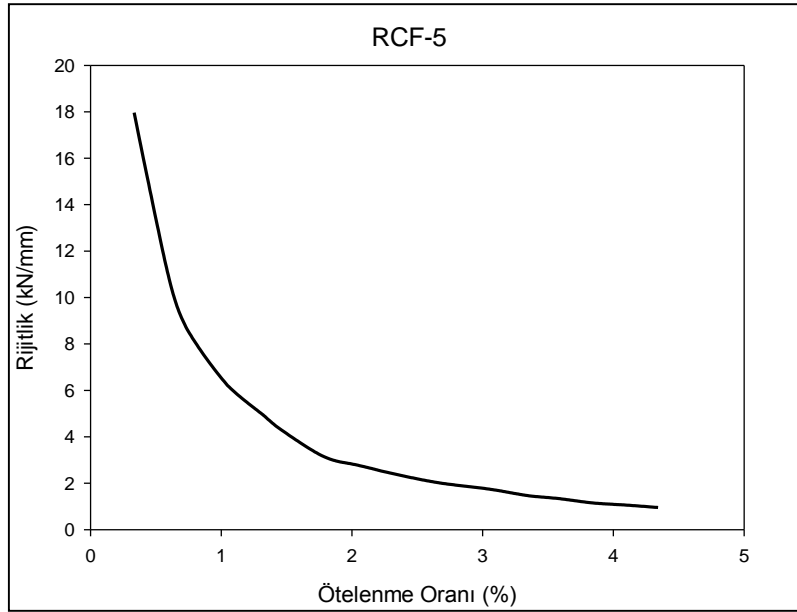
Şekil 3.39. RCF-5 çerçevesine ilişkin dayanım zarfı eğrisi



Şekil 3.40. RCF-5 çerçevesine ilişkin yığılımlı toplam tüketilen enerji eğrisi

RCF-5 çerçevesine ilişkin yığılmı toplam tüketilen enerji-ötelenme oranı eğrisi Şekil 3.40'da verilmektedir. RCF-5 numunesinin deney sonunda tükettiği toplam enerji miktarı 214950 kNmm olarak hesaplanmıştır.

Aşağıdaki Şekil 3.41'de RCF-5 çerçevesine ilişkin rijitlik azalması eğrisi verilmektedir. Şekilden de görüldüğü gibi çerçeveye ilişkin başlangıç rijitliği 17.97 kN/mm iken, deney sonunda rijitliğinin %98'ini kaybetmiştir. Bu çerçevenin çerçevesinin deney sonundan bir görüntü Şekil 3.42'de verilmektedir.



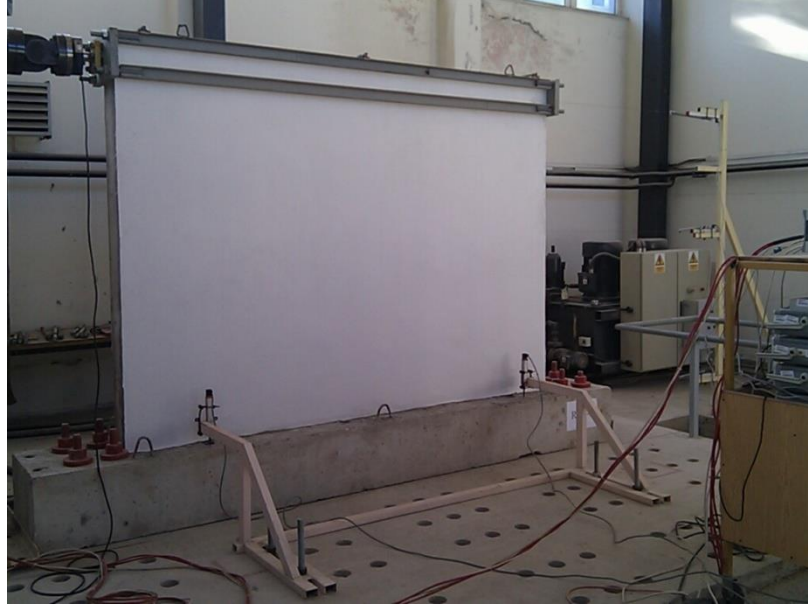
Şekil 3.41. RCF-5 çerçevesine ilişkin rijitlik azalım eğrisi



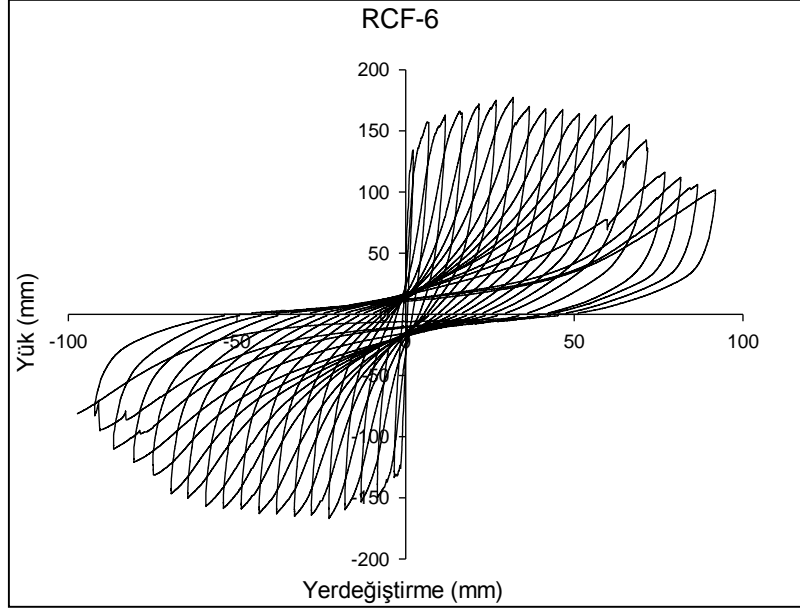
Şekil 3.42. RCF-5 çerçevesinin deney sonundan bir görünüm

3.1.8. Geleneksel Betonla Üretilen Gaz Beton Dolgu Duvarlı Deprem Kumaşlı Çerçevenin Düzlem İçi Yüklemelerden Elde Edilen Deney Bulguları

Çevrimsel yük altında davranışı incelenen geleneksel betonla üretilen gaz beton dolgu duvarlı ve deprem kumaşıyla güçlendirilmiş RCF-6 çerçevesinin deney esnasından bir görünümü Şekil 3.43'de, deney sonunda elde edilen histeriktik yük-yerdeğiştirme eğrisi ise Şekil 3.44'de verilmektedir. Bu eğrinin incelenmesinden, itmede elde edilen maksimum yükün 177.221 kN ve buna karşılık gelen yerdeğiştirmenin 31.889 mm, çekmede yükün 164.996 kN ve yerdeğiştirmenin ise 32.940 mm olduğu görülmektedir. Çerçeve maksimum yük taşıma kapasitesine %1.50 ötelenme oranında ulaşmıştır. Yüklemeye devam edildiğinde çerçevenin yük taşıma kapasitesindeki düşüşün daha yumuşak olduğu görülmektedir. Burada çerçeve %3.5 bağıl ötelenme oranında yaklaşık olarak 130 kN yük taşıdığı belirtilmelidir.

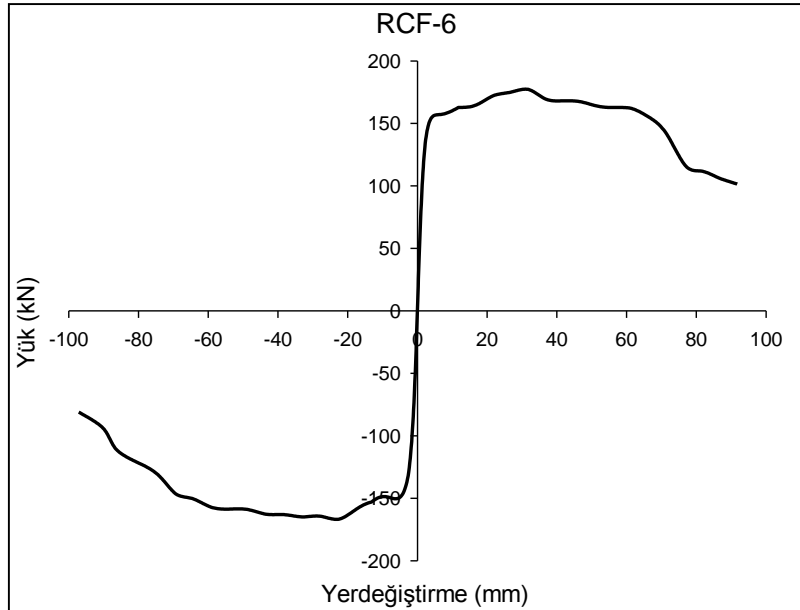


Şekil 3.43. Geleneksel betonla üretilen gaz beton dolgu duvarlı deprem kumaşlı RCF-6 çerçevesinin deney esnasından bir görünüm



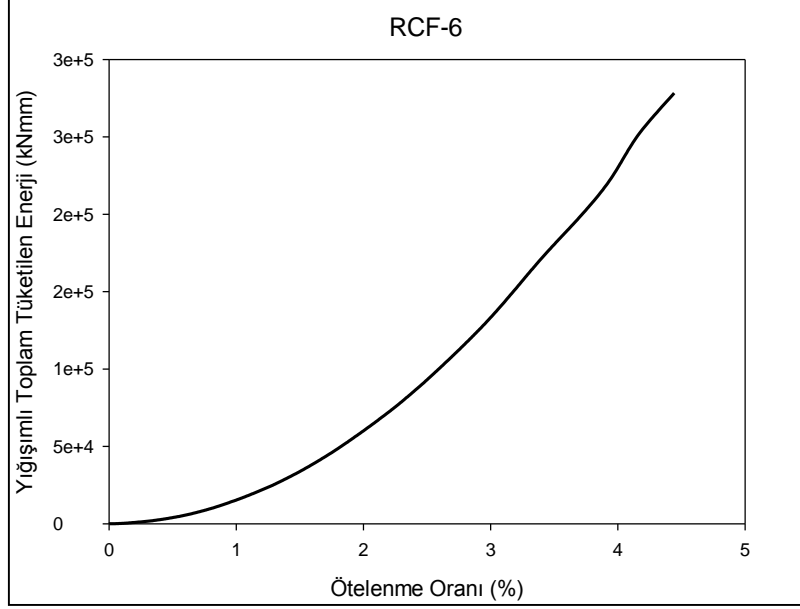
Şekil 3.44. RCF-6 çerçevesinin histeretik yük-yerdeğiştirme eğrisi

Deneyden elde edilen yük-yerdeğiştirme çevrimlerinin tepe noktaları birleştirilerek elde edilen dayanım zarfı eğrisi Şekil 3.45'de verilmektedir. Bu şekilden de görüldüğü gibi çerçevenin itme ve çekme davranışı pratik olarak simetriktir. Çerçevenin dayanım zarfı eğrisi kullanılarak hesaplanan yerdeğiştirme sünekliği itme yönünde 15.52, çekme yönünde ise 14.46 olarak belirlenmiştir.

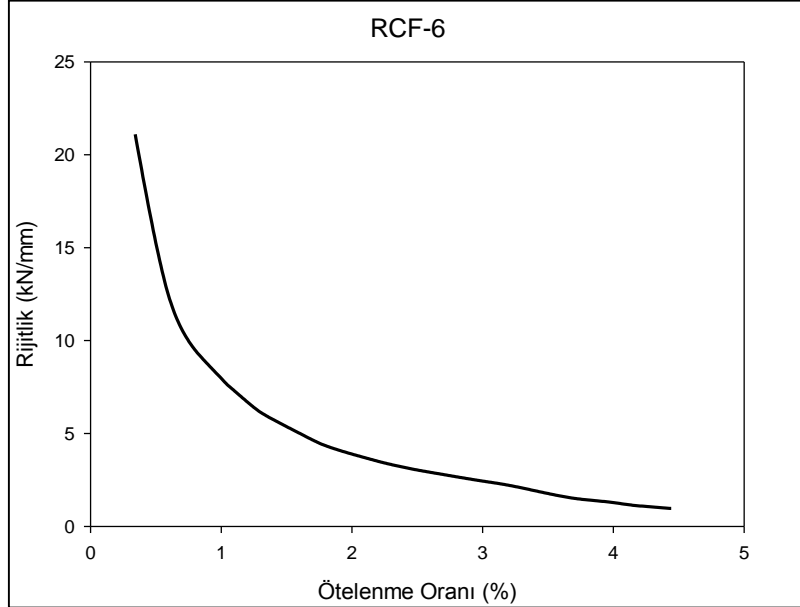


Şekil 3.45. RCF-6 çerçevesine ilişkin dayanım zarfı eğrisi

Aşağıdaki Şekil 3.46'da RCF-6 çerçevesine ilişkin yığılımlı toplam tüketilen enerji-ötelenme oranı eğrisi verilmektedir. RCF-6 numunesinin deney sonunda tükettiği toplam enerji miktarı 278240 kNmm olarak hesaplanmıştır.



Şekil 3.46. RCF-6 çerçevesine ilişkin yığılımlı toplam tüketilen enerji eğrisi



Şekil 3.47. RCF-6 çerçevesine ilişkin rijitlik azalım eğrisi

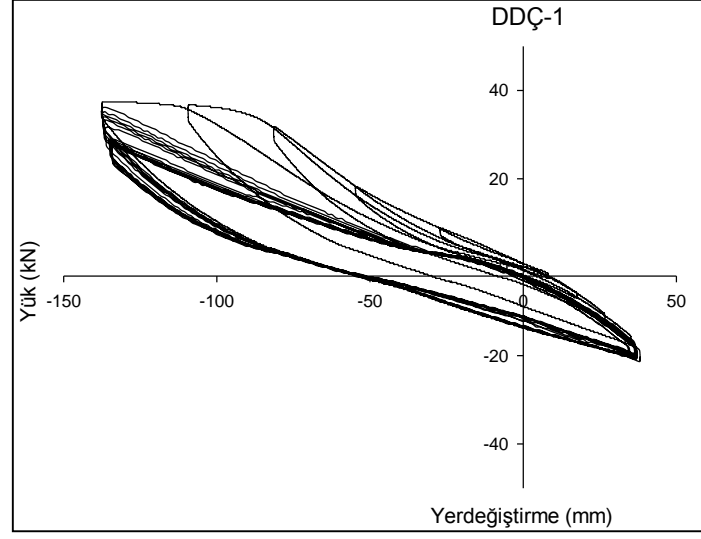
RCF-6 çerçevesine ilişkin rijitlik azalması eğrisi Şekil 3.47'de verilmektedir. Şekilden de görüldüğü gibi çerçeveye ilişkin başlangıç rijitliği 21.10 kN/mm iken, deney sonunda rijitliğinin %95'ini kaybetmiştir. Bu çerçevenin deney sonundan bir görüntü aşağıdaki Şekil 3.48'da verilmektedir.



Şekil 3.48. RCF-6 çerçevesinin deney sonundan bir görünüm

3.1.9. Geleneksel Betonla Üretilen Tuğla Dolgu Duvarlı Çerçevenin Düzlem Dışı Yüklemelerden Elde Edilen Bulgular

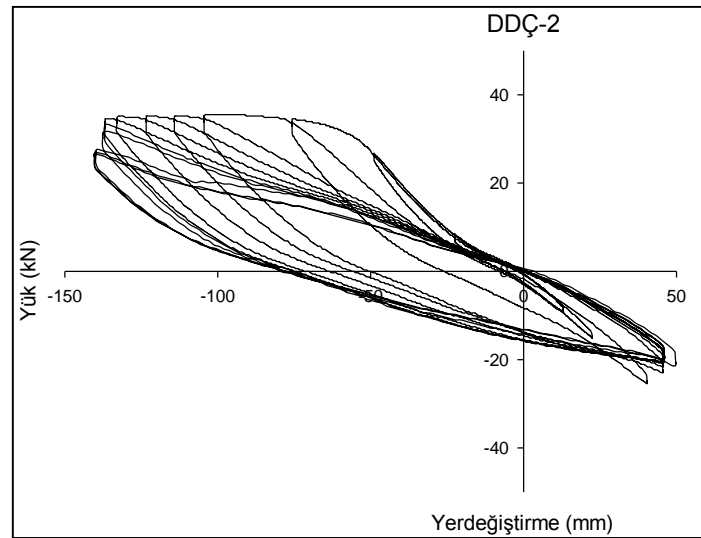
Düzlem dışı yüklemeler altında davranışı incelenen çerçevelerden birincisi geleneksel betonla üretilen tuğla dolgu duvarlı DDÇ-1 çerçevesidir (Bkz. Çizelge 2.1). Bu çerçeveler daha önce de bahsedildiği gibi, kolon kiriş birleşim yerinden yük alacak şekilde kiriş ortasından yüklenmiştir. Yükleme düzeneğindeki pistonun sıfır noktası, daha fazla yerdeğiştirme uygulayabilmek için, 10 cm yerine 5 cm'ye ayarlanmıştır. Bu şekilde yüklenen DDÇ-1 çerçevesine ilişkin histeriktik yük-yerdeğiştirme eğrisi aşağıdaki Şekil 3.49'da verilmektedir. Şekilden de görüldüğü gibi bu çerçevede 37.392 kN yük altında kolon alt uçlarında plastik mafsallar oluştuğundan yük almamaya başlamıştır.



Şekil 3.49. DDÇ-1 çerçevesinin histeriklik yük-yerdeğiştirme eğrisi

3.1.10. Geleneksel Betonla Üretilen Tuğla Dolgu Duvarlı Deprem Kumaşlı Çerçevesinin Düzlem Dışı Yüklemelerden Elde Edilen Bulgular

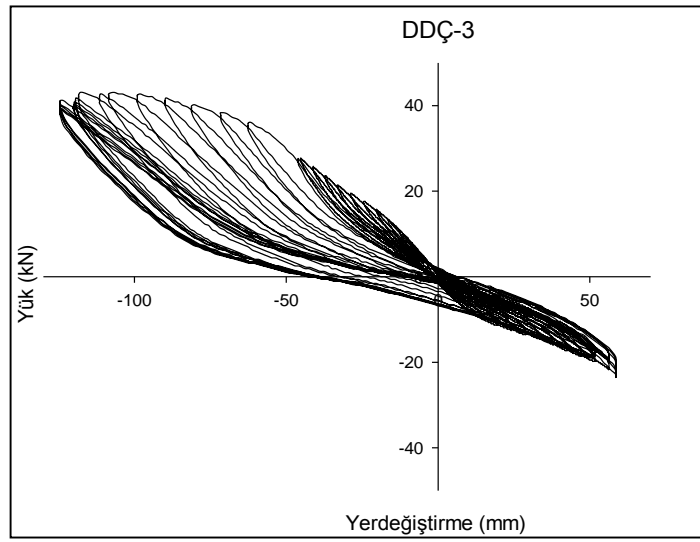
Düzlem dışı yüklemeler altında davranışı incelenen çerçevelerden ikincisi geleneksel betonla üretilen tuğla dolgu duvarlı ve deprem kumaşlı DDÇ-2 çerçevesidir. Düzlem dışı yüklenen DDÇ-2 çerçevesine ilişkin histeriklik yük-yerdeğiştirme eğrisi aşağıdaki Şekil 3.50'de verilmektedir. Şekilden de görüldüğü gibi bu çerçevede 35.507 kN yük altında kolon alt uçlarında plastik mafsallar oluştuğundan yük almamaya başlamıştır.



Şekil 3.50. DDÇ-2 çerçevesinin histeriklik yük-yerdeğiştirme eğrisi

3.1.11. Geleneksel Betonla Üretilen Gaz Beton Dolgu Duvarlı Deprem Kumaşlı Çerçevenin Düzlem Dışı Yüklemelerden Elde Edilen Bulgular

Düzlem dışı yüklemeler altında davranışı incelenen çerçevelerden geleneksel betonla üretilen gaz beton dolgu duvarlı deprem kumaşlı DDÇ-3 çerçevesine ilişkin histeriktik yük-yerdeğiştirme eğrisi aşağıdaki Şekil 3.51’de verilmektedir. Şekilden de görüldüğü gibi bu çerçevede 43.048 kN yük altında kolon alt uçlarında plastik mafsallar oluştuğundan yük almamaya başlamıştır.



Şekil 3.51. DDÇ-3 çerçevesinin histeriktik yük-yerdeğiştirme eğrisi

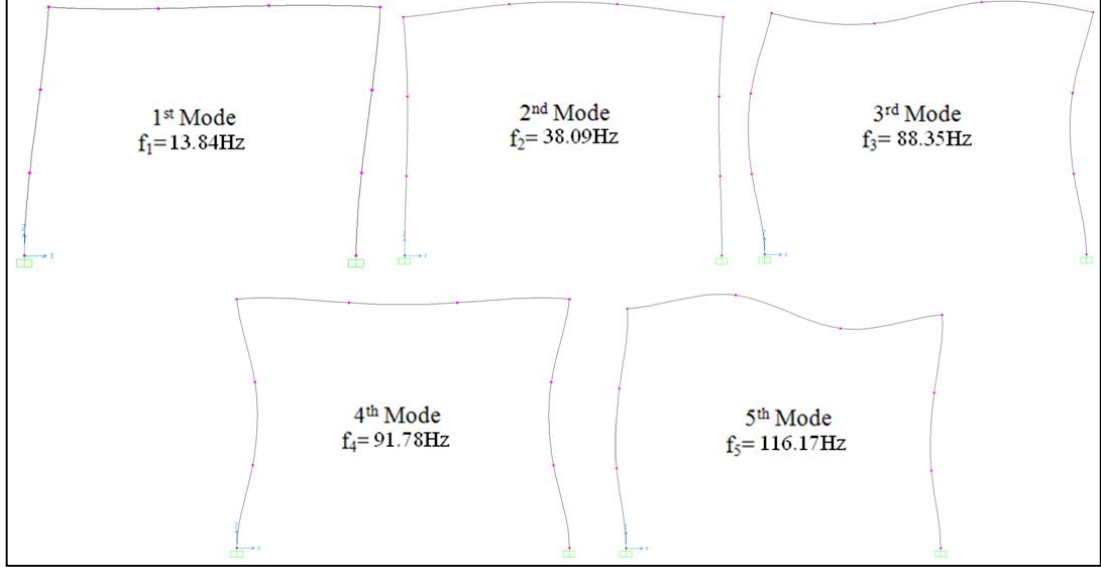
3.2. Deney Çerçevelerinin Dinamik Özelliklerinin Sonlu Elemanlar ve Deneysel Modal Çözümleme Yöntemleriyle Belirlenmesi

Bu başlık altında, düşük dayanımlı ve geleneksel betonla üretilen dolgu duvarsız ve tuğla dolgu duvarlı birer çerçevenin dinamik özellikleri incelenmiştir. Bu incelemede sonlu elemanlar ve deneysel modal çözümleme yöntemleri kullanılmış ve elde edilen bulgular karşılaştırılmıştır.

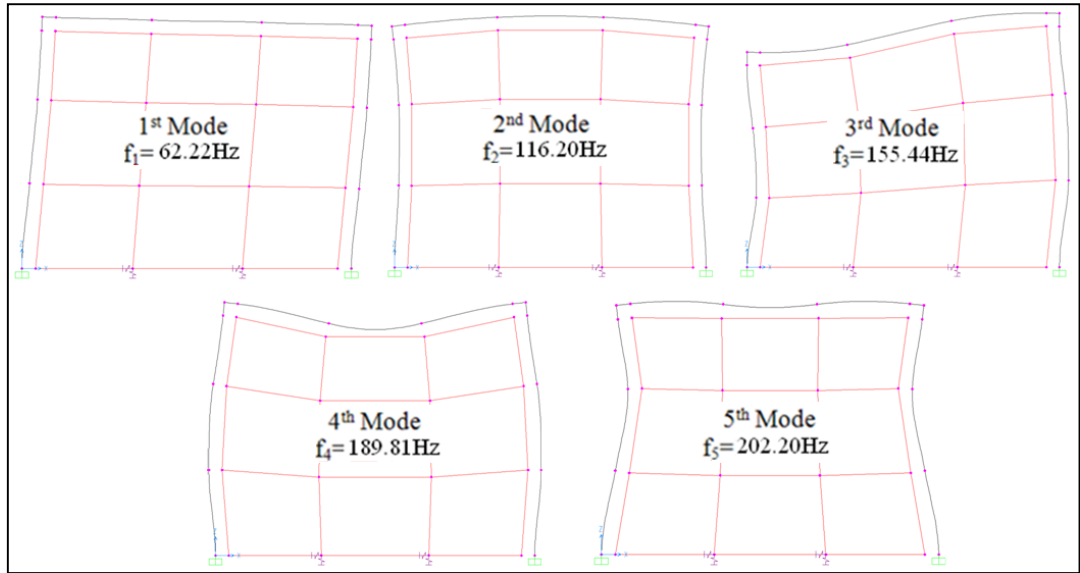
3.2.1. Deney Çerçevelerinin Dinamik Özelliklerinin Sonlu Elemanlar Yöntemiyle Belirlenmesi

Daha önce malzeme ve kesit özellikleri verilen, düşük dayanımlı ve geleneksel betonlarla üretilen dolgu duvarsız ve tuğla dolgu duvarlı çerçevelerin sonlu elemanlar

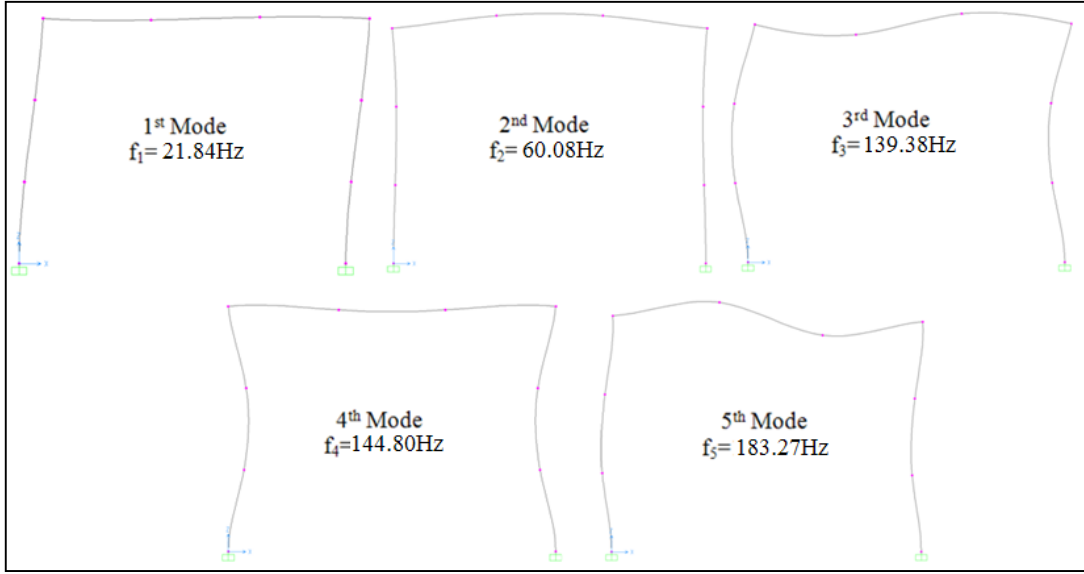
yöntemiyle elde edilen ilk beş mod ve doğal frekansları sırasıyla Şekil 3.52, 3.53, 3.54 ve 3.55’de verilmektedir.



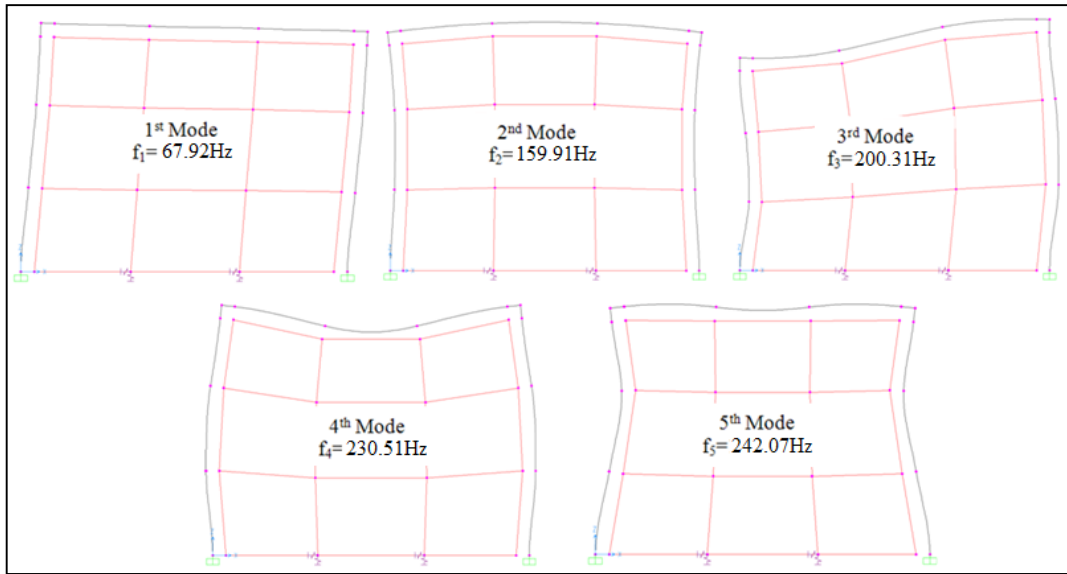
Şekil 3.52. Düşük dayanımlı dolgu duvarsız çerçevenin sonlu elemanlar yöntemiyle elde edilen şematik ilk beş modu ve doğal frekansları



Şekil 3.53. Düşük dayanımlı tuğla dolgu duvarlı çerçevenin sonlu elemanlar yöntemiyle elde edilen şematik ilk beş modu ve doğal frekansları



Şekil 3.54. Geleneksel betonlu dolgu duvarsız çerçevenin sonlu elemanlar yöntemiyle elde edilen şematik ilk beş modu ve doğal frekansları

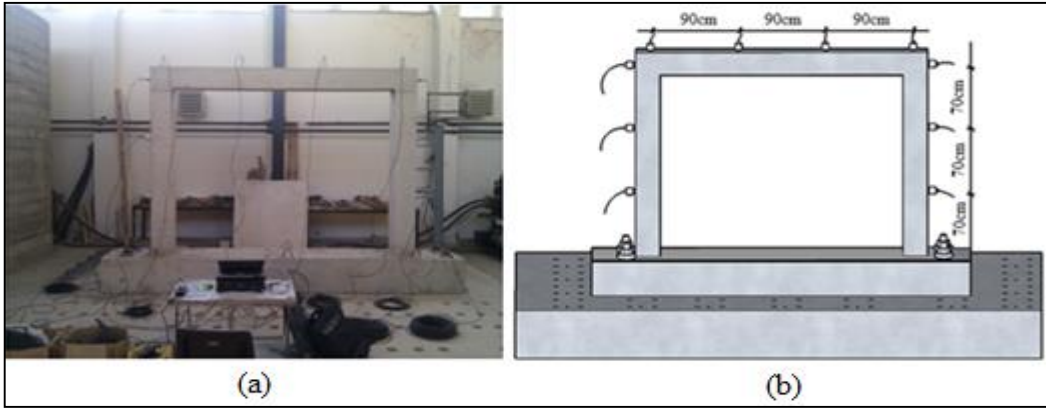


Şekil 3.55. Geleneksel betonlu tuğla dolgu duvarlı çerçevenin sonlu elemanlar yöntemiyle elde edilen şematik ilk beş modu ve doğal frekansları

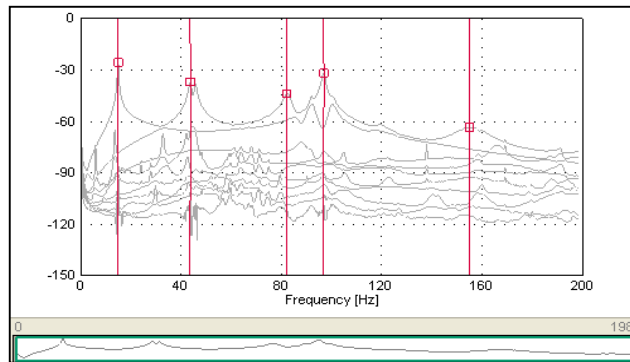
3.2.2. Deney Çerçevelerinin Dinamik Özelliklerinin Çevresel Titreşimler Altında Modal Çözümleme Yöntemiyle Belirlenmesi

3.2.2.1. Düşük Dayanımlı Dolgu Duvarsız ve Tuğla Dolgu Duvarlı Çerçevelerden Alınan Ölçümler

Daha önce de belirtilmeye çalışıldığı gibi deneylerde kullanılan çevresel titreşimlerin büyüklüğü ve zamanla değişimleri bilinmediğinden, elde edilen bulguların güvenilir olabilmesi için ölçümler 15 dakika boyunca kaydedilmiştir. Düşük dayanımlı betonla üretilen dolgu duvarsız çerçevenin deney anından bir görünüm ve bu çerçeve üzerinde ivmeölçerlerin konumu aşağıdaki Şekil 3.56'da verilmektedir. Düşük dayanımlı dolgu duvarsız çerçevenin ölçümlerden elde edilen spektral yoğunluk fonksiyonu Şekil 3.57'de ve kararlılık fonksiyonu ise 3.58'de verilmektedir.

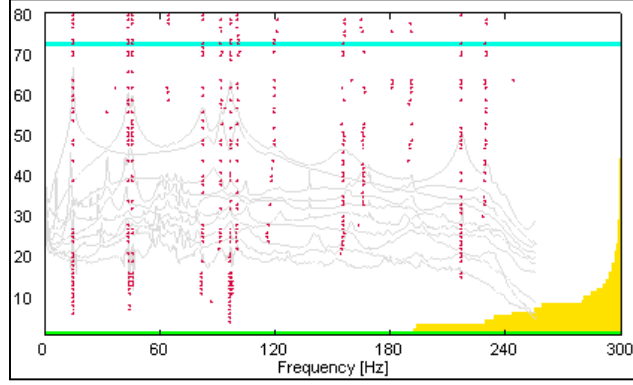


Şekil 3.56. (a) Düşük dayanımlı betonla üretilen dolgu duvarsız çerçevenin dinamik özelliklerinin belirlenmesine ilişkin deney anından bir görünüm ve (b) bu çerçeve üzerinde ivmeölçerlerin konumu



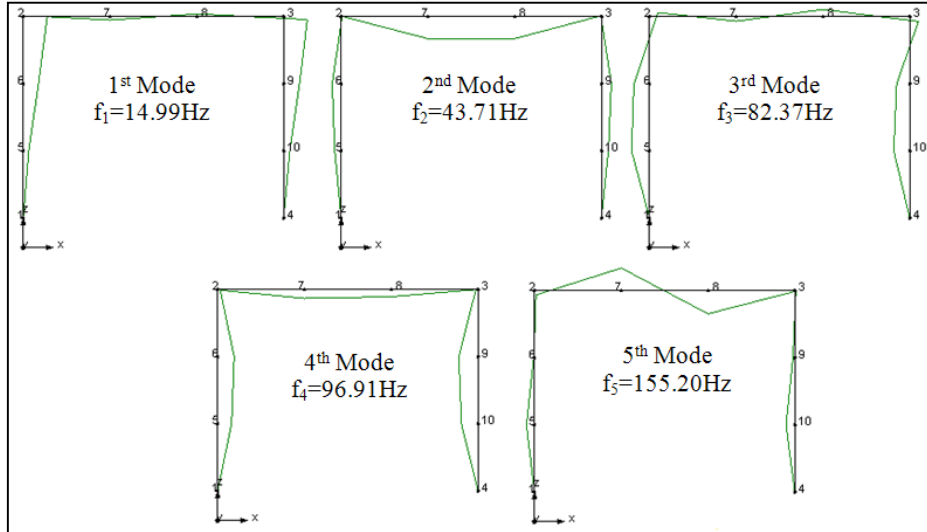
Şekil 3.57. Düşük dayanımlı dolgu duvarsız çerçevenin spektral yoğunluk fonksiyonu

Şekilde görülen titreşim rezonanslarının maksimum değerlerinin her biri doğal frekansları göstermektedir. Yoğunluk ve kararlılık fonksiyonlarının beraber değerlendirilmesiyle 14-156Hz frekans aralığında 5 adet doğal frekans ve sönüm oranı elde edildiği görülmektedir.



Şekil 3.58. Düşük dayanımlı dolgu duvarsız çerçevenin kararlılık fonksiyonu

Düşük dayanımlı dolgu duvarsız çerçeve ölçümlerinden elde edilen mod şekilleri ile bunlara karşılık gelen doğal frekans ve sönüm oranları Şekil 3.59 ve Çizelge 3.1'de verilmektedir.

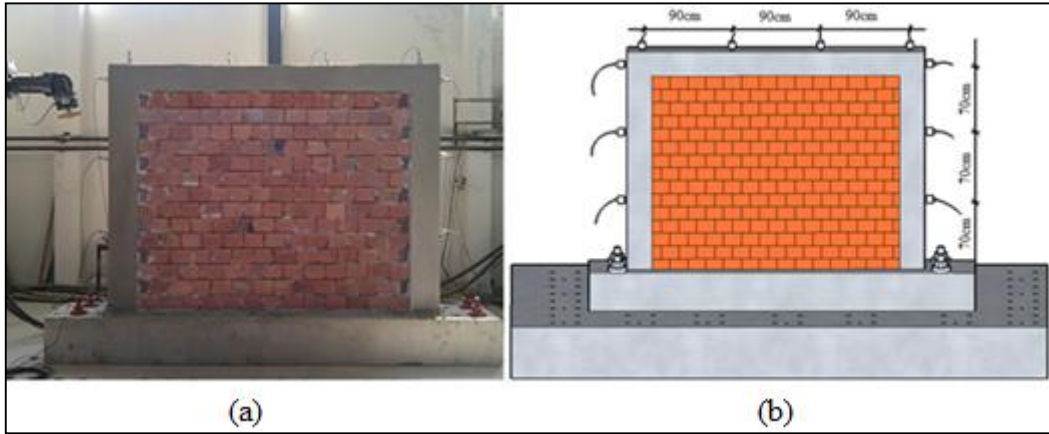


Şekil 3.59. Düşük dayanımlı dolgu duvarsız çerçevenin deneysel modal çözümlerinden elde edilen mod şekilleri

Çizelge 3.1. Düşük dayanımlı dolgu duvarsız çerçevenin doğal frekans ve sönüm oranları

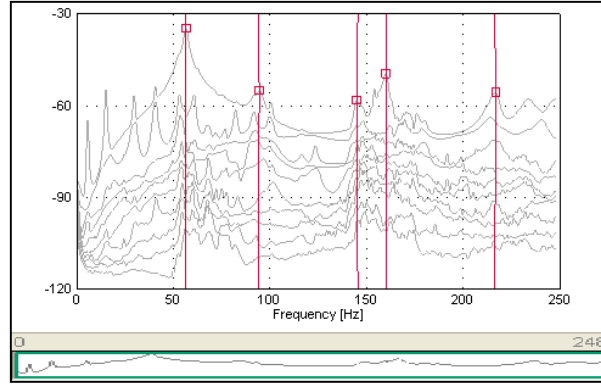
Modlar	Doğal Frekanslar (Hz)	Modal Sönüm Oranları %
1	14.99	1.088
2	43.71	1.280
3	82.37	1.492
4	96.91	0.700
5	155.20	2.911

Dolgu duvarların, çerçevelerin dinamik özellikleri üzerindeki etkisini belirlemek için, tuğla dolgu duvarlı düşük dayanımlı bir çerçeve üzerinde de çevresel titreşimler altında deneysel modal çözümleri gerçekleştirilmiştir. Bu çözümler için ölçümler dolgu duvarsız çerçeve ölçümlerinin yapıldığı noktalardan alınmıştır. Bu deneyden bir görünüm ve ivmeölçerlerin konumu Şekil 3.60'da verilmektedir.

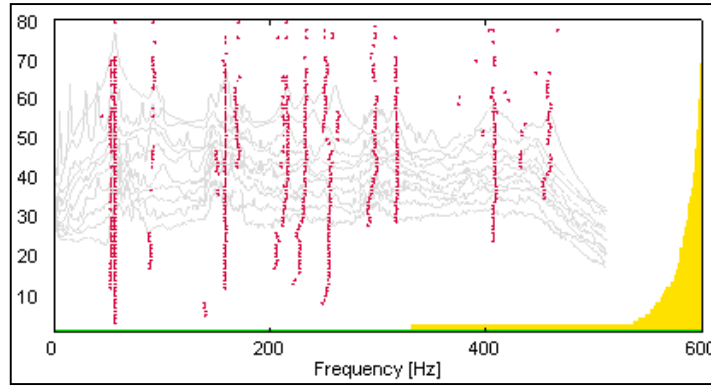


Şekil 3.60. (a) Düşük dayanımlı tuğla dolgu duvarlı çerçevenin dinamik özelliklerinin belirlenmesine ilişkin deney anından bir görünüm ve (b) bu çerçeve üzerinde ivmeölçerlerin konumları

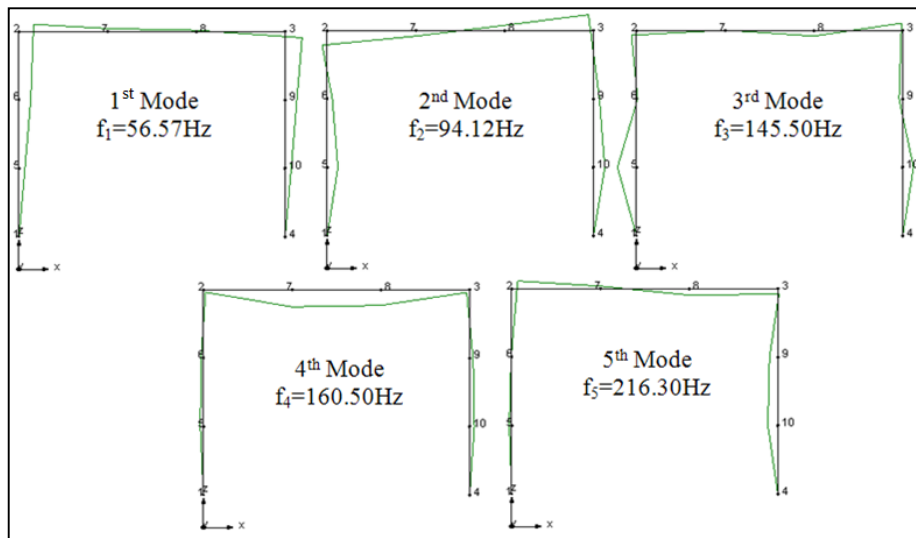
Düşük dayanımlı betonla üretilen tuğla dolgu duvarlı çerçevenin ölçümlerden elde edilen spektral yoğunluk fonksiyonu Şekil 3.61'de, kararlılık fonksiyonu ise 3.62'de verilmektedir. Spektral yoğunluk fonksiyonunda görülen titreşim rezonanslarının maksimum değerlerinin her biri doğal frekansları göstermektedir. Aşağıdaki Şekil 3.61'den de görüldüğü gibi, 56-217Hz frekans aralığında 5 adet doğal frekans ve sönüm oranı elde edildiği görülmektedir. Bu çerçeveye ilişkin ilk beş mod ve bunlara karşılık gelen doğal frekanslar ile sönüm oranları sırasıyla Şekil 3.63 ve Çizelge 3.2'de verilmektedir.



Şekil 3.61. Düşük dayanımlı tuğla dolgu duvarlı çerçevenin spektral yoğunluk fonksiyonu



Şekil 3.62. Düşük dayanımlı tuğla dolgu duvarlı çerçevenin kararlılık fonksiyonu



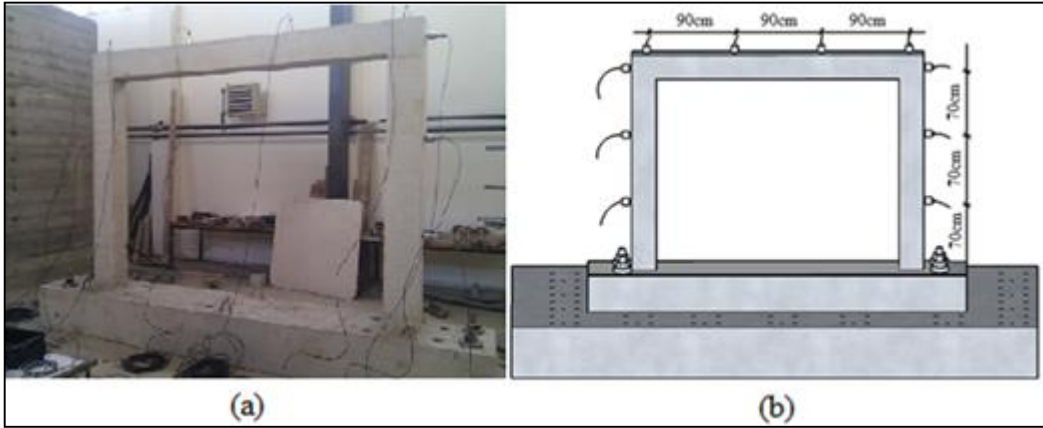
Şekil 3.63. Düşük dayanımlı tuğla dolgu duvarlı çerçevenin deneysel modal çözümlerinden elde edilen mod şekilleri

Çizelge 3.2. Düşük dayanımlı tuğla dolgu duvarlı çerçevenin doğal frekans ve sönüm oranları

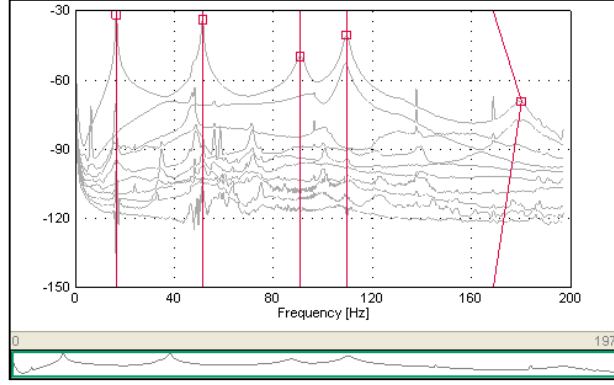
Modlar	Doğal Frekanslar (Hz)	Modal Sönüm Oranları %
1	56.57	2.197
2	94.12	2.084
3	145.50	0.943
4	160.50	0.820
5	216.30	0.913

3.2.2.2. Geleneksel Betonlu Dolgu Duvarsız ve Tuğla Dolgu Duvarlı Çerçevelerden Alınan Ölçümler

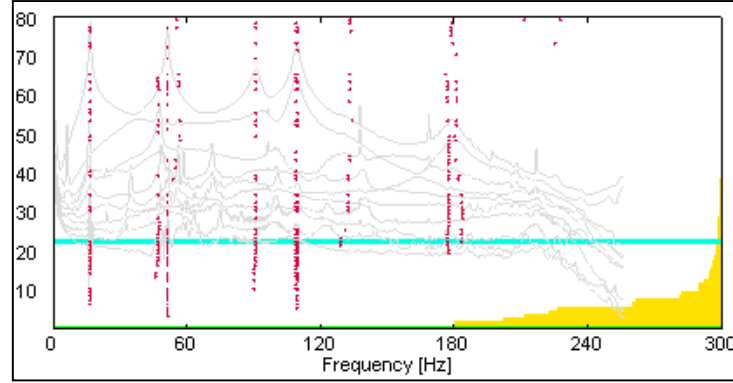
Geleneksel betonla üretilen dolgu duvarsız ve tuğla dolgu duvarlı çerçevelerin ölçümlerinde kullanılan sistem, ivmeölçerlerin sayısı ve konumları gibi bütün parametreler düşük dayanımlı betonla üretilmiş çerçevelerle karşılaştırma yapabilmek amacıyla aynı tutulmuştur. Dolgu duvarsız çerçevenin deney anından bir görünüm ve bu çerçeve üzerinde ivmeölçerlerin konumu aşağıdaki Şekil 3.64’de verilmektedir. Geleneksel betonlu dolgu duvarsız çerçevenin ölçümlerden elde edilen spektral yoğunluk fonksiyonu Şekil 3.65’de ve kararlılık fonksiyonu ise Şekil 3.66’de verilmektedir.



Şekil 3.64. (a) Geleneksel betonla üretilen dolgu duvarsız çerçevenin dinamik özelliklerinin belirlenmesine ilişkin deney anından bir görünüm ve (b) bu çerçeve üzerinde ivmeölçerlerin konumu

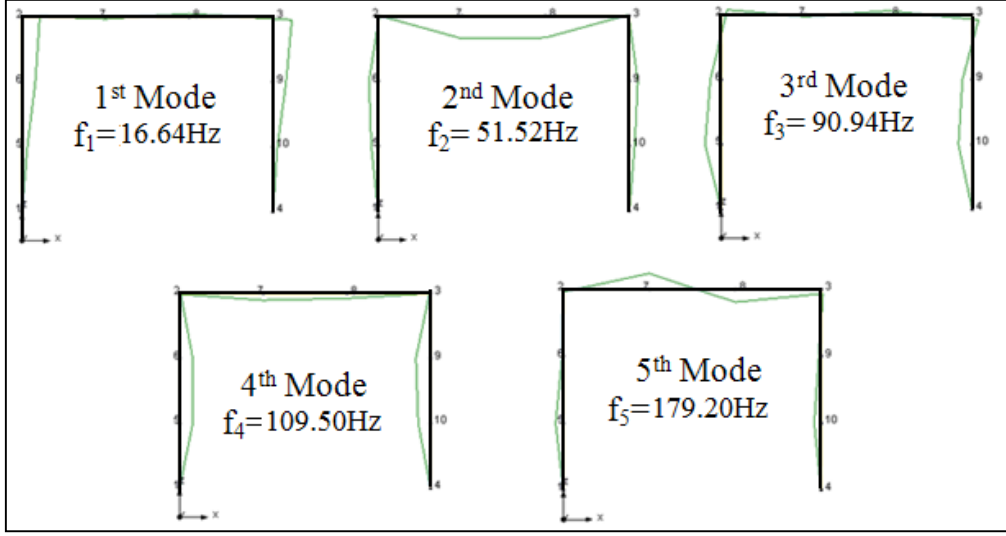


Şekil 3.65. Geleneksel betonlu dolgu duvarsız çerçevenin spektral yoğunluk fonksiyonu



Şekil 3.66. Geleneksel betonlu dolgu duvarsız çerçevenin kararlılık fonksiyonu

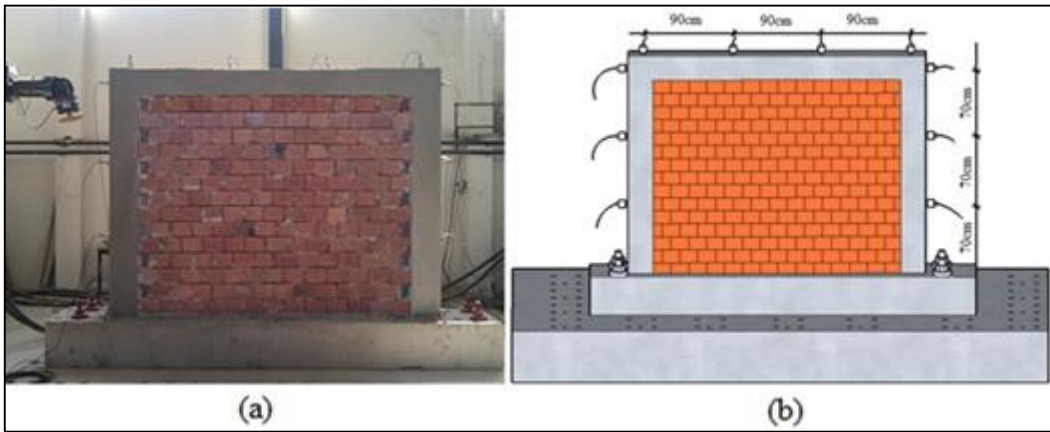
Yoğunluk ve kararlılık fonksiyonlarının beraber değerlendirilmesiyle 16-179Hz frekans aralığında 5 adet doğal frekans ve sönüm oranı elde edildiği görülmektedir. Geleneksel betonlu dolgu duvarsız çerçeve ölçümlerinden elde edilen mod şekilleri ile bunlara karşılık gelen doğal frekans ve sönüm oranları Şekil 3.67 ve Çizelge 3.3'de verilmektedir. Tuğla dolgu duvarlı geleneksel betonlu çerçevenin üretiminde de aynı özellikte tuğla ve harç kullanılmıştır. Geleneksel betonla üretilen tuğla dolgu duvarlı çerçeve üzerinde yapılan deneyden bir görünüm ve ivmeölçerlerin konumu Şekil 3.68'de verilmektedir.



Şekil 3.67. Geleneksel betonlu dolgu duvarsız çerçevenin deneysel modal çözümlerinden elde edilen mod şekilleri

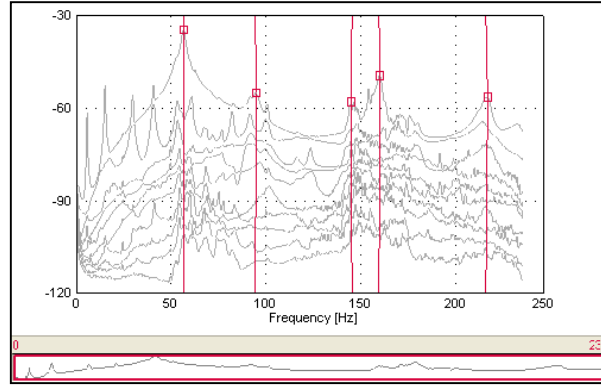
Çizelge 3.3. Geleneksel betonlu dolgu duvarsız çerçevenin doğal frekans ve sönüm oranları

Modlar	Doğal Frekanslar (Hz)	Modal Sönüm Oranları %
1	16.64	1.093
2	51.52	0.612
3	90.94	1.936
4	109.50	0.911
5	179.20	2.190

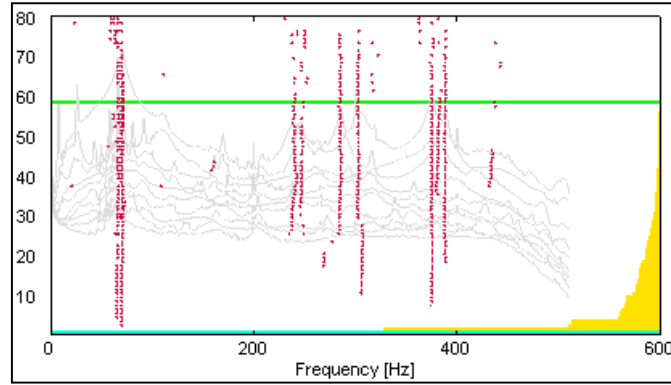


Şekil 3.68. (a) Geleneksel betonlu tuğla dolgu duvarlı çerçevenin dinamik özelliklerinin belirlenmesine ilişkin deney anından bir görünüm ve (b) bu çerçeve üzerinde ivmeölçerlerin konumları

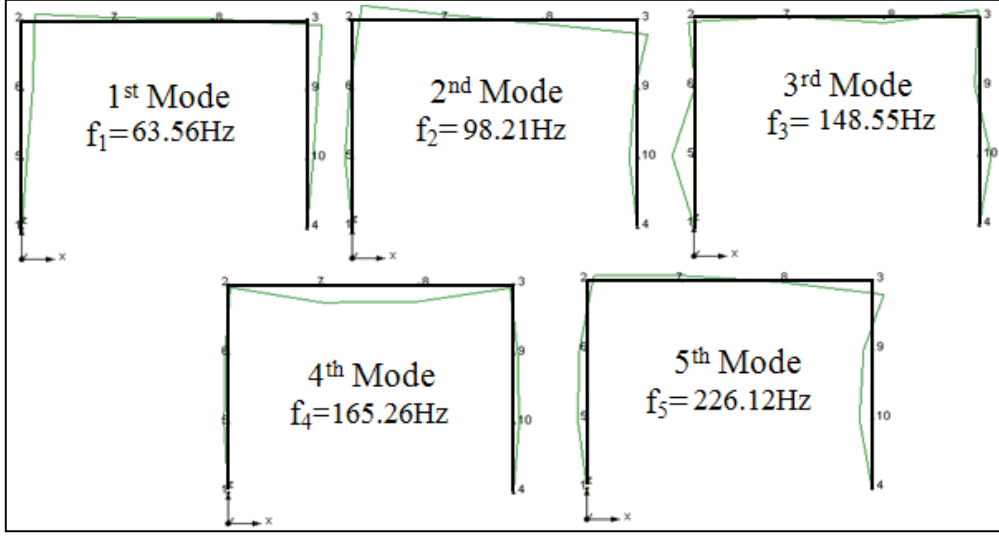
Geleneksel betonlu tuğla dolgu duvarlı çerçevenin ölçümlerden elde edilen spektral yoğunluk fonksiyonu Şekil 3.69, kararlılık fonksiyonu ise 3.70’de verilmektedir. Spektral yoğunluk fonksiyonunda görülen titreşim rezonanslarının maksimum değerlerinin her biri doğal frekansları göstermektedir. Aşağıdaki Şekil 3.69’den de görüldüğü gibi, 63-226Hz frekans aralığında 5 adet doğal frekans ve sönüm oranı elde edildiği görülmektedir. Bu çerçeveye ilişkin ilk beş mod ve bunlara karşılık gelen doğal frekanslar ile sönüm oranları sırasıyla Şekil 3.71 ve Çizelge 3.4’de verilmiştir.



Şekil 3.69. Geleneksel betonlu tuğla dolgu duvarlı çerçevenin spektral yoğunluk fonksiyonu



Şekil 3.70. Geleneksel betonlu tuğla dolgu duvarlı çerçevenin kararlılık fonksiyonu



Şekil 3.71. Geleneksel betonlu tuğla dolgu duvarlı çerçevenin deneysel modal çözümlerinden elde edilen mod şekilleri

Çizelge 3.4. Geleneksel betonlu tuğla dolgu duvarlı çerçevenin doğal frekans ve sönüm oranları

Modlar	Doğal Frekanslar (Hz)	Modal Sönüm Oranları %
1	63.56	1.822
2	98.21	1.613
3	148.55	0.826
4	165.26	0.786
5	226.12	0.812

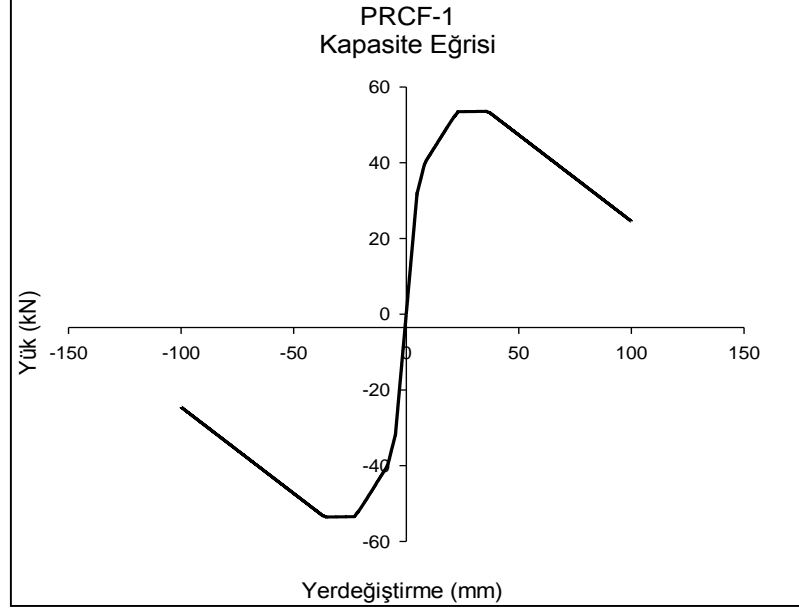
Düşük dayanımlı ve geleneksel betonla üretilen dolgu duvarsız ve tuğla dolgu duvarlı çerçeveler üzerinde çevresel titreşimler altında gerçekleştirilen deneysel modal çözümleme ölçümleri, dolgu duvarların çerçevelerin frekanslarını ve rijitliklerini önemli ölçüde artırdığını göstermiştir. Değişen frekans ve rijitliklere paralel olarak mod şekilleri de değişiklik göstermektedir.

3.3. Deneysel Çerçevelerinin Statik İtme Çözümlerinden Elde Edilen Bulgular

Daha önce de bahsedildiği gibi, çerçevelerin statik itme çözümleri, eşdeğer basınç çubuğu yöntemi kullanılarak, SAP2000 programıyla gerçekleştirilmiştir. Bu çözümlelerde tekdüze yüklemeler altında çerçevelerin oluşan tepe yerdeğiştirmeleri göçme sınır duruma kadar belirlenmek suretiyle kapasite eğrileri elde edilmiştir.

3.3.1. Düşük Dayanımlı Betonla Üretilen Dolgu Duvarsız Çerçevenin Statik İtme Çözümlemesinden Elde Edilen Bulgular

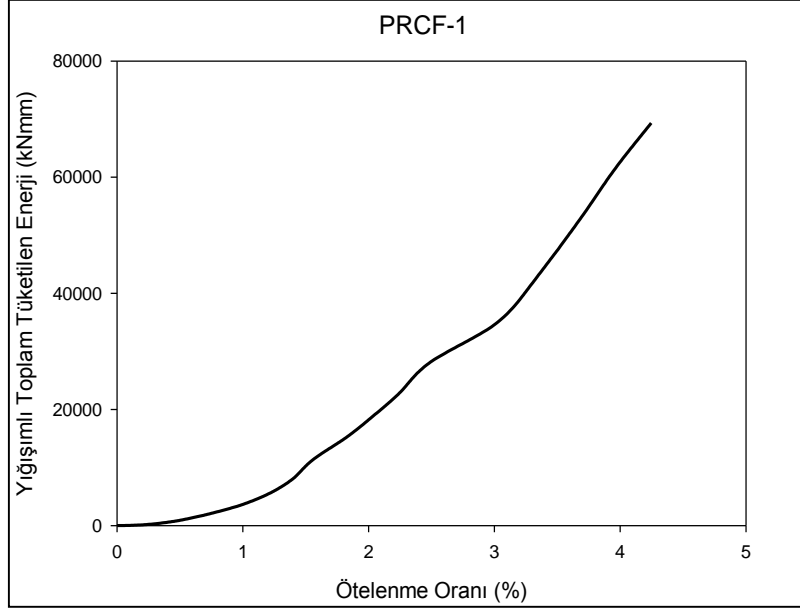
Düşük dayanımlı betonla üretilen dolgu duvarsız PRCF-1 çerçevesinin, statik itme çözümüyle, eşdeğer basınç çubuğu yaklaşımı kullanılarak (Bkz. Madde 2.1.2.2) elde edilen kapasite eğrisi Şekil 3.72'de verilmektedir.



Şekil 3.72. PRCF-1 çerçevesinin statik itme çözümlemesinden elde edilen kapasite eğrisi

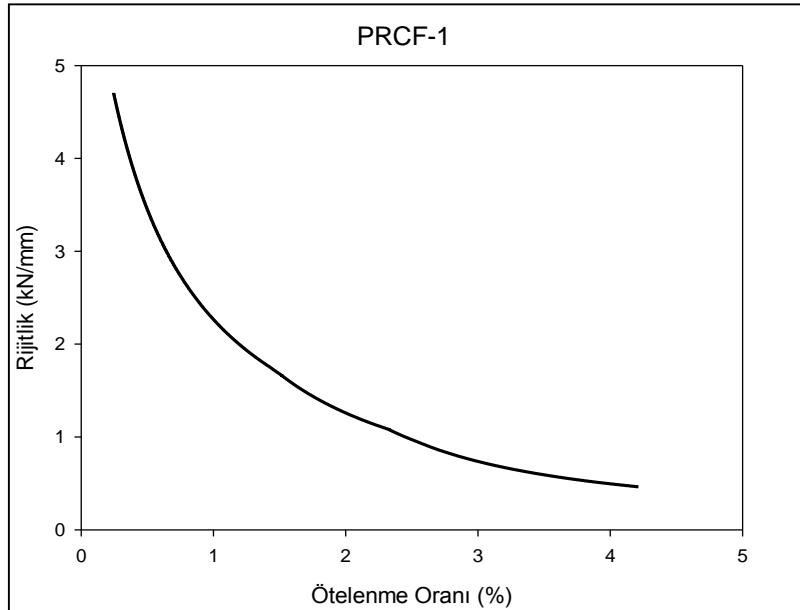
Yükün çekme yönünde etkimesi durumunu için kapasite eğrisi itme yönündekine eşit olarak dikkate alınmıştır. Şekil 3.72'den de görüldüğü gibi, yükün maksimum değeri 53.565 kN olarak belirlenmiştir. Burada, PRCF-1 çerçevesinin yaklaşık 41 kN'luk yatay yük altında bağlı ötelenme oranının %3.5 olduğu belirtilmelidir.

Çerçevenin tükettiği toplam enerji, her adımda yük-yerdeğiştirme eğrisinin altında kalan alanların yığılımlı toplanmasıyla elde edilmektedir. Aşağıdaki Şekil 3.73'de PRCF-1 çerçevesinin statik itme çözümüyle elde edilen, yığılımlı toplam tüketilen enerji ve buna karşılık gelen ötelenme oranları verilmektedir. Çözümleme sonunda elde edilen yığılımlı toplam tüketilen enerji miktarı 69331 kNmm olarak belirlenmiştir.



Şekil 3.73. PRCF-1 çerçevesinin statik itme çözümlemesinden elde edilen yığılımlı olarak tüketilen toplam enerji eğrisi

Statik itme çözümlerinde artımsal yatay yükler altında çevrenin rijitliği azalmaktadır. Aşağıdaki Şekil 3.74'de PRCF-1 çerçevesinin rijitliğinin ötelenme oranıyla ($\theta=\delta/h$) değişim eğrisi verilmektedir. Şekilden de görüldüğü gibi çerçevenin başlangıç rijitliği 4.213 kN/mm'dir.

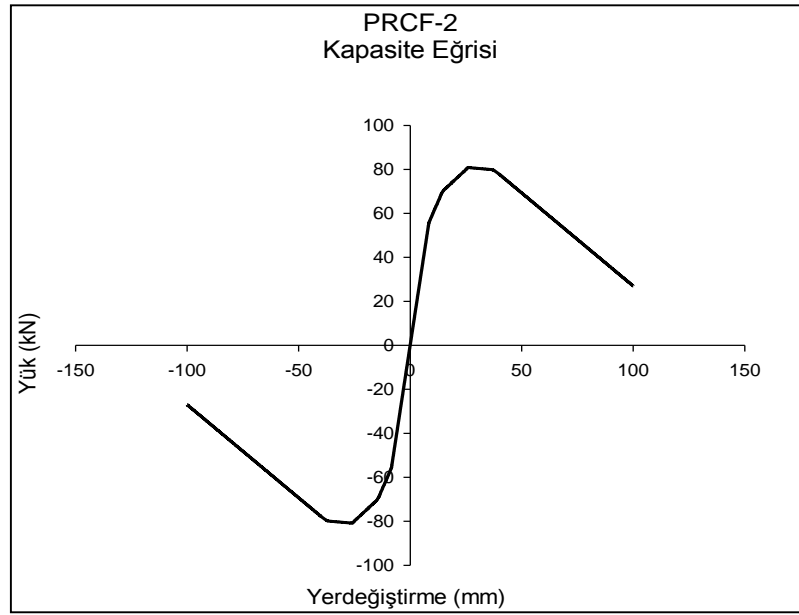


Şekil 3.74. PRCF-1 çerçevesinin statik itme çözümüyle elde edilen rijitlik azalım eğrisi

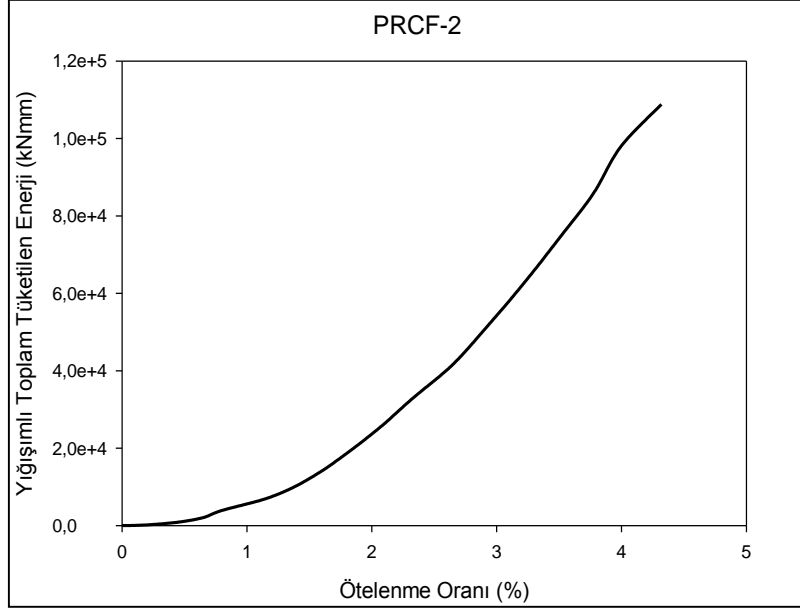
3.3.2. Geleneksel Betonla Üretilen Dolgu Duvarsız Çerçevesinin Statik İtme Çözümlemesinden Elde Edilen Bulgular

Geleneksel betonla üretilen dolgu duvarsız PRCF-2 çerçevesinin, statik itme çözümüyle, eşdeğer basınç çubuğu yaklaşımı kullanılarak elde edilen kapasite eğrisi Şekil 3.75'de verilmektedir. Şekilden de görüldüğü gibi, yükün maksimum değeri 80.842 kN olarak belirlenmiştir. Burada, PRCF-2 çerçevesinin yaklaşık 49 kN'luk yatay yük altında bağıl ötelenme oranının %3.5 olduğu belirtilmelidir.

Aşağıdaki Şekil 3.76'da PRCF-2 çerçevesinin statik itme çözümüyle elde edilen, yığışimli toplam tüketilen enerji ve buna karşılık gelen ötelenme oranları verilmektedir. Çözümleme sonunda elde edilen yığışimli toplam tüketilen enerji miktarı 108795 kNmm olarak belirlenmiştir.

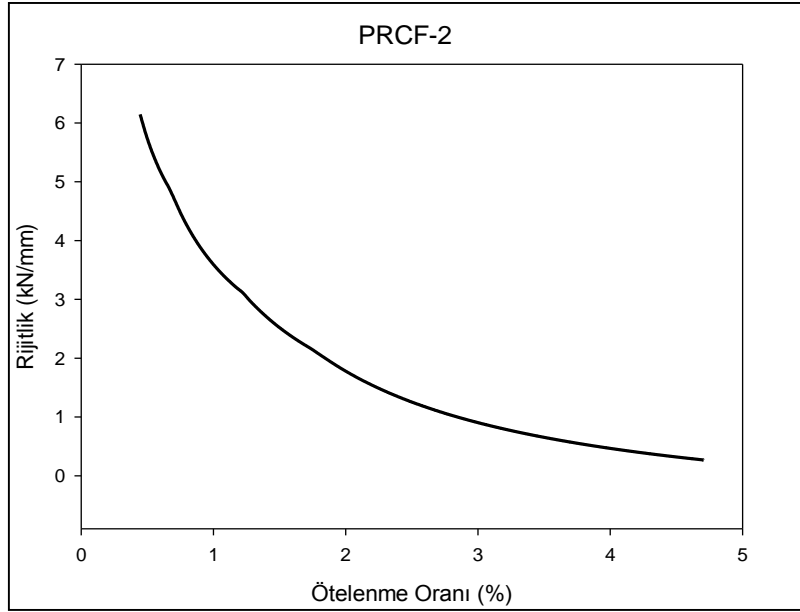


Şekil 3.75. PRCF-2 çerçevesinin statik itme çözümüyle elde edilen kapasite eğrisi



Şekil 3.76. PRCF-2 çerçevesinin statik itme çözümlenmesinden elde edilen yığılımlı olarak tüketilen toplam enerji eğrisi

Aşağıdaki Şekil 3.77'de PRCF-2 çerçevesinin rijitliğinin ötelenme oranıyla ($\theta=\delta/h$) değişim eğrisi verilmektedir. Şekilden de görüldüğü gibi çerçevenin başlangıç rijitliği 6.148 kN/mm'dir.

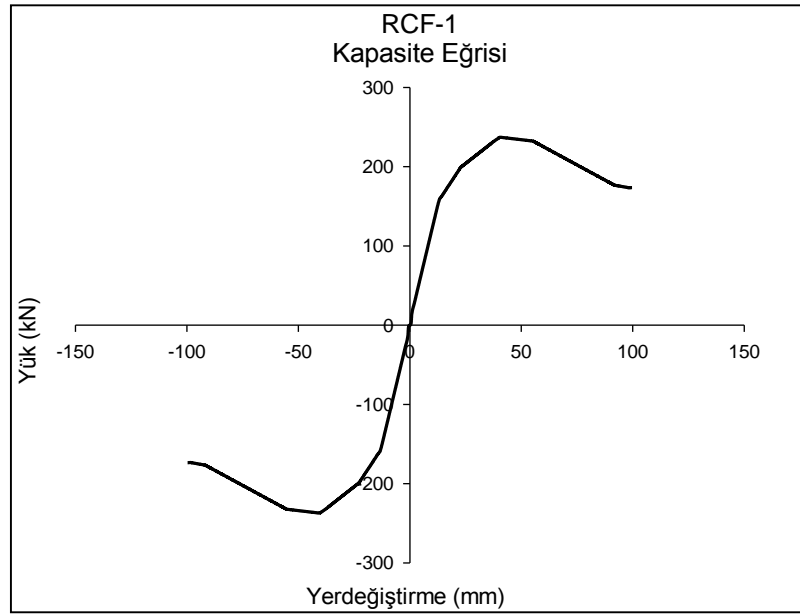


Şekil 3.77. PRCF-2 çerçevesinin statik itme çözümlenmesiyle elde edilen rijitlik azalım eğrisi

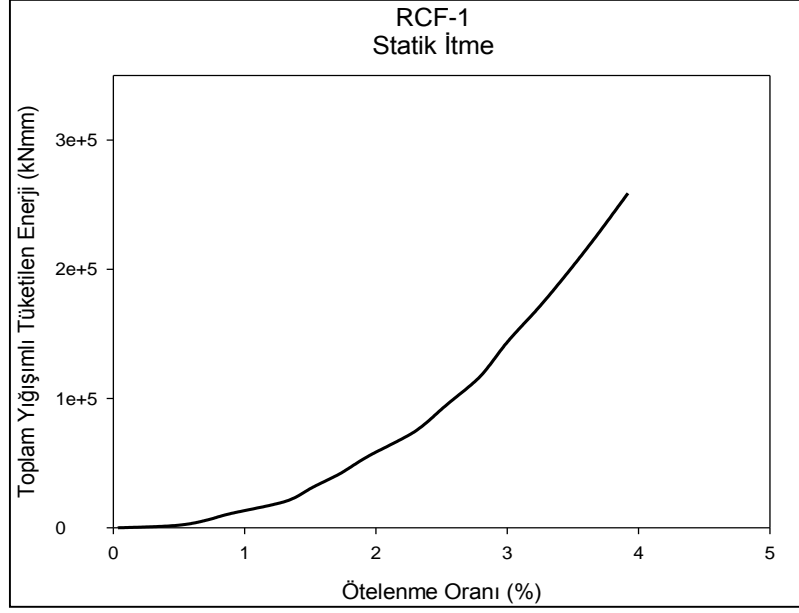
3.3.3. Düşük Dayanımlı Betonla Üretilen Tuğla Dolgu Duvarlı Çerçevesinin Statik İtme Çözümlemesinden Elde Edilen Bulgular

Düşük dayanımlı betonla üretilen tuğla dolgu duvarlı RCF-1 çerçevesinin, statik itme çözümüyle, eşdeğer basınç çubuğu yaklaşımı kullanılarak elde edilen kapasite eğrisi Şekil 3.78'de verilmektedir. Şekilden de görüldüğü gibi, yükün maksimum değeri 237.106 kN olarak belirlenmiştir. Burada, RCF-1 çerçevesinin yaklaşık 200 kN'luk yatay yük altında bağıl ötelenme oranının %3.5 olduğu belirtilmelidir.

Aşağıdaki Şekil 3.79'da RCF-1 çerçevesine ilişkin statik itme çözümüyle elde edilen, yığışimli toplam tüketilen enerji ve buna karşılık gelen ötelenme oranları verilmektedir. Çözümleme sonunda elde edilen yığışimli toplam tüketilen enerji miktarı 258793 kNmm olarak belirlenmiştir.

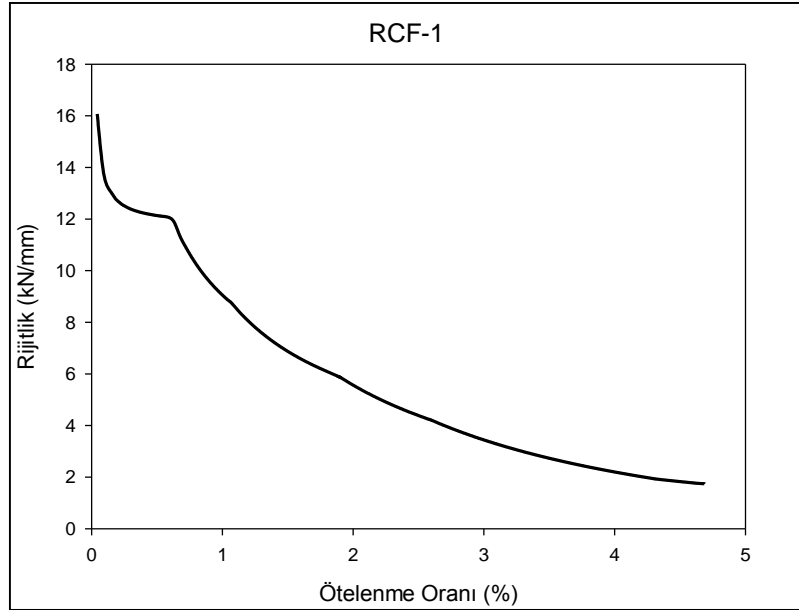


Şekil 3.78. RCF-1 çerçevesinin statik itme çözümlemesinden elde edilen kapasite eğrisi



Şekil 3.79. RCF-1 çerçevesinin statik itme çözümlemesinden elde edilen yığışımli olarak tüketilen toplam enerji eğrisi

Aşağıdaki Şekil 3.80'de RCF-1 çerçevesinin rijitliğinin ötelenme oranıyla ($\theta = \delta/h$) değişim eğrisi verilmektedir. Şekilden de görüldüğü gibi çerçevenin başlangıç rijitliği 16.073 kN/mm'dir.

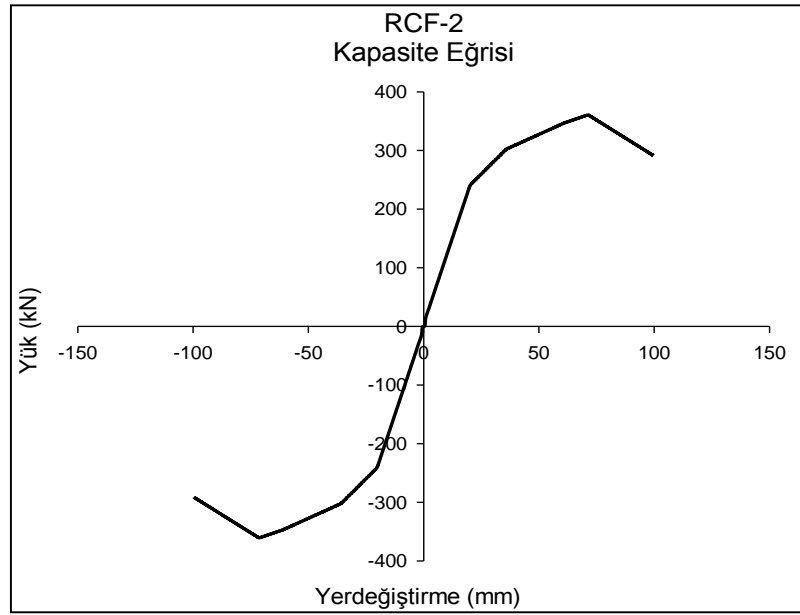


Şekil 3.80. RCF-1 çerçevesinin statik itme çözümlemesiyle elde edilen rijitlik azalım eğrisi

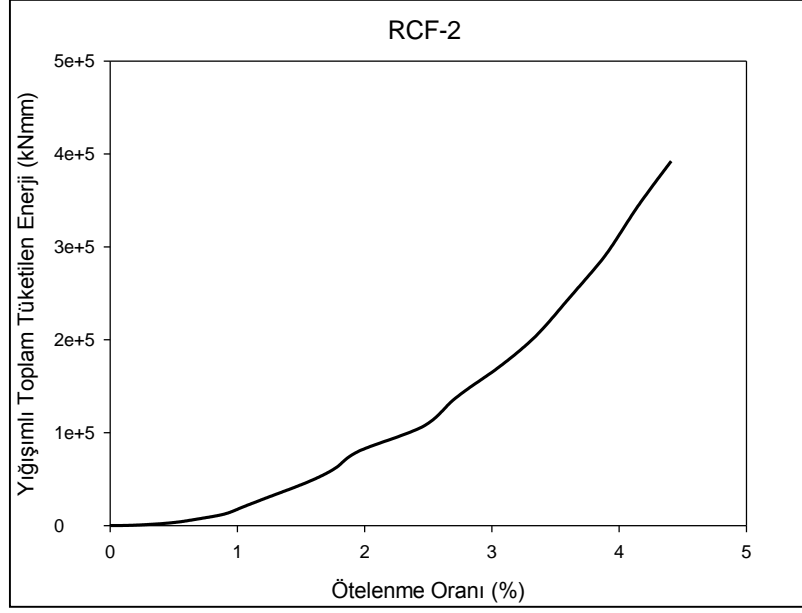
3.3.4. Düşük Dayanımlı Betonla Üretilen Tuğla Dolgu Duvarlı Deprem Kumaşlı Çerçevenin Statik İtme Çözümlemesinden Elde Edilen Bulgular

Düşük dayanımlı betonla üretilen tuğla dolgu duvarlı ve deprem kumaşlı RCF-2 çerçevesinin, statik itme çözümüyle, eşdeğer basınç çubuğu yaklaşımı kullanılarak elde edilen kapasite eğrisi Şekil 3.81'de verilmektedir. Şekilden de görüldüğü gibi, yükün maksimum değeri 360.446 kN olarak belirlenmiştir. Burada, RCF-2 çerçevesinin yaklaşık 340 kN'luk yatay yük altında bağıl ötelenme oranının %3.5 olduğu belirtilmelidir.

Aşağıdaki Şekil 3.82'de RCF-2 çerçevesine ilişkin statik itme çözümüyle elde edilen, yığışimli toplam tüketilen enerji ve buna karşılık gelen ötelenme oranları verilmektedir. Çözümleme sonunda elde edilen yığışimli toplam tüketilen enerji miktarı 392298 kNmm olarak belirlenmiştir.

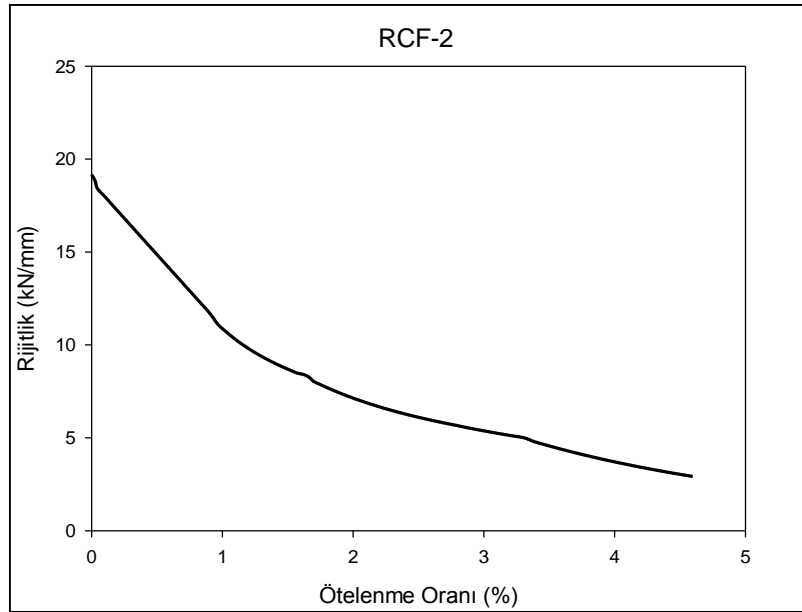


Şekil 3.81. RCF-2 çerçevesinin statik itme çözümlemesinden elde edilen kapasite eğrisi



Şekil 3.82. RCF-2 çerçevesinin statik itme çözümlemesinden elde edilen yığılımlı olarak tüketilen toplam enerji eğrisi

Aşağıdaki Şekil 3.83'de RCF-2 çerçevesinin rijitliğinin ötelenme oranıyla ($\theta=\delta/h$) değişim eğrisi verilmektedir. Şekilden de görüldüğü gibi çerçevenin başlangıç rijitliği 19.165 kN/mm'dir.

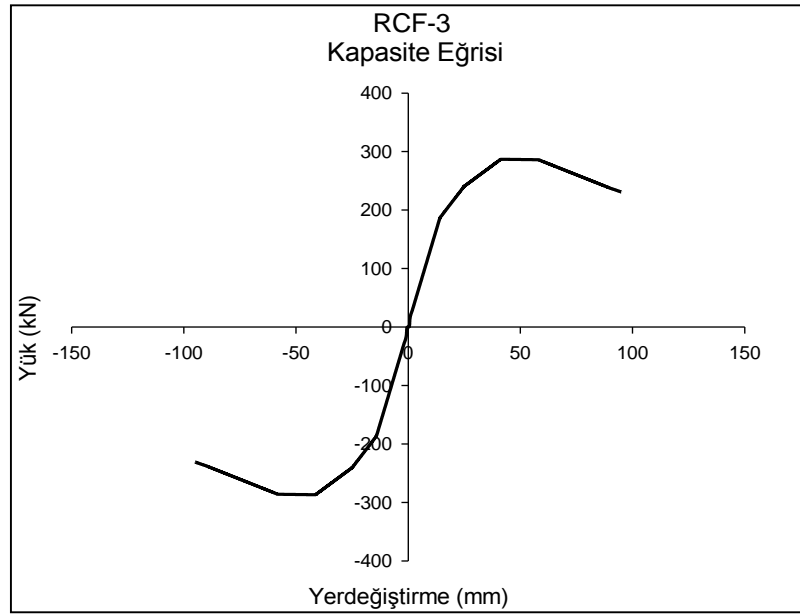


Şekil 3.83. RCF-2 çerçevesinin statik itme çözümlemesiyle elde edilen rijitlik azalım eğrisi

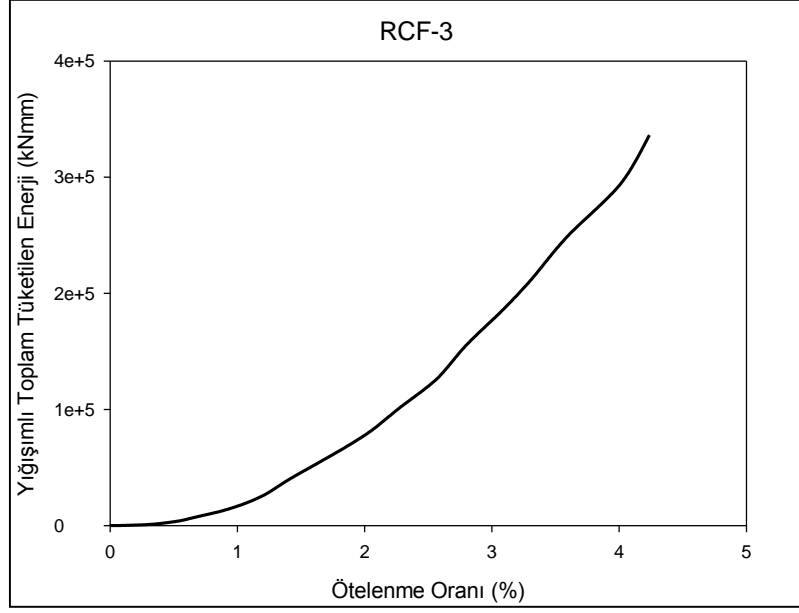
3.3.5. Geleneksel Betonla Üretilen Tuğla Dolgu Duvarlı Çerçevesinin Statik İtme Çözümlemesinden Elde Edilen Bulgular

Düşük dayanımlı betonla üretilen tuğla dolgu duvarlı RCF-3 çerçevesinin, statik itme çözümüyle, eşdeğer basınç çubuğu yaklaşımı kullanılarak elde edilen kapasite eğrisi Şekil 3.84'de verilmektedir. Şekilden de görüldüğü gibi, yükün maksimum değeri 286.813 kN olarak belirlenmiştir. Burada, RCF-2 çerçevesinin yaklaşık 260 kN'luk yatay yük altında bağıl ötelenme oranının %3.5 olduğu belirtilmelidir.

Aşağıdaki Şekil 3.85'de RCF-3 çerçevesine ilişkin statik itme çözümüyle elde edilen, yığışimli toplam tüketilen enerji ve buna karşılık gelen ötelenme oranları verilmektedir. Çözümleme sonunda elde edilen yığışimli toplam tüketilen enerji miktarı 336284 kNmm olarak belirlenmiştir.

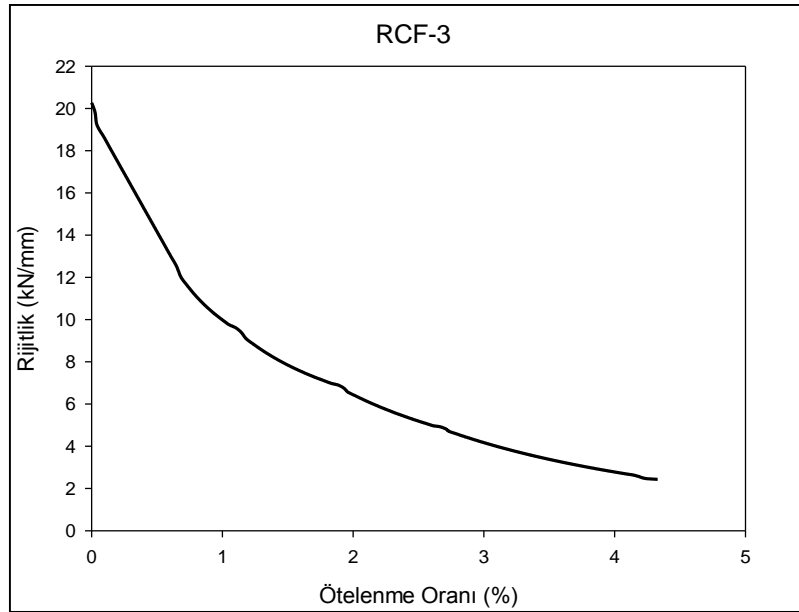


Şekil 3.84. RCF-3 çerçevesinin statik itme çözümüyle elde edilen kapasite eğrisi



Şekil 3.85. RCF-3 çerçevesinin statik itme çözümlemesinden elde edilen yığılımlı olarak tüketilen toplam enerji eğrisi

Aşağıdaki Şekil 3.86'da RCF-3 çerçevesinin rijitliğinin ötelenme oranıyla ($\theta=\delta/h$) değişim eğrisi verilmektedir. Şekilden de görüldüğü gibi çerçevenin başlangıç rijitliği 20.273 kN/mm'dir.

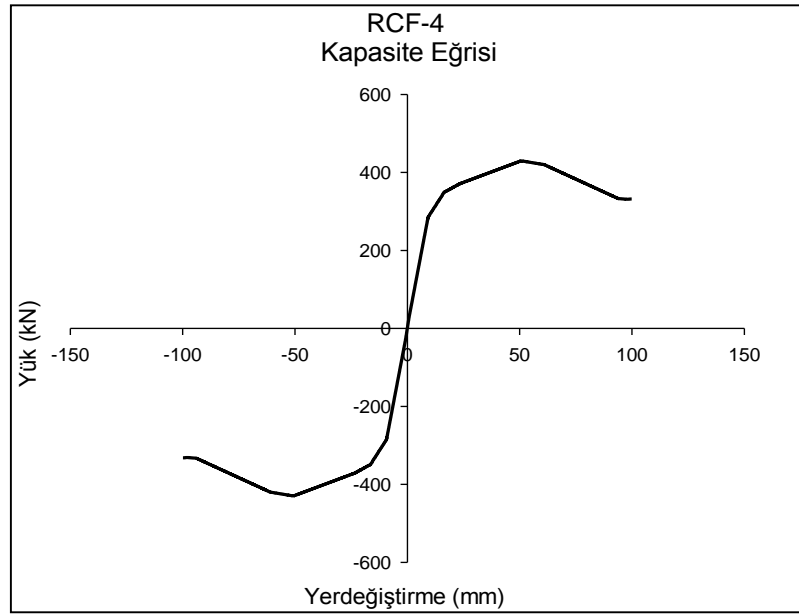


Şekil 3.86. RCF-3 çerçevesinin statik itme çözümlemesiyle elde edilen rijitlik azalım eğrisi

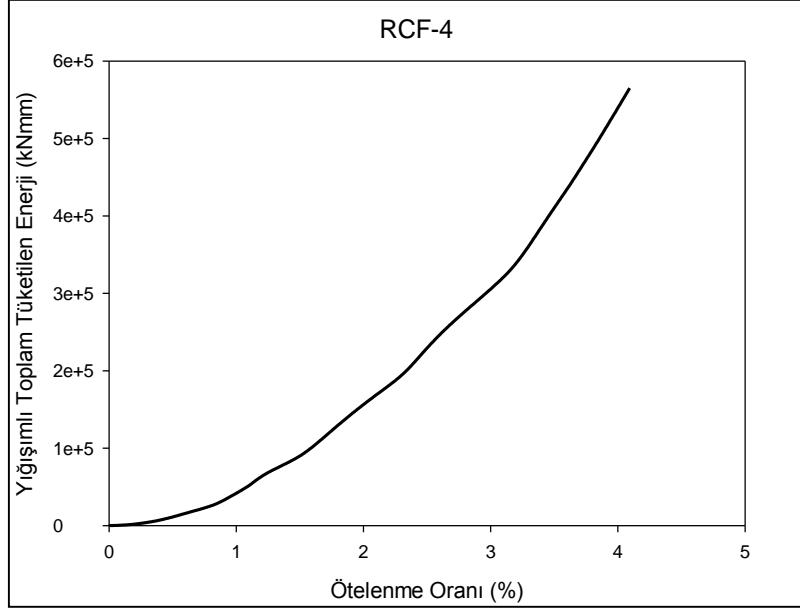
3.3.6. Geleneksel Betonla Üretilen Tuğla Dolgu Duvarlı Deprem Kumaşlı Çerçevenin Statik İtme Çözümlemesinden Elde Edilen Bulgular

Geleneksel betonla üretilen tuğla dolgu duvarlı ve deprem kumaşlı RCF-4 çerçevesinin, statik itme çözümüyle, eşdeğer basınç çubuğu yaklaşımı kullanılarak elde edilen kapasite eğrisi Şekil 3.87'de verilmektedir. Şekilden de görüldüğü gibi, yükün maksimum değeri 429.485 kN olarak belirlenmiştir. Burada, RCF-4 çerçevesinin yaklaşık 380 kN'luk yatay yük altında bağıl ötelenme oranının %3.5 olduğu belirtilmelidir.

Aşağıdaki Şekil 3.88'de RCF-4 çerçevesine ilişkin statik itme çözümüyle elde edilen, yığışimli toplam tüketilen enerji ve buna karşılık gelen ötelenme oranları verilmektedir. Çözümleme sonunda elde edilen yığışimli toplam tüketilen enerji miktarı 564952 kNmm olarak belirlenmiştir.

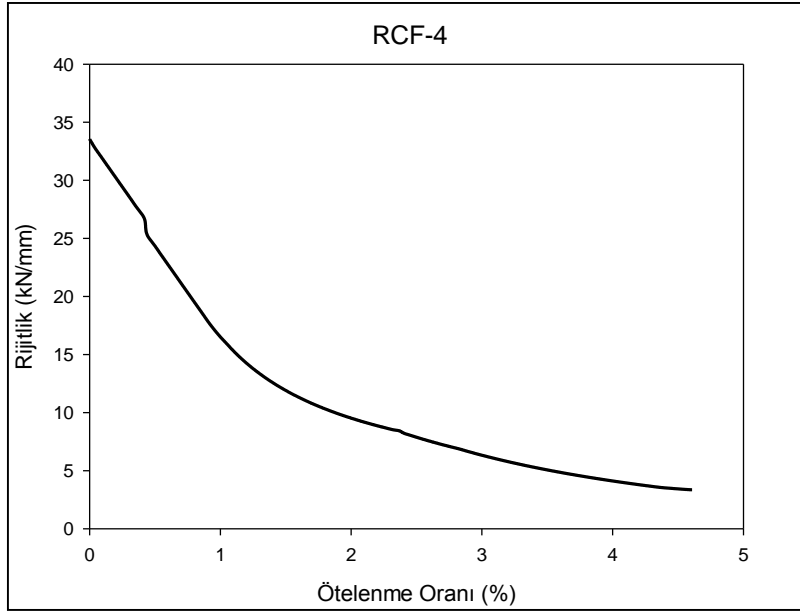


Şekil 3.87. RCF-4 çerçevesinin statik itme çözümüyle elde edilen kapasite eğrisi



Şekil 3.88. RCF-4 çerçevesinin statik itme çözümlemesinden elde edilen yığılımlı olarak tüketilen toplam enerji eğrisi

Aşağıdaki Şekil 3.89'da RCF-4 çerçevesinin rijitliğinin ötelenme oranıyla ($\theta=\delta/h$) değişim eğrisi verilmektedir. Şekilden de görüldüğü gibi çerçevenin başlangıç rijitliği 33.558 kN/mm'dir.

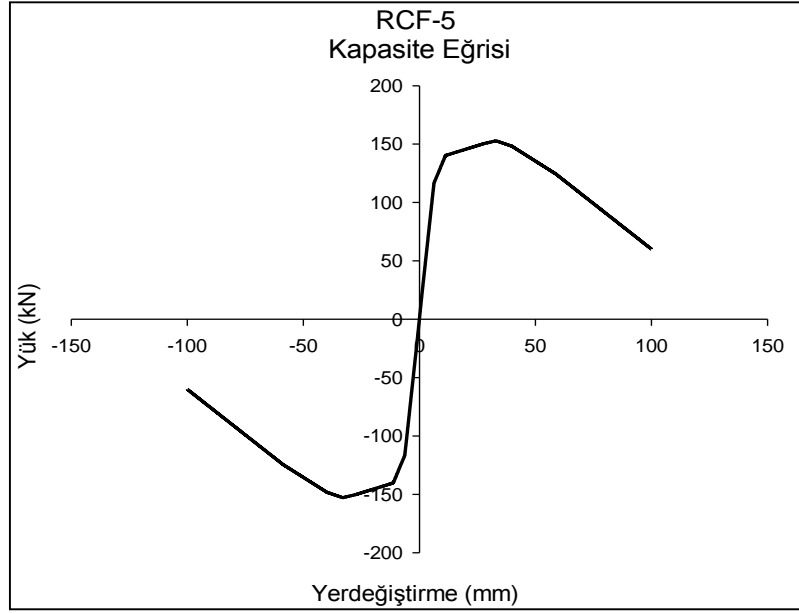


Şekil 3.89. RCF-4 çerçevesinin statik itme çözümlemesiyle elde edilen rijitlik azalım eğrisi

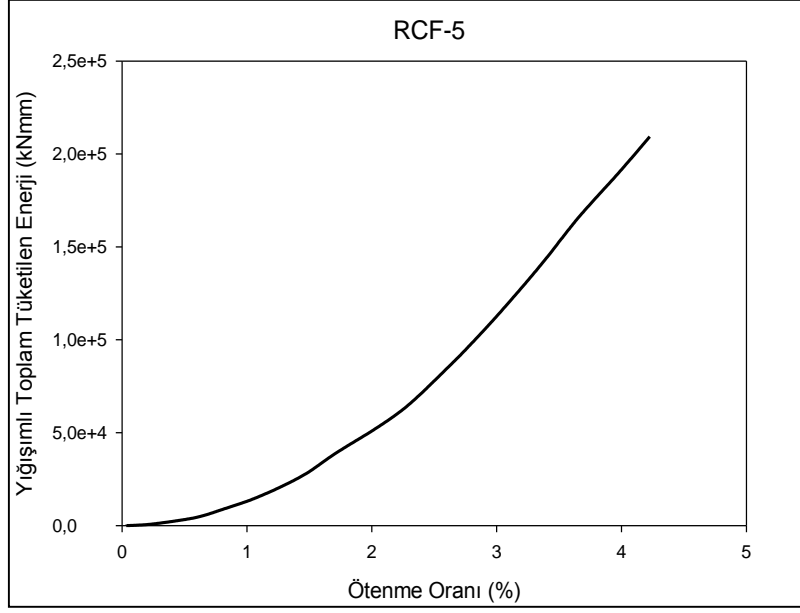
3.3.7. Geleneksel Betonla Üretilen Gaz Beton Dolgu Duvarlı Çerçevesinin Statik İtme Çözümlemesinden Elde Edilen Bulgular

Geleneksel betonla üretilen gaz beton dolgu duvarlı RCF-5 çerçevesinin, statik itme çözümüyle, eşdeğer basınç çubuğu yaklaşımı kullanılarak elde edilen kapasite eğrisi Şekil 3.90'da verilmektedir. Şekilden de görüldüğü gibi, yükün maksimum değeri 152.854 kN olarak belirlenmiştir. Burada, RCF-4 çerçevesinin yaklaşık 97 kN'luk yatay yük altında bağlı ötelenme oranının %3.5 olduğu belirtilmelidir.

Aşağıdaki Şekil 3.91'de RCF-5 çerçevesine ilişkin statik itme çözümüyle elde edilen, yığışlı toplam tüketilen enerji ve buna karşılık gelen ötelenme oranları verilmektedir. Çözümleme sonunda elde edilen yığışlı toplam tüketilen enerji miktarı 209329 kNmm olarak belirlenmiştir.

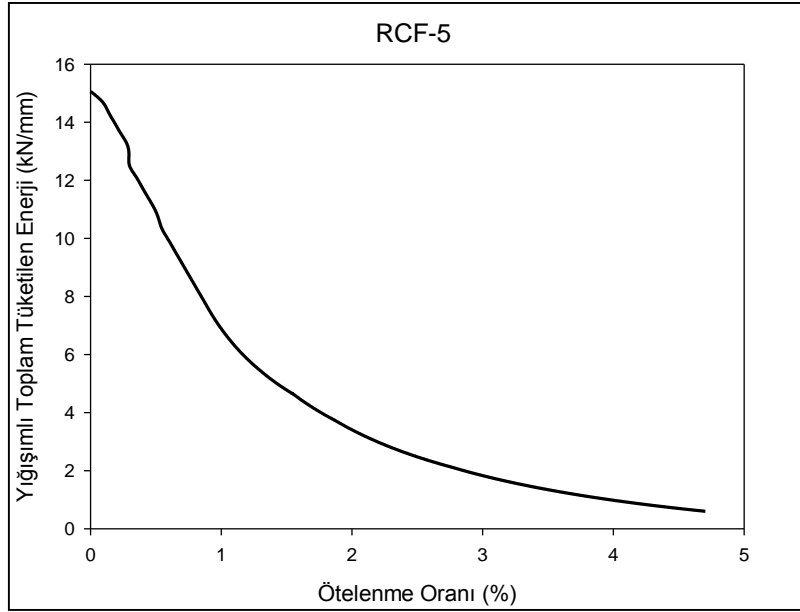


Şekil 3.90. RCF-5 çerçevesinin statik itme çözümüyle elde edilen kapasite eğrisi



Şekil 3.91. RCF-5 çerçevesinin statik itme çözümlemesinden elde edilen yığışımli olarak tüketilen toplam enerji eğrisi

Aşağıdaki Şekil 3.92'de RCF-5 çerçevesinin rijitliğinin ötelenme oranıyla ($\theta=\delta/h$) değişim eğrisi verilmektedir. Şekilden de görüldüğü gibi çerçevenin başlangıç rijitliği 15.065 kN/mm'dir.

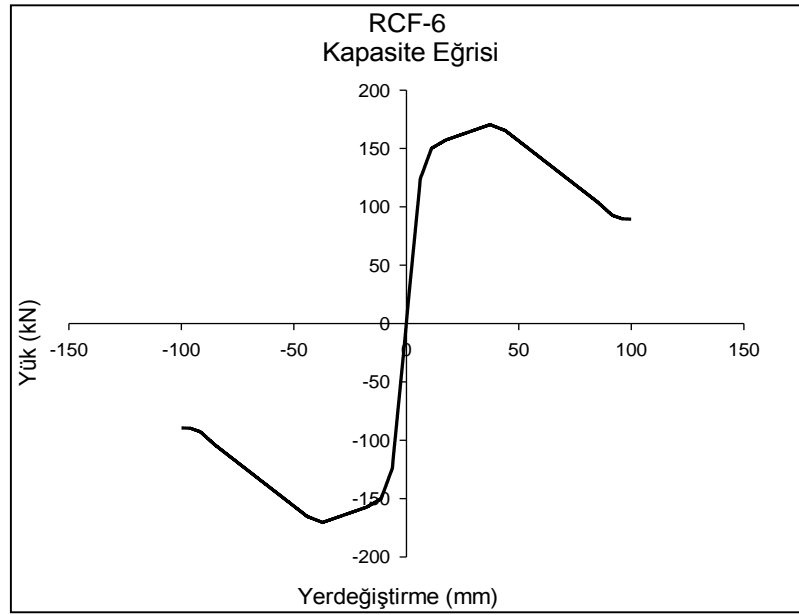


Şekil 3.92. RCF- çerçevesinin statik itme çözümlemesiyle elde edilen rijitlik azalım eğrisi

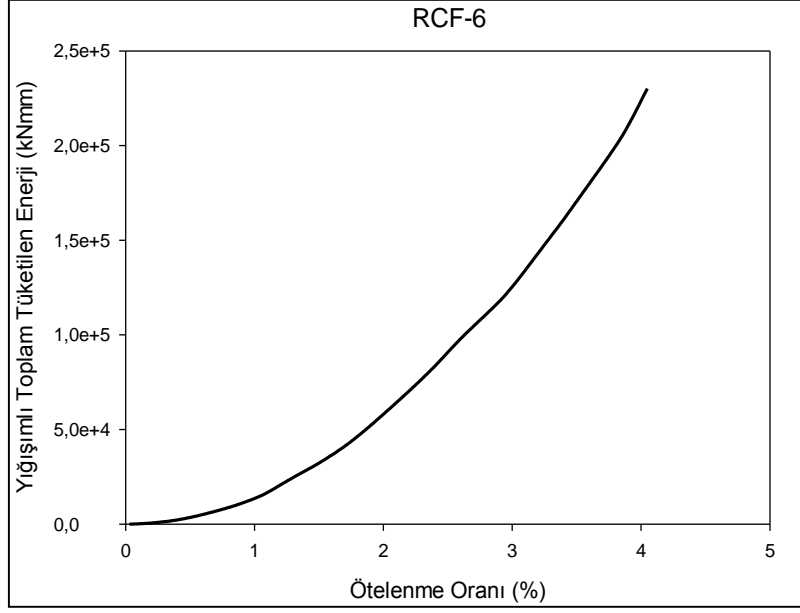
3.3.8. Geleneksel Betonla Üretilen Gaz Beton Dolgu Duvarlı Deprem Kumaşlı Çerçevenin Statik İtme Çözümlemesinden Elde Edilen Bulgular

Geleneksel betonla üretilen gaz beton dolgu duvarlı ve deprem kumaşlı RCF-6 çerçevesinin, statik itme çözümüyle, eşdeğer basınç çubuğu yaklaşımı kullanılarak elde edilen kapasite eğrisi Şekil 3.93'de verilmektedir. Şekilden de görüldüğü gibi, yükün maksimum değeri 170.459 kN olarak belirlenmiştir. Burada, RCF-6 çerçevesinin yaklaşık 120 kN'luk yatay yük altında bağıl ötelenme oranının %3.5 olduğu belirtilmelidir.

Aşağıdaki Şekil 3.94'de RCF-6 çerçevesine ilişkin statik itme çözümüyle elde edilen, yığışimli toplam tüketilen enerji ve buna karşılık gelen ötelenme oranları verilmektedir. Çözümleme sonunda elde edilen yığışimli toplam tüketilen enerji miktarı 230135 kNmm olarak belirlenmiştir.

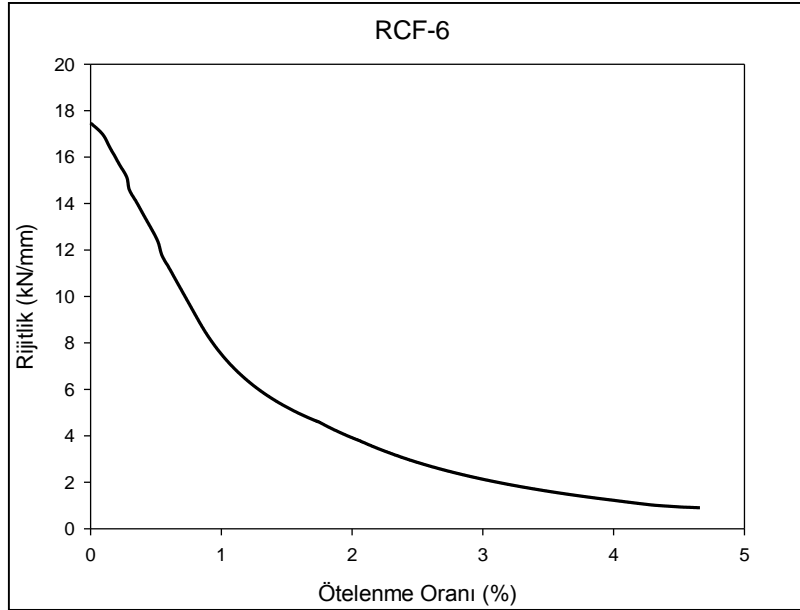


Şekil 3.93. RCF-6 çerçevesinin statik itme çözümüyle elde edilen kapasite eğrisi



Şekil 3.94. RCF-6 çerçevesinin statik itme çözümüyle elde edilen yığılımlı olarak tüketilen toplam enerji eğrisi

Aşağıdaki Şekil 3.95'de RCF-6 çerçevesinin rijitliğinin ötelenme oranıyla ($\theta = \delta/h$) değişim eğrisi verilmektedir. Şekilden de görüldüğü gibi çerçevenin başlangıç rijitliği 17.466 kN/mm'dir.



Şekil 3.95. RCF-6 çerçevesinin statik itme çözümüyle elde edilen rijitlik azalım eğrisi

4. İRDELEME

4.1. Düzlem İçi ve Düzlem Dışı Yüklenen Çerçevelerden Elde Edilen Bulgularının İrdelenmesi

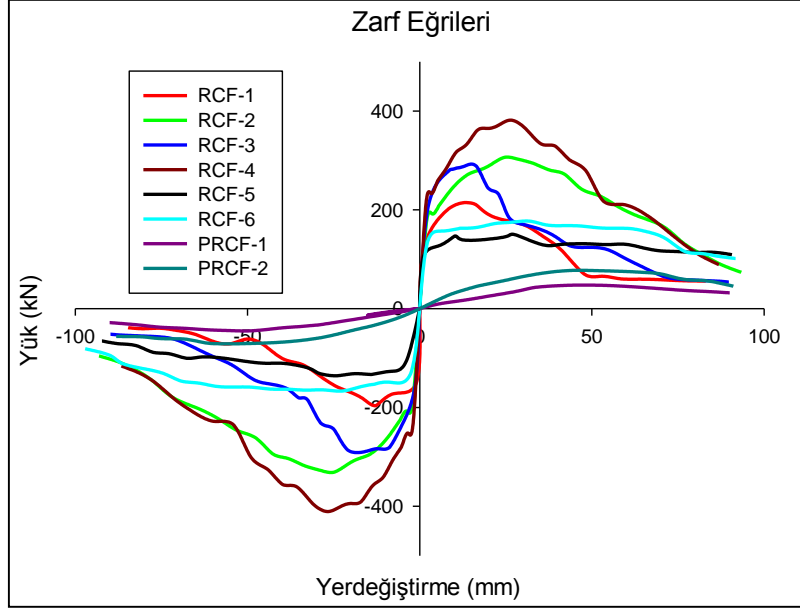
Düzlem içi ve düzlem dışı çevrimsel yük etkisindeki düşük dayanımlı ve geleneksel betonla üretilen, dolgu duvarlı ve dolgu duvarsız çerçeve deneylerinden elde edilen bulgular aşağıdaki başlıklar altında irdelenmektedir.

4.1.1. Düzlem İçi Yüklenen Çerçevelerden Elde Edilen Bulguların İrdelenmesi

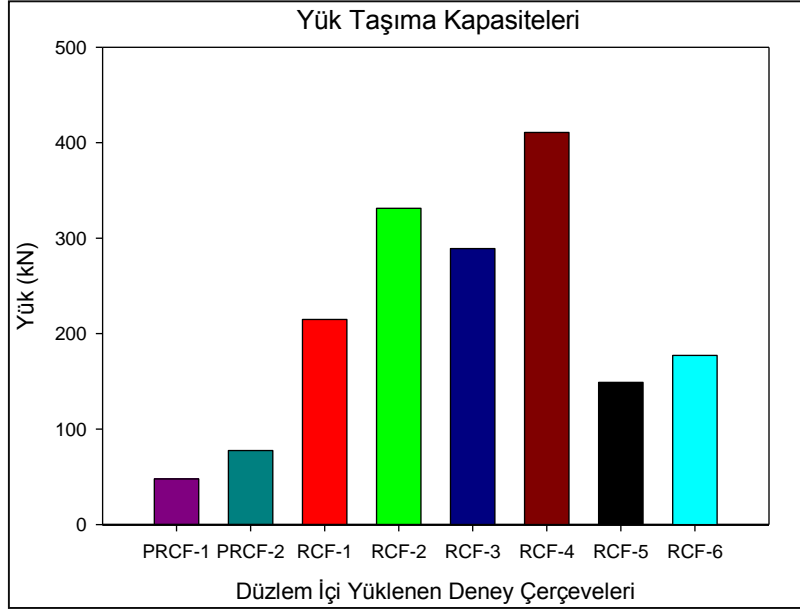
Düşük dayanımlı ve geleneksel betonla üretilen dolgu duvarlı ve dolgu duvarsız betonarme çerçevelerin çevrimsel yük altında düzlem içi davranışlarının incelenmesinden elde edilen bulgular aşağıda, taşıma kapasitesi, enerji tüketme, rijitlik azalması ve yerdeğiştirme süneklikleri açısından irdelenmektedir.

4.1.1.1. Taşıma Kapasitelerinin İrdelenmesi

Düzlem içi çevrimsel yük etkisindeki çerçevelerin dayanım zarf eğrileri aşağıdaki Şekil 4.1'de verilmektedir. Şekilden de görüldüğü gibi, dolgu duvarların ve dolgu duvarların güçlendirilmesinde kullanılan deprem kumaşının çerçevelerin taşıma kapasitelerini önemli derecede artırmaktadır. Dolgu duvarsız PRCF-1 ve PRCF-2 çerçevelerine göre taşıma kapasitesindeki artış en fazla geleneksel betonla üretilen tuğla dolgu duvarlı ve deprem kumaşıyla güçlendirilen RCF-4 çerçevesinde meydana gelmiştir. Bunu, düşük dayanımlı betonla üretilen tuğla dolgu duvarlı ve deprem kumaşlı RCF-2 çerçevesi takip etmektedir. Bu bulgu, dolgu duvar malzemesinin betonarme çerçeve davranışını önemli ölçüde etkilediğini göstermektedir. Zira tuğla dolgu duvarlı RCF-3 çerçevesi ile gaz beton dolgu duvarlı RCF-5 ve gaz beton dolgu duvarlı deprem kumaşlı RCF-6 çerçeveleri geleneksel betonla üretildikleri halde bunların taşıma kapasiteleri RCF-2 çerçevesininkinden daha düşük olmaktadır. Düzlem içi yüklenen yukarıda söz edilen deney çerçevelerinin taşıma kapasitelerine ilişkin histogram aşağıdaki Şekil 4.2'de, birbirine göre taşıma kapasitelerindeki değişim oranları ise Çizelge 4.1'de verilmektedir.



Şekil 4.1. Düzlem içi çevrimsel yatay yük etkisindeki deney çerçevelerinin dayanımlarına ilişkin zarf eğrileri



Şekil 4.2. Düzlem içi çevrimsel yük etkisindeki deney çerçevelerinin taşıma kapasitelerine ilişkin histogram

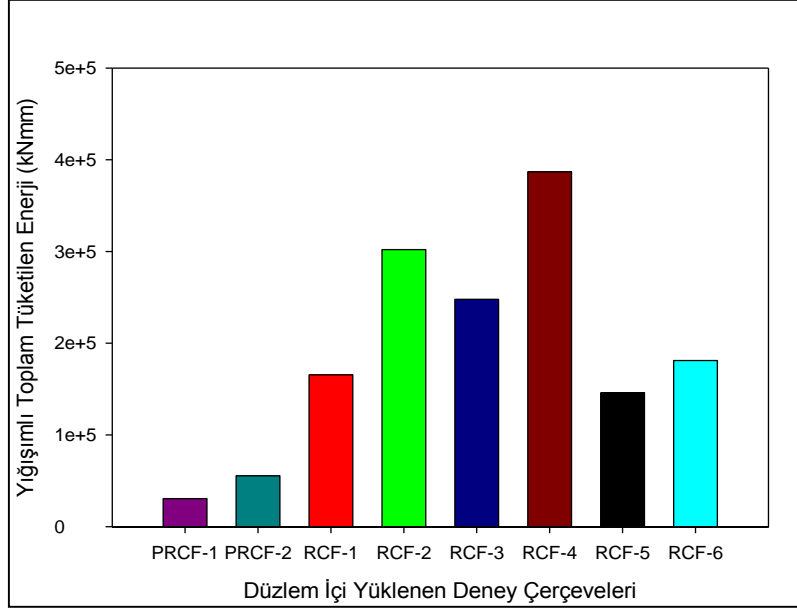
Çizelge 4.1. Düzlem içi yüklenen deney çerçevelerinin birbirine göre taşıma kapasitelerindeki değişim oranları

	PRCF-1	PRCF-2	RCF-5	RCF-6	RCF-1	RCF-3	RCF-2	RCF-4
Taşıma Kapasite Artışları (%)								
PRCF-1		62.5	211.8	271.1	350.0	505.4	593.7	759.9
PRCF-2			91.9	128.3	176.9	272.5	326.9	429.2
RCF-5				20.0	44.3	94.1	122.4	175.8
RCF-6					21.3	63.2	87.0	131.8
RCF-1						34.5	54.2	91.1
RCF-3							14.6	42.0
RCF-2								24.0
RCF-4								

Şekiller ve Çizelge 4.1'den de görüldüğü gibi dolgu duvarlar ve özellikle deprem kumaşı çerçevelerin taşıma kapasitelerini göz ardı edilemeyecek derecede artırmaktadır. Dolgu duvarların güçlendirilmesinde kullanılan deprem kumaşı, çevrimsel yük altında köşegenler doğrultusunda bant şeklinde çalışmak suretiyle çerçevelerin taşıma kapasitelerini önemli ölçüde artırmıştır. Diğer taraftan deprem kumaşı, çerçevelerin gevrek kırılmalarını da önlediğinden, can güvenliği bakımından da önemi ortadadır.

4.1.1.2. Enerji Tüketme Kapasitesi ve Sünekliklerin İrdelenmesi

Daha önce de bahsedildiği gibi, deney çerçevelerinin tükettiği toplam enerji, her çevrimde yük-yerdeğiştirme eğrisinin altında kalan alanların yığışımı olarak toplanmasıyla elde edilmiştir. Düzlem içi çevrimsel yükler altında davranışları incelenen deney çerçevelerinin tükettikleri toplam enerji ile ötelenme oranı ($\theta = \delta/h$) arasındaki ilişki Şekil 4.3'de verilmektedir. Şekilden de görüldüğü gibi, enerji tüketme kapasitesi en fazla olan çerçeve geleneksel betonla üretilmiş tuğla dolgu duvarlı ve deprem kumaşlı RCF-4 çerçevesidir. Bunu, düşük dayanımlı betonla üretilmiş tuğla dolgu duvarlı ve deprem kumaşlı RCF-2 çerçevesi izlemektedir. Bu durum, dolgu duvarlar ve deprem kumaşının çerçevenin enerji tüketme kapasitesine önemli katkı sağladığını dolayısıyla dolgu duvarda kullanılacak malzemenin davranış bakımından önemli olduğunu göstermektedir. Tüketilen toplam enerjiye göre çizilen histogram Şekil 4.4'de ve ise deney çerçevelerinin %3.5 bağıl

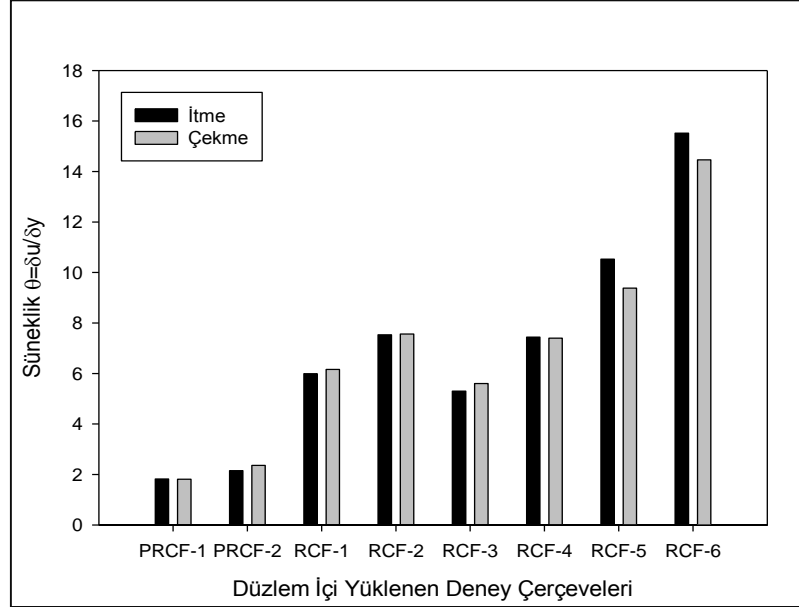


Şekil 4.4. Düzlem içi çevrimsel yatay yük etkisindeki çerçevelerin %3.5 bağıl ötelenme oranı için enerji tüketme kapasitelerine ilişkin histogram

Doğrusal elastik ötesi yerdeğiştirmelerde RCF-1 ve RCF-3 çerçevelerinin yük taşıma kapasitelerindeki düşüşler ani olmakta, oysa tuğla dolgu duvarlı deprem kumaşlı RCF-2 ve RCF-4 çerçeveleri ile gaz beton dolgu duvarlı RCF-5 ve gaz beton dolgu duvarlı deprem kumaşlı RCF-6 çerçevelerinde düşüşler daha yavaş olmaktadır. Bu durum, dolgu duvarların ve özellikle deprem kumaşının, çerçevelerin taşıma kapasitelerini artırdığı gibi, sünekliklerini de artırdığını göstermektedir. Gerçekten deprem kumaşının, dolgu duvar malzemelerine süneklik kazandırdığından çerçevelerin enerji tüketme kapasiteleri önemli derecede artmaktadır. Diğer taraftan, çerçevelerin çevrimsel yük etkisindeki yerdeğiştirme süneklikleri incelendiğinde, gaz beton dolgu duvarlı çerçevelerin yük taşıma kapasitelerinin düşük olmasına karşın yerdeğiştirme sünekliklerinin tuğla dolgu duvarlı çerçevelerden daha yüksek olduğu görülmektedir (Çizelge 4.3).

Çizelge 4.3. Deney çerçevelerinin çevrimsel yükler altında yerdeğiştirme süneklikleri

Deney Çerçeveleri	Yükleme Yönleri	F_y (kN)	F_{max} (kN)	F_u (kN)	δ_y (mm)	δ_{max} (mm)	δ_u (mm)	δ_u/δ_y
PRCF-1	İtme (+)	45.75	47.79	40.62	38.02	48.51	69.09	1.82
	Çekme (-)	42.21	45.08	38.31	37.05	49.78	67.28	1,81
PRCF-2	İtme (+)	70.02	77.61	65.97	34.06	44.72	73.21	2.15
	Çekme (-)	60.15	71.01	60.36	30.14	52.38	71.21	2.36
RCF-1	İtme (+)	162.77	214.93	182.69	3.79	13.08	22.73	5.99
	Çekme (-)	161.85	196.39	166.93	3.82	12.78	23.55	6.16
RCF-2	İtme (+)	208.61	306.52	260.54	5.60	24.72	42.17	7.53
	Çekme (-)	211.17	331.32	281.62	5.51	25.04	41.70	7.56
RCF-3	İtme (+)	218.07	289.15	238.13	4.01	16.54	21.26	5.30
	Çekme (-)	214.30	288.13	244.91	4.09	15.16	22.90	5.60
RCF-4	İtme (+)	260.25	381.71	324.45	5.40	26.43	40.20	7.44
	Çekme (-)	279.60	410.71	349.10	5.43	26.76	40.16	7.40
RCF-5	İtme (+)	123.18	148.94	126.57	3.35	28.08	35.26	10.53
	Çekme (-)	105.90	135.74	115.38	3.81	24.13	35.73	9.38
RCF-6	İtme (+)	138.51	177.22	150.64	4.16	31.89	64.58	15.52
	Çekme (-)	132.91	164.97	140.22	5.01	32.94	72.45	14.46



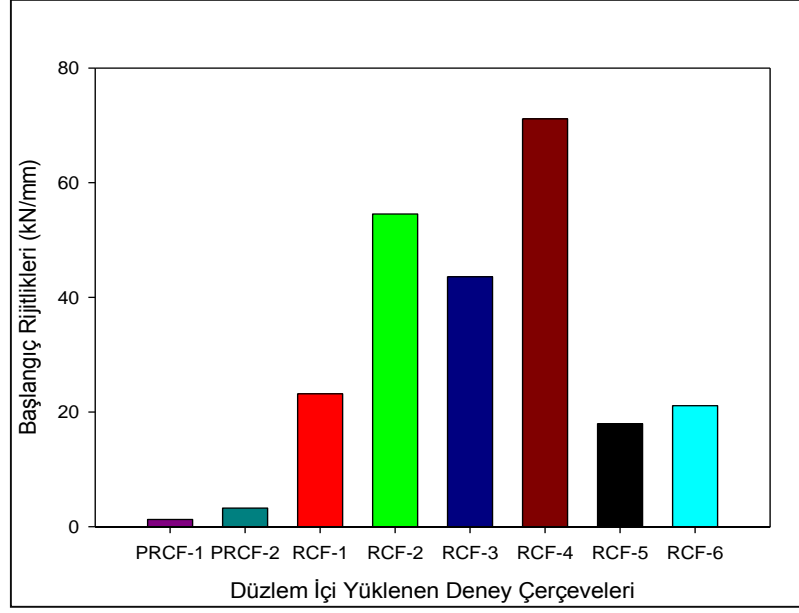
Şekil 4.5. Düzlem içi çevrimsel yükler altındaki çerçevelerin yerdeğiştirme sünekliklerine ilişkin histogram

Çizelge 4.4. Düzlem içi yüklenen çerçevelerinin birbirine göre yerdeğiştirme sünekliği artış oranları

	PRCF-1	PRCF-2	RCF-3	RCF-1	RCF-4	RCF-2	RCF-5	RCF-6
	Yerdeğiştirme Sünekliği Artış oranları (%)							
PRCF-1		24.2	199.5	234.1	307.7	314.8	447.3	723.6
PRCF-2			141.2	169.0	228.3	234.1	340.7	563.3
RCF-3				11.6	36.1	38.5	82.8	175.0
RCF-1					22.0	24.2	63.8	146.5
RCF-4						1.8	34.2	102.0
RCF-2							31.9	98.5
RCF-5								50.5
RCF-6								

4.1.1.3. Rijitliklerin İrdelenmesi

Daha önce de belirtildiği gibi çerçevelerde rijitlik olarak sekant rijitliği dikkate alınmıştır. Bu rijitliklerin ötelenme oranıyla değişim eğrileri Şekil 4.6'da verilmektedir. Şekilden de görüldüğü gibi, özellikle dolgu duvarlı ve dolgu duvarlı deprem kumaşlı çerçevelerin başlangıç rijitlikleri, dolgu duvarsız çerçevelere göre çok daha yüksektir. Yük taşıma ve enerji tüketme kapasitesi daha fazla olan geleneksel betonla üretilen tuğla dolgu duvarlı deprem kumaşlı RCF-4 çerçevesinin başlangıç rijitliği de diğer çerçevelerinkinden daha büyüktür. Bunu RCF-2 çerçevesi izlemektedir. Bu durum deprem kumaşının çerçeve rijitliğine de katkı yaptığını göstermektedir. Diğer taraftan şekilden, gaz beton dolgu duvarların çerçeve rijitliğini dolgu duvarsız çerçevelere göre artırdığı ancak bu artışın tuğla dolgu duvarlı çerçevelerinkinden çok daha az olduğu görülmektedir. Bu durum tuğla dolgu duvarların elastisite modüllerinin, gaz beton dolgu duvarlarınkinin yaklaşık iki katı olmasıyla açıklanabilmektedir. Düzlem içi yüklenen çerçevelerin, başlangıç rijitlik oranları aşağıdaki Çizelge 4.5'de, rijitlik oranların ilişkin histogram ise Şekil 4.7'de verilmektedir.

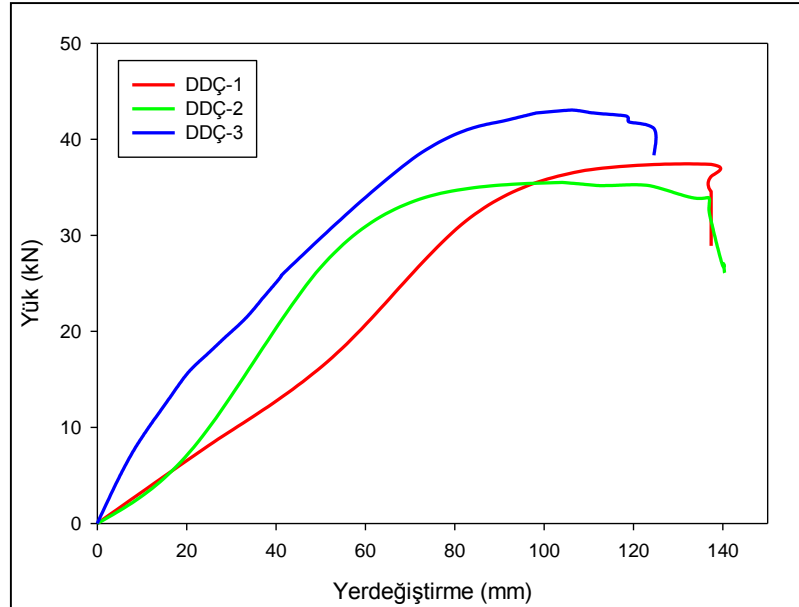


Şekil 4.7. Düzlem içi çevrimsel yatay yük etkisindeki çerçevelerin başlangıç sekant rijitliklerine ilişkin histogram

Dolgu duvarlı deney çerçevelerinin kırılma şekillerinin, bu çerçevelerin açıklık/yükseklik oranına atfedilebilmektedir. Tuğla dolgu duvarlı RCF-1 ve RCF-3 çerçevelerindeki dolgu duvarlar, kolon-kiriş ve kolon-temel birleşim bölgelerinde ezilmek suretiyle göçmektedir. Gaz beton dolgu duvarlı RCF-5 çerçevesinde ise duvarlarda çapraz çatlaklar oluşmasına karşın duvarda bir devrilme meydana gelmemiştir. Deprem kumaşının kullanıldığı RCF-2 ve RCF-4 çerçevelerinde tuğla duvarın ezilmesine karşın deprem kumaşı sayesinde bunlarda bir dağılması olmamıştır. RCF-6 çerçevesinde de duvarda çatlaklar oluşmakla birlikte RCF-5 çerçevesinde olduğu gibi duvarda bir dağılma oluşmamıştır. Diğer taraftan, deprem kumaşlı RCF-2, RCF-4 ve RCF-6 çerçeve kolonlarında, eğilme momentinden dolayı çatlak sayısı artmış, dolayısıyla da genişlikleri azalmıştır. Bu durum donatı beton aderansının yeterli oluşuyla açıklanabilmektedir. Dolgu duvarsız ve dolgu duvarlı deprem kumaşsız çerçevelerde ise çatlaklar kolon alt başlıklarında yoğunlaşmıştır. Bu durum, deprem kumaşının çerçevelerin yeniden dağılım yapma özelliğinde de etkili olduğunu göstermektedir.

4.1.2. Düzlem Dışı Yüklenen Çerçeve Bulgularının İrdelenmesi

Düzlem dışı deneysel davranışları incelen DDÇ-1, DDÇ-2 ve DDÇ-3 çerçeveleri üzerinde gerçekleştirilen deneylerden elde edilen bulguların irdelenmesi, kullanılan deprem kumaşının çerçevelerin düzlem dışı yük taşıma kapasitesi üzerinde etkili olmadığını göstermektedir. Bu çerçevelerin hepsi, taşıma kapasitesini kolon-temel birleşim bölgelerinde mafsalların oluşmasıyla kaybetmiştir. Bunların dolgu duvarlarında göçme anında dahi herhangi bir hasar oluşmamıştır. Ancak bu sonuç, çerçevelerde düzlem içi yüklerin bulunmaması durumunda geçerlidir. Burada hem düzlem içi ve hem de düzlem dışı yüklerin aynı anda etkimesi durumunda dolgu duvarlı ve dolgu duvarsız çerçevelerin deneysel davranışlarının da incelemesinde yarar bulunduğunu belirtmek uygun olmaktadır. Düzlem dışı yük etkisindeki çerçeve deneylerinden elde edilen dayanım zarf eğrileri Şekil 4.8’de verilmektedir. Şekilden de görüldüğü gibi düzlem dışı yük etkisinde, dolgu duvarların tuğla ya da gaz betonla örülü olması, çerçevelerin düzlem dışı yük taşıma kapasitelerini değiştirmedeği gibi, bu duvarların deprem kumaşlı olup olmaması da kapasiteyi pek etkilememektedir. Bu durum, çalışmamıza konu olan düzlem dışı yüklenen çerçevelerde deprem kumaş kullanmanın bir yararının olmadığını göstermektedir.



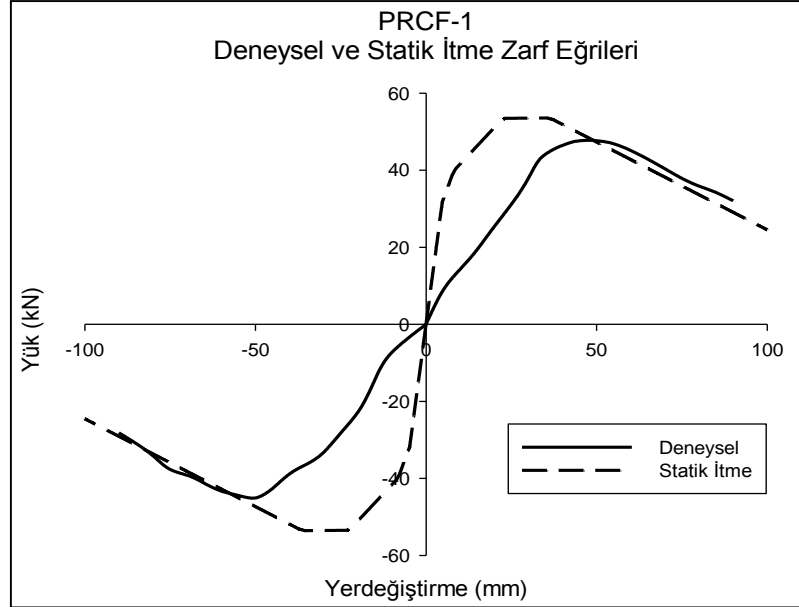
Şekil 4.8. Düzlem dışı yükleme altındaki çerçevelerin itme yönündeki dayanım zarfı eğrileri

4.2. Düzlem İçi Yüklenen Çerçevelerin Deneysel ve Teorik Bulgularının Karşılaştırmalı Olarak İrdelenmesi

Çerçevelerin düzlem içi yükleme deneylerinden elde edilen bulgular ile statik itme çözümlerinden elde edilen teorik bulgular aşağıdaki başlıklar altında karşılaştırmalı olarak irdelenmektedir.

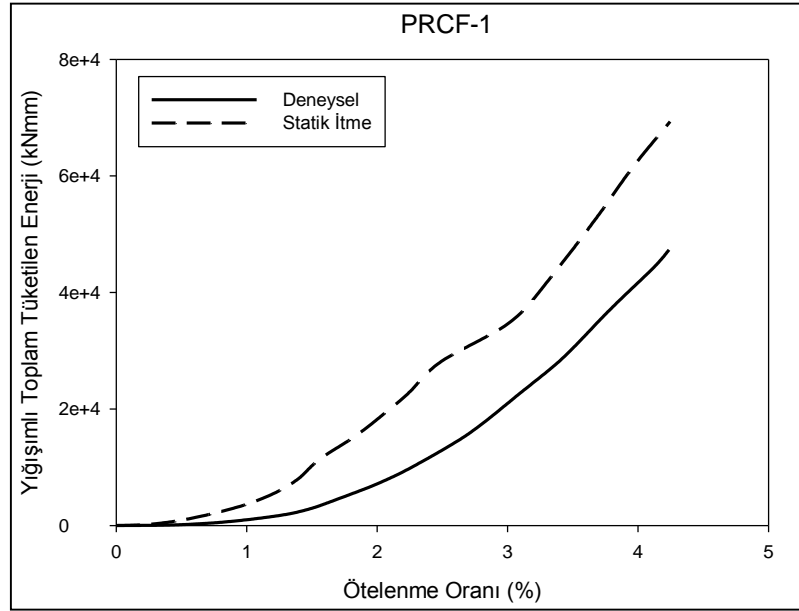
4.2.1. Düşük Dayanımlı Betonla Üretilen Dolgu Duvarsız Çerçevenin Deneysel ve Statik İtme Çözümleme Bulgularının İrdelenmesi

Düşük dayanımlı betonla üretilen dolgu duvarsız PRCF-1 çerçevesinin çevrimsel düzlem içi yüklemelerinden ve statik itme çözümlerinden elde edilen dayanımlarına ilişkin zarf eğrileri Şekil 4.9'da verilmektedir. Daha önce de belirtildiği gibi statik itme çözümlerinde FEMA-356 tarafından önerilen yerdeğiştirmelere ilişkin kabul ölçütü kullanılmıştır. Şekilden de görüldüğü gibi, deneysel olarak elde edilen maksimum yük 47.762 kN ve statik itme çözümlerinden elde edilen ise 53.566 kN değerindedir. Teorik taşıma kapasitesi, deneyselden %12 daha büyüktür. Bu durum statik itme çözümlerinin deney sonuçlarına oldukça yakın değerler verdiğini göstermektedir.

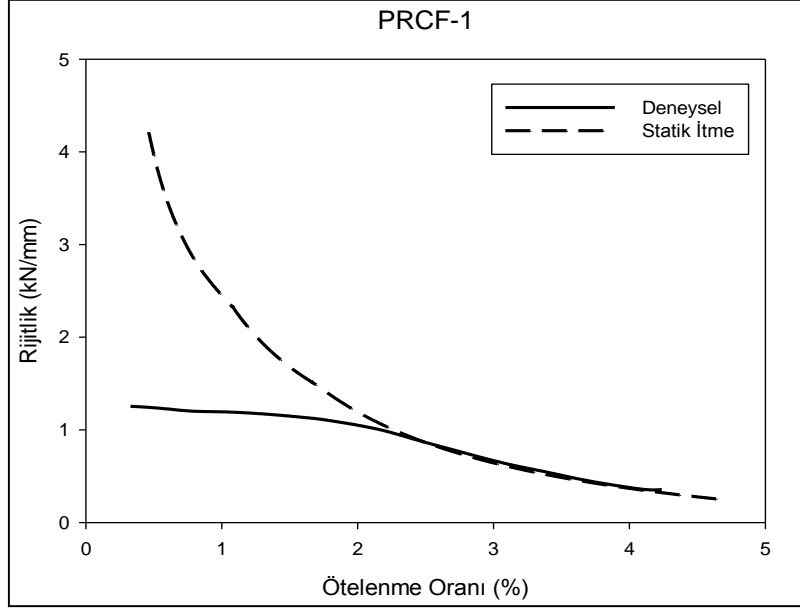


Şekil 4.9. PRCF-1 çerçevesinin düzlem içi çevrimsel yük etkisindeki deneyinden ve statik itme çözümlerinden elde edilen dayanım zarf eğrileri

Aşağıdaki Şekil 4.10'dan, PRCF-1 çerçevesinin yığılımlı olarak tükettiği toplam enerjinin deneysel ve teorik değerlerinin sırasıyla 47313 kNmm ve 69332 kNmm olduğu görülmektedir. Bu bulgu, teorik olarak tüketilen enerjinin, deneysel olarak tüketilenden %46.5 daha fazla olduğuna işaret etmektedir. Bu farkın, bu çerçevenin enerji tüketme kapasitesinin belirlenmesinde çatlak ve diğer hasarlardan dolayı rijitlik azalmalarını ve bunların süneklik üzerindeki etkilerini dikkate alamamasından kaynaklandığı düşünülmektedir. Bu çerçevenin, deneysel ve teorik başlangıç rijitlikleri sırasıyla 1.26 kN/mm ve 4.21 kN/mm olduğu, %2 ötelenme oranından sonra bunların örtüştüğü görülmektedir.



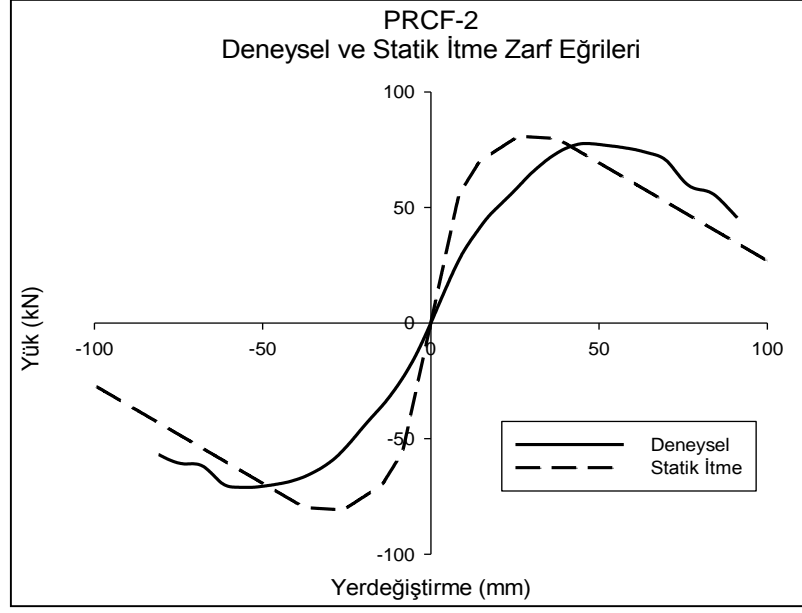
Şekil 4.10. PRCF-1 çerçevesinin düzlem içi çevrimsel yük etkisindeki deneysel ve teorik enerji tüketme eğrileri



Şekil 4.11. PRCF-1 çerçevesinin düzlem içi çevrimsel yük etkisindeki deneyinden ve statik itme çözümlemesinden elde edilen rijitliklerinin ötelenme oranıyla değişim eğrileri

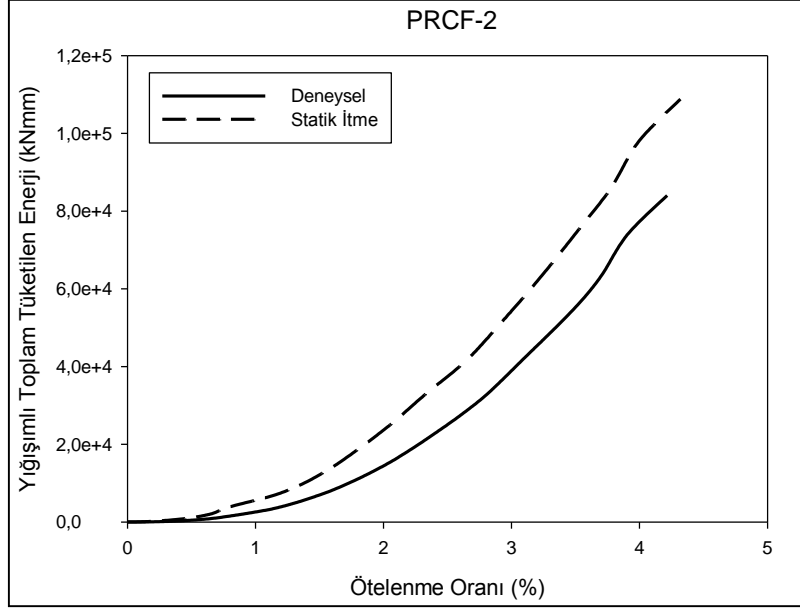
4.2.2. Geleneksel Betonla Üretilen Dolgu Duvarsız Çerçevenin Deneysel ve Statik İtme Çözümleme Bulgularının İrdelenmesi

Geleneksel betonla üretilen dolgu duvarsız PRCF-2 çerçevesinin çevrimsel düzlem içi yüklemelerinden ve statik itme çözümlemesinden elde edilen dayanımlarına ilişkin zarf eğrileri Şekil 4.12'de verilmektedir. Şekilden de görüldüğü gibi, deneysel olarak elde edilen maksimum yük 77.613 kN ve statik itme çözümlemesinden elde edilen ise 80.842 kN değerindedir. Teorik taşıma kapasitesi, deneysel olarak elde edilenden %4 daha fazladır. Bu durum taşıma kapasiteleri açısından deneysel ve teorik sonuçların birbiriyle yakın değerler verdiğini göstermektedir.

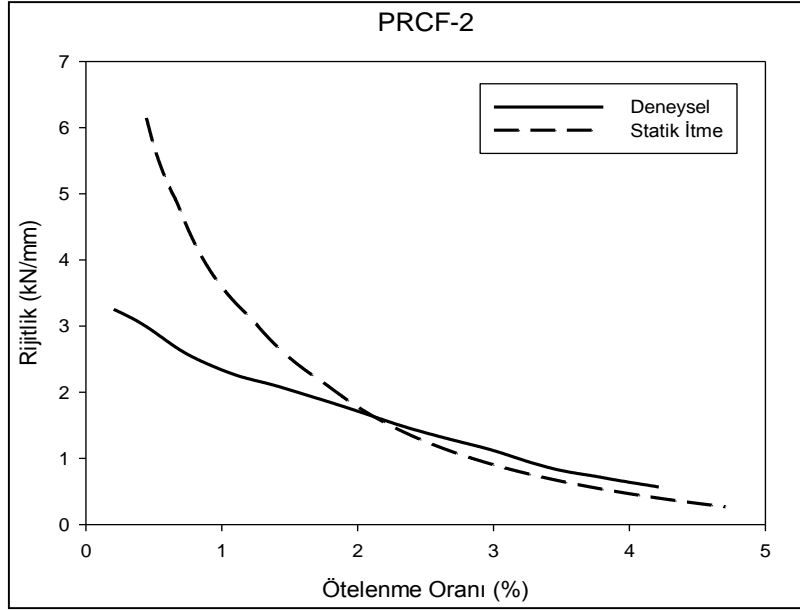


Şekil 4.12. PRCF-2 çerçevesinin düzlem içi çevrimsel yük etkisindeki deneyinden ve statik itme çözümlerinden elde edilen dayanım zarf eğrileri

Aşağıdaki Şekil 4.13'den, PRCF-2 çerçevesinin yığılımlı olarak tükettiği toplam enerjinin deneysel ve teorik değerlerinin sırasıyla 84016 kNmm ve 108795 kNmm olduğu görülmektedir. Teorik olarak tüketilen enerji, deneysel olarak tüketilenden %29.5 daha fazladır. Bu farkın, PRCF-1 çerçevesinde olduğu gibi, bu çerçevenin de enerji tüketme kapasitesinin belirlenmesinde çatlak ve diğer hasarlardan dolayı rijitlik azalmalarını ve bunların süneklik üzerindeki etkilerini dikkate alamamasından kaynaklandığı düşünülmektedir. Bu çerçevenin, deneysel ve teorik başlangıç rijitlikleri sırasıyla 3.25 kN/mm ve 6.15 kN/mm olduğu, %2 ötelenme oranından sonra bunların örtüştüğü görülmektedir.



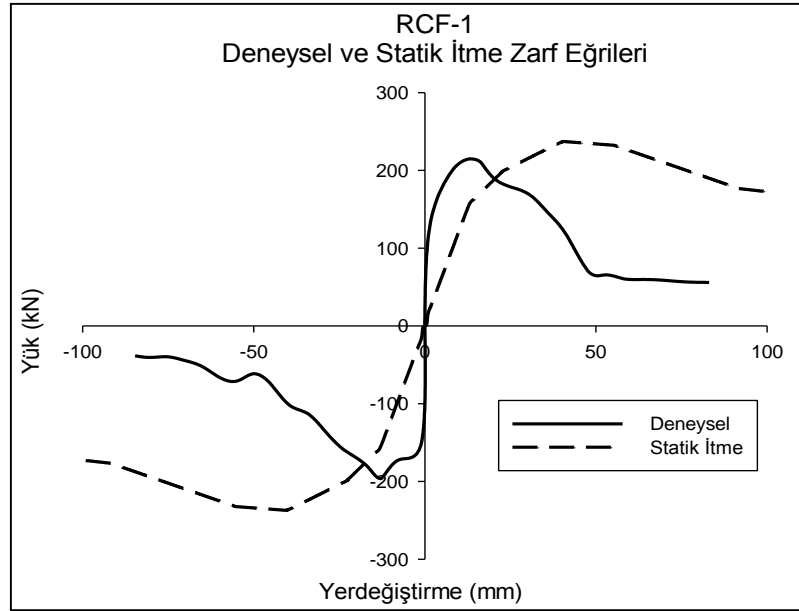
Şekil 4.13. PRCF-2 çerçevesinin düzlem içi çevrimsel yük etkisindeki deneyinden ve statik itme çözümlemesinden elde edilen enerji tüketme eğrileri



Şekil 4.14. PRCF-2 çerçevesinin düzlem içi çevrimsel yük etkisindeki deneyinden ve statik itme çözümlemesinden elde edilen rijitliklerinin ötelenme oranıyla değişim eğrileri

4.2.3. Düşük Dayanımlı Betonla Üretilen Tuğla Dolgu Duvarlı Çerçevenin Deneysel ve Statik İtme Çözümleme Bulgularının İrdelenmesi

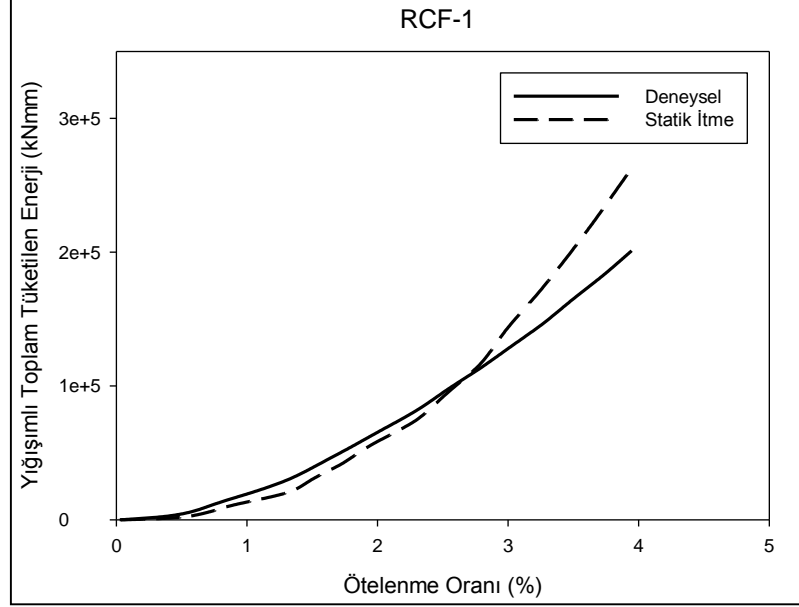
Düşük dayanımlı betonla üretilen tuğla dolgu duvarlı RCF-1 çevrimsel düzlem içi yüklemelerinden ve statik itme çözümlemesinden elde edilen dayanımlarına ilişkin zarf eğrileri Şekil 4.15'de verilmektedir. Şekilden de görüldüğü gibi, deneysel olarak elde edilen maksimum yük 214.928 kN ve statik itme çözümlemesinden elde edilen ise 237.106 kN değerindedir. Teorik taşıma kapasitesi, deneysel olarak elde edilenden %10 daha fazladır. Bu durum taşıma kapasiteleri açısından deneysel ve teorik sonuçların birbiriyle yakın değerler verdiğini göstermektedir.



Şekil 4.15. RCF-1 çerçevesinin düzlem içi çevrimsel yük etkisindeki deneyinden ve statik itme çözümlemesinden elde edilen dayanım zarf eğrileri

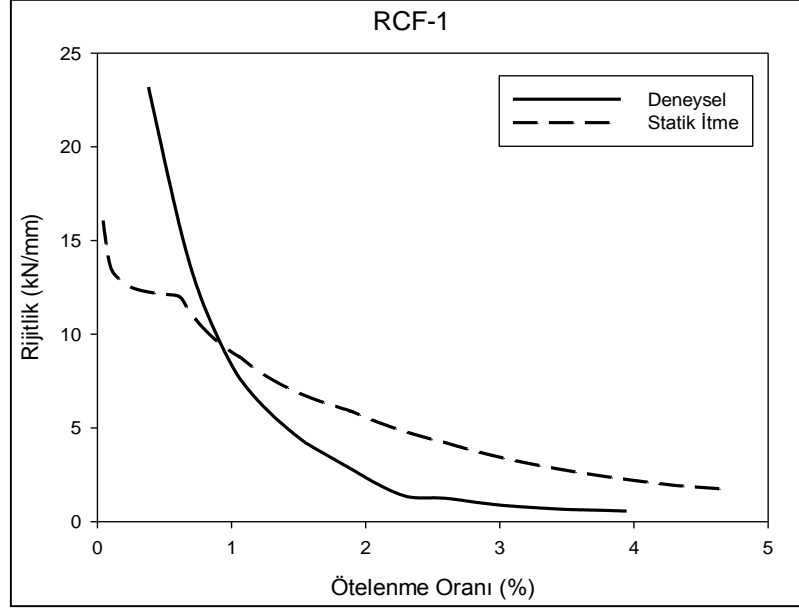
Aşağıdaki Şekil 4.16'dan, RCF-1 çerçevesinin yığılımlı olarak tükettiği toplam enerjinin deneysel ve teorik değerlerinin sırasıyla 201039 kNmm ve 258793 kNmm olduğu görülmektedir. Deneysel ve teorik enerji tüketme kapasiteleri incelendiğinde %2.5'lük ötelenme oranına kadar uyumlu bir davranış sergilemektedir. Teorik olarak tüketilen enerji, deneysel olarak tüketilenden %28.7 daha fazladır. Bu farkın, teorik olarak çerçeveyi oluşturan elemanların eğilme rijitliklerinin statik itme çözümlemesinde tanımlanan yerdeğiştirme ya da dönmelere göre değişmesi, sınıra ulaşan kesitlerde plastik mafsalların

oluşması, bu değerlerden önce çerçeve elemanlarında ve eşdeğer basınç çubuğunda herhangi bir kesit kaybı oluşmadan çerçevenin doğrusal davranış sergilemesinden kaynaklandığı düşünülmektedir.



Şekil 4.16. RCF-1 çerçevesinin düzlem içi çevrimsel yük etkisindeki deneyinden ve statik itme çözümlerinden elde edilen enerji tüketme eğrileri

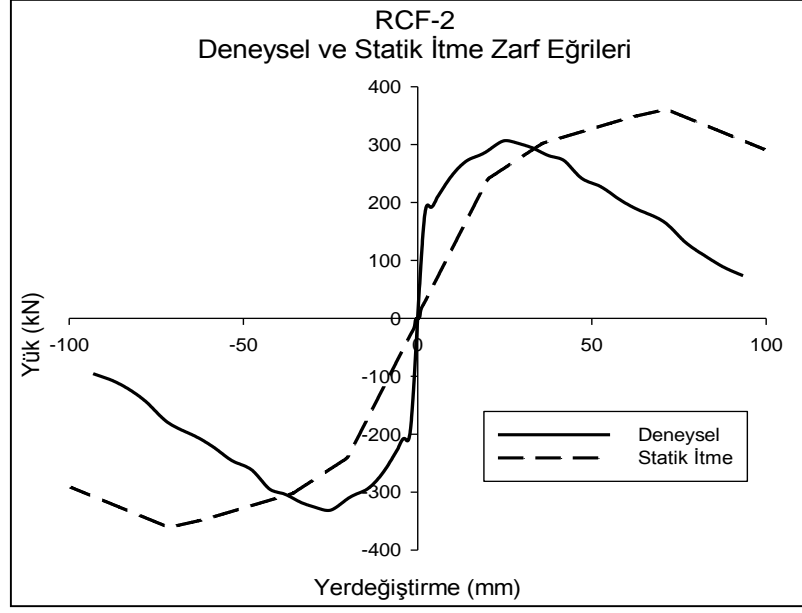
Aşağıdaki Şekil 4.17’de, deneysel ve teorik başlangıç rijitliklerinin sırasıyla 23.19 kN/mm ve 16.07 kN/mm olduğu görülmektedir. Deneysel olarak elde edilen başlangıç rijitliği teorik olandan %43.3 daha fazladır. Bu durumun, teorik modelde dolgu duvarın eşdeğer bir basınç çubuğu ile temsil edilmesinden kaynaklandığı düşünülmektedir. Rijitlik değerleri %1.00’lik ötelenme oranında örtüşmektedir. Her iki durumda da çerçeve rijitliğinde %95’in üzerinde azalma meydana gelmiştir.



Şekil 4.17. RCF-1 çerçevesinin düzlem içi çevrimsel yük etkisindeki deneyinden ve statik itme çözümlemesinden elde edilen rijitliklerinin ötelenme oranıyla değişim eğrileri

4.2.4. Düşük Dayanımlı Betonla Üretilen Tuğla Dolgu Duvarlı Deprem Kumaşlı Çerçevenin Deneysel ve Statik İtme Çözümleme Bulgularının İrdelenmesi

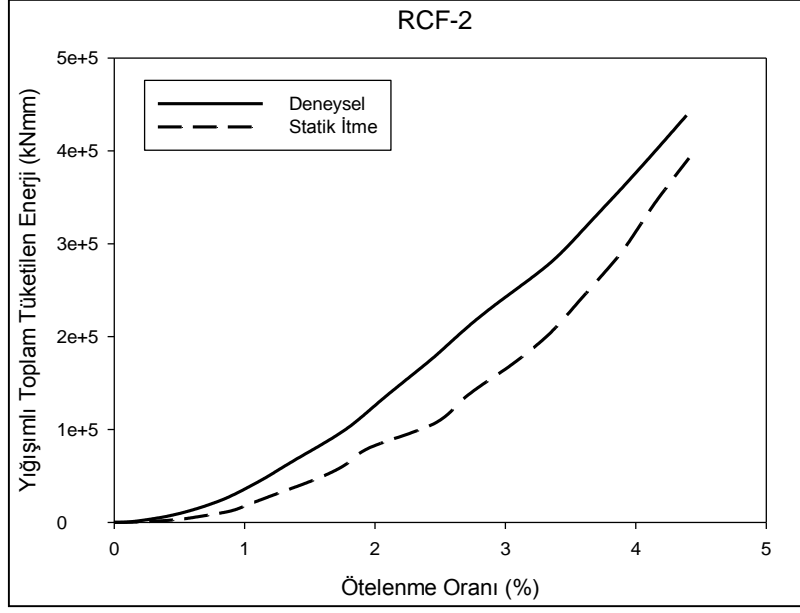
Düşük dayanımlı betonla üretilen tuğla dolgu duvarlı ve deprem kumaşlı RCF-2 çerçevesinin çevrimsel düzlem içi yüklemelerinden ve statik itme çözümlemesinden elde edilen dayanımlarına ilişkin zarf eğrileri Şekil 4.18'de verilmektedir. Şekilden de görüldüğü gibi, deneysel olarak elde edilen maksimum yük 331.316 kN ve statik itme çözümlemesinden elde edilen ise 360.446 kN değerindedir. Teorik taşıma kapasitesi, deneysel olarak elde edilenden %9 daha fazladır. Bu durum taşıma kapasiteleri açısından deneysel ve teorik sonuçların birbiriyle yakın değerler verdiğini göstermektedir.



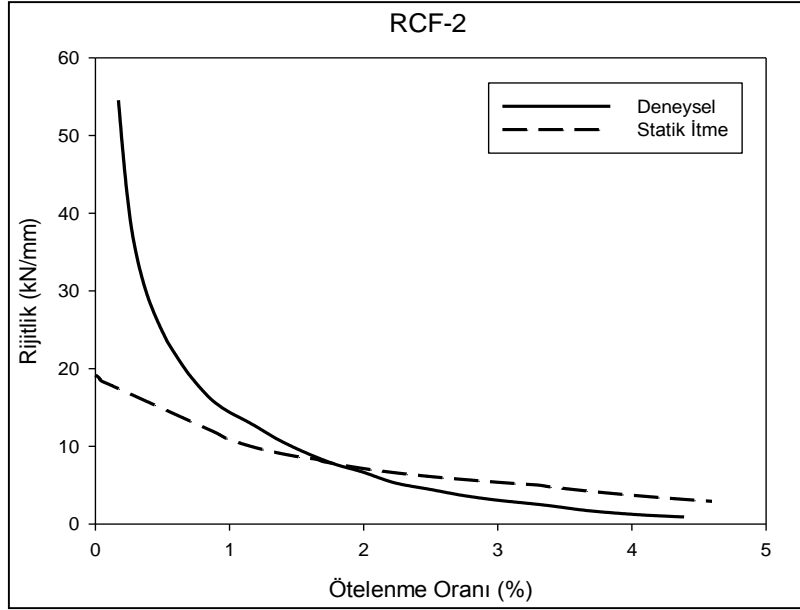
Şekil 4.18. RCF-2 çerçevesinin düzlem içi çevrimsel yük etkisindeki deneyinden ve statik itme çözümlemesinden elde edilen dayanım zarf eğrileri

Aşağıdaki Şekil 4.19'den, RCF-2 çerçevesinin yığılımlı olarak tükettiği toplam enerjinin deneysel ve teorik değerlerinin sırasıyla 438220 kNmm ve 392298 kNmm olduğu görülmektedir. Deneysel ve teorik olarak tüketilen enerji birbiriyle uyumludur. Bu durumun, RCF-2 çerçevesinin kolon, kiriş ve dolgu duvarında oluşan hasarların deprem kumaşından dolayı RCF-1'e göre daha az ve taşıma kapasitesindeki azalmanın daha yumuşak, dolayısıyla davranışın daha sünek olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir. Zira RCF-1 çerçevesinin deneysel olarak tükettiği enerji teorik olarak tükettiği enerjiden daha azdır.

Aşağıdaki Şekil 4.20'de, deneysel ve teorik başlangıç rijitliklerinin sırasıyla 54.54 kN/mm ve 19.17 kN/mm olduğu görülmektedir. Başlangıç rijitlikleri arasındaki bu farkın, deneysel olarak deprem kumaşının çerçeve elemanlarını da kapsayacak şekilde tuğla dolgu duvarın tamamına uygulanırken, teorik olarak deprem kumaşının katkısı basınç bloğunun genişliği kadar elastisite modülü ve basınç dayanımına yansıtılmasından kaynaklandığı düşünülmektedir. Elde edilen rijitlik değerleri %1.79'lük ötelenme oranında örtüşmektedir. Her iki durumda da çerçeve rijitliklerde %95'in üzerinde azalma meydana gelmiştir.



Şekil 4.19. RCF-2 çerçevesinin düzlem içi çevrimsel yük etkisindeki deneyinden ve statik itme çözümlerinden elde edilen enerji tüketme eğrileri

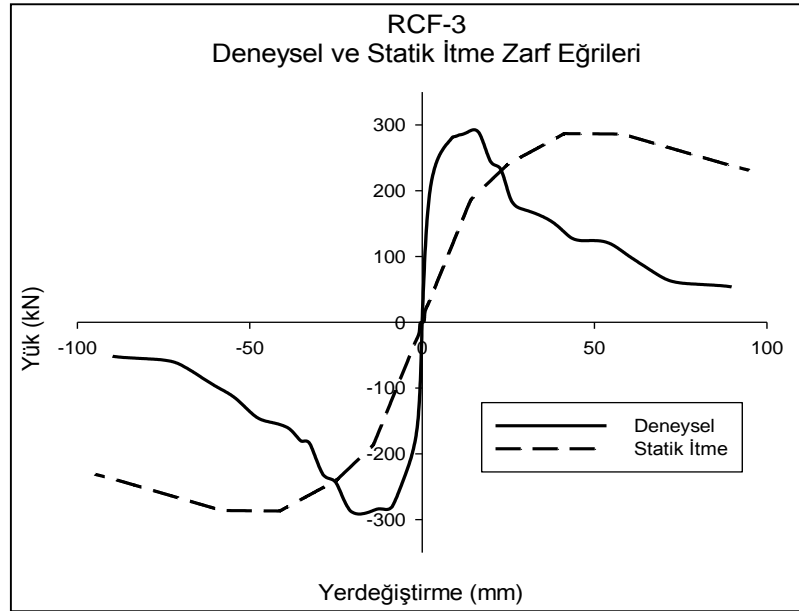


Şekil 4.20. RCF-2 çerçevesinin düzlem içi çevrimsel yük etkisindeki deneyinden ve statik itme çözümlerinden elde edilen rijitliklerinin ötelenme oranıyla değişim eğrileri

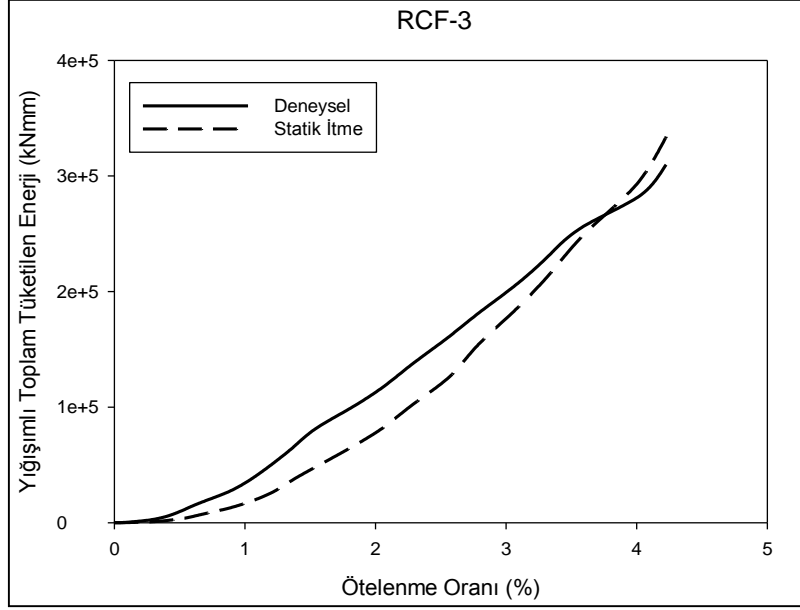
4.2.5. Geleneksel Betonla Üretilen Tuğla Dolgu Duvarlı Çerçevenin Deneysel ve Statik İtme Çözümleme Bulgularının İrdelenmesi

Geleneksel betonla üretilen tuğla dolgu duvarlı RCF-3 çerçevesinin çevrimsel düzlem içi yüklemelerinden ve statik itme çözümlemesinden elde edilen dayanımlarına ilişkin zarf eğrileri Şekil 4.21’de verilmektedir. Şekilden de görüldüğü gibi, deneysel olarak elde edilen maksimum yük 289.147 kN ve statik itme çözümlemesinden elde edilen ise 286.813 kN değerindedir. Deneysel olarak elde edilen taşıma kapasitesi, teorik olarak elde edilenden sadece %0.82 fazladır. Bu durum taşıma kapasiteleri açısından deneysel ve teorik sonuçların birbiriyle oldukça yakın değerler verdiğini göstermektedir. Bu durumun çerçeve üretiminde kullanılan geleneksel betonun çerçeve rijitliğini artırmasından kaynaklandığı düşünülmektedir.

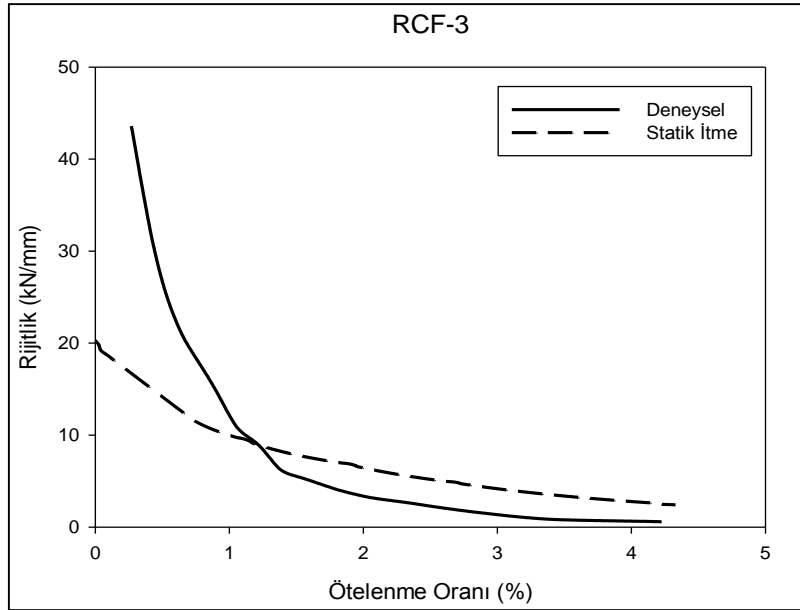
Aşağıdaki Şekil 4.22’den, RCF-3 çerçevesinin yığışımli olarak tükettiği toplam enerjinin deneysel ve teorik değerlerinin sırasıyla 309755 kNmm ve 336284 kNmm olduğu görülmektedir. Teorik olarak tüketilen enerji, deneysel olarak tüketilenden %9 daha fazladır. Şekilden de görüldüğü gibi, RCF-3 çerçevesinin deneysel ve teorik olarak tükettikleri enerji birbirlerine çok yakındır.



Şekil 4.21. RCF-3 çerçevesinin düzlem içi çevrimsel yük etkisindeki deneyinden ve statik itme çözümlemesinden elde edilen dayanım zarf eğrileri



Şekil 4.22. RCF-3 çerçevesinin düzlem içi çevrimsel yük etkisindeki deneyinden ve statik itme çözümlemesinden elde edilen enerji tüketme eğrileri



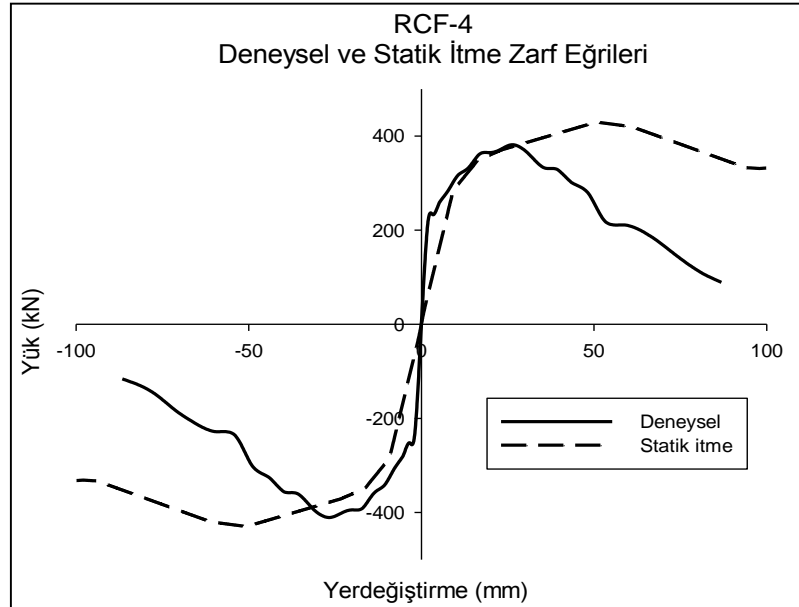
Şekil 4.23. RCF-3 çerçevesinin düzlem içi çevrimsel yük etkisindeki deneyinden ve statik itme çözümlemesinden elde edilen rijitliklerinin ötelenme oranıyla değişim eğrileri

RCF-3 çerçevesinin deneysel ve teorik olarak elde edilenden başlangıç rijitliklerinin sırasıyla 43.59 kN/mm ve 20.27 kN/mm olduğu Şekil 4.23'den görülmektedir. Rijitlikler arasındaki bu farkın RCF-1 çerçevesinde olduğu gibi, teorik modelde dolgu duvarın

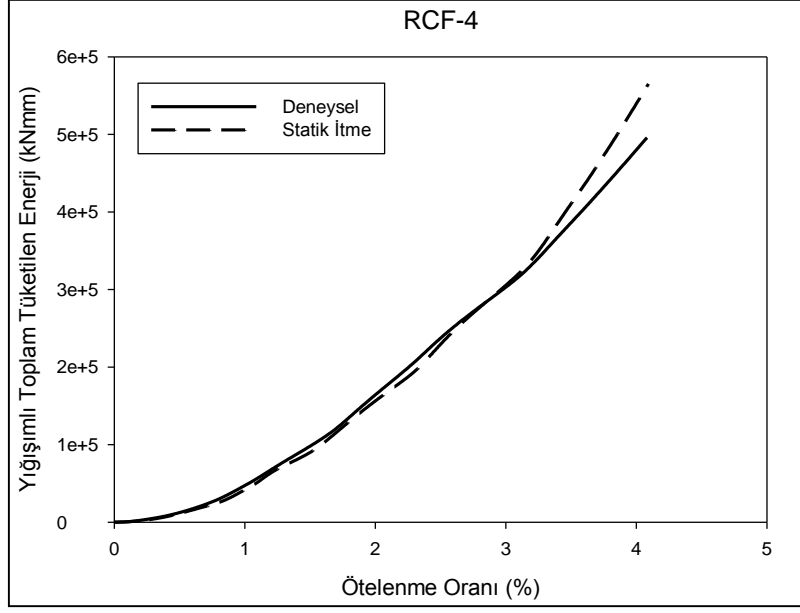
eşdeğer bir basınç çubuğu ile temsil edilmesinden kaynaklandığı düşünülmektedir. Rijitlik değerleri RCF-1 çerçevesine benzer şekilde yaklaşık %1.00'lik ötelenme oranında dengelenmektedir.

4.2.6. Geleneksel Betonla Üretilen Tuğla Dolgu Duvarlı Deprem Kumaşlı Çerçevenin Deneysel ve Statik İtme Çözümleme Bulgularının İrdelenmesi

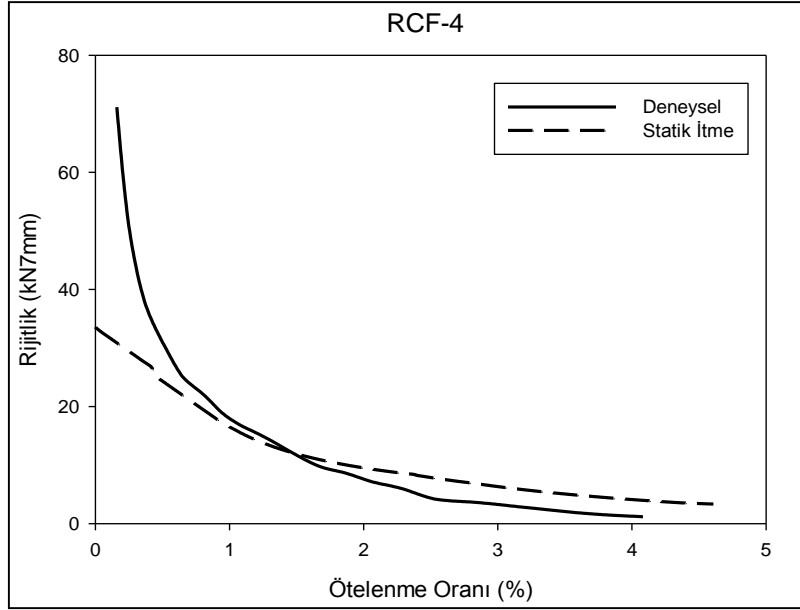
Geleneksel betonla üretilen deprem kumaşlı tuğla dolgu duvarlı ve deprem kumaşlı RCF-4 çerçevesinin çevrimsel düzlem içi yüklemelerinden ve statik itme çözümlemesinden elde edilen dayanımlarına ilişkin zarf eğrileri Şekil 4.24'de verilmektedir. Şekilden de görüldüğü gibi, deneysel olarak elde edilen maksimum yük 410.710 kN ve statik itme çözümlemesinden elde edilen ise 429.485 kN değerindedir. Bu bulgu, deneysel ve teorik sonuçların birbiriyle oldukça yakın değerler verdiğini göstermektedir. Aşağıdaki Şekil 4.25'den, RCF-4 çerçevesinin yığışimli olarak tükettiği toplam enerjinin deneysel ve teorik değerlerinin sırasıyla 495843 kNmm ve 564952 kNmm olduğu görülmektedir. Deneysel ve teorik yığışimli toplam tüketilen enerji değerlerinin birbirine çok yakın olduğu görülmektedir.



Şekil 4.24. RCF-4 çerçevesinin düzlem içi çevrimsel yük etkisindeki deneyinden ve statik itme çözümlemesinden elde edilen dayanım zarf eğrileri



Şekil 4.25. RCF-4 çerçevesinin düzlem içi çevrimsel yük etkisindeki deneyinden ve statik itme çözümlerinden elde edilen enerji tüketme eğrileri



Şekil 4.26. RCF-4 çerçevesinin düzlem içi çevrimsel yük etkisindeki deneyinden ve statik itme çözümlerinden elde edilen rijitliklerinin ötelenme oranıyla değişim eğrileri

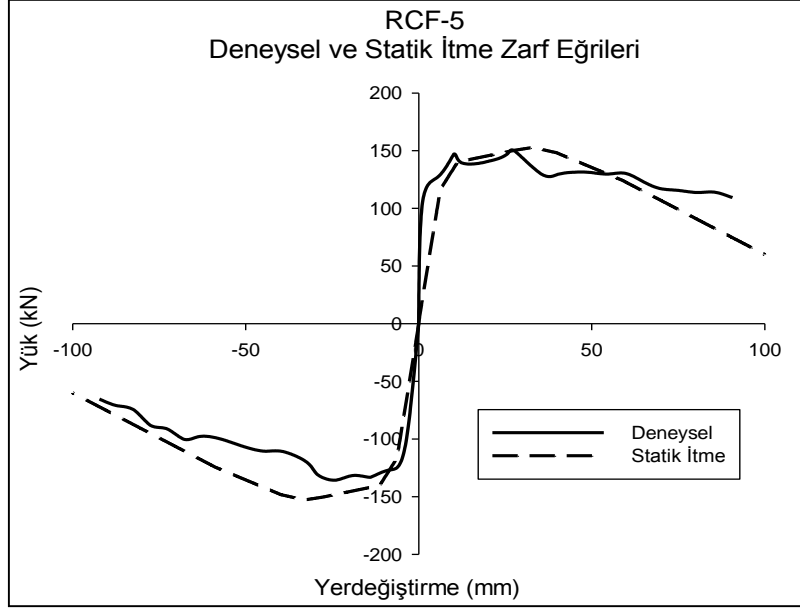
RCF-4 çerçevesinin deneysel ve teorik olarak elde edilenden başlangıç rijitliklerinin sırasıyla 71.13 kN/mm ve 33.56 kN/mm olduğu Şekil 4.26'dan görülmektedir. Başlangıç rijitlikler arasındaki bu fark, RCF-2 çerçevesinde olduğu gibi deneysel olarak deprem

kumaşının çerçeve elemanlarını da kapsayacak şekilde tuğla dolgu duvarın tamamına uygulanması, teorik olarak deprem kumaşının katkısının ise basınç bloğunun genişliği kadar elastisite modülü ve basınç dayanımına yansıtılmasından kaynaklanmaktadır. Elde edilen rijitlik değerleri yaklaşık olarak %1.50'lük ötelenme oranında örtüşmektedir.

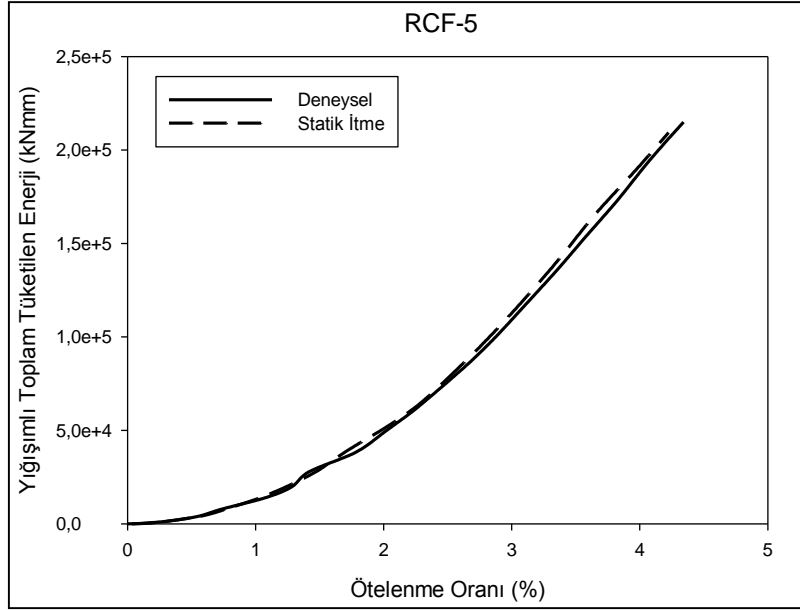
4.2.7. Geleneksel Betonla Üretilen Gaz Beton Dolgu Duvarlı Çerçevenin Deneysel ve Statik İtme Çözümleme Bulgularının İrdelenmesi

Geleneksel betonla üretilen gaz beton dolgu duvarlı RCF-5 çerçevesinin çevrimsel düzlem içi yüklemelerinden ve statik itme çözümlemesinden elde edilen dayanımlarına ilişkin zarf eğrileri Şekil 4.27'de verilmektedir. Şekilden de görüldüğü gibi, deneysel olarak elde edilen maksimum yük 148.941 kN ve statik itme çözümlemesinden elde edilen ise 152.854 kN olarak belirlenmiştir. Deneysel olarak elde edilen taşıma kapasitesi, teorik olarak elde edilenden sadece %2.6 daha azdır. Bu bulgu, deneysel ve teorik sonuçların birbiriyle oldukça yakın değerler verdiğini göstermektedir. Bunun yanında, bu yük değerlerine karşılık gelen yerdeğiştirmelerin de birbirine yakın elde edilmiştir. Bu sonuçlar RCF-5 çerçevesinin RCF-3 ve RCF-1'e göre teorik açıdan daha iyi temsil edildiğini göstermektedir. Zira tuğla dolgu duvarın daha küçük ve fazla elemanlardan oluşması, buna bağlı olarak derzler arasındaki bağlantıların fazla oluşu modelin temsilini zorlaştırmaktadır. Gaz beton dolgu duvarlı çerçevelerde ise beton blokların büyük olması ve derzlerde kullanılan özel harç sebebiyle boşlukların ve bağlantı noktalarının az olması teorik olarak daha iyi temsil edildiğini göstermektedir.

Aşağıdaki Şekil 4.28'den, RCF-5 çerçevesinin yığılımlı olarak tükettiği toplam enerjinin deneysel ve teorik değerlerinin sırasıyla 214950 kNmm ve 209329 kNmm olduğu görülmektedir. Teorik olarak tüketilen enerji, deneysel olarak tüketilenden %2.7 daha azdır. Aşağıdaki Şekil 4.28'den de görüldüğü gibi RCF-5 çerçevesinin deneysel ve teorik olarak tükettikleri enerji birbirlerine çok yakındır.



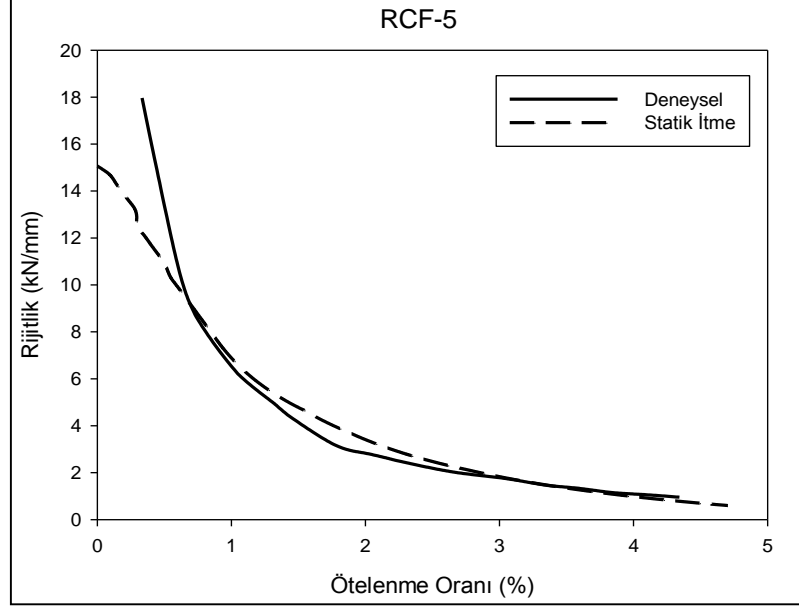
Şekil 4.27. RCF-5 çerçevesinin düzlem içi çevrimsel yük etkisindeki deneyinden ve statik itme çözümlemesinden elde edilen dayanım zarf eğrileri



Şekil 4.28. RCF-5 çerçevesinin düzlem içi çevrimsel yük etkisindeki deneyinden ve statik itme çözümlemesinden elde edilen enerji tüketme eğrileri

Aşağıdaki Şekil 4.29'da, deneysel ve teorik başlangıç rijitliklerinin sırasıyla 17.97 kN/mm ve 15.06 kN/mm olduğu görülmektedir. Başlangıç rijitlikleri birbirine oldukça yakındır. Bu durumun dolgu duvarda kullanılan gaz beton malzemesinin elastisite

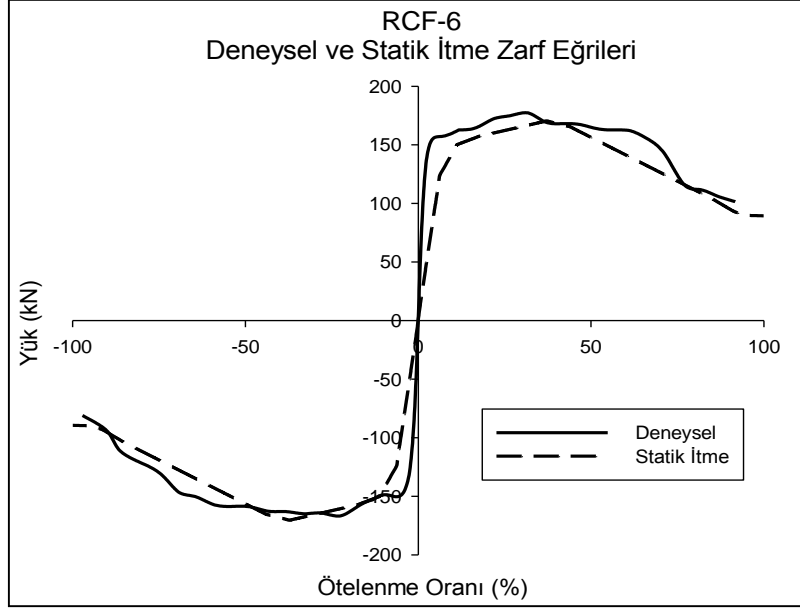
modülünün ve duvarın rijitliğinin tuğla dolgu duvarlı duvara göre daha az olmasından, dolayısıyla eşdeğer basınç çubuğuyla tuğla dolgu duvarlı çerçevelere göre daha iyi temsil edilmesinden kaynaklandığı düşünülmektedir.



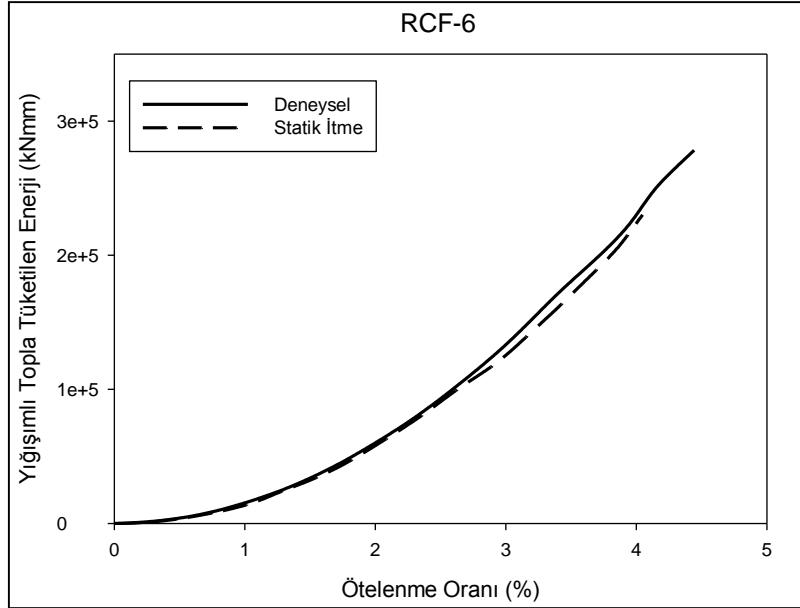
Şekil 4.29. RCF-5 çerçevesinin düzlem içi çevrimsel yük etkisindeki deneysel ve statik itme çözümlerinden elde edilen rijitliklerinin ötelenme oranıyla değişim eğrileri

4.2.8. Geleneksel Betonla Üretilen Gaz Beton Dolgu Duvarlı Deprem Kumaşlı Çerçevenin Deneysel ve Statik İtme Çözümleme Bulgularının İrdelenmesi

Geleneksel betonla üretilen gaz beton dolgu duvarlı deprem kumaşlı RCF-6 çerçevesinin çevrimsel düzlem içi yüklemelerinden ve statik itme çözümlerinden elde edilen dayanımlarına ilişkin zarf eğrileri Şekil 4.30'da verilmektedir. Şekilden de görüldüğü gibi, deneysel olarak elde edilen maksimum yük 177.221 kN ve statik itme çözümlerinden elde edilen ise 170.459 kN olarak belirlenmiştir. Deneysel olarak elde edilen taşıma kapasitesi, teorik olarak elde edilenden %4 daha büyüktür. Deneysel ve teorik olarak elde edilen taşıma kapasiteleri birbirlerine çok yakın olduğu gibi, bu yük değerlerine karşılık gelen yerdeğiştirme değerleri de RCF-5 çerçevesindeki olduğu gibi uyumlu elde edilmiştir. Bu sonuçlar RCF-6 çerçevesinin RCF-4 ve RCF-2'ye göre teorik açıdan daha iyi temsil edildiğini göstermektedir.



Şekil 4.30. RCF-6 çerçevesinin düzlem içi çevrimsel yük etkisindeki deneyinden ve statik itme çözümlemesinden elde edilen dayanım zarf eğrileri

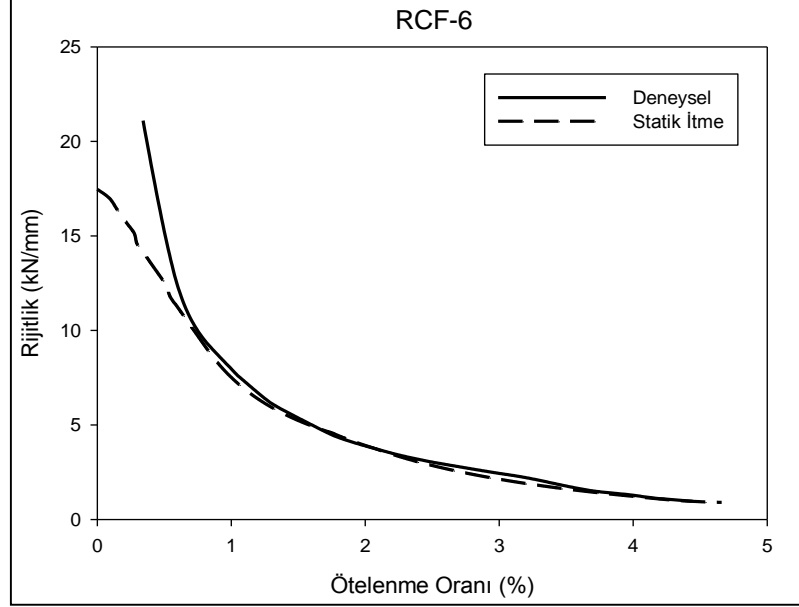


Şekil 4.31. RCF-6 çerçevesinin düzlem içi çevrimsel yük etkisindeki deneyinden ve statik itme çözümlemesinden elde edilen enerji tüketme eğrileri

RCF-6 çerçevesinin yığılımlı olarak tükettiği toplam enerjinin deneysel ve teorik değerlerinin sırasıyla 278240 kNmm ve 230135 kNmm olduğu Şekil 4.31'den

görülmektedir. Şekilden de görüldüğü gibi RCF-6 çerçevesinin deneysel ve teorik olarak tükettikleri enerji birbirlerine çok yakındır.

Aşağıdaki Şekil 4.32’de, deneysel ve teorik başlangıç rijitliklerinin sırasıyla 21.10 kN/mm ve 17.47 kN/mm olduğu görülmektedir. Başlangıç rijitlikleri birbirine oldukça yakındır.



Şekil 4.32. RCF-6 çerçevesinin düzlem içi çevrimsel yük etkisindeki deneysel ve statik itme çözümlerinden elde edilen rijitliklerinin ötelenme oranıyla değişim eğrileri

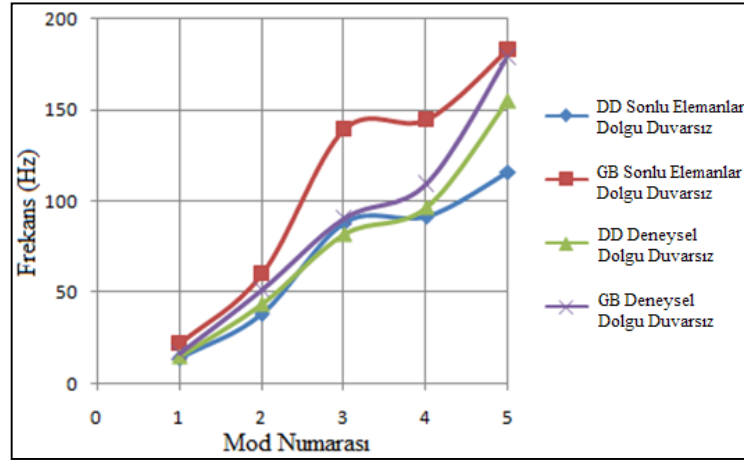
4.3. Sonlu Elemanlar ve Deneysel Modal Çözümleme Bulgularının Karşılaştırılmalı Olarak İrdelenmesi ve Model İyileştirilmesi

Düşük dayanımlı ve geleneksel betonla üretilen dolgu duvarsız ve tuğla dolgu duvarlı çerçevelerin sonlu elemanlar ve çevresel titreşimleri kullanan deneysel modal çözümleme yöntemiyle elde edilen doğal frekanslar Çizelge 4.6’da verilmektedir. Çizelgeden de görüldüğü gibi, geleneksel betonla üretilen dolgu duvarsız ve tuğla dolgu duvarlı çerçevelerin deneysel ve teorik doğal frekans değerleri düşük dayanımlı betonla üretilenlerinkinden daha yüksektir. Bu durum, geleneksel betonla üretilen çerçevelerin rijitliklerinin daha yüksek olmasından kaynaklandığını düşündürmektedir. Zira geleneksel betonun elastisite modülünün eğilme rijitliğini artırması bu düşüncüyü doğrulamaktadır. Düşük dayanımlı ve geleneksel betonla üretilen dolgu duvarsız çerçevelerin sonlu

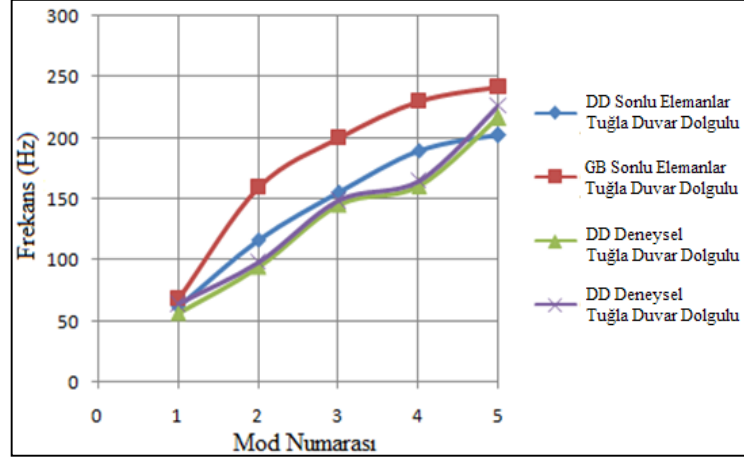
elemanlar ve çevresel titreşim yöntemiyle elde edilmiş doğal frekanslarının değişimi Şekil 4.33 'de, tuğla dolgu duvarlı çerçevelerinki ise Şekil 4.34'de verilmektedir.

Çizelge 4.6. Düşük dayanımlı ve geleneksel betonla üretilen dolgu duvarsız ve tuğla dolgu duvarlı çerçevelerin sonlu elemanlar ve çevresel titreşim yöntemiyle elde edilen doğal frekansları

Modlar	Doğal Frekanslar (Hz)							
	Sonlu Eleman Çözümlemesi				Deneysel Modal Çözümleme			
	Düşük Dayanımlı Betonlu		Geleneksel Betonlu		Düşük Dayanımlı Betonlu		Geleneksel Betonlu	
	Dolgu duvarsız	Tuğla dolgu duvarlı	Dolgu duvarsız	Tuğla dolgu duvarlı	Dolgu duvarsız	Tuğla dolgu duvarlı	Dolgu duvarsız	Tuğla dolgu duvarlı
1	13.84	62.22	21.84	67.92	14.99	56.57	16.64	63.56
2	38.09	116.20	60.08	159.91	43.71	94.12	51.52	98.21
3	88.35	155.44	139.38	200.31	82.37	145.50	90.94	148.55
4	91.78	189.81	144.80	230.51	96.91	160.50	109.50	165.26
5	116.17	202.20	183.27	242.07	155.20	216.30	179.20	226.12



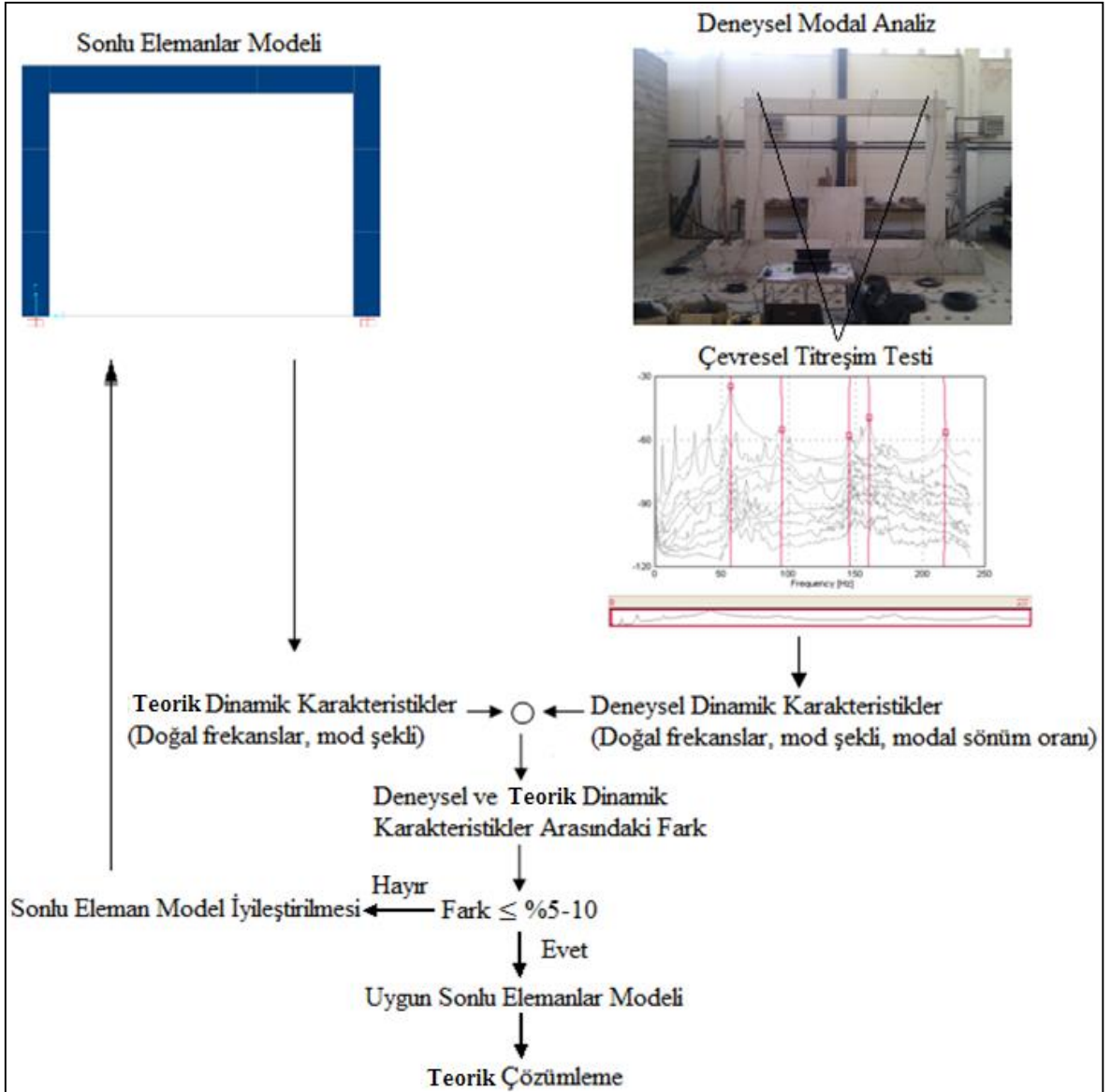
Şekil 4.33. Düşük dayanımlı ve geleneksel betonla üretilen dolgu duvarsız çerçevelerin sonlu elemanlar ve çevresel titreşimleri kullanan deneysel modal çözümleme yöntemiyle elde edilen doğal frekanslarının değişimi



Şekil 4.34. Düşük dayanımlı ve geleneksel betonla üretilen tuğla dolgu duvarlı çerçevelerin sonlu elemanlar ve çevresel titreşimleri kullanan deneysel modal çözümlene yöntemiyle elde edilen doğal frekanslarının değişimi

Yukarıdaki, Çizelge 4.6, Şekil 4.33 ve Şekil 4.34'den de görüldüğü gibi, sonlu elemanlar yöntemiyle elde edilen frekans değerleri ile çevresel titreşimleri kullanan deneysel modal çözümlene yöntemiyle elde edilen frekans değerleri arasında farklılıklar bulunmaktadır. Bu farkın çerçeve geometrisi, malzeme özellikleri ve sınır koşullarıyla, çerçeve sonlu eleman modeli arasındaki farklılardan kaynaklandığı düşünülmektedir. Bu nedenle sonlu elemanlar modellerinin, sınır koşulları ve malzeme özellikleri değiştirilerek, modellerin gerçek çerçeveyi temsil etmesine çalışılmıştır. Bu işlem sonlu elemanlar model iyileştirmesi olarak adlandırılmaktadır. Bu iyileştirme elle ya da özel olarak düzenlenmiş yazılımlarla gerçekleştirilmektedir. Elle iyileştirmede geometri ve modelleme parametreleri, mühendislik önsezisini de kullanarak, deneme yanılma yoluyla gerçekleştirilmektedir. Sonlu eleman model iyileştirmesinde bilinmesi gereken en önemli hususlardan biri, doğruluğu hakkında kesine yakın bir bilgi sahibi olduğumuz parametreleri iyileştirmede kullanmamaktır. Diğer bir deyişle iyileştirme, belirsiz olan parametrelerin kabul edilebilir sınırlar içerisinde değiştirilmesiyle gerçekleştirilmektedir. Model iyileştirmeye ilişkin akış şeması Şekil 4.35'de verilmektedir. Bu çalışmada, sonlu elemanlar modeli elle, bazı malzeme özellikleri ve sınır koşullarını değiştirmek suretiyle, deneysel ölçümlerle elde edilen değerler arasındaki fark en aza indirilmeye çalışılmıştır. Bu amaçla, düşük dayanımlı betonla üretilen çerçevenin model iyileştirmesinde, mesnetlerde sınır koşulu olarak ankastre mesnet yerine rijitlikleri; X eksenini doğrultusundaki yerdeğiştirme için $0.8E9N/m$, Y eksenini etrafındaki dönme için ve Z eksenini

doğrultusundaki yerdeğiştirme için ise $6E9N/m$ olan yay elemanlar kullanılmıştır. Geleneksel betonla üretilen çerçevede rijitlik değerleri ise X eksenı doğrultusunda $1.2E9N/m$, Y eksenı etrafındaki ve Z eksenı doğrultusunda $6E9N/m$ olarak seçilmiştir. Düşük dayanımlı ve geleneksel betonlu dolgu duvarsız ve tuğla dolgu duvarlı çerçevelerin malzeme özelliklerinde iyileştirme amacıyla yapılan değişiklikler Çizelge 4.7'de verilmektedir.

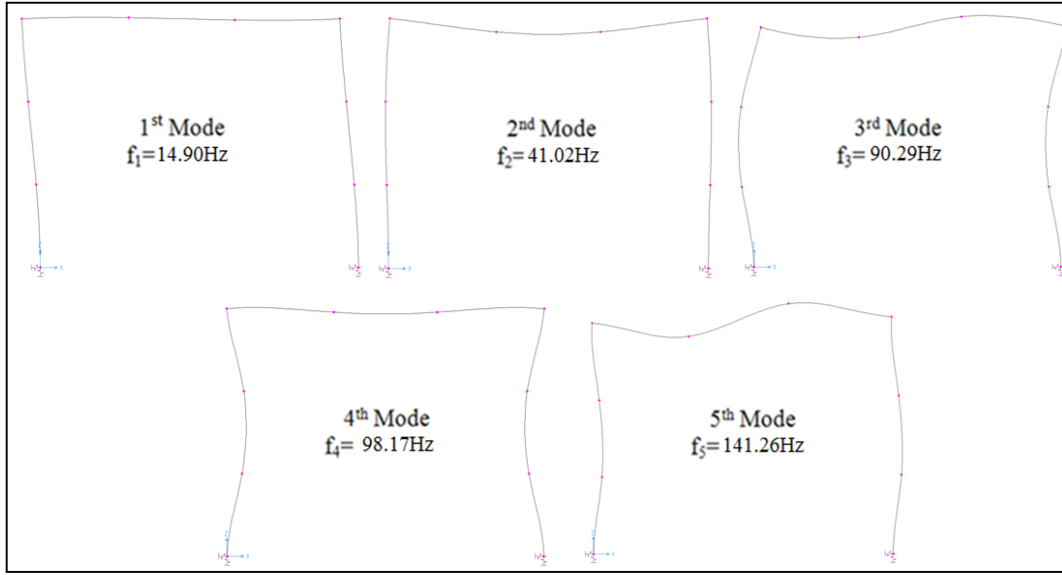


Şekil 4.35. Sonlu elemanlar model iyileştirilmesinde kullanılan akış şeması

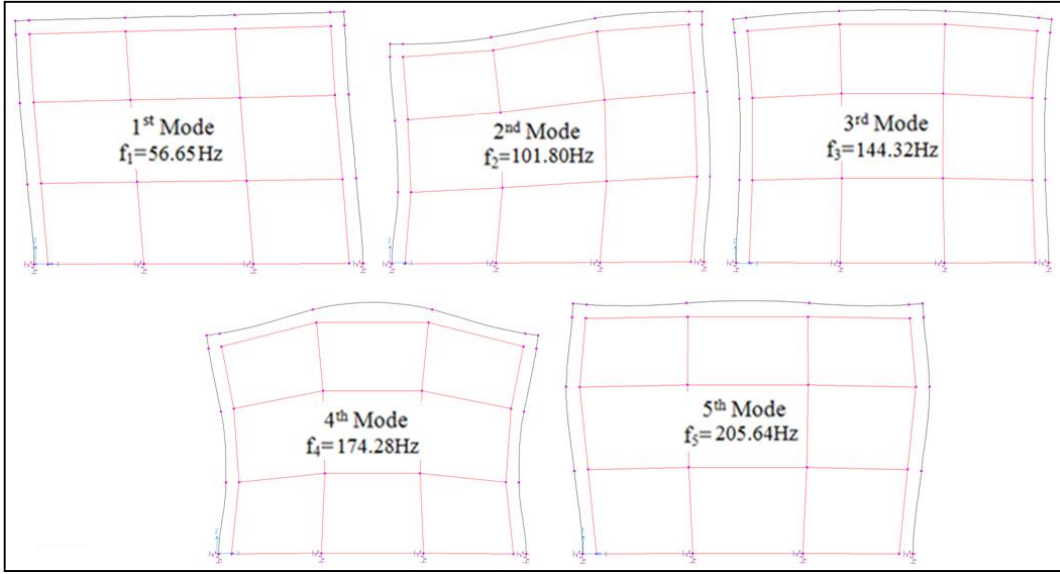
Çizelge 4.7. Sonlu elemanlar modelinde iyileştirmeden önce ve iyileştirmeden sonra kullanılan malzeme özellikleri

Beton Türü	Kesit Özellikleri	Sonlu Eleman Model İyileştirmesinden Önce		Sonlu Eleman Model İyileştirmesinden Sonra	
		Elastisite Modülü (N/m ²)	Birim Ağırlık (daN/m ³)	Elastisite Modülü (N/m ²)	Birim Ağırlık (daN/m ³)
Düşük Dayanımlı Betonlu Çerçeve	Donatı	2.000E11	7,900	2.000E11	7,900
	Beton	1.125E10	2,400	1.325E10	2,420
	Dolgu Duvar	2.000E9	600	2.125E9	700
Geleneksel Betonlu Çerçeve	Donatı	2.000E11	7,900	2.000E11	7,900
	Beton	2.800E10	2,383	2.300E10	2,345
	Dolgu Duvar	2.000E9	600	1.825E9	560

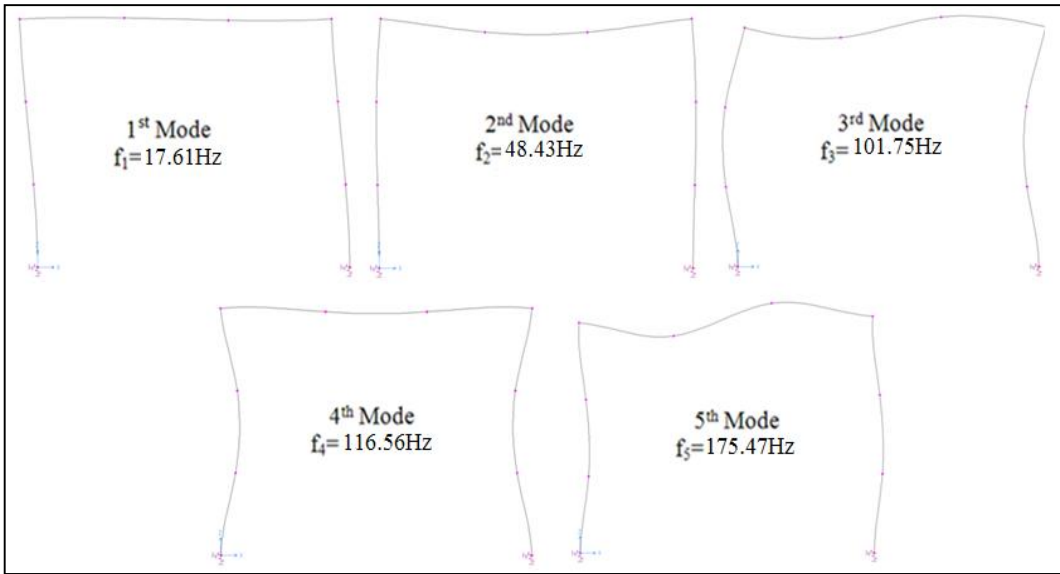
Düşük dayanımlı ve geleneksel betonla üretilen dolgu duvarsız ve tuğla dolgu duvarlı çerçevelerin sonlu elemanlar model iyileştirmesi sonrası mod şekilleri sırasıyla Şekil 4.36, 4.37, 4.38, 4.39'da, frekans değerleri ise Çizelge 4.8'de verilmektedir.



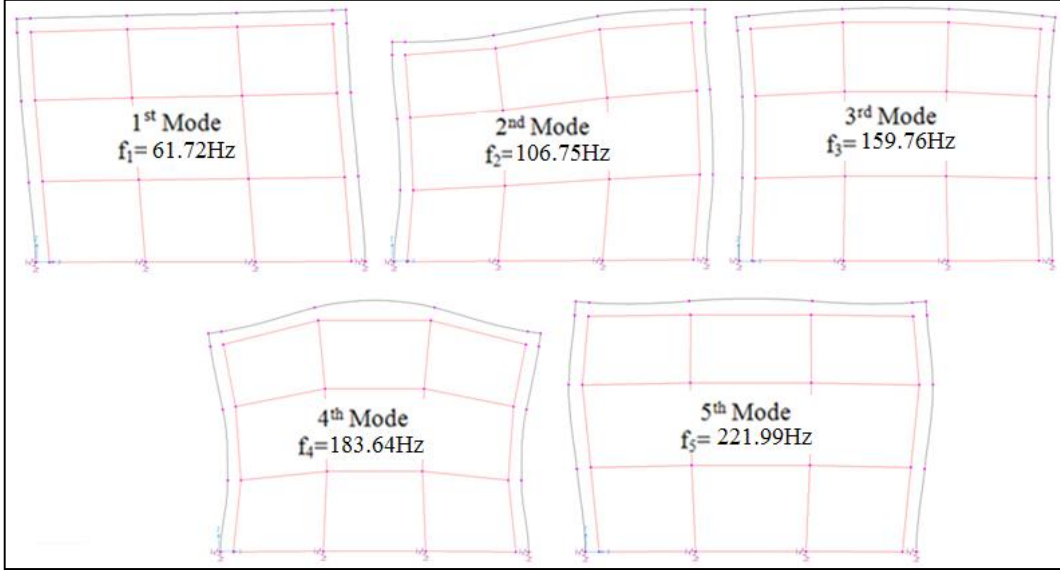
Şekil 4.36. Düşük dayanımlı betonla üretilen dolgu duvarsız çerçevenin model iyileştirilmesinden sonra elde edilen mod şekilleri



Şekil 4.37. Düşük dayanımlı betonla üretilen tuğla dolgu duvarlı çerçevenin model iyileştirilmesinden sonra elde edilen mod şekilleri



Şekil 4.38. Geleneksel betonla üretilen dolgu duvarsız çerçevenin model iyileştirilmesinden sonra elde edilen mod şekilleri

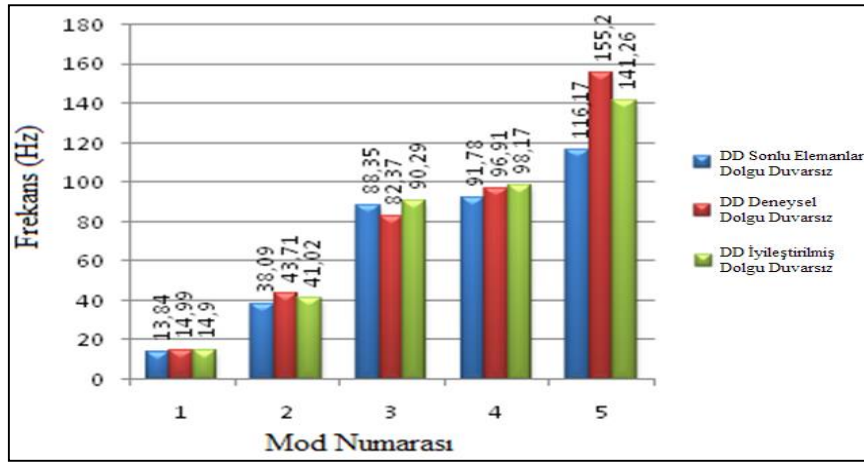


Şekil 4.39. Geleneksel betonla üretilen tuğla dolgu duvarlı çerçevenin model iyileştirilmesinden sonra elde edilen mod şekilleri

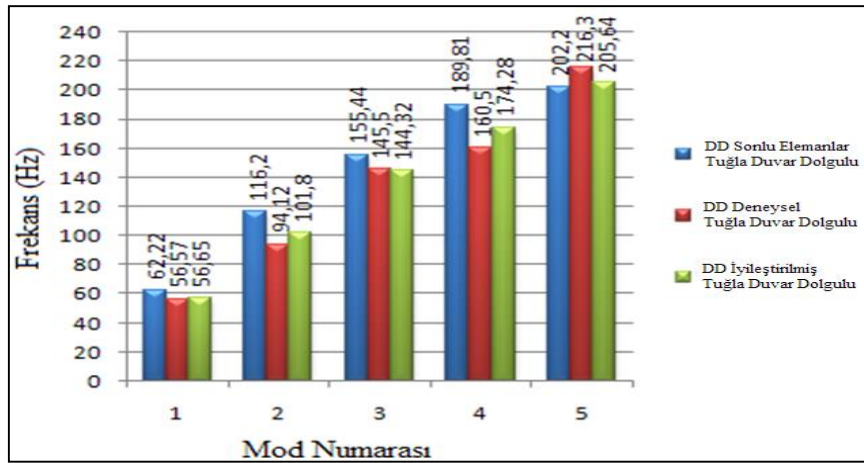
Çizelge 4.8. Düşük dayanımlı ve geleneksel betonla üretilen çerçevelerin model iyileştirilmesinden sonra elde edilen frekans değerleri

Beton Türü	Eleman	Sayısal (Hz)	İyileştirilmiş Sayısal (Hz)	Deneysel (Hz)	Deneysel/Sayısal	Deneysel/İyileştirilmiş Sayısal
Düşük Dayanımlı Beton	Dolgu duvarsız Çerçeve	13.84	14.90	14.99	1.08	1.01
		38.09	41.02	43.71	1.14	1.06
		88.35	90.29	82.37	0.93	0.92
		91.78	98.17	96.91	1.05	0.99
		116.17	141.26	155.20	1.34	1.09
	Tuğla dolgu duvarlı Çerçeve	62.22	56.65	56.57	0.91	1.00
		116.20	101.80	94.12	0.81	0.92
		155.44	144.32	145.50	0.94	1.01
		189.81	174.28	160.50	0.85	0.92
		202.20	205.64	216.30	1.07	1.05
Geleneksel Beton	Dolgu duvarsız Çerçeve	21.84	17.61	16.64	0.76	0.94
		60.08	48.43	51.52	0.86	1.06
		139.38	101.75	90.94	0.65	0.90
		144.80	116.56	109.50	0.76	0.94
		183.27	175.47	179.20	0.98	1.02
	Tuğla dolgu duvarlı Çerçeve	67.92	61.72	63.56	0.94	1.03
		159.91	106.75	98.21	0.61	0.92
		200.31	159.76	148.55	0.74	0.93
		230.51	183.64	165.26	0.71	0.90
		242.07	221.99	226.12	0.93	1.02

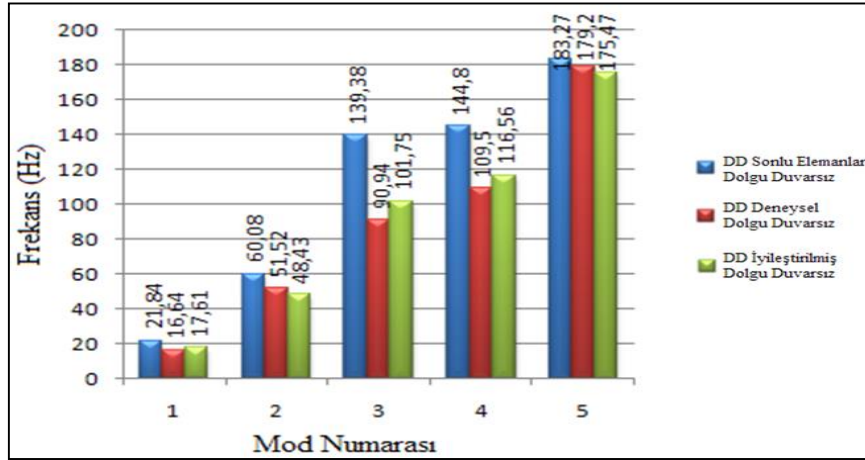
Bulguların özetlendiği Çizelge 4.8'den de görüldüğü gibi malzeme özellikleri ve sınır koşulları iyi bilinmeyen parametrelerin değiştirilmesiyle elde edilen iyileştirme, sonlu elemanlar ve deneysel veriler arasındaki farkı kabul edilebilir sınırlara getirmiştir. Öyle ki düşük dayanımlı betonla üretilen çerçeveden alınan ölçümlerde doğal frekanslardaki maksimum fark %34'den %9'a, geleneksel betonla üretilende ise %34'den %8'e düşmüştür. Çerçevelerin, sonlu elemanlar modelinden, deneysel ölçümlerden ve model iyileştirilmesinden sonra sonlu eleman modelinden elde edilen frekans değerleri Şekil 4.40, 4.41, 4.42 ve 4.43'de verilmektedir.



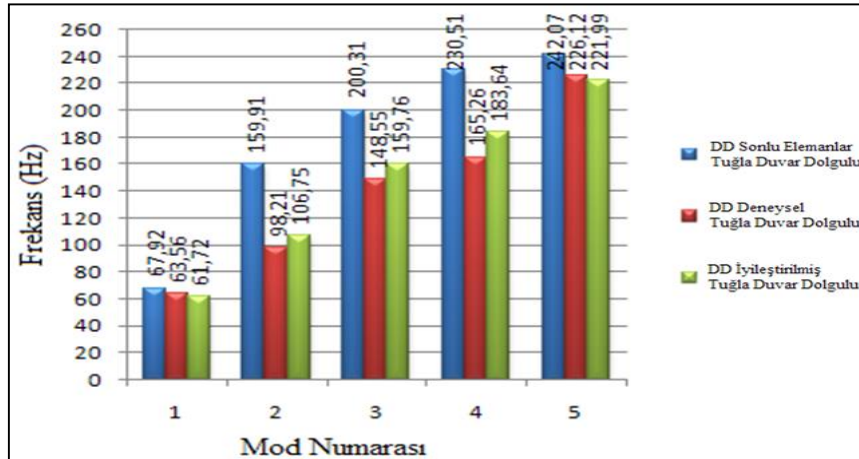
Şekil 4.40. Düşük dayanımlı betonla üretilen dolgu duvarsız çerçevenin sonlu elemanlar modelinden, deneysel ölçümlerden ve model iyileştirilmesinden sonra elde edilen frekans değerleri



Şekil 4.41. Düşük dayanımlı betonla üretilen tuğla dolgu duvarlı çerçevenin sonlu elemanlar modelinden, deneysel ölçümlerden ve model iyileştirilmesinden sonra elde edilen frekans değerleri



Şekil 4.42. Geleneksel betonla üretilen dolgu duvarsız çerçevenin sonlu elemanlar modelinden, deneysel ölçümlerden ve model iyileştirilmesinden sonra elde edilen frekans değerleri



Şekil 4.43. Geleneksel betonla üretilen tuğla dolgu duvarlı çerçevenin sonlu elemanlar modelinden, deneysel ölçümlerden ve model iyileştirilmesinden sonra elde edilen frekans değerleri

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu çalışmanın temel amacı, geleneksel ve düşük dayanımlı betonlarla üretilen deprem kumaşıyla (cam lifli polimer) güçlendirilen, yatay çevrimsel yük etkisinde dolgu duvarsız ve dolgu duvarlı betonarme çerçevelerin düzlem içi ve düzlem dışı davranışlarının deneysel ve teorik olarak incelenmesiydi.

Bu amaçla çalışmanın birinci bölümünde, yapıların davranışlarını etkileyen parametreler, başarımları ve kesit hasar sınırları, yapıların dinamik özelliklerinin belirlenmesinde kullanılan deneysel modal çözümleme yöntemi, dolgu duvarlı çerçeveler ve bunların yapısal çözümlenmeleri ile onarım ve güçlendirmede kullanılan bazı teknikler ve dolgu duvarlı çerçeveler konusunda daha önce gerçekleştirilmiş bazı çalışmalar üzerinde durulmuştur.

İkinci bölümde, deneylerde kullanılan malzemelerin bazı özellikleri, deney çerçeveleri, deney düzeneği, ölçü aygıtları ve deneylerin yapılışına ve gerçekleştirilen teorik çalışmalara ayrılmıştır. Elde edilen deneysel ve teorik bulgular üçüncü bölümde verilmekte ve bunlar dördüncü bölümde irdelenmektedir.

Çalışmanın bütününden çıkarılabilecek başlıca sonuç ve öneriler aşağıda özetlenmektedir.

- ✓ Geleneksel ve düşük dayanımlı betonla üretilen dolgu duvarlı düzlem içi çevrimsel yatay yük etkisindeki deney çerçevelerinin güçlendirilmesinde kullanılan deprem kumaşının çerçevelerin, taşıma kapasitesi, enerji tüketme kapasitesini ve yerdeğiştirme sünekliğini önemli ölçüde artırmaktadır. Diğer taraftan, deprem kumaşının yatay yük etkisinde, dolgu duvarın dağılmasını önlemektedir. Bu durum depremden dolayı can ve mal kayıplarının azalacağına da işaret etmektedir.
- ✓ Düzlem içi davranışı incelenen çerçevelerin, taşıma kapasiteleri, enerji tüketme kapasiteleri ve başlangıç rijitlikleri bakımından en iyi davranışı RCF-4 çerçevesi göstermektedir. Öyle ki, RCF-4 çerçevesinin taşıma kapasitesi diğer çerçevelerden en az %24, en çok %760 daha fazla, enerji tüketme kapasitesi en az %28, en çok %1165 daha fazla ve başlangıç rijitliği diğer çerçevelerin en az 1.30 en çok 56 katıdır.
- ✓ Düşük dayanımlı betonla üretilen tuğla dolgu duvarlı deprem kumaşsız RCF-1 ve deprem kumaşlı RCF-2 çerçevelerinin taşıma kapasiteleri geleneksel betonla üretilen

gaz beton dolgu duvarlı çerçevelerinkinden en az %21 en çok %122 daha büyük olmaktadır. Bu durum, çerçevelerin davranışlarını, beton ve donatının özelliklerinin yanında, dolgu duvarda kullanılan malzemelerin özelliklerinin de etkilediğini göstermektedir.

- ✓ Geleneksel betonla üretilen gaz beton dolgu duvarlı ve deprem kumaşlı RCF-6 çerçevesinin yerdeğiştirme sünekliği diğerlerinden daha büyük olmaktadır.
- ✓ Deney çerçevelerinin tümünün çevrimsel yatay yükler altındaki davranışları pratik olarak simetrik olmaktadır.
- ✓ RCF-1 ve RCF-3 çerçeveleri taşıma kapasitelerini, dolgu duvarlar köşelerinden ezilmesiyle kaybetmektedir.
- ✓ Deprem kumaşlı ve deprem kumaşsız dolgu duvarlar, taşıma güçlerini kaybedene kadar çerçevelerin yük taşıma ve enerji tüketme kapasitelerine, yerdeğiştirme sünekliğine katkı sağlamaktadır. Öyle ki, bunların deney sonunda dolgu duvarları kırılarak parçalanmakta ancak deprem kumaş sayesinde dağılmamakta ve böylece sistemin sönüm oranını artırmaktadır.
- ✓ Düzlem dışı davranışları incelen DDÇ-1, DDÇ-2 ve DDÇ-3 çerçeve deneylerinden elde edilen bulguların irdelenmesi deprem kumaşının bunların düzlem dışı taşıma kapasitesine etkisinin olmadığına işaret etmektedir. Bu çerçevelerin hepsi, taşıma kapasitesine kolon-temel birleşim bölgelerinde mafsallaşmayla ulaşmaktadır.
- ✓ Düzlem içi yüklenen çerçevelerinin, deneysel ve statik itme çözümlemesiyle elde edilen taşıma kapasiteleri pratik olarak birbiriyle örtüşmektedir.
- ✓ Dolgu duvarlı çerçevelerin deneysel başlangıç rijitlikleri statik itme çözümlemesiyle elde edilen başlangıç rijitliklerinden daha büyük olmaktadır. Bu durum, statik itme çözümlemesinde dolgu duvarın eşdeğer bir basınç çubuğu ile temsil edilmesine atfedilebilmektedir.
- ✓ Taşıma kapasitesi, enerji tüketme ve başlangıç rijitliği yönünden gaz beton dolgu duvarlı RCF-5 ve RCF-6 çerçevelerinin deneysel ve statik itme çözümlenmeleri birbirine en yakın değerleri vermektedir. Bu durum, gaz beton dolgu duvarlı çerçevelerde bağlantı noktalarının daha az oluşuyla modellenmenin daha gerçekçi olarak yapıldığıyla açıklanabilmektedir.
- ✓ Geleneksel betonla üretilen dolgu duvarsız ve dolgu duvarlı çerçevelerin çevresel titreşimleri kullanan deneysel modal çözümlemeyle ve sonlu elemanlar yöntemiyle teorik olarak elde edilen doğal frekans değerleri düşük dayanımlı betonla

üretilemlerinkinden daha yüksek olmaktadır. Bu durum, geleneksel betonla üretilen çerçevelerin rijitliklerinin daha büyük olmasıyla açıklanabilmektedir.

- ✓ Düşük dayanımlı ve geleneksel betonla üretilen dolgu duvarsız ve dolgu duvarlı çerçevelerin sonlu elemanlar yöntemiyle teorik olarak ve çevresel titreşimleri kullanan deneysel modal çözümlemeyle deneysel olarak elde edilen frekans değerleri ve mod şekilleri birbirinden farklı olmaktadır. Bu farkın bir taraftan; gerçek çerçeve geometrisi, malzeme özellikleri ve sınır koşullarıyla diğer taraftan serbestlik derecesinin sonlu eleman modelinkinden farklı oluşuyla açıklanabilmektedir. Bu nedenle sonlu eleman modellerinin, sınır koşulları ve malzeme özellikleri uygun düzeyde değiştirilerek, model davranışının gerçek çerçeve davranışına yaklaşması sağlanmıştır.
- ✓ Dolgu duvarlı ve dolgu duvarsız çerçevelerden, çevresel titreşimleri kullanan deneysel modal çözümlemeyle elde edilen doğal frekanslarla, iyileştirmeden soradaki fark düşük dayanımlı betonla üretilen çerçevelerde %34'den %9'a, geleneksel betonla üretilen çerçevelerde ise %35'den %8'e düşmüştür.

Özetle, deprem kumaşı düzlem içi çevrimsel yatay yük etkisindeki, dolgu duvar malzemesine göre değişmekle beraber, dolgu duvarlı betonarme çerçevelerin, taşıma güçlerini, enerji yutma kapasitelerini, yerdeğiştirme sünekliklerini ve başlangıç rijitliklerini göz ardı edilemeyecek derecede artırmaktadır. Ancak, bu çerçevelerin sadece düzlem dışı çevrimsel yatay yük etkisinde kalmaları durumunda, deprem kumaşı çerçeve davranışında dikkate alınabilecek bir katkı yapamamaktadır. Ne var ki, bu sonuçlar çalışmaya konu olan deney çerçeveleri, yükleme şekilleri ve diğer çalışma koşulları için geçerlidir. Dolayısıyla bu sonuçları genellemeden önce, benzer çalışmaların daha farklı dolgu duvarlı çerçeveler ve yükleme şekilleri altında deneysel ve teorik olarak incelenmesinde yarar bulunmaktadır. Bu hususlar çalışmamızın bundan sonraki devamını sağlayabilecektir.

6. KAYNAKLAR

- ACI 530-95, 1999. Building Code Requirements for Masonry Structures. ASCE 5-95, Washington D.C..
- Altunışık, A. C., 2010. Karayolu Köprülerinin Yapısal Davranışlarının Analitik ve deneysel Yöntemlerle Belirlenmesi, Doktora Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.
- Altın, S., 1990. Strengthening of Reinforced Concrete Frames with Reinforced Concrete Infills, Doktora Tezi, Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Altın, S., Anıl, Ö., Kara, M. E. ve Kaya. M., 2008. An Experimental Study on Strengthening of Masonary Infilled RC Frames Using Diagonal CFRP Strips, Composites, Part B: Engineering, 39, 680-693.
- Altın, S., Anıl, Ö. ve Kara, M. E., 2008. Strengthening of RC Nonductile Frames with RC Infills: An Experimental Study, Cement & Concrete Composites, 30, 612–621.
- Anıl, Ö. ve Altın, S., 2006. An experimental study on reinforced concrete partially infilled frames, Engineering Structures, 29, 449–460.
- Atay, H., 2010. Depremde Hasar Görmüş Yapıların Güçlendirme Yöntemleri ve Güçlendirmede Kullanılan Malzemeler, Yüksel Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya.
- Babayev Z., Eyyubov C., Murat İ. ve Askerov C., 2002. Kireç Taşıyla Yapılmış Taşıyıcı Duvarların Düşey ve Yatay Yüklerin Etkisi Altındaki Davranışının Araştırılması. ACE Beşinci Uluslararası İnşaat Mühendisliğinde Gelişmeler Kongresi, İTÜ, İstanbul.
- Bağcı , M., 2003. Yatay Yükler Etkisindeki Dolgulu Betonarme Düzlem Çerçevelerin Malzeme Bakımından Non-Linear Analizi, Doktora Tezi, Balıkesir Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Balıkesir.
- Beklen, C., 2009. Binalarda Dolgu Duvar Etkisinin İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana.
- Bendat, J.S. ve Piersol, A.G., 2004. Random Data: Analysis and Measurement Procedures, 3th Edition, John Wiley and Sons, USA.
- Benjamin, C.S. ve Williams, H.A., 1957. The Behaviour of One-Story Reinforced Concrete Shear Walls Proceedings of A.S.C.E., 83, 32.

- Bertero, V.V. ve Brokken, S. T., 1981. Studies on Effects of Infills in Seismic Resistant Reinforced Concrete Construction, UBC/EERC-81/12, Earthquake Engineering Research Center, University of California Berkley. USA.
- Brincker, R., Zhang, L. ve Andersen, P., 2000. Modal Identification from Ambient Responses using Frequency Domain Decomposition, 18th International Modal Analysis Conference, San Antonio, USA, 4062, 2, 625-630.
- Brincker, R., Ventura. C.E. ve Andersen, P., 2003. Why Output-Only Modal Testing is a Desirable Tool for a Wide Range of Practical Applications, Proceedings of 21st International Modal Analysis Conference on Structural Dynamics, Kissimmee, Orlando, USA, 236-242.
- Celep, Z. ve Kumbasar, N., 2004. Deprem Mühendisliğine Giriş ve Depreme Dayanıklı Yapı Tasarımı, Beta Dağıtım, İstanbul, 700 s.
- Celep, Z. ve Kumbasar, N., 2009. Betonarme Yapılar, Beta Yayın Dağıtım A.Ş., İstanbul, 861 s.
- Çamlıbel, N., 2000. Deprem Hasarları ve Yapıların Güçlendirme Yöntemleri, Birsan Yayınevi, İstanbul.
- Demir, H., 1992. Depremlerden Hasar Görmüş Betonarme Yapıların Onarım ve Güçlendirilmesi, Betonarme Yapılar Semineri III, İstanbul.
- Durmuş, A., 1998. Yapıların Onarım ve Güçlendirilmesi Ders Notları, Trabzon, 168 s.
- Düzgün, M., Orbay, A. ve Ertutar, Y., 1989. Dolgu Duvarların Taşıyıcı Çerçeve Sistemin Davranışına Etkisi”, Türkiye İnşaat Mühendisliği X. Teknik Kongresi, Ekim, Ankara, Bildiriler Kitabı: 593-607.
- Erdem, İ., Akyüz, U., Ersoy, U. ve Özcebe, G., 2006. An Experimental Study on Two Different Strengthening Techniques for RC Frames, Engineering Structures, 28, 1843-1851.
- Ersoy, U. ve Uzsoy, Ş., 1971. The Behavior and Strength of Infilled Frames, TÜBİTAK Araştırma Projesi Raporu, Proje No: MAG-205. Ankara, 95 s.
- Ersoy, U. ve Uzsoy, S., 1972. Dolgulu Çerçevelerin Davranış Mukavemeti, Ankara.
- Ersoy, U., Altın, S., Tankut, T., 1989. Betonarme Dolgulu Çerçevelerin Dayanım ve Davranışı Deneysel Bir Araştırma, Türkiye İnşaat Mühendisliği X. Teknik Kongresi, Ekim, Ankara, Bildiriler Kitabı: 609-626.
- Ertem, E. ve Türker, K., 2002. Yapıların Deprem Yükleri Altındaki Lineer Olmayan Davranışının Belirlenmesinde Kullanılan Statik Yöntemlerin Karşılaştırılması, Balıkesir Üniversitesi, IV. Mühendislik-Mimarlık Sempozyumu, Eylül, Balıkesir, Bildiriler Kitabı: 425-436.

- Farahbod, F. ve Mostofinejad, D., 2011. Experimental Study of Moment Redistribution in RC Frames Strengthened with CFRP Sheets, *Composite Structures*, 93, 1168–1177.
- FEMA-178, 1989. A Handbook for Seismic Evaluation of Existing Buildings (Preliminary). Earthquake Hazards Reduction, Washington, D.C.:
- FEMA 273, 1997. NEHRP Guidelines for the Seismic Rehabilitation of Buildings., Federal Emergency Management Agency (FEMA). Washington, D.C.:
- FEMA 306, 1998. Evaluation of Earthquake Damaged Concrete and Masonry Wall Buildings, Washington, D.C.:
- FEMA 356, 2000. Prestandard and Commentary for the Seismic Rehabilitation of Buildings., Federal Emergency Management Agency (FEMA), Washington, D.C..
- FEMA 440, 2005. Improvement of Nonlinear static Seismic Analysis Procedures, Federal Emergency Management Agency (FEMA), Washington, D.C.:
- Garcia, R., Hajirasouliha, I. ve Pilakoutas, K., 2010. Seismic Behaviour of Deficient RC Frames Strengthened with CFRP Composites, *Engineering Structures*, 32, 3075-3085.
- Govindan, P., Lakshmi pathy M., ve Santhakumar A. R., 1986. Ductility of Infilled Frames, *ACI Structural Journal*, 83 (4), 567-576.
- Görgülü, T., Tama, Y. S., Yılmaz, S., Kaplan, H. ve Ay, Z., 2012. Strengthening of Reinforced Concrete Structures with External Steel Shear Walls, *Journal of Constructional Steel Research*, 70, 226-235.
- Gülkan, P. ve Wasti, S.T., 1993. Çerçeve-Dolgu Etkileşmesi: Lineer Olmayan Bir İrdeleme, *Türkiye İnşaat Mühendisliği XII. Teknik Kongresi*, Mayıs, Ankara, *Bildiriler Kitabı*, 39-52.
- İrtem, E., Türker, K., Hasgül, U., 2004. Türk Deprem Yönetmeliğine Göre Tasarlanmış Betonarme Binaların Performansının Değerlendirilmesi, *Altıncı Uluslararası İnşaat Mühendisliğinde Gelişmeler Kongresi*, Ekim, Boğaziçi Üniversitesi, İstanbul, *Bildiriler Kitabı*: 1-10.
- Jacobsen, N.J., Andersen, P. ve Brincker, R., 2006. Using Enhanced Frequency Domain Decomposition as a Robust Technique to Harmonic Excitation in Operational Modal Analysis, *Proceedings of ISMA2006: International Conference on Noise and Vibration Engineering*, Leuven, Belgium.
- Kaltakçı M. Y. ve Arslan M. H., 2005. Taşıyıcı Olmayan Tuğla Dolgu Duvarların Yapı Davranış Katsayısına Olan Etkisinin İncelenmesi, *Deprem Sempozyumu*, Mart, Kocaeli, *Bildiriler Kitabı*: 598-605.

- Karaduman, A., 2005. Dolgu Duvarlı Çerçevelerin Yatay Yükler Altındaki Davranışları Üzerine Deneysel Bir Çalışma, Pamukkale Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Mühendislik Bilimleri Dergisi, 11, 3, 345-349.
- Klinger, R.E. ve Bertero V., 1976. Infilled Frames in Earthquake-Resistant Construction. Report No. EERC 76-32, Earthquake Engineering Research Center, University of California, Berkeley.
- Klingner, R. E. ve Bertero, V. V., 1978. Earthquake Resistance of Infilled Frames, ASCE Journal of Structural Engineering, 104, 973-989.
- Maheri, M. R. ve Sahebi A., 1997. Use of Steel Bracing in Reinforced Concrete Frames, Engineering Structures, 19, 1018-1024.
- Mehrabi, A. B., Shing, P. B., Schuller, M. P. ve Noland, J. L., 1996. Hysteretic Response of Reinforced Concrete Infilled Frames, ASCE Journal of Structural Engineering, 122,3, 228-237.
- Mainstone, R. J., 1974. Supplementary Note on the Stiffness and Strengths of Infilled Frames. Building Research Station, UK, Current Paper 13/74.
- Negro P. ve Verzeletti G., 1996. Effect of Infills on the Global Behaviour of R/C Frames: Energy Considerations from Pseudo-synamic Tests, Earthquake Engineering and Structural Dynamics, 25, 7, 753-773
- OMA, 2006. Operational Modal Analysis, Release 4.0. Structural Vibration Solution A/S, Denmark.
- Overschee, P.V. ve Moor, B.D., 1996. Subspace Identification for Linear Systems: Theory, Implementation and Applications, Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, Netherlands.
- Özcan, O., Binici, B. ve Özcebe, G., 2008. Improving seismic performance of deficient reinforced concrete columns using carbon fiber-reinforced polymers, Engineering Structures, 30, 1632–1646.
- Özsayin, B., Yılmaz, E., İspir, M., Özkaynak, H., Yüksel, E. ve İlki, A., 2011. Characteristics of CFRP Retrofitted Hollow Brick Infill Walls of Reinforced Concrete Frames, Construction and Building Materials, 25 , 4017–4024.
- Park, R. 1989. Evaluation of Ductility of Structures and Structural Assemblages from Laboratory Testing. Bulletin of the New Zealand National Society for Earthquake Engineering, 22, 3, 55–166.
- Peeters, B., 2000. System Identification and Damage Detection in Civil Engineering, Doktora Tezi, K.U, Leuven, Belgium.
- Peeters, B. ve Roeck, G.D., 2000. Reference Based Stochastic Subspace Identification in Civil Engineering, Inverse Problems in Civil Engineering, 8, 47-74.

- Phan, L. T., Cheok G. S., ve Todd, D.R., 1995. Strengthening Methodology for lightly reinforced concrete frames: Recommended Design Guidelines for Strengthening.
- PULSE, 2006. Analyzers and Solutions, Release 11.2. Bruel and Kjaer, Sound and Vibration Measurement A/S, Denmark.
- Ramos, J.L.F.S., 2007. Damage Identification on Masonry Structures Based on Vibration Signatures, Doktora Tezi, University of Minho, Portugal.
- Sahoo, D. R. ve Rai, D. C., 2010. Seismic Strengthening of Non-Ductile Reinforced Concrete Frames Using Aluminum Shear Links as Energy-Dissipation Devices, *Engineering Structures*, 32, 3548–3557
- SAP2000. 2008, “Integrated finite element analysis and design of structures”, Computers and Structures, Berkeley, CA.
- Shannag, M.J., A., G.A. ve D., N.A., 2007. Modeling the cyclic response of fiber reinforced concrete joints, *Engineering Structures*, 29, 2960–2967
- Sayın, B., 2003. Mevcut Betonarme Yapıların Yeni Deprem Yönetmeliğine Göre Projelendirilmesi ve Güçlendirilmesi Teknikleri. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Sayın, B. ve Kaplan, S. A., 2005. Deprem Etkisi Altındaki Betonarme Yapılarda Dolgu Duvarların Modellenme Teknikleri, Deprem Sempozyumu, Mart, Kocaeli, Bildiriler Kitabı: 474-480.
- Sevil, T., Baran M. ve Canbay E., 2010. Tuğla Dolgu Duvarların B/A Çerçevesel Yapıların Davranışına Etkilerinin İncelenmesi; Deneysel ve Kuramsal Çalışmalar, *International Journal of Engineering Research and Development*, 2, 2, 35-42.
- Sevim, B., 2010. Kemer Barajların Dinamik Davranışlarının Sonlu Eleman ve Deneysel Modal Analiz Yöntemleriyle Belirlenmesi, Doktora Tezi, KTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.
- Smith, B. S., 1962. Lateral Stiffness of Infilled Frames. *ASCE Structural Division Journal*, 183- 199.
- Smith, B. S., 1965. Behavior of Square Infilled Frames, *ASCE, Journal of Structural Engineering*, 92, 31-38.
- Smith, B.S., ve Carter, C., 1969. A Method of Analysis for Infilled Frames, *Institution of Civil Engineers (ICE)*, 44, 31-48.
- Schwarz, B.J. ve Richardson, M.H., 1999. Experimental Modal Analysis, CSI Reliability Week, Orlando, USA

- Tankut, T. ve Karabay, M., 1989. Dolguyu Bırak Çerçeveye Bak' Anlayışı Artık Değişmeli", Türkiye İnşaat Mühendisliği X. Teknik Kongresi, Ekim, Ankara, Bildiriler Kitabı: 575-592.
- TS 802, 2009. Beton Karşımı Hesap Esasları. TSE, Ankara.
- Teköz, K., 2009. Konut Tipi Çok Katlı Betonarme Yapıların Hasar Görebilirliğinin Pushover Analizine Göre Belirlenmesi, Doktora Tezi, Mustafa Kemal Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Hatay.
- Yılmaz, B., 2006. Betonarme Yapıların Onarımı ve Güçlendirilmesi/Güçlendirmenin Ekonomik Olmaması Durumunda Patlayıcı Madde Kullanılarak Kontrollü Yıkımı, Yüksek Lisans Tezi, Osmangazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Eskişehir.
- Yozgat, E., 2010. Çelik Tasıyıcı Sistemlerde Yatay Yük Taşıma Kapasitesini Arttıran Elemanların Etkinliğinin Deneysel ve Teorik Olarak İncelenmesi, Doktora Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.
- Yörükçü, B., 2007. Hasarlı Yapıların Onarım ve Güçlendirme İlkeleri, Yüksek Lisans Tezi, Osmangazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Eskişehir.
- Yu, DJ. ve Ren, WX, 2005. EMD- Based Stochastic Subspace Identification of Structures from Operational Vibration Measurements, Engineering Structures, 27, 1741-1751.
- Whitney, C.S., Anderson, B.G. ve Cohen, E., 1995. Design of Blast Resistant Construction for Atomic Explosions, ACI Structural Journal, 26, 7, 589-683.
- Xue, W ve Yang, X., 2010. Seismic tests of precast concrete, moment resisting frames and connections, PCI Journal, Summer, 102-121.
- Zhang, L., Brincker, R. ve Andersen, P., 2002. An Overview of Operational Modal Analysis: Major Development and Issues, B&K Technical Paper, 152-161.
- Zarnic, R. ve Tomasevic. M., 1995. Modelling of Response of Masonry Infilled Frame. 10th European Conference on Earthquake Engineering, Rotterdam.

ÖZGEÇMİŞ

Mehmet Emin ARSLAN 1981 yılında Kırşehir’de doğdu. İlköğrenimini 1987-1992 yılları arasında Yerköy-Yozgat Namık Kemal İlkokulunda, orta öğrenimini 1992-1995 yılları arasında Yerköy-Yozgat Şehit Şaban KARADOĞAN orta okulunda, lise öğrenimini ise 1995–1999 yılları arasında Ankara’da Atatürk Anadolu Öğretmen Lisesinde tamamladı. Yüksek öğrenimine 2000 yılında Karadeniz Teknik Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümünde başlayarak, bu bölümü her dönem onur ve yüksek onur derecesi almak suretiyle 2003-2004 Eğitim-Öğretim yılı Haziran döneminde 3.58 akademik not ortalamasıyla Bölüm birincisi ve Fakülte üçüncüsü olarak tamamladı. Aynı yıl Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsünde yüksek lisans öğrenimine başlayıp bir yıl İngilizce Hazırlık sınıfını okuduktan sonra aynı yılın yaz döneminde dil eğitimi almak üzere Amerika’ya gitti. Yüksek lisans öğrenimi boyunca TÜBİTAK Bilim İnsanı Destekleme Daire Başkanlığı tarafından verilen Yurt İçi Yüksek Lisans bursunu almaya hak kazandı. Kasım 2005’te mezun olduğu üniversitenin Fen Bilimleri Enstitüsünde İnşaat Mühendisliği Bölümü Yapı Anabilim Dalına Araştırma Görevlisi olarak atandı. 2007 yılında yüksek lisans öğrenimini tamamlayıp aynı yıl doktora öğrenimine başladı. Doktora öğrenimi boyunca da TÜBİTAK Bilim İnsanı Destekleme Daire Başkanlığı tarafından verilen Yurt İçi Doktora bursuyla ödüllendirildi. Evli ve bir çocuk babası olan Mehmet Emin ARSLAN İngilizce bilmektedir.

SCI/SCIE kapsamındaki dergilerde yayınlanmış makaleleri ve diğer yayınları:

1. **Arslan, M. E.,** Durmuş, A., “Investigation of Bond Behavior Between Lightweight Aggregate Concrete and Steel Rebar Using Bending Test”, *Computers and Concrete- An International Journal*, 8 (2010) 465-472.
2. **Arslan, M. E.,** Durmuş, A., “Modal Identification of Different RC Frames Using Experimental Measurements”, *Journal of Testing and Evaluation*, Vol. 41, No. 6, 2013. doi:10.1520/JTE20130014
3. **Arslan, M. E.,** Durmuş, A., “Finite Element Model Updating of In-filled RC Frames with Low Strength Concrete using Ambient Vibration Test”, *Earthquakes and Structures*, An international Journal, Vol. 5, No. 1 (2013) 111-127.
4. **Arslan, M. E.,** Durmuş, A., “Construction Stage Effect on the Dynamic Characteristics of RC Frame Using Operational Modal Analysis”, *Computers and Concrete*, An international Journal, Vol. 12, No. 1 (2013) 531-539.

5. **Arslan, M. E.**, Durmuş, A., “Modal Testing and Finite Element Model Calibration of In-Filled Reinforce Concrete Frames”, Journal of Vibration and Control, DOI: 10.1177/1077546313480545. Available Online at Sage Journals.
6. Durmus, A., Dahil, H., **Arslan, M.E.**, Yüksek Başarımlı Beton-Donatı Aderansının İncelenmesine Katkı, 7. Uluslararası İnşaat Mühendisliğinde Gelişmeler Kongresi, 11-13 Ekim 2006, Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul, Türkiye
7. Durmus, A., Öztürk, H. T., **Arslan, M. E.**, “Tünel Kaplamalarının Tasarımına İlişkin Bir Yaklaşım”, International Symposium on Advances in Earthquake & Structural Engineering, Bildiriler Kitabı, s: 617-629, 24-26 Ekim 2007, Isparta-Antalya, Türkiye.
8. **Arslan, M. E.**, Öztürk, H. T., “Investigation of Bond Behavior Between Lighthweight Aggregate Concrete and Steel Rebars Using Bending Test” , 8th international congress on advances in civil Engineering, Proceedings Books, Vol 4., p. 467-476, 15-17 September 2008, Famagusta, North Cyprus.
9. Öztürk, H. T., **Arslan, M. E.**, Durmus, A., “Discussion of Some Methods Used in the Design of Tunnel linings”, 8th international congress on advances in civil Engineering, Proceedings Books, Vol. 3, p. 395-402, 15-17 September 2008, Famagusta, North Cyprus.
10. Durmuş, A., **Arslan, M.E.**, Zandi Y., “The Use of Lightweight Concrete in Reinforced Concrete Structures and Status in Turkey”, Proceedings of the 1st International Conference on Concrete Technology, Tabriz, Iran, 6-7 November 2009
11. **Arslan, M. E.**, Durmuş, A., “Investigation of Bond Behavior Between Lightweight Aggregate Concrete and Steel Rebar Using Bending Test”, Proceedings of the 1st International Conference on Concrete Technology, Tabriz, Iran, 6-7 November 2009.
12. **Arslan, M., E.**, Yozgat, E., Pul, S., Husem, M., “Effects of Vibration Time on Strength of Ordinary and High Performance Concrete”, Proceedings of the 4th WSEAS International Conference on Engineering Mechanics, Structures, Engineering Geology (EMESEG '11), July 14-16, 2011, Corfu Island, Greece, p. 270-274.
13. Husem, M., Pul, S., Zandi, Y., **Arslan, M., E.**,”The Behavior of Cable-Stayed Bridges Having Different Cable Arrangements under Static and Dynamic Loads”, Proceedings of the 4th WSEAS International Conference on Engineering Mechanics, Structures, Engineering Geology (EMESEG '11), July 14-16, 2011, Corfu Island, Greece, p. 242-246.
14. Pul, S., Husem, M., **Arslan M., E.**, Zandi, Y., “Investigation of Relation between Core and Cylindrical Strength of Concrete Specimen Cured in Different Conditions”, Proceedings of the 4th WSEAS International Conference on Engineering Mechanics, Structures, Engineering Geology (EMESEG '11), July 14-16, 2011, Corfu Island, Greece, p. 265-269.
15. Durmus, A., Dahil, H., **Arslan, M. E.**, Yüksek Başarımlı Beton-Donatı Aderansının Karşılaştırmalı Olarak İncelenmesi, Türkiye Mühendislik Haberleri, 441,45-52, 2006.

16. Durmus, A., Öztürk, H. T., **Arslan, M. E.**, “Tüneller ve Tünel Kaplamalarının Tasarımı”, Yapı Dünyası Dergisi, 142-143, s. 7-16, Ocak-Şubat 2008.
17. Durmuş, A., **Arslan, M.E.**, “The Use of Lightweight Concrete in Reinforced Concrete Structures and Status in Turkey”, Yapı Dünyası Dergisi, 190, s. 25-29, Ocak 2012.
18. DURMUS, A., **ARSLAN, M. E.**, ÖZTÜRK, H. T., “Eğilmede Hafif Beton-Donatı Aderansının İncelenmesi”, Yedinci Ulusal Beton Kongresi, Bildiriler Kitabı, sayfa: 165-176, 28-30 Kasım 2007, İstanbul.