



**MODERN VE GELENEKSEL BÖLME DUVARLARIN DEPREM
PERFORMANSININ DENEYSEL OLARAK ARAŞTIRILMASI**

Coşkun ÇAKMAK

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

AĞUSTOS 2018

Coşkun ÇAKMAK tarafından hazırlanan “MODERN VE GELENEKSEL BÖLME DUVARLARIN DEPREM PERFORMANSININ DENEYSEL OLARAK ARAŞTIRILMASI” adlı tez çalışması aşağıdaki jüri tarafından OY BİRLİĞİ ile Gazi Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalında YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Yağmur KOPRAMAN

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Gazi Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum

.....

Başkan: Prof. Dr. Salih YAZICIOĞLU

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Gazi Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum

.....

Üye: Dr. Öğr. Üyesi Eda AVANOĞLU SICACIK

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Kırıkkale Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum

.....

Tez Savunma Tarihi: 10/08/2018

Jüri tarafından kabul edilen bu tezin Yüksek Lisans Tezi olması için gerekli şartları yerine getirdiğini onaylıyorum.

.....

Prof. Dr. Sena YAŞYERLİ

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

ETİK BEYAN

Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tez Yazım Kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada;

- Tez içinde sunduğum verileri, bilgileri ve dokümanları akademik ve etik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
 - Tüm bilgi, belge, değerlendirme ve sonuçları bilimsel etik ve ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
 - Tez çalışmada yararlandığım eserlerin tümüne uygun atıfta bulunarak kaynak gösterdiğimi,
 - Kullanılan verilerde herhangi bir değişiklik yapmadığımı,
 - Bu tezde sunduğum çalışmanın özgün olduğunu,
- bildirir, aksi bir durumda aleyhime doğabilecek tüm hak kayıplarını kabullendiğimi beyan ederim.

Coşkun ÇAKMAK

10/08/2018

MODERN VE GELENEKSEL BÖLME DUVARLARIN DEPREM PERFORMANSININ DENEYSEL OLARAK ARAŞTIRILMASI

(Yüksek Lisans Tezi)

Coşkun ÇAKMAK

GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Ağustos 2018

ÖZET

Bölme duvar sistemleri, yapıların estetik ve fonksiyonel anlamda mimari bölümlere ayrılmasını sağlayan yapı elemanlarıdır. Taşıyıcı nitelikte olmayan bölme duvarlar, yapıya projelendirme aşamasında sadece ölü yük olarak etki ettirilen yapı elemanları olarak karşımıza çıkmaktadır. Tuğla, hafif beton briket ve gaz beton Türkiye'nin yapı stokunda yaygın olarak kullanılan bölme duvar malzemeleridir. Bu malzemelerin yanı sıra kuru alçı duvar sistemlerinin de kullanımı, sağladığı belirli bir üretim standardı ve yapım hızının yüksek olması gibi nedenlerle son yıllarda tercih edilmektedir. Bu çalışmada alçı levhalar ile oluşturulmuş modern bölme duvar sistemlerin yanı sıra tuğla, hafif beton briket, gaz beton gibi geleneksel malzemelerle oluşturulmuş bölme duvar sistemlerinin, deprem yüklerini benzeştiren tersinir tekrarlanır yatay yük etkisi altındaki rijitlikleri, enerji tüketim kapasiteleri, deplasman-süneklik oranları, yük-deplasman davranışları gibi yapısal ve deprem performansı açısından önemli olan özellikleri deneysel olarak araştırılmıştır. Tez kapsamında taşıyıcı iskelet profil ebatları ve alçı levha katman sayısı farklılık gösteren, dört farklı kuru alçı duvar sistemi ile yapılarda yaygın olarak kullanılan tuğla, hafif beton briket ve gaz betondan üretilen taşıyıcı olmayan bölme duvar sistemleri tam ölçekle, 3000 mm uzunluğunda ve 2700 mm yüksekliğinde üretilmiş ve yatay deprem yüklerini benzeştiren tersinir tekrarlanır yatay yük etkisi altında test edilmiştir. Deney sonucunda modern ve geleneksel bölme duvarların yukarıda bahsedilen ve deprem performansı açısından belirleyici olan özellikleri karşılaştırılmış ve bu sonuçların kesinleştirilmesi adına önerilerde bulunulmuştur.

Bilim Kodu : 91130

Anahtar Kelimeler : Bölme Duvar, Alçı levha, Kuru Alçı Duvar Sistemleri, Deprem Performansı

Sayfa Adedi : 89

Danışman : Dr. Öğr. Üyesi Yağmur KOPRAMAN

EXPERIMENTAL INVESTIGATION OF EARTHQUAKE PERFORMANCES OF MODERN AND TRADITIONAL PARTITION WALLS

(M. Sc. Thesis)

Coşkun ÇAKMAK

GAZİ UNIVERSITY

GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES

August 2018

ABSTRACT

Partition wall systems are building elements that allow structures to be divided into architectural partitions for aesthetic and functional sense. Non-load-bearing partition walls are accounted as a kind of dead load during the design stage of a structure. Brick, lightweight concrete briquette and aerated concrete are widely used as partition wall materials in structure stock of Turkey. In addition to these materials, the use of dry gypsum wall systems is preferred over recent years for reasons such as a certain production standard and high construction speed. In this study, important characteristics in terms of structural and earthquake performance of the partition wall systems produced by traditional materials such as brick, lightweight concrete briquette, aerated concrete, such as stiffness, energy consumption capacity, displacement-ductility ratios, load-displacement characteristics under horizontal earthquake loads, as well as modern partition wall system produced gypsum board were investigated experimentally. In scope of the experimental test program, 4 different dry gypsum wall systems with different dimensions of metal studs and different layers and widely used non-load bearing partition wall systems produced by clay brick, lightweight concrete briquette and aerated concrete were constructed in full scale having 3000 mm length and 2700 mm height and tested under lateral reverse cyclic loading. As a result of the experiments, the characteristics of the modern and traditional partition walls mentioned above and which are determinative in terms of earthquake performance were compared and suggestions were made to make these results absolute.

Science Code : 91130

Key Words : Partition Wall, Gypsum Board, Dry Gypsum Wall Systems, Earthquake Performance

Page Number : 89

Supervisor : Lecturer Dr. Yağmur KOPRAMAN

TEŞEKKÜR

Bu araştırmayı planlayıp yöneten, çalışmalarım boyunca değerli yardım ve katkılarıyla çalışmayı yönlendiren danışman hocam Dr. Yağmur KOPRAMAN'a ve Gazi Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü öğretim üyesi Prof. Dr. Özgür ANIL'a, tez kapsamında yapılan tüm deneylerde yanımda olan Arş. Gör. Anıl ÖZDEMİR'e, geleneksel bölme duvar üretimleri organizasyonlarını planlayan ve yöneten Dr. Ahmet GÖKDEMİR'e, tez yazma sürecinde her zaman yanımda olan sevgili eşim Nur Demet DOĞANLAR ÇAKMAK'a, üzerimde çok büyük emekleri olan rahmetli anneannem Mahi ŞAHİN başta olmak üzere tüm aileme teşekkürü bir borç bilirim.

Ayrıca, alçı levhalarla bölme duvar sistemlerinin üretilmesi sürecini organize eden ve desteklerini esirgemeyen ALÇIDER'e ve üretimde kullanılan malzemelere ait mekanik özelliklerin belirlenmesi için yapılan deneysel çalışmaya 07/2018-02 numaralı proje aracılığı ile destek olan Gazi Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi'ne teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET	iv
ABSTRACT.....	v
TEŞEKKÜR.....	vi
İÇİNDEKİLER	vii
ÇİZELGELERİN LİSTESİ.....	ix
ŞEKİLLERİN LİSTESİ.....	x
RESİMLERİN LİSTESİ	xii
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	xiv
1. GİRİŞ.....	1
2. GEÇMİŞTE YAPILMIŞ ÇALIŞMALAR.....	5
3. DENEY DÜZENEĞİ VE TEST TEKNİĞİ	15
3.1. Genel	15
3.2. Deney Elemanları.....	16
3.2.1. Test çerçevesi.....	17
3.2.2. Deney numuneleri.....	22
3.2.3. Ölçüm düzeni.....	22
3.2.4. Deney elemanlarının üretiminde kullanılan malzemeler.....	26
3.3. Yükleme Prosedürü	37
4. DENEYLER	39
4.1. C100-2L Elemanı Deneyi	40
4.2. C50-2L Elemanı Deneyi	46
4.3. C75-1L Elemanı Deneyi	51
4.4. DC50-2L Elemanı Deneyi.....	54
4.5. TD Elemanı Deneyi.....	59
4.6. HBD Elemanı Deneyi	65

	Sayfa
4.7. GBD Elemanı Deneyi	70
5. DENEYSEL SONUÇLARIN DEĞERLENDİRİLMESİ	75
5.1. Dayanım ve Davranış	76
5.2. Süneklik.....	77
5.3. Başlangıç Rijitliği.....	78
5.4. Enerji Tüketimi	79
6. SONUÇ VE ÖNERİLER	81
6.1. Sonuçlar.....	81
6.2. Öneriler	83
KAYNAKLAR	85
ÖZGEÇMİŞ	89

ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge	Sayfa
Çizelge 1.1. 2002-2016 yılları arası, tüm yapı türlerinde kullanılan bölme duvar malzemelerin oranları	2
Çizelge 3.1. 2002-2016 yılları arasında inşa edilen yapıların taşıyıcı sistemlerine göre tüm yapı stoku içindeki oranı	16
Çizelge 3.2. Deney numunelerinin özellikleri	22
Çizelge 3.3. Alçı levha malzeme özellikleri	29
Çizelge 3.4. Tuğla malzeme özellikleri	32
Çizelge 3.5. Hafif beton briket malzeme özellikleri	34
Çizelge 3.6. Gaz beton malzeme özellikleri	36
Çizelge 3.7. C profil malzeme özellikleri	37
Çizelge 4.1. C100-2L çevrimlerine ait yatay yük-kat ötelenme oranı çizelgesi.....	42
Çizelge 4.2. C50-2L çevrimlerine ait yatay yük-kat ötelenme oranı çizelgesi.....	48
Çizelge 4.3. C75-1L çevrimlerine ait yatay yük-kat ötelenme oranı çizelgesi.....	53
Çizelge 4.4. DC50-2L çevrimlerine ait yatay yük-kat ötelenme oranı çizelgesi.....	57
Çizelge 4.5. TD çevrimlerine ait yatay yük-kat ötelenme oranı çizelgesi.....	62
Çizelge 4.6. HBD çevrimlerine ait yatay yük-kat ötelenme oranı çizelgesi.....	67
Çizelge 4.7. GBD çevrimlerine ait yatay yük-kat ötelenme oranı çizelgesi.....	72
Çizelge 5.1. Deney elemanlarına ait taşıma gücü ve taşıma gücünde kat ötelenme oranı değerleri.....	76
Çizelge 5.2. Deney elemanlarının deplasman süneklilik oranları.....	77
Çizelge 5.3. Deney elemanlarının başlangıç rijitliği değerleri	78
Çizelge 5.4. Deney elemanlarının enerji tüketim kapasitesi değerleri	79

ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 2.1. Tuğla dolgulu çerçevelerin göçme mekanizmaları.....	7
Şekil 2.2. Çalışmada seçilen taşıyıcı sistemler	12
Şekil 3.1. Çelik çerçeve kesiti.....	17
Şekil 3.2. Çelik çerçeve yük-deplasman grafiği	18
Şekil 3.3. Çerçevenin %3,00 kat ötelenme oranı adımıında deplasman analizi	19
Şekil 3.4. Çelik yükleme çerçevesi test düzeneği	20
Şekil 3.5. Alçı levha ile üretilmiş bölme duvarların kesitleri	23
Şekil 3.6. Ölçüm düzeneği ve LVDT yerleşimleri	25
Şekil 3.7. N tipi çimento takviyeli kireç harcı karışımların gerilme birim şekil değiştirme grafiği.....	27
Şekil 3.8. Alçı harcı karışımların gerilme birim şekil değiştirme grafiği	28
Şekil 3.9. Yapıştırma harcı karışımlarının gerilme birim şekil değiştirme grafiği.....	30
Şekil 3.10. Tuğla prizmaların gerilme birim şekil değiştirme grafiği	32
Şekil 3.11. Hafif beton briket prizmaların gerilme birim şekil değiştirme grafiği	34
Şekil 3.12. Gaz beton prizmaların gerilme birim şekil değiştirme grafiği	36
Şekil 3.13. Deney elemanlarına uygulanan yükleme tarihçesi	37
Şekil 4.1. Yükleme yönü ve doğrultu kabulü	40
Şekil 4.2. C100-2L bileşik çevrimsel yatay yük-kat ötelenme grafiği	41
Şekil 4.3. C100-2L deneyi zarf eğrileri	41
Şekil 4.4. C100-2L yatay yük-panel kesme deplasmanı grafiği	42
Şekil 4.5. C50-2L bileşik çevrimsel yatay yük-kat ötelenme grafiği	47
Şekil 4.6. C50-2L deneyi zarf eğrileri	47
Şekil 4.7. C50-2L yatay yük-panel kesme deplasmanı grafiği	48
Şekil 4.8. C75-1L bileşik çevrimsel yatay yük-kat ötelenme grafiği	52
Şekil 4.9. C75-1L deneyi zarf eğrileri	52

Şekil	Sayfa
Şekil 4.10. C75-1L yatay yük-panel kesme deplasmanı grafiği	53
Şekil 4.11. DC50-2L bileşik çevrimsel yatay yük-kat ötelenme grafiği	56
Şekil 4.12. DC50-2L deneyi zarf eğrileri	56
Şekil 4.13. DC50-2L yatay yük-panel kesme deplasmanı grafiği	57
Şekil 4.14. TD bileşik çevrimsel yatay yük-kat ötelenme grafiği	61
Şekil 4.15. TD deneyi zarf eğrileri	61
Şekil 4.16. TD yatay yük-panel kesme deplasmanı grafiği	62
Şekil 4.17. HBD bileşik çevrimsel yatay yük-kat ötelenme grafiği	66
Şekil 4.18. HBD deneyi zarf eğrileri	66
Şekil 4.19. HBD yatay yük-panel kesme deplasmanı grafiği	67
Şekil 4.20. GBD bileşik çevrimsel yatay yük-kat ötelenme grafiği	71
Şekil 4.21. GBD deneyi zarf eğrileri	71
Şekil 4.22. GBD yatay yük-panel kesme deplasmanı grafiği	72
Şekil 5.1. Deney elemanlarının zarf eğrileri	75
Şekil 5.2. Deney elemanlarının enerji tüketim kapasiteleri	80

RESİMLERİN LİSTESİ

Resim	Sayfa
Resim 2.1. Deney numunesi	8
Resim 2.2. Deney düzeneği	9
Resim 2.3. Dinamik yük etkisinde test edilen deney numunesi	10
Resim 2.4. Son metal dikme elemanın burkulması	11
Resim 3.1. Çelik çerçevenin deneyler sırasındaki görünüşü	21
Resim 3.2. Hidrolik piston ve yük hücresi.....	23
Resim 3.3. Sekiz kanallı veri toplama cihazı.....	24
Resim 3.4. Sağ kolon alt ucunda kullanılan ölçüm araçları.....	24
Resim 3.5. N tipi çimento takviyeli kireç harcı karışımlarının eksenel basınç deneyleri	26
Resim 3.6. Alçı levha malzemesi.....	27
Resim 3.7. Alçı harcı karışımlarının eksenel basınç deneyleri.....	28
Resim 3.8. Yapıştırıcı karışımlarının eksenel basınç deneyleri.....	30
Resim 3.9. Boşluklu tuğla kâgir birim.....	31
Resim 3.10. Tuğla kâgir birimin eksenel basınç deneyleri.....	31
Resim 3.11. Hafif beton briket kâgir birim.....	33
Resim 3.12. Hafif beton briket kâgir birimin eksenel basınç deneyleri	33
Resim 3.13. Gaz beton kâgir birim	35
Resim 3.14. Gaz beton kâgir birimin eksenel basınç deneyleri.....	35
Resim 3.15. Alçı levha taşıyıcı iskeleti elemanı C profili	36
Resim 4.1. C100-2L deney elemanında oluşan hasarlar.....	45
Resim 4.2. C50-2L deney elemanında oluşan hasarlar.....	50
Resim 4.3. C75-1L deney elemanında oluşan hasarlar.....	55
Resim 4.4. DC50-2L deney elemanında oluşan hasarlar	60
Resim 4.5. TD deney elemanında oluşan hasarlar.....	64

Resim	Sayfa
Resim 4.6. HBD deney elemanında oluşan hasarlar.....	69
Resim 4.7. GBD deney elemanında oluşan hasarlar.....	74



SİMGELER VE KISALTMALAR

Bu çalışmada kullanılmış simgeler ve kısaltmalar, açıklamaları ile birlikte aşağıda sunulmuştur.

Simgeler

Açıklamalar

cm	Santimetre
cm²	Santimetrekare
cm³	Santimetreküp
dB	Desibel
gr	Gram
K	Kelvin
kg	Kilogram
kN	Kilonewton
m	Metre
m²	Metrekare
m³	Metreküp
mm	Milimetre
MPa	Megapascal
N	Newton
W	Watt

Kısaltmalar

Açıklamalar

ABD	Amerika Birleşik Devletleri
AFAD	Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı
ALÇIDER	Türkiye Alçı Üreticileri Derneği
APA	The American Plywood Association
ASTM	American Society for Testing and Materials
OSB	Oriented Strand Board
TÜİK	Türkiye İstatistik Kurumu

1. GİRİŞ

AFAD'ın verilerine göre Türkiye coğrafyası %92'si çeşitli derecelerden deprem bölgesi üzerinde bulunmakta, nüfusun %95'i de bu deprem bölgelerinde yaşamaktadır [1]. Ülkede son 20 yılda yaşanan depremler, yapı stokunun büyük bir bölümünün deprem performansının yetersiz olduğunu göstermiş ve maalesef çok sayıda can ve mal kayıplarına neden olmuştur. Şüphesiz bu depremler arasında en çok maddi ve manevi hasar bırakan 17 Ağustos 1999 Gölcük Depremi'dir. Gölcük Depremi'nde 17.479 insanımız hayatını kaybederken 43.953 kişi de yaralanmıştır [2]. Yaşanan bu acı hadiselerde ayakta kalan yapılar da olmuştur. Ayakta kalan yapıların en önemli öğretisi; depremin değil, yıkılan binaların insanların can kaybı riskine yol açtığıdır.

Taşıyıcı olmayan bölme duvarlar yapıyı mimari gereksinimlere göre alanlara bölen, dış etkenlerden koruyan, üretimi belli oranlarda standartlaşmış, yüz yıllardır kullanılagelen bir yapı birimidir. Ayrıca bu duvarlar adlarından da anlaşılabilceği gibi taşıyıcı sistem elemanı olarak görülmeyen ve yapının genel deprem performansı üzerinde etkisi olmadığı kabul edilen yapı elemanlarıdır. Çizelge 1.1'de sunulan 2002-2016 arası TÜİK [3] verilerine bakıldığında Türkiye yapı stokuna eklenen her 100 betonarme yapının ortalama olarak 94'ünde tuğla dolgulu bölme duvarlar üretilmiştir. Diğer binalarda ise, sırasıyla azalan oranlarda hafif beton briket, gaz beton ve panel malzemeler tercih edildiği istatistiklerin incelenmesi ile anlaşılmaktadır. Bu sebeple, yapılmış olan tez çalışmasında Türkiye'deki yapı stoku içerisinde büyük bir oranda temsil edilen tuğla, hafif beton briket ve aynı şekilde ıslak bir üretim prosedürü ile üretilen gaz beton bölme duvar sistemleri geleneksel bölme duvarlar olarak adlandırılmıştır. Bunlarla kıyas edilmesi bakımından, son 15 yılda kullanımı oldukça artan alçı levha sistemlerden oluşturulmuş taşıyıcı olmayan bölme duvar sistemler modern yapı malzemesi olarak bu tez kapsamında adlandırılmıştır.

Bölme duvarların, birden çok göçme mekanizmasına sahip olabileceği daha önce yapılmış olan deneysel araştırmalarla ortaya konmuştur [4]. Göçme mekanizması çerçeve içerisinde bulunan bölme duvarın ne kadar yük taşıyabileceğini, hasar görme biçimini ve enerji tüketim kapasitesini etkileyen en önemli faktördür.

Çizelge 1.1. 2002-2016 yılları arası, tüm yapı türlerinde kullanılan bölme duvar malzemelerin oranları [3]

Yıl	Tüm Yapı Türlerinde Kullanılan Bölme Duvar Malzemesi			
	Tuğla Duvar (%)	Hafif Beton Briket (%)	Gaz Beton (%)	Hafif Panel (%)
2002	97,69	0,73	0,17	0,66
2003	98,73	0,17	0,15	0,66
2004	97,80	0,38	0,39	0,00
2005	95,42	0,90	0,82	0,67
2006	91,50	5,47	1,02	0,66
2007	90,07	6,34	1,35	0,92
2008	91,64	4,66	1,33	0,86
2009	90,47	5,48	1,17	1,06
2010	91,73	4,80	1,01	0,95
2011	90,92	4,79	1,44	0,97
2012	90,34	4,33	1,89	1,20
2013	88,72	5,07	2,44	1,21
2014	87,06	5,01	2,89	1,59
2015	87,34	3,33	2,90	1,60
2016	87,49	3,46	2,75	1,69

* Hafif panel bölme duvarlar içerisinde malzeme olarak, ahşap ve alçı toplanmıştır.

Türkiye’de 1999 Gölçük Depremi’nden sonra yapıların ve yapı elemanlarının deprem performanslarını araştıran çalışmaların sayısı artmıştır. 1977-1999 yılları arasında 22 yıllık dönemde deprem konusunu herhangi bir yönüyle ele alan lisansüstü tez sayısı 188 iken, 2000-2017 yılları arasındaki 17 yıllık dönemde 1561 lisansüstü tez çalışması yapılmıştır [5]. Yapılan bu depremsellik araştırmalarının neticesinde dünyadaki değişiklikler de takip edilerek betonarme sistem tasarımlarında kullanılan deprem yönetmeliğimiz Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik [6] 06.03.2007 tarihinde resmi gazetede yayınlanarak yürürlüğe girmiştir. Değişen yönetmelikle beraber yapı projeleri, şartnameler değişimlere uğramış, yapı kalite-kontrol mekanizmalarımız daha sıkı hale gelmiştir. Bu yönetmelikten sonra deprem yönetmeliğimizde bir yenileme çalışması daha yapılmış ve 2017 yılında taslak olarak yayınlanmıştır. Yayınlanan bu taslak yönetmelikte yer alan önemli değişikliklerden biri de taşıyıcı olmayan duvarlardan beklenen deprem performansının analiz edilmesi ve belirli bir aralığın içinde kalma gerekliliğidir. Bu

doğrultuda deneysel çalışmalar gerçek yapı tasarımına ışık tutacak olup, daha sonra gelecek olan araştırmalara bilimsel bir zemin oluşturacaktır. Bu tez çalışması ile güncel yapı stokunda şimdilik daha az oranda bulunan hafif bölme duvarların, sismik yükler karşısında sergileyeceği davranışın tahmin edilebilmesi amaçlanmaktadır.

Çalışmanın amacı ve kapsamı

Bu çalışmanın amacı modern bölme duvarlarda kullanılan kuru alçı duvar panel sistemleri ve boşluklu tuğla, hafif beton briket ve gaz beton malzemeleri ile üretilmiş bölme duvar sistemlerinin yapısal performansının araştırılmasıdır. Deneysel çalışma kapsamında 7 adet deney elemanı üretilmiş ve test edilmiştir. Deney elemanlarına, tersinir tekrarlanır yatay yük uygulanmıştır. Deney elemanları üzerinden alınan ölçümlerle, yük-deplasman ilişkisi, düzlem içi dayanım ve rijitlik ve enerji tüketim kapasitesi gibi sismik performans bakımından önemli yapısal özellikler hesaplanmıştır. Hesaplamalar ve gözlemler sonucunda deney elemanlarının sergilediği davranış farklılıkları hakkında yorumlar yapılmıştır.

Deney elemanlarının tümü, St52 sınıf çelikten imal edilen özel yapım çerçeve içerisinde test edilmiştir. Literatürde karşılaşılan benzer çalışmaların büyük bir kısmı deney elemanı test çerçevesi olarak betonarmeyi tercih etmesine karşın, betonarmenin homojen olmaması ve üretimden kaynaklanabilecek hataların deneysel sonuçları etkilememesi amacıyla çelik çerçeve tercih edilmiştir. Deneysel çalışma kapsamında,

Modern bölme duvar uygulaması

- C100-2L (100mm'lik C profili ve çift kat alçı levha uygulaması)
- C50-2L (50mm'lik C profili ve çift kat alçı levha uygulaması)
- C75-1L (75mm'lik C profili ve tek kat alçı levha uygulaması)
- DC50-2L (50mm'lik çift C profili ve çift kat alçı levha uygulaması)
- Geleneksel bölme duvar uygulaması
 - Boşluklu tuğla
 - Hafif beton briket
 - Gaz beton

deneysel değişkenler olarak seçilmiş ve bu malzemelerden üretilmiş bölme duvar sistemlerin yatay yük etkisindeki davranış farklılıkları incelenmiştir. Elde edilen deneysel verilerle

deprem performansı açısından önemli olduğu belirtilen parametreler hesaplanmıştır. Bu kapsamda, hazırlanan tez çalışmasında hem örneklerine literatürde oldukça sık biçimde rastlanan geleneksel bölme duvarlar hem de kullanımı artış gösteren modern bölme duvarların düzlem içi deprem performansı kıyaslanmış birbirlerine göre sergilemiş oldukları yapısal farklılıklar ön plana çıkarılmıştır.



2. GEÇMİŞTE YAPILMIŞ ÇALIŞMALAR

Yapı stokumuzda mevcut olan bölme duvar sistemlerinin büyük bir çoğunluğu tuğla, hafif beton briket ve gaz beton malzemeleriyle üretilmektedir. Son yıllarda ise kuru alçı panel duvar sistemleri nispeten daha kolay bir işçiliği olması, yapım hızının yüksek olması ve sağladığı belirli bir üretim standardı olması gibi nedenlerle yaygın bir şekilde kullanılmaya başlanmıştır. Geleneksel ve modern bölme duvar sistemler ile ilgili literatürde birçok alanda sayısız çalışma bulunmaktadır. Hepsinden, bu tez içerisinde bahsetmek gereksiz ve amacı aşan bir gayret olacaktır. Dolayısıyla, bu tez çalışmasının literatür tarama kapsamı, tersinir tekrarlanır yatay yük altında test edilen, kuru duvar üretim prosedürüne sahip alçı levha malzemesi ile oluşturulan bölme duvar sistemleri üzerinde yapılan deneysel çalışmalarla sınırlandırılmıştır. Ayrıca bu bölüm içerisinde geleneksel bölme duvarlar ile ilgili birkaç esas çalışmaya da yer verilmiştir. Taranan çalışmalardan seçilen örnekler kronolojik olarak aşağıda özetlenmiştir.

Freeman (1971) yaptığı çalışmada kuru alçı duvar panel sistemlerinin farklı bağlantı detaylarıyla yatay yükler etkisi altındaki performansını ve enerji tüketim kapasitesi gibi parametrelerini araştıran bir deneysel çalışma yapmıştır. Freeman çalışmasında taşıyıcı iskelet elemanı olarak hem metal hem de ahşap elemanlar kullanmıştır. Bu araştırma kuru duvar sistemlerinin deprem performansı açısından önemli olan özelliklerinin araştırıldığı ilk çalışmalardan biridir [7].

Adams (1974), APA çalışmasının bir parçası olarak alçı levha panelleri de içeren farklı bölme duvar tipleriyle deneyler yapmıştır. Deneylerin asıl amacı ahşap malzemedan üretilen bölme duvarların deprem performansını araştırmaktır. Fakat özellikle yangın dayanımının yüksek olması nedeniyle alçı levhalar da kullanılmıştır. Deneysel çalışma sonunda, kâğıt ile kaplanmamış alçı levhaların, kaplanmış alçı levhalar ve ahşap levhalarla birlikte yatay yüklere karşı gösterdiği dayanım karşılaştırılmıştır [8].

Rihal (1980) Freeman'in (1971) test programına benzer şekilde bir deney çalışması yapmış ve Freeman'in deney sonuçlarını doğrular nitelikte sonuçlar elde etmiştir. Bu çalışmada taşıyıcı iskelet olarak sadece metal elemanlar kullanılmıştır. Ayrıca levha-metal ve metal bağlantı elemanı-zemin birleşim detayları ile ilgili sonuçlar elde edilmiştir [9].

Anderson, Yee, Savulian, Barclay ve Lee (1981) dört farklı ahşap çerçeveli bölme duvar yapı elemanının deprem yükleri etkisi altındaki performansını araştırmışlardır. Her biri 2400 mm x 2400 mm ebatlarında olan ahşap levha üzeri sıvalı, alçı levha üzeri sıvalı, yatay ve dikey yerleştirilmiş alçı levhalarla üretilmiş deney numunelerini yatay yük etkisi altında test etmiş ve dayanımları ile ilgili sonuçlar elde etmişlerdir [10].

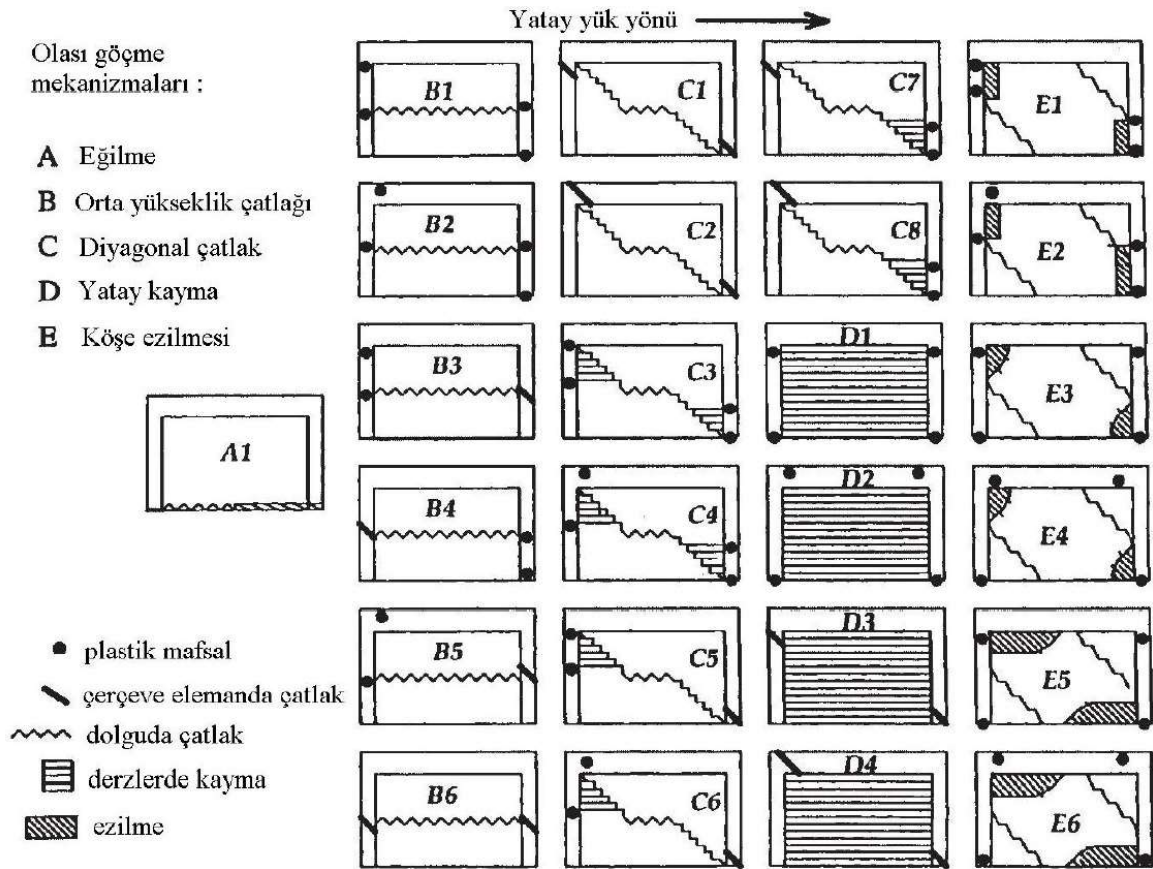
Wang (1987) Amerika ve Japonya standartlarına uygun olacak şekilde kuru alçı duvar sistemlerinde kullanılan kaplama malzemeleri üzerine bir çalışma yürütmüştür. ABD-Japonya Ortak Araştırma Programı kapsamında yapılan çalışma, altı katlı çelik çerçeve sistem içerisinde bölme duvarların ve kaplama elemanların yatay deprem yüklemesi etkisindeki performanslarının incelendiği bir çalışma olmuştur. Çalışma, gerçek ölçüleriyle altı katlı bir yapı içerisinde taşıyıcı olmadığı ve sistem stabilitesine herhangi bir katkısı bulunmadığı düşünülen bölme duvar performansının araştırıldığı önemli bir araştırma olması nedeniyle literatüre önemli bir katkı sağlamıştır [11].

Adham ve diğerleri (1990) konut türü yapılarda kullanılan kuru alçı panel sistemlerinin taşıyıcı iskeletini oluşturan hafif çelik iskelete, diyagonal elemanlar ekleyerek altı adet deney gerçekleştirmişlerdir. Bu altı deneyin biri diyagonal eleman olmadan, bir diğeri tek taraflı diyagonal eleman kullanılarak ve diğer dördü ise çift taraflı diyagonal eleman kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Deneysel çalışma sonucunda eklenen diyagonal elemanların kuru alçı panel sistemlerin yatay yük etkisi altında yaptıkları deformasyon miktarını azalttığı ve yük taşıma kapasitelerini arttırdığı sonucu elde edilmiştir [12].

Karacabeyli ve Ceccotti (1996), binalarda bölme duvar elemanı olarak alçı levha kullanmanın güvenilir olup olmadığını araştıran bir çalışma gerçekleştirmişlerdir. Kontrplak, OSB ve alçı levhaları da içeren bir dizi bölme duvar elemanı ile yapılan deneyler sonucunda OSB ve alçı levhalar ile kompozit bir şekilde üretilen bölme duvarların yatay yüklere karşı dayanımlarının daha yüksek olduğu sonucuna varmışlardır. Bu iki malzemenin birlikte kullanımından elde edilen fazladan dayanımın yanında taşıyabildikleri maksimum yükü aldıktan sonra sünekliklerinin, OSB'nin tek başına kullanımında elde edilen süneklikten daha az olduğunu belirtmişlerdir [13].

Shing ve Mehrabi (2002) tuğla bölme duvarların çerçeve içerisindeki davranışını tahmin edebilmeye yönelik bir çalışma yapmışlardır. Araştırmalarında, tuğla bölme duvarların

çerçeve içerisinde bir basınç çubuğu gibi davrandığını ve bu duvarların dayanımlarının çerçeve ve tuğla dolgunun dayanımlarının ayrı ayrı toplamından ibaret olmadığını ortaya koymuşlardır. Araştırmacılar dolgu ve çerçeve dayanım farklılıklarından kaynaklı olarak dolgulu çerçeveler için 25 farklı göçme mekanizması oluşabileceğini belirtmişlerdir. Şekil 2.1'de Shing ve Mehrabiye göre tuğla dolgulu çerçevelerin göçme mekanizmaları sunulmuştur [4].



Şekil 2.1. Tuğla dolgulu çerçevelerin göçme mekanizmaları [4]

McMullin ve Merrick (2002) alçı levhaların deprem performansını belirleyen parametrelerini ve tamir maliyetini araştıran 17 adet deney yapmışlardır. Bu deneyde bağlantı elemanları adedi, dizilimi, alçı levha panellerin yerleşimi, yükleme protokolü gibi parametreler değişken şekillerde uygulanmıştır. Deneyisel çalışmaların sonunda sistem dayanımlarının kullanılan bağlantı elemanlarının tipiyle ve alçı levha panellerin dizilim şekilleriyle değiştiği görülmüştür. Yapılan deneylerde sistemlerin ilk hasarının genellikle vida noktalarındaki çatlaklarla başladığı ve kuru alçı levha panel sistemlerin maksimum yük dayanımlarına %1-1,5 ötelenme oranlarında ulaştığı görülmüştür. Bu sistemlerin tamir

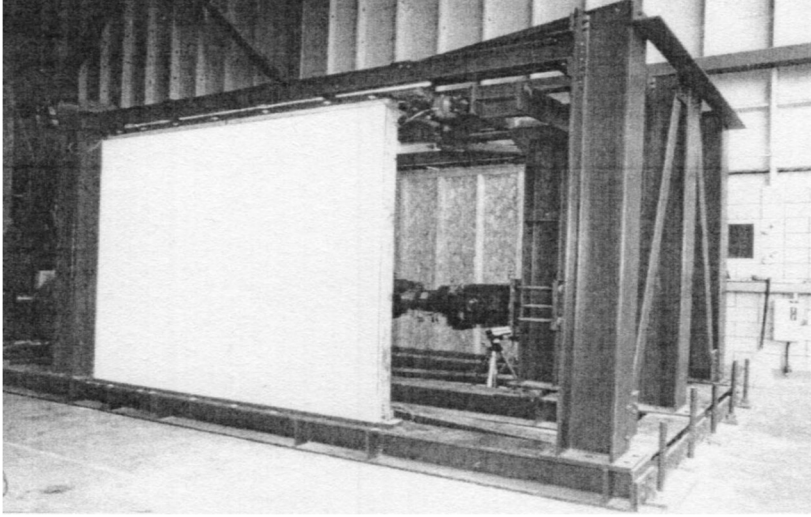
maliyetlerinin ise tamir işi için çalışacak işçi sayısı ile doğru orantılı olduğu çalışmada belirtilmiştir. Alçı levha sisteminin tamir edilemez hasarı almasının genelde %2 kat ötelenme oranlarında görüldüğü belirtilmiştir. Deney numunelerinden birinin %0,75 kat ötelenme oranındaki durumu Resim 2.1’de verilmiştir [14].



Resim 2.1. Deney numunesi [14]

Uang ve Gatto (2003) aynı anda 2 bölme duvarı test edebilen bir deney düzeneği ile 9 adet deney yapmışlardır. Deneylerde OSB, kontrplak ve alçı levhalar kaplama elemanı olarak kullanılmış ve yatay yükler etkisinde test edilmiştir. Deneysel çalışma sonucunda alçı levhaların dayanımı %12 arttırdığı gözlenirken, deformasyon yapabilme özelliğini ise %31 düşürdüğü belirtilmiştir. Farklı plakaların aynı anda kullanıldığı deneylerde plakaların birbirine yapışmasını sağlayan sıva harcının, yanal rijitliği artıran fazladan bir bağlantı elemanı gibi davrandığı gözlenmiştir [15].

Kanvinde ve Deierlein (2006), McMullin ve Merrick (2002) [14] tarafından 2002’de bildirilen deneysel çalışmayı kullanarak alçı levha bölmelerin sismik performansının belirlenebilmesi için analitik bir araştırma yapmışlardır. Deneysel sonuçları doğrular nitelikte sonuçlar elde edilen analitik çalışmanın sonucunda, taşıyıcı eleman olarak düşünülmesine bile, alçı levhaların ahşap çerçeve yapılarındaki yanal kuvvete ve rijitliğe katkıda bulunan önemli bir ikincil yapı elemanı olduğunu belirtmişlerdir [16].



Resim 2.2. Deney düzeneği [15]

Lee, Kato, Matsumiya, Suita ve Nakashima (2007) 4 adet hafif galvanize çelik taşıyıcı iskeletli, tam ölçekli (2800 mm x 3950 mm) bölme duvarı yatay yük etkisi altında test etmişlerdir. Bu deneylerin ilk 3'ü duruğumsu (quasi-static) yükler altında yapılırken son deney dinamik yükler etkisinde yapılmıştır. Deney çalışmasında üretilen bölme duvarlar Japonya'da kullanılan iç bölme duvar üretim süreci esas alınarak üretilmiştir. Deneysel çalışmada çift kat alçı levhali sistem, kapı boşluklu çift kat alçı levhali sistem ve birbirine dik doğrultularda üretilmiş iki bölme duvarın bulunduğu sistem deneye tabi tutulmuştur. Kapı boşluksuz deney numunesi dinamik yük etkisi altında da test edilmiştir. Deney çalışmasının sonunda numunelerin hasar alma şekilleri, yük-deplasman grafikleri karşılaştırılmış, hasar almış numunelerin tamir maliyetinin kat ötelenme oranlarıyla doğrusal bir ilişkisi olduğu belirtilmiştir [17].

Memari, Kasal, Manbeck ve Adams (2009) 4 adet ahşap iskeletli, 5 adet metal iskeletli alçı levhalar ile oluşturulmuş bölme duvarı yatay yükler etkisi altında test eden bir çalışma yapmışlardır. Deney numunelerini tersinir tekrarlanır ve monotonik yükler uygulayarak test etmişlerdir. Çalışma sonucunda monotonik yük etkisinde ahşap iskeletli kuru alçı panel sistemin, metal iskeletli sistemden %90 daha fazla yük taşıma kapasitesine sahip olduğu görülmüştür. Ayrıca monotonik yük etkisindeki deney numunelerinin, tersinir tekrarlanır yükler etkisindeki numunelere göre yük taşıma kapasitesi değerleri %4-6 arası düşük olduğu gözlenmiştir. Küçük değerlere sahip olan bu fark, monotonik yüklemenin malzeme davranışını ölçme süreci bakımından tersinir tekrarlanır yükler etkisinde test edilmesine benzer sonuçlar verebileceği şeklinde yorumlanmıştır [18].



Resim 2.3. Dinamik yük etkisinde test edilen deney numunesi [17]

Dinehart, Leese ve Patterson (2010) kuru alçı panel sistemler ile sistem çerçevelerini oluşturan ahşap ve hafif galvanize çelik profillerin bağlantılarını araştıran bir çalışma yapmışlardır. Yaptıkları çalışmada alçı levhalar ile hafif galvanize çelik ve ahşap iskeletlerin birleştirilmesinde viskoelastik polimerler kullanmışlardır. Deneysel araştırmanın sonucunda geleneksel olarak vidalar ile birleştirilen numunelerde rijitlik ve enerji tüketim kapasitelerinde azalma olurken, ahşap çerçeve-alçı levha birleşimlerinde viskoelastik polimer kullanımı rijitlik ve enerji tüketme kapasitelerini koruyan bir davranış sergilemiştir. Hafif galvanize çelik-alçı levha birleşimlerinin ise vidalı birleşimlerden 3,7 kat daha fazla enerji tükettiği ve deney sürecinde bu numunelerde viskoelastik polimerin hasar almadığı tüm hasarın alçı levhalarda toplandığı belirtilmiştir [19].

Pan ve Shan (2011) metal çerçeveli bölme duvarların mekanik özelliklerini belirlemek için 5'i alçı levha, 5'i kalsiyum silikat levha, 2'si OSB, 1'i kaplamasız çerçeve olmak üzere olmak üzere 13 adet deney yapmışlardır. Yapılan deneylerde maksimum dayanım gösteren OSB olurken, en düşük dayanımı alçı levha göstermiştir. Ayrıca malzemelerin kalınlıkları arttıkça maksimum dayanımlarının da yükseldiği belirtilmiştir. Çalışma sonucunda en boy oranı 0,5 olan numunelerin, en boy oranı 1 olan numunelere göre %35 daha az dayanım gösterdiği gözlenmiştir [20].

Yu ve Li (2012) metal çerçeveli 12 kuru alçı panel sistemini monotonik ve tersinir tekrarlanır yükler etkisi altında test etmişlerdir. Deneylerin 4'ünün monotonik, 8'inin ise tersinir tekrarlanır yükler etkisi altında yapıldığı çalışmada numunelerinin hasar alma şekillerinin 7 farklı şekilde gerçekleştiğini gözlemlemişlerdir. Deneysel çalışmanın sonucunda metal çerçeveye sahip alçı panel sistemlerin, aynı taşıyıcı çerçeveye sahip ahşap yapılı kaplama malzemelerine göre daha yüksek bir kesme dayanımı gösterdiği belirtilmiştir [21].

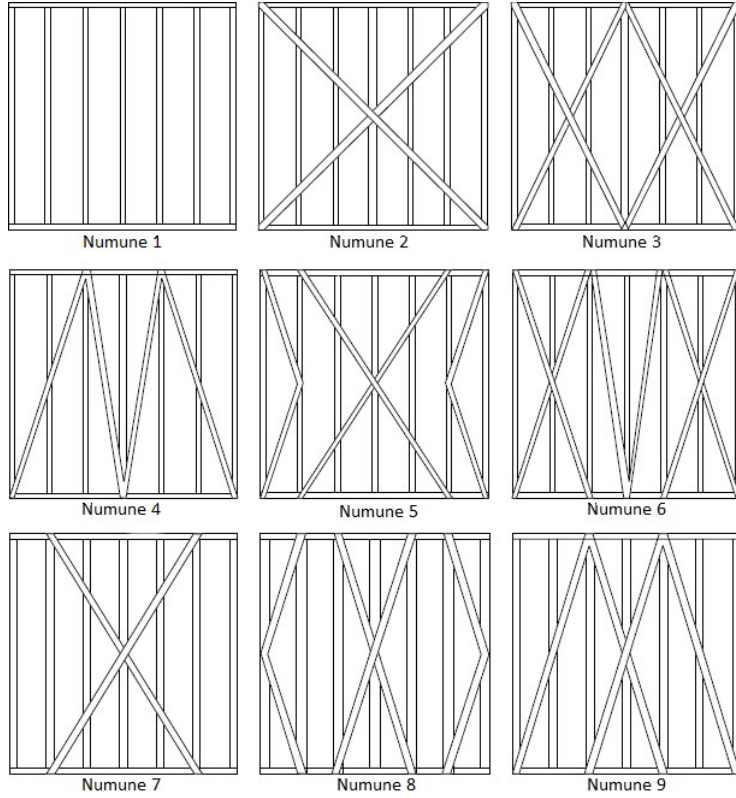


Resim 2.4. Son metal dikme elemanın burkulması [21]

Retamales, Davies, Mosqueda ve Fillatrault (2013) metal taşıyıcı iskeletli kuru alçı duvar panel sistemlerin sismik yüklere karşı tepkilerini, göçme mekanizmalarını ve gevrekliklerini araştıran bir deneysel çalışma yapmışlardır. Deney kapsamında bazı deneyleri, deney numunesini aynı özelliklerde birden fazla kere üreterek 36 deney numunesini test etmişlerdir. Farklı çerçeve – alçı levha bağlantılarına sahip numunelerin yatay yükler etkisi altında test edilmesiyle beraber oluşan göçme mekanizmaları karşılaştırılmıştır. Ayrıca kullanılan metal taşıyıcı iskelet elemanlarının kalınlıklarının 0,457 mm veya 0,762 mm olmasının taşıma kapasitesinde önemli bir farklılık yaratmadığı belirtilmiştir [22].

Gerami ve Lotfi (2014) sonlu elemanlar yöntemini kullanarak kuru alçı panel duvar sistemlerin mekanik özelliklerini araştıran bir analitik çalışma yapmışlardır. Çalışmada yükleme şekli, levha kalınlıkları, panel sistemin en boy oranları ve taşıyıcı iskelet destekleri değişkenler olarak seçilmişlerdir. Şekil 2.2'de verilen farklı taşıyıcı iskelet desteklerinin

kullanıldığı analitik çalışma sonucunda yatay yüklere karşı maksimum dayanım gösteren numune, iki tarafı da alçı levha ile giydirilmiş ve taşıyıcı iskeletinde diyagonal destekler bulunan, 2400 mm x 4800 mm ölçülerindeki 3 numaralı numune olmuştur. Ayrıca taşıyıcı iskeletinde çift taraflı diyagonal destek bulunan numunelerin dayanımları tek tarafında destek bulunan numunelere göre %60 oranında daha fazla olduğu gözlenmiştir [23].



Şekil 2.2. Çalışmada seçilen taşıyıcı sistemler [23]

Ye, Wang, Jia ve Zhao (2015), kaplama malzemesi, taşıyıcı metal profil kesit kalınlıkları ve bu profilleri yerleştirme aralığı ve en boy oranları değişkenleri seçilerek 6 adet deney yapmışlardır. Yaptıkları her bir deneyde alt katmanda alçı levha olmak üzere üst tabakaya; 3 deneyde kalsiyum silikat levha, diğer 3 deneyde ise Bolivya magnezyum levha kullanarak çift katlı bölme duvarlar üretmiş ve yatay deprem yükleri etkisi altında test etmişlerdir. Deneysel çalışma sonucunda çift katmanla üretilen bölme duvarların kesme dayanımlarının %30 daha yüksek olduğu belirtilmiş ve bağlantı elemanlarının üretimi sırasında uygulanan değişkenlerin yarattığı farklılıklar karşılaştırılmıştır [24].

Lafontaine, Chen, Doudak ve Chui (2017) ahşap taşıyıcı iskeletli bölme duvarlar üreterek bir dizi deney yapmışlardır. Deneylerin hepsinde cam elyaf destekli alçı levhalar

kullanmışlardır. Çalışmada alçı levhaların dayanımının yanı sıra bağlantı elemanları yerleşimlerinin dayanıma etkisi araştırılmıştır. Çalışmanın sonucunda dış kenara en yakın bağlantı elemanlarının 9-19 mm arasında içeriden yerleştirilmesinin dayanımda kayda değer bir değişim yaratmadığı gözlenmiştir. Bağlantı elemanı olarak çivi veya vida kullanımının dayanıma ve hasar alma şekillerine olan etkileri karşılaştırılmıştır [25].





3. DENEY DÜZENEĞİ VE TEST TEKNİĞİ

3.1. Genel

Modern ve geleneksel bölme duvarların deprem performanslarının karşılaştırılması Türkiye gibi deprem coğrafyası üzerinde yer alan bir ülke için önemli bir araştırma konusudur. Yapı tasarımında esas yaklaşım, yapıların büyük ve orta ölçekli depremlerde hasar alıp göçmeden ayakta kalabilmesidir. Yapılar bu depremlerde ayakta kalmalarına rağmen taşıyıcı olmayan bölme duvarlar ve döşemeler, asma tavan imalatları, pis ve temiz su sistemleri, havalandırma sistemleri vb. taşıyıcı olmayan ikincil yapı elemanları deprem sırasında hasar alarak yapının deprem sonrası kullanımını olanaksız duruma getirebilmektedir. Ayrıca ikincil yapı hasarlarının neden olacağı onarım maliyetleri yüksek boyutlara ulaşabilmektedir [14, 17, 26]. Bu nedenle, Türkiye gibi kaynakların doğru ve optimum bir biçimde kullanılması gereken bir ülkede, ikincil yapı elemanlarından birisi olan taşıyıcı olmayan bölme duvarların deprem performanslarının araştırılması, yapı tasarım aşamalarında kullanılabilecek yenilikçi sonuçlar ortaya çıkarabilir.

Kuru alçı duvar sistemlerinin, yapım hızının yüksek olması, fabrikasyon olarak çok daha birbiri ile özdeş üretilebilirliği, şantiye organizasyonları içinde yatay ve düşey taşınımının daha kolay olması gibi nedenlerle son yıllarda kullanımı yaygınlaşmaktadır [3, 27]. Son 15 yılda kullanımı artan alçı levha sistemlerden oluşturulmuş taşıyıcı olmayan bölme duvar sistemlerin deprem performansının araştırılmasının ve bu performans sonuçlarının geleneksel bölme duvarlarla karşılaştırılmasının önemli olduğu düşünülmüştür. Bu kapsamda dört farklı kuru alçı duvar panel sistemi ile geleneksel olarak yapılarımızda kullanılan tuğla, hafif beton briket ve gaz beton malzemelerinden üretilen tam ölçekli bölme duvarların, deprem yüklerini benzeştirecek şekilde yatay tersinir tekrarlanır yükleme etkisinde deprem performanslarının incelenmesi için özel bir deney düzeneği hazırlanmış ve duvarlar test edilmiştir.

Geleneksel bölme duvar malzemeleriyle üretilmiş olan duvarların, duvar kalınlıkları bir konut yapısının iç bölme duvarlarını temsilen 100 mm olarak düşünülmüştür. Yapısal özellikleri farklı olan tuğla, hafif beton briket ve gaz betonların piyasada bulunan 100 mm ölçüsüne en yakın olanlarından duvarlar üretilmiş ve bütün olarak deprem performansları ayrı ayrı değerlendirilmiştir. Alçı levha ile üretilen bölme duvarlarda ise C profil genişliği,

taşıyıcı çelik iskelet kesitindeki C profili sayısı ve uygulanan alçı levha katman sayıları değiştirilerek, yatay deprem yükleri etkisi altındaki performansa etkisi araştırılmıştır. Bu kapsamda genişliği 50 mm, 75 mm ve 100 mm olan C profilleri kullanılmıştır. Sonuç bölümünde, geleneksel ve modern bölme duvar malzemeleriyle üretilen duvarların deprem performansları kendi içlerinde değerlendirilmiştir. Ayrıca birbirlerine olan avantaj ve dezavantajları yorumlanmıştır.

3.2. Deney Elemanları

2002-2016 yılları arasında Türkiye yapı stokuna eklenen her 100 yapının yaklaşık olarak 94'ü çerçeve taşıyıcı sistemli olarak inşa edilmiştir [3]. Deneysel çalışma kapsamında, Türkiye yapı stokunun önemli bir bölümünü oluşturan (Çizelge 3.1.) çerçeve taşıyıcı sisteme sahip 7 adet deney elemanı tam ölçekli ve yapıların orta katlarını temsil eden test çerçevesi içerisinde test edilmiştir.

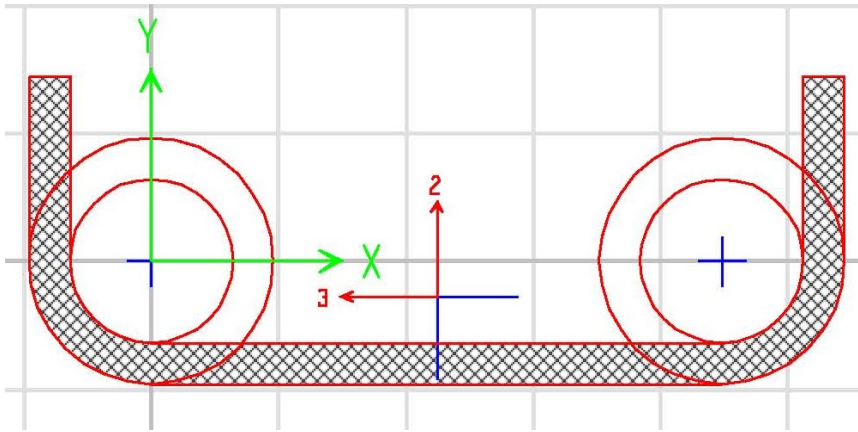
Çizelge 3.1. 2002-2016 yılları arasında inşa edilen yapıların taşıyıcı sistemlerine göre tüm yapı stoku içindeki oranı

Yıl	Yığma (%)	Çelik İskelet (%)	Ahşap İskelet (%)	Betonarme İskelet (%)	Kompozit (%)	Prefabrik (%)
2002	6,21	0,24	0,04	91,47	1,38	0,66
2003	6,25	0,27	0,05	91,67	1,11	0,65
2004	8,66	0,45	0,07	89,09	1,04	0,69
2005	6,92	0,41	0,19	91,59	0,08	0,82
2006	6,31	0,62	0,49	89,94	1,16	1,48
2007	5,67	0,82	0,35	90,48	0,60	2,09
2008	5,40	0,97	0,69	90,98	0,86	1,10
2009	5,50	1,13	0,23	90,51	1,40	1,22
2010	6,64	1,67	0,29	89,31	0,50	1,58
2011	5,94	1,14	0,22	90,94	0,52	1,22
2012	5,45	1,52	0,20	90,06	0,86	1,92
2013	4,84	1,48	0,18	90,83	1,34	1,34
2014	4,36	1,82	0,27	90,83	1,22	1,51
2015	3,45	1,65	0,16	92,16	0,88	1,70
2016	2,76	1,77	0,18	93,24	0,62	1,43

3.2.1. Test çerçevesi

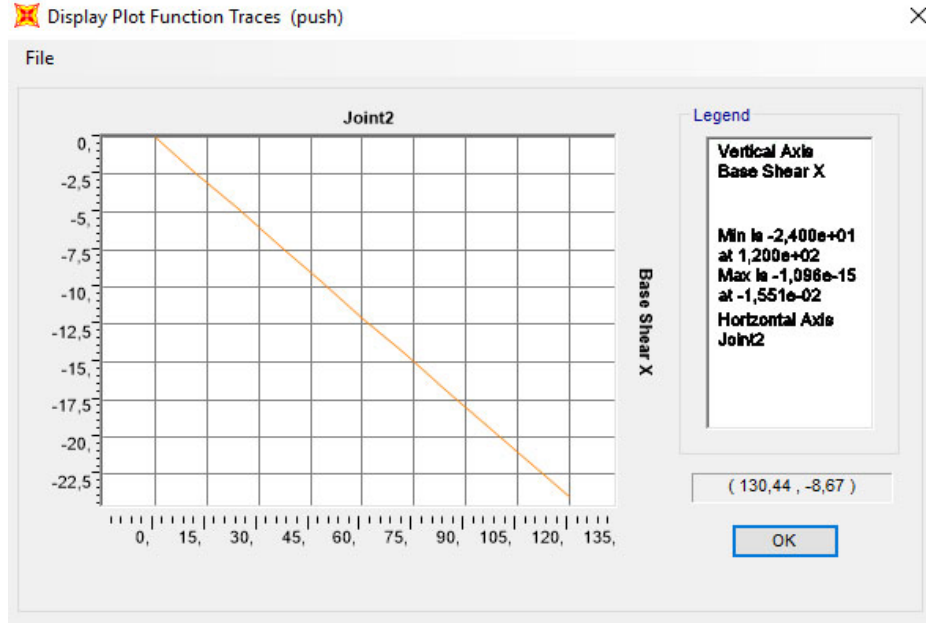
Gerçek yapılardaki bölme duvarların sismik yükler altında kalacağı davranışı deneysel olarak benzeştirmek amacıyla deneyler çelik bir çerçeve içerisinde yapılmıştır. Ayrıca, deneysel parametrelerin sonuçlar üzerindeki etkisini doğru biçimde analiz etmek amacıyla, tüm deneylerde özdeş sargılama etkisi sunan bir çerçeve üretilmesi amaçlanmıştır. Bu amaçla, deneyin yapılması düşünülen deplasman düzeylerinde doğrusal elastik davranış gösteren bir çelik çerçeve tasarlanmış ve tasarımı uygun biçimde titizlikle üretilmiştir. Böylece, deney sonrasında elde edilen histeresis eğrilerinden, deney çerçevesinin etkisinin çıkartılması ve deney yorumlarının sadece dolgu duvarlar parametreleri etkisi altında yorumlanması mümkün olmuştur.

Çelik çerçevenin yapısal tasarımı tez danışmanı tarafından, SAP2000 yapısal analiz programı kullanılarak yapılmıştır. Çerçevenin yatay ve düşey taşıyıcıları St52 sınıfı U profilin küçük miktarda temin edilememesi nedeniyle, özel olarak 10 mm kalınlığındaki St52 sınıfı yüksek dayanımlı çelik levhanın “U” şeklinde bükülmesi ile imâl edilmiştir. Soğuk büküm ile imâl ettirilen kesitin SAP2000 programından alınan çizimi Şekil 3.1’de verilmiştir.



Şekil 3.1. Çelik çerçeve kesiti

Bu aşamadan sonra çerçevenin yazılım ile itme analizi yapılarak Şekil 3.2’de verilen grafik elde edilmiştir.



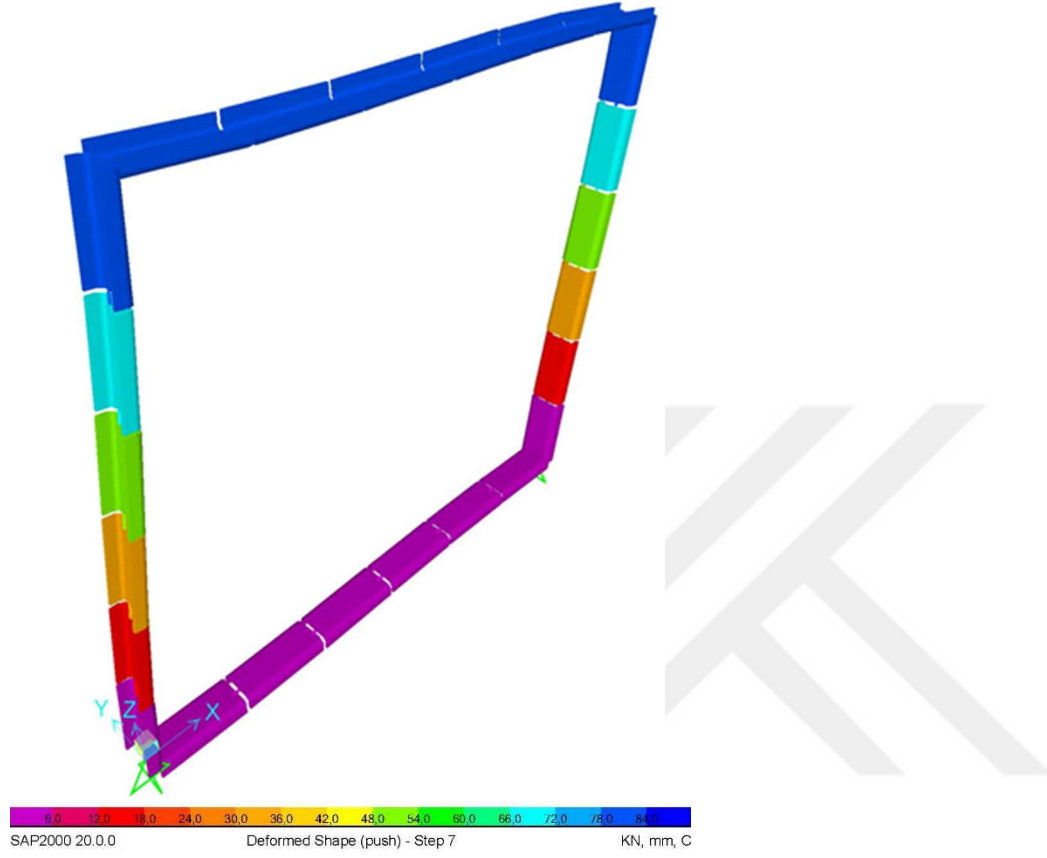
Şekil 3.2. Çelik çerçeve yük-deplasman grafiği

Analiz aşaması, deneysel çalışmanın sınır değeri olarak belirlenen $\pm 3\%$ 'lük kat ötelenme oranına kadar analitik olarak güvenli olduğu hesaplanmasından sonra üretimine başlanmıştır. Çerçevenin SAP2000 programından alınan $\pm 3\%$ 'lük yükleme aşamasında yatay doğrultudaki deplasman çizimleri Şekil 3.3'de verilmiştir.

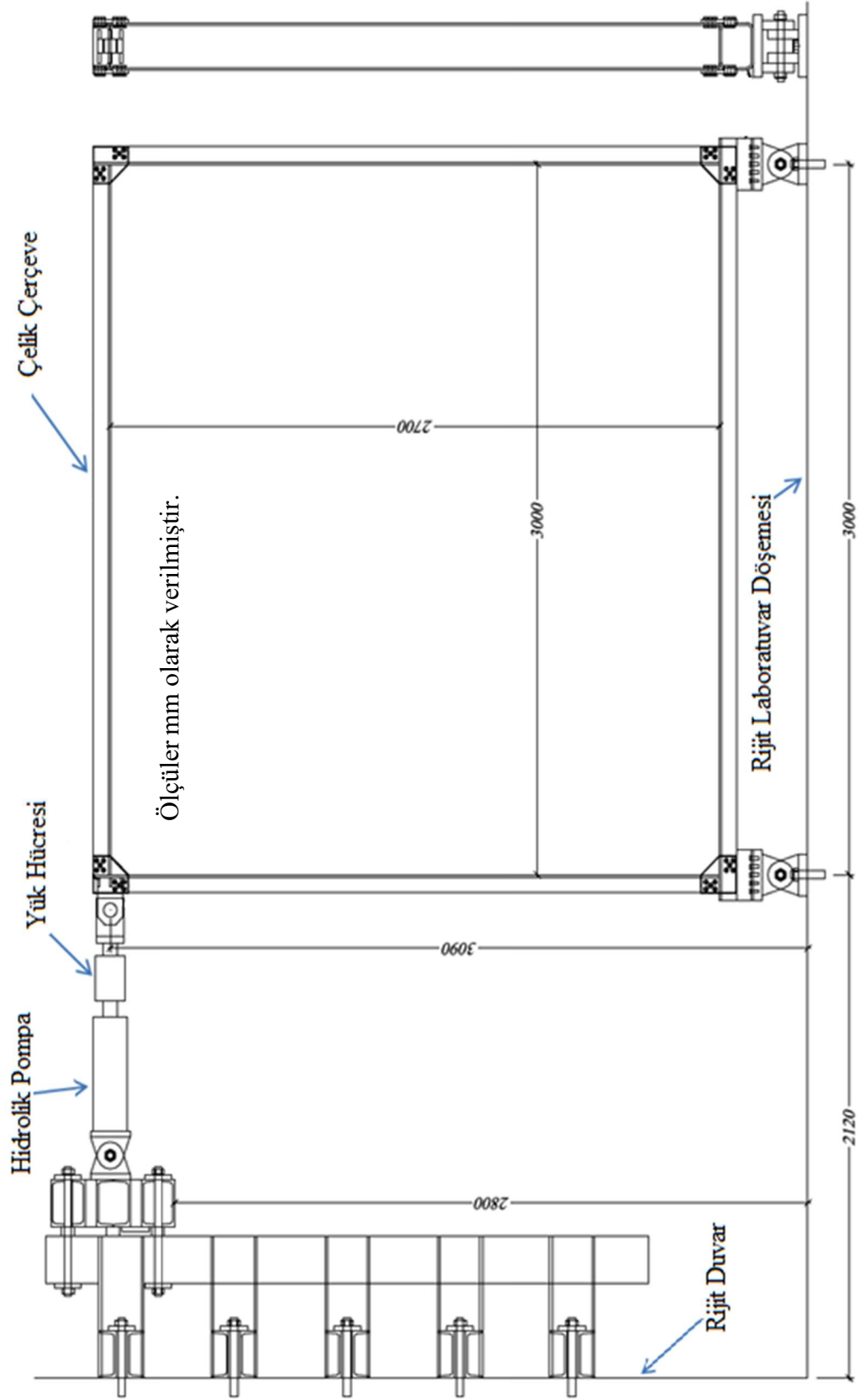
Gazi Üniversitesi Teknoloji Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü Yapı Mekaniği Laboratuvarı tam ölçekli, tek katlı ve tek açıklıklı bir bölme duvar yüzeyi üretimine olanak sağlayacak altyapıya sahip olduğundan deney elemanının uygulanacağı çerçeve tam ölçekte ve gerçek bir yapıdaki kat yüksekliğinde üretilmiştir. Çelik dış çerçevenin boyutları Şekil 3.4'de verilmiştir. Çerçeveyi oluşturan çelik elemanları, daha sonra kolay biçimde sökülmesi amacıyla birbirlerine bayrak levhaları aracılığı ile bulonlanarak bir araya getirilmiştir. Daha sonra mafsal ve birleştirme parçaları ile çelik çerçeve, depremi benzeştiren tersinir tekrarlanır yatay yüklemenin etkitileceği yükleme kolonu ile bağlanmıştır.

Üretimin tamamlanmasından sonra çelik çerçeve 500 mm kalınlığındaki rijit laboratuvar döşemesine, iki adet, düzlem dışı hareketi engellenmiş mafsal ile bağlanmıştır. Böylece çelik çerçevenin 4 köşesinde de eşit moment taşıma kapasitesine sahip olması ve taşıyıcıların benzer rijitlik sergileyerek dolgu duvarın kırılmasında çerçeveden kaynaklanan herhangi bir etkinin gelişmemesine özen gösterilmiştir. Bu sistem aynı zamanda eksenel yük düzeyi moment kapasitesinde etkin olmayan gerçek bir yapıdaki ara kat çerçevesinin deneysel

düzeneğe aktarılmasında da başarılı olmuştur. Deney düzeneğinin görünüşü, deneysel çalışma sırasında çekilmiş olan fotoğraflardan seçilerek Resim 3.1’de sunulmuştur.



Şekil 3.3. Çerçevenin %3,00 kat ötelenme oranı adımımda deplasman analizi



Şekil 3.4. Çelik yükleme çerçevesi test düzeneği



(a)



(b)



(c)



(d)

Resim 3.1. Çelik çerçevenin deneyler sırasındaki görünüşü

3.2.2. Deney numuneleri

Taşıyıcı çelik profil ebat ve adetleri ve alçı levha katman sayısı farklı kuru alçı panel duvar sistemleri ile geleneksel olarak yapı stokunda kullanılan tuğla, hafif beton briket ve gaz beton bölme duvarlar tez kapsamında incelenmiştir. Deneysel çalışmalarda yer alan bu deney numunelerinin özellikleri Çizelge 3.2’de verilmiştir. Çizelgede C harfinin ardından gelen rakam iskelette kullanılan profilin sırt kalınlığını belirtmektedir. C harfinden önce gelen D harfi ise çift C profil kullanılıp kullanılmadığını ifade etmek için kullanılmıştır. Adlandırmada tire “-” işaretinden sonra kullanılan rakam, alçı bölme duvarın kaplamasında kaç adet alçı levha katmanı olduğunu ifade etmektedir. Tez kapsamında irdelenen malzeme ebat ve adet değişkenleri, alçı levha ile bölme duvar üretimi sürecini organize eden ALÇIDER üyesi firmaların, sektöre yönelik gözlemleri sonucunda kuru alçı panel duvar üretiminde en çok kullanılan uygulama prosedürlerine sahip kombinasyonları kapsamaktadır.

Çizelge 3.2’de kısa adları listelenen bu kombinasyonların kesitlerine ait basit çizimler Şekil 3.5’de sunulmuştur.

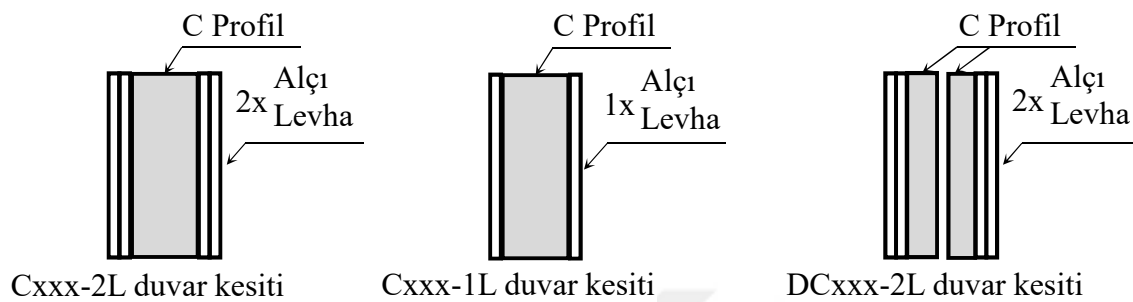
Çizelge 3.2. Deney numunelerinin özellikleri

Deney Elemanı	Açıklama
C100-2L	100 mm genişliğindeki C profile 2 kat alçı levha vidalanan bölme duvar
C50-2L	50 mm genişliğindeki C profile 2 kat alçı levha vidalanan bölme duvar
C75-1L	75 mm genişliğindeki C profile tek kat alçı levha vidalanan bölme duvar
DC50-2L	Taşıyıcı iskeleti 2 adet 50 mm genişliğinde C profil ile oluşturulan ve her iki yüzünde de 2 kat alçı levha bulunan bölme duvar
TD	Tuğla Duvar
HBD	Hafif Beton Briket Duvar
GBD	Gaz Beton Duvar

3.2.3. Ölçüm düzeni

Tez kapsamında bölme duvar sistemlerin depremi benzeştiren yatay tersinir tekrarlanır yükleme etkisindeki performansının araştırılması, Gazi Üniversitesi Teknoloji Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü Yapı Mekaniği Laboratuvarında gerçekleştirilmiştir.

Düzeltilmiş yatay deplasman değerlerini ölçebilmek için LVDT (Linear Variable Differential Transformer) ve SG (Strain Gauge) kullanılmıştır. Resim 3.2’de gösterilen yük hücresi ile uygulanan deprem yükü ve deformasyon ölçümleri Resim 3.3’de gösterilen veri toplama ünitesi ile bilgisayara aktarılarak kayıt edilmiştir.



Şekil 3.5. Alçı levha ile üretilmiş bölme duvarların kesitleri



Resim 3.2. Hidrolik piston ve yük hücresi

Bir adet LVDT, deney elemanlarının yatay deplasmanlarının ölçülebilmesi için üst kiriş hizasında sağ kolon üst kısmına yatay olarak yerleştirilmiştir. Bölme duvarların hareketleri alt kiriş üzerine yerleştirilen üç adet LVDT ile kayıt altına alınmıştır. Bu LVDT'lerin iki tanesi deney düzeneğinin dönme miktarının hesaplanmasında, üçüncüsü ise yük

doğrultusundaki deplasman değerin belirlenmesi amacıyla kullanılmıştır. Sağ kolon alt ucuna sabitlenen ölçüm aletleri Resim 3.4’de gösterilmiştir.



Resim 3.3. Sekiz kanallı veri toplama cihazı



Resim 3.4. Sağ kolon alt ucunda kullanılan ölçüm araçları

Deneyler esnasında kullanılan ölçüm düzeni Şekil 3.6’da verilmiştir. D5 ve D6 numaralı LVDT’ler diyagonal basınç çubuğu doğrultusunda yerleştirilerek kesme çatlağı ölçümü alınmıştır. Ölçüm düzeneğindeki D1, D2, D3 ve D4 numaralı LVDT’ler ile bölme duvar

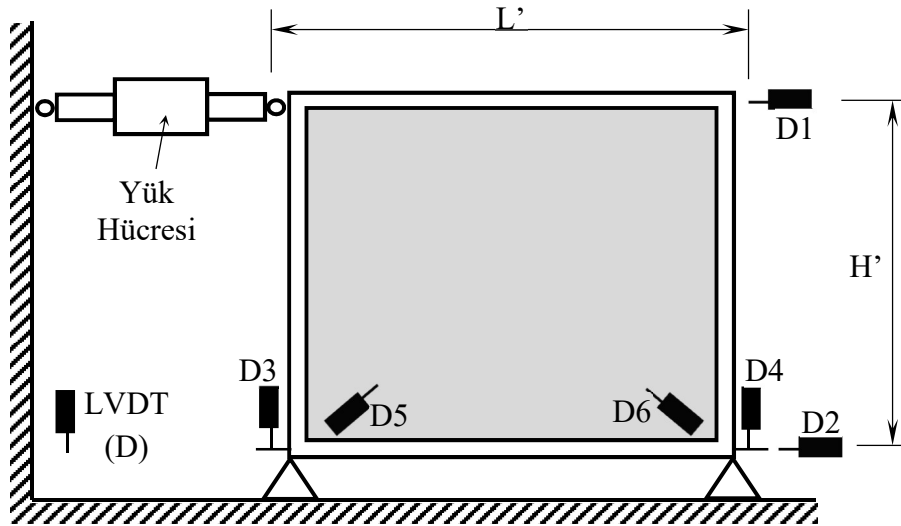
elemanlarının yük doğrultusundaki düzeltilmiş deplasmanı aşağıdaki eşitlikler kullanılarak hesaplanmıştır.

$$\Delta_{\theta 1} = \frac{(D3 - D4)}{L'} \times H' \quad (3.1)$$

$$\Delta_1 = D1 - D2 - \Delta_{\theta 1} \quad (3.2)$$

Eşitliklerde;

D1	Yük doğrultusunda ölçülen kat deplasmanı (mm)
D2	Alt kirişin ölçülen yatay deplasmanı (mm)
D3, D4	Alt kiriş sağ ve sol uçlarının düşey deplasmanları (mm)
H'	Alt kiriş ve üst kiriş eksenleri arasındaki uzaklık (mm)
L'	D3 ve D4 ölçüm noktaları arasındaki uzaklık (mm)
$\Delta_{\theta 1}$	Alt kirişin dönmesinden dolayı üst kirişte ölçülen yatay deplasman (mm)
Δ_1	Düzeltilmiş yatay deplasman (mm)



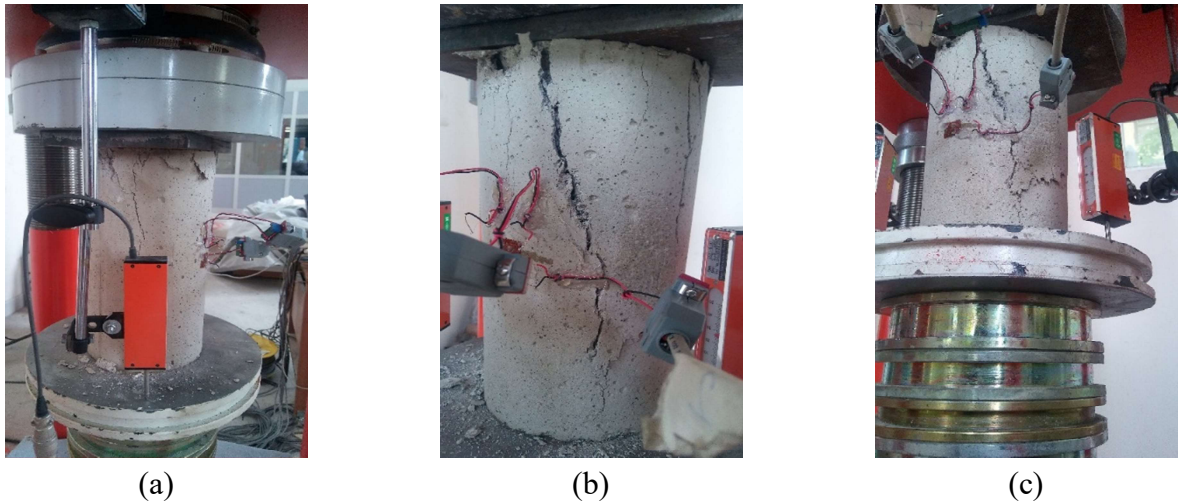
Şekil 3.6. Ölçüm düzeneği ve LVDT yerleşimleri

3.2.4. Deney elemanlarının üretiminde kullanılan malzemeler

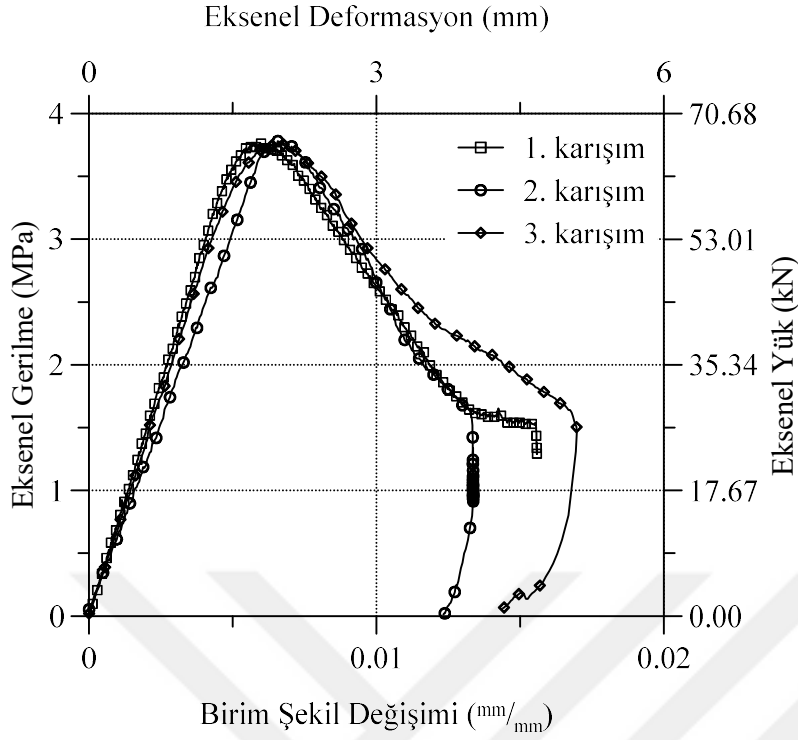
Deneysel çalışma kapsamındaki elemanların üretiminde kullanılan malzemelere ait mekanik özelliklerin sunulacağı bu bölümdeki deneysel veriler Gazi Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi tarafından desteklenen 07/2018-02 numaralı proje kapsamında elde edilen bulgulara dayanmaktadır.

Harç

TD deneylerinde, ASTM C270-14a standardında N tipi olarak belirtilen harç türü kullanılmıştır [28]. Harç kuru karışımı içerisindeki çimento, kireç ve elek açıklığı 3 mm olan elekten geçirilmiş kum hacimce sırasıyla 1/1/6 oranlarında birbiriyle karıştırılmıştır. Elde edilen kuru karışıma son aşamada hacimsel olarak 1,5 oranında su eklenerek kullanıma hazır hale getirilmiştir. Tuğla birimlerin kullanıldığı tüm duvar elemanlarında özdeş oranlarda harç karışımı kullanılmıştır. Harcın eklenen su ile yaklaşık olarak 45 dakika olan çalışılabilme süresi sonunda, harç atılarak tekrar bir karışım yapılmış ve malzemeden kaynaklanan bir üretim kusurunun dayanımı etkilememesine özen gösterilmiştir. Her bir duvar imalatında hazırlanan harçlardan 3 adet silindir numune alınarak malzemelerin basınç dayanımlarının ve diğer mekanik özelliklerinin belirlenebilmesi amacıyla eksenel basınç testine tabi tutulmuştur. Test sırasında alınan görüntüler Resim 3.5’de verilmiş, elde edilen gerilme-birim şekil değiştirme grafiği de Şekil 3.7’de gösterilmiştir.



Resim 3.5. N tipi çimento takviyeli kireç harcı karışımlarının eksenel basınç deneyleri



Şekil 3.7. N tipi çimento takviyeli kireç harcı karışımların gerilme birim şekil değiştirme grafiği

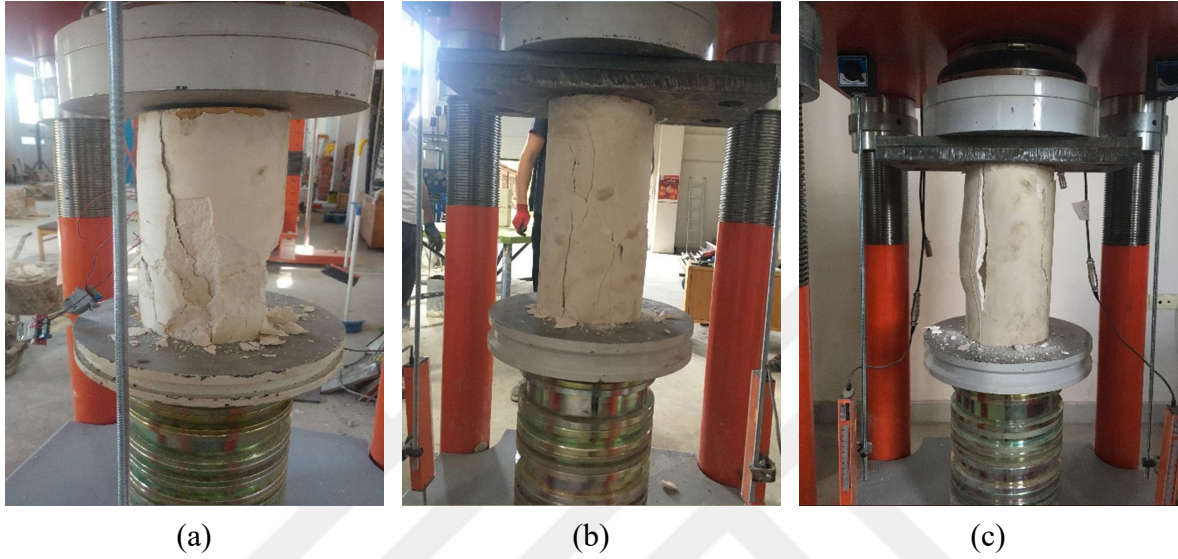
Alçı levha

Alçı çekirdeğinin her iki yanına sıkıca yapıştırılmış sağlam ve dayanıklı karton tabakaların oluşturduğu, çekirdeğine kullanım amacına göre ilave katkı maddeleri eklenebilen, iki uzun kenarı da kartonla kaplanan düz dikdörtgen şekilli bir yapı malzemesidir [29].

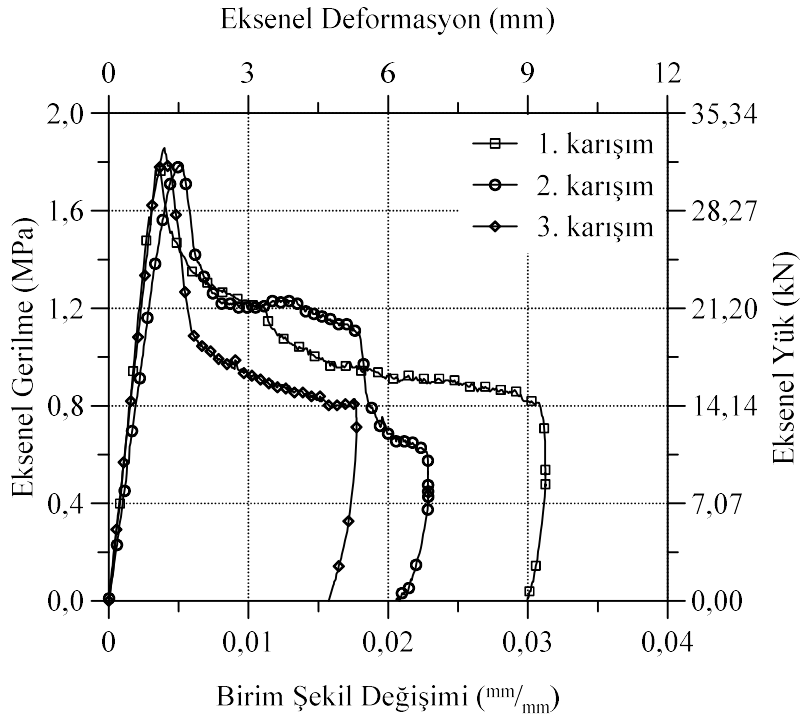


Resim 3.6. Alçı levha malzemesi

Bilimsel araştırma projesi kapsamında, alçı levhaların basınç dayanımlarının ve diğer mekanik özelliklerinin belirlenebilmesi amacıyla, alçı harcından hazırlanmış 3 adet silindir numune ile aksel basınç testi yapılmıştır. Test sırasında alınan görüntüler Resim 3.7’de verilmiş, elde edilen gerilme-birim şekil değiştirme grafiği de Şekil 3.8’de gösterilmiştir.



Resim 3.7. Alçı harcı karışımlarının aksel basınç deneyleri



Şekil 3.8. Alçı harcı karışımların gerilme birim şekil değiştirme grafiği

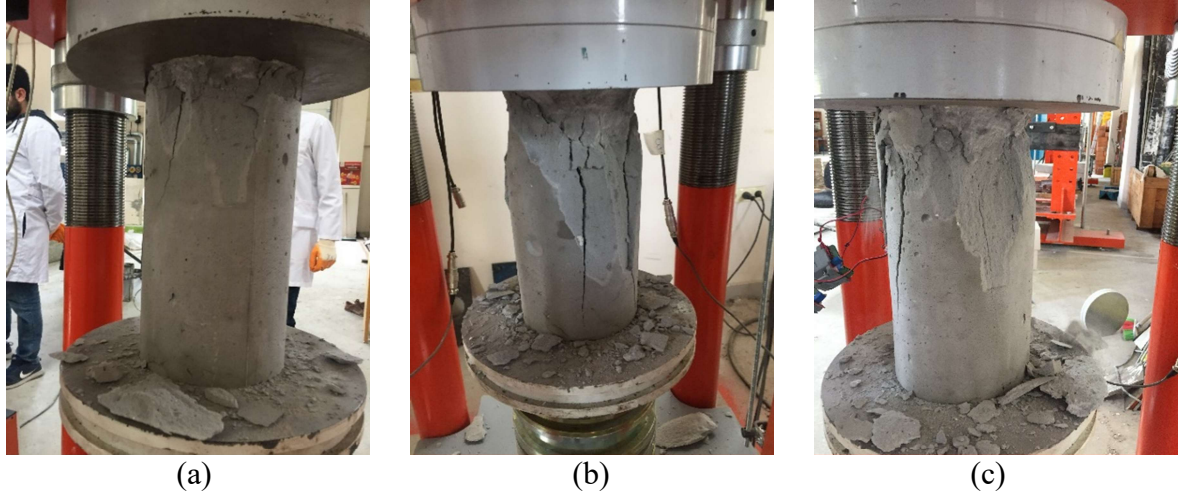
Deneyde kullanılan alçı levhaların malzeme özellikleri Çizelge 3.3’de verilmiştir.

Çizelge 3.3. Alçı levha malzeme özellikleri

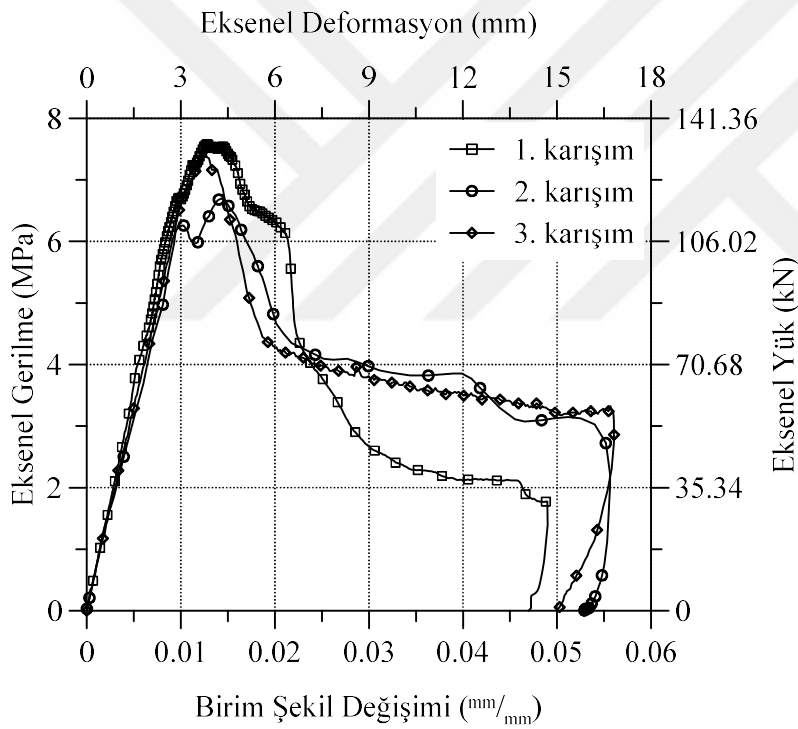
Malzeme özelliği	Birim	Değerler
Boyutlar	mm	600x12,5x2700
Isıl geçirgelik kat sayısı	W/m.K	0,20
Yangın direnci	-	A2-s1,d0
Birim hacim ağırlığı	kg/m ³	720

Yapıştırıcı

HBD ve GBD deneylerinde, hafif beton briket ve gaz beton kâgir birimlerin yüzeylerinde mikro düzeyde gözenekli yapılar bulunduğundan, üretici firmalar tarafından özel yapı kimyasalı ile hazırlanan yapıştırıcılar kullanılması tavsiye edilmiştir. Yapıştırıcı harç karışımı içerisindeki su ve yapı kimyasalı tozu kütlece sırasıyla 1/3 oranlarında birbiriyle karıştırılmıştır [30]. Hafif beton briket ve gaz beton kâgir birimlerin kullanıldığı tüm duvar elemanlarında özdeş oranlarda harç karışımı kullanılmıştır. Harcın yaklaşık olarak 30 dakika olan çalışılabilme süresi sonunda, harç atılarak tekrar bir karışım yapılmış ve malzemeden kaynaklanan bir üretim kusurunun dayanımı etkilememesine özen gösterilmiştir. Her bir duvar imalatında hazırlanan harçlardan 3 adet silindir numune alınarak malzemelerin basınç dayanımlarının ve diğer mekanik özelliklerinin belirlenebilmesi amacıyla eksenel basınç testine tabi tutulmuştur. Test sırasında alınan görüntüler Resim 3.8’de verilmiş, elde edilen gerilme-birim şekil değiştirme grafiği de Şekil 3.9’da gösterilmiştir.



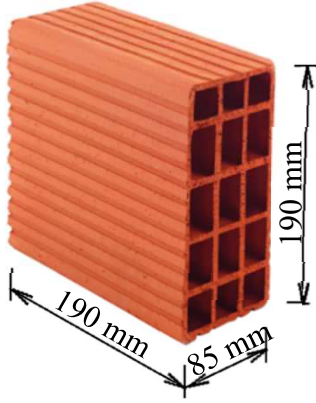
Resim 3.8. Yapıştırıcı karışımlarının eksenel basınç deneyleri



Şekil 3.9. Yapıştırma harcı karışımlarının gerilme birim şekil değiştirme grafiği

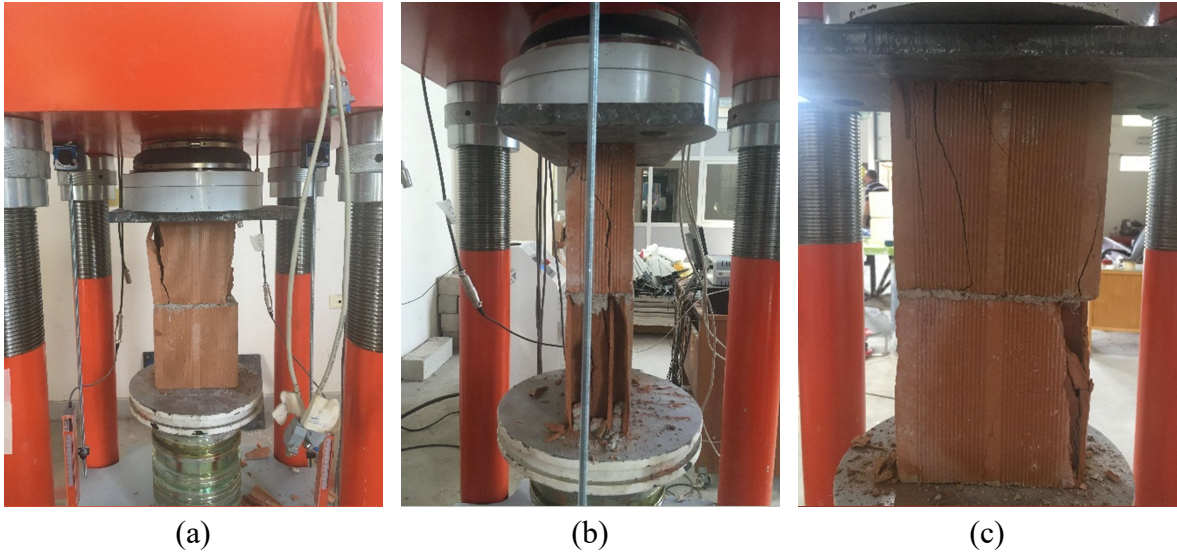
Tuğla

“Kil, killi toprak ve balçığın ayrı ayrı veya harman edilip gerektiğinde su, kum öğütülmüş tuğla ve kiremit tozu kül ve benzeri makinalarda şekillendirildikten sonra fırınlarda pişirilmesi ile elde edilen ve duvar yapımında kullanılan bir yapı malzemesidir” [31].

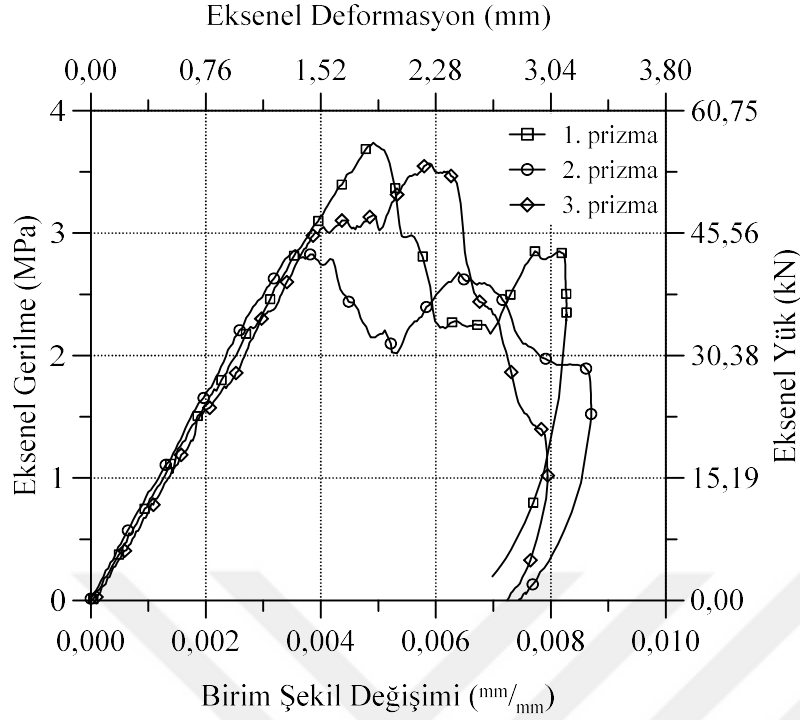


Resim 3.9. Boşluklu tuğla kâgir birim

Deneyde kullanılan tuğlalardan bir takım tuğla seçilmiş ve ASTM 1314 standartlarına uygun olacak şekilde bilimsel araştırma projesi kapsamında, basınç dayanımları ve mekanik özellikleri eksenel basınç testi yapılarak belirlenmiştir [32]. Bu deneylerle elde edilen veriler, kâgir birimin mekanik özellikleri ile bir bütün olarak üretilen TD deney elemanı arasında herhangi bir performans korelasyonunun bulunup bulunmadığının yorumlanmasında kullanılmıştır. Diğer geleneksel bölme duvar malzemeleri ile de tekrarlanan bu deneyler, tam ölçekli duvarlar üretilmeden performans tahmini yapmak adına yararlı olabilecektir. Eksenel basınç testi sırasında alınan görüntüler Resim 3.10'da verilmiş ve elde edilen gerilme-birim şekil değiştirme grafiği Şekil 3.10'da gösterilmiştir.



Resim 3.10. Tuğla kâgir birimin eksenel basınç deneyleri



Şekil 3.10. Tuğla prizmaların gerilme birim şekil değiştirme grafiği

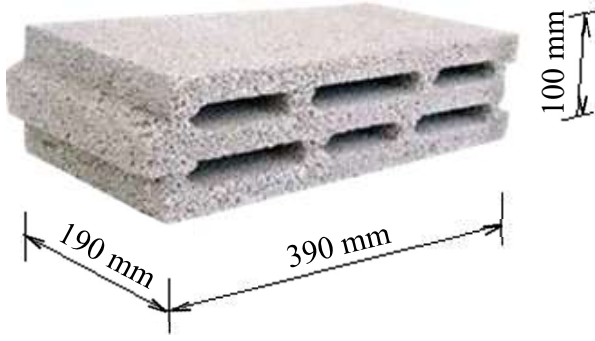
Tuğla kâgir birime ait bazı malzeme özellikleri Çizelge 3.4’de verilmiştir.

Çizelge 3.4. Tuğla malzeme özellikleri

Malzeme özelliği	Birim	Değerler
Boyutlar	mm	190x85x190
Ortalama ağırlık	kg	2,2
Isıl geçirgenlik katsayısı	W/m.K	0,311
Birim hacim ağırlığı	kg/m ³	619

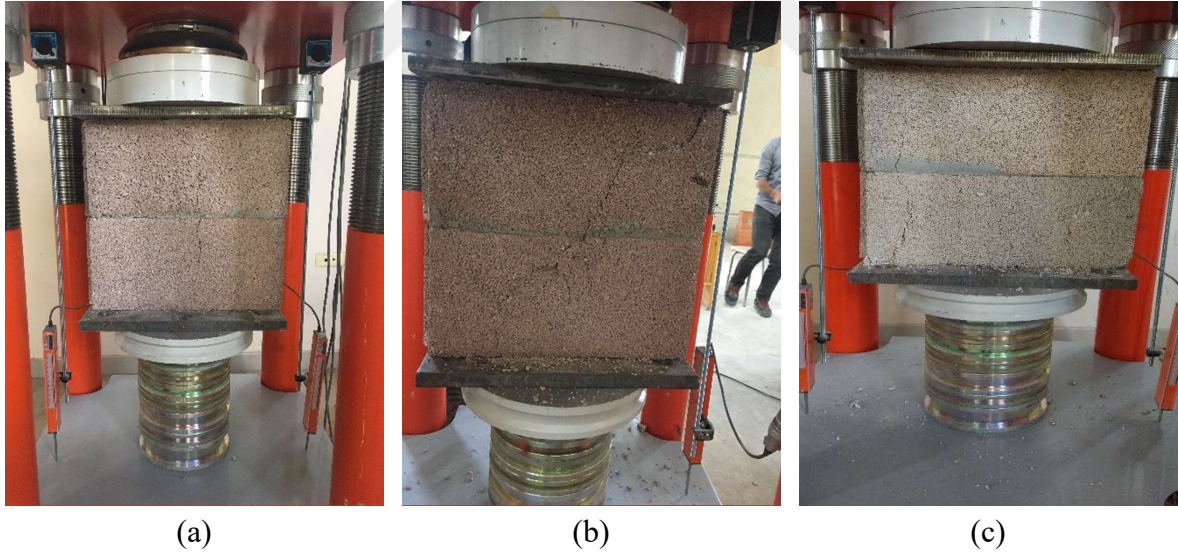
Hafif beton briket

Gözenekli yapısı, hafifliği, yüksek yalıtım değeri olan, volkanik patlamalar sonucu oluşmuş doğal volkanik bir kayaç olan ponzanın küçük kalibreli olanlarının hammaddesini oluşturduğu bir yapı malzemesidir [33].

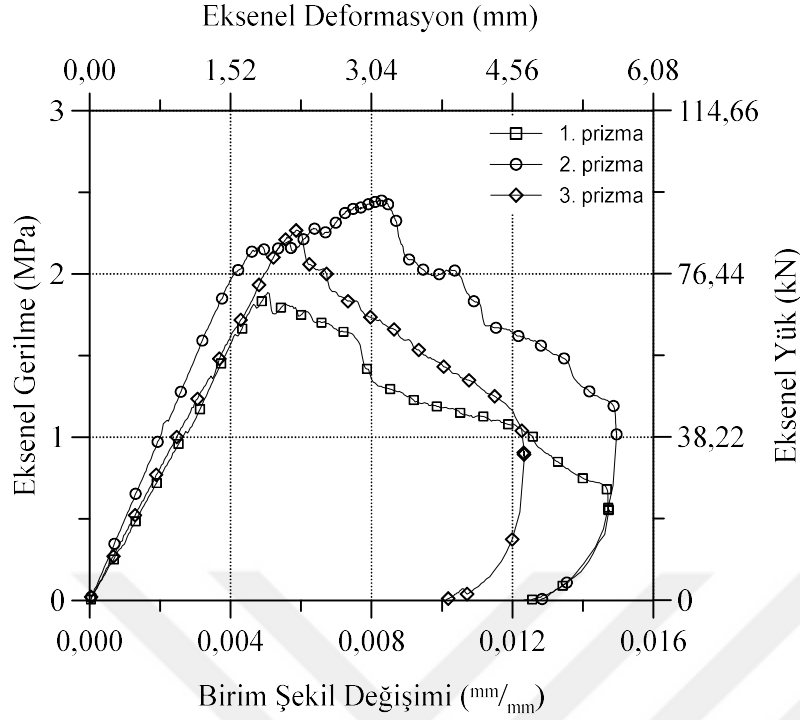


Resim 3.11. Hafif beton briket kâgir birim

Deneyde kullanılan hafif beton briketler içerisinde bir takım hafif beton briket seçilmiş ve ASTM 1314 standartlarına uygun olacak şekilde bilimsel araştırma projesi kapsamında, basınç dayanımları ve mekanik özellikleri eksenel basınç testi yapılarak belirlenmiştir [32]. Eksenel basınç testi sırasında alınan görüntüler Resim 3.12’de verilmiş ve elde edilen gerilme-birim şekil değiştirme grafiği Şekil 3.11’de gösterilmiştir.



Resim 3.12. Hafif beton briket kâgir birimin eksenel basınç deneyleri



Şekil 3.11. Hafif beton briket prizmaların gerilme birim şekil değiştirme grafiği

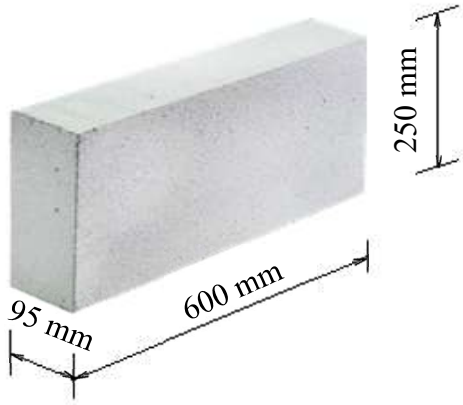
Ayrıca hafif beton briket kâgir birime ait bazı malzeme özellikleri Çizelge 3.5’de verilmiştir.

Çizelge 3.5. Hafif beton briket malzeme özellikleri

Malzeme özelliği	Birim	Değerler
Boyutlar	mm	190x390x185
Net kuru birim hacim kütlesi	kg/m ³	701
Isıl geçirgenlik katsayısı	W/m.K	0,22
Ses yalıtım değeri	dB	50
Yangına direnç	-	A1

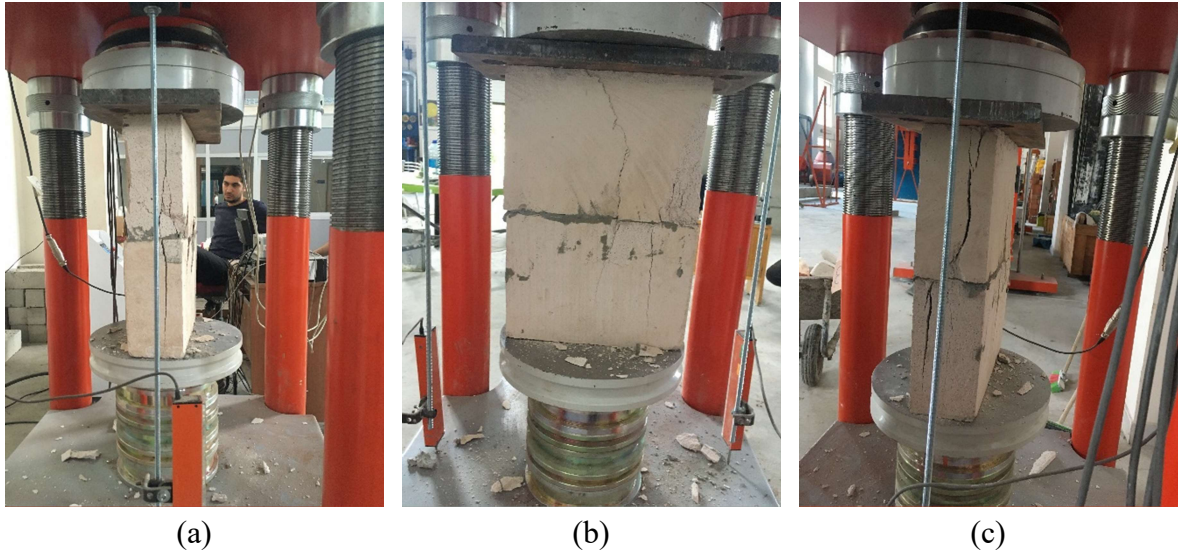
Gaz beton

“Çimento ve/veya kireç gibi hidrolik bağlayıcının, silis esaslı ince malzeme, gözenek (kapalı boşluk) oluşturan malzeme ve su ile karıştırılmasıyla imal edilen kâgir birimdir” [34].

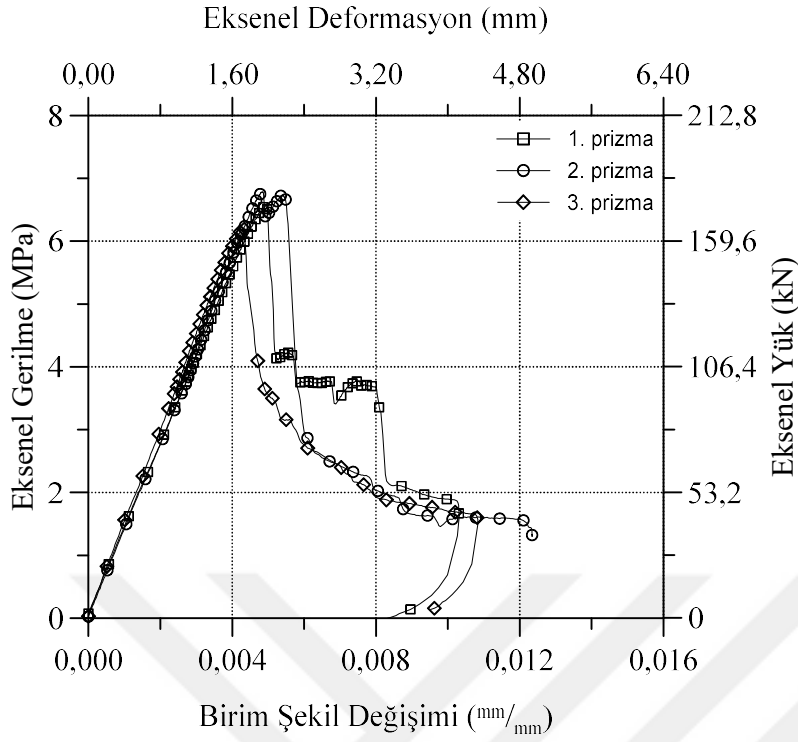


Resim 3.13. Gaz beton kâgir birim

Deneyde kullanılan gaz betonlar içerisinde bir takım gaz beton kâgir birim malzemesi seçilmiş ve ASTM 1314 standartlarına uygun olacak şekilde bilimsel araştırma projesi kapsamında, basınç dayanımları ve mekanik özellikleri eksenel basınç testi yapılarak belirlenmiştir [32]. Eksenel basınç testi sırasında alınan görüntüler Resim 3.14’de verilmiş ve elde edilen gerilme-birim şekil değiştirme grafiği Şekil 3.12’de gösterilmiştir.



Resim 3.14. Gaz beton kâgir birimin eksenel basınç deneyleri



Şekil 3.12. Gaz beton prizmaların gerilme birim şekil değiştirme grafiği

Gaz beton kâgir birime ait bazı malzeme özellikleri Çizelge 3.6'da verilmiştir.

Çizelge 3.6. Gaz beton malzeme özellikleri

Malzeme özelliği	Birim	Değerler
Boyutlar	mm	60x10x25
Isıl geçirgenlik katsayısı	W/m.K	0,09
Yangına direnç	-	A1
Kuru Birim Hacim Ağırlığı	kg/m ³	350

C profil



Resim 3.15. Alçı levha taşıyıcı iskeleti elemanı C profili

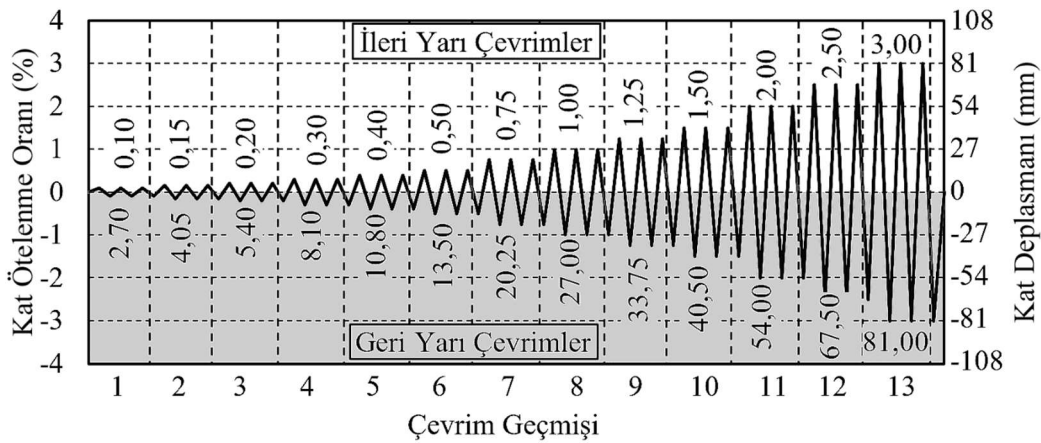
C profiller TS EN 14195 standartlarında, sıcak daldırma galvanizden soğuk şekillendirme yöntemi ile üretilen, kuru alçı panel bölme duvar sistemlerinde taşıyıcı iskelet görevi gören yapı bileşenleridir. Deneyde kullanılan C profillerin malzeme özellikleri Çizelge 3.7’de verilmiştir.

Çizelge 3.7. C profil malzeme özellikleri

Malzeme özelliği	Birim	Değerler
Yangın direnci	-	A1
Akma dayanımı	N/mm ²	140
Et kalınlığı	mm	0,6-1 mm

3.3. Yükleme Prosedürü

Bütün bölme duvar elemanlara Şekil 3.13’de gösterildiği gibi deplasman kontrollü yükleme tarihçesi uygulanmıştır. Bu deplasman değerlerinin her bir çevrim için 3 kere tekrarlanarak uygulanması ve toplamda her bir deney elemanı için 39 çevrim yapılması planlanmıştır. Bazı deney numuneleri için planlanan çevrim sayısına ulaşamadan bölme duvar elemanı taşıma gücüne ulaştığı ve düzlem içinde yük aktaramadığı için özel olarak tasarlanan çelik çerçeve sistemin zarar görmemesi adına deneyler sonlandırılmıştır. Deneyler sonucunda taşıyıcı olmayan bölme duvarların yük-deplasman davranışları elde edilmiştir. Alınan ölçümler sonucunda ise bölme duvar sistemlerin maksimum taşıma gücü değerleri, rijitlik değişimleri, deplasman-süneklik oranları ve enerji tüketim kapasiteleri hesaplanmış ve elde edilen sonuçlarla birbirlerine karşı sağladıkları avantaj ve dezavantajları karşılaştırılmıştır.



Şekil 3.13. Deney elemanlarına uygulanan yükleme tarihçesi

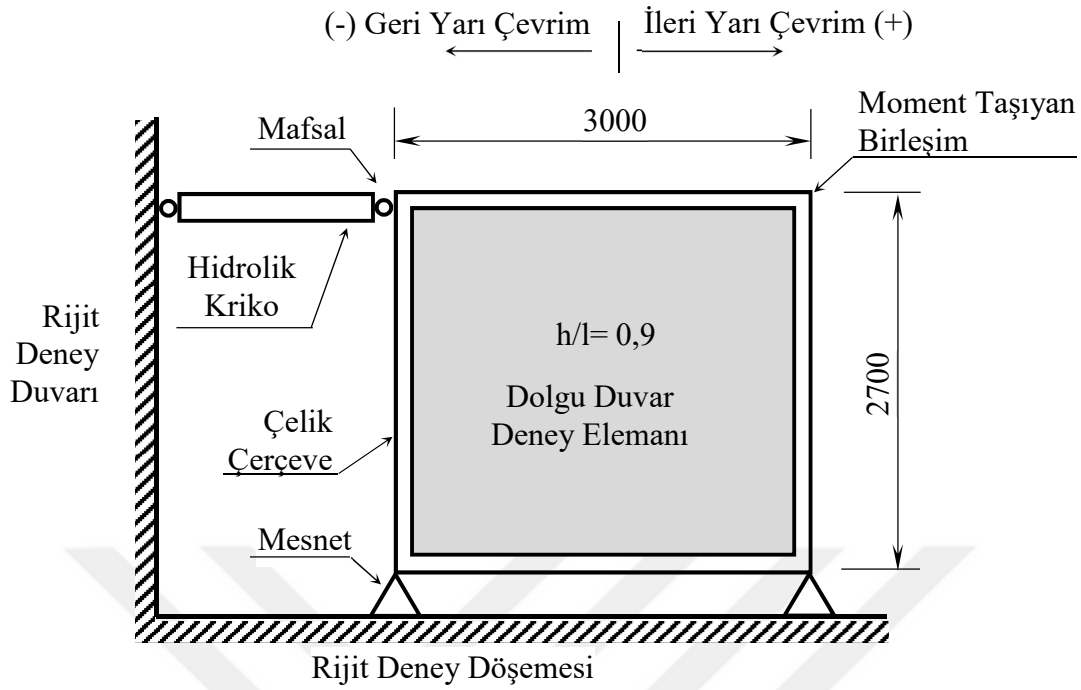


4. DENEYLER

Bu bölümde, tez çalışması kapsamındaki 7 adet deney elemanının hesaplanan rijitlik, deplasman süneklik oranı, enerji tüketim kapasitesi ve deneysel gözlemlere dayalı elemanlarda oluşan hasar dağılımları ile ilgili yorumlar yapılmıştır. Sunulan deneysel veriler ve yorumlanan deney elemanı davranışları, dış çelik çerçevenin doğrusal davranış sergilediği $\pm\%3$ ötelenme sınırına kadar verilmiştir. Ancak, deney gözlemcilerinin ve/veya deney ekipmanı güvenliği söz konusu olduğunda ya da deney elemanı kapasitesinin tamamen tüketilmiş olduğu kararlaştırıldığında deneyler $\pm\%3$ ötelenme oranı çevrimlerinden önce sonuçlandırılmıştır.

Deney sonunda elde edilen veriler kullanılarak çizilen histeresis grafikler, doğal olarak dış çelik çerçeve ve içerisindeki bölme duvarın tersinir tekrarlanır yatay yüke karşı sergilediği davranışı göstermektedir. Daha önceki bölümde detaylı biçimde anlatıldığı gibi, deney elemanına bölgesel göçme olmadan yükü aktarma amacıyla kullanılan dış çelik çerçeve deney boyunca doğrusal elastik davranacak biçimde tasarlanmıştır. Bu nedenle, sadece bölme duvar deney elemanına ait zarf eğrisini elde etmek amacıyla, deney verisi kullanılarak elde edilen zarf eğrisinden, SAP2000 sonlu elemanlar yazılımı ile hesaplanan çelik çerçeve zarfı çıkartılarak, sonuç zarf elde edilmiştir. Sonuç olarak, deney elemanlarına ait gözlemlerin ve deney sonuçlarının sunulacağı bu bölümde ve deneysel parametreler çerçevesinde sonuçların tartışılacağı bir sonraki bölümde daha doğru yorum yapılabilmesi mümkün olmuştur.

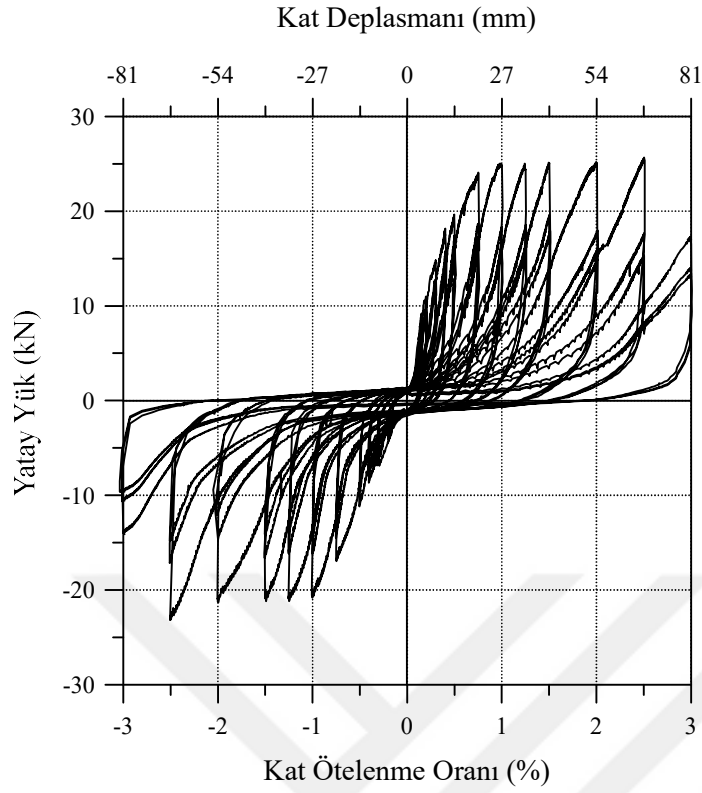
Bu bölümde, deneysel çalışma kapsamında test edilen 7 adet deney elemanına ait deneysel gözlemler, göçme nedenleri ve deneyler sonunda elde edilen veriler kullanılarak çizilen bileşik sisteme (çerçeve ve bölme duvar) ait histeresis grafiği, panel kesme deplasman grafiği ve deney elemana ait sonuç zarf sunulmaktadır. Ayrıca bölme duvar elemanlarının zarf eğrisine esas teşkil eden sayısal bilgi anlatımı desteklemek amacıyla ayrıca bir tablo içerisinde verilmiştir. Deneylerin anlatımında, anlatımı desteklemek amacıyla kullanılan fotoğrafların tümünde sağ taraf ileri yükleme yönünü, sol taraf ise geri yükleme yönünü göstermektedir. Kabul edilen yükleme yönü ve doğrultu kabulü Şekil 4.1 'de verilmiştir.



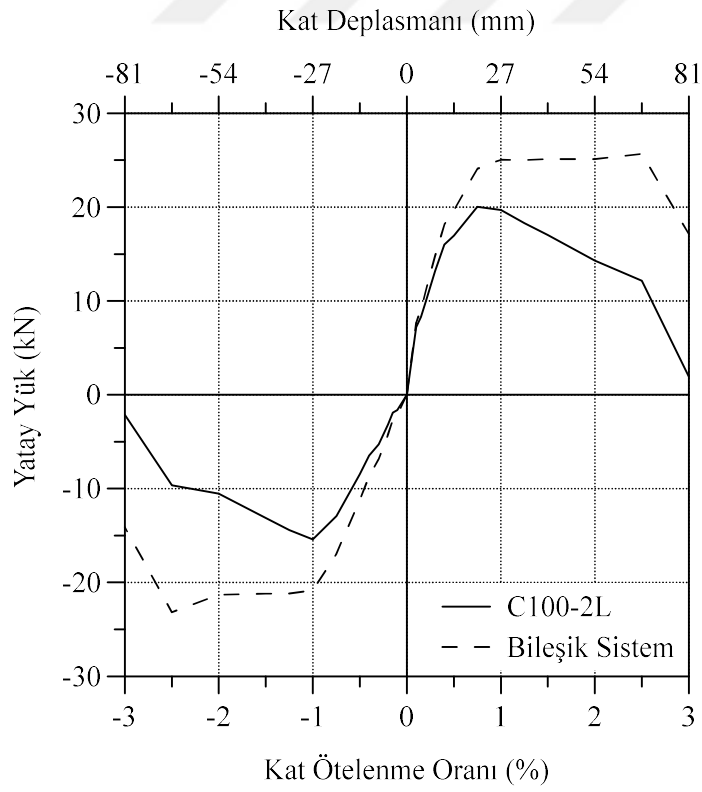
Şekil 4.1. Yükleme yönü ve doğrultu kabulü

4.1. C100-2L Elemanı Deneyi

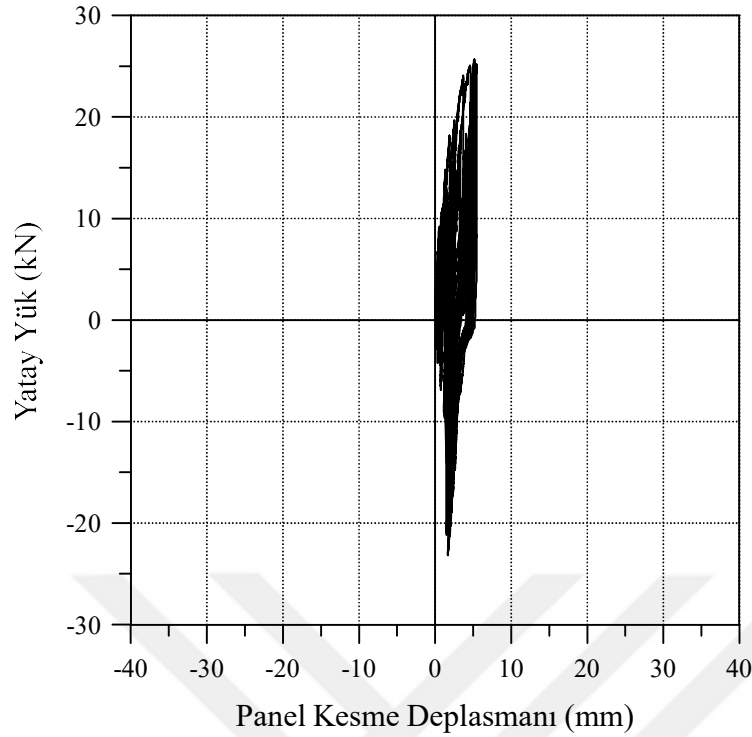
Deney elemanı ileri yükleme yönünde (+) %0,75 kat ötelenme oranında 20,02 kN, geri yükleme yönünde ise (-) %1,00 kat ötelenme oranı düzeyinde 15,41 kN yük düzeyinde taşıma gücüne ulaşmıştır. C100-2L deney elemanı %0,75 kat ötelenme oranına sahip çevrimlerden itibaren, belirgin biçimde plastik deformasyon yapmaya başlamıştır. Deney elemanının bu deplasman düzeyini yaşamasından sonra, ileri ve geri doğrultulardaki rijitliklerinde azalma gözlenmiş ve her bir çevrimde ulaşabildiği yük düzeyi giderek azalmıştır. $\pm 1,50$ deplasman çevriminden sonra deney elemanının ulaşabildiği yük düzeyi, her iki yükleme yönünde de %15 oranında kayba uğramıştır. Ancak deney içerisinde bir olumsuzluk yaşanmaması nedeniyle deneye ± 3 öteleme oranı çevrimine kadar devam edilmiştir. Deney elemanı üzerinde oluşabilecek farklı hasar biçimlerinin gözlenebilmesi mümkün olmuştur. Deney elemanı panelleri, 100 mm genişliğindeki profile bağlayan borazan vidaların alçı paneli ezmesi ve ilerleyen yük çevrimlerinde bu ezilme noktalarının artık daha fazla yük taşıyamaması nedeniyle taşıma gücünü yitirmiştir. Deneysel veriler kullanılarak çizilen çevrimsel yatay yük-kat ötelenme oranı grafiği Şekil 4.2’de, zarf eğrileri Şekil 4.3’de, yatay yük-panel kesme deplasmanı grafiği ise Şekil 4.4’de verilmiştir. Çizelge 4.1’de ise C100-2L deneyine ait zarf eğrilerinin sayısal değeri derlenmiştir.



Şekil 4.2. C100-2L bileşik çevrimsel yatay yük-kat ötelenme grafiği



Şekil 4.3. C100-2L deneyi zarf eğrileri



Şekil 4.4. C100-2L yatay yük-panel kesme deplasmanı grafiği

Çizelge 4.1. C100-2L çevrimlerine ait yatay yük-kat ötelenme oranı çizelgesi

Çevrim adımı	Geri çevrim yönündeki			İleri çevrim yönündeki		
	Kat ötelenme oranı (%)	Yatay yük (kN)		Kat ötelenme oranı (%)	Yatay yük (kN)	
		Bileşke sistem	C100-2L		Bileşke sistem	C100-2L
1	-0,10	-2,14	-1,63	0,10	7,72	7,19
2	-0,15	-2,72	-1,89	0,15	9,11	8,29
3	-0,20	-4,23	-3,17	0,20	11,01	9,93
4	-0,30	-6,87	-5,28	0,30	14,80	13,17
5	-0,40	-8,67	-6,49	0,40	18,18	16,00
6	-0,50	-11,18	-8,45	0,50	19,66	16,97
7	-0,75	-16,97	-12,94	0,75	24,09	20,02
8	-1,00	-20,83	-15,41	1,00	25,05	19,70
9	-1,25	-21,18	-14,44	1,25	25,02	18,31
10	-1,50	-21,20	-13,14	1,50	25,12	17,03
11	-2,00	-21,31	-10,53	2,00	25,12	14,29
12	-2,50	-23,17	-9,64	2,50	25,68	12,16
13	-3,00	-14,11	-2,13	3,00	17,11	1,91

C100-2L deneyi boyunca, çevrim bazında yapılan gözlem ve eleman davranışı aşağıda sunulmuştur.

Deney elemanı üzerinde $\pm 0,20$ deplasman düzeyine kadar hasar gözlenmemiştir. Panel üzerinden alınan ve Şekil 4.4'de sunulan panel kesme ölçümü grafiği bu gözlemi desteklemektedir.

4. çevrim: Yaklaşık 6 kN yük seviyesinde alçı levhaların birleşim bölgelerindeki derzlerin alt kısımlarında çatlaklar oluşmaya başlamıştır. Oluşan bu çatlaklar alt bölgelerden üst bölgelere doğru devam etmiştir. Bölme duvarın ön kısmının sol kolon ve üst kiriş kesişim bölgesinde ve bu bölgenin tam karşısında bulunan arka yüzeyinde de ilk ezilme belirtileri gözlenmiştir.

5. çevrim: Bu çevrimin ikinci geri yüklemesinde bölme duvar elemanının sağ kolon ve alt kiriş kesişim bölgesinde ezilme belirtileri gözlenmiştir.

6. çevrim: İlk geri çevrimde derz çatlakları alt kiriş bölgesinden başlayarak genişlemeye başlamış ve üst kiriş ile levha birleşim yerine kadar çatlak oluşumu gözlenmiştir.

7. çevrim: İlk ileri çevrimde sol kolon ve üst kiriş kesişim bölgesinde başlayan ezilmede ilerleme gözlenmiştir. İlk geri çevrim düzeyinde ise ezilme bölgesi, sol kolon ve üst kiriş kesişim bölgesinden aşağıya doğru 200 mm ilerlemiştir. İkinci ileri yönlü çevrimde diğer köşe bölgelerde de ezilme bölgeleri oluşmuştur.

8. çevrim: Deney elemanın sol kolon ve alt kiriş kesişim bölgesinde alçı levhada, C profile sabitlendiği vidalardan sıyrılma başlangıcı gözlenmiştir. Sol kolon iç yüzeyine sabitlenen C profilde burkulma meydana gelmiştir.

9. çevrim: Sağ kolonun alt ve üst kirişlerle bağlandığı bölgede bulunan alçı levhaların, C profillere sabitlendikleri vidalardan ayrılma eğiliminde olduğu görülmüştür. Bu sebeple, C profiller vidalar aracılığı ile bağlanan alçı panellere daha fazla yatay yük aktaramamıştır.

10. çevrim: Bir önceki çevrimde bağlantı vidaları çevresinde gözlenen ezilmeler nedeniyle bu çevrimde de deney elemanı yatay yük kapasitesini artıramamıştır. Bağlantı vidalarının 8 çevrim yük düzeyinden başlayarak bu deplasman düzeyine kadar, ilerleyen deplasmana

karşın benzer ezilme dayanımı kazandırması nedeniyle deney elemanının yük taşıma kapasitesinin de artış gösteremediği gözlenmiştir.

11. çevrim: Deney elemanın sağ üst köşesinde ezilme bölgesinin alanı artmış ve levhanın ezilme kaynaklı düzlem dışı hareketi ilk kez bu yükleme adımında gözlenmiştir.

12. çevrim: Sağ ve sol kolona sabitlenen C profillerin kolonlardan sıyrıldığı gözlenmiştir.

13. çevrim: Bir önceki çevrimde gözlenen profil sıyrılmaları nedeniyle paneller düzlem içi yük aktarma niteliğini kaybederek, deney elemanının yatay yük taşıma kapasitesi her iki yönde de %30'dan daha fazla kaybına uğratmıştır.

Bu aşamadan sonra hem dış çelik çerçevenin hasar görmemesi hem de aşırı düzeyde yatay taşıma yükü kaybına uğrayan panelin deney güvenliğini riske atmaması için deney sonlandırılmıştır. Deney sırasında C100-2L elemanı üzerindeki, C profiller ve alçı panel odaklı oluşan hasarlar Resim 4.1'de gösterilmiştir.



(a)



(b)



(c)



(d)

Resim 4.1. C100-2L deney elemanında oluşan hasarlar

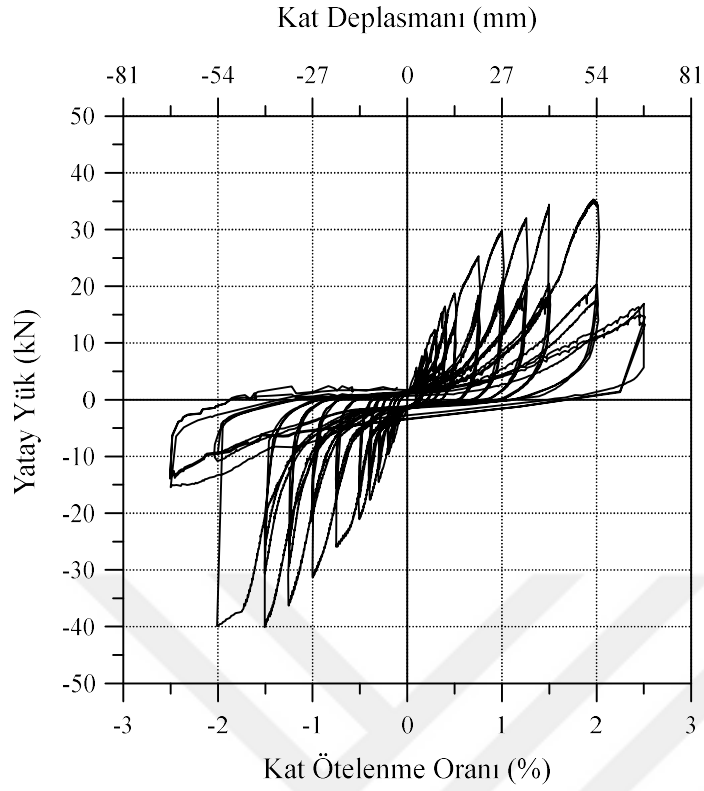
4.2. C50-2L Elemanı Deneyi

Deney elemanı $\pm 1,50$ kat ötelenme oranında 26,31 kN, $-1,50$ kat ötelenme oranı düzeyinde 31,94 kN taşıma gücüne ulaşmıştır. $\pm 0,75$ kat ötelenme oranından itibaren deney elemanı üzeri ezilme ve ayrılma çatlakları belirgin bir biçimde gözlenmiştir. Deney elemanının bu deplasman düzeyini yaşamasından sonra, ileri doğrultuda çevrimler arası yatay rijitliğin azaldığı gözlenmiştir. Geri doğrultuda çevrimler arası rijitlik kaybı ileri doğrultuda yaşanan kayıp düzeylerinden daha az gerçekleşmiştir. Yaşanan bu rijitlik kayıplarına rağmen deney elemanının ulaşabildiği yük düzeyi $\pm 1,50$ kat ötelenme oranlarına kadar artarak devam etmiştir. Bu yük düzeyinden sonra C profillerde meydana gelen burkulma nedeniyle C50-2L gevrek bir biçimde kırılmış ve taşıma gücünü yitirmiştir. Bu kapasite kaybindan ve deney elemanının malzeme bütünlüğünü kaybetmesinden dolayı deneye devam edilmemiştir. Deney elemanı, $\pm 2,50$ kat ötelenme oranında, ileri ve geri çevrim yönlerinde yaklaşık olarak %85 düzeyinde taşıma gücü kaybı yaşayarak göçme davranışı göstermiştir. Deneysel veriler kullanılarak çizilen çevrimsel yatay yük-kat ötelenme oranı grafiği Şekil 4.5'de, zarf eğrileri Şekil 4.6'da, yatay yük-panel kesme deplasmanı grafiği ise Şekil 4.7'de verilmiştir. Çizelge 4.2'de ise C50-2L deneyine ait zarf eğrilerinin sayısal değeri derlenmiştir.

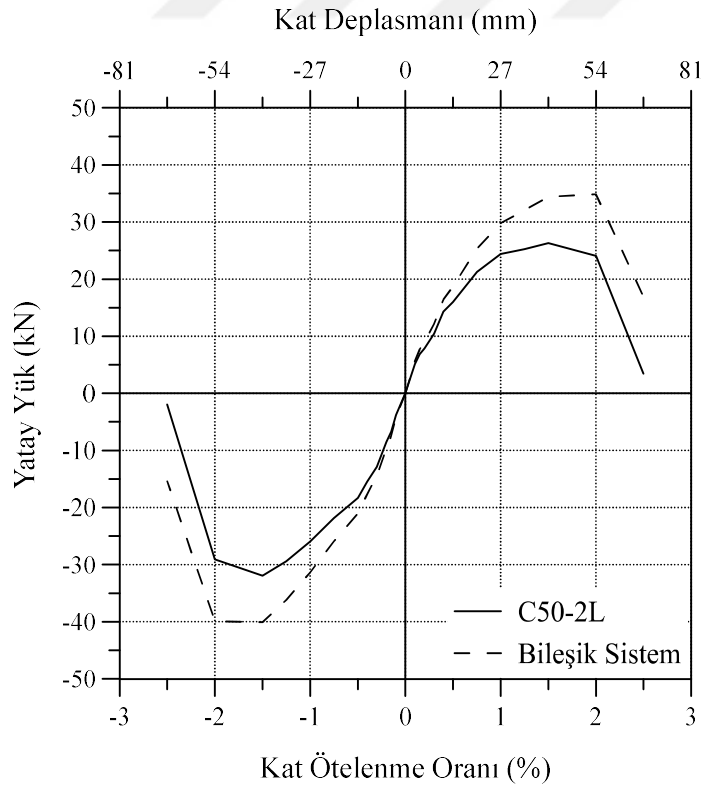
C50-2L deney elemanının deney boyunca gözlenen davranışının çevrim bazında detaylı anlatımı aşağıda sunulmuştur.

Deney elemanı üzerinde $\pm 0,30$ deplasman düzeyine kadar hasar gözlenmemiştir. Panel üzerinden alınan ve Şekil 4.7'de sunulan panel kesme ölçümü grafiği bu gözlemi desteklemektedir.

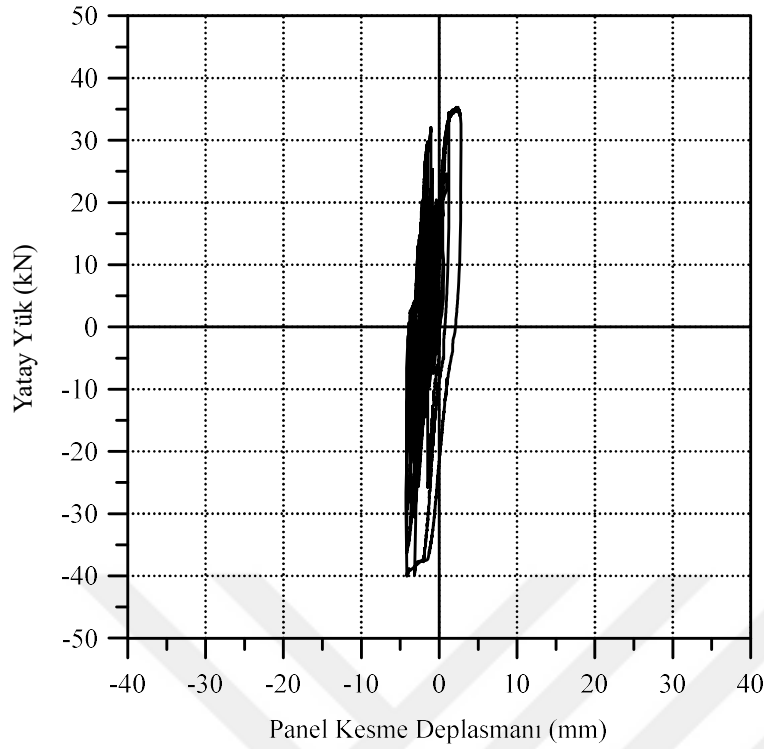
4. çevrim: İlk ileri yüklemde, bölme duvarın sol kolon ve üst kiriş kesişim bölgesinde, levhanın C profile sabitlendiği ilk vidaya kadar ezilme belirtileri gözlenmiştir. İkinci ileri yüklemde, sol tarafta yer alan iki alçı levhanın derz bölgesinde ilk kılcal çatlak meydana gelmiştir. Yükleme devamında kılcal çatlak alt kiriş bölgesinden üst kiriş bölgesine doğru yaklaşık 40 cm kadar ilerleme göstermiştir. İkinci geri yüklemde sol kolon ve alt kiriş kesişim bölgesinde aşağıdan 2. vidaya kadar levha üzerinde ezilme belirtileri görülmüştür.



Şekil 4.5. C50-2L bileşik çevrimsel yatay yük-kat ötelenme grafiği



Şekil 4.6. C50-2L deneyi zarf eğrileri



Şekil 4.7. C50-2L yatay yük-panel kesme deplasmanı grafiği

Çizelge 4.2. C50-2L çevrimlerine ait yatay yük-kat ötelenme oranı çizelgesi

Çevrim adımı	Geri çevrim yönündeki			İleri çevrim yönündeki		
	Kat ötelenme oranı (%)	Yatay yük (kN)		Kat ötelenme oranı (%)	Yatay yük (kN)	
		Bileşke sistem	C50-2L		Bileşke sistem	C50-2L
1	-0,10	-4,28	-3,78	0,10	5,66	5,12
2	-0,15	-7,50	-6,70	0,15	7,71	6,88
3	-0,20	-9,62	-8,53	0,20	8,94	7,88
4	-0,30	-14,51	-12,88	0,30	12,12	10,45
5	-0,40	-17,62	-15,48	0,40	16,46	14,31
6	-0,50	-21,07	-18,34	0,50	18,71	16,00
7	-0,75	-25,92	-21,87	0,75	25,30	21,24
8	-1,00	-31,36	-25,97	1,00	29,80	24,40
9	-1,25	-36,18	-29,42	1,25	32,05	25,26
10	-1,50	-40,07	-31,94	1,50	34,41	26,31
11	-2,00	-39,91	-29,06	2,00	34,86	24,05
12	-2,50	-7,88	-5,62	2,50	24,75	3,44

5. çevrim: İlk ileri yüklemede, bölme duvarın sol kolon ve üst kiriş kesişim bölgesinde oluşan ezilme, alt kiriş yönüne doğru yaklaşık olarak 25 cm ilerlemiştir. Yükleme devamında sol kolon ile bitişik olan alçı levhaların, montaj vidalarından sıyrılmaya başlamaları nedeniyle levha ve kolon arasında boşluklar gözlenmiştir. Ayrıca sol kolon ve alt kiriş kesişim bölgesinde oluşan ezilme, alttan ikinci vida seviyesini geçerek üst kiriş bölgesine doğru ilerleme kaydetmiştir.

7. çevrim: İkinci ileri yüklemede, sol kolon ve alt kiriş kesişim bölgesinde oluşan ezilmede artış gözlenmiştir.

9. çevrim: İkinci ileri ve geri yüklemelerde, sağ ve sol kolonlara bitişik olan alçı levhaların, C profillere sabitlendikleri bölgelerde, üst kısımda yer alan vidaların 2'şer tanesinden ayrıldıkları gözlenmiştir. Üçüncü ileri yüklemede ise sol kolona bitişik olan alçı levhanın alt kısımda yer alan iki adet vidadan ayrıldığı görülmüştür.

11. çevrim: Bu çevrimin ilk geri yüklemesi tamamlandığı anda, sol kolon kenarındaki alçı levhanın C profile sabitlendiği orta noktasından gevrek bir biçimde kırıldığı gözlenmiştir. Bu kırılma sonucunda panel çerçeve düzleminden çıkarak deney elemanının ileri çevrim rijitliğinin önemli ölçüde kaybedilmesine yol açmıştır. İkinci ileri yüklemede sol tarafta yer alan alçı levhanın yapmış olduğu düzlem dışı deplasman miktarı artmıştır.

12. çevrim: İlk ileri yüklemede sol tarafta yer alan alçı levha, C profillerin burkulmasından kaynaklı olarak bölme duvar dizilimini bozacak biçimde düzlem dışı bir hareket göstererek yüzeyden ayrılmıştır. Bu aşamadan sonra deneye son verilmiştir.

C50-2L deney elemanında levhalar arası yük aktarımı C100-2L deney elemanına göre çok daha başarılı bir şekilde gözlenmiştir. Bölme duvar elemanları içerisinde ileride bahsedilecek olan enerji tüketim kapasitesi parametresinde iyi sonuç veren deney elemanlarından birisi olmuştur. Deney sırasında eleman üzerinde oluşan hasarlar Resim 4.2'de verilmiştir.



(a)



(b)



(c)



(d)

Resim 4.2. C50-2L deney elemanında oluşan hasarlar

4.3. C75-1L Elemanı Deneyi

Deney elemanı $\pm 0,75$ kat ötelenme oranında 10,66 kN, $-0,75$ kat ötelenme oranı düzeyinde 9,41 kN taşıma gücüne ulaşmıştır. $\pm 0,75$ kat ötelenme oranından itibaren deney elemanı belirgin bir biçimde rijitliğini kaybetmiştir. Deney elemanının bu deplasman düzeyini yaşamasından sonra alçı levhaların vidalardan sıyrılması ve C profillerin U profiller içerisinde kayma hareketi yapmaya başlamasından dolayı bölme duvar düzlemi başarılı bir şekilde yük aktarımı yapamamıştır. Deney elemanı, $+1,00$ kat ötelenme oranında yaklaşık olarak %24, $-1,25$ kat ötelenme oranında ise yaklaşık olarak %30 taşıma gücü kaybı yaşamıştır. Bu yük düzeylerinden sonra deney elemanı üzerinde oluşabilecek farklı hasar biçimlerinin gözlenebilmesi amacıyla deneye devam edilmiştir. Deneysel veriler kullanılarak çizilen çevrimsel yatay yük-kat ötelenme oranı grafiği Şekil 4.8'de, zarf eğrileri Şekil 4.9'da, yatay yük-panel kesme deplasmanı grafiği ise Şekil 4.10'da verilmiştir. Çizelge 4.3'de ise C75-1L deneyine ait zarf eğrilerinin sayısal değeri derlenmiştir.

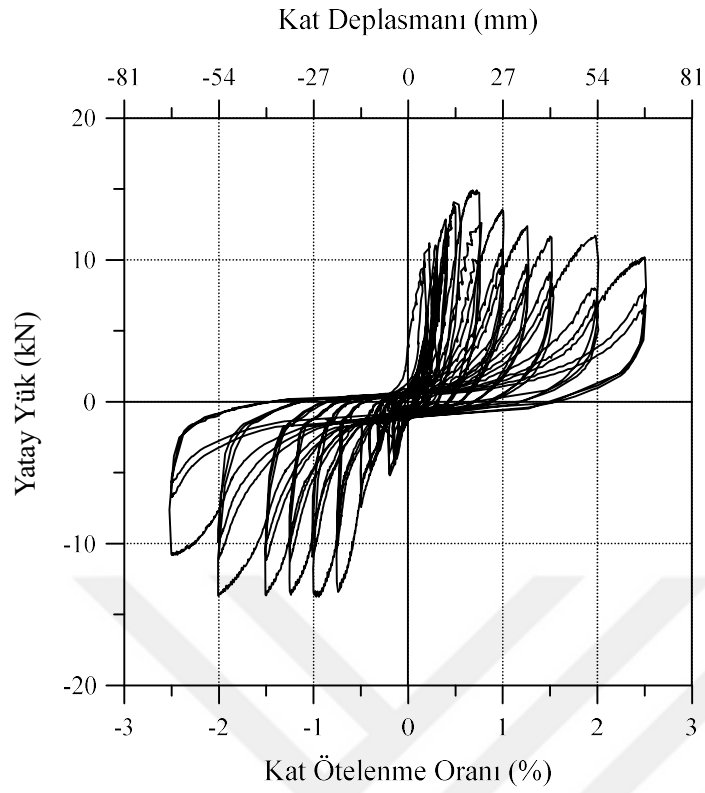
C75-1L deney elemanının deney boyunca gözlenen davranışının çevrim bazında detaylı anlatımı aşağıda sunulmuştur.

Deneyin ilk yük çevriminde ($0,10$), deney elemanında herhangi bir hasar gözlenmemiştir.

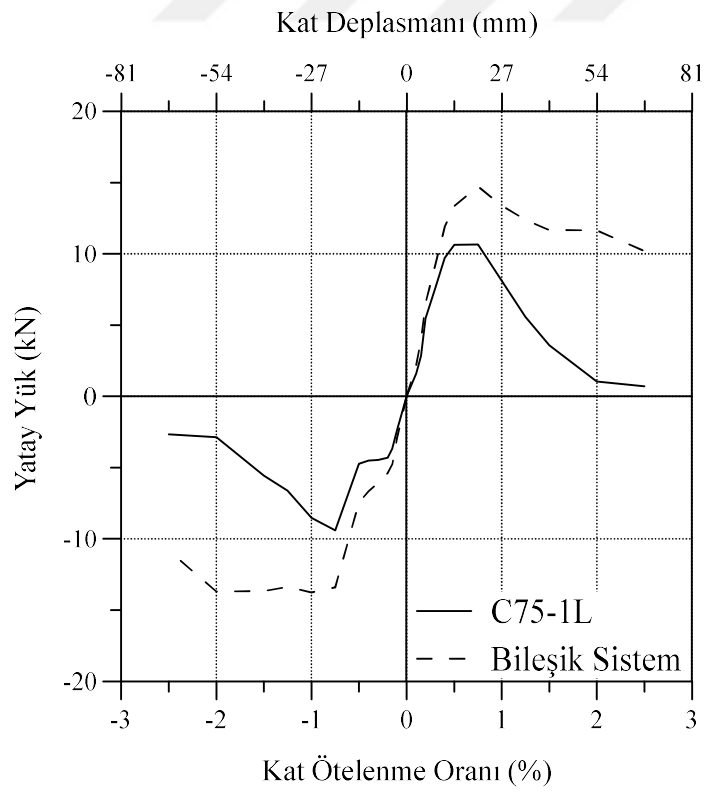
2. çevrim: İkinci geri yüklemede sağ kolon ve alt kiriş kesişim bölgesinde, üçüncü ileri yüklemede ise sol kolon ve üst kiriş kesişim bölgesinde ezilme başlangıcı belirtileri gözlenmiştir.

3. çevrim: İlk ileri yüklemede bir önceki çevrimde oluşan ezilme bölgeleri yaklaşık 10 cm civarında yayılmıştır. Ezilme belirtileri bu çevrimden itibaren bölme duvarın arka kısmında da görülmeye başlanmıştır.

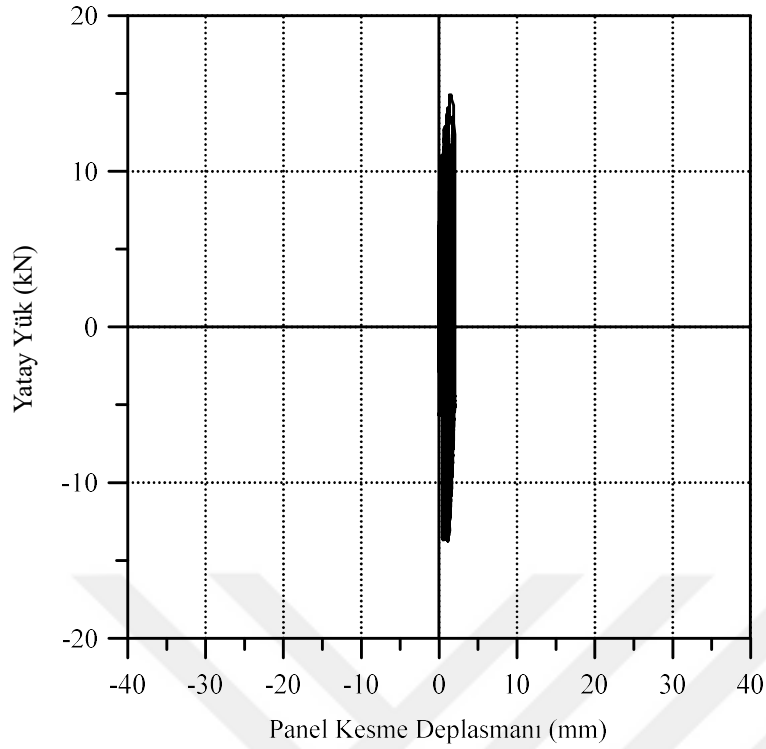
5. çevrim: İkinci ileri ve ikinci geri yüklemede sırasıyla sol kolon ve üst kiriş kesişim ve sağ kolon ve alt kiriş kesişim bölgelerinde levhaları C profile sabitleyen vidalar, alçı levhalar içerisinde hareket etmeye başlamış ve sıyrılma başlangıcı gözlenmiştir.



Şekil 4.8. C75-1L bileşik çevrimsel yatay yük-kat ötelenme grafiği



Şekil 4.9. C75-1L deneyi zarf eğrileri



Şekil 4.10. C75-1L yatay yük-panel kesme deplasmanı grafiği

Çizelge 4.3. C75-1L çevrimlerine ait yatay yük-kat ötelenme oranı çizelgesi

Çevrim adımı	Geri çevrim yönündeki			İleri çevrim yönündeki		
	Kat ötelenme oranı (%)	Yatay yük (kN)		Kat ötelenme oranı (%)	Yatay yük (kN)	
		Bileşke sistem	C75-1L		Bileşke sistem	C75-1L
1	-0,10	-2,93	-2,37	0,10	2,15	1,59
2	-0,15	-4,76	-3,68	0,15	3,91	2,84
3	-0,20	-5,40	-4,03	0,20	6,56	4,02
4	-0,30	-6,08	-4,29	0,30	9,17	5,89
5	-0,40	-6,66	-4,53	0,40	11,88	8,02
6	-0,50	-7,43	-4,74	0,50	13,34	10,63
7	-0,75	-13,41	-9,41	0,75	14,73	10,66
8	-1,00	-13,76	-8,53	1,00	13,38	8,10
9	-1,25	-13,38	-6,62	1,25	12,38	5,58
10	-1,50	-13,67	-5,56	1,50	11,67	3,57
11	-2,00	-13,70	-2,88	2,00	11,64	1,04
12	-2,50	-10,83	-2,66	2,50	10,19	3,30

8. çevrim: Birinci ileri yüklemede sol kolon ve üst kiriş kesişim bölgesinde ezilme bölgesi 50 cm kadar alt kiriş doğrultusunda ilerlemiştir. Sol kolona en yakın levha üzerindeki montaj vidaları hareket etmeye başlamış, alttan ve üstten 3'er adet vida ise levhadan sıyrılmıştır.

12. çevrim: Birinci ileri yüklemede sol kolon ve üst kiriş kesişim bölgesinde alçı levha malzemenin, ezilme kaynaklı olarak malzeme bütünlüğü bozulmuş ve küçük ebatlarda dökülmeler başlamıştır. Bu aşamadan sonra deneye son verilmiştir.

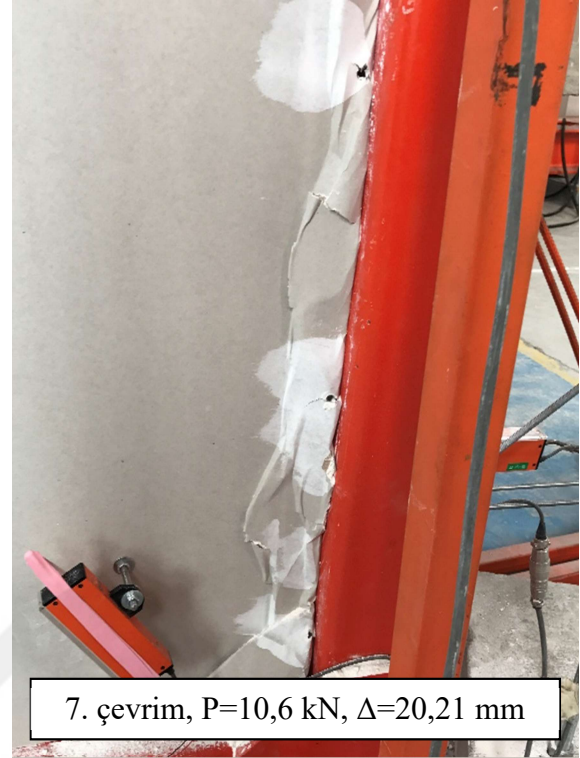
Deney çalışmasının bitiminde alçı levhaların sökülmesi sonucunda C profil ve alt kiriş kesişim bölgelerinde Resim 4.3.(d)'de gösterildiği üzere bir burkulma belirtisi görülmüştür. Genel olarak bölme duvar sistemi köşe noktalarından ezilmiş, alçı levhalar, sağ ve sol kolona sabitlenmiş olan C profillerde bulunan montaj vidalarından sıyrılmıştır. Deney sırasında eleman üzerinde oluşan hasarlar Resim 4.3'de verilmiştir.

4.4. DC50-2L Elemanı Deneyi

Deney elemanı +%0,75 kat ötelenme oranında 17,90 kN, -%0,75 kat ötelenme oranı düzeyinde 15,40 kN taşıma gücüne ulaşmıştır. DC50-2L deney elemanı $\pm$ %0,75 kat ötelenme oranına sahip çevrimlerden itibaren, her deplasman adımında deney elemanı taşıma gücünü kaybetmiştir. Deney elemanının bu deplasman düzeyini yaşamasından sonra, ileri ve geri doğrultulardaki rijitliklerinde azalma gözlenmiştir. Deney elemanı, +%1,50 kat ötelenme oranında yaklaşık olarak %28 taşıma gücü kaybı yaşamıştır. Benzer oranda bir taşıma gücü kaybı değeri geri çevrimde de görülene kadar deney devam ettirilmiştir. -%2,50 kat ötelenme oranında yaklaşık olarak %26 düzeyinde taşıma gücü kaybı yaşanmış ve deney elemanı bir çevrim daha zorlandıktan sonra deney sonlandırılmıştır. Deneysel veriler kullanılarak çizilen çevrimsel yatay yük-kat ötelenme oranı grafiği Şekil 4.11'de, zarf eğrileri Şekil 4.12'de, yatay yük-panel kesme deplasmanı grafiği ise Şekil 4.13'de verilmiştir. Çizelge 4.4'de ise DC50-2L deneyine ait zarf eğrilerinin sayısal değeri derlenmiştir.



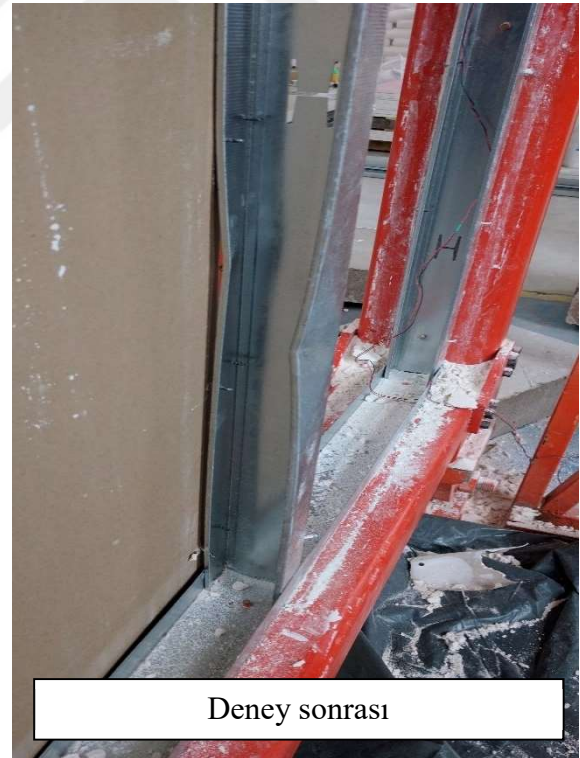
(a)



(b)

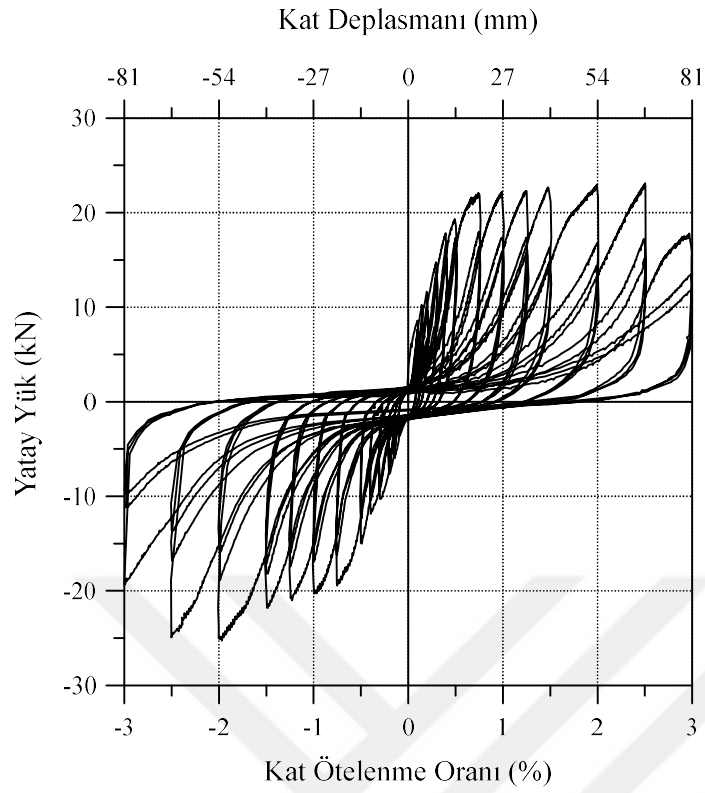


(c)

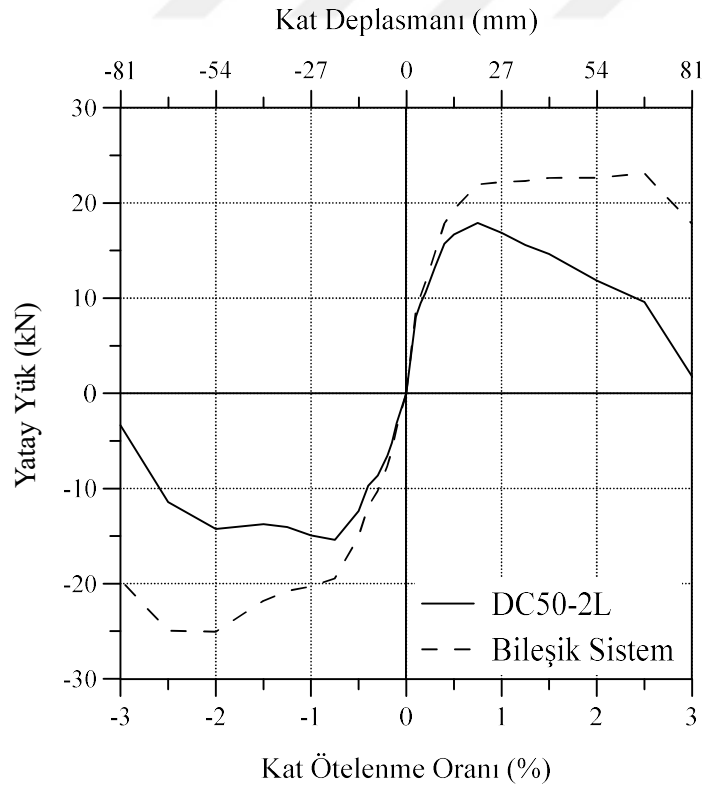


(d)

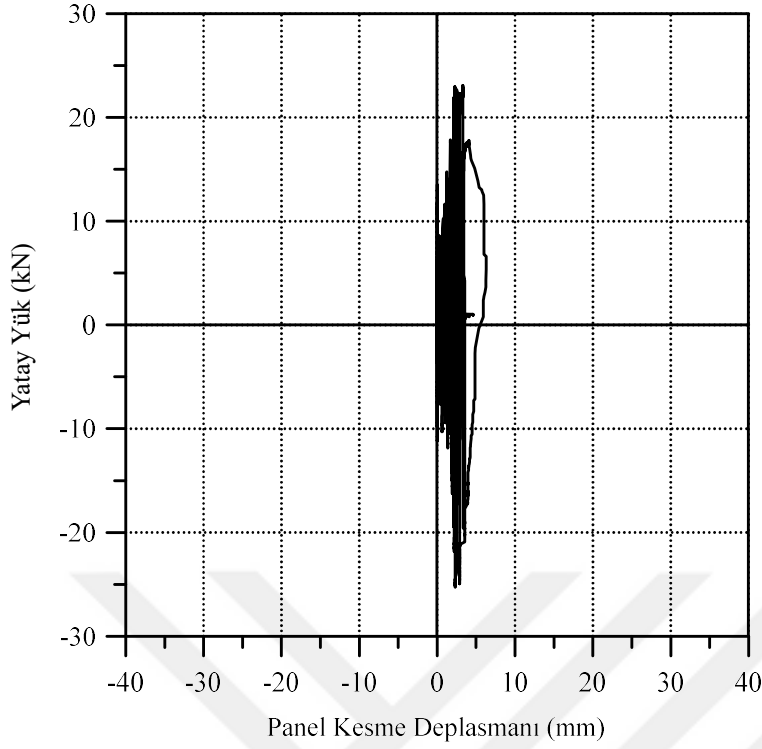
Resim 4.3. C75-1L deney elemanında oluşan hasarlar



Şekil 4.11. DC50-2L bileşik çevrimsel yatay yük-kat ötelenme grafiği



Şekil 4.12. DC50-2L deneyi zarf eğrileri



Şekil 4.13. DC50-2L yatay yük-panel kesme deplasmanı grafiği

Çizelge 4.4. DC50-2L çevrimlerine ait yatay yük-kat ötelenme oranı çizelgesi

Çevrim adımı	Geri çevrim yönündeki			İleri çevrim yönündeki		
	Kat ötelenme oranı (%)	Yatay yük (kN)		Kat ötelenme oranı (%)	Yatay yük (kN)	
		Bileşke sistem	DC50-2L		Bileşke sistem	DC50-2L
1	-0,10	-3,60	-3,12	0,10	8,59	8,05
2	-0,15	-5,98	-5,20	0,15	10,26	9,48
3	-0,20	-7,65	-6,56	0,20	11,64	10,57
4	-0,30	-10,26	-8,64	0,30	14,76	13,18
5	-0,40	-11,87	-9,73	0,40	17,85	15,71
6	-0,50	-15,02	-12,36	0,50	19,33	16,68
7	-0,75	-19,45	-15,40	0,75	21,95	17,90
8	-1,00	-20,29	-14,92	1,00	22,20	16,86
9	-1,25	-20,77	-14,06	1,25	22,32	15,57
10	-1,50	-21,80	-13,75	1,50	22,63	14,63
11	-2,00	-25,05	-14,24	2,00	22,64	11,86
12	-2,50	-24,95	-11,43	2,50	23,11	9,60
13	-3,00	-19,61	-3,34	3,00	17,80	1,76

DC50-2L deney elemanının deney boyunca gözlenen davranışının çevrim bazında detaylı anlatımı aşağıda sunulmuştur.

1. çevrim: Üçüncü geri yüklemede sağ kolon ve alt kiriş kesişim bölgesinde alçı levha üzerinde ilk ezilme belirtileri gözlenmiştir.

2. çevrim: İlk geri yüklemede sağ kolon ve alt kiriş kesişim bölgesinde oluşan ezilme bölgesinin 15 cm kadar genişlediği gözlenmiştir. Bu ezilme belirtisi bölme duvarın sadece ön yüzeyinde gerçekleşmiş, bu yükleme düzeyine kadar arka yüzeydeki levhalarda herhangi bir ezilme belirtisi görülmemiştir

3. çevrim: İlk ileri yüklemede sol kolon ve üst kiriş kesişim bölgesinde alçı levha üzerinde ezilme bölgeleri oluşmaya başlamıştır.

4. çevrim: Üçüncü geri yüklemede sağ kolon ve alt kiriş kesişim bölgesinde oluşan ezilme bölgesi, sağ kolon doğrultusu boyunca üst kirişe doğru ilerleme belirtisi göstermiştir. Aynı yükleme içerisinde sağ kolona yakın olan alçı levha, C profillere sabitlendiği vidalardan sıyrılmaya başlamıştır.

7. çevrim: İlk ileri yüklemede sağ kolon ve alt kiriş kesişim bölgesinde oluşan ezilme panel yüksekliğinin yaklaşık 1/3'ü kadar yukarı yönde ilerleme göstermiştir. O bölgede yer alan alçı levha alttan iki vidadan ayrılmaya başlamıştır. Aynı yükleme adımı içerisinde sol kolon ve üst kiriş kesişim bölgesinde de sağ tarafta oluşan hasar belirtilerinin benzeri görülmüştür. Ayrıca bu bölgede kılcal diyagonal çatlak oluşumu başlamıştır. İkinci geri yüklemede sağ kolon ve üst kiriş kesişim bölgesinde ezilme başlangıcı gözlenmiş ve alçı levha üst kısımda bulunan ilk vidadan sıyrılmaya belirtisi göstermiştir.

8. çevrim: İlk ileri yüklemede sol kolon ve üst kiriş kesişim bölgesi ve sağ kolon ve alt kiriş kesişim bölgesinde ezilme bölgeleri genişlemeye başlamıştır.

12. çevrim: İkinci ileri yüklemede sol kolon ve alt kiriş kesişim bölgesinde alçı levha malzemenin ezilme kaynaklı malzeme bütünlüğü bozulmuş ve küçük ebatlarda dökülmeler başlamıştır.

13. çevrim: İlk ileri yüklemede sağdan ikinci sırada bulunan C profil burkulma başlangıcı göstermiş ve alçı levha malzemesi düzlem dışına hareket etmeye başlamıştır. Bu aşamadan sonra deneye son verilmiştir.

DC50-2L deneyinde, 7. çevrime kadar sol kolon ve alt kiriş kesişim bölgesinde herhangi bir hasar belirtisi görülmezken diğer tüm köşelerde değişken oranlarda ezilme bölgeleri oluşmuştur. Genel olarak bölme duvar sistemi köşe noktalarından ezilmiş, alçı levhalar, sağ ve sol kolona sabitlenmiş olan C profillerde bulunan montaj vidalarından sıyrılmıştır. Deney sırasında eleman üzerinde oluşan hasarlar Resim 4.4'de verilmiştir.

4.5. TD Elemanı Deneyi

Deney elemanı $+0,75$ kat ötelenme oranında 23,17 kN, $-0,75$ kat ötelenme oranı düzeyinde 21,93 kN taşıma gücüne ulaşmıştır. Bu yük düzeyinden sonra, tuğla kâgir birimlerin harçlardan ayrılmasından ve yapışma yüzeyinde oluşan boşluklardan dolayı yük aktarımı başarılı bir şekilde gerçekleşmemiştir. TD deney elemanı $\pm 1,25$ kat ötelenme oranı düzeyinde taşıma gücü kapasitesinin %17'sini kaybetse de, eleman üzerinde oluşması beklenen diyagonal kesme çatlakları oluşmadığı için deneye devam edilmiştir. TD deney elemanı diğer geleneksel bölme duvarları temsil eden HBD ve GBD deney elemanlarından farklı olarak ani bir biçimde göçmemiştir. Deneysel veriler kullanılarak çizilen çevrimsel yatay yük-kat ötelenme oranı grafiği Şekil 4.14'de, zarf eğrileri Şekil 4.15'de, yatay yük-panel kesme deplasmanı grafiği ise Şekil 4.16'da verilmiştir. Çizelge 4.5'de ise TD deneyine ait zarf eğrilerinin sayısal değeri derlenmiştir.

TD deney elemanının deney boyunca gözlenen davranışının çevrim bazında detaylı anlatımı aşağıda sunulmuştur.

Deneyin ilk yük çevriminde ($0,10$) deney elemanında herhangi bir hasar gözlenmemiştir.

2. çevrim: Bu çevrim içerisinde tuğla duvar yüzeyinde sol kolon ve üst kiriş kesişim bölgesinden sağ kolon ve alt kiriş kesişim bölgesine uzanan doğrultuda orta kısımlarda kılcal diyagonal çatlaklar oluşmaya başlamış ve çatlak doğrultusu üzerinde bulunan tuğla-harç bağlantılarında ayrılma belirtisi görülmüştür.



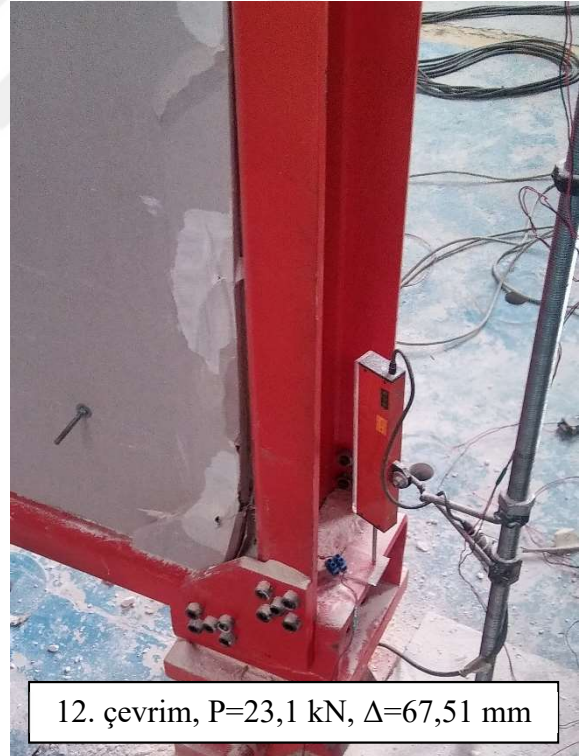
(a)



(b)

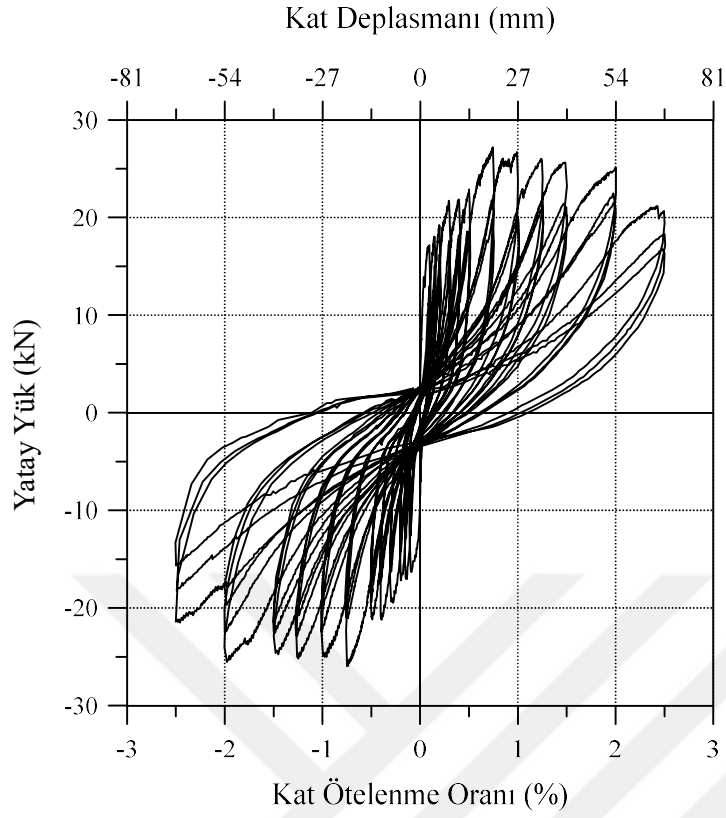


(c)

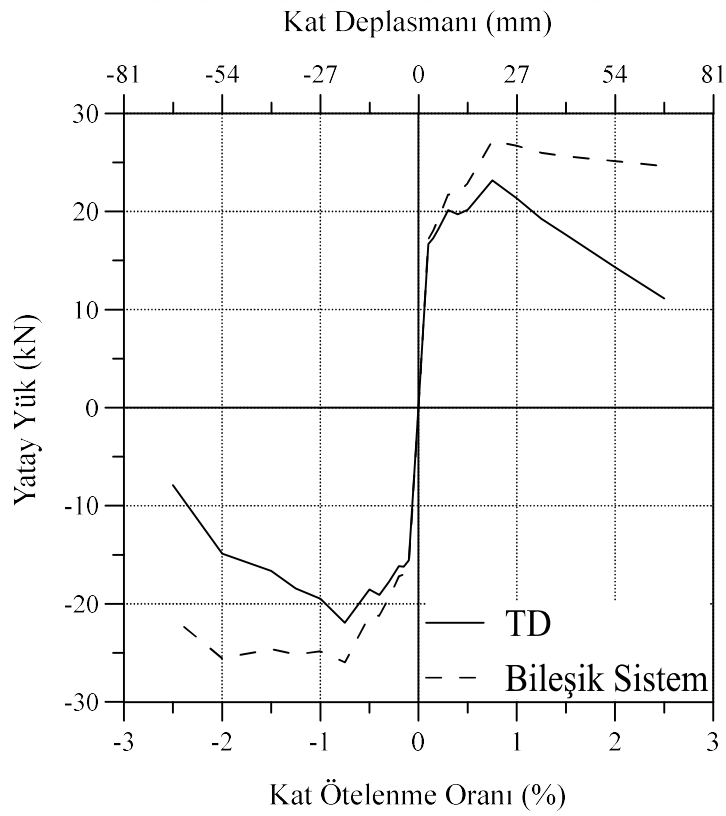


(d)

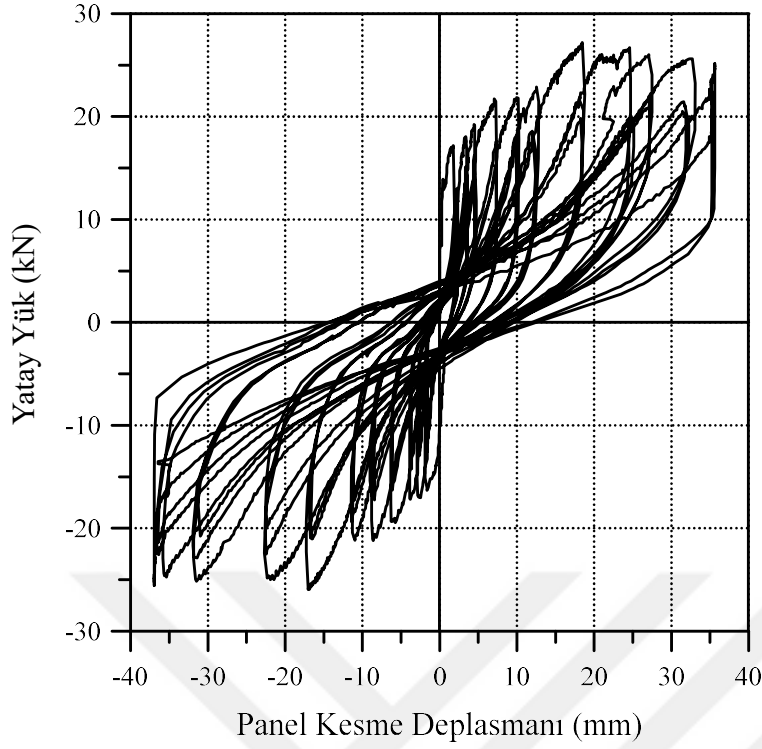
Resim 4.4. DC50-2L deney elemanında oluşan hasarlar



Şekil 4.14. TD bilşik çevrimsel yatay yük-kat ötelenme grafiğı



Şekil 4.15. TD deneyi zarf eğrileri



Şekil 4.16. TD yatay yük-panel kesme deplasmanı grafiği

Çizelge 4.5. TD çevrimlerine ait yatay yük-kat ötelenme oranı çizelgesi

Çevrim adımı	Geri çevrim yönündeki			İleri çevrim yönündeki		
	Kat ötelenme oranı (%)	Yatay yük (kN)		Kat ötelenme oranı (%)	Yatay yük (kN)	
		Bileşke sistem	TD		Bileşke sistem	TD
1	-0,10	-16,07	-15,55	0,10	17,18	16,68
2	-0,15	-17,00	-16,22	0,15	18,06	17,27
3	-0,20	-17,19	-16,14	0,20	19,23	18,16
4	-0,30	-19,35	-17,75	0,30	21,72	20,14
5	-0,40	-21,21	-19,08	0,40	21,84	19,72
6	-0,50	-21,18	-18,53	0,50	22,88	20,18
7	-0,75	-25,97	-21,93	0,75	27,18	23,17
8	-1,00	-24,84	-19,47	1,00	26,70	21,34
9	-1,25	-25,17	-18,43	1,25	25,98	19,25
10	-1,50	-24,62	-16,63	1,50	25,63	17,61
11	-2,00	-25,55	-14,87	2,00	25,13	14,33
12	-2,50	-21,40	-7,90	2,50	24,61	11,13

3. çevrim: Bir önceki çevrim içerisinde gözlenen çatlak doğrultusunun ters diyagonal yönünde çatlaklar oluşmaya başlamıştır.

7. çevrim: Birinci ileri yüklemede tuğla kâgir birimlerde küçük düzeyde kırılmalar görülmüştür. Diyagonal çatlak genişlikleri gözle görülebilecek düzeyde artış göstermiştir. Bu çevrimde özellikle bölme duvar yüzeyinin orta kısımlarında tuğla kâgir birimlerin birbirleriyle olan aderansı, harç malzemesindeki dayanım kaybından dolayı azalmıştır.

9. çevrim: İlk çevrimlerde oluşan diyagonal çatlaklara paralel doğrultuda tuğla kâgir birimler harçlardan ayrılmaya başlamıştır. Bu çevrimde düzlemden ayrılıp dökülen harç miktarı artmıştır. Tuğla kâgir birimlerde de gevrek kırılmalar başlamıştır.

11. çevrim: Üçüncü ileri yüklemede sol kolon ve üst kiriş kesişim bölgesinde bulunan tuğla kâgir birimler büyük kırılmalar yaşamış ve parçasal dökülmeler gözlenmiştir.

12. çevrim: Tüm çevrimlerde tuğla kâgir birimde parçasal kırılma ve dökülmeler devam etmiştir.

TD deney elemanının testi sırasında ilk olarak diyagonal basınç çubuğu doğrultusunda tuğla derzlerini oluşturan harçlar yenilmiştir. Deneyin ilerleyen aşamalarında bu diyagonal yenilmeler, bölme duvar düzleminin diyagonal doğrultusuna paralel olacak şekilde artış göstererek her iki yönde de birden fazla küçük boyutlarda diyagonal çatlaklar oluşmuştur. Artan yük düzeylerinde köşe bölgelerde ezilme bölgeleri oluşmuştur. Tuğla derzlerinde bulunan harç, deney sırasında tuğla kâgir birimden daha önce yenildiği için oluşan boşluklar yükün bir kısmını sönümleyerek kâgir birimler arası yük aktarımını azaltmıştır. Dolayısıyla tuğla kâgir birimler üzerinde gözlenmesi beklendiği gibi diyagonal kesme çatlakları oluşmamıştır. Deney sırasında eleman üzerinde oluşan hasarlar Resim 4.5’de verilmiştir.



(a)



(b)



(c)



(d)

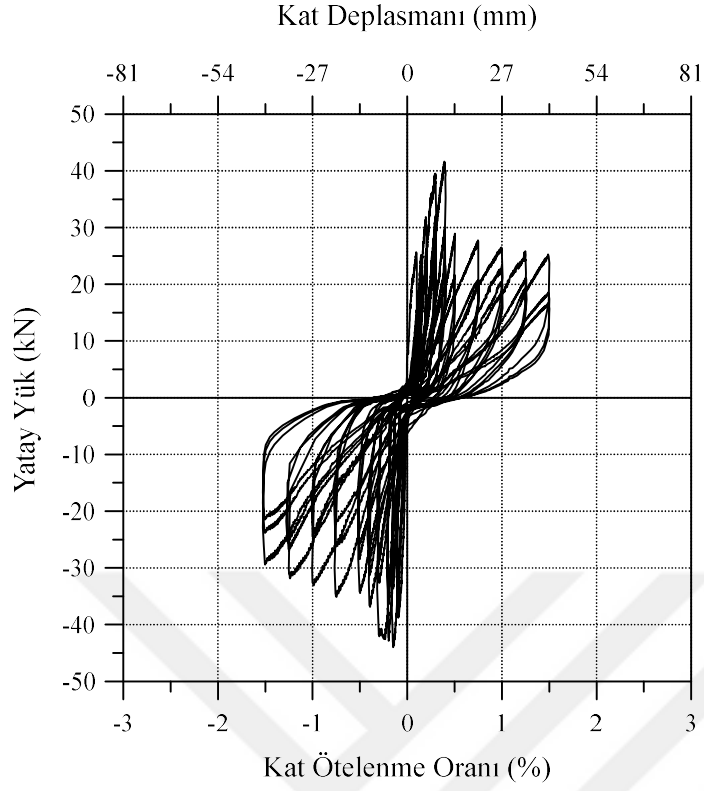
Resim 4.5. TD deney elemanında oluşan hasarlar

4.6. HBD Elemanı Deneyi

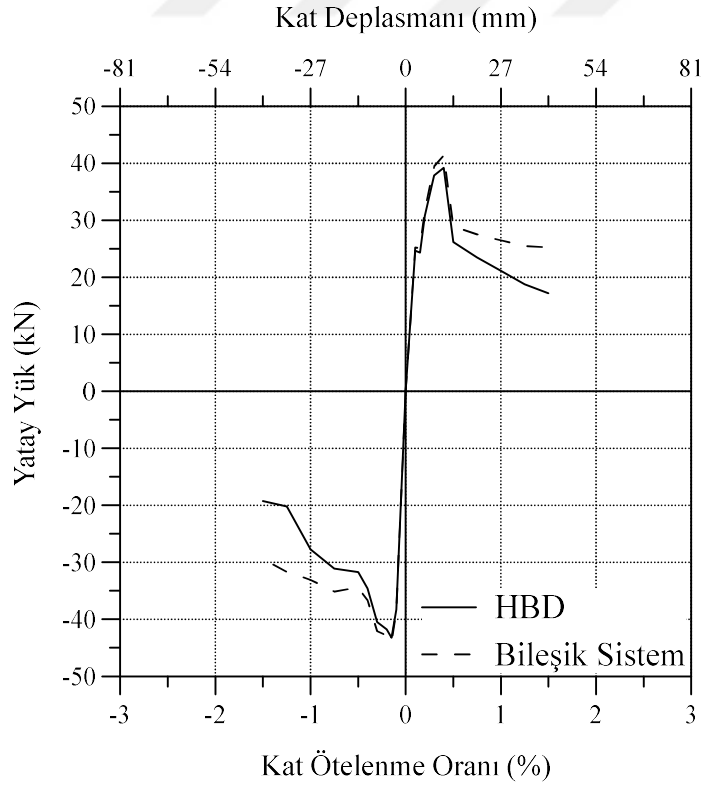
Deney elemanı +%0,40 kat ötelenme oranında 39,23 kN, -%0,15 kat ötelenme oranı düzeyinde 43,21 kN taşıma gücüne ulaşmıştır. HBD, ilk çevrimden itibaren belirgin bir plastik deformasyon yapmış ve kâgir birimler üzerinde çatlaklar oluşmaya başlamıştır. Yüksek başlangıç rijitliği ile tüm deney elemanları içerisinde en yüksek taşıma gücü kapasitesine ulaşan HBD, bu kapasiteyi koruyamadan gevrek bir biçimde taşıma gücü kapasitesini yitirmiştir. Deney elemanı, +%0,50 kat ötelenme oranında, ileri çevrim yönünde yaklaşık olarak %33, -%0,40 kat ötelenme oranında, geri çevrim yönünde yaklaşık olarak %20 düzeyinde taşıma gücü kaybı yaşamıştır. Bu aşamadan sonra yalnızca deney elemanı üzerinde oluşacak farklı hasar biçimlerinin gözlenmesi amaçlanmış ve deneye devam edilmiştir. Sonuç bölümünde verilen enerji tüketim kapasitesi hesaplanırken fazladan yapılan çevrimler dikkate alınmamıştır. Deneysel veriler kullanılarak çizilen çevrimsel yatay yük-kat ötelenme oranı grafiği Şekil 4.17’de, zarf eğrileri Şekil 4.18’de, yatay yük-panel kesme deplasmanı grafiği ise Şekil 4.19’da verilmiştir. Çizelge 4.6’da ise HBD deneyine ait zarf eğrilerinin sayısal değeri derlenmiştir.

HBD deney elemanının deney boyunca gözlenen davranışının çevrim bazında detaylı anlatımı aşağıda sunulmuştur.

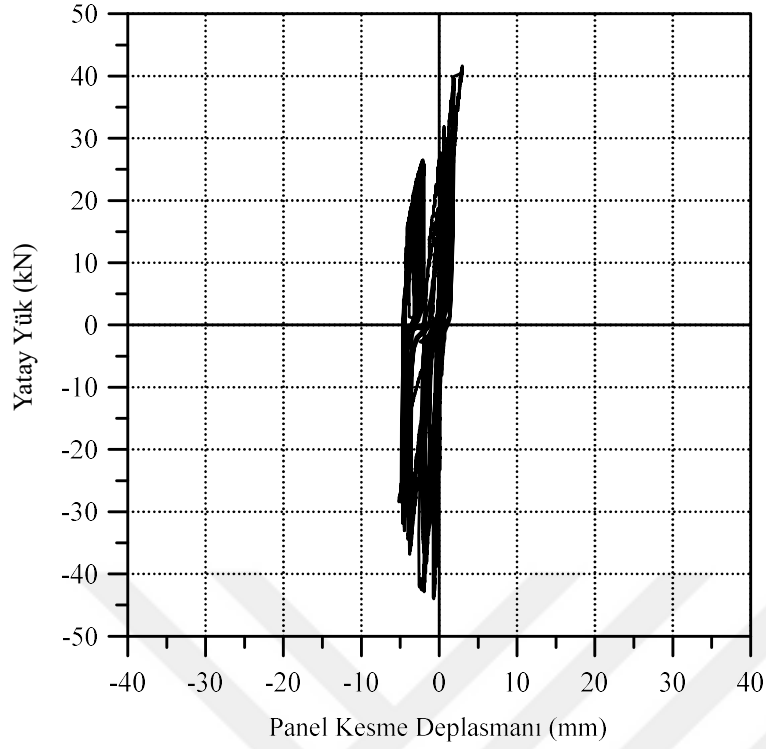
1. çevrim: Sol kolona bitişik durumda bulunan hafif beton briket kâgir birimler, kolon yüzeyinden kat yüksekliğinin yarısı kadar bir mesafede ayrılma belirtisi göstermişlerdir.
2. çevrim: Bölme duvar yüzeyinin orta bölgelerinde kâgir birimler üzerinde kılcal çatlaklar oluşmaya başlamıştır. Sol kolona bitişik durumda bulunan hafif beton briket kâgir birimlerin sol kolondan ayrılma mesafesi yaklaşık %30 oranında artmıştır. Sağ kolon ve alt kiriş kesişim bölgesinde ezilme belirtileri görülmeye başlanmıştır.
3. çevrim: İkinci geri yüklemede sağ kolon ve üst kiriş kesişim bölgesinde bulunan hafif beton briket kâgir birimlerde çatlaklar ve ezilme belirtileri görülmeye başlanmıştır.



Şekil 4.17. HBD bileşik çevrimsel yatay yük-kat ötelenme grafiği



Şekil 4.18. HBD deneyi zarf eğrileri



Şekil 4.19. HBD yatay yük-panel kesme deplasmanı grafiği

Çizelge 4.6. HBD çevrimlerine ait yatay yük-kat ötelenme oranı çizelgesi

Çevrim adımı	Geri çevrim yönündeki			İleri çevrim yönündeki		
	Kat ötelenme oranı (%)	Yatay yük (kN)		Kat ötelenme oranı (%)	Yatay yük (kN)	
		Bileşke sistem	HBD		Bileşke sistem	HBD
1	-0,10	-38,80	-38,28	0,10	25,22	24,69
2	-0,15	-44,01	-43,21	0,15	25,15	24,34
3	-0,20	-42,85	-41,79	0,20	31,85	30,78
4	-0,30	-42,08	-40,48	0,30	39,50	37,89
5	-0,40	-36,71	-34,56	0,40	41,37	39,23
6	-0,50	-34,42	-31,73	0,50	28,92	26,20
7	-0,75	-35,13	-31,09	0,75	27,54	23,48
8	-1,00	-33,07	-27,74	1,00	26,49	21,11
9	-1,25	-31,67	-31,67	1,25	25,50	18,79
10	-1,50	-29,44	-29,44	1,50	25,25	17,21

4. çevrim: Birinci ileri yüklemede sol tarafta yer alan hafif beton briket kâgir birimler derzleri oluşturan harçlardan ayrılma belirtisi göstermişlerdir. Çevrim içerisinde sağ kolon ve üst kiriş kesişim bölgesinde oluşan kılcal çatlaklar diyagonal çatlak şeklini almış ve ezilme gölgesi genişlemiştir.

5. çevrim: Birinci ileri yüklemede sol kolon ve üst kiriş kesişim bölgesinde ezilme bölgesi genişlemiştir. Sağ kolon ve üst kiriş kesişim bölgesinde yer alan üç adet hafif beton briket kâgir birimde malzeme bütünlüğünü bozacak düzeyde çatlamlar ve ezilmeler gözlenmeye başlamıştır.

6. çevrim: İkinci ileri yüklemede sol kolon ve üst kiriş kesişim bölgesi ve sol kolon ve alt kiriş kesişim bölgelerinin arka yüzeyinde, üst ve alt kirişlere en yakın bölgede yer alan hafif beton briket kâgir birimlerin malzeme bütünlüğü bozulmuş ve bölme duvar yüzeyinden ayrılmalar başlamıştır.

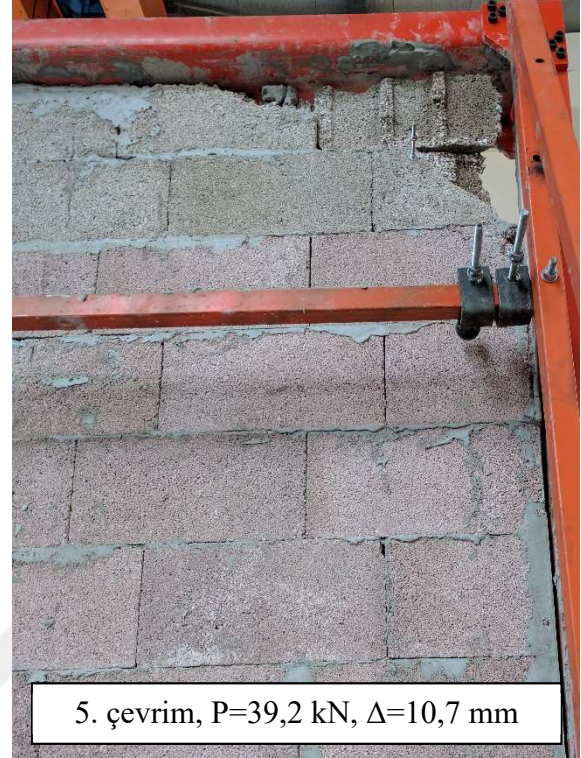
7. çevrim: Bu çevrim içerisinde üst kiriş ve kolon kesişim bölgelerinin her ikisinde de köşe bölgelerde yer alan hafif beton briket kâgir birimler neredeyse tamamen kırılarak düzlemde ayrılmışlardır.

9. çevrim: Birinci ileri yüklemede alt kiriş ve kolon kesişim bölgelerinin her ikisinde de diyagonal doğrultularda hafif beton briket kâgir birimler harçlarla olan aderansını kaybetmeye başlamıştır.

HBD deney elemanının testi sırasında artan kat ötelenme oranlarında üst köşe bölgelerde yer alan hafif beton briket kâgir birimler ezilmeye başlamışlardır. Ezilmelerin sonucu olarak hafif beton briketlerin düzlemde ayrılıp dökülmeleri ile 5. çevrimden sonra düzlemde başarılı bir şekilde yük aktarımı gerçekleşmemiştir. Hafif beton briket derzlerinde bulunan özel yapıştırıcı, deney sırasında hafif beton briket kâgir birimden daha önce yenildiği için oluşan boşluklar yükün bir kısmını sönümleyerek kâgir birimler arası yük aktarımını azaltmıştır. Dolayısıyla hafif beton briket kâgir birimler üzerinde diyagonal kesme çatlakları oldukça küçük düzeylerde gözlenmiştir. Hafif beton briket bölme duvar sistemi ileri yönde maksimum taşıma gücüne en erken kat ötelenme oranında ulaşan deney elemanı olmuştur. Deney sırasında hasarların oluşumu ise gevrek ve ani bir şekilde gerçekleşmiştir. Deney sırasında eleman üzerinde oluşan hasarlar Resim 4.6'da verilmiştir.



(a)



(b)



(c)



(d)

Resim 4.6. HBD deney elemanında oluşan hasarlar

4.7. GBD Elemanı Deneyi

Deney elemanı $+0,30$ kat ötelenme oranında 25,98 kN, $-0,20$ kat ötelenme oranı düzeyinde 26,38 kN taşıma gücüne ulaşmıştır. GBD, ilk çevrimden itibaren belirgin bir plastik deformasyon yapmış ve kâgir birimler üzerinde çatlaklar oluşmaya başlamıştır. $-0,20$ kat ötelenme oranında uygulanan ilk geri yarı çevrimde tüm düzlem boyunca diyagonal bir çatlak oluşmuştur. Bu çevrimden hemen sonra $+0,40$ kat ötelenme oranı düzeyinde, deney elemanı yüksek bir rijitlik kaybı yaşayarak taşıma gücü kapasitesini %15 oranında yitirmiştir. Deney elemanı $-0,50$ kat ötelenme oranı düzeyinde ise maksimum taşıma kapasitesinin %83'üne erişebilmiştir. Bu noktalardan sonra deney elemanı üzerinde oluşabilecek farklı hasar biçimlerinin gözlenebilmesi amacıyla deneye devam edilmiştir. Deneysel veriler kullanılarak çizilen çevrimsel yatay yük-kat ötelenme oranı grafiği Şekil 4.20'de, zarf eğrileri Şekil 4.21'de, yatay yük-panel kesme deplasmanı grafiği ise Şekil 4.22'de verilmiştir. Çizelge 4.7'de ise GBD deneyine ait zarf eğrilerinin sayısal değeri derlenmiştir.

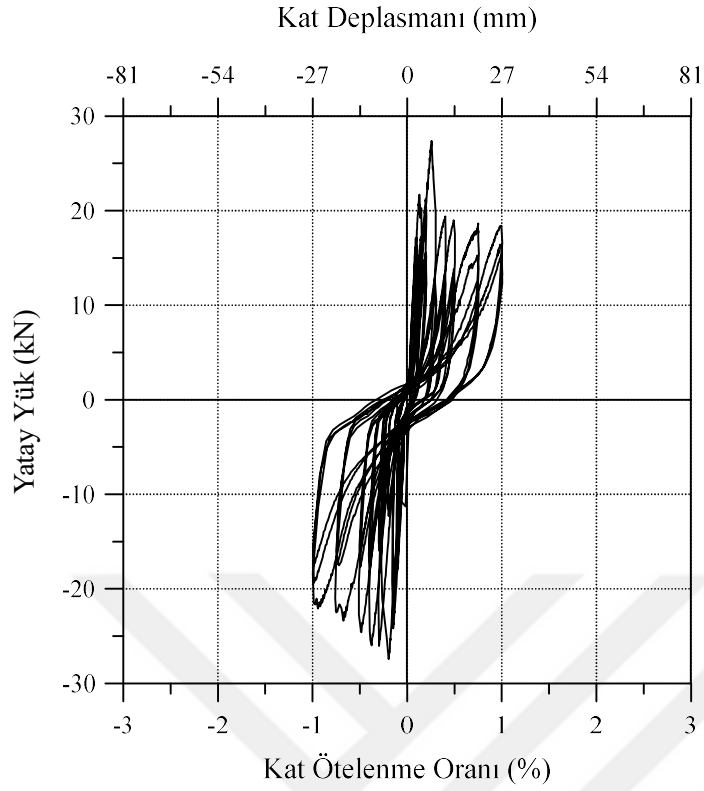
GBD deney elemanının deney boyunca gözlenen davranışının çevrim bazında detaylı anlatımı aşağıda sunulmuştur.

Deneyin ilk yük çevriminde ($0,10$) deney elemanında herhangi bir hasar gözlenmemiştir.

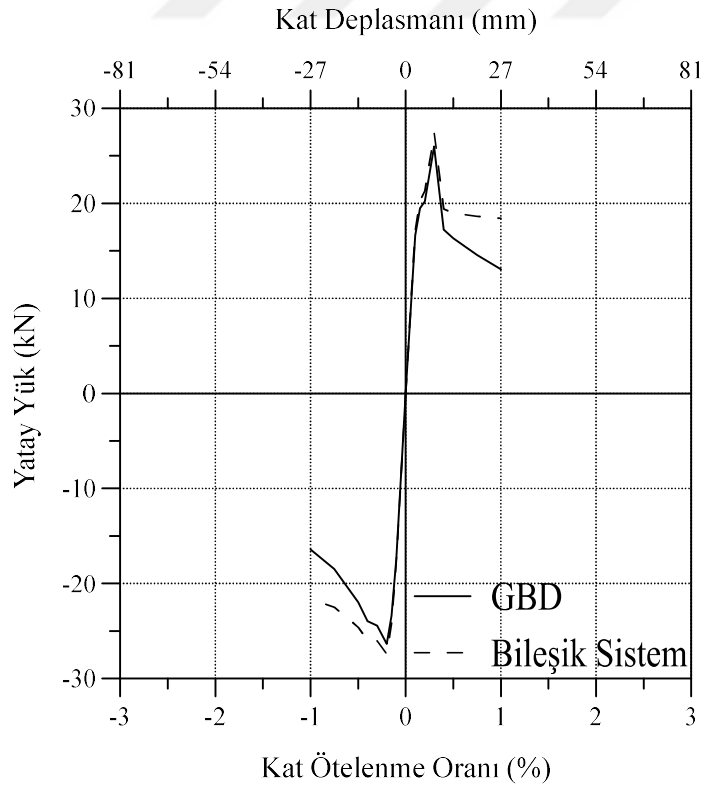
2. çevrim: İkinci ileri yüklemede sol kolon ve üst kiriş kesişim bölgesinde kâgir birim üzerinde ilk ezilme belirtileri gözlenmiştir. Aynı ezilme belirtileri daha yoğun bir şekilde alt köşelerde meydana gelmiştir.

3. çevrim: Birinci geri yüklemede kolonlar ve üst kiriş kesişim bölgelerinde gaz beton kâgir birim üzerinde diyagonal çatlak başlangıcı gözlenmiştir. Yüklemenin devamında bütün bölme duvar sistemi boyunca sağ kolon ve üst kiriş kesişim bölgesinden sol kolon ve alt kiriş kesişim bölgesine doğru diyagonal çatlak ani bir şekilde gerçekleşmiştir.

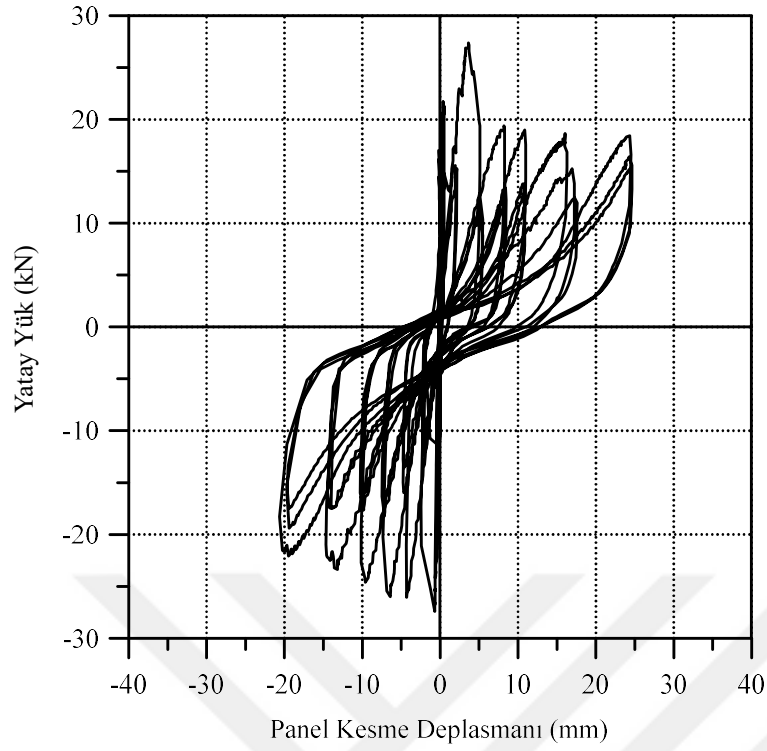
4. çevrim: Birinci ileri yüklemede bir önceki çevrimde bütün bölme duvar yüzeyinde gerçekleşen diyagonal çatlağın simetrik yönünde, yine ani bir şekilde diyagonal çatlak meydana gelmiştir. İleri çevrimlerde çatlak sayısı artış göstermiştir.



Şekil 4.20. GBD bileşik çevrimsel yatay yük-kat tellenme grafiği



Şekil 4.21. GBD deneyi zarf eğrileri



Şekil 4.22. GBD yatay yük-panel kesme deplasmanı grafiği

Çizelge 4.7. GBD çevrimlerine ait yatay yük-kat ötelenme oranı çizelgesi

Çevrim adımı	Geri çevrim yönündeki			İleri çevrim yönündeki		
	Kat ötelenme oranı (%)	Yatay yük (kN)		Kat ötelenme oranı (%)	Yatay yük (kN)	
		Bileşke sistem	GBD		Bileşke sistem	GBD
1	-0,10	-17,91	-17,37	0,10	17,17	16,63
2	-0,15	-24,18	-23,38	0,15	20,28	19,48
3	-0,20	-27,43	-26,38	0,20	21,27	20,21
4	-0,30	-26,05	-24,45	0,30	27,38	25,98
5	-0,40	-26,00	-23,98	0,40	19,40	17,22
6	-0,50	-24,60	-21,99	0,50	18,98	16,32
7	-0,75	-22,51	-18,47	0,75	18,64	14,59
8	-1,00	-21,64	-16,41	1,00	18,42	13,04

GBD deney elemanının testi sırasında artan kat ötelenme oranlarında üst köşe bölgelerde yer alan gaz beton kâgir birimler ezilmeye başlamışlardır. Ezilme başlangıcının ardından sistemde köşe bölgelerde yer alan gaz beton kâgir birimler üzerinde diyagonal çatlaklar gelişmiştir. Bu bölgesel diyagonal çatlakların oluşmasının ardından ani bir şekilde ve arka arkaya her iki diyagonal doğrultuda da tüm duvar yüzeyi boyunca diyagonal çatlaklar görülmüştür. Çatlakların oluşmasının ardından ilerleyen kat ötelenme oranlarında duvar yüzeyinde neredeyse her bölgede çatlaklar gözlenmiş ve deney elemanının yük taşıma kapasitesi giderek azalmıştır. Deney %1 kat ötelenme oranı seviyesinde sonlandırılmıştır. Deney sırasında eleman üzerinde oluşan hasarlar Resim 4.7’de verilmiştir.





(a)



(b)



(c)

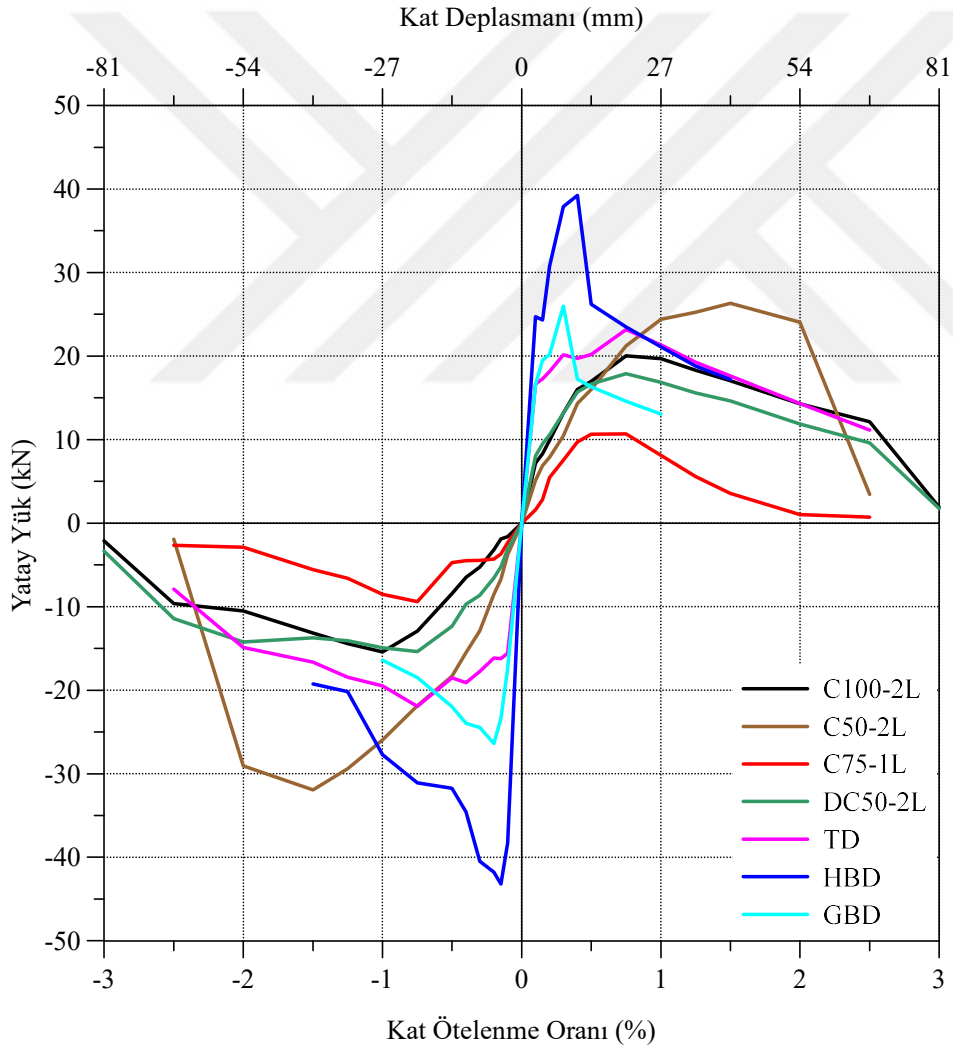


(d)

Resim 4.7. GBD deney elemanında oluşan hasarlar

5. DENEYSEL SONUÇLARIN DEĞERLENDİRİLMESİ

Modern ve geleneksel bölme duvar malzemeleri ile üretilmiş olan 7 adet deney elemanının deprem yüklerini benzeştiren tersinir tekrarlanır yatay yük etkisi altında göstermiş oldukları davranışlar, elemanların zarf eğrileri incelenerek yorumlanmıştır. Şekil 5.1'de gösterilen zarf eğrileri her bir deney elemanından elde edilen yük-deplasman grafiklerinin en yüksek değerine sahip noktaları birleştirilerek oluşturulmuştur. Bu eğriler kullanılarak deney elemanlarının süneklik oranları, başlangıç rijitliği değerleri ve enerji tüketim kapasiteleri gibi parametreler hesaplanmış ve birbirleriyle karşılaştırılarak yorumlar yapılmıştır.



Şekil 5.1. Deney elemanlarının zarf eğrileri

5.1. Dayanım ve Davranış

Deney sonuçlarında elde edilen veriler Çizelge 5.1’de sunulmuştur. Çizelge incelendiğinde en yüksek taşıma gücü değerine HBD deney elemanının sahip olduğu görülmektedir. Geleneksel yapı malzemeleri ile üretilen duvarların, kuru alçı panel duvar üretiminde en çok kullanılan bölme duvar kombinasyonlarına göre daha yüksek bir dayanım sergilediği deneyler sonunda gözlenmiştir.

Çizelge 5.1. Deney elemanlarına ait taşıma gücü ve taşıma gücünde kat ötelenme oranı değerleri

Deney elemanı	Taşıma gücündeki yük düzeyi (kN)		Taşıma gücündeki kat ötelenme oranı (%)		Deney elemanları * C100-2L
	İleri	Geri	İleri	Geri	
C100-2L	20,02	-15,41	0,75	-1,00	1,00
C50-2L	26,31	-31,94	1,50	-1,50	1,31
C75-1L	10,66	-9,41	0,75	-0,75	0,53
DC50-2L	17,90	-15,40	0,75	-0,75	0,89
TD	23,17	-21,93	0,75	-0,75	1,16
HBD	39,23	-43,21	0,40	-0,15	1,96
GBD	25,98	-26,38	0,30	-0,20	1,30

* Oran ileri yükleme doğrultusu yük değerleri için hesaplanmıştır.

Alçı levha ile üretilen deney numunelerinin ortalama taşıma gücü 18,72 kN olurken, geleneksel malzemeler kullanılarak üretilen deney elemanlarının ortalaması diğer gruba göre yaklaşık %57 oranında daha fazladır. Duvar kalınlıkları birbirine yakın olan ancak taşıyıcı iskelet kesitindeki C profil sayısı farklı olan C100-2L ve DC50-2L deney elemanlarının sahip oldukları taşıma gücü değerleri arasında yaklaşık olarak %11’lik küçük bir fark vardır. Modern bölme duvarları temsil eden deney elemanlarında, alçı levha katmanının artırılması daha yüksek taşıma gücü değerlerine ulaşılmasına imkân sağlamıştır.

DeneySEL çalışma kapsamındaki duvar elemanlarının kat ötelenme oranları incelendiğinde modern bölme duvarların ortalama olarak daha ileri bir kat ötelenme oranında taşıma gücüne ulaştığı gözlenmiştir. Modern bölme duvarların tamamı en az %0,75 kat ötelenme oranına kadar değişik büyüklüklerde yüklere dayanım göstermişken, geleneksel bölme duvar elemanlarında sadece TD deney elemanı benzer kat ötelenme oranına ulaşabilmiş, HBD ve

GBD deney elemanları ise sırasıyla %0,40 ile %0,30 kat ötelenme oranlarında taşıma güçlerine ulaşmışlardır.

5.2. Süneklik

Deney elemanlarının deplasman süneklik oranları, her bir yöndeki yükleme doğrultusu için taşıma gücüne ulaştığı noktada ölçülen kat ötelenme oranının, yine o yükleme yönü için elemanın taşıma gücünü kaybettiği noktadaki kat ötelenme oranına bölünmesi ile hesaplanmıştır. Deney elemanlarının taşıma gücü değerlerinin %15 oranında azalarak, %85'ine düştüğü nokta, göçtüğü kabul edilen noktadır [35]. Çizelge 5.2. deney elemanının her iki yükleme doğrultusu için kat ötelenme oranlarını ve hesaplanan deplasman süneklik oranlarını içermektedir. Çizelgede ileri ve geri yükleme yönleri için sunulan deplasman süneklik oranlarının en küçüğü deney elemanına ait deplasman süneklik oranı olarak kabul edilmiştir.

Çizelge 5.2. Deney elemanlarının deplasman süneklik oranları

Deney elemanı	Taşıma gücündeki kat ötelenme oranı (%)		Göçme durumundaki ötelenme oranı (%)		Deplasman süneklik oranı		Deney elemanı deplasman süneklik oranı
	İleri	Geri	İleri	Geri	İleri	Geri	
C100-2L	0,75	-1,00	1,50	-1,51	2,00	1,51	1,51
C50-2L	1,50	-1,50	2,08	-2,07	1,39	1,38	1,38
C75-1L	0,75	-0,75	0,91	-1,07	1,21	1,43	1,21
DC50-2L	0,75	-0,75	1,35	-2,21	1,80	2,95	1,80
TD	0,75	-0,75	1,20	-1,20	1,60	1,60	1,60
HBD	0,40	-0,15	0,45	-0,36	1,13	2,40	1,13
GBD	0,30	-0,20	0,34	-0,48	1,13	2,40	1,13

Çizelge 5.2'deki hesaplanan deplasman süneklik oranları dikkate alındığında, modern bölme duvarların ortalama değerinin (1,48), geleneksel bölme duvarlara ait ortalama değerden (1,29) daha yüksek olduğu görülmektedir. Deneysel çalışma kapsamında yapılan deneylerde modern bölme duvarları temsil eden deney elemanlarının göçme biçimlerinin köşe bölgelerdeki ezilme ile gerçekleşmesi, geleneksel bölme duvarların göçme mekanizmasından farklı olarak gevrek bir göçme durumu yaşanmamasından dolayı daha

yüksek deplasman süneklik oranlarına sahip oldukları düşünülmektedir. Bununla birlikte, geleneksel duvarlarda TD, HBD ve GBD deney elemanları ise maksimum taşıma gücü kapasitelerine ulaştıktan sonra ani bir göçme davranışı göstermiş ve deplasman süneklik oranları düşük seviyelerde kalmıştır.

5.3. Başlangıç Rijitliği

Deneyisel çalışma kapsamında üretilen deney elemanlarının başlangıç rijitliği değerleri, deneylerin ilk ileri ve geri çevrimlerinde gösterdikleri taşıma gücü değerinin, bu değerlerde yapmış oldukları deplasman değerlerine bölünmesi ile hesaplanmıştır. Hesaplanan değerler Çizelge 5.3.' de verilmiştir.

Çizelge 5.3. Deney elemanlarının başlangıç rijitliği değerleri

Deney elemanı	Taşıma gücü (kN)		Deplasman değerleri (mm)		Başlangıç Rijitliği (kN/mm)	
	İleri	Geri	İleri	Geri	İleri	Geri
	Çevrim	Çevrim	Çevrim	Çevrim	Çevrim	Çevrim
C100-2L	7,19	-1,63	2,70	-2,74	2,66	0,59
C50-2L	5,12	-3,78	2,66	-2,75	1,92	1,38
C75-1L	1,59	-2,37	2,80	-2,81	0,57	0,84
DC50-2L	8,05	-3,12	2,66	-2,42	3,02	1,29
TD	16,68	-15,55	2,49	-2,58	6,71	6,04
HBD	24,69	-38,28	2,62	-2,60	9,42	14,74
GBD	16,63	-17,37	2,68	-2,69	6,21	6,45

HBD deney elemanı ileri yönde 9,42 kN/mm, geri yönde ise 14,74 kN/mm başlangıç rijitliği değerleriyle tüm deney elemanları içerisinde en yüksek başlangıç rijitliği değerine sahip deney elemanıdır. C75-1L ise ileri yönde 0,57 kN/mm değeri ile en düşük başlangıç rijitliği değerine sahip deney elemanıdır. Geleneksel bölme duvarları temsil eden TD, HBD ve GBD deney elemanları, modern bölme duvarları temsil eden deney elemanlarından çok daha yüksek başlangıç rijitlik değerlerine sahiptir. TD, HBD ve GBD deney elemanları için ileri yönde ortalama 9,08 kN/mm, geri yönde ise ortalama 7,45 kN/mm başlangıç rijitlik değerleri hesaplanmıştır. C100-2L, C50-2L, C75-1L ve DC50-2L deney elemanları ise ileri yönde

ortalama 1,03 kN/mm, geri yönde ise ortalama 2,04 kN/mm başlangıç rijitlik değerine sahiptir.

5.4. Enerji Tüketimi

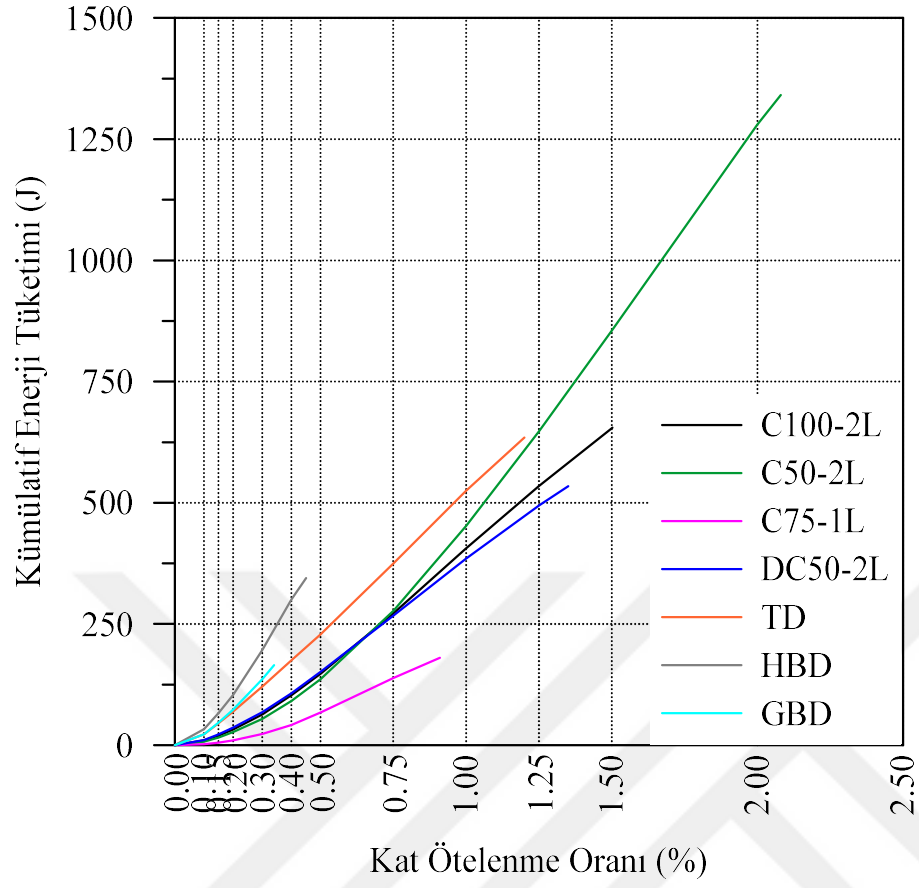
Deney elemanlarının tükettikleri enerji miktarı, her bir panel deney elemanın zarf eğrisinin altında kalan alan hesaplanarak elde edilmiştir. Hesaplanan değerler Çizelge 5.4'de verilmiştir.

Çizelge 5.4. Deney elemanlarının enerji tüketim kapasitesi değerleri

Deney elemanı	Enerji tüketim kapasitesi (kN.mm)		$\frac{\text{Deney elemanları}}{\text{C100-2L}} *$
	İleri	Geri	
C100-2L	655,03	420,09	1,00
C50-2L	1340,93	1496,76	2,05
C75-1L	180,62	171,91	0,28
DC50-2L	534,33	745,28	0,82
TD	634,58	589,33	0,97
HBD	344,71	341,22	0,53
GBD	164,85	267,65	0,25

* Oran ileri yükleme doğrultusu enerji değerleri için hesaplanmıştır.

Deneyisel çalışma kapsamındaki deney elemanları içerisinde, modern bölme duvar grubu içinde C50-2L, geleneksel bölme duvar grubu içerisinde TD en yüksek enerji tüketim kapasitesine sahiptir. Modern bölme duvarları temsil eden deney elemanlarında, çift katlı alçı levha ile üretilmiş deney elemanları, tek kat alçı levha ile üretilmiş C75-1L elemanından yaklaşık olarak %200 ile %650 oranında daha fazla enerji tüketebilmiştir. C75-1L dışındaki diğer tüm modern bölme duvarları temsil eden deney elemanları, HBD ve GBD deney elemanlarından daha yüksek enerji tüketim kapasitesine sahip oldukları görülmektedir. Deney elemanlarının artan kat ötelenme oranları ile beraber enerji tüketim değişimini gösteren grafik Şekil 5.2'de verilmiştir.



Şekil 5.2. Deney elemanlarının enerji tüketim kapasiteleri

6. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu tez kapsamında ülkemiz yapı stokunda yaygın olarak kullanılan tuğla, hafif beton briket ve gaz beton malzemelerinden üretilmiş bölme duvarlar ile son yıllarda kullanımı artan alçı levha ile üretilmiş bölme duvarların deprem performansları karşılaştırılmıştır. Duvar kalınlığı yaklaşık olarak 100 mm olacak biçimde imal edilen 3'ü kâgir birim, 4'ü de alçı levha malzemesi ile olmak üzere 2700 mm x 3000 mm boyutlarında tam ölçekli 7 adet deney elemanı üretilmiştir. Bu deney elemanları deprem yüklerini benzeştiren tersinir tekrarlanır yatay yükleme etkisi altında laboratuvar ortamında test edilmiştir. Deney elemanları, deplasman kontrollü olarak test edilmiştir. Deney elemanlarına özdeş bir yükleme geçmiş uygulanmıştır. Deneyler sonunda elde edilen sonuçlar bir önceki bölümde detaylı bir biçimde verilmiş olup, bu bölümde bu sonuçların deney parametreleri bazında irdelemesi yapılacaktır. Deneysel çalışma sonucunda şu sonuç ve önerilere varılmıştır.

6.1. Sonuçlar

- Geleneksel bölme duvarları temsil eden deney elemanları ile her iki yüzeyinde de çift kat alçı levha kullanılmış olan modern bölme duvarları temsil eden deney elemanları arasında C75-1L ve HBD deney elemanları hariç taşıma gücü kıstası bakımından ortalama olarak %2 civarında fark gözlenmiştir.
- Modern bölme duvarların taşıyıcı iskeletinde bulunan C profili adedini arttırmak maksimum taşıma gücünü geliştirici herhangi bir etki göstermemiştir. Deneysel parametre olarak tek farkı taşıyıcı iskelet kesitindeki C profil adedi olan C50-2L ile DC50-2L deney elemanı kıyaslandığında tek iskeletin çifte göre %47 oranında daha fazla yük taşıdığı görülmüştür.
- Deney elemanlarının taşıma gücü üzerinde, kullanılan alçı levha ve taşıyıcı iskelet kesitinde bulunan C profili sayısı kadar işçilik ve levha malzemesinin bilinmeyen kırılma biçiminin de %50'ye varan oranlarda etkili olabileceği gerçekleştirilen deneyler sonucunda görülmüştür.
- Modern bölme duvarları temsil eden alçı levha ile üretilmiş bölme duvarların tamamı maksimum taşıma güçlerine en az %0,75 kat ötelenme oranlarında ulaşmıştır. Geleneksel bölme duvarları temsil eden deney elemanlarından sadece TD deney elemanı %0,75 kat ötelenme oranında maksimum taşıma gücüne ulaşırken, HBD ve GBD deney elemanları

sırasıyla %0,40 ve 0,30 kat ötelenme oranlarında maksimum taşıma gücü değerlerine ulaşmıştır.

- Modern bölme duvarların süneklik oranları incelendiğinde, duvar kalınlığı veya alçı levha katman sayısı artışının, deplasman süneklik oranının da artmasına neden olduğu görülmektedir.
- Modern bölme duvarları temsil eden alçı levha ile üretilmiş deney elemanlarının göçme mekanizmasının, geleneksel bölme duvarları temsil eden bölme duvarların göçme mekanizmalarından farklı olduğu görülmüştür. TD, HBD ve GBD deney elemanlarının testleri sonucunda düzlem dışı davranışlar gözlenmiş, duvar bloklarından dışarıya doğru parçasal dökülmeler görülmüştür. Alçı levha ile üretilen bölme duvarlarda ise taşıyıcı iskelette yer alan C profillere birçok vida vasıtasıyla bağlantı kurulmasından dolayı can ve mal kaybı riski doğurabilecek düzlem dışı herhangi bir hasar görülmemiştir. C50-2L deney elemanı testi sırasında, bölme duvar içerisinde yer alan C profilin burkulması nedeniyle alçı levha parçalanmış ancak can veya mal güvenliği için risk oluşturabilecek herhangi bir parçasal dökülme görülmemiştir.
- Genel olarak modern bölme duvarları temsil eden deney elemanları, geleneksel bölme duvarları temsil eden deney elemanlarından daha fazla enerji tükettiği ve daha yüksek deplasman süneklik oranına sahip olduğu görülmüştür. C75-1L haricindeki alçı levha ile üretilmiş bölme duvarlar maksimum taşıma gücü değerlerine eriştikten sonra %1,35 kat ötelenme oranına kadar yük taşıma kabiliyetlerini korumuştur. Tuğla, hafif beton briket ve gaz beton malzemeleriyle üretilmiş duvarlarda ise yalnızca TD deney elemanı, alçı levha ile üretilmiş bölme duvarlara benzer bir davranış gösterebilmiş, HBD ve GBD deney elemanları ise maksimum taşıma gücüne ulaştıkları kat ötelenme oranlarını izleyen çevrimde göçme davranışı göstermişler ve deplasman süneklik oranı değerinde düşük bir bölgede kalmışlardır. DC50-2L ve C100-2L deney elemanları ileri yönde diğer tüm deney elemanlarından daha yüksek bir deplasman süneklik oranına sahip iken en yüksek taşıma gücü değerine sahip olan HBD deney elemanı, en düşük deplasman süneklik oranına sahip deney elemanı olmuştur.
- Geleneksel bölme duvarları temsil eden deney elemanları, modern bölme duvarları temsil eden deney elemanlarına göre çok daha yüksek başlangıç rijitliği değerlerine sahiptir. TD, HBD ve GBD deney elemanlarının ortalama başlangıç rijitliği, alçı levha ile üretilen

bölme duvarların ortalama başlangıç rijitliği değerinden yaklaşık olarak 8,5 kat kadar daha fazladır.

- Gazi Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri birimi tarafından desteklenen ve bu tez kapsamında bölme duvarı oluşturan yapı malzemelerinin mekanik özelliklerinin araştırıldığı projede elde edilen aksel basınç değerleri ile bütün olarak üretilmiş ve yatay yük altında test edilmiş deney elemanlarının ulaşabildiği maksimum taşıma gücü değerleri arasında doğru orantılı bir benzeşim görülmektedir.

6.2. Öneriler

- Deneysel çalışma kapsamındaki, deney elemanlarının sayısının artırılarak matematiksel bir duvar modeli altyapısının oluşturulması mümkündür. Ancak, mevcut çalışmada ele alınan deney elemanı sayısı bu aşamaya geçebilmek için yeterli bulunmamaktadır. Bu nedenle deney elemanı sayısının, aynı ölçekteki duvar büyüklüklerinde kullanılan C profili sayısı, bağlantı vidaları sayısı gibi değişkenlerin sayısı artırılarak deneyler yapılmalıdır.
- Bölme duvar numuneleri üzerinde kapı ve/veya pencere boşluğu bırakılması veya tek kat bölme duvarlar üretilerek yapılan bu deneylerin iki katlı olarak üretilip deneylerin yapılması literatüre katkı sağlayacaktır.
- Farklı duvar kalınlıklarına sahip bölme duvarlar test edilerek karşılaştırılma yapılması konu hakkındaki bilgi birikimini artıracaktır.
- Ayrıca gerçek bir yapıda duvarlar üzerinde mevcut bulunan aksel yükün deneysel olarak benzeştirildiği deney elemanlarının da test edilerek davranışlarının gözlenmesi tasarıma yönelik çalışmalara alt yapı oluşturacaktır.



KAYNAKLAR

1. Türkiye Cumhuriyeti Başbakanlık Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı. (2014). Müdahale, İyileştirme ve Sosyoekonomik Açından 2011 Van Depremi; AFAD. *Ankara*, 10-11.
2. Özmen, B. (2000). 17 Ağustos 1999 İzmir Körfezi depreminin hasar durumu (rakamsal verilerle); TDV. *Ankara*, 6-15.
3. İnternet: Türkiye İstatistik Kurumu. URL: <http://www.webcitation.org/query?url=http%3A%2F%2Fwww.tuik.gov.tr%2FUstMenu.do%3Fmetod%3Dtemelist&date=2018-07-23>, Son Erişim Tarihi: 03.05.2018.
4. Shing, P. B., and Mehrabi, A. B. (2002). Behaviour and analysis of masonry-infilled frames. *Progress in Structural Engineering and Materials*, 4(3), 320-331.
5. İnternet: Ulusal Tez Merkezi. URL: <http://www.webcitation.org/query?url=https%3A%2F%2Ftez.yok.gov.tr%2FUlusalTezMerkezi%2F&date=2018-08-06>, Son Erişim Tarihi: 06.08.2018
6. Bayındırlık ve İskan Bakanlığı. (2007). *Deprem bölgelerinde yapılacak binalar hakkında yönetmelik (DBYBHY)*. Ankara: Bayındırlık ve İskan Bakanlığı.
7. Freeman, S. A. (1971). Third progress report on racking tests of wall panels. JAB-99-54 Report, *San Francisco*, 30.
8. Adams, N. R. (1974). Monotonic and cyclic tests of timber shear walls. *Canadian Journal of Civil Engineering*, 19(3), 415-422.
9. Rihal, S. S. (1980). Racking tests of non-structural building partitions (The behavior of architectural (nonstructural) building components during earthquakes). Final Technical Report California Polytechnic State University, *San Luis Obispo*, 5-29.
10. Anderson, R. W., Yee, Y., Savulian, G., Barclay, B., and Lee, G. (1981). Investigation of the seismic resistance of interior building partitions, phase 1. NASA STI/Recon Technical Report N, 81.
11. Wang, M. L. (1987). Cladding performance on a full scale test frame. *Earthquake Spectra*, 3(1), 119-173.
12. Adham, S. A., Avanessian, V., Hart, G. C., Anderson, R. W., Elmlinger, J., and Gregory, J. (1990). Shear wall resistance of lightgage steel stud wall systems. *Earthquake Spectra*, 6(1), 1-14.
13. Karacabeyli, E. and Ceccotti, A. (1996, October). *Test results on the lateral resistance of nailed shear walls*. Proceedings of the International Wood Engineering Conference, New Orleans.
14. McMullin, K. M. and Merrick, D. (2002). *Seismic performance of gypsum walls: Experimental test program*. Consortium of Universities for Research in Earthquake Engineering, Richmond, CA, USA.

15. Uang, C. M., and Gatto, K. (2003). Effects of finish materials and dynamic loading on the cyclic response of woodframe shearwalls. *Journal of Structural Engineering*, 129(10), 1394-1402.
16. Kanvinde, A. M., and Deierlein, G. G. (2006). Analytical models for the seismic performance of gypsum drywall partitions. *Earthquake Spectra*, 22(2), 391-411.
17. Lee, T. H., Kato, M., Matsumiya, T., Suita, K., and Nakashima, M. (2007). Seismic performance evaluation of non-structural components: Drywall partitions. *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, 36(3), 367-382.
18. Memari, A. M., Kasal, B., Manbeck, H. B., and Adams, A. R. (2009). Lateral load resistance evaluation of wood-and steel-stud partition shear walls. *Journal of Architectural Engineering*, 15(4), 122-130.
19. Dinehart, D. W., Leese, K. A., and Patterson, S. (2010). Cyclic performance of a viscoelastic connection for use in wood-frame and steel-frame gypsum shearwalls.
20. Pan, C.-L., and Shan, M.-Y. (2011). Monotonic shear tests of cold-formed steel wall frames with sheathing. *Thin-Walled Structures*, 49(2), 363-370.
21. Yu, C., and Li, C. (2012). *Experimental investigation of cold-formed steel shear walls sheathed with steel-gypsum composite panels*. Structural Stability Research Council Annual Stability Conference, Grapevine, TX.
22. Retamales, R., Davies, R., Mosqueda, G., and Filiatrault, A. (2013). Experimental seismic fragility of cold-formed steel framed gypsum partition walls. *Journal of Structural Engineering*, 139(8), 1285-1293.
23. Gerami, M., and Lotfi, M. (2014). Analytical analysis of seismic behavior of cold-formed steel frames with strap brace and sheathings plates. *Advances in Civil Engineering*.
24. Ye, J., Wang, X., Jia, H., and Zhao, M. (2015). Cyclic performance of cold-formed steel shear walls sheathed with double-layer wallboards on both sides. *Thin-Walled Structures*, 92(Supplement C), 146-159.
25. Lafontaine, A., Chen, Z., Doudak, G. and Chui, Y. H. (2017). Lateral Behavior of Light Wood-Frame Shear Walls with Gypsum Wall Board. *Journal of Structural Engineering*, 143(8), 04017069.
26. Villaverde, R. (1997). Seismic design of secondary structures: state of the art. *Journal of Structural Engineering*, 123(8), 1011-1019.
27. Koprman, Y., Özdemir, A., and Çakmak, C. (2017). Kuru alçı duvar sistemlerinin ulusal ve uluslararası standart ve yönetmelikler kapsamında irdelenmesi. *I. Uluslararası Türk Dünyası Mühendislik ve Fen Bilimleri Kongresinde sunuldu*, Antalya.
28. ASTM C270-14a, Standart Specification for Mortar for Unit Masonry, *American Society for Testing and Materials*, West Conshohocken, PA, (2003).

29. TS EN 520 + A1, Alçı Levhalar - Tarifler, Gerekler ve Deney Yöntemleri, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara, (2010).
30. İnternet: KALEKİM. *Seramik Yapıştırma Harcı*. URL: http://www.webcitation.org/query?url=http%3A%2F%2Fwww.kalekim.com%2FUrunler.asp%3FProdGroupID%3D41%26ident1%3D12_2&date=2018-06-06, Son Erişim Tarihi: 06.06.2018
31. TS EN 771- 1, Kâgir Birimler - Özellikler - Bölüm 1: Kil Kâgir Birimler (Tuğlalar), *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara, (2005).
32. ASTM C1314-16, Standard Test Method for Compressive Strength of Masonry Prisms, *American Society for Testing and Materials*, West Conshohocken, PA, (2016).
33. İnternet: BLOKBIMS. *Ponza Nedir?* URL: <http://www.webcitation.org/query?url=http%3A%2F%2Fwww.blokbims.com.tr%2Fblokbims-sozluk.html&date=2018-06-05>. Son Erişim Tarihi: 05.06.2018
34. TS EN 771-4, Kâgir Birimler - Özellikler - Bölüm 4: Gazbeton Kâgir Birimler, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara, (2012).
35. Sözen, M. A. (1987). *Towards a behavior based of reinforced concrete frames to resist earthquake*. 9th Technical Conference of Turkish Society of Civil Engineering, Ankara.



ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Soyadı, adı : ÇAKMAK, Coşkun
 Uyuğu : T.C.
 Doğum tarihi ve yeri : 16.09.1990, Keçiören
 Medeni hali : Evli
 Telefon : 0 (312) 202 89 94
 e-mail : coskuncakmak@gazi.edu.tr



Eğitim

Derece	Eğitim Birimi	Mezuniyet Tarihi
Yüksek lisans	Gazi Üniversitesi / İnşaat Mühendisliği (Tek. Fak.)	Devam ediyor
Lisans	Gazi Üniversitesi / İnşaat Mühendisliği (Müh. Fak.)	2013
Lise	Yıldırım Beyazıt Lisesi	2008

İş Deneyimi

Yıl	Yer	Görev
2017-Halen	Gazi Üniversitesi	Araştırma Görevlisi
2016-2017	Akbay İnşaat	Şantiye Şefi
2016-2016	Keops Yapı	Organizasyon Sorumlusu
2015-2016	VEFAŞ A.Ş.	Saha Mühendisi

Yabancı Dil

İngilizce

Yayınlar

1. Koprman, Y., Özdemir, A. ve Çakmak, C. (2017). *Kuru alçı duvar sistemlerinin ulusal ve uluslararası standart ve yönetmelikler kapsamında irdelenmesi*. I. Uluslararası Türk Dünyası Mühendislik ve Fen Bilimleri Kongresinde sunuldu, Antalya.



GAZİ GELECEKTİR..