

**KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**ÇELİK TAŞIYICI SİSTEMLERDE YATAY YÜK TAŞIMA KAPASİTESİNİ
ARTTIRAN ELEMANLARIN ETKİNLİĞİNİN
DENEYSEL VE TEORİK OLARAK İNCELENMESİ**

DOKTORA TEZİ

Ercan YOZGAT

**AĞUSTOS 2010
TRABZON**

**KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**ÇELİK TAŞIYICI SİSTEMLERDE YATAY YÜK TAŞIMA KAPASİTESİNİ
ARTTIRAN ELEMANLARIN ETKİNLİĞİNİN
DENEYSEL VE TEORİK OLARAK İNCELENMESİ**

İnş. Yük Müh. Ercan YOZGAT

**Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsünde
“Doktor (İnşaat Mühendisliği)”
Unvanı Verilmesi İçin Kabul Edilen Tezdir.**

**Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 19.07.2010
Tezin Savunma Tarihi : 24.08.2010**

**Tez Danışmanı : Prof. Dr. Metin HÜSEM
Jüri Üyesi : Prof. Dr. Ing. Ahmet DURMUŞ
Jüri Üyesi : Prof. Dr. Hasan SOFUOĞLU
Jüri Üyesi : Prof. Dr. Adem DOĞANGÜN
Jüri Üyesi : Yrd. Doç. Dr. Selim PUL**

Enstitü Müdürü : Prof. Dr. Salih TERZİOĞLU

Trabzon 2010

ÖNSÖZ

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

'Çelik Taşıyıcı Sistemlerde Yatay Yük Taşıma Kapasitesini Arttıran Elemanların Etkinliğinin Deneysel ve Teorik Olarak İncelenmesi' başlıklı bu çalışmayı bana öneren, çalışmamı başlangıcından sonuna kadar sürekli takip eden, araştırma zevki ve bilimsel düşünce disiplini aşlamak için uğraş veren, çalışmalarımnda bilgi ve tecrübesinden faydalandığım danışman hocam Sayın Prof. Dr. Metin HÜSEM' e şükranlarımı sunarım.

Bu çalışma K.T.Ü Bilimsel Araştırma Projeleri Komisyonu tarafından desteklenen 2006.112.001.12 kod numaralı araştırma projesi kapsamında gerçekleştirilmiştir. Bu sebeple K.T.Ü Rektörlüğü'ne teşekkürlerimi sunarım.

Çalışma esnasında görüş ve yorumlarından yararlandığım doktora tez izleme komitesi ve aynı zamanda jüri üyesi hocalarım Sayın Prof. Dr. Ing. Ahmet DURMUŞ ve Sayın Prof. Dr. Hasan SOFUOĞLU ile jüri üyesi kıymetli hocam Uludağ Üniversitesi Öğretim Üyesi Sayın Adem DOĞANGÜN'ne değerlendirme ve önerilerinden dolayı teşekkür ederim.

Çalışma kapsamında gerçekleştirilen deneylerin tüm aşamalarında, fikren ve uygulama olarak çok kıymetli yardımlarını gördüğüm hocam Sayın Yrd. Doç. Dr. Selim PUL'a ayrıca teşekkürlerimi sunmayı zevkli bir görev sayarım.

Çalışmalarımnda ilgi ve yardımlarını gördüğüm; Yapı ve Malzeme laboratuvarı çalışanlarından başta Teknisyen Akif TÜRK'e, çalışma arkadaşlarım Yrd. Doç. Dr. Selçuk E. GÖRKEM, Yrd. Doç. Dr. Ertekin ÖZTEKİN, Arş.Gör. M. Emin ARSLAN ve Arş.Gör. Ahmet Can ALTUNIŞIK' a teşekkür ederim.

Tez çalışmamın yazımında ve deneylerin gerçekleşmesinde çok değerli yardımlarını gördüğüm başta eşim Arş. Gör. Kamer K. YOZGAT'a ve İnş.Tek. Ufuk TOPSAKAL'a teşekkür ederim.

Son olarak hayatım boyunca beni sabır ve şefkatle destekleyen aileme müteşekkird olduğumu belirtir, çalışmanın ülkemize faydalı olmasını dilerim.

Ercan YOZGAT
Trabzon 2010

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa No</u>
ÖNSÖZ.....	II
İÇİNDEKİLER	III
ÖZET	VI
SUMMARY	VII
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	VIII
TABLolar DİZİNİ	XIV
SEMBOLLER DİZİNİ.....	XV
1. GENEL BİLGİLER.....	1
1.1. Giriş.....	1
1.2. Depreme Dayanıklı Yapı Tasarımı	1
1.2.1. Depreme Dayanıklı Yapı Tasarımında Sınır Durumlar	1
1.2.2. Depreme Dayanıklı Yapılarda Aranılan Özellikler.....	2
1.3. Depreme Dayanıklı Çelik Yapı Tasarımı.....	4
1.4. Çalışmanın Amacı ve Kapsamı.....	5
1.5. Daha Önce Bu Konuda Yapılmış Bazı Çalışmalar	7
1.5.1. Tuğla ve Betonarme Dolgu Duvarlı Çelik Çerçevesel ile İlgili Daha Önce Yapılmış Deneysel ve Teorik Çalışmalar	7
1.5.2. Çelik Levha Perde Duvarlı Çelik Çerçevesel ile İlgili Daha Önce Yapılmış Deneysel ve Teorik Çalışmalar	12
1.5.3. Çelik Köşegenli Çelik Çerçevesel ile İlgili Daha Önce Yapılmış Deneysel ve Teorik Çalışmalar	16
1.6. Dolgu Duvarlı Çelik Çerçeve Sistemler.....	19
1.6.1. Eşdeğer Basınç Çubuğu Yöntemi	20
1.6.2. Dolgu Duvarlarda Göçme Durumları	23
1.6.2.1. Tuğla Duvarda Derzlerde Oluşan Ayrılma Sebebiyle Göçme	24
1.6.2.1. Tuğla Duvarlarda Köşegen Doğrultuda Oluşan Çekme Çatlakları Nedeniyle Göçme.....	25
1.6.2.3. Tuğla Duvarlarda Basınç Ezilmesi Sonucu Oluşan Göçme.....	27
1.6.3. Dolgu Duvarlı Çerçevesel Yata Rijitliğinin Bulunması.....	28

1.7.	Çelik Levha Perde Duvarlı Çelik Çerçeve Sistemler.....	31
1.7.1.	Çelik Perdelerin Kullanımı ve Sismik Davranışı.....	34
1.7.2.	Çelik Levha Perde Duvarlarının Depreme Göre Tasarımı.....	34
1.8.	Çelik Köşegenli Çelik Çerçeve Sistemler.....	38
1.8.1.	Merkezi Köşegenli Çerçeveler.....	38
1.8.2.	Dış Merkez Köşegenli Çerçeveler	44
2.	YAPILAN ÇALIŞMALAR	47
2.1.	DeneySEL Çalışmalar	47
2.1.1.	Deney Numunelerinin Hazırlanmasında Kullanılan Malzemelerin Özellikleri	47
2.1.1.1.	Dolgu Duvar Elemanlarının Özellikleri.....	50
2.1.1.2.	Betonarme Perde Duvar Elemanlarının Özellikleri	52
2.1.1.3.	Çelik Levha Perde Duvar Elemanlarının Özellikleri	57
2.1.1.4.	Çelik Köşegen Elemanlarının Özellikleri	58
2.1.1.5.	Çerçeve Deneyleri İçin Üretilen Numunelerin Boyutları ve Çeşitleri	58
2.1.2.	Deney Düzenegi	59
2.1.3.	Ölçüm Sistemi ve Kullanılan Aletler.....	60
2.1.4.	Deney Numunelerinin Hazırlanışı	63
2.1.4.1.	Boş Çerçeve (N-1) Deney Numunelerinin Hazırlanışı	63
2.1.4.2.	Dolgu Duvarlı Çerçeve (N-2 ve N-3) Deney Numunelerinin Hazırlanışı.....	67
2.1.4.3.	Betonarme Perde Duvarlı Çerçeve (N-4) Deney Numunelerinin Hazırlanışı.....	71
2.1.4.4.	Çelik Levha Perde Duvarlı Çerçeve (N-5 ve N-6) Deney Numunelerinin Hazırlanışı.....	73
2.1.4.5.	Köşegen Elemanlı Çerçeve (N-7ve N-8) Deney Numunelerinin Hazırlanışı.....	76
2.2.	Teorik Çalışmalar.....	80
2.2.1.	Sistemlerin Doğrusal Olmayan Analizinin Temel Esasları	81
2.2.2.	Doğrusal Olmayan Analizin Adımları	83
2.2.3.	Malzeme Modelinin Belirlenmesi ve Analiz	83
2.2.4.	Katı Modeli ile Çözüm	87

3.	BULGULAR ve İRDELEMELER.....	91
3.1.	Boş Çelik Çerçeve (N-1) Deney Numuneleri için Deney Bulguları ve Değerlendirilmesi.....	92
3.2.	Tuğla Duvar Dolgulu Çelik Çerçeve (N-2) Deney Numuneleri için Deney Bulguları ve Değerlendirilmesi.....	99
3.3.	Gaz Beton Duvar Dolgulu Çelik Çerçeve (N-3) Deney Numuneleri İçin Deney Bulguları ve Değerlendirilmesi.....	160
3.4.	Betonarme Duvar Dolgulu Çelik Çerçeve (N-4) Deney Numuneleri İçin Deney Bulguları ve Değerlendirilmesi.....	110
3.5.	Çelik Levha Duvar Dolgulu Çelik Çerçeve (N-5 ve N-6) Deney Numuneleri için Deney Bulguları ve Değerlendirilmesi.....	117
3.6.	Çelik Köşegen Dolgulu Çelik Çerçeve (N-7 ve N-8) Deney Numuneleri İçin Deney Bulguları ve Değerlendirilmesi	129
3.7.	Teorik Modellerden Elde Edilen Bulgularlar ve Değerlendirilmesi	147
4.	SONUÇLAR VE ÖNERİLER	160
5.	KAYNAKLAR	165

ÖZET

Bu çalışmada çelik taşıyıcı sistemlerde yatay yük taşıma kapasitesini artıran elemanların etkinliği deneysel ve teorik olarak incelenmiştir. Bu amaçla, farklı özelliklere sahip sekiz seri çelik çerçeve sistem (dolgusuz çelik çerçeve, yatay delikli tuğla duvar dolgulu çelik çerçeve, gaz beton tuğla duvar dolgulu çelik çerçeve, betonarme perde duvar dolgulu çelik çerçeve, ince ve kalın çelik levha perde duvar dolgulu çelik çerçeve, bir ve iki yönlü merkezi çelik köşegen elemanlı çelik çerçeve) için 14 adet deney numunesi, depremi benzeştiren tersinir-tekrarlanır yatay yük altında deneye tabi tutulmuştur.

Çalışma dört bölümden oluşmaktadır. Birinci bölümde, dolgu elemanları ile ilgili genel bilgiler verilmiştir. İkinci bölümde, yapılan deneysel ve teorik çalışmalar açıklanmıştır. Üçüncü bölümde deneysel ve teorik çalışmalardan elde edilen bulgular ve irdelemeler verilmiştir. Dördüncü bölümde ise yapılan irdelemelere göre elde edilen sonuçlar özetlenmiş ve bazı öneriler yapılmıştır.

Elde edilen sonuçlar göz önüne alındığında, çelik çerçevenin yatay yük taşıma kapasitesini artırmak amaçlanıyor ise; en başarılı sistemlerin betonarme perde duvar dolgulu, kalın (t:3mm) çelik levha perde duvar dolgulu ve iki yönlü merkezi çelik köşegen elemanlı çerçeve sistemler olduğu söylenebilir. Bu sistemler arasında, iki yönlü merkezi çelik köşegen elemanlı çerçeve sistemler en büyük enerji yutabilme kapasitesine sahip sistem olmuştur. Sistemin yerdeğiştirmesinin sınırlı seviyede tutulması amaçlanıyor ise betonarme perde duvar dolgulu veya kalın çelik levha perde duvar dolgulu sistemler tercih edilmelidir.

Anahtar Kelimeler: Dolgulu Çelik Çerçeve, Merkezi Köşegen Elemanlı Çelik Çerçeve, Tersinir-Tekrarlı Yükleme, Doğrusal Olmayan Sonlu Elemanlar Analizi, ANSYS

SUMMARY

Experimental and Theoretical Investigation of Effects on Steel Structural System Increasing Horizontal Load Bearing Capacity on Behavior of Steel Structures

In this study, the effect of the elements used to increase horizontal load bearing capacity in steel systems is investigated, experimentally and theoretically. For this purpose, 14 samples are tested using repeated earthquake loads to represent the 8 different steel frame (Bare steel frame, filled horizontal perforated brick wall steel frame, filled gas concrete brick wall steel frame, filled reinforced concrete shear wall steel frame, filled thin or thick steel plate shear wall steel frame, one or two-way center steel diagonals steel frame).

Four main sections are considered in this thesis. In the first section of the thesis general information about filled elements are represented. In the second section of the thesis, experimental and theoretical studies are given. In the third section, findings and investigations obtained from the experimental and theoretical studies are presented. In the fourth section of the thesis; conclusions and some suggestions related to the thesis study are represented. Lastly, references and autobiography are represented.

According to the results of the study, it can be say that the most successful systems are filled reinforced concrete shear wall, filled steel plate shear wall and two-way center steel diagonals when it is aimed to increase horizontal load-carrying capacity. Among these systems, two-way center steel diagonals systems have the most toughness capacity. Filled reinforced concrete shear walls or thick filled steel plate shear wall systems should be preferred, if limited level of the displacements is aimed.

Key words: Filled Steel Frame, Diagonal Steel Frame, Reversed-Cyclic Loading, Nonlinear Finite Element Analysis and ANSYS.

ŞEKİLLER DİZİNİ

	<u>Sayfa No</u>
Şekil 1.	Yatay yük altındaki dolgulu çerçeve davranışı 21
Şekil.2.	Dolgu ile kolon temas uzunluğunun λh ile değişimi 22
Şekil 3.	Eşdeğer basınç çubuğu kabulü ile dolgulu çerçevenin modellenmesi ve dolgu bloğunda meydana gelen gerilme dağılımı..... 23
Şekil 4.	Tuğla dolgu duvarının kesme dayanımı 25
Şekil 5.	Tuğla dolgu duvarının köşegen çekme dayanımı 26
Şekil 6.	Tuğla dolgu duvarının basınç dayanımı 28
Şekil 7.	Boş ve dolgulu çerçevede oluşan eğilme momentlerinin karşılaştırılması..... 29
Şekil 8.	Dolgulu çerçevelerin hesaplanan rijitlikleri 30
Şekil 9.	Kanada'da 6 katlı çelik levha perdeli bina (Quebec). 31
Şekil 10.	Çelik levha perdeli çerçevenin ana elemanları; kolonlar, kat kirişleri ve çelik levhalar..... 32
Şekil 11.	Çapraz elemanlı uygulamalar ve bunların levha perdeli sistem karşılıkları 33
Şekil 12.	Boşluklu çelik levha perde duvar örnekleri 33
Şekil 13.	Çelik levha perde duvarların iki tipi: (a) standart ve; (b) ikili sistem 35
Şekil 14.	Çelik levha perde duvarlarının davranışının üç bölgesi 36
Şekil 15.	Kesmeye direnen çelik levha perde duvarlarının "kesme akması" ve çekme bölgesi hareketi 37
Şekil 16.	Çelik levha perde duvarların sınır kiriş ve kolonlarla birleşimleri 37
Şekil 17.	Merkezi Çaprazlı Çerçevelerin Tipik Biçimleri 38
Şekil 18.	Ters V - Şeklindeki Çaprazlı Çerçevelerde Göçme Mekanizması 39
Şekil 19.	Narin Çapraz Elemanların Tersinir Yükleme Altındaki Davranışı 41
Şekil 20.	Narin X – Şeklindeki Merkezi Çaprazlı Çerçevelerin Tersinir Modeli..... 42
Şekil 21.	V - Şeklindeki Çaprazlı Çerçevelerin "Tersinir Modeli" 43
Şekil 22.	Dışmerkez Çaprazlı Çerçevelerde, "e" Bağlantı Kirişinin Boyu..... 44
Şekil 23.	Mimari gereksinimlerin sağlanması 45
Şekil 24.	Geniş başlıklı kirişlerin, kesme - moment etkileşim diyagramı 46
Şekil 25.	Deneylerde kullanılan I profillerinin geometrik ve fiziksel özellikleri 47

Şekil 26.	Deneylerde kullanılan I profillerinin mekanik özelliklerinin deneysel tayini için gövde parçasının merkezi çekme deney görüntüleri (Y-1).....	48
Şekil 27.	Deneylerde kullanılan I profillerinin mekanik özelliklerinin belirlenmesi için yapılan merkezi çekme deneyi (Y-2).....	49
Şekil 28.	Gerilme – şekildeğiştirme grafikleri.....	49
Şekil 29.	Agrega granülometri eğrisi ($D_{max}:16mm$)	52
Şekil 30.	Şekildeğiştirme ölçer	55
Şekil 31.	Merkezi basınç deney aleti	55
Şekil 32.	Betonun gerilme – şekildeğiştirme diyagramı.....	56
Şekil 33.	Merkezi çelik çekme deney aleti	57
Şekil 34.	Deney düzeneği	60
Şekil 35.	Yükleme pistonu ve aparatları.....	61
Şekil 36.	Yük hücresi	61
Şekil 37.	Doğrusal potansiyometrik pozisyon algılayıcı (LPDT)	62
Şekil 38.	Veri toplama sistemi.....	62
Şekil 39.	Boş çelik çerçeve deney numunesinin şematik görünümü.....	63
Şekil 40.	Boş çelik çerçeve deney numunesinin imalat görüntüleri	64
Şekil 41.	Boş çelik çerçeve deney numunesinin çelik temel kirişine bağlanması.....	65
Şekil 42.	Boş çelik çerçeve numunesinin ölçüm yerleri.....	66
Şekil 43.	Yerdeğiştirme ölçerler (LPDT) kat seviyelerine yerleştirilmesi	66
Şekil 44.	Şekildeğiştirme ölçerlerinin yerleştirilmesi.....	67
Şekil 45.	N-2 ve N-3 deney numunelerinin şematik görünümü	67
Şekil 46.	N-2 deney numunesinin imalat görüntüleri	68
Şekil 47.	N-2 deney numunesinin sıvasız ve sıvalı görünümü	69
Şekil 48.	N-2 numunesinin veri toplama aygıtlarının numune üzerindeki tespit yerleri.....	69
Şekil 49.	N-3 deney numunesinin imalat görüntüleri	70
Şekil 50.	N-3 deney numunesinin sıvasız ve sıvalı görünümü	71
Şekil 51.	N-4 deney numunesinin şematik görünümü	71
Şekil 52.	Betonarme dolgu duvarının hazırlanma aşamaları	72
Şekil 53.	N-4 numunesinin ölçüm yerleri.....	73
Şekil 54.	N-5 ve N-6 deney numunelerinin şematik görünümü	74
Şekil 55.	Çelik levhaların çerçeveye bağlantısı.....	74
Şekil 56.	N-5 ve N-6 numunelerinin ölçüm yerleri	75

Şekil 57.	N-5 deney numunelerinin tamamlanmış görüntüleri.....	75
Şekil 58.	N-7 deney numunesinin şematik görünümü.....	76
Şekil 59.	Çelik çaprazların birleşim detayları.....	77
Şekil 60.	N-7 numunesi ölçüm yerleri.....	77
Şekil 61.	N-8 deney numunesinin şematik görünümü.....	78
Şekil 62.	İki doğrultuda köşegen elemanlı çerçeve deney modeli	78
Şekil 63.	Deneylerde kullanılan yükleme patronu.....	80
Şekil 64.	Başlangıç rijitliği yöntemi.....	82
Şekil 65.	Dolgu duvar malzeme modeli	84
Şekil 66.	Dolgulu çerçeve ve boş çerçevenin yük-yerdeğiştirme eğrileri.....	85
Şekil 67.	Dolgulu çerçeve ve boş çerçevenin yük-yerdeğiştirme eğrileri.....	86
Şekil 68.	Tuğla duvar ve gazbeton duvar için kullanılan birim şekildeğiştirme eğrileri.....	87
Şekil 69.	Yapı çeliği için kullanılan malzeme modeli.....	88
Şekil 70.	Çelik çerçeve numunelerinin rijitlik değerlerinin belirlenmesi.....	89
Şekil 71.	Toplam tüketilen enerji değerlerinin hesaplanması.....	90
Şekil 72.	Rutil kaynak kullanıldığı birleşimlerdeki kaynak kusurları	92
Şekil 73.	Kolon kiriş birleşimlerinde ve kolon ayaklarında yapılan güçlendirmeler	93
Şekil 74.	N-1 Boş çerçeve deney numunesinin deney sonrası görünümü.....	93
Şekil 75.	N-1 Boş çerçeve sistemi için yük-yerdeğiştirme ilişkisi	94
Şekil 76.	N-1 Boş çerçeve sistemi için dayanım zarfı.....	96
Şekil 77.	N-1 Boş çerçeve sistemi için rijitlik azalım grafiği.....	97
Şekil 78.	N-1 Boş çerçeve sistemi için tüketilen enerji grafiği	98
Şekil 79.	N-1 Boş çerçeve deney numunesinde göçme durumunda oluşan hasarlar.....	98
Şekil 80.	N-2 Tuğla duvar dolgulu çerçeve sistemi için yük-yerdeğiştirme ilişkisi.....	99
Şekil 81.	N-2 Tuğla duvar dolgulu sistemi için dayanım zarfı.....	101
Şekil 82.	N-2 Tuğla duvar dolgulu çerçeve sistemi için rijitlik azalım grafiği.....	102
Şekil 83.	N-2 Tuğla duvar dolgulu çerçeve sistemi için tüketilen enerji grafiği.....	103
Şekil 84.	Tuğla duvar dolgulu çerçeve sistemi deney numunesinin göçme durum.....	104
Şekil 85.	N-2 Tuğla duvar dolgulu çerçeve sistemi birleşim yerlerinde oluşan hasarlar.....	104
Şekil 86.	N-3 Gazbeton duvar dolgulu çerçeve sistemi için yük-yerdeğiştirme ilişkisi	105
Şekil 87.	N-3 Gazbeton duvar dolgulu sistemi için dayanım zarfı.....	107

Şekil 88.	N-3 Gazbeton duvar dolgulu çerçeve sistemi için rijitlik azalım grafiği.....	108
Şekil 89.	N-3 Gazbeton duvar dolgulu çerçeve sistemi için tüketilen enerji grafiği...	109
Şekil 90.	Dolgu duvarlı çelik çerçevenin deney sonrası görünümü	110
Şekil 91.	N-4 Betonarme duvarlı dolgulu çerçeve sistemi için yük-yerdeğiştirme ilişkisi	111
Şekil 92.	N-4 Betonarme duvarlı dolgulu çerçeve sistemi için dayanım zarfı	113
Şekil 93.	N-4 Betonarme duvarlı dolgulu çerçeve sistemi için rijitlik azalım grafiği	114
Şekil 94.	N-4 Betonarme duvarlı dolgulu çerçeve sistemi için tüketilen enerji grafiği	115
Şekil 95.	Betonarme dolgu duvarlı çelik çerçeve numunesinin deney sonrası görünümü.....	116
Şekil 96.	Betonarme dolgu duvarlı çelik çerçeve numunesinin deney sonrası birleşim noktalarında oluşan hasarlar	116
Şekil 97.	N-5 Çelik levha dolgulu çerçeve sistemi için yük-yerdeğiştirme ilişkisi....	117
Şekil 98.	N-5 Çelik levha dolgulu çerçeve sistemi için dayanım zarfı.....	119
Şekil 99.	N-5 Çelik levha dolgulu çerçeve sistemi için rijitlik azalım grafiği.....	120
Şekil 100.	N-5 Çelik levha dolgulu çerçeve sistemi için tüketilen enerji grafiği	121
Şekil 101.	N-5 Çelik levha perde duvarlı çerçevenin deney sonrası görünümü.....	122
Şekil 102.	N-5 Çelik levha perde duvarlı çerçevenin birleşim noktalarında oluşan hasarlar.....	122
Şekil 103.	N-6 Çelik levha dolgulu çerçeve sistemi için yük-yerdeğiştirme ilişkisi.....	123
Şekil 104.	N-6 Çelik levha perde duvar dolgulu çerçeve sistemi için dayanım zarfı....	125
Şekil 105.	N-6 Çelik levha perde duvar dolgulu çerçeve sistemi için rijitlik azalım grafiği	126
Şekil 106.	N-6 Çelik levha perde duvar dolgulu çerçeve sistemi için tüketilen enerji grafiği	127
Şekil 107.	N-6 Çelik levha perde duvar dolgulu çerçevenin deney sonrası görünümü.....	128
Şekil 108.	N-6 Çelik levha perde duvarlı çerçevenin birleşim noktalarında oluşan hasarlar.....	128
Şekil 109.	N-7 Tek yönlü çelik çaprazlı çerçeve sistemi için yük-yerdeğiştirme ilişkisi	129
Şekil 110.	N-7. Tek yönlü çelik çaprazlı çerçeve sistemi için dayanım zarfı.....	131
Şekil 111.	N-7. Tek yönlü çelik çaprazlı çerçeve sistemi için rijitlik azalım grafiği	132
Şekil 112.	N-7. Tek yönlü çelik çaprazlı çerçeve sistemi için tüketilen enerji grafiği	133

Şekil 113.	N-7. Tek yönlü çelik çaprazlı çerçeve sistemi için deney sonrası görünümü.....	134
Şekil 114.	N-7. Tek yönlü çelik çaprazlı çerçevenin birleşim noktalarında oluşan hasarlar.....	134
Şekil 115.	N-8. Çift yönlü çelik çaprazlı çerçeve sistemi için yük-yerdeğiştirme ilişkisi	135
Şekil 116.	N-8. Çift yönlü çelik çaprazlı çerçeve sistemi için dayanım zarfı.....	137
Şekil 117.	N-8. Çift yönlü çelik çaprazlı çerçeve sistemi için rijitlik azalım grafiği	138
Şekil 118.	N-8. Çift yönlü çelik çaprazlı çerçeve sistemi için tüketilen enerji grafiği	139
Şekil 119.	N-8. Çift yönlü çelik çaprazlı çerçeve sisteminin deney sonrası görünümü.....	140
Şekil 120.	N-8. Çift yönlü çelik çaprazlı çerçeve sistemi için deney sırasında oluşan hasar durumu	140
Şekil 121.	Yatay yük-yatay yerdeğiştirme grafikleri.....	141
Şekil 122.	10mm yatay yerdeğiştirme için taşınan yatay yük değerleri	142
Şekil 123.	30mm yatay yerdeğiştirme için taşınan yatay yük değerleri	142
Şekil 124.	Rijitlik-yatay yerdeğiştirme grafikleri	143
Şekil 125.	10mm yatay yerdeğiştirme için rijitlik değerleri	144
Şekil 126.	30mm yatay yerdeğiştirme için rijitlik değerleri	144
Şekil 127.	Toplam tüketilen enerji -yatay yerdeğiştirme grafikleri.....	145
Şekil 128.	10mm yatay yerdeğiştirme için toplam tüketilen enerji değerleri.....	145
Şekil 129.	30mm yatay yerdeğiştirme için toplam tüketilen enerji değerleri.....	146
Şekil 130.	Boş çelik çerçevelerin sonlu elemanlar modeli	146
Şekil 131.	Boş çerçevelerin sonlu elemanlar modelinin birleşim detayları.....	147
Şekil 132.	Boş çerçeve numunesi için deneysel ve sayısal yük-yerdeğiştirme eğrileri.....	147
Şekil 133.	Boş çerçeve numunesi için deneysel ve sayısal yük-yerdeğiştirme eğrileri.....	148
Şekil 134.	Dolgu duvarlı çerçevelerin sonlu elemanlar modeli.....	149
Şekil 135.	Dolgu duvarlı çerçevelerin gerilme (a,b ve c) ve yerdeğiştirme (d) şekli	149
Şekil 136.	Tuğla duvar dolgulu numuneler için deneysel ve sayısal yük-yerdeğiştirme eğrileri.....	150
Şekil 137.	Gazbeton duvar dolgulu numuneler için deneysel ve sayısal yük-yerdeğiştirme eğrileri.....	151
Şekil 138.	Betonarme duvar dolgulu numuneler için deneysel ve sayısal yük-yerdeğiştirme eğrileri.....	151

Şekil 139.	Çelik levha (t:1,5mm) perde duvar dolgulu numuneler için deneysel ve sayısal yük-yerdeğiştirme eğrileri.....	152
Şekil 140.	Çelik levha (t:3mm) perde duvar dolgulu numuneler için deneysel ve sayısal yük-yerdeğiştirme eğrileri.....	152
Şekil 141.	Tek yönde çelik çapraz (2L40.40.4) dolgulu çerçevenin sonlu elemanlar modeli.....	154
Şekil 142.	Tek yönde çelik çapraz çerçevelerin gerilme (a,b ve c) ve yerdeğiştirme (d) şekli.....	154
Şekil 143.	Tek yönde çelik çapraz (2L40.40.4) dolgulu numuneler için deneysel ve sayısal yük-yerdeğiştirme eğrileri.....	155
Şekil 144.	Çift yönde çelik çapraz (2L40.40.4) dolgulu çerçevelerin sonlu elemanlar modeli.....	155
Şekil 145.	Çift yönde çelik çapraz (2L40.40.4) dolgulu çerçevelerin sonlu elemanlar modelinin birleşim detayları.....	156
Şekil 146.	Çift yönde çelik çaprazlı çerçevelerin gerilme (a,b ve c) ve yerdeğiştirme (d)şekli.....	156
Şekil 147.	Çift yönde çelik çapraz (2L40.40.4) dolgulu numuneler için deneysel ve sayısal yük-yerdeğiştirme eğrileri.....	157

TABLULAR DİZİNİ

	<u>Sayfa No</u>
Tablo 1. Deneylerde kullanılan I profillerinin mekanik özellikleri	50
Tablo 2. Deneylerde kullanılan yatay delikli tuğlanın fiziksel ve mekanik özellikleri	50
Tablo 3. Deneylerde kullanılan gaz betonların fiziksel ve mekanik özellikleri	50
Tablo 4. Deneylerde kullanılan kireç katkılı çimento harcının karışım değerleri	51
Tablo 5. Deneylerde kullanılan harç agregasının elek analizi verileri.....	51
Tablo 6. Deneylerde kullanılan harcın merkezi basınç deneyi sonuçları	52
Tablo 7. Agreganın fiziksel özellikleri	53
Tablo 8. Beton karışım oranları	54
Tablo 9. Betona ait mekanik özellikleri	56
Tablo 10. Donatıya ait mekanik özellikleri.....	57
Tablo 11. Çelik levhalara ait mekanik özellikleri.....	58
Tablo 12. Cıvatalara ait mekanik özellikleri.....	58
Tablo 13. Deneylerde kullanılan çerçevelerin fiziksel özellikleri	59
Tablo 14. N-1 deney numunesi için deneylerden elde edilen yük-yerdeğiştirme değerleri.....	94
Tablo 15. N-2 deney numunesi için deneylerden elde edilen yük-yerdeğiştirme değerleri.....	100
Tablo 16. N-3 deney numunesi için deneylerden elde edilen yük-yerdeğiştirme değerleri.....	106
Tablo 17. N-4 deney numunesi için deneylerden elde edilen yük-yerdeğiştirme değerleri.....	111
Tablo 18. N-5 deney numunesi için deneylerden elde edilen yük-yerdeğiştirme değerleri.....	118
Tablo 19. N-6 deney numunesi için deneylerden elde edilen yük-yerdeğiştirme değerleri.....	124
Tablo 20. N-5 deney numunesi için deneylerden elde edilen yük-yerdeğiştirme değerleri.....	130
Tablo 21. N-5 deney numunesi için deneylerden elde edilen yük-yerdeğiştirme değerleri.....	136

SEMBOLLER DİZİNİ

- A_I :R/Rc=0 durumunda tüm elemanların kesit alanı.
- A_C :R/Rc=1 durumunda köşegen elemanların kesit alanı
- A_I :Mesnet dönmelerini ölçmek için kullanılan iki LVDT arasındaki yatay mesafe
- D, d :Fiktif eşdeğer basınç çubuğunun köşegen boyu
- E_I :Dolgu duvarın elastisite modülü
- E :Çerçeve de kullanılan malzemenin elastisite modülü
- E_I :Kullanılarak bulunan yatay göçme yükü
- F :Birim yükleme sonucu elemanlarda meydana gelen çubuk kuvvetleri
- f_{bs}^I :Tuğla dolgu duvarının aderans kesme dayanımı
- f_c^I :Tuğla duvarın basınç dayanımı
- f_t^I :Tuğla duvarın çekme dayanımı
- H :Dolgulu çerçeveye uygulanan yatay yük
- H_c :Dolgulu çerçevenin özelliklerine bağlı olarak hesaplanan $Rc/f_c^I h t$ değeri
- h :Çerçeve yüksekliği
- h' :Dolgunun yüksekliği
- I :Kolonun atalet momenti
- L :Çubuk eleman boyu
- R :Çerçeveye etkiyen köşegen kuvvet
- R_c :Tuğla dolgu duvarda basınç ezilmesine neden olan köşegen kuvvet
- R_s :Tuğla dolgu duvarda kesme göçmesine neden olan köşegen kuvvet
- R_r :Tuğla dolgu duvarda köşegen kesme çatlak oluşmasına neden olan köşegen kuvvet
- t :Dolgu duvar kalınlığı
- U :Deplasmanı aranan düğüme uygulanan birim yükleme sonucu elemanlarda meydana gelen çubuk kuvvetleri
- V_{bo} :Harcın aderans dayanımından oluşan kesme aderans taşıma gücü

- w :Fiktif eşdeğer basınç çubuğunun etkili genişliği
 α :Dolgu paneli ile çerçeve teorik temas uzunluğu
 $\lambda_h h$:Çerçeve sistemi rijitliğinin dolgu rijitliğine oranı
 λ :Dolgu ve kolon rölatif rijitlik parametresi
 θ :Dolgu köşegeninin yatayla yaptığı açı
 δ :Yatay yerdeğiştirme
 δ/h :Yatay kat ötelemesi oranı
 $\sum (\delta/h)$:Toplam yatay kat ötelemesi oranı
 \sum_F :Köşegen elemanlarda dahil tüm kafes giriş elemanlarının toplamı
 \sum_S :Sadece köşegen elemanların toplamı
 η :Tuğla ile harç arasında sürtünme katsayısı
 ϕ :Mesnet dönme açısı
 ϵ_y :Çeliğin (I profil) akma birim uzaması
 σ_y :Çeliğin (I profil) akma gerilmesi
 σ_{max} :Çeliğin (I profil) çekme dayanımı
 σ_u :Çeliğin (I profil) kopma dayanımı
 ϵ_{max} :Çeliğin (I profil) çekme dayanımına karşılık gelen birim uzaması
 ϵ_u :Çeliğin (I profil) kopma birim uzaması

1. GENEL BİLGİLER

1.1. Giriş

Doğal afetlerin en önemlilerinden biri olan depremin, meydana getirdiği etkiler yönünden dikkate değer pek çok özelliği vardır. Deprem; toprak kaymaları, yapılarda hasar ve göçmeler meydana getirerek can kaybına neden olmaktadır. Deprem etkisinin en önemli özelliği, meydana gelen can kayıplarının hemen hepsinin, insanlar tarafından inşa edilen yapıların davranışıyla ilgili olmasıdır. Bu nedenle bu etkinin incelenmesi ve depreme dayanıklı bina tasarımı, özel bir mühendislik yaklaşımı gerektirmektedir.

Depremin diğer bir özelliği de önceden bir uyarı gelmeden meydana gelmesidir. Deprem meydana gelmeden önce bazı ön işaretler görülebilirse de, günümüzde depremin önceden tahmin edilmesi konusunda güvenilir sonuçlar henüz mevcut değildir. Gerçekte, depremin oluş zamanı yeter doğrulukta tahmin edilerek haber verebilse ve böylece insanların hayatı kurtarılabilse bile, yapılarda meydana gelen hasar ve göçmeler toplumun ekonomisinde önemli kayıplara neden olacağından, yapıların yine deprem etkisine dayanıklı olarak inşa edilmesi gerekmektedir.

1.2. Depreme Dayanıklı Yapı Tasarımı

1.2.1. Depreme Dayanıklı Yapı Tasarımında Sınır Durumlar

Deprem kayıtlarının ve yeryüzünün tektonik yapısının incelenmesiyle deprem bölgeleri belirlenmiştir. Buna karşılık yapının ömrü boyunca meydana gelebilecek en büyük deprem hakkında tahmin yapmak zordur. Depreme dayanıklı yapı tasarımında tüm dünyada uygulanan ilke, yapının sık ve küçük şiddetteki depremleri elastik sınırlar içerisinde kalarak; orta şiddetteki depremleri elastik sınırların ötesinde, fakat taşıyıcı sistemde kolayca onarılabilecek önemsiz hasarlarla; çok seyrek olan şiddetli depremleri, büyük hasarla fakat taşıyıcı sistem tamamen göçmeden, can kaybı olmaksızın taşıyabilmesidir. Depremden hemen sonra yapının işlevine devam edebilmesi, meydana gelen deprem hasarının sınırlı ve onarılabilir olması, yapı içindekilerin can güvenliğinin

sağlanması ve göçmenin önlenmesi şeklinde olmak üzere, değişik sınır durumlara (kullanılabilirlik, hasar kontrolü ve göçme kontrolü sınır durumlarına) karşı belirli düzeylerde güvenlik sağlanması amaçlanmaktadır. Bu sınır durumları aşağıda açıklanmıştır.

Yapının ömrü boyunca çok sayıda tekrarlanan hafif şiddetteki depremler altında, yapı taşıyıcı sisteminde ve yapısal olmayan elemanlarda hasar oluşmaması, böylece yapının işlevini aksatmadan sürdürmesi sağlanmalıdır. Bu koşul yerdeğiştirmelerin öngörülen sınır değerlerden daha küçük olmasıyla sağlanır.

Tekrarlama olasılığı daha düşük olan orta şiddetteki depremler altında, yapı taşıyıcı sisteminde ve/yada yapısal olmayan elemanlarda onarılabilecek düzeyde olan hasara izin verilebilir. Ancak bu hasarın ekonomik olarak onarılabilir düzeyde kalması gerekmektedir. Bu ikinci sınır durum, ekonomik olarak onarılıp güçlendirilebilecek durum (kullanılabilirlik sınır durumu) ile onarılıp güçlendirilmesi ekonomik olarak mümkün olmayan sınır durumu (göçme kontrolü sınır durumunu) birbirinden ayırır. Yapının ömrü boyunca, taşıyıcı sistemi bu sınır durumuna getirecek depremin oluşma ihtimalinin düşük olması gerekmektedir. Bu sınır durumu, genellikle deprem yönetmeliğinde boyutlandırmaya etkili olacak deprem ivmesinin dolayısıyla kuvvetlerin öngörülmesi şeklinde ortaya çıkmaktadır.

Nadir olarak meydana gelebilecek çok şiddetli depremler altında, yapı taşıyıcı sisteminde ve yapısal olmayan elemanlarda onarılamayacak hasarın meydana gelmesi kaçınılmazdır. Ancak, böyle bir durumda göçme mekanizmasının kontrol edilerek, yapının kısmen veya tamamen göçmesinin meydana gelmesinin engellenmesi ve yapının içindikilerin hayatının korunması bu sınır durumu tanımlar. Bu koşulun sağlanabilmesi için yapı sisteminin yeterli bir dayanıma sahip olması ve göçme yükünden önce yeterli düzeyde elastik olmayan şekildeğiştirme yapabilmesi istenir. Böylece, deprem enerjisinin bir bölümünün elastik olmayan şekildeğiştirmeler yoluyla tüketilmesi amaçlanmaktadır.

1.2.2. Depreme Dayanıklı Yapılarda Aranılan Özellikler

Önceki bölümde açıklanan üç sınır duruma karşı öngörülen güvenliğin sağlanabilmesi; yapının genel davranışının kontrol edilmesiyle ve yapının yeterli seviyede yatay rijitlik, dayanım ve yeterli süneklik özelliklerine sahip olmasıyla mümkün olmaktadır. Bu özellikler aşağıda özetlenmektedir.

Yapının genel davranışının istendiği gibi olabilmesi için, taşıyıcı sistemin düzenlenmesinde aşağıdaki özelliklerin ortaya çıkmasına özen gösterilmelidir.

a) Taşıyıcı sistemin basitliği: Taşıyıcı sistemde depremden dolayı oluşan etkilerin, meydana geldiği yerden zemine, açık ve dolaysız yollardan iletilmesi sağlanmalıdır. Bu tür basitlik durumunda, taşıyıcı sistemin modellenmesi, çözümlenmesi, boyutlanması ve inşa edilmesi çok daha az belirsizlik içermektedir ve bu tür bir yapının deprem davranışının belirlenmesi çok daha güvenilir olmaktadır.

b) Düzgünlük ve simetri: Taşıyıcı sistem elemanları planda düzgün dağıtılmalıdır, gerekirse bina parçalara bölünerek bu özellik sağlanmalıdır.

c) Döşemelerin düzlemleri içinde rijit diyafram etkisi: Binanın döşemeleri; taşıyıcı sistemin deprem davranışında, deprem kuvvetlerinin toplanması, dağıtılması ve sistemin beraber çalışması bakımından önemli bir rol oynar. Bu nedenle döşemelerin yeterli rijitliğe sahip olması çok önemlidir. Planda çok dağınık veya çok uzun dikdörtgen şeklinde bina düzeninden ve büyük boşluklardan, döşemenin rijit diyafram etkisini önleyeceği için kaçınılmalıdır.

d) Yeterli temel: Temelin ve üst yapıya bağlantısının yeterli seviyede düzenlenmesiyle, bütün binanın deprem etkisinde düzgün bir şekilde zorlanması ve etkilerin oluşmaması sağlanmalıdır.

Öngörülen bir deprem etkisine karşı taşıyıcı sistemin gerekli rijitliğe sahip olması, yatay ve düşey yükler altında, yapının yerdeğiştirmelerinin doğrusal elastik bölgede kalması ve sınırlı olmasıyla karşılanır. Böylece, kullanılabilirlik sınır durumuna karşı belirli bir güvenlik sağlanabilmektedir.

Öngörülen bir deprem etkisine karşı taşıyıcı sistemin gerekli dayanıma sahip olması boyutlandırılmasının esasını teşkil eder. Yapının göçme yükü yeterince büyük olmalı, tasarıma esas olan yatay ve düşey hesap yükleri altında bölgesel ve ani göçmeler meydana gelmemelidir.

Yapı, yanal rijitlik ve dayanım yanında, yeterli burulma rijitliği ve dayanımına da sahip olmalıdır.

Süneklik, bir kesitin, bir elemanın veya bir taşıyıcı sistemin, dış yükte önemli bir değişim olmaksızın, elastik sınırın ötesinde şekildeğiştirme, dolayısıyla yerdeğiştirme yapma özelliğidir. Süneklik oranı, göçme sırasındaki toplam şekildeğiştirmelerin doğrusal şekildeğiştirmelere oranı olarak tanımlanmaktadır.

1.3. Depreme Dayanıklı Çelik Yapı Tasarımı

Çelik yapılar, yüksek dayanım ve süneklik özelliklerinden dolayı deprem etkilerine karşı daha iyi performans gösterdiklerinden dolayı deprem bölgelerinde çoğunlukla tercih edilmektedirler. Uygun deprem tasarımı yapıda; kullanılabilirlik, hasar kontrolü ve göçme kontrolü sınır durumları olarak belirlenen temel gereksinimleri karşılayacak şekilde tasarlanmalıdır. Sınır durumlarının göz önüne alınması olası bir depremin yıkıcı gücüyle çok ilgilidir. Hatta kullanılabilirlik sınır durumu kontrolünde yapının ömrü boyunca birçok kez etkiyen düşük şiddetli depremler için yapı tümüyle yeterli dayanıma sahip olmalıdır. Bu kontrol yapısal olan ve yapısal olmayan bileşenlerde hiç hasar olmamasını gerektirir. Bundan başka yapının yapım amacına bağlı olarak fonksiyonuna devam etmesi sağlanmalıdır. Bu gereksinimlerin sağlanabilmesi için, yapının tasarımı elastik sınır içinde kalmalıdır ve böylece de yapı elemanlarında hiç hasar oluşmaması sağlanmalıdır. Ayrıca, yeterli rijitliğin sağlanabilmesi için yapısal olmayan elemanlarda hasar oluşmasından ve de yapının yapım amacına bağlı olarak gerçekleşen faaliyetlerinin yarıda kesilmesinden kaçınılmalıdır.

Orta şiddetli depremlerde kullanım sınır durumu kontrolü aranmamaktadır. Bu tür depremler sonucunda yapısal olmayan bileşenlerde hasar oluşabilmektedir, ancak sivil savunma için önemli olan yapılar kapsam dışı bırakılmıştır.

Son olarak da göçme sınır durumuyla, güvenliğin göz önüne alındığı şiddetli depremler için depremin geri-dönüş periyodu, yapının geri-dönüş periyodundan büyüktür. Bu durumda göçme kontrolü, sınır durum kontrolü için, yapı depremden doğan enerjiyi tüketerek karşılamalı, yapıda onarılamayacak kadar büyük bir hasar oluşursa yapının tümünden göçmesi engellenmeli ve yapının içindekilerin hayatının korunmasını sağlanmalıdır.

Süneklik tanımı ve taşıyıcı sistemin enerji tüketme kapasitesi arasındaki ilişki taşıyıcı sistemin depreme karşı davranışını belirler. Deprem riskinden korunmak için geliştirilen yeni tekniklerin dışında, deprem enerjisi, tasarımda belirli koşulların yerine getirilmesiyle enerjinin tüketileceği bölgelere yöneltilmekte ve yoğunlaştırılmaktadır. Yatay yük etkisindeki çelik yapı tasarımında bu gereksinimler, moment taşıyabilen çerçeveler, dolgu duvarlı çerçeveler, çelik levha perde duvarlı çerçeveler ile merkezi ve dış merkez köşegenli çerçeveler gibi dört farklı taşıyıcı sistem tarafından karşılanabilmektedir:

Depreme dayanıklı yapı tasarımında en önemli ilke her durumda göçmeye karşı güvenliğin sağlanmasıdır. Çeliğin, yapılarda taşıyıcı olarak kullanılmasının en önemli avantajı, bu malzemenin sünekliği ve çevrimsel plastik yükleme etkisindeki enerji tüketme kapasitesidir. Yukarıda belirtilen taşıyıcı sistemler için tasarım kuralları genel olarak yatay yükleri lineer elastik bölgede kalarak iletmek için verilmekteydi. Ancak bu taşıyıcı sistemlerin tasarımında, belirli kurallara uyulduğunda, deprem etkisi altında plastik çevrimin arttırılabildiği, başka bir deyişle süneklik düzeyi yüksek taşıyıcı sistemler elde edilebildiği bilinen bir gerçektir.

1.4. Çalışmanın Amacı ve Kapsamı

Günümüzde nüfus yoğunluğu artmakta dolayısıyla da daha yüksek yapıların yapılması gerekmektedir. Yapı yüksekliğinin artmasıyla yapı ağırlığı da artmakta bu nedenle de yapılar depremden daha fazla etkilenmektedir. Yapılarda genellikle deprem etkilerini azaltmak için yapının ağırlığını hafifletmek gerekli olmaktadır. Bu da yapılarda hafif malzemenin kullanılmasıyla mümkün olabilmektedir. Yapıların taşıyıcı sistemlerinde çelik malzemenin kullanılması, yapı ağırlığının, betonarme sistemlere göre, azalmasına dolayısıyla da depremden daha az etkilenmesine neden olmaktadır. Bununla birlikte çeliğin yüksek çekme gerilmesine ve şekildeğiştirme kapasitesine sahip olması, bu malzeme ile inşa edilen yapıların sünek davranış göstermesine, diğer bir deyişle yüksek bir enerji yutma kapasitesine sahip olmaktadır. Ancak çeliğin şekildeğiştirme kapasitesinin yüksek olması yapıda kullanım sınır durumunun aşılmasına dolayısıyla da stabilite probleminin ortaya çıkmasına neden olmaktadır. Bu nedenle yatay yük etkisindeki çelik yapılarda yer değiştirmenin sınırlandırılması amacıyla birçok sistem kullanılmaktadır. Bu sistemlerin hangi durumlarda ve nasıl kullanılacağı ya da çerçeve sistem üzerindeki etkileri tam olarak ortaya konulabilmiş değildir.

Çelik yapıların tasarımında kullanılan ve çerçeve boşluklarına yerleştirilen dolgu duvarlar, betonarme duvarlar, çelik levha perdeler ve çelik köşegenlerin yatay yük altındaki çelik çerçevelerin davranışlarını önemli ölçüde değiştirdiği bilinen bir gerçektir. Ancak bu sistemlerin, çerçeve davranışına yansıyan olumlu yada olabilecek olumsuz etkileri hesaplamalarda çoğunlukla dikkate alınmamaktadır. Diğer taraftan bu sistemlerin çerçevenin davranışı üzerindeki etkileri benzer olmasına karşın genel bir kıyaslama yapılmamıştır. Çünkü bu konuda da araştırmalar halen devam etmektedir. Bu çalışmanın

amacı, çelik taşıyıcı sistemlerde yatay yük taşıma kapasitelerini artıran elemanların etkinliğinin deneysel ve teorik olarak incelenmesidir. Yapılan bu çalışma ile bu konudaki araştırmalara aşağıda belirtilen konularda katkı sağlanması amaçlanmıştır.

1. Söz konusu sistemlerin (tuğla ve betonarme dolgu duvarlar, çelik levhalar ve çelik köşegenler) yatay yük altında çelik çerçevelerin dayanımına olan etkilerinin araştırılması,
2. Sistemlerin yatay yük altındaki çelik çerçevelerin rijitlik özelliğine olan etkisinin araştırılması,
3. Deprem yükleri altındaki bir yapının enerji tüketme kapasitesi oldukça önemli bir özellik olduğundan, sistemlerin yatay yük altındaki enerji tüketme kapasitesinin araştırılması,
4. Çelik çerçevelerin, sistemlerin ilavesinden sonra göçme şekillerindeki değişikliklerin araştırılması,
5. Değişik özelliklerdeki sistemlerin çelik çerçevelerinin, deprem davranışına olan etkilerinin araştırılması,
6. Deneysel çalışmada kullanılan malzemelerin ve sistemlerin mekanik özelliklerin belirleyerek, bulunan malzeme özelliklerini kullanarak, mevcut bazı teorik çözüm yöntemleri ile deneysel sonuçları karşılaştırıp irdelenmesi,

olarak özetlenebilmektedir.

Bu amaçla, çelik taşıyıcı sistemlerde yatay yük taşıma kapasitelerini artıran elemanların etkinliğinin deneysel ve teorik olarak incelemek için yaklaşık olarak 1/3 ölçekli 8 seri değişik çelik çerçeve sistemleri için 14 adet deney numunesi, depremi benzeştiren tersinir-tekrarlanır yatay yük altında deneye tabi tutulmuştur. Elde edilen verilerin değerlendirilmesi sonucunda, çelik çerçeve sistemlerin taşıma gücü, dayanım, rijitliği enerji tüketme kapasiteleri ve göçme şekilleri gibi davranışları elde edilmiştir. Yapılan sayısal çalışmada ise kullanılan malzemelerin gerçek boyut ve mekanik özellikleri kullanılarak sonlu elemanlar yöntemiyle çözüm yapılmış ve elde edilen sonuçlar deneysel sonuçlarla karşılaştırılmıştır.

1.5. Daha Önce Bu Konuda Yapılmış Bazı Çalışmalar

1.5.1. Tuğla ve Betonarme Dolgu Duvarlı Çelik Çerçeveler ile İlgili Daha Önce Yapılmış Deneysel ve Teorik Çalışmalar

Benjamin ve Williams [1], betonarme panelli çerçevelerinin yatay yükler altındaki davranışını deneysel olarak incelemişlerdir. Araştırmacılar, yükleme koşulları, malzeme özellikleri, dolgu kalınlığı ve donatısı, çekme ve basınç kolonlarının enkesit alanları ve donatıları gibi değişkenlerin, dolgulu çerçeve sistemin kırılma yükü ve kırılmadan önceki davranışı üzerindeki etkilerini belirlemişlerdir..

Holmes [2], betonarme ve tuğla dolgulu tek katlı çelik çerçeveler üzerinde yaptığı araştırma sonuçlarını yayınlamıştır. Yazar dolgu bloğunu basınç köşegenine yerleştirilmiş ve bu dolgu bloğu basınç çubuğu olarak kabul etmiştir. Bu basınç çubuğunun enkesit alanının "t" dolgu kalınlığı ve "d" köşegen uzunluğu cinsinden $(t.d/3)$ olarak ifade edilebileceğini belirtmiştir.

Smith [3], yaptığı çalışmada dolgu duvarını "eşdeğer basınç köşegeni" şeklinde varsayarak, bu eşdeğer köşegenin genişliğini teorik olarak elde ettikten sonra, model deneylerle bu sonuçların doğruluğunu kontrol etmiştir. Yazar deneysel ve teorik çalışmaları sonucunda, basınç çubuğu genişliğinin, çerçevenin değişik "açıklık/yükseklik" oranına göre köşegen uzunlununun 1/4'ü ile 1/11 'i arasında değiştiği sonucuna varmıştır.

Mallick ve Severn [4], dolgulu çerçeve sisteminin analizinde, sonlu elemanlar metodunu kullanmış ve dolgu panellerim yatay yük etkisinde, dikdörtgen paneller olarak ele almışlardır. Yapmış oldukları deneylerden elde ettikleri sonuçlar, bu teorik yaklaşımla elde edilen sonuçların uyum sağladığını ifade etmişlerdir.

Fedorkiw ve Sözen [5], dolgulu çerçevelerin analizi için hem dolguyu hem de çerçeveyi birlikte ele aldıkları teorik bir model geliştirmişlerdir. Bu çözüm metodu ile en büyük yük seviyesine kadar hem yük-yerdeğiştirme, hem de çatlak oluşumu elde edilebilmektedir. Yazarlar, tek katlı-tek açıklıklı ve beş katlı-tek açıklıklı çerçeve sistemi modellemişlerdir. Tek katlı sistemlerde dolgu özelliği, beş katlı sistemlerde ise çerçevelerinin özellikleri değiştirilmiştir. Tek katlı sistemlerde dolgu özelliğinin değiştirilmesi, çerçeve eğilme davranışını değiştirirken, kolonlardaki aksenal yükün atmasına neden olduğu ifade edilmiştir.

Fiorata ve ark. [6], çalışmalarda kullanılan parametreler; çerçeve donatısının miktarı, kalitesi ve yerleşim düzeni, kolonlara uygulanan düşey yükün şiddeti, duvar boşluklarının büyüklüğü, şekli ve konumları gibi farklı parametreler ve farklı dolgu malzemesi kullanılarak hazırladıkları tek katlı-tek açıklıklı, beş katlı-tek açıklıklı ve iki katlı-üç açıklıklı model çerçeve deneyleri gerçekleştirmişlerdir. Yapılan bu çalışma sonucunda, dolgulu çerçeve sisteminin yatay yük etkisi altında, dolgu duvarlarda kayma çatlakları oluşuncaya kadar bir konsol kiriş gibi davrandığı, çatlak oluşuktan sonraki davranışın köşegen takviyeli bir çerçevenin davranışına benzediği ileri sürülmüştür. Bununla birlikte araştırmacılar, çerçeve-duvar ortak davranışının, boş çerçeveye göre daha fazla taşıma gücüne ve rijitliğe sahip olduğu, süneklikte ise aynı oranda bir azalmanın olduğunu belirtmişlerdir.

Smith ve Carter [7], yaptıkları çalışmada, dolgu duvarlı çerçevelerin eşdeğer bir kafes sistem haline dönüştürülerek, bilinen statik yöntemlerle analizinin yapılabileceğini ileri sürmüşlerdir.

Mainstone [8], Holmes ve Smith tarafından önerilen eşdeğer basınç çubuğu metodunu geliştirmiştir. Ancak Mainstone tarafından geliştirilmiş olan metotta, çerçevenin içerisindeki dolgunun yükseklik/genişlik oranı hesaplarda doğrudan dikkate alınmamıştır. Sunulan bu metotta, dolgu ile çerçeve arasında basınç köşesinde küçük bir bölgenin temas ettiği ve bu sebepten dar bir basınç çubuğunun olduğu ifade edilmiştir, yatay yük altında, basınç çubuğunun sabit bir genişliğe sahip olduğu kabul edilmiştir. Dolgu-çerçeve rölatif rijitlik oranına bağlı olarak, dolgu panelindeki göçme şekli köşe ezilmesi veya köşegen çatlama şeklinde olduğu öne sürülmüştür. Sonuç olarak, dolgu-çerçeve rölatif rijitlik oranının davranışı etkileyen en önemli parametre olduğu iddia edilmiştir. Sunulan bu eşdeğer basınç çubuğu yaklaşımı ile taşıma gücü öncesi ve sonrası dayanımın olduğu kadar rijitliğin de belirlenebileceği ifade edilmiştir.

Liau [9], yaptığı çalışmada, düzlemi doğrultusunda köşegen yüke maruz dolgu panelli çerçeve sisteminin gerilme analizini, temeli "Fourier Serisi" olan gerilme fonksiyonunu kullanarak gerçekleştirmiştir.

Klinger ve Bertero [10], betonarme çerçevelerin sismik histeretik davranışı konusunda dolgu panellerin etkisini deneysel ve teorik olarak incelemiştir. Deneysel sonuçlar, dolgulu çerçevelerin esas olarak iki tip yapısal bileşenin bir bileşeni şeklinde davrandığını göstermiştir.

Şimşek [11], yapmış olduğu çalışmada, çeşitli yükleme durumlarına bağlı olarak hasar görmüş tuğla duvarların takviyesi ve takviye sonrası davranışını deneysel olarak araştırmış; değişken donatı yüzdesine bağlı olarak duvar çekme ve basınç dayanımının değişimini incelemiştir.

Riddington ve Smith [12], yaptıkları teorik çalışmada, dolgu panelli çelik ve betonarme çerçevelerin yatay yük altındaki davranışını incelemişlerdir. Çözüm için elastik sonlu elemanlar gerilme analizi metodu sunmuşlardır. Bu çalışmada, dolgu paneli ile çerçeve arasında ayrılmanın olup olmaması, sürtünmenin olup olmaması, dolgu panelinin boy ve yüksekliğinin oranı, çerçeve sistemindeki kolon ve kirişlerin rijitliklerinin oranı ile kat sayısı ve açıklık sayısı gibi parametreleri incelemişlerdir.

Liauw ve Lee [13], 4 katlı betonarme dolgu panelli çelik çerçeve sistemini, yatay yük altında deneysel olarak incelemişlerdir. Toplam 19 adet çerçeve sistemi test edilmiştir. Hazırlanan çerçevelerinde; dolgu panelinin mevcut olup olmaması, çelik çerçeve ile betonarme panel arasında kesme kuvvetini aktaracak birleştirici elemanın olup olmaması incelenen parametrelerdir. Deneysel sonuçlara ilave olarak teorik bir çözüm de gerçekleştirilmiştir. Deneysel ve teorik sonuçlar kıyaslanmış ve çerçeve ve panel ara yüzeyinde kesme kuvvetini aktaran birleştirici elemanın, sistemin dayanım, rijitlik ve güvenliğini artırıcı özelliği vurgulanmıştır,

Axley ve Bertero [14], yaptıkları çalışmada, çerçeve dolgu panel sistemlerinin davranışını ve dolgu panellerin rijitliğe katkısını araştırmışlardır. Bu amaçla; çerçeve boyutları ve malzeme özellikleri sabit tutularak, panel yüksekliği ve panel kalınlığı değişken olarak kabul edilmiştir.

Riddington [15], yaptığı çalışmada dolgulu çerçevelerinde, dolgu ile çerçeve arasındaki boşluğun çerçeve sisteminin davranışına olan etkisini araştırmıştır. Bu amaçla 6 adet tuğla dolgu duvarlı çelik çerçeve sistemi yatay yük altında test edilmiştir. Ayrıca sonlu elemanlar metodu kullanılarak teorik çözüm de gerçekleştirilmiştir. Deneysel sonuçlar, çerçeve ile dolgu paneli arasında küçük bir boşluğun bulunması halinde çerçeve sisteminin davranışının istenmeyen bir şekilde değiştiğini göstermiştir.

Liauw ve Kwan [16], 4 katlı ve tek açıklıklı, açıklığın yüksekliğe oranı 2 olan, 14 adet çerçeve sistemini, statik yatay yük ve tekrarlanır yükleme altında test etmiştir. Çerçeve sistemi çelik profilden imal edilmiştir. Üç tür dolgu paneli kullanılmıştır; boş (dolgusuz) çerçeve, yarı dolgulu çerçeve ve tam dolgulu çerçeve sistemi statik yükleme altında yük-deplasman ilişkisi, gerilme dağılımı ve göçme mekanizmaları ile, tekrarlanır

yükleme altında ise histeretik karakteristiği, enerji tüketme kapasitesi ve sistem özelliklerinde meydana gelen azalma bakımından incelenmiştir.

Dawe [17], dolgu panelli çelik çerçevelerin davranışını araştırmak üzere deneysel bir çalışma gerçekleştirmiştir. Bu çalışma kapsamında 6 adet dolgulu çelik çerçeve sistemi test edilmiştir. Tüm çerçeve sistemleri göçünceye kadar yüklenmiş ve elde edilen deneysel sonuçlar diğer araştırmacılar tarafından önerilen teorik çözümlerle kıyaslanmıştır. Yazar, dolgu panellerinin rijit çerçeve sisteminin dayanımını önemli ölçüde artırdığı ifade etmiştir. Yapılan çözümlerde; Smith tarafından önerilen basınç çubuğu yaklaşımının göçme şeklinin belirlenmesinde doğru sonuç verirken, elde edilen teorik göçme yükünün deneysel göçme yükünden daha büyük olduğu, bu metotla elde edilen teorik başlangıç rijitliklerinin deneysel değerlerle oldukça iyi uyum gösterdiği ifade edilmiştir. Yine Liauw ve Kwan[16] tarafından önerilen plastik göçme teorisi ile göçme şeklinin doğru şekilde tahmin edildiği, ancak elde edilen teorik yükün deneysel yükten daha büyük olduğu belirtilmiştir. Ancak Liauw ve Kwan metoduna Wood faktörü uygulandığında elde edilen teorik göçme yükünün deneysel sonuçlarla oldukça iyi uyum gösterdiği ifade edilmiştir.

Dhanasekar ve Page [18], yaptıkları çalışmada, tuğla duvar dolguların çerçevelerin davranışına olan etkisini araştırmışlardır. Bu amaçla yatay yüke maruz, üç katlı, tek açıklıklı çerçeve sisteminin davranışını teorik olarak analiz eden bir sonlu elemanlar metodu geliştirmişlerdir.

Kwan ve ark. [19], hazırlamış oldukları 6 adet beton dolgu panelli çelik çerçeve sistemim yatay yük altında test etmişlerdir. Hazırlanan çerçevelerinin 2 adedi tek açıklıklı-iki katlı, 4 adedi ise iki katlı-iki açıklıklı olarak tasarlanmış olup, panel açıklığı 1900 mm panel yüksekliği 1150 mm dir. Numunelerin 3 adedinde çerçeve ile dolgu bloğu arasında kesme kuvvetini aktarmak için "S" şeklinde çelik birleştirici elemanlar kullanılmıştır. İlave olarak deneysel olarak incelenen numunelerin "Liauw ve Kwan's Plastik Teorisi" kullanılarak plastik analizi de gerçekleştirilmiştir. Teorik ve deneysel sonuçların birbirleri ile oldukça iyi bir uyum gösterdiği görülmüştür.

Lotfi ve Shing [20], yatay yük etkisinde dolgu panelli çerçevelerinin çözümü için sonlu elemanlar metodunu esas alan bir metot sunmuşlardır. Elde edilen sonuçlar deneysel çalışmalardan elde edilen sonuçlarla kıyaslanmıştır.

Altın [21], depremlerde hasar görme ihtimali olan çerçevelerin takviyesinden yola çıkarak, tek açıklıklı ve iki kattan oluşan çıplak ve iki yüzünde donatı ağı bulunan dolgu duvarlı 14 adet çerçeve sisteminin tersinir-tekrarlanır yatay yük altında test etmiştir. Dolgu

panellerinin donatı tipi ve dolgu ile çerçeve arasındaki bağlantı şeklinin etkileri ana değişken olarak belirlenmiştir. Deneysel sonuçları, dolguların rijitlik, dayanım, enerji tüketme, yanal ötelenme ve süneklilik üzerindeki etkilerini ortaya koyacak şekilde değerlendirilmiştir.

Gülkan ve Wasti [22], yapmış oldukları çalışmalarında, çok açıklıklı veya çok katlı genel çerçevelerin temel birimi olarak tek açıklık ve tek katlı bir çerçeve gözünü ele almışlardır. Çerçeve, elastik kolon, kiriş elemanları ile dolgu ise lineer olmayan iki boyutlu izoparametrik elemanlar ile modellenmiştir. Farklı yüksekliklerde olabilen dolgu malzemesinin Mohr-Coulomb kırılma kriterine göre davrandığı kabul edilmiştir. Çerçeve rijitliğini belirleyen yük-deplasman ilişkisi, artan yanal yük altında incelenmiştir. Yapılan çalışma, dolgu duvarın, çerçeve davranışını, boyunun üçte birinden fazla olduğu zaman etkilemeye başladığını göstermektedir.

Mehrabi ve Shing [23], yapmış oldukları çalışmada yatay yük altındaki dolgu duvarlı betonarme çerçevelerin davranışında elde ettiği sonuçları kullanarak bir sonlu elemanlar modeli geliştirmişlerdir. Bu çalışmada panel-çerçeve ara yüzeyindeki ve derzlerdeki davranışı göz önüne alan birleştirilmiş ara yüzey modeli kullanılmıştır. Dolgu panelinde kullanılan tuğlalar ve betonarme çerçeve elemanlarda kullanılan beton için ise çatlama sonlu elemanlar formülasyonları kullanılmıştır. Yapılan çalışmada dolgu çerçevelerde doğrusal olmayan davranışın genellikle dolgu panelinde ilk çatlak oluşumu ile başladığı ifade edilmiştir.

Aydoğdu [24], yaptığı çalışmada, dolgu duvarların çerçeve ile kuşatılmış ve kuşatılmamış halleri için SAP90 programı kullanılarak sonlu elemanlar çözümü yapılmıştır. Sonlu elemanlar çözümüne dayanarak eşdeğer basınç çubuğunun genişliği ile ilgili sonuçlara gidilmeye çalışılmıştır.

Bağcı [25], yapmış olduğu çalışmada, yatay yükler altında dolgu duvarlı düzlemsel çerçevelerinin gerçek davranışını ortaya koymak amacıyla, sonlu elemanlar yöntemine dayanan yeni bir yaklaşım sunmuştur. Elastik sınır içinde dolgu duvarın çerçeveye olan rijitlik katkısı incelenmiştir. Bu amaçla, dolgu duvar elemanı da içine alan yapısal çözüm için genel amaçlı sonlu elemanlar esasına dayanan bilgisayar programı geliştirilmiştir.

Mosalam ve ark. [26], beton blok dolgu panelli çelik çerçevelerin yatay tekrarlanır yükler altındaki davranışını incelemişlerdir.

Karaduman [27], tuğla dolgu duvarlı çelik çerçevelerin yatay yük altındaki davranışını belirlemek amacıyla toplam 21 adet çerçeve sistemini, panel düzleminde köşegen olarak etkileyen aksenal yük altında test etmiştir. İncelenen parametreler; dolgu cinsi (tuğla, gaz beton), panel rijitliği, çerçeve rijitliği, eleman boyutları, dolgu panelinin sıvalı olup olmamasıdır.

Alakoç [28], yapmış olduğu çalışmada, gaz beton duvarların elastisite modülü, duvar basınç, çekme, kesme ve köşegen çatlama dayanım değerleri klasik harçlar ve ince derzli harç kullanılarak deneysel olarak incelenmiştir.

1.5.2. Çelik Levha Perde Duvarlı Çelik Çerçeveler ile İlgili Daha Önce Yapılmış Deneysel ve Teorik Çalışmalar

Tian ve ark. [29], yaptıkları çalışmada soğuk şekil verilmiş çelik duvar dikmelerinin ve panellerinin aksenal yükler altındaki davranışlarını deneysel olarak incelemişlerdir. Çalışmalarında 10 adet paneli tam ortasından diğer 10 adet paneli üçe bölecek şekilde toplam 20 adet panel kullanmışlardır. Panelleri bölen dikmeler ile paneller arasındaki etkileşimin davranış üzerindeki olumlu etkileri tespit edilmiş ve en uygun tasarım belirlenmeye çalışılmıştır.

Jeffrey ve Berman [30], ince kalınlıktaki çelik levha perde duvarların çevrimsel yük altındaki davranışlarını incelemiştir. Bu amaçla 0.9 mm ve 0.7 mm. kalınlığındaki levhalar ile çeşitli deney numuneleri hazırlanıp, çevrimsel olarak yüklenmişlerdir. Elde edilen deney sonuçları ile bilgisayar modelleri karşılaştırılmıştır.

Matteis ve ark. [31], düşük akma dayanımına sahip çelik levha perde duvarlar ilave edilerek çelik çerçevenin moment dayanımını artırmıştır. Bu amaç için teorik bir model ile bu modele göre kalibre edilmiş bir deney düzeneği hazırlamıştır. Yaptıkları çalışma sonucunda çerçevedeki kat yerdeğıştirmelerinin azaldığını ve buna bağlı olarak yapının başlangıç zarar görme miktarının düştüğünü belirlemişlerdir.

Bruneau ve Bhagwagar [32], yaptıkları çalışmada, düşük akma dayanımına sahip çelik levhalar kullanılarak yapıları güçlendirmeye çalışmışlardır. Bu amaçla 20 katlı bir hastane binası model olarak seçilmiştir. Bu yapının düşük ve yüksek deprem riski taşıyan bir bölgede olduğu varsayımıyla analizler yapılmıştır. Sonuçta, özellikle kat yerdeğıştirmelerinin önemli miktarda azaldığını ve çerçevelere gelen yüklerin çelik levhalarda oluşan deformasyonlar ile sönmüldüğünü belirlemişlerdir.

Paterson and Mitchell [33], mevcut bir çelik yapının güçlendirilmesi amacıyla çelik levhalar kullanmışlardır. Bu amaç için dört farklı model oluşturmuşlardır. Levhaların burkulma dayanımlarını artırmak için her iki yüzünden karbon fiber kaplaması uygulamışlardır. Sonuçta güçlendirmenin başarılı olduğunu ve bu başarının levhaların enerji sönmüleme ve akma yeteneklerine bağlı olduğunu tespit etmişlerdir. Diğer bir çalışma olarak da farklı levhalar ve kaplama uygulamaları kullanılarak çevrimsel yük altında davranışları karşılaştırılmıştır.

Ghomi ve ark. [34], süneklik düzeyi yüksek çelik plakların yatay yükler altındaki davranışlarını incelemek için yapılan deneysel ve teorik çalışmaları derleyerek karşılaştırmalar yapmışlardır. Çalışmaları sonucunda modellerin oluşturulması için basitleştirilmiş teoriler ve hesap yöntemleri sunmuşlardır.

Astaneh-Asl. [35], çelik levha perde duvarlarla ilgili en geniş araştırmaları yapan bilim adamlarındandır. Bu çalışmasında Kuzey Amerika' da yapılan çelik levha perde duvarlı yapıları incelemiş ve yüksek deprem riski taşıyan bölgelerde bu yapıların davranışını araştırmıştır. Çalışmasını rapor olarak yayınlamış ve bu yöntemle birçok yapının yapılmasına öncülük yapmıştır.

Sheikh ve ark. [36], tek eksenli basınç altındaki çelik plakların güçlendirilmesi ile ilgili çalışmalar yapmışlardır. Yarım I profilleri ile güçlendirdiği plakların burkulma davranışlarını belirlemek için teorik modeller oluşturmuşlardır. Bu modellerde yaptıkları çalışmalarda en elverişli davranış için güçlendirmede kullandıkları profillerin boyutları ile plakların kalınlıkları arasına bazı bağıntılar sunmuşlardır.

Montgomery ve Medhekar[37], çevrimsel yük altındaki güçlendirilmemiş çelik plak perde duvarlarının performanslarını araştırmışlardır. Sonuçta, plakların daha iyi performans gösterebilmeleri için kolon elemanlarının esnekliğinin ve eğim açısının belli bir limitte olmaları gerektiğini, plakların en ve boy oranlarının hesaplarla belirlenmesinin gerekliliği belirlemişlerdir.

Astaneh-Asl [38], kompozit çelik plak perde duvarların tasarımı ve sismik davranışları üzerine birçok çalışma yapmıştır. Çalışmaların genelinde model olarak yapılmış yapıları seçmiştir. Bunları kompozit plaklarla güçlendirerek sismik davranışlarını iyileştirmeyi amaçlamıştır. Genel olarak, 4 tip kompozit panel kullanmıştır. Bunlar bir yüzden betonarme kaplamalı, iki yüzden betonarme kaplamalı, plak ve profilin tamamı betonarme kaplamalı ve betonarme perdenin her iki yüzü plak kaplamalı olarak

tasarlanmıştır. Sonuçta, farklı tip kompozit panellerin davranışları bilgisayar modelleri ile karşılaştırılarak elverişli tasarım belirlenmeye çalışılmıştır.

Salim ve ark. [39], statik ve dinamik basınç altında geleneksel olarak tasarlanmış dikmeli Çelik levha perde duvar sistemlerinin davranışlarını incelemiştir. Çalışmalarında yükleme sonrası hasar gören ilgili yapılar model olarak seçilmiştir. Yükleme olarak ise, patlama sonrası oluşan basınç etkisi dikkate alınmıştır. Özellikle patlama yüküne maruz kalabilecek yapıların tasarımında kullanılan çelik levha perde duvarlarının dayanımını artırmak için çeşitli konumlarda dikmeler kullanmışlardır. Gerilme yığılmalarının olduğu yerler tespit edilerek güçlendirme önerileri yapılmıştır.

Fülöp ve Dubina [40], monoton ve çevrimsel yük altında soğuk şekillendirilmiş ve dikmelerle güçlendirilmiş panellerin performanslarını teorik modeller ve performans analizi kullanarak sorgulamışlardır. Üç boyutlu olarak modelledikleri konutun deprem yükleri altındaki davranışlarının çelik plaklar ve dikmelerin sayesinde nasıl değiştiğini belirlemiştir. Sonuç olarak, plakların kullanılması durumunda deprem yüklerinin azaldığı tespit edilmiştir.

Zhao ve Astaneh-Asl [41], geleneksel ve yenilikçi kompozit çelik levhalı perde duvarlarının davranışlarını incelemiştir. Deneysel ve teorik olarak iki aşamada gerçekleşen çalışmalarında çok katlı yapılarda kullanılan kompozit duvarların davranışı ile kendilerinin geliştirdikleri kompozit duvarların davranışlarını karşılaştırmışlardır. Sonuç olarak, deneysel ve teorik çalışmaları ışığında kompozit plakların davranışında çerçeve elemanlarına bağlanma şekillerinin etkili olduğunu belirlemiştir.

Link ve Elwi [42], beton ve çelik levhaların kullanılmasıyla oluşturulan kompozit duvarların davranışlarını incelemiştir. Çalışmalarında kompozit duvarların boyuna ve enine yüklenmesiyle gösterebilecekleri nihai dayanım belirlenmeye çalışılmıştır. Beton ile çelik levha arasındaki aderans davranışı etkileyen en önemli faktör olarak tespit edilmiştir.

Telue ve Mahendran [43], soğuk şekillendirilmiş ve alçı kaplama panellerle oluşturulmuş çelik levha perde duvarların davranışlarını incelemiştir. Levhalar ile kaplamaların yükleme sonrası farklı davranış göstermeleri ve gerilme yığılmalarının elemanlar arasındaki aktarımları dikkate alınarak 40 adet bire bir ölçekli deney modelleri kullanılmıştır.

Alinia ve Dastfan [44], ince çelik levha perde duvarlar ile onları çevreleyen elemanların etkileşimli davranışlarını incelemiştir. Yatay yük altında modelledikleri bina türü yapılarda ince çelik levhalar ile betonarme duvarların burkulma sonrası

kapasitelerini belirlemeye çalışmışlardır. Eşdeğer davranışın hedeflendiği çalışmada çelik plak ve perde duvar boyutlarının belirlenerek karşılaştırmaları yapılmıştır.

Driver ve ark. [45], dört katlı bir çerçeveye yerleştirilmiş çelik plak perde duvarların davranışlarını deneysel olarak incelemiştir. Küçük ölçeklerin kullanıldığı deney modeline ilave edilen ince kalınlıktaki güçlendirilmemiş perde duvarların davranışlarını incelemek için 30 basamaklı çevrimsel yük kullanılmıştır. Yüklemelerin ilk basamaklarında oldukça rijit davranış gösteren levhalar sonlara doğru sönümledikleri enerjinin etkisiyle büyük deformasyonlar göstermişlerdir. Sonuçta, levhaların çevrimsel yük altında davranışa etkilerinin azaldığını belirlemiştir.

Lee ve Miller [46], U profillerine cıvatalar ile iki yüzünden tutturulmuş alçı kaplı çelik levhalar ile oluşturulmuş duvarların aksenal dayanımlarını belirlemek amacıyla çalışmalar yapmışlardır. Profiller ile levhalar arasındaki etkileşimi incelemek amacıyla cıvataları yay eleman olarak tanımlamışlar, matematiksel modeller kullanarak çözüm yapmışlardır.

Grondin ve ark. [47], güçlendirilmiş çelik levhaların burkulması ile ilgili parametrik bir çalışma yapmışlardır. Çalışmalarında düzlemsel basınç etkisi altındaki güçlendirilmiş çelik levhaların göçme durumlarını tartışmışlardır. Daha çok büyük açıklıklı köprülerde dikkate alınan bu durumun tasarım hesaplarında kullanılan burkulma teorisinin yeterli olmadığını belirlemiştir.

Çelik ve ark. [48], ince kalınlıktaki çelik plak duvarlar ve destekler ile güçlendirilmiş çelik çerçevelerin histeretik davranışlarını karşılaştırmak amacıyla deneysel bir çalışma yapmışlardır. Levhaların desteklere oranla daha fazla enerji sönümlediklerini ve tekrarlı yükler altında kullanım ömürlerinin daha fazla olduğunu belirlemiştir.

Schumacher [49], çelik levha perde duvarları ile çevre elemanlar arasında olan bağlantıları konu alan bir doktora tezi yapmıştır. Çalışmasında ilave levha kaynaklı ve cıvatalı birleşimler kullanılarak yatay yük altında çerçevenin davranışını incelemiştir. Kaynaklı birleşimlerde yükün tamamen levhaya aktarıldığını, cıvatalı birleşimlerde ise nihai durum öncesi cıvatalarda mafsallaşma oluştuğunu ve bir miktar enerjinin de bu şekilde sönümlendiğini tespit etmiştir.

Astaneh-Asl ve Zhao [50], çelik levha perde duvar sistemlerini alternatif modeller ile çevrimsel yük altında incelemiştir. İçi beton dolu tüplerin düşey taşıyıcı elemanlar olarak kullanıldığı sistemlere yerleştirilen çelik levhalar ile yapılan modelin yatay yük

taşıma kapasiteleri deneysel olarak belirlenmeye çalışılmıştır. Deneyler sonucunda içi beton dolu tüplerin, çelik levhaların davranışına olumlu etkileri gözlenmiştir.

Chen [51], güçlendirilmemiş ince çelik levha perde duvarların çevrimsel davranışı ile ilgili doktora tezi yapmıştır. 3 farklı kalınlıktaki çelik levhaları kullanarak bir açıklıklı ve üç katlı deney modelleri üzerinde yapılan çalışmalarda yatay yük taşıma kapasitelerini incelemiştir. Çelik levhaların kalınlıklarının çerçevelerin davranışına etkilerini deneysel ve teorik olarak tespit etmeye çalışmıştır.

Tian ve ark. [52], soğuk şekillendirilmiş Çelik levha perde duvarlı çerçevelerin güçlendirilmesi ve burkulma dayanımları ile ilgili deneysel ve teorik çalışmalar yapılarak birçok burkulma teorisi incelenmiştir. Teorilerin geçerliliğini deneysel çalışmalar ile vurgulamaya çalışmışlardır. İlk aşamada yapılan deneylerde burkulma levhalar profiller ile güçlendirilerek yeniden deneye tabi tutulmuştur. Sonuçlar teorik çalışma ile karşılaştırılarak verilmiştir.

Hitaka ve Matsui [53], çelik levha perde duvarlarının enerji sönümleme kapasitelerini artırmak amacıyla levhalar üzerinde düşey yırtmaçlar oluşturmuşlardır. Japonya’ da var olan bir yapıyı model olarak seçmişlerdir. Muhtemel deprem yükleri etkisinde sözü edilen yapıda oluşan gerilmelerin yoğunlaştığı bölgelere yırtmaçlı levhalar konularak davranış iyileştirilmeye çalışılmıştır. Özellikle çok katlı yapılarda enerji sönümleme özelliğinin önemli olduğunu vurgulayarak söz konusu sistemlerin etkinliğini çalışmalar sonucunda belirlemişlerdir.

1.5.3. Çelik Köşegenli Çelik Çerçeveler ile İlgili Yapılan Deneysel ve Teorik Çalışmalar

Tang ve Goel, [54], enerji tüketilmesi olayı olmaksızın merkezi köşegenli çerçevelerde önceden beklenen köşegen eleman yetersizliklerine göre tasarlanmış sistemlerde teorik çalışmalar yapılmıştır. Bu çalışmalarda göçmelerin en çok kesitlerin rijit olmayışı dolayısıyla plastik mafsallarda veya birleşimlerde olduğu görülmüştür.

Tang ve Goel [55], tarafından yapılan tam-ölçekli deneylerde genelde plastik mafsallar köşegen elemanların uçlarında ve köşegen elemanların açıklık ortasında oluşur. Köşegenli sistemlerin teorik modelleri, önceki merkezi köşegenli çerçeve tasarımlarında çatlama

olmaksızın ortaya çıkan tam ve kararlı çevrimler gibi aynı yer hareketi kayıtlarına tabi tutulduğunda kararlı sünek davranışın sağlanması için tasarlanmıştır.

Aslani ve Goel [56], çift korniyer, çift U olarak seçilen köşegen eleman kesitlerinde artırılmış süneklik ve enerji tüketilmesine ulaşabilmek için daha yakın bağ levhası aralıklarına ek olarak daha sıkı bir rijit kesit şartı önemli kriterlerdir. Burkulan ve böylece bağ levhaları üzerinde büyük kesme kuvvetleri yüklenen çift-korniyer ve çift U kesitli köşegen elemanlar için bu özellikle kritiktir. Ayrıca çalışmalar, çift korniyerler uç uca yerleştirildiğinde eğilme şekildeğiştirmeleri ve yerel burkulmaların azaldığını göstermiştir.

Mastrandrea, L., Piluso [57], yaptıkları çalışmada çelik köşegenlerin yerleşim düzenine göre farklı göçme mekanizmalarının oluşabileceği düşüncesiyle pratik modeller geliştirmişlerdir. Göçme mekanizması depreme dayanıklı yapı tasarımında birincil öneme sahiptir. Çünkü kısmi ve yerel hasar durumları enerji dağıtma kapasitesini olumsuz olarak etkilediğinden, yıkıcı yer hareketi altında çökme riskindeki artışa yol açar. Sundukları yöntem içsel etkilere karşı koyabilmek için düşey yükler ve yatay tasarım kuvvetlerini dikkate almışlardır. Geliştirilen yöntemde dış merkez köşegen elemanların elastik olmayan performanslarının incelenmiştir. Yöntemler sayesinde, statik ve doğrusal olmayan dinamik analizlerde desteklemiştir.

Hassan ve Goel [58], düğüm levhalarının olduğu düzlemdeki köşegen elemanların burkulmaları için, uç birleşimleri köşegen elemanın tam aksenal yük ve eğilme dayanımı için tasarlamışlardır. Çalışmalarına göre, köşegen elemanın düzlem dışına burkulmasında, elemanların uç dönmeleri düğüm levhasının zayıf ekseninde eğilmelere neden olmuştur. Bu durumda düğüm levhalarında oluşan mafsallara ilave olarak, açıklık ortasında plastik mafsallar ile mafsallı uç mesnetleri ortaya çıkmaktadır. Düğüm levhalarında serbest plastik dönmeli mesnet koşulları sağlanarak elverişli performans sağlanabileceği belirtilmiştir.

Lee ve Goel [59], bir başka seçenek olarak da, köşegen levha kullanımı gibi iki yönlü rijitliğe sahip birleşimler detaylandırılabilir. Deney sonuçları göstermektedir ki; zorlanan plastik mafsalların, birleşim levhaları yerine köşegen elemanlarda oluşmasıyla daha büyük enerji tüketme kapasitesine ulaşılabildiklerini göstermiştir.

Sabelli ve ark. [60], yapmış oldukları çalışmalarda merkezi çelik köşegenlerin deprem davranışlarını kontrol eden yapısal karakteristiklerini araştırmışlardır. Geliştirilen tasarım ilkeleri ve ilgili yönetmelikler altında yapılan araştırmalar sonucu bazı sonuçlar

sunmuşlardır. Çalışmada özellikle sismik davranışı gözlemlemek amacıyla 3 ve 6 katlı modeller üretilmiş ve bu modellere merkezi çelik köşegenler yerleştirilmiştir. Köşegenlerin mekanik özellikleri ve yararları tartışılmıştır. Çeşitli boyutlarda ve karakteristiklerdeki sistemlerin etkileri lineer olmayan analizlerin sonuçları ile karşılaştırmalı olarak irdelenmiştir.

Khandelwal ve ark. [61], çelik köşegen elemanların sismik tasarımının kademeli çökme analizi ile ilgili bir çalışma yapmışlardır. Çalışmalarında teorik modeller geliştirmişlerdir. Merkezi ve merkezi olmayan iki tip çelik köşegen tasarımı dikkate alınmıştır. Bu amaçla 10 katlı bir model tasarlanmıştır. Bu yöntemde kritik durumdaki kolon ile ona bitişik çelik köşegenler üzerindeki araştırmalarda yükün köşegenler tarafından başarılı olarak yutulduğu tespit edilmiştir.

Kim ve Seo [62], çalışmalarında çelik köşegenli çerçevelerin yatay yerdeğiştirme durumlarını incelemişlerdir. Çerçeveye mafsallı olarak bağlan köşegenler elastik sismik yükler altında test edilmişlerdir. 3 ve 5 katlı olarak tasarlan modellerin yerdeğiştirme değerleri köşegenler sayesinde birbirlerine yakın tutulabilmiştir.

1.6. Dolgu Duvarlı Çelik Çerçeve Sistemler

Dolgu duvarlı çerçevelerin yatay yük altındaki davranışını elde etmek üzere geliştirilmiş yöntemler genel olarak tüm sistemi bütün halinde ele alan makro yaklaşım ve dolgu ile çerçeve sisteminin mekanik özelliklerini ayrı ele alan mikro yaklaşım olmak üzere iki ana grupta toplanabilmektedir.

Birinci çözüm şeklinde dolgu duvarlı çerçeve sisteminin dayanım, yük-deplasman ve rijitlik özellikleri, tüm sistem birlikte ele alınarak elde edilmeye çalışılmaktadır. Genellikle dolgulu çerçeve sistemindeki dolgu, köşegen basınç çubuğu gibi modellenerek sistem kafes giriş şeklinde analiz edilebilmektedir. Sözü edilen eşdeğer basınç çubuğu yöntemi ile çözüm için çok fazla bir hesaplama ihtiyacı göstermemektedir. Yapılan bazı deneysel çalışmalarla da yöntemin geçerliliği ortaya konmuştur. Bu yöntemde, dolgu duvarın açıklık ve yüksekliğine bağlı olarak hayali eşdeğer basınç çubuğunun etkili genişliği (w) verilen grafikler yardımıyla elde edilmektedir. Daha sonra da sistemin yatay yük taşıma kapasitesi hesaplanabilmektedir. Ancak bu çözüm, elastik sınırlar içerisinde geçerli olurken; çatlama, dolgu duvarı ile çerçeve arasında ayrılma veya derzlerde ayrışma etkisi ile kullanılan malzemelerdeki lineer olmayan davranış etkisini yansıtamamaktadır[7].

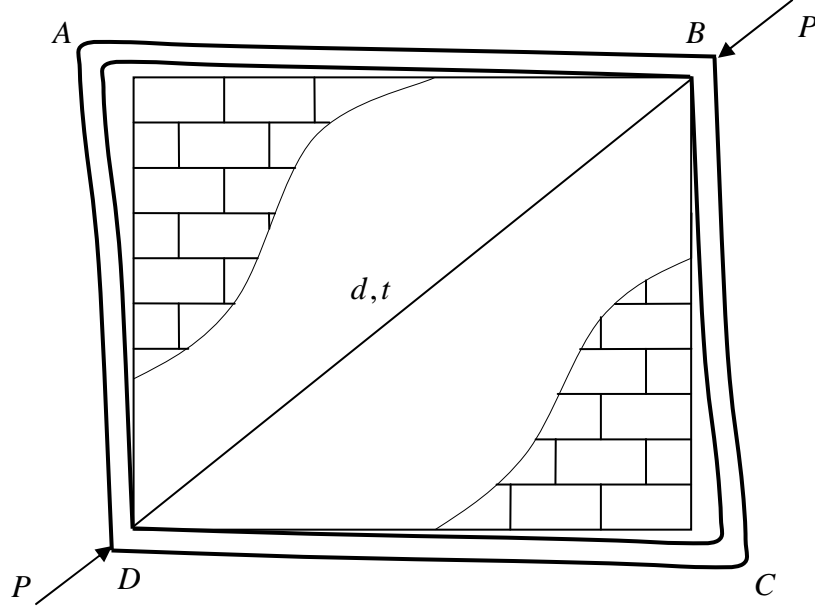
İkinci çözüm yaklaşımında ise çerçeve ve dolgu duvar ayrı modellenerek dolgulu çerçeve sisteminin davranış özellikleri elde edilmeye çalışılmaktadır. İlk yaklaşımın tersine bu yöntemde çözüm için oldukça fazla bir hesaplama ihtiyacı duyulmaktadır. Bu amaçla kullanılan yöntemlerden en yaygın sonlu elemanlar yöntemidir. Sonlu elemanlar yöntemi, yapı çözümlemesinde ve tasarımında son zamanlarda yaygın bir şekilde kullanılmakta olan bir teorik çözüm yöntemidir. Bilgisayar kullanımına uygunluğu sebebiyle, hesaplamalar kolay bir şekilde yapılabilir. Bazı sonlu elemanlar çözüm yönteminde doğrusal elastik kabuller yapılarak çözüm yapıldığı gibi bazı yöntemlerde ise yapı sisteminin gerçek doğrusal olmayan davranış özellikleri, pekleşme, çatlama gibi davranış özellikleri dikkate alınmaktadır. Ancak, bu yöntemde de izotrop olmayan dolgu duvarının izotrop malzeme olarak kabul edilmesi, çerçeve ile dolgu ara yüzeyindeki sürtünmeler ve bağlantı şeklinin tam olarak gerçek durumdaki gibi modellenememesi bu yöntemin dezavantajlarıdır.

1.6.1. Eşdeğer Basınç Çubuğu Metodu

Yatay yük altındaki dolgulu çerçevelerde, dolgu duvarının yerine hayali eşdeğer basınç çubuğu varsayarak yapılan çözüm metoduna eşdeğer basınç çubuğu metodu denmektedir. Söz konusu bu metot ilk defa Smith ve Carter tarafından ortaya atılmış olup, daha sonraki yıllarda değişik araştırmacılar tarafından geliştirilmiştir [7].

Yatay yük altındaki dolgulu çerçevelerde değişik göçme şekli söz konusudur. Eğer dolgu dayanımı çerçeve dayanımından daha büyükse, göçme çerçeve elemanları kolon ve kirişlerde olacaktır. Eğer çerçeve dayanımı dolgu dayanımından daha büyük ise bu durumda göçme dolgu duvarında olacaktır. Yapılan çalışmada, tüm numunelerde dolgu dayanımının çerçeve dayanımından düşük olması sebebiyle ilk göçme hep dolgu duvarında meydana gelmiştir. Yine deneylerden gözlenen dolgu duvarındaki göçme şekli çoğunlukla köşegen doğrultuda eğik çekme çatlaması ve köşelerde basınç ezilmesi şeklinde oluşmuştur. Tuğla dolgu duvarda derzlerde ayrılma şeklinde göçmeye pek rastlanmamıştır. Bunun nedeni ise dolgu duvarının etrafında çelik çerçevenin var olması ve numunelerin üretiminde kullanılan harcın çekme dayanımının yüksek olması sebebiyle derzlerde ayrılma oluşmamasıdır.

Smith ve Carter [7] yaptıkları çalışmada, dolgu duvarlı çerçevelerin eşdeğer bir kafes sistem haline dönüştürülerek, bilinen statik yöntemlerle analizinin yapılabileceğini ileri sürmüşlerdir. Eşdeğer kafes sistemde dolgu duvar, yatay yüklerden dolayı oluşan basınç köşegeni boyunca eşdeğer bir basınç çubuğu olarak tanımlanmış, çerçeve elemanlarının tamamı da çekme veya basınç çubuğu şeklinde düşünülerek, eğilme tesiri taşımadıkları varsayılmıştır (Şekil 1). Yazarların çerçeve elemanlarını kafes sistem elemanları olarak düşünmesinin sebebi, dolgu duvarın çerçeveye yerleştirilmesiyle, daha önce çerçeve elemanlarda yatay yükten oluşan eğilme momentlerinde büyük oranda azalmanın gözlenmiş olmasıdır. Böyle bir yaklaşımın ileri sürülmesinin bir diğer nedeni de çok katlı çerçevelerde kat sayısı arttıkça eksenel kuvvetlerin, eğilme momentlerinden daha etkin hale gelmesidir.



Şekil 1. Yatay yük altındaki dolgulu çerçeve davranışı

Yazarların, çalışmalarında üzerinde önemle durdukları konu, yatay yükün çerçeveye etkimesi sonucu, çerçeve ile dolgu arasındaki birleşim yüzeyi boyunca olan temas uzunluğudur. Çünkü araştırmacılara göre, bir dolgu duvarın köşegen rijitliği ve dayanımının, duvarın sadece malzemesine, kalınlık ve boyutlarına değil, aynı zamanda duvarın yerleştirildiği çerçeveye olan temas uzunluğuna da bağlıdır. Teorik temas uzunluğu (α) için aşağıdaki formülü verilmiş olup, formülün grafik olarak gösterimi de Şekil 2’de sunulmuştur.

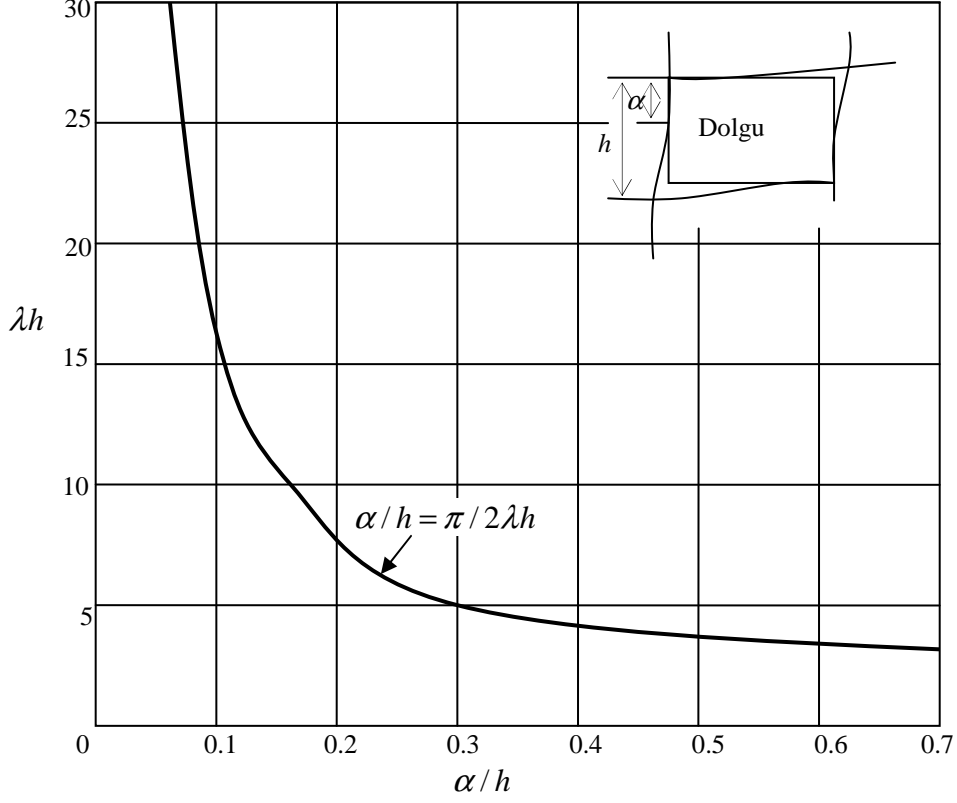
$$\frac{\alpha}{h} = \frac{\pi}{2\lambda h} \quad (1)$$

Bu eşitlikle verilen λh çerçevenin dolguya nispetle rijitliğini belirten boyutsuz parametre olmaktadır ve aşağıdaki eşitlikten elde edilmektedir.

$$\lambda.h = \left[\frac{E_1.t.\sin 2\theta}{4E.I.h} \right]^{1/4} \quad (2)$$

Burada; λ , dolgu ve kolon rölatif rijitlik parametresini, E_1 , dolgu duvarın elastisite modülünü, E , çerçevede kullanılan malzemenin elastisite modülünü, t , dolgu duvar

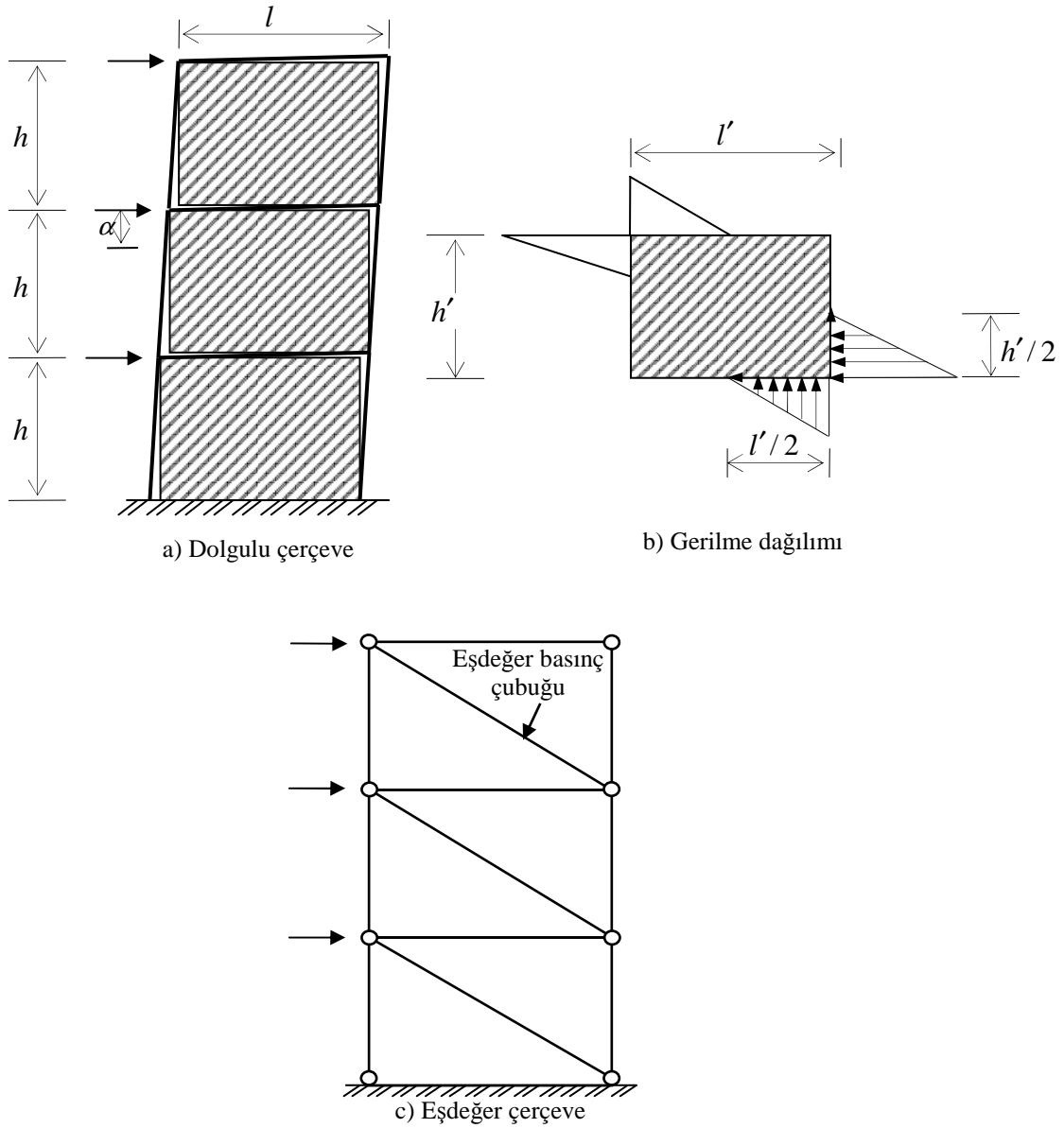
kalınlığını, θ , dolgu köşegeninin yatayla yaptığı açığı, h' , dolgunun yüksekliğini, I , kolonun atalet momentini ve h , çerçeve yüksekliğini ifade etmektedir.



Şekil 2. Dolgu ile kolon temas uzunluğunun λh ile değişimi.

Yapılan deneysel çalışmalarda dolgunun rijitlik ve dayanımına etkiyen faktörlerin tespiti için kolon ve kiriş rijitlikleri değiştirilmiş ve buna göre kolon ile dolgunun temas uzunluğu, kolon rijitliğini etkilediği görülmüştür [7]. Kiriş ile dolgunun temas uzunluğunun kirişin değişen rijitliğinden bağımsız olduğu ve kiriş boyunun yarısı olarak alınabileceği belirtilmiştir. Dolayısıyla da dolgunun davranış özelliklerinin kolon rijitliğine bağlı olduğu ortaya çıkmıştır.

Şekil 3'de çok katlı bir dolgulu bir çerçeve sisteminin yerine eşdeğer basınç çubuğu kabulü ile yapılan modelleme ve dolgu bloğunda meydana gelen doğrusal gerilme dağılımı görülmektedir.



Şekil 3. Eşdeğer basınç çubuğu kabulü ile dolgulu çerçevenin modellenmesi ve dolgu bloğunda meydana gelen gerilme dağılımı

1.6.2. Dolgulu Duvarlarda Göçme Durumları

Eşdeğer basınç çubuğu yöntemi ile dolgulu çerçevelerinin yatay dayanımı analitik olarak elde edilebilmektedir. Tuğla dolgulu çerçeve sisteminde dolgu dayanımı, çerçeve dayanımına göre, zayıf olduğu durumlarda dolgu duvarında 3 tür olası göçme söz konusudur. Bunlar:

1. Tuğla duvarda derzlerde oluşan ayrılma sebebiyle göçme
 2. Tuğla duvarda köşegen doğrultuda oluşan eğik çekme çatlaması sonucu göçme
 3. Tuğla duvarın basınç köşelerinde basınç ezilmesi şeklinde göçme
- şeklindedir.

1.6.2.1. Tuğla Duvarda Derzlerde Oluşan Ayrılma Sebebiyle Göçme

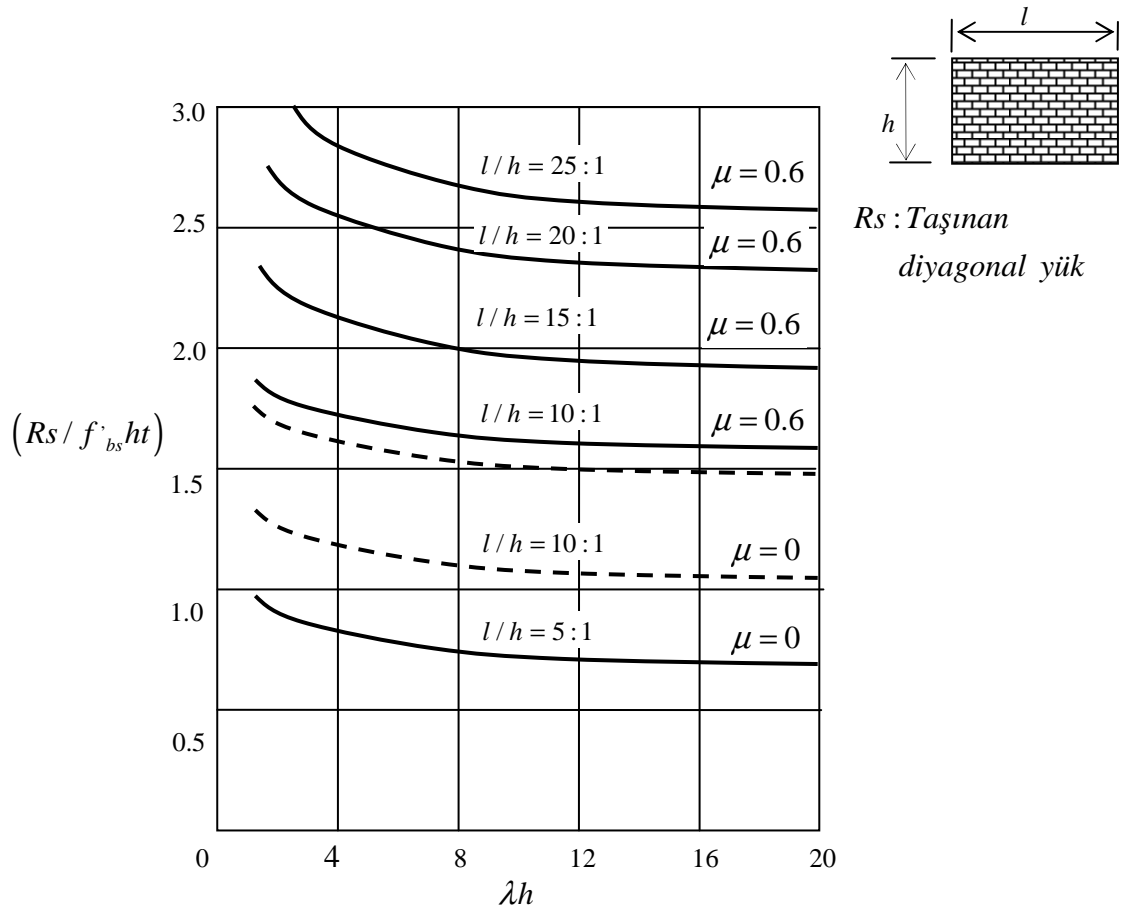
Tuğla dolgulu çerçeve sistemlerin yatay kesme dayanımı tuğla ile derz ara yüzeyinin kesme dayanımına ve sürtünmeye bağlıdır. Ara yüzeyde olan aderans kesme göçmesi durumunda taşınan yatay yük, yatay yük nedeniyle duvarda oluşan yatay kesme ve düşey basınç gerilmesine, tuğla ile harç arasındaki aderans kesme dayanımına ve tuğla ile harç arasındaki sürtünme katsayısına bağlıdır.

Smith[7] yapmış olduğu çalışmada, dolgu duvarında aderans kesme göçmesi oluşturan köşegen yükünün (R_s) aşağıdaki gibi ifade edilebileceğini belirtmiştir.

$$\frac{R_s}{f'_{bs}ht} = \frac{100}{8f_{st}} \frac{1}{[1 - (\mu f_{nt}) / (f_{st})]} \quad (3)$$

Bu ifadede f_{st} ve f_{nt} 100 birim köşegen yük etkitilen 8 birim yüksekliğinde, 1 birim genişliğindeki dolgu duvarında meydana gelen kesme ve düşey gerilme değerleridir. Değişik λh değerleri için f_{st} ve f_{nt} değerleri denklem (3) in sağ tarafına konarak bu değişim grafik olarak Şekil 4 deki gibi elde edilmiştir.

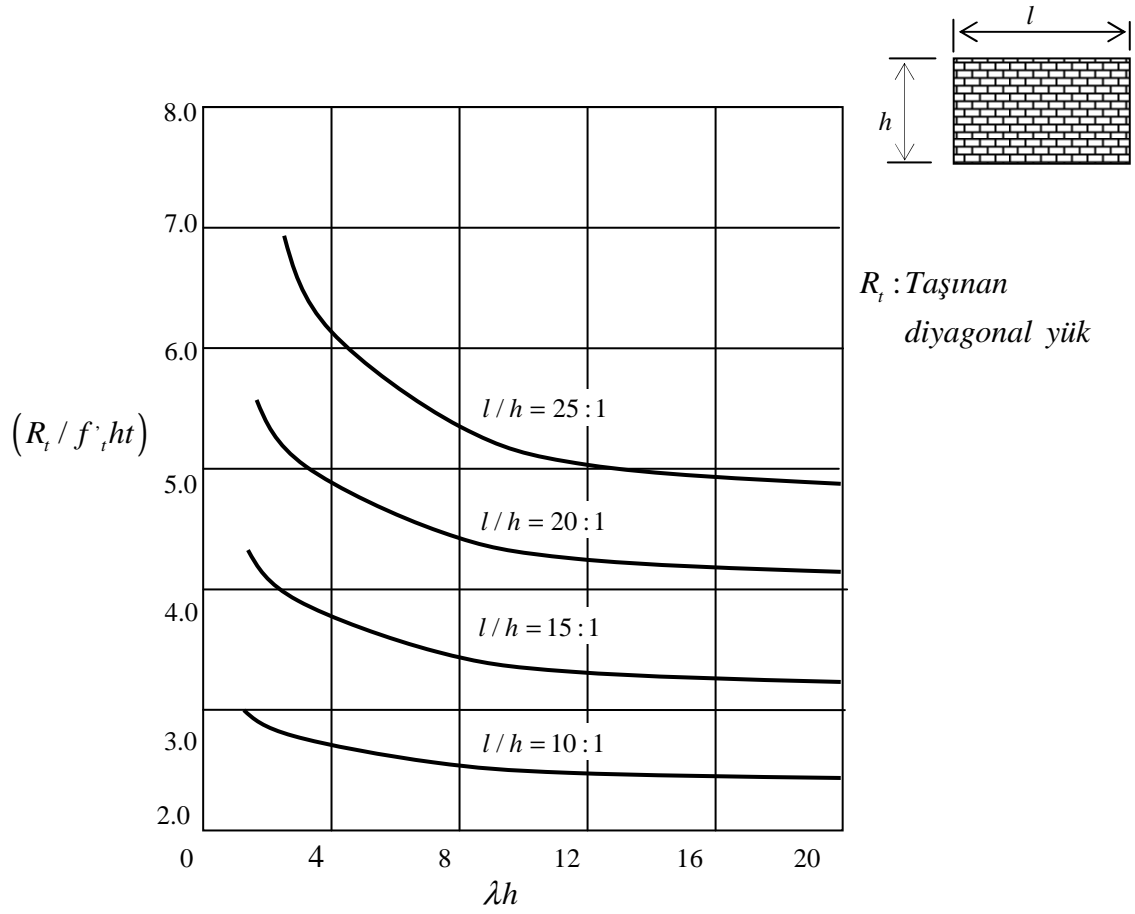
Dolu tuğlalar için μ değeri olarak 0,6 ve boşluklu tuğlalar için ise 0 değerinin alınmasının uygun olacağını belirtmiştir. Hesaplanan λh ve dolgu duvarın $1/h$ değeri kullanılarak $(R_s / f'_{bs}ht)$ değeri elde edilmektedir. Bulunan bu değer paydadaki $(f'_{bs}ht)$ değeri ile çarpılarak tuğla duvarda kesme göçmesine neden olan köşegen kesme kuvveti R_s elde etmektedir. Burada; (f'_{bs}) , tuğla dolgu duvarının aderans kesme dayanımını, h , çerçeve sisteminin kat yüksekliğini, t , dolgu duvarının kalınlığını göstermektedir.



Şekil 4. Tuğla dolgu duvarının kesme dayanımı

1.6.2.2. Tuğla Duvarda Köşegen Doğrultuda Oluşan Eğik Çekme Çatlakları Nedeniyle Göçme

Smith[7] tuğla dolgulu duvarın çekme dayanımını elde etmek üzere değişik (l/h) değerleri için λh değerine bağlı olarak $(R_t / f'_t h t)$ değerinin değişimini grafiksel olarak Şekil 5'deki gibi vermiştir.



Şekil 5. Tuğla dolgu duvarının köşegen çekme dayanımı

Burada, hesaplanan λh ve dolgu duvarın (l/h) değeri kullanılarak Şekil 5'den $(R_t / f_t h t)$ elde edilir. Bulunan bu değer paydadaki $(f_t h t)$ değeri ile çarpılarak tuğla duvarda köşegen çekme çatlağı oluşturan, köşegen kuvvet, R_t hesaplanır. Burada, (f_t) ;; dolgu duvarın çekme dayanımını, h ; çerçeve sisteminin kat yüksekliğini, t ; dolgu duvarının kalınlığını göstermektedir.

1.6.2.3. Tuğla duvarda basınç ezilmesi şeklinde oluşan göçme

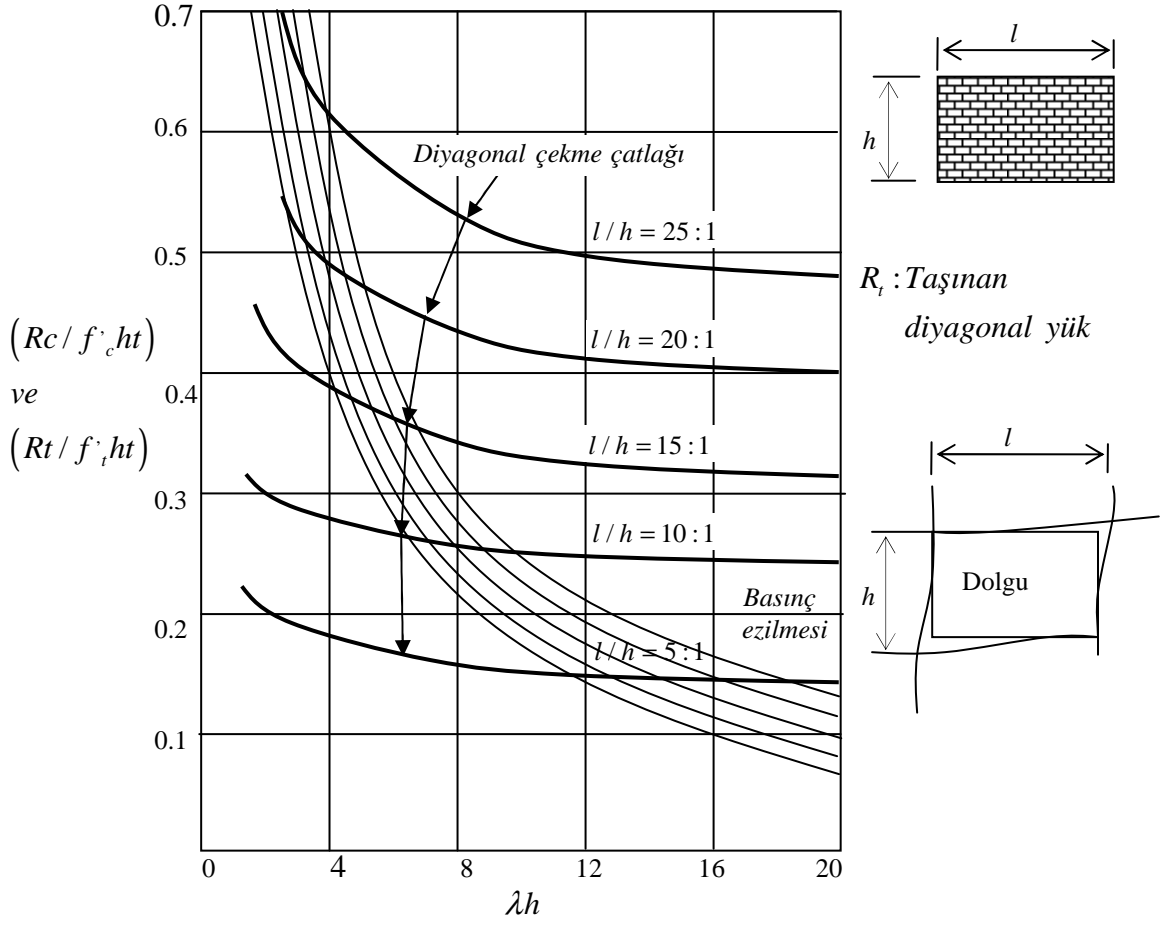
Smith[7], dolgulu çerçevelerde basınç köşegeninin köşelerinde basınç ezilmesi şeklinde yavaş gelişen bir göçme şeklinin de olduğunu belirterek, dolgudaki ezilme bölgesinin (α) çerçeve ile dolgu temas uzunluğu kadar bir kısımda olduğundan hareketle köşegen (Rc) kuvvetini (4) ifadesi ile elde edileceğini belirtmiştir.

$$Rc = \alpha t S \sec \theta f'_c \quad (4)$$

(1) ifadesindeki (α) değeri (4) denkleminde yerine yazılırsa,

$$\frac{Rc}{f'_c ht} = \frac{\pi}{2\lambda h} \sec \theta \quad (5)$$

elde edilmektedir. Değişik (l/h) değerleri için λh değerine bağlı olarak ($Rc/f'_c ht$) değerinin değişimini grafiksel olarak Şekil 6'daki gibi vermiştir. Hesaplanan λh ve dolgu duvarın (l/h) değeri kullanılarak, Şekil 5'den hem ($Rc/f'_c ht$) hem de ($Rt/f'_t ht$) değeri alınır. Bulunan bu değer paydadaki ($f'_c ht$) ve ($f'_t ht$) değerleri ile çarpılarak tuğla duvarda basınç ezilmesine neden olan (Rc) köşegen kuvveti ile tuğla duvarda köşegen çekme çatlakları oluşturan, (Rt) köşegen kuvvet hesaplanabilmektedir. Burada, (f'_c), tuğla duvarın basınç dayanımını, (f'_t), tuğla duvarın çekme dayanımını, h, çerçeve sisteminin kat yüksekliğini ve t, dolgu duvarının kalınlığını göstermektedir.



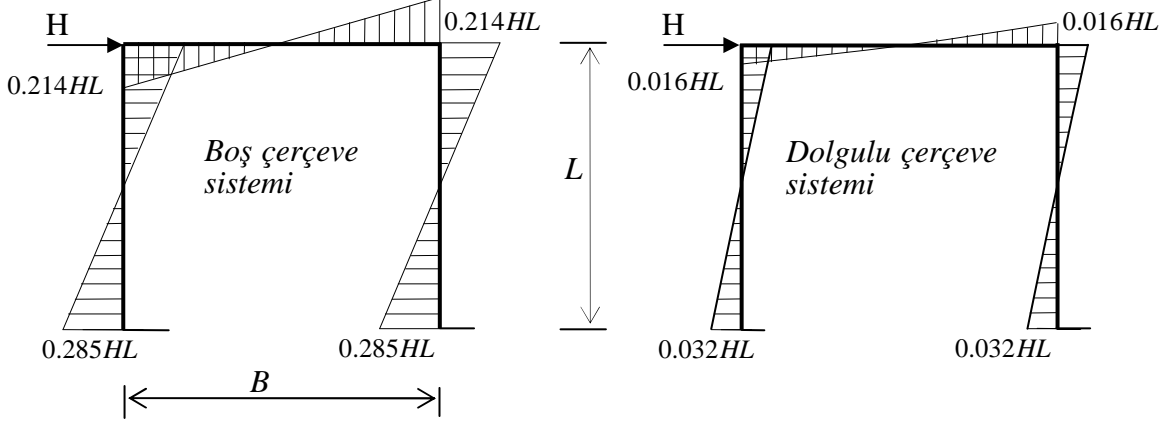
Şekil 6. Tuğla dolgu duvarının basınç dayanımı

Tuğla dolgu duvarın çatlama dayanımını bulmak için yukarıda açıklanan dolgu duvarda kesme çatlama oluşturur R_c kuvveti ile köşegen çekme çatlak oluşturur R_t kuvvetleri hesaplanır. Bulunan bu değerlerden küçük olanı dolgu bloğunun çatlama yükü olarak kabul edilir. Ancak çatlak oluşumu her zaman dolgu bloğunun göçmesi anlamına gelmemektedir. Çatlak oluşumundan sonra bile dolgu bloğu yük taşımaya devam etmektedir.

1.6.3. Dolgulu Çerçevelerin Yatay Rijitliğinin Bulunması

Eşdeğer basınç çubuğu yöntemi ile dolgulu çerçevelerinin yatay rijitliği analitik olarak elde edilebilmektedir. Bu amaçla Smith [7] dolgulu çerçeve sistemin köşegen eşdeğer basınç çubuğu kullanarak kafes giriş şeklinde modellenmiş ve tüm çerçeve elemanların sadece aksenal kuvvet taşıdıklarını kabul etmiştir. Bu kabulün nedeni, dolgu

bloğunun varlığı çerçeve elemanlarda meydana gelen eğilme etkisini oldukça azaltmaktadır. Bu amaçla tek gözlü kare bir çerçevede dolgu olmaması ve dolgu olması durumlarında meydana gelen eğilme momenti diyagramları Şekil 7 de verilmiştir.



Şekil 7. Boş ve dolgulu çerçevede oluşan eğilme momentlerinin karşılaştırılması

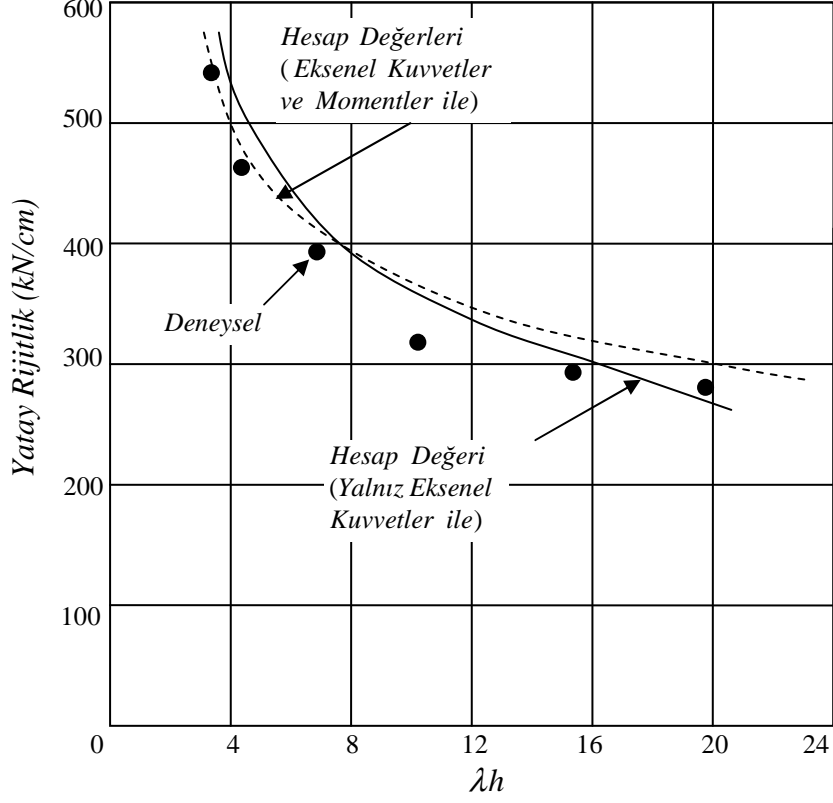
Şekilden görüleceği üzere dolgu bloğu çerçeve elemanlarında meydana gelen eğilme momentini oldukça azaltmaktadır. Yine çerçeve elemanlarının eğilme momenti ile birlikte aksel kuvvet ve sadece aksel kuvvet taşıdıkları kabulü ile hesaplanan yatay rijitlikler de Şekil 8 de sunulmuştur. Çerçeve elemanların sadece aksel kuvvet taşıdığı kabulü yatay rijitlik hesaplarında çok fazla bir hataya sebep olmamaktadır.

Dolgulu çerçeve sistemin eşdeğer basınç çubuğu kullanarak kafes kiriş şeklinde modelleyip dolgulu çerçevenin yatay rijitliğini hesaplamak oldukça basit bir şekilde gerçekleştirilebilmektedir. Kafes kiriş şeklinde modellenen dolgulu çerçeve sisteminin yatay rijitliği denklem (6) ile hesaplanabilmektedir.

$$\delta = H \left[\sum_F \frac{FUL}{A_i E} + \frac{H}{2H_c} \sum_s \frac{FUL}{E} \left(\frac{A_i - A_c}{A_i A_c} \right) \right] \quad (6)$$

Burada, δ , yatay deplasman, H, dolgulu çerçeveye uygulanan yatay yükü, \sum_F , köşegen elemanlarda dahil tüm kafes kiriş elemanlarının toplamını, \sum_s , sadece köşegen elemanların toplamını, F, birim yükleme sonucu elemanlarda meydana gelen çubuk kuvvetlerini, U, deplasmanı aranan düğüme uygulanan birim yükleme sonucu elemanlarda

meydana gelen çubuk kuvvetlerini, A_1 , ($R/R_c=0$) durumunda tüm elemanların kesit alanını, A_c , ($R/R_c=1$) durumunda köşegen elemanların kesit alanını, E , çubuk elemanların elastisite modülü (dolgu duvarı için başlangıç teğet modülü), H_c , dolgulu çerçevenin özelliklerine bağlı olarak hesaplanan $(R_c / f_c h t)$ değeri kullanılarak bulunan yatay göçme yükünü, L , çubuk eleman boyunu göstermektedir.



Şekil 8. Dolgulu çerçevelerin hesaplanan rijitlikleri [63]

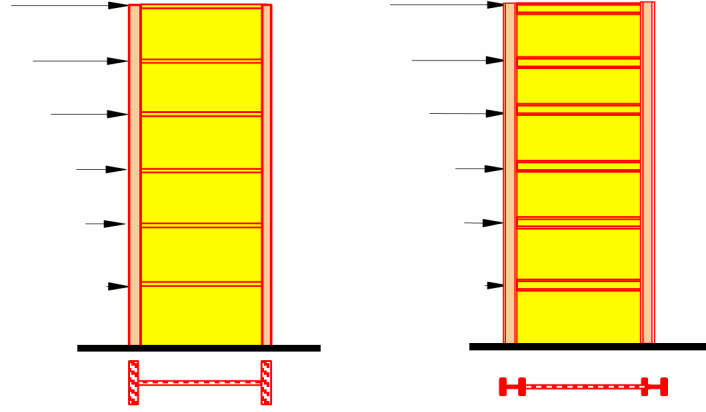
1.7. Çelik Levha Perde Duvarlı Çelik Çerçeve Sistemler

Yapılarda rüzgar ve depremin sebep olduğu yatay yükleri taşımanın farklı yöntemleri vardır. Çelik yapılar için bu yöntemlerden en bilinenleri çelik köşegenli çerçeveler, kolon-kiriş birleşimlerinin moment aktaracak şekilde tasarlandığı rijit çerçeveler veya betonarme perdeli çerçevelerdir. Çelik levha perdeli çerçeve sistemleri son yıllarda bu bilinen yöntemlere alternatif teşkil edebilecek kadar dikkat çeken bir yöntemdir. Bu yöntemde çelik levha perdeler bir kat yüksekliğinde ve bir açıklık genişliğinde imal edilip, bina çerçevesi içerisine düşey olarak yerleştirilmekte ve levhayı çevreleyen kiriş ve kolonlara bağlanmaktadır (Şekil 9). Bu tasarım şekli temel üst kotundan itibaren bina yüksekliği boyunca her katta tekrarlanmaktadır [35].



Şekil 9. Kanada'da 6 katlı çelik levha perdeli bina

Çelik levha perdeli sistemlerin oluşturulması için çelik levha ile bu levhaların bağlanacağı kolonlara ve kirişlere gereksinim vardır (Şekil 10). Levhalar kaynaklı ya da cıvatalı birleşimlerle çevre kolon ve kiriş elemanlara her katta tespit edilir. Bu şekilde her katta dört kenarı basit mesnetli çelik levha panellerden oluşan bir sistem oluşturulmuş olmaktadır. Şekil 11'de klasik köşegen elemanlı uygulamalar ile levha perde düzleminde açılabilir pencere yada kapı boşlukları oluşturulması açısından klasik köşegen sisteme karşılık gelen çelik levha perde uygulama şekilleri gösterilmiştir. Görüldüğü gibi levha üzerinde kapı/pencere boşluğu açılması söz konusu ise levha üzerine tespit edilen berkitme elemanları ile boşluğun sebep olduğu rijitlik kaybı karşılanmaktadır.



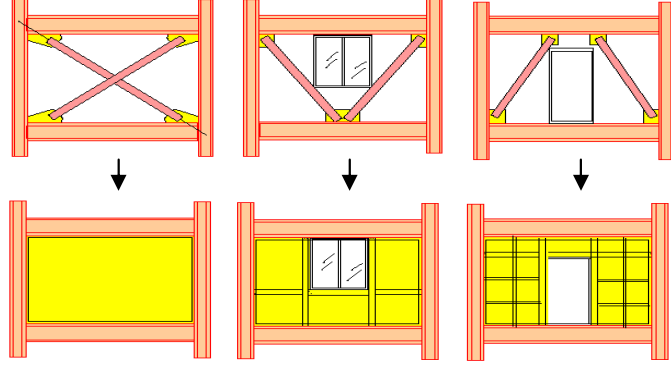
Şekil 10. Çelik levha perdeli çerçevenin ana elemanları; kolonlar, kat kirişleri ve çelik levhalar

Çelik levha perdeli sistemler ile uygun tasarım kriterlerinin kullanılması halinde depremlerde oldukça iyi davranış gösterebilecek, sünek, ekonomik ve fonksiyonel sistemlerin elde edilmesi mümkündür[45]. Çelik levhalı perde sistemlerin olumlu yönleri aşağıdaki gibi sıralanabilir[35].

Uygun tasarlanıp, detaylandırılmış çelik levha perdeli sistemlerin yeterli düzeyde sünekliği ve depremin enerjisini sönmleme kapasitesi vardır. Çelik levha perdeli sistemlerin başlangıç rijitliklerinin yüksek olması nedeniyle kat ötelenmelerinin etkili bir şekilde kontrol edilmesi mümkündür. Kalınlıklarının az olması nedeniyle daha az yer kaplarlar, mimariyi olumsuz yönde etkilemezler. Betonarme perdelerle karşılaştırıldığında oldukça hafiftirler. Böylece kolonlara ve temellere daha az yük aktarırlar. Yapı daha hafif olduğundan gelen deprem yükleri de azalmaktadır. Yapımları kolay, imalatları hızlıdır. Beton dökmenin zor olduğu iklim koşullarına uygundur.

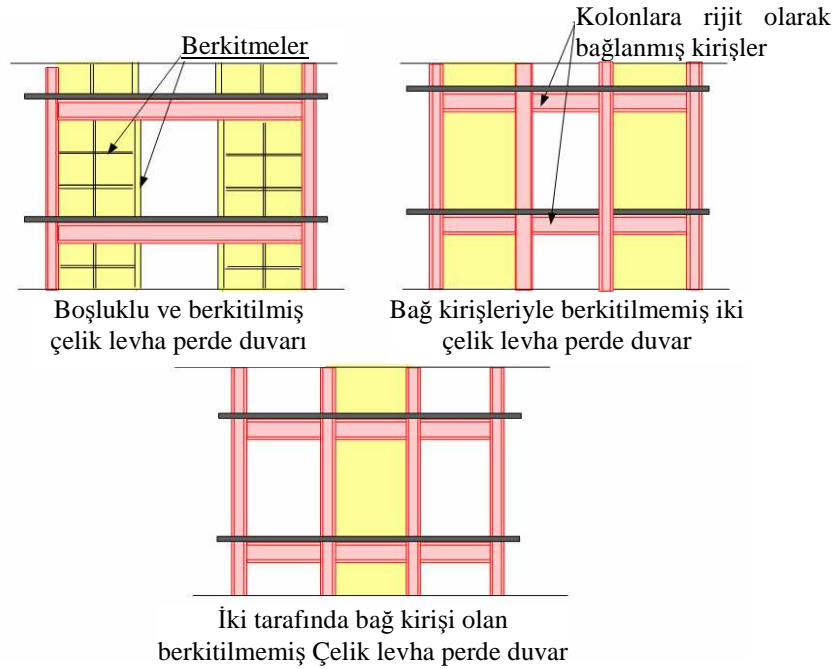
Çelik levha perdeli sistemlerin ilk uygulamalarında, perdeler düşey ve yatay berkitmelere sahiptiler. Bu berkitmelerin perdelerle kaynaklanması perdelerin makaslama dayanımını arttırmaktadır. Ancak günümüzde çelik fabrikasyon işçiliğinde berkitmelerin perdelerle kaynaklanması ekonomik olmayacağı düşünülmektedir. Son yıllarda yapılan araştırmalara göre çelik levhaların yalnız başına (berkitmesiz olarak) çok sünek performans sergilediğini ve istenilen etkinlikte davranış gösterdiğini belirtmektedir [35]. Sonuç olarak çelik levhalı perdelerin birçok uygulamasında berkitmesiz çelik levhalar etkili ve ekonomik bir şekilde kullanılmıştır.

Bu sistemlerde veya kapı boşluklarının bulunduğu çelik köşegenli sistemlerle karşılaştırıldığında,, pencere ve kapı boşluklarının oluşturulabilmesi için Şekil 11 de gösterildiği gibi boşluk çevresinin berkitilmesi gerekmektedir.



Şekil 11. Köşegen elemanlı uygulamalar ve bunların levha perdeli sistem karşılıkları

Çelik levhalı perdelerde çekme bölgesi hareketinin devamlılığını sağlamak için boşluklar sadece kolon alanlarının yarı yüksekliğinde ve kiriş alanının yarı açıklığında olmalıdır. Diğer bir çözüm ise Şekil 12’ de gösterildiği gibi iki ayrı çelik levha perdenin başka bir çift kiriş ile birbirlerine bağlanmasıdır. İki ayrı çelik levhanın kullanıldığı bu sistem çok sünek olmakta ve arzulanan performansı gösterebilmektedir[41].



Şekil 12. Boşluklu çelik levha perde duvar örnekleri

1.7.1. Çelik Levha Perdelerin Kullanımı ve Sismik Davranışı

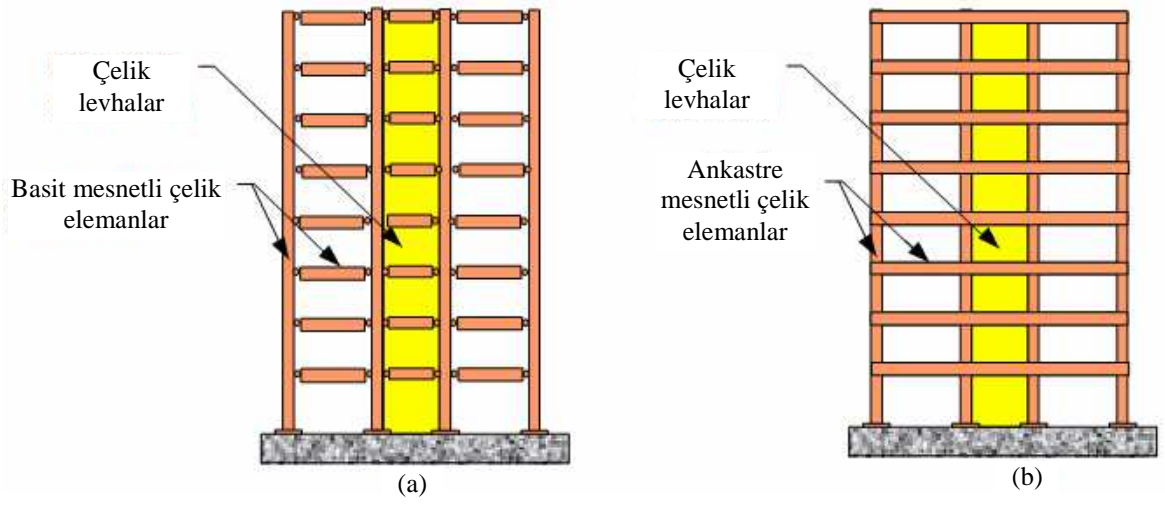
1970'lerde çelik levha perdeleri birçok modern ve önemli yapılarda, yatay yüke karşı koyacak ana sistem olarak kullanılmıştır. Başlangıçta, Japonya'da yapılan yeni inşaatlarda ve Amerika'daki yeni yapılan yapılar kadar, var olan yapıları da sismik olarak güçlendirmek için berkitilmiş çelik levha perdeler, 1980'lerde ve 1990'larda, Amerika ve Kanada'da berkitilmemiş çelik levha perdeleri kullanılmıştır. Birçok örnekte, çelik levha perdeleri betonla kaplanarak bir şekilde kompozit perdeler inşa edilmiştir [35].

Çelik levha perde duvarlarının sismik tasarımı için literatürde ve ABD yönetmeliklerinde önemli bilgiler bulunmaktadır. Bununla birlikte, şu anki ABD'deki sismik yönetmelikler, çelik levha perde duvarlarında sismik tasarım parametreleri için özel değerler bulunmamaktadır. Özellikle, ABD yönetmeliklerinde çelik levha perde duvar sistemleri için tepki modifikasyon faktörü (R) ve sistem aşırı dayanım faktörü gibi sismik tasarım parametreleri için özel değerler bulunmaktadır. Aynı zamanda, çelik levha perde duvarlarının detaylarına ilişkin maddeler de ABD yönetmeliklerinde yoktur.

Kanada'nın Ulusal Yapı Yönetmeliği (CCBFC, 1995) çelik levha perde duvarlarının modellenmesi ve tasarımı üzerine maddelere sahiptir. Kanada yönetmeliğindeki çelik levha perde duvar sistemi göreceli olarak ince plakalı ve yatay veya düşey berkitmesizdir. Kat kesmeleri, ince plaka burkulduktan sonra, ince plakanın çekme bölgesinin hareketiyle taşındığı kabul edilir. Plakada köşegen basıncın göreceli olarak küçük burkulma kapasitesi ihmal edilmektedir.

1.7.2. Çelik Levha Perde Duvarların Depreme Göre Tasarımı

Şekil 13'de Çelik levha perde duvarların iki tipi gösterilmiştir. Bunlar; standart ve ikili sistemlerdir. Standart çelik levha perde duvar sistemlerde kiriş-kolon birleşimleri basit mesnetli olarak bağlanmıştır. Dolayısıyla da, Çelik levha perde duvarlar, tasarımda sistem içerisinde yatay yükleri karşılayan tek eleman olarak kabul edilmektedir. Çelik yapılardaki bu tür bağlantılar önemli derecede moment taşıma kapasitesine sahiptirler ve rijit bağlantıdan daha çok "yarı rijit" şekilde davranış gösterirler. İkili çelik levha perde duvar sistemde ise, çelik levha perde duvar düzlemine paralel veya perde duvarın düzlemi içerisinde moment aktaran çerçeveler bulunmaktadır. Bu durumda, moment aktaran çerçeveler çelik levha perde duvarına destek olmaktadır.



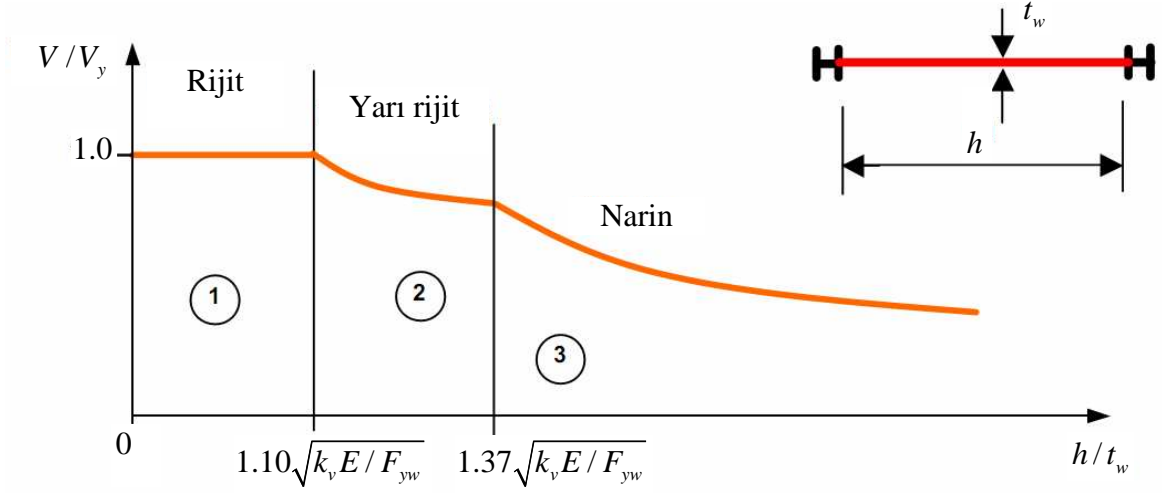
Şekil 13. Çelik levha perde duvarların iki tipi: (a) standart ve; (b) ikili sistem[35]

Çelik levha perde duvarlar berkitilmiş veya berkitilmemiş olarak inşa edilebilmektedir. ABD'de Çelik levha perde duvarlar önceleri özellikle sismik güçlendirme için duvarlar berkitilerek kullanılmıştır. Japonya'da ise neredeyse tüm çelik levha perde duvar uygulamalarındaki çelik levhalar da berkitilmişti. Ancak son on yılda, birçok çelik levha perde duvarlar ABD ve Kanada'da berkitilmemiş çelik levha perde duvarlar olarak tasarlanmış ve inşa edilmiştir [35].

Berkitilmiş levha kullanımında amaç, akmadan önce çelik levhanın burkulmasını önlemektir. Berkitilmemiş çelik levha perde duvarlarda, levhanın burkulmasına duvarda köşegen çekme bölgesi oluşması nedeni ile izin verilmektedir. Berkitilmiş ve berkitilmemiş çelik levha duvarlar aynı kesme kuvvetini karşılayacak şekilde tasarlandığında berkitilmiş çelik levha perde duvarlar, berkitilmemiş çelik levha perde duvarlarla karşılaştırıldığında daha az kalınlığa sahip olabilmektedir.

Berkitilmiş veya berkitilmemiş çelik levha perde duvar seçiminde, tasarımcı, sismik performansı, mimari gereksinimleri, ekonomiyi, üretim kolaylığını, nakliye ve inşa edilebilirliğini göz önünde bulundurması gerekmektedir. Ancak ekonomik açıdan, çelik levhaya kaynaklanan berkitmeler çok yoğun iş gücü gerektirdiğinden, berkitilmemiş çelik levha perde duvarların maliyeti daha azdır. Bununla birlikte; aynı kalınlıktaki çelik levhalar için, berkitilmiş perde duvarların kesme dayanımı, berkitilmemiş levha perde duvarlarının kesme dayanımında daha fazla olmaktadır.

Çelik levha perde duvarının kesme dayanımına karşı narinlik oranının şematik değişimi Şekil 14'de verilmektedir. Bir perde duvarının narinliğe bağlı olarak, perde duvarı, rijit, yarı rijit ve narin olarak şekilde gösterildiği gibi bölgelere ayrılabilir.

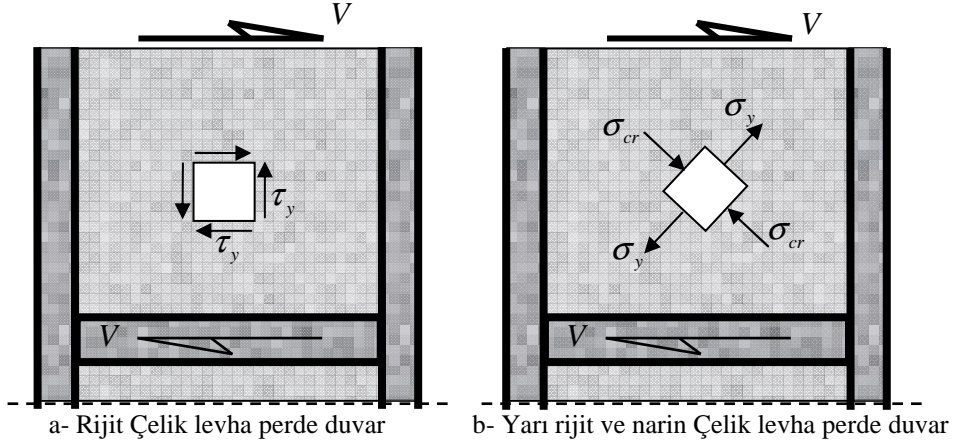


Şekil 14. Çelik levha perde duvarlarının davranışının üç bölgesi[35]

1.Bölüm: h , perde duvarın yatay açıklığını, t_w , levha kalınlığını göstermek üzere h/t_w tanımlanan duvarın narinliğinin, $\lambda_p = 1.10\sqrt{k_v E / F_{yw}}$ küçük olması durumudur. Bu ifade de k_v , plaka burkulma katsayısını, E , malzemenin elastisite modülünü, F_{yw} çelik levha perde duvarın belirlenmiş akma dayanımını göstermektedir. Bu durumdaki Çelik levha perde duvarlar "rijit" olarak adlandırılmaktadır. Bu tür perde duvarlar Şekil 15-a'da gösterildiği gibi, kesme kuvveti altında çelik levhanın, burkulma gözlenmeden önce akma dayanımına ulaşması beklenmektedir.

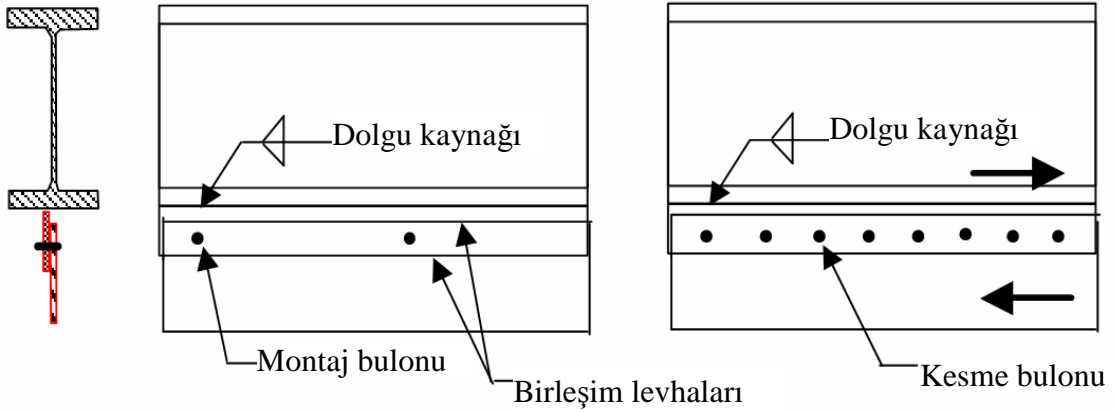
2.Bölüm: h/t_w 'nin $\lambda_p = 1.10\sqrt{k_v E / F_{yw}}$ ile $\lambda_p = 1.37\sqrt{k_v E / F_{yw}}$ arasında olması durumudur. Bu durumdaki Çelik levha perde duvarlar "yarı rijit" olarak adlandırılmaktadır. Bu tür çelik levha perde duvarlar kesme kuvvetinden dolayı akma dayanımına ulaşır ulaşmaz burkulmaktadır Şekil 15-b'de gösterildiği gibi kat kesme kuvveti, çekme ve basınç köşegen kuvvetlerinin yatay bileşenleri tarafından karşılanır.

3.Bölüm: Duvar çok narindir (h/t_w 'nin λ_p 'den daha büyüktür). Bu bölüm içerisindeki perde duvarları "narin" olarak adlandırılırlar ve neredeyse elastik iken burkulması beklenir.



Şekil 15 (a-b). Kesmeye direnen çelik levha perde duvarlarının "kesme akması" ve çekme bölgesi hareketi[35]

Çelik levha perde duvarın sınır kirişleri ve kolonlarına birleşimlerinin tipik iki detayı Şekil 16'de gösterilmiştir. Kaynaklı birleşimler, birleşim plakaları (kanatçık plakaları) ve kaynaklar, önceki bölümde olarak verilen, duvarın 'beklenen kesme akması' mukavemetini geliştirecek şekilde tasarlanmalıdır.



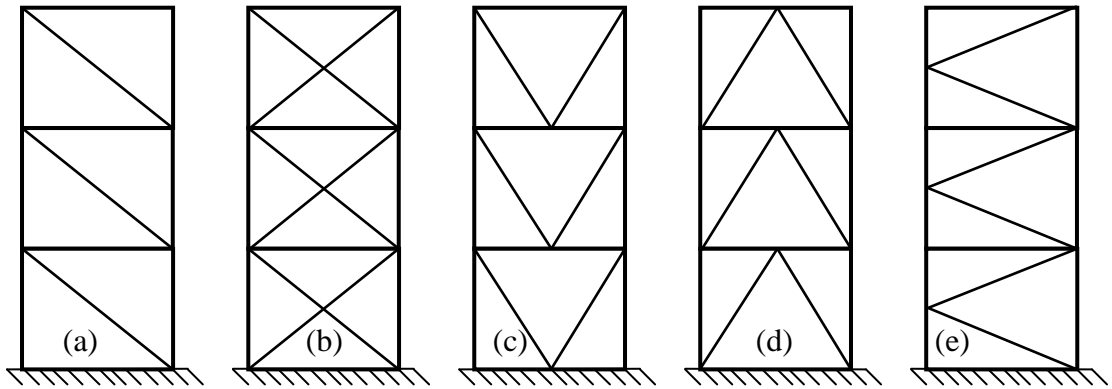
Şekil 16. Çelik levha perde duvarların sınır kiriş ve kolonlarla birleşimleri[35]

Çelik levhaların birleşimlerinin sahada bulonlu olarak yapılması durumunda bulonların davranış olarak duvarın beklenen kesme dayanımına katkıda bulunmaları sağlanmalıdır. Böylece çekme bölgesinde akma meydana gelmeden blonlarda kayma oluşmaktadır. Blonlarda meydana gelen kaymalar servis yükleme seviyesinden oldukça yukarıda meydana geldiğinden olumsuz bir durum oluşturmamaktadır.

1.8. Çelik Köşegenli Çelik Çerçeve Sistemler

1.8.1. Merkezi Köşegenli Çerçeveler

Çelik yapıların yanal stabilitesini arttırmak için kullanılan yöntemlerden biri olan merkezi çelik köşegen elemanlar çoğunlukla aksel kuvvet etkisindedir. Merkezi köşegenli çerçeveler üzerlerine etkiyen yüklere karşı, elastik sınır içerisinde yeterli yanal rijitliği sağlayabilecek şekilde tasarlanmaktadır. Bu çerçeve sistemleri kullanım ve hasar kontrolü sınır durumları olması gereken tüm gereksinimleri karşılamaktadır. Ancak bu tip çerçeveler, servis yükleri altındaki bu iyi davranışına rağmen, tersinir yükler altında enerji tüketme kapasiteleri sınırlıdır. Dolayısıyla yıkıcı depremlere karşı uygun davranış göstermemektedirler[64]. Yapılan deneysel çalışmalar merkezi köşegenli çerçevelerin tersinir yüklere maruz kaldığında dayanım ve rijitlik yönünden hızlı bir azalmaya uğradığı doğrulanmıştır[65]. Merkezi köşegenli çerçeveler, yatay yüklerin hepsini ya da sadece bir kısmını taşıyacak şekilde tasarlanmaktadır. Başlangıçta kiriş kolon birleşimleri sadece kesme kuvvetlerini aktarmakta, ikinci durumdaysa hem kesme kuvvetlerini hem de eğilme momentlerini aktarmaktadır. Bu tür çerçevelerde birleşimler her iki durumda da yeterli dayanıma sahip olmalıdırlar. Köşegen elemanlar, rijit düğüm noktalı çerçevelerde bile çoğunlukla aksel kuvvetler etkisinde kalacak şekilde tasarlanmalıdır. Merkezi çelik köşegenli sistemlerde uygulama biçimleri Şekil 17’de gösterilmiştir. Bu şekilde; Tek köşegenli çerçeveler (a), X - şeklindeki köşegenli çerçeveler (b), V - şeklindeki köşegenli çerçeveler (c), Ters V - şeklindeki köşegenli çerçeveler (d), K - şeklindeki köşegenli çerçeveler (e) gösterilmektedir.

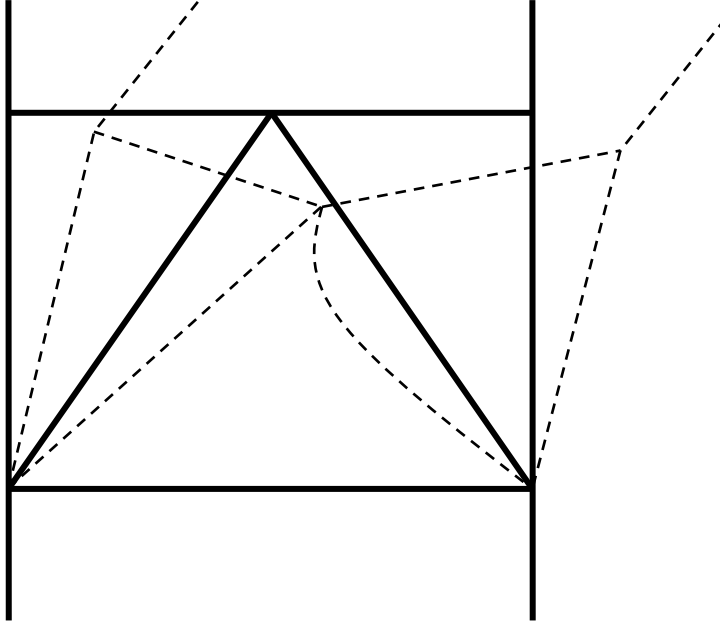


Şekil 17. Merkezi köşegenli çerçevelerin tipik biçimleri [66]

Tek köşegenli çerçevelerde kullanılan çelik elemanlar hem basınç hem de çekmeyi taşıyabilecek şekilde tasarlanmaktadır.

X - şeklindeki köşegenli çerçevelerde her zaman köşegenlerden biri çekmeye diğeri de basınca çalışmaktadır. Gelen deprem enerjisi esas olarak çekme köşegeniyle tüketilmektedir.

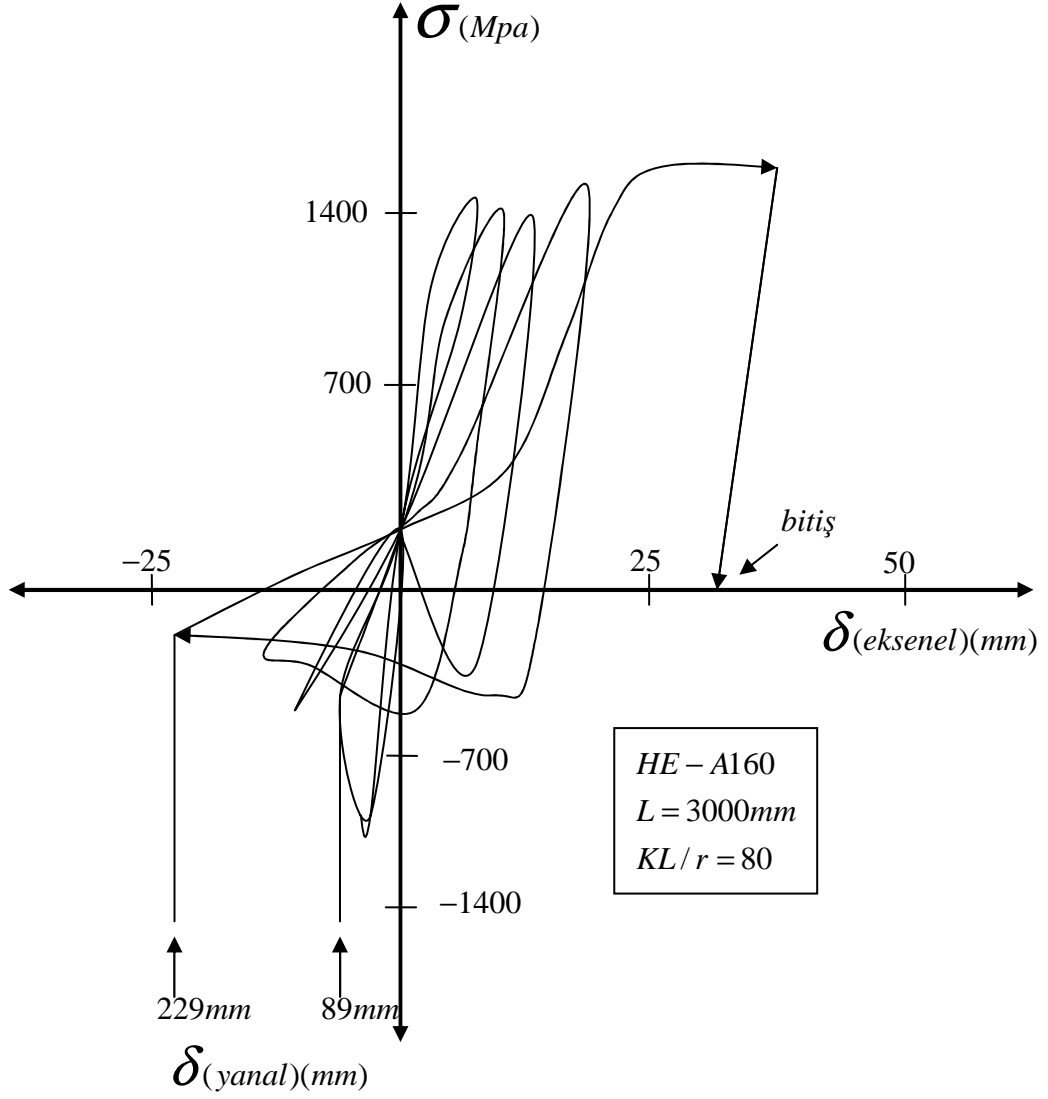
Çekme köşegeni ve basınç köşegeni her zaman V ve ters V - şeklindeki köşegenli çerçevelerde bulunmaktadır. Bu tipte X - şeklindeki köşegenli çerçeveler arasındaki ana farklılık, çekme köşegeniyle basınç köşegeninin davranışlarının farklı olmasından dolayı, V - şeklindeki köşegenli çerçevelerde köşegen elemanlardaki aksel kuvvetlerden oluşan düşey etkidir. Bunun sonucunda yatay elemanda eğilme etkisi oluşmaktadır. Böyle tasarlanan yük taşıma kapasitesi tersinir yatay yüklere bağlıdır ve yatay elemanın sürekli elemandan oluşmasıyla elverişli olabilir (Şekil 18). Her ne kadar yatay eleman sürekli elemandan oluşsa da, V - şeklindeki köşegenli çerçevede burkulma sonrası dayanımda küçük bir azaltma olmaktadır[67].



Şekil 18. Ters V - Şeklindeki Köşegenli Çerçevelerde Göçme Mekanizması [66]

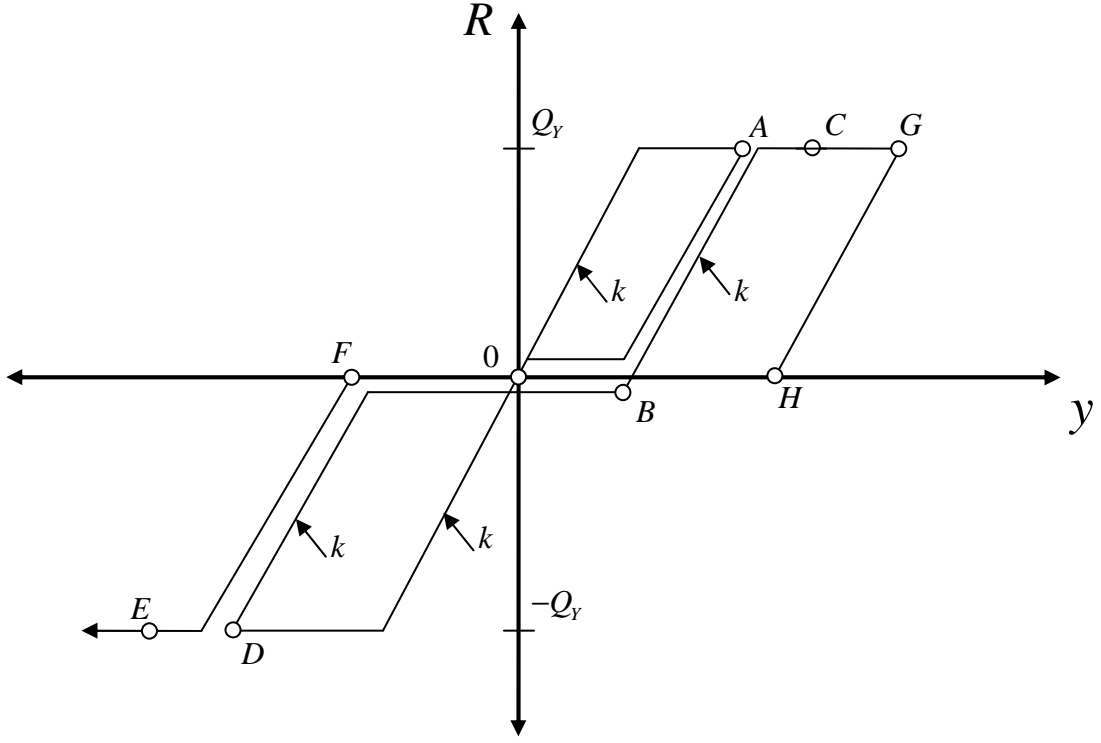
K şeklindeki köşegenli çerçevelerin güvenilirliği özellikle şiddetli deprem bölgelerinde yeterli değildir. Bu tip çerçeveler, V - şeklindeki köşegenli çerçevelerle benzer davranış gösterilmektedir. Ancak kolonun ortasında oluşan yatay deplasmanın kolonun yanal burkulmasına neden olmasından dolayı ani göçme olma olasılığından dolayı tehlike daha fazladır.

Merkezi köşegenlerin tersinir yüklemelerde çok narin olması durumunda rijitlikleri yoktur (Şekil 19). Tersinir yükleme durumunda, köşegen elemanın hızla ilk konumuna geldiği ve çekme kuvvetini çok çabuk aldığı kabul edilmektedir. Bu çabukluk köşegen elemanda darbe etkisine ve birleşimde gevrek kırılmaya neden olabilmektedir. Köşegen elemanların burkulmasıyla bu elemanlardaki tersinir plastik eğilmelerde artış olmaktadır. Tersinir yüklemelerden dolayı eğilmelerden ortaya çıkan eğrilik büyük olabilmekte ve yerel burkulma oluşabilmektedir. Bu yerel burkulma nedeniyle birleşim levhalarında çatlama ve kırılma oluşabilmektedir. Diğer yandan azalmış narinlik değerine (yaklaşık olarak 60-80'den düşük) sahip köşegen elemanlarda basınç altında enerjinin tüketilmesi önemli olmaktadır. Köşegen elemanların ve birleşimlerinin plastik davranışının deneysel incelemesi [68]'de yapılmıştır. Buna göre basınç altındaki köşegen elemanların gelen deprem enerjisinin tüketilmesine katkısı oldukça azdır. Dolayısıyla bu katkı çok narin köşegen elemanlar kullanıldığında ihmal edilmektedir. Narin köşegen elemanların tersinir yükleme altındaki davranışına tipik bir örnek Şekil 21'de verilmektedir. Bu şekilde de görüldüğü gibi çelik köşegenler çekme ve basınçta farklı davranış sergilemektedir.



Şekil 19. Narin Köşegen Elemanların Tersinir Yükleme Altındaki Davranışı [83]

Narin köşegen elemanlara sahip X - şeklindeki köşegenli elemanların tersinir yükleme altındaki davranışı iki köşegen elemanın tersinir davranışının birleşiminden oluşur X - şeklindeki köşegenli elemanların tersinir yükleme altındaki davranışına tipik bir örnek Şekil 20’de verilmektedir. Bu şekilde de görüldüğü gibi çekme ve basınçta simetrik davranış sergilemektedir.



Şekil 20. Narin X - Şeklindeki Köşegenli Çerçevesinin Tersinir Modeli[66]

V şeklindeki köşegenli çerçevelerin tersinir davranışı üzerinde, yatay elemanın tersinir yükleme etkisi altındaki eğilmesi ile köşegen elemanların tersinir eksenel şekildeğişimleri arasındaki etkileşimi temel bir rol oynamaktadır (Şekil 21). Bu şekilde de görüldüğü gibi V şeklindeki köşegenli çerçevelerin tersinir davranışını açıklamak için tersinir analitik bir model düşünülmüştür [69]. Burada $N1$ ve $N2$ sırasıyla köşegen elemanlardaki çekme ve basınç eksenel kuvvetlerini göstermektedir.

$$\begin{aligned} N1 \cos \alpha + N2 \cos \alpha &= H \\ N1 \sin \alpha - N2 \sin \alpha &= H \end{aligned} \quad (7)$$

olarak yazılabilir. H kat kesme kuvveti olarak tanımlanan yatay dış kuvvet ve Y ise yatay eleman ile köşegen elemanlar arasındaki etkileşim kuvvetini göstermektedir.

D noktasının deplasman bileşenleri δ_x ve δ_y ile köşegen elemanların eksenel deplasmanları δ_1 ve δ_2 arasındaki ilişki virtüel iş teorisiyle,

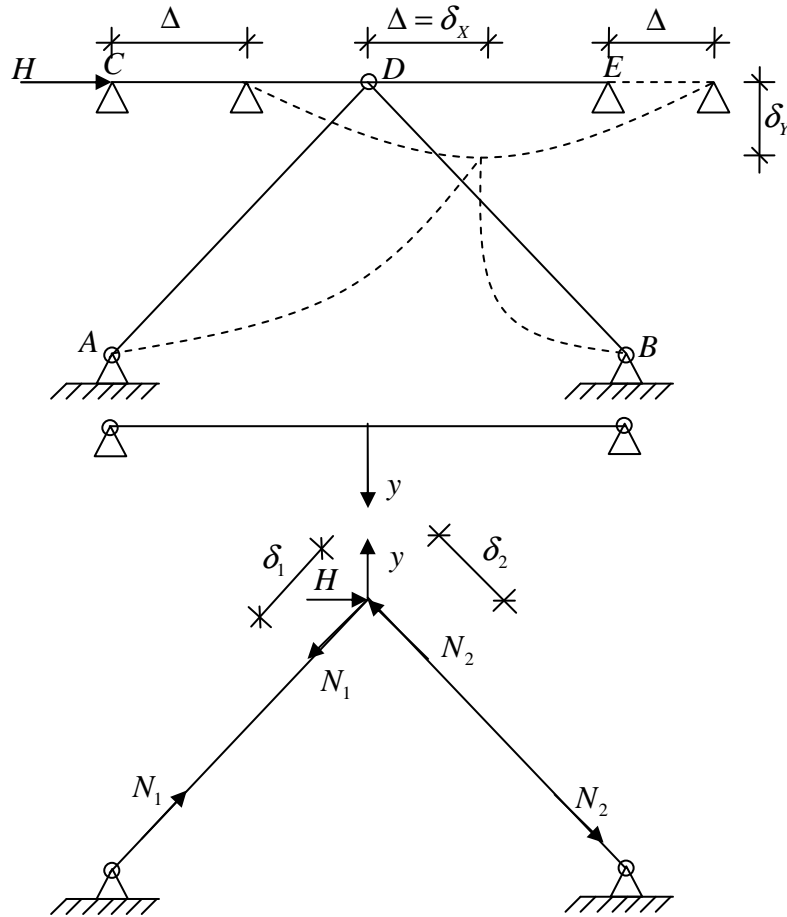
$$\delta_x = (\delta_1 + \delta_2) \frac{1}{2 \cos \alpha} \quad (8)$$

$$\delta_y = (\delta_1 - \delta_2) \frac{1}{2 \sin \alpha} \quad (9)$$

şeklinde yazılabilmektedir. Bu model üzerinde uygunluk denklemi;

$$\frac{Y}{K} + \delta_y = 0 \quad (10)$$

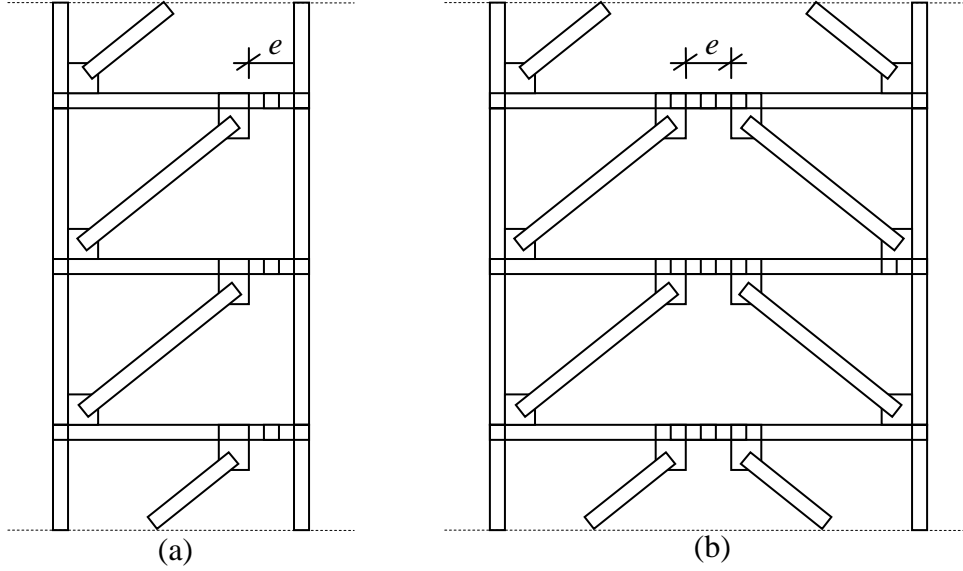
olarak elde edilir. Burada K, yatay elemanın D noktasındaki düşey rijitliğini göstermektedir. Köşegen elemanların tersinir yük altındaki davranışı belirlendiği zaman, yukarıdaki bağıntılar kullanılarak V - şeklindeki köşegenli çerçeve modelinin tersinir davranışı belirlenebilmektedir.



Şekil 21. V - Şeklindeki köşegenli çerçevelerin "Tersinir modeli" [66]

1.8.2. Dış Merkez Köşegenli Çerçeveseler

Çelik yapıların deprem yüklerine karşı tasarımında geleneksel olarak moment taşıyabilen çerçeveler ve merkezi köşegenli çerçeveler kullanılmaktadır. Son zamanlarda yeni bir yapı tipi uygun bir seçenek olarak önerilmeye ve benimsenmeye başlanmıştır. Bu yeni tipte esas prensip, moment taşıyabilen çerçevelerin kirişlerini iki veya daha fazla parçalara bölen dışmerkez köşegen elemanların yerleştirilmesi sonucunda güçlendirilmesidir. Köşegenlerle kirişin bölüdüğü en küçük parçaya bağlantı kirişi adı verilmektedir. Bu kısım şiddetli yer hareketleri sırasında ortaya çıkan deprem enerjisinin büyük kısmını tüketmektedir (Şekil 22).



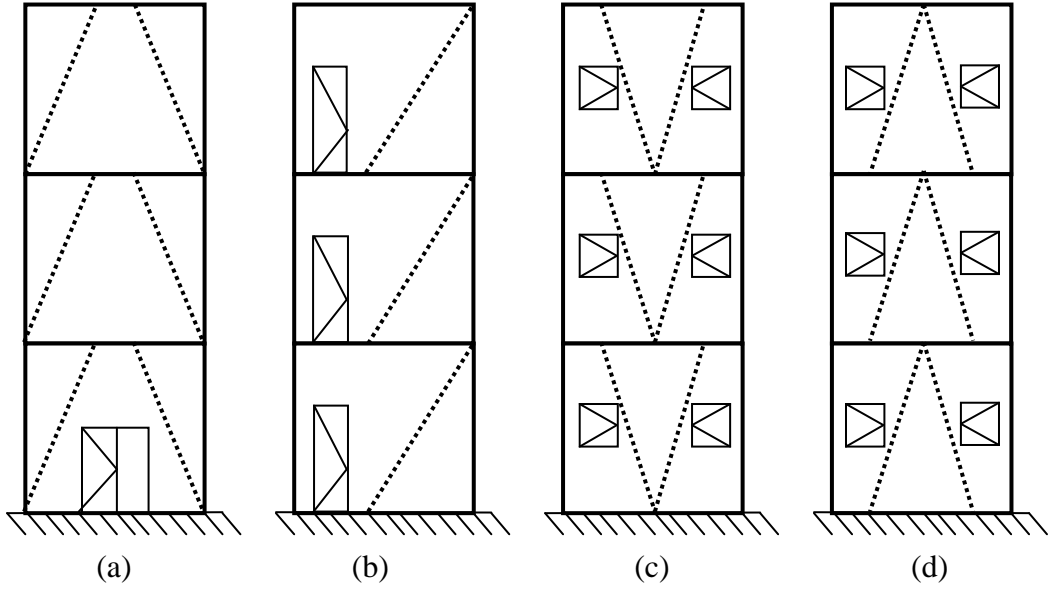
Şekil 22. Dışmerkez Köşegenli Çerçeveselerde, "e" Bağlantı Kirişinin Boyu [66]

Moment taşıyabilen çerçevelerde, elemanların uçlarında oluşan plastik mafsallar iyi çalışan birer enerji tüketme mekanizması oluşmaktadır. Diğer yandan bu tip yapıların dezavantajı ise merkezi köşegenli çerçevelere göre şekildeğişirmelerin daha fazla olmasıdır. Dolayısıyla, moment taşıyabilen çerçeveler dışmerkez yerleştirilen köşegen elemanlar ile güçlendirildiğinde, merkezi köşegenli çerçevelerle moment taşıyabilen çerçeveler arasında yer alan bir davranış gösterirler. Aslında depremde ortaya çıkan enerji, bağlantı kirişinin tersinir kesme ve/yada eğilme davranışıyla tüketilir. Dolayısıyla, dışmerkez köşegenli çerçevelerdeki enerji tüketme mekanizması, merkezi köşegenli

çerçevelere kıyasla moment taşıyabilen çerçevelerdekine benzemektedir. Bu davranış esas olarak bağlantı kirişinin boyutlarını belirlemektedir. Burada dikkat edilmesi gereken bağlantı kirişinin tasarımıdır. Bu mekanizmada, kesme kuvveti temel rol oynadığından dolayı moment taşıyabilen çerçevelerden farklı bir sünek davranış ortaya çıkmaktadır.

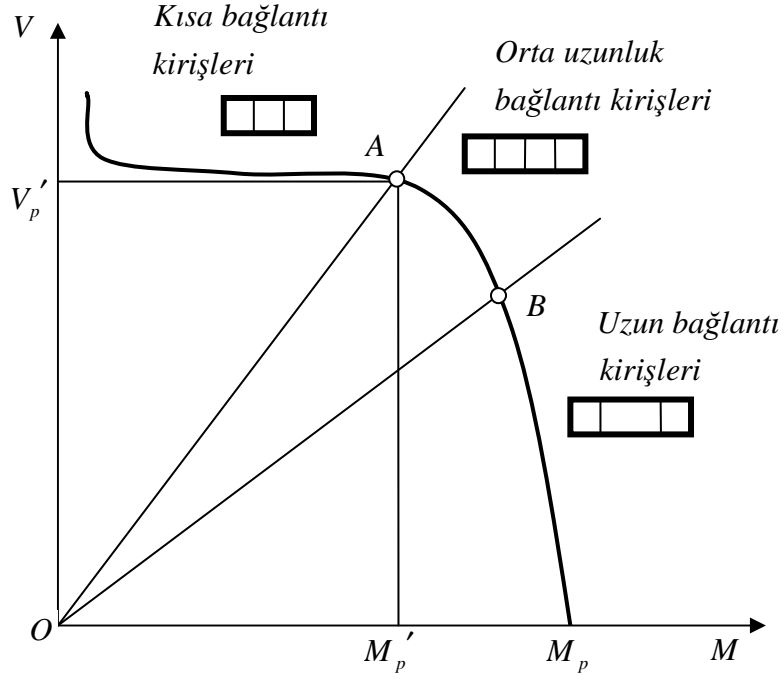
Dışmerkez köşegenli çerçevelerle moment taşıyabilen çerçeveler arasındaki önemli fark; çerçeve geometrisinden dolayı dışmerkez köşegenli çerçevelerde istenen yüksek oranlı eleman sünekliğine karşı, moment taşıyabilen çerçevelerde istenen yapısal sünekliktir. Bunun sonucunda, merkezi köşegenli çerçevelerdeki gibi elastik bölgede şekildeğişirmelerde sağlanan azalma ile birlikte, moment taşıyabilen çerçevelerdeki gibi plastik bölgede yüksek süneklik ve enerji tüketme kapasitesine sahip olurlar.

Bağlantı kirişi enerji tüketme bölgeleri olarak tanımlandığından, bağlantı kirişlerinin boyutlandırılmasına ve de detaylandırılmasına özel bir önem verilmelidir [57]. İşlevsellik açısından bakıldığı zaman, dışmerkez köşegen elemanlarının yerleştirilmesinde büyük bir esnekliğin olduğu fark edilmiştir, bu da mimari gereksinimler için daha fazla çözüm sunmaktadır (Şekil 23) [67].



Şekil 23. Mimari gereksinimlerin sağlanması [66]

Daha öncede belirtildiği gibi, dışmerkez köşegenli çerçevelerde enerji tüketiminin en fazla olduğu yer bağlantı kirişleri olduğu önceden belirtilmişti. Uygun bir şekilde detaylandırılan bağlantı kirişlerinin, gücünü kaybetmeyen şiddetli tersinir yükler altında, uzun süre büyük plastik şekildeğişirmelerle büyük miktardaki enerjiyi tüketebildikleri deneysel araştırmalarla kanıtlanmıştır. Geniş başlıklı kirişler için tipik kesme-moment etkileşim diyagramı Şekil 24 da gösterilmiştir. Bu diyagramda dikkat çekilen konu karakteristik A noktasının veya "denge noktasının" varlığıdır, bu nokta kesme akmasının etkin olduğu bölgeyle kesme akması ve de eğilme akması arasında etkileşimin olduğu bölgeyi birbirinden ayıran sınırdır. Bu bölgeler "kısa bağlantı kirişleri", "orta uzunluklu bağlantı kirişleri" ve "uzun bağlantı kirişleri" olarak adlandırılırlar [67] .



Şekil 24. Geniş başlıklı kirişlerin, kesme - moment etkileşim diyagramı[66]

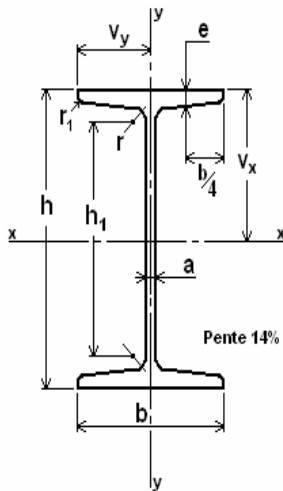
2. YAPILAN ÇALIŞMALAR

2.1. Deneysel Çalışmalar

Çelik taşıyıcı sistemlerde yatay yük taşıma kapasitesini arttıran elemanların etkinliğinin deneysel ve teorik olarak incelenmesini amacıyla gerçekleştirilen bu çalışmada, farklı geometrik ve fiziksel özelliklerdeki 8 seri çelik çerçeve sistemi, depremi benzeştiren tersinir-tekrarlanır yatay yük altında test edilmiştir. Toplamda 14 adet numune deneye tabi tutulmuştur. Çerçeve düğüm noktaları kaynaklamak suretiyle rijit olacak şekilde imal edilmiştir. Çelik çerçevelere daha sonra değişik özelliklere sahip dolgu duvarlar (tuğla ve gazbeton), betonarme duvar, çelik levhalar (1,5 ve 3 mm kalınlığında) ve çelik köşegenler (2L40.40.4) yerleştirilmiştir. İlave elemanlar, çekmede ve itmede benzer performans gösterebilmeleri için çerçevelerin orta bölmelerine her iki kata sürekli olarak yerleştirilmiştir.

2.1.1. Deney Numunelerinin Hazırlanmasında Kullanılan Malzemelerin Özellikleri

Deney numunelerinin hazırlanmasında kullanılan çelik profiller ve levhalar Ereğli Demir Çelik Fabrikasında üretilmiştir. Kolonlar için NPI120, kirişler için ise NPI80 profilleri kullanılmıştır. Söz konusu profillerin geometrik ve fiziksel özellikleri Şekil 25'de verilmiştir.



NPI 120				NPI 80			
h (mm)	120	I_x (mm ⁴)	3260000	h (mm)	80	I_x (mm ⁴)	778000
b (mm)	58	I_y (mm ⁴)	215000	b (mm)	42	I_y (mm ⁴)	62900
e (mm)	7,7	J (mm ⁴)	27800	e (mm)	5,9	J (mm ⁴)	8900
a (mm)	5,1	W_x (mm ³)	54333	a (mm)	3,9	W_x (mm ³)	19450
r (mm)	5,1	W_y (mm ³)	7414	r (mm)	3,9	W_y (mm ³)	2995
h₁ (mm)	92	A (mm ²)	1420	h₁ (mm)	59	A (mm ²)	758

Şekil 25. Deneylerde kullanılan I profillerinin geometrik ve fiziksel özellikleri

Çerçeveyi oluşturan kolon ve kiriş elemanlarının mekanik özelliklerini belirlemek için iki ayrı yöntem uygulanmıştır. Birinci yöntemde (Y-1), öncelikle profilin gövdesi başlıklarla kesilmek suretiyle ayrılmıştır. Başlıklara nazaran daha düzgün olan gövde kısmı deney için önce tartılmış, daha sonrada boyu ölçülmüştür. Bu veriler bilgisayar ortamında girilerek kesit alanı tam olarak belirlenmiştir. Daha sonra deneyi yapılmıştır. Şekil 26'da bu deneyin görüntüleri aşamalı olarak görülmektedir.

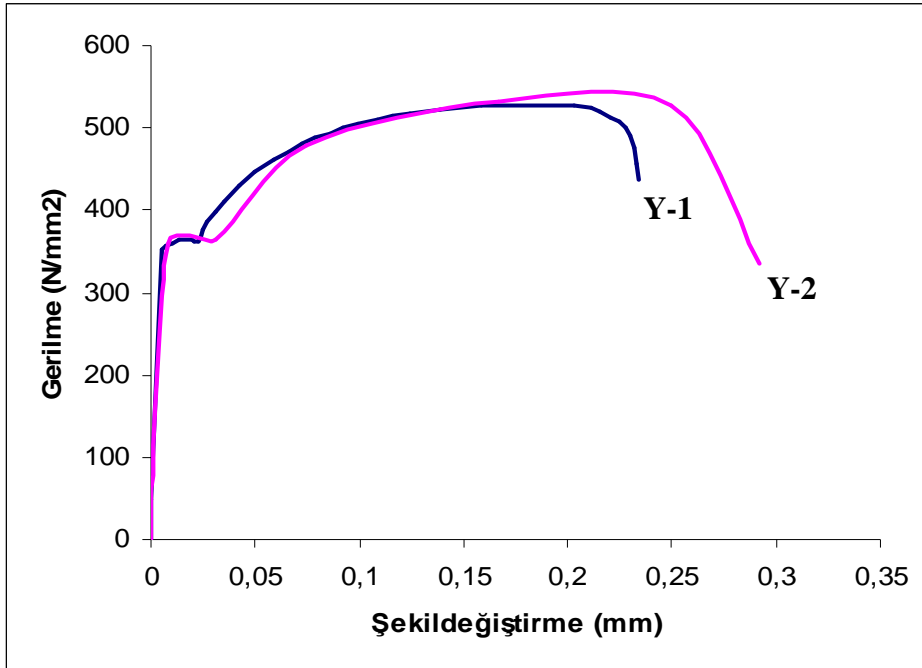


Şekil 26. Deneylerde kullanılan I profillerinin mekanik özelliklerinin deneysel tayini için gövde parçasının merkezi çekme deney görüntüleri (Y-1)

İkinci yöntemde (Y-2), kolon ve kiriş elemanlarını oluşturan profiller kesme etkisinin olası olumsuzluklarını yok etmek amacıyla, bütün olarak çekme deneyine tabi tutulmuştur. Deney numunelerinin uçları doldurularak deney sırasında ezilmeleri engellenmiştir. Şekil 27'de bu deneyin görüntüleri görülmektedir. Deney sırasında meydana gelen uzamalar ve bu uzamalara neden olan yük değerleri bilgisayar destekli ölçüm cihazları ile derlenmiştir. Her iki yöntemde de elde edilen veriler işlendikten sonra gerilme-şekildeğiştirme grafikleri çizilmiştir. Söz konusu grafikler Şekil 28'da gösterilmiştir. Deneyler sonunda elde edilen veriler, her iki yöntem göz önüne alındığında teorik çözümlerde dikkate alınacak mekanik özellikler Tablo 1'de verilmiştir.



Şekil 27. Deneylerde kullanılan I profillerinin mekanik özelliklerinin belirlenmesi için yapılan merkezi çekme deneyi (Y-2)



Şekil 28. Gerilme – şekildeğiştirme grafikleri

Tablo 1. Deneylerde kullanılan I profillerinin mekanik özellikleri

	Y-1	Y-2
Akma gerilmesi (N/mm ²)	370,90	381,05
Maksimum gerilme (N/mm ²)	515,72	527,33
Kopma gerilmesi (N/mm ²)	428,61	436,45
Akma birim uzaması (%)	0,19	0,20
Max. gerilmeye karşılık gelen birim uzama (%)	17,05	20,35
Kopma birim uzaması (%)	22,43	29,37
Elastisite modülü (N/mm ²)	195210	190525

2.1.1.1. Dolgu Duvar Elemanlarının Özellikleri

Çelik çerçeve sistemlerinde dolgu duvar malzemesi olarak, Bayburt Toprak San. Tuğla Fabrikasında üretilen yatay boşluklu tuğla ve Çimentoş tarafından üretilen hafif gaz beton blokları kullanılmıştır. Yatay boşluklu tuğlanın fiziksel ve mekanik özellikleri Tablo 2’de, gaz betona ait fiziksel ve mekanik özellikler ise Tablo 3’de verilmiştir.

Tablo 2. Deneylerde kullanılan yatay delikli tuğlanın fiziksel ve mekanik özellikleri

Boyutlar (mm)	190x185x85
Basınç mukavemeti (N/mm ²)	5,326
Ağırlığı	2,090
Kırılma anındaki birim boy kısalması	0,00257
Elastisite modülü (N/mm ²)	2750

Tablo 3. Deneylerde kullanılan gaz betonların fiziksel ve mekanik özellikleri

Boyutlar (mm)	600x250x50
Prizma basınç mukavemeti (N/mm ²)	2,54
Birim hacim ağırlığı (kg/m ³)	500
Çekme dayanımı (N/mm ²)	0,25
Poisson oranı	0,25
Elastisite modülü (N/mm ²)	1500

Çerçevelerde, dolgu duvar örtüsünde ve sıva işleminde TS1481 [70] ve TS2848 [71] esaslarına uygun olarak hazırlanan kireç katkılı çimento harcı kullanılmıştır. Kullanılan kireç katkılı çimento harcının karışım değerleri Tablo 4 de ağırlık cinsinden verilmiştir.

Tablo 4. Deneyleerde kullanılan kireç katkılı çimento harcının karışım değerleri (1 m³ için)

Kullanılan Malzeme	Miktar (kg)
Kum	1425
Çimento	250
Kireç Hamuru	25
Su	400

Harçların yapımında Ünye Çimento Sanayi A.Ş.'nin TS12143'e [72] uygun olarak ürettiği Portland Kompoze Çimento (CEM III 32,5 R) kullanılmıştır. Gerek sıva gerekse tuğla duvar örgü işleminde kullanılan harcının imalatında kullanılan kumun granülometrik özellikleri Tablo 5 de verilmiştir.

Tablo 5. Deneyleerde kullanılan harç agregasının elek analizi verileri

Elek Çapı	Elek Üstünde Kalan (%)	Elekten Geçen (%)
8	0	100
4	25	75
2	46	54
1	67	33
0,5	83	17
0,25	94	6

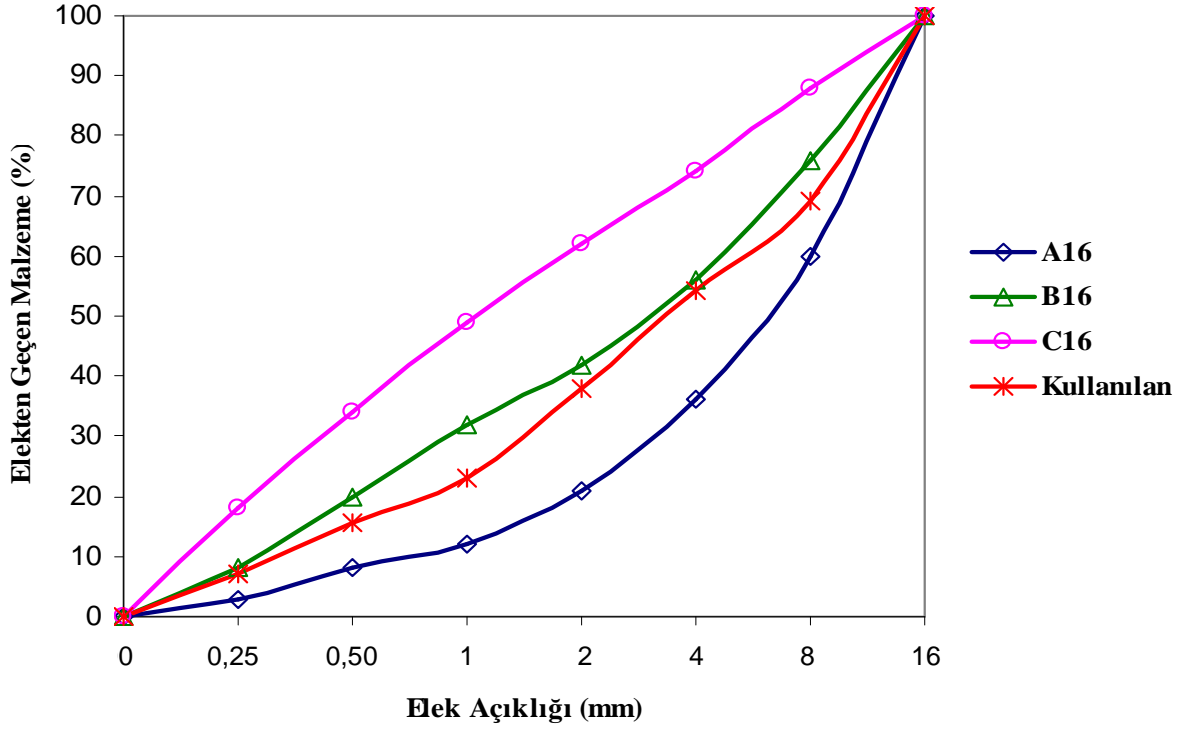
Harçların hazırlanmasında karma suyu olarak, yerleşkenin su şebekesinden sağlanan ve içme suyu olarak kullanılan su kullanılmıştır. Gaz beton dolgu duvar örgü işleminde, ilgili firma tarafından verilen, hazır gaz beton duvar örgü tutkalı (DIN 1053 Harç Sınıfı III) kullanılmıştır. Kullanılan harçlardan alına 70x70x70 mm ebatlarındaki numuneler üzerindeki yapılan deneyleerden elde edilen sonuçlar Tablo 6 da verilmiştir.

Tablo 6. Deneilerde kullanılan harcın merkezi basınç deneyi sonuçları

Boyutlar (mm)	70x70x70
Basınç mukavemeti (N/mm ²)	5,28
Eğilmede çekme dayanımı (N/mm ²)	1,16
Kırılma anındaki birim boy kısalması	0,00287
Elastisite modülü (N/mm ²)	2585

2.1.1.2. Betonarme Perde Duvar Elemanlarının Özellikleri

Betonarme perde duvarların imalatı için gerekli betonun üretiminde kullanılan agreganın granülometrisi Şekil 29'da verilmektedir. Plak kalınlığı 50mm olacağından agreganın maksimum tane boyutu 16 mm olarak seçilmiştir. Agreganın fiziksel özellikleri Tablo 7'de verilmektedir.

Şekil 29. Agreganın granülometri eğrisi (D_{max}:16mm)

Tablo 7. Agreganın fiziksel özellikleri

Agrega Boyutu	Gevşek Birim Ağırlık (kg/m ³)	Özgül Ağırlık (kg/m ³)		Su Emme (%)
		Kuru	Doygun	
İri (>4mm)	1435	2712	2692	0,49
İnce (<4mm)	1486	2668	2685	0,55

Üretilen betonun bileşim hesabı TS 8002 [73]'de belirtilen mutlak hacim yöntemi kullanılarak yapılmıştır. Buna göre, W_c, W_a, V_w, V_h sırasıyla, yerine yerleştirilmiş 1 m³ betondaki çimento miktarını (kg/m³), agrega miktarını (kg/m³), su hacmini (dm³), hava hacmini (dm³) göstermektedir. γ_c , çimentonun özgül kütlelerini, γ_a ise agreganın doygun kuru yüzeyli özgül kütlelerini göstermektedir. Bu bilgiler dikkate alındığında 1 m³ beton için mutlak hacim;

$$\frac{W_a}{\gamma_a} = 1000 - \left(\frac{W_c}{\gamma_c} + V_w + V_h \right) \quad (11)$$

şeklinde ifade edilebilir. Bu agreganın gerçekte i adet ayrı agrega tane sınıfı içerdiği dikkate alınır, bu durumda β_i ve γ_{ai} , her bir tane sınıfının kütlece oranı ile birim kütlelerini göstermek üzere, gerçek durumdaki agrega miktarı,

$$\sum \left(\frac{\beta_i W_a}{\gamma_{ai}} \right) = 1000 - \left(\frac{W_c}{\gamma_c} + V_w + V_h \right) \quad (12)$$

bağıntısı ile belirlenebilmektedir. Burada sözü edilen agrega miktarı, doygun kuru yüzeyli agrega miktarıdır. Burada doğal nem durumundaki agrega miktarına geçmek için, SE ve DN sırasıyla, agreganın su emme ve doğal nem oranlarını göstermek üzere,

$$DS = (SE - DN)W_a \quad (13)$$

Bağıntısıyla hesaplanan doyma suyu miktarı (kg / m^3), yukarıdaki bağıntı ile belirlenen W_a değerinden eksiltmek yada arttırmak gerekmektedir. Doyma suyu miktarının,

$$DS = \sum((SE)_i - (DN)_i)W_{ai} \quad (14)$$

olması gerekmektedir.

Agrega oranları, çimento dozajı, mineral katkı ilavesi, S/Ç oranı gibi birçok parametre değiştirilerek, hedeflenen basınç dayanımı kriterine göre deneme karışımları yapılarak Tablo 8’de verilen karışım oranlarına karar verilmiştir.

Tablo 8. Beton karışım oranları

Çimento tipi	Çimento dozajı (kg / m^3)	S / Ç	Agrega (kg / m^3)	Silis dumanı (kg / m^3)	Katkı (%)	Doyma suyu (%)
CEM III 32,5 R	350	0,5	1737	30	2	1,52

Deney numunelerinin üretiminde 120 litre kapasiteli eğik eksenli betonier kullanılmıştır. Önceden 3 sınıfa ayrılarak istiflenmiş agregalar, bileşimde öngörülen ağırlıkça yüzde miktarına göre tartılarak betonyere yerleştirilmiştir ve 2-3 dakika boyunca herhangi bir ilave yapılmadan karıştırılmıştır. Karıştırma işlemi devam ederken agreganın doyma suyu ilave edilmiştir. Bunda sonra sırasıyla silis dumanı, çimento ve karma suyu ilave edilmiştir. Karışımda süper akışkanlaştırıcı olarak kullanılan katkı maddesi (YKS Rheobuild 1000) karma suyuna ilave edilmiştir. Malzemelerin tamamı katıldıktan sonra karıştırma işlemine 3 dakika daha devam edilmiştir. Karışımdan öncelikle 6 adet silindir numune alınmıştır. Silindir kalıplar 3 aşamada doldurulmuştur. Her aşamada 2800d/dk frekanslı sarsma tablasında 15 sn titreşime tabi tutularak sıkıştırılmıştır. Numuneler dökümünden 24 saat sonra kalıplardan çıkarılarak 28 gün boyunca saklanacakları kür havuzuna konmuştur. Kür havuzundan 28 gün sonra çıkarılan numuneler kurulandıktan sonra, üzerlerine aktif boyları 120mm olan birim şekildeğiştirme ölçerler (STR:Strain Gauges) yapıştırılmıştır. Şekil 30’ kullanılan şekildeğiştirme ölçerlerden bir örnek verilmektedir.



Şekil 30. Şekildeğiştirme ölçer

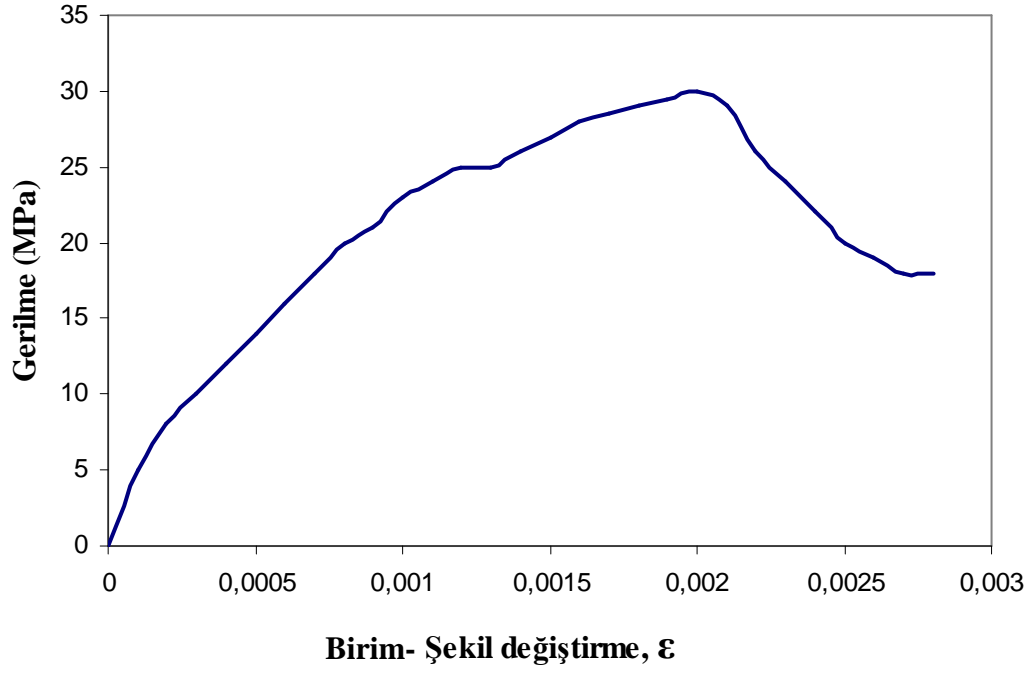
Daha sonra betonun gerilme-birim şekildeğiştirme diyagramını elde etmek için merkezi basınç deneyi yapıldı. Numuneler deney anında 35 günlüktü. Merkezi basınç deneyi için kullanılan 2000 kN kapasiteli pres Şekil 31' de, deneyden elde edilen sonuçlar Tablo 9'da, gerilme-şekildeğiştirme diyagramı ise Şekil 32'de verilmektedir.



Şekil 31. Merkezi basınç deney aleti

Tablo 9. Betona ait mekanik özellikleri

f_{cm} (MPa) (ortalama basınç dayanımı)	Std. sapma (MPa)	f_{ck} (MPa) (karakteristik basınç dayanımı)	E (MPa) (elastisite modülü)	Poisson oranı
41	5,8	33,6	22500	0,251



Şekil 32. Betonun gerilme – birim şekildeğiştirme diyagramı

Betonarme perdelerin imalatında kullanılan donatılar 8mm çaplı, nervürlü inşaat çeliği olarak seçilmiştir. Kullanılan çeliğin mekanik özelliklerini belirlemek için 40 cm uzunluğunda 3 adet numune alınmıştır. TS 138 EN 10002-1 [74] ve TS 708 [75]' e uygun olarak merkezi çekme deneyi gerçekleştirilmiştir. Deneylerin gerçekleştirildiği 600kN kapasiteli çelik çekme aleti Şekil 33'de, deneylerden elde edilen sonuçların ortalaması olarak Tablo 10'da verilmektedir



Şekil 33. Merkezi çelik çekme deney aleti

Tablo 10. Donatıya ait mekanik özellikleri

<i>Çap</i>	<i>Ortalama çekme dayanımı (MPa)</i>	<i>Ortalama akma dayanımı (MPa)</i>	<i>Kopma uzaması (%)</i>
8	619	430	21

2.1.1.3. Çelik Levha Perde Duvar Elemanlarının Özellikleri

Çelik levhalar üreticiden (120cm X 200cm) ebatlarında tabak olarak alınmış ve laboratuvar ortamında kesilerek uygun boyutlara getirilmiştir. Malzemedeki mekanik özelliklerinin belirlenmesi için, 3 adet numune kesilerek alınmıştır 50mm X 400mm ebatlarındaki şeritler merkezi çekme deneyine tabi tutulmuştur. Elde edilen sonuçlar Tablo 11’de verilmiştir.

Tablo 11. Çelik levhalara ait mekanik özellikleri

<i>Levha kalınlığı (mm)</i>	<i>Ortalama akma dayanımı (MPa)</i>	<i>Ortalama kopma dayanımı (MPa)</i>	<i>Kopma uzaması (%)</i>
1,5	253	335	15,1
3	247	342	19,6

Levhaların kenarlarına montaj için 100mm ara ile somun delikleri açılmıştır. Çerçevenin ilgili kısımlarına da köşebentler kaynatılmıştır. Cıvatalı birleşimler için aynı delikler bu köşebentlerde de açılmıştır. Birleşimlerde kullanılan cıvatalarının mekanik özellikleri Tablo 12’de verilmiştir

Tablo 12. Cıvatalara ait mekanik özellikleri

<i>Anma Çapı</i>	<i>Ortalama kopma dayanımı (MPa)</i>	<i>Ortalama akma dayanımı (MPa)</i>
8mm	800	640

2.1.1.4. Çelik Köşegen Elemanlarının Özellikleri

Köşegen elemanları oluşturmak için 2L40.40.4 ve profilleri kullanılmıştır. Profillerin yerleşimi için 5mmx100mmx100mm ebatlarında bayrak levhaları kullanmıştır. Tüm bağlantılar kaynaklı olarak yapılmıştır. Profillerin mekanik özellikleri çerçeveyi oluşturan profillerle benzer değerlerdedir.

2.1.1.5. Çerçeve Deneyleri İçin Üretilen Numunelerin Boyutları ve Çeşitleri

Bu çalışma kapsamında gerçekleştirilen, yaklaşık olarak 1/3 ölçekli 8 seri çelik çerçeve sistemleri için 14 adet deney numunesi, depremi benzeştiren tersinir-tekrarlanır yatay yük altında test edilmiştir. Deney numunelerine ait bazı özellikler Tablo 13’de verilmiştir.

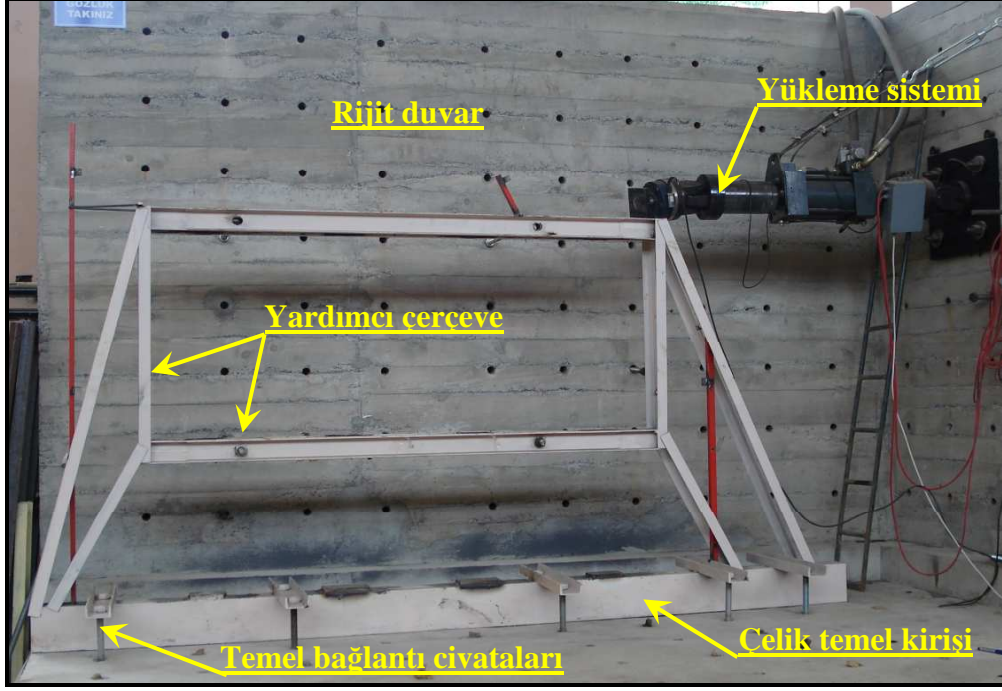
Tablo 13. Deneylerde kullanılan çerçevelerin fiziksel özellikleri

Numune Adı	Dolgu Tipi	Numune Sayısı	Dolgu Malzemesi
N-1	Boş	3	-
N-2	Yatay delikli tuğla duvar dolgu	1	8,5cm kalınlığında yatay delikli yarım tuğla
N-3	Gaz beton duvar dolgu	1	5cm x 20cm x 50cm ebatlarında gaz beton
N-4	Geleneksel betonarme dolgu	1	C30 beton sınıfına uygun beton ve 8mm çaplı donatılı hasır ile hazırlanmış perde duvar
N-5	1,5mm çelik levha dolgu	2	0,15cm x 50cm x 96cm ebatlarında sac levha
N-6	3mm çelik levha dolgu	2	0,3cm x 50cm x 96cm ebatlarında sac levha
N-7	Tek yönlü çelik köşegen dolgu	2	Köşegen olarak 2L40.40.4 ve profili
N-8	Çift yönlü çelik köşegen dolgu	2	Köşegen olarak 2L40.40.4 ve profili

2.1.2. Deney Düzenegi

Çalışmalarının amacına uygun olarak gerçekleştirilecek deneyler için Karadeniz Teknik Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü Yapı ve Malzeme Laboratuvarında rijit yükleme duvarı üzerinde yardımcı bir çerçeve hazırlanmıştır. Bu çerçeve, farklı çelik profiller kullanılarak, yatay yük uygulaması sırasında numunenin düzlemine dik doğrultuda burkulmasını engelleyecek şekilde imal edilmiştir. Yardımcı çerçevesinin (yanal stabilite çerçevesi) tamamlanmış hali Şekil 34'da gösterilmiştir.

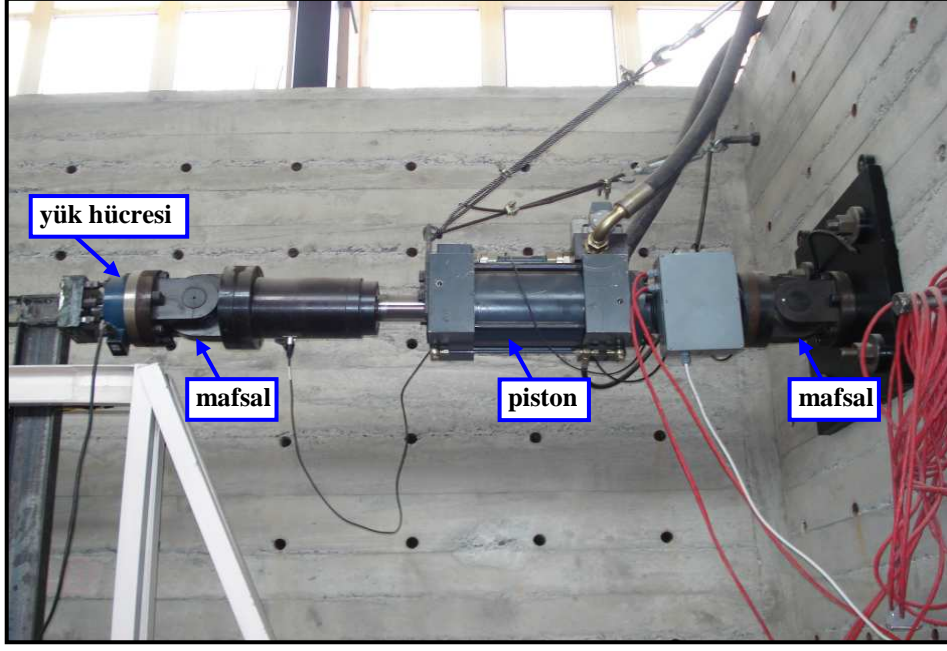
Hazırlanan deney düzeneginde yükleme pistonu rijit duvara, deney numunesinin en üst kirişinin merkezinden yükleme yapabilecek şekilde taban kotundan 2000 mm yüksekliğine montajı yapılmıştır. Son olarak uygulanan yükü basınç ve çekme olarak okuyabilen bir yük hücresi pistonun ucuna yerleştirilmiştir. Yükleme ünitesinin montajından sonra numunenin rijit yükleme çerçevesi hazırlanır. İlk olarak numunelerin taban levhalarının kaynaklanacağı çelik bir temel kirişi oluşturulmuştur 2U300 kesitine sahip bu temel kirişi 32mm çaplı cıvatalar ve bağlantı profilleriyle rijit duvara yerleştirilmiştir. Daha sonra çelik temel kirişi üzerine (200x100x20)mm boyutlarındaki taban levhaları yüksek başarımlı (bazik elektrot) elektrik kaynağıyla tutturulmuştur.



Şekil 34. Deney düzeneği

2.1.3. Ölçüm Sistemi ve Kullanılan Aletler

Yükleme düzeneği; yüksek başarılı hidrolik güç ünitesi, besleme hortumları ve 280 kN kapasiteli, 200 mm açılabilen pistondan oluşmaktadır. Piston tersinir (basma-çekme) olarak yükleme yapabilmektedir. Piston her iki ucundan da mafsallı olarak teşkil edilmiştir. Böylece çerçevenin düşey hareket yapması sırasında yüklemenin farklı gerilmelere yol açması engellenmiştir. Şekil 35’de yükleme sistemine ait piston ve aparatları görünmektedir.



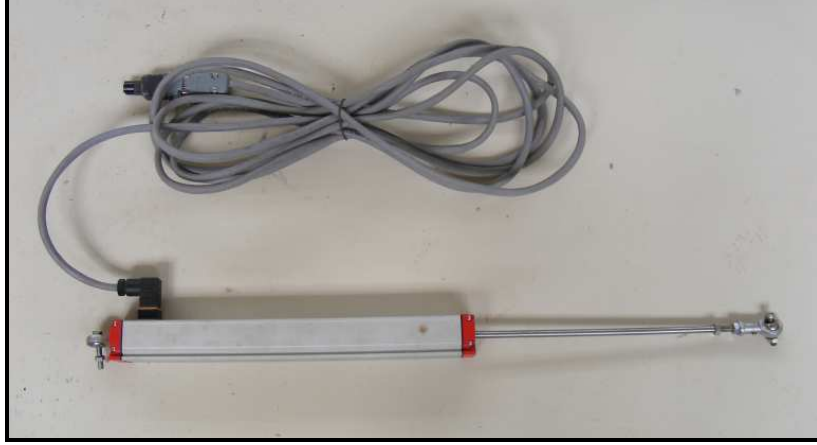
Şekil 35. Yükleme pistonu ve aparatları

Numunelere hidrolik güç ünitesi ve piston vasıtasıyla uygulanan çekme ve basınç kuvveti yük hücresi vasıtasıyla okunabilmektedir. CAS marka yük hücresi yassı tip olup, 500kN'a kadar olan yükleri ölçebilmektedir. Deneylede kullanılan yük hücresi Şekil 36'da verilmektedir.



Şekil 36. Yük hücresi (loadcell)

Deneyle süresince çelik çerçeve meydana gelen yerdeğişirmelerin ölçümü için iki ucu mafsallı LPDT ler kullanılmıştır. Opkon marka LPM300 kod adlı çift taraftan mafsallı doğrusal potansiyometrik pozisyon algılayıcılar, 300mm kapasitelidir. Deneylede kullanılan LPDT'lere bir örnek Şekil 37'de verilmektedir.



Şekil 37. Doğrusal potansiyometrik pozisyon algılayıcı (LPDT)

Yük hücresi ve LPDT'lerden alınan ölçümler, ara bağlantı elemanları yardımıyla veri toplama sistemi (Data Logger) 'ne iletilmektedir. 32 kanallı (Ai8b) genel amaçlı veri toplama sistemi 16-bit çözünürlüğe sahip olup, hem yük hem de yerdeğişirme kontrolünü 1/20000 hassasiyetinde yapabilmektedir (Şekil 38).

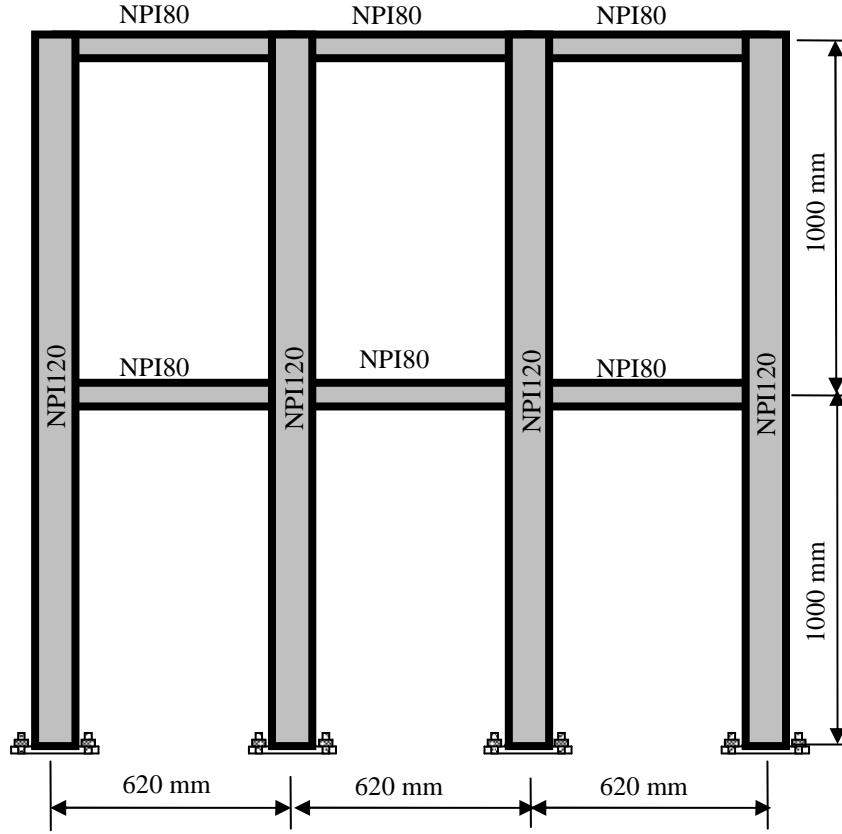


Şekil 38. Veri toplama sistemi

2.1.4. Deney Numunelerinin Hazırlanışı

2.1.4.1. Boş Çerçeve (N-1) Deney Numunelerinin Hazırlanışı

Geleneksel çelik çerçeve sistemleri temsil etmesi amacıyla kolonları NPI120 kirişleri ise NPI80 olan numuneler hazırlanmıştır. Tüm birleşimler 3,5 mm kalınlığında kaynaklı olarak teşkil edilmiştir. Bu deneyden elde edilen sonuçlar diğer deneylerin değerlendirilmesi için kıyaslama olarak kullanılacaktır. İki katlı ve üç açıklıklı olarak imal edilen çerçevenin boyutları Şekil 39’da verilmiştir.



Şekil 39. Boş çelik çerçeve deney numunesinin şematik görünümü

Deney numunesinin oluşturulması için öncelikle daha önce yapılan çalışmalar değerlendirilmiştir. Bu çalışmada ise daha farklı bir sistem davranışı elde etmek için boyutlar ve aralarındaki oranlar gerçekte yapılan imalatlara yakın seçilmiştir. Zira sistemin narin olması, böylece ilave edilecek aparatların sistem üzerindeki etkilerini daha açık

olarak görmesini sağlanmıştır. Çerçeve sistemin laboratuvar ortamında gerçekleştirilen imalat görüntüleri Şekil 40’da görülmektedir.



Şekil 40. Boş çelik çerçeve deney numunesinin imalat görüntüleri

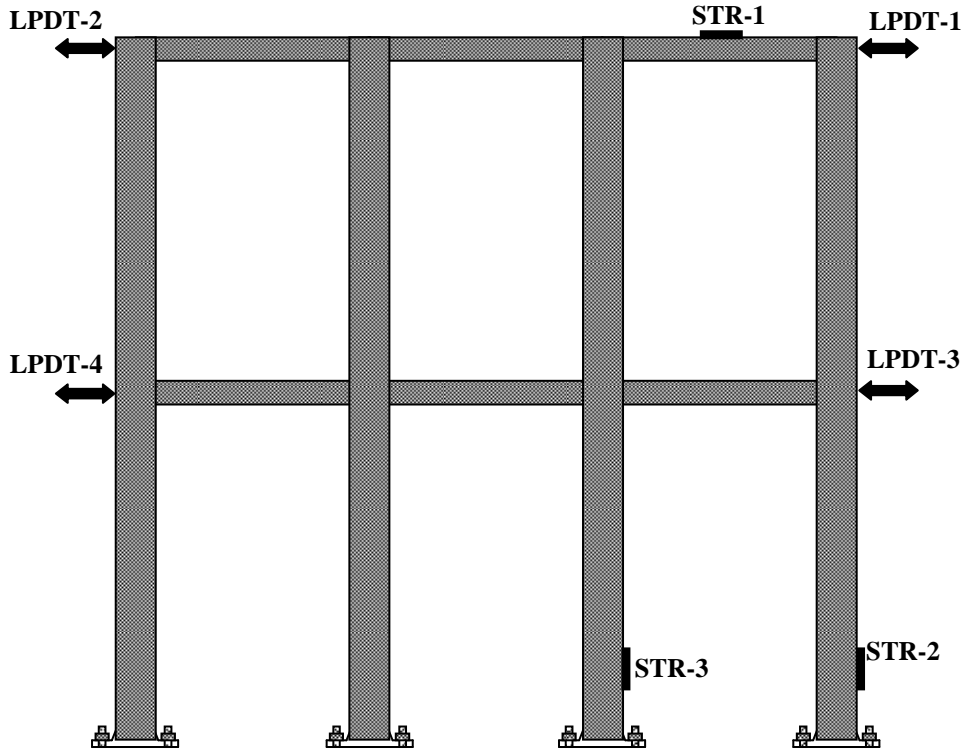
İmalatı tamamlanan çerçeve dikkatli bir şekilde kaldırılıp yükleme çerçevesine yerleştirilmiştir. Deney numunesinin yerleştirilmesinden önce yükleme çerçevesinin ilgili kenarları kalın gres yağı ile yağlanmıştır. Böylece olası sürtünmelerden dolayı oluşabilecek enerji kaybının önüne geçilmek istenmiştir. Çerçeve piston açıklığı ve yüksekliği dikkate alınarak uygun yerine getirildikten sonra ayakları zemine ankraj cıvatalarıyla tutturulmuş çelik temel kirişine kaynatılır. Ayakların birleşimini kuvvetlendirmek için her iki yönde bayrak plakaları kullanılmıştır. Kaynak işleri tamamlandıktan sonra piston numuneye yaklaştırılır. Pistonun ucuna yerleştirilmiş yük hücresine takılı olan bir plaka numune ile bağlantı sağlanmaktadır. Aynı özelliklerde diğer bir plaka numuneye daha önceden kaynatılmıştır. Bu plakalarda 6 adet cıvata deliği bulunmaktadır. Bu plakaların, uygun cıvatalarla birleşimi sağlanmaktadır. İmalatı tamamlanıp deneye hazır hale getirilen bir numunenin görüntüsü Şekil 41’de verilmiştir.



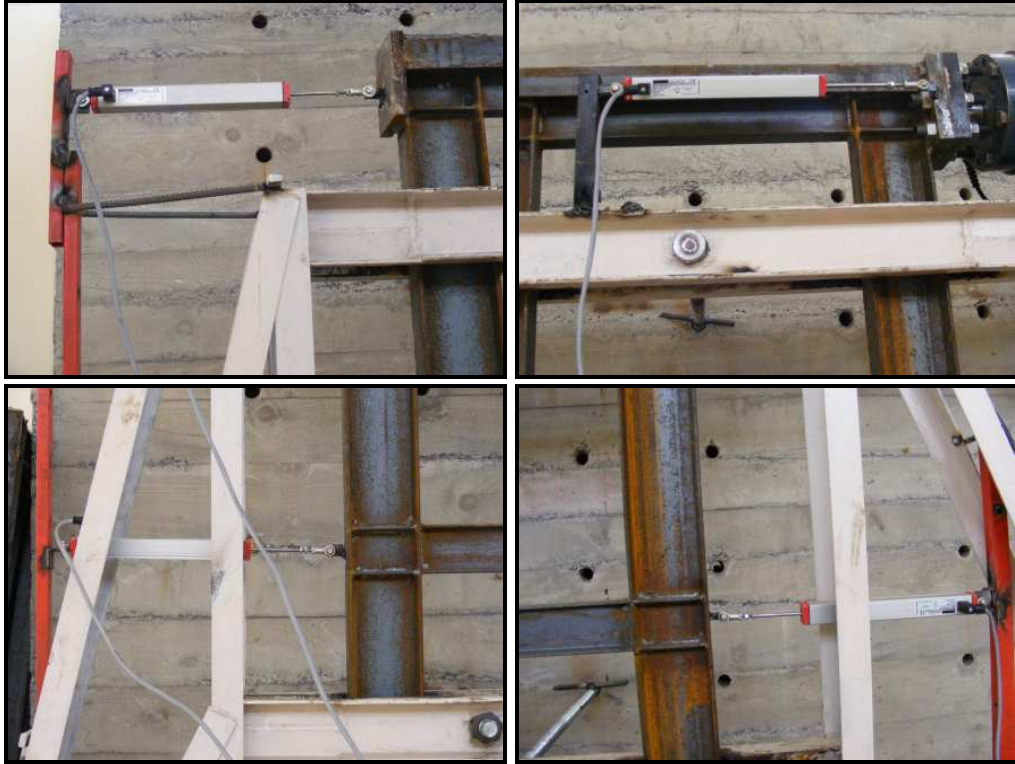
Şekil 41. Boş çelik çerçeve deney numunesinin çelik temel kirişine bağlanması

Tüm kaynaklı ve cıvatalı birleşimler teşkil edildikten sonra veri toplama aparatları sisteme yerleştirilir. Öncelikle yerdeğiştirme ölçerler (LPDT) kat seviyelerine karşılıklı olarak yerleştirilir. Bu yerdeğiştirme ölçerlerin her iki ucu mafsallıdır. Böylece sistemin düşeyde yapacağı olası hareketlerden dolayı aygıtların çalışmama olasılığı engellenmiştir. Oldukça hassas olan bu aygıtların montajı, gerek deneyin sağlıklı olması gerekse aletin bozulma riskinin var olmasından dolayı oldukça önemlidir. Daha sonra elemanlar üzerlerine meydana gelecek birim şekildeğiştirmeleri ölçebilmek için şekildeğiştirme ölçerleri (STR:Strain Gauges) yapıştırmak suretiyle uygun yerlere yerleştirilmektedir.

Yukarıda sözü edilen ölçüm aygıtlarının yerleşim planı Şekil 42’de verilmiştir. LPDT’lerin yerleşim görüntüleri Şekil 43’da, STR’lerin yerleşim uygulaması ise Şekil 44’de gösterilmiştir.



Şekil 42. Boş çelik çerçeve numunesinin ölçüm yerleri



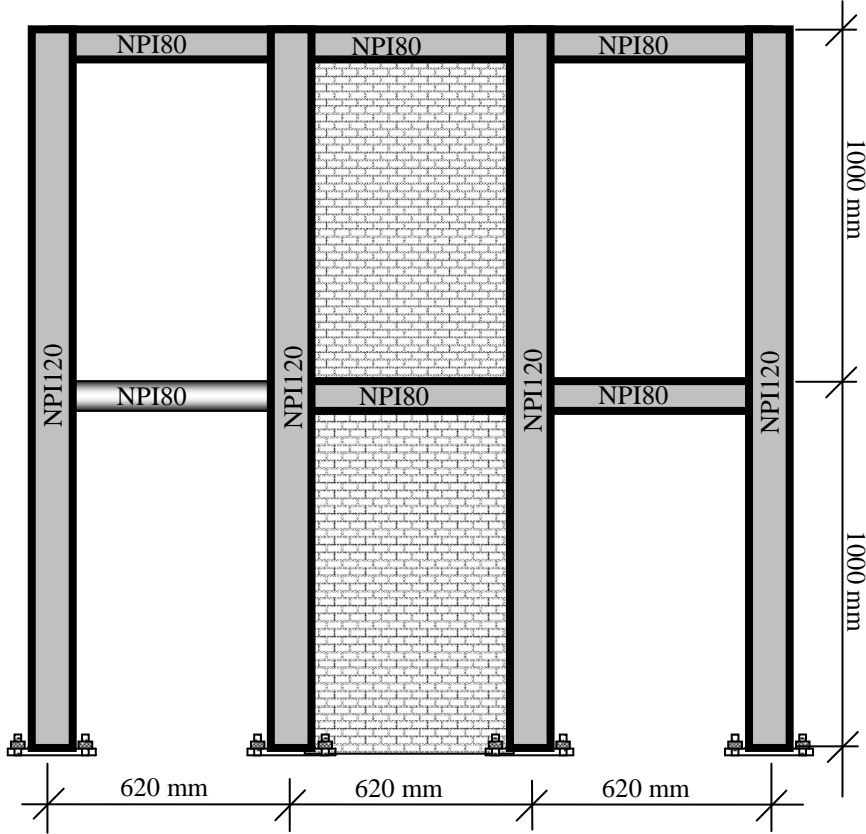
Şekil 43. Yerdeğiştirme ölçerler (LPDT) kat seviyelerine yerleştirilmesi



Şekil 44. Şekildeğiştirme ölçerlerinin (STR:Strain Gauges) yerleştirilmesi

2.1.4.2. Dolgu Duvarlı Çerçeve (N-2 ve N-3) Deney Numunelerinin Hazırlanışı

Yapı endüstrisinde yaygın olarak kullanılan dolgu duvar imalatlarından tuğla ve gaz beton uygulamaları bu çalışmada konu edilmiştir. Öncelikle yatay delikli tuğla duvar çerçevesinin orta açıklığına uygulanmıştır. Uygulamanın yapılacağı yer ve çerçevesinin boyutları Şekil 45’de gösterilmiştir.



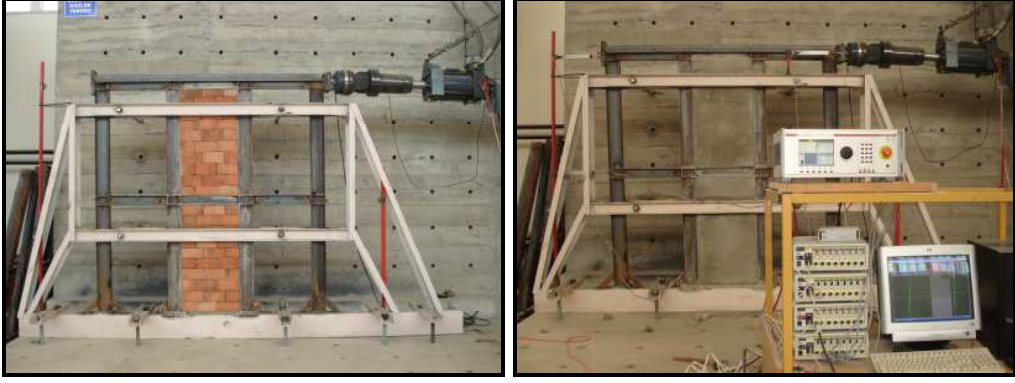
Şekil 45. N-2 ve N-3 deney numunelerinin şematik görünümü

Tuğlalar laboratuara getirildikten ve mekanik özellikleri belirlendikten sonra uygun boyutlarda düzgün bir şekilde kesilmiştir. Daha önce tarif edildiği gibi örgü harcı hazırlanmıştır. Boş çelik çerçeve yerine yerleştirilip bağlantıları yapıldıktan sonra tuğla duvar örülmüştür. Örme işlemi geleneksel olarak yapıldıktan sonra duvar kurumaya bırakılmıştır. Tuğla duvarın yapımı Şekil 46’de verilmektedir.



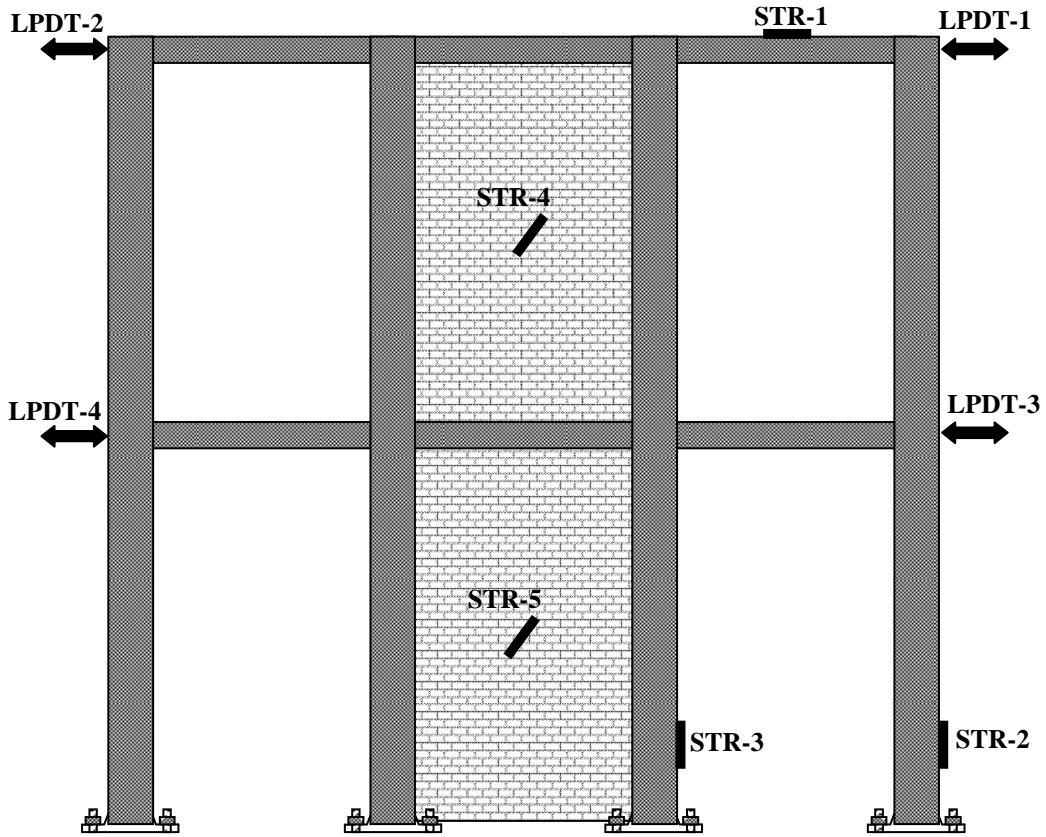
Şekil 46. N-2 deney numunesinin imalat görüntüleri

Tuğla duvarın örüm işi tamamlandıktan 24 saat sonra kuruyan duvar nemlendirilerek sıva işlemi her iki yüzüne de uygulanmıştır. Sıva uygulaması tamamlandıktan 48 saat sonra deney gerçekleştirilecektir. Şekil 47’de duvarı örülmüş sistemin sıvasız ve sıvalı hali görülmektedir.



Şekil 47. N-2 deney numunesinin sıvasız ve sıvalı görünümü

Sıva işleminde sonra deneye hazır olan sisteme, veri toplama aygıtları yerleştirilmiştir. Yerleştirme işlemi Şekil 48’de gösterilen planda yapılmıştır. Duvarda oluşacak şekildeğişikliklerin belirlenmesi için ilave iki adet birim şekildeğişikme ölçer, çatlakların muhtemel doğrultusu dikkate alınarak, açıklığın köşegeni doğrultusunda yapıştırılmıştır. Uygulamadan önce düz bir yüzey elde etmek için ilgili alanlar zımparalanmıştır.



Şekil 48. N-2 numunesinin veri toplama aygıtlarının numune üzerindeki tespit yerleri

Dolgu duvarlı çerçeve deneyleri için ikinci uygulama olarak gaz betonlu dolgu duvarı hazırlanmıştır. İlk olarak çerçeve boş olarak hazırlanıp deney düzeneğine kaynaklama suretiyle yerleştirilmiştir. Daha sonra çerçevenin orta açıklığına duvar geleneksel olarak örülmüştür. Duvar örme işlemi Şekil 49’da aşamaları ile gösterilmiştir.



Şekil 49. N-3 deney numunesinin imalat görüntüleri

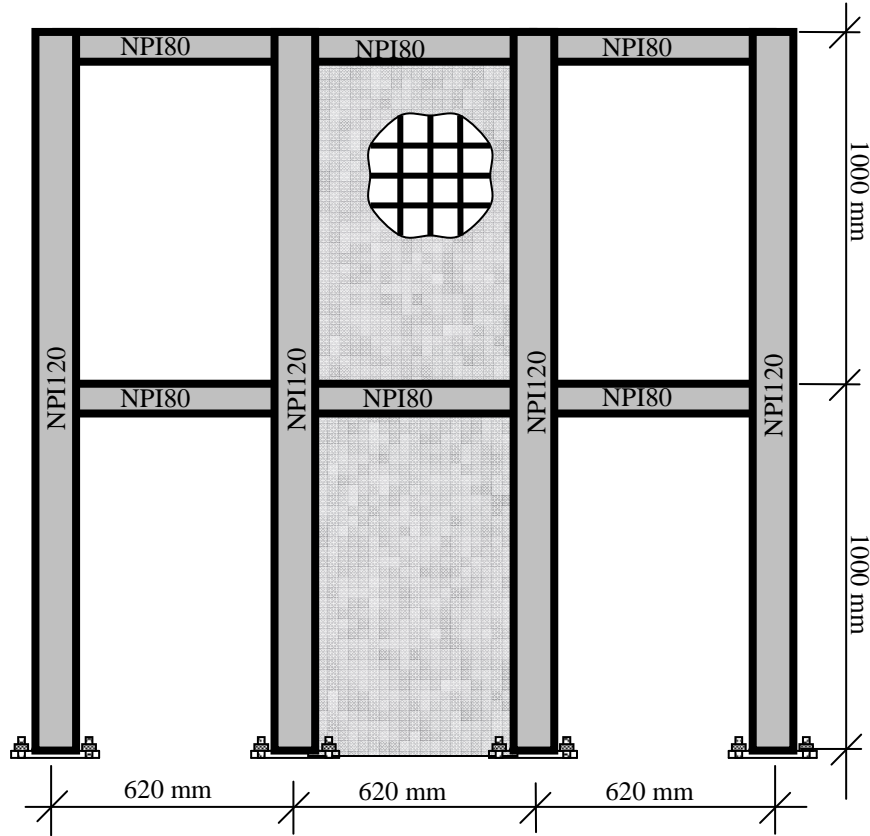
Duvar örme işlemi tamamlandıktan sonra deney sırasında duvarda oluşacağı düşünülen deformasyonların çıplak gözle daha net izlenilebilmesi için duvar beyaz badana ile boyanmıştır. Çerçeveye ve duvara tuğla dolgu duvarlı sistemde olduğu gibi ölçüm aparatları takıldıktan sonra deneye hazır hale getirilmiştir. Dolgu duvarlı çelik çerçevenin deney öncesi son durumu Şekil 50’de görünmektedir.



Şekil 50. N-3 deney numunesinin sıvasız ve sıvalı görünümü

2.1.4.3. Betonarme Perde Duvarlı Çerçeve (N-4) Deney Numunelerinin Hazırlanışı

Betonarme perde duvarlar uygulamada modüler olarak yerde dökülüp daha sonra çerçeveye monte edilmektedir. Bu çalışmada kolaylık olması açısından döküm işlemi çerçeve yerdeyken gerçekleştirilmiştir. Uygulamanın yapılacağı yer ve çerçevenin boyutları Şekil 51’da gösterilmiştir.



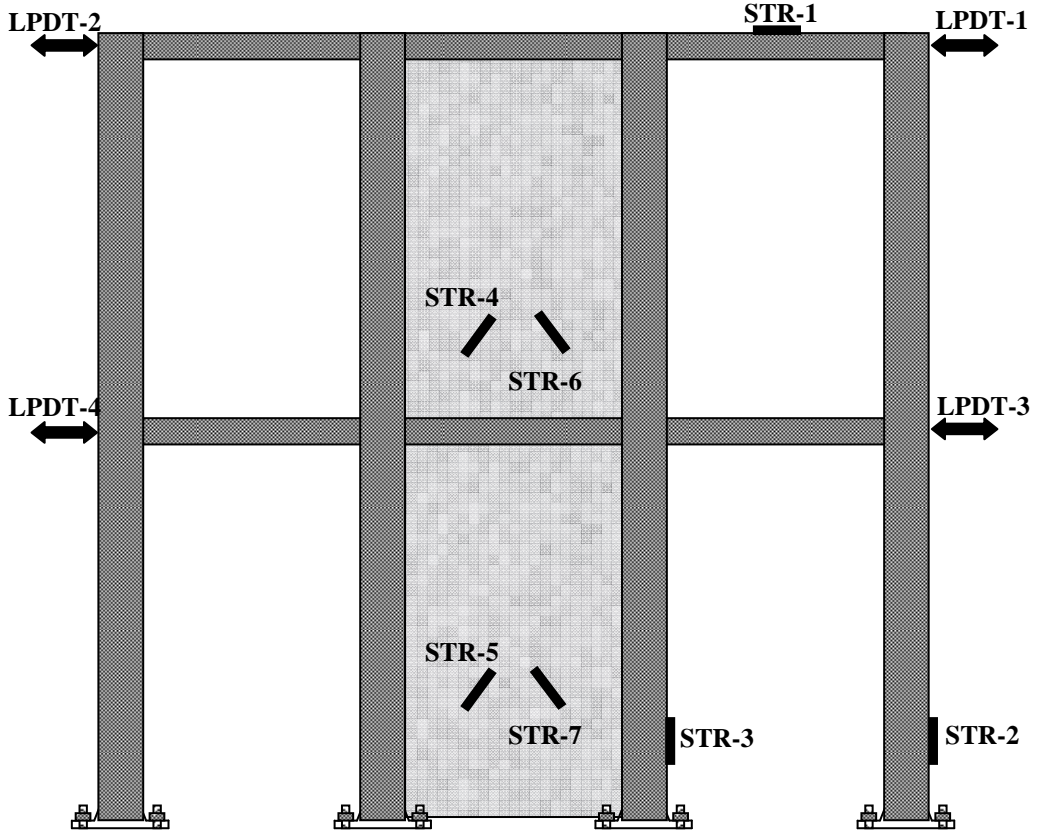
Şekil 51. N-4 deney numunesinin şematik görünümü

Betonarme perde duvarlı çelik çerçeve deneyi için geleneksel beton üretilmiştir. Laboratuar koşullarında C30 dayanımında betonlar üretilebilmiştir. Hazırlanan karışımlar öncelikle çökme deneyine tabi tutularak işlenebilirliği kontrol edilmiştir. Diğer taraftan 8mm çapında ve S420 sınıfı donatılar 100mm aralıklı hasırlar şeklinde hazırlanmıştır. Çerçeveye birkaç yerinden tutturulan hasır donatı imalatından sonra beton dökülmüştür. Gerekli kür koşullarında 28 gün bekletilen dolgu duvarlı çerçeve deney için yerine yerleştirilmiştir. Söz konusu bu imalatlar Şekil 52’de gösterilmiştir.



Şekil 52. Betonarme dolgu duvarının hazırlanma aşamaları

Betonarme perde imalatından sonra deneye hazır olan sisteme veri toplama aygıtları yerleştirilmiştir. Yerleştirme işlemi Şekil 53’de gösterilen planda yapılmıştır. Duvarda oluşacak birim şekildeğişirmelerin belirlenmesi için ilave dört adet şekildeğiştirme ölçer, çatlamların muhtemel doğrultusu dikkate alınarak, açıklığın köşegeni doğrultusunda yapıştırılmıştır. Uygulamadan önce düz bir yüzey elde etmek için ilgili alanlar zımparalanmıştır.

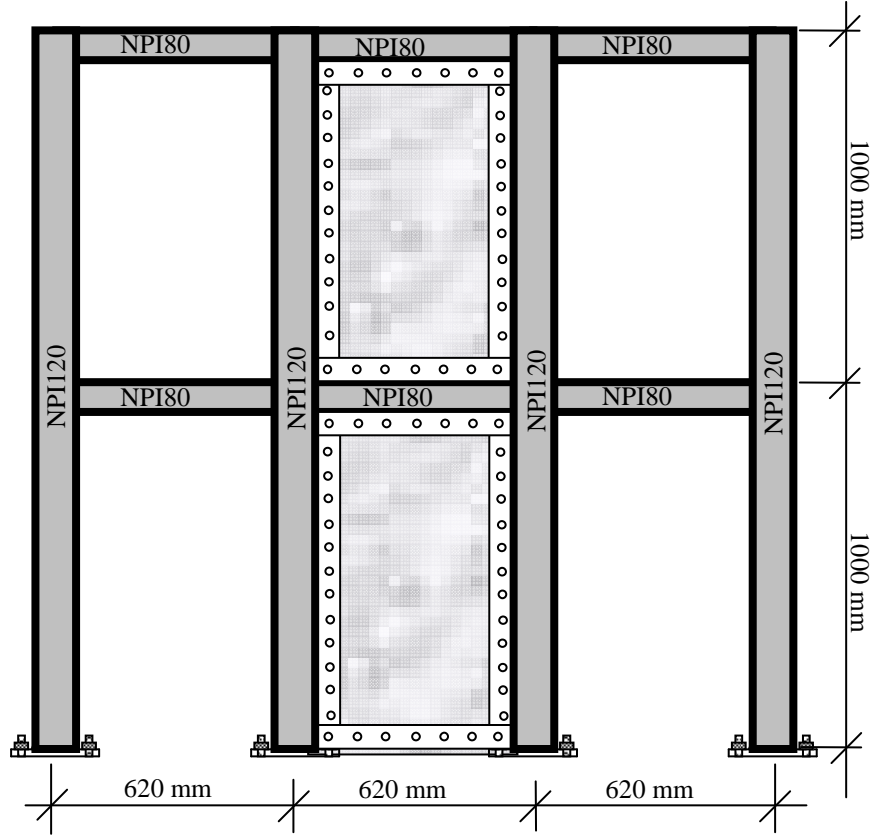


Şekil 53. N-4 numunesinin ölçüm yerleri

2.1.4.4. Çelik Levha Perde Duvarlı Çerçeve (N-5 ve N-6) Deney Numunelerinin Hazırlanışı

Çelik levha perde duvarlı çerçevelerin deneyleri için 1,5mm ve 3mm kalınlığındaki levhalar kullanılmıştır. Levhalar uygun boyutlarda kesilip yerine yerleştirilmiştir. Uygulamanın yapılacağı yer ve çerçevenin boyutları Şekil 54’de gösterilmiştir.

Deney numunesinin hazırlanmasında öncelikle çerçeve aynı yöntemlerle imal edilmiştir. Çelik levha ile çerçevenin etkileşimli davranış göstermesi için bağlantısının uygulanabilir ve sağlıklı olması gerekmektedir. Literatürde levhaların montajı için değişik yöntemler önerilmiştir. Bu deney serisi için en yaygın olan bağlantı metodu kullanılmıştır. Bu metodu şu şekilde özetleyebiliriz; Öncelikle L40.40.4 ebatlarındaki köşebentler çerçeve iç boşluk yüzeyine kaynatmak suretiyle tutturulmuştur. Daha sonra 5mm çapında delikler 100mm ara ile açılarak uygun cıvata ve somunlarla birleştirilmiştir. Şekil 55’de bahsi geçen bağlantı şekilleri gösterilmiştir.

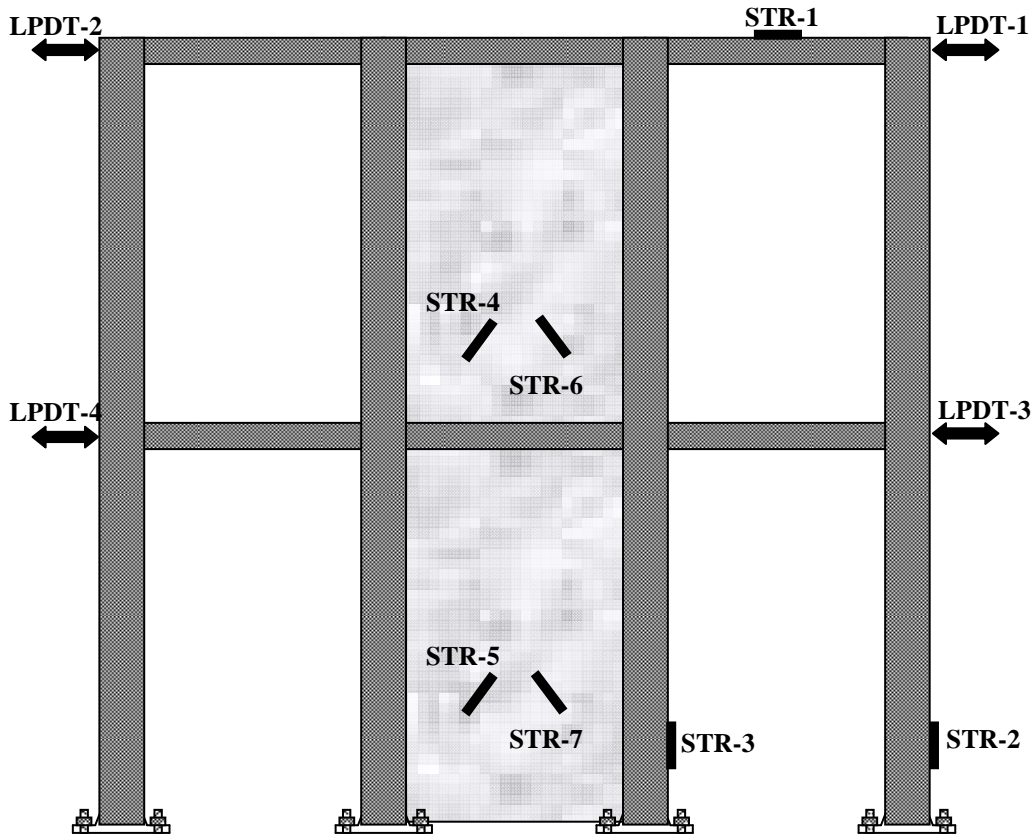


Şekil 54. N-5 ve N-6 deney numunelerinin şematik görünümü



Şekil 55. Çelik levhaların çerçeveye bağlantısı

Çelik levhalı sistemin imalatından sonra deneye hazır olan sisteme veri toplama aygıtları yerleştirilmiştir. Yerleştirme işlemi Şekil 56'da gösterilen planda yapılmıştır. Duvarda oluşacak birim şekildeğişikliklerin belirlenmesi için ilave dört adet şekildeğişiklik ölçer, buruşmaların ve uzamaların muhtemel doğrultusu dikkate alınarak, açıklığın köşegeni doğrultusunda yapıştırılmıştır. Deneye hazır çelik levha perdeli çerçeve numuneleri Şekil 57'de gösterilmiştir.



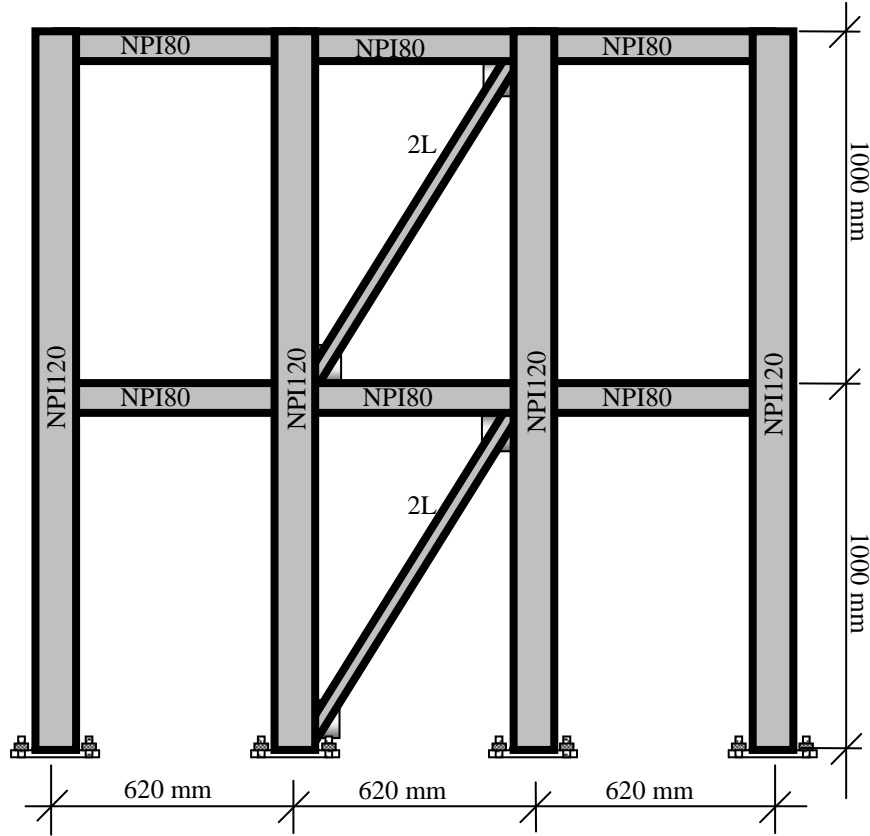
Şekil 56. N-5 ve N-6 numunelerinin ölçüm yerleri



Şekil 57. N-5 deney numunelerinin tamamlanmış görüntüleri

2.1.4.5. Köşegen Elemanlı Çerçeve (N-7ve N-8) Deney Numunelerinin Hazırlanışı

Boş çerçeve modelinin orta açıklığına katlar boyunca sürekli olacak şekilde köşegen elemanlar yerleştirilmiştir. 2L40.40.4 ve ebatlarındaki köşegen elemanlar ilk olarak iki doğrultudaki davranış üzerinde etkili olabilmesi için Şekil 58’de görüldüğü gibi yerleştirilmiştir.



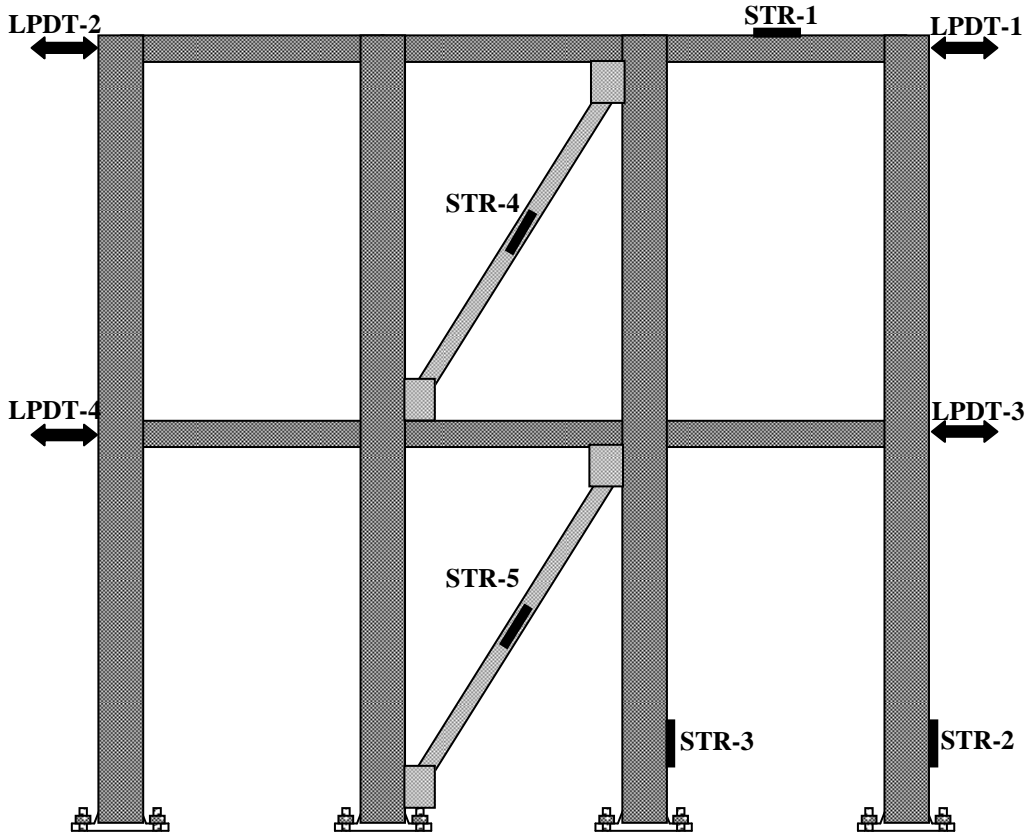
Şekil 58. N-7 deney numunesinin şematik görünümü

Köşegen elemanları çerçeveye birleşimi bağlantı levhaları ile kaynaklı olarak yapılmıştır. Daha sonra aynı yükleme grafiği kullanılarak deney gerçekleştirilmiştir. Deney modelinin bağlantı görüntüleri Şekil 59’da verilmiştir.

Çelik köşegenli sistemin imalatından sonra deneye hazır olan sisteme veri toplama aygıtları yerleştirilmiştir. Yerleştirme işlemi Şekil 60’da gösterilen planda yapılmıştır. Köşegen elemanlarda oluşacak birim şekildeğişikliklerin belirlenmesi için ilave iki adet şekildeğiştirme ölçer, buruşmaların ve uzamaların muhtemel doğrultusu dikkate alınarak, köşegen doğrultusunda yapıştırılmıştır.

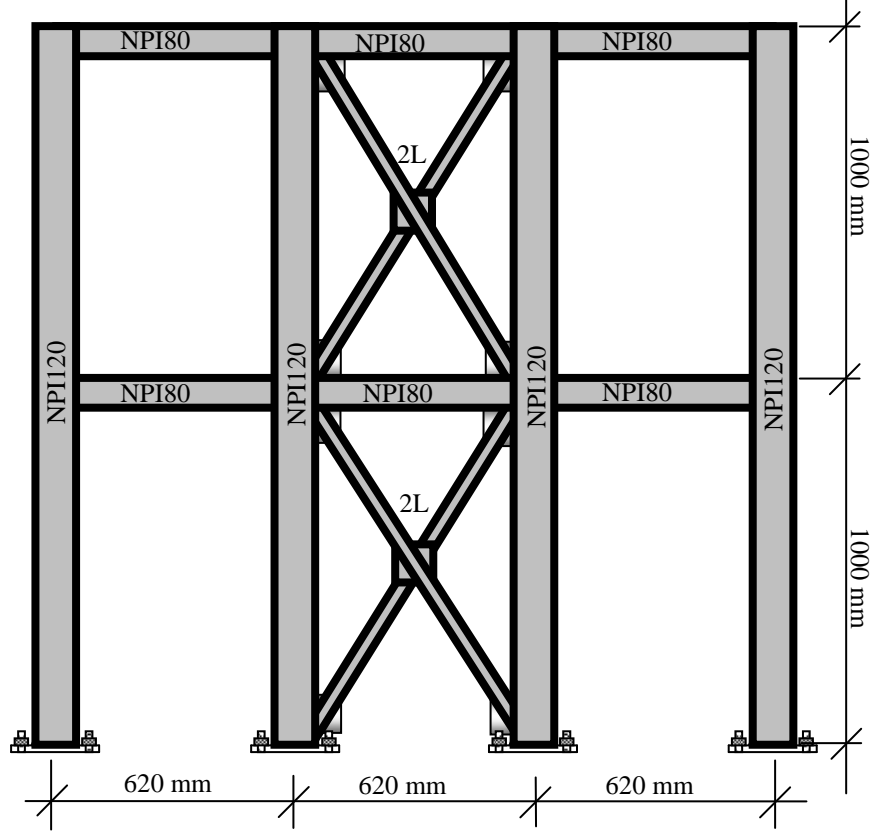


Şekil 59. Çelik köşegenlerin birleşim detayları



Şekil 60. N-7 numunesi ölçüm yerleri

Boş çerçeve modelinin orta açıklığına katlar boyunca sürekli olacak şekilde köşegen elemanlar yerleştirilmiştir. 2L40.40.4 ve ebatlarındaki köşegen elemanlar ikinci olarak iki doğrultudaki davranış üzerinde etkili olabilmesi için Şekil 61’de görüldüğü gibi yerleştirilmiştir. Her iki tür profil ile yapılan köşegen elemanlı çelik çerçevelerin deneye hazır hale gelmiş görüntüleri Şekil 62’de verilmiştir.



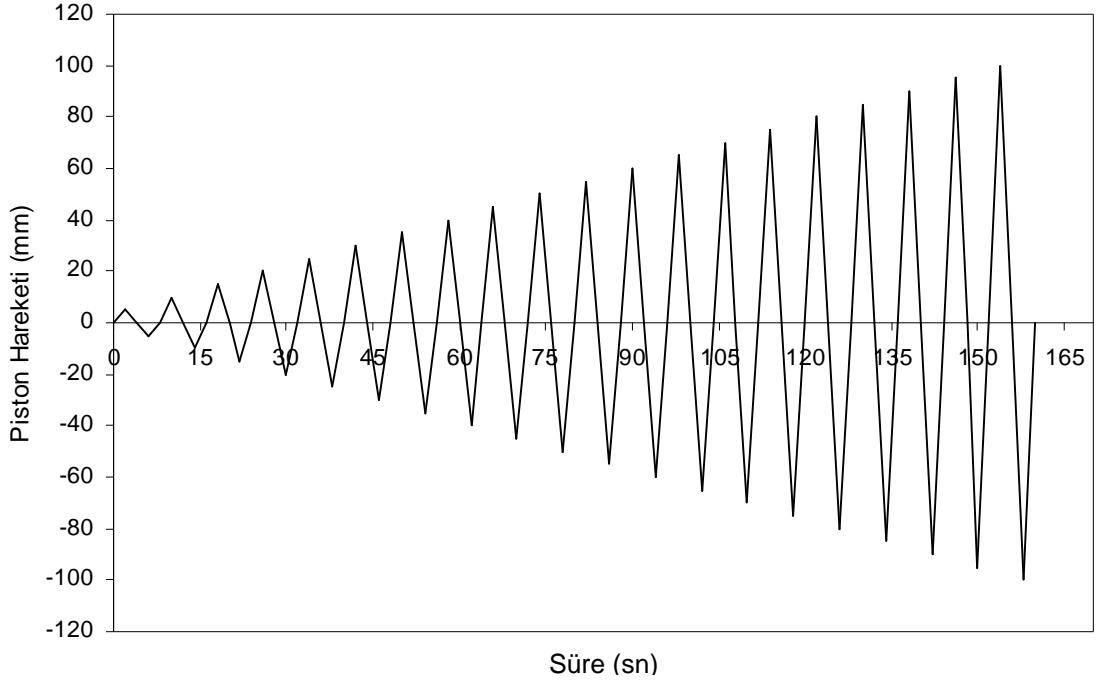
Şekil 61. N-8 deney numunesinin şematik görünümü



Şekil 62. İki doğrultuda köşegen elemanlı çerçeve deney modeli

Yukarıda anlatıldığı gibi hazırlanan deney numuneleri üzerinde deneyler gerçekleştirilmiştir. Deneylerin yapılışı aşağıda maddeler halinde özetlenmiştir.

1. Deney numuneleri, yardımcı çerçeveye yerleştirilerek, numune kolonlarının çelik temel kirişine bağlantısı yapılmıştır.
2. Numunenin, yüklemenin olacağı, üst kirişler seviyesine, çerçeveyi oluşturan elemanlarda daha rijit bir yükleme kirişi yerleştirilir. Bu sayede itmede ve çekmede daha sağlıklı bir yükleme yapılabilmektedir.
3. Yükleme pistonu yarı açık konuma (“-100mm, 0, +100mm” için 0 konumu) getirilmiştir. Bunun nedeni yüklemenin çevrimsel (itme ve çekme) olmasıdır.
4. Yükleme pistonunun ucuna yük hücresi takılmıştır. Piston, numunenin en üst kirişinin merkezinden yükleme yapılacağından, bu durumda yatay olarak rijit duvara yerleştirilmiştir.
5. Yükleme pistonuyla numunenin bağlantısı cıvatalı olarak yapılmıştır.
6. Numunenin kat seviyelerine yatay doğrultuda yer değiştirme ölçerler yine yarı açık bir konumda yerleştirilmiştir. Ayrıca çelik çerçeve elemanları ve dolguların üzerlerine şekil değiştirme ölçerler yapıştırılmıştır.
7. Yükleme pistonuyla onu yönlendiren kontrol ünitesinin (Servo-Hidrolik Test ve Kontrol Sistemi) bağlantısı yapılmıştır.
8. Yük hücresi, yer değiştirme ölçerler ve şekil değiştirme ölçerlerin kabloları veri toplama sistemine bağlanmıştır.
9. Deney numuneleri olan çerçeveleri yükleme için Şekil 63’de verilen yükleme patronu kullanılmıştır. Bu eğriye göre numuneler yer değiştirme kontrollü 2 mm/sn hızla tersinir olarak yüklenmektedir. Yükleme çevrimlerinin her biri bir kez tekrarlandıktan sonra bir sonraki çevrime geçilmiştir. Tüm bu uygulamalar bilgisayar yazılımlarında programlanarak yükleme sistemine aktarılmıştır.



Şekil 63. Deneylerde kullanılan yükleme patronu

2.2. Teorik Çalışmalar

Teorik çalışma kapsamında, incelenen deney elemanlarının sonlu elemanlar modelleri oluşturularak, doğrusal olmayan sonlu eleman analizi yapılmıştır.

Çalışmada denenen numunelerin doğrusal olmayan analizini yapmak için yeni bir program geliştirilmemiş olup, ticari ve genel amaçlı sonlu elemanlar programları olan ANSYS ve SAP2000 kullanılmıştır. Çeşitli tezlerde ve çalışmalarda farklı programlar geliştirilmiştir. Ancak, bu programlar ticari amaçlı olmadıkları için sadece kullanıldıkları çalışmanın içeriği ile sınırlı kalmakta ve diğer araştırmacılar tarafından sonuçlarının doğruluğu test etme veya çalışmaya ek başka çalışmalar yapma imkanı bulunmamaktadır. ANSYS ve SAP2000 programlarının kolay temin edilebilen bir program olmasının, bu çalışmada geliştirilen çözüm yönteminin pratikte de kullanılmasını sağlayacağı ve başka araştırmacılara da çalışma imkanı sunacağı umulmaktadır.

Doğrusal olmayan analiz esasları ve ANSYS ve SAP2000 programlarının çözüm kabulleri aşağıda verilmektedir.

2.2.1. Sistemlerin Doğrusal Olmayan Analizinin Temel Esasları

Doğrusal analizde sistemin tepkisi doğrudan yüklerle orantılıdır ve birtakım temel kabullere dayanmaktadır. Yerdeğiştirme ve dönmeler yüklerin ilk durumunu ve yönelmesini bozmayacak şekilde küçüktür. Birim yerdeğiştirmeler gerilmelerle orantılıdır. Ancak, gerçekte malzemeler belli bir sınıra kadar elastik, daha sonra ise doğrusal olmayan bir davranış gösterirler. Burkulma yada malzemenin göçmesi, yüksek yerdeğiştirmelere ulaşılması durumunda rijitlik kaybına neden olur. Elastik analizler ise, kritik göçme mekanizmalarını yansıtmaktan uzaktır[76].

Doğrusal olmayan davranış, malzemenin doğrusal olmayan gerilme-birim yerdeğiştirme ilişkisinden kaynaklanmaktadır. Bunun için kullanılan malzemelerin mekanik özelliklerinin tespit edilmiş ve nümerik olarak tanımlanmış olması gerekmektedir. Doğrusal olan sistemlerin aksine sisteme uygulanmak istenen yerdeğiştirme yada kuvvetler belli bir artırımla verilmelidir. Uygulanan yük artırımına $\{\Delta F\}$ bunun oluşturacağı yerdeğiştirme farkına $\{\Delta U\}$ ve sistem rijitlik matrisine $[K]$ denilirse;

$$\{\Delta F\} = [K]\{\Delta U\} \quad (15)$$

yazılabilir. Burada $[K]$ yüklemenin değerine göre değişen bir rijitlik matristir. Birinci çevrimin elastik bölgede ve rijitlik matrisinin $[K]_0$ olduğu düşünülürse,

$$\{\Delta U\}_0 = [K]_0^{-1}\{\Delta F\} \quad (16)$$

ifadesi çözülerek, yük artırımından dolayı sistemde oluşan yerdeğiştirme artımı hesaplanabilmektedir. Buradan hareketle her bir sonlu eleman için bu yerdeğiştirmelere karşılık gelen $\{\Delta \mathcal{E}\}_0$ birim yerdeğiştirmeleri elde edilebilmektedir. Malzemenin gerilme-birim yerdeğiştirme dağılımından, malzemenin $[D]$ teğetsel rijitlik matrisi kullanılarak her bir elemanda oluşan gerilmeler,

$$\{\Delta \sigma\}_0 = [D]\{\Delta \mathcal{E}\}_0 \quad (17)$$

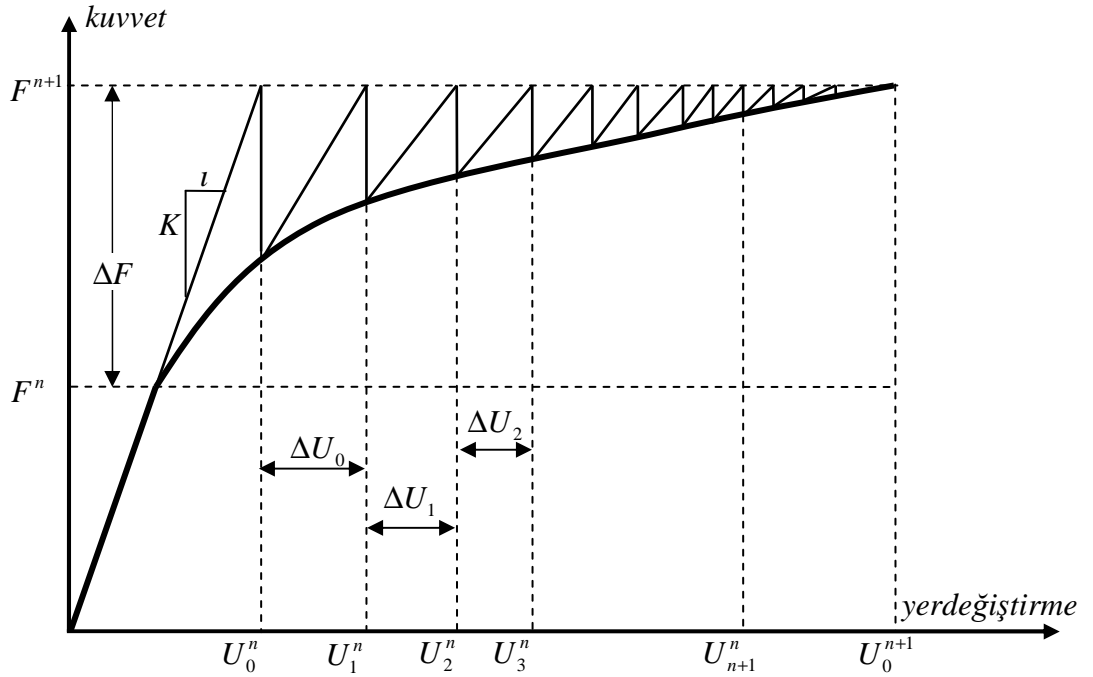
denklemini yardımıyla hesaplanabilmektedir. Bu gerilmelere karşılık gelen dış yükler $\{F\}_0$ olarak ifade edilirse, uygulanan toplam dış yük $\{\Delta F\}_0$, hesaplanan $\{F\}_0$ dış yükünden,

$$\{E\}_0 = \{\Delta F\} - \{F\}_0 \quad (18)$$

kadar farklı olacaktır. Bu fark dış yükü ortadan kaldırmak için, sistem $\{\Delta U\}_1$, kadar daha yerdeğiştirme yapacaktır. Dolayısıyla $\{\Delta U\}_1$ i hesaplamak için,

$$\{\Delta U\}_1 = [K]_0^{-1} \{E\}_0 \quad (19)$$

yazılabilmektedir. Burada sistemin yaptığı yeni yerdeğiştirmeye $\{\Delta U\}_0 + \{\Delta U\}_1$ olmaktadır. Tekrar daha önceki adımlarda olduğu gibi, bu yerdeğiştirmeye karşılık gelen dış yükler hesaplanır ve aynı adımlar izlenerek yeni bir yerdeğiştirme ulaşılmaktadır. İşlemler, uygulanan dış yükler ile bulunan dış yüklerin farkı belirli bir hata oranının altına düşünceye kadar devam etmektedir (Şekil 64).



Şekil 64. Başlangıç rijitliği metodu

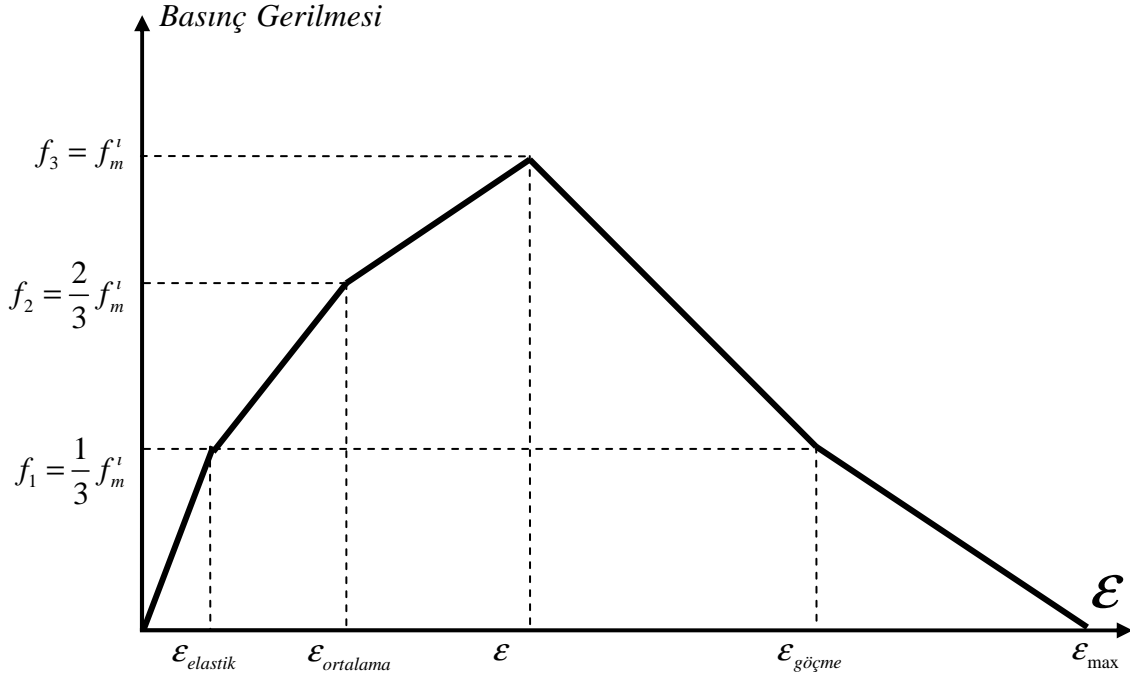
2.2.2. Doğrusal Olmayan Analizin Adımları

Bu çalışma kapsamındaki tuğla duvar, betonarme perde, çelik levha dolgulu, merkezi çelik köşegenli ve boş çerçevelerin modelleri, genel amaçlı bir sonlu elemanlar programında hazırlanmıştır. Söz konusu sistemler için üç model mevcuttur. İlk modelde dolgular Katı (Solid) elemanlarla modellenip, dolgu ve çerçeve arasında ayrışma ve teması da göz önüne alabilen ara eleman (contact) kullanılmıştır. Ara elemanlar basınç durumunda yükü aynen aktarırken, çekme durumunda çerçeve ve dolgu arasındaki bağı koparmaktadır. İkinci modelde dolgular fiktif- diyagonal basınç çubuğu şeklinde modellenmiştir. Boş çerçeve modelinde ise çerçeve eğilme alabilen çerçeve (frame) elemanlarla, diyagonal basınç çubukları ise eğilme etkisi alamayan elemanlar olarak modellenmiştir. Çelik köşegenli ve Boş çelik çerçeve modelleri hem katı elemanlarla hemde çubuk elemanlar ile modellenmiştir

Doğrusal olmayan sonlu eleman analizi için çelik çerçevenin, dolgu duvarların, betonarme perdenin ve çelik levha perdelerin malzeme özelliklerinin (basınç dayanımı, kırılma anındaki birim kısalma vs.) ve gerilme-birim yerdeğiştirme ilişkisinin bilinmesi gereklidir. Bu amaçla dolgulu çelik çerçeve sonuçlarından da dolgu duvar gerilme birim yerdeğiştirme ilişkisini elde etmek için dolgu duvarlı çelik çerçeve deneylerinin yük-yerdeğiştirme sonuçlarına dayanan bir malzeme modeli dikkate alınmıştır. Zira betonarme perde, çelik levhaların ve çelik köşegenlerin ilgili değerleri malzeme üzerinde yapılan geleneksel deneylerle belirlenebilmiştir.

2.2.2.1. Malzeme Modelinin Belirlenmesi ve Analiz

Daha önce yapılan teorik çalışmalarda dolgu duvarlar için çeşitli matematiksel modeller önerilmiş olmakla beraber, birçok araştırmacı dolgu duvarın gerilme-birim yerdeğiştirme bağıntısının betonunki ile temsil edilebileceğini ve duvarın basınç dayanımının betonun basınç dayanımı yerine dikkate alınarak formülasyonun aynen kullanılabileceğini belirtmektedirler. Şekil 65'de kullanılan malzeme modeli verilmiştir.

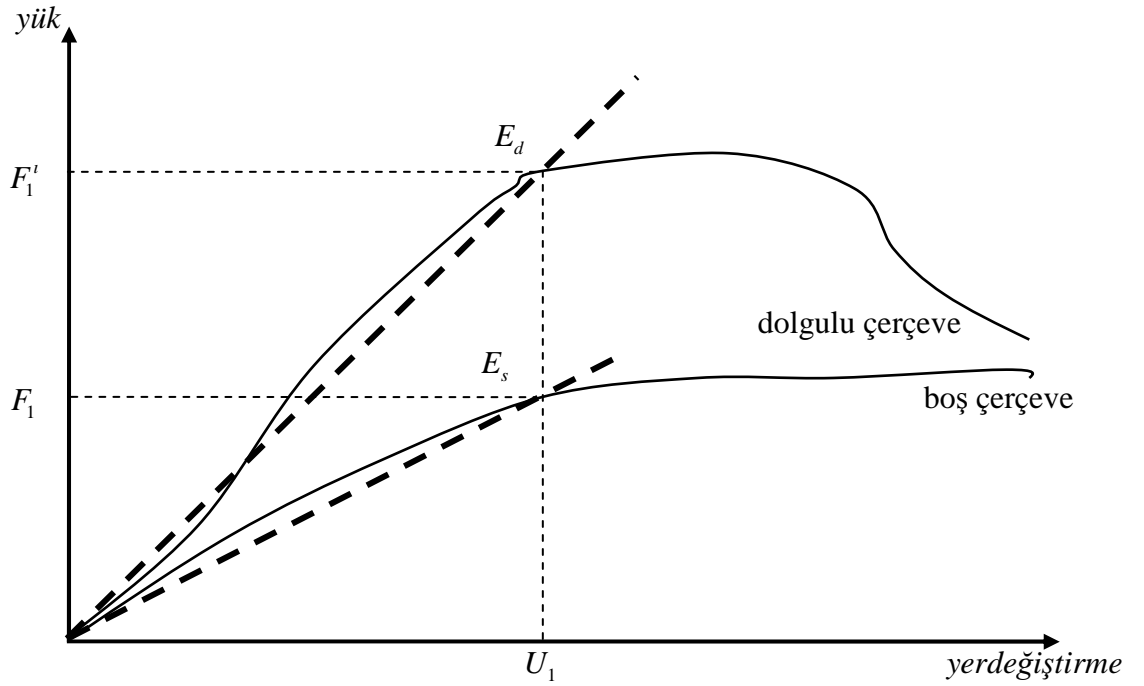


Şekil 65. Dolgu duvar malzeme modeli

Bu çalışmada tuğla duvar dolgulu malzeme modeli, daha önce gerçekleştirilen dolgu duvar deneylerinin bir kısmının sonuçları kullanılarak belirlenmiştir[77] Deneyler yerdeğiştirme kontrollü olarak gerçekleştirilmiştir. Tersinir-tekrarlanır yükleme uygulanan numuneler ilk önce ileri yönde 5mm çevrime maruz bırakılıp yük boşaltılmadan, daha sonra tersi (geri) yönde 5mm yerdeğiştirme uygulanıp çevrim tamamlanmıştır. Daha sonraki çevrimlerde ise, 5mm artırımlar takip edilmiştir. Sonuç olarak numuneler en fazla 100mm lik çevrime maruz bırakılmıştır. Sonuçları kullanılan çerçevelerin l/h oranı yaklaşık olarak 1,5 olup, tuğla duvar dolgulu, gazbeton duvar dolgulu, betonarme perde dolgulu, çelik levha perde dolgulu, çelik köşegenli ve boş çerçeve olmak üzere altı çeşittir.

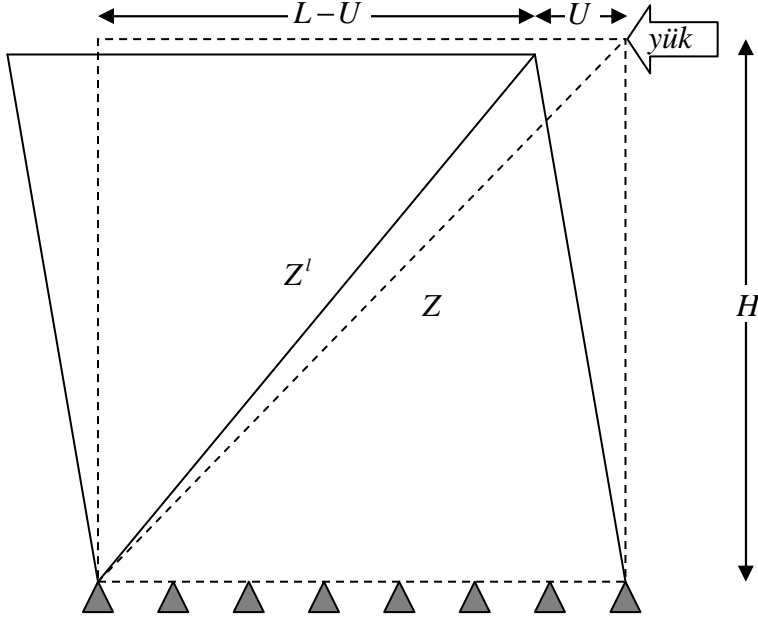
Modellemede sadece ileri çevrimlerin zarf eğrileri göz önüne alınmıştır. Her bir çevrim için ilk önce boş çerçeveye yerdeğiştirme uygulanmıştır. Şekil 66'da görüldüğü gibi 4. çevrimde boş çerçeveye uygulanan yük F_1 ve buna karşılık gelen üst nokta yerdeğiştirmesi U_1 olsun. Model üzerinde F_1 yükü uygulandıktan sonra U_1 yerdeğiştirmesini elde edinceye kadar çeliğin (çerçeve malzemesi) elastisite modülü değiştirilerek deneme-yanılma yöntemiyle E_s tespit edilmiştir. Daha sonra dolgulu model (katı elemanlarla modellenmiş) aynı yerdeğiştirme için F_1^l ($F_1^l > F_1$) yüklemesi altında en üst yükleme noktasında U_1

yerdeğiştirmeyi elde edilinceye kadar dolgu malzemesinin elastisite modülü değiştirilerek E_d elde edilmiştir. Bu adımda çerçevenin malzemesi için elastisite modülü olarak bir önceki adımda elde edilen boş çerçevenin (bu çevrim için bulunan) elastisite modülü E_s kullanılmıştır. Daha sonra dolgunun diyagonal basınç çubuğuyla temsil edildiği modelde, diyagonal çubuk için elastisite modülü olarak E_d (dolgu için bulunan), çerçeve çeliğinin elastisite modülü olarak da E_s (boş çerçeve için bulunan) kabul edilerek çerçevede yine F_1 yüklemesi altında en üst yükleme noktasında U_1 yerdeğiştirmesini elde edilinceye kadar basınç diyagonalinin genişliği değiştirilmiştir. Basınç diyagonalinin derinliği dolgu derinliğine eşit kabul edilmiştir. İstenen yerdeğiştirme elde edildikten sonra bu adımda diyagonalde meydana gelen aksel kuvvet de kaydedilmiştir. Burada kısaca özetlenen adımlar her bir çevrim için sırasıyla gerçekleştirilmiştir. Sonuçta elde edilen basınç diyagonali genişliğinin her adımda sabit olduğu görülmüştür.



Şekil 66. Dolgulu çerçeve ve boş çerçevenin yük-yerdeğiştirme eğrileri

Bir sonraki adımda malzemenin gerilme-birim yerdeğiştirme bağıntısını elde etmek için aşağıdaki formülasyonlar kullanılmıştır. Dolgunun diyagonal basınç çubuğuyla temsil edildiği modelde her çevrim için diyagonalin üst noktasının yerdeğiştirmesi dolayısıyla diyagonalde meydana gelen birim yerdeğiştirme şu şekilde hesaplanabilir (Şekil 67).

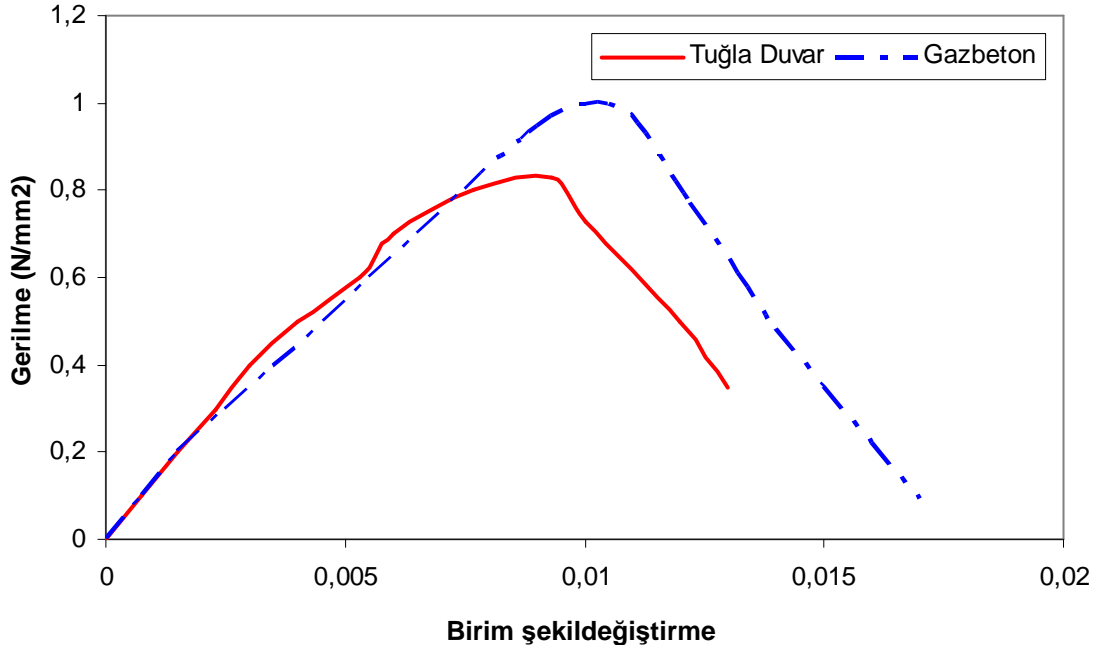


Şekil 67. Dolgulu çerçeve ve boş çerçevenin yük-yerdeğiştirme eğrileri

$$Z = \sqrt{(L^2 + H^2)}, \quad Z' = \sqrt{((L-U)^2 + H^2)}, \quad \varepsilon = \frac{Z-Z'}{Z} \quad (20)$$

Burada Z , diyagonal basınç çubuğunun ilk boyu, Z' , diyagonal basınç çubuğunun çerçeveye yük uygulandıktan sonraki boyu, L , çerçevenin uzunluğu, H , çerçevenin yüksekliğini ifade etmektedir.

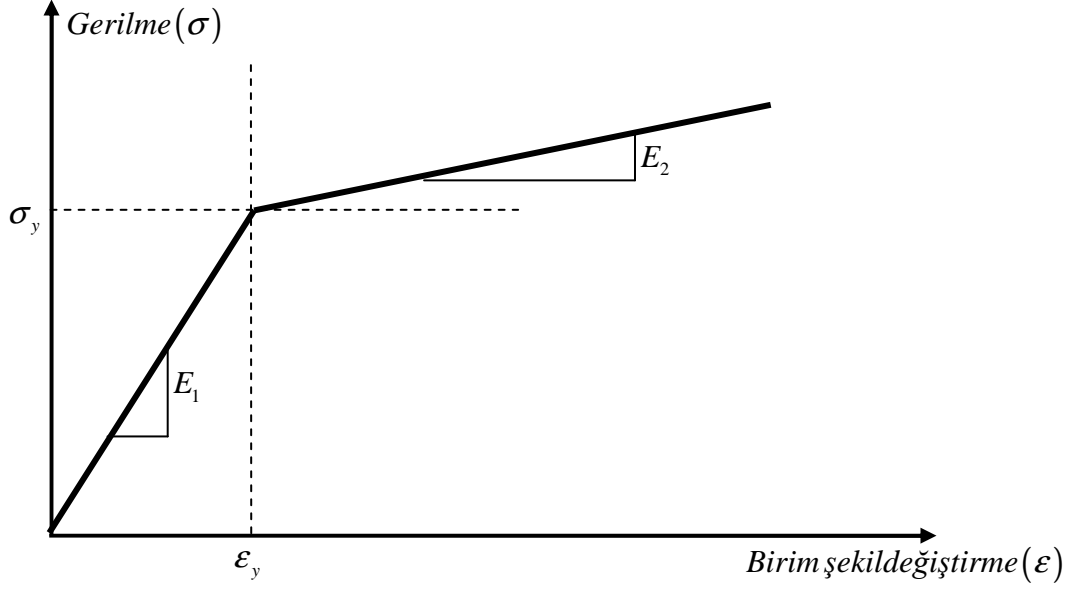
Yukarıda özetlenen şekilde her bir çevrim için diyagonal çubukta meydana gelen birim yerdeğiştirme ve gerilme (eksenel yükün çubuğun ilk alanına bölünmesiyle elde edilen) değerleri tespit edilmiştir. Aynı işlem sırası gazbeton duvar dolgulu çerçeve için gerçekleştirilerek gazbeton malzemesi için de gerilme-birim yerdeğiştirme bağıntısı elde edilmiştir (Şekil 68). Elde edilen bağıntılar genel amaçlı ve doğrusal olmayan malzeme özelliklerine göre de çözüm yapabilen ANSYS programına girdi olarak verilmiştir. Bu programda, dolgulu çerçeve, Katı eleman (çerçeve frame-çerçeve eleman) olarak modellenmiştir.



Şekil 68. Tuğla duvar ve gazbeton duvar için kullanılan birim şekildeğiştirme eğrileri

2.2.4. Katı (Solid) Modeli ile Çözüm

Dolgunun Katı elemanlarla temsil edildiği modelde çelik ve dolgu malzemesi için, yukarıda özetlendiği şekilde bulunan gerçek gerilme-birim yerdeğiştirme bağıntıları kullanılmıştır. Çelik için kullanılan gerilme-birim şekildeğiştirme grafiği Şekil 69'da verilmiştir.



Şekil 69. Yapı çeliği için kullanılan malzeme modeli

Yük geçmişi grafiklerinin çizdirilmesi amacıyla, önce deney sırasında her çevrim için ileri ve geri yüklemelerde elde edilmiş olan yatay yük değerleri belirlenmiştir. Daha sonra, çevrim ve yatay yük ilişkisi grafiksel olarak değerlendirilerek her bir numune için yük geçmişi grafiği çizilmiştir.

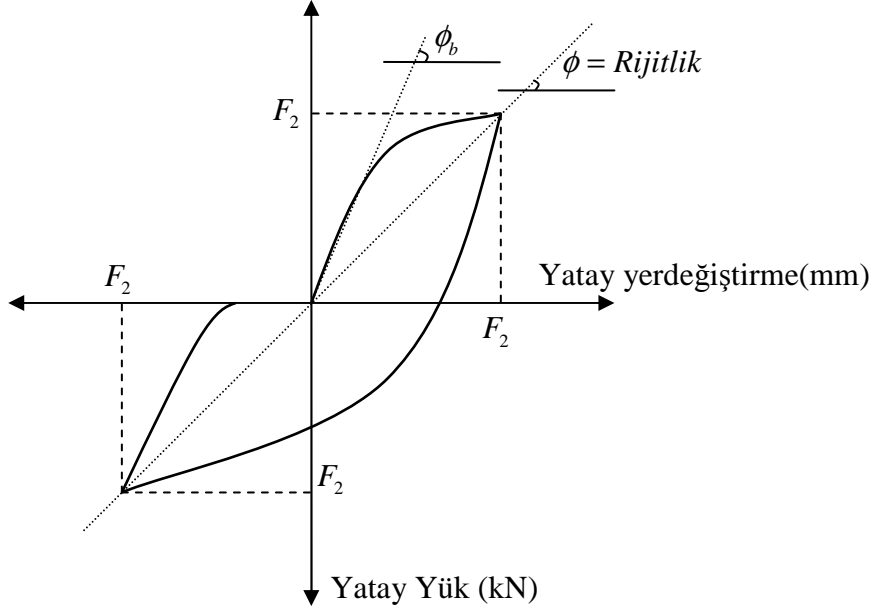
Dayanım zarfı grafiklerinin çizilmesi amacıyla, her çevrimde okunan en büyük yatay yerdeğiştirme değerleri ve buna karşılık gelen en büyük yatay yük değerleri elde edilmiştir. İleri ve geri okumalarda elde edilen yatay yerdeğiştirmeler ile yatay yük değerleri grafiksel olarak çizilmiştir.

Tersinir-tekrarlanır yatay yükleme altında, deney numunelerinin rijitliklerinde ilerleyen her çevrimde bir azalma olmaktadır. Çelik çerçeve numunelerinin rijitlik değerleri, her bir çevrim için yük-yerdeğiştirme grafiğinin eğimi bulunarak elde edilmiştir (Şekil 70).

Her çevrimde, yük yerdeğiştirme eğrisinde okunan yatay yük değerleri F_1 ve F_2 ile yerdeğiştirme değerleri δ_1 ve δ_2 olarak belirlenirse, o çevrim için rijitlik değerleri,

$$Rijitlik(\phi) = (|F_1| + |F_2|) / (|\delta_1| + |\delta_2|) \quad (21)$$

bağıntısı ile hesaplanmıştır



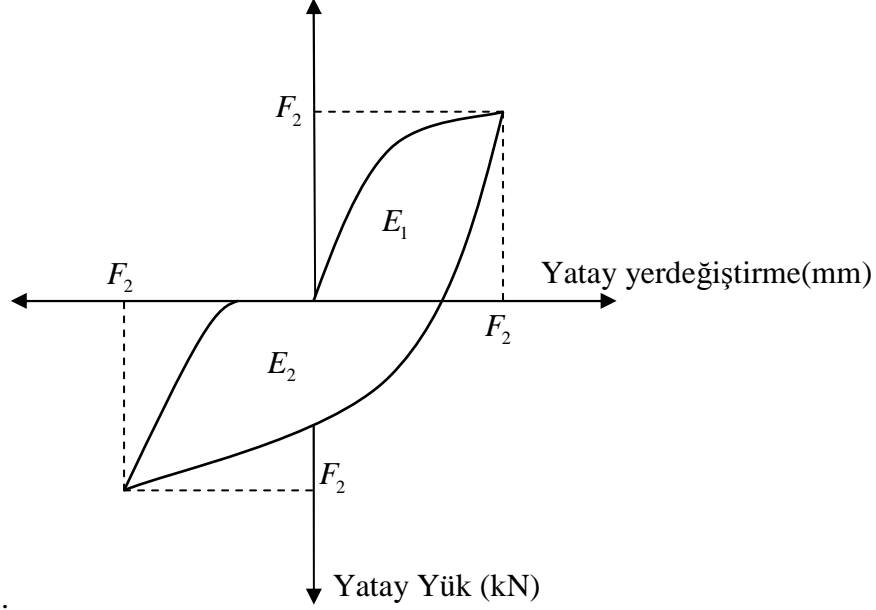
Şekil 70. Çelik çerçeve numunelerinin rijitlik değerlerinin belirlenmesi

İleri ve geri çevrimleri tamamlanamayan durumlarda ise, yukarıdaki hesaplamalar sadece ileri çevrim için yapılmıştır. Ayrıca teorik çözümlerle karşılaştırma yapabilmek için, 1-1 çevrimi yük-yerdeğiştirme eğrisinin başlangıç teğet eğimi hesaplanarak başlangıç rijitliği (ϕ_b) de hesaplanmıştır.

Deney numuneleri için elde edilen rijitlik azalımı grafiklerinin birbirleri ile kıyaslanabilmesi için bulunan rijitlik değerlerinin, kat yerdeğiştirme/kat yüksekliği (δ/h) oranı ile değişiminin grafiksel olarak çizdirilmesi ile rijitlik azalımı grafikleri elde edilmiştir. Rijitlik azalım grafikleri deney sonuçları arasında daha iyi bir karşılaştırma yapabilmek için çevrim sayısına bağlı olarak değil, (δ/h) oranına bağlı olarak çizilmiştir.

Tersinir-tekrarlanır yatay yüke maruz çerçeve sistemleri, üzerine gelen enerjinin bir kısmını şekildeğiştirmeye uğrayarak tüketmektedir. Tüketilen bu enerji, özellikle deprem gibi dinamik yükleme durumları için oldukça önemlidir. Bu çalışmalarda da deney numunelerinin tüketmiş oldukları enerji değerleri elde edilmiştir. Her çevrimde elde edilen tüketilen enerji değerleri toplanarak toplam tüketilen enerji grafiğinin çizilmesi daha gerçekçi olacağı düşünüldüğünden, her bir numune için buna göre toplam tüketilen enerji grafiği çizilmiştir. Bu amaçla ilk olarak, ileri yüklemde yük-yerdeğiştirme eğrisinin

altında kalan alan E_1 hesaplanmıştır. Daha sonra geri yüklemeye yük-yerdeğiştirme eğrisinin altında kalan alan E_2 hesaplanmıştır ve bu çevrim için toplam tüketilen enerji E_1 ve E_2 değerlerinin toplanması suretiyle hesaplanmıştır. Bundan sonra her çevrim için elde edilen tüketilen enerji değerleri toplanarak toplam tüketilen enerji değerleri hesaplanmıştır (Şekil 71).



Şekil 71. Toplam tüketilen enerji değerlerinin hesaplanması

Deney numuneleri için elde edilen enerji tüketme grafiklerinin birbirleri ile kıyaslayabilmek için toplam tüketilen enerji değerleri ardışık olarak toplam $\sum(\delta/H)$ oranı ile değişiminin grafiksel olarak çizdirilmesi ile tüketilen enerji grafikleri elde edilmiştir. Tüketilen enerji grafikleri, deney sonuçları arasında daha iyi bir karşılaştırma yapabilmek amacıyla; çevrim sayısına bağlı olarak değil, toplam $\sum(\delta/H)$ oranına bağlı olarak çizilmiştir.

3. BULGULAR VE İRDELEMELER

Bu çalışma kapsamında gerçekleştirilen, yaklaşık olarak 1/3 ölçekli 8 seri değişik çelik çerçeve sistemleri için 14 adet deney numunesi, depremini benzeştiren tersinir-tekrarlanır yatay yük altında deneye tabi tutulmuştur. Deney numunelerine ait fiziksel özellikler daha önce Tablo 13’de verilmiştir. Çelik taşıyıcı sistemlerde yatay yük taşıma kapasitesini arttıran elemanların etkinliğinin incelenmesi amacıyla gerçekleştirilen bu çalışmada, elde edilen bulgular ve bu bulgular yardımıyla yapılan irdelemeler aşağıda verilmektedir.

Bu bölümde deney numunelerinin yük-yerdeğiştirme ilişkileri, dayanım zarfı özellikleri, çerçeve sistemlerinde meydana gelen rijitlik azalımı ve enerji tüketme kapasiteline ait grafikleri üzerinden değerlendirmeler yapılmıştır. Dayanım zarfı grafiklerinin çizilmesi amacıyla, her çevrimde okunan en büyük yatay yerdeğiştirme değerleri ve buna karşılık gelen yatay yük değerleri elde edilmiştir. İleri ve geri okumalarda elde edilen yatay yerdeğiştirmeler ile yatay yük değerleri grafikler halinde sunulmuştur. Tersinir-tekrarlanır yatay yükleme altında, deney numunelerinin rijitliklerinde ilerleyen her çevrimde bir azalma olmaktadır. Çelik çerçeve numunelerinin rijitlik değerleri, her bir çevrim için yük-yerdeğiştirme grafiğini eğimi bulunarak elde edilmiştir. Tersinir-tekrarlanır yatay yüke maruz çerçeve sistemleri, üzerine gelen enerjinin bir kısmını şekildeğiştirmeye uğrayarak tüketmektedir. Deney numunelerinin tüketmiş olduğu enerji, her çevrimde yük-yerdeğiştirme eğrisinin kapamış olduğu alana eşittir. Ancak her çevrimde elde edilen, tüketilen enerji değerleri toplanarak toplam tüketilen enerji grafiğinin çizdirilmesi daha gerçekçi olacağı düşünüldüğünden, her bir numune için toplam tüketilen enerji grafiği çizilmiştir. Sayısal çalışma kapsamında ANSYS programı kullanılarak yapılmış olan sonlu elemanlar modeli ve birleşim detayları sunulmuştur. Elde edilen sonuçlar deneysel sonuçlarla karşılaştırılmıştır.

3.1. Boş Çelik Çerçeve (N-1) Deney Numunelerinin İçin Deney Bulguları ve Değerlendirilmesi

Boş çerçeve (dolguların ve çelik köşegenlerin olmadığı) üzerinde, çalışma kapsamına uygun olarak, deneyler gerçekleştirilmiştir. Bu deneyler, hem çerçeve sisteminin davranışını hem de dolgulu ve çelik köşegenli çerçeve davranışlarıyla karşılaştırma yapabilmek amacıyla 3 adet çelik çerçeve üzerinde yapılmıştır. Çerçeve deneylerinde deney düzeneğinin etkinliği de araştırılmıştır. Boş çerçeve deneyi için imal edilen üç numuneden ilk olarak yapılan numune deneye tabi tutulduğunda kullanılan kaynağın öngörülen performansı göstermediği tespit edilmiştir.

Numunelerde rutil kaynağın yeterli olmadığı, profillerin başlık ve gövdelerinde yırtılmalar ve kolonların temel plakası ile bağlantılarında kopmalar meydana geldiği tespit edilmiştir. (Şekil 72).



Şekil 72. Rutil kaynak kullanıldığı birleşimlerdeki kaynak kusurları

Bu kusurları gidermek için, ikinci numunede kolon temel birleşimleri ve birleşim noktaları plakalarla güçlendirilmiş, rutil kaynak yerine bazik kaynak kullanılmıştır (Şekil 96). Bu şekilde hazırlanan deney numunelerinde, deney sonlandırılana kadar herhangi bir deney düzeneği ve deney elemanlarında herhangi bir imalat kusuruna rastlanmamıştır. Dolayısıyla da üçüncü numune için yapılan deney, ikinci numune deneyini doğrulamak amacıyla yapılmıştır ve üçüncü numunenin de ikinci deney düzeneği ile sistem olarak aynı davranışı gösterdiği görülmüştür.

Yukarıda verildiği gibi oluşturulan deney sisteminde numuneler tersinir yükleme altında deneye tabi tutulmuştur. (Şekil 74). Yükleme dana önce tanımlanan yük patronuna göre yapılmıştır (bkz. Şekil 63).

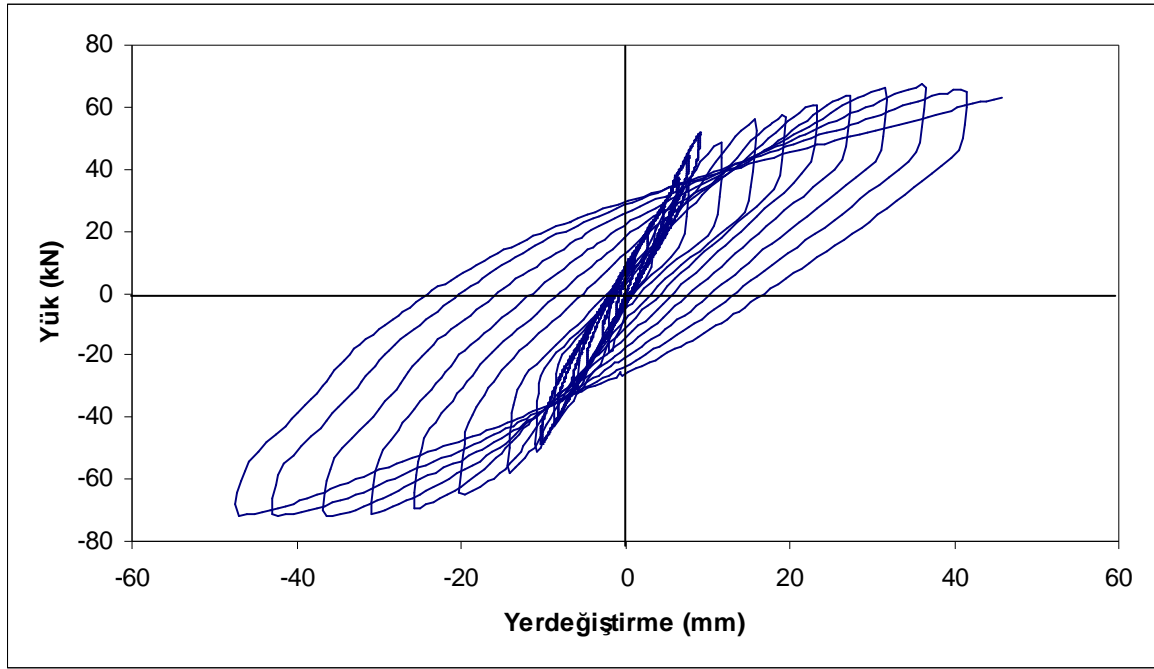


Şekil 73. Kolon kiriş birleşimlerinde ve kolon ayaklarında yapılan güçlendirmeler



Şekil 74. N-1 Boş çerçeve deney numunesinin deney sonrası görünümü

Buna göre öncelikle 1-1 çevriminde ileri yükleme ile sola doğru 2mm lik yerdeğiştirme uygulanmıştır ve sistem başlangıç noktasına çekilmiştir. Daha sonra 1-2 çevriminde geri yükleme ile sağa doğru sisteme 2mm lik yerdeğiştirme uygulanmıştır ve sistem yine başlangıç noktasına çekilmiştir böylece bir tam çevrim tamamlanmış olmaktadır. Daha önce verilen yük patronuna uyulmak suretiyle, ölçüm ve yükleme sistemlerinin imkan verdiği oranda deneye devam edilmiştir. Deneyde elde edilen yük-yerdeğiştirme değerlerine ait eğri Şekil 75’de verilmiştir. Bununla birlikte her çevrime karşılık gelen yatay yük ve yatay yerdeğiştirme ile kat yerdeğiştirmelerinin katlara oranları (δ/h) Tablo 14 de verilmiştir.



Şekil 75. N-1 Boş çerçeve sistemi için yük-yerdeğiştirme ilişkisi

Tablo 14. N-1 deney numunesi için deneylerden elde edilen yük-yerdeğiştirme değerleri

Çevrim	Yatay yük (kN)	2. KAT			1.KAT		
		Kat Yerdeğiş. (δ) (mm)	Kat Yükseklği (h) (mm)	(δ/h)	Kat Yerdeğiş. (δ) (mm)	Kat Yükseklği (h) (mm)	(δ/h)
1	18,681	2,776	2000	0,0014	1,215	1000	0,0012
2	28,401	4,702	2000	0,0024	2,333	1000	0,0023
3	38,891	6,548	2000	0,0033	3,334	1000	0,0033
4	44,050	7,649	2000	0,0038	4,001	1000	0,0040
5	51,715	9,122	2000	0,0046	4,356	1000	0,0044
6	48,783	11,714	2000	0,0059	5,497	1000	0,0055
7	55,835	15,669	2000	0,0078	8,012	1000	0,0080
8	57,502	19,123	2000	0,0096	9,635	1000	0,0096
9	60,566	23,379	2000	0,0117	11,486	1000	0,0115
10	63,866	27,433	2000	0,0137	13,624	1000	0,0136
11	66,458	31,689	2000	0,0158	15,345	1000	0,0153
12	67,165	36,194	2000	0,0181	17,357	1000	0,0174
13	65,043	41,601	2000	0,0208	19,989	1000	0,0200
14	62,923	45,906	2000	0,0230	22,154	1000	0,0222
15	59,325	50,001	2000	0,0250	26,01	1000	0,0260

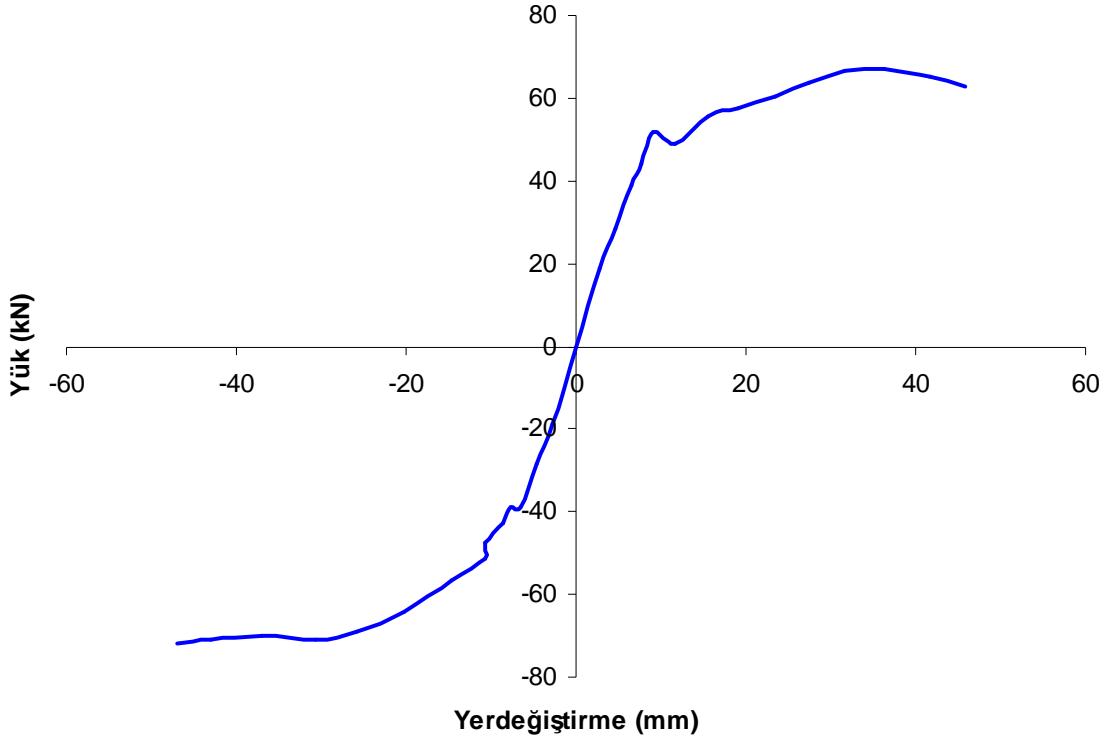
Bu şekil ve tablo'da görüldüğü gibi deney başladığında birinci çevrimde sistemde 2,776 mm lik yerdeğiştirme meydana gelmiş ve bu yerdeğiştirme değerine karşılık 18,681 kN yatay yük değerine ulaşılmıştır. İkinci çevrimde sistemde 4,702 mm lik yerdeğiştirme meydana gelmiş ve bu yerdeğiştirme değerine karşılık 28,402 kN yatay yük değerine ulaşılmıştır. Üçüncü çevrimde sistemde 6,548 mm lik yerdeğiştirme meydana gelmiş ve bu yerdeğiştirme değerine karşılık 38,891 kN yatay yük değerine ulaşılmıştır. Dördüncü çevrimde sistemde 7,649 mm lik yerdeğiştirme meydana gelmiş ve bu yerdeğiştirme değerine karşılık 44,050 kN yatay yük değerine ulaşılmıştır. Beşinci çevrimde sistemde 9,122 mm lik yerdeğiştirme meydana gelmiş ve bu yerdeğiştirme değerine karşılık 51,715 kN yatay yük değerine ulaşılmıştır.

Sistemin altıncı çevriminde sistemin yük-yerdeğiştirme değerlerlerinde gözlenen kısmi doğrusallık değişmiştir. Bu da yüklemde elastik bölgenin tamamlandığını göstermektedir. Bu çevrimden sonra yük-yerdeğiştirme eğrisinin eğiminin azaldığı gözlenmiştir. Sistemde altıncı çevrimde 11,714 mm lik yerdeğiştirme meydana gelmiş ve bu yerdeğiştirme değerine karşılık 48,783 kN yatay yük değerine ulaşılmıştır. Yedinci çevrimde sistemde 15,669 mm lik yerdeğiştirme meydana gelmiş ve bu yerdeğiştirme değerine karşılık 55,835 kN yatay yük değerine ulaşılmıştır. Sekizinci çevrimde sistemde 19,123 mm lik yerdeğiştirme meydana gelmiş ve bu yerdeğiştirme değerine karşılık 57,502 kN yatay yük değerine ulaşılmıştır. Dokuzuncu çevrimde sistemde 23,379 mm lik yerdeğiştirme meydana gelmiş ve bu yerdeğiştirme değerine karşılık 60,566 kN yatay yük değerine ulaşılmıştır. Onuncu çevrimde sistemde 27,433 mm lik yerdeğiştirme meydana gelmiş ve bu yerdeğiştirme değerine karşılık 63,866 kN yatay yük değerine ulaşılmıştır. Onbirinci çevrimde sistemde 31,689 mm lik yerdeğiştirme meydana gelmiş ve bu yerdeğiştirme değerine karşılık 66,458 kN yatay yük değerine ulaşılmıştır. Onikinci çevrimde sistemde 36,194 mm lik yerdeğiştirme meydana gelmiş ve bu yerdeğiştirme değerine karşılık 67,165 kN yatay yük değerine ulaşılmıştır. Onüçüncü çevrimde sistemde 41,601 mm lik yerdeğiştirme meydana gelmiş ve bu yerdeğiştirme değerine karşılık 65,043 kN yatay yük değerine ulaşılmıştır.

Onikinci çevrimde ulaşılan yatay yük deneyi bu deneyde elde edilen en büyük değer olmuştur. Bundan sonraki çevrimlerde meydana gelen yatay yerdeğiştirmelere karşılık gelen yatay yük değerleri azalmaya başlamıştır. Bu azalmayı gözlemlemek için son bir çevrim daha uygulanarak deney sonlandırılmıştır. 14. çevrimde sistemde 45,906 mm lik

yerdeğiştirme meydana gelmiş ve bu yerdeğiştirme değerine karşılık 62,923 kN yatay yük değerine ulaşılmıştır.

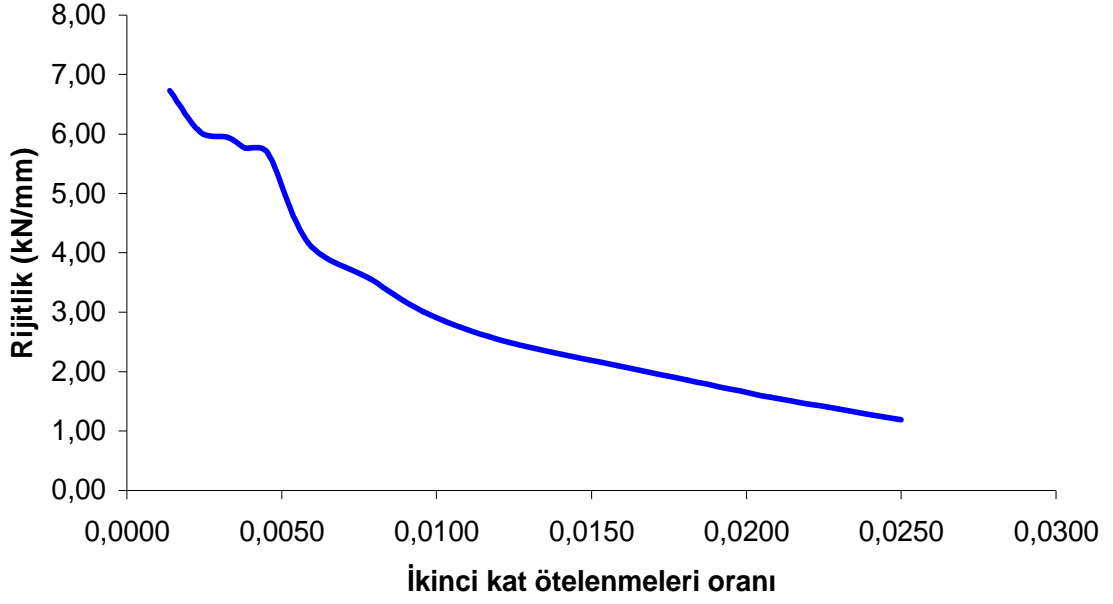
Bu şekilde gerçekleştirilen deneylerin sonunda elde edilen yük-yerdeğiştirme eğrisindeki çevrimlerin tepe noktaları birleştirilerek elde edilen dayanım zarfına ait grafik Şekil 76'da verilmiştir. Bu şekilde de görüleceği gibi boş çerçevede çekme ve basınc yüklemelerinde yaklaşık aynı davranışı göstermiştir.



Şekil 76. N-1 Boş ereve sistemi için dayanım zarfı

N-1 deney numunesi için elde edilen en büyük yatay yük değeri onnc çevrimde ($\delta/h = 0,0250$) 65,043 kN olarak elde edilmiştir. Beşinci evrimden ($\delta/h = 0,0046$) sonra kolon alt uçlarında akma başlamıştır. Bu seviyede okunan yatay yük değeri ise 51,715 kN dur. Daha sonra malzeme özelliği gereği pekleşme başlamış ve yatay yükteki artış azalmıştır. Sistemin azami taşıyabildiği yatay yük değeri akma değerinden yaklaşık olarak %26 daha fazladır.

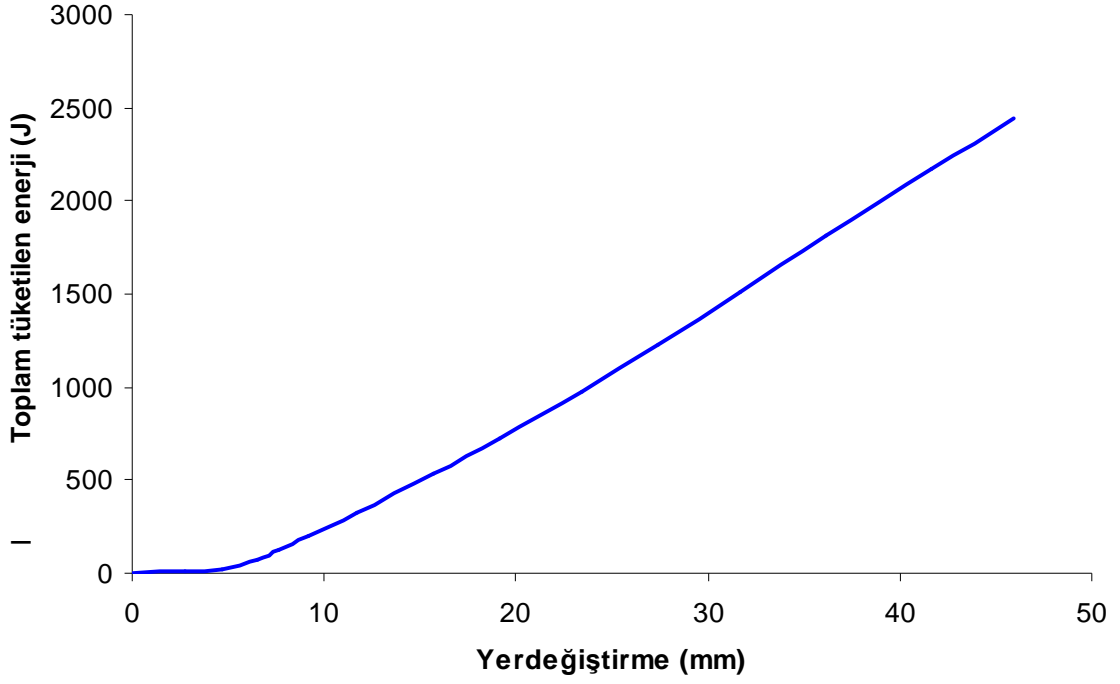
Deneylerden sonra her çevrimde elde edilen en büyük yatay kuvvetin, bu kuvvete karşılık gelen yatay yerdeğiştirme değerine oranı belirlenerek, rijitlik azalım grafiği elde edilmiştir (Şekil 77).



Şekil 77. .N-1 Boş çerçeve sistemi için rijitlik azalım grafiği

Birinci çevrim ($\delta/h = 0,0014$) için rijitlik değeri 6,73 kN/mm değerinde iken altıncı. çevrimde ($\delta/h = 0,0059$) rijitlik değerindeki azalım hızında önemli bir artış belirlenmiştir. Bu çevrim sonunda rijitlik 4,16 kN/mm ye kadar düşmüştür. Bu çevrimden sonra rijitlik azalım hızı yavaşlamış ve 15. çevrimde ($\delta/h = 0,0250$) rijitlik değeri 1,19 kN/mm olarak hesaplanmıştır. Bulunan bu rijitlik değeri başlangıç değerinin yaklaşık %17 sine karşılık gelmektedir.

Deney numunesi için toplam tüketilen enerji grafiği çizilmiştir. Bu amaçla ilk olarak, ileri yüklemde yük-yerdeğiştirme eğrisinin altında kalan alan E_1 hesaplanmıştır. Daha sonra geri yüklemde yük-yerdeğiştirme eğrisinin altında kalan alan E_2 hesaplanmış ve bu çevrim için toplam tüketilen enerji E_1 ve E_2 değerlerinin toplanması suretiyle hesaplanmıştır. Bundan sonra her çevrim için elde edilen tüketilen enerji değerleri toplanarak toplam tüketilen enerji değerleri hesaplanmıştır (Şekil 78).



Şekil 78. N-1 Boş çerçeve sistemi için tüketilen enerji grafiği

Tüketilen enerji grafiği 5. çevrim ($\Sigma(\delta/h) = 0,0154$) sonuna kadar daha yavaş bir artış hızı gösterirken, bu çevrimden sonra tüketilen enerji miktarındaki artış hızı artmıştır. 15. çevrim ($\Sigma(\delta/h) = 0,1418$) sonunda 2447,37 J değerine ulaşmıştır.

Son olarak imal edilen boş çerçeve sistemi deney numunesinin nihai yüklemeler sonucu meydana gelen hasarlar beklenildiği gibi plastik mafsalların oluştuğu birleşim noktalarında meydana gelmiştir. Söz konusu hasarlar Şekil 79'da görülmektedir.

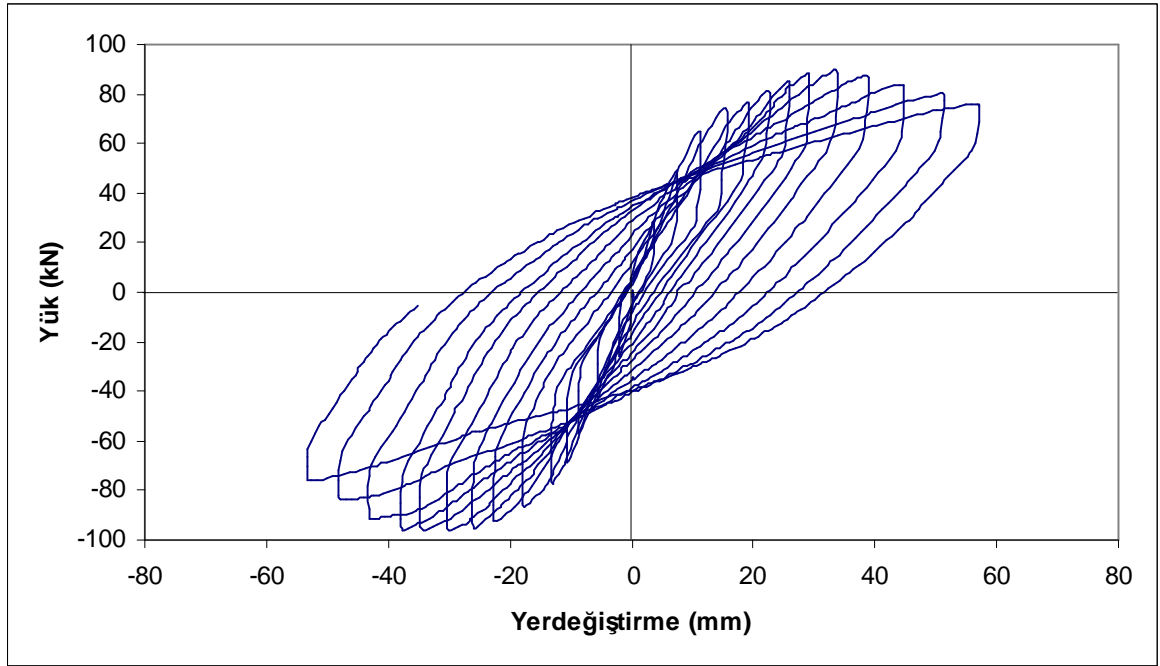


Şekil 79. N-1 Boş çerçeve deney numunesinde göçme durumunda oluşan hasarlar

3.2. Tuğla Duvar Dolgulu Çelik Çerçeve (N-2) Deney Numuneleri İçin Deney Bulguları ve Değerlendirilmesi

Tuğla duvar dolgulu çelik çerçeve deneyi için öncelikle daha önce anlatıldığı gibi boş bir çelik çerçeve hazırlanmıştır. Bu çelik çerçeve sisteminin içerisine, bu deney için özel boyutlarda kesilmiş yatay delikli tuğlaları her katta 10 sıra olacak şekilde örülerek yerleştirilmiştir ve sıvası yapılmıştır. Boş çelik çerçeve deneyi (N-1) için izlenen yöntem bu deney içinde aynen uygulanmıştır.

Deneyde elde edilen yük-yerdeğiştirme değerlerine ait eğri Şekil 80’de verilmiştir. Bununla birlikte her çevrime karşılık gelen yatay yük ve yatay yerdeğiştirme ile kat yerdeğiştirmelerinin katlara oranları (δ/h) Tablo 15 de verilmiştir.



Şekil 80. N-2 Tuğla duvar dolgulu çerçeve sistemi için yük-yerdeğiştirme ilişkisi

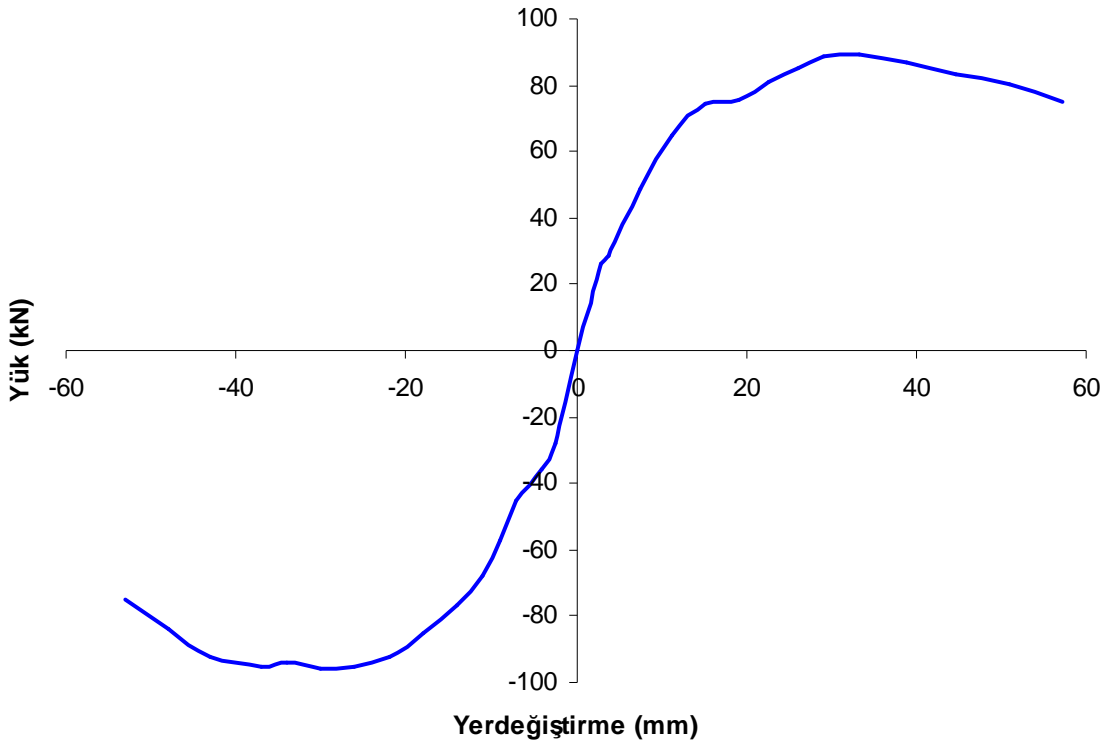
Tablo 15. N-2 deney numunesi için deneylerden elde edilen yük-yerdeğiştirme değerleri

Çevrim	Yatay yük (kN)	2. KAT			1.KAT		
		Kat Yerdeğiş. (δ) (mm)	Kat Yükseklęi (h) (mm)	(δ/h)	Kat Yerdeğiş. (δ) (mm)	Kat Yükseklęi (h) (mm)	(δ/h)
1	26,080	2,904	2000	0,0015	1,365	1000	0,0014
2	28,280	3,804	2000	0,0019	1,788	1000	0,0018
3	48,704	7,610	2000	0,0038	3,577	1000	0,0036
4	65,044	11,314	2000	0,0057	5,318	1000	0,0053
5	74,471	15,318	2000	0,0077	7,199	1000	0,0072
6	75,413	19,124	2000	0,0096	8,988	1000	0,0090
7	80,755	22,628	2000	0,0113	10,635	1000	0,0106
8	85,154	26,032	2000	0,0130	12,235	1000	0,0122
9	88,611	29,136	2000	0,0146	13,694	1000	0,0137
10	89,553	33,340	2000	0,0167	15,670	1000	0,0157
11	86,725	38,948	2000	0,0195	18,306	1000	0,0183
12	83,583	44,654	2000	0,0223	20,987	1000	0,0210
13	80,127	50,932	2000	0,0255	23,938	1000	0,0239
14	74,785	57,170	2000	0,0286	26,870	1000	0,0269

Bu Şekil ve tablo'da görüldüğü gibi deney başladığında birinci çevrimde sistemde 2,904 mm lik yerdeğiştirme meydana gelmiş ve bu yerdeğiştirme değerine karşılık 26,080 kN yatay yük değerine ulaşılmıştır. Bu çevrim sonunda tuğla duvarda herhangi bir çatlak gözlenmemiştir. İkinci çevrimde sistemde 3,804 mm lik yerdeğiştirme meydana gelmiş ve bu yerdeğiştirme değerine karşılık 28,280 kN yatay yük değerine ulaşılmıştır. Üçüncü çevrimde sistemde 7,610 mm lik yerdeğiştirme meydana gelmiş ve bu yerdeğiştirme değerine karşılık 48,704 kN yatay yük değerine ulaşılmıştır. Bu çevrim sonunda alt kattaki tuğla dolgu duvarda, sol alttan sağ üste doğru belirgin bir diyagonal çatlak oluşmuştur. Üst dolgu duvarda da benzer bir kesme çatlak oluşmaya başlamıştır. Sistemin yedinci çevriminde sistemin yük-yerdeğiştirme değerlerlerinde gözlenen kısmi doğrusallık değişmiştir. Bu da yüklemde elastik bölgenin tamamlandığını göstermektedir. Bu çevrimden sonra yük-yerdeğiştirme eğrisinin eğiminin azaldığı gözlenmiştir. Sistemde yedinci çevrimde 22,628 mm lik yerdeğiştirme meydana gelmiş ve bu yerdeğiştirme değerine karşılık 80,755 kN yatay yük değerine ulaşılmıştır. Onuncu çevrimde sistemde 33,340 mm lik yerdeğiştirme meydana gelmiş ve bu yerdeğiştirme değerine karşılık 89,553 kN yatay yük değerine ulaşılmıştır.

Onuncu çevrimde ulaşılan yatay yük deneyi bu deneyde elde edilen en büyük değer olmuştur. Bundan sonraki çevrimlerde meydana gelen yatay yerdeğiştirmelere karşılık gelen yatay yük değerleri azalmaya başlamıştır. Bu azalmayı gözlemlemek için dört çevrim daha uygulanarak deney sonlandırılmıştır.

Bu şekilde gerçekleştirilen deneylerin sonunda elde edilen yatay yük-yerdeğiştirme eğrisindeki çevrimlerin tepe noktaları birleştirilerek elde edilen dayanım zarfına ait grafik Şekil 81'de verilmiştir. Bu şekilde de görüleceği gibi çerçevede çekme ve basınç yüklemelerinde yaklaşık aynı davranışı göstermiştir.

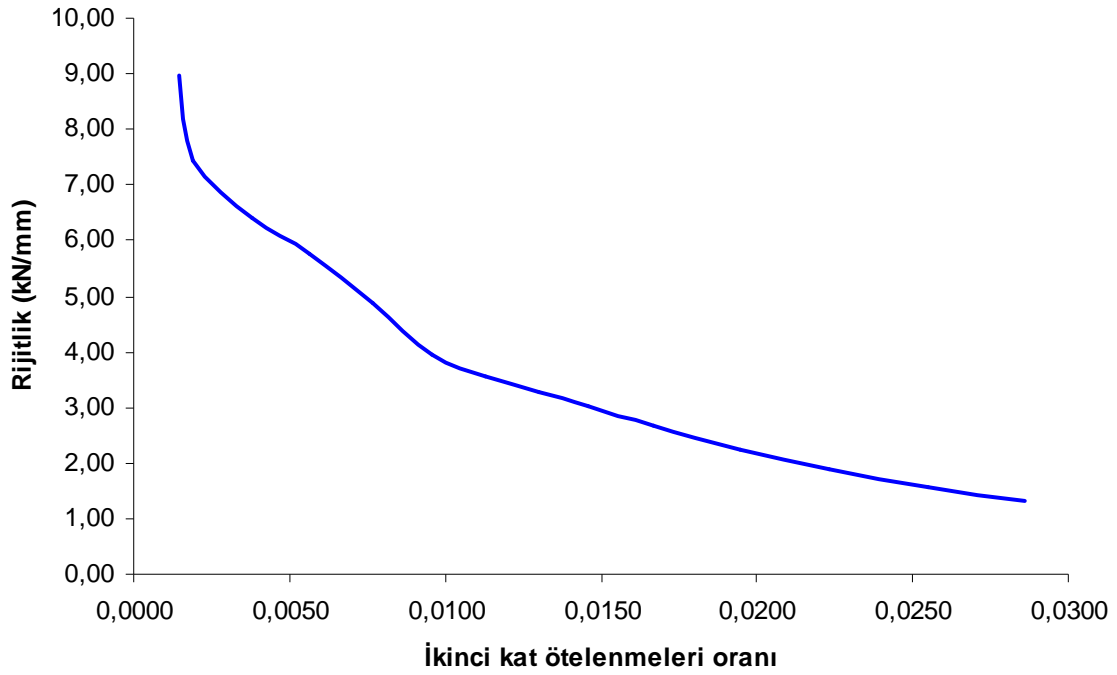


Şekil 81. N-2 Tuğla duvar dolgulu sistemi için dayanım zarfı

N-2 deney numunesi için elde edilen en büyük yatay yük değeri onuncu çevrimde ($\delta/h = 0,0167$) 89,553 kN olarak elde edilmiştir. Bu seviyede tuğla dolgu duvardaki mevcut çatlakların daha da arttığı ve alt kattaki dolgu duvarın köşelerinde basınç ezilmelerinin başladığı gözlemlenmiştir. Daha sonra taşınan yatay yük değeri azalmaya başlamış, ancak yatay yüklerdeki bu azalım yavaş bir şekilde gerçekleşmiştir. Deneyin son çevrimi olan onördüncü çevrim ($\delta/h = 0,0286$) sonunda alt kattaki dolgu duvarının kısmen parçalandığı, üst kattaki dolgu duvarın ise köşelerinin ezildiği ve parçalanmaların başladığı

gözlemlenmiştir. Deney sonunda alt kat kolonlarının düğüm noktalarında akma meydana geldiği, dolayısıyla bu noktalarda plastik mafsall oluşmuştur. Sistemin azami taşıyabildiği yatay yük değeri akma değerinden yaklaşık olarak %18 daha fazladır.

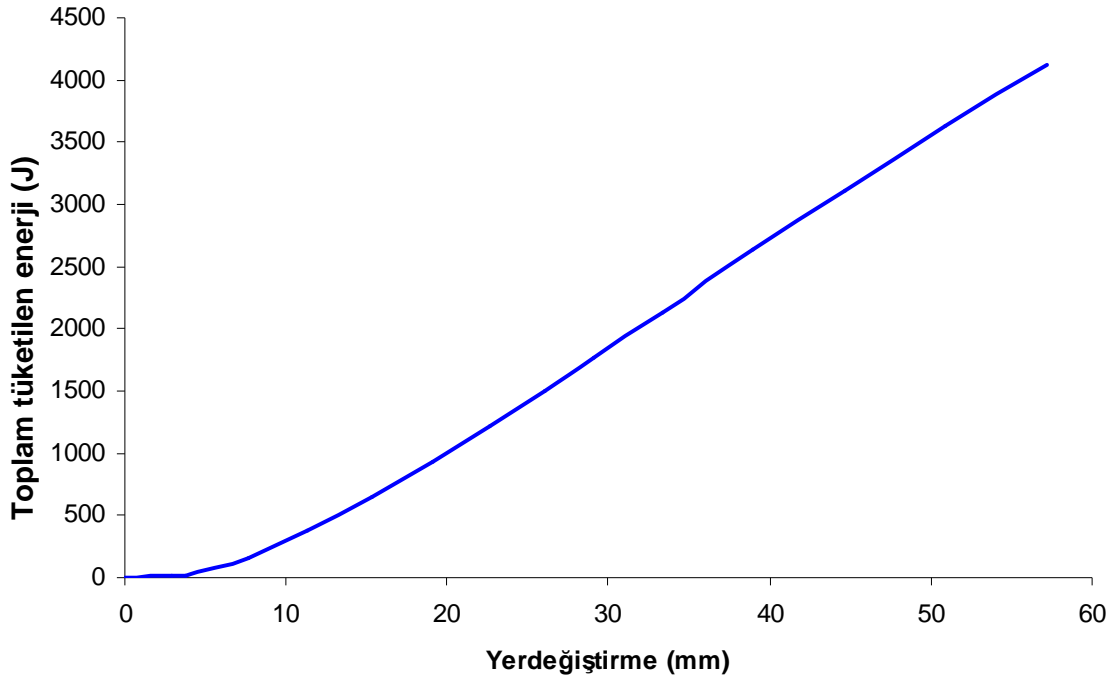
Deneylemlerden sonra her çevrimde elde edilen en büyük yatay kuvvetin, bu kuvvete karşılık gelen yatay yerdeğiştirme değerine oranı belirlenerek, rijitlik azalım grafiği elde edilmiştir (Şekil 82).



Şekil 82. N-2 Tuğla duvar dolgulu çerçeve sistemi için rijitlik azalım grafiği

Birinci çevrim ($\delta/h = 0,0015$) için rijitlik değeri 8,98 kN/mm değerinde iken yedinci çevrimde ($\delta/h = 0,0113$) rijitlik değerindeki azalım hızında önemli bir artış belirlenmiştir. Bu çevrim sonunda rijitlik 3,57 kN/mm ye kadar düşmüştür. Bu çevrimden sonra rijitlik azalım hızı yavaşlamış ve ondördüncü çevrimde ($\delta/h = 0,0250$) rijitlik değeri 1,31 kN/mm olarak hesaplanmıştır. Bulunan bu rijitlik değeri başlangıç değerinin yaklaşık %15 ine karşılık gelmektedir.

Son olarak her çevrim için elde edilen tüketilen enerji değerleri toplanarak toplam tüketilen enerji değerleri hesaplanmıştır (Şekil 83).



Şekil 83. N-2 Tuğla duvar dolgulu çerçeve sistemi için tüketilen enerji grafiği

Tüketilen enerji grafiği yedinci çevrim ($\Sigma(\delta/h) = 0,0414$) sonuna kadar daha yavaş bir artış hızı gösterirken, bu çevrimden sonra tüketilen enerji miktarındaki artış hızı artmıştır. ondüncü çevrim ($\Sigma(\delta/h) = 0,1815$) sonunda 4115,14 J değerine ulaşmıştır.

Tuğla duvar dolgulu çerçevelerde, tuğla duvarın bütünlüğü bozulmaya başladığında yüklemeler altındaki davranışı boş çelik çerçevelerde olduğu gibi gerçekleşmiştir. Bu nedenle tuğla duvarın kırılmasıyla yük taşıma kapasitesinde azalma gözlenmiştir. Çerçevenin deney sonrası görünümü Şekil 84’de verilmiştir.

Yükleme sırasında yükün uygulandığı sağ üst köşeden sol alt köşeye doğrultusunda, öncelikle derzlerde daha sonra tuğlalarda, çatlaklar oluşmuştur. Özellikle duvar köşelerinde çatlaklar kırılmalara dönüştüğünde sistem üzerindeki etkisi azalmaya başlamıştır (Şekil 85).



Şekil 84. Tuğla duvar dolgulu çerçeve sistemi deney numunesinin göçme durum

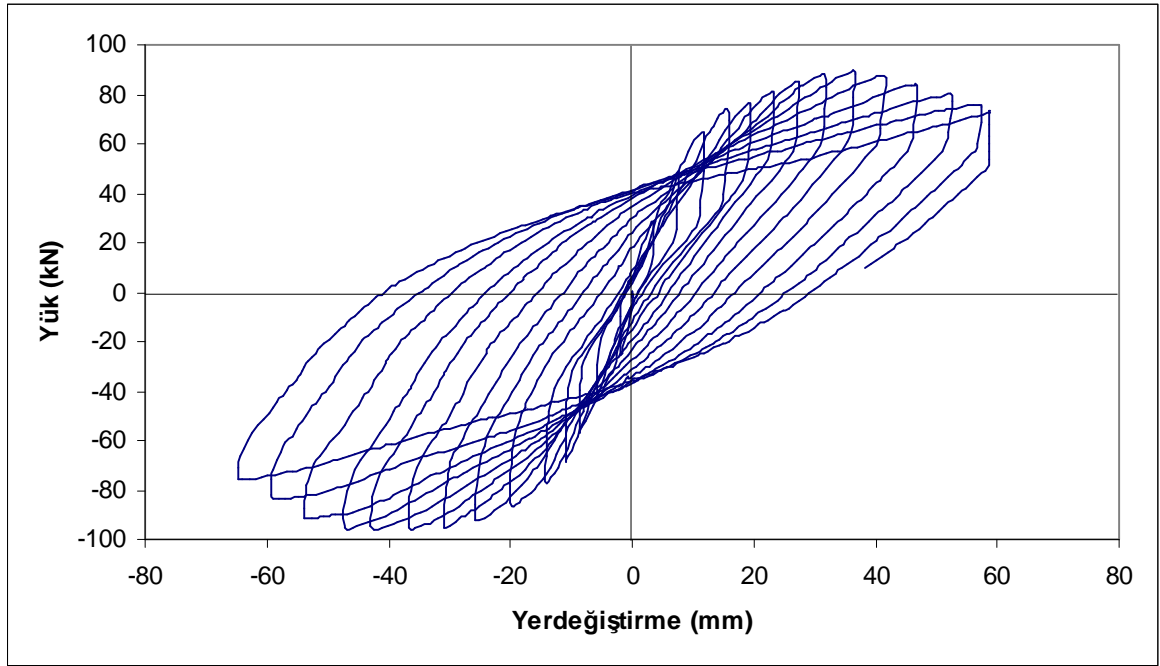


Şekil 85. N-2 Tuğla duvar dolgulu çerçeve sistemi birleşim yerlerinde oluşan hasarlar

3.3. Gaz Beton Duvar Dolgulu Çelik Çerçeve (N-3) Deneysel Numuneleri İçin Deneysel Bulgular ve Değerlendirilmesi

Gaz beton duvar dolgulu çelik çerçeve deneyi için öncelikle daha önce anlatıldığı gibi boş bir çelik çerçeve hazırlanmıştır. Bu çelik çerçeve sisteminin içerisine, bu deney için özel boyutlarda kesilmiş gazbeton tuğlaları her katta 4 sıra olacak şekilde örülerek yerleştirilmiştir ve sıvası yapılmıştır. Boş çelik çerçeve deneyi (N-1) için izlenen yöntem bu deney içinde aynen uygulanmıştır.

Deneyde elde edilen yük-yerdeğiştirme değerlerine ait eğri Şekil 86'da verilmiştir. Bununla birlikte her çevrime karşılık gelen yatay yük ve yatay yerdeğiştirme ile kat yerdeğiştirmelerinin katlara oranları (δ/h) Tablo 16 da verilmiştir.



Şekil 86. N-3 Gazbeton duvar dolgulu çerçeve sistemi için yük-yerdeğiştirme ilişkisi

Tablo 16. N-3 deney numunesi için deneylerden elde edilen yük-yerdeğiştirme değerleri

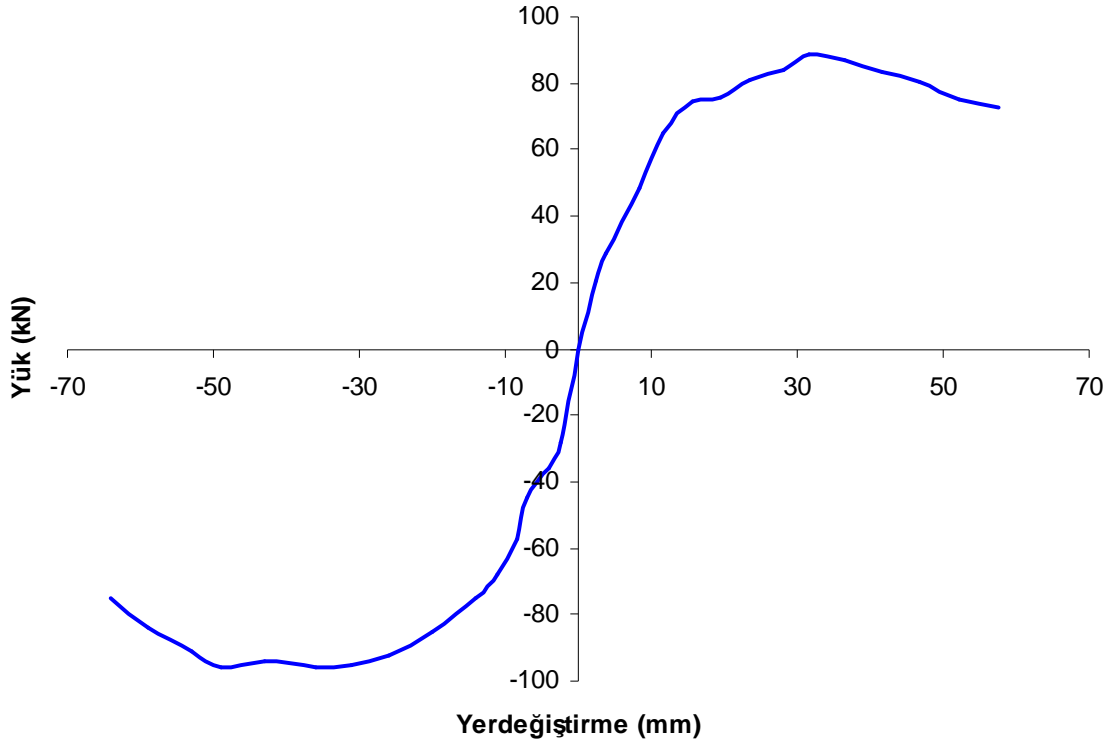
Çevrim	Yatay yük (kN)	2. KAT			1.KAT		
		Kat Yerdeğiş. (δ) (mm)	Kat Yüksekligi (h) (mm)	(δ/h)	Kat Yerdeğiş. (δ) (mm)	Kat Yüksekligi (h) (mm)	(δ/h)
1	20,596	2,553	2000	0,0013	1,200	1000	0,0012
2	28,594	3,654	2000	0,0018	1,717	1000	0,0017
3	48,076	8,410	2000	0,0042	3,953	1000	0,0040
4	65,044	11,714	2000	0,0059	5,506	1000	0,0055
5	74,471	15,669	2000	0,0078	7,364	1000	0,0074
6	75,413	19,424	2000	0,0097	9,129	1000	0,0091
7	80,755	23,379	2000	0,0117	10,988	1000	0,0110
8	83,897	28,184	2000	0,0141	13,246	1000	0,0132
9	88,611	31,689	2000	0,0158	14,894	1000	0,0149
10	86,721	36,595	2000	0,0183	17,200	1000	0,0172
11	83,245	41,601	2000	0,0208	19,552	1000	0,0196
12	80,230	46,757	2000	0,0234	21,976	1000	0,0220
13	74,785	52,214	2000	0,0261	24,541	1000	0,0245
14	72,585	57,520	2000	0,0288	27,034	1000	0,0270

Bu Şekil ve tablo'da görüldüğü gibi deney başladığında birinci çevrimde sistemde 2,553 mm lik yerdeğiştirme meydana gelmiş ve bu yerdeğiştirme değerine karşılık 20,596 kN yatay yük değerine ulaşılmıştır. Bu çevrim sonunda dolgu duvarda herhangi bir çatlak gözlenmemiştir. İkinci çevrimde sistemde 3,654 mm lik yerdeğiştirme meydana gelmiş ve bu yerdeğiştirme değerine karşılık 28,596 kN yatay yük değerine ulaşılmıştır. Üçüncü çevrimde sistemde 8,410 mm lik yerdeğiştirme meydana gelmiş ve bu yerdeğiştirme değerine karşılık 48,076 kN yatay yük değerine ulaşılmıştır. Bu çevrim sonunda alt kattaki dolgu duvarda, sol alttan sağ üste doğru belirgin bir kesme çatlağı oluşmuştur. Üst dolgu duvarda da benzer bir kesme çatlak oluşmaya başlamıştır. Sistemin altıncı çevriminde sistemin yük-yerdeğiştirme değerlerlerinde gözlenen kısmi doğrusallık değişmiştir. Bu da yüklemde elastik bölgenin tamamlandığını göstermektedir. Bu çevrimden sonra yük-yerdeğiştirme eğrisinin eğiminin azaldığı gözlenmiştir. Sistemde altıncı çevrimde 19,424 mm lik yerdeğiştirme meydana gelmiş ve bu yerdeğiştirme değerine karşılık 75,413 kN yatay yük değerine ulaşılmıştır. Onuncu çevrimde sistemde 31,689 mm lik yerdeğiştirme

meydana gelmiş ve bu yerdeğiştirme değerine karşılık 88,611 kN yatay yük değerine ulaşılmıştır.

Onuncu çevrimde ulaşılan yatay yük değeri bu deneyde elde edilen en büyük değer olmuştur. Bundan sonraki çevrimlerde meydana gelen yatay yerdeğiştirmelere karşılık gelen yatay yük değerleri azalmaya başlamıştır. Bu azalmayı gözlemlemek için dört çevrim daha uygulanarak deney sonlandırılmıştır.

Bu şekilde gerçekleştirilen deneylerin sonunda elde edilen yatay yük-yerdeğiştirme eğrisindeki çevrimlerin tepe noktaları birleştirilerek elde edilen dayanım zarfına ait grafik Şekil 87'de verilmiştir. Bu şekilde de görüleceği gibi çerçevede çekme ve basınç yüklemelerinde yaklaşık aynı davranışı göstermiştir.

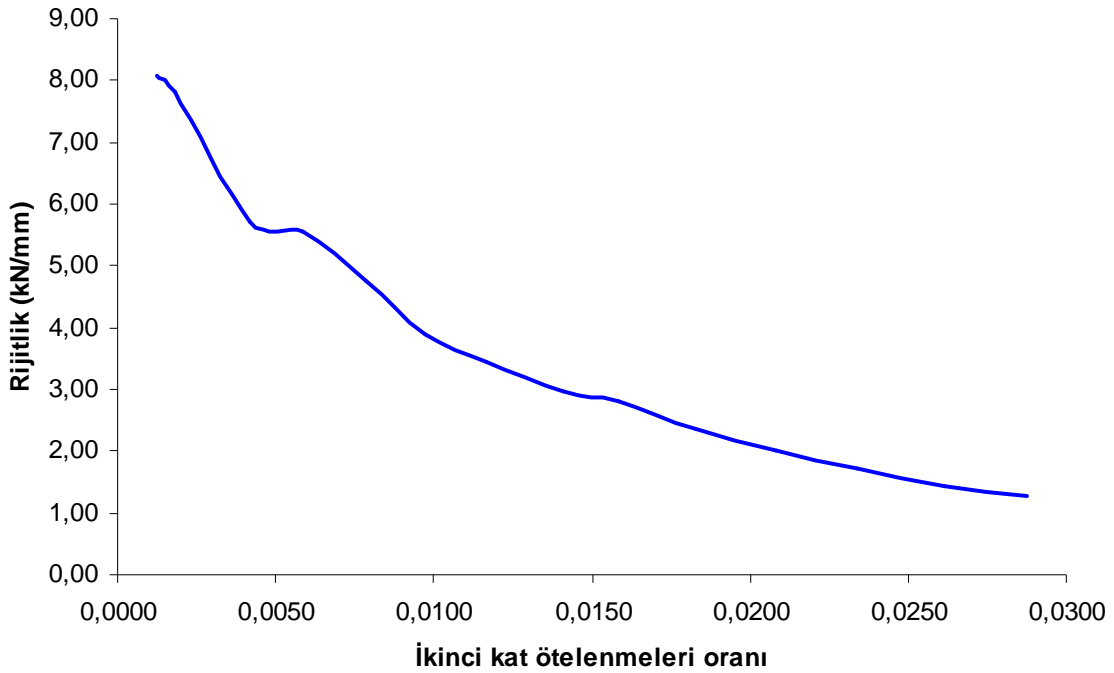


Şekil 87. N-3 Gazbeton duvar dolgulu sistemi için dayanım zarfı

Deney numunesinin genel davranışı sistem olarak tuğla duvar dolgulu numune ile benzer özellikler taşımaktadır. N-3 deney numunesi için elde edilen en büyük yatay yük değeri onuncu çevrimde ($\delta/h=0,0158$) 88,611 kN olarak elde edilmiştir. Deney numunesinin genel davranışı sistem olarak tuğla duvar dolgulu numune ile benzer özellikler taşımaktadır. Bu seviyede dolgu duvardaki mevcut çatlakların daha da arttığı ve alt kattaki

dolgu duvarın köşelerinde basınç ezilmelerinin başladığı gözlemlenmiştir. Daha sonra taşınan yatay yük değeri azalmaya başlamış, ancak yatay yüklerdeki bu azalış yavaş bir şekilde gerçekleşmiştir. Deneyin son çevrimi olan ondördüncü çevrim ($\delta/h = 0,0288$) sonunda alt kattaki dolgu duvarının derzlerinde tümüyle ayrılmalar ve çelik çerçeveden bağımsız hareketlenmeler tespit edilmiştir. Aynı zamanda üst kattaki dolgu duvarın ise köşelerinin ezildiği ve parçalanmaların başladığı gözlemlenmiştir. Deney sonunda alt kat kolonlarının düğüm noktalarında akma meydana geldiği, dolayısıyla bu noktalarda plastik mafsal oluşmuştur. Sistemin azami taşıyabildiği yatay yük değeri akma değerinden yaklaşık olarak %17 daha fazladır.

Deneylerden sonra her çevrimde elde edilen en büyük yatay kuvvetin, bu kuvvete karşılık gelen yatay yerdeğiştirme değerine oranı belirlenerek, rijitlik azalış grafiği elde edilmiştir (Şekil 88).

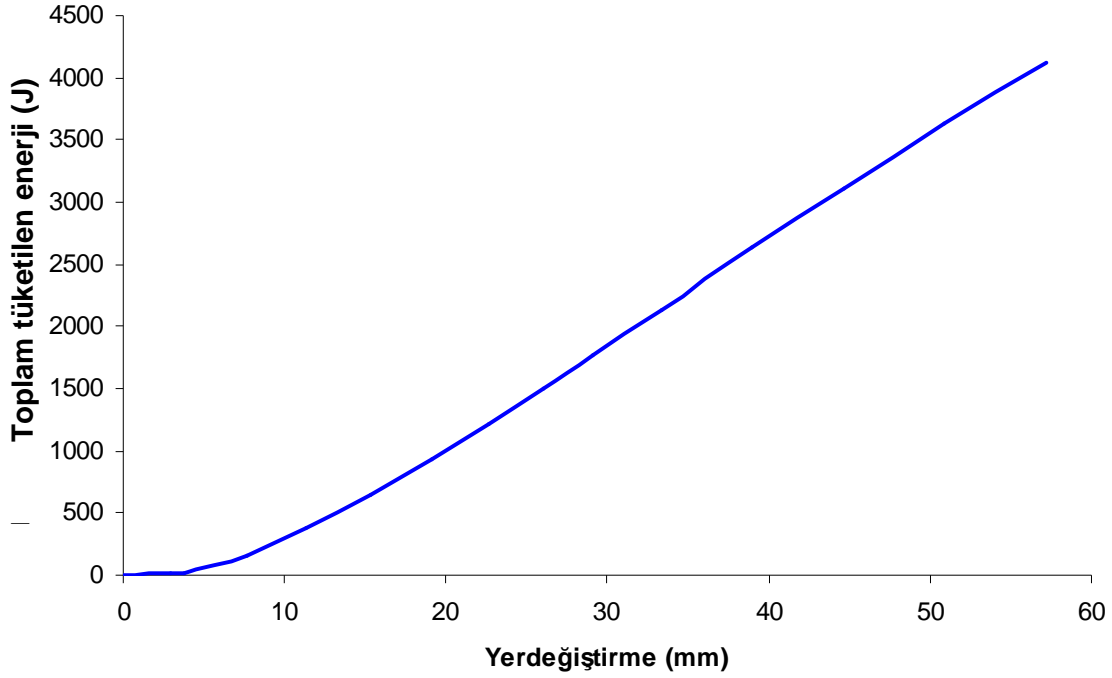


Şekil 88. N-3 Gazbeton duvar dolgulu çerçeve sistemi için rijitlik azalış grafiği

Birinci çevrim ($\delta/h = 0,0013$) için rijitlik değeri 8,07 kN/mm değerinde iken altıncı çevrimde ($\delta/h = 0,0097$) rijitlik değerindeki azalış hızında önemli bir artış belirlenmiştir. Bu çevrim sonunda rijitlik 3,88 kN/mm ye kadar düşmüştür. Bu çevrimden sonra rijitlik azalış hızı yavaşlamış ve ondördüncü çevrimde ($\delta/h = 0,0288$) rijitlik değeri 1,26 kN/mm

olarak hesaplanmıştır. Bulunan bu rijitlik değeri başlangıç değerinin yaklaşık %16 sına karşılık gelmektedir.

Son olarak her çevrim için elde edilen tüketilen enerji değerleri toplanarak toplam tüketilen enerji değerleri hesaplanmıştır (Şekil 89).

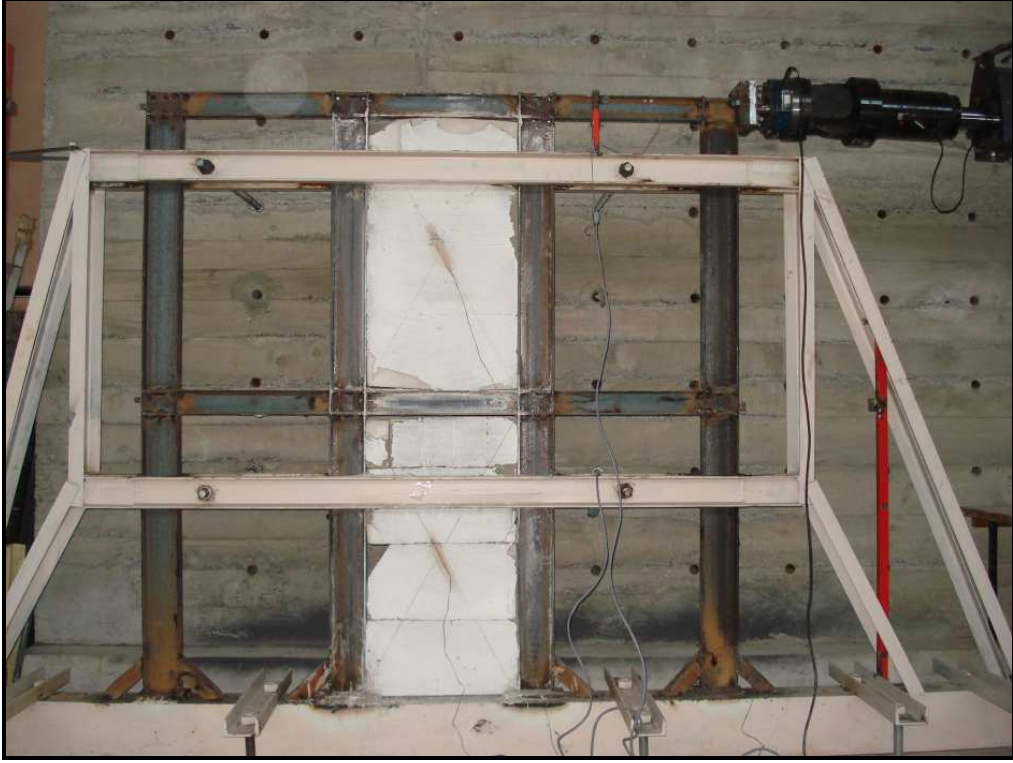


Şekil 89. N-3 Gazbeton duvar dolgulu çerçeve sistemi için tüketilen enerji grafiği

Tüketilen enerji grafiği altıncı çevrim ($\Sigma(\delta/h) = 0,0307$) sonuna kadar daha yavaş bir artış hızı gösterirken, bu çevrimden sonra tüketilen enerji miktarındaki artış hızı artmıştır. ondördüncü çevrim ($\Sigma(\delta/h) = 0,1897$) sonunda 4040,22 J değerine ulaşmıştır.

Gazbeton dolgu duvarlı sistemlerde tersinir yatay yükleme altında, tuğla duvar dolgulu çerçevelere benzer davranış göstermiştir.

Deney sırasında öncelikle derzlerde daha sonra gazbeton tuğlalarda, çatlaklar oluşmuştur. Davranış olarak tuğla dolgulu sistemle benzer özellikler göstermesine rağmen derzlerin sayısının az olmasından dolayı derzlerde oluşabilecek çatlaklar sistemi daha az etkilemiştir. Yükleme devam ettikçe özellikle duvar köşelerinde çatlaklar kırılmalara dönüştüğünde dolgu duvarın sistem üzerindeki etkisi azalmaya başlamıştır. Çerçevenin deney sonrası görünümü Şekil 90'da verilmiştir.

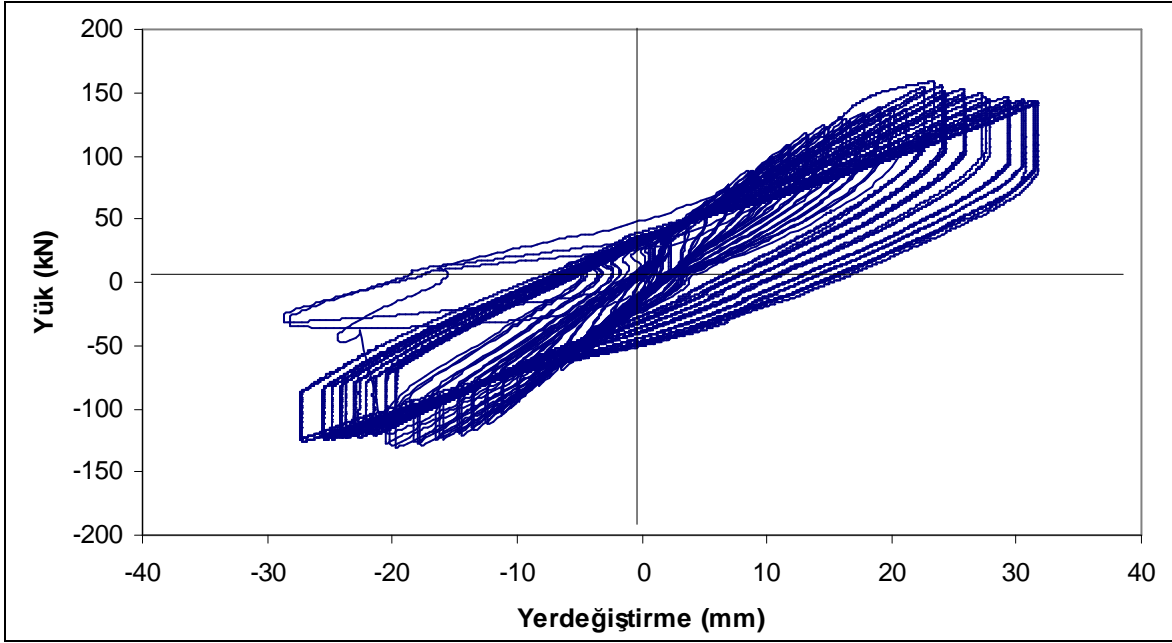


Şekil 90. Dolgu duvarlı çelik çerçevenin deney sonrası görünümü

3.4. Betonarme Duvar Dolgulu Çelik Çerçeve (N-4) Deney Numuneleri İçin Deney Bulguları ve Değerlendirilmesi

Betonarme duvar dolgulu çelik çerçeve deneyi için öncelikle daha önce anlatıldığı gibi boş bir çelik çerçeve hazırlanmıştır. Bu çelik çerçeve sisteminin orta açıklığına her iki katta, bu deney için hazırlanmış betonarme perde duvarın imali ve yerleştirilmesi daha önce tarif edilmiştir. Boş çelik çerçeve deneyi (N-1) için izlenen yöntem bu deney içinde aynen uygulanmıştır.

Deneyde elde edilen yük-yerdeğiştirme değerlerine ait eğri Şekil 91’de verilmiştir. Bununla birlikte her çevrime karşılık gelen yatay yük ve yatay yerdeğiştirme ile kat yerdeğiştirmelerinin katlara oranları (δ/h) Tablo 17’de verilmiştir.



Şekil 91. N-4 Betonarme duvarlı dolgu çerçeve sistemi için yük-yerdeğiştirme ilişkisi

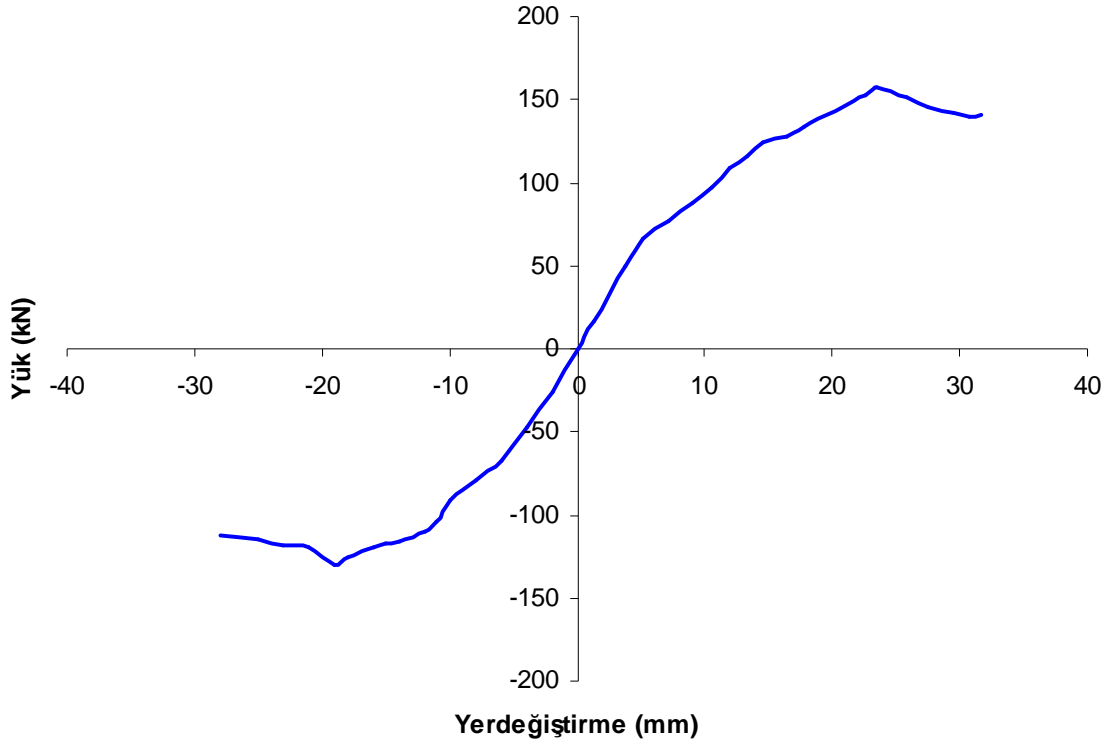
Tablo 17. N-4 deney numunesi için deneylerden elde edilen yük-yerdeğiştirme değerleri

Çevrim	Yatay yük (kN)	2. KAT			1.KAT		
		Kat Yerdeğiş. (δ) (mm)	Kat Yükseklği (h) (mm)	(δ/h)	Kat Yerdeğiş. (δ) (mm)	Kat Yükseklği (h) (mm)	(δ/h)
1	16,879	1,266	2000	0,0006	0,595	1000	0,0006
2	49,272	3,834	2000	0,0019	1,802	1000	0,0018
3	66,252	5,221	2000	0,0026	2,454	1000	0,0025
4	77,269	7,105	2000	0,0036	3,339	1000	0,0033
5	87,023	9,080	2000	0,0045	4,268	1000	0,0043
6	97,113	10,510	2000	0,0053	4,940	1000	0,0049
7	108,568	11,947	2000	0,0060	5,615	1000	0,0056
8	115,963	13,378	2000	0,0067	6,288	1000	0,0063
9	124,537	14,582	2000	0,0073	6,854	1000	0,0069
10	128,243	16,404	2000	0,0082	7,710	1000	0,0077
11	133,785	17,810	2000	0,0089	8,371	1000	0,0084
12	152,601	22,549	2000	0,0113	10,598	1000	0,0106
13	157,031	23,448	2000	0,0117	11,021	1000	0,0110
14	151,085	25,771	2000	0,0129	12,112	1000	0,0121
15	145,290	27,477	2000	0,0137	12,914	1000	0,0129
16	142,393	29,446	2000	0,0147	13,840	1000	0,0138
17	139,091	30,748	2000	0,0154	14,452	1000	0,0145

Bu şekil ve tablo'da görüldüğü gibi deney başladığında birinci çevrimde sistemde 1,266 mm lik yerdeğiştirme meydana gelmiş ve bu yerdeğiştirme değerine karşılık 16,879 kN yatay yük değerine ulaşılmıştır. Bu çevrim sonunda betonarme duvarda herhangi bir çatlak gözlenmemiştir. İkinci çevrimde sistemde 3,834 mm lik yerdeğiştirme meydana gelmiş ve bu yerdeğiştirme değerine karşılık 49,272 kN yatay yük değerine ulaşılmıştır. Dördüncü çevrimde sistemde 7,105 mm lik yerdeğiştirme meydana gelmiş ve bu yerdeğiştirme değerine karşılık 77,269 kN yatay yük değerine ulaşılmıştır. Bu çevrim sonunda alt kattaki dolgu duvarda yüzey kabarmaları ve kılcal çatlaklar oluşmuştur. Üst dolgu duvarda da benzer şekilde kılcal çatlak oluşmaya başlamıştır. Sistemin sekizinci çevriminde sistemin yük-yerdeğiştirme değerlerlerinde gözlenen kısmi doğrusallık değişmiştir. Bu da yüklemde elastik bölgenin tamamlandığını göstermektedir. Bu çevrimden sonra yük-yerdeğiştirme eğrisinin eğiminin azaldığı gözlenmiştir. Sistemde sekizinci çevrimde 13,378 mm lik yerdeğiştirme meydana gelmiş ve bu yerdeğiştirme değerine karşılık 115,963 kN yatay yük değerine ulaşılmıştır. Onüçüncü çevrimde sistemde 23,448 mm lik yerdeğiştirme meydana gelmiş ve bu yerdeğiştirme değerine karşılık 157,031 kN yatay yük değerine ulaşılmıştır.

Onüçüncü çevrimde ulaşılan yatay yük deneyi bu deneyde elde edilen en büyük değer olmuştur. Bundan sonraki çevrimlerde meydana gelen yatay yerdeğiştirmelere karşılık gelen yatay yük değerleri azalmaya başlamıştır. Bu azalmayı gözlemlemek için dört çevrim daha uygulanarak deney sonlandırılmıştır.

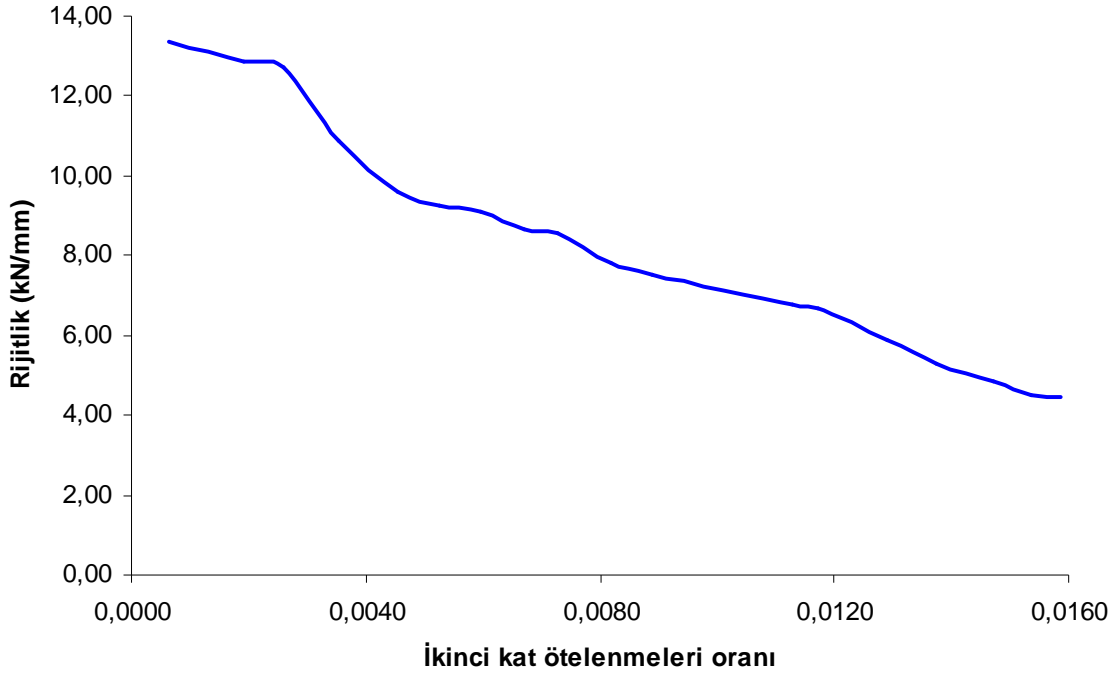
Bu şekilde gerçekleştirilen deneylerin sonunda elde edilen yatay yük-yerdeğiştirme eğrisindeki çevrimlerin tepe noktaları birleştirilerek elde edilen dayanım zarfına ait grafik Şekil 92'de verilmiştir. Bu şekilde de görüleceği gibi çerçevede çekme ve basınç yüklemelerinde yaklaşık aynı davranışı göstermiştir.



Şekil 92. N-4 Betonarme duvarlı dolgulu çerçeve sistemi için dayanım zarfı

N-4 deney numunesi için elde edilen en büyük yatay yük değeri Onüçüncü çevrimde ($\delta/h = 0,0117$) 157,031 kN olarak elde edilmiştir. Bu seviyede dolgu duvardaki mevcut kılcal çatlakların daha da arttığı ve alt kattaki dolgu duvarın köşelerinde basınç ezilmelerinin başladığı gözlemlenmiştir. Daha sonra taşınan yatay yük değeri azalmaya başlamış, ancak yatay yüklerdeki bu azalış yavaş bir şekilde gerçekleşmiştir. Deneyin son çevrimi olan onyedinci çevrim ($\delta/h = 0,0154$) sonunda alt kattaki dolgu duvarının derzlerinde tümüyle ayrılmalar ve çelik çerçeveden bağımsız hareketlenmeler tespit edilmiştir. Aynı zamanda üst kattaki dolgu duvarın ise köşelerinin ezildiği ve parçalanmaların başladığı gözlemlenmiştir. Deney sonunda alt kat kolonlarının düğüm noktalarında akma meydana geldiği, dolayısıyla bu noktalarda plastik mafsal oluşmuştur. Sistemin azami taşıyabildiği yatay yük değeri akma değerinden yaklaşık olarak %35 daha fazladır.

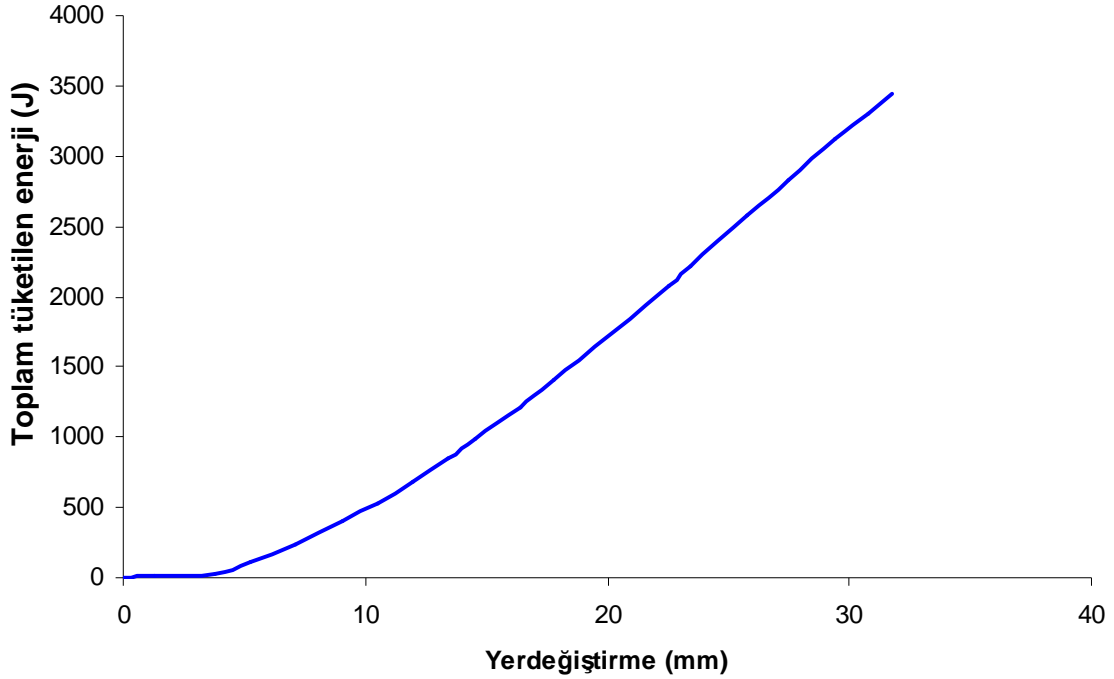
Deneylerden sonra her çevrimde elde edilen en büyük yatay kuvvetin, bu kuvvete karşılık gelen yatay yerdeğiştirme değerine oranı belirlenerek, rijitlik azalış grafiği elde edilmiştir (Şekil 93).



Şekil 93. N-4 Betonarme duvarlı dolgulu çerçeve sistemi için rijitlik azalım grafiği

Birinci çevrim ($\delta/h = 0,0006$) için rijitlik değeri 13,33 kN/mm değerinde iken sekizinci çevrimde ($\delta/h = 0,0067$) rijitlik değerindeki azalım hızında önemli bir artış belirlenmiştir. Bu çevrim sonunda rijitlik 8,67 kN/mm ye kadar düşmüştür. Bu çevrimden sonra rijitlik azalım hızı yavaşlamış ve onyedinci çevrimde ($\delta/h = 0,0154$) rijitlik değeri 4,52 kN/mm olarak hesaplanmıştır. Bulunan bu rijitlik değeri başlangıç değerinin yaklaşık %34 sına karşılık gelmektedir.

Son olarak her çevrim için elde edilen tüketilen enerji değerleri toplanarak toplam tüketilen enerji değerleri hesaplanmıştır (Şekil 94).

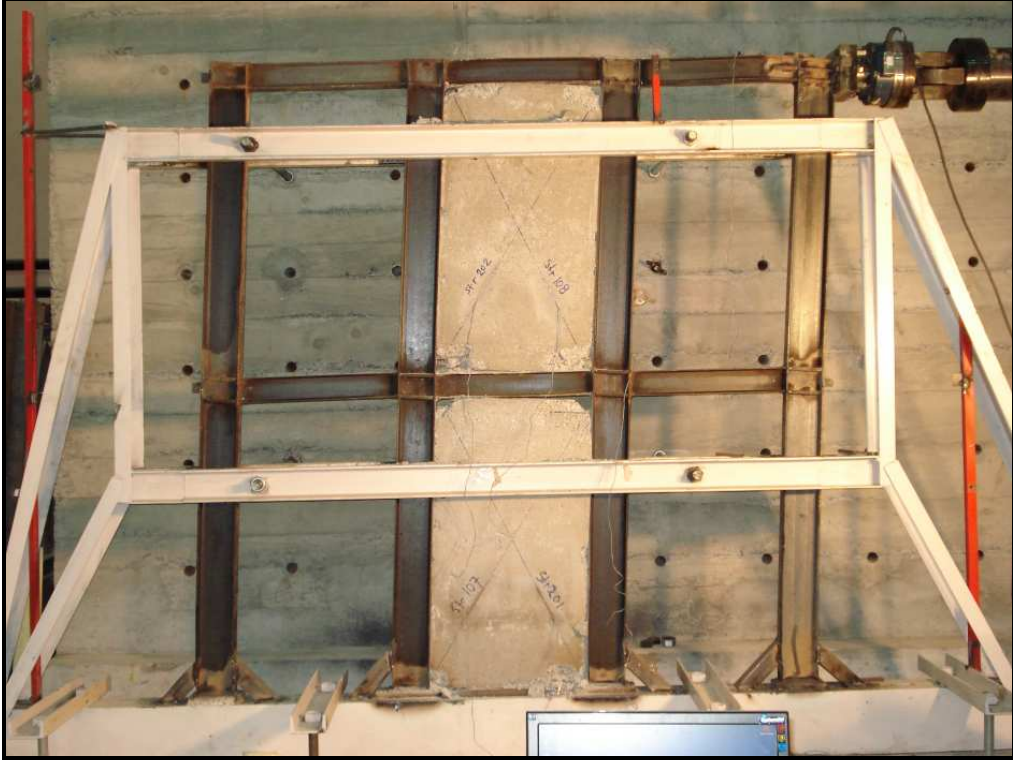


Şekil 94. N-4 Betonarme duvarlı dolgulu çerçeve sistemi için tüketilen enerji grafiği

Tüketilen enerji grafiği sekizinci çevrim ($\Sigma(\delta/h) = 0,0311$) sonuna kadar daha yavaş bir artış hızı gösterirken, bu çevrimden sonra tüketilen enerji miktarındaki artış hızı artmıştır. onyedinci çevrim ($\Sigma(\delta/h) = 0,1897$) sonunda 3298,39 J değerine ulaşmıştır.

Betonarme dolgu duvarlı sistemlerde tersinir yatay yükleme altında, öncelikle yüzeysel daha sonra kılcal çatlaklar oluşmuştur. Yükleme devam ettikçe, özellikle duvar köşelerinde çatlaklar kırılmalara, dönüştüğünde dolgu duvarın sistem üzerindeki etkisi azalmaya başlamıştır.

Betonarme perde dolgu duvarlı sistemlerde sistem ve dolgu davranışı olarak tuğla duvar dolgulu çerçevelere benzer davranış göstermiştir. Fakat çerçeveye yatay yük taşıma konusundaki katkısı diğer sistemlere nazaran belirgin şekilde daha fazla olmuştur. Çerçevenin deney sonrası görünümü Şekil 95’de birleşim noktalarında oluşan hasarlar da Şekil 96’da verilmiştir.



Şekil 95. Betonarme dolgu duvarlı çelik çerçeve numunesinin deney sonrası görünümü

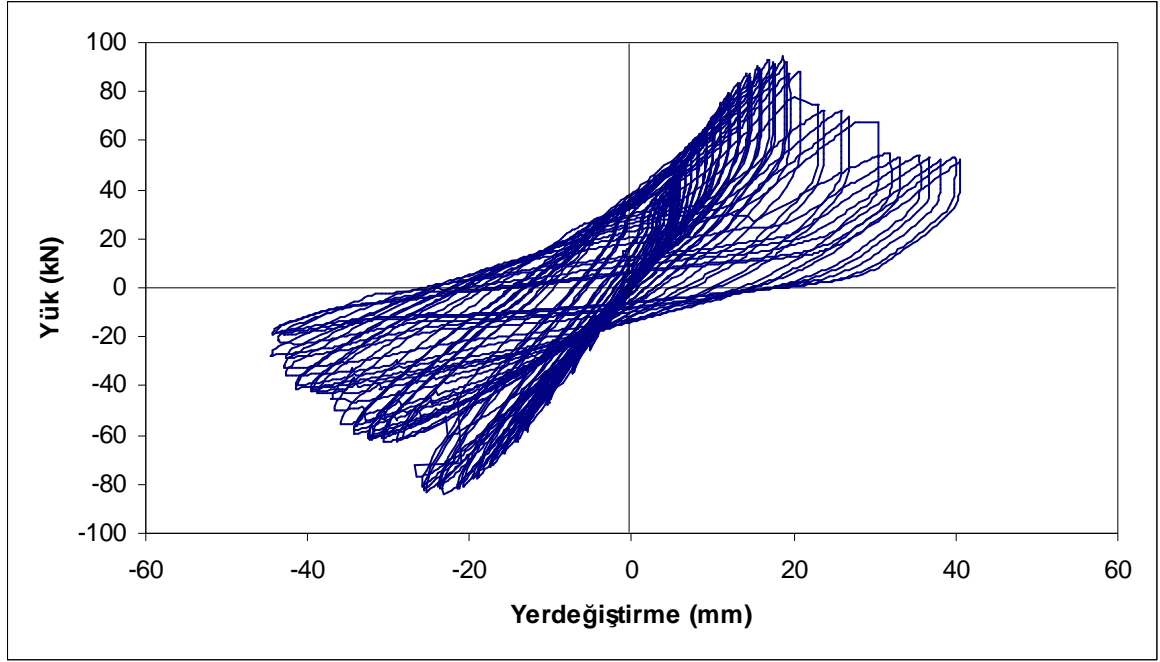


Şekil 96. Betonarme dolgu duvarlı çelik çerçeve numunesinin deney sonrası birleşim noktalarında oluşan hasarlar

3.5. Çelik Levha Duvar Dolgulu Çelik Çerçeve (N-5 ve N-6) Deney Numuneleri İçin Deney Bulguları ve Değerlendirilmesi

Çelik Levha duvar dolgulu çelik çerçeve deneyi için öncelikle daha önce anlatıldığı gibi boş bir çelik çerçeve hazırlanmıştır. Bu çelik çerçeve sisteminin orta açıklığına her iki katta, bu deney için hazırlanmış ilk olarak, 1,5mm kalınlığındaki çelik levha perde duvarın imali ve yerleştirilmesi daha önce tarif edilmiştir. Boş çelik çerçeve deneyi (N-1) için izlenen yöntem bu deney içinde aynen uygulanmıştır.

Deneyde elde edilen yük-yerdeğiştirme değerlerine ait eğri Şekil 97’de verilmiştir. Bununla birlikte her çevrime karşılık gelen yatay yük ve yatay yerdeğiştirme ile kat yerdeğiştirmelerinin katlara oranları (δ/h) Tablo 18’de verilmiştir.



Şekil 97. N-5 Çelik levha dolgulu çerçeve sistemi için yük-yerdeğiştirme ilişkisi

Tablo 18. N-5 deney numunesi için deneylerden elde edilen yük-yerdeğiştirme değerleri

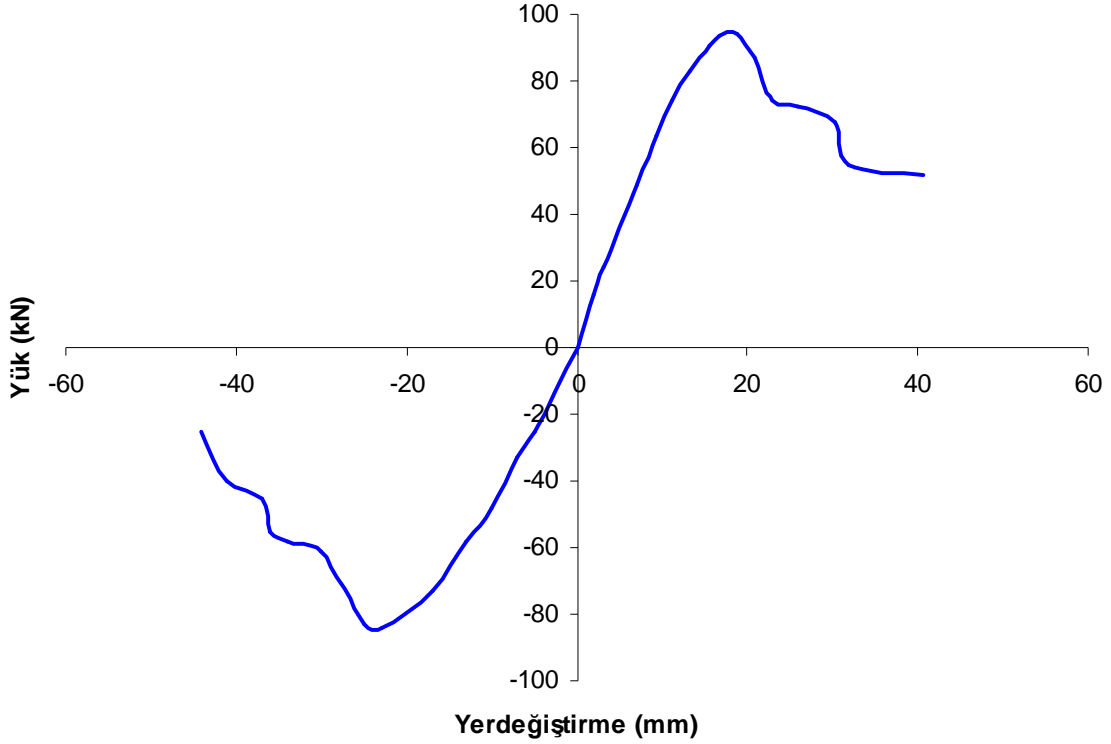
Çevrim	Yatay yük (kN)	2. KAT			1.KAT		
		Kat Yerdeğiş. (δ) (mm)	Kat Yüksekligi (h) (mm)	(δ/h)	Kat Yerdeğiş. (δ) (mm)	Kat Yüksekligi (h) (mm)	(δ/h)
1	16,168	1,969	2000	0,0010	0,925	1000	0,0009
2	24,156	3,167	2000	0,0016	1,488	1000	0,0015
3	48,800	7,135	2000	0,0036	3,353	1000	0,0034
4	63,484	9,385	2000	0,0047	4,411	1000	0,0044
5	74,379	11,232	2000	0,0056	5,279	1000	0,0053
6	83,041	13,249	2000	0,0066	6,227	1000	0,0062
7	90,590	15,518	2000	0,0078	7,293	1000	0,0073
8	93,238	16,808	2000	0,0084	7,900	1000	0,0079
9	94,001	18,715	2000	0,0094	8,796	1000	0,0088
10	87,153	20,751	2000	0,0104	9,753	1000	0,0098
11	74,271	22,963	2000	0,0115	10,793	1000	0,0108
12	72,270	25,821	2000	0,0129	12,136	1000	0,0121
13	67,789	30,357	2000	0,0152	14,268	1000	0,0143
14	54,699	31,867	2000	0,0159	14,977	1000	0,0150
15	51,870	40,555	2000	0,0203	19,061	1000	0,0191

Bu Şekil ve tablo'da görüldüğü gibi deney başladığında birinci çevrimde sistemde 1,969 mm lik yerdeğiştirme meydana gelmiş ve bu yerdeğiştirme değerine karşılık 16,168 kN yatay yük değerine ulaşılmıştır. Bu çevrim sonunda çelik levha duvarda herhangi bir buruşma gözlenmemiştir. İkinci çevrimde sistemde 3,167 mm lik yerdeğiştirme meydana gelmiş ve bu yerdeğiştirme değerine karşılık 24,156 kN yatay yük değerine ulaşılmıştır. Üçüncü çevrimde sistemde 7,135 mm lik yerdeğiştirme meydana gelmiş ve bu yerdeğiştirme değerine karşılık 48,800 kN yatay yük değerine ulaşılmıştır. Bu çevrim sonunda alt kattaki çelik levhada diyagola Şeklinde buruşmalar oluşmuştur. Üst dolgu duvarda da benzer Şekilde buruşmalar oluşmaya başlamıştır. Sistemin yedinci çevriminde sistemin yük-yerdeğiştirme değerlerlerinde gözlenen kısmi doğrusallık değişmiştir. Bu da yüklemde elastik bölgenin tamamlandığını göstermektedir. Bu çevrimden sonra yük-yerdeğiştirme eğrisinin eğiminin azaldığı gözlenmiştir. Sistemde yedinci çevrimde 15,518 mm lik yerdeğiştirme meydana gelmiş ve bu yerdeğiştirme değerine karşılık 90,590 kN yatay yük değerine ulaşılmıştır. Dokuzuncu çevrimde sistemde 18,715 mm lik

yerdeğiştirme meydana gelmiş ve bu yerdeğiştirme değerine karşılık 94,001 kN yatay yük değerine ulaşılmıştır.

Dokuzuncu çevrimde ulaşılan yatay yük deneyi bu deneyde elde edilen en büyük değer olmuştur. Bundan sonraki çevrimlerde meydana gelen yatay yerdeğiştirmelere karşılık gelen yatay yük değerleri azalmaya başlamıştır. Bu azalmayı gözlemlemek için altı çevrim daha uygulanarak deney sonlandırılmıştır.

Bu şekilde gerçekleştirilen deneylerin sonunda elde edilen yatay yük-yerdeğiştirme eğrisindeki çevrimlerin tepe noktaları birleştirilerek elde edilen dayanım zarfına ait grafik şekil 98'de verilmiştir. Bu şekilde de görüleceği gibi çerçeve de çekme ve basınc yüklemelerinde yaklaşık aynı davranışı göstermiştir.

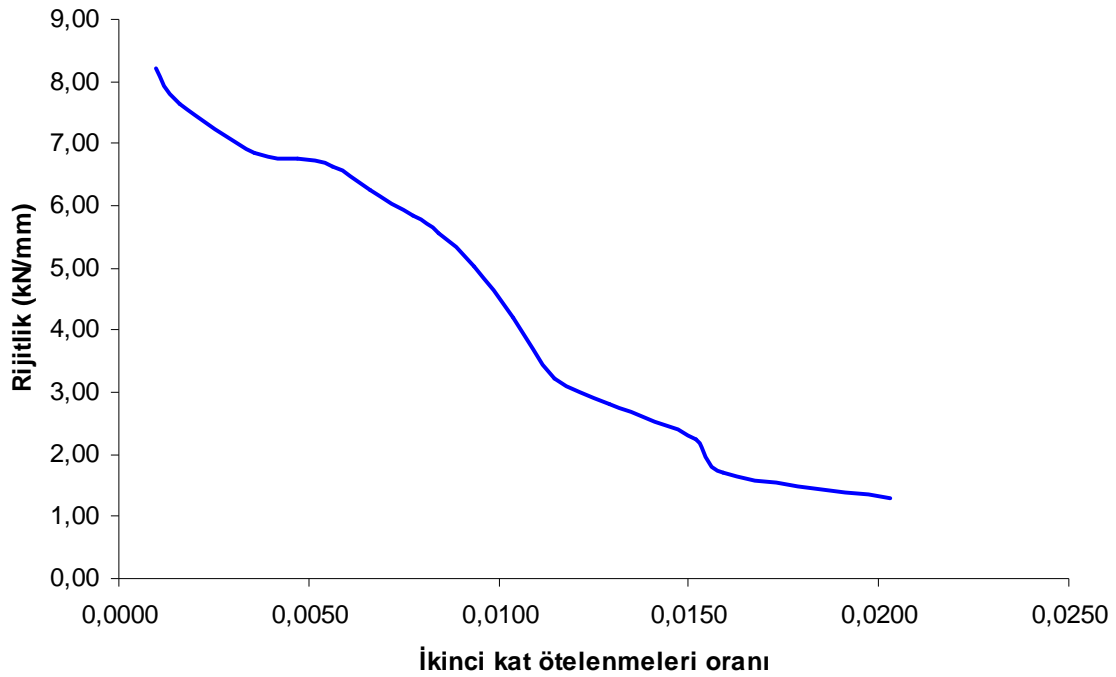


şekil 98 N-5 elik levha dolgulu çerçeve sistemi için dayanım zarfı

N-5 deney numunesi için elde edilen en büyük yatay yük değeri dokuzuncu çevrimde ($\delta/h = 0,0094$) 94,001 kN olarak elde edilmiştir. Bu seviyede elik levha dolgu duvardaki birleşim dolgu kaynaklarının çatladığı ve köşedeki bağlantı civataları ile levhada akmanın gözle görünür hale geldiği gözlenmiştir. Alt kattaki elik levha dolgu duvarın köşelerinde birleşim civatalarının birkaçı kesilmek suretiyle kopmaya başlamıştır. Daha sonra taşınan

yatay yük değeri azalmaya başlamış, ancak yatay yüklerdeki bu azalış yavaş bir şekilde gerçekleşmiştir. Deneyin son çevrimi olan onbeşinci çevrim ($\delta/h = 0,0078$) sonunda alt kattaki çelik levha dolgu duvarının birleşimlerinde kısmi ayrılmalar ve civataların büyük kısmında kopmalar tespit edilmiştir. Aynı zamanda üst kattaki çelik levha dolgu duvarın ise köşegen şeklinde akma ve buruşmalar gözlemlenmiştir. Deney sonunda alt kat kolonlarının düğüm noktalarında akma meydana gelmiş, dolayısıyla bu noktalarda plastik mafsall oluşmuştur. Sistemin azami taşıyabildiği yatay yük değeri akma değerinden yaklaşık olarak %4 daha fazladır.

Deneylerden sonra her çevrimde elde edilen en büyük yatay kuvvetin, bu kuvvete karşılık gelen yatay yerdeğiştirme değerine oranı belirlenerek, rijitlik azalım grafiği elde edilmiştir (Şekil 99).

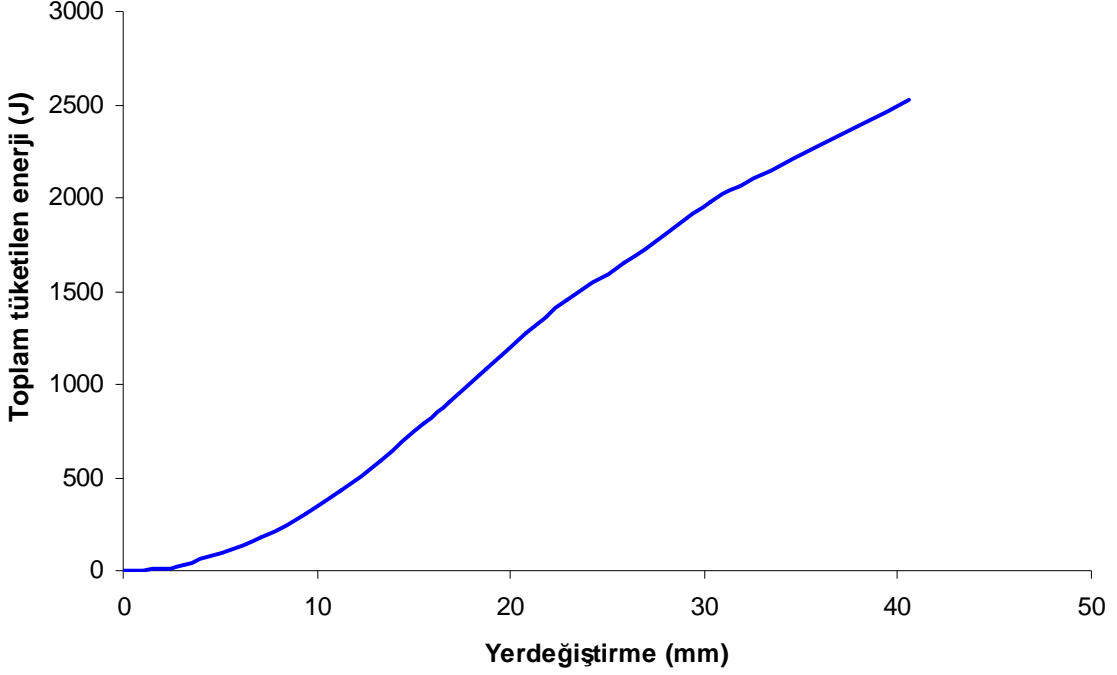


Şekil 99. N-5 Çelik levha dolgululu çerçeve sistemi için rijitlik azalım grafiği

Birinci çevrim ($\delta/h = 0,0010$) için rijitlik değeri 8,21 kN/mm değerinde iken yedinci çevrimde ($\delta/h = 0,0078$) rijitlik değerindeki azalış hızında önemli bir artış belirlenmiştir. Bu çevrim sonunda rijitlik 5,84 kN/mm ye kadar düşmüştür. Bu çevrimden sonra rijitlik azalış hızı yavaşlamış ve onbeşinci çevrimde ($\delta/h = 0,0203$) rijitlik değeri

1,28 kN/mm olarak hesaplanmıştır. Bulunan bu rijitlik değeri başlangıç değerinin yaklaşık %16 sına karşılık gelmektedir.

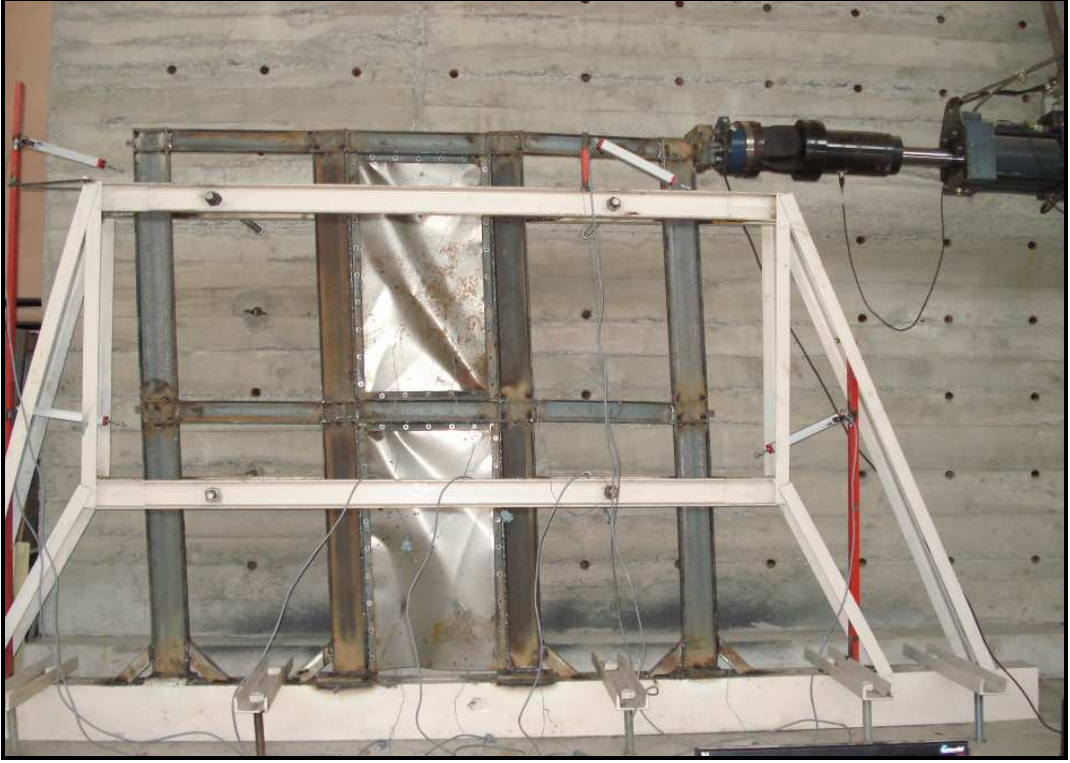
Son olarak her çevrim için elde edilen tüketilen enerji değerleri toplanarak toplam tüketilen enerji değerleri hesaplanmıştır (Şekil 100).



Şekil 100. N-5 Çelik levha dolgulu çerçeve sistemi için tüketilen enerji grafiği

Tüketilen enerji grafiği yedinci çevrim ($\Sigma(\delta/h) = 0,0308$) sonuna kadar daha yavaş bir artış hızı gösterirken, bu çevrimden sonra tüketilen enerji miktarındaki artış hızı artmıştır. Onbeşinci çevrim ($\Sigma(\delta/h) = 0,1348$) sonunda 2529,87 J değerine ulaşmıştır.

Çelik levha perde duvarlarda genel olarak, levhaların çalışma prensiplerinin diyagonallere benzediği gözlemlenmiştir. Levhanın buruşmasından sonra bile yük taşıma kapasitesine katkıda bulunmuştur. Numunede, boş çerçeve numunesinin tersine, öncelikle orta kolon ayaklarının koptuğu, ilave edilen levhaların sistemin rijitliğini değiştirdiğinin en bariz göstergesi olduğu söylenebilir. 1,5 mm kalınlığındaki çelik levha perde dolgu duvarlı sistemlerin deney sonrası görünümü Şekil 101’de, birleşim noktalarında oluşan hasarlar Şekil 102’de verilmiştir.



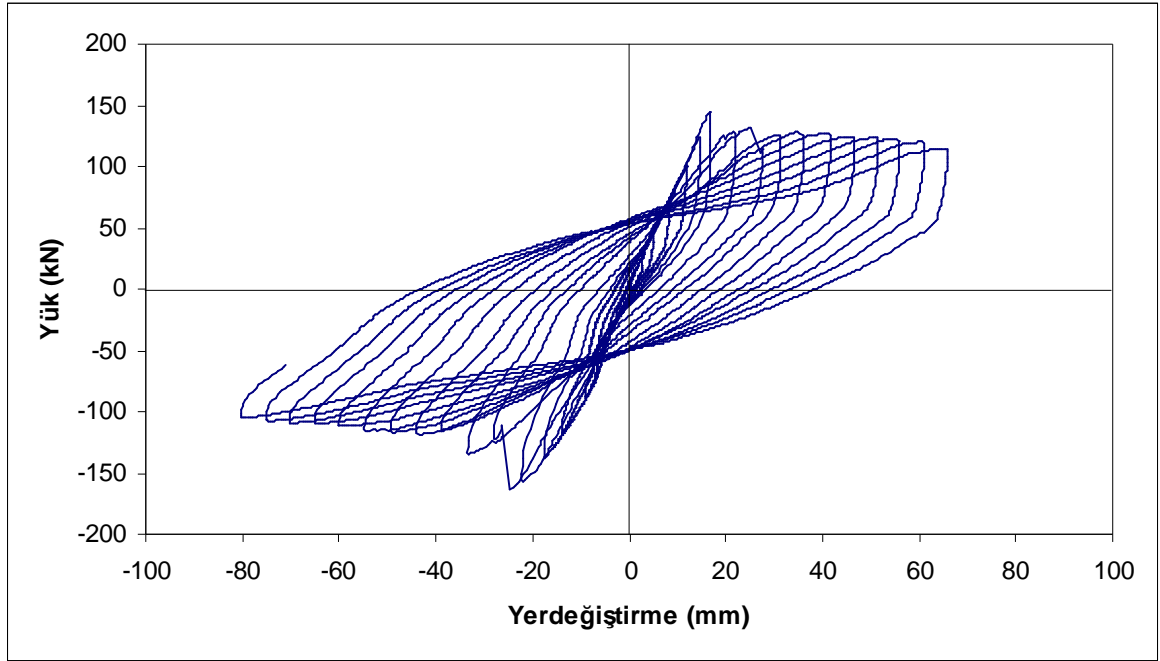
Şekil 101. N-5 Çelik levha perde duvarlı çerçevenin deney sonrası görünümü



Şekil 102. N-5 Çelik levha perde duvarlı çerçevenin birleşim noktalarında oluşan hasarlar

İkinci çelik levha duvar dolgulu çelik çerçeve deneyi için öncelikle daha önce anlatıldığı gibi boş bir çelik çerçeve hazırlanmıştır. Bu çelik çerçeve sisteminin orta açıklığına her iki katta, bu deney için hazırlanmış 3mm kalınlığındaki çelik levha perde duvarın imali ve yerleştirilmesi daha önce tarif edilmiştir. Boş çelik çerçeve deneyi (N-1) için izlenen yöntem bu deney içinde aynen uygulanmıştır.

Deneyde elde edilen yük-yerdeğiştirme değerlerine ait eğri Şekil 103’de verilmiştir. Bununla birlikte her çevrime karşılık gelen yatay yük ve yatay yerdeğiştirme ile kat yerdeğiştirmelerinin katlara oranları (δ/h) Tablo 19’da verilmiştir.



Şekil 103. N-6 Çelik levha dolgulu çerçeve sistemi için yük-yerdeğiştirme ilişkisi

Tablo 19. N-6 deney numunesi için deneylerden elde edilen yük-yerdeğiştirme değerleri

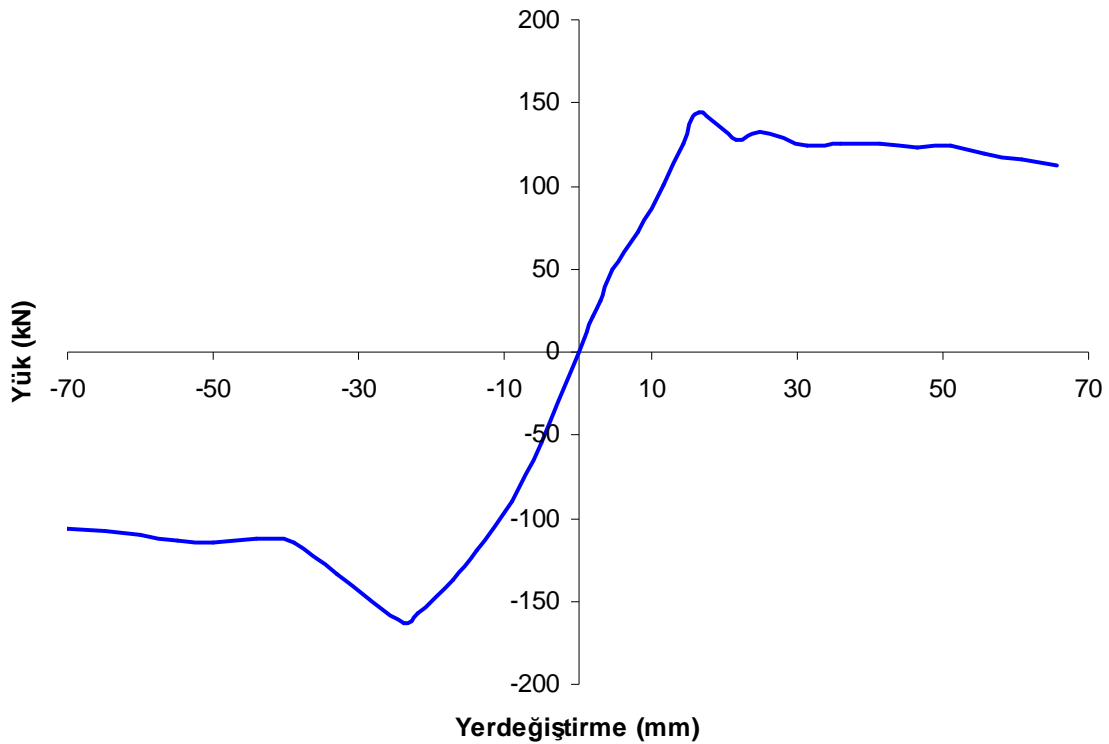
Çevrim	Yatay yük (kN)	2. KAT			1.KAT		
		Kat Yerdeğiş. (δ) (mm)	Kat Yüksekligi (h) (mm)	(δ/h)	Kat Yerdeğiş. (δ) (mm)	Kat Yüksekligi (h) (mm)	(δ/h)
1	21,053	2,002	2000	0,0010	0,0010	1000	0,0009
2	30,794	3,054	2000	0,0015	0,0019	1000	0,0018
3	49,647	4,806	2000	0,0024	0,0056	1000	0,0053
4	72,271	8,260	2000	0,0041	0,0082	1000	0,0077
5	100,865	11,764	2000	0,0059	0,0092	1000	0,0086
6	125,689	14,317	2000	0,0072	0,0115	1000	0,0108
7	144,228	16,720	2000	0,0084	0,0133	1000	0,0125
8	127,888	21,676	2000	0,0108	0,0145	1000	0,0137
9	131,973	25,031	2000	0,0125	0,0162	1000	0,0152
10	123,803	31,538	2000	0,0158	0,0189	1000	0,0178
11	125,060	35,994	2000	0,0180	0,0218	1000	0,0204
12	125,060	41,451	2000	0,0207	0,0244	1000	0,0230
13	123,489	46,507	2000	0,0233	0,0267	1000	0,0251
14	124,118	51,162	2000	0,0256	0,0290	1000	0,0273
15	120,033	55,768	2000	0,0279	0,0318	1000	0,0299
16	115,634	60,874	2000	0,0304	0,0345	1000	0,0325
17	112,170	65,680	2000	0,0328	0,0373	1000	0,0350
18	21,053	2,002	2000	0,0010	0,0010	1000	0,0009
19	30,794	3,054	2000	0,0015	0,0019	1000	0,0018

Bu Şekil ve tablo'da görüldüğü gibi deney başladığında birinci çevrimde sistemde 2,002 mm lik yerdeğiştirme meydana gelmiş ve bu yerdeğiştirme değerine karşılık 21,053 kN yatay yük değerine ulaşılmıştır. Bu çevrim sonunda çelik levha duvarda herhangi bir buruşma gözlenmemiştir. İkinci çevrimde sistemde 3,054 mm lik yerdeğiştirme meydana gelmiş ve bu yerdeğiştirme değerine karşılık 30,794 kN yatay yük değerine ulaşılmıştır. Dördüncü çevrimde sistemde 8,260 mm lik yerdeğiştirme meydana gelmiş ve bu yerdeğiştirme değerine karşılık 72,271 kN yatay yük değerine ulaşılmıştır. Bu çevrim sonunda alt kattaki çelik levhaların birleşim yerlerindeki kaynaklar ani olarak kopmuştur. Üst dolgu duvarda da benzer Şekilde dolgu kaynaklarında çatlaklar oluşmaya başlamıştır. Sistemin altıncı çevriminde sistemin yük-yerdeğiştirme değerlerlerinde gözlenen kısmi doğrusallık değişmiştir. Bu da yüklemde elastik bölgenin tamamlandığını göstermektedir.

Bu çevrimden sonra yük-yerdeğiştirme eğrisinin eğiminin çok az azaldığı gözlenmiştir. Sistemde yedinci çevrimde sistemde 16,720 mm lik yerdeğiştirme meydana gelmiş ve bu yerdeğiştirme değerine karşılık 144,228 kN yatay yük değerine ulaşılmıştır.

Yedinci çevrimde ulaşılan yatay yük deneyi bu deneyde elde edilen en büyük değer olmuştur. Bundan sonraki çevrimlerde meydana gelen yatay yerdeğiştirmelere karşılık gelen yatay yük değerleri azalmaya başlamıştır. Bu azalmayı gözlemlemek için oniki çevrim daha uygulanarak deney sonlandırılmıştır.

Bu şekilde gerçekleştirilen deneylerin sonunda elde edilen yatay yük-yerdeğiştirme eğrisindeki çevrimlerin tepe noktaları birleştirilerek elde edilen dayanım zarfına ait grafik Şekil 104'de verilmiştir. Bu şekilde de görüleceği gibi çerçevede çekme ve basınç yüklemelerinde yaklaşık aynı davranışı göstermiştir.

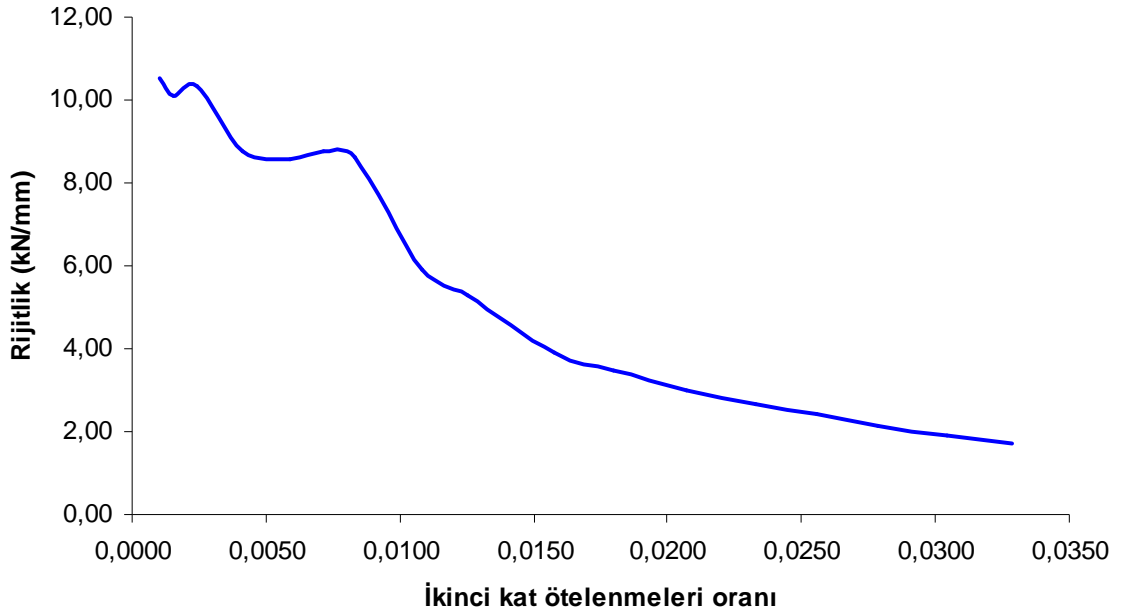


Şekil 104. N-6 Çelik levha perde duvar dolgulu çerçeve sistemi için dayanım zarfı

N-6 deney numunesi için elde edilen en büyük yatay yük değeri yedinci çevrimde ($\delta/h = 0,0084$) 144,228 kN olarak elde edilmiştir. Bu seviyede çelik levha dolgu duvardaki birleşim dolgu kaynaklarının çatladığı ve köşedeki bağlantı cıvatalarının ani olarak kesildiği gözlenmiştir. Alt kattaki çelik levha dolgu duvarın köşelerinde birleşim cıvatalarının

çoğunluğu kesilmek suretiyle kopmaya başlamıştır. Daha sonra taşınan yatay yük değeri azalmaya başlamış, ancak yatay yüklerdeki bu azalım yavaş bir şekilde gerçekleşmiştir. Deneğin son çevrimi olan ondokuzuncu çevrim ($\delta/h = 0,0015$) sonunda alt kattaki çelik levha dolgu duvarının birleşimlerinde kısmi ayrılmalar ve civataların büyük kısmında kopmalar tespit edilmiştir. Aynı zamanda üst kattaki çelik levha dolgu duvarın ise köşegen şeklinde çok az miktarda akma ve buruşmalar gözlemlenmiştir. Deneğin sonunda alt kat kolonlarının düğüm noktalarında akma meydana geldiği, dolayısıyla bu noktalarda plastik mafsalları oluşmuştur. Sistemin azami taşıyabildiği yatay yük değeri akma değerinden yaklaşık olarak %15 daha fazladır.

Deneğlerden sonra her çevrimde elde edilen en büyük yatay kuvvetin, bu kuvvete karşılık gelen yatay yerdeğıştirme değerine oranı belirlenerek, rijitlik azalım grafiğı elde edilmiştir (Şekil 105).

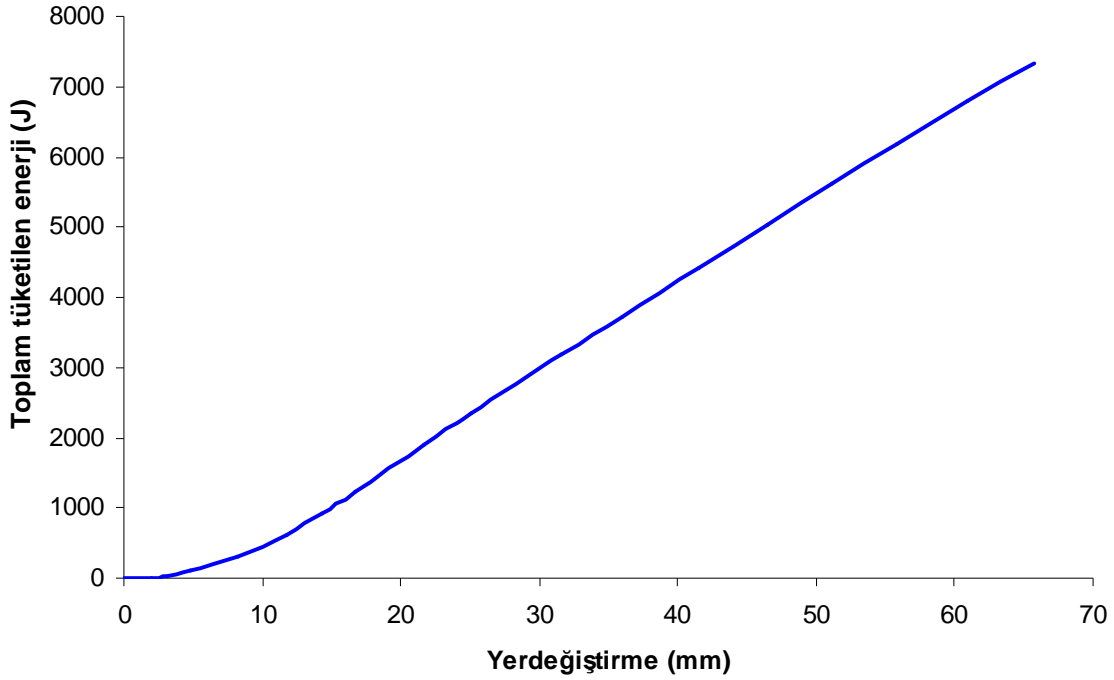


Şekil 105 N-6 Çelik levha perde duvar dolgulu çerçeve sistemi için rijitlik azalım grafiğı

Birinci çevrim ($\delta/h = 0,0010$) için rijitlik değeri 10,82 kN/mm değerinde iken dördüncü çevrimde ($\delta/h = 0,0082$) rijitlik değerindeki azalım hızında önemli bir artış belirlenmiştir. Bu çevrim sonunda rijitlik 5,72 kN/mm ye kadar düşmüştür. Bu çevrimden sonra rijitlik azalım hızı yavaşlamış ve ondokuzuncu çevrimde ($\delta/h = 0,0373$) rijitlik değeri

1,37 kN/mm olarak hesaplanmıştır. Bulunan bu rijitlik değeri başlangıç değerinin yaklaşık %13 sına karşılık gelmektedir.

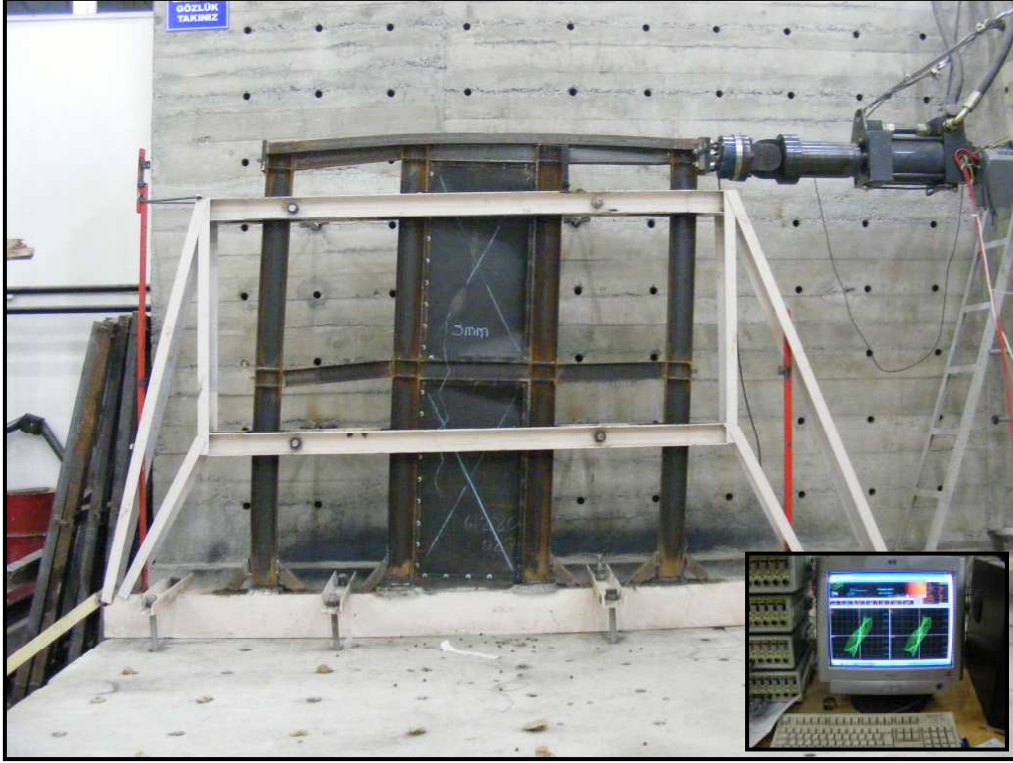
Son olarak her çevrim için elde edilen tüketilen enerji değerleri toplanarak toplam tüketilen enerji değerleri hesaplanmıştır (Şekil 106).



Şekil 106. N-6 Çelik levha perde duvar dolgulu çerçeve sistemi için tüketilen enerji grafiği

Tüketilen enerji grafiği yedinci çevrim ($\Sigma(\delta/h) = 0,0506$) sonuna kadar daha yavaş bir artış hızı gösterirken, bu çevrimden sonra tüketilen enerji miktarındaki artış hızı artmıştır. ondokuzuncu çevrim ($\Sigma(\delta/h) = 0,3058$) sonunda 7456,686 J değerine ulaşmıştır.

3mm kalınlığındaki çelik levhalarda oluşturulan perde duvar, sistemin davranışını sünek olmaktan uzaklaştırmıştır. Davranış ve taşınan yatay yük miktarları dikkate alındığında, daha önce deneyi yapılan betonarme perde duvarlı çelik çerçeve ile yaklaşık sonuçlar oluşmuştur. Çelik levha perde dolgu duvarlı sistemlerin deney sonrası görünümü Şekil 107’de verilmiştir.



Şekil 107. N-6 Çelik levha perde duvar dolgulu çerçevenin deney sonrası görünümü

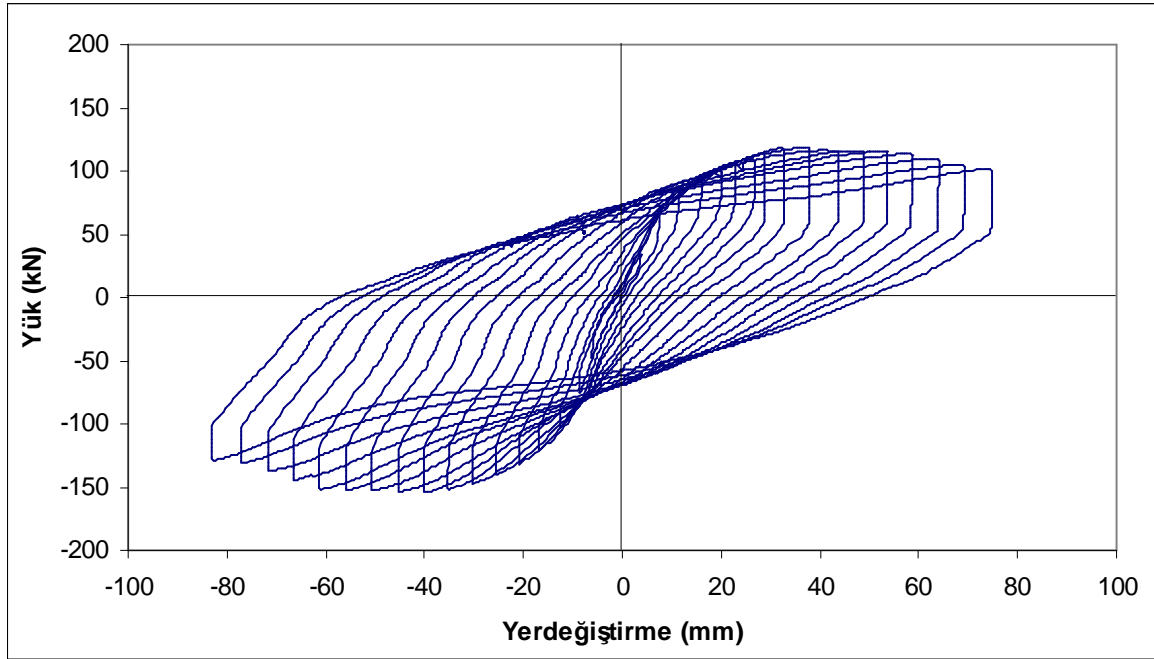


Şekil 108. N-6 Çelik levha perde duvarlı çerçevenin birleşim noktalarında oluşan hasarlar

3.6. Çelik Köşegen Dolgulu Çelik Çerçeve (N-7 ve N-8) Deney Numuneleri İçin Deney Bulguları ve Değerlendirilmesi

Çelik köşegen dolgulu çelik çerçeve deneyi için öncelikle daha önce anlatıldığı gibi boş bir çelik çerçeve hazırlanmıştır. Bu çelik çerçeve sisteminin orta açıklığına her iki katta, bu deney için hazırlanmış, 2L40.40.4 profillerinin kullanıldığı çelik köşegenler yerleştirilmiştir. Köşegenler ilk deneyde sadece tek yönde yerleştirilmiştir. Boş çelik çerçeve deneyi (N-3) için izlenen yöntem bu deney içinde aynen uygulanmıştır.

Deneyde elde edilen yük-yerdeğiştirme değerlerine ait eğri Şekil 109'de verilmiştir. Bununla birlikte her çevrime karşılık gelen yatay yük ve yatay yerdeğiştirme ile kat yerdeğiştirmelerinin katlara oranları (δ/h) Tablo 20 de verilmiştir.



Şekil 109. N-7 Tek yönlü çelik köşegenli çerçeve sistemi için yük-yerdeğiştirme ilişkisi

Tablo 20. N-5 deney numunesi için deneylerden elde edilen yük-yerdeğiştirme değerleri

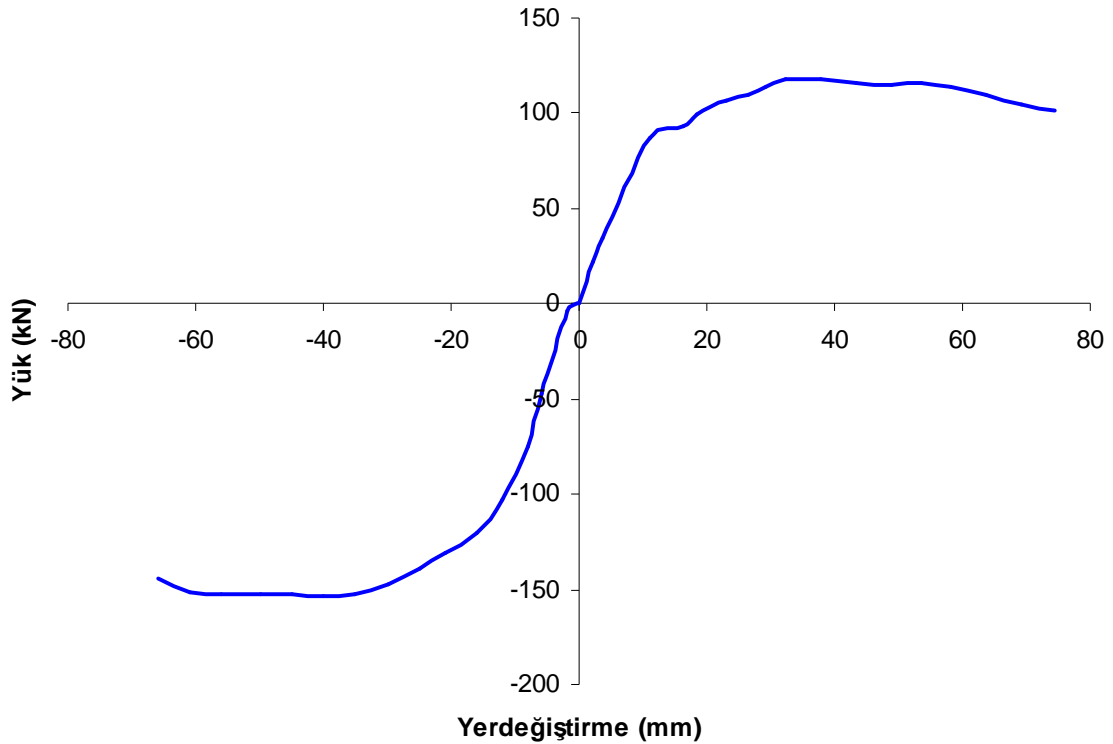
Çevrim	Yatay yük (kN)	2. KAT			1.KAT		
		Kat Yerdeğiş. (δ) (mm)	Kat Yüksekligi (h) (mm)	(δ/h)	Kat Yerdeğiş. (δ) (mm)	Kat Yüksekligi (h) (mm)	(δ/h)
1	21,654	2,002	2000	0,0010	0,941	1000	0,0009
2	34,250	3,755	2000	0,0019	1,765	1000	0,0018
3	87,039	11,216	2000	0,0056	5,272	1000	0,0053
4	93,324	16,320	2000	0,0082	7,670	1000	0,0077
5	99,294	18,372	2000	0,0092	8,635	1000	0,0086
6	107,150	23,028	2000	0,0115	10,823	1000	0,0108
7	109,660	26,532	2000	0,0133	12,470	1000	0,0125
8	114,062	29,085	2000	0,0145	13,670	1000	0,0137
9	118,147	32,440	2000	0,0162	15,247	1000	0,0152
10	118,462	37,796	2000	0,0189	17,764	1000	0,0178
11	115,948	43,503	2000	0,0218	20,446	1000	0,0204
12	115,319	48,860	2000	0,0244	22,964	1000	0,0230
13	115,948	53,415	2000	0,0267	25,105	1000	0,0251
14	113,438	58,071	2000	0,0290	27,293	1000	0,0273
15	109,663	63,628	2000	0,0318	29,905	1000	0,0299
16	104,950	69,084	2000	0,0345	32,469	1000	0,0325
17	101,808	74,519	2000	0,0373	35,024	1000	0,0350

Bu Şekil ve tablo'da görüldüğü gibi deney başladığında birinci çevrimde sistemde 2,002 mm lik yerdeğiştirme meydana gelmiş ve bu yerdeğiştirme değerine karşılık 21,654 kN yatay yük değerine ulaşılmıştır. Bu çevrim sonunda çelik köşegenlerde herhangi bir Şekildeğiştirme gözlenmemiştir. İkinci çevrimde sistemde 3,755 mm lik yerdeğiştirme meydana gelmiş ve bu yerdeğiştirme değerine karşılık 34,250 kN yatay yük değerine ulaşılmıştır. Beşinci çevrimde sistemde 18,372 mm lik yerdeğiştirme meydana gelmiş ve bu yerdeğiştirme değerine karşılık 99,294 kN yatay yük değerine ulaşılmıştır. Bu çevrim sonunda alt kattaki çelik köşegenlerde Şekildeğiştirme (burkulmadan dolayı) buruşmalar oluşmuştur. Üst dolgu duvarda da benzer Şekilde burkulmalar oluşmaya başlamıştır. Bu çevriminden sonra sistemin yük-yerdeğiştirme değerlerlerinde gözlenen kısmi doğrusallık değişmiştir. Bu da yüklemde elastik bölgenin tamamlandığını göstermektedir. Bu çevrimden sonra yük-yerdeğiştirme eğrisinin eğiminin azaldığı gözlenmiştir. Onuncu

çevrimde sistemde 37,796 mm lik yerdeğiştirme meydana gelmiş ve bu yerdeğiştirme değerine karşılık 118,462 kN yatay yük değerine ulaşılmıştır.

Dokuzuncu çevrimde ulaşılan yatay yük deneyi bu deneyde elde edilen en büyük değer olmuştur. Bundan sonraki çevrimlerde meydana gelen yatay yerdeğiştirmelere karşılık gelen yatay yük değerleri azalmaya başlamıştır. Bu azalmayı gözlemlemek için yedi çevrim daha uygulanarak deney sonlandırılmıştır.

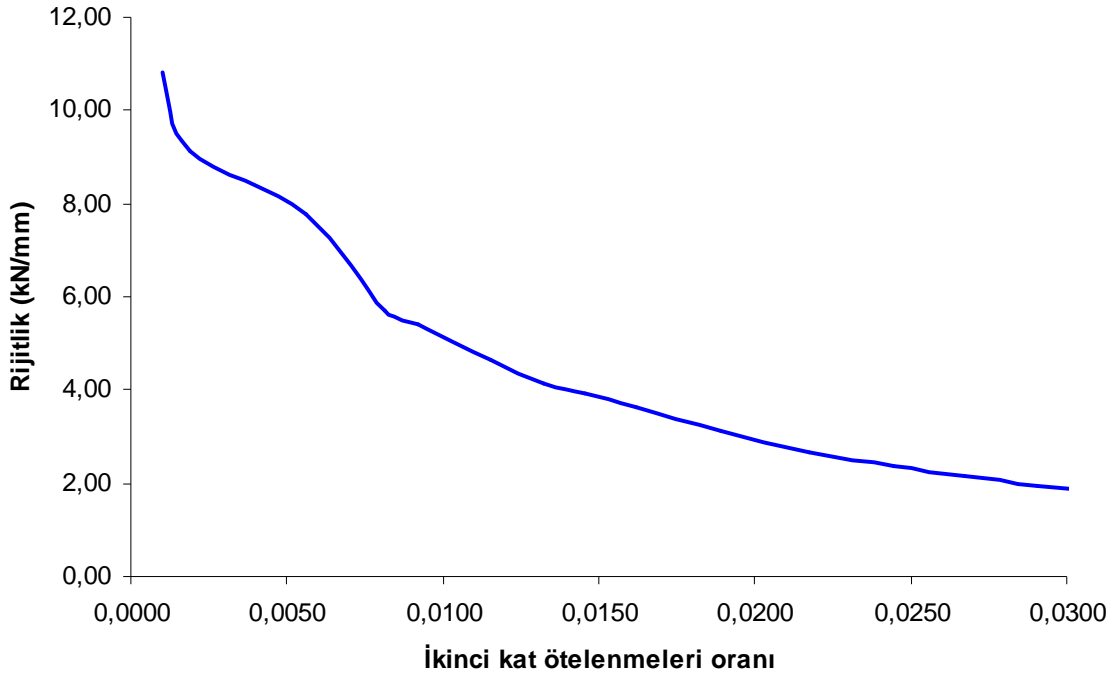
Bu şekilde gerçekleştirilen deneylerin sonunda elde edilen yatay yük-yerdeğiştirme eğrisindeki çevrimlerin tepe noktaları birleştirilerek elde edilen dayanım zarfına ait grafik Şekil 110'da verilmiştir. Bu şekilde de görüleceği gibi çerçevede çekme ve basınç yüklemelerinde yaklaşık aynı davranışı göstermiştir.



Şekil 110. N-7. Tek yönlü çelik köşegenli çerçeve sistemi için dayanım zarfı

N-7 deney numunesi için elde edilen en büyük yatay yük değeri onuncu çevrimde ($\delta/h = 0,0189$) 118,462 kN olarak elde edilmiştir. Bu seviyede çelik köşegenler burkulmuştur. Sistemin azami taşıyabildiği yatay yük değeri akma değerinden yaklaşık olarak %19 daha fazladır.

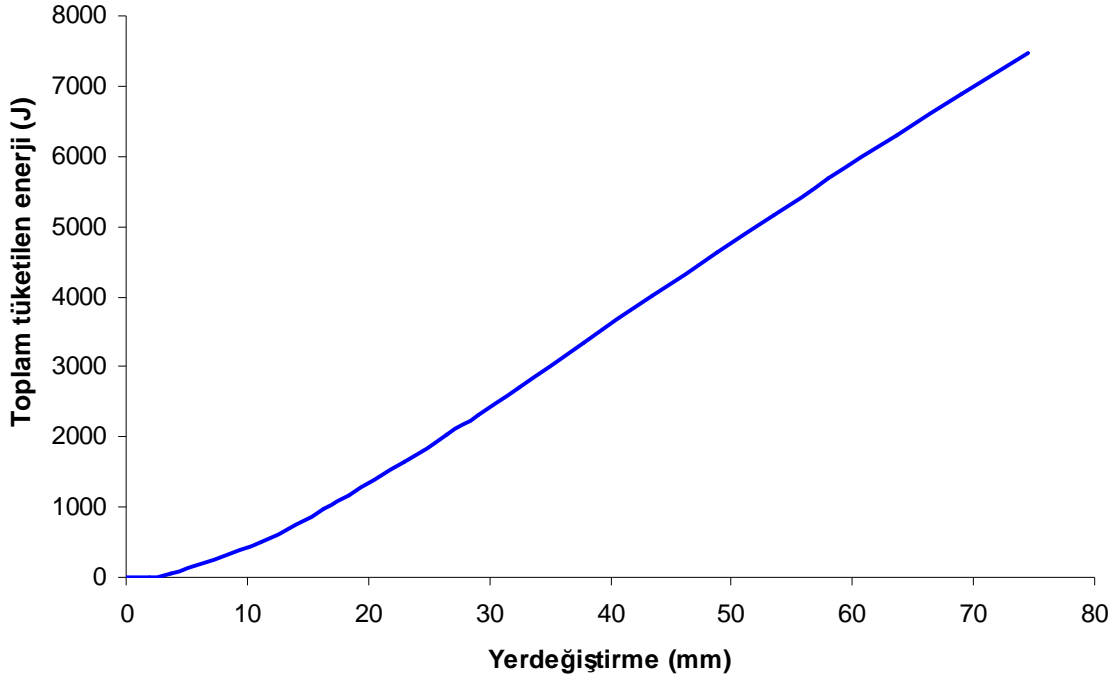
Deneylemlerden sonra her çevrimde elde edilen en büyük yatay kuvvetin, bu kuvvete karşılık gelen yatay yerdeğiştirme değerine oranı belirlenerek, rijitlik azalım grafiği elde edilmiştir (Şekil 111).



Şekil 111. N-7. Tek yönlü çelik köşegenli çerçeve sistemi için rijitlik azalım grafiği

Birinci çevrim ($\delta/h=0,0010$) için rijitlik değeri 10,82 kN/mm değerinde iken beşinci çevrimde ($\delta/h=0,0092$) rijitlik değerindeki azalım hızında önemli bir artış belirlenmiştir. Bu çevrim sonunda rijitlik 5,40 kN/mm ye kadar düşmüştür. Bu çevrimden sonra rijitlik azalım hızı yavaşlamış ve onyedinci çevrimde ($\delta/h=0,0373$) rijitlik değeri 1,37 kN/mm olarak hesaplanmıştır. Bulunan bu rijitlik değeri başlangıç değerinin yaklaşık %13 sına karşılık gelmektedir.

Son olarak her çevrim için elde edilen tüketilen enerji değerleri toplanarak toplam tüketilen enerji değerleri hesaplanmıştır (Şekil 112).



Şekil 112. N-7. Tek yönlü çelik köşegenli çerçeve sistemi için tüketilen enerji grafiği

Tüketilen enerji grafiği beşinci çevrim ($\Sigma(\delta/h) = 0,0258$) sonuna kadar daha yavaş bir artış hızı gösterirken, bu çevrimden sonra tüketilen enerji miktarındaki artış hızı artmıştır. Onyedinci çevrim ($\Sigma(\delta/h) = 0,3058$) sonunda 7456,686 J değerine ulaşmıştır.

Merkezi çelik köşegen şeklinde geleneksel olarak yerleştirilen köşegenler, yerleşim şekline göre çekme durumunda basınç durumuna göre daha fazla yük taşımıştır. Çünkü yüklemelere göre basınç durumunda köşegen elemanlarda burkulmalar meydana gelmiştir. Bu nedenle çerçeveye olan yük taşıma katkısı ani olarak azalmıştır. Tek doğrultuda çelik köşegenli çerçeve numunelerinin deney anı Şekil 113’de sistemlerin deney sonrası görünümü Şekil 114’de verilmiştir.



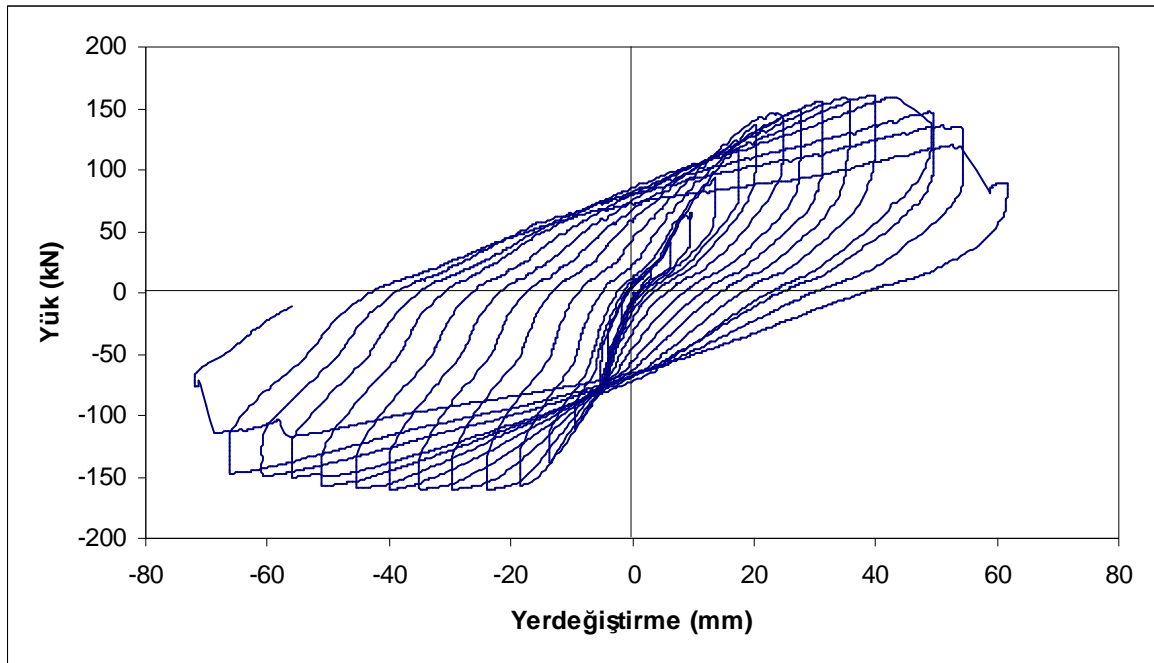
Şekil 113. N-7. Tek yönlü çelik köşegenli çerçeve sistemi için deney sonrası görünümü



Şekil 114. N-7. Tek yönlü çelik köşegenli çerçevenin birleşim noktalarında oluşan hasarlar

Çelik köşegenli olarak hazırlanan ikinci seri deney numunesinde köşegenler bu sefer çift taraflı olarak yerleştirilmiştir. Bu amaçla, öncelikle daha önce anlatıldığı gibi boş bir çelik çerçeve hazırlanmıştır. Bu çelik çerçeve sisteminin orta açıklığına her iki katta, bu deney için hazırlanmış, 2L40.40.4 profillerinin kullanıldığı çelik köşegenler yerleştirilmiştir. Boş çelik çerçeve deneyi (N-1) için izlenen yöntem bu deney içinde aynen uygulanmıştır.

Deneyde elde edilen yük-yerdeğiştirme değerlerine ait eğri Şekil 115’de verilmiştir. Bununla birlikte her çevrime karşılık gelen yatay yük ve yatay yerdeğiştirme ile kat yerdeğiştirmelerinin katlara oranları (δ/h) Tablo 21’de verilmiştir.



Şekil 115. N-8. Çift yönlü çelik köşegenli çerçeve sistemi için yük-yerdeğiştirme ilişkisi

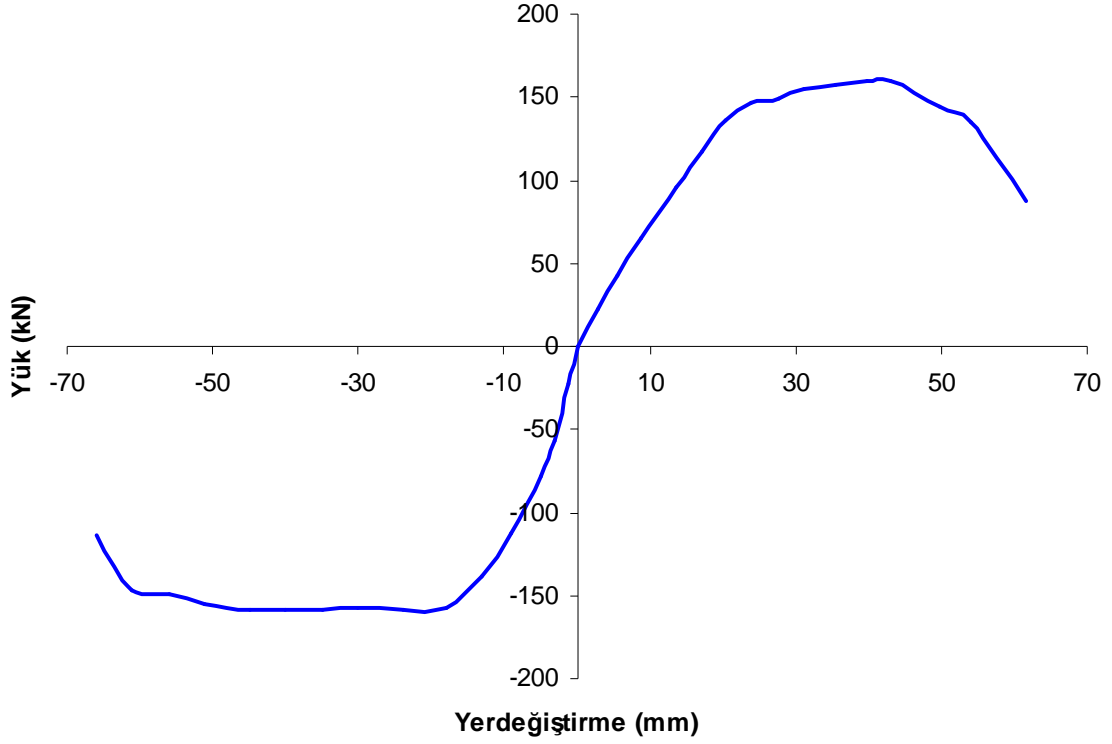
Tablo 21. N-5 deney numunesi için deneylerden elde edilen yük-yerdeğiştirme değerleri

Çevrim	Yatay yük (kN)	2. KAT			1.KAT		
		Kat Yerdeğiş. (δ) (mm)	Kat Yüksekligi (h) (mm)	(δ/h)	Kat Yerdeğiş. (δ) (mm)	Kat Yüksekligi (h) (mm)	(δ/h)
1	22,225	2,703	2000	0,0014	1,270	1000	0,0013
2	42,734	5,557	2000	0,0028	2,612	1000	0,0026
3	65,358	8,661	2000	0,0043	4,071	1000	0,0041
4	96,152	13,567	2000	0,0068	6,376	1000	0,0064
5	116,576	17,072	2000	0,0085	8,024	1000	0,0080
6	135,744	20,275	2000	0,0101	9,529	1000	0,0095
7	146,427	23,979	2000	0,0120	11,270	1000	0,0113
8	149,570	27,584	2000	0,0138	12,964	1000	0,0130
9	155,540	31,188	2000	0,0156	14,658	1000	0,0147
10	157,738	35,443	2000	0,0177	16,658	1000	0,0167
11	159,939	39,799	2000	0,0199	18,706	1000	0,0187
12	159,310	43,153	2000	0,0216	20,282	1000	0,0203
13	144,542	49,661	2000	0,0248	23,341	1000	0,0233
14	135,430	54,116	2000	0,0271	25,435	1000	0,0254
15	87,668	61,575	2000	0,0308	28,940	1000	0,0289

Bu Şekil ve tablo'da görüldüğü gibi deney başladığında birinci çevrimde sistemde 2,703 mm lik yerdeğiştirme meydana gelmiş ve bu yerdeğiştirme değerine karşılık 22,225 kN yatay yük değerine ulaşılmıştır. Bu çevrim sonunda çelik köşegenlerde herhangi bir Şekildeğiştirme gözlenmemiştir. İkinci çevrimde sistemde 5,557 mm lik yerdeğiştirme meydana gelmiş ve bu yerdeğiştirme değerine karşılık 42 kN yatay yük değerine ulaşılmıştır. Yedinci çevrimde sistemde 23,979 mm lik yerdeğiştirme meydana gelmiş ve bu yerdeğiştirme değerine karşılık 146,427 kN yatay yük değerine ulaşılmıştır. Bu çevrim sonunda alt kattaki çelik köşegenlerde Şekildeğiştirme (burkulmadan dolayı) oluşmuştur. Üst dolgu duvarda da benzer Şekilde burkulmalar oluşmaya başlamıştır. Bu çevriminden sonra sistemin yük-yerdeğiştirme değerlerinde gözlenen kısmi doğrusallık değişmiştir. Bu da yüklemde elastik bölgenin tamamlandığını göstermektedir. Bu çevrimden sonra yük-yerdeğiştirme eğrisinin eğiminin azaldığı gözlenmiştir. Onbirinci çevrimde sistemde 39,799 mm lik yerdeğiştirme meydana gelmiş ve bu yerdeğiştirme değerine karşılık 159,939 kN yatay yük değerine ulaşılmıştır.

Onbirinci çevrimde ulaşılan yatay yük değeri bu deneyde elde edilen en büyük değer olmuştur. Bundan sonraki çevrimlerde meydana gelen yatay yerdeğiştirmelere karşılık gelen yatay yük değerleri azalmaya başlamıştır. Bu azalmayı gözlemlemek için yedi çevrim daha uygulanarak deney sonlandırılmıştır.

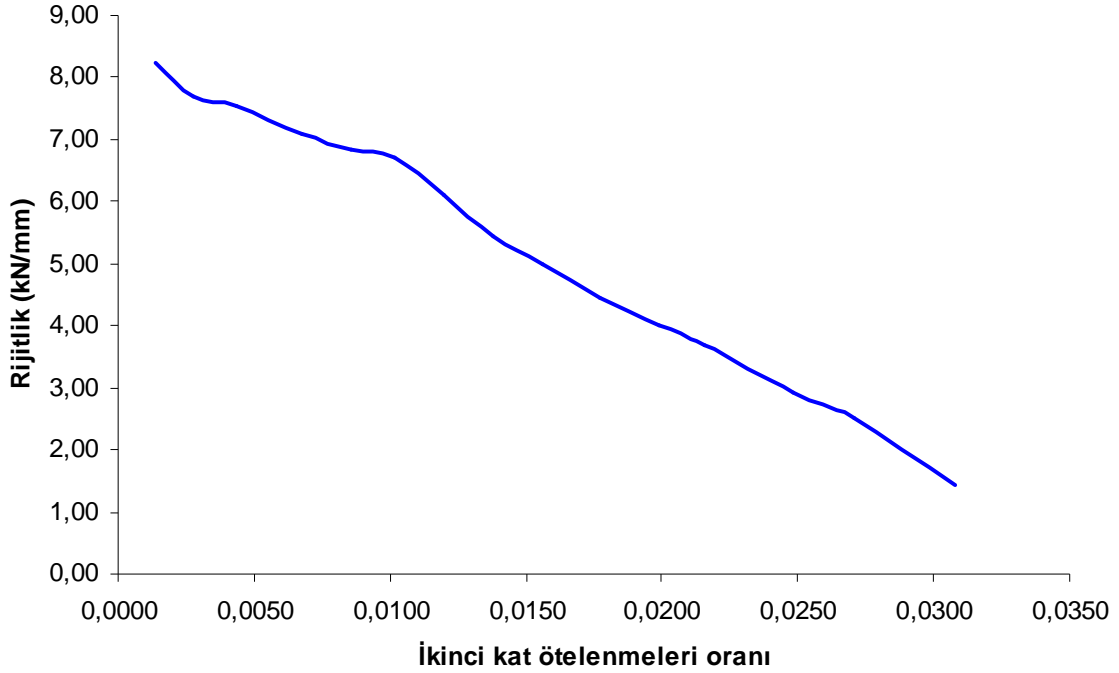
Bu şekilde gerçekleştirilen deneylerin sonunda elde edilen yatay yük-yerdeğiştirme eğrisindeki çevrimlerin tepe noktaları birleştirilerek elde edilen dayanım zarfına ait grafik Şekil 116'da verilmiştir. Bu şekilde de görüleceği gibi çerçevede çekme ve basınç yüklemelerinde yaklaşık aynı davranışı göstermiştir.



Şekil 116. N-8. Çift yönlü çelik köşegenli çerçeve sistemi için dayanım zarfı

N-8 deney numunesi için elde edilen en büyük yatay yük değeri onbirinci çevrimde ($\delta/h=0,0199$) 159,939 kN olarak elde edilmiştir. Bu seviyede çelik köşegenler burkulmuştur. Sistemin azami taşıyabildiği yatay yük değeri akma değerinden yaklaşık olarak %10 daha fazladır.

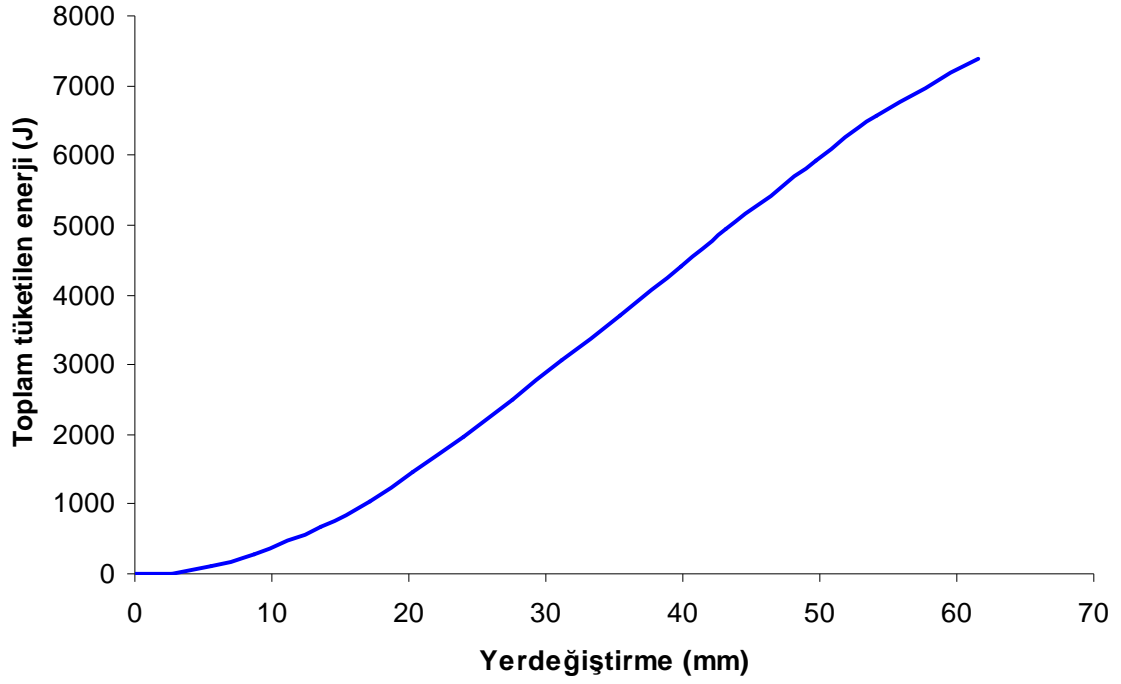
Deneylemlerden sonra her çevrimde elde edilen en büyük yatay kuvvetin, bu kuvvete karşılık gelen yatay yerdeğiştirme değerine oranı belirlenerek, rijitlik azalım grafiği elde edilmiştir (Şekil 117).



Şekil 117. .N-8. Çift yönlü çelik köşegenli çerçeve sistemi için rijitlik azalım grafiği

Birinci çevrim ($\delta/h = 0,0014$) için rijitlik değeri 8,22 kN/mm değerinde iken yedinci çevrimde ($\delta/h = 0,0092$) rijitlik değerindeki azalım hızında önemli bir artış belirlenmiştir. Bu çevrim sonunda rijitlik 6,11 kN/mm ye kadar düşmüştür. Bu çevrimden sonra rijitlik azalım hızı yavaşlamış ve onbeşinci çevrimde ($\delta/h = 0,0308$) rijitlik değeri 1,37 kN/mm olarak hesaplanmıştır. Bulunan bu rijitlik değeri başlangıç değerinin yaklaşık %17 sına karşılık gelmektedir.

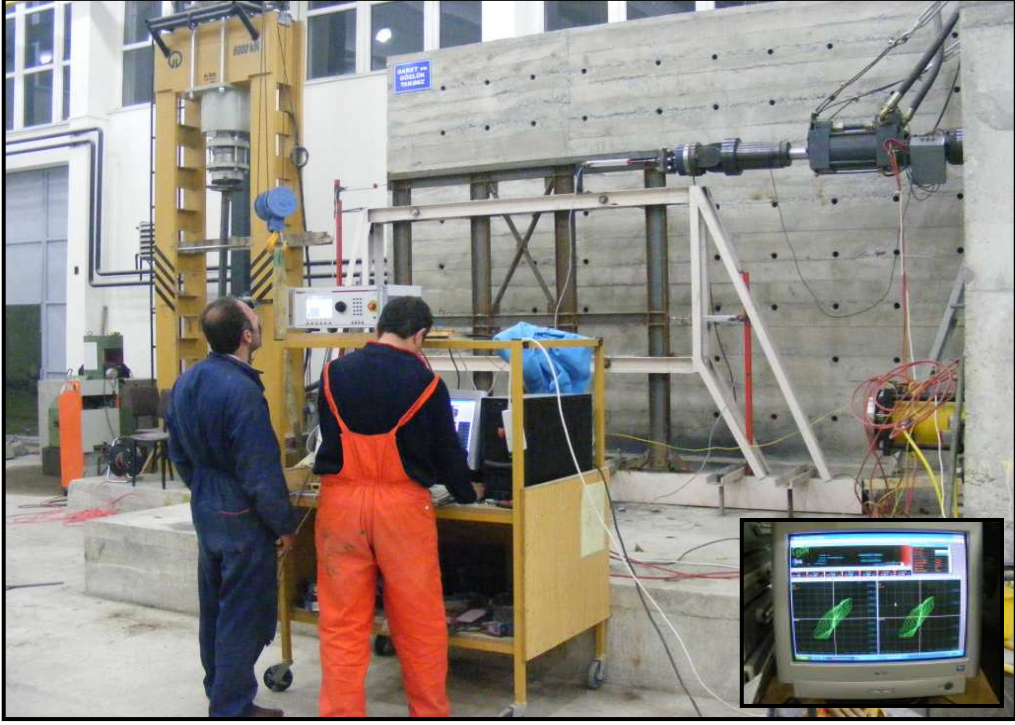
Son olarak her çevrim için elde edilen tüketilen enerji değerleri toplanarak toplam tüketilen enerji değerleri hesaplanmıştır (Şekil 118).



Şekil 118. N-8. Çift yönlü çelik köşegenli çerçeve sistemi için tüketilen enerji grafiği

Tüketilen enerji grafiği yedinci çevrim ($\Sigma(\delta/h) = 0,0460$) sonuna kadar daha yavaş bir artış hızı gösterirken, bu çevrimden sonra tüketilen enerji miktarındaki artış hızı artmıştır. Onbeşinci çevrim ($\Sigma(\delta/h) = 0,2172$) sonunda 7390,119 J değerine ulaşmıştır.

Çift doğrultuda çelik köşegenli çerçeve numunelerinin deney anı Şekil 119'da sistemlerin deney sonrası görünümü Şekil 120'de verilmiştir.

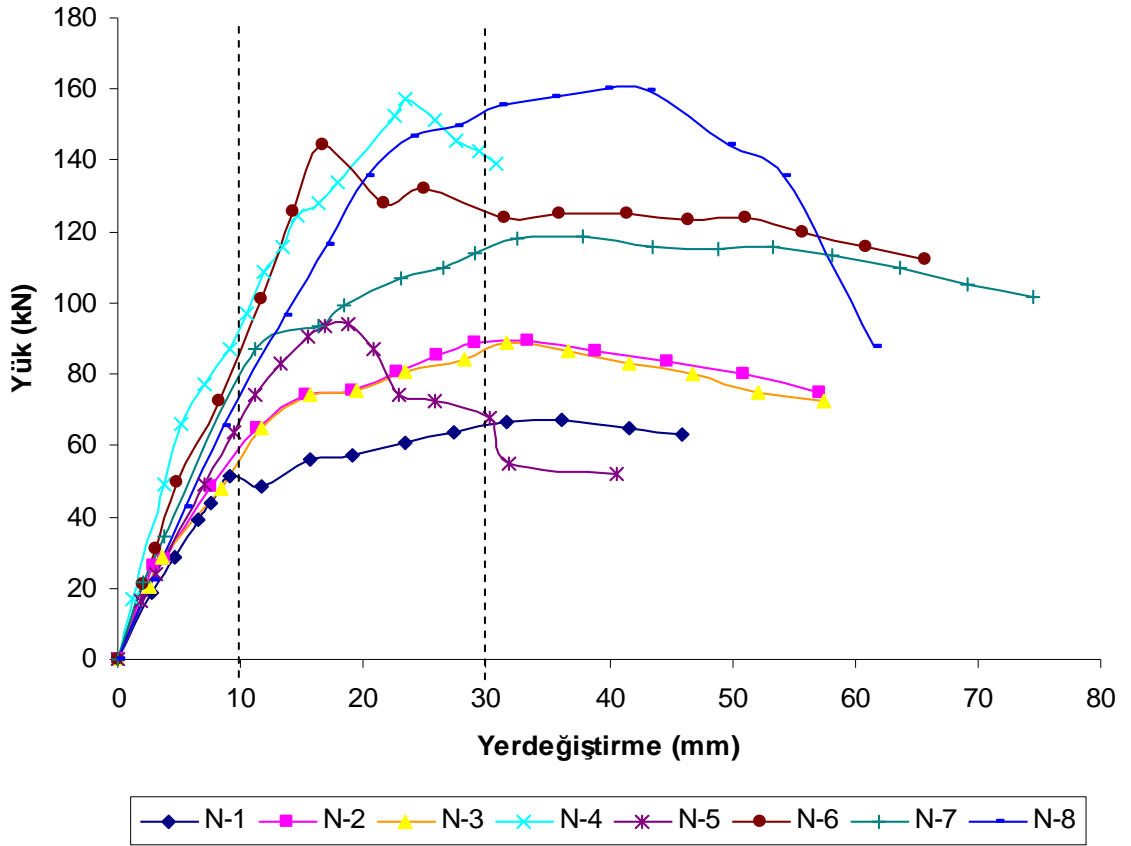


Şekil 119. N-8. Çift yönlü çelik köşegenli çerçeve sisteminin deney sonrası görünümü



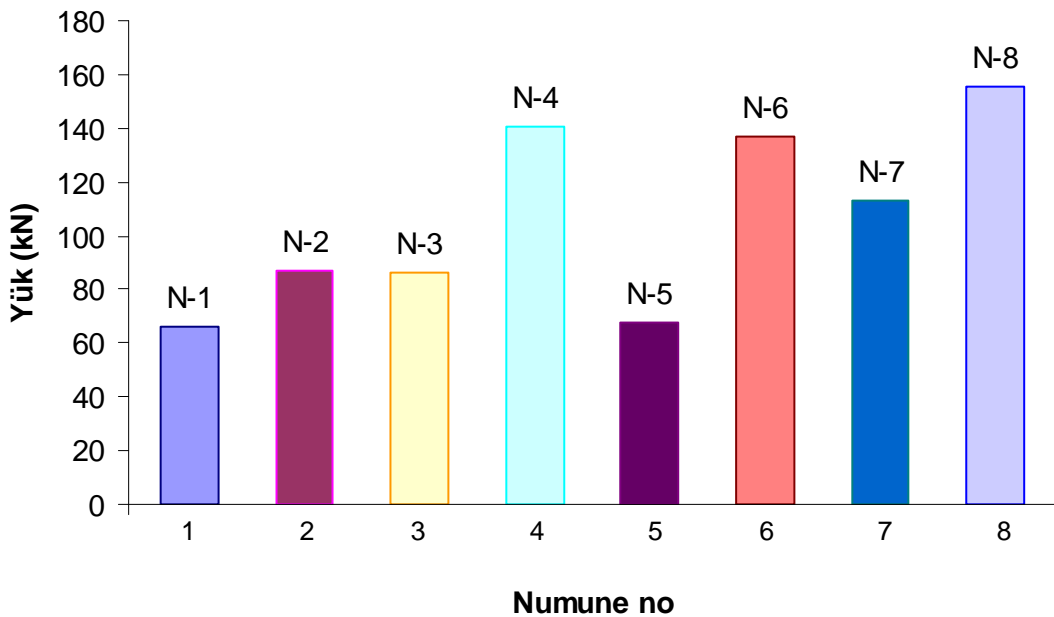
Şekil 120. N-8. Çift yönlü çelik köşegenli çerçeve sistemi için deney sırasında oluşan hasar durumu

Çelik taşıyıcı sistemlerin yatay yük taşıma kapasitesi arttıran elemanları incelenmesi amacıyla yapılmış olan bu çalışma kapsamında 8 seri deney (N-1:Boş çelik çerçeve, N-2: Tuğla duvar dolgulu çelik çerçeve, N-3: Gazbeton duvar dolgulu çelik çerçeve N-4: Betonarme perde duvar dolgulu çelik çerçeve, N-5: İnce çelik levha (1,5mm) perde duvar dolgulu çelik çerçeve, N-6: Kalın çelik levha (3mm) perde duvar dolgulu çelik çerçeve N-7: Bir yönde merkezi çelik köşegenli çelik çerçeve, N-8: İki yönde merkezi çelik köşegenli çelik çerçeve) yapılmıştır. Deneylerden elde edilen yatay yük-yatay yerdeğiştirme değerleri karşılaştırma yapabilmek amacıyla aynı grafik üzerinde, Şekil 121’de verilmiştir.

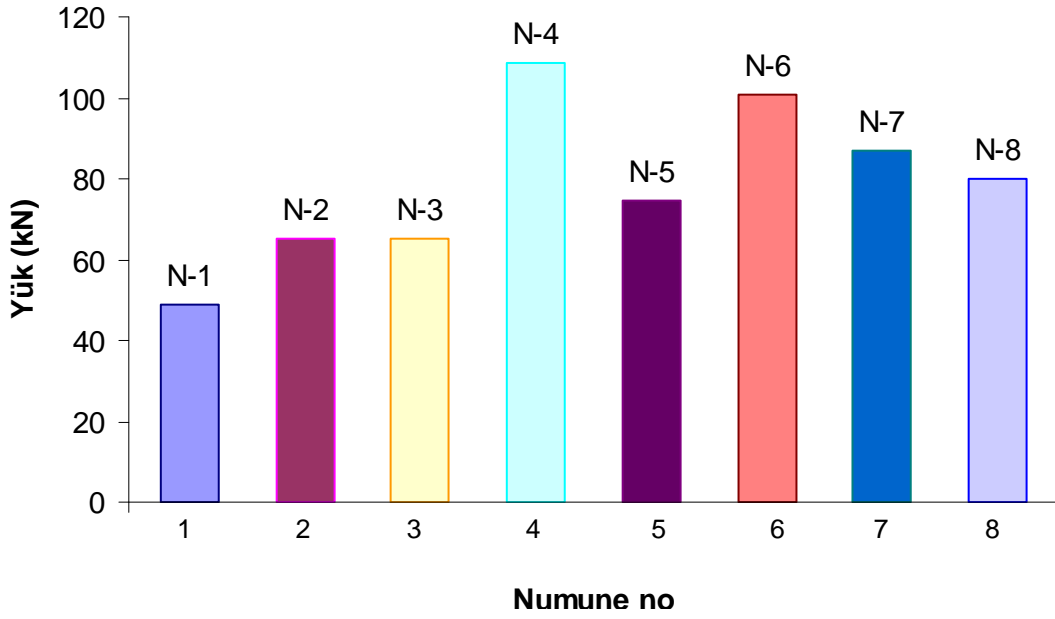


Şekil 121. Yatay yük-yatay yerdeğiştirme grafikleri

Yükleme sırasında taşınan en büyük yatay yük ve bu yüke karşılık gelen yerdeğiştirme değerleri sırasıyla, N-8 için 159,939kN ve 39,799mm, N-4 için 157,031kN ve 23,448mm, N-6 için 144,228kN ve 16,720mm, N-7 için 118,462kN ve 37,796mm, N-5 için 94,001kN ve 18,715mm, N-2 için 89,553kN ve 33,340mm, N-3 için 88,611kN ve 31,689mm, N-1 için ise 67,165kN ve 36,194mm olarak elde edilmiştir. Referans olarak boş çelik çerçeve deneyi (N-1) dikkate alındığında, taşınan yatay yük, tuğla duvar dolgulu çelik çerçevede (N-2) %33 artarken, yerdeğiştirme %8 azalmıştır. Gazbeton duvar dolgulu çelik çerçevede (N-3) taşınan yatay yük %32 artarken, yerdeğiştirme %13 azalmıştır. Betonarme perde duvar dolgulu çelik çerçevede (N-4) taşınan yatay yük %134 artarken, yerdeğiştirme %35 azalmıştır. İnce çelik levha (1,5mm) perde duvar dolgulu çelik çerçevede (N-5) taşınan yatay yük %40 artarken, yerdeğiştirme %48 azalmıştır. Kalın çelik levha (3mm)perde duvar dolgulu çelik çerçevede (N-6) taşınan yatay yük %115 artarken, yerdeğiştirme %54 azalmıştır. Bir yönde merkezi çelik köşegenli çelik çerçevede (N-7) taşına yatay yük %76 artarken, yerdeğiştirme %4 artmıştır. İki yönde merkezi çelik köşegenli çelik çerçevede (N-8) taşınan yatay yük %138 artarken, yerdeğiştirme %10 artmıştır. Kıyaslama için yaklaşık olarak elastik bölgede olan 10 mm yerdeğiştirmeye karşılık gelen yük değerleri Şekil 122 de, yaklaşık olarak plastik bölgede olan 30 mm yerdeğiştirmeye karşılık gelen yük değerleri Şekil 123 de verilmiştir.



Şekil 122. 10mm yatay yerdeğiştirme için taşınan yatay yük değerleri



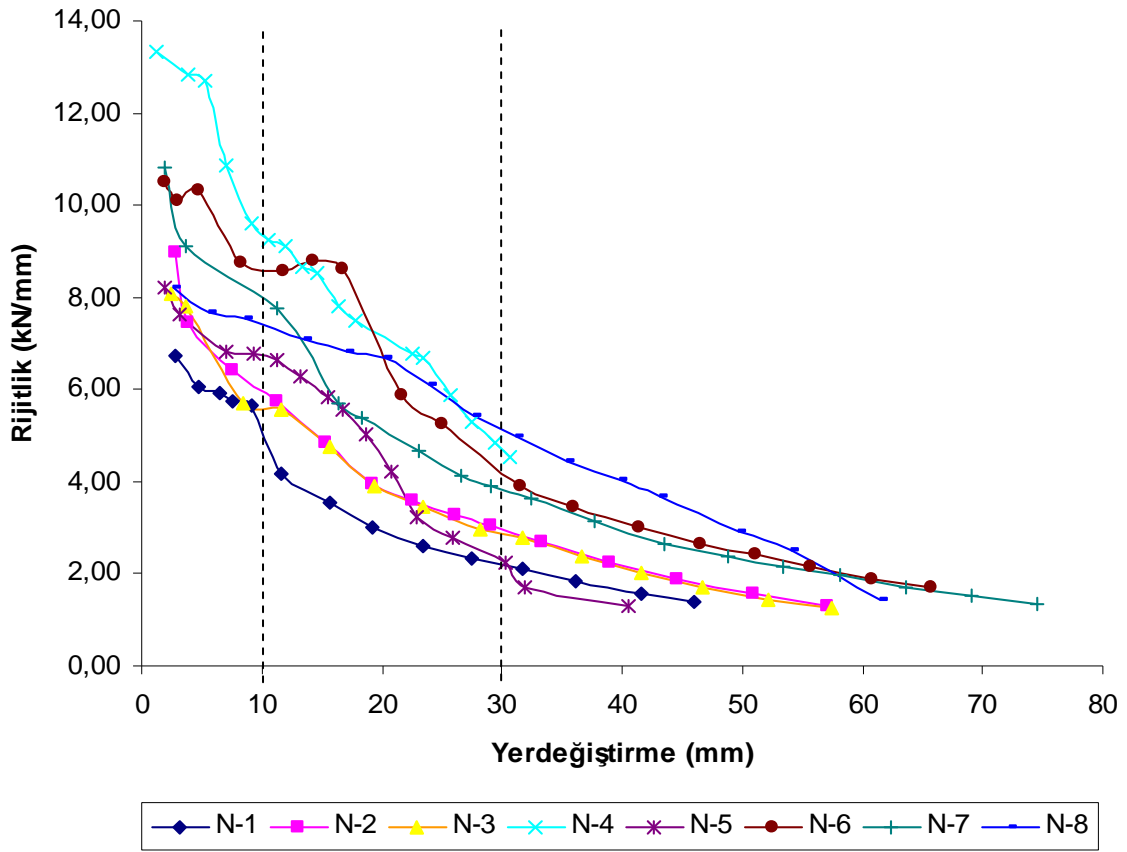
Şekil 123. 30mm yatay yerdeğiştirme için taşınan yatay yük değerleri

Bu şekillerde de görüldüğü gibi, elastik bölgede (10mm. yatay yerdeğiştirme için) boş çerçeve ile 1.5mm kalınlığındaki çelik levha perdeli sistemlerde taşınan yatay yük değerleri yaklaşık olarak aynı olurken, gaz beton dolgulu ve tuğla dolgulu duvarların bulunduğu sistemlerde taşınan yatay yük değerleri yaklaşık olarak birbirine eşit olmuştur. Betonarme perde duvar dolgulu sistemlerin yatay yük taşıma sistemleri de 3mm kalınlığındaki çelik levha perde duvar ve iki yönde merkezi çelik köşegenli sistemler ile yaklaşık olarak aynı olmuştur. Bu da elastik bölge dikkate alındığında, betonarme perde duvar dolgulu, 3mm kalınlığında çelik levha perde duvar dolgulu ve iki yönlü merkezi çelik köşegenli sistemlerin yük taşıma kapasitelerinin diğerlerine göre daha fazla olduğunu göstermektedir.

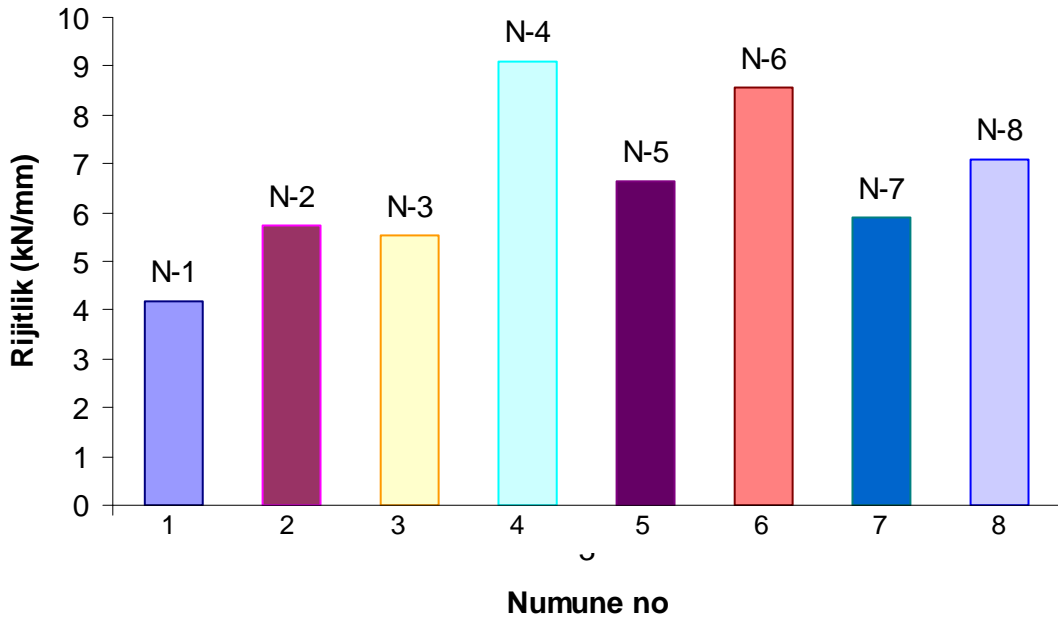
Plastik bölgede (30mm yatay yer değiştirme için) ise; betonarme perde duvar dolgulu sistemler ile 3mm kalınlığında çelik levha perde duvarlı sistemlerin diğer sistemlere göre daha fazla yatay yük taşıma kapasitesine sahip oldukları belirlenmiştir.

Deneylelerden elde edilen rijitlik-yatay yerdeğiştirme değerleri karşılaştırma yapabilmek amacıyla aynı grafik üzerinde, Şekil 124'de verilmiştir.

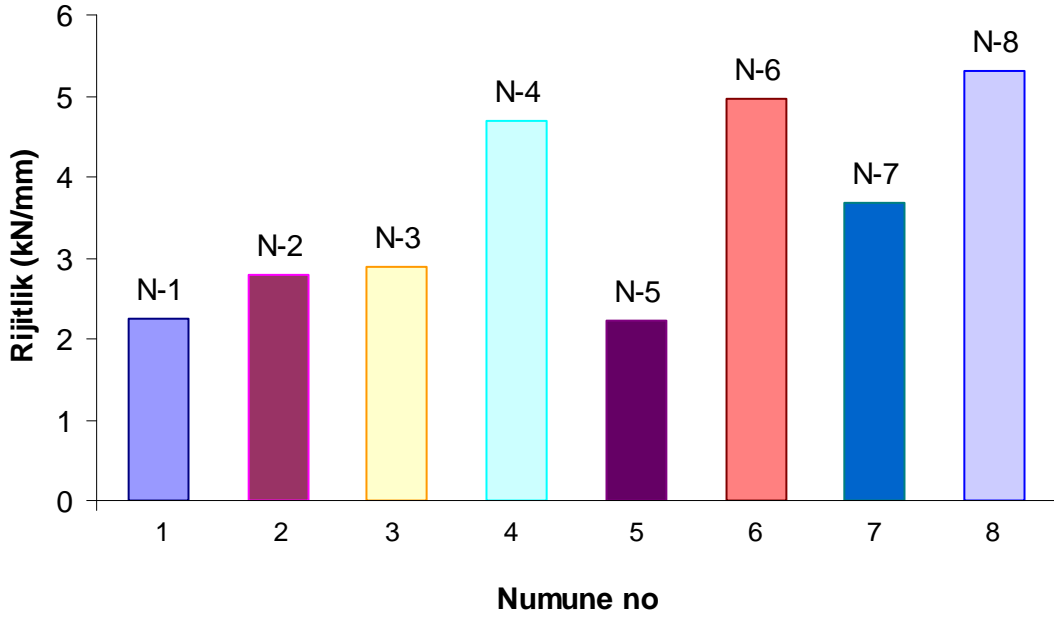
Kıyaslama için yaklaşık olarak elastik bölgede olan 10 mm yerdeğiştirmeye karşılık gelen rijitlik değerleri Şekil 125'de, yaklaşık olarak plastik bölgede olan 30 mm yerdeğiştirmeye karşılık gelen rijitlik değerleri Şekil 126'da verilmiştir.



Şekil 124. Rijitlik-yatay yerdeğiştirme grafikleri



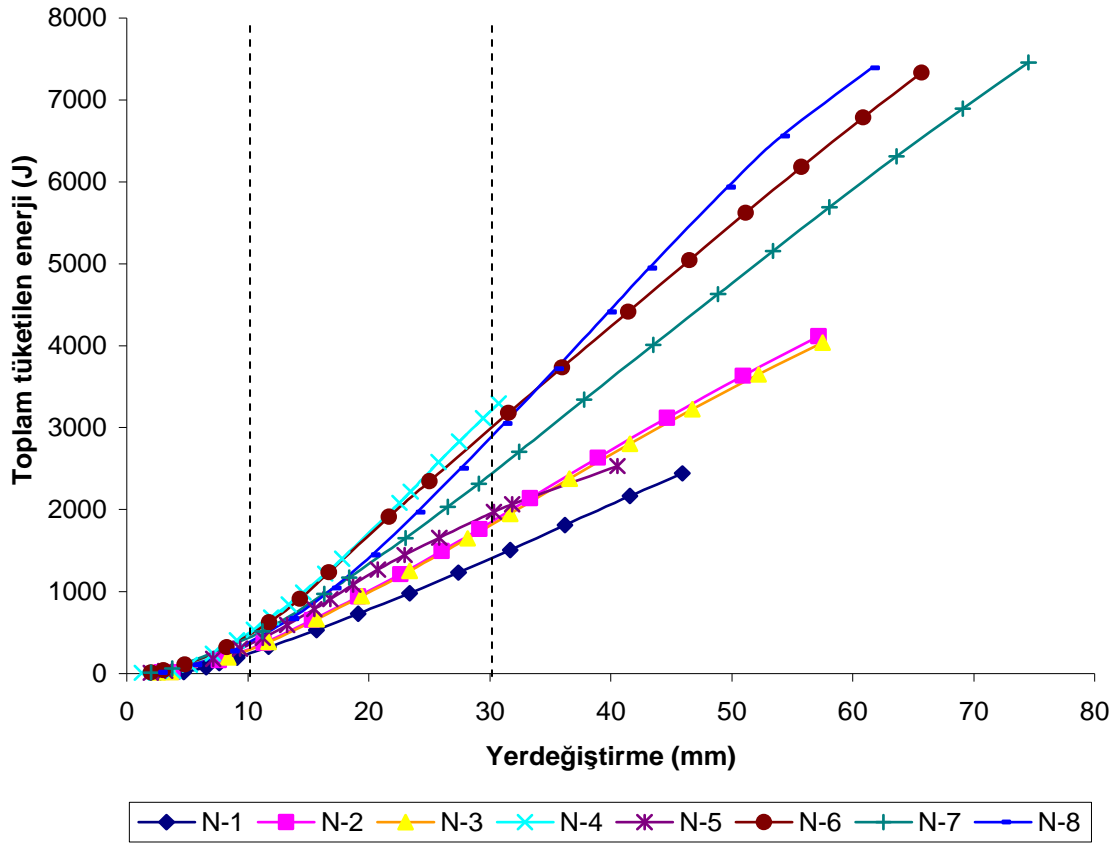
Şekil 125. 10mm yatay yerdeğiştirme için rijitlik değerleri



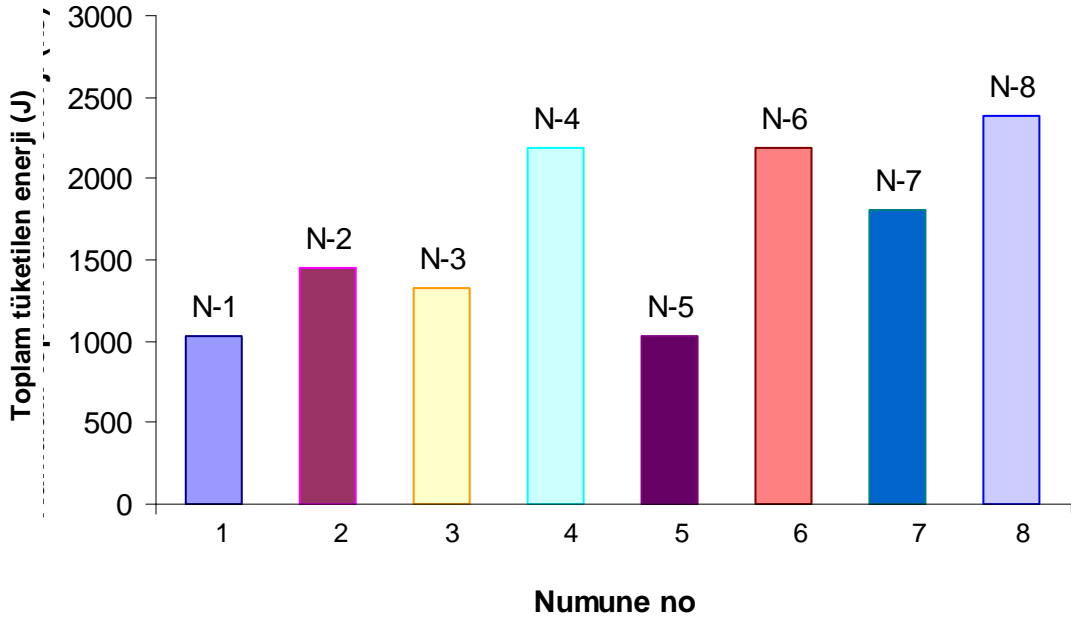
Şekil 126. 30mm yatay yerdeğiştirme için rijitlik değerleri

Bu şekillerde de görüldüğü gibi, elastik bölgede (10mm. yatay yerdeğiştirme için) rijitlik betonarme perde duvar dolgulu sistemlerde diğer sistemlere göre daha fazla iken, plastik bölgede (30mm. yatay yer değiştirme için) ise; rijitlik iki yönlü merkezi çelik köşegenli sistemlerde daha fazla olmuştur.

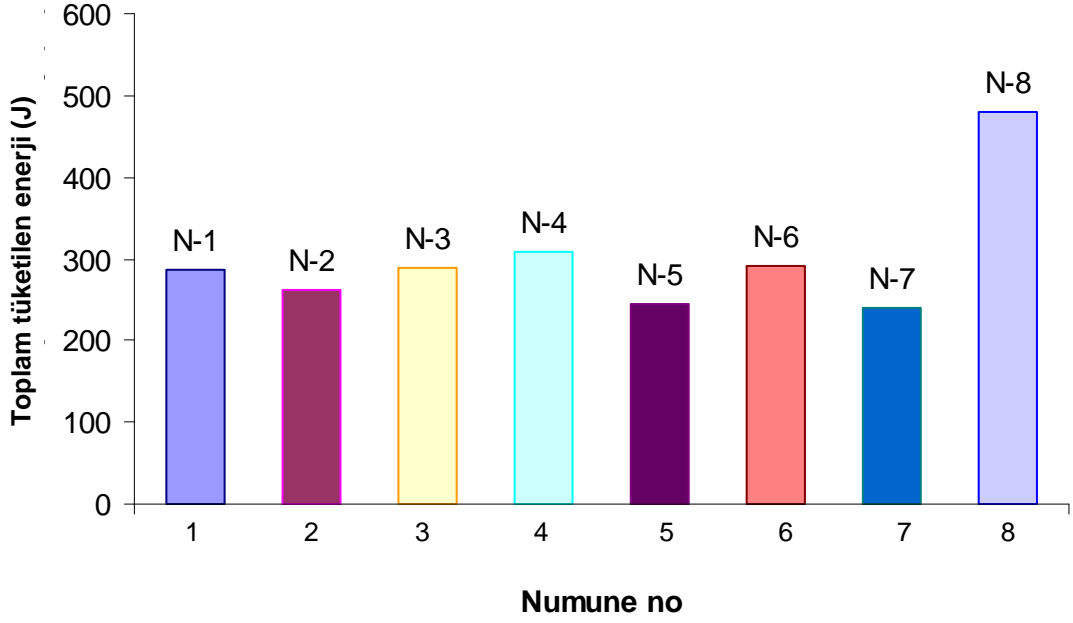
Deneylerden elde edilen toplam tüketilen enerji-yatay yerdeğiştirme değerleri karşılaştırma yapabilmek amacıyla aynı grafik üzerinde, Şekil 127’de verilmiştir. Kıyaslama için yaklaşık olarak elastik bölgede olan 10 mm yerdeğiştirmeye karşılık gelen yük değerleri Şekil 128’de, yaklaşık olarak plastik bölgede olan 30 mm yerdeğiştirmeye karşılık gelen yük değerleri Şekil 129’de verilmiştir.



Şekil 127. Toplam tüketilen enerji -yatay yerdeğiştirme grafikleri



Şekil 128. 10mm lik yatay yerdeğiştirme için toplam tüketilen enerji değerleri

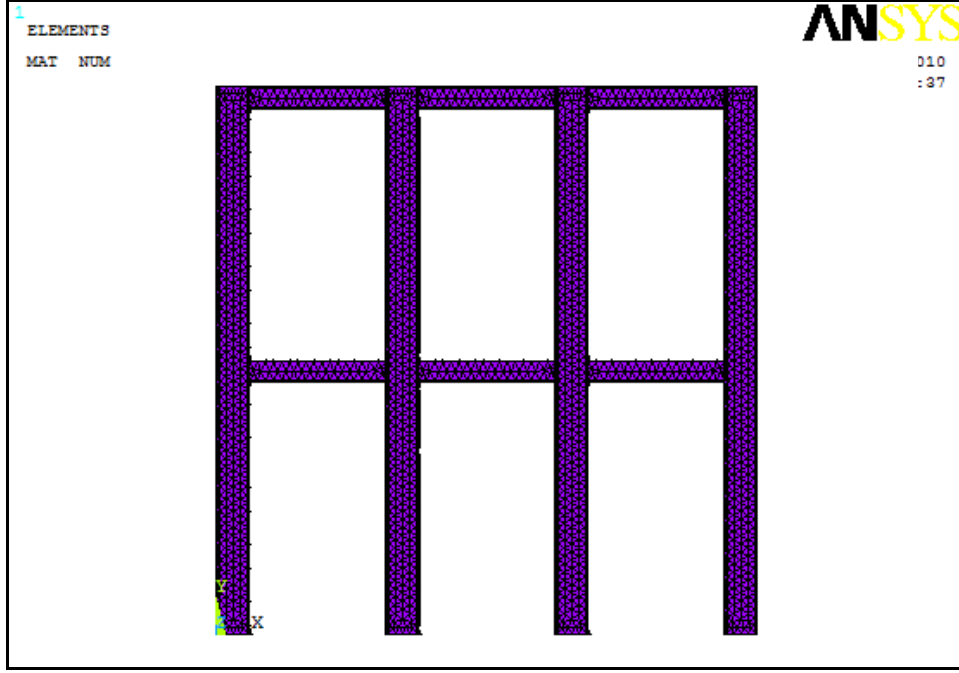


Şekil 129. 30mm lik yatay yerdeğiştirme için toplam tüketilen enerji değerleri

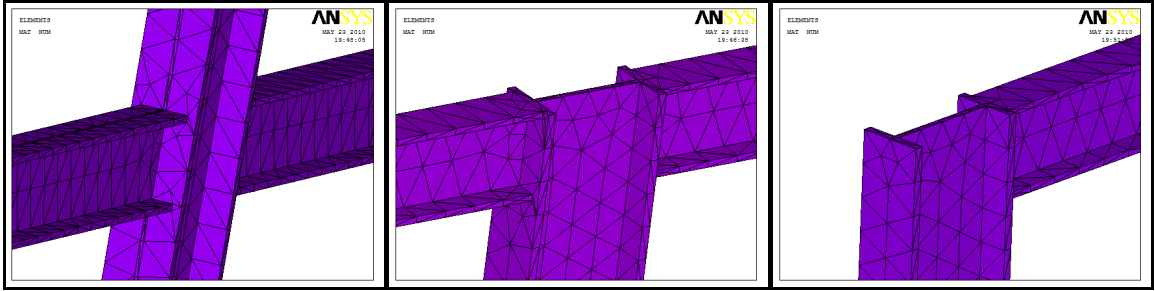
Bu şekillerde de görüldüğü gibi, elastik bölgede (10mm. yatay yerdeğiştirme için) toplam tüketilen enerji yaklaşık olarak betonarme perde duvar dolgulu sistemler, 3mm. kalınlığında çelik levha perde duvar dolgulu sistemlerde ve iki yönde merkezi çelik köşegenli sistemlerde aynı iken, plastik bölgede (30mm. yatay yer değiştirme için) iki yönlü merkezi çelik köşegenli sistemlerde tüketilen enerji daha fazla olmuştur. Plastik bölgede iki yönlü merkezi çelik köşegenli sistemler dışında kalan diğer sistemler için tüketilen enerji miktarı yaklaşık olarak aynı düzeyde kalmıştır.

3.7. Teorik Modellerden Elde Edilen Bulgular ve Değerlendirilmesi

Çalışma kapsamında, ANSYS programı kullanılarak yapılmış olan sonlu eleman modeli Şekil 130 da, modelin düğüm noktası detayları Şekil 131'de verilmiştir. Analiz için elemanların küçük sonlu elemanlara ayrılması (meshlemek) gerekmektedir. Bunun için otomatik mesh komutu kullanılmıştır.

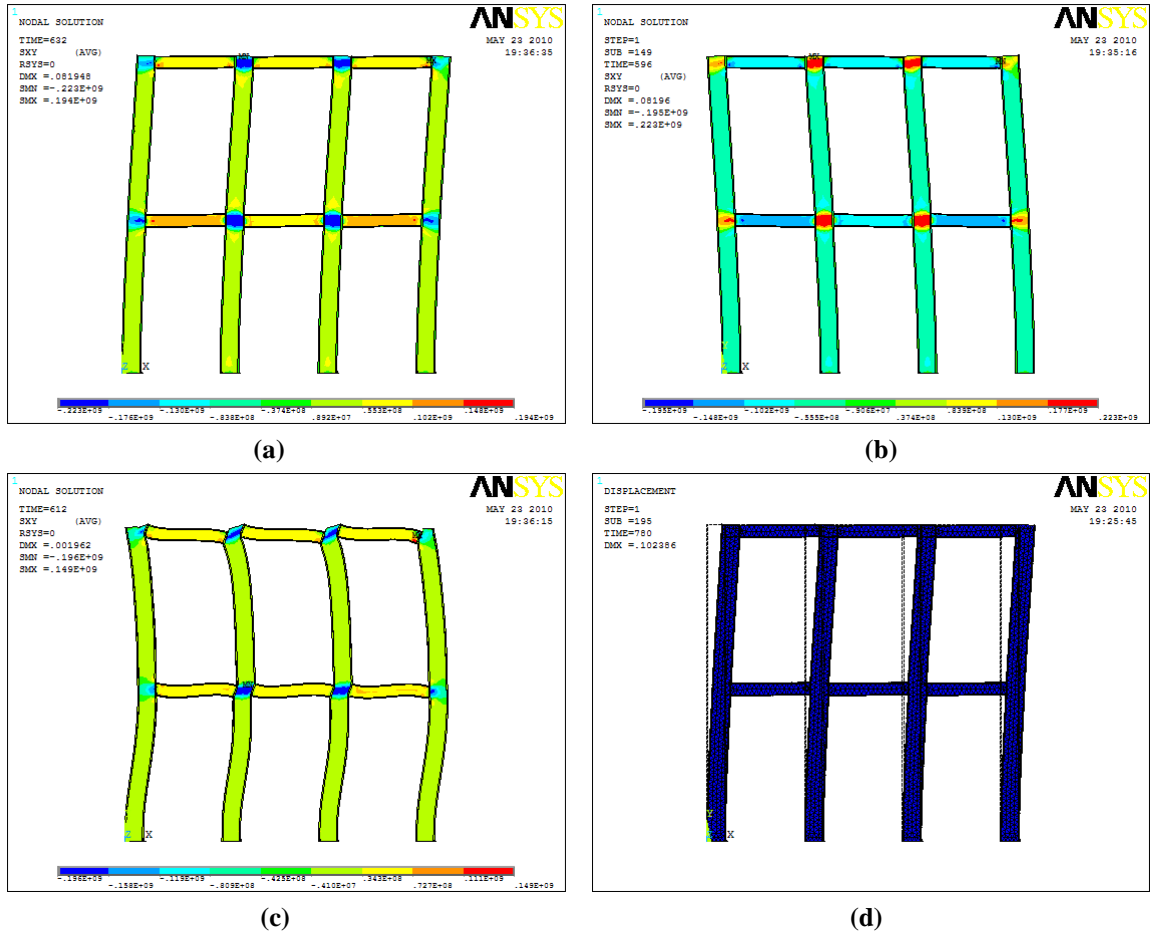


Şekil 130. Boş çelik çerçevelerin sonlu elemanlar modeli



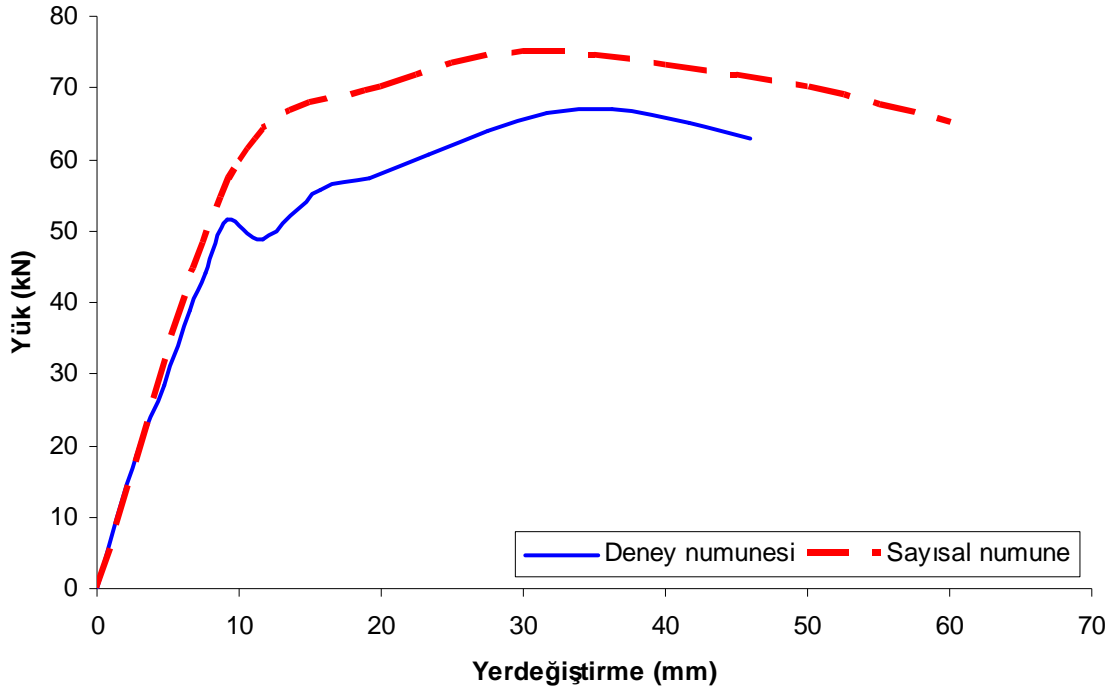
Şekil 131. Boş çerçevelerin sonlu elemanlar modelinin birleşim detayları

Yüklenen çerçevede oluşan gerilme yığılmaları ve yerdeğiştirme durumu Şekil 132'de verilmiştir. Buna göre Şekil 132-a'da çekmedeki gerilme yığılması, Şekil 132-b'de itmedeki gerilme yığılması, Şekil 132-c'de başlangıç noktasındaki gerilme yığılması, Şekil 132-d'de ise yerdeğiştirme durumu gösterilmektedir.



Şekil 132. Boş çerçeve numunesi için deneysel ve sayısal yük-yerdeğiştirme eğrileri.

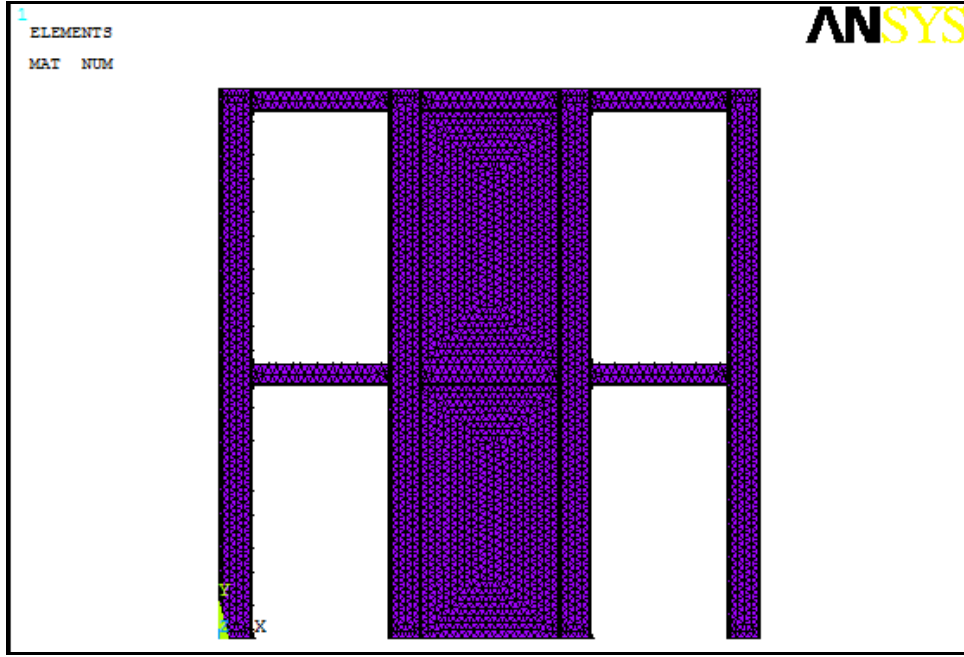
Sayısal modelin analizinden elde edilen sonuçlar deneysel sonuçlarla karşılaştırılmıştı. Sayısal analizlerden elde edilen sonuçlara göre taşına yük değerleri daha fazla olmuştur. Bunun nedeni olarak programlarda yapılan kabuller ve ideal malzeme modellerinin kullanılması söylenebilir. Şekil 133'de boş çelik çerçeve numuneler için deneysel ve sayısal yük-yerdeğiştirme eğrileri verilmiştir.



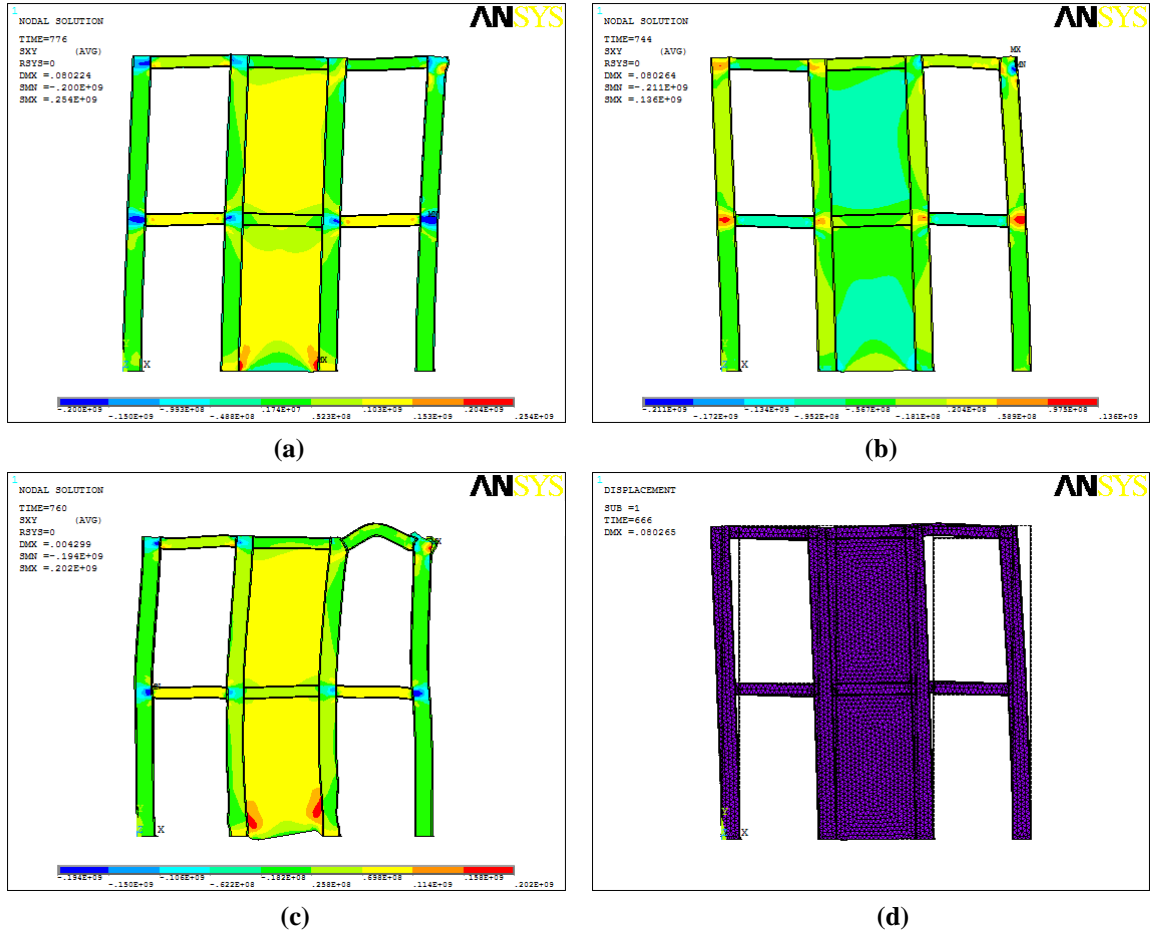
Şekil 133. Boş çerçeve numunesi için deneysel ve sayısal yük-yerdeğiştirme eğrileri.

Tuğla duvar dolgulu, gazbeton duvar dolgulu, betonarme perde duvar dolgulu ve çelik levha dolgulu numuneler için sonlu elemanlar metoduyla oluşturulan modelden elde edilen yük-yerdeğiştirme grafikleri ile deneysel sonuçlar karşılaştırılmıştır. Şekil 134'de ANSYS programı kullanılarak yapılmış olan sonlu eleman modeli sunulmuştur.

Sistem davranışı olarak dolgulu çerçevelerin yükleme karşısında sistem davranışları ve yerdeğiştirme şekilleri benzer olmuştur. Dolguların sistemin özellikle dolguyu çevreleyen elemanlarının rijitliğini arttırdığı dolayısıyla bu elemanlara gelen yükün arttığı hesaplanmış ve de deneylerde gözlemlenebilmiştir. Yüklenen çerçevede oluşan gerilme yığılmaları ve yerdeğiştirme durumu Şekil 135'de verilmiştir. Buna göre Şekil 135-a'da çekmedeki gerilme yığılması, Şekil 135-b'de itmedeki gerilme yığılması, Şekil 135-c'de başlangıç noktasındaki gerilme yığılması, Şekil 135-d'de ise yerdeğiştirme durumu gösterilmektedir.

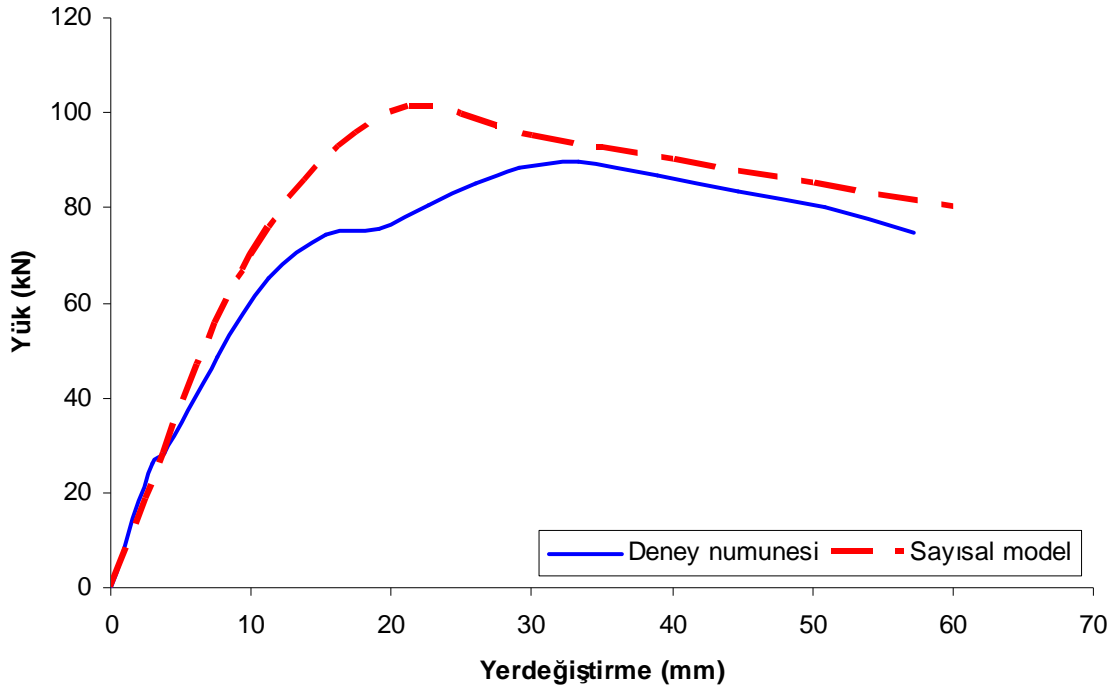


Şekil 134. Dolgu duvarlı çerçevelerin sonlu elemanlar modeli

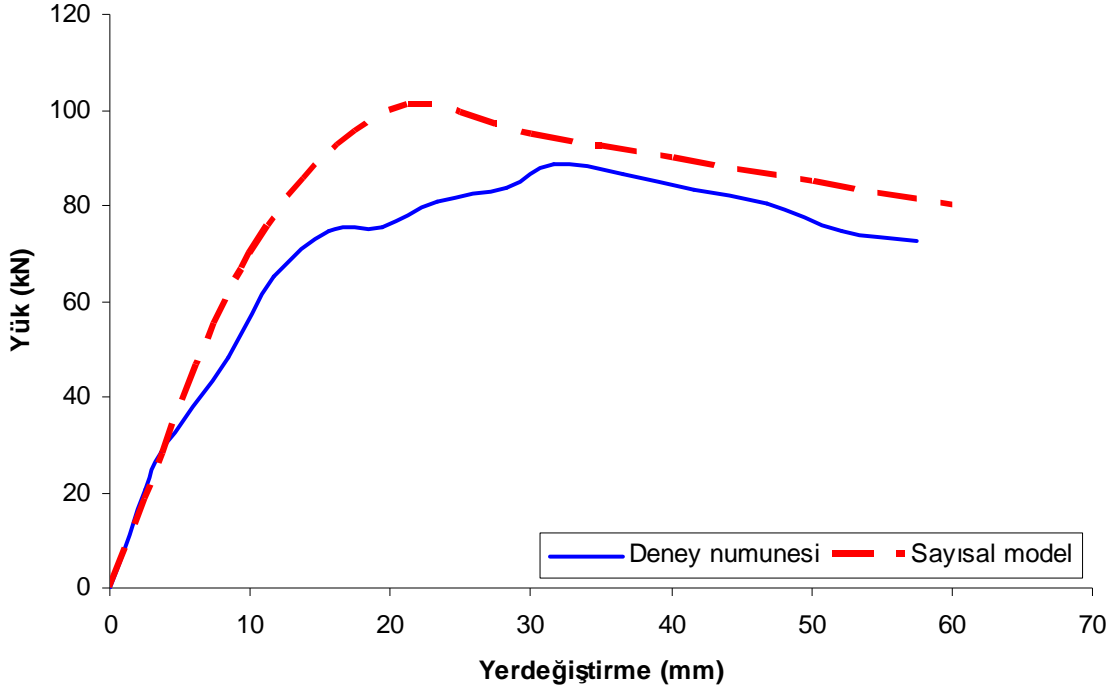


Şekil 135. Dolgu duvarlı çerçevelerin gerilme (a,b ve c) ve yerdeğiştirme (d) şekli

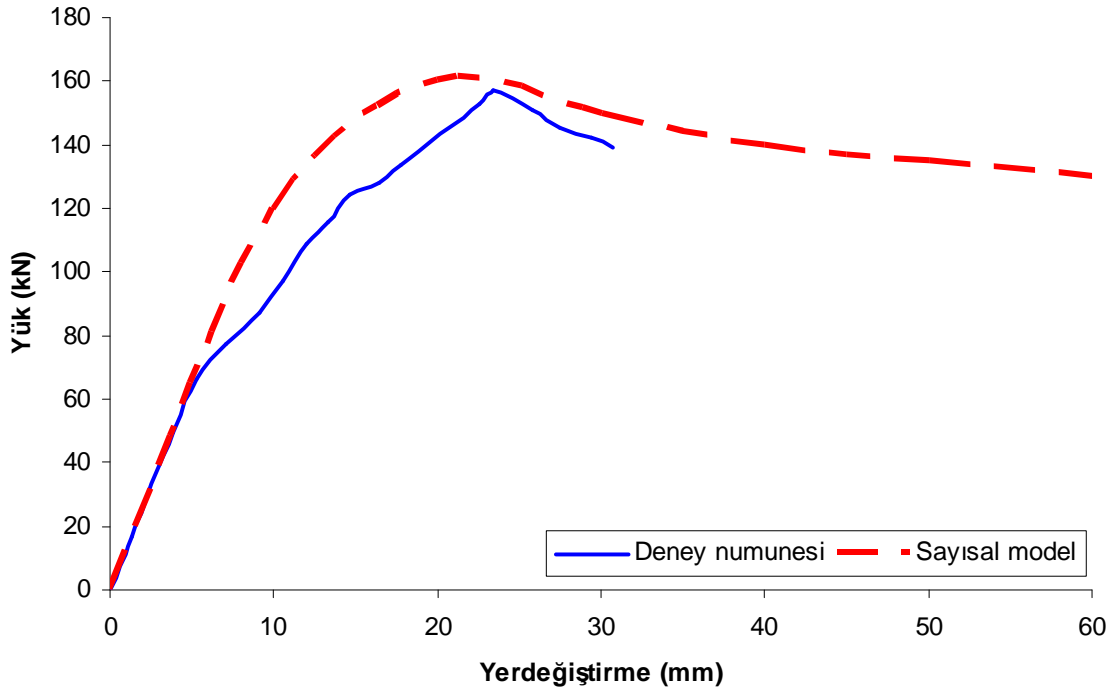
Dolgulu deney numunelerinin sayısal modellerinin analizi sonucu elde edilen yük-yerdeğiştirme değerleri, deneyleriyle karşılaştırmalı olarak verilmiştir. Tuğla duvar dolgulu numuneler için Şekil 136'da, gazbeton duvar dolgulu numuneler için Şekil 137'de, betonarme perde duvar dolgulu numuneler için Şekil 138'de, 1,5mm kalınlığındaki elik levha perde duvar dolgulu numuneler için Şekil 139'da, 3mm kalınlığındaki elik levha perde duvar dolgulu numuneler için Şekil 140'da deneysel ve sayısal yük-yerdeğiştirme eğrileri verilmiştir



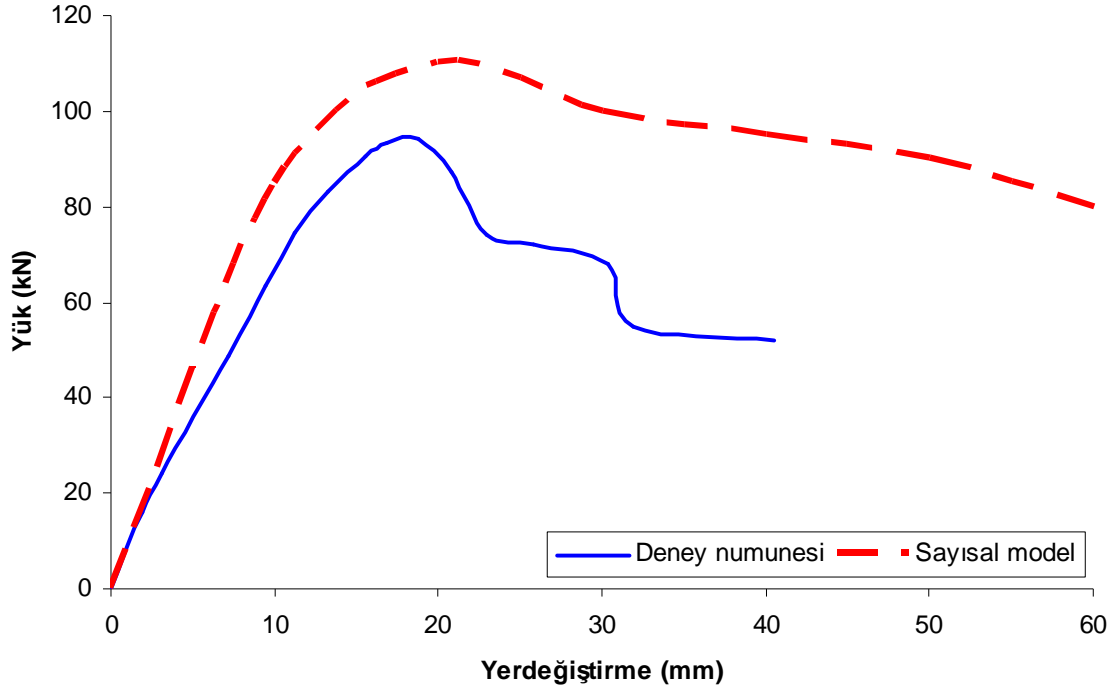
Şekil 136. Tuğla duvar dolgulu numuneler için deneysel ve sayısal yük-yerdeğiştirme eğrileri.



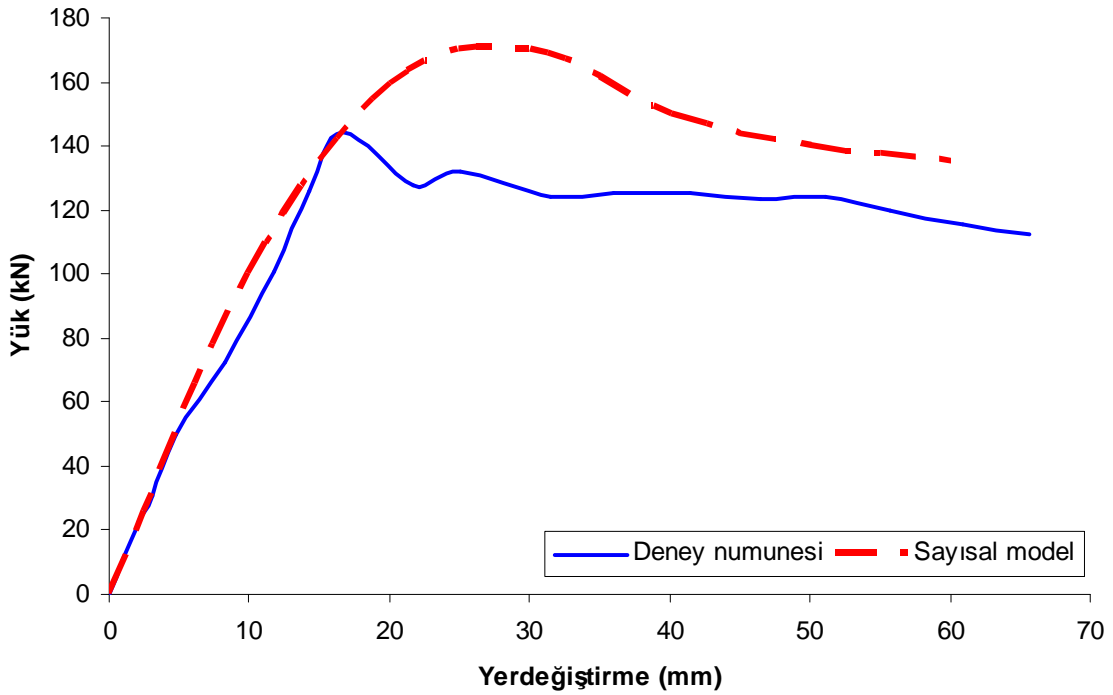
Şekil 137. Gazbeton duvar dolgulu numuneler için deneysel ve sayısal yük-yerdeğiştirme eğrileri.



Şekil 138. Betonarme duvar dolgulu numuneler için deneysel ve sayısal yük-yerdeğiştirme eğrileri.



Şekil 139. Çelik levha (t:1,5mm) perde duvar dolgulu numuneler için deneysel ve sayısal yük-yerdeğiştirme eğrileri.

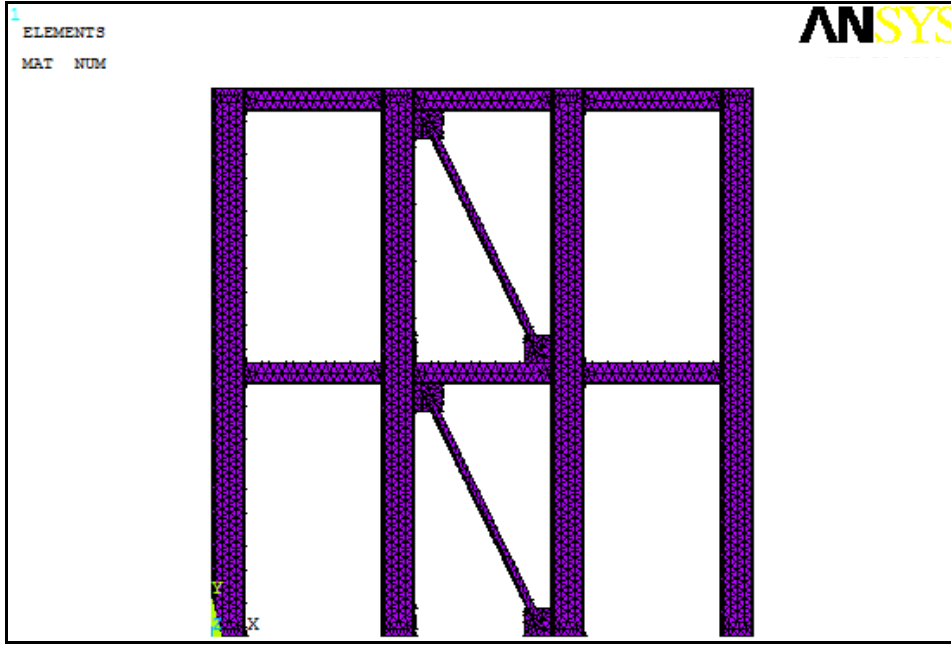


Şekil 140. Çelik levha (t:3mm) perde duvar dolgulu numuneler için deneysel ve sayısal yük-yerdeğiştirme eğrileri.

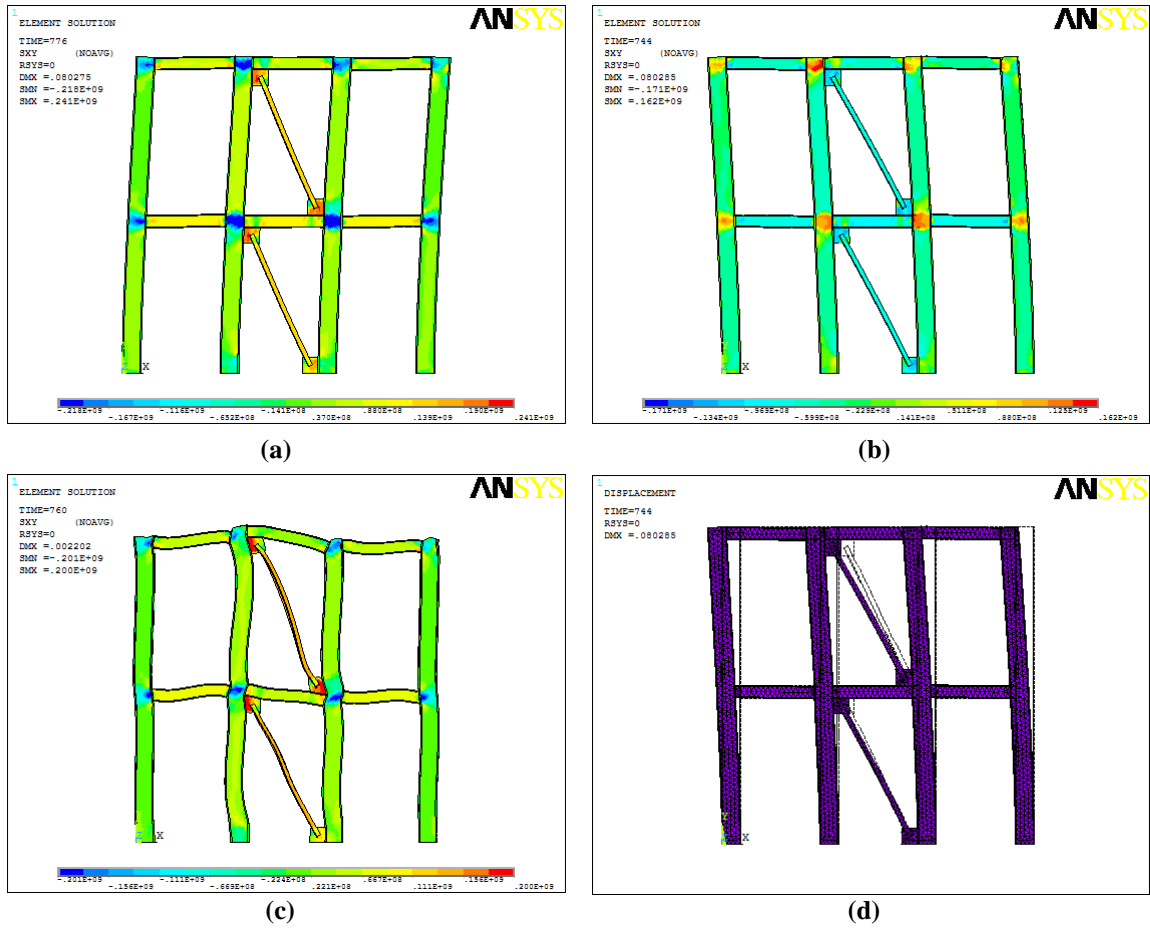
Çelik köşegenli deney numunelerinin hesabın için SAP2000 programı için basınç çubuğu modeline benzer bir modelleme kullanılmıştır. Tek ve çift doğrultuda köşegenlerin yerleştirildiği numuneler için çerçeve elemanlardan oluşturulan modelden elde edilen yük-yerdeğiştirme değerleri kontrol amacıyla kullanılmıştır. Daha sonra numuneler için katı (solid) elemanlarla profiller imal edilerek ANSYS programında analizi yapılmıştır. Oluşturulan modelden elde edilen yük-yerdeğiştirme grafikleri ile deneysel sonuçlar karşılaştırılmıştır. Şekil 141'de ANSYS programı kullanılarak yapılmış olan sonlu eleman modeli sunulmuştur.

Sistem davranışı olarak dolgulu çerçevelerin yükleme karşısında verdikleri tepkiler ve yerdeğiştirme şekilleri aynı olmuştur. Köşegenlerin sistemin özellikle köşegenları çevreleyen elemanlarının rijitliğini arttırdığı dolayısıyla bu elemanlara gelen yükün arttığı hesaplanmış ve de deneylerde gözlemlenebilmiştir.

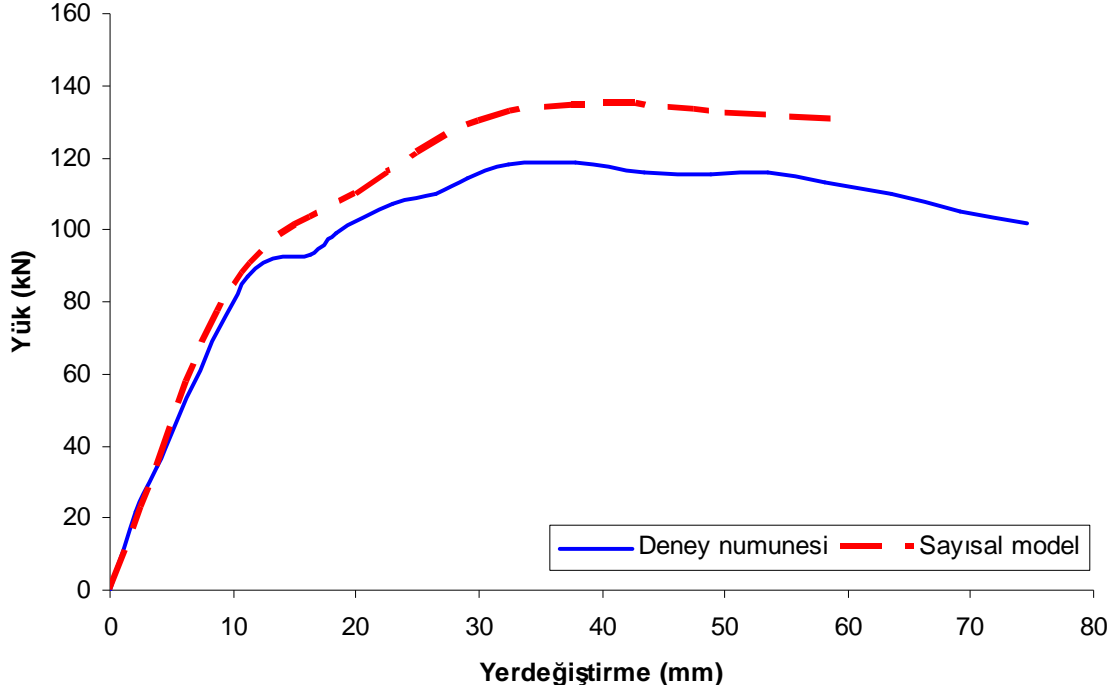
Yüklenen çerçevede oluşan gerilme yığılmaları ve yerdeğiştirme durumu Şekil 142'de verilmiştir. Buna göre Şekil 142-a'da çekmedeki gerilme yığılması, Şekil 142-b'de itmedeki gerilme yığılması, Şekil 142-c'de başlangıç noktasındaki gerilme yığılması, Şekil 142-d'de ise yerdeğiştirme durumu gösterilmektedir. Şekil 143'da tek yönlü çelik köşegenli numuneler için deneysel ve sayısal yük-yerdeğiştirme eğrileri verilmiştir



Şekil 141. Tek yönde çelik köşegen (2L40.40.4) dolgulu çerçevenin sonlu elemanlar modeli

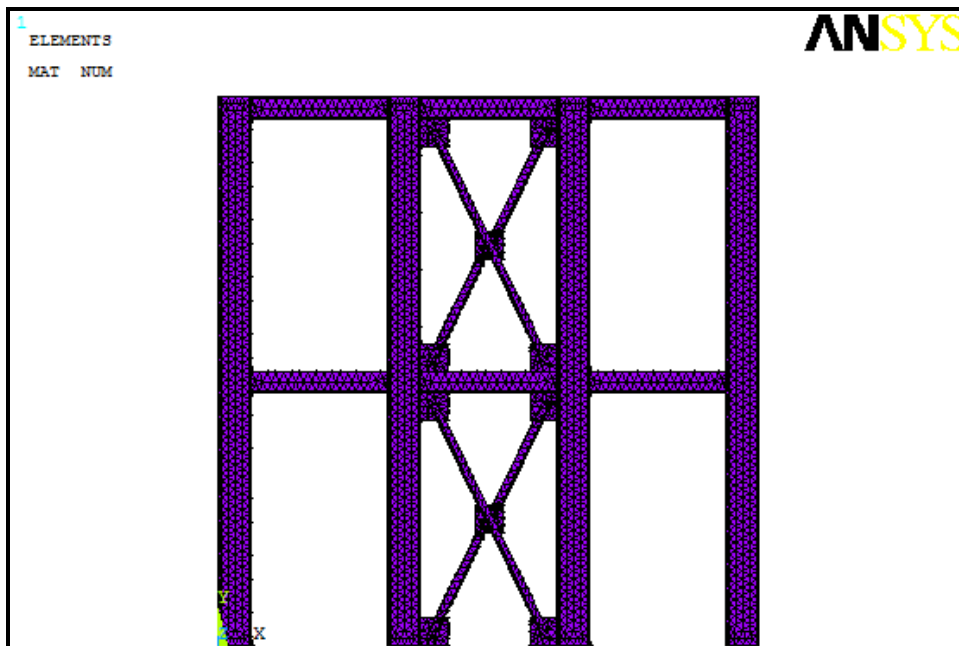


Şekil 142. Tek yönde çelik köşegen çerçevelerin gerilme (a,b ve c) ve yerdeğiştirme (d) şekli

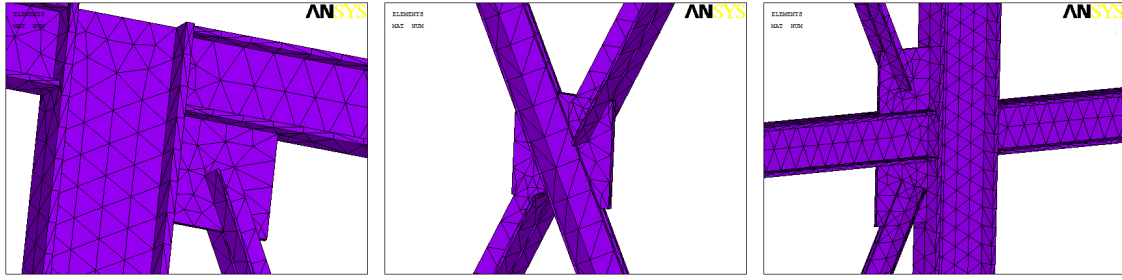


Şekil 143. Tek yönde çelik köşegen (2L40.40.4) dolgulu numuneler için deneysel ve sayısal yük-yerdeğiştirme eğrileri.

Çift yönde merkezi çelik köşegenli numunenin ANSYS programı kullanılarak yapılmış olan sonlu eleman modeli sunulmuştur Şekil 144'de, birleşim detayları Şekil 145'de verilmiştir.

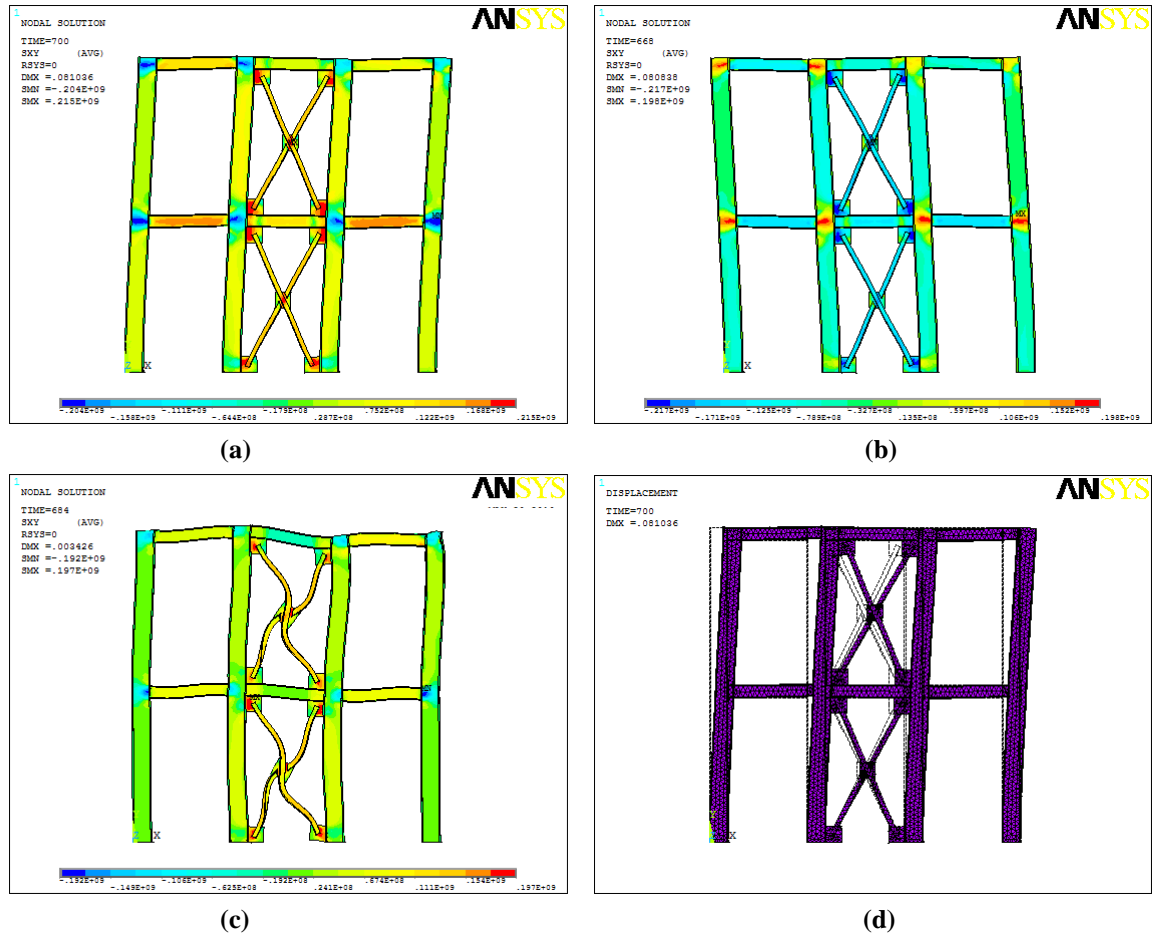


Şekil 144. Çift yönde çelik köşegen (2L40.40.4) dolgulu çerçevelerin sonlu elemanlar modeli

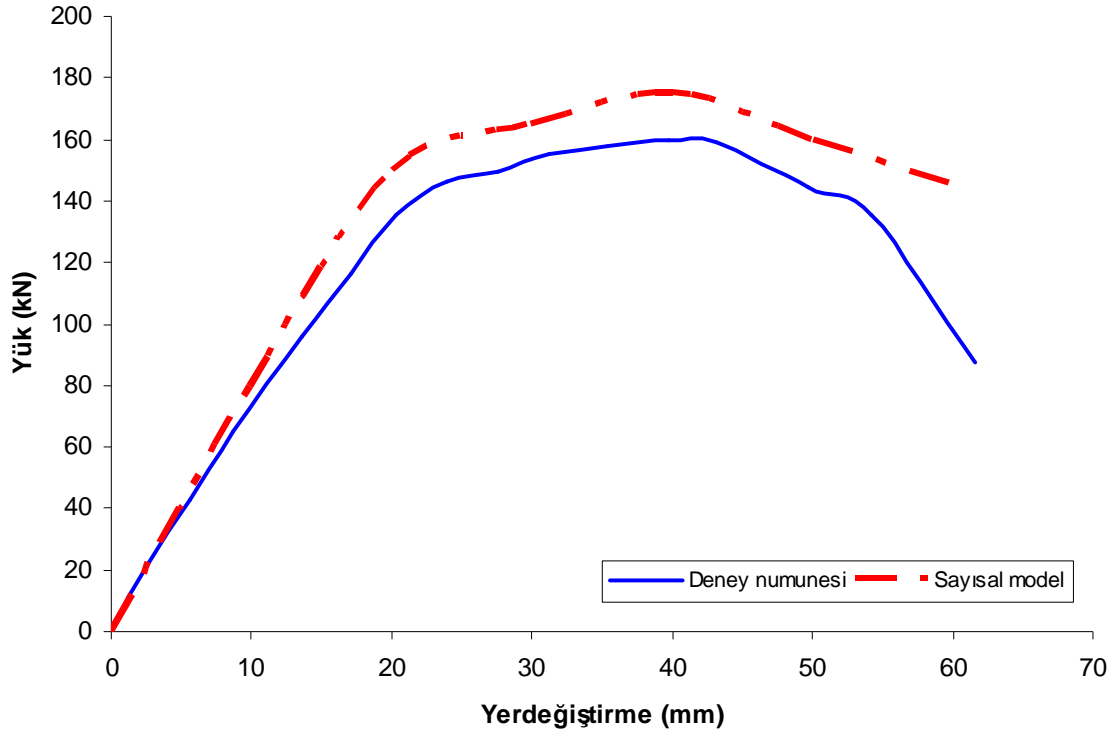


Şekil 145. Çift yönde çelik köşegen (2L40.40.4) dolgulu çerçevelerin sonlu elemanlar modelinin birleşim detayları

Yüklenen çerçevede oluşan gerilme yığılmaları ve yerdeğiştirme durumu Şekil 146'da verilmiştir. Buna göre Şekil 146-a'da çekmedeki gerilme yığılması, Şekil 146-b'de itmedeki gerilme yığılması, Şekil 146-c'de başlangıç noktasındaki gerilme yığılması, Şekil 146-d'de ise yerdeğiştirme durumu gösterilmektedir. Şekil 147'de çift yönde çelik köşegenli çelik çerçeve numuneler için deneysel ve sayısal yük-yerdeğiştirme eğrileri verilmiştir



Şekil 146. Çift yönde çelik köşegenli çerçevelerin gerilme (a,b ve c) ve yerdeğiştirme (d)şekli



Şekil 147. Çift yönde çelik köşegen (2L40.40.4) dolgulu numuneler için deneysel ve sayısal yük-yerdeğiştirme eğrileri.

Bu şekillerde de görüldüğü gibi, yapılan sayısal modellerden elde edilen eğriler deneysel çalışmalardan elde edilen eğrilerle benzerlik göstermektedir. Ancak sayısal modellerde elde edilen yatay yük değerleri deney sonuçlarına göre elde edilen değerlerden bir miktar daha büyük çıkmıştır. Bu da plastik analiz için çerçeveyi oluşturan kaynaklı bağlantıların tam olarak modellenememiş olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir.

4. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu çalışma, çelik taşıyıcı sistemlerde yatay yük taşıma kapasitesini artıran elemanların etkinliğinin deneysel ve teorik olarak incelenmesi amacıyla gerçekleştirilmiştir. Çalışmanın daha önce yapılan çalışmalardan en önemli farkı, dolguların sistemin tüm açıklıklarına değil sadece orta açıklığına yerleştirilmiş olmasıdır. Bunun en önemli sebepleri; öncelikle gerçekteki uygulamalarına yakın bir uygulamayı test etmek, bir diğer sebebi ise sadece dolgunun yapısal performansını değil, kısmi dolgulu çerçevenin yapısal performansı hakkında daha gerçekçi sonuçlara varmaktır. Yapılan çalışmada çıkarılabilecek sonuçlar aşağıda verilmektedir.

Dolgusuz boş çelik çerçeve numuneleri için;

1. Taşınan en büyük yatay yük değeri 67.165 kN olarak elde edilmiştir. Bu değere karşılık sistemde 36.194mm yer değiştirme meydana gelmiştir.
2. Sistemin maksimum taşıyabildiği yatay yük değeri akma değerinden yaklaşık %26 daha fazla olmuştur.
3. Sistemin başlangıç rijitlik değeri 6.73 kN/mm iken deney sonundaki rijitlik değeri 1.19 kN/mm olarak hesaplanmıştır. Bulunan bu rijitlik değeri başlangıç değerinin yaklaşık %17'sine karşılık gelmektedir.
4. Tüketilen enerji miktarı akmaya kadar yavaş bir artış hızı gösterirken akmadan sonra artış hızı artmıştır. Deney sonunda toplam tüketilen enerji miktarı 2447.37 J değerine ulaşmıştır.
5. Sistemde göçme birleşim noktalarındaki plastik mafsalların oluşumunu takiben meydana gelen kopmalarla gerçekleşmiştir.

Tuğla duvar dolgulu çelik çerçeve numuneleri için;

6. Taşınan en büyük yatay yük değeri 89,553 kN olarak elde edilmiştir. Bu değere karşılık sistemde 33,340mm yer değiştirme meydana gelmiştir.
7. Sistemin maksimum taşıyabildiği yatay yük değeri akma değerinden yaklaşık %18 daha fazla olmuştur.
8. Sistemin başlangıç rijitlik değeri 8,98 kN/mm iken deney sonundaki rijitlik değeri 1,31 kN/mm olarak hesaplanmıştır. Bulunan bu rijitlik değeri başlangıç değerinin yaklaşık %15'ine karşılık gelmektedir.

9. Deney sonunda toplam tüketilen enerji miktarı 4115,14 J değerine ulaşmıştır.

10. Sistemde göçme öncelikle derzlerde ve tuğlalarda çatlaklar oluşumuyla başlamış, tuğla dolgu duvarın köşelerinde ezilme ve kopmalar ile çerçevenin birleşim noktalarındaki plastik mafsallaşma ile sona ermiştir.

Gaz beton duvar dolgulu çelik çerçeve numuneleri için;

11. Taşınan en büyük yatay yük değeri 88,611 kN olarak elde edilmiştir. Bu değere karşılık sistemde 31,689 mm yer değiştirme meydana gelmiştir.

12. Sistemin maksimum taşıyabildiği yatay yük değeri akma değerinden yaklaşık %17 daha fazla olmuştur.

13. Sistemin başlangıç rijitlik değeri 8,07 kN/mm iken deney sonundaki rijitlik değeri 1,26 kN/mm olarak hesaplanmıştır. Bulunan bu rijitlik değeri başlangıç değerinin yaklaşık %16'sına karşılık gelmektedir.

14. Deney sonunda toplam tüketilen enerji miktarı 4040,22 J değerine ulaşmıştır.

15. Sistemde göçme tuğla duvar dolgulu çelik çerçeve deneyi ile benzer şekilde meydana gelmiştir.

Betonarme perde duvar dolgulu çelik çerçeve numuneleri için;

16. Taşınan en büyük yatay yük değeri 157,031 kN olarak elde edilmiştir. Bu değere karşılık sistemde 23,448mm yer değiştirme meydana gelmiştir.

17. Sistemin maksimum taşıyabildiği yatay yük değeri akma değerinden yaklaşık %35 daha fazla olmuştur.

18. Sistemin başlangıç rijitlik değeri 13,33 kN/mm iken deney sonundaki rijitlik değeri 4,52 kN/mm olarak hesaplanmıştır. Bulunan bu rijitlik değeri başlangıç değerinin yaklaşık %34'üne karşılık gelmektedir.

19. Deney sonunda toplam tüketilen enerji miktarı 3298,39 J değerine ulaşmıştır.

20. Sistemde göçme betonarme perdedeki köşegen kılcal çatlaklarla başlamış, duvar köşelerindeki ezilmelerle devam etmiştir. Betonarme perde duvar üzerinde ciddi hasarlar meydana gelmeden önce, çelik çerçevenin bağlantı noktalarındaki kopmalar sonucu göçme meydana gelmiştir.

Çelik levha perde duvar dolgulu çelik çerçeve numuneleri için;

21. 1,5 mm kalınlığında çelik levha kullanılması durumunda taşınan en büyük yatay yük değeri 94,001kN olarak elde edilmiştir. Bu değere karşılık sistemde 18,715mm yer değiştirme meydana gelmiştir. 3mm kalınlığında çelik levha kullanılması durumunda taşınan en büyük yatay yük değeri 144,228 kN olarak elde edilmiştir. Bu değere karşılık ise, sistemde 16,720 mm yer değiştirme meydana gelmiştir.

22. 1,5mm kalınlığında çelik levha kullanılması durumunda sistemin maksimum taşıyabildiği yatay yük değeri akma değerinden yaklaşık % 4 daha fazla olmuştur. 3mm kalınlığında çelik levha kullanılması durumunda sistemin maksimum taşıyabildiği yatay yük değeri akma değerinden yaklaşık % 15 daha fazla olmuştur.

23. 1,5mm kalınlığında çelik levha kullanılması durumunda, sistemin başlangıç rijitlik değeri 8,21 kN/mm iken, deney sonundaki rijitlik değeri 1,28 kN/mm olarak hesaplanmıştır. Bulunan bu rijitlik değeri başlangıç değerinin yaklaşık %16'sına karşılık gelmektedir. 3mm. kalınlığında çelik levha kullanılması durumunda ise, sistemin başlangıç rijitlik değeri 10,82kN/mm iken, deney sonundaki rijitlik değeri 1,37 kN/mm olarak hesaplanmıştır. Bulunan bu rijitlik değeri başlangıç değerinin yaklaşık %13'üne karşılık gelmektedir

24. 1.5mm kalınlığında çelik levha kullanılması durumunda, deney sonunda toplam tüketilen enerji miktarı 2529,87 J değerine ulaşmıştır. 3mm. kalınlığında çelik levha kullanılması durumunda, deney sonunda toplam tüketilen enerji miktarı 7456,686 J değerine ulaşmıştır.

25. 1.5mm kalınlığında çelik levha kullanılması durumunda sistemde göçme, levhada meydana gelen akma ile başlamış, levha çerçeve bağlantı elemanlarındaki kesilmelerle devam etmiş, çerçeve bağlantı noktalarındaki kopmalarla sonuçlanmıştır. 3mm. kalınlığında çelik levha kullanılması durumunda sistemde göçme, levha çerçeve bağlantılarındaki elemanların kesme akması sonucu kopmalarıyla başlamış, bağlantı noktalarındaki mafsallaşma ile sonuçlanmıştır.

Çelik köşegen dolgulu çelik çerçeve numuneleri için;

26. Tek yönde çelik köşegenlerin kullanılması durumunda taşınan en büyük yatay yük değeri 118,462 kN olarak elde edilmiştir. Bu değere karşılık sistemde 37,796mm yer değiştirme meydana gelmiştir. Çift yönde çelik köşegenlerin kullanılması durumunda taşınan en büyük yatay yük değeri 159,939 kN olarak elde edilmiştir. Bu değere karşılık ise, sistemde 39,799mm yer değiştirme meydana gelmiştir.

27. Tek yönde çelik köşegenlerin kullanılması durumunda, sistemin maksimum taşıyabildiği yatay yük değeri akma değerinden yaklaşık % 19 daha fazla olmuştur. Çift yönde çelik köşegenlerin kullanılması durumunda, sistemin maksimum taşıyabildiği yatay yük değeri akma değerinden yaklaşık % 10 daha fazla olmuştur.

28. Tek yönde çelik köşegenlerin kullanılması durumunda, sistemin başlangıç rijitlik değeri 10,82 kN/mm iken, deney sonundaki rijitlik değeri 1,37 kN/mm olarak hesaplanmıştır. Bulunan bu rijitlik değeri başlangıç değerinin yaklaşık %13'üne karşılık gelmektedir. Çift yönde çelik köşegenlerin kullanılması durumunda ise, sistemin başlangıç rijitlik değeri 8,22 kN/mm iken, deney sonundaki rijitlik değeri 1,37 kN/mm olarak hesaplanmıştır. Bulunan bu rijitlik değeri başlangıç değerinin yaklaşık %17'sine karşılık gelmektedir

29. Tek yönde çelik köşegenlerin kullanılması durumunda, deney sonunda toplam tüketilen enerji miktarı 7456,686 J değerine ulaşmıştır. Çift yönde çelik köşegenlerin kullanılması durumunda ise, deney sonunda toplam tüketilen enerji miktarı 7390,119 J değerine ulaşmıştır.

30. Tek yönde çelik köşegenlerin kullanılması durumunda sistemde göçme, köşegen elemanlarındaki burkulma ile başlamış, köşegen elemanların bağlantı noktalarındaki kopmalarla devam etmiş ve çelik çerçevenin düğüm noktalarındaki yırtılma ve kopmalarla sona ermiştir. Çift yönde çelik köşegenlerin kullanılması durumunda sistemde çökme ise, benzer şekilde meydana gelmiştir.

Özetle, çalışma kapsamında yapılmış olan 8 seri deney sonuçları toplu olarak dikkate alındığında, Yükleme sırasında taşınan en büyük yatay yüke göre sırasıyla yerdeğiştirme değerleri, N-8 için 39,799mm, N-4 için 23,448mm, N-6 için 16,720mm, N-7 için 37,796mm, N-5 için 18,715mm, N-2 için 33,340mm, N-3 için 31,689mm, N-1 için ise 36,194mm olarak elde edilmiştir. Referans olarak boş çelik çerçeve deneyi (N-1) dikkate alınması durumunda, taşınan yatay yük, tuğla duvar dolgulu çelik çerçevede (N-2) %33 artarken, yerdeğiştirme %8 azalmıştır. Gazbeton duvar dolgulu çelik çerçevede (N-3) taşınan yatay yük %32 artarken, yerdeğiştirme %13azalmıştır. Betonarme perde duvar dolgulu çelik çerçevede (N-4) taşınan yatay yük %134 artarken, yerdeğiştirme %35 azalmıştır. İnce çelik levha (1,5mm) perde duvar dolgulu çelik çerçevede (N-5) taşınan yatay yük %40 artarken, yerdeğiştirme %48 azalmıştır. Kalın çelik levha (3mm)perde duvar dolgulu çelik çerçevede (N-6) taşınan yatay yük %115 artarken, yerdeğiştirme %54 azalmıştır. Bir yönde merkezi çelik köşegenli çelik çerçevede (N-7) taşına yatay yük %76

artarken, yerdeğiştirme %4 artmıştır. İki yönde merkezi çelik köşegenli çelik çerçeve (N-8) taşınan yatay yük %138 artarken, yerdeğiştirme %10 artmıştır.

Bu çalışmada gerçekteştirilen deneylerden elde edilen sonuçlar göz önüne alındığında, çelik çerçevenin yatay yük taşıma kapasitesini artırmak amaçlanıyor ise; en başarılı sistemlerin betonarme perde duvar dolgulu, 3mm kalınlığında çelik levha perde duvar dolgulu ve iki yönlü merkezi çelik köşegenli çerçeve sistemler olduğu söylenebilir. Bu sistemler arasında, iki yönlü merkezi çelik köşegenli çerçeve sistemler en büyük enerji yutabilme kapasitesine sahip sistem olmuştur. Sistemin yerdeğiştirmesinin sınırlı seviyede tutulması amaçlanıyor ise betonarme perde duvar dolgulu veya 3mm kalınlığında çelik levha perde duvar dolgulu sistemler tercih edilmelidir. Bu iki sistem arasında ise imalat kolaylığı ve yapısal ağırlık referans alındığında 3mm kalınlığında çelik levha perde duvar dolgulu sistemin daha avantajlı olduğu söylenebilir. Çünkü çelik levhaların montajı daha kolay, ağırlıkları ise betonarme perdelerden yaklaşık olarak beş kat daha azdır.

Bu tür deneyler değişik boyut ve türdeki profiller kullanılarak oluşturulabilecek çelik çerçeve sistemlerde farklı fiziksel özellikteki dolgu malzemeleri kullanılarak yapılabilir.

Deneyler çok katlı sistemlerde ve/yada kullanılan dolgu çeşitleri kenar açıklıkları yerleştirilerek (orta açıklık boş bırakılarak) tekrarlanabilir.

5. KAYNAKLAR

1. Benjamin, C. S. ve Williams, H.A., The Behavior Of One-Story Reinforced Concrete Shear Walls, Proceeding of ASCE, V:83, (1979) 1254-1257.
2. Holmes, M., Steel Frame with Brickwork and Concrete Infilling, Institution of Civil Engineers (ICE), Vol: 19, (1961) 473-378.
3. Smith, B.S., Lateral Stiffness of Infilled Frames ASCE Structural Division Journal, (1962) 183-199.
4. Mallick, D. V., Garg, R.P., Effect of Openings on the Lateral Stiffness of Infilled Frames, Proc. Institution of Civil Engineers, 49, (1971) 193-210.
5. Fedorkiw J.P., Sözen M. A., Alumped Parameter to Simulate The Response of Reinforced Concrete Frames With Filler Walls, University of Ilionis, Civil Eng. Studies, Structural Research Series No: 338 Urbana. USA. 1968.
6. Fiorato, A.E., Sözen, M.A.Gamble, Wl. ,An Investigation of the Interaction of Reinforced Concrete Frames With Masonry Filler Walls, University Of Illinois, 1970.
7. Smith, B.S., Carter, C., ,A Method of Analysis for Infilled Frames, Instution of Civil Engineers (ICE), Vol, 44, (1969) 31-48.
8. Mainstone, R.J., Supplementary Note on the Stiffness and Strengths of Infilled Frames, Current Paper Cp 13/74, Building Research Station, Garston, Watford, U.K. 1974
9. Liauw, T.C., Stress Analysis for Panel of Infilled Frames, Build. Sci. Vol. 8, (1973), 105-112.
10. Klinger, R. E., Bertero, V.V., ,Infilled Frames in Earthquake Resistant Construction, Report No: EERC 76-32, Earthquake Engineering Research Center, University of California, Berkeley, California, 1976.
11. Şimşek A., Tuğla Duvarların Taşıma Gücüne Donatı Etkisinin Deneysel İncelenmesi, Doktora Tezi, MSÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul. 1993
12. Riddington, J.R., Smith, B.S., ,Analysis of Infilled Frames Subject to Racking with Design Recommendations, The Structural Engineering, June,1977, 263-268.
13. Liauw, T.C., S. W., On The Behavior and The Analysis of Multi-Storey Infilled Frames Subject To Lateral Loading, Poc. Instn. Civ. Engrs, Part 2, (1977) 641-656.

14. Axley, J.W. and Bertero, V.V., Infill Panels: Their Influence on Seismic Response of Building,, Report No: EERC 79-28, Earthquake of Engineering Research Center, University of California, Berkeley, California. 1979.
15. Riddington J.R., ve Smith, B.S., 'Analysis of Infilled Frames Subjected to Racking Wtih Desing Recommadations', The Structural Eng. , No: 6, Vol 55, (1977) 263-268.
16. Liauw, T.C., Kwan, T. H.,. ,Static and Cyclic Behavior of Multistory Infilled Frames with Different Interface Conditions, Journal of Sound and Vibration, 99(2), 1985, 275-283.
17. Dawe J. L., Yong T.C., 'Experimental Investigation on the Shear Resistance of Masonry Panels', 7th International Brick Masonry Conferance, (1985) Australia.
18. Dhanasekar, M., Page, A.W.,,The Influence of Brick Masonry Infill Properties on The Behavior of Infilled Frames, Proc. Instn. Civ. Engrs, Part 2, (1986) 593-605.
19. Kwan, K.H., O, C.Q., Liauw, T.C., ,Large Scale Model Tests and Plastic Analysis of Mültiy Infilled Frames, Proc. Instn. Civ. Engrs. Part 2, (1990) 261-277.
20. Lotfi, H.R., Shing, P.B., ,An Appraisalof Smeade Crack Models for Masonry Shear Wall Analysis, Computer&Structures, Vol. 41, (1991) 413-425.
21. Altın S., Strengthening of Reinforced Concrete Frames With Reinforced Concrete Infills, ODTÜ. 1990.
22. Gülkan, P., Wasti, S. T.,,Dolgulu Çerçeve İlişkisi için Analitik Model, Deprem Araştırma Enstitüsü Bülteni, Yıl 1, Sayı 4. 1974
23. Mehrabi, A.B., Shing P.B., ,Finite Element Modeling of Masonry-Infilled RC Frames, Journal of Structural Engineering, (1997) 604-613.
24. Aydoğdu İ., 1995. ,Dolgu Duvarlı Çerçevelerin Davranışı,, Yüksek Lisans Tezi, YTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
25. Bağcı M., 'Yatay Yüklere Maruz Dolgulu Çerçevelerin Sonlu Elemanlar Yöntemiyle Analizi' , Yüksek Lisans Tezi, Celal Bayar Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Manisa, 1996.
26. Mosalam K. M., White R. N., Gergeley P., ' Static Response of Infilled Frames Using Quasi – Static Experimentation' , Journal of Structural Engineering, ASCE, Vol 123, No 11, (1997) 462-469.

27. Karaduman, A., „Dolgu Duvarlarının Çerçevelerin Yatay Yükler Altındaki Davranışlarına Etkileri, Yüksek Lisans Tezi S.Ü., Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya,1998.
28. Alakoç A., „An Experimental Investigation on Autoclaved Aerated Concrete (AAC) Blocks and Walls, Yüksek Lisans Tezi, ODTÜ, Ankara, 1999.
29. Tian, Y.S., Wang, J.,Lu, T. J. and Barlow, C.Y., An Experimental Study on the Axial Behaviour of Cold-Formed Steel Wall Studs and Panels, Thin Walled Structures ,42 ,(2004) 557-573.
30. Berman, J. W., Cyclic Testing of Light-Gauge Steel Plate Shear Walls, Seismic Design and Analysis of Structures, 20 (2001), 499-509
31. Matteis, G. De.,Landolfo, R. and Mazzolani, F. M., Seismic Response of MR Steel Frames with Low-Yield Steel Shear Panels, Engineering Structures, 25 (2003) 155-168.
32. Bruneau, M., and Bhagwagar, T., Seismic Retrofit of Flexible Steel Frames Using Thin Infill Panel, Engineering Structures, 24 (2002) 443-453.
33. Paterson, J., Mitchell, D.,and M.ASCE, Seismic Retrofit of Shear Walls with Headed Bars and Carbon Fiber Wrap, Journal of Structural Engineering , Vol. 129, No. 5, 1,5, (2003).
34. Sabouri-Ghomi, S., Ventura, C. E. ve Kharrazi, M. H. K. and M.ASCE, Shear Analysis and Design of Ductile Steel Plate Walls, Journal of Structural Engineering, 9445 (2005) 131:6 (878).
35. Astaneh, A., Steel Plate Shear Walls, Proceeding, U.S.-Japan Partnership for Advanced Steel Structures, U.S.-Japan Workshop on Seismic Fracture Issue in Steel Structures, (2000).
36. Sheikh, I.A., Grondin, G.Y. and Elwi, A.E., Stiffened Steel Plates Under Uniaxial Compression, Journal of Constructional Steel Research,58 (2002) 1061-1080.
37. Montgomery, C.J. and Medhekar, M., Unstiffened Steel Plate Shear Wall Performance under Cyclic Loading, Journal of Structural Engineering, Vol. 126, No. 4, (2001) 973.
38. Astaneh, A., Asl, Ph.D., P.E., Seismic Design of Steel Column-Tree Moment-Resisting Frames, Doktora Tezi, California University, Berkeley, (2002).
39. Salim, H., M.ASCE ; Dinan; R., Townsend, P. T. and M.ASCE, Analysis And Experimental Evaluation of In-Fill Steel-Stud Wall Systems Under Blast Loading, Journal of Structural Science, Vol. 131, No.8, 1, 8, (2005).

40. Fulop, L.A. ve Dubina, D., Performance of Wall-Stud Cold-Formed Shear Panels Under Monotonic and Cyclic Loading Part II: Numerical Modeling and Performance Analysis, Thin Walled Structures, 42 (2004) 339-349.
41. Zhao, O. ve Astaneh-Asl, A., ,Cyclic Behavior of Traditional and Innovative Composite Shear Walls,, Journal of Structural Engineering, Vol. 130, No.2, (2004) 271-284.
42. Link, R. A. ve Elwi, A.E. ,Composite Concrete-Steel Plate Walls: Analysis and Behavior,, Journal of Structural Engineering, Vol. 121, No.2, (1995) 260-271.
43. Telue Y. ve Mahendran M., Behaviour and Design of Cold-Formed Steel Wall Frames Lined With Plasterboard on Both Sides, Journal of Constructional Steel Research ,57 (2001) 435-452.
44. Alinia, M. M. and Dastfan, M., Behaviour of Thin Steel Plate Shear Walls Regarding Frame Members, Journal of Constructional Steel Research.
45. Driver, R.G., Kulak G.R., Elwi, A.E. and Kennedy D.J.L., Cyclic Test Of Four-Story Steel Plate Shear Wall, Journal of Structural Engineering, Vol. 124, No.2, (1998) 271-284.
46. Lee, Y., Miller, T.H. and Member ASCE, Axial Strength Determination For Gypsum-Sheathed, Cold-Formed Steel Wall Stud Composite Panels, Journal of Structural Engineering, Vol. 127, No. 6, (2001) 608-615.
47. Grondin, G.Y., Elwi, G.Y. ve Cheng, J.J.R., Buckling of stiffened steel plates—a parametric study, Journal of Constructional Steel Research, 50 (1999) 151-175
48. Berman, J. W., Celik, O ve Bruneau, M., Comparing Hysteretic Behavior of Light-Gauge Steel Plate Shear Walls and Braced Frames, Engineering Structures ,27 (2005) 475-485
49. Schumacher, A., Connection of Infill Panels in Steel Plate Shear Walls, Yüksek Lisans Tezi, Alberta Üniversitesi, Edmonton, 1997.
50. Astaneh-Asl, A. and Zhao, Q., Cyclic Behavior of Steel Shear Wall Systems, Proceeding, Annual Stability Conference, Structural Stability Research Council, Nisan 2002.
51. Chen, R., Cyclic Behavior of un-stiffened Thin Steel Plate Shear Walls, Ph.D., Doktora Tezi, Cansas Universities, Cansas, 1991.
52. Tian, Y.S., Wang, J. and Lu, T.J., Racking Strength and Stiffness of Cold-Formed Steel Wall Frames, Journal of Constructional Steel Research,60 (2004) 1069-1093.

53. Hitaka, T. and Matsui, C., Experimental Study on Steel Shear Wall with Slits, Journal of Structural Engineering, Vol. 129, No. 5, (2003) 586-595.
54. Tang, and Goel Seismic Analysis and Design Considerations of Braced Steel Structures, Report UMCE 87-4. Ann Arbor, MI: Department of Civil & Environmental Engineering, University of Michigan. 1987.
55. Tang and Goel Brace fractures and analysis of phase I structure. Journal of Structural Engineering 115:8, 1960-1976.
56. Aslani, F. and Goel, S. C., „Stitch Spacing and Local Buckling in Seismic Resistant Double-Angle Braces,, Journal of the Structural Division, ASCE, 1991.
57. Mastrandrea, L., Piluso V., Plastic design of eccentrically braced frames, II: Failure mode control, Journal of Constructional Steel Research, 65 (2009) 1015-1028.
58. Hassan OF, Goel SC. Modeling of Bracing Members and Seismic Behavior of Concentrically Braced Steel Structures, Technical report UMCE 91-1, University of Michigan Department of Civil Engineering; 1991.
59. Lee, S., and Goel, S.C., „Seismic Behavior of Hollow and Concrete Filled Square Tubular Bracing Members,, Research Report UMCE 87-11, Department of Civil Engineering, University of Michigan, Ann Arbor, MI., (1987).
60. Sabelli, R., Mahin, S.;ve Chang, C:, Seismic Demands on Steel Braced Frame Buildings with Buckling-Restrained Braces, Engineering Structures, 25 (2003), 655–666.
61. Khandelwal, K., El-Tawil, S., Sadek F., Progressive Collapse Analysis of Seismically Designed Steel Braced Frames, Journal of Constructional Steel Research, 65 (2009) 699–708.
62. Kim, J., Seo, Y., Seismic Design of Low-Rise Steel Frames with Buckling-Restrained Braces, Engineering Structures, 26 (2004) 543–551.
63. Papia, M., „Analysis of Infilled Frames Using A Coupled Finite Element and Boundary Element Solution Scheme, International Journal for Numerical Methods in Engineering, Vol. 26, (1988) 731-742.
64. UBC, Uniform Building Code, International Conference of Building Officials, California, 1997.
65. LRFD, Load and resistance factor desing specification for structural steel buildings, American Institute of Steel Construction Inc., Chicago, 1999.

66. ECCS, European recommendations for steel structures in seismic zones, European Convention for Constructional Steelwork, Brussels, 1998.
67. ECCS, Manuel on Desing of Steel Structures In Seismic Zones, European Convention for Constructional Steelwork, Brussels, 1994.
68. Ballio G., Berotti F., Cyclic Behaviour of Axially Loaded Members: Numerical Simulation and Experimental Verification, Journal of Constructional Steel Research, 7, 3 – 41, 1987.
69. Georgescu D., Toma C., Gosa O., Post – Critical Behaviour of K – Braced Frames, Journal of Constructional Steel Research, Vol. 109, No.11, (1991) 207-222
70. TS 1481, ,Sıva Yapım Kuralları,, TSE, Ankara, 1988.
71. TS 2848, ,Kağır Duvar Harçları,, TSE, Ankara, 1977.
72. TS 12143, Çimento-Portland Kompoze (TS EN 197-1 :2002).
73. TS 138 EN 10002-1, Metalik Malzemeler, Çekme Deneyi, Bölüm 1: Ortam sıcaklığında Deney Metodu, TSE, Ankara, Nisan 2004.
74. Wasti, S.T., ,Sonlu Elemanlar Yönetiminin Betonarme Yapı Elemanlarına Uygulanması, Teknik Dergi, Cilt I, Sayı 4, (1990) 199-206.
75. Köken, A., ,Tuğla Dolgu Duvarlı Çelik Çerçevelerin Tersinir Tekrarlanır Yükler Etkisi Altında Davranışı ,S.Ü.F.B.E.,Doktora Tezi, Konya, 2003.

ÖZGEÇMİŞ

Ercan YOZGAT, 1978 de Ordu'da doğdu. İlköğretimini Sokullu Mehmet Paşa İlköğretim Okulu'nda (Ankara), Lise öğrenimini Ünye Lisesi'nde (Ordu) tamamladı. 1996 yılında Karadeniz Teknik Üniversitesi, Gümüşhane Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü'nde lisan öğrenimine başladı ve 2000 yılında tamamladı. 2000 yılında Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı'nda yüksek lisans öğrenimine başladı. Aynı yıl Karadeniz Teknik Üniversitesi, Gümüşhane Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü'ne Araştırma Görevlisi olarak atandı. 2004 yılında yüksek lisans öğrenimini tamamlayarak aynı yıl Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı'nda doktora öğrenimine başladı. 2006 yılında Karadeniz Teknik Üniversitesi, Gümüşhane Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü'ne Öğretim Görevlisi olarak atandı. Helen bu görevini sürdürmektedir. Evli ve bir çocuk babası olan Ercan YOZGAT iyi derecede İngilizce bilmektedir.