T.C.
SELÇUK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ÖNÜRETİMLİ ÇAPRAZ BETON PANELLERLE GÜÇLENDİRİLMİŞ DOLGULU BETONARME ÇERÇEVELERİN DEPREM DAVRANIŞININ DENEYSEL VE ANALİTİK OLARAK İNCELENMESİ

CEYHUN AKSOYLU

DOKTORA TEZİ

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Ocak-2018
KONYA
Her Hakkı Saklıdır

TEZ KABUL VE ONAYI

Ceyhun Aksoylu tarafından hazırlanan "**Ön Üretimli Çapraz Beton Panellerle Güçlendirilmiş Dolgulu Betonarme Çerçevelerin Deprem Davranışının Deneysel ve Analitik Olarak İncelenmesi**" adlı tez çalışması 18/01/2018 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği / [redacted] ile Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı'nda DOKTORA TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri	**İmza**
Başkan Prof. Dr. Fuat DEMİR	
Danışman Yrd. Doç. Dr. Nail KARA	
Üye Prof. Dr. Hasan Hüsnü KORKMAZ	
Üye Doç. Dr. Atilla ÖZÜTOK	
Üye Doç. Dr. Ali KÖKEN	

Yukarıdaki sonucu onaylarım.

Prof. Dr. Mustafa YILMAZ
FBE Müdürü

Bu tez çalışması kısmi olarak 3001-TÜBİTAK-Başlangıç AR-GE Projeleri Destekleme Programı tarafından 215M375 no'lu proje ve 2014-ÖYP-104 projesi tarafından desteklenmiştir.

TEZ BİLDİRİMİ

Bu tezdeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edildiğini ve tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

DECLARATION PAGE

I hereby declare that all information in this document has been obtained and presented in accordance with academic rules and ethical conduct. I also declare that, as required by these rules and conduct, I have fully cited and referenced all material and results that are not original to this work.

İmza

CEYHUN AKSOYLU

18/01/2018

ÖZET

DOKTORA TEZİ

ÖNÜRETİMLİ ÇAPRAZ BETON PANELLERLE GÜÇLENDİRİLMİŞ DOLGULU BETONARME ÇERÇEVELERİN DEPREM DAVRANIŞININ DENEYSEL VE ANALİTİK OLARAK İNCELENMESİ

Ceyhun AKSOYLU

Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Yrd. Doç. Dr. Nail KARA

2018, 306

Jüri

Prof. Dr. Fuat DEMİR
Prof. Dr. Hasan Hüsnü KORKMAZ
Doç. Dr. Atilla ÖZÜTOK
Doç. Dr. Ali KÖKEN

Türkiye'deki yapı stoğunun önemli bir kısmı her an olması muhtemel büyük depremlere karşı yeterli dayanım, rijitlik ve sünekliğe sahip değildir. Yapıların depreme karşı güçlendirilmesi ise devamlı gündeme gelmekte ve yapılar farklı teknikler kullanılarak güçlendirilmektedir. Bu anlamda yaygın olarak kullanılan yerinde dökme betonarme perde duvarlar, sistem davranışının iyileştirilmesinde oldukça etkili ve güvenilir bir yöntemdir. Fakat bu yöntemde inşaat işinin oldukça ağır ve uzun sürmesi sebebiyle binanın boşaltılmasını gerektirmektedir. Bu sebeple insanların hayatlarını kolaylaştıracak işçiliği hafif, ekonomik ve yapısal açıdan etkili güçlendirme yöntemlerinin geliştirilmesi ihtiyacı ortaya çıkmıştır. Bu çalışmada önerilen tekniğin prensibi, yapıda bulunan sıvanmış boşluklu tuğla dolgu duvarların yüksek dayanımlı önüretimli yeni çapraz beton paneller ile güçlendirilerek birer betonarme (BA) eşdeğer perde duvara dönüştürülmesidir. Bu amaçla, özellikle (ülkemizdeki) mevcut betonarme binalarda sıklıkla görülen hatalara sahip olarak üretilen 1/3 ölçekli, deprem dayanımı zayıf, iki katlı ve tek açıklıklı güçlendirilmemiş tuğla dolgu duvarlı bir adet betonarme çerçeve referans numune olarak üretilmiştir. Ayrıca referans numune ile aynı özelliklere sahip 7 adet betonarme çerçeve dolgu duvarları, literatürde ilk kez kullanılan önüretimli yüksek dayanımlı farklı şekillerdeki yeni çapraz beton paneller ile güçlendirilerek deprem etkisini benzeştiren tersinir – tekrarlanır yatay yükleme altındaki davranışları test edilmiştir. Deney sonuçları, SAP2000 v17.3'de yapılan statik itme analizi ile karşılaştırılmış olup uygulanan tekniğin deney elemanlarının enerji tüketme kapasitelerini artırdığını ve deprem davranışlarını iyileştirdiğini göstermiştir.

Anahtar Kelimeler: Betonarme çerçeve, deprem etkisi, dolgu duvar, güçlendirme, önüretimli panel, statik itme analizi (pushover analiz).

ABSTRACT

Ph. D. THESIS

EXPERIMENTAL AND ANALYTICAL INVESTIGATION ON SEISMIC BEHAVIOR OF INFILLED REINFORCED CONCRETE FRAMES STRENGTHENED WITH PRECAST DIAGONAL CONCRETE PANELS

Ceyhun AKSOYLU

Selcuk University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Civil Engineering

Advisor: Asst. Prof. Dr. Nail KARA

2018, 306

Jury

Prof. Dr. Fuat DEMİR
Prof. Dr. Hasan Hüsnü KORKMAZ
Assoc. Prof. Dr. Atilla ÖZÜTOK
Assoc. Prof. Dr. Ali KÖKEN

Major part of the structural stock in Turkey doesn't have sufficient endurance, rigidity and ductility against possible large earthquakes. Strengthening of structures against earthquakes always appears on the agenda and structures are being strengthened by using different techniques. In this context, cast in place reinforced concrete shear walls is a highly effective and reliable method for improving the system behavior. However, construction work takes long time in this method, so the structure is required to be emptied before the practice. For this reason, it is required to develop the strengthening methods which facilitates lives of people and which is economic and effective in terms of structure. The principle of the technique recommended in this study is to convert plastered hollow brick walls of the structure to shear walls equivalent to reinforced concretes (RC) by strengthening them with high-strength precast new diagonal concrete panels. For this purpose, a reinforced concrete frame, which is 1/3 scaled, low-strengthened against earthquake, has two-story and single span unreinforced brick infilling wall, has been produced with failures frequently seen especially in concrete buildings of our country as reference sample. Moreover, strengthening 7 reinforced concrete infilled frame wall having same features with reference sample by new diagonal concrete panels which are precast, high strengths in different shapes used for the first time in the literature, their behaviors under reversible-repeatable horizontal loading simulating earthquake effect have been tested. Results of the experiment have been compared with the pushover analysis used in SAP2000 v17.3 and it has been observed that applied technique has increased the energy consumption capacity of test elements and improved the earthquake behaviors.

Key Words: RC frame, seismic effect, infill wall, strengthening, precast panel, pushover analysis.

ÖNSÖZ

Bu tez çalışmasını yöneten, araştırma ve uygulama aşamasında, her türlü tecrübesini ve bilgisini paylaşan, çalışmamda desteğini esirgemeyen ve bana en zor anımda destek olan başta saygı değer hocam Yrd. Doç. Dr. Nail Kara'ya minnettarım. Ayrıca Tez İzleme Komitesi üyelerine ve deneysel çalışmam sırasında yardımını, bilgi ve tecrübesini esirgemeyen Prof. Dr. Hasan Hüsnü Korkmaz, Prof. Dr. Musa Hakan Arslan hocama, Arş. Gör. Dr. Alptuğ Ünal ve Arş. Gör. Ensar Suci'ye ve laboratuvar çalışmalarında yardım eden okulumuzun 2016-2017 mezun öğrencilerinden; Nurullah Barış ve İbrahim Büyükkaya'ya teşekkür ederim. Son olarak deneylerimizin gerçekleşmesinde laboratuvarda her zaman yardımcı olan İnşaat Mühendisliği Bölümü Deprem Araştırma Laboratuvarı teknisyeni Yüksel Çiftçi'ye teşekkür ederim.

Bu çalışmayı destekleyen S. Ü. Öğretim Üyesi Yetiştirme Programı Koordinatörlüğü'ne (ÖYP) ve ülkemizin bilime herzaman destek veren saygın kurumu TÜBİTAK'a şükranlarımı sunuyorum. Ayrıca deneysel çalışma kısmında, önüretimli panellerin üretilmesinde, duvara yapıştırılmasında ve ankraj çubuklarının çerçeve elemanlarına ekilmesinde kullanılan, Aragonit Grout Harcı, Soudafix epoksi malzemelerinin temin edilmesindeki katkılarından dolayı İlkbahar Yalıtım Firma müdürü Necmettin Yılmaz Bey'e ve firmasına, Sika Grout-212 Harcı, Sikadur-31 ve Sika Anchor Fix-S malzemelerinin temin edilmesindeki katkılarından dolayı SİKA firmasına, ayrıca Konya Çimento'ya sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Son olarak çalışmam boyunca, benden sevgi ve desteğini esirgemeyen sevgili eşim Esma Nur Aksoylu'ya, anneme ve babama, ayrıca tez çalışmam sırasında dünyaya gelen oğluma bana her zaman güç verdikleri için minnettarım.

Ceyhun AKSOYLU
KONYA-2018

İÇİNDEKİLER

ÖZET ..... **iv**

ABSTRACT ..... **v**

ÖNSÖZ ..... **vi**

İÇİNDEKİLER ..... **vii**

SİMGELER VE KISALTMALAR ..... **ix**

1. GİRİŞ **1**

1.1. Yapısal ve Yapısal Olmayan Elemanlarda Hasarlar 3
1.2. Dolgu Duvarların Önüretimli Paneller İle Güçlendirilmesi 5
1.3. Tezin Önemi 9
1.4. Tezin Amacı 10
1.5. Tezin Kapsamı 11
1.6. Tezin Katma Değeri ve Yaygın Etkisi 12
1.7. Tezin İçeriği 13

2. KAYNAK ARAŞTIRMASI **14**

3. MATERYAL VE METOT **34**

3.1. Deney Numuneleri 34
3.1.1. Betonarme çerçeve detayları 38
3.1.2. Deney numunelerine ait malzeme özellikleri 43
3.1.2.1. Beton 43
3.1.2.2. Donatı 46
3.1.2.3. Tuğla duvar 48
3.1.3. Önüretimli beton panellerin üretilmesi 49
3.1.3.1. Panel tiplerinin genel özellikleri 61
3.2. Deney Düzeneği ve Ölçüm Tekniği 77
3.2.1. Deney düzeneği 77
3.2.2. Ölçüm prensibi 80
3.2.2.1. Yük ölçüm prensibi 80
3.2.2.2. Deplasman ölçümleri 81
3.2.2.3. Deplasman ve yük değişimlerinin bilgisayara aktarılaması 82
3.2.3. Deneylerde kullanılan ölçüm düzeneği 83
3.2.4. Deney numunelerine uygulanan yükleme programı 85
3.2.5. Yük geçmişi ve deplasman geçmişi grafiklerinin çizilmesi 87
3.2.6. Yatay yük- kat deplasman grafiklerinin elde edilmesi 87
3.2.7. Zarf eğrisi ve histerezis eğrisinin çizilmesi 88
3.2.8. Rijitlik değişim grafiğinin çizilmesi 89
3.2.9. Kümülatif toplam tüketilen enerji grafiklerinin çizilmesi 90
3.2.10. Numune süneklik grafiğinin çizilmesi 91

4. DENEYSEL ÇALIŞMA SONUÇLARI **93**

4.1. 1 Nolu Deney (Referans Numune, RN) 94
4.2. 2 Nolu Deney (Diagonal Panelle Güçlendirilmiş Çerçeve Numune, A-TPÇ) . 108
4.3. 3 Nolu Deney (Merkezi V Panelle Güçlendirilmiş Çerçeve Numune, B-TPÇ) 122
4.4.4 Nolu Deney (Merkezi Ters V Panelle Güçlendirilmiş Çerçeve Numune, C-TPÇ) 136
4.5. 5 Nolu Deney (Dış Merkez V Panelle Güçlendirilmiş Numune, D-TPÇ) 151
4.6. 6 Nolu Deney (Dış Merkez Ters V Panelle Güçlendirilmiş Numune, E-TPÇ) . 166
4.7. 7 Nolu Deney (K Panelle Güçlendirilmiş Numune, F-TPÇ) 180
4.8. 8 Nolu Deney (X Panelle Güçlendirilmiş Numune, G-TPÇ) 194

5. DENEY SONUÇLARININ KARŞILAŞTIRILMASI 210

5.1. Referans Numune (RN) ile A Tipi Önüretimli Panellerle Güçlendirilmiş Numunenin Karşılaştırılması (1 ve 2 Nolu Deneyler) 211
5.2. Referans Numune (RN) ile B Tipi Önüretimli Panellerle Güçlendirilmiş Numunenin Karşılaştırılması (1 ve 3 Nolu Deneyler) 214
5.3. Referans Numune (RN) ile C Tipi Önüretimli Panellerle Güçlendirilmiş Numunenin Karşılaştırılması (1 ve 4 Nolu Deneyler) 218
5.4. Referans Numune (RN) ile D Tipi Önüretimli Panellerle Güçlendirilmiş Numunenin Karşılaştırılması (1 ve 5 Nolu Deneyler) 222
5.5. Referans Numune (RN) ile E Tipi Önüretimli Panellerle Güçlendirilmiş Numunenin Karşılaştırılması (1 ve 6 Nolu Deneyler) 226
5.6. Referans Numune (RN) ile F Tipi Önüretimli Panellerle Güçlendirilmiş Numunenin Karşılaştırılması (1 ve 7 Nolu Deneyler) 230
5.7. Referans Numune (RN) ile G Tipi Önüretimli Panellerle Güçlendirilmiş Numunenin Karşılaştırılması (1 ve 8 Nolu Deneyler) 233
5.8. Bütün Deneylerin Beraber Karşılaştırılması (1., 2., 3., 4., 5., 6., 7., 8., Deney Numuneleri) 237

6. ANALİTİK ÇALIŞMA 261

6.1. Dolgu Duvarlar İçin Kullanılan Matematiksel Modeller 261
6.1.2. Eşdeğer basınç çubuğu modeli 262
6.1.2. Dolgu duvar matematiksel model parametreleri 263
6.1.3 Eşdeğer basınç çubuğu genişliğinin hesabı 263
6.1.4 Rijit uç bölgelerin tanımlanması 264
6.2. Yapı Performansının Belirlenmesi (Pushover Analiz) 265
6.3. SAP2000'de Deney Numunelerinin Modellenmesi 270
6.3.1. Güçlendirilmiş deney numunelerinin eşdeğer basınç çubuğu olarak modellenmesi 273
6.4. Süneklik Değerlendirmesi 285

7. DEĞERLENDİRME VE SONUÇLAR 286

7.1. Sonuçlar 287
7.1. Öneriler ve Gelecek Çalışmalar 297

KAYNAKLAR 299

ÖZGEÇMİŞ 303

SİMGELER VE KISALTMALAR

Simgeler

a	: Eşdeğer basınç çubuğu genişliği, mm
A_s	: Boyuna donatı alanı, mm^2
A_{sw}	: Enine donatı alanı, mm^2
b_w	: Kirişin gövde genişliği, mm
D	: Eşdeğer basınç çubuğu uzunluğu, mm
d	: Kiriş faydalı yüksekliği, mm
E	: Elastisite modülü, MPa
EI	: Eğilme rijitliği, $N.mm^4$
E_m	: Eşdeğer basınç çubuğuna ait elastisite modülü, MPa
E_f	: Betonarme çerçevenin elastisite modülü, MPa
E_d	: Dolgu duvar elastisite modülü, MPa
f_c	: Beton basınç dayanımı, MPa
$f_{ck,28\ gün}$	: 28 günlük beton basınç dayanımı, MPa
f_{ctd}	: Betonun tasarım eksenel çekme dayanımı, MPa
f_{yk}	: Boyuna donatı karakteristik akma dayanımı, MPa
f_{yd}	: Boyuna donatı tasarım akma dayanımı, MPa
f_{swy}	: Etriye donatısı akma dayanımı, MPa
f_{su}	: Donatı çeliğinin maksimum çekme dayanımı, MPa
f_d	: Önüretimli panelin basınç gerilmesi dayanımı, MPa
I_c	: Kolon kesiti atalet momenti, mm^4
I_k	: Kolon kesiti atalet momenti, mm^4
I_h	: Kiriş kesiti atalet momenti, mm^4
H	: Akstan aksa kat yüksekliği, mm
h_m	: Duvar yüksekliği, mm
h_c	: Kolon en kesit yüksekliği
a_d	: Dolgu duvar genişliği, mm
h_k	: Kolon boyu, mm
r_d	: Dolgu duvar köşegen uzunluğu, mm
λ_d	: Dolgu duvar kalınlığı hesabında kullanılan katsayı

h_d : Dolgu duvar yüksekliği, mm

t_d : Dolgu duvar kalınlığı, mm

l : Duvar genişliği, mm

M : Moment, Nmm

F : Deney elemanlarına uygulanan yatay yük, kN

s : Enine donatı aralığı, mm

t : Eşdeğer basınç çubuğu kalınlığı, mm

ρ : Kesitteki çekme donatısı oranı

θ : Eşdeğer basınç çubuğunun yatayla yaptığı açı

ρ_{min} : Kesitteki minimum donatı oranı

ϕ : Donatı çapı, mm

μs : Süneklik katsayısı

δ_{mak} / h : Kat ötelenme oranı

δ_u : Kopma deplasmanı

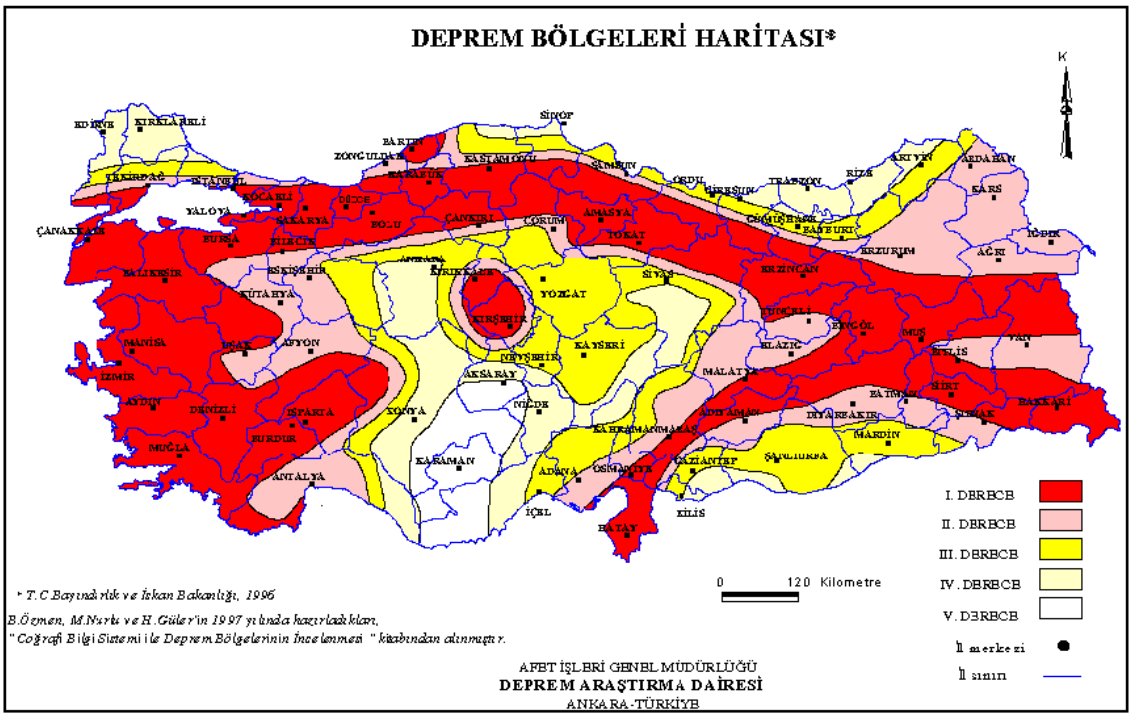
δ_y : Akma deplasmanı

Kısaltmalar

TDY-07 : Türk Deprem Yönetmeliği -2007
RN : Referans Numune
BAÇ : Betonarme Çerçeve
A-TPÇ : A Tipi Panelli Çerçeve
B-TPÇ : B Tipi Panelli Çerçeve
C-TPÇ : C Tipi Panelli Çerçeve
D-TPÇ : D Tipi Panelli Çerçeve
E-TPÇ : E Tipi Panelli Çerçeve
F-TPÇ : F Tipi Panelli Çerçeve
G-TPÇ : G Tipi Panelli Çerçeve

1. GİRİŞ

Ülkemiz dünyanın aktif deprem kuşaklarından biri olan Alp-Himalaya deprem kuşağı üzerinde yer almaktadır. Deprem bölgeleri haritasına bakıldığında ülkemizin %92'sinin deprem bölgesi içinde bulunduğu, nüfusumuzun %95'inin de olası deprem tehlikesi altında yaşadığı söylenebilir. Şekil 1.1'de deprem bölgeleri haritasında illerin depremselliği gösterilmiştir. Özellikle 23 Ekim 2011 tarihinde Van-Erciş merkezli deprem ve 9 Kasım 2011 Van-Edremit merkezli deprem yakın geçmişimizde depremin yıkıcı etkisini bir kere daha göstermiştir. Geçmişte bu ve buna benzer depremler olduğu gibi, gelecekte de oluşacak depremlerin büyük can ve mal kaybına neden olacağı unutulmamalıdır. Dolayısıyla yeni yapılacak yapıların deprem tasarımına özen gösterilmeli, mevcut yapılarında güçlendirilmesi gerekmektedir. Bir yapının depreme karşı dayanıklı olarak tasarımında amaç, yapının kullanım süresince bulunduğu bölgede oluşacak olan en şiddetli deprem esnasında göçmeden ve can güvenliğini sağlayacak şekilde inşa edilmesidir.



Şekil 1. 1. Türkiye Deprem Bölgeleri Haritası (Anonim, 2017)

Bir yapının şiddetli bir depreme maruz kalma sıklığı oldukça seyrektir. Ancak TDY-2007'de(TDY-2007, 2007) belirtildiği üzere yapı tasarlanırken 475 yılda bir oluşacak şiddetli deprem esas alınarak tasarımın yapılması zorunluluğu getirilmiştir.

Tüm yapıların bu tür şiddetli depremleri elastik davranış göstererek ve hiç hasar almayacak şekilde tasarlanması, maliyeti artırıcı bir durumdur. Bu nedenle yapıların depreme dayanıklı, ekonomik olan çözümü ancak yapıda belli seviyelere kadar hasar oluşmasına izin verilerek sağlanabilmektedir. Genel olarak TDY-2007'nin tasarımcıdan istediği,

1. **Hafif şiddetteki** depremlerde binalarda bulunan yapısal olmayan elemanlarda herhangi bir hasarın oluşmaması,
2. **Orta şiddetteki** depremlerde yapısal ve yapısal olmayan sistem elemanlarında oluşabilecek hasarın sınırlı seviyede ve onarılabilir düzeyde kalması,
3. **Şiddetli** depremlerde ise yaşayanların can güvenliğinin sağlanması amacıyla yapısal hasarların sınırlandırılması gerektiğini belirtmektedir.

Geçmişte ülkemizde meydana gelen depremlerin sonrasında yapılan detaylı incelemeler ve araştırmalar, yapıların depremde hasar görmelerini,

1. Yapılan tasarımların ve inşa süreçlerinin yönetmeliklere uygun olmaması ve bilimsel esaslardan uzak olması,
2. Donatı, beton ve diğer malzeme kalitesi ve işçiliğinin yetersiz kullanılmasına bağlamaktadır.

Genel olarak yapılarda hasar oluşma nedenleri bilgi eksikliği, ekonomik yapı yapma eğilimi, dikkatsizlikler, bilimsel yetersizlikler, yeterince özen gösterilmeyen işçilik, beklenmeyen durumlar ve malzeme kusurları olarak sayılabilir. Yapılarda oluşan bu hasarların giderilmesinde ise iki seçenek karşımıza çıkmaktadır. Bunlardan birincisi yapıları hasar öncesi durumlarına getirmek için yapılan onarım çalışmaları, ikincisi ise hasar öncesine göre daha yüksek bir dayanım kazandırmak için yapılan güçlendirme çalışmalarıdır. Bu iki tanım aşağıda daha detaylı olarak açıklanmıştır:

Onarım: Hasar görmüş bir yapıyı veya yapı elemanını ön görülen bir güvenlik düzeyine getirmek için yapılan işlemlerdir. Bu tanımdaki anahtar unsur yapının hasarlı oluşudur. Bir yapının onarımının söz konusu olabilmesi için yapının hasar görmüş olması gerekir. Yapıların onarımında hedeflenen yapının hasar görmeden önceki haline getirilmesidir. Bu kullanım bakımından olabileceği gibi yapının yatay yük taşıma kapasitesini, sünekliğini, rijitliğini ve dayanımını artırmak şeklinde de olabilir.

Güçlendirme: Hasar görmemiş bir yapının yatay yük taşıma kapasitesini, sünekliğini, rijitliğini ve dayanımını önceki durumunun üstüne çıkarmak için yapılan değişikliklerdir. Bu tanımdaki anahtar unsur yapının hasarsız oluşudur. Bir yapının güçlendirilmesinin gündeme gelmesi için yapı güvenliği ile ilgili şüphelerin oluşması

gerekir. Bir yapıda güçlendirmenin söz konusu olması aşağıdaki nedenlerden kaynaklanabilir:

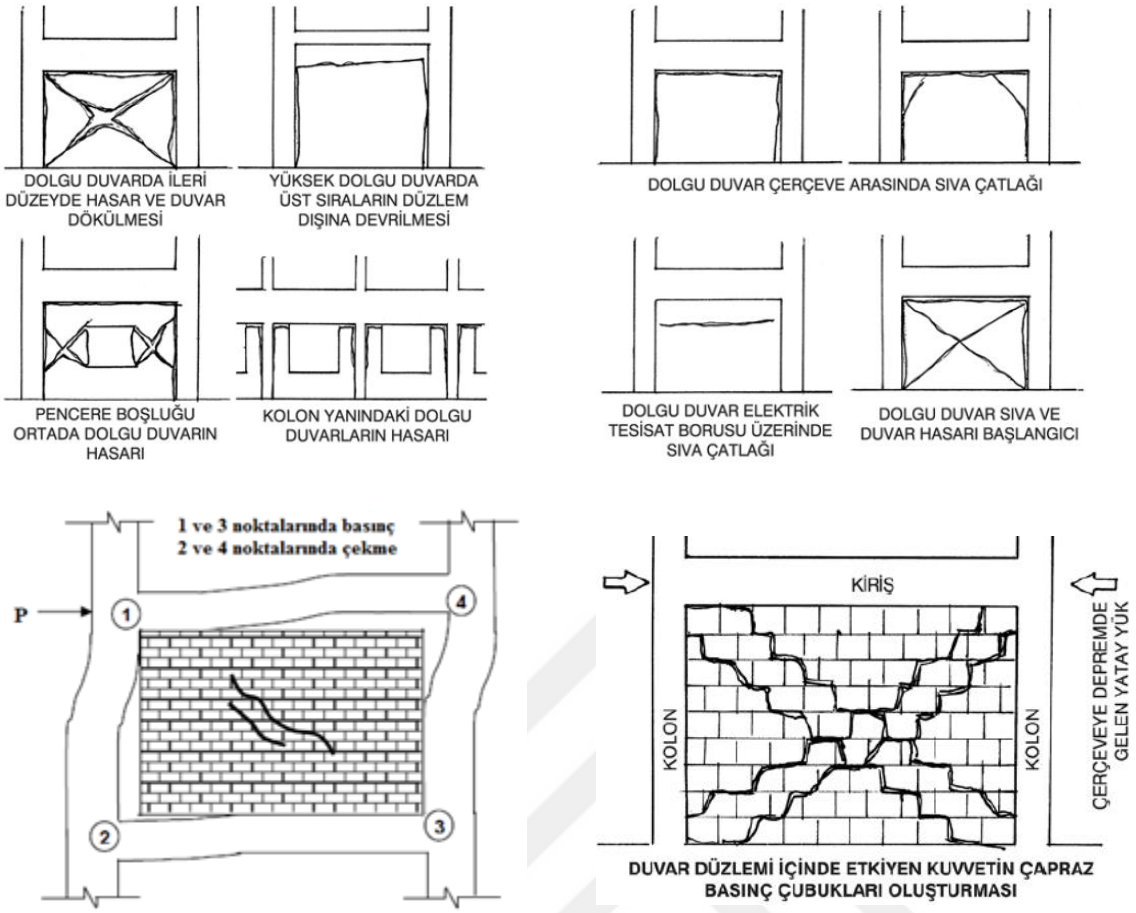
1. Yapının daha önceki kullanım alanının dışına çıkılması,
2. Yapının dönemine ait mevcut yönetmelik koşullarını sağlamaması,
3. Yapının beton dayanımı ile alakalı kuşkuların oluşması,
4. Gerekli donatı miktarının yapı elemanlarında eksik olduğu kanısına varılması,
5. Yapı bir bina ise ilave yeni katların eklenmesi veya çok sayıda bölme duvarın ilave edilmesi,
6. Binanın yeterli yanal rijitliğe sahip olmaması,

Bir yapının onarım ve güçlendirilmesine karar verilirken yapılması gereken işlem basamakları ise şöyledir:

1. Yapının mevcut halinin (çatlakların, deformasyonların, hasarların) belirlenmesi,
2. Onarım ve/veya güçlendirmenin gereklerinin belirlenmesi,
3. Onarım ve/veya güçlendirmenin programının belirlenmesi,
4. Onarım ve/veya güçlendirmeden sonra yapıda temin edilmesi istenen hedeflerin belirlenmesi,
5. Önerilen onarım ve/veya güçlendirme sistemlerinin uygunluğunun belirlenmesi,
6. Yapının inşaat kalitesinin denenmesi.

1.1. Yapısal ve Yapısal Olmayan Elemanlarda Hasarlar

Deprem sonrası yapılarda yapılan incelemeler sonucunda yapısal ve yapısal olmayan elemanlarda hasarların meydana geldiği görülmüştür. Yapısal olmayan hasarlar binalardaki sıva çatlakları ve dolgu duvarlardaki hasarlar olarak ifade edilebilir. Sıva çatlakları yapısal hasarların yanında çok da dikkate alınmayan hasarlardır. Önemli olan yapı taşıyıcı sisteminde hasarların meydana gelmemesidir. Dolgu duvarlarda olan hasarlar ise X şeklinde çatlakların oluşması ve duvarın çerçeveden ayrılmasına bağlı olarak oluşan hasarlar olarak tarif edilebilir. Şekil 1.2’de dolgu duvarlarda deprem esnasında oluşan hasarlar gösterilmiştir.



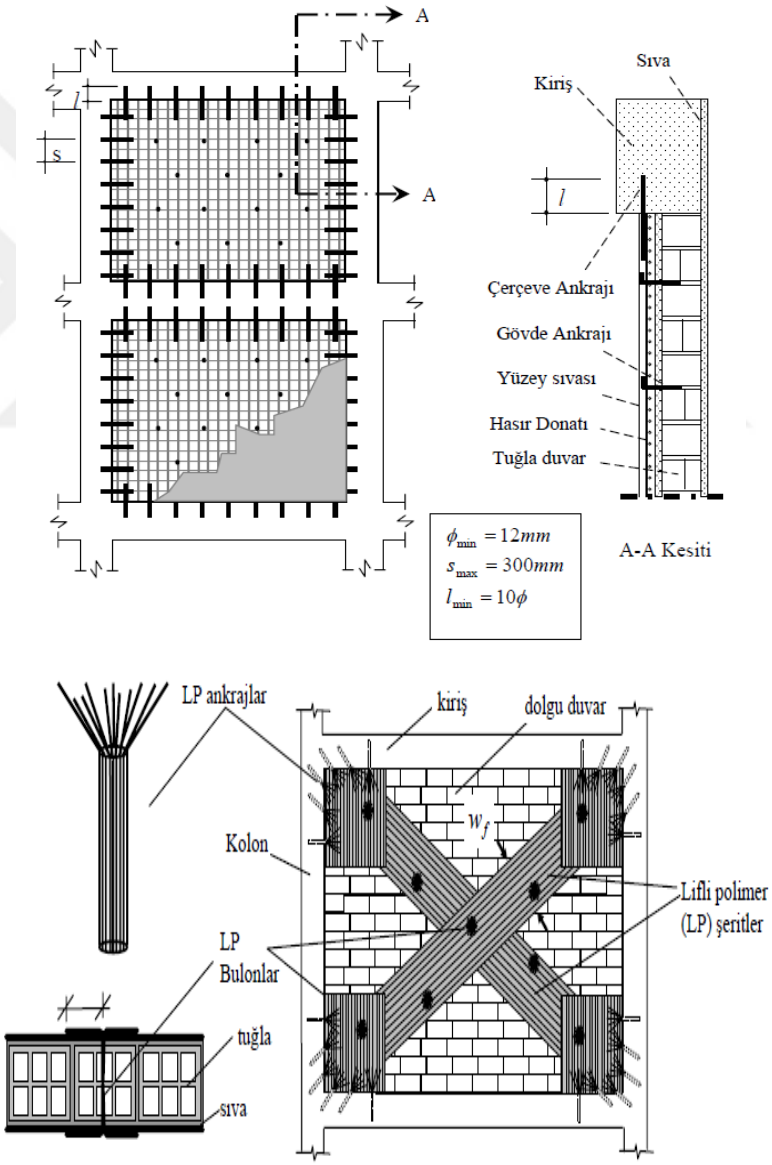
Şekil 1.2. Dolgu duvarların çerçeve içindeki hasar biçimleri (Bayülke, 2003)

Dolgu duvarlarda hasarın ciddi oranda artması taşıyıcı elemanlarda da hasarın olduğunun çoğu zaman göstergesidir. Taşıyıcı sistemlerde oluşan hasarlar ise çok ciddi olmakla birlikte önlem alınması gereken hasarlardır. Taşıyıcı sistemde oluşan hasarlar tüm sistemi kapsayan veya eleman bazında oluşan hasarlar olarak sınıflandırılabilir. Eleman bazında hasarlar,

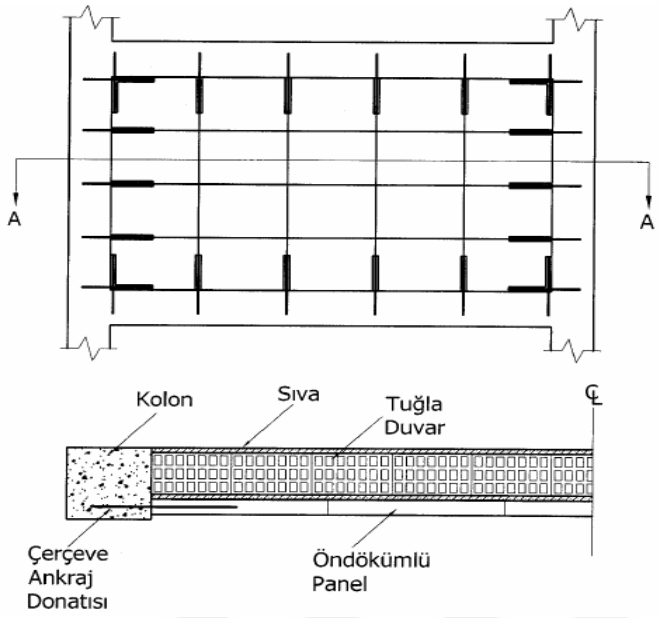
1. Kolonlarda,
2. Kirişlerde,
3. Betonarme perde duvarlarda,
4. Kolon-kiriş birleşim bölgelerinde,
5. Döşemelerde
6. Temel gibi ana elemanlarda oluşan hasarlar olarak sınıflandırılabilir.

1.2. Dolgu Duvarların Önüretimli Paneller İle Güçlendirilmesi

Deprem bölgelerinde yapılacak binalar hakkında yönetmelik TDY-2007'de dolgu duvarların güçlendirilmesine yönelik 7F.1 bölümü oluşturulmuştur. TDY-2007'de hangi durumlarda hangi güçlendirme yöntemlerinin kullanılabileceği belirtilmiştir. Buna göre temel üstünden yukarıya kadar üst üste süreklilik gösteren betonarme çerçeve içindeki dolgu duvarların rijitliği ve kesme dayanımı, hasır çelik donatılı özel sıva, lifli polimerler ve prefabrike beton paneller ile artırılabilir. Şekil 1.3'de TDY-2007'de önerilen yöntemler görülmektedir:

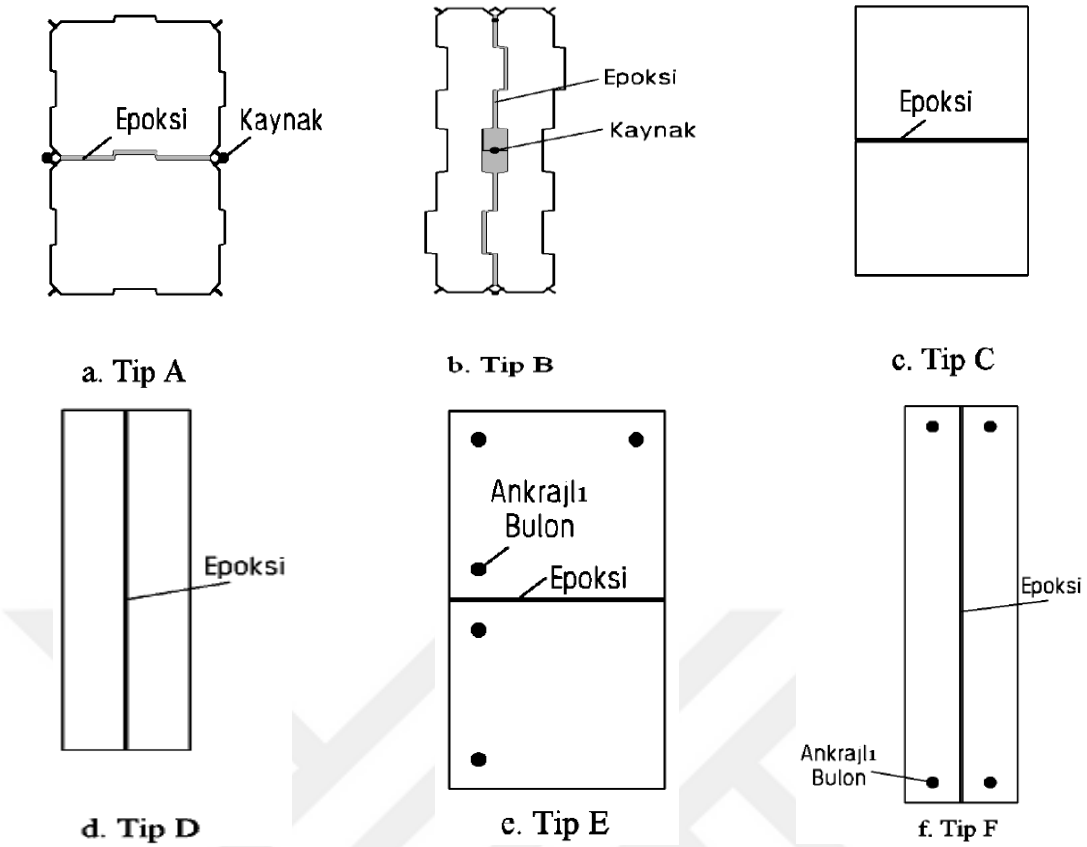


Şekil 1. 3. TDY-2007'de dolgu duvarların güçlendirilme yöntemleri (TDY-2007, 2007)



Şekil 1. 3. devamı TDY-2007'de dolgu duvarların güçlendirilme yöntemleri

Ülkemizde, yönetmelikte bahsedilen dolgu duvarların tüm yüzeyinin önüretimli paneller ile kaplanması ile ilgili bir takım çalışmalar mevcuttur. Bu kapsamda *ODTÜ Yapı Laboratuvarında* **(Baran, 2005; Baran ve ark., 2010)**, yapılarda bulunan boşluklu tuğla duvarların yüksek dayanımlı önüretimli beton paneller kullanılarak güçlendirilmesi ilkesine dayanan ekonomik, yapısal olarak etkili ve uygulaması kolay bir depreme karşı güçlendirme yöntemi geliştirmişlerdir. Bu teknik, yapının boşaltılmasını gerektirmemekte ve konut kullanıcılarına fazla rahatsızlık vermeden uygulanabilmektedir. Bu amaçla, toplam on dört adet iki katlı tek açıklıklı boşluklu tuğla dolgu duvarlı çerçeve, deprem yükünü benzeştirecek tersinir tekrarlanır yatay yükler altında test edilmiştir. Deney elemanları altı farklı yerleşime sahip önüretimli beton panel kullanılarak güçlendirilmiştir. Bu çalışmada, yüksek dayanımlı önüretimli beton paneller kullanılarak güçlendirilen boşluklu tuğla dolgu duvarları hem eşdeğer çapraz çubuk elemanları ile hem de eşdeğer kalınlığa sahip duvarlar ile modellenmiştir. Deney sonuçları, sözü edilen iki yaklaşımın kuramsal sonuçları ile karşılaştırılmıştır. Şekil.1.4'de kullanılan panel tipleri gösterilmiştir:



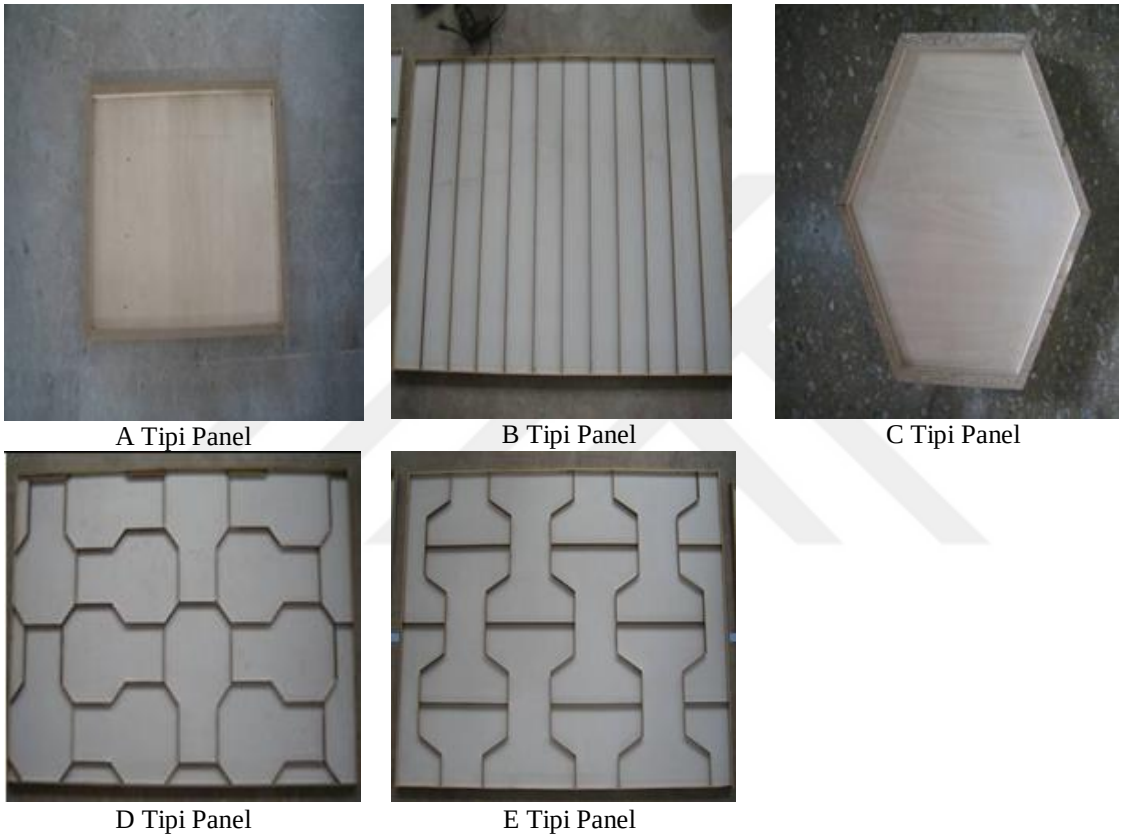
Şekil 1. 4. Yapılan deneysel çalışmalarda kullanılan panel tipleri (Baran, 2005; Baran ve ark., 2010)

Farklı panel tipleri kullanılarak yapılan çalışmalardan elde edilen sonuçlar ise aşağıda özetlenmiştir:

1. Eşdeğer çapraz çubuk elemanlar ve eşdeğer kalınlığa sahip duvarlar modelleme neticesinde deneysel sonuca göre yatay yük taşıma kapasitesi değeri oldukça iyi şekilde yansıtılmaktadır.
2. Eşdeğer çapraz çubuk elemanlar ve eşdeğer kalınlığa sahip duvarlar modelleme neticesinde maksimum yatay yük sonrası davranış çokta iyi olmamıştır.
3. Eşdeğer çapraz çubuk elemanlar ve eşdeğer kalınlığa sahip duvarlar ile yapılan modelleme ile elastik analizde zaman ve emek kolaylığı sağlayacağı sonucuna varılmıştır.

Benzer şekilde *S.Ü. Yapı ve Deprem Laboratuvarında* **(Akın, 2011)**, imalat sırasında bina sakinlerinin binayı terk etmelerine gerek kalmadan uygulanabilecek bir güçlendirme yöntemini doktora çalışmasında araştırmıştır. Bu amaçla, mevcut betonarme binalarda sıklıkla görülen hatalara sahip olarak üretilen 1/2 ölçekli, deprem dayanımı zayıf, iki katlı ve tek açıklıklı bir adet güçlendirilmemiş tuğla dolgu duvarlı betonarme çerçeve ve 5 adet aynı özelliklere sahip betonarme çerçeve dolgu duvarları,

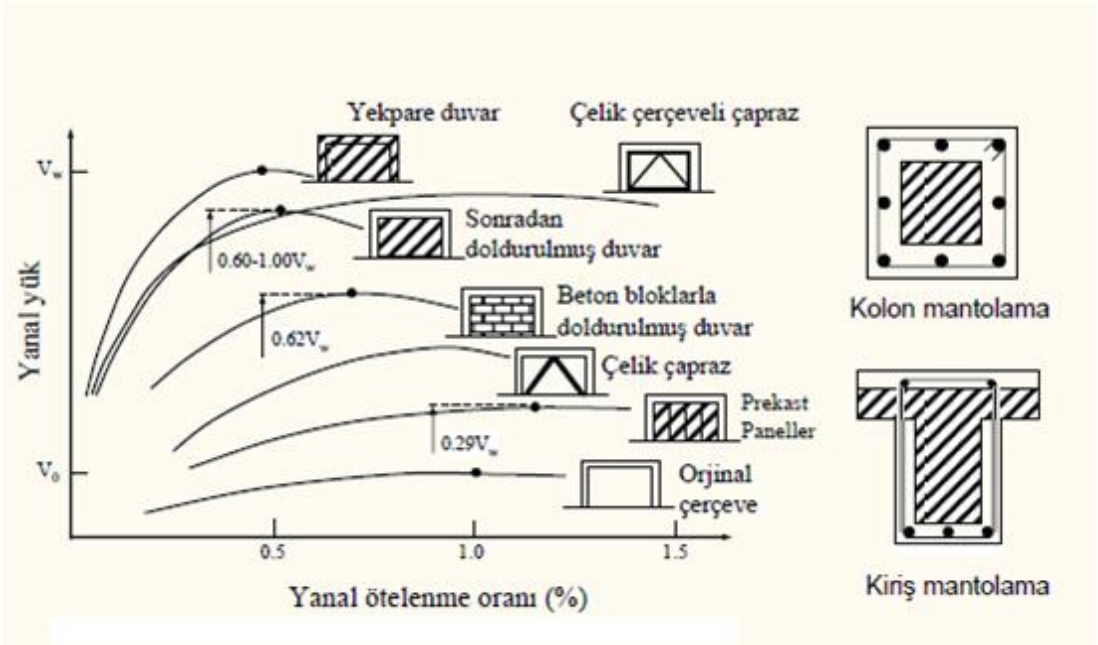
önüretimli yüksek dayanımlı farklı şekillerdeki beton paneller ile güçlendirilerek deprem etkisini benzeştiren tersinir – tekrarlanır yatay yükleme altındaki davranışları test edilmiştir. Deneysel çalışma sonucunda, betonarme çerçevelerin dayanım, rijitlik ve enerji tüketme kapasiteleri gibi özellikleri elde edilmiş ve güçlendirilmiş numuneler aynı özellikteki güçlendirilmemiş numuneler ile karşılaştırılmıştır. Karşılaştırma sonucunda ise sistem iyileştirilmesinin gerçekleştiği belirtilmiştir. Şekil 1.5'de kullanılan panel tipleri gösterilmiştir.



Şekil 1. 5. Farklı panel tipleri ile güçlendirme (Akın, 2011)

Her iki araştırmacı tarafından yukarıda anlatılan çalışmalar önüretimli paneller ile yapılan güçlendirmenin çerçeve davranışı üzerindeki etkisini gözlemlemek amacıyla yapılmıştır. Çalışma kapsamında farklı adetlerde ve ölçeklerde deneyler yapılmıştır. Güçlendirilmiş olan çerçevelerin tuğla dolgulu referans çerçeveye oranla yatay yük taşıma kapasitesi, rijitlik, enerji tüketme kapasitesi gibi değerlerinde önemli miktarlarda iyileşme olduğu araştırmacılar tarafından gözlemlenmiştir. Deneylerde farklı şekilde ve/veya geometride panellerle güçlendirilmiş çerçevelerin kendi aralarında karşılaştırmalarında da farklı yatay yük kapasitelerine eriştikleri görülmüştür.

Deneyler neticesinde, paneller ile güçlendirmenin çerçeve davranışı üzerinde etkili olduğu söylenebilir. Panel dayanımı arttıkça, çerçevenin yatay yük taşıma kapasitesinde de artış olduğu görülmüştür. Ayrıca çatlak oluşumları daha yüksek dayanımlı panellerle güçlendirilmiş çerçevelerde, daha düşük dayanımlı panelle güçlendirilmiş çerçevelere kıyasla daha ileri yük çevrimlerinde başlamıştır. Yapılan tüm çalışmalar Şekil 1.6'da gösterilen yanal yüke bağlı olarak oluşan yanal ötelenme değerlerini tespit etmek ve optimum sonucu bulmaya yöneliktir.



Şekil 1. 6. Yapısal duvar ve çaprazların etkinliği (Sugano, 1980)

1.3. Tezin Önemi

İnsanların yaşam boyu beslenmeden sonra en önemli ihtiyacı barınma olarak karşımıza çıkmaktadır. Bu nedenle bütün ülkelerde barınma ihtiyacını karşılamak için gerekli konut temini çalışmaları bir hayli fazladır. Ayrıca konutlar sabit yapılar olduğundan zaman içinde bakımına da ihtiyaç duyulmaktadır. Diğer taraftan maliyetlerin de fazla olmasından dolayı her geçen gün nüfus artışına da bağlı olarak konut ihtiyacı artmaktadır. Ancak konutların yeniden yapılması oldukça maliyetli zaman alıcı ve pratik bir yöntem değildir. Bu durumda mevcut yapıların yıkılmasından ziyade güçlendirilip yeniden kullanılması yoluna gidilmektedir. Özellikle 1999 depreminden sonra Türkiye'de mevcut olan 1998 yönetmeliğinde yapıların güçlendirilmesi ile ilgili öneri ve tekniklerin olmadığı görülmektedir. Ancak 2007

deprem yönetmeliği ile mevcut yapıların değerlendirilmesi ve güçlendirilmesi ile ilgili 7. bölüm eklenerek ülkemizde deprem mühendisliği açısından ciddi bir açılımın gerçekleştiği söylenebilir. Artık performans kavramı gündeme gelmiş ve mevcut yapıların güçlendirilmesinde dikkate alınması gerektiği zorunlu hale getirilmiştir. Deprem performansı kavramı ise, belirli bir deprem etkisi altında yapıda oluşabilecek hasarların yerleri ve düzeylerine bağlı olarak belirlenen yapı güvenliği durumu olarak ifade edilmektedir.

Yapıların güçlendirilmesi ile ilgili literatürde çok sayıda çalışma mevcuttur. Bunlar perde duvar ile, karbon lifler (CFRP) ile, çelik lif katkılı sıva ile, çelik şeritler ile, hasır donatılı püskürtme beton ile, epoksi ve harç enjeksiyonu ile, çimento esaslı kompozit malzemeler ve son olarak dolgu duvarlı betonarme çerçevelerin tamamı önüretimli yüksek dayanımlı beton paneller ile kaplanmak suretiyle çalışmalar mevcuttur.

Yapılan bu tez çalışmasında ise yapıların yıkılması yerine güçlendirilmesini esas alan bir yöntem araştırılmıştır. Bu amaçla 1/3 ölçekli 2 katlı tek açıklıklı 1'i referans 7 adet güçlendirilmiş betonarme dolgu duvarlı çerçeve depremi benzeştiren tersinir tekrarlanır yatay yükler altında önüretimli yüksek dayanımlı yeni çapraz beton paneller ile güçlendirilip test edilmiştir. Yapılan çalışma deprem yönetmeliğinde belirtilen ve yapıların sahip olması gereken yeterli dayanım, yeterli rijitlik ve yeterli sünekliğin sağlanması amacıyla uygulanmıştır. Ayrıca deneysel çalışma sonuçları SAP2000'de (SAP2000, v.17.3) yapılan statik itme analizi (pushover) sonuçları ile karşılaştırılmış ve çalışmanın önemi önerilerle vurgulanmıştır.

1.4. Tezin Amacı

Ülkemizde inşa edilen betonarme binaların büyük bir kısmının deprem etkilerine karşı yeterli dayanım, rijitlik ve süneklikte olmadığı bilinmektedir. Bu nedenle, çok çeşitli güçlendirme yöntemleri uygulanarak depreme karşı davranışları iyileştirilmeye çalışılmaktadır. Güçlendirme yöntemine karar verilirken öncelikle binadan edinilen gözlem ve ölçümlerden faydalanılmakta, ikinci olarak ise bina sakinlerinin asgari ölçüde zarar görmesine çalışılmaktadır. Bu tez çalışmasında, bina sakinlerinin yapıyı boşaltmak zorunda kalmadan uygulanabilen etkili, pratik ve ekonomik yeni bir güçlendirme tekniği araştırılmıştır.

Bu çalışmada, mevcut betonarme binalarda sıklıkla görülen tasarım ve yapım kusurlarına sahip olarak üretilmiş, 1/3 ölçekli, iki katlı, tek açıklıklı, boşluklu tuğla dolgu duvarlı betonarme çerçevelerin, depremi benzeştiren tersinir-tekrarlanır yatay yükler altındaki davranışı incelenmiştir. Bu çalışmanın özgünlüğü ise, dolgu duvarları ilk kez önüretimli yeni çapraz beton panellerle güçlendirilerek çerçeve sistemlerinde ortaya çıkacak olan davranışın iyileştirilmesi üzerine olmasıdır.

Bu tezde, diğer güçlendirme yöntemlerinden farklı olarak, imalat sırasında kullanıcıların binayı terk etmesine gerek olmayan bir güçlendirme tekniği araştırılmıştır. Bu doğrultuda boşluklu tuğla dolgu duvarların yüksek dayanımlı betondan üretilmiş, pratik, ekonomik ve panel şekilleri bakımından tarafımızca ilk defa çapraz panel olarak geliştirilmesiyle güçlendirme yapılmıştır. Özellikle Türkiye'deki hafif ve orta şiddetdeki depremlere maruz kalabilecek yerlerde olan mevcut binalarda kullanılabilecek önemli bir güçlendirme alternatifi olabileceği amaçlanmıştır.

Yüksek dayanımlı betondan yapılan çapraz panellerin içerisinde taşıma esnasında panelde çatlama ve kırılma olmaması için TDY-2007'de de belirtildiği üzere Φ2'lik donatılar yerleştirilmiştir. Ayrıca panellerin çekmeye karşı dayanımı için iki panel birbirine ve çerçeveye ankraj ile bağlanmıştır. Literatürde var olan çalışmaların tamamı dolgu duvarlı çerçevenin tüm yüzeyinin beton paneller ile kaplanması şeklinde yapılırken, çapraz paneller ile depremde yalnızca dolgu duvarın çalışan doğrultusunda (özellikle X türü güçlendirme) panellerin yerleştirilmesi literatürde yapılan çalışmalar arasında özgündür. Bununla beraber çapraz güçlendirme panellerinin deprem dayanımı açısından daha etkili daha ekonomik ve daha pratik bir imkân sunduğu bu tez kapsamındaki sınırlı deneysel çalışmalar sonucunda görülmüştür.

1.5. Tezin Kapsamı

Yapılan güncel çalışmalarda, farklı güçlendirme yöntemlerinin sistem iyileştirilmesinde kullanılmasının artmasıyla, en ekonomik, pratik ve işçiliği kolay yöntemlerin tercih edilmesi durumu oluşmuştur. Bu tezin içeriğinde sözü edilen önüretimli yeni çapraz beton paneller ile 1/3 ölçekli çerçevelerin güçlendirme yönteminde, uygulanan ankraj detayları, panel yerleşimleri ve kullanılan diğer parametrelerden bahsedilmiş, deneysel çalışmalar analitik çalışmalar ile karşılaştırılmıştır. Analitik çalışmada çerçeve numunelerin matematiksel modeli oluşturulduktan sonra plastik mafsal hipotezini dikkate alan statik itme analizi

gerçekleştirilmiştir. Son olarak önüretimli çapraz beton paneller ile yapılan güçlendirme yönteminin sistemin rijitliğini, enerji tüketme kapasitesini nasıl etkilediği tez kapsamında değerlendirilmiştir.

1.6. Tezin Katma Değeri ve Yaygın Etkisi

Bu tez kapsamında yapılan çalışmanın yaygın etkisinin ve getirisinin şu şekilde olduğu düşünülmektedir:

1. Bu tez çalışması ile güçlendirme alanında inovatif bir çalışma örneği ortaya konulmuştur. Önüretimli çapraz panellerle güçlendirmenin mimari estetik açısından binalara uygulanması da düşünüldüğünde disiplinler arası çalışmaya örnek gösterilebilir.
2. Kullanılan değişik yerleşim şekillerine sahip çapraz beton panel uygulamalarının güçlendirme alternatifi olarak ileriki yıllarda daha fazla tercih edileceği ve yüksek dayanımlı beton panellere ışıldayan beton özelliklerinin kazandırılmasıyla beraber estetik anlayışın da geliştirilebileceği ön görülmektedir.
3. Bu çalışma ile ülke ekonomisi açısından güçlendirme alanında tüm yüzeyin önüretimli paneller ile kaplanması suretiyle temelleri atılan çalışmaları destekleyecek yeni bir yaklaşım sunması adına önemlidir. İleriki çalışmalara ışık tutacak olan bu tezin, maliyetleri azaltacağı gibi zaman, emek ve işçilik bakımından da fayda sağlayacağı düşünülmektedir.
4. Ayrıca, gelecekte farklı parametrelerin de dikkate alınarak daha farklı ve özgün yerleşim şekillerine ve ankraj detaylarına sahip panellerin geliştirilebileceği ve güçlendirme amacıyla deneysel çalışmaları yapılarak alternatif oluşturabileceği ön görülmektedir.
5. Son olarak, 1 adet referans ve 7 adet güçlendirilmiş dolgu duvarlı betonarme çerçevelerin önüretimli yeni çapraz beton panellerle güçlendirilmesi, yapılan literatür araştırmaları içerisinde panellerin yerleşim şekli itibariyle özgündür.

1.7. Tezin İçeriği

Yapılan tez çalışması yedi bölümden oluşmaktadır. Birinci bölümde tezin önemi, amacı, kapsamı, katma değeri, yaygın etkisi ve tezin içeriğinden bahsedilmektedir. İkinci bölümde özellikle 1992 yılında meydana gelen Erzincan depreminden sonra Türkiye'de önemi gittikçe artan ve günümüzde hala kullanılan güçlendirme yöntemlerini içeren kapsamlı bir literatür araştırması yapılmıştır. Üçüncü bölümde önüretimli beton panellerle yapılan güçlendirme çalışmasının detaylı imalat süreci, numune fotoğrafları ve numunelere ait detaylar ve çizimler verilmiştir. Dördüncü bölümde laboratuvar şartlarında 1'i referans 7 adet güçlendirilmiş numunelerin depremi benzeştiren tersinir-tekrarlanır yatay yük altında test sonuçları grafik ve çizelgeler ile gösterilmiştir. Beşinci bölümde yapılan deneysel çalışmaların karşılaştırılması yapılmıştır. Altıncı bölümde deneysel çalışmaları destekleyen SAP2000 programında yapılan analitik çalışma sonuçları sunulmuştur. Son olarak yedinci bölümde de yapılan tezin sonuçlarına, öneri ve gelecek çalışmalarına yer verilmiştir.

2. KAYNAK ARAŞTIRMASI

Dolgu duvarlar ile ilgili yapılan analitik ve deneysel çalışmalar yaklaşık altmış yıl önce başlamıştır. İlk yıllarda dolgu duvarlı çerçeveler ile ilgili yapılan araştırmalar incelendiğinde, genel olarak dolgu duvarlı çerçeve numunelerine depremi benzeştiren tersinir-tekrarlanır yatay yükleme testlerinin yapıldığı ve bazı yaklaşık sonuçlar elde edildiği görülmektedir. Yapılan çalışmalar sonucunda yatay yükler altında dolgu duvarlı bir çerçevenin davranışını belirlemenin oldukça zor ve karmaşık olduğu belirtilmiştir. Yapılan araştırmalarda, duvara uygulanan yükün duvar üzerinde bir köşegen doğrultusunda çatlaklar meydana getirdiği tespit edilmiştir. Dolgu duvarlarda bu tespit ilk olarak Polyakov tarafından yapılmış ve matematiksel model oluşturulmasına ilham kaynağı olmuştur. Ayrıca yapılan çalışmalar sonucunda dolgu duvarların sistemin yanal dayanımını artırdığı ve yapıların depreme karşı tasarım hesabında dikkate alınması gerektiğini göstermiştir.

Yapılan bu tez çalışmasında dolgu duvarların güçlendirilmesi araştırılmıştır. Özellikle bu amaç doğrultusunda literatürde yapılan güçlendirme ile ilgili çalışmalar incelenmiştir. Aşağıda 90'lı yıllardan itibaren başlayan ve günümüze kadar yapılan akademik çalışmalar özetlenerek sunulmuştur:

(Altın, 1990), çalışmasında 1/3 ölçekli iki katlı ve tek açıklıklı olmak üzere 14 adet farklı betonarme dolgu duvarlı çerçevenin yatay yük altında deneysel çalışmasını yapmıştır. Deneyde dikkate alınan temel parametreler kolon eksenel yükü, betonarme dolgu panelin donatı tipi, dolgu ile çerçeve arasındaki bağlantı tipi ve kolon eğilme kapasitesinin davranış üzerindeki etkileridir. Yapılan deneysel çalışma sonucunda elde edilen sonuçlar ise şöyledir:

1. Çerçeve ve dolgu arasında yapılan ankrajlar sistemin rijitliğini artırmıştır.
2. Kolondaki eksenel yük ve eğilme kapasitesinin sistem davranışını ve dayanımını olumlu yönde etkilemiştir.
3. Son olarak dolgu duvarların betonarme çerçevenin yatay yük dayanımını (rijitliğini) artırdığı sonuçlarına ulaşılmıştır.

(Phan ve ark., 1995), çalışmalarında iki katlı ve üç açıklıklı betonarme çerçevenin güçlendirilmesi için perde duvar uygulamasını test etmişlerdir. Yerinde dökme ve önüretimli olmak üzere 2 farklı şekilde imal edilen perde duvarlar depremi benzeştiren yatay yükler altında test edilmiştir. Yapılan deneysel çalışmada ankraj

donatı tipi, ankraj donatı alanı ve duvar kalınlığı parametrik değerler olarak dikkate alınmıştır. Çalışma sonunda şu sonuçlara varılmıştır:

1. Perde duvarlarda bulunması gereken minimum donatı oranı % 0,75 olmalıdır.
2. Yapılacak güçlendirmede dikkate alınacak perde duvar kalınlığı temas ettiği kolon veya üst kiriş kalınlığının en az 2/5'i kadar olmalıdır.
3. Perde duvar ve çerçeve arasındaki bağlantı elemanı olan ankraj donatısı alanlarının toplamının kolon-kirişle birleşen perde duvarın yüzey alanına oranı en az % 0,8 olmalıdır.

(Nakano, 1995), çalışmasında özellikle Hyogoken- Nambu depreminden sonra geleneksel güçlendirme tekniklerinden olan sisteme perde duvar ilavesi, mevcut binaların çelik çapraz çerçevelerle güçlendirilmesi, kolonların mantolanması, temelde sismik izolatörlerin kullanılması gibi farklı alternatif yöntemlerin araştırılmasına başlanılmıştır. Sonuç olarak geliştirilmeye devam edilen ve günümüzde uygulaması yapılan sismik güçlendirme yöntemlerine yönelinmiştir.

(Kato ve ark., 1995), çalışmalarında üzerinde boşluk olan önüretimli (precast) dolgu duvarların tasarımında taşıma gücü metodunu uygulamış ve önüretimli dolgu duvar üzerinde bulunan boşluk etrafındaki donatı düzeninin değişiminin sistemin deprem davranışına olan etkisini analitik bir çalışma ile hesaplamıştır. Yapılan çalışma sonucunda dolgu duvar üzerinde bulunan boşlukların yatay yük taşıma kapasitesi ve rijitlik bakımından değişimini incelemişlerdir. Ayrıca daha sonra deneysel çalışmalar ile geliştirdikleri analitik yöntemi karşılaştırmışlardır.

(Frosch ve ark., 1996), çalışmasında sünek olmayan betonarme çerçeve sistemleri precast dolgu paneller ile güçlendirmişlerdir. Yapılan deneysel çalışmada precast panellerin birbirleriyle birleşim detayları, panellerin çerçeveye birleşim detayları araştırılmıştır. Ayrıca 2/3 ölçekli sünek olmayan çerçeve precast paneller kullanılarak güçlendirilmiştir. Deneylerde kullanılan betonarme çerçeve yetersiz kolon kesme dayanımı, bindirme boyu ve yetersiz ankraja sahiptir. Dolgu precast panel ile güçlendirme yapılmasının amacı perde duvarlı bir sistem elde etmektir. Yapılan çalışma sonucunda ise precast dolgu duvarlı sistemin performansının başarılı olduğunu süneklik artışı ve rijitlik artışı ile göstermişlerdir. Sonuç olarak yerinde dökme betonarme perde duvar yerine precast dolgu duvarlı sistemin zaman kazandırıcı ve daha basit olduğunu gözlemlemiş olup alternatif bir yöntem olarak kullanılabileceğini göstermişlerdir.

(Mosalam ve ark., 1997), çalışmalarında toplam 4 adet 2 katlı ve 2 açıklıklı olacak şekilde ürettikleri çerçevelerde kullandıkları dolgu duvarların deprem performansına etkilerini araştırmışlardır. Yapılan deneysel çalışmalar sonucunda aşağıdaki sonuçları elde etmişlerdir:

1. Deneysel olarak yapılan çalışmada deprem ivmesinin artmasına bağlı olarak çerçevede oluşan kesme kuvveti, moment ve deplasman değerlerinde artışlar olmuştur.
2. Çerçeve ve duvarın iyi bir işçilik ile birlikte çalışması sağlandığında sistemin yatay yük taşıma kapasitesinde ve sistemin rijitliğinde artışlar meydana gelmiştir.

(Ersoy ve ark., 1998), çalışmalarında tek açıklıklı ve iki katlı olmak üzere toplam 8 adet betonarme çerçevenin deprem testini gerçekleştirmişlerdir. Daha sonra 8 adet çerçevenin orta derecede hasara uğratılmasından sonra bu çerçevelerin tamamı yerinde dökme betonarme dolgularla güçlendirilmiştir. Güçlendirilen bu yeni çerçeveler depremi benzeştiren tersinir-tekrarlanır yatay yüklemeye maruz bırakılmıştır. Üretilen 8 adet çerçevenin birleşim bölgelerinde etriye sıklaştırması yapılmamış olup düşük beton dayanımına sahip ve deprem yönetmelik şartlarına uymayan çerçeveler üretilerek testler yapılmıştır. Çalışmada amaçlanan ise çerçevede meydana gelen hasarın güçlendirilme sonunda davranışa etkisinin araştırılmasıdır. Yapılan deneysel çalışma sonucunda aşağıdaki sonuçlara varılmıştır:

1. Beton kalitesinin düşük olması ankraj çubuklarının yerleşiminde bazı sorunlara sebep olduğu görülmüştür.
2. Hasarlı çerçevelerin betonarme dolgularla güçlendirilmesi ile çerçevelerin yatay yük taşıma kapasitesinde ve rijitliğinde ciddi oranda artışlar sağlanmıştır.
3. Ankraj çubuklarının yerleşiminde işçiliğin yatay kapasitenin artırılması için önemli olduğu görülmüştür.
4. Birleşim bölgesinde yapılan bölgesel çelik mantolamaların davranış ve dayanımı artıracağı sonucuna varılmıştır.

(Tezcan ve İkizoğulları, 1998), çalışmalarında güçlendirme yöntemi olarak araştırdıkları perde duvar çevresinde oluşan kayma gerilmelerini incelemişlerdir. Yapılan sonlu eleman analizinde açıklık ve kat sayısı, dolgu duvarların yapı içindeki oranları, mevcut yapı ve yeni duvarın beton kalitesi dikkate alınan temel parametreler

arasındadır. Yapılan güçlendirme uygulamasında düzlem içi perdeler ve düzlem dışı perdeler kullanılmıştır. Yapılan çalışma sonucunda dolgu duvarların düşey ve yatay kenarlarında meydana gelen kayma gerilmeleri tespit edilmiştir.

(Ignatiev, 1998), çalışmasında literatürde var olan güçlendirme tekniklerinden bahsetmiş ve güçlendirme aşamasından oluşan problemleri tespit etmiştir. Ayrıca incelediği güçlendirme teknikleri:

1. Çelik profiller kullanılarak mantolama yapılması
2. Çelik kuşaklama
3. Yerinde dökme betonla güçlendirme
4. Püskürtmeli betonla güçlendirme
5. Önüretimli beton paneller ile güçlendirme
6. Betonarme perde duvar eklemesi gibi yöntemleri kapsamaktadır.

(Yalçın, 1999), çalışmasında betonarme dolgu duvarlı 4 farklı yapı modelini sonlu elemanlar analiz yöntemi ile incelemiştir. Yapılan analizler sonucunda dolgu duvarların bulunduğu kısımlarda oluşan deplasmanların azaldığı ve toplam taban kesme kuvvetinin arttığını belirlemiştir. Dolgu duvarların gelişi güzel yerleştirilmesinin uygun olmadığını eğer asimetrik dolgu duvar yerleşimi yapılırsa sistemde ciddi oranda burulmanın oluştuğunu ve bunun da yapılarda istenmeyen bir düzensizlik durumu olduğunu belirtmiştir.

(Buonopane ve White, 1999), çalışmalarında 2 katlı ve 2 açıklıklı dolgu duvarlı betonarme çerçevelerin laboratuvar ortamında kurulu olan deprem test düzeneğinde dinamik yükleme analizini yapmışlardır. Yapılan çalışmada birinci kat tuğla dolgu duvarlar ile tamamen kaplı iken ikinci kattaki tuğla duvarlarda pencere boşluğu açılmıştır. Yapılan deneysel çalışmalar dikkate alınarak sonlu elemanlar programı kullanarak analitik çalışma yapmışlardır. Yapılan deneysel çalışma sonuçlarına en uygun eşdeğer basınç çubuğu modelini yapmış oldukları analitik çalışma ile tespit etmişlerdir. Yapılan deneysel ve analitik çalışma sonucunda sistemin toplam rijitlik ve yatay yük taşıma kapasitesini belirlemişlerdir.

(Youssef, 1999), çalışmasında perde duvarlar ile yapılan deneysel çalışmalardan yola çıkarak analitik bir yöntem geliştirmiştir. Çalışmada eski yönetmeliklere göre tasarımı yapılmış deprem dayanımı zayıf binaların perde duvar ile güçlendirilmesine

yönelik geliştirdiği yöntemin başarılı olduğunu laboratuvarda yapmış olduğu 3 katlı betonarme çerçeveden elde ettiği sonuçlar ile desteklemiştir.

(İlki ve Kumbasar, 2000), *İ.T.Ü deprem laboratuvarında* yapılan çalışmalar dikkate alınarak betonarme yapıların, depremi benzeştiren tersinir-tekrarlanır yükler altındaki davranışlarını incelenmişlerdir. Yapılan incelemeler sonucunda betonarme elemanların davranışını etkileyen çok sayıda parametrenin olduğu ve bu parametrelerin tamamını kullanarak tek bir modelle idealize edilemeyeceğinden bahsetmişlerdir. Bunun için bazı etkin rol oynayan değişkenlerin kullanılarak yaklaşık model analizinin yapılabileceğini belirtmişlerdir. Bu amaçla laboratuvarda bir deneysel çalışma sonucunda elde edilen veriler kullanılarak betonarme elemanların yatay yük-deplasman ilişkisi için tersinir-tekrarlı bir model sunulmuştur.

(Sonuvar, 2001), çalışmasında 1/3 ölçekli, 2 katlı, tek açıklı betonarme dolgular ile güçlendirilmiş 5 adet betonarme çerçeveyi depremi benzeştiren tersinir-tekrarlanır yatay yükler altında test etmiştir. Üretilen numuneler piyasada sıkça karşılaşılan hatalara sahiptir. Özellikle güçlü kiriş zayıf kolon olacak şekilde boyutlandırma yapılmıştır. Çerçeveler belli bir hasar sınırına kadar tersinir tekrarlanır yükler altında test edilmiş ardından yerinde dökme dolgu duvarlar ile güçlendirilmiş ve tekrar deprem testine tabi tutulmuştur. Yapılan deneysel çalışma sonucunda çerçevelerin rijitlik, enerji tüketme kapasitesi ve yer değiştirmeleri ölçülmüştür. Daha sonra yapılan deneysel çalışma analitik bir çalışma ile karşılaştırılmıştır. Çalışmanın sonucunda çerçevelerin enerji tüketme kapasitelerinde ve yatay yük taşıma kapasitelerinde artışlar meydana gelmiştir. Ayrıca çerçevenin beton kalitesi ve ankraj çubuklarının ankrajlarınında etkili olduğunu belirtmiştir. Yapılan betonarme dolgu güçlendirmesi yanında bölgesel güçlendirmenin de yatay yük taşıma kapasitesini artırdığını göstermiştir.

(Kappos ve Manafpour, 2001), çalışmalarında statik itme analizi ve lineer olmayan (nonlineer) dinamik analiz teknikleri kullanarak betonarme çerçeve yapıların deprem tasarımının yapılmasını incelemişlerdir. Bu amaçla üç katlı ve altı katlı olmak üzere iki yapı dikkate alınmıştır. Her iki yapı içinde elastik olmayan statik itme analizi, inelastik dinamik analiz ve elastik analiz olmak üzere Eurocode8'e göre yapılmıştır. Yapılan üç farklı analiz yöntemine göre yapılarda oluşan plastik mafsallaşmalar ve kapasite eğrileri belirlenmiştir. Yapılan çalışma sonucunda inelastik analiz yöntemlerinin daha gerçeğe yakın sonuç verdiğini tespit etmişlerdir. Ancak daha detaylı

ve kapsamlı araştırmaların yapılması gerektiğini belirtmişlerdir. Son olarak inelastik statik yöntemin, inelastik dinamik yönteme göre daha hızlı ve kolay olduğunu vurgulamışlardır.

(Pakdamar, 2001), çalışmasında yapının kapasite tasarımında önemli olan doğrusal olmayan statik itme analizinin uygulanmasından ve yapı performansının belirlenmesinden bahsetmiştir. FEMA-273 ve ATC-40 yönetmeliklerinde yapılan kabullere bağlı olarak değişimlerin nedenlerini araştırmıştır. Yönetmeliklere bağlı olarak yapılan kabuller, sınır şartlar detaylı olarak verilmiştir.

(Triantafillou, 2001), yaptığı çalışmada FRP ile yapıların güçlendirilmesini araştırmıştır. Özellikle kolonlar, kolon-kiriş birleşim bölgeleri ve duvarlarda FRP kullanımı üzerine yoğunlaşmıştır. İlk olarak temellerin güçlendirilmesinde kesme dayanımı, plastik mafsal oluşumu veya bindirme bölgesinde sargı etkisinin artırılması üzerinde durulmuş ve uygulanma tekniklerinden bahsedilmiştir. Yapılan çalışmalar sonucunda FRP kullanımı ile kolon ve kirişlerin kesme dayanımının arttığını görmüşlerdir. Ancak yazar FRP kullanımının etkili ve pratik olmasının yanında oldukça pahalı bir güçlendirme yöntemi olduğunu da vurgulamıştır.

(Lee ve Woo, 2002), çalışmalarında 1/5 ölçekli üç katlı betonarme çerçeve bir yapının deprem testini laboratuvar ortamında gerçekleştirmişlerdir. Yapılan çalışma iki aşamalı olarak devam etmiştir. İlk olarak yapı statik itme (pushover) analizine tabi tutulmuştur. Daha sonra depremi benzeştiren hareket oluşturularak dinamik yükleme gerçekleştirilmiştir. Laboratuvar ortamında gerçekleştirilen test bilgisayarda simülasyonu yapılarak analizleri tamamlanmıştır. Deneysel çalışmalar ile simülasyon çalışmaları değerlendirilerek karşılaştırma yapılmıştır.

(Mwafy ve Elnashai, 2002), çalışmalarında statik itme analizi (pushover) kullanarak yönetmeliklerdeki deprem yükü azaltma katsayısı olan R değerinin hesaplanması üzerine analitik çalışmalar yapmışlardır. Yaptıkları çalışmada farklı özelliklere sahip 12 adet yapının 8 adet farklı deprem kaydı dikkate alınarak pushover analizlerini gerçekleştirmişlerdir. Analitik çalışma sonucunda aşağıdaki bilgilere ulaşılmıştır:

1. R katsayının en düşük değeri perde-çerçeveli sistemlerde ortaya çıkmıştır.
2. Sünekliği düşük betonarme yapılarda kesmeden oluşan göçme, zemin hareketinin şiddetini tanımlayan kontrol parametresidir.

(Anıl, 2002), çalışmasında tek katlı tek açıklıklı 9 adet betonarme dolgu duvarlı çerçevenin laboratuvar ortamında depremi benzeştiren deprem analizlerini gerçekleştirmiştir. Yapılan çalışmada dikkate alınan temel parametreler dolgu duvardaki boşluk alanı ve boşluğun yeridir. Bu iki parametreye bağlı olarak değişen süneklik, dayanım, rijitlik ve enerji tüketme kapasiteleri incelenmiştir. Bu amaçla bir adet boş çerçeve, bir adet bir döküm çerçeve ve 7 adet güçlendirilmiş çerçeve analizleri yapılmıştır. Daha sonra deneysel sonuçlarla karşılaştırmak üzere bir dizi analitik çalışmalar literatürde var olan amprik denklemler kullanılarak yapılmıştır. Sonuç olarak deneysel ve analitik çalışmalar sonucunda temel alınan iki parametrenin tasarımı ve detaylandırılması için aşağıdaki sonuçlara ulaşılmıştır:

1. Dolgu duvarların enerji tüketme kapasiteleri boş çerçeveye göre daha fazla olduğu görülmüştür.
2. Bir döküm betonarme çerçeve boş çerçeveye göre 7 kat fazla enerji tüketmiştir.
3. Aynı zamanda dolgu duvarlı çerçeveye göre de 1,5-2,6 kat fazla enerji tüketmiştir.
4. Betonarme çerçevede var olan dolgu duvar, çerçevenin yatay yük taşıma kapasitesinde ve rijitliğinde önemli ölçüde artışlar sağlamıştır
5. Depreme karşı yapılacak güçlendirme yöntemi arasında betonarme çerçeve sistemlerde dolgu duvarların kullanılmasının uygun olduğu belirtilmiştir.

(Özbalaban, 2002), yaptığı çalışmada betonarme bir yapının perde ilavesi ile güçlendirmenin sağlanmasını araştırmak üzere bir dizi analitik çalışma yapmıştır. 1998 Türk Deprem Yönetmeliğine göre yapılan analiz deprem yükü azaltma katsayısının değişimine göre yapılmıştır. Çalışmada 6 katlı betonarme bir yapının 1975 yönetmeliğine göre yapıldığı belirtilmiş ve daha sonra aynı yapı 1998 deprem yönetmeliğine göre analiz edilmiş ve ilgili yapının deprem güvenliği incelenmiştir. 1998 deprem yönetmeliğine göre yeterli dayanıma sahip olmadığı tespit edilen yapı perde duvar ilavesi ile güçlendirilmiştir. 6 katlı betonarme yapının değerlendirilmesinde deprem yükü azaltma katsayısı 4 olarak hesaplara katılmıştır. Yapılan analiz sonucunda 2. ve 3. katlardaki göreli kat ötelemelerinde deprem yönetmeliğinde bahsedilen sınır değerlere çok yaklaşıldığı ve çok sayıda kolonda moment taşıma kapasitesinin aşıldığı görülmüştür. Güçlendirme amacıyla bahsedilen yapıya 4 adet betonarme perde duvar ilave edilmiş ve aşağıdaki sonuçlara ulaşılmıştır:

1. Betonarme çerçeve elemanlarının her birine gelen kesit tesirleri özellikle kesme kuvvetleri azalmıştır.
2. Yapıya gelen yatay yükün büyük bir kısmı ilave edilen perde duvarlar tarafından taşınmış olup çerçevelerin etkinliği azalmıştır.
3. Perde duvarlarda oluşan eğilme momenti kapasitesinin tasarım momentine yakın olduğu düşünüldüğünde, sistem kapasitesinin talep edilenden daha düşük olmasını engellemek için daha fazla perde duvar eklenmesi gerektiği belirtilmiştir.
4. Binaya çok sayıda narin perde duvarların eklenmesi durumunda, hem etkilerin zemine iletilmesinde kolaylık olacağı hem de daha homojen bir kuvvet dağılımının olacağı belirtilmiştir.

(Burtz, 2003), çalışmasında ankrajların kenara olan uzaklıklarının dayanıma etkisini araştırmak için iki ayrı deney serisinde analizler yapmıştır. Bunlardan birincisi tekil ankraj ikincisi ise grup ankraj serisidir. Yapılan çalışmadaki amaç ankraj deliklerinin açılmasında ve ankrajın bir kenara daha yakın olması durumunda davranıştaki değişimlerin tespit edilmesidir. Birinci grup numunede, ankrajlar çekirdek kısımlara ekilmiş ve daha sonra üzerine beton dökülerek teste tabi tutulmuştur. İkinci grupta ise numunelere delik açıldıktan sonra epoksi ile ankrajlar yerleştirilmiş ve deneye tabi tutulmuştur. Bu iki grup ankrajda da ankrajın kenara olan mesafesi 38 cm alınmıştır. Son gruptaki ankrajlar da ankrajlar bir kenara 19 cm, 15 cm ve 11 cm olacak şekilde yerleştirilmiştir. Ankrajların çapı Ø16 (16 mm) ve derinliği 13 cm seçilmiştir. Grup deneyleri iki grup şeklinde gerçekleşmiştir:

1. İlk grupta 4 adet Ø16'lık ankrajdan oluşan seride, ankrajlar arası mesafe 22 cm seçilmiştir.
2. İkinci grupta ise 4 adet Ø19'luk ankrajdan oluşan seride, ankrajlar arası mesafe 22 cm olarak seçilmiştir.

Yapılan deneysel çalışma sonucunda ise aşağıdaki sonuçlara varılmıştır:

1. Beton dökülürken çekirdek kısmına bırakılan ankrajların çekme dayanımı, numunelerin delinmesinden sonra yerleştirilen ankrajların çekme dayanımından % 8 daha fazla olduğu görülmüştür.
2. Ankrajların kenara olan mesafelerinin 19 cm'den 11 cm'e düşmesiyle kırılma yükü beklenenden çok daha az azalmıştır.
3. Davranış biçimindeki değişim en fazla grup ankrajlarında görülmüştür.

4. Ø16/12 cm olan 4 ankrajın ortalama 28 ton yük taşıdığı görülürken, Ø19/22 cm olan akrajın ortalama kırılma yükü 45 ton olarak ölçülmüştür.

(İlki ve ark., 2003), çalışmalarında daha önce deprem testleri yapılmış numunelerin epoksi enjeksiyonu ve tamir harcı ile onarıldıktan sonra enine ve boyuna doğrultuda çelik korniyer ve lamalar ile güçlendirilmesini sağlamışlardır. Güçlendirme işlemi tamamlandıktan sonra numuneler daha önce yapılan yükleme şartlarına benzer şekilde deprem testine tabi tutulmuştur. Daha sonra deneysel çalışma sonucunda moment-eğrilik ilişkisinde iyileşme olduğu tespit edilmiş ve analitik çalışma ile de desteklenmiştir. Yapılan deneysel ve analitik çalışma sonucunda aşağıdaki sonuçlara varılmıştır:

1. Tercih edilen güçlendirme yönteminin pratik ve ekonomik olduğu dolayısıyla hasarlı betonarme kesitlerin performansları için kullanılabileceği belirtilmiştir.
2. Güçlendirme yönteminin yapı sistemleri içinde kullanılabilmesi için birleşim bölgelerinin de güçlendirilmesi gerektiği önerilmektedir.

(Duvarcı, 2003), çalışmasında depremin tersinir-tekrarlanır hareketini benzeştirmek için düşey deney düzeneği geliştirmiştir. Bunun için iki katlı ve tek açıklı beş adet betonarme çerçeve üretmiştir. Deney düzeneğini kontrol etmek amacıyla ilk iki numuneyi test amaçlı kullanmıştır. Daha sonra üçüncü çerçeve deney numunesini referans olarak değerlendirmiştir. Son olarak farklı geometriye sahip beton panellerle dolgu duvarların güçlendirilmesini test etmiştir. Yapılan çalışma sonucunda geliştirilen deney düzeneğinin etkili bir şekilde çalıştığı ve güçlendirilmiş çerçevelerin sünekliğinin arttığı görülmüştür.

(Faella ve ark., 2004), çalışmalarında italya'da var olan deprem dayanımı düşük birleşim bölgelerinde etriye yetersizliği olan, etriye kancaları 90^0 olan betonarme binaları araştırmışlardır. Yeterli ankraj boyuna sahip olmayan beton dayanımı düşük binaların çelik çaprazlar ve kolon kirişlerin mantolanması ile güçlendirilmesi analitik çalışma ile sağlanmıştır. Kullanılan güçlendirme yöntemlerinden çelik çaprazların eleman bazında daha zayıf davranış gösterdiği analitik çalışma neticesinde ortaya konulmuştur.

(Hamutcuoğlu ve ark., 2004), çalışmasında 4, 5 ve 6 katlı toplam 48 adet betonarme binaya lineer olmayan statik itme analizi (pushover) uygulamışlardır.

Dikkate alınan binaların ortak özelliği yapısal kusurlara sahip az katlı yapılar olmasıdır. Yapılan analitik çalışma sonucunda çerçevenin deplasman sünekliği yönetmelikte 4 olarak önerilmesine rağmen yaklaşık 1,5 olarak bulunmuştur. Ayrıca kolon bindirme boyunun yetersizliği, kolon boyutlarının yetersizliği ve oluşan ilave eksenel yüklerden dolayı yapının yatay yük taşıma kapasitesi % 30 oranında azalmıştır.

(Sezer, 2004), çalışmasında Kandilli Rasathanesi ve Deprem Araştırma Enstitüsü'nde inşa edilmiş 1/2 ölçekli üç boyutlu betonarme bir çerçevenin deprem testini yapmıştır. Bu çalışmadaki amaç, deprem performansını artıracak hızlı ve etkili bir güçlendirme yönteminin araştırılmasıdır. Bunun için fabrikada imalatı yapılan çelik paneller hazırlanmıştır. Daha sonra gerçek bir deprem kaydı altında yapı orta hasarlı duruma gelene kadar yükleme yapılmıştır. Orta hasar durumunda olan çerçeveye hazırlanan çelik paneller yerleştirilmiş ve aynı deprem kaydı altında tekrar yükleme yapılmıştır. Yapılan çalışma sonucunda önerilen güçlendirme tekniği TDY-2007'ye göre değerlendirilmiş ve pratik bir güçlendirme olabileceği belirtilmiştir.

(Süsoy, 2004), çalışmasında ülkemizdeki mevcut yapılarda sıklıkla karşılaşılan düşük beton dayanımı, nervürsüz donatı kullanımı, bindirme boyu yetersizliği ve güçlü kiriş zayıf kolon özelliklerine sahip bir dizi betonarme çerçevenin güçlendirilmesine yönelik çalışmalar yapmıştır. Bu amaçla biri referans ve diğer dördü güçlendirilmiş olmak üzere 5 adet betonarme çerçeve 1/3 ölçekli, tek katlı ve tek açıklıklı olacak şekilde üretilmiştir. Güçlendirme yöntemi olarak önüretimli paneller tercih edilmiştir. Daha sonra güçlendirilen deney numuneleri sabit düşey yük altında depremi benzeştiren tersinir tekrarlanır yatay yük altında test edilmiştir. Panellerin ilk ikisinde kayma kamaları oluşacak şekilde imalat yapılmışken diğer ikisinde yapılmamıştır. Panellerin duvara montajında ise SikaDur-31 epoxy harcı kullanılmıştır. Çerçeve numunelerin bir grubuna ait kolon donatıları sürekli olarak üretilmişken diğer gruptaki çerçevelerde temel seviyesinde bindirme yapılmıştır. İlk iki panel kareye yakın imal edilmişken diğer iki panel kat seviyesi boyunca imal edilmiş ve duvara montajı yapılmıştır. Yapılan deneysel çalışma sonucunda ise aşağıdaki sonuçlara ulaşılmıştır:

1. Güçlendirilmiş deney numunelerinin yatay yük taşıma kapasitelerindeki artış referans numuneye göre yaklaşık 2,5 kat artmıştır. Aynı zamanda rijitlikteki artışta 3,3 kat olarak belirlenmiştir.

2. Bazı çerçevelere yapılan kaynaklı birleşim ve kayma kamalarının kullanılmasına gerek olmadığı anlaşılmıştır.
3. Kolon donatıları temel seviyesinde bindirmeli yapılan çerçevelerde kayma problemi olduğu görülmüştür.
4. Yatay yük taşıma kapasitesine, bindirmeli ek ve düşük seviyede olan eksenel yük olumsuz etki yapmıştır.
5. Son olarak düşük seviyede eksenel yükün olması, kolonların eğilme kapasitesini de düşürmüştür.

(Yavuz, 2005), çalışmasında 1/3 ölçekli, 2 adet boş ve 4 adet de orta kolonundan itibaren kısmi betonarme perde eklenmesi ile güçlendirilmiş toplam 6 adet deney numunesi iki katlı ve iki açıklıklı olacak şekilde deprem testlerine tabi tutulmuştur. Numuneler piyasada mevcut olan dayanımı düşük yapıyı temsil edecek özelliklere sahip olarak üretilmiştir. Güçlendirme yapılan 4 adet çerçevede dikkate alınan perde uzunluğu 600 mm ve 900 mm'dir. Yapılan deneysel çalışma sonucunda güçlendirme yapılan numunelerdeki yatay yük taşıma kapasitesi referans numuneye göre 2,35-3,67 oranında artışa neden olmuştur. Rijitlik bakımından incelendiğinde ise güçlendirilmiş numuneler 4,95-14,50 kat fazla olduğu görülmüştür. Güçlendirme amaçlı eklenen perdenin başarısının göstergesi maksimum yük seviyesinde çerçeve numunede hiçbir şekilde hasar görülmemesidir. Son olarak deneysel çalışma sonuçları ile nonlineer analiz yapan SAP2000 sonuçları birbirine yakın çıkmıştır.

(Baran, 2005), çalışmasında 1 adet referans ve 6 adet önüretimli yüksek dayanımlı beton/betonarme paneller olmak üzere toplam 7 adet, 2 katlı, tek açıklıklı 1/3 ölçekli betonarme çerçeveleri depremi benzeştiren tersinir-tekrarlanır yükler altında test etmiştir. Yapılan çalışmada önüretimli yüksek dayanımlı paneller kullanılarak sistemde yerinde dökme betonarme perde duvar gibi davranış elde edilip edilmeyeceği araştırılmıştır. Çalışmanın bir başka özelliği ise diğer güçlendirme yöntemlerinin aksine yapının boşaltılmasını gerektirmeyen hızlı ve pratik bir yöntem olup olmadığının tespit edilmesi üzerinedir. *ODTÜ Deprem Laboratuvarında* yapılan ve yeni bir düzenek kurularak gerçekleştirilen çalışma toplam 14 adet çerçevenin denenmesi ile gerçekleşmiştir. Deneysel çalışma sonucunda aşağıdaki bilgiler elde edilmiştir:

1. Farklı geometrik önüretimli panellerin üretilmesi ile güçlendirilen dolgu duvarlı çerçevelerin yatay yük taşıma kapasiteleri referans çerçeveye göre 2,24-2,77 kat artış sağladığı görülmüştür.
2. Başlangıç rijitliklerinde ise 1,72-3,07 kat artış sağlanırken, enerji tüketme kapasiteleri bakımından 1,44-3,86 kat artışın sağlandığı gözlenmiştir.
3. Analitik kısımda dolgu duvarların hem eşdeğer basınç çubuğu hem de eş değer kalınlığa sahip perde duvarlar olarak modellenmesi ile deneysel çalışma ile karşılaştırma yapılmıştır. Deneysel ve analitik çalışma sonuçları da birbirini destekler nitelikte olmuştur.

(Kaltakcı ve Arslan, 2005), çalışmalarında dolgu duvarlar üzerine bir dizi incelemeler yapmışlardır. Yapılan çalışma sonucunda dolgu duvar kaplı çerçevelerin kapasite eğrilerinin hesaplanmasında R katsayısı değişiminin önemli olduğunu vurgulamışlardır. TDY-2007'de R katsayısının revize edilmesi gerektiği söylenilmiştir.

(Karslıoğlu, 2005), yaptığı yüksek lisans çalışmasında SAP2000 yapı analiz programını kullanarak tuğla dolgu duvarların betonarme yapılarda var olması durumunda davranışa olan etkisini incelemiştir. İncelemiş olduğu betonarme yapı 2 bodrum, 1 zemin, 1 asma kata sahip olup 10 katlıdır. Bu 10 katlı betonarme yapının tuğla dolgu duvarlı olması ve olmaması durumu için dinamik analiz gerçekleştirmiştir. Yapılan tez çalışması sonucunda ise yapıya gelen maksimum deprem kuvveti, deplasman ve periyotta değişimleri nedenleri ile açıklamıştır.

(Ceritli, 2006), çalışmasında yapılara uygulanan mantolama ve yerinde dökme betonarme perde duvar eklenmesi durumlarını araştırmıştır. Bunun için depremden sonra hasar alan yapıların bu yöntemlerle güçlendirilmesini incelemiştir. Yapılarda oluşan hasarlara bağlı olarak yapılan mantolama ve perde eklenmesi durumlarına değinmiş, olası deprem durumlarında can ve mal kaybına yol açmayacak uygun güçlendirme yöntemi ve boyutlandırma detaylarından bahsetmiştir.

(Korkmaz, 2006), çalışmasında zaman tanım alanında dinamik analiz yaparak 10, 12, 14 ve 16 katlı betonarme bir yapının artımsal itme analizini gerçekleştirmiştir. Yapılan çalışmada farklı katlara sahip betonarme yapılar için 30 farklı deprem ivme kaydını dikkate almıştır. Yapılan çalışma sonucunda ise artımsal itme analizi yöntemi ile zaman tanım alanında dinamik analiz yönteminin karşılaştırılmasını yapmıştır. Bu

çalışma sonucunda artımsal itme analizinin kullanılabilir bir yöntem olup olmadığı araştırılmıştır.

(Şirin, 2006), çalışmasında Türkiye'de var olan yapılarda meydana gelen hasarların oluşum nedenlerini ve alınması gereken önlemlerin yapı inşaatına başlamadan önce düşünülmesi gerektiğini vurgulamıştır. Yapmış olduğu tez çalışmasında da betonarme bir yapının güçlendirilmesini bu doğrultuda gerçekleştirmiştir. Proje aşamasında alınması gereken önlemlerden bahsetmiştir.

(Erdem ve ark., 2006), çalışmalarında iki farklı güçlendirme tekniğini araştırmışlardır. Bunlardan biri çerçevenin iç açıklığının yerinde dökme perde duvar ile doldurulması, diğeri ise CFRP ile güçlendirilmesidir. Bu amaçla 1/3 ölçekli olacak şekilde tuğla dolgu duvarlı çerçeve iki katlı ve üç açıklıklı olacak şekilde üretilmiştir. Üretilen çerçeveler ülkemizde var olan yapılardaki eksiklikler göz önüne alınarak yapılmıştır. Depremi benzeştiren tersinir-tekrarlanır yatay yükler altında yapılan deneysel çalışma sonuçları aşağıda özetlenmiştir:

1. Tuğla dolgu duvarlı betonarme çerçevenin CFRP ile güçlendirilmesi sonucunda çerçevenin kapasitesinde 4,6 kat artış sağlanmıştır.
2. Yerinde dökme betonarme perde duvar eklenmesi ile yapılan güçlendirme sonucunda ise yatay yük taşıma kapasitesi 5 kat artmıştır.
3. Rijitlik bakımından yapılan karşılaştırma sonucunda perde duvardaki rijitliğin daha fazla olduğu tespit edilmiştir.

(Seyhan, 2006), çalışmasında ankrajlara ait bir takım parametreleri dikkate alarak incelemeler yapmıştır. Ülkemizdeki mevcut yapılarda kullanılan zayıf beton sınıfı olarak kabul edilen 16 MPa basınç dayanımına sahip 7 adet beton plakayı ankraj testlerinde kullanmıştır. Toplam 80 adet ankraja çekme testi yapılmıştır. Yapılan çalışma sonucunda ankraj deliği çapının büyümesi ile sınırlı bir etki gösterebildiği belirtilmiştir. Ancak ankrajları deliklere yerleştirirken kullanılan yapıştırıcının ankraj kapasitesinde çok önemli olduğu vurgulanmıştır.

(Anil ve Altin, 2007), çalışmalarında dolgu duvarlarda açılan (pencere gibi) boşluk oranı ve boşluk yerinin değişiminin çerçeve kapasitesi üzerindeki değişimini incelemişlerdir. Bu amaçla 1/3 ölçeğe sahip tek katlı ve tek açıklığa sahip 9 adet betonarme dolgu duvarlı çerçeve depremi benzeştiren tersinir tekrarlanır yatay

yüklemeye laboratuvar ortamında tabi tutulmuştur. Daha sonra deneysel çalışmaların desteklenmesi amacıyla IDARC-2D programı yardımıyla analitik çalışmaları yapılmıştır. Yapılan çalışma sonucunda aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir:

1. Çerçevelerde bulunan iç perde duvarın boyutlarının artırılmasıyla sistemin kapasitesinin ve rijitliğinin ciddi oranda arttığı tespit edilmiştir.
2. İç perde duvarın kolon ve kirişe bağlanması ile daha iyi bir dayanım elde edilmiştir.

(Kaya, 2007), çalışmasında epoksi esaslı yapıştırıcıların ankraj uygulamalarında kullanılması durumunda ankraj davranışının değişimini incelemiştir. Yapılan güçlendirme çalışmalarında ankrajların genellikle düşük dayanıma sahip betonlara uygulandığını belirtmiş ve bunu temsil eden beton üreterek epoksi esaslı yapıştırıcının ankraj üzerindeki dayanımını tespit etmek için bir dizi eksenel çekme testleri yapmıştır. Ankrajlar uygulanırken yüzeyinde toz bulunup bulunmaması durumları için deneyler yapmıştır. Bir başka deneyde de kısmi bağlı ankrajların davranış üzerindeki etkisini araştırmışlardır. Yapılan deneysel çalışmada pürüzlü yüzeye sahip nervürlü olarak bilinen Ø16 çapına sahip ankrajlar kullanılmıştır. Yapılan deneysel çalışma sonuçları aşağıda belirtilmiştir:

1. Ankraj uygulama derinliği arttıkça (6Ø'den 12Ø'ye) göçme yükü de artmıştır.
2. Tam bağlı ankrajların yapıştırılması için kullanılan epoksinin dayanımı 9 MPa olarak ölçülmüştür.
3. Kısmi bağlı ankrajın aynı derinlikte tam bağlı ankraja göre dayanımının 2 kat daha fazla olduğu görülmüştür.

(Binici ve ark., 2007), yaptıkları çalışmada dolgu duvarlı dayanımı düşük betonarme çerçevelerin FRP ile güçlendirilmesini araştırmışlardır. Zemin katta oluşan hasarları azaltmak için FRP ile dolgu duvar ve çerçeveler sarılmıştır. Daha önce ODTÜ laboratuvarlarında yapılan deneysel çalışmalar dikkate alınarak analitik modeli yapılan program sayesinde FRP ile güçlendirmenin bu program ile yapılması amaçlanmıştır. Mevcut bir yapının FRP kullanılarak tasarımı yerel spektrum ve Düzce deprem ivme kayıtları dikkate alınarak yapılmıştır. Yapılan çalışma sonucunda kullanılan güçlendirme yönteminin her bir kattaki deformasyon kontrolü açısından önemli olduğu ve zayıf kolonlarda uygulanması ile hasar seviyesinin düştüğü tespit edilmiştir. Önerilen

güçlendirme yöntemi ile daha ekonomik performansı yüksek yapıların oluşturulabileceği vurgulanmıştır.

(Alsancak, 2007), yaptığı tez çalışmasında tuğla dolgulu betonarme çerçevelerin hasır çelik ile güçlendirilmesini araştırmıştır. Yapılan deneysel çalışma püskürtme betonun dolgu duvar üzerine yerleştirilen hasır çelik plakalara püskürtülmesi ile gerçekleşmiştir. Güçlendirilmesi sağlanan betonarme çerçeveler daha sonra depremi benzeştiren tersinir tekrarlanır yatay yük altında denenmiştir. Perde duvar ile karşılaştırılması yapılan deneysel çalışmada püskürtme betonun pratik ve ekonomik olup olmadığı araştırılmıştır. Ayrıca yapılan deneysel çalışma analitik çalışma ile desteklenmiş olup püskürtme beton ve hasır çelik ile güçlendirmenin sistem davranışını iyileştirdiği ve performansın arttığı belirtilmiştir.

(Altin ve ark., 2008), çalışmalarında 1/3 geometrik ölçekli iki katlı, tek açıklıklı 6 adet sünek davranış göstermeyen betonarme çerçeve test edilmiştir. Bu çalışmada çerçevelerin betonarme dolgularla güçlendirilmesi araştırılmıştır. Türkiye'de var olan yapılara ait kusurları içeren çerçevelerin güçlendirilmesinde ankraj boyları, yerleşimleri ve donatıların bindirmeli ekleri araştırılmıştır. 5 adet güçlendirilmiş çerçevelerde yapılan bindirmeler kat hizasında olacak şekilde yapılmıştır. Yapılan güçlendirme üç farklı şekilde gerçekleştirilmiştir.

1. Dolgu duvarın her iki tarafına betonarme kolonların eklenmesi,
2. Katlar arasında boydan boya donatıların sürekli devam etmesi,
3. Yapılan bindirmelerin kaynak kullanılarak yapılması şeklindedir.

Yapılan deneysel çalışmada çerçeveler için kullanılan beton sınıfı C15 iken, güçlendirme amaçlı kullanılan elemanlarda beton sınıfı C30 olarak alınmıştır. Eksenel yükün ihmal edildiği deneysel çalışmada alt kata 1 birim ve üst kata 2 birim yük gelecek şekilde depremi benzeştiren tersinir-tekrarlanır yatay yük altında numuneler test edilmiştir. Betonarme dolgularla yapılan güçlendirme sonucunda yatay yük taşıma kapasitesi 5 ila 12 kat arasında artış göstermiştir. Ayrıca boş çerçeveye göre enerji tüketme kapasitesi, rijitlik değerleri de yüksek çıkmıştır. Son olarak bindirmenin yetersiz olduğu çerçevenin betonarme dolgu ile güçlendirilmesi sonucunda dayanım ve rijitliğinde artış sağlanmıştır.

(Demir ve ark., 2009), çalışmalarında reçine içeren epoksi kullanarak nervürlü ve nervürsüz ankraj donatılarının dayanımını çekme uygulayarak test etmişlerdir.

Yapılan çalışmada ankraj çubuklarının çapları ve daldırma derinlikleri parametrik araştırma konusu olmuştur. Çalışma sonucunda aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir:

1. Ankraj çapı ile açılan delik çapı birbirine ne kadar yakın olursa sıyrılmaya karşı direncin arttığı görülmüştür.
2. Nervürsüz ankraj donatılarında kenetlenmenin azalması kullanılan epoksi ile donatı arasındaki bağın kopması ile oluştuğu belirtilmiştir.
3. Nervürlü donatılar da çekme işleminde betondan sıyrılma oldukça zor olduğundan beton yüzeyinde konik çatlaklar oluşmuştur.

(Sümengen, 2009), yapılan yüksek lisans tez çalışmasında özellikle Türkiye'de sıkça kullanılan mantolama ve yerinde dökme betonarme perde ile güçlendirme yöntemlerini araştırmıştır. Çalışmadaki amaç bu iki güçlendirme yöntemini hasar olasılık eğrileri kullanarak performans değişimini tespit etmektir. Yalnızca analitik çalışması yapılan tezde 3 adet betonarme yapı statik itme analizine tabi tutulmuştur. Analiz sonucu elde edilen modal kapasite eğrileri kullanılarak 30 farklı yer ivme kaydı ile zaman tanım alanında doğrusal olmayan hesapla hasar olasılık eğrileri elde edilmiştir. Daha sonra hasar olasılık eğrileri birleştirilerek güçlendirme yöntemi değerlendirilmiştir.

(Öztürk, 2010), *S.Ü. Yapı ve Deprem Laboratuvarında* gerçekleştirdiği doktora çalışmasında 1/2 geometrik ölçekli 2 katlı, 1 açıklıklı, çerçeve üretmiştir. Bu çerçevelerden 1 adet referans, 2 adet bağ kirişli betonarme dış perde duvar ile güçlendirilmiş ve 1 adet bağ kirişsiz betonarme dış perde duvar ile güçlendirilmiş olmak üzere toplam 4 adet numuneyi depremi benzeştiren tersinir-tekrarlanır yatay yükleme altında test etmiştir. Üretilen çerçevelerin dayanımı ve beton sınıfı düşük, etriye sıklaştırması olmayan piyasadaki mevcut yapının benzeri oluşturulmuştur. Yapılan çalışmadaki amaç betonarme çerçevelerin bağ kirişli ve bağ kirişsiz olarak dış perde duvarla güçlendirilmesinin araştırılmasıdır. Yapılan deneysel ve analitik çalışmalar sonucunda güçlendirilmiş numunelerin kapasitelerinde artış sağlandığı tespit edilmiştir.

(Baran ve ark., 2010), çalışmalarında önüretimli yüksek dayanımlı beton/betonarme paneller kullanarak dolgu duvarlı çerçevelerin güçlendirilmesini sağlayacak yeni güçlendirme tekniğini denemişlerdir. Bu amaçla 18 adet 1/3 ölçekli tek açıklıklı, bir veya iki katlı tuğla dolgulu çerçevelerin güçlendirilmesiyle bir dizi test yapmışlardır. Deneysel çalışma ile birlikte tuğla duvarları önüretimli yüksek dayanımlı

beton/betonarme paneller ile güçlendirdikten sonra analitik hesap yöntemi olarak eş değer basınç çubuğu ve eşdeğer kalınlık ilkesini dikkate alarak çözüm yapmışlardır. Analitik çalışma sonucunda her iki modelleme tekniğinin de deneysel çalışma sonuçlarına yakın olmasından dolayı çerçevelerin yatay yük taşıma kapasitelerinin belirlenmesinde kullanılabileceğini belirtmişlerdir. Son olarak kullanılan her iki güçlendirme modeli mevcut yapıların elastik modellemelerine adapte edilebileceği belirtilmiştir.

(Özdöner, 2011), *S.Ü. Yapı ve Deprem Laboratuvarında* gerçekleştirilen doktora çalışması, bina sakinlerinin binayı boşaltmalarına gerek kalmayacak bir güçlendirme tekniği ile güçlendirilmesini kapsamaktadır. Çalışmada 1/3 ölçekli 2 katlı ve 2 açıklıklı depreme karşı yeterli dayanım rijitlik ve sünekliğe sahip olmayan bir adet referans ve 2 adet farklı prefabrik dış panellerle güçlendirilmiş numuneler depremi benzeştiren sismik teste tabi tutulmuştur. Yapılan deneysel çalışmalar SAP2000 yapı analiz programında gerçekleştirilen statik itme analizleriyle de desteklenmiştir. Sonuç olarak dış perde duvar ile yapılan güçlendirmenin sistemin rijitlik, enerji tüketme kapasitesi ve yatay yük taşıma kapasitesini artırdığı görülmüştür.

(Akın, 2011), *S.Ü. Yapı ve Deprem Laboratuvarında* 1/2 ölçekli iki katlı tek açıklıklı boşluklu tuğla dolgu duvarlı betonarme çerçeveyi farklı geometrik şekillere sahip önüretimli beton paneller ile güçlendirmiştir. Bu amaçla toplam 5 adet güçlendirilmiş çerçeve ve 1 adet boşluklu tuğla dolgu duvarlı betonarme çerçeve depremi benzeştiren tersinir-tekrarlanır yatay yükleme altında test edilmiştir. Yapılan çalışmada amaç önüretimli paneller ile güçlendirmenin çerçevenin yatay yük taşıma kapasitesini, enerji yutma kapasitesini ve rijitlik gibi değerlerini artırıp artırmadığını araştırmaktır. Yapılan deneysel çalışma sonucunda önüretimli paneller çerçevenin yatay yük taşıma kapasitesini 1,58 kat ile 3 kata kadar artırmıştır. İleri yük seviyelerinde ankrajların panellerden sıyrıldığı ve yapılacak yeni çalışmalarda dikkat edilmesi gerektiği önerilmiştir. Son olarak önüretimli paneller ile yapılan güçlendirmenin (Baran ve ark., 2010), yaptıkları çalışmaları destekler nitelikte olduğu ve alternatif bir güçlendirme yöntemi olarak kullanılabileceğini göstermektedir.

(Ünal, 2012), *S.Ü. Yapı ve Deprem Laboratuvarında* yaptığı çalışmasında ürettiği 1/3 ölçeğe sahip betonarme çerçeveler 2 katlı olup tek açıklığa sahiptir. Kuvvetli kiriş ve zayıf kolon oluşumunu sağlamak için kolonlar 100x150mm kirişler ise

150x150mm alınmıştır. Temel boyutları da 500x700x2500 mm alınarak ankastre mesnet olacak şekilde tasarlanmıştır. Güçlendirme amacıyla 1 adet referans ve 3 adet betonarme çerçeve mantolanarak güçlendirilmesi araştırılmıştır. Güçlendirilmiş deney numunelerinden birisi betonarme çerçevenin mantolanması şeklinde iken diğer ikisi düzlem dışı perde eklenmesi durumunda güçlendirilmesini kapsamaktadır. Yapılan çalışmada başlangıç rijitlikleri büyükten küçüğe sıralanırsa, pencere boşluklu tam perdeli numune, 2 perdeli bağ kirişsiz numune, kolon mantolu numune ve son olarak da referans numunedir. Enerji tüketim değerleri bakımından incelenirse büyükten küçüğe pencere boşluklu tam perdeli numune, 2 perdeli numune, kolonları mantolu numune ve son olarak da referans numune olduğu belirtilmiştir.

(Özbek ve Can, 2012), çalışmalarında betonarme çerçeve içerisindeki dolgu duvarın çelik profiller ile güçlendirilmesini araştırmışlardır. Yapılan çalışma ile hedeflenen yurt dışından ithal edilen karbon lifli kumaşlara alternatif olacak daha ucuz ve yerli üretim olan çelik profillerin tercih edilmesi gerektiği üzerinedir. Bu amaçla çerçevesiz olan mafsallı birleşimler ile oluşturulmuş sistem içine yerleştirilen tuğla dolgu duvarın farklı çaprazlar kullanılarak güçlendirilmesi esasına dayanır. Bu amaçla 1 adet referans ve 5 adet güçlendirilmiş numune tersinir tekrarlanır yatay yük altında test edilmiştir. Çelik profillerin farklı yerleşimler ile yapılan güçlendirme sonucunda dolgu duvarların yatay yük taşıma kapasitesi yaklaşık 3,5 kat, rijitlik değeri ise yaklaşık 3 kat artmıştır. Ayrıca uygulanan güçlendirme yönteminin betonarme çerçevede de denenmesi gerektiğini tavsiye etmişlerdir.

(Xhahysa ve Yardım, 2013), çalışmalarında FRP güçlendirmesini araştırmışlardır. Bunun için deneysel çalışma laboratuvarda, analitik çalışma ise ANSYS programında gerçekleştirilmiştir. ANSYS programı ile toplam 106 adımda analizi gerçekleştirilen güçlendirme dört ayrı numune ve iki farklı ankraj düzeni ile sonuçlar değerlendirilmiştir. Analizi gerçekleştirilen yapıda beton basınç dayanımı 31 MPa, boyutlar ise 150x150x300mm olarak alınmıştır. Çift bileşenli epoksi esaslı yapıştırıcının daha etkin olması için beton yüzeyi pürüzsüz olarak üretilmiş ve ankraj delikleri de temizlenmiştir. Dikdörtgen ve dairel olmak üzere iki kolona ankrajsız FRP uygulanmıştır. Sonuç olarak dairesel kolonlara uygulanan FRP dayanım bakımından daha iyi sonuç vermiştir.

(Demirkan, 2014), çalışmasında betonarme yapılarda depremden sonra oluşan hasarları incelemiş ve bu hasarlara karşı alınabilecek onarım ve güçlendirme

yöntemlerini araştırmıştır. Yapılan tez çalışmasında mevcut bir yapıya ait veriler dikkate alınarak yapının mevcut hali, perde eklenmesi ve tüm kolonların veya bazı kolonların güçlendirilmesi STA4Cad yapı analiz programında gerçekleştirilmiştir. Yapılan analiz sonucunda tüm kolonların mantolanması durumunda can güvenliği sağlanamamış ayrıca maliyet en yüksek bu güçlendirme yönteminde oluşmuştur. Sonuç olarak yapılan 3 farklı güçlendirme yönteminden maliyet açısından en uygun yöntemin sisteme sadece perde eklenmesi durumu olduğu tespit edilmiştir.

(Tekeli ve ark., 2014), çalışmalarında dolgu duvarların hasır çelik donatılı özel bir sıva ile güçlendirilmesini araştırmışlardır. Bu doğrultuda yapısal olarak aynı özelliklere sahip 1'i referans boş çerçeve ve diğer 3'ü betonarme dolgu duvarlı çerçeve olacak şekilde 4 adet çerçeve numune hazırlanmıştır. Tuğla dolgu duvarlardan 1 tanesi güçlendirilmemiş diğer 2 tanesi tek yüzüne olacak şekilde hasır donatılı sıva ile güçlendirilmiştir. Güçlendirilmiş numunelerdeki tek özellik ankraj aralığı ve işçilik kalitesidir. Yapılan çalışma sonucunda ise güçlendirilmiş çerçevelerin hem yanal yük taşıma kapasitesi hem de enerji yutma kapasitesinde artış olduğu tespit edilmiştir. Yanal yük taşıma kapasitesi bakımından aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir:

1. Dolgu duvarlı numunede %120
2. Seyrek ankraj ile güçlendirmede %160
3. Sık ankraj ile güçlendirmede %180 yalın numuneye göre artışlar elde edilmiştir.

İşçiliği kötü olan ankrajların yerleştirilmesi durumunda ise dolgu duvarlardan ankrajların ayrıldığı tespit edilmiştir. Ayrıca güçlendirmenin her iki yüze yapılmamasından dolayı güçlendirme olmayan tarafta X şeklinde çatlaklar meydana gelmiştir. Sonuç olarak yapılacak güçlendirmenin her iki yüzede yapılması gerektiği vurgulanmıştır.

(Baran ve ark., 2014), çalışmalarında önüretimli normal dayanımlı beton/betonarme paneller ile güçlendirme yöntemini araştırmışlardır. 1/2 ölçekli mafsallı birleşimlerden teşkil edilen deney düzeneği tek katlı tek açıklıklı olacak şekilde 1 adet referans ve 6 adet şerit beton/betonarme paneller ile depremi benzeştiren tersinir-tekrarlanır yatay yükler altında test edilmiştir. Panellerin duvara yapıştırılmasında piyasadan kolayca temin edilebilecek Kalekim yapıştırıcını tercih etmişlerdir. Yapılan çalışmadaki hedef maliyetleri olabildiğince düşürecek ve yatay yük taşıma kapasitesini artıracak güçlendirme alternatifini elde etmeye yöneliktir. Yapılan deneysel çalışma

sonucunda güçlendirilmiş numunelerde maksimum yanal yük taşıma kapasitesi 1,69 kat ile 2,49 kat arasında artış göstermiştir. Ayrıca kat ötelenme değerlerinin TDY 2007'de belirtilen güvenlik sınır değerlerini (%3) aşmadığından, can güvenliği seviyesine kadar etkinliklerini sürdürebileceği belirtilmiştir. Son olarak analitik çalışma ile elde edilen sonuçların deneysel verilere yakın çıkması ile kabul edilebilir olduğu sonucuna varılmıştır.

Yapılan literatür çalışmaları incelendiğinde insanların hayatlarını kolaylaştıracak hızlı ve pratik güçlendirme yöntemlerinin araştırıldığı görülmektedir. Bu amaçla yapılan bu tez çalışmasında da imalat sırasında bina sakinlerinin binayı terk etmelerine gerek kalmadan uygulanabilecek yeni bir güçlendirme tekniği denenmiştir. Bu doğrultuda, özellikle (ülkemizdeki) mevcut betonarme binalarda sıklıkla görülen hatalara sahip olarak üretilen 1/3 ölçekli, deprem dayanımı zayıf, iki katlı ve tek açıklıklı güçlendirilmemiş tuğla dolgu duvarlı bir adet referans betonarme çerçeve üretilmiştir. Ayrıca referans numune ile aynı özelliklere sahip 7 adet betonarme çerçeve dolgu duvarları, önüretimli yüksek dayanımlı farklı şekillerdeki çapraz beton paneller ile dolgu duvarın tek yüzüne uygulanmak suretiyle güçlendirilerek deprem etkisini benzeştiren tersinir – tekrarlanır yatay yükleme altındaki davranışları test edilmiştir. Deneysel çalışma sonucunda, betonarme çerçevelerin dayanım, rijitlik ve enerji tüketme kapasiteleri gibi özellikleri elde edilmiş ve güçlendirilmiş numuneler aynı özellikteki güçlendirilmemiş numune ile ve güçlendirilmiş numuneler de kendi aralarında karşılaştırılmıştır. Dolgu duvarlı betonarme çerçevelerin güçlendirilmesinde literatürde yapılan araştırmalar neticesinde önüretimli panellerin yerleşim şekli itibariyle ilk kez kullanılması çalışmayı özgün kılmaktadır.

Çalışmanın analitik kısmında ise SAP2000 ile yapılan statik itme analizinden elde edilen sonuçlar, deneysel verilerle karşılaştırılmıştır. Son bölümde ise, elde edilen deneysel ve analitik sonuçlar irdelenerek değerlendirilmiş ve bundan sonra yapılacak çalışmalar için önerilerde bulunulmuştur. Bu tezde, sınırlı sayıdaki deneysel çalışma neticesinde önüretimli çapraz beton panel uygulamasının, mevcut betonarme binaların deprem etkilerine karşı davranışına katkıları olumlu ve olumsuz yönleriyle ortaya konulmuştur.

3. MATERYAL VE METOT

Betonarme çerçevelerin güçlendirilmesine yönelik çok sayıda çalışmanın varlığı bir önceki bölümde detaylı olarak anlatılmıştı. Bu tez kapsamında da literatürde var olan güçlendirme yöntemlerine alternatif olacak etkili ve pratik bir güçlendirme yöntemi araştırılmıştır. Laboratuvar ortamında hazırlanan betonarme çerçeveler, uygulamada çoğunlukla karşılaşılan deprem dayanımı düşük yapıları temsil etmektedir. Bu amaçla tez kapsamında 1/3 geometrik ölçekli iki katlı, tek açıklıklı betonarme çerçeve numuneler hazırlanmıştır.

Hazırlanan betonarme çerçeveler:

1. Özellikle 1998 yönetmeliğinden önce yapılan yapılarda mevcut olan düşük beton dayanımına sahip olması (C16~C18),
2. TDY-2007'de istenilen güçlü kolon zayıf kiriş durumunun aksine güçlü kiriş zayıf kolon durumunun yapıda mevcut olması,
3. Yönetmelikte yapılması zorunlu olan 135 derece etriye kancalarının aksine 90^0 olması,
4. Kolon ve kirişlerde kullanılan etriyelerin düz yüzeyli olması ve ayrıca kolon kiriş birleşim bölgelerinde etriye sıklaştırmasının olmaması gibi yapım kusurlarına sahiptir.

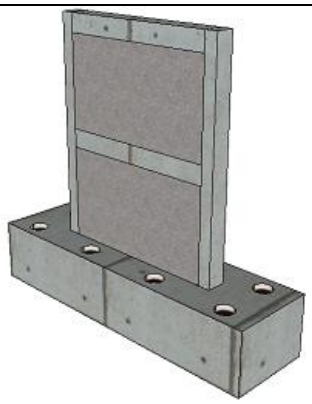
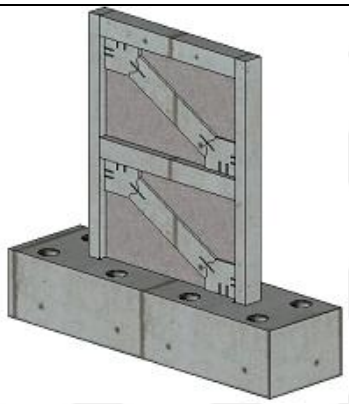
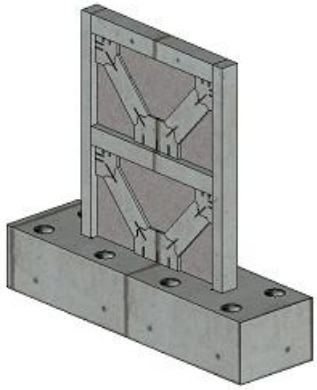
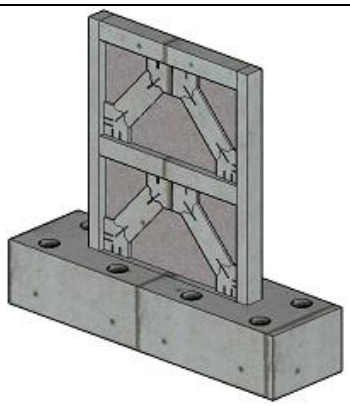
3.1. Deney Numuneleri

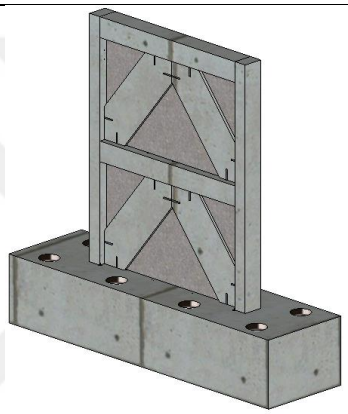
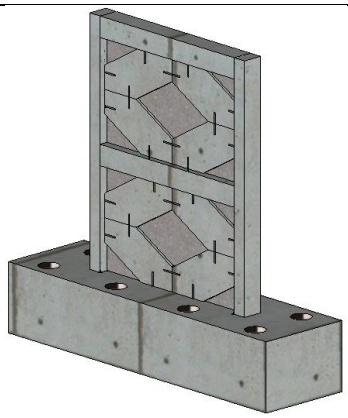
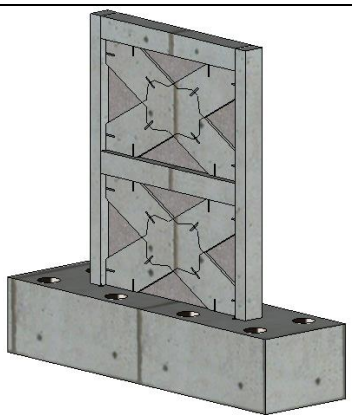
Uygulamada yapılan yapıların birebir laboratuvar ortamında üretilmesi ve deneylere tabi tutulması oldukça zor ve maliyetlidir. Bu nedenle deneysel çalışmalar belli hata payları göz önüne alınarak daha küçük ölçekli olacak şekilde 1/2, 1/3, vb. oranlarda yapılmaktadır. Bu sayede laboratuvar ortamında bulunan yük taşıma amaçlı 150 kN kapasiteli krenin taşıma kapasitesinin altındaki numuneler rahatlıkla taşınabilmektedir.

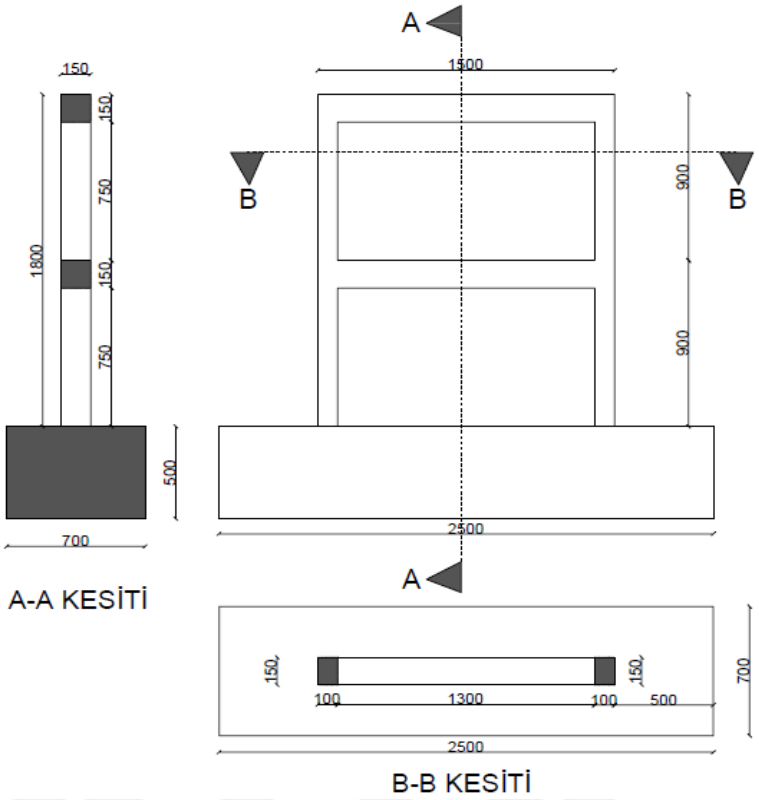
Bu tez kapsamında üretilen 8 adet deney elemanının geometrik özellikleri ve donatı yerleşimleri aynıdır. Üretilen 1 adet referans ve 7 adet önüretimli çapraz beton paneller ile güçlendirilmiş betonarme dolgu duvarlı çerçeveler depremi benzeştiren tersinir-tekrarlanır yatay yükler altında test edilmiştir. Tüm betonarme çerçeve elemanlar farklı zamanlarda 4'erli iki grup halinde laboratuvar ortamında aynı anda yatay olarak üretilmiştir. 28 günlük beton basınç dayanımı tamamlandıktan sonra

numuneler dikey konuma getirilmiştir. Deney numunelerinin örülmesinde kullanılan tuğla piyasada kolayca temin edilebilen 85x190x190 mm ebatlarında olan ve 8,5'luk olarak bilinen TS EN 771-1 (2005) Türk Standardına uygun olan yatay delikli tuğlalardır. İmalat sırasında örülen duvarlar boyutları 750 mm yüksekliğinde ve 1300 mm genişliğinde olacak şekilde sıradan bir işçilikle örülmüştür. Duvarların her bir yüzü çimento kireç karışımı harçla yaklaşık sıva kalınlığı 8-10 mm ve basınç dayanımı 1.5-2 MPa olarak hesap edildiği şekilde sıvanmıştır. Her duvarın ilk ya da son sırasını oluşturan kırılmış yarım tuğlalar, delikleri düşey olacak şekilde yerleştirilmiştir. Dolgu duvarda kullanılan tuğla basınç dayanımı delik doğrultusunda 10 MPa, deliklere dik doğrultuda 2 MPa olarak hesap edilmiştir. Çizelge 3.1'de tez kapsamında hazırlanan numunelere ait şekil ve özellikler ayrıca Şekil 3.1'de numunelerin boyutları verilmiştir. Panel donatısı olarak kullanılan hasır donatı çubuklarının çapı 2 mm ve her bir göz aralığı her iki yönde 20 mm olarak seçilmiştir. Panellerin üretilmesinde, yüksek mukavemetli olması, panel kalınlıklarının az olmasından dolayı betona göre daha homojen bir karışım elde edebilmek ve kalıptan çıkarırken parçalanma olmaması düşünülerek piyasadan kolayca elde edilebilecek yüksek mukavemete sahip Grout harcı kullanılmıştır. Panellerin duvara ve ankraj demirlerinin çerçeve elemanlarına ankrajında ise, yüksek dayanımlı iki karışımlı epoksi esaslı yapıştırıcılar kullanılmıştır. Referans deney numunesi her iki yüzüne sıva uygulanarak hazırlanmış ve hiçbir şekilde güçlendirilmemiştir. İki grup halinde yapılan deney elemanlarının ve yüksek dayanımlı panellerin hazırlanışı aynı zamanda olduğundan harç-sıva dayanımları ve panel beton dayanımları kendi içinde çok farklılık göstermemektedir. Ayrıca binalarda uygulanmak üzere seri üretim düşünüldüğünde panellerin fabrikada üretilmesinden sonra bir adet duvara yapıştırılması ve ankraj işlemleri iki kişi tarafından yaklaşık yarım günde tamamlanabileceği öngörülmektedir.

Çizelge 3. 1. Deney kapsamında hazırlanan numuneler

Deney Numunesi No:	Çerçeve Türü	Panel Genişliği (mm)	f_c(MPa)		Deney Numunelerinin Özellikleri
			Çerçeve	Önüretimli panel	
Deney No:1 Referans Numune (RN)		-	17.23	-	Boşluklu (8.5'luk)Tuğla Dolgu Duvarlı Numune
Deney No: 2 A Tipi Panelli Numune (A-TPÇ)		200	17.79	45.33	Boşluklu Tuğla Dolgu Duvarlı Çerçeve + Diyagonal Çapraz Panelle Güçlendirilmiş Numune
Deney No: 3 B Tipi Panelli Numune (B-TPÇ)		200	17.15	44.67	Boşluklu Tuğla Dolgu Duvarlı Çerçeve + Merkezi V Panelle Güçlendirilmiş Numune
Deney No: 4 C Tipi Panelli Numune (C-TPÇ)		200	17.31	44.27	Boşluklu Tuğla Dolgu Duvarlı Çerçeve + Merkezi Ters V Panelle Güçlendirilmiş Numune

Deney Numunesi No:	Çerçeve Türü	Panel Genişliği (mm)	f_c(MPa)		Deney Numunelerinin Özellikleri
			Çerçeve	Önüretimli panel	
Deney No: 5 D Tipi Panelli Numune (D-TPÇ)		300	17.55	44.20	Boşluklu Tuğla Dolgu Duvarlı Çerçeve + Dış Merkez V Panelle Güçlendirilmiş Numune
Deney No: 6 E Tipi Panelli Numune (E-TPÇ)		300	17.55	44.20	Boşluklu Tuğla Dolgu Duvarlı Çerçeve + Dış Merkez Ters V Panelle Güçlendirilmiş Numune
Deney No: 7 F Tipi Panelli Numune (F-TPÇ)		300	17.55	44.20	Boşluklu Tuğla Dolgu Duvarlı Çerçeve + K Panelle Güçlendirilmiş Numune
Deney No: 8 G Tipi Panelli Numune (G-TPÇ)		300	17.55	44.20	Boşluklu Tuğla Dolgu Duvarlı Çerçeve + X Panelle Güçlendirilmiş Numune



Şekil 3.1. Betonarme çerçeve deney numunelerinin boyutları (ölçüler mm'dir)

Üretilen betonarme çerçevelerde kat yüksekliği her bir kat için 900 mm, çerçeve açıklığı dıştan dışa 1500 mm'dir. Temellerin de oldukça rijit olması istenildiğinden 500x700x2500 mm olarak seçilmiştir. Güçlü kiriş zayıf kolon durumunun gerçekleşmesi için ise kirişler 150x150 mm ve kolonlar 100x150 mm olacak şekilde seçilmiş ve donatılar ona göre yerleştirilmiştir. Bunun yanında kolon, kiriş ve temel donatıları nervürlü (S420) ve kolon, kiriş etriyeleri düz yüzeyli (S220) olarak bindirmeli ek yapılmadan yerleştirilmiştir.

3.1.1. Betonarme çerçeve detayları

Bu tez kapsamında ülkemizdeki betonarme çerçeveli yapı sistemlerinde sıklıkla karşılaşılan bazı yapım kusurlarına sahip numuneler üretilmiştir. Üretilen betonarme çerçeve numunelerinin kirişlerinde açıklıkta altta 3ϕ10 nervürlü eğilme donatısı ve üstte 3ϕ10 nervürlü montaj donatısı kullanılmıştır.

$$0.02 > \rho = \frac{A_s}{b_w\, x\, d} = \frac{3x78.5}{150\, x\, 130} = 0.01207 > \rho_{min} = 0.8x\, \frac{f_{ctd}}{f_{yd}} = 0.8x\, \frac{0.95}{365} = 0.0020 \quad (3.1)$$

Kolonlarda ise 4ϕ10 nervürlü boyuna donatıya göre hesaplar yapılmıştır. 100x150 mm boyutlara sahip betonarme kolonlarda donatı oranı:

$$\rho = \frac{A_s}{b_w\, x\, h_c} = \frac{4x78.5}{150\, x\, 100} = 0.02093 \geq \rho_{min} = 0.01 \qquad (3.2)$$

olarak hesaplanmıştır. Bu sayede kullanılan kolon düşey donatı oranı yönetmelikte belirtilen minimum koşuldan fazla olmaktadır.

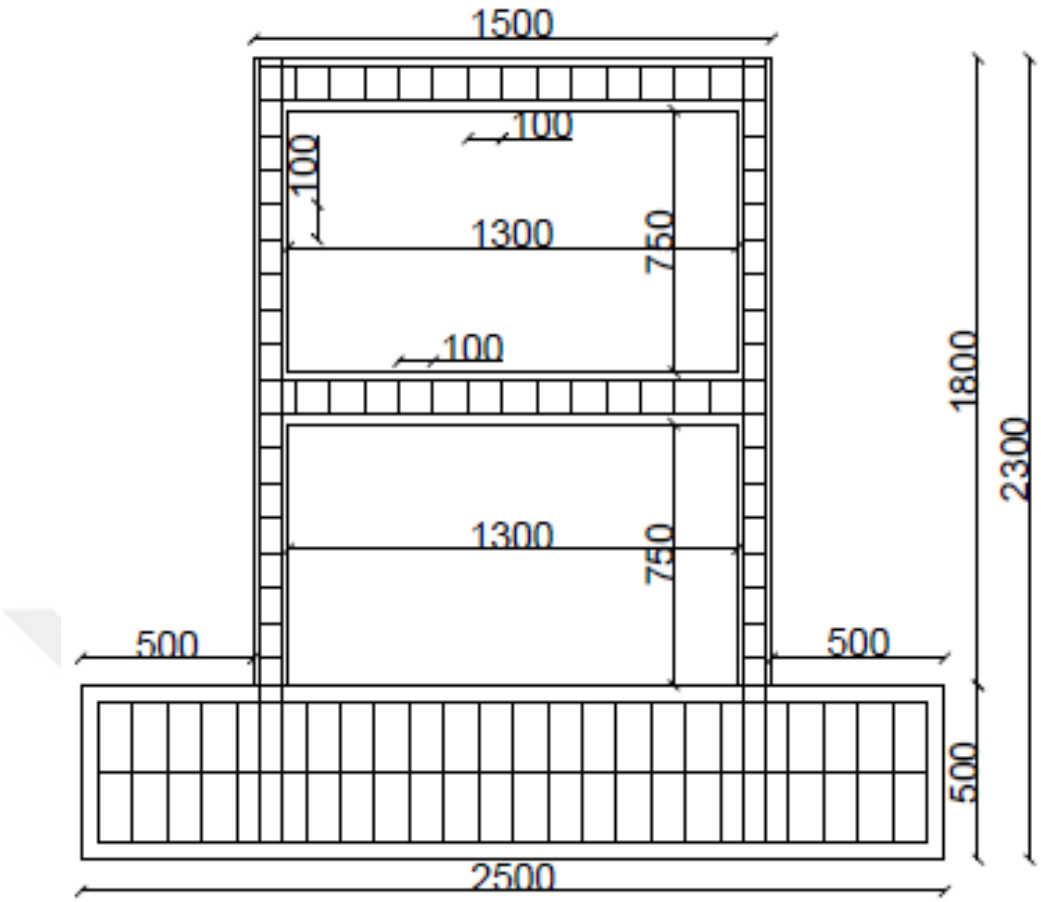
Kirişlerde alt ve üst donatılar, kolon dış yüzüne kadar uzatılmış ve bu noktadan itibaren 14ϕ (140 mm) uzunluğunda aşağı ve yukarı doğru bükülmüştür. Kolon ve kirişlerde ϕ 4/100 mm aralıkla etriye yerleştirilmiştir. TS-500'de etriye için minimum şartlar getirilmiştir. TS-500 ve TDY-2007'de etriye çapı için minimum değer 8 mm, etriye aralığı için ise en fazla 12ϕ_l ya da 200 mm'dir.

Yukarıda belirtilen yönetmelik şartları dikkate alınarak 1/3 ölçekli deney numunelerinde standartlara uygun yerleşmemesinin etkisi incelendiğinden kolon ve kirişlerde ϕ 4/100 mm etriye kullanılması Şekil 3.2'de gösterildiği gibi uygun görülmüştür. Ayrıca temellerde 8 ϕ16 boyuna donatı ve ϕ8/100 mm çift etriyeli aralıklarla yerleştirilmiştir.

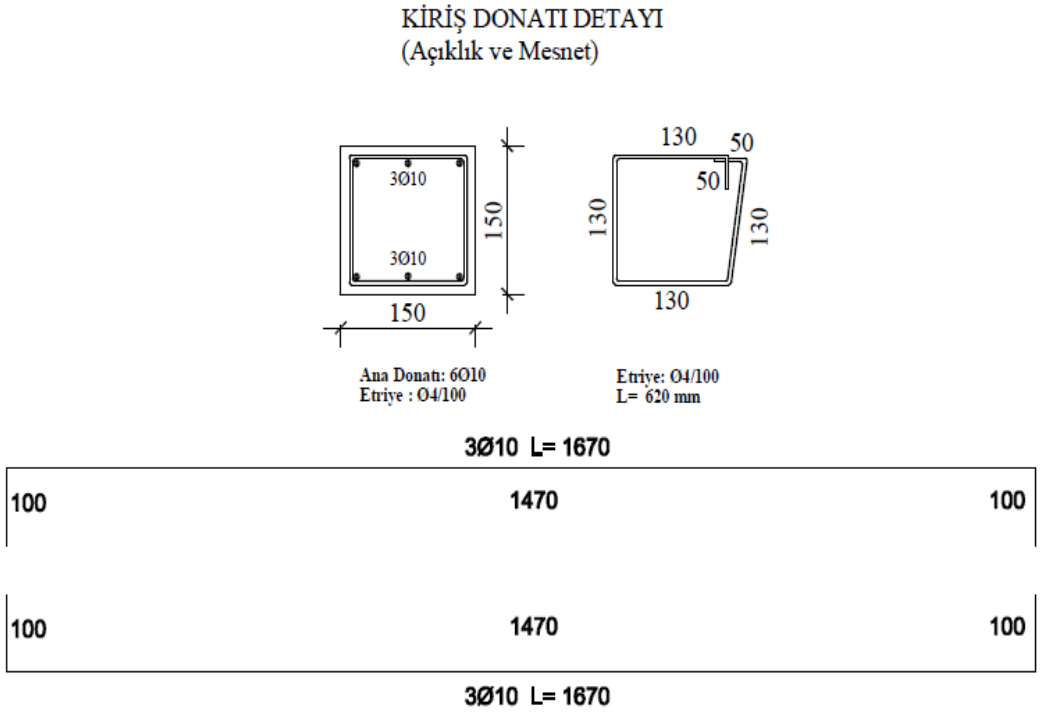


Şekil 3. 2. Kirişlerdeki etriye aralığı

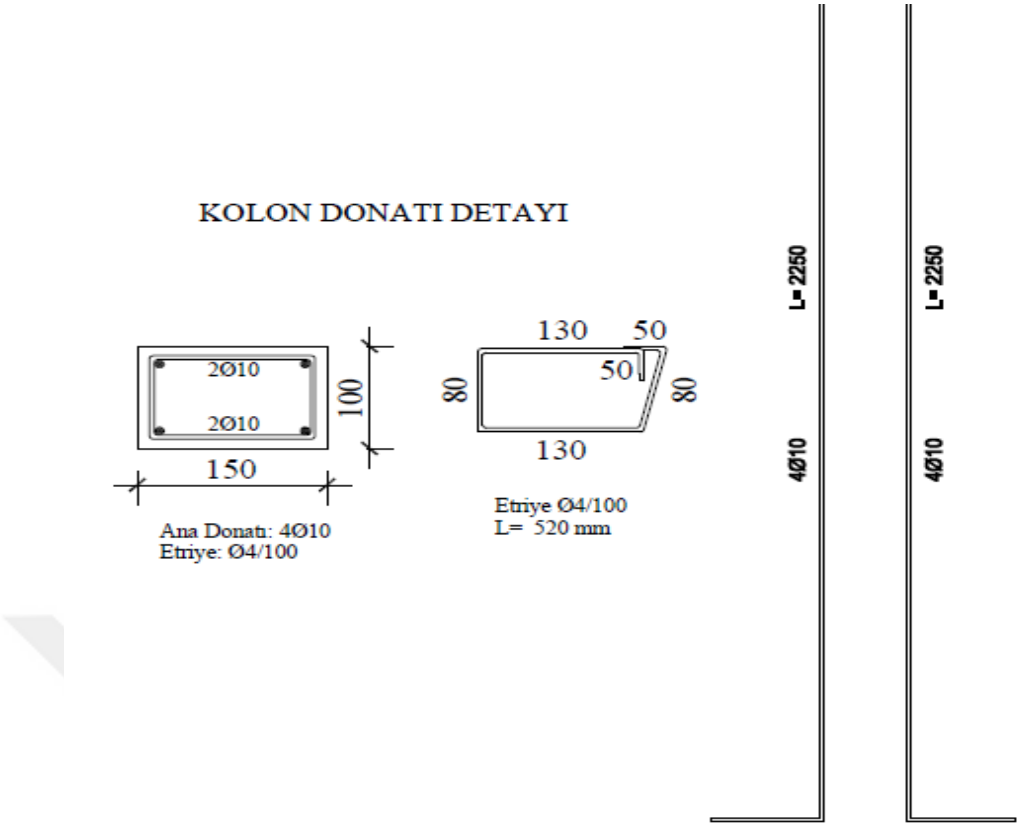
Laboratuvar ortamında hazırlanan çerçeve numunelere ait donatı şeması Şekil 3. 3'de, kiriş donatı detayları Şekil 3. 4'de kolon donatı detayı Şekil 3.5'de ve temel kesiti ve donatı detayları Şekil 3. 6'da gösterilmiştir.



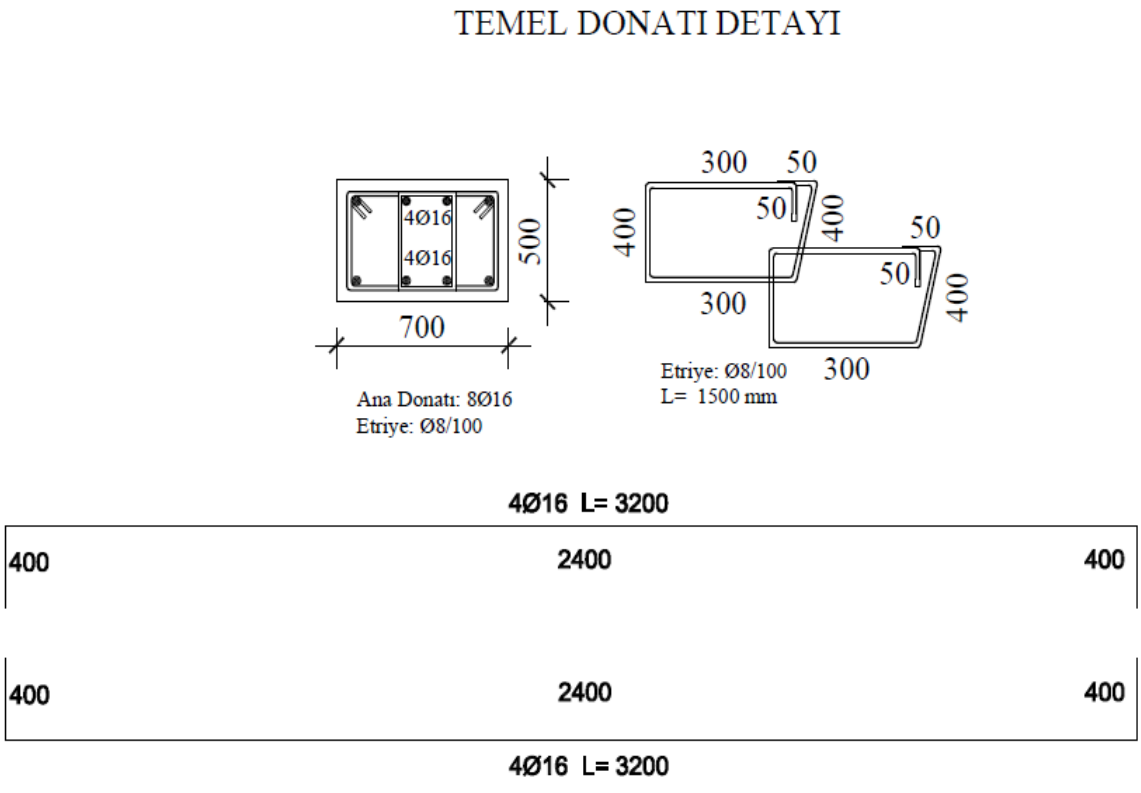
Şekil 3.3. Deney elemanlarının boyutları ve donatı şeması,boyutlar mm'dir.



Şekil 3.4. Çerçevelere ait kiriş kesit ve donatı detayları (Ölçüler mm'dir.)



Şekil 3.5. Çerçevelere ait kolon kesit ve donatı detayları (Ölçüler mm'dir.)



Şekil 3.6. Çerçevelere ait temel kesit ve donatı detayları (Ölçüler mm'dir.)

Kolon ve kirişlerde etriye kancaları ülkemizde geçmişte hatalı imal edilen çoğu yapıyı temsil edecek şekilde 90^0 olarak yapılmıştır. Birleşim bölgesinde etriye sıklaştırması yapılmamış olup etriyeler düz yüzeyli (S220) olarak uygulanmıştır. Çerçevelerdeki birleşim bölgelerine yerleştirilen donatılar Şekil 3.7'de, donatıları yerleştirilmiş çerçeve kalıbı ise Şekil 3. 8'de verilmiştir.



Şekil 3.7. Laboratuvarda üretilen numunelere ait donatı detayları



Şekil 3. 8. Donatıları yerleştirilmiş çerçeve numune

3.1.2. Deney numunelerine ait malzeme özellikleri

Ülkemizde özellikle depremlerde çok sayıda yapı beton ve donatının tekniğine uygun olmayan kullanımından dolayı hasar görmüş ya da yıkılmıştır. Bu bölümde uygulamada sıklıkla karşılaşılan hataları içermesi bakımından üretilen çerçevelerde kullanılan malzemelerin mekanik özelliklerinden bahsedilmiştir.

3.1.2.1. Beton

Laboratuvar ortamında hazırlanan betonarme çerçevelerin çerçeve betonu hazır beton firmasından temin edilmiştir. Aynı zamanda A-TPÇ, B-TPÇ ve C-TPÇ numunelerinin önüretimli beton panelleri Aragonit grout harcı ile, D-TPÇ, E-TPÇ, F-TPÇ ve G-TPÇ numunelerinin önüretimli beton panelleri Sika Grout-212 harcı kullanılarak laboratuvarda üretilmiştir.

Türkiye'de var olan mevcut yapıların çoğunda düşük dayanımlı beton özellikleri hakim olduğundan, yatay konumda üretilen betonarme çerçevelerin beton basınç dayanımları yaklaşık 16-18 MPa, önüretimli beton panellerin basınç dayanımı ise TDY-2007'de belirtildiği üzere en az 40 MPa olması hedeflenmiştir. Hazır pompasız beton mikseri laboratuvar içine girebildiği için beton dökümü Şekil 3.9'da gösterildiği gibi kolay olmuştur.



Şekil 3. 9. Mikserden numunelere beton dökümü

Güçlendirilmemiş betonarme çerçevenin beton döküm sonrası görünümü Şekil.3.10' da verilmiştir.



Şekil 3. 10. Betonarme çerçevenin tesviyeden sonraki görünümü

Laboratuvar ortamında aynı anda 8 adet betonarme çerçevenin dökülmesi için yeterli alanın olmamasından dolayı numunelere betonlar 4'erli 2 grup halinde farklı zamanlarda dökülmüştür. Beton basınç dayanımını belirlemek için beton dökülürken silindir numuneler alınmıştır. Şekil 3. 11'de alınan numuneler gösterilmiştir.




Şekil 3.11. Hazır beton dökümünde alınan silindir betonlar

Beton basınç dayanımı, 150 mm çapında, 300 mm yüksekliğindeki standart silindir numunelerin 28 gün sonunda yönetmeliğe uygun biçimde denenmesiyle elde edilmiştir. Silindir numuneler çerçevelerle aynı şartlarda kür edilmiştir. Alınan silindir numunelerin beton basınç dayanımı Şekil 3.12'de beton basınç deneyine tabi tutularak hesaplanmıştır. Ayrıca Çizelge 3.2'de silindir basınç deneyinden elde edilen sonuçlar gösterilmiştir.





Şekil 3.12. Silindir numunelerin basınç dayanımlarının tespit edilmesi

Çizelge 3.2. Çerçeve numunelerin ortalama silindir karakteristik basınç dayanımı

Numune No	**f_{ck} (28 gün) (MPa)**			**f_{ck} (28 gün ortalama) (MPa)**
RN	13.93	22.7	15.06	17.23
A-TPÇ	15.76	15.31	22.3	17.79
B-TPÇ	13.80	22.5	15.15	17.15
C-TPÇ	22.1	15.76	14.07	17.31
D-TPÇ	16.80	17. 42	18.43	17.55
E-TPÇ				
F-TPÇ				
G-TPÇ				

İki farklı firmadan temin edilen önüretimli yüksek dayanımlı beton panellerin 150x150x150 mm küp numuneler şeklinde alınan örnekleri, beton basınç deneyleri ile Şekil 3.13'de görüldüğü gibi hesap edilmiş ve alınan küp numunelerin silindir numuneye dönüştürülmüş hesabı Çizelge 3.3'de verilmiştir.



Şekil. 3.13. Önüretimli yüksek dayanımlı beton panellerin basınç dayanımı tayini

Çizelge 3.3. Önüretimli yüksek dayanımlı panellerin beton basınç dayanımları

Numune No	Grout harcı	f_{ck} (28 gün ortalama) (MPa)
A-TPÇ	Aragonit	45.33
B-TPÇ		44.67
C-TPÇ		44.27
D-TPÇ	Sika-212	44.20
E-TPÇ		44.20
F-TPÇ		44.20
G-TPÇ		44.20

3.1.2.2. Donatı

Türkiye'deki yapıları temsil etmesi açısından laboratuvarda üretilen çerçevelerde düz yüzeyli (S220) donatı kullanılmak istenilmiş ancak piyasadan temin edilememiştir. Dolayısıyla kolon ve kirişler nervürlü (S420) olarak kullanılmıştır. Kolon ve kirişlerde kullanılan etriyeler ise yüksek maliyetli işçilik ile anca temin edilebilmiştir. Piyasadan temin edilen bu donatılar *Selçuk Üniversitesi Deprem laboratuvarında* bulunan 800 kN kapasiteli çelik çekme cihazında Şekil 3.14'de gösterildiği gibi test edilmiştir. Donatılara ait akma ve kopma dayanımları Çizelge 3.4'de gösterilmiştir.



Şekil 3.14. Çelik çekme deneyi

Çizelge 3. 4. Deney numunelerinde kullanılan donatı çubuklarının özellikleri

Donatı Çapı (mm)	**Akma Dayanımı f_{yk}(MPa)**		**Maksimum Çekme Dayanımı f_{su} (MPa)**		**Türü, Sınıfı, Kullanıldığı Yer**
	Ölçülen	**Ortalama**	**Ölçülen**	**Ortalama**	
Ø4	316	294	401	387	S220, Düz, kolon-kiriş etriyesi
	278		368		
	287		394		
Ø8	416	407	513	496	S420, nervürlü, temel etriyesi ve ankraj donatısı
	384		479		
	420		497		
Ø10	432	418	531	512	S420, nervürlü, kolon-kiriş ana donatısı
	405		498		
	416		507		
Ø16	442	427	527	508	S420, Nervürlü, temel ana donatısı
	419		519		
	422		478		

3.1.2.3. Tuğla duvar

Deney numunelerinde kullanılan tuğla piyasada kolayca temin edilebilen 85x190x190 mm ebatlarında olan ve 8.5'luk olarak bilinen ve TS EN 771-1 (2005)'e uygun yatay delikli tuğlalardır. İmalat sırasında örülen duvarlar boyutları 750 mm yüksekliğinde ve 1300 mm genişliğinde olacak şekilde çerçeveye uygun olarak örülmüştür. Duvarların her bir yüzü çimento kireç karışımı harçla yaklaşık sıva kalınlığı 8-10 mm ve basınç dayanımı 1.5-2 MPa olacak şekilde sıvanmıştır. Her duvarın ilk ya da son sırasını oluşturan kırılmış yarım tuğlalar, delikleri düşey olacak şekilde sıradan bir işçilik ile yerleştirilmiştir. Şekil 3.15'de numunelerin boyutları ve donatı şeması ve tuğla basınç dayanımı için hazırlanan tuğla numunesi verilmiştir. Ayrıca tuğla basınç dayanımı delik doğrultusunda 10 MPa, deliklere dik doğrultuda 2 MPa olarak hesap edilmiştir.



Şekil 3.15. Duvar örülmesi, sıva yapılması ve tuğla basınç dayanımı tayini için hazırlanan tuğlalar

3.1.3. Önüretimli beton panellerin üretilmesi

Önüretimli beton paneller ile dolgu duvarların güçlendirilmesi üzerine TDY-2007'de (TDY-2007, 2007) uygulanması gereken kurallar ile ilgili maddeler 7F.4 başlığı ile açıklanmıştır. Açıklanan bu maddeler aşağıda kısaca özetlenmiştir:

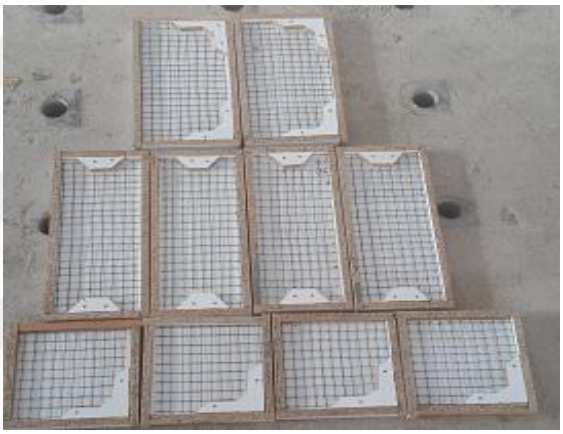
1. Önüretimli beton paneller ile dolgu duvarların kesme dayanımı ve rijitlik değeri artırılabilir. Bunun için duvar uzunluğunun yüksekliğine oranı 0.5 ile 2 arasında değişmesi gerekmektedir.
2. Güçlendirmesi önüretimli paneller ile yapılacak uygulamada paneller çerçeve içerisinde olacak şekilde yerleştirilmelidir. Yerleştirilen paneller çerçeve üzerinde birer basınç çubuğu oluşturmalı ve çerçevenin yük alması için ankrajlar ile düzenlenmesi gerekmektedir. Ayrıca duvar dış yüzü ile çerçeve elemanları dış yüzü arasında en az panel kalınlığı kadar boşluk olmalıdır.
3. Duvarın güçlendirildikten sonraki köşegen uzunluğu önceki duvar kalınlığına oranı 30'dan az olmalıdır. Ayrıca önüretimli beton panellerin minimum beton basınç dayanımı 40 MPa, panellerin içerisine her iki doğrultuda minimum 0.001 hasır donatı yerleştirilmesi gerekmektedir.
4. Kullanılan panelin kalınlığı en az 40 mm ve en fazla 60 mm olmalıdır. (Yapılan deneysel çalışma 1/3 ölçekli olduğu için panel kalınlığı 20 mm olarak alınmıştır).
5. Önüretimli panellerin duvarlara yapıştırılması epoksi esaslı bir yapıştırıcı ile yapılmalıdır. Kullanılan yapıştırıcının yapışma dayanımı en az 2.5MPa olmalıdır.
6. Önüretimli beton paneller ile çerçeve arasında kullanılacak ankraj çubuk çapı en az 12 mm, en küçük ankraj derinliği ise çubuk çapının 10 katı kadar olmalıdır. (Deneysel çalışmada laboratuvar ortamında var olan 8 mm çubuk çapı ve 8 cm ankraj derinliği uygulanmıştır). Panellerin ankraja değecek kenarları, ankraj çubuğuna yer açacak şekilde dişli imal edilmelidir.
7. Önüretimli beton paneller rahatlıkla iki kişi tarafından taşınabilirse kare veya kareye yakın dikdörtgen şeklinde olabileceği gibi kat yüksekliğince şeritler halinde de yapılabilir.

Bu çalışma, önüretimli beton paneller ile yapılan güçlendirme çalışmalarından farklı ve özgündür. Pratik hızlı ve etkili bir güçlendirme yöntemi araştırılan bu çalışmada amaç, depreme karşı dayanımı zayıf betonarme binaların dayanım, süneklik

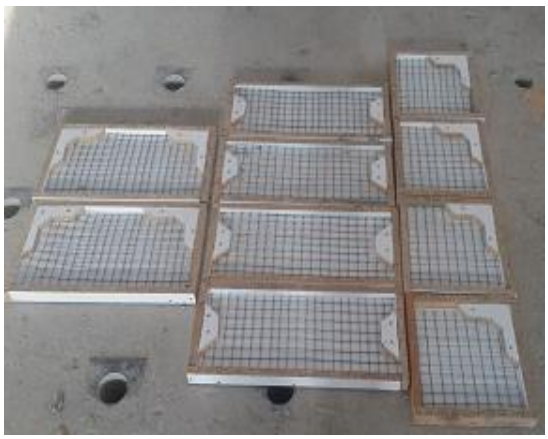
ve enerji tüketme kapasitelerinin önüretimli yeni çapraz beton paneller ile sağlanıp sağlanamayacağını tespit etmek üzerinedir. Bu amaçla TDY-2007 bölüm 4.5'de çelik yapılar için verilen merkezi ve dış merkez çaprazlı perdeler başlığı altında gösterilen Şekil 4.4 ve Şekil 4.5'den esinlenilmiştir. Amaç dolgu duvarların üzerinde basınç çubuğu olarak çalışan etkili band genişliği boyunca yerleştirilen önüretimli panellerin tüm yüzeyi kaplamaya gerek duymadan aynı başarıyı sağlayıp sağlamayacağını tespit etmektir. Bu doğrultuda 200 mm genişliğe sahip A-TPÇ, B-TPÇ ve C-TPÇ panelleri ile 300 mm genişliğe sahip D-TPÇ, E-TPÇ, F-TPÇ ve G-TPÇ numuneleri güçlendirme amaçlı kullanılmıştır. Dayanımı zayıf betonarme yapıların güçlendirilmesi amacıyla üretilen panellere ait kalıp şekilleri Şekil 3.16 ve Şekil 3.17'de gösterilmiştir.



(a) A Tipi Önüretimli Panel (A-TP)



(b) B Tipi Önüretimli Panel (B-TP)

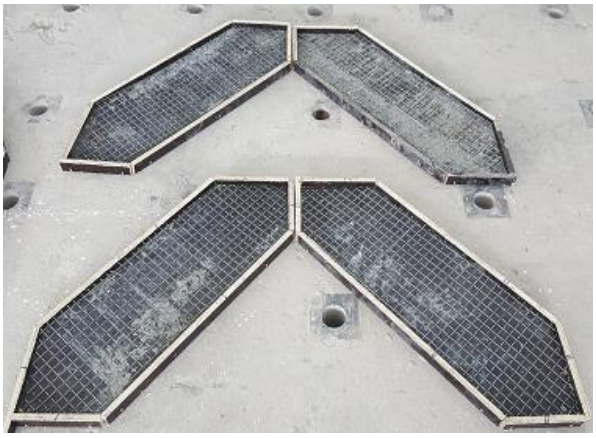


(c) C Tipi Önüretimli Panel (C-TP)

Şekil 3.16. Genişliği 200 mm olan önüretimli beton panel kalıplar



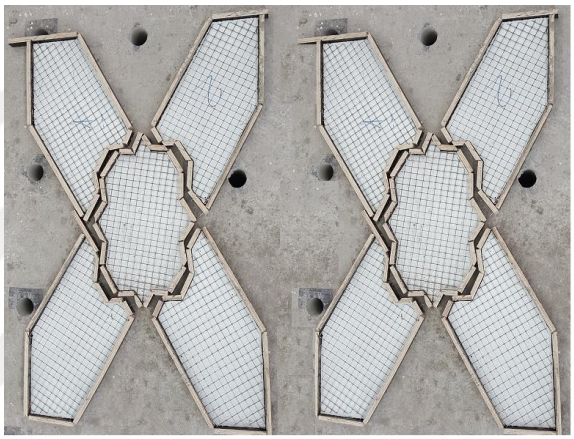
(d) D Tipi Önüretimli Panel (D-TP)



(e) E Tipi Önüretimli Panel (E-TP)



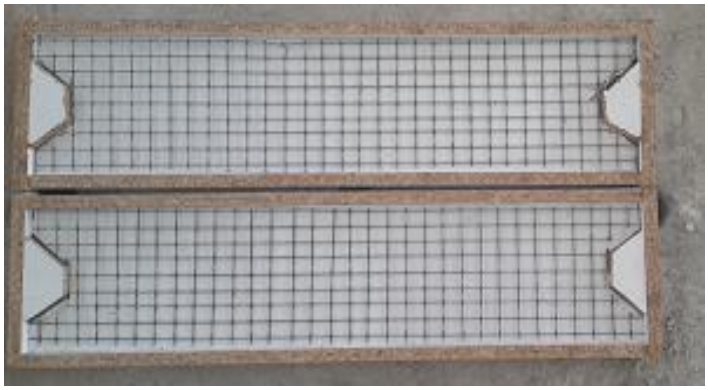
(f) F Tipi Önüretimli Panel (F-TP)



(g) G Tipi Önüretimli Panel (G-TP)

Şekil 3.17. Genişliği 300 mm olan önüretimli beton panel kalıplar

TDY-2007'de belirtildiği üzere panellerin taşınması sırasında ve büzülme çatlaklarının oluşmaması için panel ortasına tek düzlemde hasır donatı yerleştirilmiştir. Şekil 3. 18'de gösterilen hasır donatı 2 mm çapa ve 20x20 mm göz aralığına sahiptir.



Şekil 3.18. Kalıplara yerleştirilmiş hasır donatıların görünümü

Önüretimli beton paneller iki grup halinde üretilmiştir. Birinci grup A-TPÇ, B-TPÇ ve C-TPÇ numuneleri için panel kalıpları hazırlanıp hasır donatıları yerleştirildikten sonra yüksek dayanımlı Aragonit marka grout harcı beton panel üretimi için kullanılmıştır. Bu panellerin kalınlığı 20 mm ve basınç çubuğu genişliği 200 mm olarak üretilmiştir. İkinci grup D-TPÇ, E-TPÇ, F-TPÇ ve G-TPÇ numuneleri için ise SİKA firmasından temin edilen yüksek dayanımlı "Sika Grout-212" çimento esaslı döküm harcı kullanılarak paneller üretilmiştir. Bu paneller de panel kalınlığı 20 mm alınırken basınç çubuğu genişliği 300 mm alınmıştır. İlk grup panellerde panel genişliğinin çerçeveye değen kısmı az olmasından dolayı başlık bölgelerinde rijitliği artırmak için düğüm levhası mantığı ile paneller üretilerek ankrajlar ile basınç çubuğuna ve çerçeveye bağlanarak yük aktarımı sağlanmıştır. İkinci grup panellerde yeterli genişlik sağlandığı için başlıklarda düğüm levhası benzeri üretim yapılmamış ve direk ankrajlar ile çerçeveye bağlantı yapılmıştır. Aragonit grout harcı ve Sika Grout-212 çimento esaslı döküm harcının teknik özellikleri ve kullanım yerleri aşağıda açıklanmıştır.

Aragonit Grout harcı: Çimento esaslı yüksek mukavemete sahip, kendinden yerleşen, beton niteliğinde dolgu harcıdır.

Kullanım Alanları:

1. Makine temellerinin sabitlenmesinde,
2. Kompresör, hizar, değirmen, kırıcı ve mermer kesme makinesi gibi makinelerin temellerinin sabitlenmesinde,
3. Yüksek mukavemet gerektiren beton boşluklarının doldurulmasında,
4. Ankraj yapılacak yerlerde boşlukların doldurulmasında,
5. Prefabrik yapıların kolon boşluklarının doldurulmasında
6. Beton kolonlarındaki açıkta kalan demir filizlerinin kapatılmasında
7. Hızlı priz alması gereken yol yapıları, rögar tamiratları gibi uygulamalarda kullanılmaktadır.

Sika Grout-212: Tek bileşenli, akıcı, çimento esaslı grout harcıdır.

Kullanım Alanları:

1. Çelik kolon plakalarının altlarında
2. Boşlukların doldurulmasında
3. Beton tamirinde
4. Makine temellerinin doldurulmasında
5. İç ve dış uygulamalarda

Aragonit ve Sika Grout harcın hazırlık aşaması ve panellere döküm işlemi Şekil 3.19 ve Şekil 3.20'de gösterilmektedir. Bu iki grout harcı ile hazırlanan paneller Şekil 3.21' de gösterilmiştir.



Aragonit Grout Harcı



Sika Grout Harcı



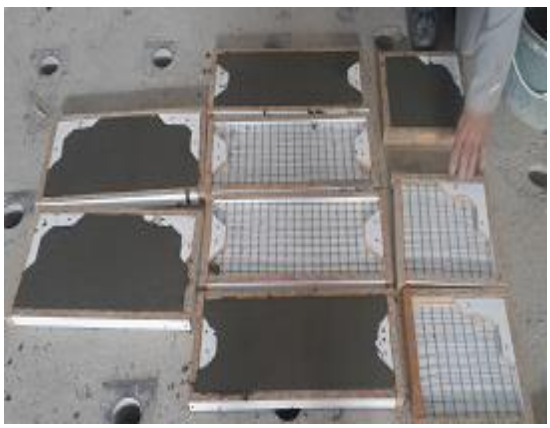
Aragonit Grout Harcı hazırlanışı



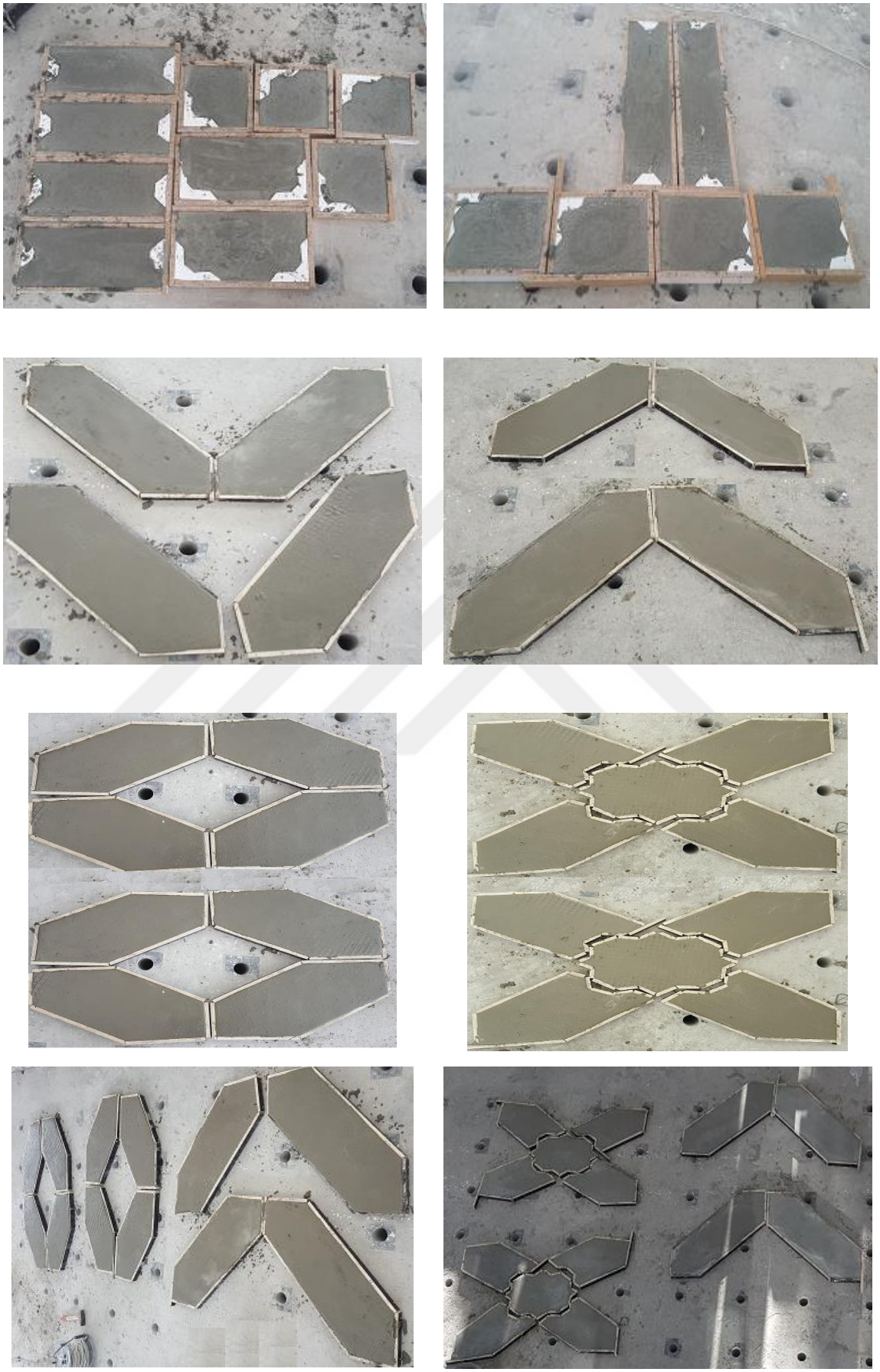
Sika Grout Harcı hazırlanışı

Şekil 3.19. Aragonit ve Sika Grout-212 harcının hazırlanması süreci





Şekil 3.20. Aragonit ve Sika Grout-212 harcının kalıplara dökülmesi



Şekil 3.21. Grout harçlarının kalıplara döküldükten sonraki görünümü

Önüretimli çapraz beton panellerin çerçeveye ankrajında “Sika Anchor Fix-S” epoksi esaslı yapıştırıcılar kullanılmıştır. Şekil 3.22’de ankraj filizlerinin çerçeveye ekimi, Şekil 3.23’de ise ankraj filizleri ekilip tamamlanmış bir adet güçlendirilmiş numune görülmektedir. Ankraj aşamasında Ø8’lik nervürlü donatılar 80 mm’si çerçeve içerisinde ve 60 mm’si panel içerisinde kalacak şekilde yerleştirilmiştir.



Şekil 3.22. Çerçeve ve panel arasına ankrajların yerleştirilmesi



Şekil 3.23. Çerçeve numunesine yerleştirilmiş ankrajlar ve güçlendirilmiş numune

Şekil 3.24 ve Şekil 3.25'de örnek olarak G-TP panellerin duvara yerleştirilmesi süreci gösterilmektedir.



Şekil 3.24. Ankraj demirleri için boşluk açılacak panellerin hazırlanışı



Şekil 3.25. Önüretimli çapraz beton panellerin duvara yerleştirilmesi

Duvara yerleştirilen önüretimli panellerin deney esnasında duvardan ayrılmaması için duvar ve paneli birbirine bağlayacak şekilde laboratuvarda var olan matkap ucuna uygun Ø8'lik nervürlü demirin girebileceği şekilde delikler açılmıştır. Şekil 3.26'da açılan deliklere yerleştirilen ankrajlar ve panelle bağlantıları gösterilmiştir.



Şekil 3.26. Panel-duvar arası bağlantının sağlanması için yerleştirilen ankrajlar

TDY-2007'de ön görülen epoksi dayanımı 2.5 MPa'dır. Bunun için SİKA firmasından Sikadur-31 epoksi esaslı malzeme temin edilmiştir. Aşağıda Sikadur-31'in teknik özellikleri ve kullanım alanları verilmiştir.

Sikadur-31: Solvent içermeyen, neme toleranslı, tiksotropik, 2 bileşenli, epoksi reçineler ve özel dolgular içeren, +10 ºC ile + 30 ºC arasındaki sıcaklıklarda kullanılmak üzere tasarlanmış yapısal yapıştırma ve tamir harcıdır.

Kullanım Alanları:

Yapısal yapıştırıcı olarak;

1. Beton elemanlar
2. Sert doğal taşlar
3. Seramik, prefabrik hafif beton yapı elemanları
4. Harç, tuğla, bloklar, tuğla duvar vb.
5. Çelik, demir, alüminyum
6. Ahşap
7. Poliester, epoksi
8. Cam

Hızlı kür alan tamir harcı olarak;

1. Köşeler ve kenarlar
2. Delik ve boşluk doldurma
3. Derz kenarları

Derz dolgusu ve çatlak kapatma;

1. Rijit derz dolgusu
2. Çatlak dolgusu ve kapatma (hareketsiz)

Özellikleri:

1. Kolay karıştırılır ve uygulanır olması
2. Kuru ve nemli beton yüzeyler için uygunluğu
3. Birçok yapı malzemesine çok iyi yapışır olması
4. Yüksek dayanımlı yapıştırıcıdır
5. Tiksotropik: Sarkma yapmaz, düşey ve baş üstü uygulamalar için uygundur
6. Solvent içermez
7. Rötresiz sertleşir
8. Bileşenleri farklı renklerdedir (karıştırma kontrolü için)
9. Astar gerektirmez
10. Yüksek başlangıç ve nihai dayanım
11. İyi aşınma dayanımı
12. Tek üründe yapıştırıcı ve dolgu özelliği

13. Sıvılara ve su buharına karşı geçirimsizdir
14. İyi kimyasal dayanımlıdır

Önüretimli farklı yerleşime sahip çapraz beton panellere uygulanan epoksi esaslı yapıştırıcının duvara tutturulmuş hali Şekil 3.27'de gösterilmektedir.



a) A-TP Panelli numune



b) B-TP Panelli numune



c) C-TP Panelli Numune



d) D-TP Panelli Numune



e) E-TP Panelli Numune



f) F-TP Panelli Numune



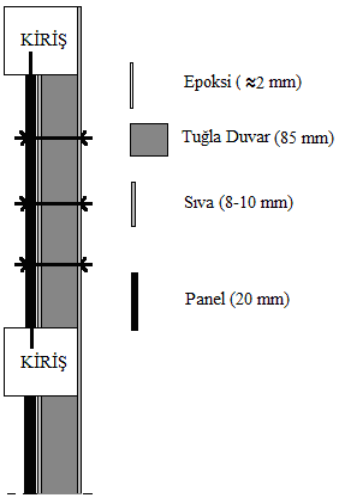
g) G-TP Panelli Numune

Şekil 3.27. Panel elemanları yapıştırılmış betonarme çerçeve numuneleri

3.1.3.1. Panel tiplerinin genel özellikleri

Bu tez çalışmasında 7 farklı yerleşime sahip önüretimli çapraz beton paneller üretilmiştir. Üretilen bu paneller dolgu duvarların üzerine epoksi ile yapıştırılmış ve depremi benzeştiren tersinir-tekrarlanır yatay yük altında davranışa olan etkileri araştırılmıştır. TDY-2007'de bahsedildiği üzere panelin kalınlığı 40 mm - 60 mm arasında olmalıdır. Ancak yapılan deneysel çalışmalar 1/3 ölçekli yapıldığı için panel

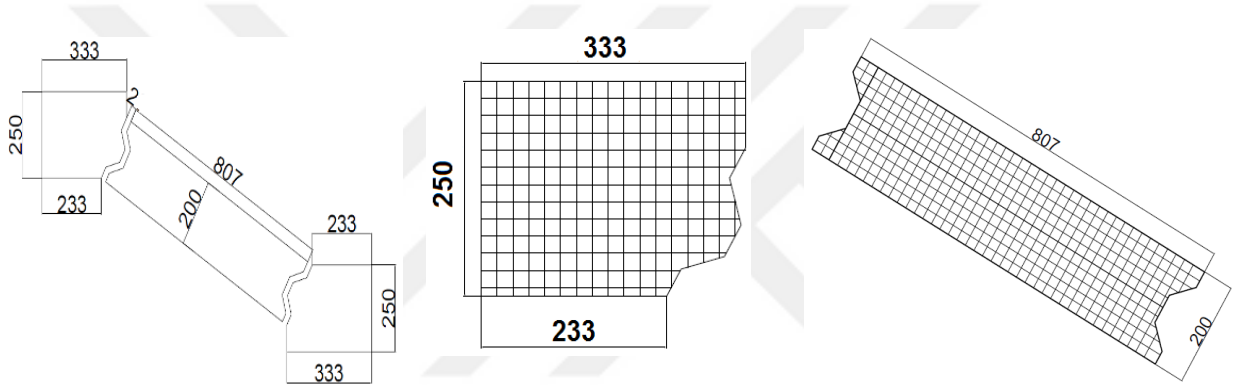
kalınlıkları 20 mm olacak şekilde üretim gerçekleşmiştir. Benzer şekilde yönetmelikte bahsedilen minimum basınç dayanımı 40 MPa olan paneller üretilmelidir. Yapılan deneysel çalışmada üretilen panellerin basınç dayanımı minimumun üstündedir. Yapılan çalışmada A-TP, B-TP ve C-TP panellerin üretilmesinde Aragonit Grout harcı, D-TP, E-TP, F-TP ve G-TP panellerde ise Sika Grout-212 harcı kullanılmıştır. İki farklı firmadan ayrı grout harcı tercihi piyasadan ihtiyaç sırasında temin edilememesindendir. Ancak bu harçların tercih sebepleri ise mukavemetlerinin yüksek olması ve uygulamasının kolay olmasıdır. Panellerin duvara ankrajında Ø8'lik donatı kullanılmış olup ankraj derinliği 80 mm olacak şekilde uygulanmıştır. Panel ve çerçeve birleşimlerine yerleştirilmek üzere açılan ankraj delikleri basınçlı hava püskürtülerek temizlenmiştir. Temizlenen deliklere Sika Anchor Fix-S malzemesi kullanılarak ankraj yapılmıştır. Önüretimli panellerin duvara ve çerçeveye yapıştırmak için Sikadur-31 epoksi esaslı yapıştırıcı kullanılmıştır. Yönetmelikte belirtilen minimum yapışma dayanımı en az 2.5 MPa iken, Sikadur-31'in yapışma dayanımı katalogda belirtildiği üzere 3.5 MPa'dır. Paneller üretilirken 20 mm kalınlığındaki panellerin ortasına taşıma sırasında oluşabilecek çatlakları önlemek amacıyla hasır donatılar yerleştirilmiştir. Yerleştirilen hasır donatıların çapı 2 mm, hasır donatı aralıkları ise 20 mm olarak seçilmiştir. Ayrıca yerleştirilen çapraz panellerin deney sırasında çerçeve ile beraber hareket etmesi için her bir panelin üzerinde Ø8'lik donatının girebileceği şekilde delikler açılmış ve panel, tuğla ve çerçeve bağlantısı sağlanmıştır. Tüm yüzeyin önüretimli paneller ile kaplanması durumunu temsil eden şematik gösterim Şekil 3.28'de verilmiştir.



Şekil 3.28. Önüretimli paneller ile güçlendirmede genel görünüş **(Akın, 2011)**

a) A tipi panel modeli

Basınç çubuğunun genişliğine bağlı olarak iki gruba ayrılan güçlendirme yönteminin ilki A tipi panel (A-TP)'dir. Güçlendirme yöntemi olarak geliştirilen bu ilk önüretimli panel diagonal şekilde ve genişliği 200 mm'dir. Deney çerçevesinde her bir kat için iki adet başlık ve bir adet orta bölgede olmak üzere toplam üç parça olacak şekilde üretilen önüretimli paneller epoksi ile duvara yapıştırılmıştır. Daha sonra belirli aralıklarda ankraj boşlukları açılarak çerçeveye paneller Ø8 ankrajlar ile sabitlenmiştir. A-TP modele ait kalıp, donatı ve beton detayı Şekil 3.29'da, ankraj detayları ise Şekil 3.30'da gösterilmiştir.



a) A-TP panel genel görünüş

b) A-TP panel başlık detayı

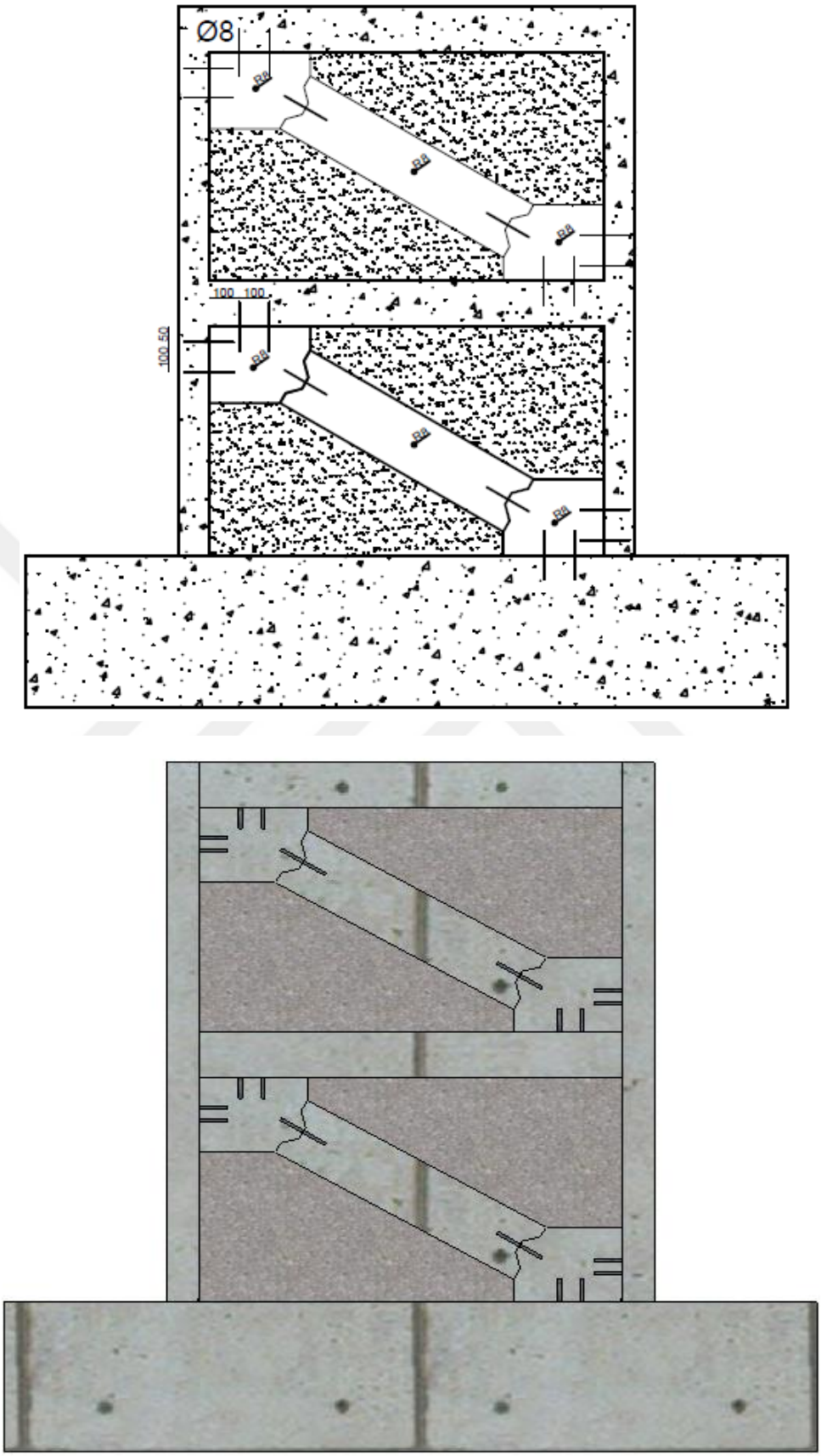
c) A-TP panel basınç çubuğu detayı



d) Kalıp ve Donatının hazırlanması

e) Grout harcının panellere yerleşimi

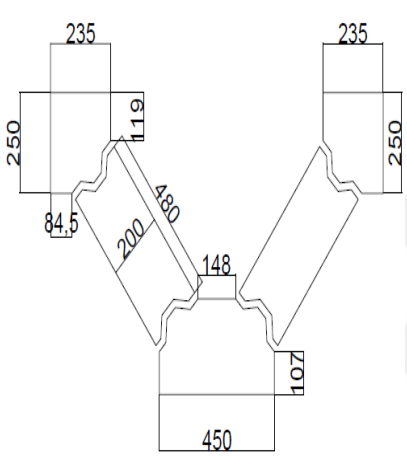
Şekil 3.29. A-TP modelin donatılı kalıbı ve beton yerleşimi



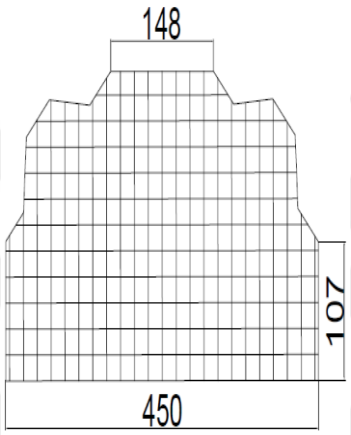
Şekil 3.30. A-TP panelin çerçeveye yerleşimi

b) B tipi panel modeli

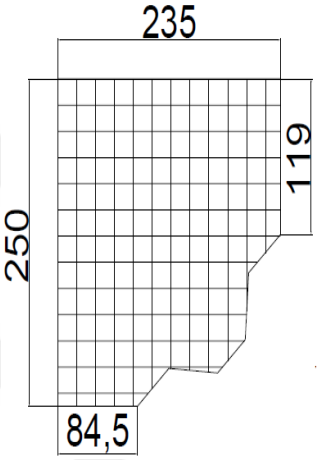
Merkezi V şeklinde üretilen B tipi panel (B-TP) genişliği 200 mm olan önüretimli paneller şeklindedir. Deney çerçevesinde her bir kat için üç adet başlık ve iki adet orta bölgede olmak üzere toplam beş parça olarak üretilen önüretimli paneller epoksi ile duvara yapıştırılmıştır. Daha sonra belirli aralıklarda ankraj boşlukları açılarak çerçeveye paneller ankrajlar ile sabitlenmiştir. B-TP modele ait kalıp, donatı ve beton detayı Şekil 3.31'de, ankraj detayları ise Şekil 3.32'de gösterilmiştir.



a) B-TP panel genel görünüş



b) B-TP panel orta başlık detay



c) B-TP panel başlık detay

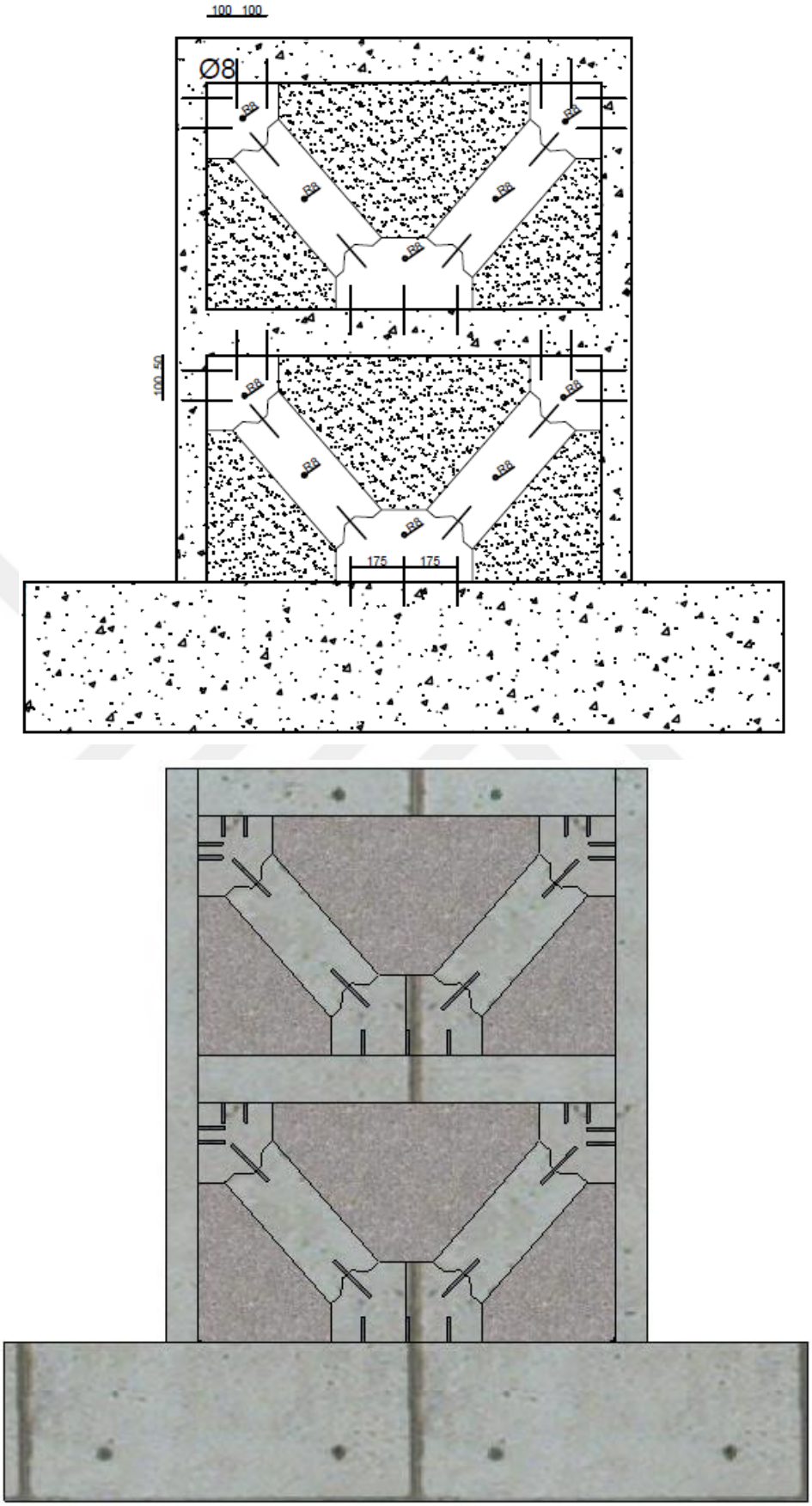


d) Kalıp ve Donatının hazırlanması



e) Grout harcının panellere yerleşimi

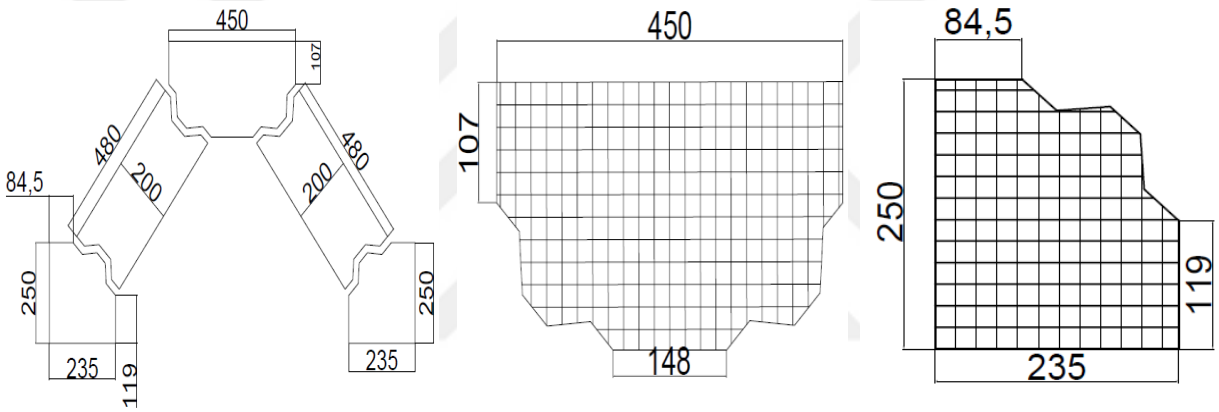
Şekil 3.31. B-TP modelin donatılı kalıbı ve beton yerleşimi



Şekil 3.32. B-TP panelin çerçeveye yerleşimi

c) C tipi panel modeli

Basınç çubuğunun genişliğine bağlı olarak iki gruba ayrılan güçlendirme yönteminin sonuncusu Merkezi ters V şeklinde üretilen C tipi panel (C-TP)'dir. C tipi panel B-TP panele benzer geometrik ölçülere ve ankraj yerleşimine sahiptir. Deney çerçevesinde her bir kat için iki adet alt başlık ve bir adet üst orta bölgede olmak üzere toplam üç parça olacak şekilde üretilen önüretimli paneller başlık ve orta bölgeyi birbirine bağlayan genişliği 200 mm olan basınç çubuklarıyla beraber duvara epoksi ile yapıştırılmıştır. Daha sonra belirli aralıklarda ankraj boşlukları açılarak çerçeveye ve duvara paneller Ø8 ankrajlar ile sabitlenmiştir. C-TP modele ait kalıp, donatı ve beton detayı Şekil 3.33'de, ankraj detayları ise Şekil 3.34'de gösterilmiştir.



a) C-TP panel genel görünüş

b) C-TP panel orta başlık detay

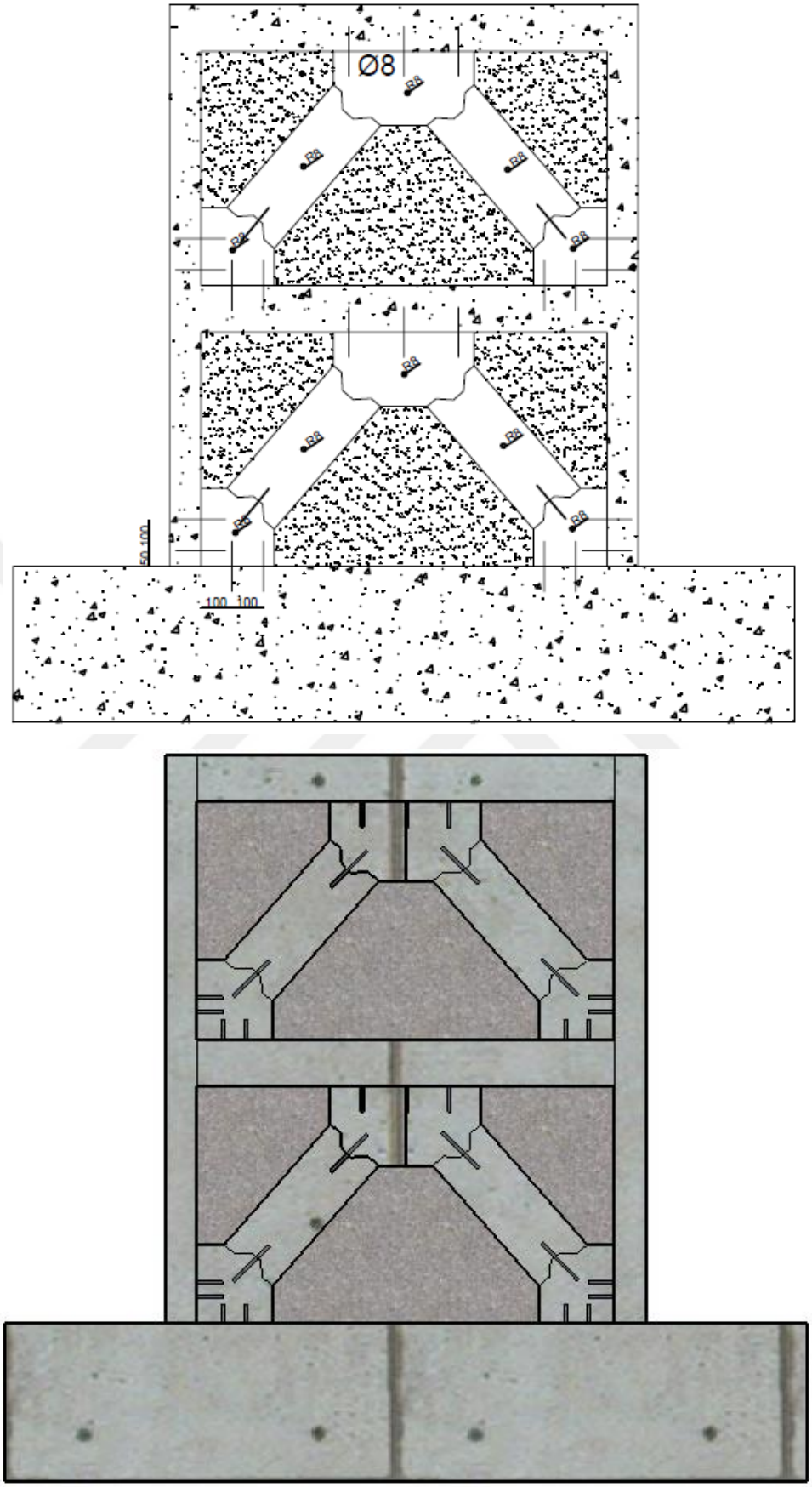
c) C-TP panel başlık detay



d) Kalıp ve Donatının hazırlanması

e) Grout harcının panellere yerleşimi

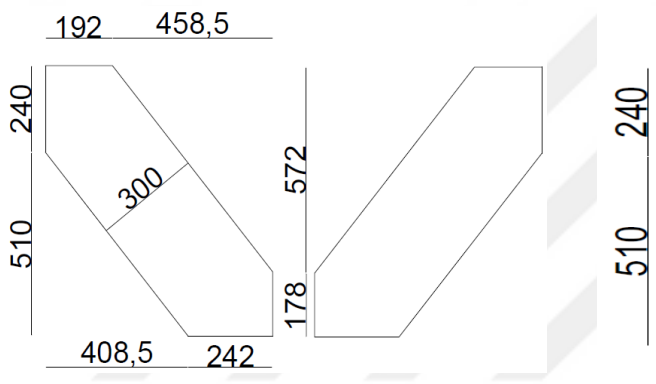
Şekil 3.33. C-TP modelin donatılı kalıbı ve beton yerleşimi



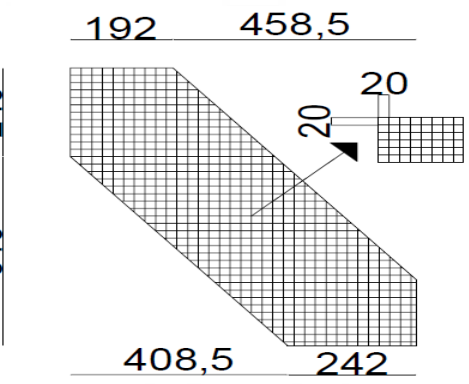
Şekil 3.34. C-TP panelin çerçeveye yerleşimi

d) D tipi panel modeli

Dış Merkez V şeklinde üretilen D tipi panel (D-TP), genişliği 300 mm olan önüretimli panellerin ilkidir. Deney çerçevesinde her bir kat için iki adet olmak üzere toplam dört parça olarak üretilen önüretimli paneller epoksi ile duvara yapıştırılmıştır. Daha sonra belirli aralıklarda ankraj boşlukları açılarak çerçeveye paneller ankrajlar ile sabitlenmiştir. Ayrıca her bir panelin üst ve alt kısmında panel-duvar bağlantısı yapılacak şekilde bir adet ankraj yerleştirilmiştir. D-TP modele ait kalıp, donatı ve beton detayı Şekil 3.35'de, ankraj detayları ise Şekil 3.36'da gösterilmiştir.



a) D-TP panel genel görünüş



b) D-TP panel donatı detayı

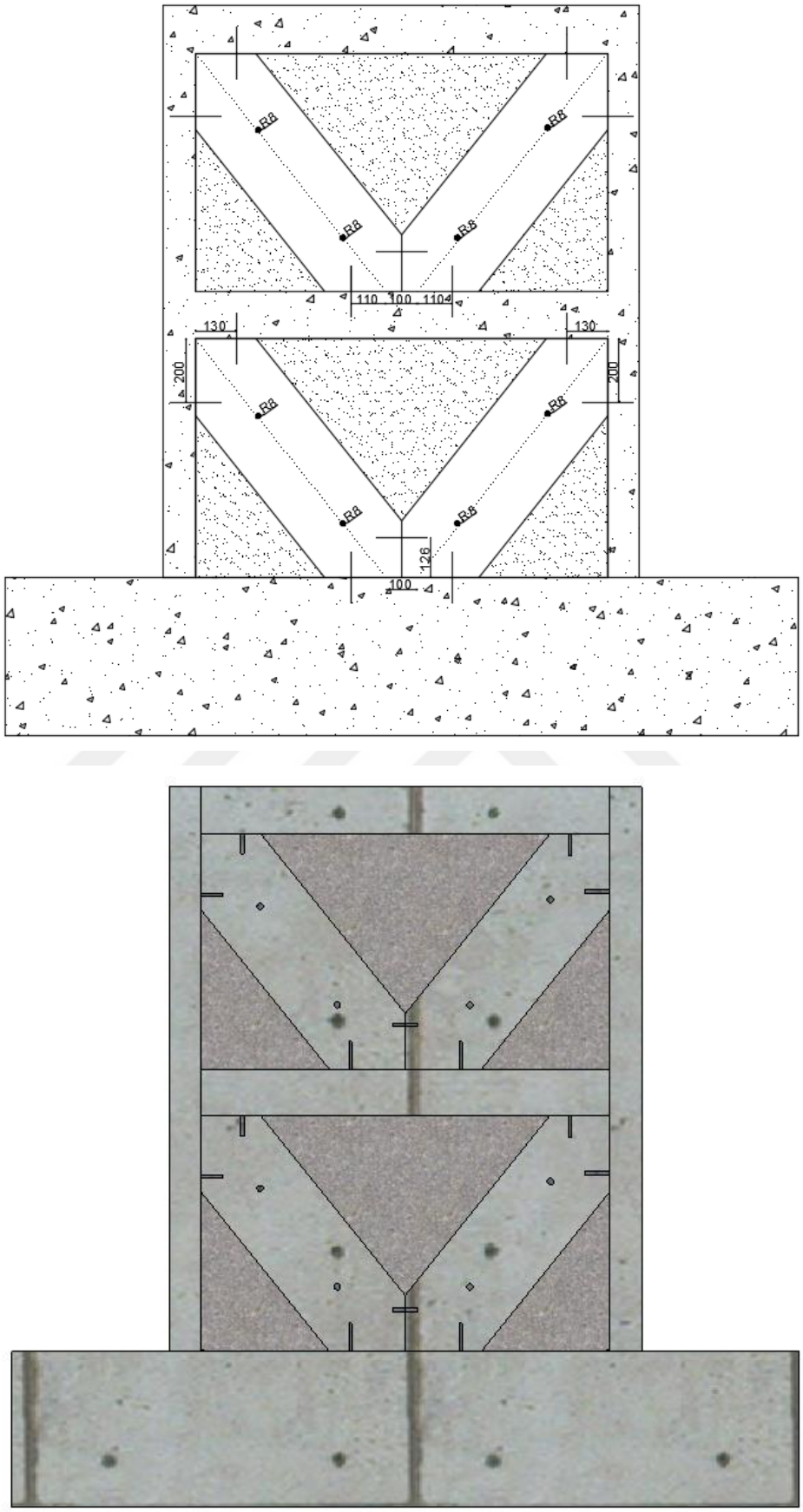


c) Kalıp ve Donatının hazırlanması



d) Grout harcının panellere yerleşimi

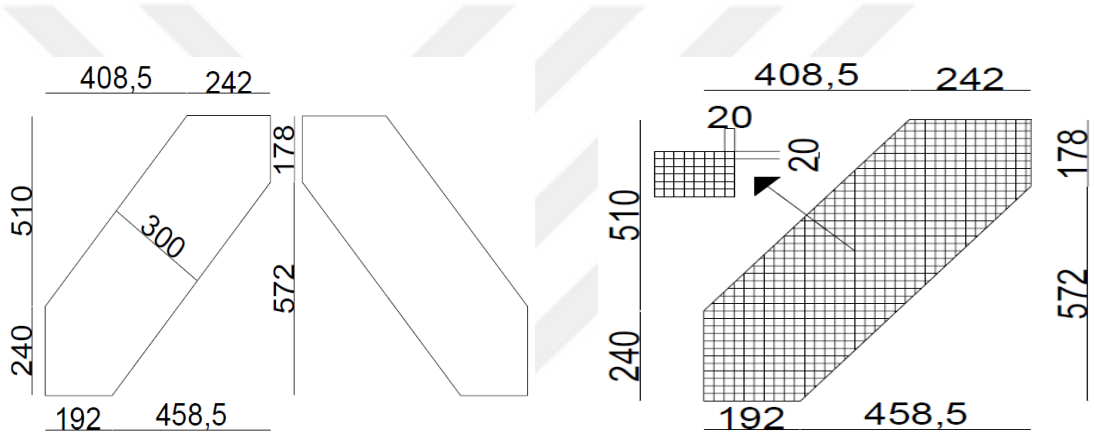
Şekil 3.35. C-TP modelin donatılı kalıbı ve beton yerleşimi



Şekil 3.36. D-TP panelin çerçeveye yerleşimi

e) E tipi panel modeli

Dış Merkez ters V şeklinde üretilen E tipi panel (D-TP), panel boyutları bakımından D tipi panel ile aynıdır. Deney çerçevesinde her bir kat için iki adet olmak üzere toplam dört parça olarak üretilen önüretimli paneller epoksi ile duvara yapıştırılmıştır. Daha sonra belirli aralıklarda ankraj boşlukları açılarak çerçeveye paneller ankrajlar ile sabitlenmiştir. Ayrıca her bir panelin alt ve üst kısmında panel-duvar bağlantısı yapılacak şekilde bir adet ankraj yerleştirilmiştir. E-TP modele ait kalıp, donatı ve beton detayı Şekil 3.37'de, ankraj detayları ise Şekil 3.38'de gösterilmiştir.

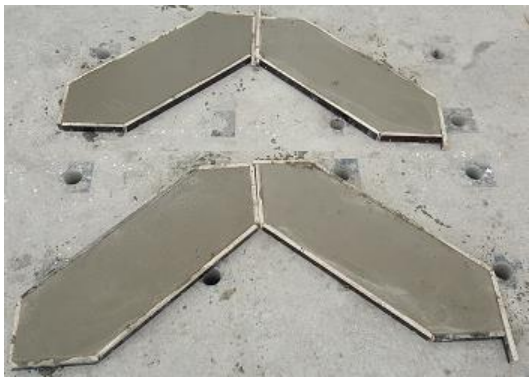


a) E-TP panel genel görünüş

b) E-TP panel donatı detayı

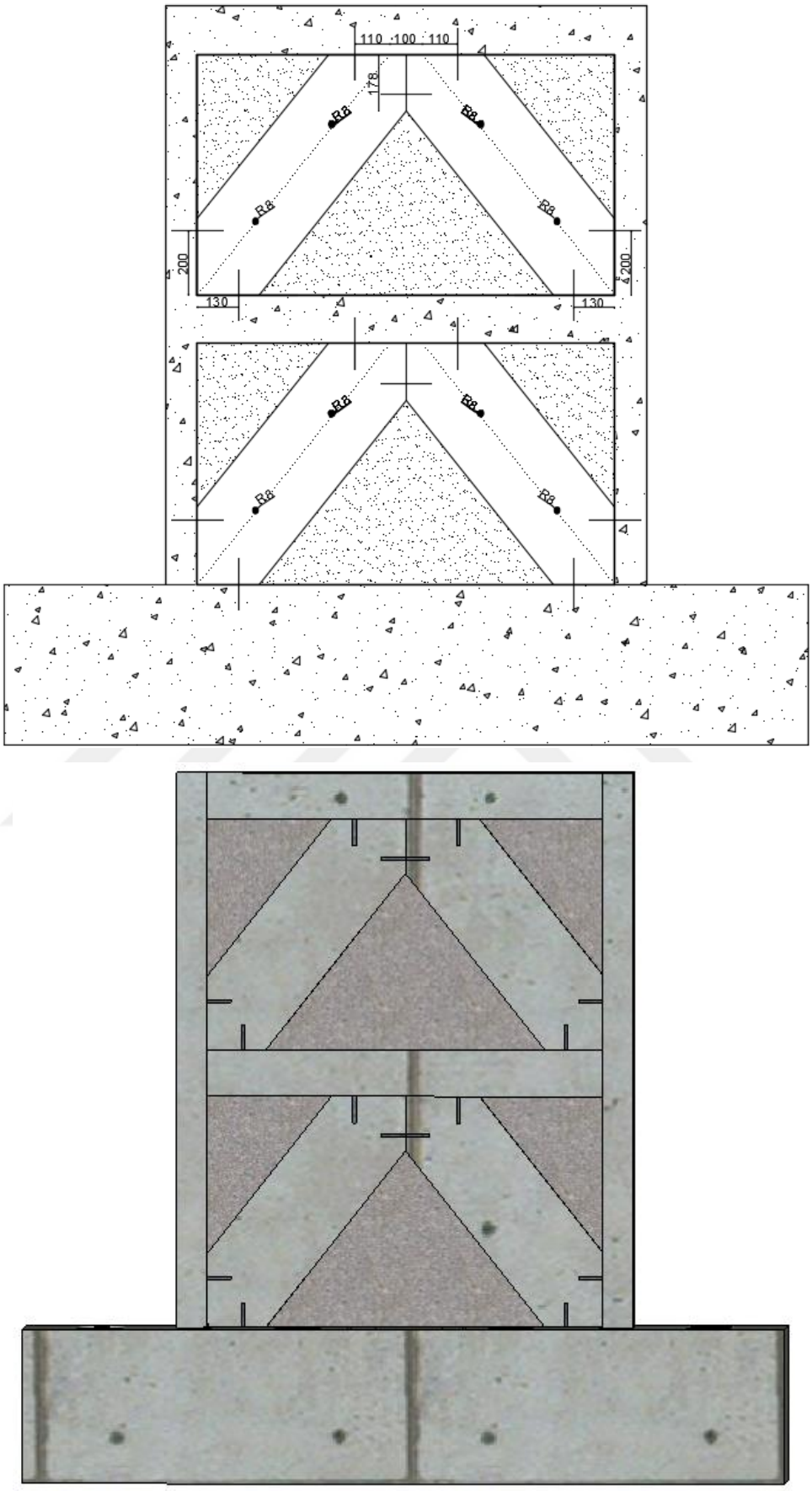


c) Kalıp ve Donatının hazırlanması



d) Grout harcının panellere yerleşimi

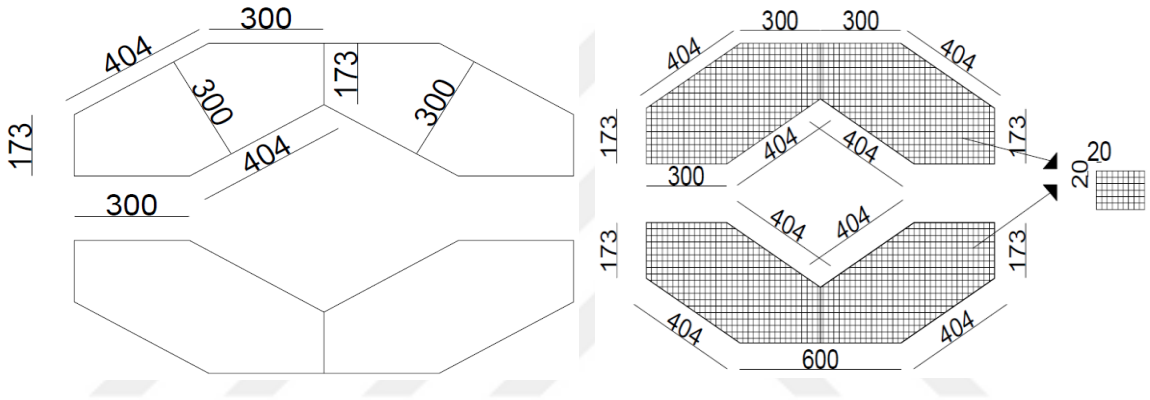
Şekil 3.37. E-TP modelin donatılı kalıbı ve beton yerleşimi



Şekil 3.38. E-TP panelin çerçeveye yerleşimi

f) F tipi panel modeli

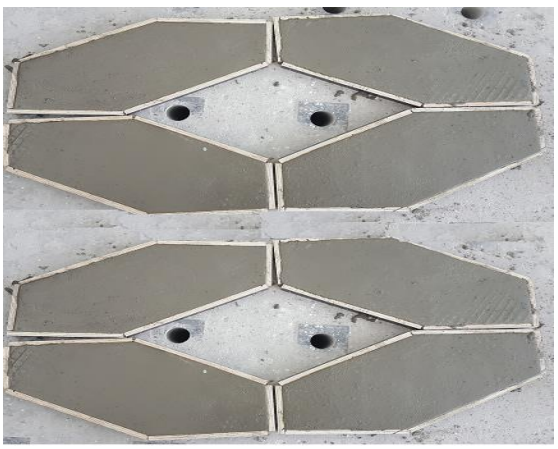
K şeklinde üretilen F tipi panel (F-TP), genişliği 300 mm olan dört adet önüretimli panelden oluşmaktadır. Deney çerçevesinde her bir kat için K şeklinde iki adet olmak üzere toplam dört parça olarak üretilen önüretimli paneller epoksi ile duvara yapıştırılmıştır. Daha sonra belirli aralıklarda ankraj boşlukları açılarak çerçeveye paneller ankrajlar ile sabitlenmiştir. Ayrıca her bir panelin ortasından panel-duvar bağlantısı yapılacak şekilde bir adet ankraj ilaveleri yapılmıştır. F-TP modele ait kalıp, donatı ve beton detayı Şekil 3.39'da, ankraj detayları ise Şekil 3.40'da gösterilmiştir.



a) F-TP panel genel görünüş

b) F-TP panel donatı detayı

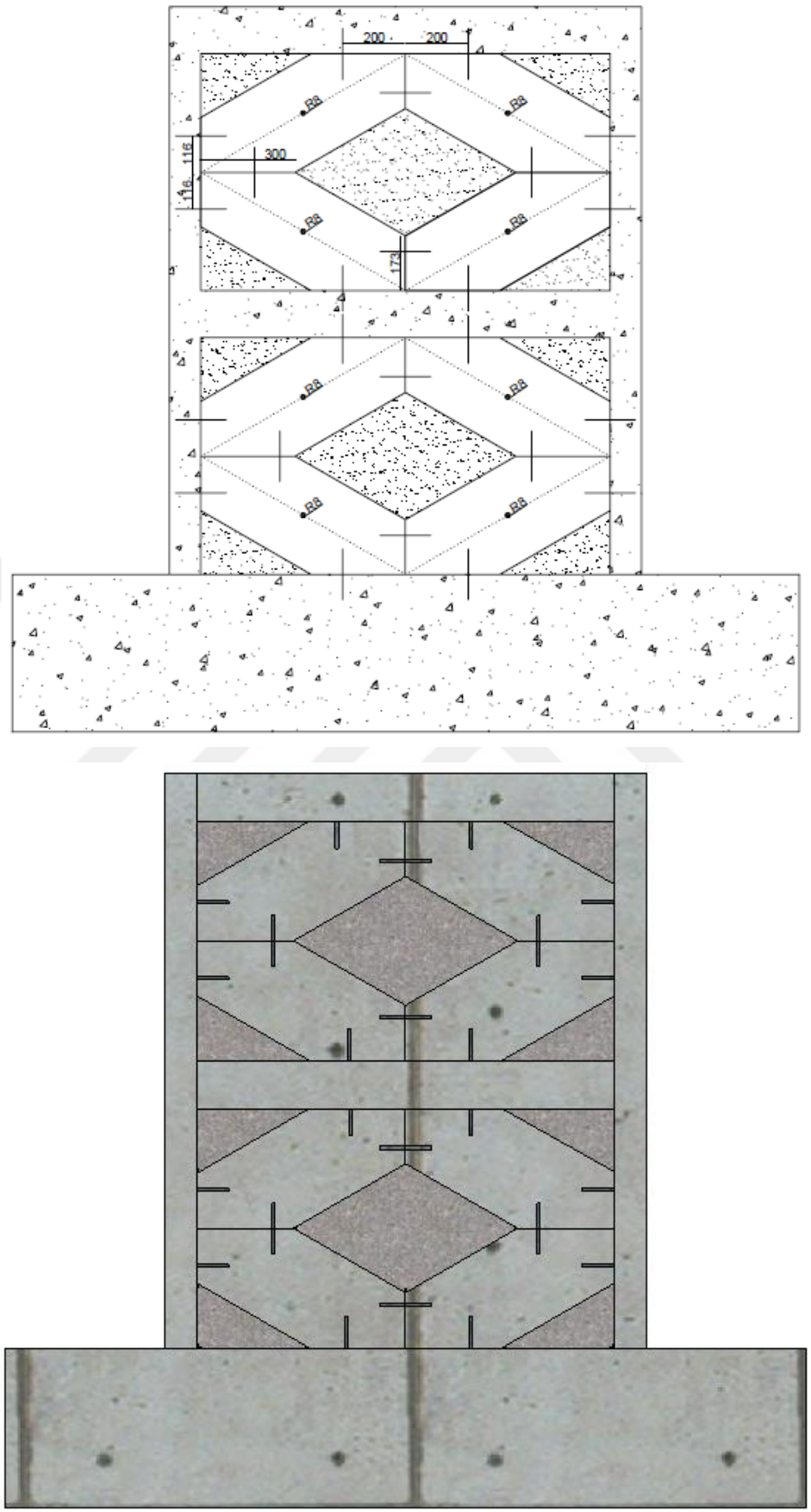




c) Kalıp ve Donatının hazırlanması

d) Grout harcının panellere yerleşimi

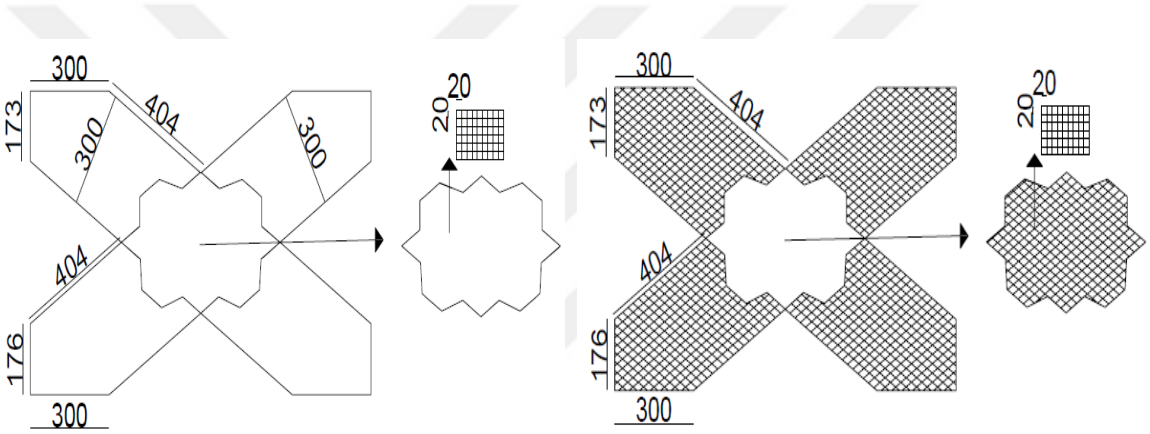
Şekil 3.39. F-TP modelin donatılı kalıbı ve beton yerleşimi



Şekil 3.40. F-TP panelin çerçeveye yerleşimi

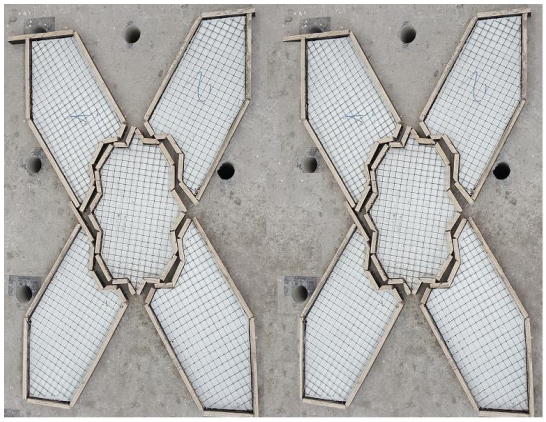
g) G tipi panel modeli

X şeklinde üretilen G tipi panel (G-TP), genişliği 300 mm olan beş adet önüretimli panelden oluşmaktadır. Deney çerçevesinde her bir kat için X şeklinde dört adet basınç çubuğu ve bir adet orta bölgede düğüm paneli olmak üzere toplam beş parça olarak üretilen önüretimli paneller epoksi ile duvara yapıştırılmıştır. Daha sonra belirli aralıklarda ankraj boşlukları açılarak çerçeveye paneller ankrajlar ile sabitlenmiştir. Ayrıca her bir panelin ortasından panel-duvar bağlantısı yapılacak şekilde bir adet ankraj ilaveleri yapılmıştır. F-TP modele ait kalıp, donatı ve beton detayı Şekil 3.41'de, ankraj detayları ise Şekil 3.42'de gösterilmiştir.

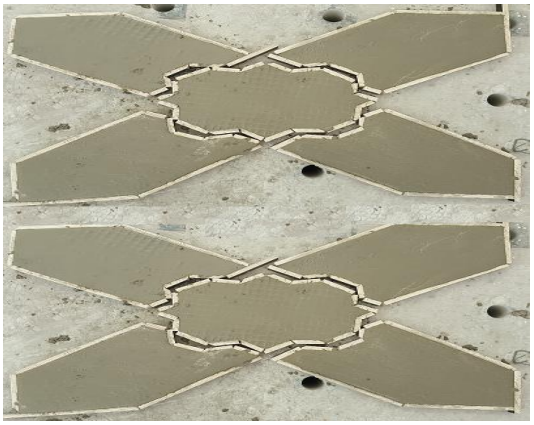


a) G-TP panel genel görünüş

b) G-TP panel donatı detayı

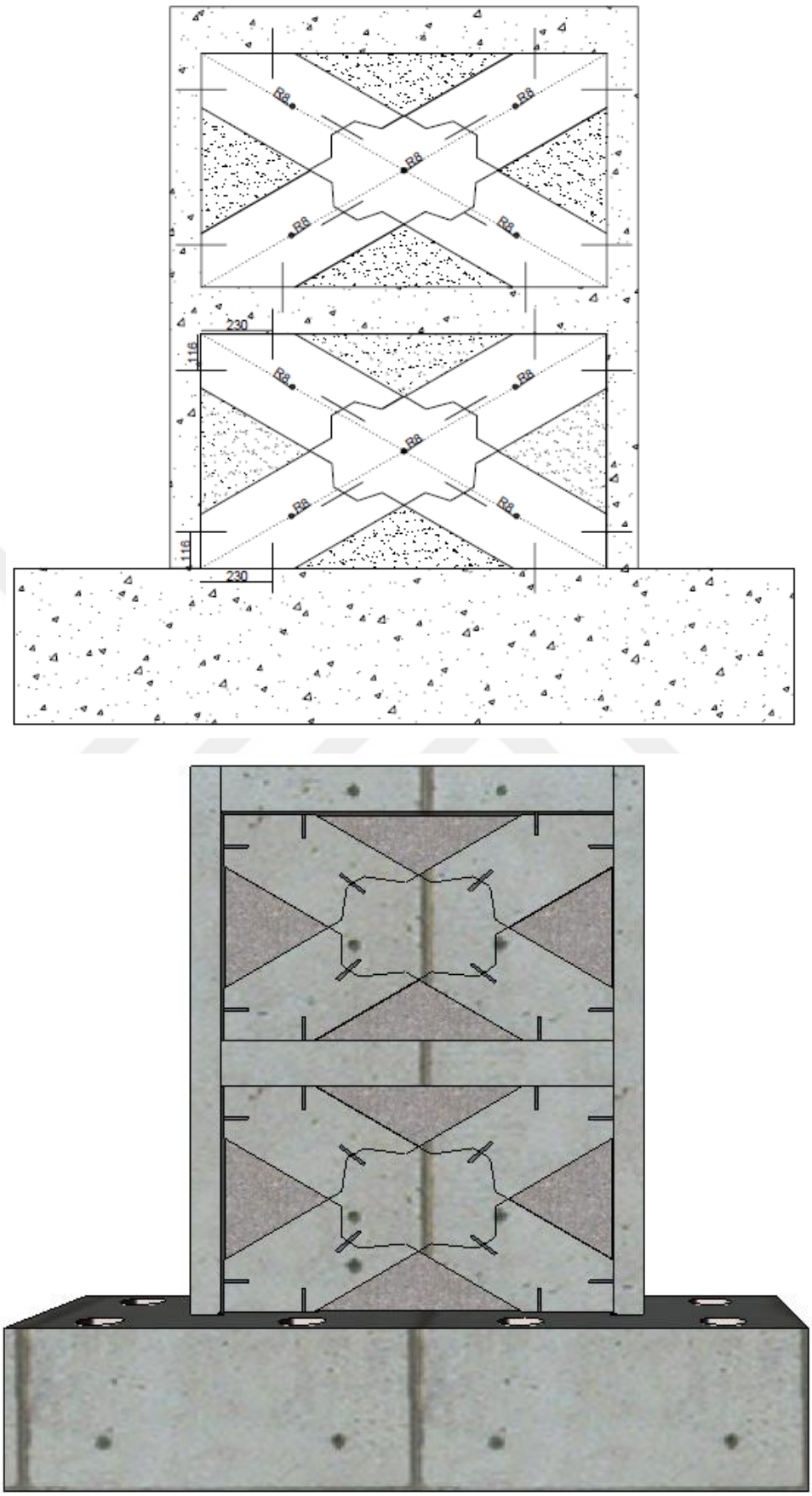


c) Kalıp ve Donatının hazırlanması



d) Grout harcının panellere yerleşimi

Şekil 3.41. G-TP modelin donatılı kalıbı ve beton yerleşimi



Şekil 3.42. F-TP panelin çerçeveye yerleşimi

3.2. Deney Düzeneği ve Ölçüm Tekniği

S.Ü. Mühendislik Fakültesi Deprem Laboratuvarında gerçekleştirilen çalışmada, 1/3 ölçekli iki katlı tek açıklıklı tuğla dolgu duvarlı betonarme çerçeveler farklı çapraz yerleşim şekillerine sahip önüretimli paneller ile güçlendirilerek depremi benzeştiren tersinir-tekrarlanır yatay yükler altında test edilmiştir. Yapılan güçlendirme panellerin yerleşim şekillerine, basınç çubuğunun genişliğine ve ankraj yerleşimine bağlı olarak iki grup halinde gerçekleştirilmiştir. Basınç çubuğu genişliği 200 mm olan A-TP, B-TP ve C-TP panelle güçlendirme ilk grubu oluştururken, basınç çubuğu genişliği 300 mm olan D-TP, E-TP, F-TP ve G-TP panelle güçlendirme ikinci grubu oluşturmaktadır. Laboratuvar ortamında oluşturulan güçlendirilmiş betonarme çerçevelere yatay yük hidrolik kriko yardımıyla hem itme hem de çekme olacak şekilde uygulanmıştır. Deneyler, numunelerin akma yükü değerine kadar yük kontrollü daha sonra deney sonuna kadar deplasman kontrollü olarak sürdürülmüştür. Deney sırasında uygulanan yük, yük ölçerler ile sağlanırken deplasman ölçümleri LVDT'ler ile gerçekleştirilmiştir. Deney sırasında uygulanan yük değişimi ve deplasman değişimleri bilgisayara veri aktarma kablolarıyla sağlanmıştır.

3.2.1. Deney düzeneği

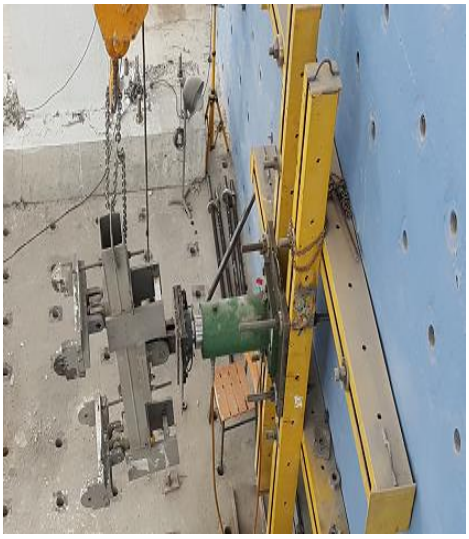
Deprem Laboratuvarında betonarme duvara ve betonarme döşemeye bağlı olan 1/3 ölçekli deney yükleme sistemi üzerinde deneysel çalışmalar gerçekleştirilmiştir. Bu nedenle 1/3 ölçekli güçlendirilmiş numuneler hazırlanan yükleme sisteminde teste tabi tutulmuştur. Deprem laboratuvarında bulunan betonarme duvar ve delikli döşeme sistemi Şekil 3.43'de gösterilmiştir.



Şekil 3.43. Deprem laboratuvarındaki yükleme duvarı ve döşeme sistemi(Akın, 2011)

Yükleme sistemi 1/3 ölçekli 2 katlı çerçeveye uygun olduğu için depremi benzeştiren tersinir-tekrarlanır yükleme etkisi üst kata iki birim ve alt kata bir birim yük gelecek şekilde tasarlanmıştır. Yüklemede kullanılan hidrolik kriko itmede 1000 kN, çekmede 500 kN kapasiteye sahiptir. Deney numunesi yük ve deplasman okumalarında hata oluşmaması için laboratuvar döşemesine, çerçevenin temeli üzerinde açılan 76 mm çapında ve 540 mm uzunluğundaki 8 adet borunun içinden geçen mil ile sabitlenmiştir. Şekil 3.44'de deney düzeneğinin hazırlanması gösterilmiştir.













Şekil 3.44. Yükleme sistemi

3.2.2. Ölçüm prensibi

Laboratuvarda gerçekleştirilen deneylerde yatay yük ölçümleri yük hücresi (load cell) ile gerçekleştirilmiştir. Numunelerde oluşan yatay ve düşey deplasmanlar ise LVDT olarak bilinen dijital cetveller ile yapılmıştır. Okunan değerler veri toplama(data logger) ile bilgisayara anlık aktarılmıştır. Aktarılan kayıtlar excel formatında kaydedilmiştir. İlgili grafikler de excel ortamında hazırlanmıştır.

3.2.2.1. Yük ölçüm prensibi

Laboratuvarda gerçekleştirilen deneylerde numunelere çekme ve basınç yükü hidrolik kriko vasıtasıyla uygulanmıştır. Uygulanan yük değerleri de yük hücreleri sayesinde okunmuştur. Uygulanan toplam 3 birimlik yükün iki birimi üst kata bir birimi ise alt kata etkitilmiştir. Toplam yük ölçümü için kullanılan load cell kapasitesi 1500 kN iken üst ve alt kata verilen yükü ölçen load cell kapasitesi 200 kN'dur (Şekil 3.45). Yükleme anında yük hücrelerinden aktarılan yük veri toplama kutusuna bağlı olup anlık veriler bilgisayarda kayıt altına alınmaktadır.



Şekil 3.45. Deneylerde kullanılan yatay yük ölçüm düzeneği

3.2.2.2. Deplasman ölçümleri

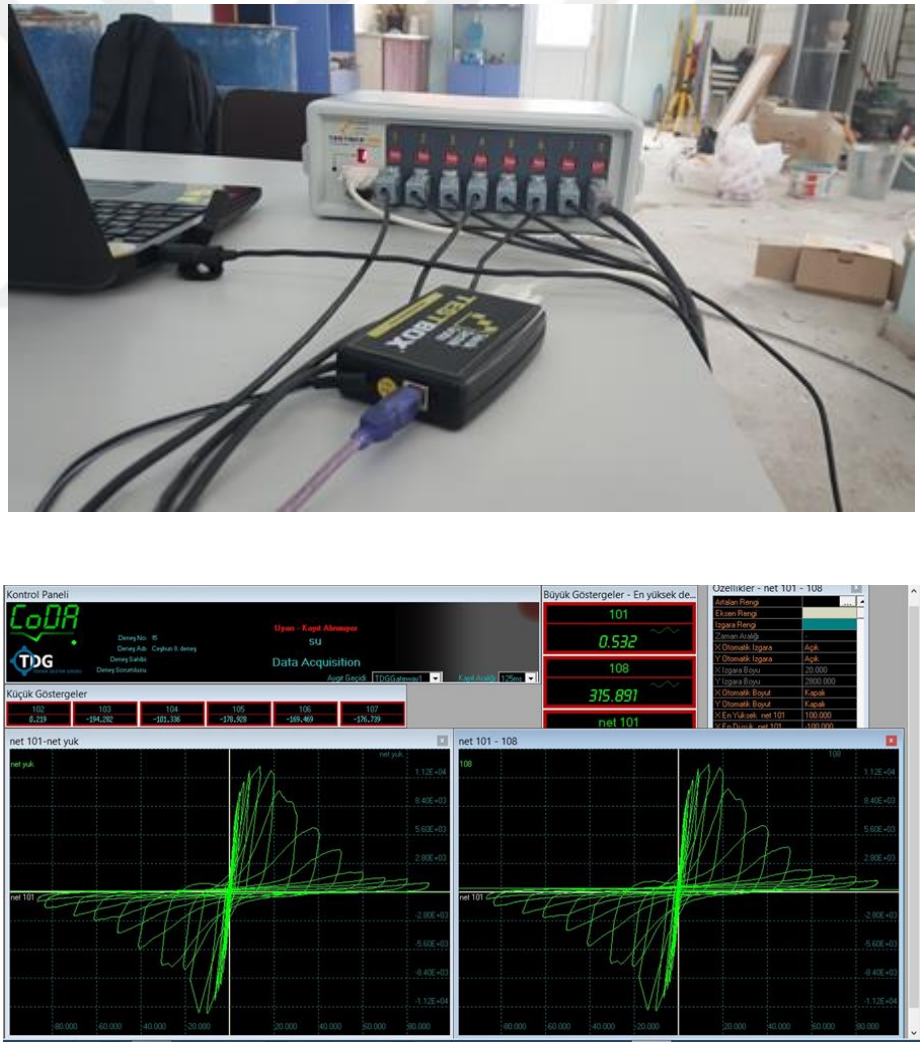
Elektronik cetveller olarak bilinen LVDT'ler ile deney numunelerinin yatay ve düşey deplasmanları deney boyunca ölçülmüştür. TDG firmasından temin edilen LVDT'ler ucundaki milin hareketi sonucunda volt cinsinden gerilim üretmektedir. Bu gerilimlerin sayısallaştırılması ile her bir itme ve çekme durumunda deplasmanlar ölçülmektedir. 0.01 mm duyarlılığında olan LVDT'ler sayesinde hassas ölçümler yapmak mümkün olmaktadır. Bir ucu LVDT'ye diğer ucu veri toplama cihazına bağlı kablolar sayesinde bilgisayar ekranında anlık değişimler kolaylıkla takip edilebilmektedir. Deneylerde toplam 7 adet LVDT 300, 350, 400 ve 450 mm'lik olmak üzere kullanılmıştır. Şekil 3.46'da LVDT yerleşim şekli gösterilmektedir.



Şekil 3.46. LVDT yerleşiminin kısmi gösterimi

3.2.2.3. Deplasman ve yük değişimlerinin bilgisayara aktarılaması

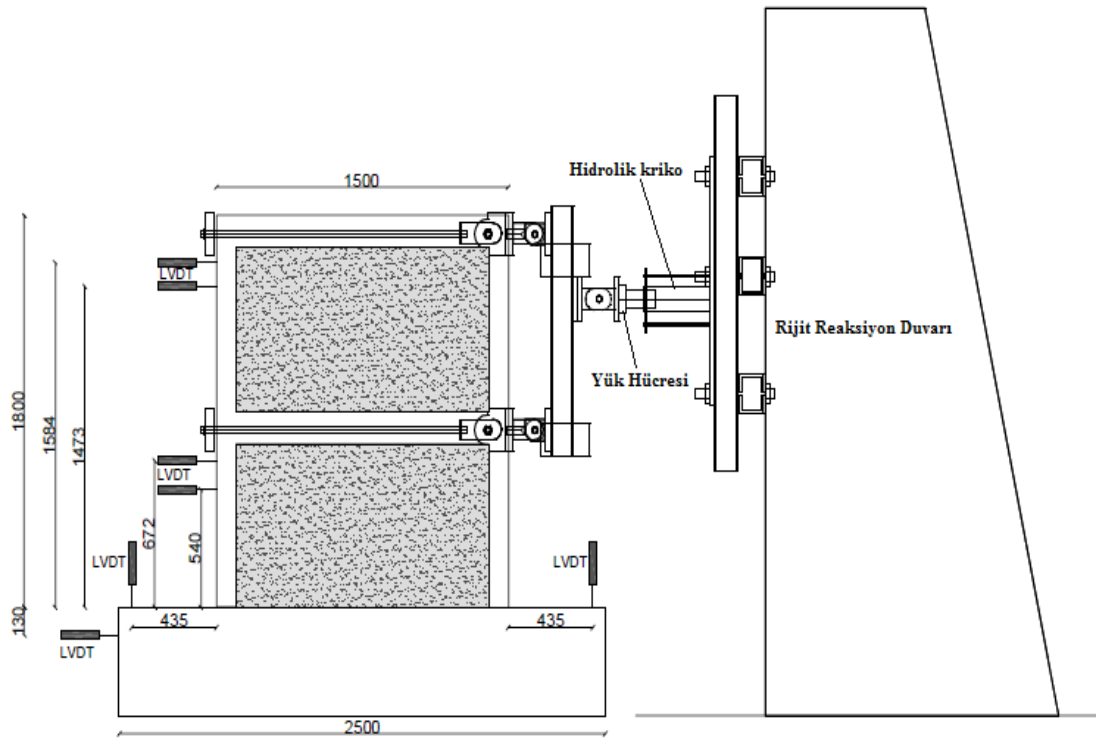
Kullanılan LVDT'ler yardımıyla yük hücrelerinden alınan volt cinsinden gerilme değerleri veri toplama sistemine aktarılmaktadır. Data Logger olarak da bilinen veri toplama sisteminde 7 adet LVDT ve 1 adet yük hücresinin (Load Cell) bağlanabileceği kanallar bulunmaktadır. Yazılımı CODA olan deney düzenleme programı ile bir deneyde 125 milisaniye aralıklarla veri kaydedilebilmektedir. Okunan tüm değerler anlık kayıt ortamına aktarılmaktadır. Grafik çizme ve farklı uzantılı veri kaydetmesi bakımından etkili bir yazılım olan CODA'da veriler "EXCEL" programında okunacak şekilde kaydedilmiştir. Şekil 3.47'de veri toplama sistemi gösterilmiştir.



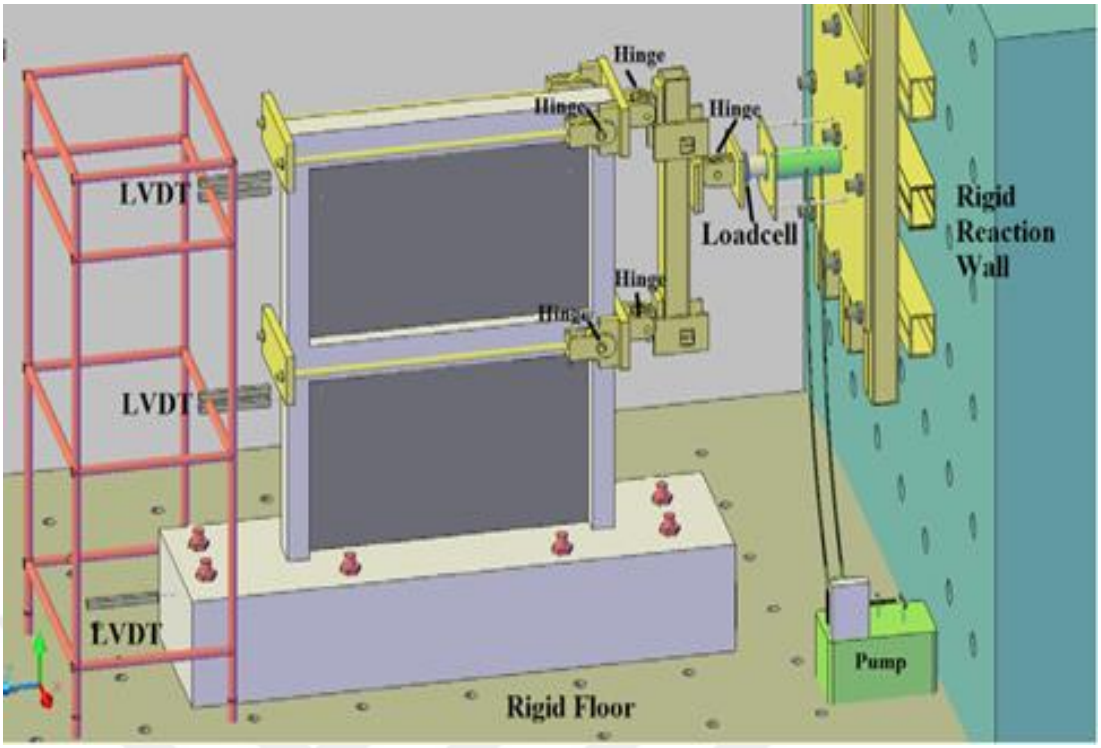
Şekil 3.47. Deneylerde kullanılan veri toplama sistemi

3.2.3. Deneylerde kullanılan ölçüm düzeneği

Yapılan deneysel çalışmada toplam 7 adet farklı LVDT kullanılmıştır. Kullanılan LVDT'ler 300 mm, 350 mm, 400 mm, 450 mm ölçüm aralığına sahiptir. Çerçeveye uygulanan yatay yük üst ve alt katın kolon kiriş birleşim bölgesine gelecek şekilde uygulanmıştır. LVDT'ler ile yapılacak yatay ölçümler ise alt ve üst katın tam kiriş akslarına gelecek şekilde yapılamamış olup destek plakalarının altına gelecek şekilde yerleştirilmiştir. Daha sonra kiriş akslarına gelecek durumdaki yer değiştirmesi lineer olarak hesap edilmiştir. Şekil 3.48'de şematik olarak deneysel çalışma ve LVDT'lerin yerleşimi gösterilmiştir. Şekil 3.48'de gösterilen birinci ve ikinci şekildeki model (Balık, 2012) tezinde kullandığı Autocad modeli kullanılarak çizilmiştir.



Şekil 3.48. Ölçüm düzeneğinin çerçeve üzerindeki gösterimi (Ölçüler mm'dir.)(Balık, 2012)





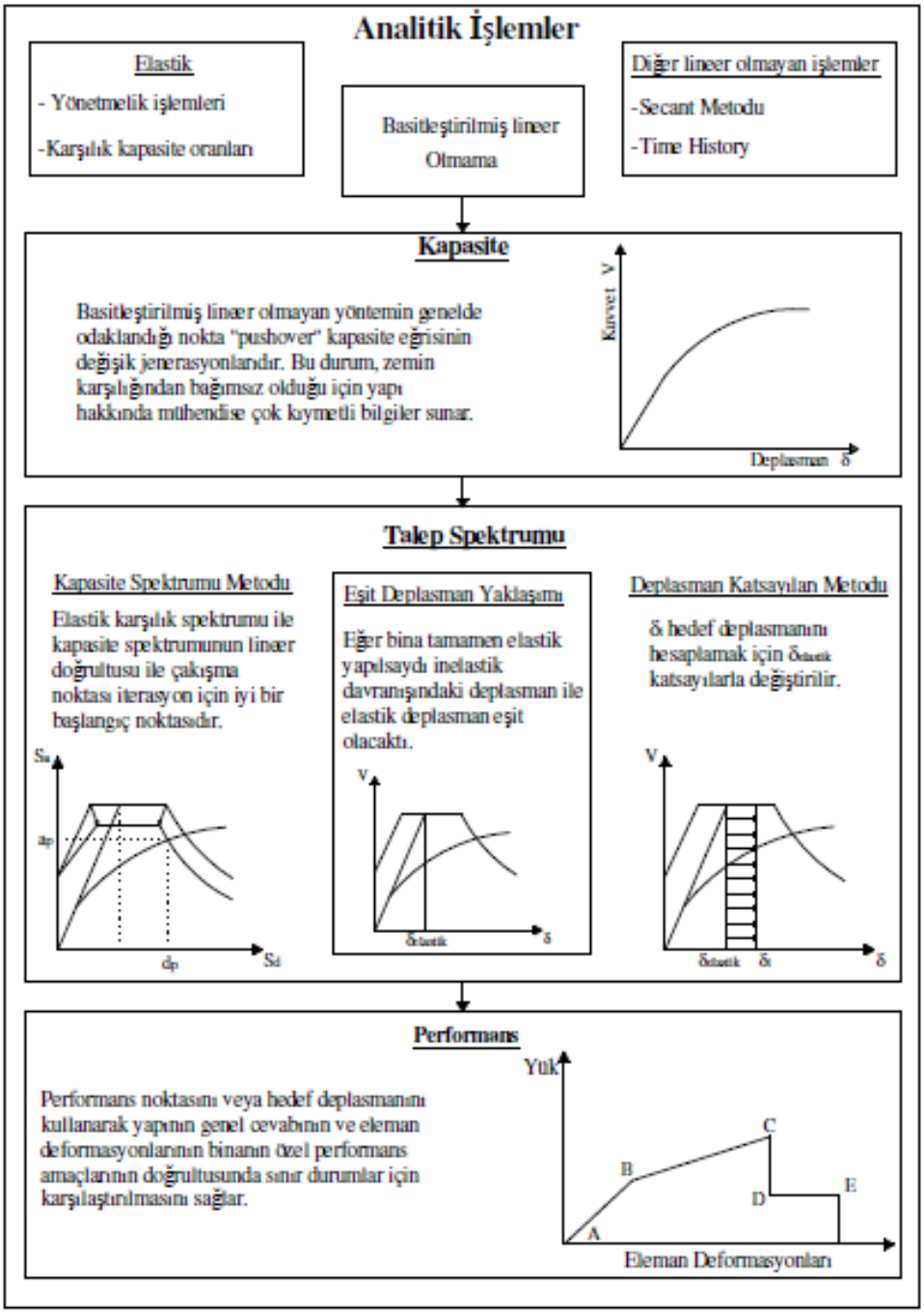
Şekil 3.48.devamı Ölçüm düzeneğinin çerçeve üzerindeki gösterimi (Ölçüler mm'dir.)(Balık, 2012)

3.2.4. Deney numunelerine uygulanan yükleme programı

Yapılan deneysel çalışmalar yükün uygulanmasına bağlı olarak iki şekilde gerçekleştirilmiştir. İlk olarak sistemin akma yüküne kadar yük sürekli artırılarak devam edilmiş, akma gerçekleştikten sonra yük artışı durduğu için deplasman artışlarına bağlı olarak deplasman kontrollü şekilde deney sonlandırılmıştır. Tüm deney numuneleri için akma ve maksimum yatay yük değerleri farklı olduğundan her biri için ayrı ayrı yük-deplasman eğrileri elde edilmiştir. Daha sonra deneysel çalışma sonuçları, statik lineer olmayan yapı analizi gerçekleştiren SAP2000'de modellenmiştir. Nonlineer analiz gerçekleştiren modelde, Bölüm 3.1'de verilen malzemenin gerçek özellikleri yansıtılmıştır.

Bilindiği üzere taşıyıcı sistemi betonarme olan yapıların analizi iki şekilde yapılabilmektedir. Bunlar sırasıyla doğrusal ve doğrusal olmayan analizlerdir. Doğrusal analiz yöntemi, yükler etkisi altındaki yapının bilinen malzeme özelliklerine göre elastik kapasitesi ve akma yükünün nerede olacağı hakkında bilgi vermektedir. Ancak akma gerçekleştikten sonra yapıda oluşan hasar mekanizmasını göstermede yetersizdir. Nonlineer analiz yöntemlerinde ise bina göçene kadar değişen davranışı ve mod şekli iyi bir modelleme sonucunda oldukça başarılı bir yaklaşıklıkla belirlenebilmektedir. Bu çalışma kapsamında dikkate alınan doğrusal olmayan nonlineer analiz (Pushover) yöntemi, deplasman katsayıları yöntemi ve kapasite tasarım spektrumu olmak üzere iki şekilde yapılabilmektedir.

Kapasite spektrum yöntemi, yapıya etkiyen toplam taban kesme kuvveti ile tepe deplasmanı arasındaki ilişkiyi gösteren kapasite eğrisi ile, sismik yer hareketini temsil eden talep spektrumunun kesişmesi ile elde edilen grafiği esas alır. Bu yöntem, mevcut binaların değerlendirilmesi ve güçlendirilmesi için son derece önemli olup, olası bir deprem durumunda yapının mevcut durumdaki ve güçlendirme sonrasındaki durumu hakkında net bir bilgi edinmemizi sağlar. Şekil 3.49.'da doğrusal olmayan analiz yöntemleri kısaca özetlenmiştir (Temür, 2007). Deprem talep (response) deplasmanı, kapasite eğrisi üzerinde, performans noktasındaki değeri dikkate alınır. Yapının deprem kapasitesini veren bu nokta yapının deprem anında verdiği tepkiyi gösterir.



Şekil 3.49. Analiz yöntemlerin kısa şeması(Temür, 2007)

Nonlineer statik analiz yönteminde yapıya artımsal şekilde yükler etkitilir. Artan şekilde uygulanan bu yükler yapıda plastik mafsalların sırasıyla belirli bölgelerde oluşmasına ve nihayet göçme yükünün tespiti ile sonlanmasına neden olur. Mevcut yapıların değerlendirilmesinde olduğu gibi güçlendirilmiş yapıların değerlendirilmesinde de yapılacak performans analizi tasarım için oldukça önem arz etmektedir.

3.2.5. Yük geçmişi ve deplasman geçmişi grafiklerinin çizilmesi

Yük ve deplasman geçmişi grafiklerinin çizilmesi oldukça basittir. İlk olarak deney sonuna kadar her bir çevrim için elde edilen yüke karşılık gelen deplasman değerleri kaydedilir. Her bir çevrimde elde edilen yük-çevrim sayısı ve deplasman-çevrim sayısı her bir numune için ayrı ayrı çizilmek suretiyle yük ve deplasman geçmişi grafikleri elde edilmiş olur.

3.2.6. Yatay yük- kat deplasman grafiklerinin elde edilmesi

Numuneye ölçüm için yerleştirilen LVDT'ler aracılığı ile deplasman ölçümleri yapılırken yük hücrelerinden okunan değerler yardımıyla yatay yük belirlenmektedir. Yükün alta 1/3 birim ve üste 2/3 birim olacak şekilde etkitilmesi sonucunda katlardaki deplasman değerleri LVDT'lerden okunmuştur. Alt ve üst kattaki LVDT'lerden temele yerleştirilen LVDT'deki değerin çıkarılması ile her kattaki net deplasman elde edilmektedir. Örnek olarak Şekil 3.50'de görülen numunede,

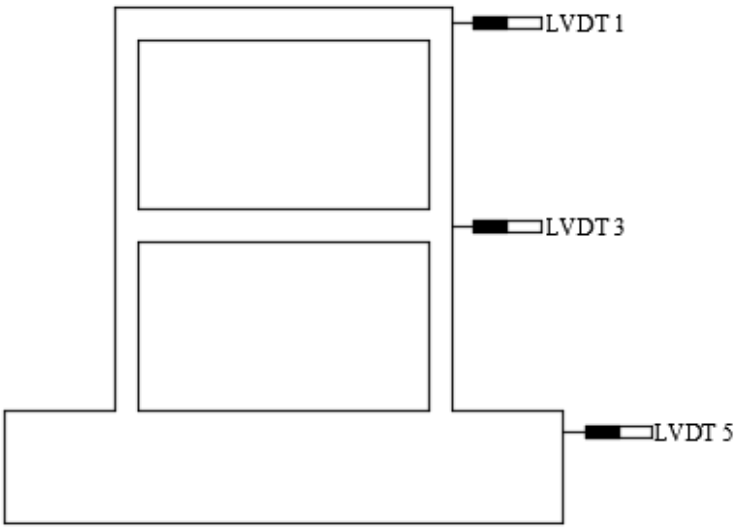
Üst kat (2. kat) net yatay deplasmanı (Tepe deplasmanı) Denklem 3.3'de;

$$\Delta_{net,üst} = LVDT\,1 - LVDT\,5 \tag{3.3}$$

Alt kat (1. kat) net yatay deplasmanı, Denklem 3.4'de;

$$\Delta_{net,alt} = LVDT\,3 - LVDT\,5 \tag{3.4}$$

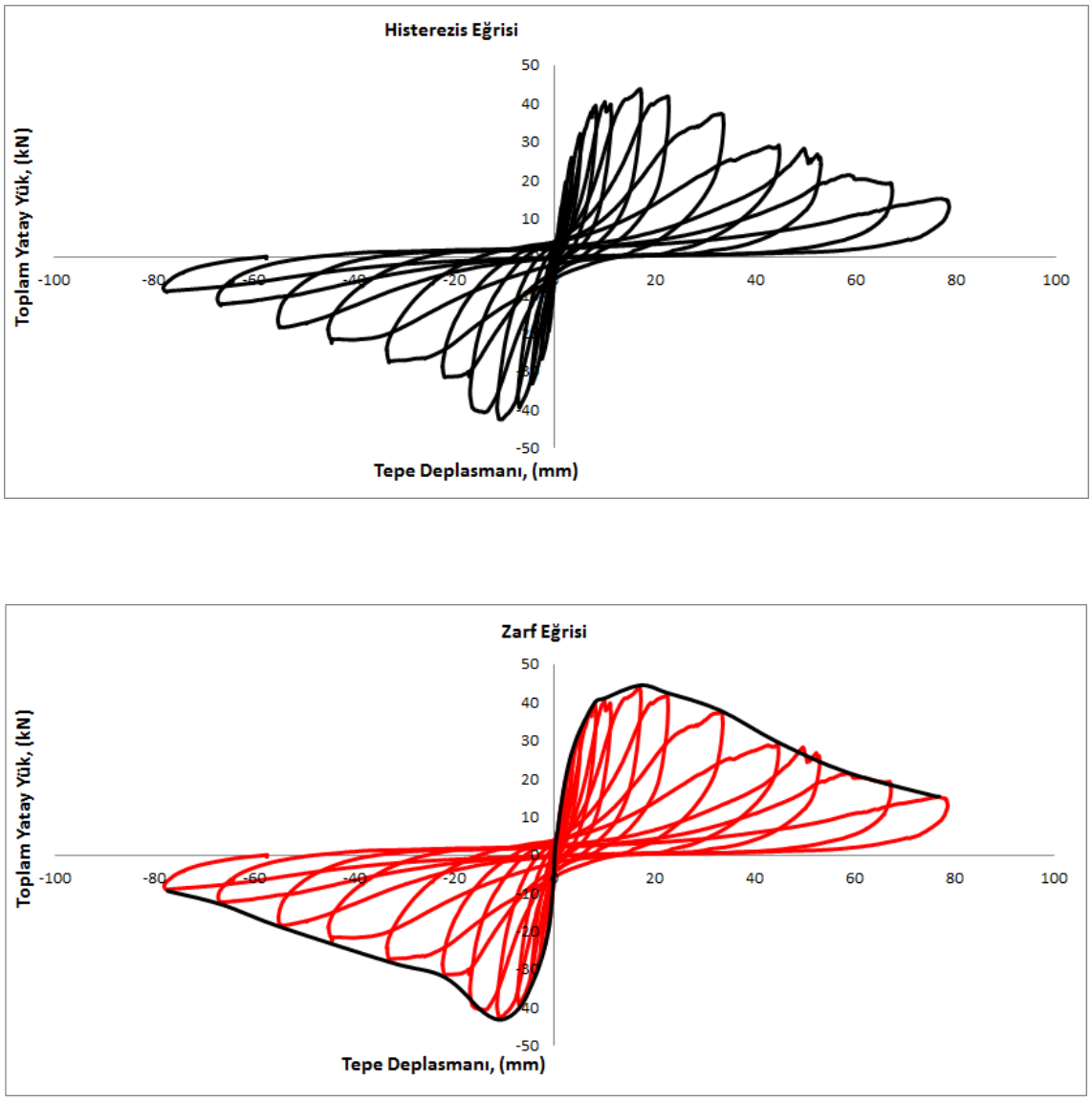
hesaplanmıştır.



Şekil 3.50. Yatay deplasmanın belirlenmesi

3.2.7. Zarf eğrisi ve histerezis eğrisinin çizilmesi

Numuneye uygulanan yük ve oluşan deplasman değerleri deney sonuna kadar artımsal olarak takip edilmiş ve excelde tüm veriler toplanmıştır. Artan yüke karşılık gelen deplasman değerleri ileri ve geri çevrimlerde birleştirilerek histerezis eğrisi oluşturulmuştur. Histerezis eğrisindeki her bir çevrimdeki tepe noktalarının birleştirilmesi ile de zarf eğrisi elde edilmiştir. Şekil 3. 51'de buna örnek gösterilmiştir.



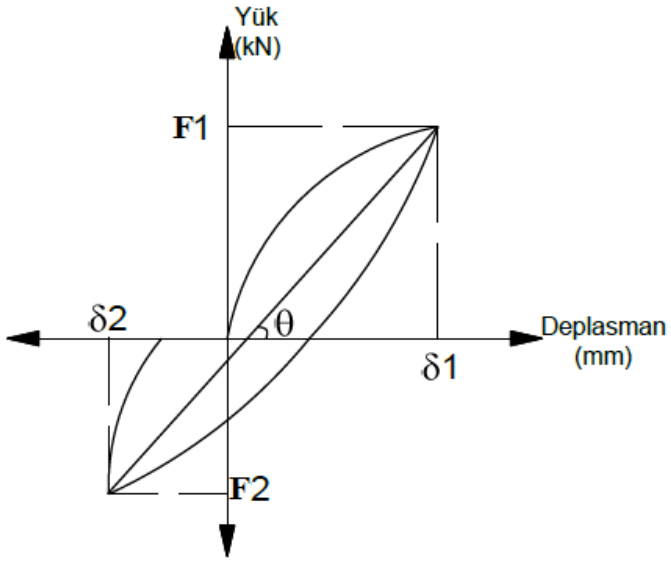
Şekil 3.51. Histerezis ve Zarf Eğrisinin çizilmesi

3.2.8. Rijitlik değişim grafiğinin çizilmesi

Numunelere uygulanan tersinir-tekrarlanır yük altında özellikle kolon ve kirişlerde oluşan plastik mafsal oluşumu numunelerin rijitliğini azaltmaktadır. Rijitlik, bir birim deplasman yapmak için uygulanması gereken kuvvettir. Bunun için her bir numune için yük-deplasmana bağlı zarf eğrisinden eğim hesaplanarak rijitliğin değişimi gözlenmiştir. Eğer her bir çevrim için yatay yük F1 ve F2 iken deplasman değerleri δ_1 ve $\delta 2$ ise, o çevrimdeki rijitlik değeri (Φ), Denklem 3.5'de gösterildiği gibi hesaplanmıştır.

$$Rijitlik(\phi) = \frac{(|F_1| + |F_2|)}{(|\delta_1| + |\delta_2|)} \tag{3.5}$$

Yapılan çalışmadaki deney numunelerinin karşılaştırılabilmesi için ilk çevrim rijitliği, maksimum yatay yükteki rijitlik değeri ve deney sonundaki değerini görmek içinde son çevrim rijitlikleri hesaplanmıştır. Şekil 3.52'de grafik üzerinde rijitlik hesabı gösterilmiştir.

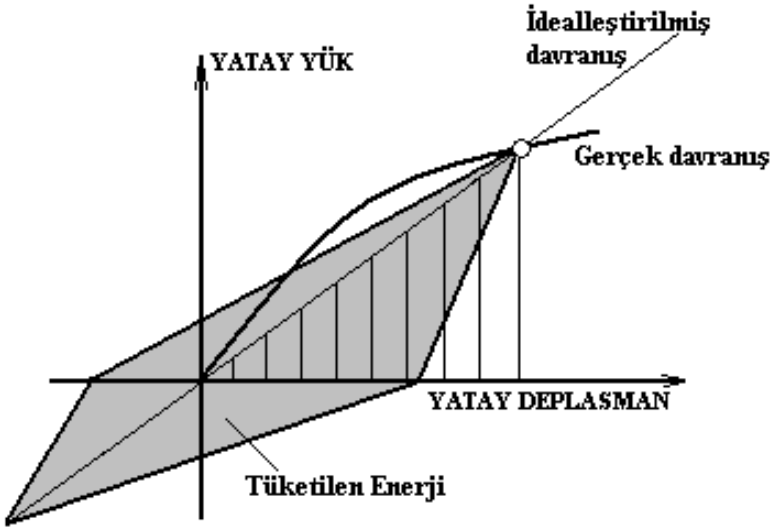


Şekil 3.52. Numunelerin rijitliğinin belirlenmesi

Her bir numune için bulunan tepe deplasmanına karşılık F/ δ değerleri oluşturulmuş olup, artan deplasman ile rijitlik değişimi incelenmiştir. Yapılan rijitlik karşılaştırması toplam yatay yük-tepe deplasmanına göre yapılmıştır.

3.2.9. Kümülatif toplam tüketilen enerji grafiklerinin çizilmesi

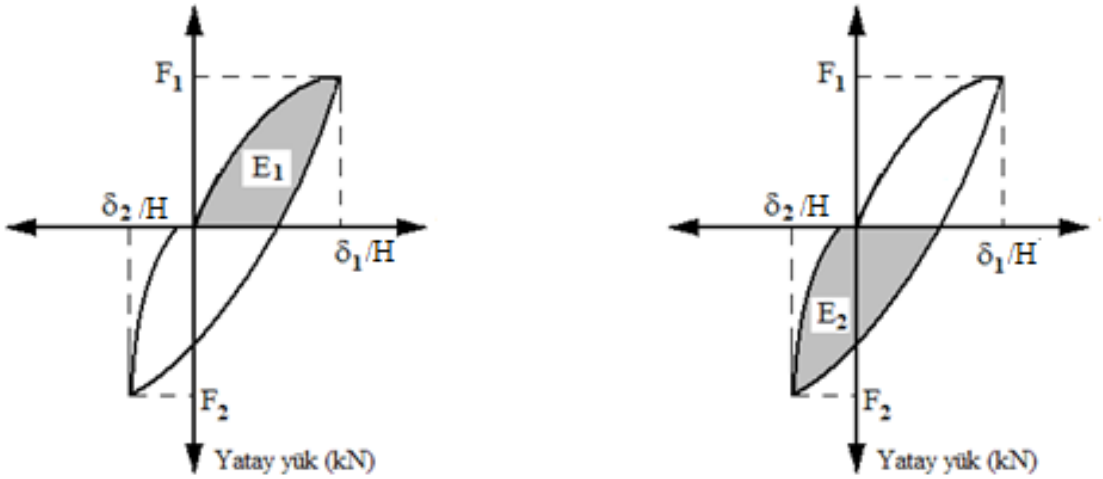
Depremin benzeştirildiği tersinir-tekrarlanır yatay yük altında numuneler enerjinin bir kısmını deformasyona uğramak suretiyle tüketmektedir. Sistemin toplam tüketilen enerjisi, deney numunelerinin her çevrimde yük-deplasman eğrisi altındaki alanların toplanması ile elde edilmektedir. Şekil 3.53'de sistem tarafından tüketilen toplam enerji grafiği gösterilmiştir (Arslan, 2007).



Şekil 3.53. Sistem tarafından tüketilen enerji (Arslan, 2007)

Sistemin toplam tüketilen enerjisinin elde edilmesi için aşağıdaki sıralama takip edilmiştir:

1. Her çevrim için ileri ve geri çevrimlerdeki E1 ve E2 alanları hesaplanmıştır.
2. Hesap edilen E1 ve E2 enerji alanlarının toplanması ile bir çevrimdeki toplam tüketilen enerjisi hesap edilmiştir.
3. Her bir çevrimdeki toplam enerji çevrimleri de sonraki çevrimlerde bulunan enerji toplamları üzerine eklenerek toplam kümülatif tüketilen enerji değeri hesap edilmiştir.
4. Hesap edilen kümülatif toplam tüketilen enerji grafiğine karşılık tepe deplasmanın/toplam yüksekliğe (δ/H) oranı grafiği Şekil 3.54'de gösterildiği gibi elde edilmiştir.
5. Enerji grafiğinde düşey eksen kN.mm, yatay eksen ise mm cinsinden verilmiştir.

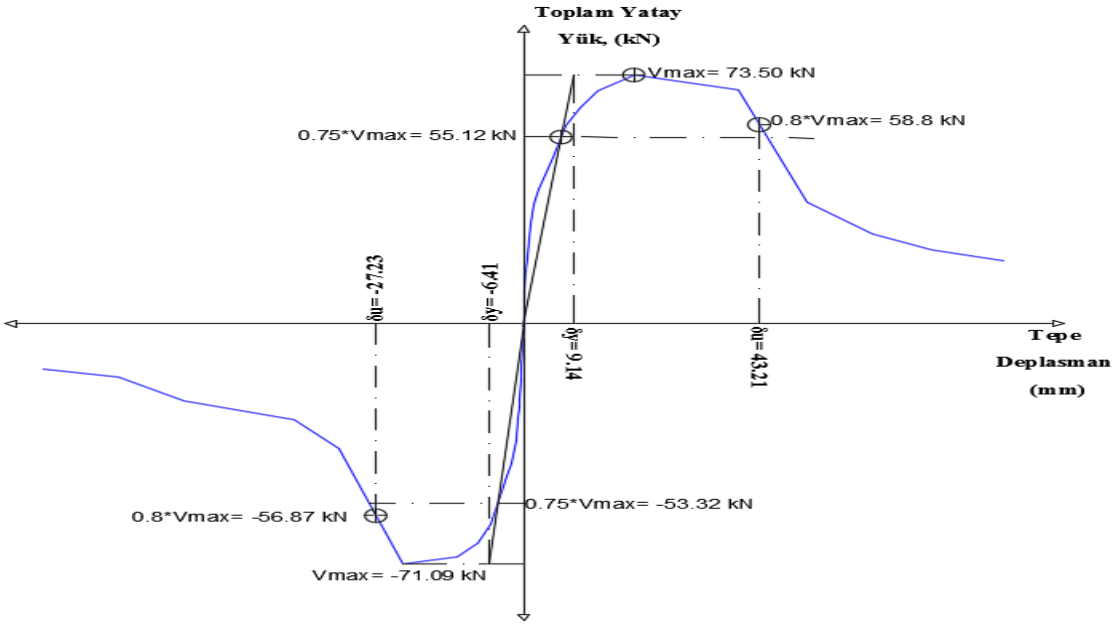


Şekil 3.54. Toplam tüketilen enerji değerlerinin hesaplanması (Arslan, 2007)

3.2.10. Numune süneklik grafiğinin çizilmesi

Tersinir-tekrarlanır yükleme altında betonarme yapıların sünekliği son derece önemlidir. Süneklik, yapının taşıdığı yükte ciddi bir azalma olmadan ulaşabildiği maksimum deplasmanın akma deplasmanına oranı ile tanımlanmaktadır. Sistem süneklik grafiği aşağıdaki sıra takip edilerek hesap edilmiştir:

1. Excel ortamında oluşturulan her bir deney numunesine ait zarf eğrisi Autocad ortamına aktarılmıştır.
2. Daha sonra Autocad ortamında var olan zarf eğrisi üzerinde ileri ve geri çevrim için maksimum yatay yük (V_{max}) değeri işaretlenmiştir.
3. Maksimum yükün ileri ve geri çevrimde %20 ($0.8V_{max}$) ve %25 ($0.75V_{max}$) seviyelerinde azaldığı noktalar işaretlenmiştir.
4. Taşıma kapasitesinin ileri ve geri çevrimde %75 seviyesine düştüğü noktalardan geçirilen sekant eğrisi maksimum yatay yük ile kesiştiği yer işaretlenmiştir.
5. Bu noktanın yatay eksene olan mesafesi ölçülerek elde edilen deplasman değeri akma deplasmanı (δ_y) olarak kabul edilmiştir.
6. $0.8V_{max}$ değerinin yatay eksene olan deplasman değeri de maksimum kopma deplasmanı (δ_u) olarak kabul edilmiştir.
7. $\delta_y/\ \delta_u$ oranı hesap edilerek sistemin süneklik değeri Şekil 3.55'de gösterildiği gibi elde edilmiştir.



Şekil 3.55. Sistem sünekliğinin değerlendirilmesi grafiği

4. DENEYSEL ÇALIŞMA SONUÇLARI

Bu bölümde, depremi benzeştiren tersinir-tekrarlanır yükler altında deney numuneleri test edilmiştir. Bunun için 1 adet referans boşluklu 8,5'luk tuğla dolgu duvarla örülü çerçeve ve 7 adet 8,5'luk tuğla dolgu duvarları sırasıyla A, B, C, D, E, F ve G tipi önüretimli yeni çapraz beton panellerle güçlendirilmiş betonarme çerçeve deneyleri 1/3 ölçekli olarak test edilmiştir. Güçlendirilmiş numunelerden A-TPÇ, B-TPÇ ve C-TPÇ'nin panel genişliği 200 mm olarak iken, D-TPÇ, E-TPÇ, F-TPÇ ve G-TPÇ'nin panel genişliği 300 mm olarak seçilmiştir. Her bir deney için, çevrimlere karşılık gelen yük ve deplasman değerlerinde oluşan çatlak ve hasarlar tablolar halinde verilmiş, deney sırasında oluşan hasarlar açıklanmış ve çerçeve davranışları fotoğraflarla desteklenmiştir. Ayrıca tüm deney numuneleri 1. kata 1 birim, 2. kata ise 2 birim yük gelecek şekilde yüklenmişlerdir. Yük kontrolü 1 adet load–cell (yük hücresi) kullanılarak toplam yükü (taban kesme kuvvetini) ölçmek için kullanılmıştır. Bu anlamda yapılan tüm deneylere benzer şekilde devam edilmiştir.

Deney süresince,

1. Başlangıç çevrimler, her bir elemanın elastik sınır içinde kaldığı (Hooke kanunu) yük sınırları içindedir,
2. Tüm deneylerde yükleme ilk olarak, kuvvet kontrollü olarak başlanılmış olup daha sonra deplasman kontrollü devam edilmiştir,
3. Yüke karşılık gelen deplasman eğrisi (histerisis) istenilen ideal akma sınırına ulaştığında pekleşme bölgesi için ilave birkaç çevrimden sonra kuvvet kontrollü yükleme sonlandırılmış ve deplasman kontrollü yüklemeye geçilmiştir,
4. Deplasman kontrollü yüklemede ise; deplasman artışları, akma sınırında oluşan deplasmanın katları olacak şekilde, genelde 5-10 mm olan artışlar için yük değerleri okunmuştur.

Yapılan deneysel çalışmanın sonuçlarının anlaşılabilmesi için sırasıyla aşağıdaki grafikler hazırlanmıştır:

1. Yük geçmişine ait grafik
2. Deplasman geçmişine ait grafik
3. Toplam Yatay Yüke (Taban Kesme Kuvveti) karşılık – Tepe Deplasmanı grafiği (Histerezis Eğrisi)
4. Toplam Yatay Yüke (Taban Kesme Kuvveti) karşılık – Tepe Deplasmanı grafiği (Zarf Eğrisi)

5. 1. Kata ait Yatay Yüke karşılık – 1.Kat Deplasmanı grafiği (Histerezis Eğrisi)
6. 1. Kata gelen Yatay Yüke karşılık – 1.Kat Deplasmanı grafiği (Zarf Eğrisi)
7. Toplam Yatay Yüke (Taban Kesme Kuvveti) karşılık – 2. Kat (Tepe) Ötelenme grafiği
8. 1. Kata gelen Yatay Yüke karşılık – 1. Kat Ötelenme grafiği
9. Sistem rijitlik azalım grafiği
10. Sistem süneklik değerlendirme grafiği
11. Kümülatif toplam tüketilen enerji - 2. kat ötelenme oranı grafiği

4.1. 1 Nolu Deney (Referans Numune, RN)

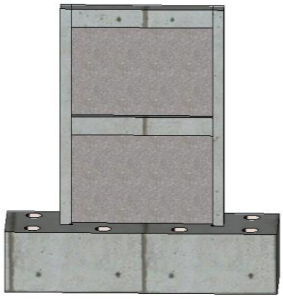
Bu çalışma kapsamında ilk olarak deprem dayanımı zayıf ve kuvvetli kiriş zayıf kolon özelliği taşıyan referans tuğla dolgu duvarlı betonarme çerçeve (BAÇ) numunesi üretilmiştir. Referans numuneye ait parametrik değerler Çizelge 4.1'de detaylı olarak verilmiştir.

Ayrıca 1 nolu deney:

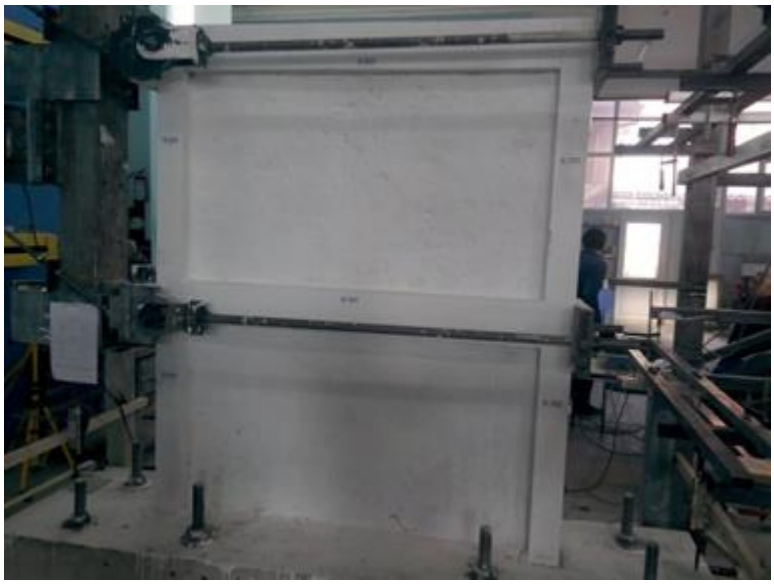
1. Beton dayanımı düşük
2. Kolon-kiriş birleşim bölgesinde etriye sıklaştırması olmayan
3. Etriyeleri nervürsüz ve etriye kancaları 90^0 olan çerçeve numuneden oluşmaktadır.

Bu doğrultuda çalışmanın amacı, uygulamada çok sık karşılaşılan yukarıdaki malzeme özelliklerine sahip tuğla dolgu duvarlı BAÇ'nin rijitliğinin, sünekliğinin, enerji tüketme kapasitesinin, yatay yük taşıma kapasitesinin ve deprem davranışının tespit edilmesi amacıyla laboratuvar ortamında depremi benzeştiren tersinir-tekrarlanır yükler altında test edilmesidir.

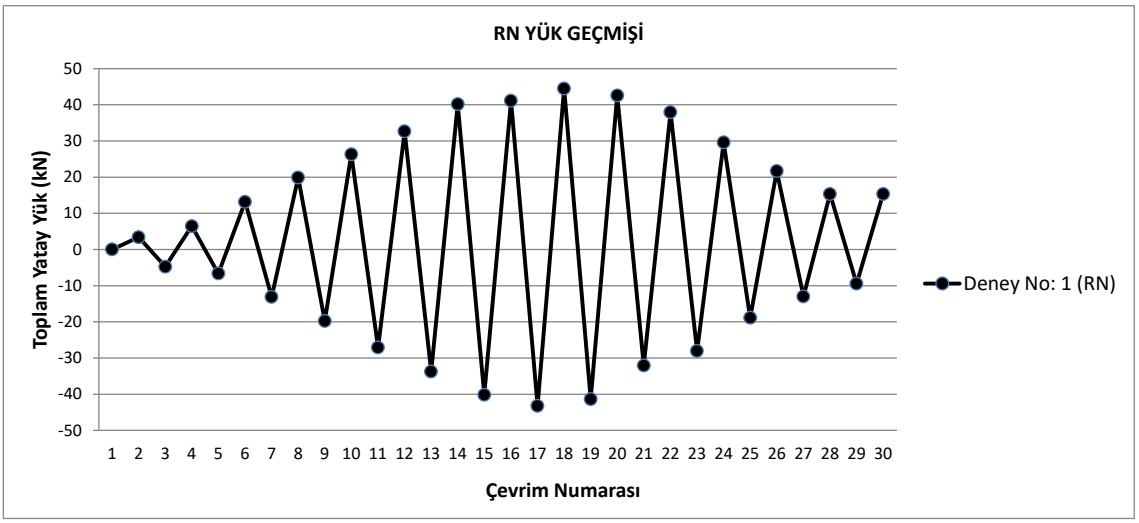
Çizelge 4.1. Referans numunenin parametrik özellikleri

Deney Numunesi No	Çerçeve Türü	Ortalama Basınç Dayanımı (MPa)		Donatı Çubuklarının Akma ve Çekme Dayanımları (MPa)			
		Çerçeve	Önüretimli Panel	Ø4	Ø8	Ø10	Ø16
Deney-1 Boşluklu Tuğla Dolgu Duvarlı Çerçeve		17.23	-	$\frac{294}{387}$	$\frac{407}{496}$	$\frac{418}{512}$	$\frac{427}{508}$

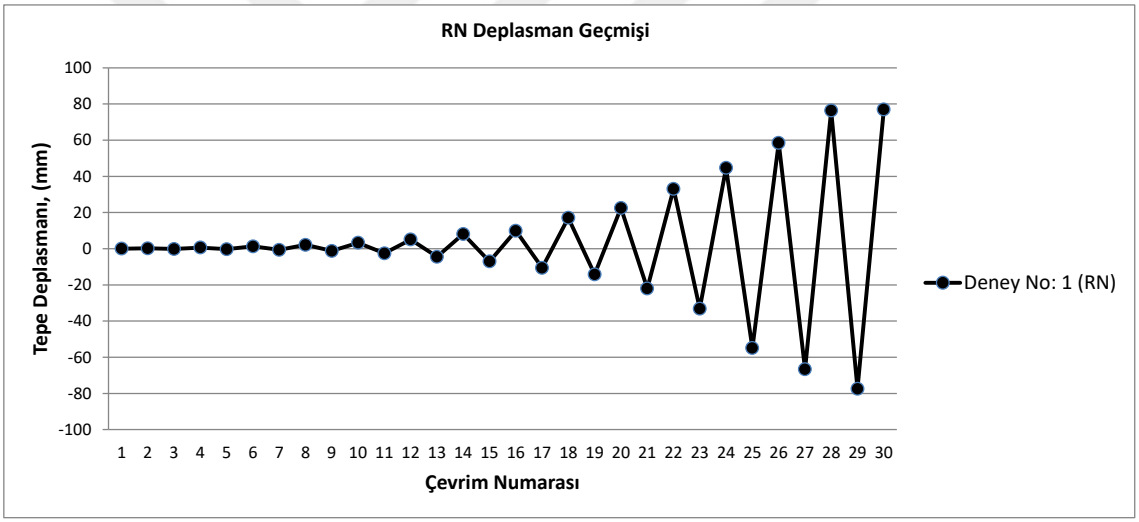
Referans numunenin deneye başlamadan önceki durumu Şekil 4.1'de gösterilmiştir. Ayrıca uygulanan yükleme geçmişi ise Şekil 4.2'de verilmiştir. Yükleme geçmişi, çerçeveye uygulanan toplam yatay yük ve üst kattan ölçülen deplasmana göre ayrı ayrı verilmiştir. Sistemin ideal akması gerçekleştikten sonra yük kontrollü yükleme sonlandırılmış ve deplasman kontrollü yüklemeye geçilmiştir. Yükleme, sistemin akmasını sağlayan ileri çevrimlerde 44.50 kN değerine ve geri çevrimlerde 43.19 kN kadar 5 kN'luk yük kontrollü artışlarla uygulanmış, bu noktadan sonra 15 mm deplasman değerine kadar gidilmiş, 15 mm'den sonra 77 mm'ye kadar 10'ar mm artışlarla deplasman kontrollü olarak göçmeye ulaşılmıştır.



Şekil 4.1. Referans deney numunesinin deney başlamadan önceki durumu



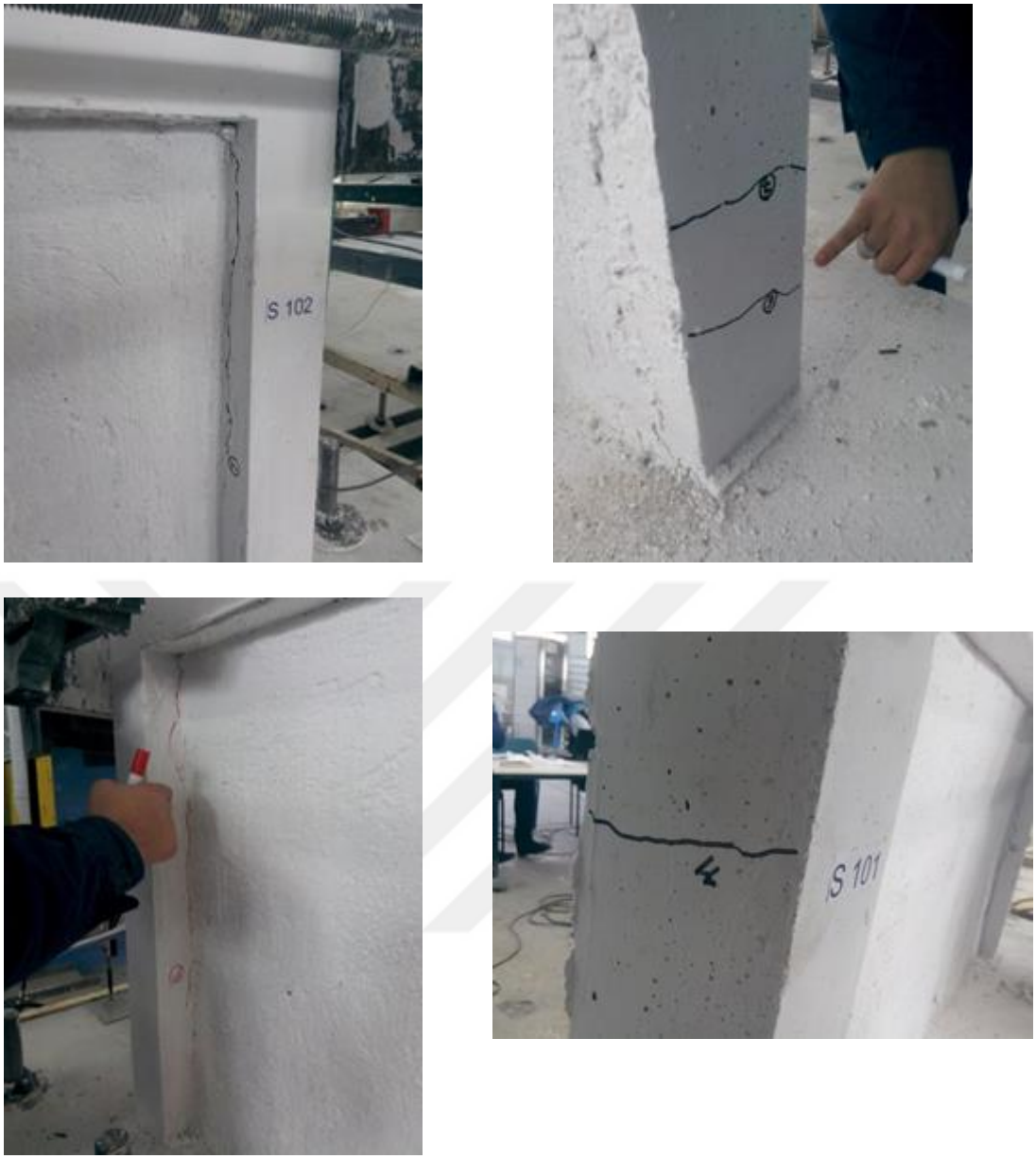
(a) 1 nolu RN deney numunesine ait yük geçmişi (Taban Kesme Kuvvetine Göre)



b) 1 nolu RN deney numunesine ait deplasman geçmişi (tepe deplasmanına göre)

Şekil 4.2. Referans deney numunesinin yükleme geçmişi a) Yatay yüke göre b) Tepe deplasmanına göre

Deney aşamasında ilk çatlak, +4'üncü ileri çevrimde 19.90 kN yükte 2.15 mm tepe deplasmanında S102 kolonu K101 kirişi birleşiminde duvar ile çerçeve arasında oluşmuştur. Şekil 4.3'de deney sırasında oluşan ilk 4 çatlak gösterilmiştir.



Şekil 4.3. 1 nolu Referans deney numunesine ait oluşan ilk çatlaklar

Referans numunede (RN) numunenin akmaya başladığı yük değeri 41.10 kN olarak ölçülmüş ve bu yükteki tepe deplasmanı değeri ise 9.95 mm olarak elde edilmiştir. Ayrıca 44.50 kN yatay yük ve 17.06 mm tepe deplasmanı seviyesinde köşe tuğlalarda ezilme ve diyagonal çatlakların oluşması ile taşıma kapasitesine ulaşmıştır. Deneydeki maksimum deplasman değeri ise -14'üncü geri çevrimde 77 mm, bu deplasman değerindeki yatay yük ise -9.45 kN olarak ölçülmüştür. Deney aşamasında, her çevrimde gözlenen davranış Çizelge 4.2'de verilmiştir. Çizelgede her bir yükleme çevrimi (itme +1 ve çekme -1 nolu olmak üzere), yatay yük değeri, ölçülen deplasman ve gözlemlenen çatlaklarla birlikte verilmiştir.

Çizelge 4.2. 1 nolu Referans numuneli deneyin her çevriminde gözlenen davranışı

Çevrim No	Maksimum Yatay Yük (kN)	Maksimum Tepe Deplasmanı (mm)	Referans Numunede Gözlemlenen Çatlak ve Hasar Oluşumu
+1(itme)	3.41	0.22	Deneyin ilk 3 çevriminde herhangi bir çatlak oluşumu gözlenmemiştir. Bu çevrimler akma sınırının altında elastik çevrimler olarak uygulanmış ve numunenin elastik özelliklerini görmek için değerlendirilmiştir.
-1(çekme)	-4.74	-0.14	
+2	6.47	0.60	
-2	-6.65	-0.25	
+3	13.18	1.28	
-3	-13.11	-0,64	
+4	19.90	2.15	S102 ve S202 kolonunun üst tarafında duvar çerçeve arasında sırasıyla 1 ve 2 numaralı çatlaklar gözlemlenmiştir.
-4	-19.79	-1.22	S101 ve S201 kolonu duvar birleşiminde duvar ortasına kadar sırasıyla 3 ve 4 numaralı çatlaklar oluştu. Ayrıca S102 kolonunda uzun kenar boyunca temelden 22 cm yukarıda 5 numaralı çatlak meydana gelmiştir.
+5	26.33	3.28	S101 kolonun uzun kenarında temelden 17 cm yukarıda 6 numaralı çatlak ve 27 cm yukarıda 7 numaralı yatay çatlak oluşmuştur. Ayrıca K201 kirişinin altında duvar birleşim bölgesinde 8 numaralı çatlak oluşmuştur.
-5	-27.11	-2.58	S102 kolonunun temelden 55 cm yukarıda kısa ve uzun kenarı boyunca 9 numaralı yatay kılcal çatlaklar meydana gelmiştir. Aynı zamanda daha önce S101 kolonu duvar birleşiminde oluşan 3 numaralı çatlağın genişlediği gözlemlenmiştir. Buna ilave olarak K101 kirişinin altındaki duvarda yatay olarak kirişin ortasına kadar 10 numaralı yeni bir çatlağın oluştuğu görüldü.
+6	32.66	5.04	Daha önce S201 kolonu duvar birleşiminde oluşan 2 numaralı çatlağın duvar boyunca uzadığı görüldü. S101 kolonunun temelden 56 cm üstünde uzun kenarı boyunca 11 numaralı çatlak oluşmuştur.
-6	-33.76	-4.47	S101 kolonunu duvar birleşimde bir önceki çevrimde genişleyen 3 numaralı çatlak genişliğinde daha belirgin genişleme meydan gelmiştir. Ayrıca S102 kolonunun altından eğilmeden dolayı sırasıyla 52 cm yukarıda 12 numaralı, 25 cm yukarıda 13 numaralı ve 10 cm yukarıda 14 numaralı çatlaklar uzun kenar doğrultusunda meydana gelmiştir.
+7	40.14	8.10	1 numaralı çatlak duvardan 1 cm kadar genişlediği ve duvarda sıva dökülmelerinin başladığı görüldü. S202 kolonunda K101 kirişinin 10 cm üstünde uzun kenar doğrultusunda yatay 15 numaralı çatlak gözlemlenmiştir. S101 kolonunun alttan 37 cm üstünde 16 numaralı eğilme yönünde çatlak meydana gelmiştir. Birinci kat duvarında S101'in ortasından duvar ortasına doğru çapraz D1 çatlağı oluştuğu görülmüştür. S201-K201 birleşim bölgesinde 17 numaralı çatlak meydana gelmiştir. Ayrıca K101-S202 birleşiminde 18 numaralı yeni bir çatlak meydana gelmiştir. 11 numaralı çatlağın 5 cm altında 19 numaralı çatlak oluşmuştur. S101 kolonun alt kotundan 5 cm yukarıda 20 numaralı yeni bir çatlak meydana gelmiştir. K101-S101 birleşim bölgesinde diagonal şekilde 21 numaralı çatlağın oluştuğu gözlemlenmiştir. 6 ve 11 numaralı çatlakların S101 kolon kısa kenar doğrultusunda uzadığı görülmüştür. 7 ve 16 numaralı daha önce oluşan çatlaklar S101 kısa kenarına doğru dallanıp uzamıştır.

-7	-40.16	-7.05	Alt kat duvarında S102 kolonunun ortasından duvar ortasına doğru D1 çatlağına benzer D2 çatlağı oluştuğu görülmüştür. K101-S102 birleşim bölgesinde 22 numaralı diagonal çatlak oluşmuştur. S101 kolonunun alt ucundan başlayıp D1 çatlağını kesen diagonal D3 çatlağı meydana gelmiştir. Bu arada 18 numaralı çatlak uzayıp dallanmıştır. Ayrıca S102- K101 birleşiminde diagonal şekilde olan 23 numaralı yeni bir çatlak oluşmuştur. Buna ilaveten 5, 9, 12, 13, 14 numaralı çatlakların S102 kolonu boyunca dallanarak uzadığı görülmüştür. K201-S202 birleşiminde 24 numaralı yeni bir çatlak oluşurken 8 numaralı çatlağında genişlediği gözlemlenmiştir.
+8	41.10	9.95	Referans numunede akma başladı. S102 kolonuyla birleşen duvarda 2 cm'e yakın genişlik meydana geldi. K101-S101 birleşim bölgesindeki köşe duvarda sıva dökülmeleri ve kırılmalar ile beraber D4 çatlağı meydana geldi. D1 çatlağı uzadı ve genişledi. 6 ve 18 numaralı çatlaklar uzadı ve genişledi. Ayrıca 10 numaralı çatlak K101 kirişi üzerinde uzadı ve dallandı. 21numaralı çatlağın genişlemesiyle beraber 5 cm altında 25 numaralı yeni bir çatlak meydana geldi. S202 duvar arasındaki 2 numaralı çatlak iyice boylu boyunca genişledi. 21 numaralı çatlak K101 kirişinin altına doğru uzadı.
-8	-43.19	-10.57	Referans numune aktı. D2 duvarının 10 cm altında D5 duvar çatlakları genişleyerek diagonal şekilde oluştuğu görüldü. S101 kolonunun altından ve temelin üstünde 67 cm yukarıda sıklaştırma olmayan birleşim bölgesinde 26 numaralı yeni bir çatlak meydana geldi. Daha önce oluşan 23 numaralı çatlakta dallanmalar ve genişlemeler meydana geldi. K101-S101 birleşiminde D4 çatlağının simetriği olan D6 çatlağı oluştu. Ayrıca 20 numaralı çatlak kolonu saracak şekilde uzadı. Bunun yanında 1 numaralı çatlak temele kadar uzarken 9 numaralı çatlak genişledi ve 21 numaralı çatlakta genişlemeler artmıştır. ***Bu çevrimde, numune çekme yönünde maksimum yatay yük taşıma kapasitesine ulaşmıştır.***
DEPLASMAN KONTROLLÜ YÜKLEMEYE GEÇİLDİ.			
+9	44.50	17.06	Sistem akma başlangıcından sonra pekleşme bölgesinde taşıma gücüne bir miktar daha ilave kattı. Alt kat D1, D2, D3, D4, D5, D6 ve D7 duvarlarında ciddi anlamda dökülmeler meydana geldi. 1 numaralı çatlak S102 kolonundan ayrıldı. 6 ve 25 numaralı çatlaklar dallandı ve uzadı. S102 kolonunda K101 kirişinin 5 cm altında 27 numaralı yeni bir çatlak meydan geldi. Buna ilaveten 14 numaralı çatlak dallanıp genişledi. Kolon temel birleşiminde ezilmeler meydana gelmiştir. ***Bu çevrimde, numune itme yönünde maksimum yatay yük taşıma kapasitesine ulaşmıştır.***
-9	-41.35	-14.17	D1 ve D5 duvarında yarık genişlikleri arttı ve uzadı. 9, 18 ve 23 numaralı çatlak dallanarak uzadı. 3 numaralı çatlak S101'den ayrıldı. 27 numaralı çatlağın uzaması artmaya devam etti.
+10	42.55	22.53	K101 kirişinin altındaki 10 numaralı çatlak duvar kiriş birleşiminden ayrılmaya başladı. D1, D3, D4 ve D5 duvarlarındaki kırılmalar iyice arttı. 16 numaralı çatlak dallandı. 27 numaralı çatlak S102 kolonun boyunca uzadı ve dallandı. 19 numaralı çatlakta dallanmalar meydana geldi. Duvar temel birleşim bölgesinde duvarın ortasına kadar D8 duvar çatlağı oluştu. 1 numaralı çatlak duvardan ayrıldı. Ayrıca 3 numaralı çatlak kolon kiriş birleşim bölgesinde genişledi.

-10	-32.07	-22.02	D1 ve D4 duvarları tamamen döküldü. D3 tam olarak dökülmese de iyice arttı. 21 numaralı çatlak S101'den K101'e doğru uzadı. 20 numaralı çatlak dallandı. S102 kolonun 20 cm üzerinde iç kısmında 28 numaralı yeni bir çatlak oluştu. 9 numaralı çatlak genişledi. 18 ve 23 numaralı çatlaklar birleşti. Kabuk betonu dökülmeleri başladı ve donatılar açığa çıktı. D5 duvar çatlağı iyice genişledi ve 24 numaralı çatlak döküldü ve donatı ortaya çıktı.
+11	37.96	33.08	1 numaralı çatlak S102 kolonundan tuğlaların düşmesi ile kayboldu. 27 numaralı çatlağın olduğu kabuk beton döküldü. Alt kat kolon kiriş birleşim bölgeleri iyice ayrıldı. Etriye kancaları eğilme etkisi ile açılmaya başladı.
-11	-28.08	-33.12	D5 tamamen döküldü. 5, 13 ve 27 numaralı çatlaklar geniş açıklar oluşturdu ve donatı iyice gözükmeye başladı. 25 numaralı çatlak temeler doğru iyice uzadı. Ayrıca 26 numaralı çatlak da dallanarak uzadı.
+12	29.58	44.66	S101 kolonuna bitişik duvar göçtü. 27 numaralı çatlakta donatıların gözükmesi iyice arttı. S102 kolonunun 15 cm uzunluğundaki uzun kenar iç kısmında kolon boyunca 29 numaralı çatlak meydana geldi. S102 kolonuna bağlı duvarda göçme meydana geldi.
-12	-18.87	-54.91	S102 kolonunda kabuk beton iyice döküldü. Alt ve üste bölgelerde plastik mafsallaşmalar meydana geldi.
+13	21.68	58.51	S101 kolonunda K101 kirişinden 10 cm altında plastik mafsallaşma oluştu. 15 numaralı çatlak dallandı ve kolonu saracak şekilde arttı. S101 kolonun iç yüzünde kabuk betonun dökülmesiyle donatılar iyice görünür hale geldi.
-13	-12.98	-66.68	S102 kolonunun kabuk betonu büyük oranda döküldü.
+14	15.35	76.37	Bu son 2 çevrimde; S101ve S102 kolonundaki kabuk betonunda dökülmeler gözlemlenmiştir. S102 kolonunda, kolon-kiriş birleşim bölgelerinde hasar boyutu artmıştır. S101 ve S102 kolonlarında meydana gelen hasarlar ile betonarme çerçevede genel olarak güçlü kiriş-zayıf kolon davranışı gözlemlenmiştir. Numunede meydana gelen bu hasarlardan ve sistem stabilitesinin tehlikeye girmesinden dolayı çatlak numaralandırılması yapılmamıştır. Sadece oluşan hasarların çekilen fotoğraflarla tespiti yapılmıştır.
-14	-9.45	-77.43	
+15	15.35	76.92	
-15	-12.65	-75.96	

Güçlü kiriş zayıf kolon davranışı numunede hâkim olmasından dolayı alt kat kirişte ve özellikle üst kat duvar, kolon ve kirişlerin hasarları minimum düzeyde kalmıştır. Ancak etriye sıklaştırması yapılmayan kolon kiriş birleşim bölgesinde ve buna ilaveten kolon temel birleşim bölgesinde hasarlar oldukça ciddi derecede oluşmuştur. Şekil 4.4'de Referans numunenin akma anındaki genel görünüşü, Şekil 4.5'de ise akma anında duvarlarda birleşim bölgelerinde ortaya çıkan hasarların görünüşleri verilmiştir.



Şekil 4.4. Referans deney numunesinin akma anındaki ön yüzden ve arka yüzden görünüşü



Şekil 4.5. Referans deney numunesinin akma anında meydana gelen kalıcı hasar durumu

Referans numunenin itme durumunda 44.50 kN olan maksimum yatay yük değeri 15. çevrim sonunda 15.35 kN'a, çekme durumunda ise -43.19 kN olan maksimum yatay yük değeri -12.65 kN'a düşmüştür. Yatay yük taşıma kapasitesinde dolgu duvarlı çerçevede itme durumunda yaklaşık %65.5 oranında bir azalma meydana gelmişken çekme durumunda yaklaşık %70.7'lik bir azalma meydana gelmiştir. Şekil 4.6'da referans numunenin deney sonunda genel görünüşü gösterilmiştir.





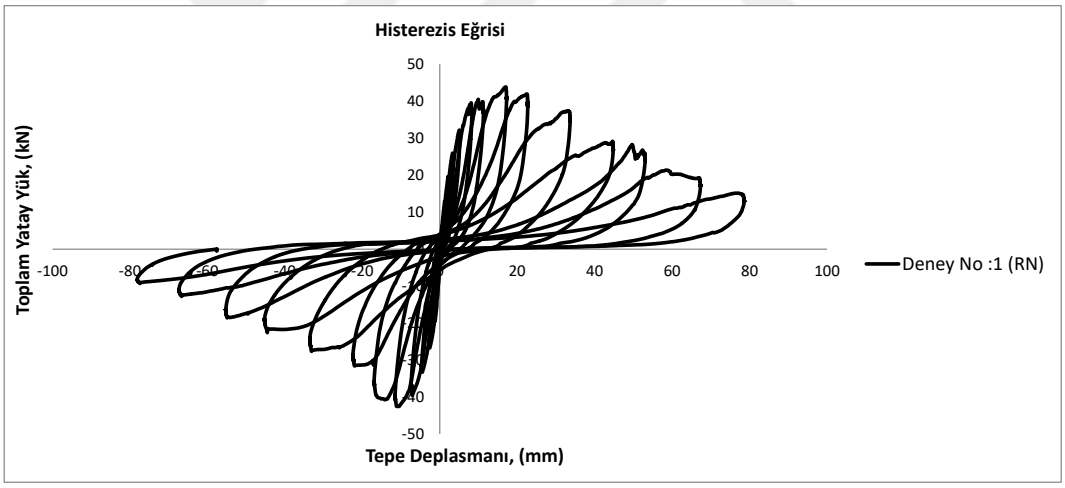


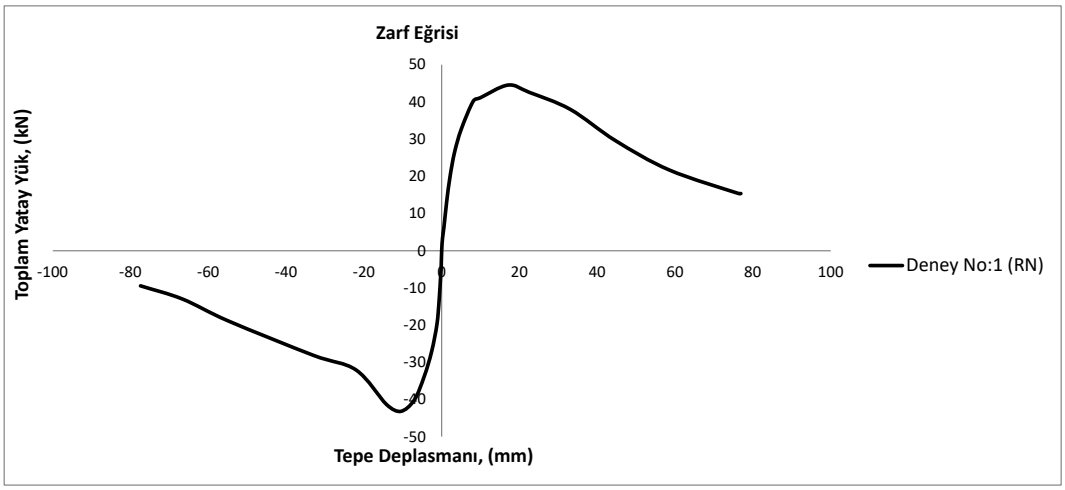




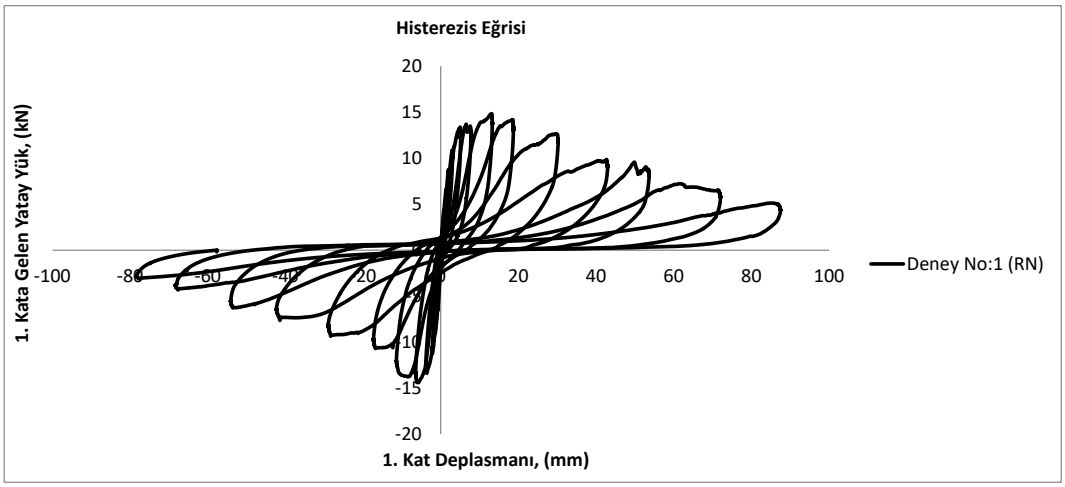
Şekil 4.6. Referans numunenin deney sonundaki kalıcı hasarlı görünüşü

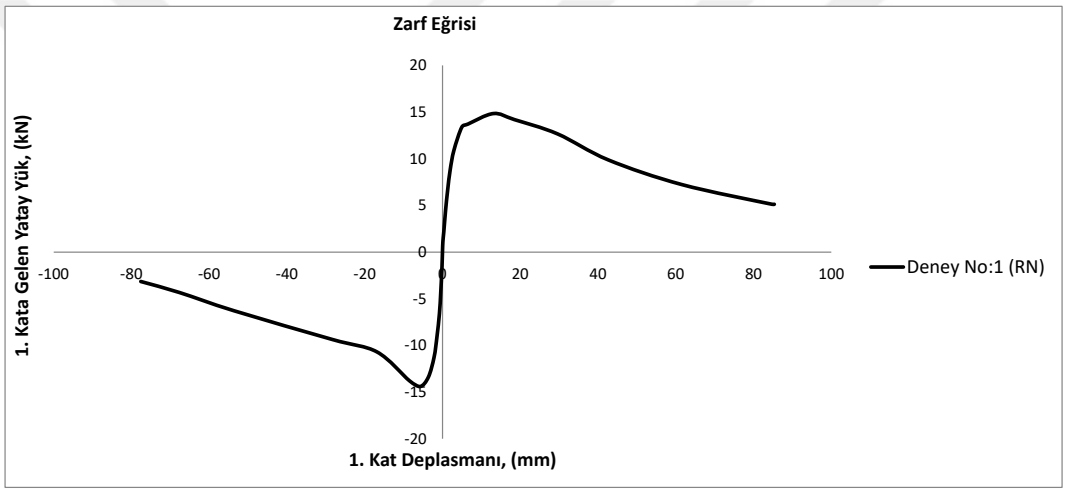
1. Referans numune için deney sonucunda sırasıyla aşağıdaki grafikler elde edilmiştir.
2. Toplam Yatay Yüke (Taban Kesme Kuvveti) karşılık – Tepe Deplasmanı grafiği (Histerezis Eğrisi) Şekil 4.7'de
3. Toplam Yatay Yüke (Taban Kesme Kuvveti) karşılık – Tepe Deplasmanı grafiği (Zarf Eğrisi) Şekil 4.7'de
4. 1. Kata ait Yatay Yüke karşılık – 1.Kat Deplasmanı grafiği (Histerezis Eğrisi) Şekil 4.8'de
5. 1. Kata gelen Yatay Yüke karşılık – 1.Kat Deplasmanı grafiği (Zarf Eğrisi) Şekil 4.8'de
6. 1. Kata gelen Yatay Yüke karşılık – 1. Kat Ötelenme grafiği Şekil 4.9'da
7. Sistem rijitlik azalım grafiği Şekil 4.10'da,
8. Sistem süneklik değerlendirme grafiği Şekil 4.11'de
9. Kümülatif toplam tüketilen enerji - 2. kat ötelenme oranı grafiği ise Şekil 4.12' de gösterilmiştir.



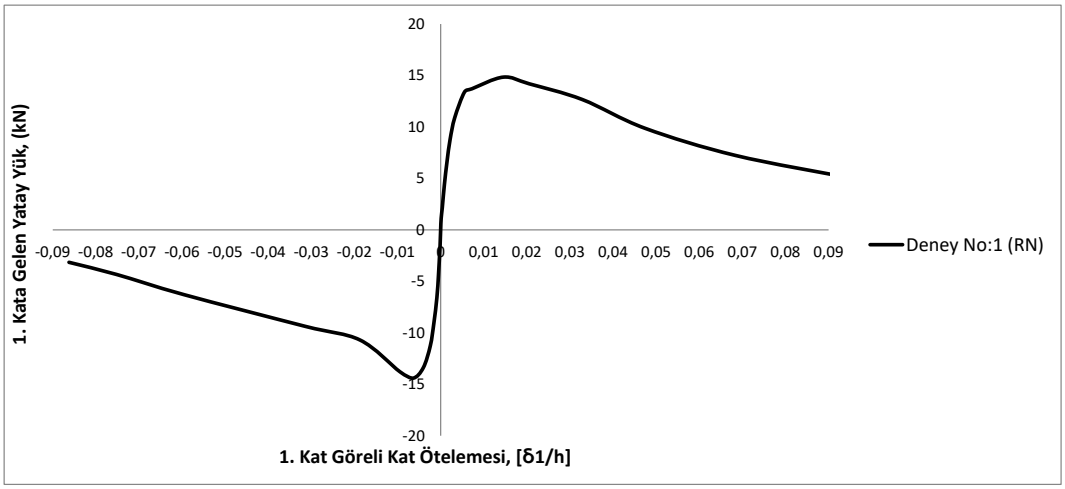


Şekil 4.7. Referans deney numunesi tepe deplasmanına bağlı histerezis ve zarf eğrisi

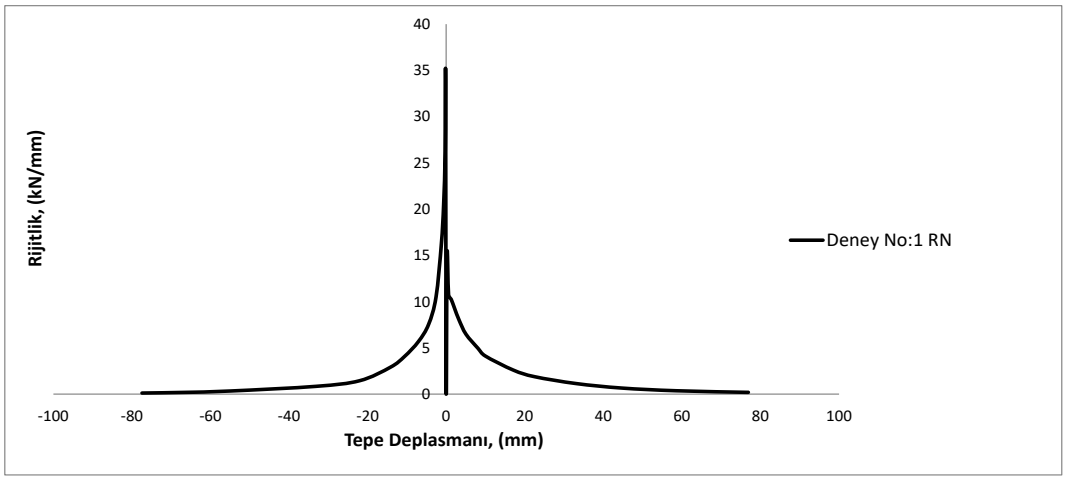




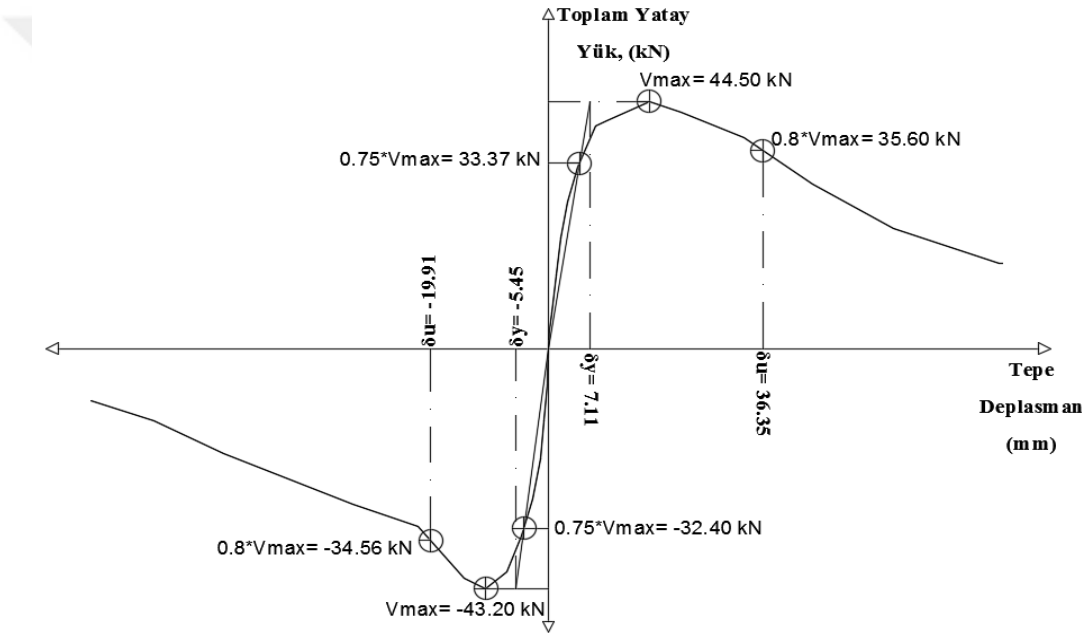
Şekil 4. 8. Referans deney numunesi 1.kat histerezis ve zarf eğrisi



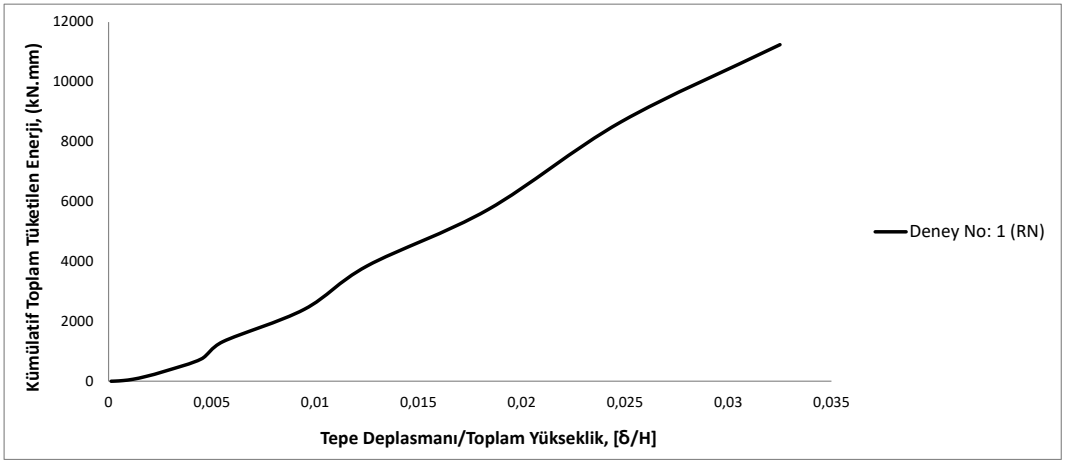
Şekil 4.9. Referans deney numunesine ait 1. Kat yatay yük – ötelenme oranı grafiği



Şekil 4.10. Referans deney numunesine ait rijitlik azalım grafiği



Şekil 4.11. Referans deney numunesine ait süneklik değerlendirilmesi grafiği



Şekil 4.12. Referans deney numunesine ait kümülatif toplam tüketilen enerji – 2. kat ötelenme oranı grafiği

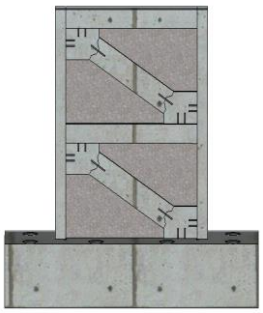
Taban kesme kuvvetine karşılık gelen tepe deplasmanı histerezis eğrilerinin altında kalan alanın kümülatif hesaplanması ile referans numunenin enerji tüketme kapasitesi hesaplanmış olup Şekil 4.12'de gösterilmiştir. Ayrıca deneyin her bir itme ve çekmeden oluşan çevrimlerinden elde edilen maksimum yatay yük değerlerine karşılık gelen yatay deplasman değerlerine oranlanması ile de her bir çevrimde elde edilen rijitlik değerleri Şekil 4.10'da ve süneklik değerlendirilmesi Şekil 4.11'de gösterildiği gibi elde edilmiştir.

4.2. 2 Nolu Deney (Diagonal Panelle Güçlendirilmiş Çerçeve Numune, A-TPÇ)

A tipi çerçeve (A-TPÇ) olarak anılan diyagonal panelle tek yönde güçlendirilmiş çerçeve numune, 200 mm panel genişliğine sahip güçlendirilmiş ilk deney numunesidir. Referans deney numunesine benzer geometrik özellikleri ve yapım kusurları düşünülerek üretilen numune tersinir-tekrarlanır yatay yük altında test edilmiştir. A-TPÇ ile ilgili parametrik özellikler Çizelge 4.3'de verilmiştir.

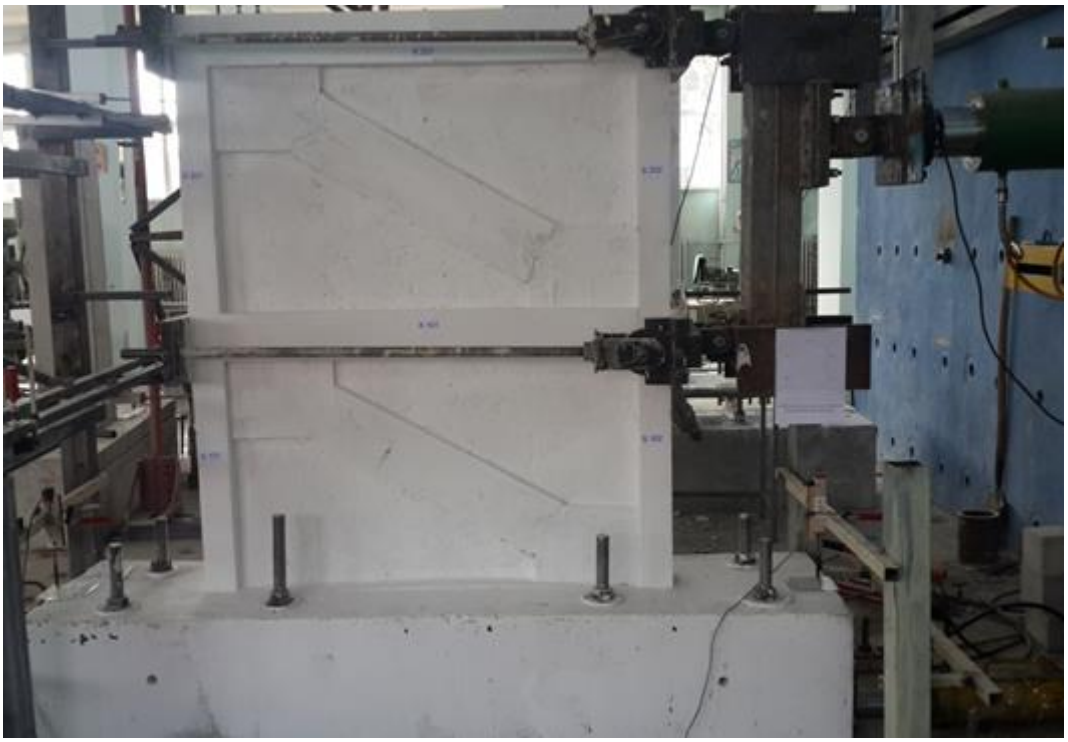
A-TPÇ ile güçlendirilen bu deneyin amacı, piyasada özellikle düşük beton kalitesine, kolon-kiriş birleşim bölgesindeki etriye azlığına ve etriye kancalarının 90^0 olması gibi yapım kusurlarına sahip betonarme çerçeve numunelerinin tek yönlü önüretimli yüksek dayanıma sahip diagonal çapraz beton panellerle güçlendirilmesi sonucunda, çerçevenin yatay yük taşıma kapasitesinin, rijitliğinin, sünekliğinin ve diğer deprem davranışlarının değişiminin tespit edilmesidir. Bu tip güçlendirme, depremin tersinir etkisi olduğu için yeterli olmayacaktır. Ancak panel davranışını görmek için önemli bir aşamayı oluşturmaktadır.

Çizelge 4. 3. 2 nolu A-TPÇ deney numunesinin parametrik özellikleri

Deney Numunesi No	Çerçeve Türü	Ortalama Basınç Dayanımı (MPa)		Donatı Çubuklarının Akma ve Çekme Dayanımları (MPa)			
		Çerçeve	Önüretimli Panel	Ø4	Ø8	Ø10	Ø16
Deney-2 Boşluklu Tuğla Dolgu Duvarlı Çerçeve + Diyagonal Çapraz Panelle Güçlendirilmiş Çerçeve		17.79	45.33	$\frac{294}{387}$	$\frac{407}{496}$	$\frac{418}{512}$	$\frac{427}{508}$

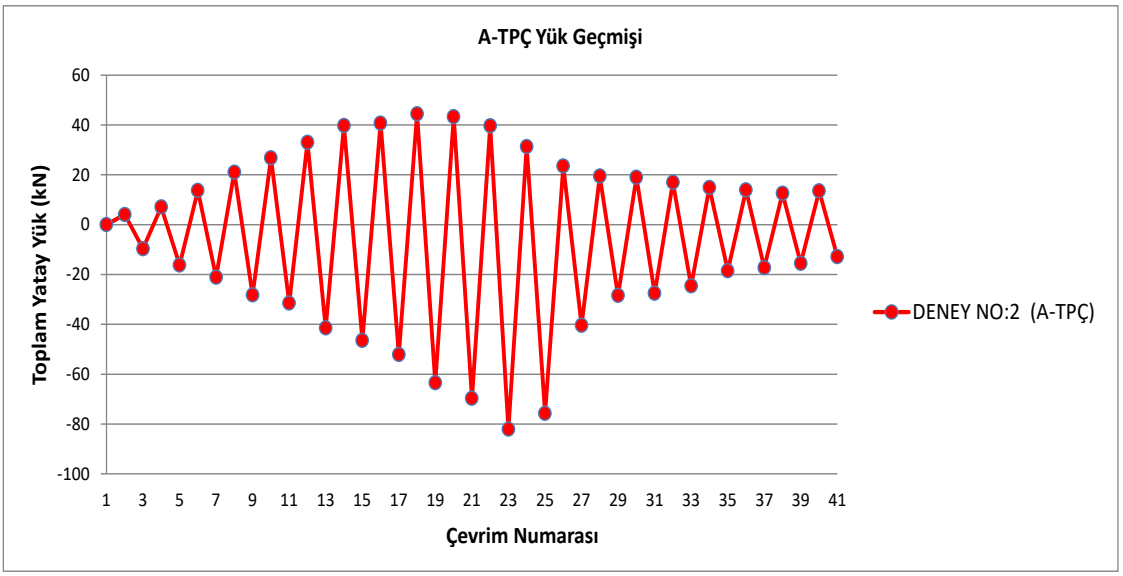
Diagonal çapraz panelle güçlendirilmiş A-TPÇ deney numunesinin deneye başlamadan önceki görünüşü Şekil 4.13'de gösterilmiştir. A-TPÇ elemanına uygulanan yükleme geçmişi ise yük ve deplasman geçmişi olarak Şekil 4.14'de ayrı ayrı verilmiştir.

Yükleme programında, sistemin akması ile beraber yük kontrollüden deplasman kontrollüye geçilmiştir. Deneye panellerin çalıştığı doğrultuda 10 kN artışlarla 80 kN'a kadar gidilmiş ve sistemin akmasından sonra 90 mm deplasmana kadar 10 mm artışlarla göçme konumuna ulaşılmıştır.

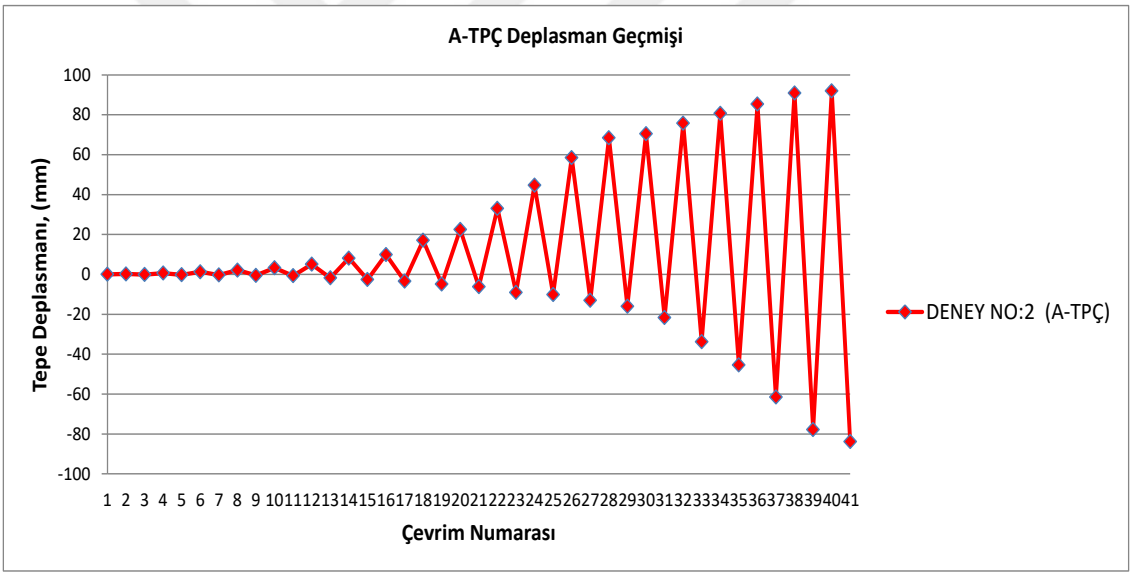


Şekil 4.13. 2 nolu A-TPÇ deney numunesinin deneye başlamadan önceki durumu

Sistemde oluşan bu ilk çatlaklar elastik bölge sınırları içerisinde oluşan çatlaklardır. Şekil 4. 15 ve Şekil 4.16'de oluşan ilk çatlak gösterilmiştir.



(a) 2 nolu A-TPÇ deney numunesine ait yük geçmişi (Tepe Deplasmanına Göre)



(b) 2 nolu A-TPÇ deney numunesine ait deplasman geçmişi (Taban Kesme Kuvvetine Göre)

Şekil 4.14. A-TPÇ deney numunesinin yükleme geçmişi a) Yatay yüke göre b) Tepe deplasmanına göre

A-TPÇ numunesinde deney aşamasında ilk çatlak, -3'inci geri çevrimde -21.06 kN yükte -0.33 mm tepe deplasmanında S101 kolonu uzun kenarında temelden 130 mm yukarıda yatay olarak kolon ortasına kadar meydana gelmiştir. Şekil 4.15'de deney sırasında oluşan ilk 4 çatlak gösterilmiştir.



Şekil 4.15. 2 nolu A-TPÇ deney numunesine ait oluşan ilk çatlaklar

A-TPÇ deney numunesinin akmaya başladığı yük değeri ileri çevrimde 44.49 kN olarak ölçülmüş ve bu yükteki tepe deplasmanı değeri ise 17.05 mm olarak elde edilmiştir. Ayrıca bu yük seviyesinde tepe deplasmanı seviyesinde köşe tuğlalarda ezilme ve diyagonal çatlakların oluşması ile taşıma kapasitesine ulaşmıştır. Geri çevrimde ise -82.06 kN değerinde akma gerçekleşirken, tepe deplasmanı -9.05 mm olarak ölçülmüştür. Deney aşamasında, her çevrimde gözlenen davranış Çizelge 4.4'de verilmiştir. Çizelgede her bir yükleme çevrimi (itme +1 ve çekme -1 nolu olmak üzere), yatay yük değeri, ölçülen deplasman ve gözlemlenen çatlaklarla birlikte verilmiştir.

Çizelge 4.4. 2 nolu A-TPÇ numuneli deneyin her çevriminde gözlenen davranışı

Çevrim No	Maksimum Yatay Yük (kN)	Maksimum Tepe Deplasmanı (mm)	Referans Numunede Gözlemlenen Çatlak ve Hasar Oluşumu
+1(itme)	4.04	0.225	Deneyin ilk 3 çevriminde herhangi bir çatlak oluşumu gözlemlenmemiştir. Bu çevrimler akma sınırının altında elastik çevrimler olarak uygulanmış ve numunenin elastik özelliklerini görmek için değerlendirilmiştir.
-1(çekme)	-9.65	-0.109	
+2	7.07	0.600	
-2	-16.18	-0.189	
+3	13.73	1.286	
-3	-21.06	-0.329	S101 kolonu uzun kenarında temelden 13 cm yukarda yatay olarak kolon ortasına kadar ilk çatlak meydana gelmiştir. Ayrıca S101 kolonu kısa kenarında K101-S101 birleşim bölgesinden 10 cm aşağıda 2 numaralı çatlak gözlenmiştir.
+4	21.06	2.139	S202-K101 kolon kiriş birleşim bölgesinde köşe panelin S202'ye bitişik olduğu yerde 3 numaralı çatlak oluştu. Ayrıca S102 kolonu uzun kenar yönünde S102-K101 birleşim bölgesinden 21 cm aşağıda 4 numaralı çatlak meydana gelmiştir. 4 numaralı çatlağın 20 cm altında 5 numaralı çatlak oluşurken, onunda 12 cm altında 6 numaralı çatlak gözlenmiştir. Zemin kat sol üst panelin orta panele birleştiği noktada panel genişliğince 7 numaralı çatlak gözlenmiştir. Benzer şekilde sağ alt paneli orta panele birleştiren kısımda panel genişliğince kılcal 8 numaralı çatlak oluşmuştur. Zemin kat sağ alt paneli duvara birleştiren üst kısımdan başlamak üzere S102 kolonun kadar kılcal 9 numaralı çatlak gözlenmiştir. Zemin kat sol üst panele yakın duvarda düşey yönlü 10 numaralı çatlak meydana gelmiştir. K101 kirişi zemin kat duvar birleşiminde kılcal 11 numaralı çatlak gözlendi.S101 kolonuna bitişik duvarda zemin kat sol üst panel altından başlamak üzere duvar ortasına kadar 12 numaralı yeni çatlak meydana gelmiştir.
-4	-28.24	-0.507	S101 kolonu uzun kenar yönünde temelden 32 cm yükseklikte 13 numaralı çatlak oluşurken, S102 kolonu duvar birleşiminde 14 numaralı çatlak meydana gelmiştir. Zemin kat duvarının temele birleşim noktasında ise yatay 15 numaralı çatlak gözlenmiştir. S101 kolonunda var olan 13 numaralı çatlağın 12 cm üstünde 16 numaralı yeni bir çatlak oluşmuştur. Birinci kat sağ alt paneli K101'e bağlayan kısımda panel altından başlayarak duvar ortasına kadar 17 numaralı yeni bir çatlak gözlenmiştir.
+5	26.76	3.432	S102 kolonu uzun kenar yönünde temelden 14 cm yukarda 18 numaralı yeni çatlak meydana gelmiştir. S102-K101 birleşim bölgesinde S102 kolonu kısa kenarı üzerinde yatay olarak 19 numaralı yeni çatlak oluştu. Var olan 12 numaralı çatlak 15 cm uzadı. Birinci orta panelde sol üst panele yakın noktada panel genişliğince 20 numaralı çatlak gözlendi. Birinci kat sol üst panele yakın duvarda düşey 21 numaralı çatlak oluşurken, S202 kolonuna bitişik birinci kat sağ alt panel-kolon birleşiminde düşey yönde 22 numaralı çatlak meydana gelmiştir.
-5	-31.51	-0.671	Zemin kat duvar-temel birleşiminde var olan 15 numaralı çatlak uzadı. S101 kolonu uzun kenarında var olan 1 numaralı çatlak uzadı. 1 numaralı çatlağın 13 cm üstünde 23 numaralı yeni çatlak meydana geldi. S101 kolonu uzun kenarında var olan 16 numaralı çatlak dallandı. S102 kolonu duvar birleşimindeki 14 numaralı çatlak genişledi.

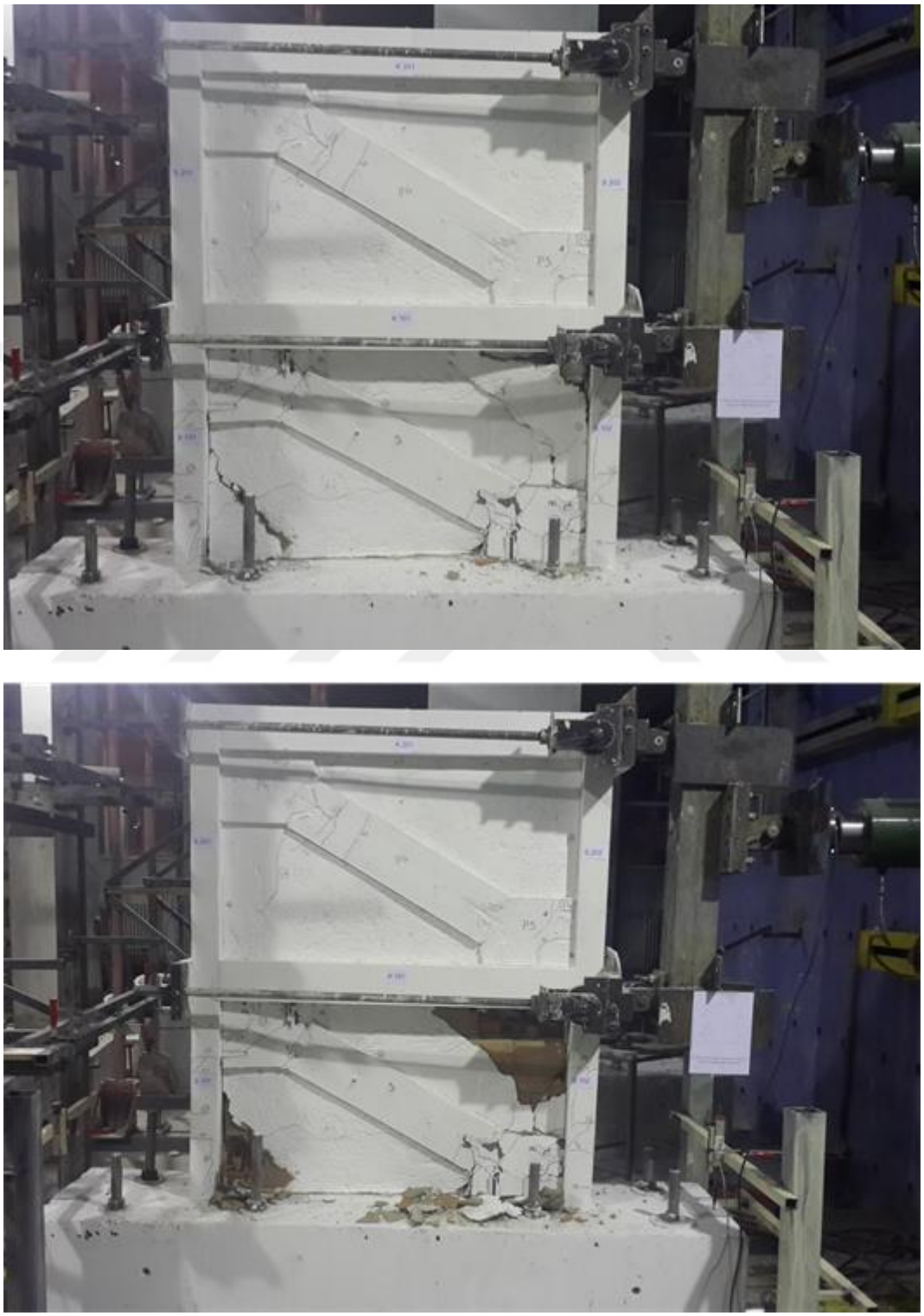
			K101 kirişinin 20 cm altında panel-duvar birleşiminde 24 numaralı yeni bir çatlak gözlendi. K101-S101 kolon kiriş birleşiminde diyagonal S101 kısa kenar boyunca 25 numaralı çatlak meydana geldi. Var olan 12, 13 ve 17 numaralı çatlaklar genişledi. Birinci katta K101 kirişi üst orta noktası-duvar birleşiminde 26 numaralı çatlak oluşurken, S101 kolonu kısa kenarında temelden 32 cm yükseklikte 27 numaralı yeni çatlak gözlenmiştir.
+6	33.03	5.017	S101 kolonuna bitişik panelde ankrajlardan başlamak üzere K101 kirişi alt noktasındaki panel ankrajına doğru 28 numaralı çatlak gözlenmiştir. Ayrıca S102 kolonuna bitişik alt panel-kolon birleşiminde düşey 29 numaralı çatlak oluşmuştur. S102 kolonu kısa kenarında temelden 8 cm yükseklikte kolon ortasını geçecek şekilde 30 numaralı çatlak meydana gelmiştir. S102 kolonu kısa kenarında temelden 30 cm yükseklikte 32 numaralı çatlak, 50 cm yükseklikte ise 31 numaralı çatlak gözlenmiştir. Zemin kat sol üst panel altında duvar birleşiminde de 33 numaralı yeni bir çatlak meydana gelmiştir. S102 kolonunda kısa kenarda var olan 30 numaralı çatlak ile uzun kenarda var olan 18 numaralı çatlak birleşti. Birinci kat sağ alt paneli K101-S202'ye bağlayan ankrajlar arasında 34 numaralı yeni çatlak gözlenmiştir.
-6	-41.49	-1.783	S101 kolonu sağ üst panel birleşiminde panel yüksekliğince 35 numaralı çatlak oluşurken, S101 kolonu kısa kenarında var olan 16 numaralı çatlağın 7 cm üstünde 36 numaralı çatlak meydana gelmiştir.S101 kolonu kısa kenarında var olan 2 numaralı çatlak kolon boyunca uzadı. Zemin kat sağ üst paneli K101'e bağlayan ankraj boyunca 37 numaralı yeni çatlak gözlendi. S202 kolon duvar birleşiminde kolon yüksekliğince 38 numaralı yeni çatlak meydana gelmiştir.
+7	39.77	8.371	Zemin kat sağ alt panelde var olan 8 numaralı çatlak dallanarak temel kadar uzadı. Birinci kat sol üst paneli orta panele birleştiren kısımda 39 numaralı yeni bir çatlak meydana gelmiştir. S102 kolonu kısa kenarında temelden 22 cm yükseklikte 40 numaralı yeni çatlak oluşmuştur. Birinci kat sağ alt panel-duvar birleşiminde var olan 22 numaralı çatlağın 5 cm solunda düşey yönde 41 numaralı çatlak gözlenirken, S102 kolonuna bitişik zemin kat sağ alt panelini S102 kolonuna bağlayan ankrajdan başlamak üzere temele doğru diyagonal 42 numaralı yeni çatlak meydana gelmiştir.
-7	-46.46	-2.610	Birinci kat S201 kolonu duvar birleşiminde K101 kirişi üstünden başlayarak kolon ortasına kadar 43 numaralı yeni çatlak oluşurken, K201 kirişi altında duvar birleşiminde 44 numaralı çatlak gözlenmiştir. Zemin kat sol üst panelde var olan 37 numaralı çatlak ile sol üst paneli orta panele birleştiren kısımda var olan 7 numaralı çatlak dallanarak birleşmiştir.
+8	40.73	9.651	Zemin kat sağ alt panel üst kısmı-duvar arasındaki 9 numaralı çatlak ile sağ alt panel-orta panel birleşiminde var olan 8 numaralı çatlak dallanarak birleşti. S101 kolonuna bitişik duvarda yaklaşık 25 cm sağında düşey yönde 45 numaralı çatlak ile beraber duvarda ezilme gözlendi. Birinci kat orta panel-sol üst panel birleşiminden başlayarak aşağı yönde 46 numaralı çatlak meydana gelirken, K101-S102 birleşimindeki köşe duvarda ezilme ve 47 numaralı çatlak oluşmuştur. Bu çevrimde daha önce var olan çok sayıda çatlakta dallanmalar gözlenmiştir. İleri

			çevrimde akmaya yaklaşıldığı görüldü.
-8	-52.15	-3.40	14 numaralı çatlak genişledi. Geri çevrimde sistem rijitliğinin devam ettiği gözlendi. S101 kolonunun bağlı olduğu temel üzerinde 48 numaralı çatlak meydana gelmiştir. Birinci kat sol üst paneli K201 kirişine bağlayan ankraj boyunca 49 numaralı yeni çatlak oluştu.
+9	44.49	17.05	Numune 50 kN'a gidilmeye çalışılırken aktı. S102 kolonu kısa kenarı üzerinde K101 kirişine yakın 50 numaralı çatlak ve onun 5 cm üzerinde S102-K101birleşiminde S102 kolonu kısa kenarı üzerinde diyagonal 51 numaralı çatlak meydana gelmiştir. Zemin kat sol üst panelde ankrajı S101'e bağlı panelde 52 numaralı çatlak gözlenmiştir. Zemin kat sol üst ve sağ alt paneli kiriş ve kolona bağlayan ankrajlarda hasarlar meydana geldi. Zemin kat sağ alt ve sol üst duvar bölgesi ezildi ve taşıma yüküne ulaştı. K201- S202 birleşim bölgesinde kolon kısa kenarı üzerinde yukarı yönlü diyagonal 54 numaralı çatlak oluşurken, S202 kolonu uzun kenarında K101 kirişi üzerinden 36 cm yükseklikte 53 numaralı çatlak gözlenmiştir. Deplasman kontrollü yüklemeye geçildi. ***Bu çevrimde, numune itme yönünde maksimum yatay yük taşıma kapasitesine ulaşmıştır.***
-9	-63.44	-4.84	12 numaralı çatlak genişledi. Geri çevrimde yatay yük taşıma kapasitesi artarak devam etmektedir. 29 numaralı çatlak dallandı. S101 kolonu kısa kenarı üzerinde düşey doğrultuda belli aralıklar ile yatay yönde 57 ve 58 numaralı yeni çatlaklar meydana gelirken, S202 kolonu uzun kenarında 55 numaralı çatlağın 20 cm üzerinde 56 numaralı çatlak gözlenmiştir.
İLERİ ÇEVRİMDE DEPLASMAN KONTROLLÜ YÜKLEMEYE GEÇİLDİ			
+10	43.304	22.537	47 numaralı çatlak K101 ortalarına kadar uzadı. Zemin kat sağ alt panel ile orta panel arası yarıldı. 34 numaralı çatlak genişledi. 9 numaralı çatlak düşey doğrultuda uzadı. Birinci kat orta panelde panel genişliğince 61 numaralı çatlak meydana geldi. Daha önce var olan 51 numaralı çatlak dallanarak genişledi. Zemin kat orta panel üst kısmından başlayarak K101 kirişine doğru 62 numaralı çatlak gözlenirken, 34 numaralı çatlak ile 22 numaralı çatlak birleşti.
-10	-69.69	-6.182	S102 kolonu duvar birleşiminde ayrılma gözlendi. Zemin kat sol alt duvarda var olan 45 numaralı çatlakta dökülmeler meydana geldi. Zemin kat sağ alt panel üzerinde çok sayıda kılcal çatlaklar gözlendi. 25 numaralı çatlakta dallanmalar görüldü. Zemin kat duvarında çok sayıda çatlaklar meydana gelmiştir. K101 S102 birleşim bölgesindeki duvarda 63 numaralı çatlak oluşurken ayrıca dökülmeler ve tuğla kırılmaları gözlenmiştir. Zemin kat duvarında temelden 20 cm yukarda 64 numaralı yeni çatlak meydana gelmiştir.
+11	39.63	33.348	9 numaralı çatlak genişledi ve uzadı. Var olan 31 ve 32 numaralı çatlaklar düşey doğrultuda birleşti. Zemin sağ alt ve sol üst panelleri kolon-temel-kiriş'e bağlayan ankrajlarda ayrılmalar görüldü. Zemin kat sol üst panel ile orta panel arasında var olan 7 numaralı çatlak belirgin şekilde ayrıldı.
-11	-82.06	-9.05	Numunede bu geri çevrimde akma gözlenmiştir. Zemin kat duvarı temel birleşiminde belirgin şekilde duvar düzleminden çıkacak şekilde ayrılmıştır. Orta paneli duvara birleştiren ankraj ve epoksi etkinliğini yitirerek orta duvarın dışa doğru hafif bombe yapmasını sağlamıştır.

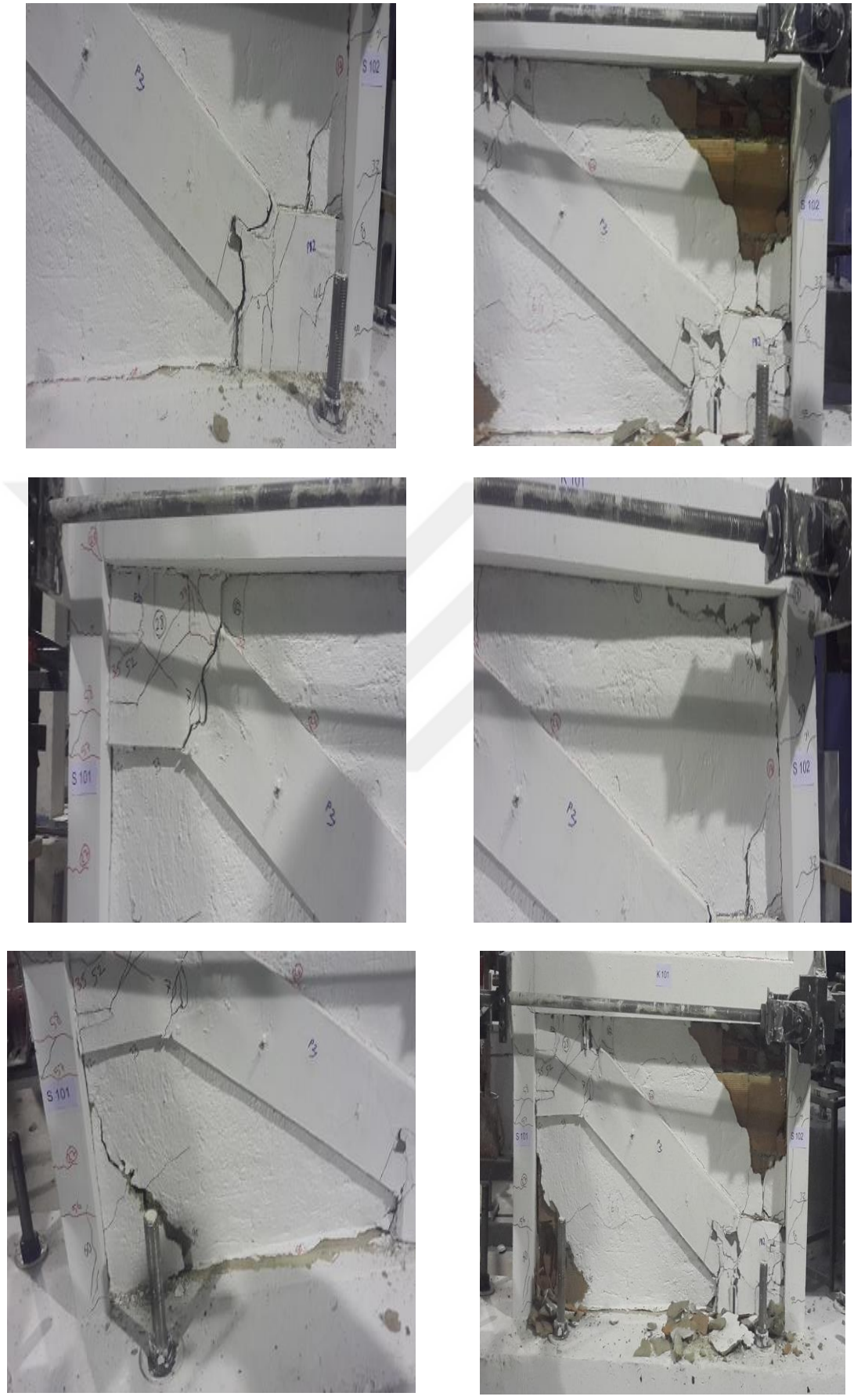
			Zemin kat duvarında çok sayıda çatlaklar meydana gelmiştir. K101 S102 birleşim bölgesindeki duvarda dökülmeler ve tuğla kırılmaları gözlenmiştir. Geri çevrimde deplasman kontrollü yüklemeye geçilmiştir. ***Bu çevrimde, numune çekme yönünde maksimum yatay yük taşıma kapasitesine ulaşmıştır.***
+12	31.32	44.975	51 numaralı çatlak genişledi. 2 numaralı çatlak uzadı ve dallandı. S101-K101 birleşim bölgesinde 65 numaralı çatlak meydana gelirken, var olan 19 numaralı çatlağın 2 cm altında 66 numaralı çatlak gözlenmiştir. S101 ve S102 kolon üst kısmında plastik mafsallaşma görülmüştür.
GERİ ÇEVRİMDE DEPLASMAN KONTROLLÜ YÜKLEMEYE GEÇİLDİ			
-12	-75.72	-10.12	Zemin kat duvar ve panelinde kalıcı hasarlar artmaya devam etmiştir. Taşıma gücü azalmaya devam ederken panellerde zemin kat orta paneli uç panele bağlayan kısımlarda plastik mafsallaşmada devam etmektedir. S201 kolonu uzun kenarında K101 kirişi üzerinden 28 cm yukarıda 68 numaralı çatlak gözlenirken, S201 kolonu altında uzun kenarda 69 numaralı çatlak oluşmuştur.
+13	23.49	59.913	S102'de 67 numaralı çatlak meydana geldi ve dallandı. Kabuk betonda dökülmeler yersel olarak gözlendi. S101'in üzerindeki kabuk beton döküldü ve donatı gözüktü.
-13	-40.42	-12.97	S101 kolonunda düşey yönde uzun kenarda 70 numaralı çatlak meydana geldi. S101'de 1 numaralı çatlağın 2 cm üzerinde 71 numaralı çatlak oluştu ve 1 numaralı çatlak ile birleşti. S101 kolonu kısa kenarda düşeyde var olan 60 numaralı çatlak genişledi. S101 kolonu uzun kenarda 72 numaralı çatlak meydana geldi.
+14	19.49	68.51	S102'de 67 numaralı çatlak genişledi. Zemin kat kolonlarında kabuk beton dökülmeleri devam etti. Birleşim bölgesindeki mafsallaşmalar arttı. Zemin kat duvarında çok sayıda sıva dökülmeleri ve köşe tuğla kırılmaları gözlendi.
-14	-28.42	-15.97	Birleşim bölgesinde mafsallaşmalar arttı. Zemin kat panellerinde özellikle ankrajlarda hasarlar artmaya devam etti.
+15	18.99	70.51	Bu son 6 çevrimde; S101ve S102 kolonundaki kabuk betonunda dökülmeler gözlemlenmiştir. S102 kolonunda, kolon-kiriş birleşim bölgelerinde hasar boyutu artmıştır. S101 ve S102 kolonlarında meydana gelen hasarlar ile betonarme çerçevede genel olarak güçlü kiriş-zayıf kolon davranışı gözlemlenmiştir. Numunede meydana gelen bu hasarlardan ve sistem stabilitesinin tehlikeye girmesinden dolayı çatlak numaralandırılması yapılmamıştır. Sadece oluşan hasarların çekilen fotoğraflarla tespiti yapılmıştır.
-15	-27.56	-21.64	
+16	16.99	75.74	
-16	-24.59	-33.80	
+17	14.86	80.69	
-17	-18.509	-45.42	
+18	13.89	85.36	
-18	-17.22	-61.53	
+19	12.56	90.92	
-19	-15.52	-77.75	
20	13.53	91.98	
-20	-12.86	-83.79	

Tek yönlü yapılan güçlendirme neticesinde ileri çevrimde taşıma gücü seviyesine referans numuneye benzer şekilde köşe bölgelerin ezilmesiyle ulaşılırken, güçlendirilmiş geri çevrimde sistemde referans numuneye göre iki kata yakın dayanım artışı görülmüştür. Zemin kat panellerinde ve panelleri kolon kiriş ve temele bağlayan ankrajlarda deney sonuna doğru kopmalar ile panellerin epoksi ile duvara yapıştırılan kısımlarında ayrışma gözlenmiştir. Tek yönlü güçlendirme etkisi ile üst katlarda geri

çevrimde hasar oluşması ile sistemin bütün halinde çalıştığı görülmüştür. Şekil 4.16'da A-TPÇ numunenin akma anındaki ileri ve geri çevrimdeki genel görünüşü, Şekil 4.17'de ise akma anında ileri ve geri çevrimde duvarlarda birleşim bölgelerinde ortaya çıkan hasarların görünüşleri verilmiştir.



Şekil 4.16. A-TPÇ deney numunesinin akma anındaki görünüşü



Şekil 4.17. A-TPÇ deney numunesinin akma anında meydana gelen kalıcı hasar durumu

A-TPÇ deney numunesini itme durumunda 44.49 kN olan maksimum yatay yük değeri 20. çevrim sonunda 13.53 kN'a, çekme durumunda ise -82.06 kN olan maksimum yatay yük değeri -12.86 kN'a düşmüştür. Yatay yük taşıma kapasitesinde itme durumunda yaklaşık %70 oranında bir azalma meydana gelmişken çekme durumunda yaklaşık %84'lük bir azalma meydana gelmiştir. Şekil 4.18'de A-TPÇ numunenin akmadan sonra deney sonuna kadar oluşan hasarların genel görünüşü gösterilmiştir.





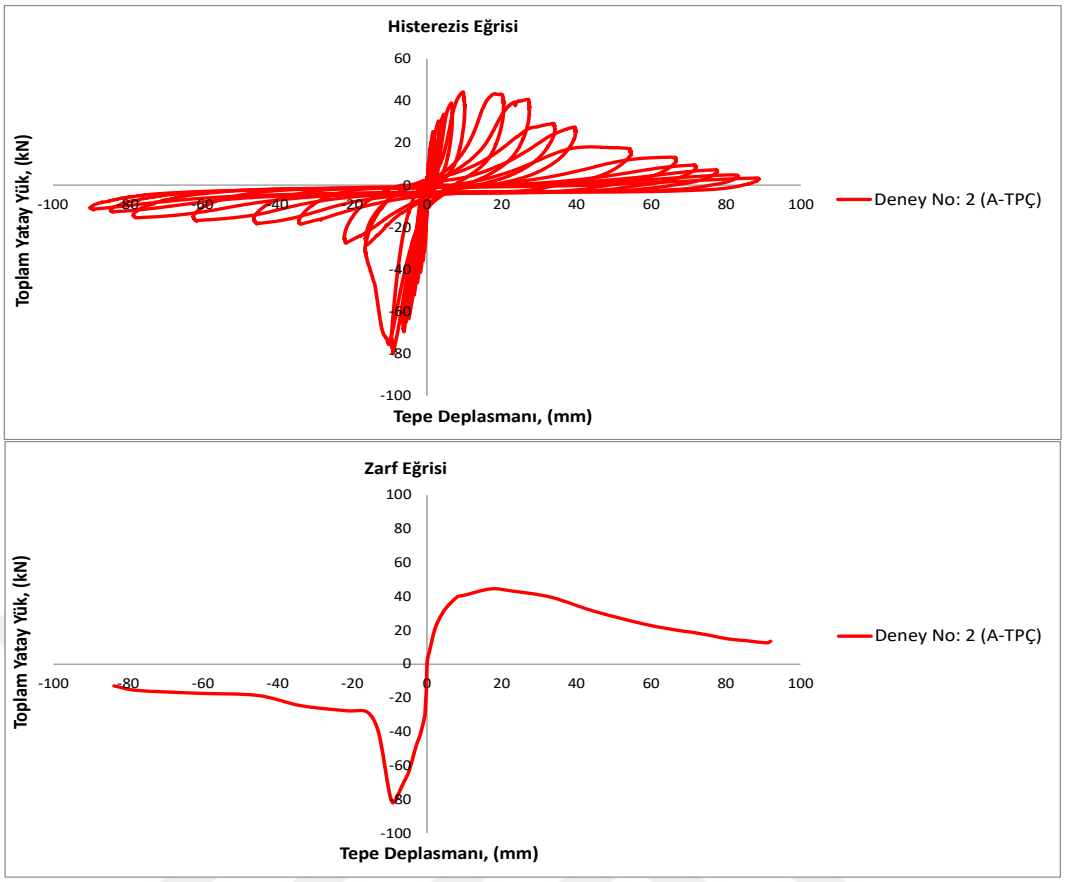




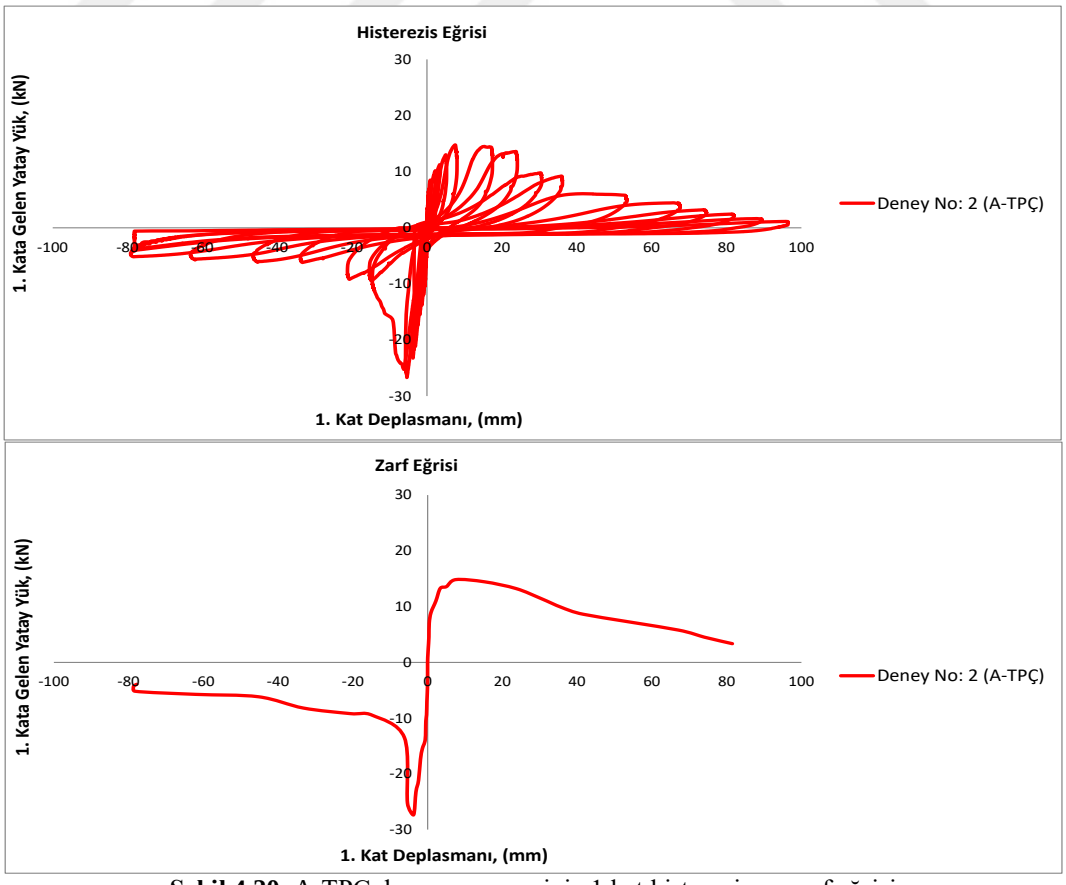

Şekil 4.18. A-TPÇ numunenin deney sonundaki kalıcı hasarlı görünüşü

Referans numune için deney sonucunda sırasıyla aşağıdaki grafikler elde edilmiştir.

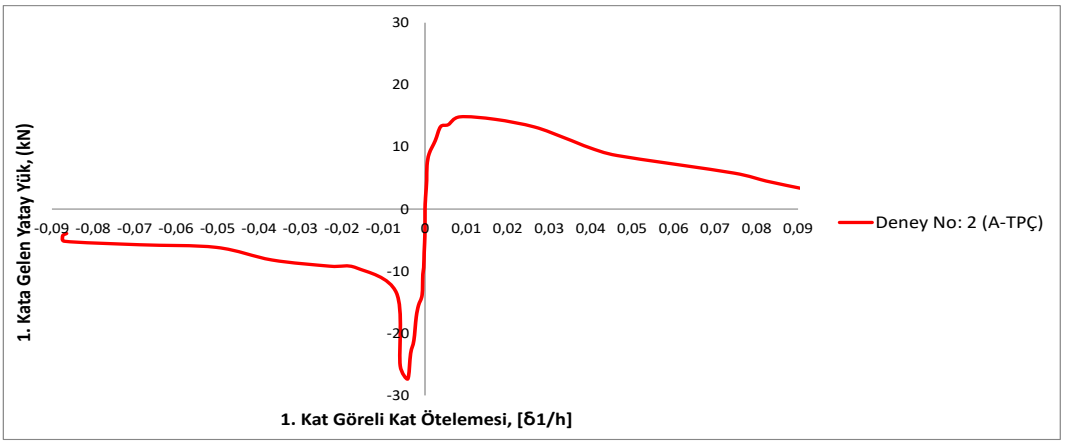
1. Toplam Yatay Yüke (Taban Kesme Kuvveti) karşılık – Tepe Deplasmanı grafiği (Histerezis Eğrisi) Şekil 4.19'da,
2. Toplam Yatay Yüke (Taban Kesme Kuvveti) karşılık – Tepe Deplasmanı grafiği (Zarf Eğrisi) Şekil 4.19'da,
3. 1. Kata ait Yatay Yüke karşılık – 1.Kat Deplasmanı grafiği (Histerezis Eğrisi) Şekil 4.20'de,
4. 1. Kata gelen Yatay Yüke karşılık – 1.Kat Deplasmanı grafiği (Zarf Eğrisi) Şekil 4.20'de,
5. 1. Kata gelen Yatay Yüke karşılık – 1. Kat Ötelenme grafiği Şekil 4.21'de,
6. Sistem rijitlik azalım grafiği Şekil 4.22'de,
7. Sistem süneklik değerlendirme grafiği Şekil 4.23'de
8. Kümülatif toplam tüketilen enerji - 2. kat ötelenme oranı grafiği ise Şekil 4.24' de gösterilmiştir.



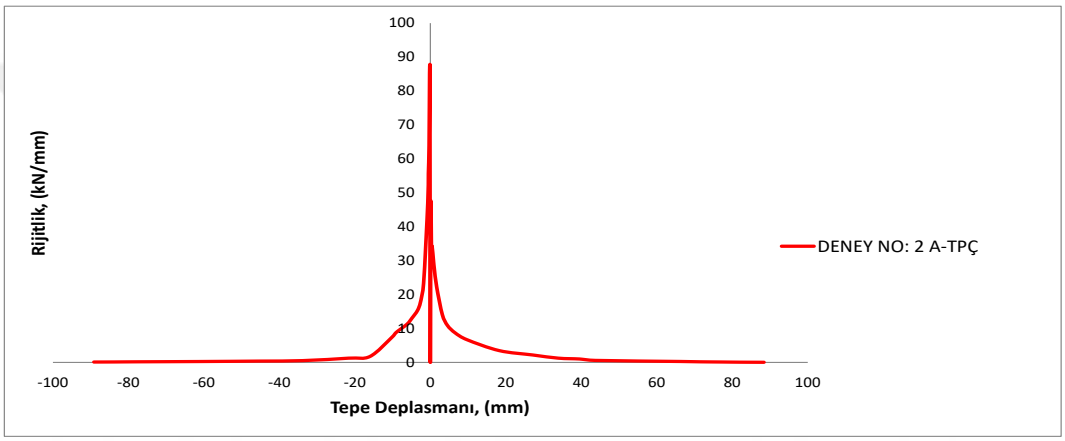
Şekil 4.19. A-TPÇ deney numunesi tepe deplasmanına bağlı histerezis ve zarf eğrisi



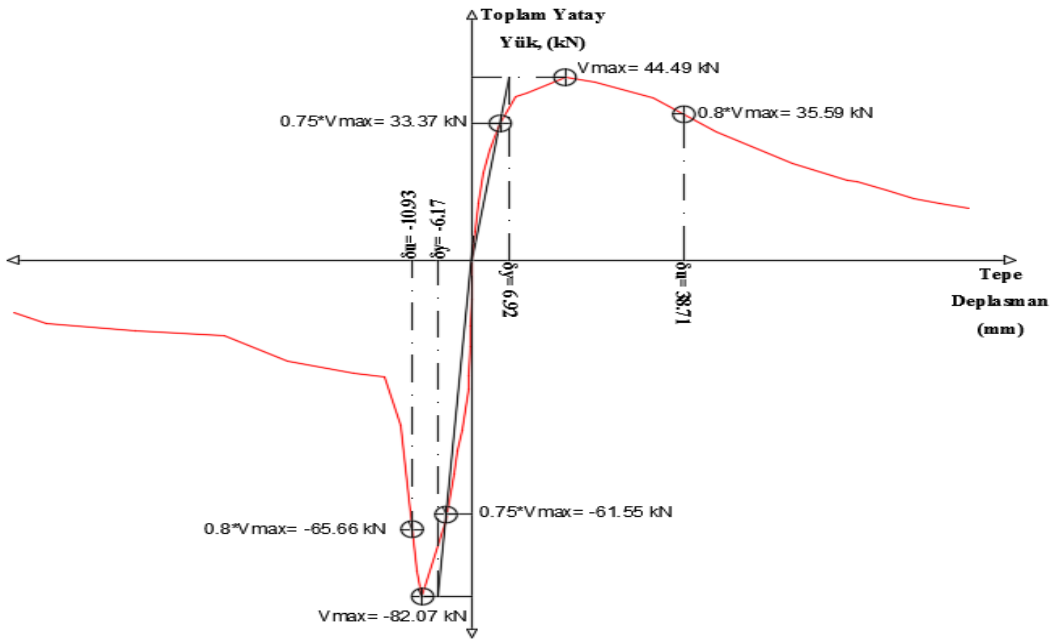
Şekil 4.20. A-TPÇ deney numunesinin 1.kat histerezis ve zarf eğrisi



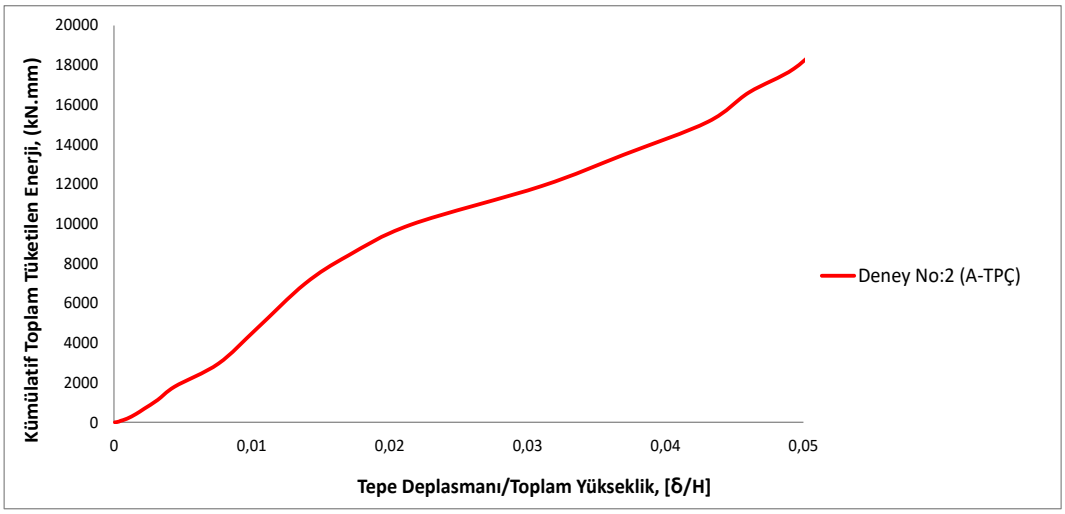
Şekil 4.21. Referans deney numunesine ait 1. Kat yatay yük – ötelenme oranı grafiği



Şekil 4.22. A-TPÇ deney numunesine ait rijitlik azalım grafiği



Şekil 4.23. A-TPÇ deney numunesine ait süneklik değerlendirilmesi grafiği



Şekil 4.24. Referans deney numunesine ait kümülatif toplam tüketilen enerji – Tepe Deplasmanının Toplam yüksekliğe oranı grafiği

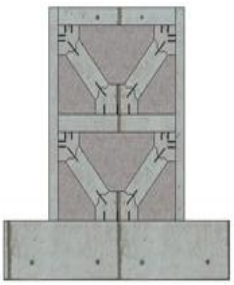
Taban kesme kuvvetine karşılık gelen tepe deplasmanı histerezis eğrilerinin altında kalan alanın kümülatif hesaplanması ile referans numunenin enerji tüketme kapasitesi hesaplanmış olup Şekil 4.24'de gösterilmiştir. Ayrıca deneyin her bir itme ve çekmeden oluşan çevrimlerinden elde edilen maksimum yatay yük değerlerine karşılık gelen yatay deplasman değerlerine oranlanması ile de her bir çevrimde elde edilen rijitlik değerleri Şekil 4.22'de ve süneklik değerlendirilmesi Şekil 4.23'de gösterildiği gibi elde edilmiştir.

4.3. 3 Nolu Deney (Merkezi V Panelle Güçlendirilmiş Çerçeve Numune, B-TPÇ)

B tipi çerçeve (B-TPÇ) olarak anılan Merkezi V panelle güçlendirilmiş çerçeve numune, güçlendirilmiş ikinci deney numunesidir. Referans deney numunesine benzer geometrik özellikleri ve yapım kusurları düşünülerek üretilen numune tersinir-tekrarlanır yatay yük altında test edilmiştir. B-TPÇ ile ilgili parametrik özellikler Çizelge 4.5'de verilmiştir.

B-TPÇ ile güçlendirilen bu deneyin amacı, piyasada özellikle düşük beton kalitesine, kolon-kiriş birleşim bölgesindeki etriye azlığına ve etriye kancalarının 90^0 olması gibi yapım kusurlarına sahip betonarme çerçeve numunelerinin merkezi V şeklinde önüretimli yüksek dayanıma sahip beton panellerle güçlendirilmesi sonucunda, çerçevenin yatay yük taşıma kapasitesinin, rijitliğinin, sünekliğinin ve diğer deprem davranışlarının değişiminin tespit edilmesidir.

Çizelge 4. 5. 3 nolu B-TPÇ deney numunesinin parametrik özellikleri

Deney Numunesi No	Çerçeve Türü	Ortalama Basınç Dayanımı (MPa)		Donatı Çubuklarının Akma ve Çekme Dayanımları (MPa)			
		Çerçeve	Önüretimli Panel	Ø4	Ø8	Ø10	Ø16
Deney-3 Boşluklu Tuğla Dolgu Duvarlı Çerçeve + Merkezi V Panelle Güçlendirilmiş Numune		17.15	44.67	$\frac{294}{387}$	$\frac{407}{496}$	$\frac{418}{512}$	$\frac{427}{508}$

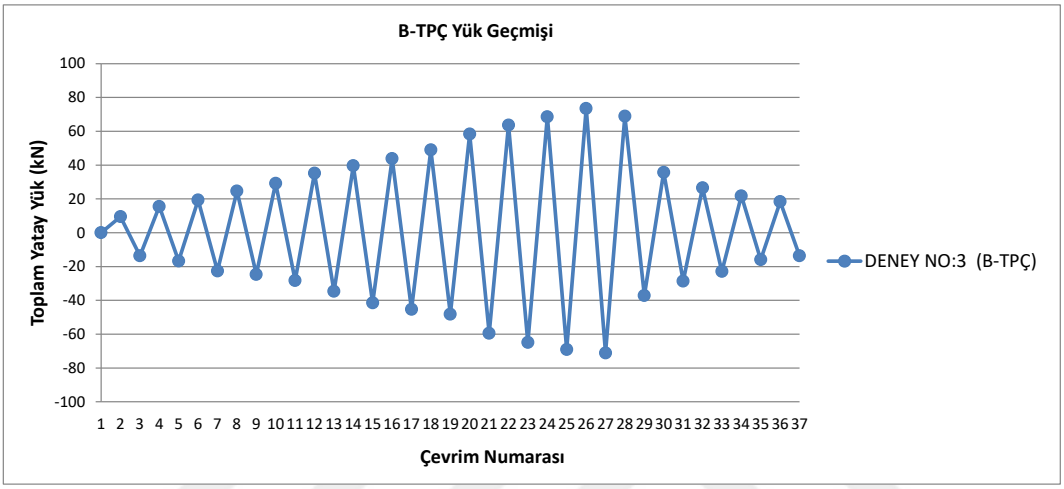
Merkezi V şeklinde çapraz panelle güçlendirilmiş B-TPÇ deney numunesinin deneye başlamadan önceki görünüşü Şekil 4.25'de gösterilmiştir. B-TPÇ elemanına uygulanan yükleme geçmişi ise yük ve deplasman geçmişi olarak Şekil 4.26'da ayrı ayrı verilmiştir.



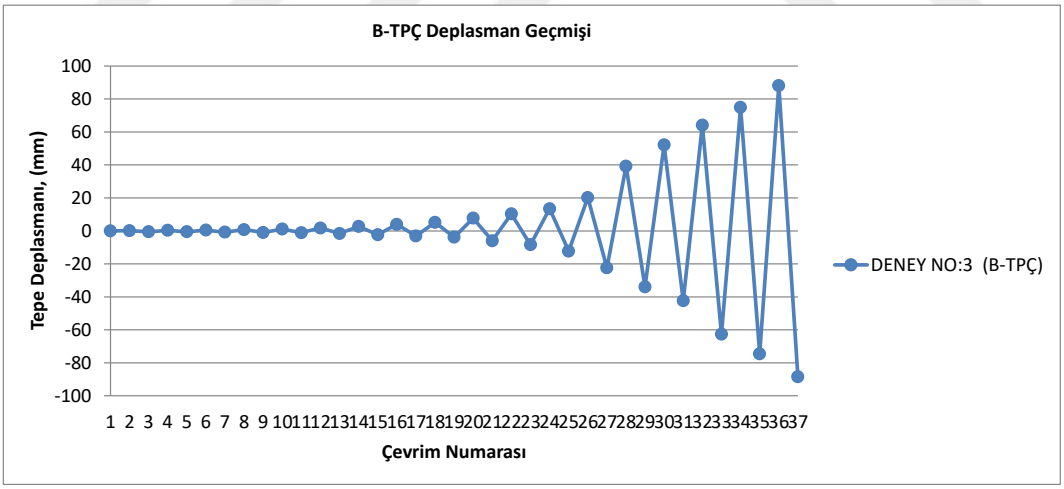
Şekil 4.25. 3 nolu B-TPÇ deney numunesinin deneye başlamadan önceki durumu

Yükleme programında, sistemin akması ile beraber yük kontrollüden deplasman kontrollüye geçilmiştir. Deneyde ileri ve geri çevrimlerde 5 ve 10 kN artışlarla yaklaşık 73 kN'a kadar gidilmiş ve sistemin akmasından sonra 90 mm deplasmana kadar 10 mm artışlarla göçme konumuna ulaşılmıştır.

Sistemde oluşan bu ilk çatlaklar elastik bölge sınırları içerisinde oluşan çatlaklardır. Şekil 4. 27'de ilk çatlaklar gösterilmiştir.



(a) 3 nolu B-TPÇ deney numunesine ait yük geçmişi (Taban Kesme Kuvvetine Göre)



b) 3 nolu B-TPÇ deney numunesine ait deplasman geçmişi (tepe deplasmanına göre)

Şekil 4.26. B-TPÇ deney numunesinin yükleme geçmişi a) Yatay yüke göre b) Tepe deplasmanına göre

Deney aşamasında ilk çatlak, -5'inci geri çevrimde -28.21 kN yükte -1.09 mm tepe deplasmanında S102 kolonu uzun kenarında temelden 32 cm yükseklikte meydana gelmiştir.



Şekil 4.27. 3 nolu B-TPÇ deney numunesine ait oluşan ilk çatlaklar

B-TPÇ deney numunesinin akmaya başladığı yük değeri ileri çevrimde 73.49 kN olarak ölçülmüş ve bu yükteki tepe deplasmanı değeri ise 20.20 mm olarak elde edilmiştir. Ayrıca bu yük seviyesinde zemin kat panellerinin duvardan ayrılmaya başlaması ve sol-sağ alt köşe duvarının ezilmesi ile taşıma kapasitesine ulaşmıştır. Geri çevrimde ise -71.08 kN değerinde akma gerçekleşirken, tepe deplasmanı -22.43 mm olarak ölçülmüştür. Deney aşamasında, her çevrimde gözlenen davranış Çizelge 4.6'da verilmiştir. Çizelgede her bir yükleme çevrimi (itme +1 ve çekme -1 nolu olmak üzere), yatay yük değeri, ölçülen deplasman ve gözlemlenen çatlaklarla birlikte verilmiştir.

Çizelge 4.6. 3 nolu B-TPÇ numuneli deneyin her çevriminde gözlenen davranışı

Çevrim No	Maksimum Yatay Yük (kN)	Maksimum Tepe Deplasmanı (mm)	Referans Numunede Gözlemlenen Çatlak ve Hasar Oluşumu
+1(itme)	9.48	0.154	Deneyin ilk 5 çevriminde herhangi bir çatlak oluşumu gözlemlenmemiştir. Bu çevrimler akma sınırının altında elastik çevrimler olarak uygulanmış ve numunenin elastik özelliklerini görmek için değerlendirilmiştir.
-1(çekme)	-13.62	-0.482	
+2	15.59	0,362	
-2	-16.71	-0.541	
+3	19.35	0.500	
-3	-22.61	-0.786	
+4	24.64	0.787	
-4	-24.60	-0.928	
+5	29.27	1.088	
-5	-28.21	-1.09	S101 kolonu uzun kenarında temelden 32 cm yükseklikte 1 numaralı ilk çatlak görülmüştür. Zemin kat P4 paneli orta noktasında panel genişliğince yukarıdan aşağıya 2 numaralı çatlak oluşurken, aşağıdan panel ortasına kadar 3 numaralı çatlak meydana gelmiştir. Ayrıca birinci kat P9 paneli orta noktasına yakın panel genişliğince 4 numaralı çatlak gözlenmiştir.
+6	35.18	1.755	S102 kolonu uzun kenarında temelden 15cm yükseklikte yatay 5 numaralı çatlak meydana gelmiştir.
-6	-34.64	-1.528	Zemin kat S101 kolonu duvara bitişik iç kısmında temelden 27 cm yükseklikten başlayarak duvar üzerinde yaklaşık 45^0 lik açıyla temele yönelen 6 numaralı çatlak oluşmuştur. Ayrıca S101 kolonu uzun kenarında temelden 12 cm yükseklikte yatay olarak 7 numaralı çatlak meydana gelmiştir.
+7	39.64	2.686	Zemin kat P1-P2 panelleri arasında 8 numaralı çatlak gözlenirken, Zemin kat P2-P3 paneli arasına yerleştirilen ankrajın P3 paneli üzerindeki bitiş sınırında 9 numaralı çatlak ortaya çıkmıştır. Zemin kat S102 kolonu ile P3 paneli arasında kalan duvar temel birleşimi boyunca 10 numaralı yeni bir çatlak gözlenmiştir. K101 kirişi alt noktası ile duvar birleşiminde 11 numaralı yeni çatlak meydana gelmiştir.
-7	-41.48	-2.27	Zemin kat P4 panelinde panel ortasında duvar panel arasında var olan ankrajın her iki tarafında panel genişliğince 12 numaralı yeni bir çatlak oluşmuştur. Ayrıca P4 paneli alt noktasından başlamak üzere duvar üzerinde panele dik 13 numaralı yeni bir çatlak görülmüştür. Zemin kat P1 ve P2 panelleri altında kalan duvarda P2 panelinden S101 kolonuna doğru temele paralel olacak şekilde 14 numaralı yeni çatlak gözlenmiştir. Birinci kat P10 panelinin 7 cm solunda P9 paneli sınırından K201'e doğru 15 numaralı yeni çatlak meydana gelmiştir. Zemin kat P1 panelinde S101 kolonuna doğru 16 numaralı çatlak gözlenirken, K101-S101 kolon kiriş birleşiminde S101 kolonu kısa kenarı üzerinde 17 numaralı yeni çatlak oluşmuştur. P5 panelinin sol tarafında duvar birleşiminden K101 kirişi alt noktasına kadar 18 numaralı çatlak oluşurken, P5 panelinin 8 cm solunda 18 numaralı çatlağa paralel olacak şekilde 19 numaralı çatlak ortaya çıkmıştır.
+8	43.82	3.965	S102 kolonu uzun kenarı üzerinde temelden 33 cm yukarda yatay 20 numaralı çatlak gözlenirken, P1-P2 panel duvar birleşiminde 21 numaralı çatlak meydana gelmiştir. Ayrıca S101 kolonunda temelden 42 cm yukarda 1 numaralı çatlağında 10 cm üzerinde 22 numaralı yeni çatlak oluşmuştur.

-8	-45.30	-3.103	Zemin kat P3-P4 panel birleşiminde 23 ve 24 numaralı çatlaklar oluşurken, S101 kolonu kısa kenarında temelden 30 cm yukarda 25 numaralı çatlak ve 42 cm yukarda 26 numaralı çatlak meydana gelmiştir. Bu arada P1 kolonunda var olan 16 numaralı çatlak P2 panel birleşimine kadar uzamıştır.
+9	48.99	5.232	Birinci kat K101 kirişi üst kısmı duvar ve S202 kolonu birleşiminde 27 numaralı yeni bir çatlak gözlenmiştir. Ayrıca var olan 5 numaralı çatlak dallanırken, P3 üzerinde olan 9 numaralı çatlak ankraj boyunca uzamıştır. P2-P3 paneli altında kalan duvarda temele yakın ve P2 paneli altından temele doğru 28 numaralı çatlak oluşurken, 28 numaralı çatlağın 20 cm solunda benzer şekilde 29 numaralı yeni bir çatlak meydana gelmiştir. Bu arada S102 kolonu kısa kenarı üzerinde temelden 65 cm yukarda diyagonal şekilde yukarı yönlü 30 numaralı çatlak gözlenmiştir. K101-S102 birleşim bölgesinde S102 kolonu kısa kenarı üzerinde 31 numaralı çatlak meydana gelirken, P5 panelini S102 kolonuna bağlayan ankraj boyunca 32 numaralı yeni bir çatlak oluştuğu görülmüştür. Ayrıca P2-P1 paneli birleşim bölgesine yakın P2 panelinin üst sınırından başlamak üzere yukarı yönlü duvar üzerinde 33 numaralı çatlak ortaya çıkmıştır.
-9	-48.13	-3.806	K101 kirişi altındaki duvar birleşiminde var olan 11 numaralı çatlak genişledi. Zemin kat K101 kirişi altında P4 paneline doğru var olan 18 numaralı çatlak P4 paneli duvar birleşiminde panel boyunca uzadı. Daha önce var olan 1,7 ve 22 numaralı çatlaklarda dallanma gözlendi. S101 kolonu kısa kenarı üzerinde temelden 57 cm yukarda yatay 34 numaralı çatlak meydana gelmiştir. Birinci kat K101-S201 duvar birleşiminde 35 numaralı çatlak oluşmuştur. K101-S101 birleşim bölgesinde kolon kısa kenarında üstten 3 cm aşağıda 37 numaralı çatlak yatay olarak ortaya çıkmıştır. 37 numaralı çatlağın 9 cm aşağısında da 36 numaralı çatlak meydana gelmiştir.
+10	58.37	7.708	Zemin kat P1-P2 panelleri birleşiminde var olan 8 numaralı çatlakta genişleme gözlenmiştir. S102 kolonu uzun kenarında var olan 20 numaralı çatlağın 12 cm üstünde yatay olarak 38 numaralı çatlak meydana gelmiştir. Birinci kat P7 panelini duvara bağlayan ankraj civarında panel ortasına kadar yukarıdan aşağıya 39 numaralı çatlak gözlenirken, aşağıdan yukarıya 40 numaralı çatlak meydana gelmiştir. Ayrıca 21 numaralı çatlak genişlerken, zemin kat P3 panelinin ortasındaki temele bağlayan ankraj boyunca 41 numaralı çatlak oluşmuştur. P3 panelinin sağındaki ankrajda 42 gözlenirken, S101 kolonu kısa kenarında temel birleşimi civarında 43 numaralı çatlak meydana gelmiştir. 13 numaralı çatlak dallanırken, S102 kolonu ile duvar birleşiminden başlayıp sola doğru 15 cm uzunluğunda 44 numaralı çatlak ortaya çıkmıştır. P4 paneli altında duvar üzerinde 45 numaralı çatlakta gözlenmiştir.
-10	-59.48	-5.99	Zemin katta var olan 19 numaralı çatlağın sol tarafında 46 numaralı yeni bir çatlak ortaya çıkarken, P9 paneli üzerinde panel genişliğince 47 ve 48 numaralı çatlaklar meydana gelmiştir. Birinci kat P5 paneli üzerinde 49 numaralı çatlak oluşurken, P4 paneli altındaki duvarda var olan 13 numaralı çatlak temele kadar uzadı. Bu arada P4 panelinde P3 paneline yakın kısımda 50 numaralı yeni bir çatlak meydana gelmiştir. S101 kolonu uzun kenarında temelden 22 cm yukarda yatay olarak 51 numaralı çatlak gözlenirken, P3 panel duvar

			birleşiminde sağ tarafta panel yüksekliğince 52 numaralı çatlak oluşmuştur. Birinci kat P9 panelinin alt noktasından başlayarak duvar üzerinde 53 numaralı çatlakta ayrıca ortaya çıkmıştır.
+11	63.66	10.29	Zemin kat P1-P2 paneli arasındaki 8 numaralı çatlak genişliğince artış iyice belirginleşerek P2 paneli duvardan çıkma eğilimine başlayacağının işaretlerini gösterdi. P3 paneli üzerindeki 23 numara çatallandı. K101 üst kısmında S102 den başlayan 27 numaralı çatlak dallanarak uzadı. S102 kolonu duvar birleşiminde belirgin bir ayrılma çatlağı çizgi halinde belirginleşti. S102 kolonunda var olan 20 numaralı çatlak kolon sonuna kadar uzadı. S101-P1 birleşiminde başlayıp aşağı yönlü 54 numaralı yeni çatlak gözlendi. P5 paneli üzerindeki 32 numaralı çatlak ile S102 kolonu uzun kenarında var olan 38 numaralı çatlaklar dallandı. Birinci kat P8 panelini K101 kirişine bağlayan sağdaki ankraj boyunca 55 numaralı yeni çatlak ortaya çıktı. Ayrıca 5 ve 38 numaralı çatlaklarda uzadı.
-11	-64.87	-8.36	Zemin kat P3 panelinde var olan 41 numaralı çatlak dallandı. P1 panelini S101 kolonuna bağlayan üst ankrajdan başlamak üzere P2 panel birleşimine doğru uzanan 56 numaralı yeni çatlak gözlenmiştir. Zemin kat P1-P5 panelleri arasındaki duvarda 57 numaralı yeni bir çatlak oluşurken, P5 paneli S102-K101 panelinden ayrılma eğilimi gösterdi. Ayrıca birinci kattaki P9-P10 paneli arasında zorlanmalar belirginleşti ve 58 numaralı çatlak ortaya çıktı.
+12	68.61	13.43	P1-P2 paneli arasındaki 8 numaralı çatlakta genişleme arttı. S102 kolonuna bitişik duvarda var olan 45 numaralı çatlak etrafında çok sayıda kılcal çatlak oluşarak dallandı. P1-P5 paneli arasındaki duvarda var olan 33 ve 57 numaralı çatlaklar birleşerek 59 numaralı yeni bir çatlak oluşmasına neden oldu. P2 paneli alt noktasından başlayarak temele doğru 60 numaralı çatlak meydana geldi. Bu arada P1 panelini S101 kolonu ve K101 kirişine bağlayan köşe ankrajlar arasında 61 numaralı yeni bir çatlak oluştuğu görülmüştür. S102 kolonu uzun kenarı temel birleşiminde kolon boyunca 62 numaralı çatlak meydana gelmiştir. Ayrıca P5 paneli üzerindeki 49 numaralı çatlak dallanarak panel üzerinde uzamıştır.
-12	-69.05	-12.247	P1-P5 paneli arasında var olan 46 numaralı çatlağa paralel olacak biçimde 63 numaralı çatlak oluşmuştur. Ayrıca P4 paneli altındaki13 numaralı çatlakta dallanmalar gözlenmiştir. Zemin P1 panelinde 64 numaralı yeni çatlak gözlenirken, K101-S101 kolon kiriş birleşiminde 65 numaralı çatlak ortaya çıkmıştır. Bu arada S101 kolonu uzun kenarında 66 numaralı çatlakta oluşmuştur.
+13	73.50	20.20	Numune 75 kN'a gidilmeye çalışılırken aktı. S101 kolonuna bitişik duvarda var olan 14,29 ve 60 numaralı çatlaklar birleşti ve duvarda şişme gözlendi. P1 ve P2 panelleri ayrılmaya ve duvardan çıkmaya başladı. P2 paneli üst sınırında duvarda olan 13 numaralı çatlak K101 kirişi altına kadar uzadı. 45 numara uzadı ve genişledi. ***Bu çevrimde, numune itme yönünde maksimum yatay yük taşıma kapasitesine ulaşmıştır.***
-13	-71.09	-22.43	Numunede bu geri çevrimde akma gözlenmiştir. Zemin katta S101 kolonuna bitişik duvarda sıva dökülmeleri görüldü. P1-P5 paneli arasındaki duvarda şişme ve patlamalar meydana geldi. P8 panelini K101 kirişine bağlayan orta ankrajdan başlamak üzere P7 paneli birleşimine doğru uzanan 67 numaralı çatlak meydana gelmiştir. P7 paneli uzunluğu

			boyunca duvar birleşiminde 68 numaralı çatlak oluşurken, S202 kolon duvar birleşiminde 69 numaralı yeni bir çatlakta belirmiştir. Hasarlar üst katlarda da oluşmaya başlamıştır. Ayrıca birinci kat P8-P9 panelleri arasında 70 numaralı çatlakta gözlenmiştir. Geri çevrimde deplasman kontrollü yüklemeye geçildi. ***Bu çevrimde, numune çekme yönünde maksimum yatay yük taşıma kapasitesine ulaşmıştır.***
+14	68.93	39.294	P1-P2 paneli ayrıldı. P4 paneli duvara bağlı olduğu epoksiden tamamen ayrıldı ve panel ortadan belirgin bombe yaptı. P1-P5 paneli arasındaki duvarda ve S101, S102 kolonuna bitişik duvarda sıva dökülmeleri meydana geldi. S102 kolonunda temelden 3cm yukarda uzun kenarda 71 numaralı çatlak oluşurken, S101 kolonu kısa kenarı üzerinde kolon yüksekliğince boyuna çok sayıda kılcal çatlak meydana gelmiştir. Bu yük çeviriminden sonra deplasman kontrollü yüklemeye geçilmiştir.
DEPLASMAN KONTROLLÜ YÜKLEMEYE GEÇİLDİ			
-14	-37.08	-33.909	P2 ve P1 panelini birbirine bağlayan ankraj tamamen ayrıldı ve P2 bombe yaptı. S101 kolonunda kabuk beton dökülmeleri görüldü ve plastik mafsallaşma akmadan sonrada devam etti. Zemin kat duvarında yer yer kırılmalar gözlendi.
+15	35.70	52.129	Zemin kat P2 ve P4 panelleri işlevini yitirdiği için yükte ani düşüş gözlenmiştir. Zemin kat panelleri etkin olamadığı için çalışan tuğla duvarlarda kırılmalar meydana gelmiştir. S102 kolonu üst kısmında K101 kirişinin 10 cm altında plastik mafsallaşma görülmüştür.
-15	-28.59	-42.297	S101 ve S102 kolonunda kabuk betonda çok sayıda dökülmeler görüldü. S101 kolonu alt ucunda plastik mafsallaşma gözlendi. Duvarda çok sayıda tuğla kırılmaları gözlendi. S102 kolonunda temelden 10 cm yukarda mafsallaşma oluştu.
+16	26.55	64.148	Zemin kat duvarında çok sayıda tuğla dökülmeleri gözlendi. S101-S102 kolonunda eğilme ile kalıcı hasarlar ileri seviyelere ulaştı.
-16	-22.90	-62.61	S101 kolonuna bitişik duvarda geniş bir boşluk açıldı. S101-S102 kolonunda yükseklik boyunca donatılar ortaya çıktı. Plastik mafsallaşmalar devam etti.
+17	21.79	74.914	Bu son 4 çevrimde; S101 ve S102 kolonundaki kabuk betonunda dökülmeler gözlemlenmiştir. S102 kolonunda, kolon-kiriş birleşim bölgelerinde hasar boyutu artmıştır. S101 ve S102 kolonlarında meydana gelen hasarlar ile betonarme çerçevede genel olarak güçlü kiriş-zayıf kolon davranışı gözlemlenmiştir. Numunede meydana gelen bu hasarlardan ve sistem stabilitesinin tehlikeye girmesinden dolayı çatlak numaralandırılması yapılmamıştır. Sadece oluşan hasarların çekilen fotoğraflarla tespiti yapılmıştır.
-17	-15.94	-74.507	
+18	18.37	88.111	
-18	-13.64	-88.489	

Merkezi V şeklinde yapılan güçlendirme neticesinde ileri ve geri çevrimde taşıma gücü seviyesine yaklaşık benzer yük değerinde ulaşılmışken, referans numuneye göre ileri çevrimde 1.65, geri çevrimde ise 1.64 kat dayanım artışı görülmüştür. Zemin kat panellerini birbirine ve panelleri kolon kiriş, temele bağlayan ankrajlarda numune akmasını gerçekleştirdikten sonra kopmalar ile panellerin epoksi ile duvara yapıştırılan kısımlarında ayrışma gözlenmiştir. Merkezi V şeklinde yapılan güçlendirme sonucu üst

katlarda da hasar oluşması gözlenmiştir. Şekil 4.28'de B-TPÇ numunenin akma anındaki ileri ve geri çevrimdeki genel görünüşü, Şekil 4.29'da ise akma anında ileri ve geri çevrimde duvarlarda birleşim bölgelerinde ortaya çıkan hasarların görünüşleri verilmiştir.



Şekil 4.28. B-TPÇ deney numunesinin akma anındaki görünüşü



Şekil 4.29. B-TPÇ deney numunesinin akma anında meydana gelen kalıcı hasar durumu

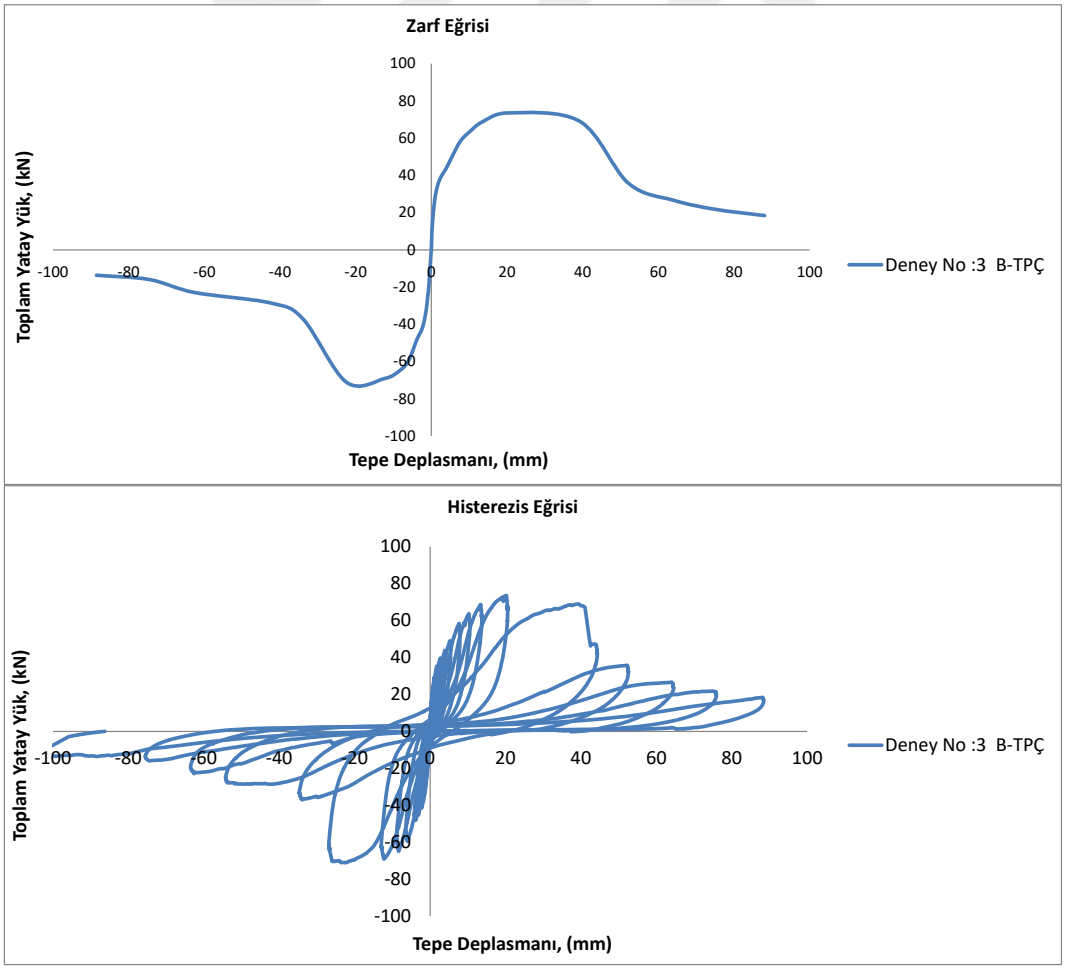
B-TPÇ deney numunesini itme durumunda 73.50 kN olan maksimum yatay yük değeri 18. çevrim sonunda 18.37 kN'a, çekme durumunda ise -71.08 kN olan maksimum yatay yük değeri -13.64 kN'a düşmüştür. Yatay yük taşıma kapasitesinde itme durumunda yaklaşık %75 oranında bir azalma meydana gelmişken çekme durumunda yaklaşık %81'lik bir azalma meydana gelmiştir. Şekil 4.30'da B-TPÇ numunenin akmadan sonra deney sonuna kadar oluşan hasarların genel görünüşü gösterilmiştir.



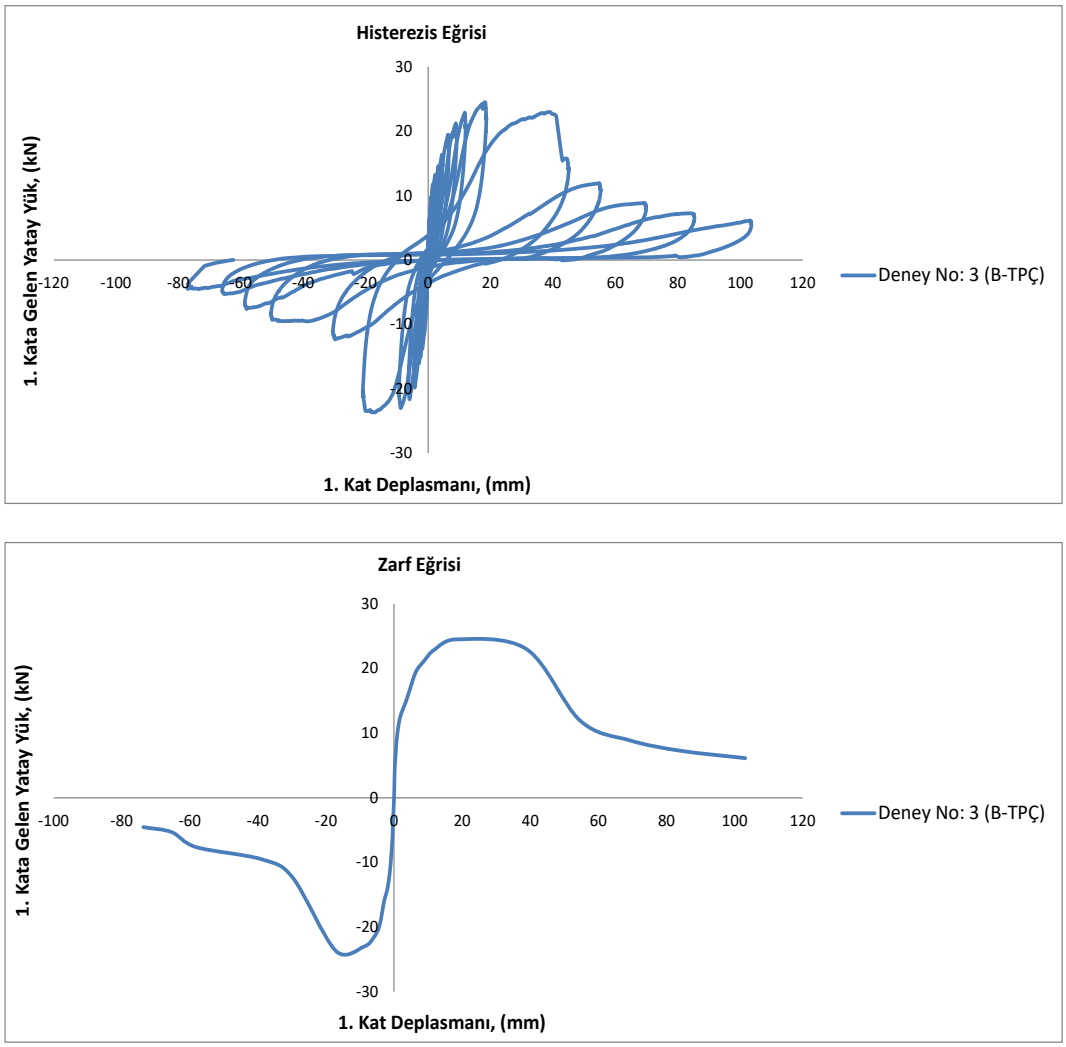
Şekil 4.30. B-TPÇ numunenin deney sonundaki kalıcı hasarlı görünüşü

B-TPÇ numune için deney sonucunda sırasıyla aşağıdaki grafikler elde edilmiştir.

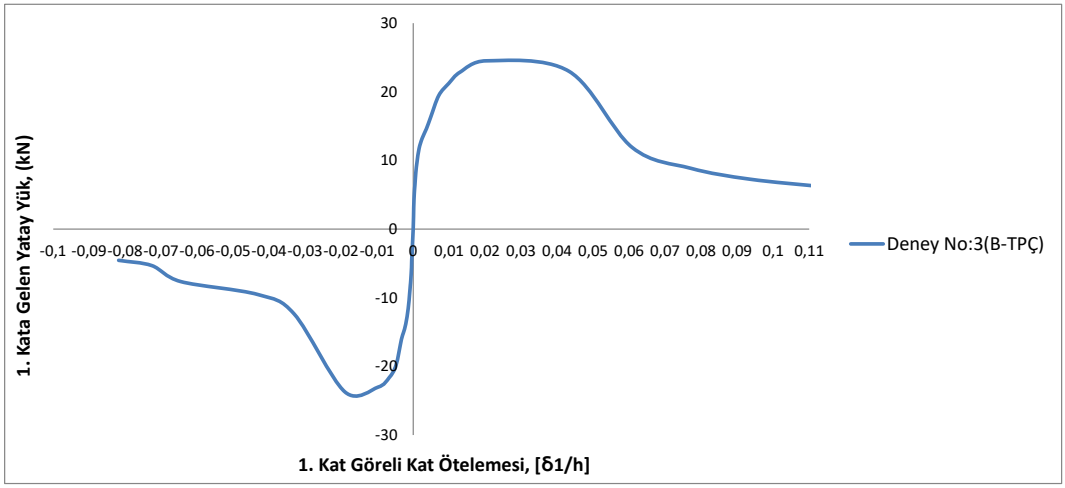
1. Toplam Yatay Yüke (Taban Kesme Kuvveti) karşılık – Tepe Deplasmanı grafiği (Histerezis Eğrisi) Şekil 4.31'de,
2. Toplam Yatay Yüke (Taban Kesme Kuvveti) karşılık – Tepe Deplasmanı grafiği (Zarf Eğrisi) Şekil 4.31'de,
3. 1. Kata ait Yatay Yüke karşılık – 1.Kat Deplasmanı grafiği (Histerezis Eğrisi) Şekil 4.32'de,
4. 1. Kata gelen Yatay Yüke karşılık – 1.Kat Deplasmanı grafiği (Zarf Eğrisi) Şekil 4.32'de,
5. 1. Kata gelen Yatay Yüke karşılık – 1. Kat Ötelenme grafiği Şekil 4.33'de,
6. Sistem rijitlik azalım grafiği Şekil 4.34'de,
7. Sistem süneklik değerlendirme grafiği Şekil 4.35'de
8. Kümülatif toplam tüketilen enerji - 2. kat ötelenme oranı grafiği ise Şekil 4.36' da gösterilmiştir.



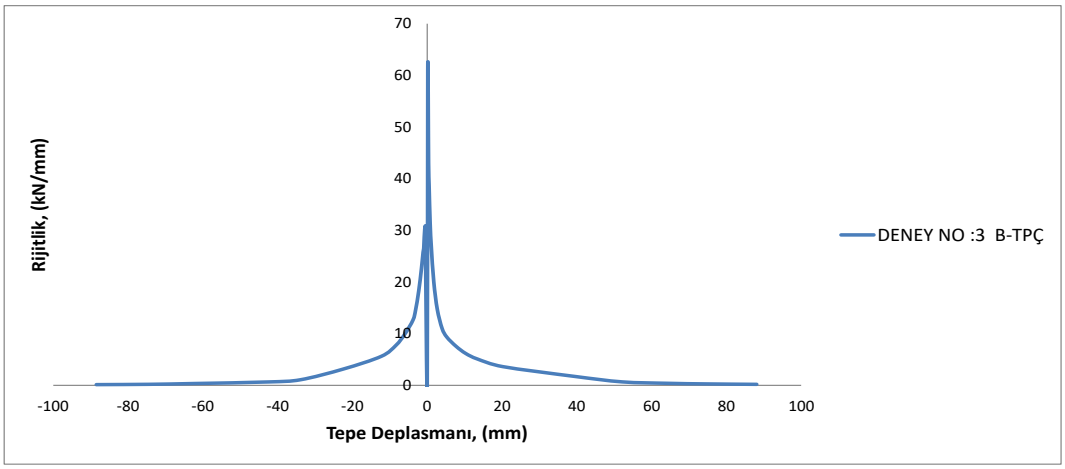
Şekil 4.31. B-TPÇ deney numunesi tepe deplasmanına bağlı histerezis ve zarf eğrisi



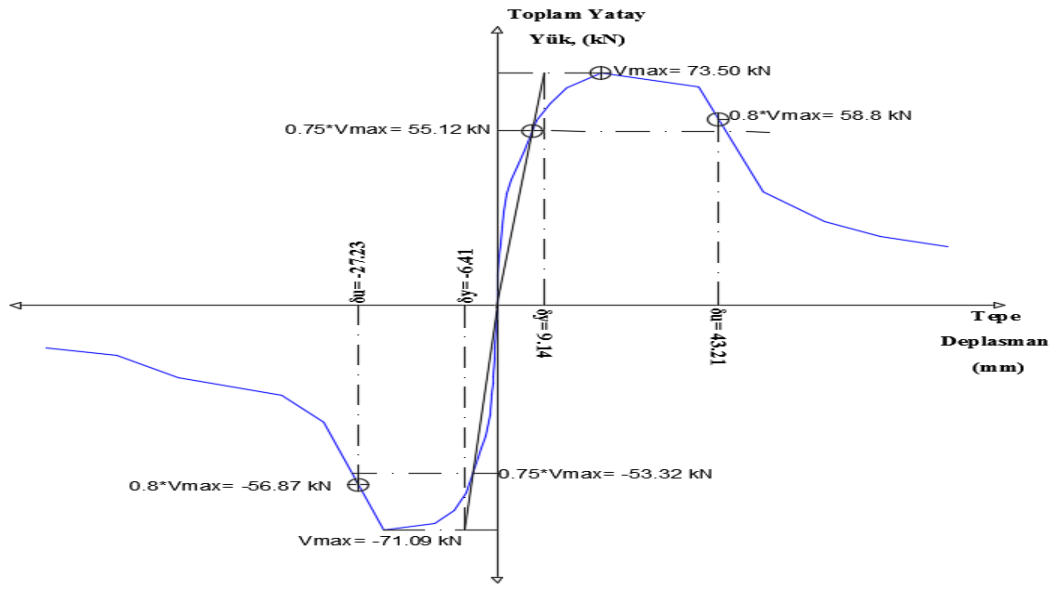
Şekil 4.32. B-TPÇ deney numunesinin 1.kat histerezis ve zarf eğrisi



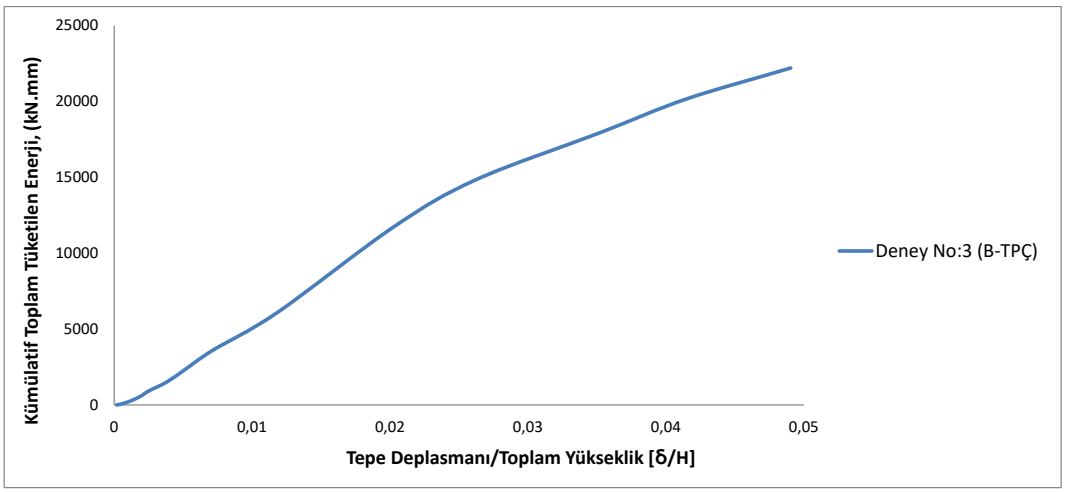
Şekil 4.33. B-TPÇ deney numunesine ait 1. Kat yatay yük – ötelenme oranı grafiği



Şekil 4.34. B-TPÇ deney numunesine ait rijitlik azalım grafiği



Şekil 4.35. B-TPÇ deney numunesine ait süneklik değerlendirilmesi grafiği



Şekil 4.36. B-TPÇ deney numunesine ait kümülatif toplam tüketilen enerji–Toplam Yükseklik oranı grafiği

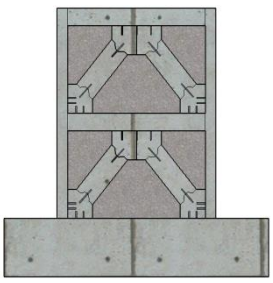
Taban kesme kuvvetine karşılık gelen tepe deplasmanı histerezis eğrilerinin altında kalan alanın kümülatif hesaplanması ile referans numunenin enerji tüketme kapasitesi hesaplanmış olup Şekil 4.36'da gösterilmiştir. Ayrıca deneyin her bir itme ve çekmeden oluşan çevrimlerinden elde edilen maksimum yatay yük değerlerine karşılık gelen yatay deplasman değerlerine oranlanması ile de her bir çevrimde elde edilen rijitlik değerleri Şekil 4.34'de ve süneklik değerlendirilmesi Şekil 4.35'de gösterildiği gibi elde edilmiştir.

4.4.4 Nolu Deney (Merkezi Ters V Panelle Güçlendirilmiş Çerçeve Numune, C-TPÇ)

C tipi çerçeve (C-TPÇ) olarak anılan Merkezi Ters V panelle güçlendirilmiş çerçeve numune, panel genişliği 200 mm olan güçlendirilmiş numuneler içerisindeki son deney numunesidir. Referans deney numunesine benzer geometrik özellikleri ve yapım kusurları düşünülerek üretilen numune tersinir-tekrarlanır yatay yük altında test edilmiştir. C-TPÇ ile ilgili parametrik özellikler Çizelge 4.7'de verilmiştir.

C-TPÇ ile güçlendirilen bu deneyin amacı, piyasada özellikle düşük beton kalitesine, kolon-kiriş birleşim bölgesindeki etriye azlığına ve etriye kancalarının 90^0 olması gibi yapım kusurlarına sahip betonarme çerçeve numunelerinin Merkezi Ters V şeklinde önüretimli yüksek dayanıma sahip beton panellerle güçlendirilmesi sonucunda, çerçevenin yatay yük taşıma kapasitesinin, rijitliğinin, sünekliğinin ve diğer deprem davranışlarının değişiminin tespit edilmesidir.

Çizelge 4. 7. 4 nolu C-TPÇ deney numunesinin parametrik özellikleri

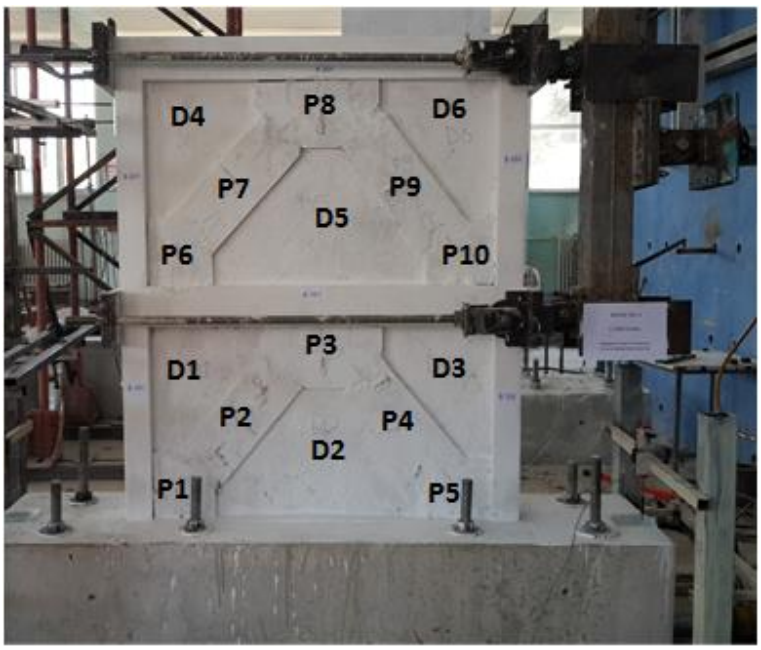
Deney Numunesi No	Çerçeve Türü	Ortalama Basınç Dayanımı (MPa)		Donatı Çubuklarının Akma ve Çekme Dayanımları (MPa)			
		Çerçeve	Önüretimli Panel	Ø4	Ø8	Ø10	Ø16
Deney-4 Boşluklu Tuğla Dolgu Duvarlı Çerçeve + Merkezi Ters V Panelle Güçlendirilmiş Numune		17.31	44.27	$\frac{294}{387}$	$\frac{407}{496}$	$\frac{418}{512}$	$\frac{427}{508}$

Merkezi Ters V şeklinde çapraz panelle güçlendirilmiş C-TPÇ deney numunesinin deneye başlamadan önceki görünüşü Şekil 4.37'de gösterilmiştir. C-TPÇ

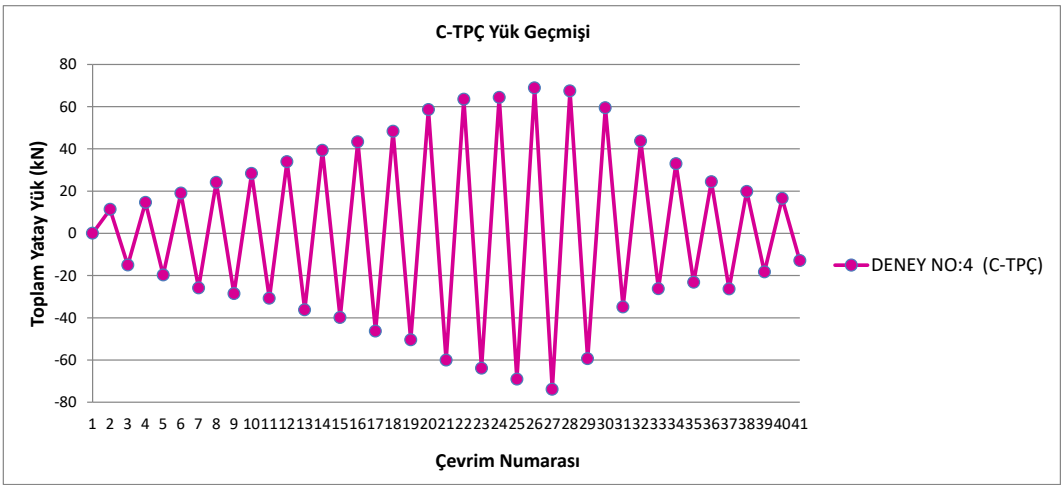
elemanına uygulanan yükleme geçmişi ise yük ve deplasman geçmişi olarak Şekil 4.38'de ayrı ayrı verilmiştir.

Yükleme programında, sistemin akması ile beraber yük kontrollüden deplasman kontrollüye geçilmiştir. Deneyde ileri ve geri çevrimlerde 5 ve 10 kN artışlarla yaklaşık 74 kN'a kadar gidilmiş ve sistemin akmasından sonra 90 mm deplasmana kadar 10 mm artışlarla göçme konumuna ulaşılmıştır.

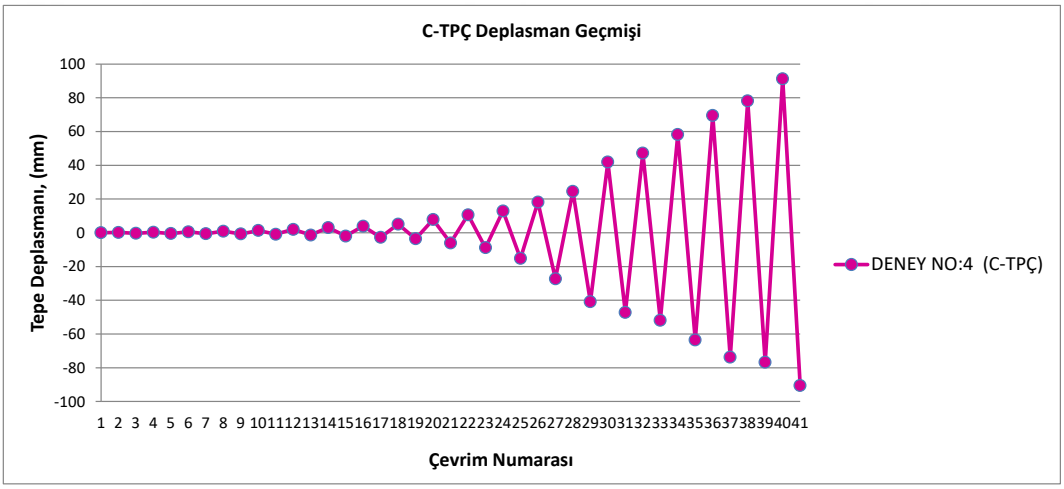




Şekil 4.37. 4 nolu C-TPÇ deney numunesinin deneye başlamadan önceki durumu



(a) 4 nolu C-TPÇ deney numunesine ait yük geçmişi (Taban Kesme Kuvvetine Göre)



b) 4 nolu C-TPÇ deney numunesine ait deplasman geçmişi (tepe deplasmanına göre)

Şekil 4.38. C-TPÇ deney numunesinin yükleme geçmişi a) Yatay yüke göre b) Tepe deplasmanına göre

Deney aşamasında ilk çatlak, -4'üncü geri çevrimde -28.59 kN yükte -0.72 mm tepe deplasmanında zemin kat P2 panelinde yatay olarak meydana gelmiştir. Sistemde oluşan ilk çatlaklar elastik bölge sınırları içerisinde oluşan çatlaklardır. Şekil 4. 39'da oluşan ilk çatlaklar gösterilmiştir.



Şekil 4.39. 4 nolu C-TPÇ deney numunesine ait oluşan ilk çatlaklar

C-TPÇ deney numunesinin akmaya başladığı yük değeri ileri çevrimde 68.85 kN olarak ölçülmüş ve bu yükteki tepe deplasmanı değeri ise 18.14 mm olarak elde edilmiştir. Ayrıca bu yük seviyesinde D1 ve D3 duvarının ezilmesi ile taşıma kapasitesine ulaşmıştır. Geri çevrimde ise -73.85 kN değerinde akma gerçekleşirken, tepe deplasmanı -27.30 mm olarak ölçülmüştür. Deney aşamasında, her çevrimde gözlenen davranış Çizelge 4.8'de verilmiştir. Çizelgede her bir yükleme çevrimi (itme +1 ve çekme -1 nolu olmak üzere), yatay yük değeri, ölçülen deplasman ve gözlemlenen çatlaklarla birlikte verilmiştir.

Çizelge 4. 8. 4 nolu C-TPÇ numuneli deneyin her çevriminde gözlenen davranışı

Çevrim No	Maksimum Yatay Yük (kN)	Maksimum Tepe Deplasmanı (mm)	Referans Numunede Gözlemlenen Çatlak ve Hasar Oluşumu
+1(itme)	11.35	0.195	Deneyin ilk 4 çevriminde herhangi bir çatlak oluşumu gözlemlenmemiştir. Bu çevrimler akma sınırının altında elastik çevrimler olarak uygulanmış ve numunenin elastik özelliklerini görmek için değerlendirilmiştir.
-1(çekme)	-15.05	-0.330	
+2	14.60	0.337	
-2	-19.77	-0.461	
+3	19.04	0.539	
-3	-25.85	-0.583	
+4	24.18	0.916	
-4	-28.59	-0.720	Zemin kat P2 paneli üzerinde panel genişliğine yakın 1 numaralı ilk çatlak meydana gelmiştir.
+5	28.36	1.332	S102 kolonu uzun kenarında temelden 10 cm yukarda yatay kolon ortasına kadar uzanan 2 numaralı çatlak gözlenmiştir. Aynı tarafta temelden 35 cm yukarda 3 numaralı çatlak neredeyse kolon uzun kenarı boyunca meydana gelmiştir. Aynı anda zemin kat D4 duvarı üzerinde P2-P3 arasında 4 numaralı çatlak ortaya çıkmıştır.
-5	-30.76	-0.846	Bu çevrimde herhangi bir çatlak gözlenmemiştir.
+6	33.96	1.989	S102 kolonu uzun kenarında var olan 2 ve 3 numaralı çatlaklarda uzama görüldü. Zemin kat P3 paneli üzerinde 5 numaralı dikeye yakın çatlak meydana geldi. Ayrıca D1 duvarı üzerinde K101 kirişi altından başlayarak aşağı yönde 22 cm uzunluğunda 6 numaralı yeni bir çatlak oluşmuştur. S101-D1 arasında kılcal çatlaklar gözlenmiştir. Zemin kat P4 panelini duvara bağlayan ankraj elemanı civarında 7 numaralı yeni çatlak ortaya çıkmıştır. Bu çevrim için son olarak K101 kirişi altında D3 duvarı üzerinde yatay olarak 8 numaralı yeni bir çatlak meydana gelmiştir.
-6	-36.21	-1.374	S101 kolonu uzun kenarı üzerinde temelden 33 cm yukarda yatay olarak kolon uzunluğunca 9 numaralı yeni çatlak oluşmuştur. S101-K101 birleşiminde kolon kısa kenarı üzerinde 10 numaralı çatlak ve bu çatlağın 10 cm altında 11 numaralı çatlak meydana gelmiştir. P3 panelini K101 kirişine bağlayan sol taraftaki ankrajdan başlayarak sağa doğru eğimli olacak şekilde panel ucuna kadar 12 numaralı çatlak oluşurken, sağ ankrajdan P4 panel birleşimine doğru yönelen 13 numaralı çatlakta ayrıca gözlenmiştir. Bu arada S102-D3 arasında zorlanmalar başlamıştır. S101 kolonu kısa kenarı üzerinde temelden 43 cm yukarda kısa kenar uzunluğunun ortasına kadar uzanan 14 numaralı çatlak ortaya çıkmıştır. Ayrıca P1-P2 panel birleşiminde panel genişliğince 15 numaralı yeni çatlak meydana gelmiştir.
+7	39.29	3.070	S102 kolonu uzun kenarı üzerinde K101 kirişinden 10 cm aşağıda boydan boya 16 numaralı yeni çatlak oluşurken, K101-S102 birleşim bölgesinde kolon kısa kenarı üzerinde 17 numaralı yeni çatlak meydana gelmiştir. Ayrıca D1 duvarı üzerinde var olan 6 numaralı çatlak sola eğimli S101 kolonuna doğru uzama gösterirken, P4-P5 panel birleşiminde panel genişliğince 18 numaralı yeni bir çatlak meydana gelmiştir. S102 kolonunda var olan 3 numaralı çatlağın 10 cm altında yatay 19 numaralı yeni çatlakta oluşmuştur. Birinci kat S201-D4 duvarı arasında

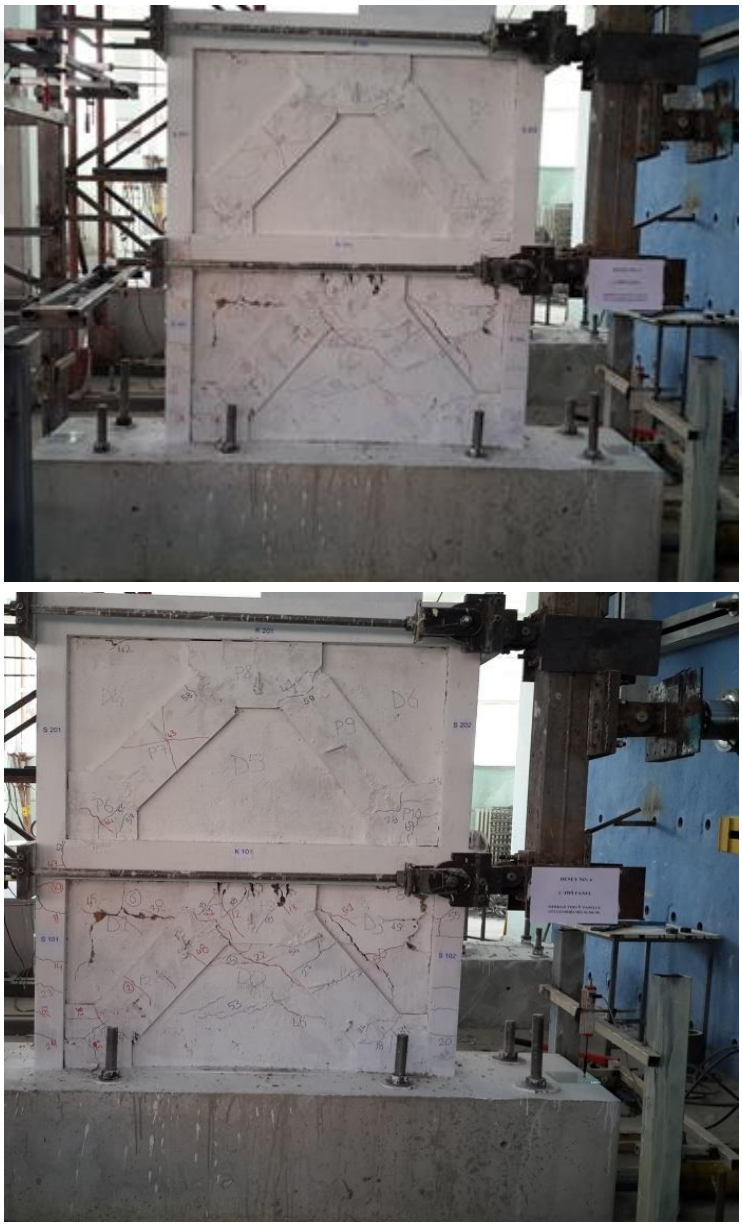
			da zorlanmaların başladığı görüldü. S102 kolonu kısa kenarı üzerinde temelden 16 cm yukarda boydan boya 20 numaralı çatlak oluşurken, D2 duvarı temel arasında ayrışmalar olduğu görüldü.
-7	-39.89	-1.945	S101 kolonu uzun kenarında temelden 13 cm yukarda yatay 21 numaralı çatlak oluşurken, zemin kat D2 duvarında 4 numaralı çatlağı kesecek şekilde 22 numaralı çatlak meydana gelmiştir. S101 kolonu kısa kenarında kolon ortasına kadar var olan 14 numaralı çatlak kısa kenar sonuna kadar uzamıştır. Ayrıca S101 kolonu kısa kenarında temelden 34 cm yukarda 23 numaralı çatlak gözlenirken, temelden 13 cm yukarda 24 numaralı çatlak ortaya çıkmıştır.
+8	43.36	3.912	S102 kolonu uzun kenarında var olan 2 numaralı çatlağın 7 cm üzerinde 25 numaralı yeni çatlak oluşurken, S102 kolonu kısa kenarı üzerinde temelden 7 cm yukarda 26 numaralı yeni bir çatlak meydana gelmiştir. Zemin kat P4 paneli üzerinde P3 paneline yakın tarafta P4 panel genişliğinin ortasına kadar 27 numaralı yeni çatlak oluşmuştur. S101-D1 ve D2-temel birleşiminde çatlakların bir hat boyunca arttığı gözlenmiştir. K101-D1 duvar kısmında da ayrışmalar artmıştır. Birinci kat P10-P9 panel birleşiminde 28 numaralı yeni çatlakta gözlenmiştir.
-8	-46.34	-2.737	S101 kolonu kısa kenarında var olan 10 numaralı çatlak kolon ucuna kadar uzadı. S101 kolonu uzun kenarında var olan 9 numaralı çatlağın 12 cm üstünde yatay olarak kolon uzun kenarı boyunca 29 numaralı yeni çatlak meydana gelmiştir. S101 kolonu kısa kenarındaki 23 numaralı çatlak dallanarak uzadı. D1 duvarında P2-P3 panel birleşimine dik 30 numaralı yeni çatlak gözlenirken, P5 paneli üzerinde 31 numaralı çatlak ortaya çıkmıştır. Ayrıca P2-P3 paneli birleşiminde 32 numaralı yeni çatlak oluşurken, S101 kolonu kısa kenarında daha önceden var olan 23 numaralı çatlağın 10 cm altında 33 numaralı yeni çatlak meydana gelmiştir.
+9	48.37	5.149	S102 kolonu uzun kenarında var olan 19 ve 25 numaralı çatlaklarda uzama gerçekleşirken, D1 duvarında var olan 6 numaralı çatlakta genişleme ile beraber uzaman gerçekleşmiştir. P4 paneli üzerinde paneli duvara bağlayan ankraj hizasında var olan 7 numaralı çatlak panel genişliğince uzamıştır. Zemin kat P4-P5 panel birleşiminde P4 üzerinde 34 numaralı yeni çatlak gözlenirken, P3 panelinde 12 numaralı var olan çatlaktan P2 panel birleşimine doğru uzanan 35 numaralı yeni çatlak ortaya çıkmıştır.
-9	-50.47	-3.565	S101 kolonu kısa kenarında var olan 11 numaralı çatlak kısa kenar sonuna kadar uzamıştır. S102-D3 duvar birleşiminde 2mm ayrışma gözlenmiştir. P3 paneli üzerinde var olan 12 numaralı çatlak panel alt noktasına kadar uzarken, P1 panelini S101 kolonuna bağlayan üst ankraj boyunca 36 ve S101 kolonuna bağlayan alt ankrajdan temele bağlayan soldaki ankraj arasında 37 numaralı yeni çatlaklar meydana gelmiştir.
+10	58.55	7.801	P1 panelinde var olan 37 numaralı çatlak P1-P2 birleşim noktasına doğru çatallandı. P3 panelini K101 kirişine bağlayan orta ankrajdan başlamak üzere P3-P2 birleşimine doğru uzayan 38 numaralı yeni çatlak ortaya çıkarken, P3 panelini K101 kirişine bağlayan sağ ankraj boyunca 39 numaralı yeni çatlak meydana gelmiştir. S102

			kolonu uzun kenarında var olan 16 numaralı çatlak kısa kenar boyunca devam etmiştir. Ayrıca S102 kolonu uzun kenarında var olan 16 numaralı çatlağın 10 cm altında 40 numaralı yeni çatlak gözlenmiştir. Birinci kat P8-P9 panel birleşiminde 41 numaralı yeni çatlak oluşurken S201-K201-D4 duvar birleşiminde ayrışmaların başladığı görülmüştür. Zemin kat D1-S101 ve D3-S102 birleşimde de ayrışmaların arttığı gözlenmiştir. K201 kirişi altında D4 duvar birleşiminde yatay olarak 42 numaralı çatlak meydana gelmiştir. K101-S102 birleşiminde var olan 17 numaralı çatlakta dallanmalar ortaya çıkmıştır. Ayrıca P10-P9 panel birleşiminde var olan 28 numaralı çatlak P10 panelini S202 kolonuna bağlayan üst ankraja doğru çatallanmıştır. Bu çevrimde zemin kat panelleri ankraj birleşimlerinde zorlanmaların olduğu gözlenmiştir.
-10	-60.04	-6.036	Birinci kat P7 panelini duvar ile birleştiren ankraj üzerinde çapraz şekilde panel genişliğince 43 numaralı yeni çatlak gözlenirken, P6 paneli S201 kolonuna bağlayan ankrajdan K101'e bağlayan ankraj arasında 44 numaralı yeni bir çatlak oluşmuştur. P2-P3 panel birleşimi boyunca 32 numaralı çatlak uzamıştır. D1 duvarında var olan 6 numaralı çatlağı kesecek şekilde S101'e yakın yerden başlayıp P2 paneline doğru uzanan 45 numaralı çatlak oluşmuştur. D2 duvarında var olan 22 numaralı çatlak genişleyerek uzarken, 46 numaralı yeni çatlak P4 paneli altına uzayarak D2 üzerinde oluştu. Zemin kat ankraj civarında çatlamalar arttı. S101 kolonu kısa kenarında var olan 10 numaralı çatlağın 5 cm üstünde 47 numaralı yataya yeni bir çatlak meydana gelmiştir. P2 panelinde panel genişliğinin yarısına kadar 48 numaralı yeni çatlak oluşurken, S101 kolonu uzun kenarı-temel birleşiminde çatlak oluşumu gözlendi.
+11	63.45	10.640	P3 panelinde var olan 39 numaralı çatlak 3mm genişledi ve D1 duvarındaki 6 numaralı çatlak 4 mm genişledi. 19 numaralı çatlak uzadı ve genişledi. D1 duvarındaki 6 numaralı çatlak dallanarak uzadı. D3 duvarında, S102 kolonuna dik şekilde 49 numaralı çatlak meydana gelmiştir.
-11	-63.88	-8.833	S101 kolonunda var olan 11 numaralı çatlak D1 duvarına doğru uzadı. D2 duvarındaki 22 numaralı çatlak genişledi. D3 duvarında K101-S102 arasında sıva dökülmeleri görüldü. D3 duvarında birbirine paralel 50 ve 51 numaralı çatlaklar meydana geldi. P3 panelini K101 kirişine bağlayan sol taraftaki ankrajda 4 mm açılma görüldü. P2-P3 panel birleşimindeki 32 numaralı çatlakta genişlemeler görüldü. D1 duvarındaki 6 numaralı çatlak düzlem dışına çıkma eğiliminde olduğu gözlendi. D1 duvarındaki 30 numaralı çatlak aynı duvardaki 6 numaralı çatlağı kesecek şekilde uzadı.
+12	64.38	12.900	D1duvarındaki 6 numaralı çatlakta yarılma meydana geldi. P3 panelini K101 kirişine bağlayan sağdaki ankraj üzerindeki 39 numaralı çatlakta dökülmeler görüldü.
-12	-69.06	-15.204	D1 ve D3duvarında sıva dökülmeleri gözlendi. P2-P3 arasındaki 32 numaralı çatlakta ayrışma belirginleşti. D3 duvarının S102 ve K101 birleşiminde 4 mm kadar açılma görüldü. D3 duvarında var olan 50 ve 51 numaralı çatlak arasında duvarda 4 mm açılma meydana geldi. Özellikle P3 paneli olmak üzere diğer panellerdeki ankrajlarda da açılmalar gözlendi.

+13	68.85	18.140	Numunede bu ileri çevrimde 70 kN yük değerine gitmeye çalışılırken akma gözlenmiştir. K101-S201 birleşiminde K101 üzerinde dikey olarak 52 numaralı yeni çatlak oluşurken, D2 duvarında çok sayıda kılcal çatlak meydana geldi. D3 duvarında da sıva kabarmaları gözlendi. P3-P4 birleşim bölgesinde 54 numaralı çatlak, S102 kolonu kısa kenarında K101 kirişinin 15 cm altında 55 numaralı çatlak, P6 panelini K101 kirişine bağlayan ankrajlarda 56 ve 57 numaralı çatlaklar meydana gelmiştir. P7-P8 birleşiminde 58 numaralı çatlak oluşurken, P8-P9 birleşiminde 59 numaralı yeni çatlak oluşmuştur. P10 panelini K101 ve S202'ye bağlayan ankrajlar arasında da 60 numaralı yeni çatlak ortaya çıkmıştır. S102 kolonu uzun kenarı temel birleşiminde 61 numaralı yeni çatlak bu çevrimde oluşan son çatlaktır. ***Bu çevrimde, numune itme yönünde maksimum yatay yük taşıma kapasitesine ulaşmıştır.***
-13	-73.85	-27.300	Numunede bu geri çevrimde 75 kN yük değerine gitmeye çalışılırken akma gözlenmiştir. Duvar arka yüzünde çok sayıda sıva dökülmeleri gözlenmiştir. Bu akma yükünde duvarın düzlem dışına çıkmadığı panel ve duvarın daha bir bütün olarak çalıştığı görüldü. P3 panelini K101 kirişine bağlayan sağ taraftaki ankrajın yanındaki 39 numaralı çatlak içinden ankraj sıyrıldı ancak paneli tutmaya devam etti. S102 kolonu uzun kenarında 17 numaralı çatlağın 10 cm altında yatay 62 numaralı çatlak meydana gelmiştir. Ayrıca oluşan 62 numaralı çatlak S102 kolonu kısa kenarında bulunan 55 numaralı çatlağa doğru dallanarak uzadı. S101-K101 birleşiminde ise S101 üzerinde diyagonal yukarı yönlü 63 numaralı çatlak oluşurken, S102 kolonunda temelden 3 cm yukarda yatay 64 numaralı çatlak meydana gelmiştir. S102 kolonu kısa kenarındaki 20 ve 26 numaralı çatlaklarda dallanarak uzadı. S101 kolonunda kısa kenarında var olan 14 numaralı çatlak düşey doğrultuda uzadı. S101 kolonu kısa kenarında ise var olan 11 numaralı çatlak aşağı yönde dallandı. D2 duvarında 3 tane diyagonal çatlak meydana geldi. P1-P2 birleşim bölgesinde 66 numaralı yeni çatlak oluştu. D1 ve D3 duvarında sıva kabarmaları devam etti. ***Bu çevrimde, numune çekme yönünde maksimum yatay yük taşıma kapasitesine ulaşmıştır.***
İLERİ ÇEVRİMDE DEPLASMAN KONTROLLÜ YÜKLEMEYE GEÇİLDİ			
+14	67.43	24.573	D1 ve D3 duvarında sıva döküldü ancak tuğla kırılmadı ve duvarın düzlem dışına çıkmadığı gözlendi. S101 kolonu kısa kenarında var olan 24 numaralı çatlak temele doğru dallanarak uzadı. S101 kolonunda 67 numaralı çatlak meydana geldi. S101 kısa kenarı üzerindeki 10, 11, 14 ve 23 numaralı çatlaklarda dallanmalar gözlendi. S202 kolonu kısa kenarı üzerinde K101 kirişinden 30 cm yukarda 68 numaralı yeni çatlak oluşurken, S202-K201 birleşiminde S202 kolonu kısa kenarrı üzerinde yatay 69 numaralı çatlak meydana gelmiştir. S101-K101arasındaki 63 numaralı çatlak uzadı. K101 kirişinin 10 cm üstünde S201 kolonu kısa kenarı üzerinde 72 numaralı çatlak meydana gelmiştir. S102 kolonu kısa kenarında temelden 38 ve 50 cm yukarda sırasıyla 70 ve 71 numaralı çatlaklar oluşmuştur.

GERİ ÇEVRİMDE DEPLASMAN KONTROLLÜ YÜKLEMEYE GEÇİLDİ			
-14	-59.41	-40.892	S101 kolonu kısa kenarındaki 10, 14 ve 23 numaralı çatlaklar genişledi. D1 ve D3 duvarındaki tuğlalarda kırılmalar oldu. P3 panelini K101 kirişine bağlayan 3 ankrajda panelden sıyrılarak açığa çıktı. S101 kolonu orta bölgesinde çatlaklar genişleyerek arttı ve mafsallaşma başlangıcı olduğu görüldü.
+15	59.45	41.893	D1 duvarında tuğlalar kırılarak dökülmeye başladı. S102 kolonu orta bölgesinde de mafsallaşma başladı. 3, 40 ve 61 numaralı çatlaklar dallandı. Kolonlarda beton dökülme eğilimine geçerek kabarma gösterdi. Bu panel tipinin Merkezi V panele göre performansının daha iyi olduğu görüldü.
-15	-34.88	-47.211	S102 kolonu kısa kenarı D3 duvarına yakın kısmında boydan boya kabuk beton dökülmesi görüldü. Donatının ortaya çıkması ile plastik mafsallaşmada artışlar meydana geldi. S102 kolonuna bağlı duvarda belirgin ayrışma gözüktü. D2 panelinde sıva dökülmeleri görülürken, D1 ve D3 duvarında tuğla ezilmelerine bağlı olarak tuğla kırılmaları gözlendi. P3 panelini K101 kirişine bağlayan ankrajlarda panel üzerine doğru yöneldi.
+16	43.68	47.27	Zemin duvarlarındaki tuğla dökülmeleri devam etti. S101 kolonunda da S102 kolonuna benzer kabuk beton dökülmesi kolon yüksekliğince oluştu. Zemin kat panellerinde aşırı bir deformasyon görülmedi. Mafsallaşma boyunun kolon boyunca olduğu gözlenmiştir. Bu da çerçevenin enerji tüketme kapasitesinin arttığı anlamına gelmektedir.
-16	-26.25	-51.885	Zemin kat kolonlarında mafsallaşmalar artmaya devam etti. Panellerin bu deplasman değerinde hala ayakta kalması panel başarısı olarak değerlendirildi.
+17	32.97	58.231	Özellikle zemin kat köşe duvarlarda kırılmalara bağlı olarak hasarlar artmaya devam ederken paneller birleşimlerinde ciddi hasar gözlenmemiştir. Mafsallaşmalar bir önceki çevrime göre artmaya devam etmiştir.
-17	-23.22	-63.594	Zemin kat kolonlarında kalıcı hasarlar artmaya devam ederken, zemin kat duvarında düzlem dışına çıkma eğilimi başladı. S101 kolonunda artan dönmelerden dolayı kısa kolon oluşumuna benzer durum ortaya çıktı.
+18	24.42	69.551	S102 kolonunda kabuk beton artışları iyice arttı. D1 duvarındaki tuğla dökülmeleri çok sayıda arttı. S102 kolonundaki mafsallaşma boyu kirişin 10 cm altından başladı.
-18	-26.31	-73.769	P3 panelini K101 kirişine bağlayan ankrajlar koptu ancak P3 panelini duvara bağlayan ankrajdan dolayı hala zemin kat panelleri beraber çalışmaya devam etti.
+19	19.84	78.164	Bu son 4 çevrimde; S101 ve S102 kolonundaki kabuk betonunda dökülmeler gözlemlenmiştir. S102 kolonunda, kolon-kiriş birleşim bölgelerinde hasar boyutu artmıştır. S101 ve S102 kolonlarında meydana gelen hasarlar ile betonarme çerçevede genel olarak güçlü kiriş-zayıf kolon davranışı gözlemlenmiştir. Numunede meydana gelen bu hasarlardan ve sistem stabilitesinin tehlikeye girmesinden dolayı çatlak numaralandırılması yapılmamıştır. Sadece oluşan hasarların çekilen fotoğraflarla tespiti yapılmıştır.
-19	-18.31	-76.680	
+20	16.52	91.272	
-20	-12.95	-90.518	

Merkezi Ters V şeklinde yapılan güçlendirme neticesinde ileri ve geri çevrimde taşıma gücü seviyesine yaklaşık benzer yük değerinde ulaşılmışken, referans numuneye göre ileri çevrimde 1.55, geri çevrimde ise 1.71 kat dayanım artışı görülmüştür. Zemin kat P3 panelini K101 kirişine bağlayan ankrajlarda akma anında ayrışmalar gözlenirken, deney sonuna doğru zemin kat panelleri yer yer ankrajlardan çıkmış olup, özellikle K101 kirişine bağlanan ankrajlarda tamamen ayrışma gözlenmiştir. Merkezi Ters V şeklinde yapılan güçlendirme etkisi ile üst katlarda da hasar meydana gelmiştir. Şekil 4.40'da C-TPÇ numunesinin akma anındaki ileri ve geri çevrimdeki genel görünüşü, Şekil 4.41'de ise akma anında ileri ve geri çevrimde duvarlarda birleşim bölgelerinde ortaya çıkan hasarların görünüşleri verilmiştir.



Şekil 4.40. C-TPÇ deney numunesinin akma anındaki görünüşü



Şekil 4.41. C-TPÇ deney numunesinin akma anında meydana gelen kalıcı hasar durumu

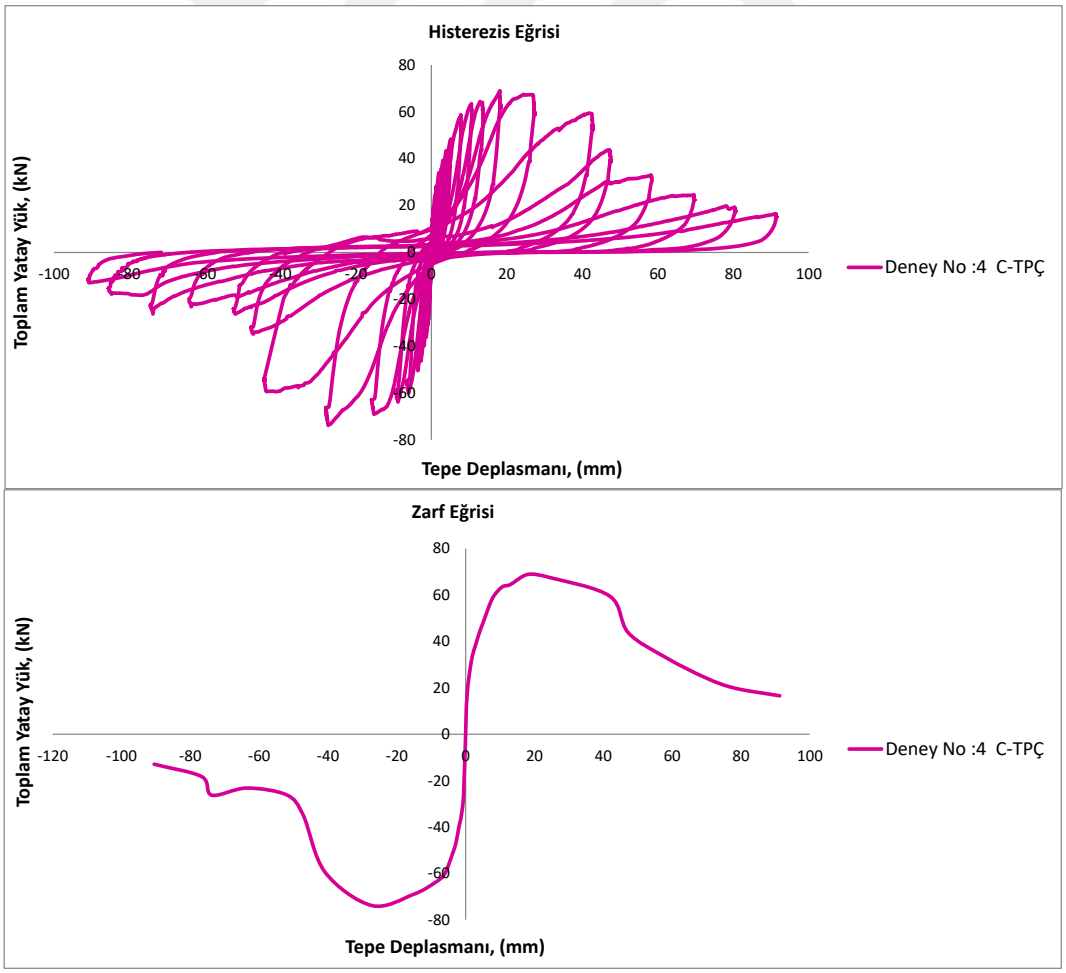
C-TPÇ deney numunesini itme durumunda 68.85 kN olan maksimum yatay yük değeri 20'inci çevrim sonunda 16.52 kN'a, çekme durumunda ise -73.85 kN olan maksimum yatay yük değeri -12.95 kN'a düşmüştür. Yatay yük taşıma kapasitesinde itme durumunda yaklaşık %76 oranında bir azalma meydana gelmişken çekme durumunda yaklaşık %82.5'lik bir azalma meydana gelmiştir. Şekil 4.42'de C-TPÇ numunenin akmadan sonra deney sonuna kadar oluşan hasarların genel görünüşü gösterilmiştir.



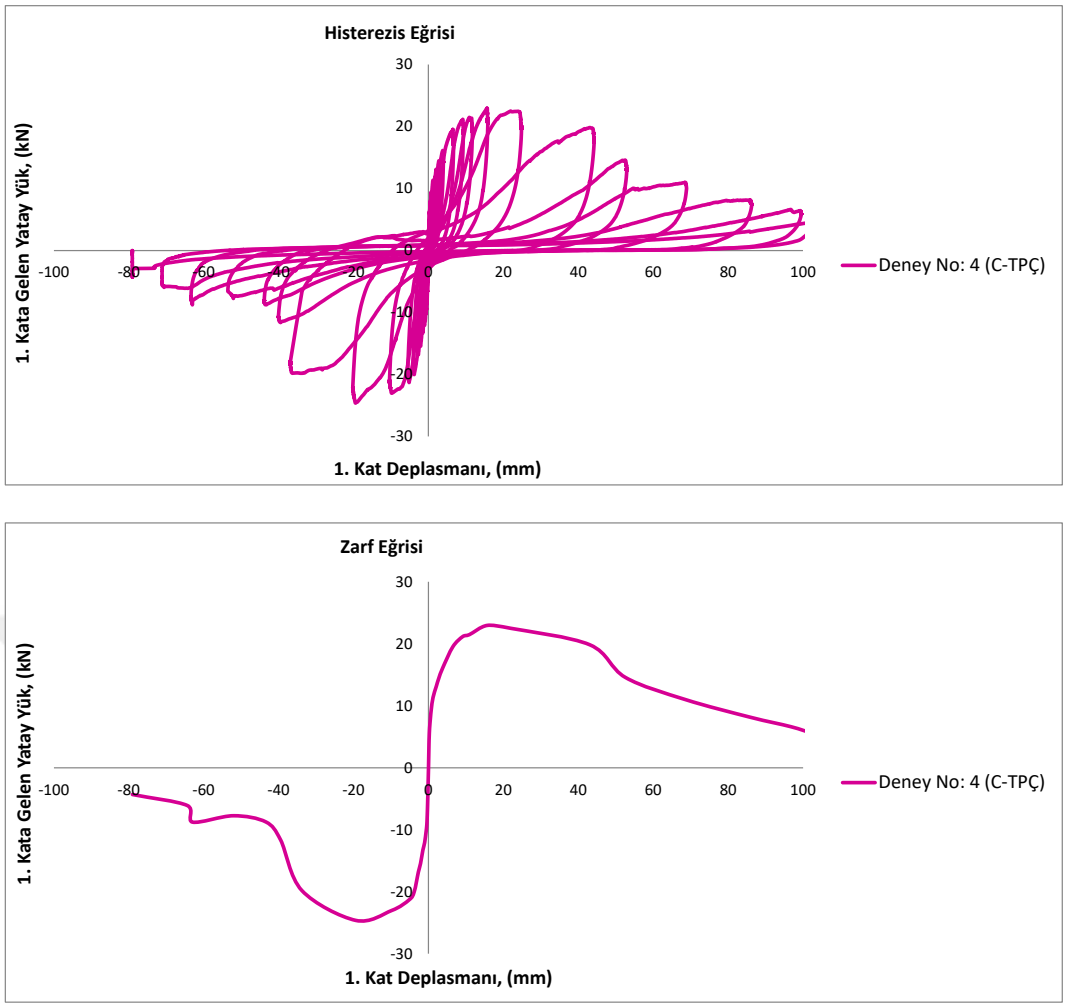
Şekil 4.42. C-TPÇ numunenin deney sonundaki kalıcı hasarlı görünüşü

C-TPÇ numunesi için deney sonucunda sırasıyla aşağıdaki grafikler elde edilmiştir.

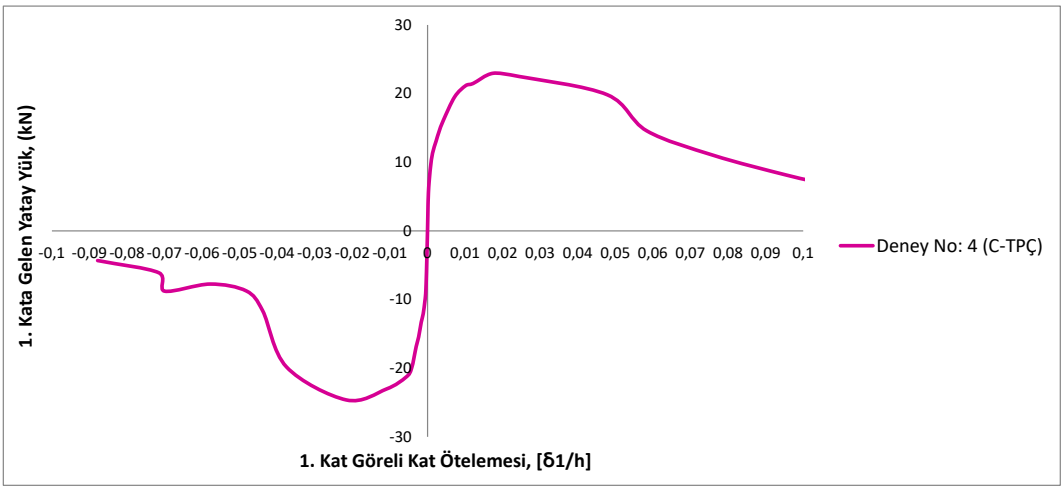
1. Toplam Yatay Yüke (Taban Kesme Kuvveti) karşılık – Tepe Deplasmanı grafiği (Histerezis Eğrisi) Şekil 4.43'de,
2. Toplam Yatay Yüke (Taban Kesme Kuvveti) karşılık – Tepe Deplasmanı grafiği (Zarf Eğrisi) Şekil 4.43'de,
3. 1. Kata ait Yatay Yüke karşılık – 1.Kat Deplasmanı grafiği (Histerezis Eğrisi) Şekil 4.44'de,
4. 1. Kata gelen Yatay Yüke karşılık – 1.Kat Deplasmanı grafiği (Zarf Eğrisi) Şekil 4.44'de,
5. 1. Kata gelen Yatay Yüke karşılık – 1. Kat Ötelenme grafiği Şekil 4.45'de,
6. Sistem rijitlik azalım grafiği Şekil 4.46'da,
7. Sistem süneklik değerlendirme grafiği Şekil 4.47'de
8. Kümülatif toplam tüketilen enerji - 2. kat ötelenme oranı grafiği ise Şekil 4.48'de gösterilmiştir.



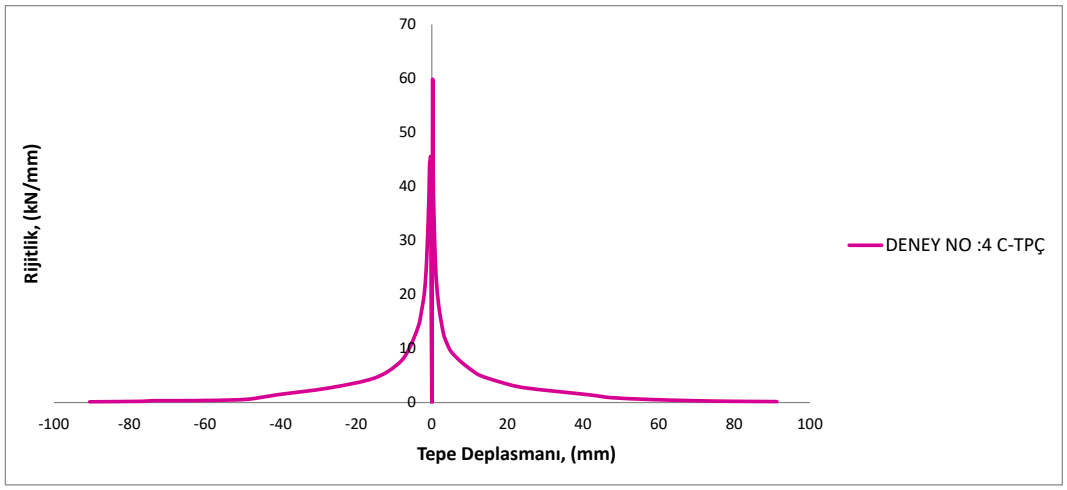
Şekil 4.43. C-TPÇ deney numunesi tepe deplasmanına bağlı histerezis ve zarf eğrisi



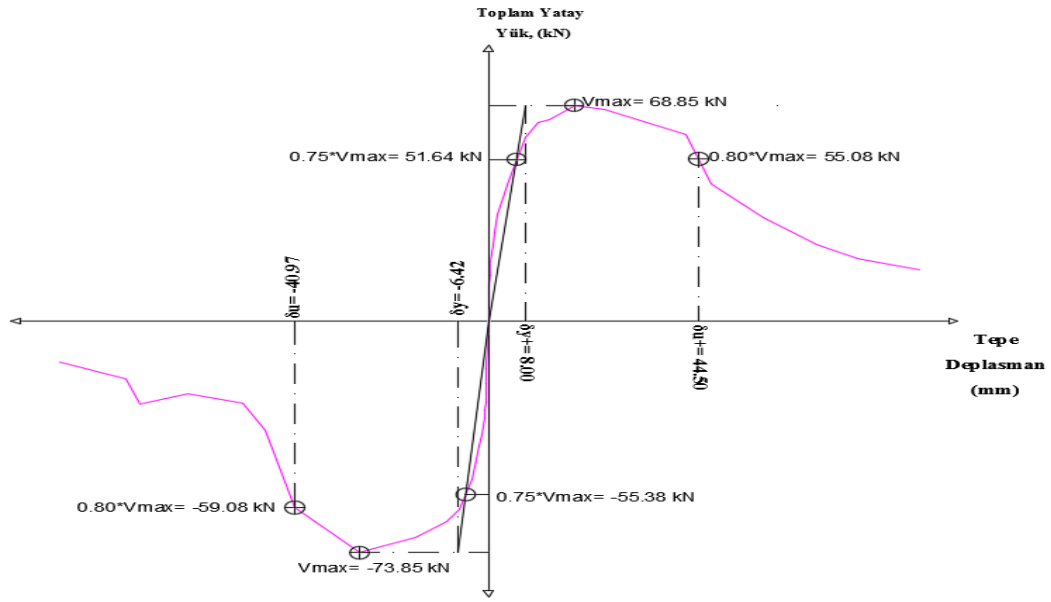
Şekil 4.44. C-TPÇ deney numunesinin 1.kat histerezis ve zarf eğrisi



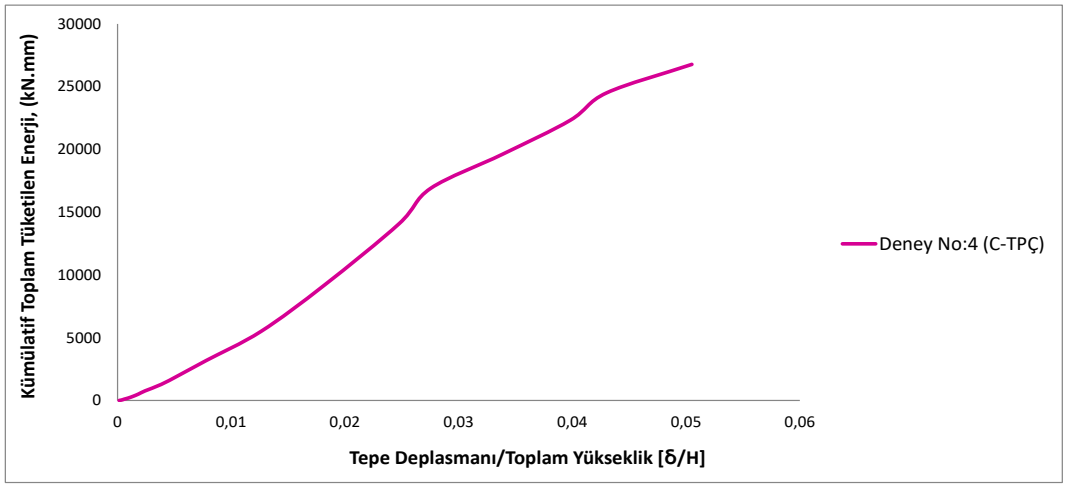
Şekil 4.45. B-TPÇ deney numunesine ait 1. Kat yatay yük – ötelenme oranı grafiği



Şekil 4.46. C-TPÇ deney numunesine ait rijitlik azalım grafiği



Şekil 4.47. C-TPÇ deney numunesine ait süneklik değerlendirilmesi grafiği



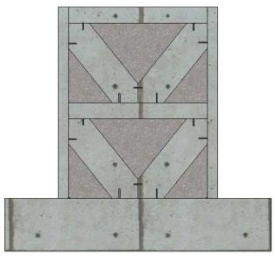
Şekil 4.48. C-TPÇ deney numunesine ait kümülatif toplam tüketilen enerji–Toplam Yükseklik oranı grafiği

4.5. 5 Nolu Deney (Dış Merkez V Panelle Güçlendirilmiş Numune, D-TPÇ)

İkinci aşama olarak planlanan deney numuneleri, ilk grupta olduğu gibi depremi benzeştiren tersinir-tekrarlanır yatay yükler altında test edilmiştir. Bu grupta yer alan D, E, F ve G tipi önüretimli çapraz beton/betonarme panellerle güçlendirilmiş betonarme çerçeve deneyleri panel genişliği 300 mm olacak şekilde 1/3 ölçekli olarak test edilmiştir. Her bir deney için, çevrimlere karşılık gelen yük ve deplasman değerlerinde oluşan çatlak ve hasarlar tablolar halinde verilmiş, deney sırasında oluşan hasarlar açıklanmış ve çerçeve davranışları fotoğraflarla desteklenmiştir. Ayrıca tüm deney numuneleri 1. kata 1 birim, 2. kata ise 2 birim yük gelecek şekilde yüklenmişlerdir. Yük kontrolü 1 adet load–cell (yük hücresi) kullanılarak toplam yükü (taban kesme kuvvetini) ölçmek için kullanılmıştır. Bu anlamda yapılan tüm deneylere benzer şekilde devam edilmiştir.

Dış Merkez V şeklinde üretilen D tipi panel (D-TP), genişliği 300 mm olan önüretimli panellerin ilkidir. Referans deney numunesine benzer geometrik özellikleri ve yapım kusurları düşünülerek üretilen numune tersinir-tekrarlanır yatay yük altında test edilmiştir. D-TPÇ ile ilgili parametrik özellikler Çizelge 4.9'da verilmiştir.

Çizelge 4. 9. 5 nolu D-TPÇ deney numunesinin parametrik özellikleri

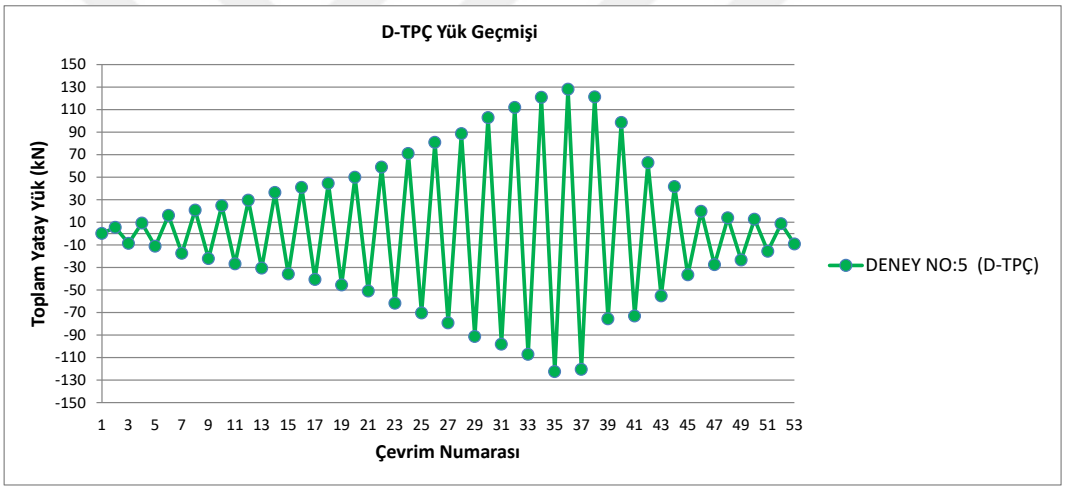
Deney Numunesi No	Çerçeve Türü	Ortalama Basınç Dayanımı (MPa)		Donatı Çubuklarının Akma ve Çekme Dayanımları (MPa)			
		Çerçeve	Önüretimli Panel	Ø4	Ø8	Ø10	Ø16
Deney-5 Boşluklu Tuğla Dolgu Duvarlı Çerçeve+ Dış Merkez V Panelle Güçlendirilmiş Numune		17.55	44.19	$\frac{294}{387}$	$\frac{407}{496}$	$\frac{418}{512}$	$\frac{427}{508}$

Dış Merkez V şeklinde çapraz panelle güçlendirilmiş D-TPÇ deney numunesinin deneye başlamadan önceki görünüşü Şekil 4.49'da gösterilmiştir. D-TPÇ elemanına uygulanan yükleme geçmişi ise yük ve deplasman geçmişi olarak Şekil 4.50'de ayrı ayrı verilmiştir.

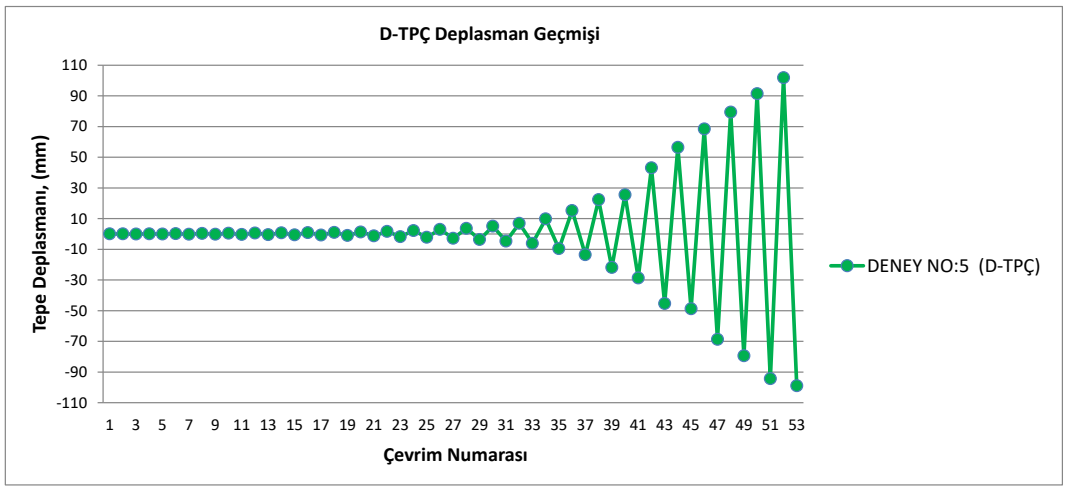
Yükleme programında, sistemin akması ile beraber yük kontrollüden deplasman kontrollüye geçilmiştir. Deneyde ileri ve geri çevrimlerde 5 ve 10 kN artışlarla yaklaşık 128 kN' a kadar gidilmiş ve sistemin akmasından sonra 90 mm deplasmana kadar 10 mm artışlarla göçme konumuna ulaşılmıştır.



Şekil 4.49. 5 nolu D-TPÇ deney numunesinin deneye başlamadan önceki durumu



(a) 5 nolu D-TPÇ deney numunesine ait yük geçmişi (Taban Kesme Kuvvetine Göre)



b) 5 nolu D-TPÇ deney numunesine ait deplasman geçmişi (tepe deplasmanına göre)

Şekil 4.50. D-TPÇ deney numunesinin yükleme geçmişi a) Yatay yüke göre b) Tepe deplasmanına göre

Deney aşamasında ilk çatlak, +5'inci ileri çevrimde +24.82 kN yükte +0.418 mm tepe deplasmanında S101 kolonu kısa kenarında temelden 15 cm yükseklikte meydana gelmiştir. Ayrıca S101-K101 birleşim bölgesinde ciddi olmayan sıva dökülmesi 2 numaralı çatlak olarak gözlemlenmiştir. Sistemde oluşan bu ilk çatlaklar elastik bölge sınırları içerisinde oluşan çatlaklardır. Şekil 4.51'de ilk çatlaklar gösterilmiştir.



Şekil 4.51. 5 nolu D-TPÇ deney numunesine ait oluşan ilk çatlaklar

D-TPÇ deney numunesinin akmaya başladığı yük değeri ileri çevrimde 128.02 kN olarak ölçülmüş ve bu yükteki tepe deplasmanı değeri ise 15.307 mm olarak elde edilmiştir. Bu yük değerinde zemin kat sağ üst panelde ezilme gözlendi. Geri çevrimde ise -120.00 kN değerinde akma başlarken, tepe deplasmanı -13.58 mm olarak ölçülmüştür. Deney aşamasında, her çevrimde gözlenen davranış Çizelge 4.10'da verilmiştir. Çizelgede her bir yükleme çevrimi (itme +1 ve çekme -1 nolu olmak üzere), yatay yük değeri, ölçülen deplasman ve gözlemlenen çatlaklarla birlikte verilmiştir.

Çizelge 4.10. 5 nolu D-TPÇ numuneli deneyin her çevriminde gözlenen davranışı

Çevrim No	Maksimum Yatay Yük (kN)	Maksimum Tepe Deplasmanı (mm)	Dış Merkez V Panelli Numunede Gözlemlenen Çatlak ve Hasar Oluşumu
+1(itme)	5.56	0.056	Deneyin ilk 6 çevriminde herhangi bir çatlak oluşumu gözlemlenmemiştir. Bu çevrimler akma sınırının altında elastik çevrimler olarak uygulanmış ve numunenin elastik özelliklerini görmek için değerlendirilmiştir.
-1(çekme)	-8.66	-0.111	
+2	9.27	0.119	
-2	-11.26	-0,111	
+3	16.17	0.244	
-3	-17.59	-0.224	
+4	20.84	0.392	
-4	-22.28	-0.257	
+5	24.82	0.418	S101 kolonunda kısa kenar doğrultusunda temelden 15 cm yukarıda yatay doğrultuda1 numaralı ilk çatlak meydana gelmiştir. Ayrıca S101-K101 birleşim bölgesinde ciddi olmayan sıva dökülmesi 2 numaralı çatlak olarak gözlemlenmiştir.
-5	-26.85	-0.363	S102 kolonunda uzun kenar doğrultusunda temelden 25 cm yukarıda 3 numaralı çatlak yatay olarak kolon ortasına kadar oluşmuştur.
+6	29.54	0.558	S102 kolonunda temelden 15 cm yukarıda uzun kenar doğrultusunda 4 numaralı çatlak meydana gelmiştir.
-6	-30.74	-0.453	Herhangi bir çatlak gözlenmemiştir.
+7	36.43	0.691	S101 kolonunda uzun kenar doğrultusunda temelden 35 cm yukarıda 5 numaralı çatlak yatay biçimde oluşmuştur.
-7	-35.93	-0.600	S102 kolonu uzun kenarında daha önce oluşan 3 ve 4 numaralı çatlaklar uzadı.
+8	40.86	0.859	S101 kolonunda daha önce oluşan 1 ve 5 numaralı çatlaklar uzadı.
-8	-40.68	-0.732	S102 kolonunda uzun kenar yönünde, temelden 46 cm yukarıda 6 numaralı çatlak, 55 cm yukarıda ise 7 numaralı çatlak kolon orta noktasına kadar meydana gelmiştir. Ayrıca Zemin kat sağ panel ile S102 arasında kalan duvar-temel birleşiminde 8 numaralı çatlak meydana gelmiştir. Benzer şekilde S102-duvar birleşiminde alttan duvar orta noktasına kadar 9 numaralı çatlak oluşmuştur.
+9	44.55	1.020	8 ve 9 numaralı çatlakların simetriğinde zemin katta benzer şekilde 10 ve 11 numaralı çatlak meydana gelmiştir.
-9	-45.56	-1.004	Daha önce oluşan 8 numaralı çatlak zemin kat sağ panel altında diğer panele değen kısma kadar uzamıştır. Ayrıca S102 kolonu uzun kenar doğrultusunda daha önceden oluşan 3, 4 ve 6 numaralı çatlaklar kolonun uzun kenar sonuna kadar uzamıştır.
+10	49.97	1.292	Daha önce oluşan 10 numaralı çatlak zemin kat panel altından diğer panele kadar uzamıştır. 11 numaralı çatlak ise zemin kat sol panelin altına doğru uzamıştır. 5 numaralı çatlak uzamıştır.
-10	-50.95	-1.235	S102 kolonuna bitişik duvarda kolon ortasına kadar oluşmuş olan 9 numaralı çatlak zemin kat sağ panel altına 5 cm mesafeye kadar uzama göstermiştir. Ayrıca zemin kat S102 kolonu uzun kenarında temel-kolon birleşiminde çekmeye maruz 12 numaralı çatlak uzun kenar doğrultusu boyunca oluşmuştur.
+11	58.86	1.607	S101'de ki 5 numaralı çatlak uzun kenarın sonuna kadar uzamıştır. Bununla beraber daha önce oluşan 1 numaralı çatlak S101 kolonu uzun kenar sonuna kadar dallanarak uzamıştır. Ayrıca S101 kolonu uzun kenar doğrultusu boyunca çekmeye maruz 13 numaralı yeni bir çatlak kolon

			orta noktasına kadar meydana gelmiştir.
-11	-61.82	-1.751	S102 kolonu uzun kenarında oluşmuş olan 7 numaralı çatlak uzun kenar sonuna kadar uzamıştır. 9 numaralı çatlak zemin kat sağ panelin altına kadar uzamış ve panel uzunluğu boyunca kılcal çatlaklar oluşmaya başlamıştır.
+12	70.95	2.232	S102 kolonu uzun kenarında oluşmuş olan 5 numaralı çatlakta dallanmalar oluştu. Ayrıca aynı kenarda temelden 55 cm yukarıda 14 numaralı yeni çatlak meydana gelmiştir. Dahası, zemin kat sağ ve sol panellerin ortasında kalan duvar-K101 kirişi birleşiminde duvar ortasına kadar 15 numaralı çatlak gözlenmiştir.
-12	-70.42	-2.211	Zemin kat temel-duvar birleşiminde var olan 8 numaralı çatlak genişledi. Ayrıca S102 kolonunda temelden 40 cm yukarıda uzun kenar doğrultusu boyunca 16 numaralı çatlak meydana gelmiştir. 9 numaralı çatlak genişledi. Daha sonra zemin kat sağ panel-düşey ankraj-temel birleşiminde 17 numaralı yeni bir çatlak meydana gelmiştir. Daha önce S102 kolonu uzun kenar doğrultusunda oluşan 6 numaralı çatlağın devamında kısa kenar boyunca 18 numaralı kılcal çatlak oluşmuştur. Benzer şekilde 16 numaralı çatlağın devamında kısa kenar yönünde 19 numaralı çatlak, 3 ve 4 numaralı çatlakların devamında kısa kenar doğrultusunda 20 ve 21 numaralı yeni çatlaklar meydana gelmiştir. Ayrıca S102 kolonu kısa kenarında zeminden 12 cm yukarıda yatay 5 cm uzunluğunda 22 numaralı yeni bir çatlak gözlenmiştir.
+13	80.98	2.968	S101 kolonunda temelden 43 cm yukarıda uzun kenar orta noktasına kadar 24 numaralı çatlak oluşurken, 24 numaralı çatlağın kısa kenar yönünde aynı hizada kısa kenar boyunca 25 numaralı çatlak meydana gelmiştir. Ayrıca daha önce S101 kolonu uzun kenar-temel birleşiminde oluşan 13 numaralı çatlak uzun kenar boyunca uzamıştır. Dahası, 14 numaralı çatlağın devamında S101 kolonu kısa kenarı boyunca 26 numaralı yeni bir çatlak oluşmuştur. Bununla beraber 25 numaralı çatlak iç duvara doğru uzama göstermiştir. 5 numaralı çatlağın devamında da 27 numaralı çatlak S101 kısa kenar boyunca uzamıştır. S101-K101 birleşim bölgesinde çapraz 28 numaralı yeni bir çatlak gözlenmiştir. Zemin kat sağ üst paneli K101 kirişine bağlayan düşey ankrajın sağ tarafından başlayarak çapraz 5 cm uzunluğunda 29 numaralı çatlak meydana gelirken, Aynı panelin S102-K101birleşimindeki panel ucunda 30 numaralı dikeye yakın çatlak oluşmuştur. Zemin kat sağ ve sol panel ortasında duvar ortasına kadar oluşan 15 numaralı çatlak sağ panele kadar uzamıştır.
-13	-79.29	-2.868	S102 kolonunda daha önce oluşan 6 numaralı çatlak dallandı. S102-K101 birleşim bölgesinde 31 numaralı kılcal kesme çatlağı gözlendi. Önceden oluşan 21 numaralı çatlak iç duvara doğru uzadı. Birinci kattaki S202 kolonunda uzun kenar yönünde K101 kirişinin üst kısmından 25 cm yukarıda 32 numaralı yeni bir çatlak meydana gelmiştir. Bunun yanı sıra zemin katta daha önce oluşan 8 ve 9 numaralı çatlaklar genişledi. 7 numaralı çatlağın devamında S102 kolonu kısa kenar doğrultusunda 33 numaralı yeni bir çatlak gözlenmiştir.
+14	88.69	3.668	S101 kolonu uzun kenarında var olan 24 numaralı çatlak uzamıştır. 1 numaralı çatlak aşağı yönde dallanmıştır. Ayrıca 1 numaralı çatlağın devamında S101 kolonu kısa kenarı boyunca 34 numaralı çatlak meydana gelmiştir. 10 ve 11 numaralı çatlaklarda genişlemiştir.

-14	-91.35	-3.677	S102 kolonunda kısa kenarda var olan 22 numaralı çatlak kısa kenar boyunca tamamen uzadı. Aynı kolonda kısa kenarda daha önce oluşmuş olan numaralı çatlak iç duvara doğru uzadı. Birinci kat sağ panel-S202 arasındaki duvar ile K101 birleşiminde 35numaralı çatlak gözlenmiştir. Zemin kat sol panel üstündeki duvardan panele doğru uzanan 36 numaralı çatlak ile bu çatlağın devamı panel ortasına kadar uzanan 37 numaralı çatlak oluşmuştur. Ayrıca S102 kolonunda kısa kenar yönünde temelden 70 cm yukarıda 38 numaralı kesme çatlağı oluşmuştur. Son olarak S102 kolonu kısa kenarında temelden 5 cm yukarıda 39 numaralı çatlak kolon ortasına kadar uzamıştır.
+15	102.87	5.034	Zemin kat sağ üst panelde oluşan 30 numaralı çatlak uzadı. S101 kolonu uzun kenarında temelden 64 cm yukarıda 40 numaralı çatlak ve bu çatlağın aynı kolon kısa kenarı boyunca da 41 numaralı çatlak meydana gelmiştir. Zemin kat sağ panelde 29 numaralı çatlağın hemen yanında 42 numaralı çatlak oluşmuştur. Daha sonra 26 numaralı çatlak kısa kenar sonuna kadar uzadı. S201-K101 arasında kalan duvarda, duvar-kiriş birleşiminde 43 numaralı çatlak meydana gelmiştir.
-15	-98.16	-4.704	Daha önce oluşan zemin kat üst paneldeki 37 numaralı çatlak uzadı. Duvarda oluşan 36 numaralı çatlak genişledi. 32 numaralı çatlak uzadı. Zemin kat sol panel üstünde oluşan 37 numaralı çatlağın 5 cm üzerinde 44, 5 cm altında da 45 numaralı çatlak panel ortasına kadar uzamıştır. Ayrıca 44 numaralı çatlağın 10 cm üstünde panelin duvara değen kısmında 46 numaralı çatlak oluşmuştur. 46 numaralı çatlağın 10 cm üstünde de 47 numaralı yeni çatlak çapraz şekilde zemin kat sol üst panel uç kısmına meydana gelmiştir. Ayrıca zemin kat sol üst panel S101 birleşimindeki duvarda panel boyunca kılcal çatlaklar gözlenmiştir. Birinci katta 35 numaralı çatlak sağ panel altından sol panel birleşimine kadar uzadı. Daha sonra sağ panel altından başlayarak diyagonal doğrultuda 48 numaralı çatlak oluşmuştur.
+16	111.79	6.877	S101 kolonu kısa kenarında temele yakın kısımda daha önce oluşan 34 numaralı çatlak dallandı ve iç duvara kadar uzadı. S101'e bitişik duvardaki 11 numaralı çatlak genişliği artmaya devam etti.S101'in uzun kenarında çekmeden dolayı 1 ve 24 numaralı çatlaklarda dallanmalar gözlendi. S201 kolonu uzun kenarında K101'in üst yüzünden 26 cm yukarıda 50 numaralı çatlak oluşmuşken, 10 cm yukarıda 51 numaralı çatlak meydana gelmiştir. Ayrıca S101-K101 birleşim bölgesindeki 28 numaralı çatlak uzadı. Zemin kat sağ panel üstünde panel duvar birleşiminden başlayıp sola doğru dallanarak yukarı yönde uzayan 53 numaralı çatlak oluşmuştur. Aynı panelde daha önce oluşan birleşim bölgesine yakın 30 ve 42 numaralı çatlaklar ezilme etkisi ile dallandı. Zemin kat sağ panelde panel ortasında panel genişliği boyunca 54 numaralı çatlak meydana gelmiştir. 54 numaralı çatlağın 10 cm üzerinde de yaklaşık panel ortasına kadar 55 numaralı yeni bir çatlak gözlenmiştir.
-16	-107.16	-6.114	Zemin kat S102 kolonuna bitişik duvarda daha önce oluşan 9 numaralı çatlak genişledi. S102 kolonunda uzun kenar yönünde temelden 24 cm yukarıda 56 numaralı yeni bir çatlak yaklaşık kolon ortasına doğru oluşmuştur. Birinci katta S202 kolonu duvar birleşiminde sağ panel altına kadar uzanan 57 numaralı çatlak gözlenmiştir. Daha önce zemin kat duvarında 36 ve devamında panelde oluşan 37 numaralı

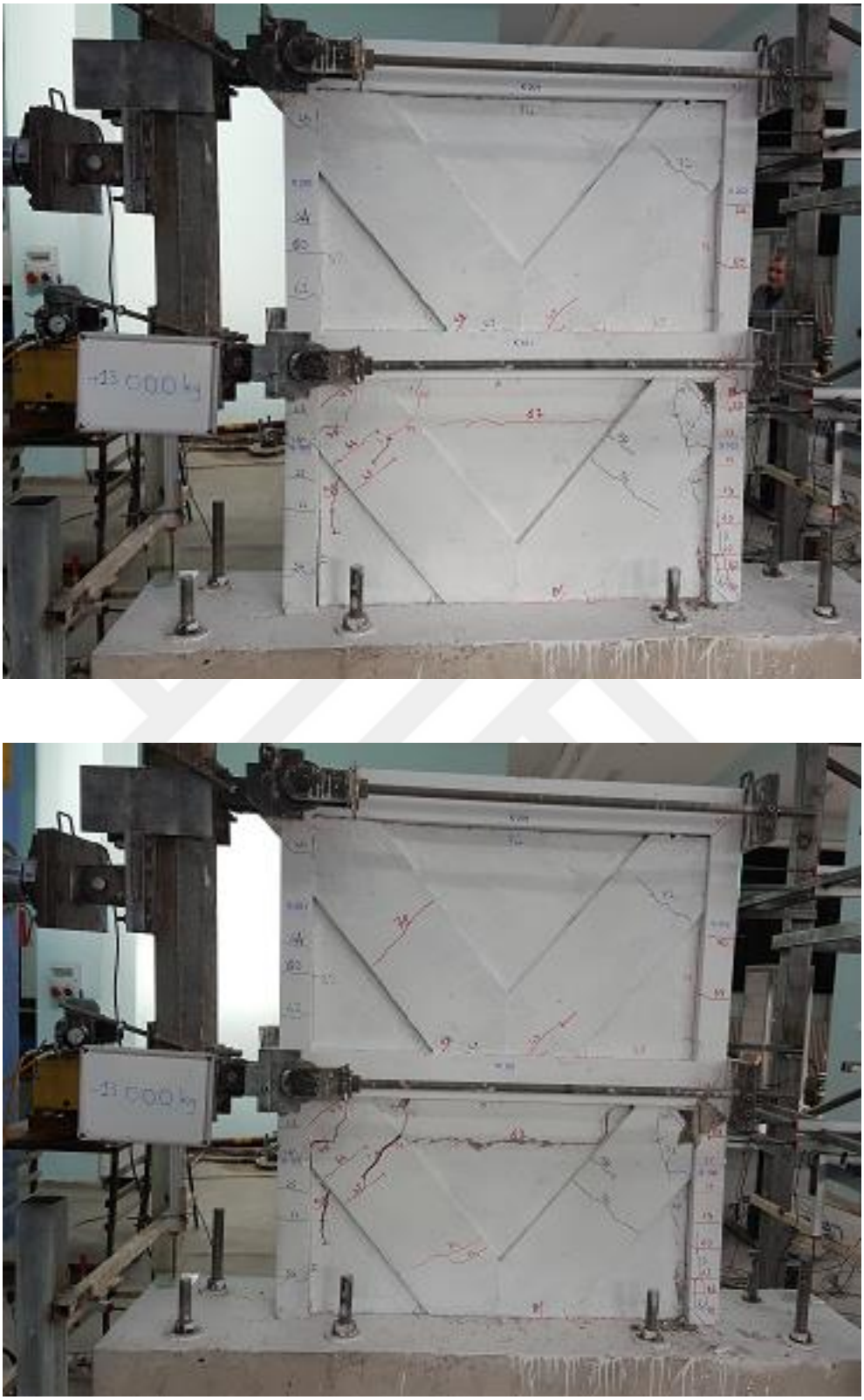
			çatlaklar genişledi. Ayrıca zemin kat sol panel altında S101'e doğru uzanan 58 numaralı çatlak meydana gelmiştir. S102 kolonu kısa kenar yönünde temelden 65 cm yukarıda kolon ortasına kadar 59 numaralı yeni bir çatlak meydana gelmiştir.
+17	120.88	9.819	Daha önce S201 kolonu uzun kenar doğrultusunda oluşan 50 numaralı çatlağın devamında kısa kenar doğrultusunda 60 numaralı yeni bir çatlak gözlenmiştir. Birinci kat sol paneli K101 kirişi ile birleştiren kısımda panel altı boyunca 61 numaralı çatlak oluşmuştur. Daha önce S201 kolonu uzun kenar doğrultusunda oluşan 51 numaralı çatlağın devamında kısa kenar doğrultusunda 62 numaralı yeni bir çatlak meydana gelmiştir. Ayrıca birinci katta S201 kolonunda kısa ve uzun kenarda K101 kirişi üstünden 33 cm yukarıda 63 ve 64 numaralı çatlaklar gözlenmiştir. S101-duvar birleşimindeki 11 numaralı çatlak genişliği artmaya devam etmiştir. S102 kolonuna değen zemin kat sağ panelin altından S102'ye doğru duvar üzerinde 65 numaralı çatlak meydana gelmiştir. S102 kolonu temel birleşiminden başlamak üzere kısa kenar doğrultusunda yukarı yönde dallanarak aşırı ezilme etkisi ile 66 numaralı çatlak gözlenmiştir.
-17	-122.49	-9.618	Zemin kat S101'e bitişik panelde oluşan 46 numaralı çatlak dallanarak uzadı. Bununla beraber 36 ve 37 numaralı çatlak genişliği artmaya devam etti. S102'ye bitişik duvardaki 9 numaralı çatlak genişliği artmaya devam etti. S102-K101 birleşiminde diyagonal 68 numaralı yeni çatlak oluştu. S102-K101 birleşiminde daha önce oluşan 31 ve 38 numaralı çatlaklar dallanarak kesiştiler. S202 kolonu kısa kenarında K101 kirişinin üstünden 23 cm yukarıda 69 numaralı, 42 cm yukarıda ise 70 numaralı çatlak yatay olarak meydana gelmiştir. Ayrıca S202-K102 bileşim bölgesinde diyagonal şekilde 42 numaralı çatlak oluşmuştur.
+18	128.02	15.307	**Numune 130 kN'a gidilmeye çalışılırken aktı.** S101 kolonuna bitişik duvardaki 11 numaralı çatlak belirgin şekilde ayrılmaya başladı. Zemin kat sağ panel köşe bölgesi ezildi. Birinci kat sağ panelin üst kısmında yaklaşık panel genişliğince 72 numaralı yeni çatlak oluşmuştur. Zemin kat S102 kolonunda kısa kenarda temelden başlamak üzere yukarı yönde ilerleyen yaklaşık 30 cm yüksekliğince 73 numaralı çatlak meydana gelmiştir. Ayrıca S102'ye bitişik duvarda sıva dökülmeleri başlamıştır. Daha önce zemin kat sağ panelde üst kısımda oluşan 53 numaralı çatlak genişledi. K201 kiriş-duvar birleşiminde iki panel arası boyunca 74 numaralı yeni çatlak meydana gelmiştir. Birinci katta S201 kolonunda kısa kenarda K101'in üst kısmından 63 cm yukarıda 75 numaralı çatlak yatay olarak oluşmuştur. ***Bu çevrimde, numune itme yönünde maksimum yatay yük taşıma kapasitesine ulaşmıştır.***
-18	-120.46	-13.580	**Numune 130 kN'a gidilmeye çalışılırken aktı.** Zemin kat sağ ve sol paneller ortasında kalan duvarda yatay olarak ciddi bir çatlama meydana geldi. Sol panelde daha önce oluşan 37 numaralı çatlak yaklaşık 2 cm genişliğe ulaştı. Sol panel altında oluşan 58 numaralı çatlak genişledi. Zemin kat sol paneli sağ panele birleştiren kısma yakın sol panelde panel genişliğince 76 numaralı çatlak, onun 5 cm altında 77 numaralı çatlak panel ortasına kadar oluşmuştur. S102 kolonu uzun kenarında temel birleşiminde var olan 12 numaralı çatlak genişliği arttı. S102-K101 birleşiminde kabuk beton dökülmesiyle boyuna donatı ve etriye ortaya çıktı. Plastik mafsallaşma başladı. Birinci kat sol panel

			ortasında panel genişliğince 78 numaralı çatlak gözlenmiştir. Birinci kat sağ panel alt kısmında daha önce oluşan 48 numaralı çatlak diyagonal olarak uzamaya devam etti. ***Bu çevrimde, numune çekme yönünde maksimum yatay yük taşıma kapasitesine ulaşmıştır.***
DEPLASMAN KONTROLLÜ YÜKLEMEYE GEÇİLDİ			
+19	121.18	22.36	S101'in kısa kenarında var olan 1 ve 13 numaralı çatlaklar dallandı. S101 kolonu uzun kenar temel birleşimindeki 13 numaralı çatlak genişledi. Birinci kat S201'de var olan 60, 62 ve 64 numaralı çatlaklar iç duvara doğru uzadı. Zemin kat sağ panel alt kısmında panel duvar birleşimini sağlayan ankrajıda kesecek şekilde panel genişliğince 79 numaralı çatlak meydana gelmiştir. S201 kolonuna bitişik duvarda var olan 52 numaralı çatlak panel altına kadar uzadı. Zemin kat sol panelde, üst kısımda paneli S101 kolonuna bağlayan ankrajdan başlayarak diyagonal biçimde 80 numaralı çatlak panel ile duvarı birbirine bağlamak üzere yerleştirilen ankraj boyunca gözlenmiştir. 11 numaralı çatlağın bulunduğu S101-duvar birleşiminde ayrılma gözlendi. Ayrıca S101 kolonunda kısa kenarda temelden 5 cm yukarıda 81 numaralı çatlak meydana gelmiştir. S101 kısa kenarında var olan 27 numaralı çatlak da dallandı.
-19	-75.60	-21.876	S102 kolonu üst kısmında donatıda eğilme gözlendi. Plastik mafsallaşma arttı ve kalıcı deformasyonlar arttı. Ayrıca kabuk betonun döküldüğü üst kısımların hemen altında kılcal çatlaklar çok sayıda oluştu. S101 kolonunda uzun kenar yönünde temelden yukarı yönlü çok sayıda kılcal çatlaklarda artış gözlendi. S102 kolonu uzun kenarında var olan 6 numaralı çatlak da dallanmalar gözlendi. 67 numaralı çatlağın oluştuğu yerde sıva dökülmeleri görüldü. Zemin kat sol panelde var olan 37 numaralı çatlak genişliği 1 cm kadar uzadı.
+20	98.56	25.254	Zemin kat sol panel üstünde beton dökülmeleri gözlendi. Zemin kat sağ üst panelin S102'ye değen kısmında panel beton dökülmeleri arttı ve panel içindeki hasır donatı açığa çıktı. Ayrıca S102 kolonu kısa kenarında temele yakın kısımdan itibaren yukarı yönlü kabuk betonda dökülmeler meydana geldi. Donatı gözüktü. Plastik mafsallaşma oluştu. Kalıcı deformasyonlar arttı. Duvardaki 65 numaralı çatlak genişledi. S101-K101 birleşiminde kesme oluşumu bariz gözlendi.
-20	-73.08	-28.676	Zemin kat sol panel-duvar birleşimini sağlayan ankraj tamamen ayrıldı. Sıva dökülmeleri iyice arttı. S101 kolonu uzun kenar doğrultusunda boyuna yönde ok sayıda kılcal çatlaklar arttı ve uzadı. S101-K101 birleşiminde donatılar ortaya çıktı. Kabuk beton döküldü. Plastik mafsallaşma bu kısımda başladı.
+21	62.87	43.028	Zemin kat sol panel artan basınç etkisiyle burkuldu ve duvar düzlemi dışına doğru bombe yaptı. S102'ye bağlı duvarda açılma belirginleşti. Kolonda eğilmeler arttı. Zemin kat duvarında sıva dökülmeleri arttı. S101-K101 birleşim bölgesindeki donatılar iyice belirginleşti ve plastik mafsallaşma artmaya devam etti. S102 kolonu temel kısmındaki donatılar eğilme etkisiyle burkulma görüntüsü oluşturdu. S102 kolonu uzun yönde temelden yukarıya doğru kılcal çatlak yoğunluğu artarak devam etti.
-21	-55.42	-45.31	S101 kolonu uzun yönde kolon yüksekliği boyunca yarılmalar ortaya çıktı. S101 kolonunda uzun kenar yönünde düşey yönde çatlaklar genişledi.

+22	41.63	56.425	Zemin kat sağ panel kolon kirişten birleşiminden tamamen ayrıldı. Zemin kat S102 kolonu temel birleşimdeki donatılarda burkulma ve plastik mafsallaşma tamamen belirginleşti. S102 kolon duvar birleşimi tamamen ayrıldı. S101 kolonunda kısa kenarda kolon ortasına kadar yukarıdan aşağıya doğru kabuk beton döküldü. Donatılar ortaya çıktı.
-22	-36.64	-48.794	Zemin kat sağ panelin üstü tamamen ayrıldı. Zemin kat duvarı parçalanmaya başladı. S102 kolonu kabuk betonu döküldü. Donatılar göründü.
+23	19.77	68.408	S101 kolonunda kabuk beton dökülmeleri arttı. Sıvası dökülen zemin kat duvarında kırılmalar arttı. Zemin kat duvarı düzleminden çıkmaya başladı.
-23	-27.64	-68.698	Zemin kat duvarı sol üst taraf ezildi ve döküldü. Zemin kat sol paneli iki parçaya ayrıldı. Zemin kat sol panel duvar birleşiminde belirgin bir ayrılma gözlendi. Plastik mafsallaşma artışları devam etti.
+24	13.99	79.405	Zemin kat paneli duvardan tamamen ayrılarak düştü. Zemin kat duvarı düzleminde çıktı. Duvarda dökülmeler arttı.
-24	-25.64	-73.347	Son 6 çevrimde; S101 ve S102 kolonlarında plastik mafsallaşmalar tamamlanmıştır. Meydana gelen hasarlar ile betonarme çerçevede genel olarak güçlü kiriş-zayıf kolon davranışı gözlemlenmiştir. Üst katta ciddi hasar oluşmazken zemin katta hasarlar artmaya devam etmiştir. Zemin katta oluşan hasarlar çekilen fotoğraflarla tespiti yapılmıştır.
+25	12.68	91.342	
-25	-23.41	-79.452	
+26	8.79	101.873	
-26	-15.69	-94.355	

Dış Merkez V şeklinde yapılan güçlendirme neticesinde ileri ve geri çevrimde taşıma gücü seviyesine farklı yük değerinde ulaşılmışken, referans numuneye göre ileri çevrimde 2.87, geri çevrimde ise 2.83 kat dayanım artışı görülmüştür. Özellikle akmanın gerçekleştiği geri çevrimde zemin kat panelleri arasında kalan duvarda enine şekilde yarılma ile beraber sol panel ortasına kadar yarılma ve sol panel altındaki duvarda yarılma gözlenmiştir. Dış merkez Merkez V şeklinde yapılan güçlendirme etkisi ile üst katlarda da hasar oluşması gözlenmiştir. Şekil 4.52'de D-TPÇ numunenin akma anındaki ileri ve geri çevrimdeki genel görünüşü, Şekil 4.53'de ise akma anında ileri ve geri çevrimde duvarlarda birleşim bölgelerinde ortaya çıkan hasarların görünüşleri verilmiştir.

D-TPÇ deney numunesini itme durumunda 128.02 kN olan maksimum yatay yük değeri 26. çevrim sonunda 8.79 kN'a, çekme durumunda ise -122.49 kN olan maksimum yatay yük değeri -15.69 kN'a düşmüştür. Yatay yük taşıma kapasitesinde itme durumunda yaklaşık %93.1 oranında bir azalma meydana gelmişken çekme durumunda yaklaşık %87.2'lik bir azalma meydana gelmiştir. Şekil 4.54' de D-TPÇ numunenin akmadan sonra deney sonuna kadar oluşan hasarların genel görünüşü gösterilmiştir.



Şekil 4.52. D-TPÇ deney numunesinin akma anındaki görünüşü



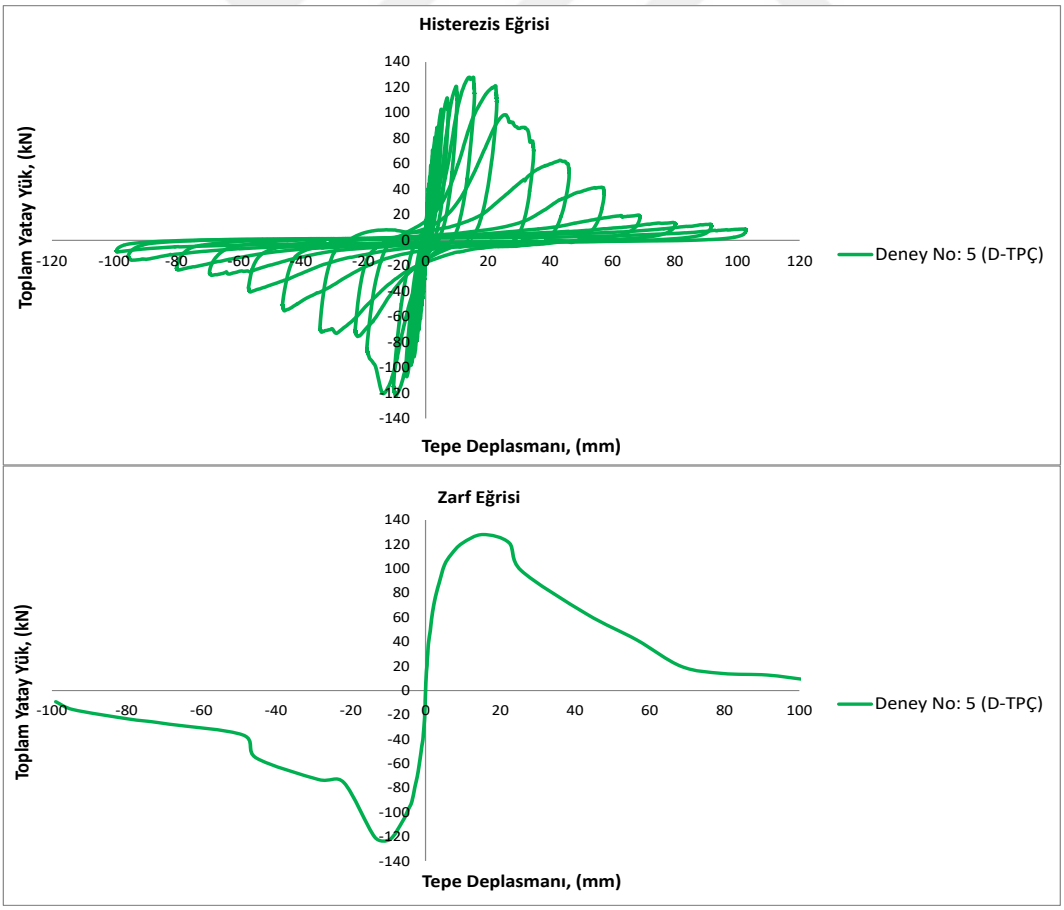
Şekil 4.53. D-TPÇ deney numunesinin akma anında meydana gelen kalıcı hasar durumu



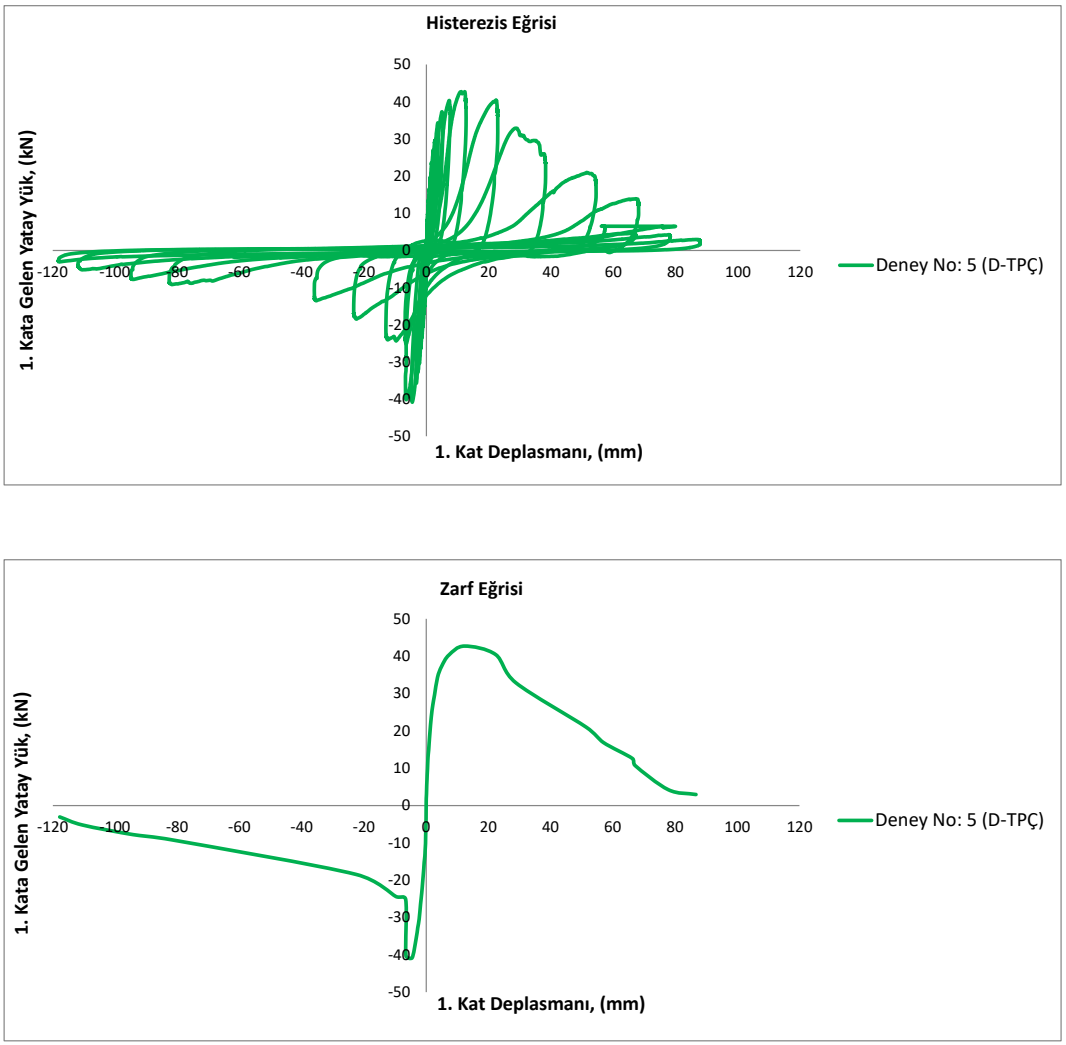
Şekil 4.54. D-TPÇ numunenin deney sonundaki kalıcı hasarlı görünüşü

D-TPÇ numune için deney sonucunda sırasıyla aşağıdaki grafikler elde edilmiştir.

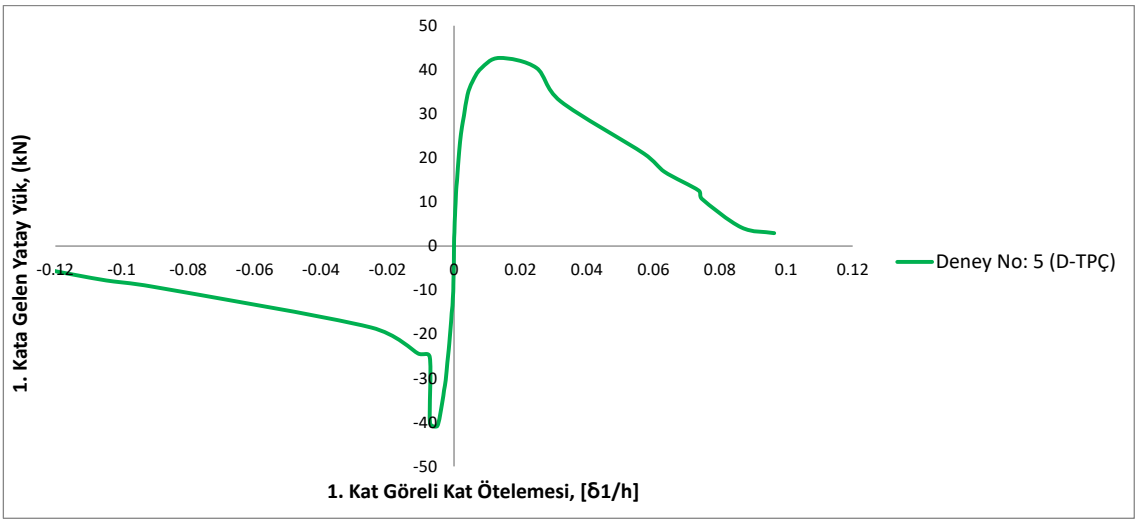
1. Toplam Yatay Yüke (Taban Kesme Kuvveti) karşılık – Tepe Deplasmanı grafiği (Histerezis Eğrisi) Şekil 4.55'de,
2. Toplam Yatay Yüke (Taban Kesme Kuvveti) karşılık – Tepe Deplasmanı grafiği (Zarf Eğrisi) Şekil 4.55'de,
3. 1. Kata ait Yatay Yüke karşılık – 1.Kat Deplasmanı grafiği (Histerezis Eğrisi) Şekil 4.56'da
4. 1. Kata gelen Yatay Yüke karşılık – 1.Kat Deplasmanı grafiği (Zarf Eğrisi) Şekil 4.56'da
5. 1. Kata gelen Yatay Yüke karşılık – 1. Kat Ötelenme grafiği Şekil 4.57'de
6. Sistem rijitlik azalım grafiği Şekil 4.58'de,
7. Sistem süneklik değerlendirme grafiği Şekil 4.59'da
8. Kümülatif toplam tüketilen enerji - 2. kat ötelenme oranı grafiği ise Şekil 4.60' da gösterilmiştir.



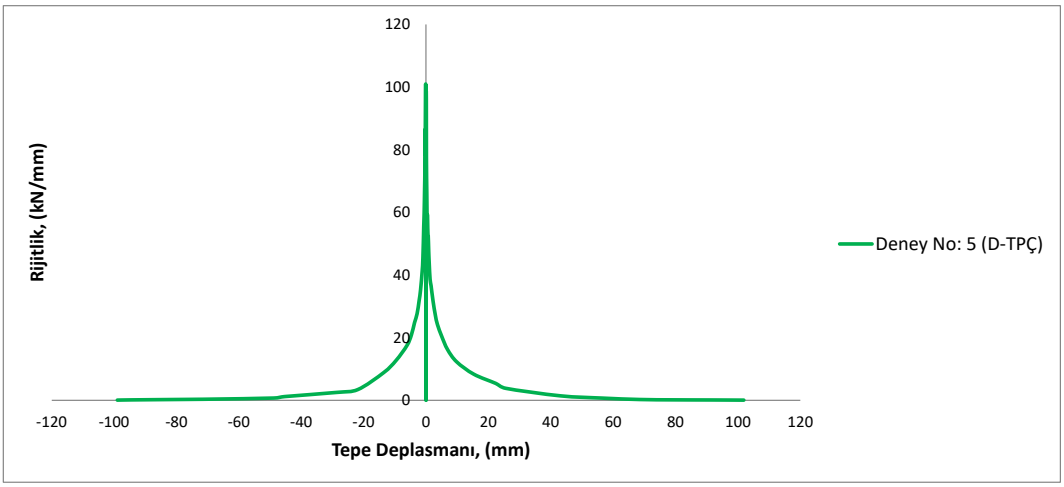
Şekil 4.55. D-TPÇ deney numunesi tepe deplasmanına bağlı histerezis ve zarf eğrisi



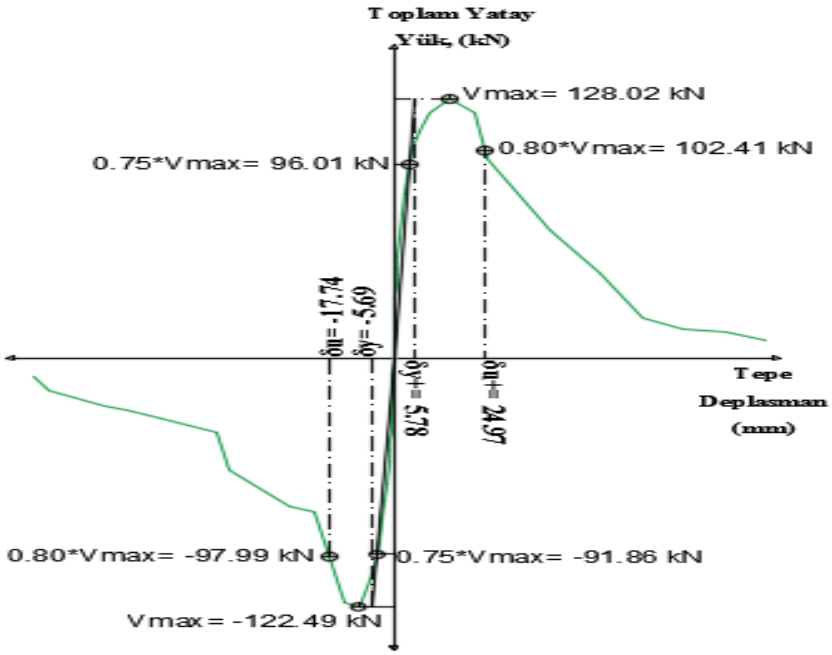
Şekil 4.56. D-TPÇ deney numunesinin 1.kat histerezis ve zarf eğrisi



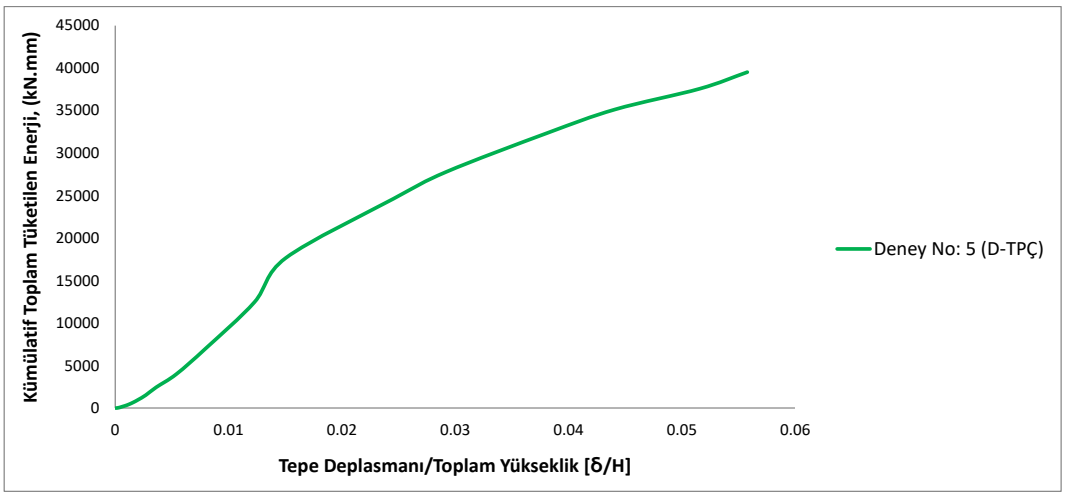
Şekil 4.57. D-TPÇ deney numunesine ait 1. Kat yatay yük – ötelenme oranı grafiği



Şekil 4.58. D-TPÇ deney numunesine ait rijitlik azalım grafiği



Şekil 4.59. D-TPÇ deney numunesine ait süneklik değerlendirilmesi grafiği



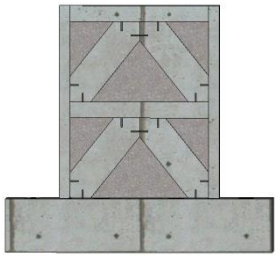
Şekil 4.60. D-TPÇ deney numunesine ait kümülatif toplam tüketilen enerji–Toplam Yükseklik oranı grafiği

Taban kesme kuvvetine karşılık gelen tepe deplasmanı histerezis eğrilerinin altında kalan alanın kümülatif olarak hesaplanması ile referans numunenin enerji tüketme kapasitesi hesaplanmış olup Şekil 4.60'da gösterilmiştir. Ayrıca deneyin her bir itme ve çekmeden oluşan çevrimlerinden elde edilen maksimum yatay yük değerlerine karşılık gelen yatay deplasman değerlerine oranlanması ile de her bir çevrimde elde edilen rijitlik değerleri Şekil 4.58'de ve süneklik değerlendirilmesi Şekil 4.59'da gösterildiği gibi elde edilmiştir.

4.6. 6 Nolu Deney (Dış Merkez Ters V Panelle Güçlendirilmiş Numune, E-TPÇ)

Dış Merkez Ters V şeklinde üretilen E tipi panel (E-TP), genişliği 300 mm olan önüretimli panellerin ikincisidir. Referans deney numunesine benzer geometrik özellikleri ve yapım kusurları düşünülerek üretilen numune tersinir-tekrarlanır yatay yük altında benzer şekilde test edilmiştir. E-TPÇ ile ilgili parametrik özellikler Çizelge 4.11'de verilmiştir.

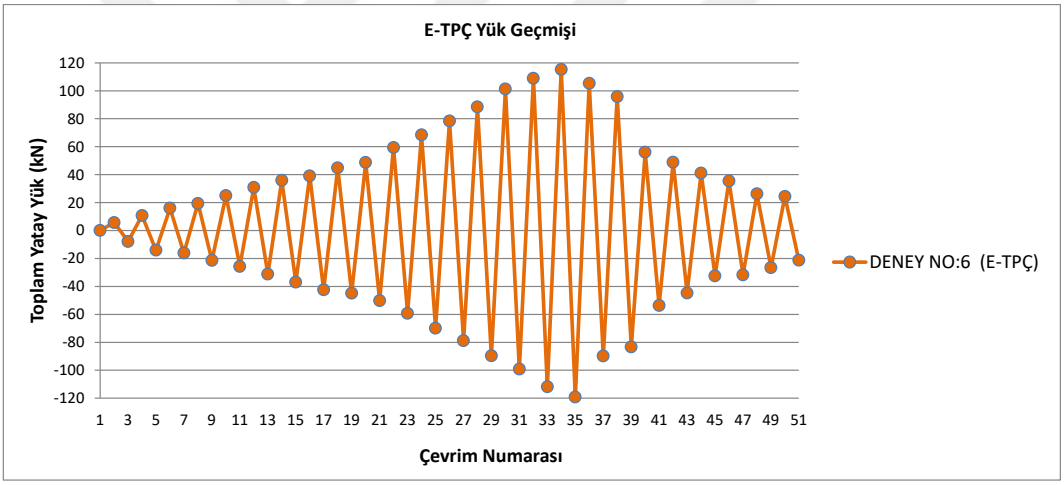
Çizelge 4. 11. 6 nolu E-TPÇ deney numunesinin parametrik özellikleri

Deney Numunesi No	Çerçeve Türü	Ortalama Basınç Dayanımı (MPa)		Donatı Çubuklarının Akma ve Çekme Dayanımları (MPa)			
		Çerçeve	Önüretimli Panel	Ø4	Ø8	Ø10	Ø16
Deney-6 Boşluklu Tuğla Dolgu Duvarlı Çerçeve + Dış Merkez Ters V Panelle Güçlendirilmiş Numune		17.55	44.20	$\frac{294}{387}$	$\frac{407}{496}$	$\frac{418}{512}$	$\frac{427}{508}$

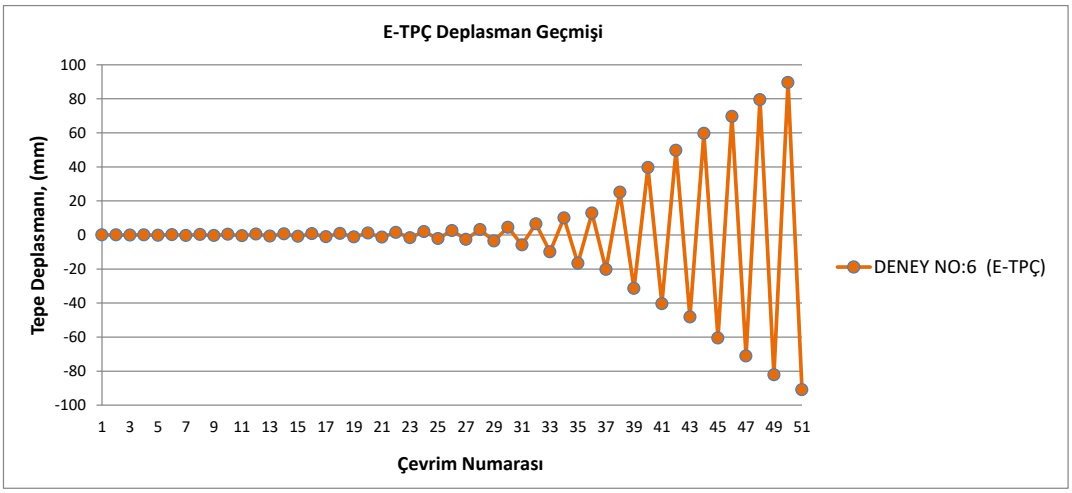
Dış Merkez Ters V şeklinde çapraz panelle güçlendirilmiş E-TPÇ deney numunesinin deneye başlamadan önceki görünüşü Şekil 4.61'de gösterilmiştir. E-TPÇ elemanına uygulanan yükleme geçmişi ise yük ve deplasman geçmişi olarak Şekil 4.62'de ayrı ayrı verilmiştir. Yükleme programında, sistemin akması ile beraber yük kontrollüden deplasman kontrollüye geçilmiştir. Deneyde ileri ve geri çevrimlerde 5 ve 10 kN artışlarla yaklaşık 119 kN'a kadar gidilmiş ve sistemin akmasından sonra 90 mm deplasmana kadar 10 mm artışlarla göçme konumuna ulaşılmıştır.



Şekil 4.61. 6 nolu E-TPÇ deney numunesinin deneye başlamadan önceki durumu



(a) 6 nolu E-TPÇ deney numunesine ait yük geçmişi (Taban Kesme Kuvvetine Göre)



b) 6 nolu E-TPÇ deney numunesine ait deplasman geçmişi (tepe deplasmanına göre)

Şekil 4.62. E-TPÇ deney numunesinin yükleme geçmişi a) Yatay yüke göre b) Tepe deplasmanına göre

Deney aşamasında ilk çatlak, -7'inci geri çevrimde -36.62 kN yükte -0.625 mm tepe deplasmanında S102 kolonu uzun kenarında temelden 12 cm yükseklikte kolon uzun kenar ortasına kadar meydana gelmiştir. Sistemde oluşan bu ilk çatlaklar elastik bölge sınırları içerisinde oluşan çatlaklardır. Şekil 4. 63'de ilk çatlaklar gösterilmiştir.



Şekil 4.63. 6 nolu E-TPÇ deney numunesine ait oluşan ilk çatlaklar

E-TPÇ deney numunesinin akmaya başladığı yük değeri ileri çevrimde 115.21 kN olarak ölçülmüş ve bu yükteki tepe deplasmanı değeri ise 10.01 mm olarak elde edilmiştir. Bu yük değerinde zemin kat S101 kolonuna bitişik sol üst duvarda ezilme ile beraber duvarda genişçe bir yarılma meydana gelmiştir. Geri çevrimde ise -119.18 kN değerinde akma gerçekleşirken, tepe deplasmanı -16.64 mm olarak ölçülmüştür. Deney aşamasında, her çevrimde gözlenen davranış Çizelge 4.12'de verilmiştir. Çizelgede her bir yükleme çevrimi (itme +1 ve çekme -1 nolu olmak üzere), yatay yük değeri, ölçülen deplasman ve gözlemlenen çatlaklarla birlikte verilmiştir.

Tablo 4.12. 6 nolu E-TPÇ numuneli deneyin her çevriminde gözlenen davranışı

Çevrim No	Maksimum Yatay Yük (kN)	Maksimum Tepe Deplasmanı (mm)	Dış Merkez Ters V Panelli Numunede Gözlemlenen Çatlak ve Hasar Oluşumu
+1(itme)	5.71	0.053	Deneyin ilk 7 çevriminde herhangi bir çatlak oluşumu gözlemlenmemiştir. Bu çevrimler akma sınırının altında elastik çevrimler olarak uygulanmış ve numunenin elastik özelliklerini görmek için değerlendirilmiştir.
-1(çekme)	-7.78	-0.102	
+2	10.72	0.102	
-2	-14.09	-0.229	
+3	15.99	0.192	
-3	-16.12	-0.272	
+4	19.37	0.297	
-4	-21.37	-0.347	
+5	25.04	0.399	
-5	-25.68	-0.446	
+6	30.81	0.517	
-6	-31.11	-0.613	
+7	35.87	0.65	
-7	-36.96	-0.793	S102 kolonunda uzun kenar yönünde temelden 12 cm yukarıda kenar ortasına kadar 1 numaralı ilk çatlak meydana gelmiştir.
+8	39.13	0.733	Bu çevrimde itme yönünde herhangi bir hasar gözlemlenmemiştir.
-8	-42.40	-0.998	S102 kolonunda uzun kenar yönünde temelden 23 cm yukarıda 2 numaralı çatlak ve 42 cm yukarıda 3 numaralı çatlak yatay olarak oluşmuştur. Daha önce oluşan1 numaralı çatlakta uzama gözlenmiştir.
+9	44.83	0.928	S101 kolonunda uzun kenar yönünde 14 cm yukarıda yatay olarak 4 numaralı çatlak ve S101-temel birleşiminde kolon uzun kenarında 5 numaralı çatlak ortaya çıkmıştır.
-9	-44.79	-1.110	S102 kolonunda daha önce oluşan 1 ve 3 numaralı çatlaklar kolon sonuna kadar uzadı. Benzer şekilde daha önce oluşan 2 numaralı çatlak kolon ortasına kadar uzadı. S102 kolonunda uzun kenar yönünde kolon-temel birleşiminde 6 numaralı yeni bir çatlak ayrıca meydana geldi.
+10	48.66	1.101	S101 kolonunda var olan 4 ve 5 numaralı çatlaklarda uzama meydana gelmiştir.
-10	-50.20	-1.293	S102 kolonu uzun kenarında var olan 3 numaralı çatlak dallanarak kolon ucuna kadar uzadı. 1 numaralı çatlak kolon ucuna kadar uzadı. 1 numaralı çatlağın devamında S102 kolonu kısa kenarında 7 numaralı yeni bir çatlak meydana gelmiştir.
+11	59.46	1.521	S101 kolonunda daha önce var olan 5 numaralı çatlak kolon uzun kenarı boyunca uzadı. Aynı şekilde var olan 4 numaralı çatlak aşağı yönde dallanarak uzadı. S101 kolonunda uzun kenar yönünde 23 cm yukarıda yeni 8 numaralı çatlak meydana gelmiştir.
-11	-59.19	-1.595	S102 kolonunda var olan 2 numaralı çatlak ve 6 numaralı çatlak uzadı. Zemin kat sağ panel altı- temel birleşiminde 9 numaralı yeni kılcal çatlak meydana geldi. Zemin kat sağ ve sol panel arasında kalan duvar-temel birleşiminde 10 numaralı yeni bir çatlak oluşmuştur. S102 kolonu uzun kenarında var olan 3 numaralı çatlağın devamında kısa kenar ortasına kadar uzanan 11 numaralı yeni bir çatlak gözlenmiştir. Benzer şekilde 2 numaralı çatlağın devamında kısa kenar boyunca 12 numaralı çatlak meydana gelmiştir.
+12	68.42	1.97	S101 kolonunda olan 4 numaralı çatlak kolon ucuna kadar uzadı. S101 kolonu uzun kenarında temelden 44 cm yukarıda kolon boyunca 13 numaralı yeni bir çatlak gözlendi. Zemin kat sol panel altı ile temel birleşiminde 14 numaralı yeni bir çatlak meydana gelmiştir.

-12	-69.86	-2.088	S102-K101 birleşim bölgesinde kolon kısa kenarı boyunca 15 numaralı yen bir çatlak gözlendi. S102 kolonunda var olan 11 numaralı çatlak içteki duvara doğru uzadı. S102 kolonunda uzun kenar yönünde temelden 33 cm yukarda 16 numaralı çatlak oluşmuştur. İç duvara doğru uzayan 11 numaralı çatlağın devamında duvarda 17 numaralı yeni bir çatlak meydana gelmiştir. 16 numaralı çatlağın devamında da S102 kolonu kısa kenar ortasına doğru uzanan 18 numaralı yeni bir çatlak meydana gelmiştir.
+13	78.40	2.560	S101 kolonunda var olan 13 numaralı çatlak kolon ucuna kadar uzadı ve devamında kısa kenar boyunca 19 numaralı yeni bir çatlak oluştu. S101 kolonundaki 8 numaralı çatlak kolon ortasını da geçecek şekilde uzadı. S101 kolonu uzun kenar yönünde temelden 34 cm yukarda 20, 53 cm yukarda 21 ve 63 cm yukarda 23 numaralı çatlak meydana gelmiştir. 21 numaralı çatlağın devamında S101 kolonu kısa kenarında 22 numaralı çatlak gözlenmiştir. 23 numaralı çatlağın devamında da 24 numaralı çatlak kısa kenar yönünde kolon ortasına kadar oluşmuştur.
-13	-78.82	-2.560	S102-K101 birleşiminde var olan 15 numaralı çatlak çatallandı. S102 kolonu kısa kenarında var olan 12 ve 18 numaralı çatlaklar kolon boyunca uzadı. 12 numaralı çatlak iç duvara kadar uzamasını sürdürdü. S102 kolonu kısa kenar yönünde temelden 57 cm yukarıda 25 numaralı çatlak meydana gelirken, K101 kirişi altında duvar birleşiminde 26 numaralı çatlak oluşmuştur. Ayrıca S101 kolonu duvar birleşiminde boyuna 27 numaralı çatlak meydana gelmiştir.
+14	88.46	3.221	S101 kolonunda var olan 20 ve 21 numaralı çatlaklar kolon ucuna kadar uzamıştır. 20 numaralı çatlağın devamında da kısa kenar boyunca 29 numaralı çatlak meydana gelmiştir. Ayrıca S101 kısa kenarında var olan 24 numaralı çatlak kolon sonuna kadar yatay olarak uzamıştır. 4 numaralı çatlağın devamında aynı kolon kısa kenar boyunca 30 numaralı yeni çatlak gözlenmiştir. S101 kolonu kısa kenarındaki 8 numaralı çatlak dallanarak kolon boyunca uzadı ve devamında kısa kenar boyunca 31 numaralı yeni çatlak oluşmuştur. S101-K101 birleşiminde kolon kısa kenarı boyunca 28 numaralı çatlak meydana gelmiştir. S101-temel birleşiminde var olan5 numaralı çatlağın devamında 32 numaralı yeni çatlak kolon kısa kenarı boyunca oluşmuştur. S102 kolonu duvar birleşiminde boyuna doğrultuda 33 numaralı çatlak gözlenmiştir.
-14	-89.63	-3.552	S102 kolonundaki 5 numaralı çatlak çatallandı. S102 kolonundaki 25 numaralı çatlağın 5 cm üstünde 34 numaralı yeni bir çatlak meydana gelmiştir. S102'de var olan 18 numaralı çatlak içi duvara doğru uzadı. Daha önceden var olan 2,3 ve 16 numaralı çatlak genişlikleri arttı. 6 numaralı çatlağın devamında 1 yönünde 35 numaralı yeni bir çatlak meydana gelmiştir. Zemin kat sağ panelde panel genişliğince 36 numaralı yeni bir çatlak oluştu. 36 numaralı çatlağın 13 cm altında panel ortasına kadar 37 numaralı yeni bir çatlak gözlenmiştir. Daha önce var olan 27 numaralı çatlak alt panele kadar uzamıştır. S202 kolonu uzun kenar yönünde kolon ortasına kadar 38 numaralı yeni bir çatlak meydana gelmiştir.
+15	101.28	4.498	S101 kolonu kısa kenarında var olan 19, 22 ve 29 numaralı çatlaklar iç duvara doğru uzamıştır. 30 numaralı çatlakta sol alt panele doğru uzamıştır. Zemin kat sol alt panelde panel ortasına doğru 39 numaralı yeni bir çatlak gözlenmiştir. K101 kirişinin 20 cm üzerinde S201 kolonu uzun kenarı boyunca 40 ve aynı hizada kısa kenarda 41 numaralı yeni çatlaklar meydana gelmiştir. S101'deki 28 numaralı çatlak iç duvara kadar uzadı.

			Zemin kat sol panel üst kısımda panel genişliğince 42 numaralı yeni bir çatlak meydana gelmiştir. Zemin kat sol panel-S101 birleşiminde panel yüksekliğince 43 numaralı yeni bir çatlak gözlenmiştir.
-15	-99.18	-5.844	Zemin kat K101 kirişi altından başlayarak S101 kolonuna doğru düşey yönlü 44 numaralı yeni çatlak duvarda meydana gelmiştir. 27 numaralı çatlak genişliği arttı. Zemin kat sağ alt panelde var olan 37 numaralı çatlak uzadı. 15 numara düşey yönde dallandı. 35 numaralı çatlakta yukarı yönde dallandı.
+16	108.92	6.572	S101 kolonu kısa kenarındaki 29 numaralı çatlak dallandı. 32 numaralı çatlak yukarı yönde dallandı. 19 numaralı çatlağın devamında duvarda 45 numaralı çatlak meydana geldi. 23 numaralı çatlağın 3 cm altında 46 numaralı çatlak oluştu ve 23 numaralı çatlak ile birleşti. S101 kolonundaki 20 numaralı çatlak ile S201 kolonunda 41 numaralı çatlak dallandı. S101-K101 birleşimindeki duvarda yatay 47 numaralı çatlak meydana geldi. K101 kirişi altında duvar birleşiminde 48 numaralı yeni çatlak gözlendi. S102'ye bitişik duvarda var olan 33 numaralı çatlak genişledi. Daha önce var olan 4, 8, 13 ve 21 numaralı çatlaklar genişledi. Birinci kat sol alt panel-K101 birleşiminde 49 numaralı yeni bir çatlak meydana gelmiştir.
-16	-111.87	-9.949	Zemin kat duvarında var olan 44 numaralı çatlak belirgin şekilde yarıldı. Birinci kat sağ ve sol panel arasındaki duvar-K101 kiriş birleşiminde 50 numaralı yeni bir çatlak meydana geldi. Birinci kat sağ panelin altını K101'e bağlayan ankrajdan başlayıp aynı paneli S202'ye bağlayan ankraja kadar uzayan 51 numaralı yeni bir çatlak oluştu. S102 kolonuna bitişik duvarda zemin kat sağ alt paneline doğru uzanan 52 numaralı çatlak meydana gelmiştir. 52 numaralı çatlağın devamında da sağ panel üzerinde panel genişliğince 53 numaralı çatlak gözlenmiştir. Ayrıca zemin kat sağ panelin üst kısmında panel genişliğince 54 numaralı çatlak oluşmuştur. Daha önceden var olan 2, 3 ve 16 numaralı çatlaklar dallandı. S102'de kısa kenarda olan 11 numaralı çatlağın 5 cm üstünde 55 numaralı çatlak ortaya çıkmıştır. K101-S102 birleşim bölgesinde boyun doğrultuda çok sayıda kılcal kesme çatlaklarının sayısı arttı. Zemin kat sağ panel üst kısmında oluşan 54 numaralı çatlağın devamında 56 numaralı çatlak duvar üzerinde meydana geldi. Birinci kat sol panel üst noktasından başlayarak ankraj boyunca 57 numaralı çatlak gözlenmiştir.
+17	115.21	10.016	**Numune 120 kN'a gidilmeye çalışılırken aktı.** Zemin kat sağ ve sol panel arasında oluşan 56 numaralı çatlak çatallandı. Zemin kat sağ alt paneli temele bağlayan ankraj boyunca 58 numaralı çatlak meydana geldi. Duvarda oluşan 44 numaralı çatlak dallanarak uzadı. S101-K101 birleşim bölgesindeki duvarda ezilme meydana geldi. 30 ve 46 numaralı çatlaklar yukarı yönde, 31 numaralı çatlak aşağı yönde dallandı. S101-K101 birleşim bölgesindeki kılcal çatlaklar arttı. S201 kolonu uzun kenar yönünde K101 kirişi üzerinden 40 cm yukarda 59 numaralı yeni çatlak ve bu çatlağın devamında kısa yönde 60 numaralı çatlak meydana gelmiştir. Ayrıca 59 numaralı çatlağın 20 cm üstünde uzun kenar yönünde yatay olarak 61 numaralı yeni çatlak ve devamında kısa kenarda numaralı çatlak gözlenmiştir. 62 numaralı çatlağında 14 cm üstünde S201-K201 birleşiminde 63 numaralı yeni çatlak oluşmuştur. Birinci kat sol panel alt noktasını K101'e bağlayan ankrajdan itibaren sol doğru 64 numaralı yeni bir çatlak meydana gelmiştir. Zemin kat sol panelin ortasında panel genişliğince 65 numaralı yeni çatlak, 65 numaralı çatlağın 10 cm üzerinde 66 ve 12 cm üzerinde 67 numaralı yeni çatlak oluşmuştur.

			Bu çevrimde, numune itme yönünde maksimum yatay yük taşıma kapasitesine ulaşmıştır.
-17	-119.18	-16.642	**Numune 120 kN'a gidilmeye çalışılırken aktı.** Zemin kat duvarında var olan 44 numaralı çatlak aşağı yönde yarılarak genişliği 1cm' ye ulaştı. Zemin kat sağ panel üst kısmında panel genişliğince çatlak genişliği 0.5 cm olan 68 numaralı yeni bir çatlak gözlendi. Zemin kat sağ panel üst kısımdaki 54 numaralı çatlak genişledi. S102-K101 birleşim bölgesindeki duvar ezildi ve zemin kat sağ panele doğru 70 numaralı çatlak meydana geldi. 70 numaralı çatlağın devamında zemin kat sağ panelde panel genişliğince 71 numaralı çatlak gözlendi. Duvardaki 56 numaralı çatlak civarındaki kılcal çatlaklar arttı. Zemin kat sol panelde üst kısmı K101'e bağlayan yerden sola doğru 72 numaralı çatlak oluştu. Zemin kat sol panelde panel doğrultusunda yukarıya doğru diyagonal 73 numaralı çatlak meydana geldi. S102-K101 birleşiminde daha önce oluşan 15 numaralı çatlağın civarında çok sayıda kılcal çatlak gözlendi. S102 kolonu uzun kenarında var olan 3 numaralı çatlak genişliği arttı ve dallandı. Birinci kat sağ alt panelde var olan 51 numaralı çatlak paneli S202'ye bağlayan ankraja doğru uzadı. S202 kolonunda kirişten 20 cm yukarda uzun kenar yönünde 74 numaralı çatlak aynı seviyede kısa kenarda ise 75 numaralı çatlak meydana gelmiştir. ***Bu çevrimde, numune çekme yönünde maksimum yatay yük taşıma kapasitesine ulaşmıştır.***
DEPLASMAN KONTROLLÜ YÜKLEMEYE GEÇİLDİ			
+18	105.32	12.894	S102 kolonuna bitişik duvarda sıva döküldü. Tuğlada çatlamalar oluştu. Zemin katta sağ ve sol paneli K101 kirişine bağlayan yerde daha önce oluşan 72 numaralı çatlağı kesecek şekilde 76 numaralı çatlak genişleyerek meydana gelmiştir. S101 kolonunun yanındaki duvarın üst kısmında dökülmeler oldu. S101 kolonu kısa kenarında üst kısımdan başlayarak yaklaşık 30 cm uzunluğunda yarılma meydana geldi. Donatı ve etriye kancaları gözüktü ayrıca etriye kancaları ayrılmaya başladı. S101'de belirgin kesme çatlakları oluştu.
-18	-89.75	-20.281	Zemin kat sağ panel üst kısımdaki 68 numaralı çatlak genişliği arttı. S102 kolonunda kısa kenar yönünde boyuna doğrultuda kılcal çatlaklar arttı. S102 kolonu uzun kenarındaki 3 numaralı çatlak genişliği arttı ve yukarı yönde çok sayıda kılcal çatlak meydana geldi. S101'e bitişik duvar-kolon arası genişlik arttı. Zemin kat sol panel üstü ile S101 arasında var olan 44 numaralı çatlak genişliği diğer taraf görülecek şekilde arttı. S101 kolonu kısa kenar yönünde kolon yüksekliği boyunca çok sayıda kılcal çatlak oluştu. S202 kolonu uzun kenarında var olan 38 numaralı çatlak kolon ucuna kadar uzadı ve devamında 77 numaralı yeni çatlak uzun kenar boyunca uzadı.
+19	95.87	25.180	S101 kolonu kısa kenar üst kısımda kabuk beton iyice döküldü ve mafsallaşma görüldü. Kolon donatıları ortaya çıktı. Zemin kat sol panelin yanındaki duvarda sıva dökülmeleri ve tuğla duvarda yarılmalar gözlendi. 76 numaralı çatlak genişliği belirgin genişleme gösterdi. Ankrajlar panelden sıyrılmaya başladı. S102 kolonu duvardan ayrılmaya başladı. S102 kolonu kısa kenarındaki 12 numaralı çatlak 7 numaralı çatlağa doğru dallandı.
-19	-83.23	-31.294	Zemin kattaki hasarlar iyice arttı. Kolonlardaki kesme çatlakları arttı. S102-K101 birleşimindeki duvarda dökülmeler iyice arttı ve karşı taraf görünür hale geldi. Zemin kat panellerini temele ve kolonlara bağlayan ankrajlar iyice zorlanmaya başladı. S101 kolonunda donatılar belirgin şekilde ortaya çıktı. Kabuk beton görevini tamamladı ve plastik mafsallaşmalar artmaya devam etti. S101' e bitişik duvardaki genişlik iyice artmaya devam etti.

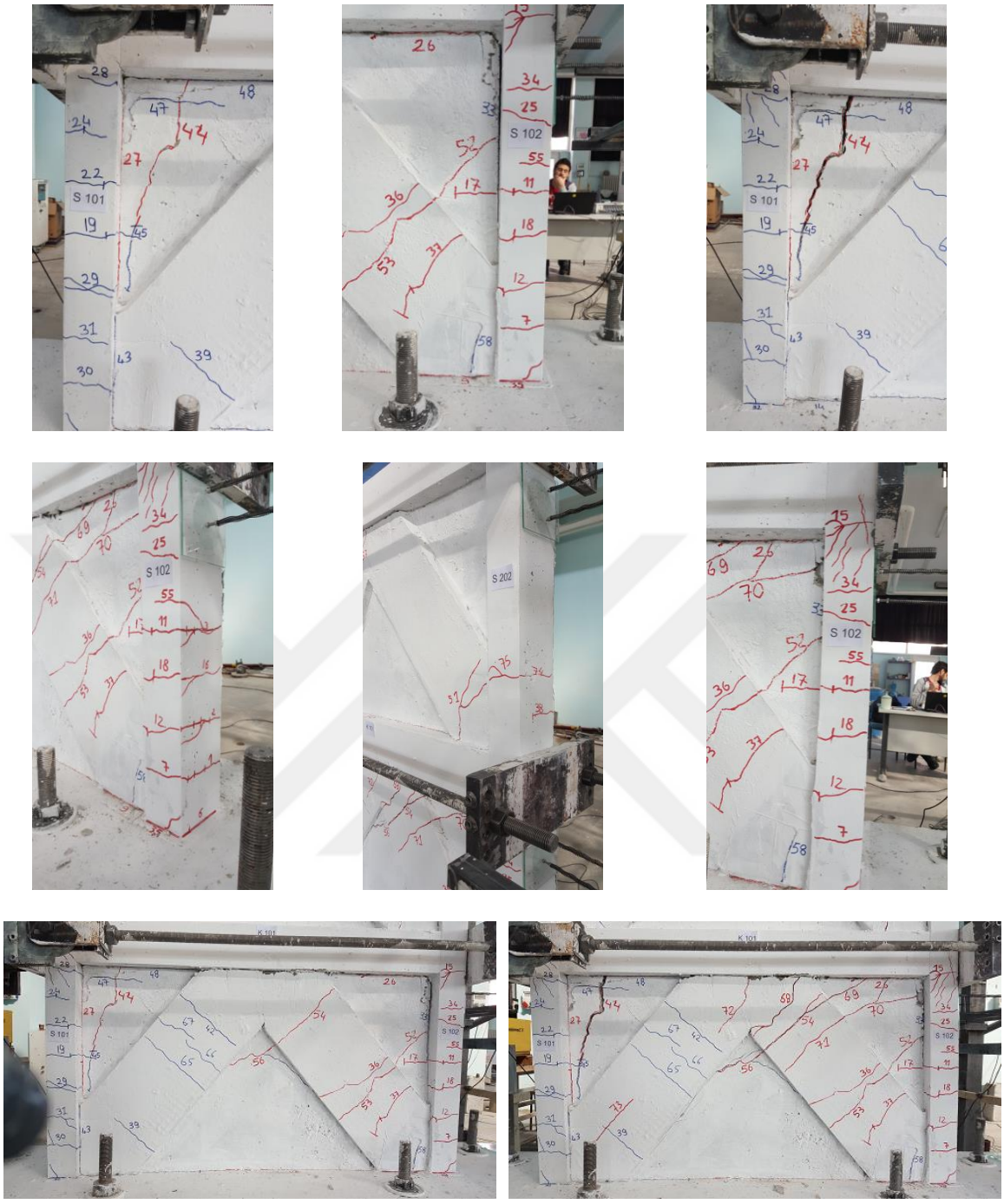
+20	56.04	39.603	Zemin kat S101 kolonu üst kısımlarında kesme ciddi seviyelere ulaştı. S101'de donatılar kuvvet etkisiyle belirgin şekilde eğildi. K101 kirişinin altında panelle birleşim noktasında beton döküldü. K101 kiriş donatısı göründü. Zemin kat sağ panelde beton dökülmeleri gözlendi. K101-S102 birleşimindeki duvarda dökülmeler oldu. Tuğlalar düştü. S102 kolonu donatıları belirgin şekilde ortaya çıktı. Kabuk beton işlevini tamamladı. Plastik mafsallaşmalar gözlendi. S102 kolonu kısa kenarı üzerinde kolon yüksekliği boyunca kılcal çatlak sayısı çok sayıda meydana geldi.
-20	-53.56	-40.321	S102 kolonu uzun kenar ve kısa kenarda üst kısımda beton iyice döküldü. Donatılarda eğilmeler gözlendi. Plastik mafsal artışları izlendi. Zemin kat sağ panelin alt kısmını temele ve kolona bağlayan ankrajlarda yarılmalar başladı. S101'de kısa kenarda alt kısımlara doğru kabuk betonda dökülmeler devam etti. Birinci katta gözlenebilir bir çatlak oluşmadı.
+21	48.85	49.689	Zemin kat sağ üst köşe bölgedeki tuğla tamamen döküldü. Zemin kat panellerini K101 kirişine bağlayan ankrajlarda kopma meydana geldi. S102 kolonunda yükseklik boyunca kabuk betonda dökülmeler devam etti ve plastik mafsallar altta ve üstte artmaya devam etti. S101 kolonunda 90^0 bükülü olan etriye kancalarının ayrılmaya başladığı gözlendi. S101-K101 birleşiminde kolon donatılarındaki eğilme belirginleşti.
-21	-44.70	-48.219	Zemin kat duvarı K101 kirişine değdiği noktadan düzlem dışına çıkmaya başladı. Zemin kat sağ ve sol üst duvarı dökülmeye devam etti. S102 kolonundaki donatılardaki plastik mafsallaşmalar artmaya devam etti. Zemin kat sağ panel betonu dökülmeye başladı ve içindeki Ø2 hasır donatı gözüktü. Kalıcı hasarlar oluşmaya devam etti.
+22	41.04	59.682	S102 kolon donatıları kolon yüksekliği boyunca ortaya çıktı. Zemin kat panelleri yük aktarmaya devam ediyor. Zemin kat panel duvar birleşimi üst kısımlarda ayrılmaya başladı. Etriye kancalarında açılmalar devam etti. Zemin kat kolonlarında üstteki mafsallaşmalar alta göre daha hızlı gerçekleştiği gözlendi.
-22	-32.43	-60.586	Zemin kat kolonlarında göbek beton parçalanmaya devam etti. S102 kolonu orta bölgesinde ciddi kesme gözlendi. Donatılar akmaya devam etti.
+23	35.43	69.611	Numunede kalıcı hasarlar artmaya devam etti. Paneller hala yük aktarmaya devam ettiği ve plastik mafsallaşmalarında artmaya devam ettiği gözlendi.
-23	-31.71	-71.041	Son 6 çevrimde; S101 ve S102 kolonlarında plastik mafsallaşmalar tamamlanmıştır. Numunede meydana gelen hasarlar stabilite problemine yol açtığı için numaralandırma yapılmamıştır. Üst katta ciddi hasar oluşmazken zemin katta hasarlar artmaya devam etmiştir. Zemin katta oluşan hasarlar çekilen fotoğraflarla tespiti yapılmıştır.
+24	26.22	79.542	
-24	-26.52	-82.102	
+25	24.40	89.539	
-25	-21.27	-90.906	

Dış Merkez Ters V şeklinde yapılan güçlendirme neticesinde ileri ve geri çevrimde taşıma gücü seviyesine yaklaşık benzer yük değerinde ulaşılmışken, referans numuneye göre ileri çevrimde 2.59, geri çevrimde ise 2.76 kat dayanım artışı görülmüştür. Özellikle akmanın gerçekleştiği geri çevrimde zemin kat sol paneli ile S101 kolonu arasında kalan duvarda K101 kirişi altından başlayarak düşey şekilde yarılma ile beraber sağ panelin K101 kirişine bağlanan kısmında çatlamalar

gözlenmiştir. Dış merkez ters V şeklinde yapılan güçlendirme etkisi ile üst katlarda da hasar oluşması gözlenmiştir. Şekil 4.64'de E-TPÇ numunenin akma anındaki ileri ve geri çevrimdeki genel görünüşü, Şekil 4.65'de ise akma anında ileri ve geri çevrimde duvarlarda birleşim bölgelerinde ortaya çıkan hasarların görünüşleri verilmiştir.



Şekil 4.64. E-TPÇ deney numunesinin akma anındaki görünüş



Şekil 4.65. E-TPÇ deney numunesinin akma anında meydana gelen kalıcı hasar durumu

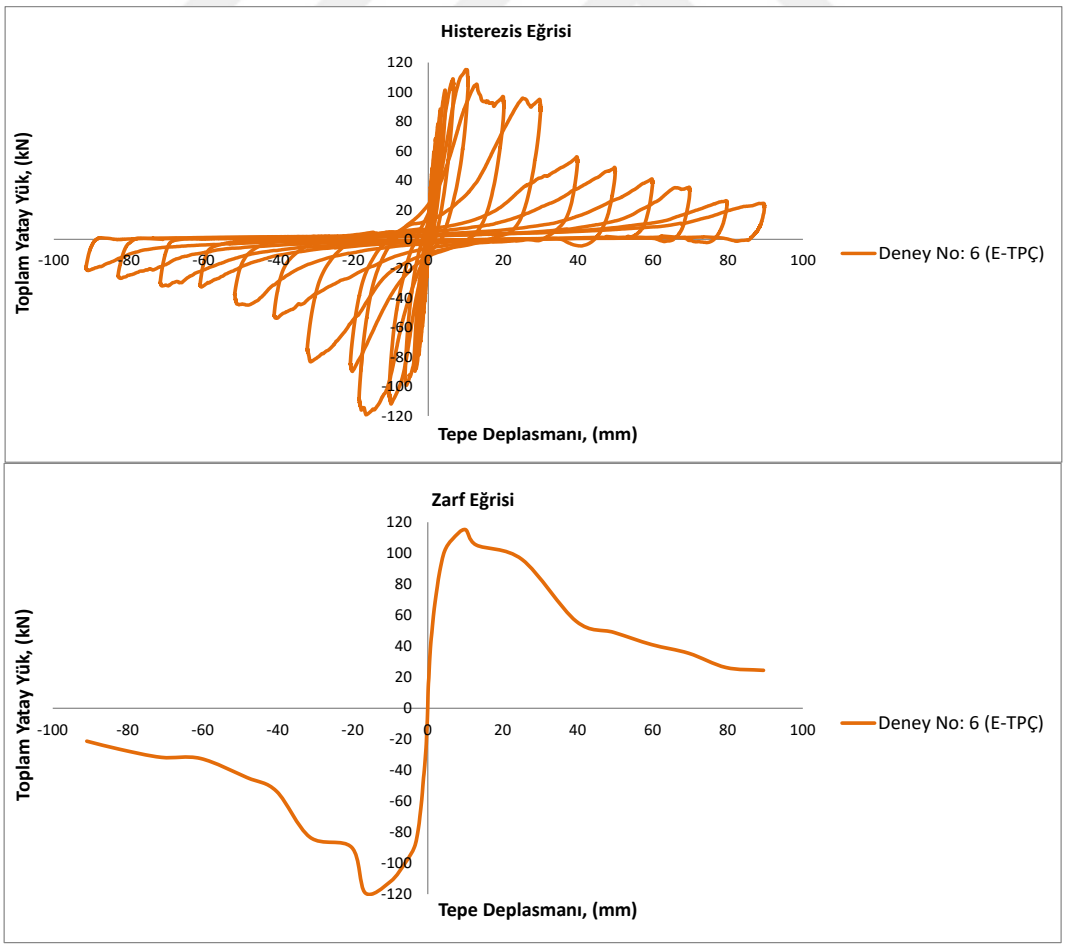
E-TPÇ deney numunesinin itme durumunda 115.21 kN olan maksimum yatay yük değeri 25. çevrim sonunda 24.40 kN'a, çekme durumunda ise -119.18 kN olan maksimum yatay yük değeri -21.27 kN'a düşmüştür. Yatay yük taşıma kapasitesinde itme durumunda yaklaşık %78.8 oranında bir azalma meydana gelmişken çekme durumunda yaklaşık %82'lik bir azalma meydana gelmiştir. Şekil 4.66'da E-TPÇ numunenin akmadan sonra deney sonuna kadar oluşan hasarların genel görünüşü gösterilmiştir.



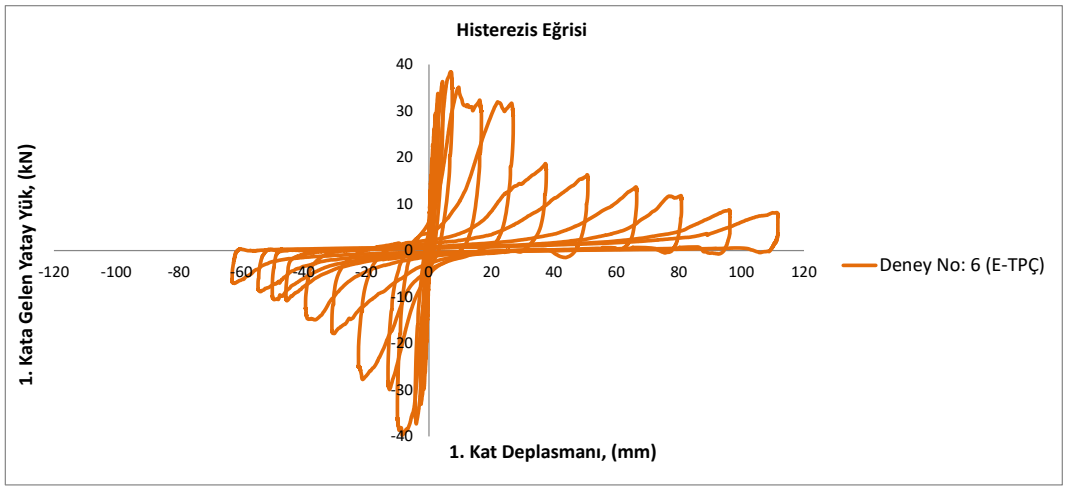
Şekil 4.66. E-TPÇ numunenin deney sonundaki kalıcı hasarlı görünüşü

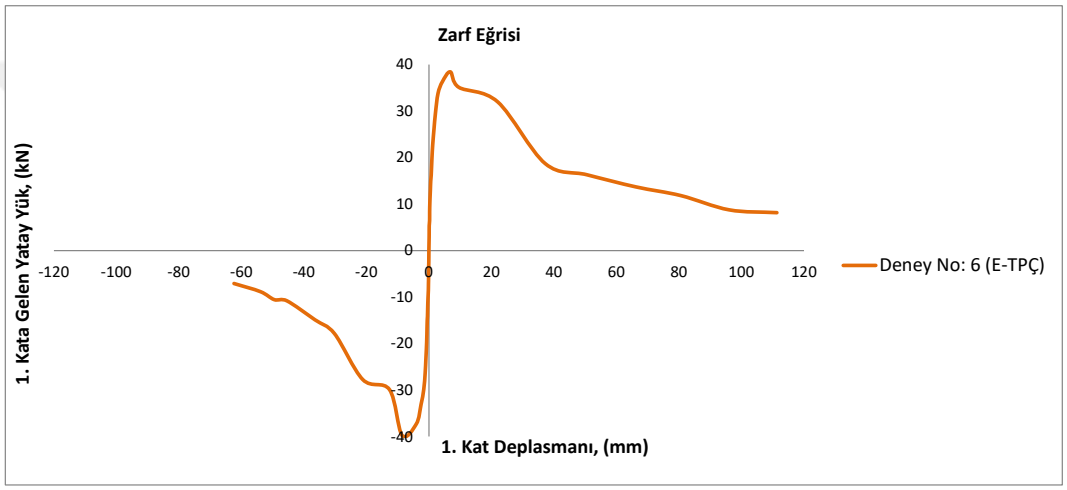
E-TPÇ numune için deney sonucunda sırasıyla aşağıdaki grafikler elde edilmiştir.

1. Toplam Yatay Yüke (Taban Kesme Kuvveti) karşılık – Tepe Deplasmanı grafiği (Histerezis Eğrisi) Şekil 4.67'de
2. Toplam Yatay Yüke (Taban Kesme Kuvveti) karşılık – Tepe Deplasmanı grafiği (Zarf Eğrisi) Şekil 4.67'de
3. 1. Kata ait Yatay Yüke karşılık – 1.Kat Deplasmanı grafiği (Histerezis Eğrisi) Şekil 4.68'da
4. 1. Kata gelen Yatay Yüke karşılık – 1.Kat Deplasmanı grafiği (Zarf Eğrisi) Şekil 4.68'da
5. 1. Kata gelen Yatay Yüke karşılık – 1. Kat Ötelenme grafiği Şekil 4.69'da
6. Sistem rijitlik azalım grafiği Şekil 4.70'de,
7. Sistem süneklik değerlendirme grafiği Şekil 4.71'de
8. Kümülatif toplam tüketilen enerji - 2. kat ötelenme oranı grafiği ise Şekil 4.72' de gösterilmiştir.

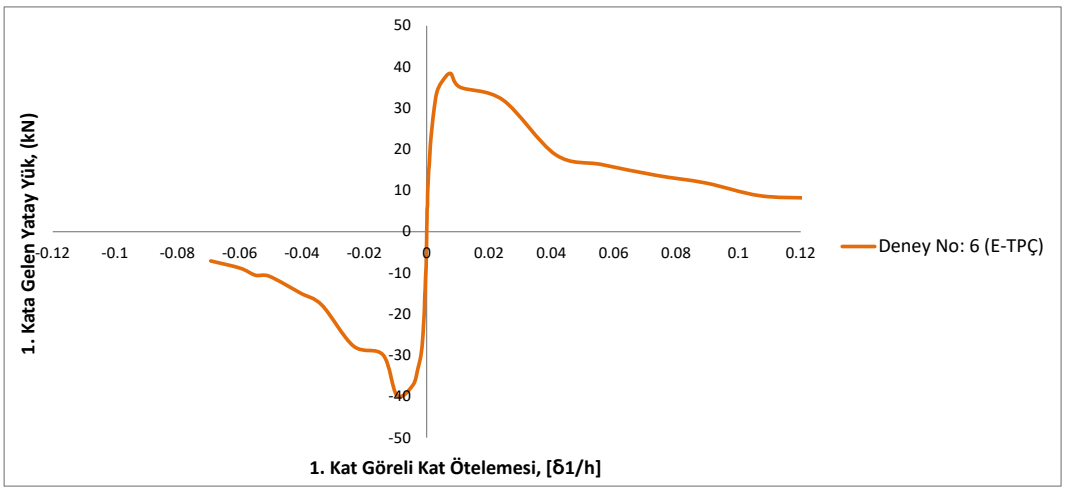


Şekil 4.67. E-TPÇ deney numunesi tepe deplasmanına bağlı histerezis ve zarf eğrisi

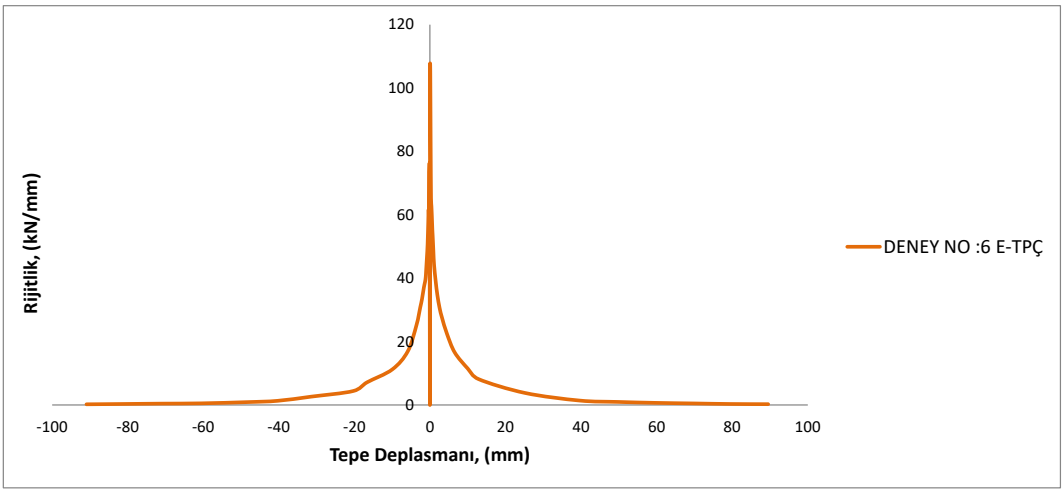




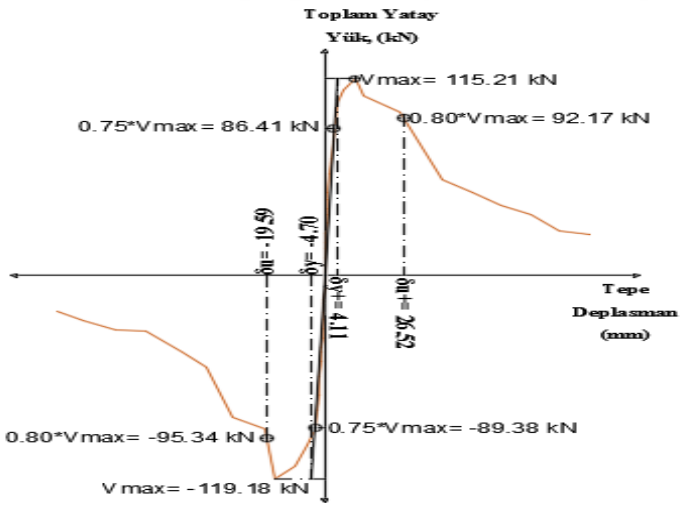
Şekil 4.68. E-TPÇ deney numunesinin 1.kat histerezis ve zarf eğrisi



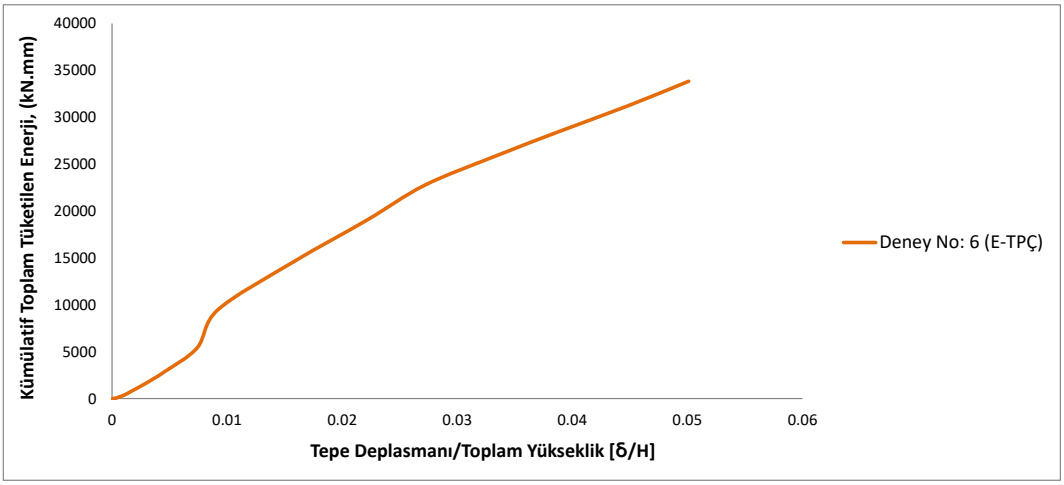
Şekil 4.69. E-TPÇ deney numunesine ait 1. Kat yatay yük – ötelenme oranı grafiği



Şekil 4.70. E-TPÇ deney numunesine ait rijitlik azalım grafiği



Şekil 4.71 E-TPÇ deney numunesine ait süneklik değerlendirilmesi grafiği



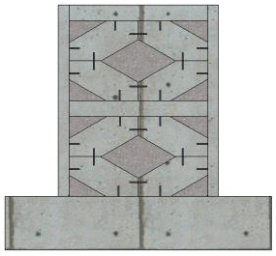
Şekil 4.72. E-TPÇ deney numunesine ait kümülatif toplam tüketilen enerji–Toplam Yükseklik oranı grafiği

Taban kesme kuvvetine karşılık gelen tepe deplasmanı histerezis eğrilerinin altında kalan alanın kümülatif hesaplanması ile referans numunenin enerji tüketme kapasitesi hesaplanmış olup Şekil 4.72'de gösterilmiştir. Ayrıca deneyin her bir itme ve çekmeden oluşan çevrimlerinden elde edilen maksimum yatay yük değerlerine karşılık gelen yatay deplasman değerlerine oranlanması ile de her bir çevrimde elde edilen rijitlik değerleri Şekil 4.70'de ve süneklik değerlendirilmesi Şekil 4.71'de gösterildiği gibi elde edilmiştir.

4.7. 7 Nolu Deney (K Panelle Güçlendirilmiş Numune, F-TPÇ)

K şeklinde üretilen F tipi panel (F-TP), genişliği 300 mm olan önüretimli panellerin üçüncüsüdür. Referans deney numunesine benzer geometrik özellikleri ve yapım kusurları düşünülerek üretilen numune tersinir-tekrarlanır yatay yük altında benzer şekilde test edilmiştir. F-TPÇ ile ilgili parametrik özellikler Çizelge 4.13'de verilmiştir.

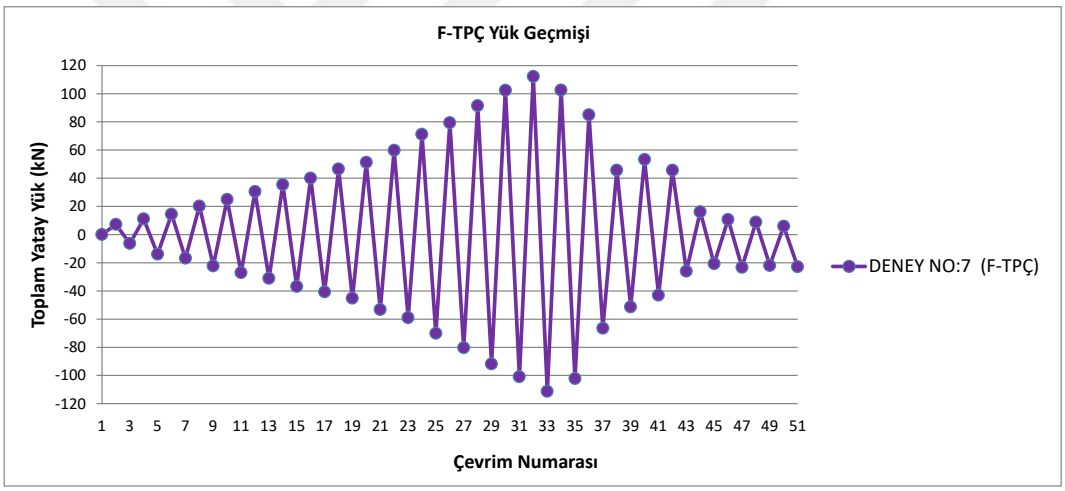
Çizelge 4. 13. 7 nolu F-TPÇ deney numunesinin parametrik özellikleri

Deney Numunesi No	Çerçeve Türü	Ortalama Basınç Dayanımı (MPa)		Donatı Çubuklarının Akma ve Çekme Dayanımları (MPa)			
		Çerçeve	Önüretimli Panel	Ø4	Ø8	Ø10	Ø16
Deney-7 Boşluklu Tuğla Dolgu Duvarlı Çerçeve + K Panelle Güçlendirilmiş Numune		17.55	44.20	$\frac{294}{387}$	$\frac{407}{496}$	$\frac{418}{512}$	$\frac{427}{508}$

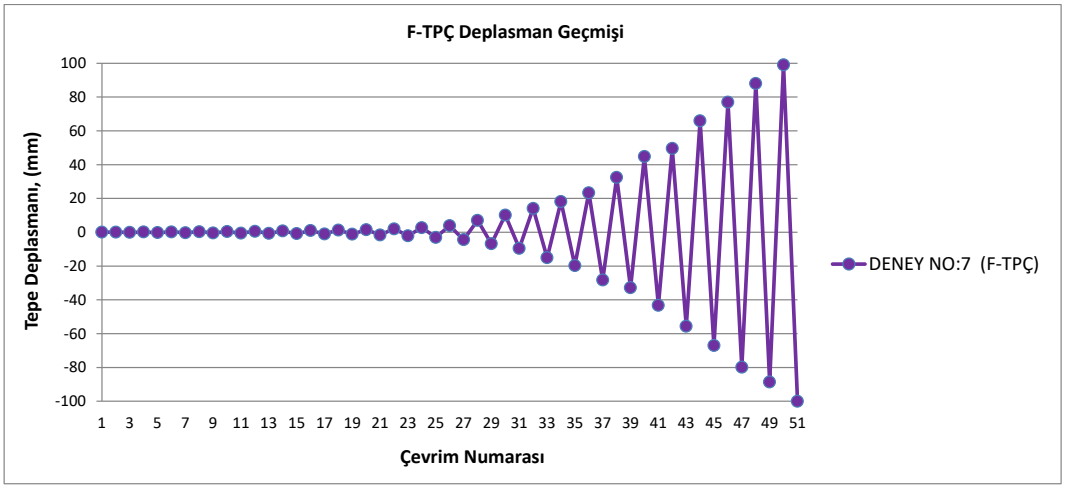
K şeklinde çapraz panelle güçlendirilmiş F-TPÇ deney numunesinin deneye başlamadan önceki görünüşü Şekil 4.73'de gösterilmiştir. F-TPÇ elemanına uygulanan yükleme geçmişi ise yük ve deplasman geçmişi olarak Şekil 4.74'de ayrı ayrı verilmiştir. Yükleme programında, sistemin akması ile beraber yük kontrollüden deplasman kontrollüye geçilmiştir. Deneyde ileri ve geri çevrimlerde 5 ve 10 kN artışlarla yaklaşık 112 kN'a kadar gidilmiş ve sistemin akmasından sonra 90 mm deplasmana kadar 10 mm artışlarla göçme konumuna ulaşılmıştır.



Şekil 4.73. 7 nolu F-TPÇ deney numunesinin deneye başlamadan önceki durumu



(a) 7 nolu F-TPÇ deney numunesine ait yük geçmişi (Taban Kesme Kuvvetine Göre)



b) 7 nolu F-TPÇ deney numunesine ait deplasman geçmişi (tepe deplasmanına göre)

Şekil 4.74. F-TPÇ deney numunesinin yükleme geçmişi a) Yatay yüke göre b) Tepe deplasmanına göre

Deney aşamasında ilk çatlak, +7'inci ileri çevrimde 35.54 kN yükte 0.775 mm tepe deplasmanında S101 kolonu uzun kenarında kolon-temel birleşiminde kolon uzun kenarının ortasına kadar 1 numaralı ilk çatlak gözlenmiştir. Sistemde oluşan bu ilk çatlaklar hooke bölge sınırları içerisinde oluşan elastik çatlaklardır. Şekil 4.75'de meydana gelen ilk çatlaklar gösterilmiştir.



Şekil 4.75. 7 nolu F-TPÇ deney numunesine ait oluşan ilk çatlaklar

F-TPÇ deney numunesinin akmaya başladığı yük değeri ileri çevrimde 112.23 kN olarak ölçülmüş ve bu yükteki tepe deplasmanı değeri ise 14.14 mm olarak elde edilmiştir. Bu yük değerinde zemin kat S102-K101 birleşim bölgesindeki duvardan başlayıp çapraz şekilde zemin kat sol üst paneli ve paneller ortasındaki duvarı yararak zemin kat sağ alt ve üst panel noktasına kadar açılma gözlenmiştir. Bununla beraber zemin kat sağ ve sol üst köşe duvarda ezilme ve bitişiğindeki kolondan ayrılma gözlenmiştir. Geri çevrimde ise -111.27 kN değerinde akma gerçekleşirken, tepe deplasmanı -15.09 mm olarak ölçülmüştür. Deney aşamasında, her çevrimde gözlenen davranış Çizelge 4.14'de verilmiştir. Çizelgede her bir yükleme çevrimi (itme +1 ve çekme -1 nolu olmak üzere), yatay yük değeri, ölçülen deplasman ve gözlemlenen çatlaklarla birlikte verilmiştir.

Çizelge 4.14. 7 nolu F-TPÇ numuneli deneyin her çevriminde gözlenen davranışı

Çevrim No	Maksimum Yatay Yük (kN)	Maksimum Tepe Deplasmanı (mm)	K Tipi Panelli Numunede Gözlemlenen Çatlak ve Hasar Oluşumu
+1(itme)	7.19	0.068	Deneyin ilk 6 çevriminde herhangi bir çatlak oluşumu gözlemlenmemiştir. Bu çevrimler akma sınırının altında elastik çevrimler olarak uygulanmış ve numunenin elastik özelliklerini görmek için değerlendirilmiştir.
-1(çekme)	-6.29	-0.081	
+2	11.13	0.159	
-2	-13.93	-0.197	
+3	14.51	0.214	
-3	-16.83	-0.254	
+4	20.24	0.302	
-4	-22.22	-0.371	
+5	24.91	0.415	
-5	-27.06	-0.483	
+6	30.58	0.568	
-6	-31.08	-0.616	
+7	35.54	0.775	S101 kolonunda uzun kenar yönünde kolon-temel birleşiminde kolon uzun kenarının ortasına kadar 1 numaralı ilk çatlak gözlenmiştir.
-7	-36.76	-0.824	S102 kolonunda uzun kenar yönünde kolon-temel birleşiminde kolon uzun kenarının ortasına kadar 2 numaralı çatlak meydana gelmiştir.
+8	40.09	1.016	S101 kolonunda uzun kenar boyunca temelden 10 cm yükseklikte 3 numaralı çatlak oluşmuştur.
-8	-40.68	-0.976	S102 kolonunda uzun kenar yönünde temelden 20 cm yukarda 4 numaralı çatlak gözlenmiştir.
+9	46.51	1.278	S101 kolonunda temelden 30 cm yukarda uzun kenar yönünde 5 numaralı yeni çatlak meydana gelmiştir. Ayrıca daha önce var olan 1 numaralı çatlak kolon sonuna kadar uzamıştır.
-9	-45.16	-1.150	S102 kolonu uzun kenarında var olan 2 numaralı çatlak kolon sonuna kadar uzamıştır.
+10	51.32	1.533	S101 kolonunda uzun kenar yönünde temelden 50 cm yukarda 6 numaralı çatlak oluşurken, temelden 23 cm yukarda 7 numaralı çatlak ve aynı seviyede kısa kenarda devamında 8 numaralı çatlak meydana gelmiştir.
-10	-53.16	-1.596	Bu çevrimde herhangi bir çatlak gözlenmemiştir.
+11	59.88	1.985	5 numaralı çatlak kolon yüzüne kadar uzadı. S101 kolonunda var olan 6 numaralı çatlak kolon ucuna kadar uzadı.
-11	-59.01	-2.094	S102 kolonunda uzun kenar yönünde temelden 7 cm yukarda 9 numaralı yeni bir çatlak oluşurken, 38 cm yukarda 10 numaralı yeni bir çatlak gözlenmiştir. S102 kolonu-sol alt panel duvar birleşiminden temele kadar 11 numaralı çatlak meydana gelmiştir. Aynı şekilde zemin katta temel ile sol alt panel arasında yatay 12 numaralı çatlak gözlenmiştir.
+12	71.25	2.701	S101 kolonu-sağ alt panel-duvar birleşiminde yatay olarak 14 ve dikey olarak 13 numaralı yeni çatlaklar gözlenmiştir. S101 kolonunda 3 numaralı çatlağın devamında kısa kenar boyunca 15 numaralı yeni çatlak meydana gelmiştir. Benzer şekilde 5 numaralı çatlağın devamında S101 kolonu kısa kenarı boyunca 16 numaralı çatlak oluşmuştur. S101 kolonu kısa kenarında temelden 63 cm yukarda 17 numaralı çatlak gözlenirken aynı seviyede uzun kenarda devamında 18 numaralı çatlak gözlenmiştir. S102 kolonu-sol üst panel arasındaki duvarda 19 numaralı yeni bir çatlak meydana gelmiştir.
-12	70.00	-3.054	S101 kolonu sağ üst panel arasındaki duvarda dikey yönde 20 ve yatay yönde 21 numaralı çatlaklar oluşmuştur. S102 kolonu uzun kenarında temelden 52 cm yukarda 22 numaralı çatlak kolon genişliğince meydana gelmiştir.

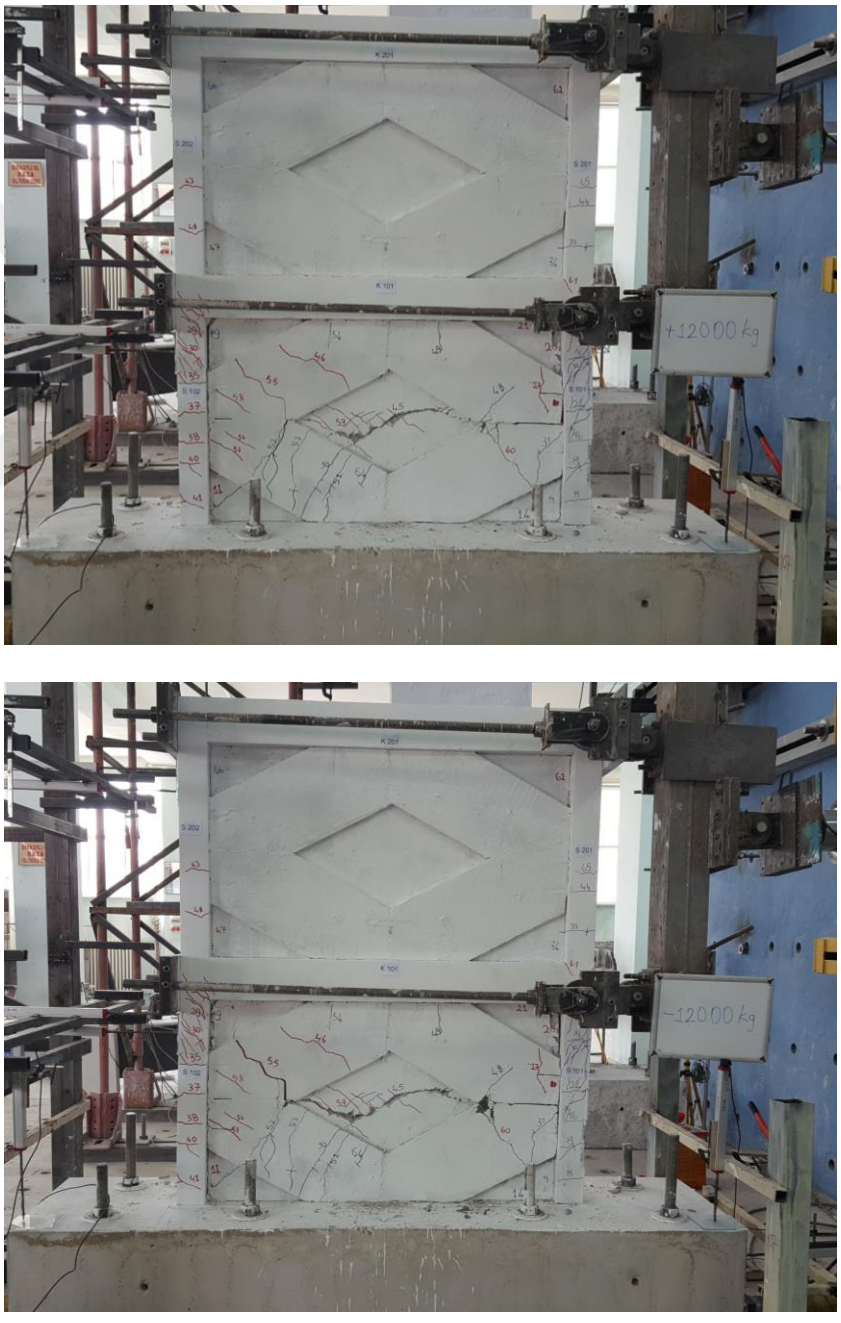
+13	79.35	3.856	S101 kolonu uzun kenarında var olan 6 numaralı çatlak dallanarak uzadı. S101 kolonu uzun kenarında temelden 43 cm yukarda 23 numaralı çatlak oluşurken aynı seviyede kısa kenarda 24 numaralı çatlak oluşmuştur. Zemin katta daha önce S102-duvar birleşimindeki 19 numaralı çatlak sol üst panelden-sol alt panele doğru uzadı. Benzer şekilde zemin katta S101-temel birleşiminde var olan14 numaralı çatlak zemin kat sağ alt panelin altından-sol alt panelin sonuna kadar devam etti. K101-S101 birleşiminde kolon kısa kenarı üzerinde 25 numaralı çatlak meydana geldi. K101-S201 arasında kalan duvarda, kiriş duvar birleşiminde 26 numaralı çatlak oluştu.
-13	-80.30	-4.430	Zemin kat sağ üst panelde, düşey 27 numaralı çatlak meydana gelmiştir. S101'e bitişik duvarda üst kısımda var olan 20 numaralı çatlak zemin kat sağ üst panel duvar birleşiminde sağ alt panele kadar uzadı ve genişledi. Ayrıca K101-S102 kolon kiriş birleşiminde kolon kısa kenarı üzerinde diyagonal yukarı yönde 28 numaralı çatlak meydana gelmiştir. S102 kolonu uzun kenarında var olan 4 numaralı çatlak dallanarak uzadı. Benzer şekilde aynı yüzde bulunan 22 numaralı çatlak dallanarak uzamıştır. S102 kolonunda kısa kenar yönünde temelden 60 cm yukarda yukarı yönlü diyagonal 30 numaralı çatlak oluşurken, 73 cm yukarda 29 numaralı çatlak meydana gelmiştir.
+14	91.47	7.024	Zemin kat S102 paneline bitişik duvar birleşiminde var olan 19 numaralı çatlak genişliği 50 mm kadar genişledi. Zemin kat sağ alt panel-üst panel birleşim yerinden başlamak üzere diyagonal aşağı yönde 31 numaralı yeni bir çatlak meydana gelmiştir. S101 kolonunda 18 numaralı çatlağın yakınında çok sayıda diyagonal kılcal çatlak 32 numaralı yeni çatlak olarak gözlenmiştir. S101 kolonu uzun kenarında var olan 7 numaralı çatlak uzadı. Benzer şekilde aynı yüzdeki 17 numaralı çatlakta yukarı yönlü dallanmıştır. Ayrıca S201 kolonu kısa kenarında K101 kirişi üzerinden 11 cm yukarda 33 numaralı yeni bir çatlak meydana gelmiştir. S201-K101 birleşimindeki duvarda kolona bitişik 34 numaralı yeni bir çatlak gözlenmiştir.
-14	-91.80	-6.838	S102 kolonundaki 29 numaralı çatlak dallanarak yukarı yönlü uzadı. Zemin kat sağ üst panelde var olan 27 numaralı çatlak paneli S101 kolonuna bağlayan ankraj üzerinden kolona kadar uzadı. S102 kolonu uzun kenarında var olan 22 numaralı çatlakta dallanmalar artmaya devam etti. Ayrıca 22 numaralı çatlağın devamında kolon kısa kenarı boyunca 35 numaralı çatlak ve bu çatlağın 8 cm altında 37 numaralı çatlak ve bu çatlağında 10 cm altında 38 numaralı çatlak oluşmuştur. K101-S202 birleşimindeki duvarda kiriş duvar birleşiminde 36 numaralı çatlak meydana gelmiştir. S102 kolonunda uzun kenar yönünde temelden 32 cm yukarda 39 numaralı çatlak, kısa kenar yönünde 9 numaralı çatlağın devamında 41 numaralı çatlak ve 15 cm yukarısında 40 numaralı çatlak oluşmuştur. Zemin kat sol alt panel altındaki duvara bitişik oluşan 11 numaralı çatlak, zemin kat sağ üst panel birleşimine kadar uzamıştır.
+15	102.46	10.167	Birinci kat K101 kirişine bitişik duvarda oluşan 26 numaralı çatlak birinci kat sağ alt panel altından sol alt panel birleşimine kadar uzamıştır. Zemin kat S102 kolonuna bitişik üst duvarda var olan 19 numaralı çatlak genişliği artmaya devam etti. K101-S101 kolon-kiriş birleşim bölgesinde kılcal çatlak yoğunluğu arttı. S101 kolonu kısa kenarında var olan 32 numaralı çatlak genişliği artarken çok sayıda kılcal çatlak şeklinde çatallanmalar görüldü. Zemin kat sağ alt panelde var olan 31 numaralı çatlak aşağı yönde uzadı. S101 kolonu uzun kenarında var olan 17 numaralı çatlak genişliği arttı. S201 kolonuna bitişik duvarda var olan 34 numaralı çatlak birinci kat sağ alt panel alt noktasına kadar

			uzaman göstermiştir. S201 kolonunda uzun kenar yönünde K101 kirişi üzerinden 32 cm yukarda 42 numaralı çatlak ve 53cm yukarda 43 numaralı çatlak meydana gelmiştir. S201 kolonunda kısa kenarda K101 kirişi üzerinden 26 cm yukarda 44 numaralı çatlak gözlenmiştir. Ayrıca zemin kat panelleri arasında kalan orta duvarda yatay 45 numaralı kılcal çatlaklar oluşmuştur.
-15	-100.83	-9.488	Zemin kat sağ üst köşe duvarda ezilmeler başladı ve 20 numaralı çatlakta genişleme ve sıva dökülmeleri görüldü. S102 kolonundaki 28 ve 29 numaralı çatlaklarda dallanmalar meydana geldi. K101 kirişi üzerindeki duvar birleşiminde var olan 36 numaralı çatlak sağ panel birleşim noktasına kadar sol panel altından başlayarak uzadı. S102 kolonundaki numaralı çatlak aşağı yönde dallandı. Benzer şekilde S102'de var olan 30 ve 40 numarada çatallanmalar aşağı yönlü gözlendi. Zemin kat sol üst panel ortasında panel genişliğince 46 numaralı çatlak oluştu. S202-K101 birleşimindeki duvarda kolon-duvar birleşiminde 47 numaralı çatlak gözlendi. 47 numaralı çatlağın devamında S202 kolonu kısa kenarında K101 kirişi üzerinden 14 cm yukarda 48 numaralı çatlak yatay olarak ortaya çıkmıştır.
+16	112.23	14.148	S101 kolonu kısa kenarında var olan 24 numaralı çatlakta çatallanma görüldü. Zemin kat paneller arasındaki orta duvarda var olan 45 numaralı çatlak uzadı ve zemin kat sol panel üzerinde panel ortasına kadar 50 numaralı çatlak meydana getirdi. 50 numaralı çatlağın 5cm altında 51 numaralı çatlak görüldü. Zemin kat sol alt panel genişliğince 52 numaralı çatlak ve 52 numaralı çatlağın 5cm altında da 53 numaralı çatlak meydana gelmiştir. Ayrıca daha önceden var olan 1, 3, 5, 6, 7, 17 ve 23 numaralı çatlaklarda genişlemeler görüldü. Zemin kat sağ üst panel üstünde K101'e birleşen ankraj boyunca 49 numaralı yeni bir çatlak gözlenmiştir. S101'de 6 ve 32 numaralı çatlak genişlikleri artmış ve dallanmıştır. Zemin kat sol üst paneli K101 kirişine bağlayan ankraj boyunca 54 numaralı çatlak meydana gelmiştir. 19 numaralı çatlak genişliği 1 cm olacak şekilde genişlemiştir. Zemin kat sağ üst panelde panelin sağ alt panele değdiği noktadan panel ortasına kadar 48 numaralı yeni bir çatlak oluşmuştur.
-16	-111.27	-15.092	Zemin kat sol üst panelde daha önce zemin kat sağ alt panelde oluşan 52 numaralı çatlağa simetrik olacak şekilde 54 numaralı çatlak meydana gelmiştir. S101'e bitişik duvarda var olan 20 numaralı çatlak genişliğindeki artış 1 cm'e ulaştı. S102 kolonundaki 29, 30 ve 35 numaralı çatlaklar civarında çok sayıda kılcal çatlak gözlendi. Zemin kat sağ alt ve üst panelleri S102 kolonuna bağlayan ankrajlar boyunca 56, 57 ve 58 numaralı çatlaklar oluştu. Zemin kat panelleri ortasındaki duvarda var olan 45 numaralı çatlağa simetrik 59 numaralı çok sayıda kılcal çatlak meydana gelmiştir. Ayrıca zemin kat sağ üst panelde var olan 48 numaralı çatlağın simetriği şeklinde sağ alt panelde panel genişliğince 60 numaralı yeni bir çatlak görülmüştür. S102 kolonuna bitişik duvardaki 11 numaralı çatlakta genişleme de artmıştı. K101-201 birleşim bölgesinde diyagonal aşağı yönde 61 numaralı yeni bir çatlak meydana gelmiştir. S102 kolonu kısa kenarında var olan 30 numaralı çatlak uzun kenar yönünde dallanarak uzamıştır. S102 kolonu uzun kenarında var olan 10 ve numaralı çatlak genişlikleri artarken, 9 ve 39 numaralı çatlakta dallanma gözlenmiştir. Birinci kat K201-S201 birleşimindeki duvarda dikey yönde 62 numaralı yeni bir çatlak oluşurken, S202 kolonunda kısa kenarda K201 kirişinin 35cm üzerinde 63 numaralı yeni bir çatlak meydana gelmiştir.
+17	102.60	18.196	**Numune 120 kN'a gidilmeye çalışılırken 11.200 kN değerinde aktı.** Zemin kat sol alt panelde panel genişliğince var olan 52 numaralı çatlak genişliği ciddi miktarda arttı ve dallandı. Yine

			aynı panelde var olan 51 ve 53 numaralı çatlaklar panel sonuna kadar uzadı. Ayrıca panel sonuna kadar uzayan 52 numaralı çatlak duvardan devam ederek S102 kolonuna kadar uzamıştır. S201 kolonu uzun kenarında var olan 42 numaralı çatlağın devamında kısa kenar yönünde 65 numaralı çatlak meydana gelmiştir. Zemin kat sol alt panelde 51 numaralı çatlağın 5 cm altında 64 numaralı çatlakta gözlenmiştir. S101 kolonunda kısa kenar yönünde diyagonal kılcal çatlak sayısı oldukça arttı. S201 kolonu kısa kenarında olan numaralı çatlak uzarken, Zemin kat sağ üst panelde var olan 23 numaralı çatlak genişledi ve dallandı. S101 kolonu kısa kenarındaki 6 numaralı çatlak yukarı yönlü çatallandı. K201- S202 birleşimindeki duvarda kolon duvar birleşiminde 66 numaralı yeni bir çatlak meydana gelmiştir. Ayrıca S101 kolonunda kısa kenar yönünde kolon-temel birleşiminde 67 numaralı yeni bir çatlak gözlenmiştir. Zemin kat paneller arasındaki orta duvarda sıva dökülmeleri görüldü ve 45 numaralı çatlak genişledi. ***Bu çevrimde, numune itme yönünde maksimum yatay yük taşıma kapasitesine ulaşmıştır.***
-17	-102.22	-19.705	**Numune 120 kN'a gidilmeye çalışılırken 10.200 kN değerinde aktı.** Zemin kat sol üst panelde var olan 55 numaralı çatlak genişliği bu çevrimde ani şekilde kırıldı. K101-S102 birleşim bölgesindeki duvarda ezilmeler görüldü, sıva döküldü ve çatlak sayısı arttı. S102 kolonu orta kısımlarında panel etkisiyle rijitliği artan bölge dışındaki alt ve üst kısımlarda kolonda eğilmeler gözlendi. S102 kolonunda var olan 40 numaralı çatlak aşağı yönlü dallandı. Benzer şekilde S102 kolonu uzun kenarında var olan 37 ile kısa kenarda var olan 10 numaralı çatlak dallanarak birleşti. Zemin kat sağ ve alt ve üst panel birleşim bölgelerin hasarlar artmıştır. S101 kolonunda düşey yönlü 68 numaralı çatlak meydana gelmiştir. Zemin kat sağ alt paneldeki 60 numaralı çatlağa paralel 12 cm yukarda S101 kolonuna yakın 69 numaralı yeni bir çatlak oluşmuştur. Ayrıca 60 numaralı çatlak panelden duvara oradan da temelde kadar uzamıştır. Zemin kat sağ alt paneldeki ankraj zorlanmaya başladı. Zemin kat panelleri arasında kalan orta duvarda 45 numaralı çatlak belirgin yarılma ve sıva dökülmesi gösterdi. ***Bu çevrimde, numune çekme yönünde maksimum yatay yük taşıma kapasitesine ulaşmıştır.***
DEPLASMAN KONTROLLÜ YÜKLEMEYE GEÇİLDİ			
+18	85.00	23.355	Zemin kat sağ üst paneli S101 kolonuna bağlayan ankrajda zorlanmalar daha da arttı. Zemin kat sol alt ve üst paneli birbirine bağlayan anraj 52 numaralı çatlağın genişlemesiyle görüldü. Orta duvarda var olan 52 numaralı çatlağın bulunduğu sıva tabakası düştü. S102-K101 birleşim bölgesindeki duvar S102 kolonundan belirgin şekilde ayrıldı. S102 kolonu alt bölgede plastik mafsal oluşmaya başladı. S102 kolonu tabanında kabuk beton dökülerek kısa kenar köşe donatı ortaya çıktı. Sistemde kalıcı hasarlar gözlendi. Ayrıca S101 kolonu kısa kenarda yukarıdan aşağı doğru kabuk betonda kabarmalar oluştu.
-18	-66.52	-28.300	Zemin kat sol üst paneldeki 55 numaralı paneli iki parçaya ayırdı. Zemin kat sağ alt ve üst panelleri bir birine bağlayan ankraj çatlama etkisiyle ortaya çıktı. S101 kolonu kısa kenarında var olan çatlak sayıları artarak kabuk yersel beton dökülmeleri görüldü. Etriye açığa çıktı. Panellerin S101 kolona etkisiyle kolon ucunda eğilme gözlendi. Ayrıca S102 kolonu uzun kenarında var olan 10 numaralı çatlak yukarı yönlü dallanarak 22 numaralı çatlak ile birleşti.

+19	45.77	32.437	S102 kolonu alt ucunda ciddi kabuk beton dökülmeleri görüldü. Plastik mafsallaşma artarak devam etti. Donatılar belirgin şekilde ortaya çıktı. Plastik mafsallaşma yükseliği yaklaşık 12.5 cm olarak düşünüldü. S101 kolonuna ankraj ile bağlı olan zemin kat sağ üst panel-kolon birleşiminde ankraj koptu. Ayrıca yukardan aşağı doğu kabu beton döküldü ve donatılar ortaya çıktı. Kolonun alt ve üst ucu rijit panel etkisinin gövdeye etkimesinden dolayı faklı bir eğilme sergiledi. S101 kolonunda etriyen kollarının açıldığı gözlendi.
-19	-51.30	-32.843	Zemin kat sol alt ve üst panel arasındaki ankraj donatısı düştü. Sol alt panelin bombe yaprak duvar düzleminden çıkma eğiliminde olduğu gözlendi. S101 kolonu kısa kenarda yükseklik boyunca ortalarda var olan kabuk beton dökülmeleri alt ve üst kolon ucuna kadar devam etti. Plastik mafsallaşmalar arttı. Zemin kat sağ üst duvar kolon birleşimindeki açılma artmaya devam etti. Ayrıca sağ üst duvarda sıva dökülmeleri gözlendi. Zemin kat sağ alt paneli S101 kolonuna bağlayan ankrajda kopma meydana geldi.
+20	53.29	-44.768	Zemin kat sol alt panelde belirgin yarılma gözlendi. S102 kolonu alt ucunda plastik mafsallaşma artmaya devam etti. S101 kolonunda n alt ve uç donatılarında eğilme meydana gelirken etriyelerde açılmalar gözlendi. S101 kolonu uzun kenarında üç kısımlarda da yatay ve düşey donatı kabuk beton dökülmesiyle ortaya çıktı. Birinci kat S201 kolonunda kısa kenarda olan 33 numaralı çatlağın devamında uzun kenarda 70 numaralı çatlak meydana gelmiştir.
-20	-42.98	-43.259	S101 kolonu kısa kenar üst noktasında donatılar iyice ortaya çıktı. Zemin kat sol alt panel altındaki tuğla duvarda yersel kırılmalar gözlendi. Sol alt panel duvardan belirgin şekilde bombe yaparak ayrıldı. Ayrıca yersel sıva dökülmeleri ortaya çıktı.
+21	45.65	49.578	Numune enerji tüketmeye devam etmektedir. Zemin kat orta duvarda hasarlar artmaya tuğla kırılmaya devam etmiştir. Zemin kat sağ ve sol panel ile altındaki duvar üzerinde, zemin kat sağ ve sol üst panel ile duvar, artan deplasman etkisiyle kayma hareketi sergilemiştir. Ayrıca Zemin kat sağ üst panelde var olan 48 numaralı çatlağa dik doğrultuda birbirine 10 cm aralıklar ile 71 ve 72 numaralı çatlak meydana gelmiştir. S101 kolonu yükseklik ortasında etriye tamamen açılmıştır.
-21	-25.95	-55.574	Zemin kat sol alt panel yük aktaramaz hale gelmiştir. Ayrıca sol üst paneli duvara bağlayan ankrajda da ayrılma gözlenmiştir. Diğer taraftan zemin kat sağ alt ve üst paneli birbirine bağlayan ankrajda kopma görülmüştür.
+22	16.24	65.943	S101 kolonuna değen panellerin olduğu kısımda kolonda kalıcı hasar ortaya çıktı. Donatı eğilmeleri iyice arttı. S101 ve S102 kolonunda kısa kolon oluşumu gözlendi. Zemin kat sağ alt panel duvardan düştü. S101 kolonundaki etriye tamamen açıldı. Zemin kat sağ alt köşe duvar tamamen parçalandı.
-22	-20.68	-67.037	Zemin kat sağ alt ve üst paneller arasındaki ankraj düştü. Ayrıca sağ alt paneli S101 kolonuna bağlayan ankraj kesildi. Duvarda kırılmalar ve sıva dökülmeleri devam etti.
+23	10.73	77.008	Zemin kat paneli işlevini yitirdi. Yük duvar tarafından aktarılmaya devam ediyor.
-23	-23.188	-79.846	S101 ve S102 kolon alt uçlarında kesilmeler arttı.
+24	8.864	87.968	Son 6 çevrimde; S101 ve S102 kolonlarında plastik mafsallaşmalar tamamlanmıştır. Numunede meydana gelen hasarlar stabilite problemine yol açtığı için numaralandırma yapılmamıştır. Üst katta ciddi hasar oluşmazken zemin katta hasarlar artmaya devam etmiştir. Zemin katta oluşan hasarlar çekilen fotoğraflarla tespiti yapılmıştır.
-24	-21.95	-88.572	
+25	5.92	99.009	
-25	-22.84	-99.986	

K şeklinde yapılan güçlendirme neticesinde ileri ve geri çevrimde taşıma gücü seviyesine panel yerleşimlerinin simetrik olmasından dolayı yaklaşık benzer yük değerinde ulaşılmışken, referans numuneye göre ileri çevrimde 2.52, geri çevrimde ise 2.57 kat dayanım artışı görülmüştür. Zemin kat paneller ortasındaki duvarda ve zemin kat sol üst panelde yarılma (kayma şeklinde) gözlenmiştir. K şeklinde yapılan güçlendirme etkisi ile üst katlarda da hasar meydana gelmiştir. Şekil 4.76'da F-TPÇ numunenin akma anındaki ileri ve geri çevrimdeki genel görünüşü, Şekil 4.77'de ise akma anında ileri ve geri çevrimde duvarlarda birleşim bölgelerinde ortaya çıkan hasarların görünüşleri verilmiştir.



Şekil 4.76. F-TPÇ deney numunesinin akma anındaki görünüşü



Şekil 4.77. F-TPÇ deney numunesinin akma anında meydana gelen kalıcı hasar durumu

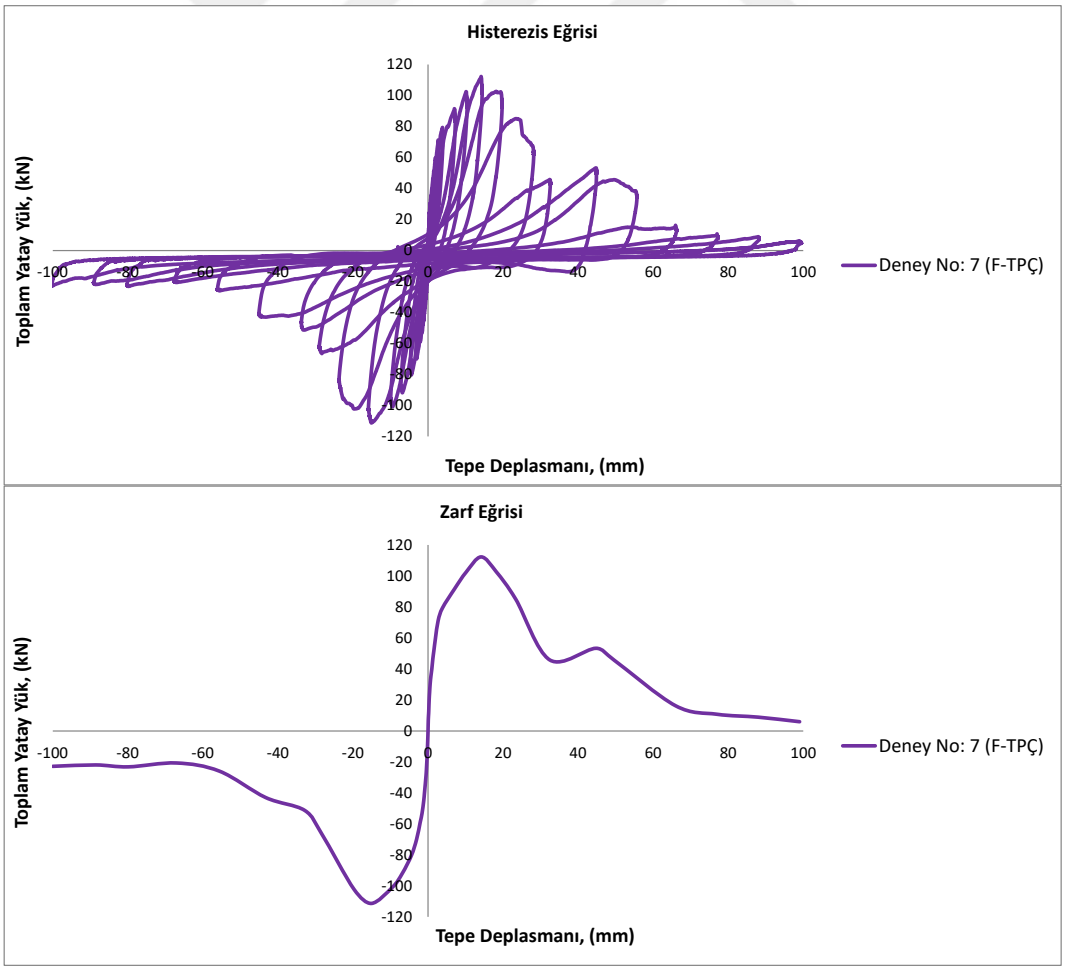
F-TPÇ deney numunesinin itme durumunda 112.23 kN olan maksimum yatay yük değeri 25. çevrim sonunda 5.92 kN'a, çekme durumunda ise -111.27 kN olan maksimum yatay yük değeri -22.84 kN'a düşmüştür. Yatay yük taşıma kapasitesinde itme durumunda yaklaşık %94.7 oranında bir azalma meydana gelmişken çekme durumunda yaklaşık %79.5'lik bir azalma meydana gelmiştir. Şekil 4.78'de F-TPÇ numunenin akmadan sonra deney sonuna kadar oluşan hasarların genel görünüşü gösterilmiştir.



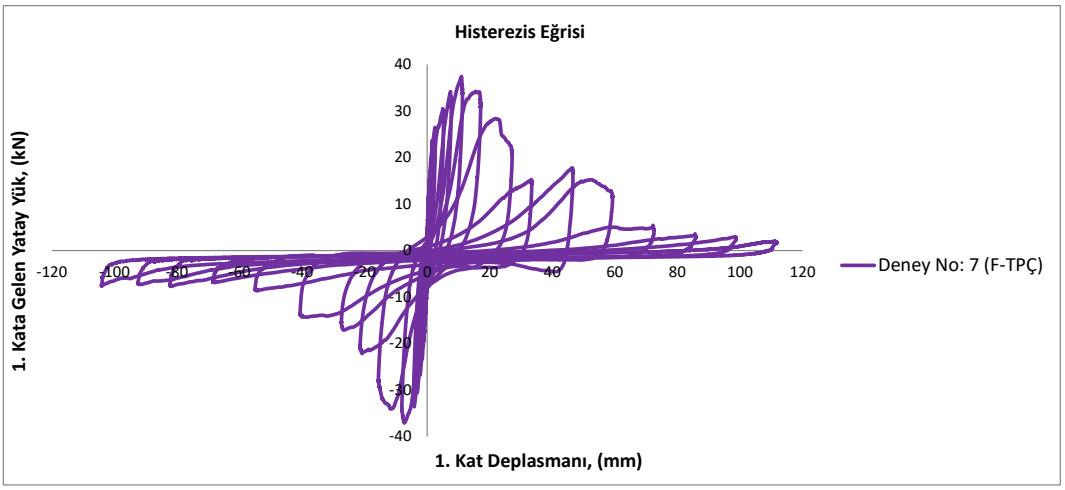
Şekil 4.78. F-TPÇ numunenin deney sonundaki kalıcı hasarlı görünüşü

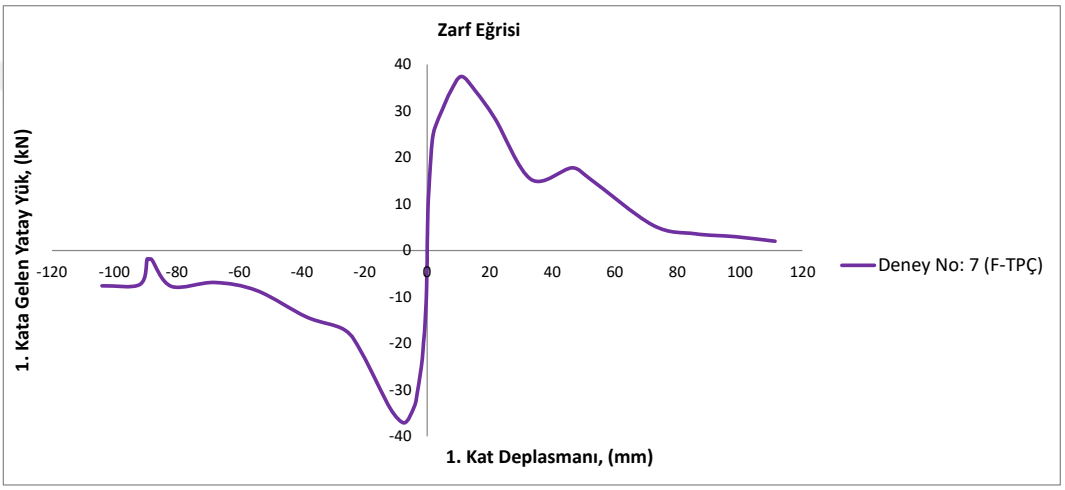
F-TPÇ numune için deney sonucunda sırasıyla aşağıdaki grafikler elde edilmiştir.

1. Toplam Yatay Yüke (Taban Kesme Kuvveti) karşılık – Tepe Deplasmanı grafiği (Histerezis Eğrisi) Şekil 4.79'da
2. Toplam Yatay Yüke (Taban Kesme Kuvveti) karşılık – Tepe Deplasmanı grafiği (Zarf Eğrisi) Şekil 4.79'da
3. 1. Kata ait Yatay Yüke karşılık – 1.Kat Deplasmanı grafiği (Histerezis Eğrisi) Şekil 4.80'de
4. 1. Kata gelen Yatay Yüke karşılık – 1.Kat Deplasmanı grafiği (Zarf Eğrisi) Şekil 4.80'de
5. 1. Kata gelen Yatay Yüke karşılık – 1. Kat Ötelenme oranı grafiği Şekil 4.81'de
6. Sistem rijitlik azalım grafiği Şekil 4.82'de,
7. Sistem süneklik değerlendirme grafiği Şekil 4.83'de
8. Kümülatif toplam tüketilen enerji - 2. kat ötelenme oranı grafiği ise Şekil 4.84' de gösterilmiştir.

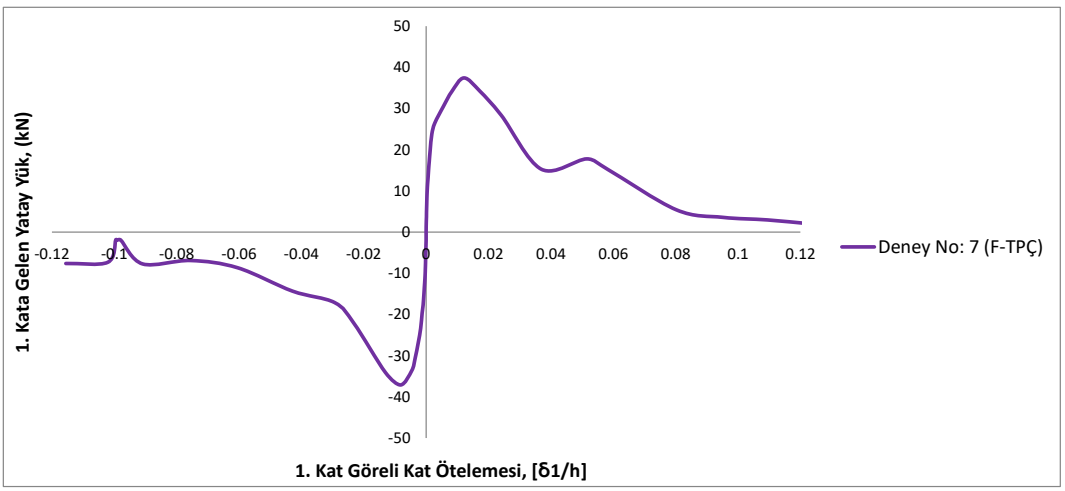


Şekil 4.79. F-TPÇ deney numunesi tepe deplasmanına bağlı histerezis ve zarf eğrisi

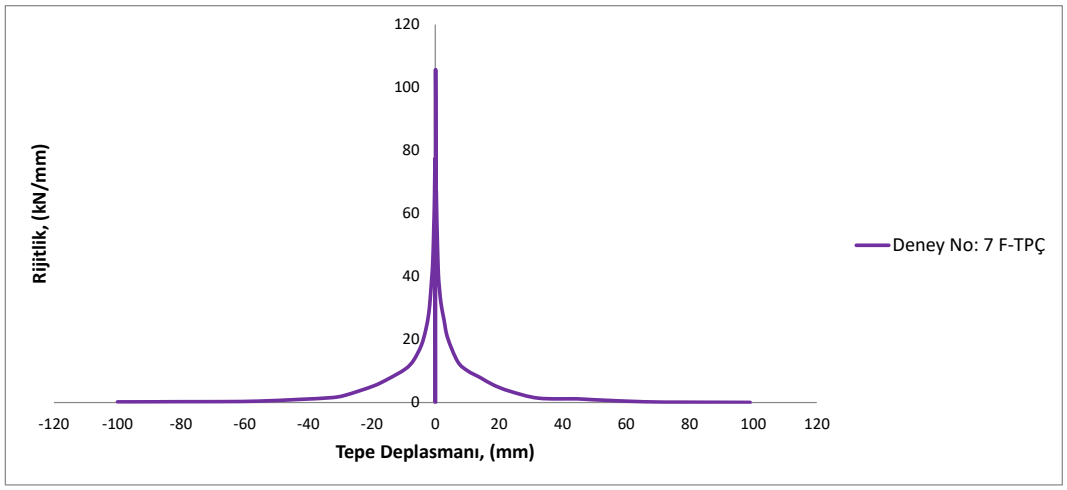




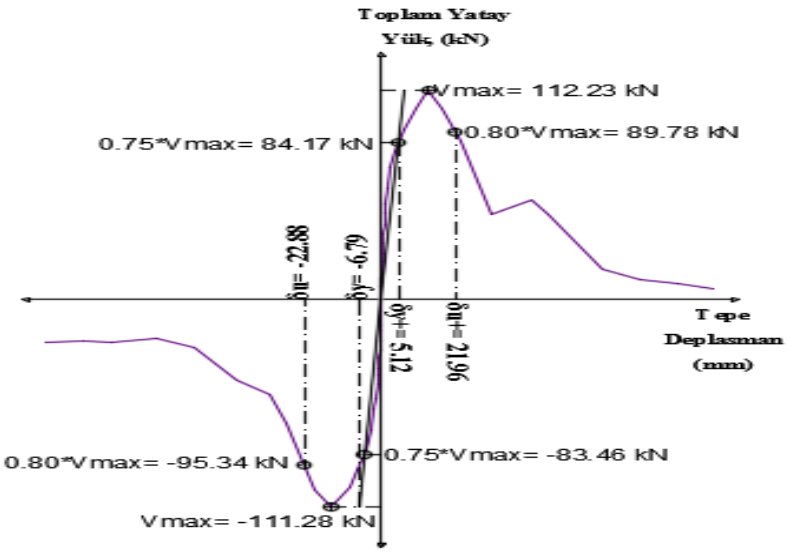
Şekil 4.80. F-TPÇ deney numunesinin 1.kat histerezis ve zarf eğrisi



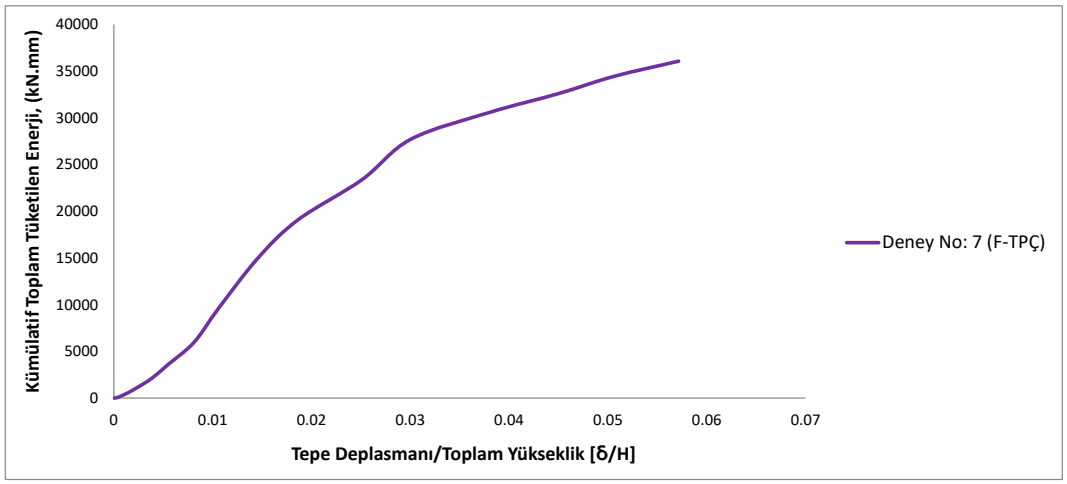
Şekil 4.81. F-TPÇ deney numunesine ait 1. Kat yatay yük – ötelenme oranı grafiği



Şekil 4.82. F-TPÇ deney numunesine ait rijitlik azalım grafiği



Şekil 4.83 F-TPÇ deney numunesine ait süneklik değerlendirilmesi grafiği



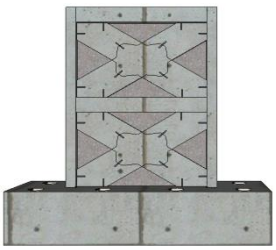
Şekil 4.84. F-TPÇ deney numunesine ait kümülatif toplam tüketilen enerji–Toplam Yükseklik oranı grafiği

Taban kesme kuvvetine karşılık gelen tepe deplasmanı histerezis eğrilerinin altında kalan alanın kümülatif hesaplanması ile referans numunenin enerji tüketme kapasitesi hesaplanmış olup Şekil 4.84'de gösterilmiştir. Ayrıca deneyin her bir itme ve çekmeden oluşan çevrimlerinden elde edilen maksimum yatay yük değerlerine karşılık gelen yatay deplasman değerlerine oranlanması ile de her bir çevrimde elde edilen rijitlik değerleri Şekil 4.82'de ve süneklik değerlendirilmesi Şekil 4.83'de gösterildiği gibi elde edilmiştir.

4.8. 8 Nolu Deney (X Panelle Güçlendirilmiş Numune, G-TPÇ)

X şeklinde üretilen G tipi panel (G-TP), genişliği 300 mm olan önüretimli panellerin sonuncusudur. Referans deney numunesine benzer geometrik özellikleri ve yapım kusurları düşünülerek üretilen numune tersinir-tekrarlanır yatay yük altında benzer şekilde test edilmiştir. G-TPÇ ile ilgili parametrik özellikler Çizelge 4.15'de verilmiştir.

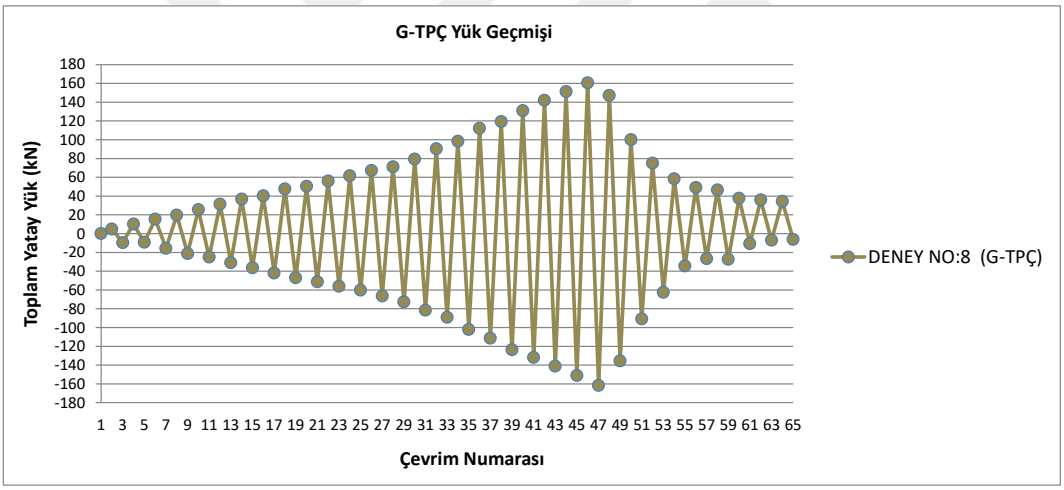
Çizelge 4. 15. 8 nolu G-TPÇ deney numunesinin parametrik özellikleri

Deney Numunesi No	Çerçeve Türü	Ortalama Basınç Dayanımı (MPa)		Donatı Çubuklarının Akma ve Çekme Dayanımları (MPa)			
		Çerçeve	Önüretimli Panel	Ø4	Ø8	Ø10	Ø16
Deney-8 Boşluklu Tuğla Dolgu Duvarlı Çerçeve + X Panelle Güçlendirilmiş Numune		17.55	44.20	$\frac{294}{387}$	$\frac{407}{496}$	$\frac{418}{512}$	$\frac{427}{508}$

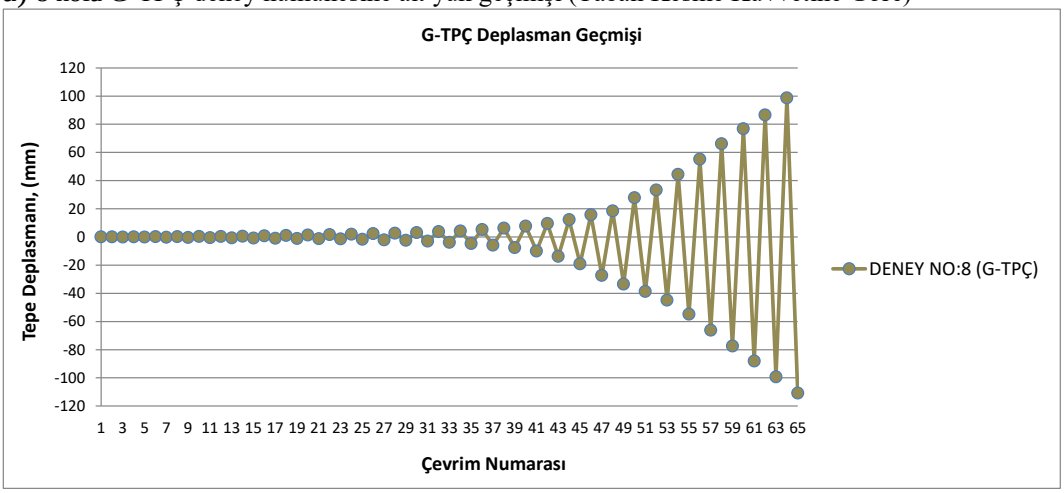
X şeklinde çapraz panelle güçlendirilmiş G-TPÇ deney numunesinin deneye başlamadan önceki görünüşü Şekil 4.85'de gösterilmiştir. G-TPÇ elemanına uygulanan yükleme geçmişi ise yük ve deplasman geçmişi olarak Şekil 4.86'da ayrı ayrı verilmiştir. Yükleme programında, sistemin akması ile beraber yük kontrollüden deplasman kontrollüye geçilmiştir. Deneyde ileri ve geri çevrimlerde 5 ve 10 kN artışlarla yaklaşık 161 kN'a kadar gidilmiş ve sistemin akmasından sonra 100 mm deplasmana kadar 10 mm artışlarla göçme konumuna ulaşılmıştır.



Şekil 4.85. 8 nolu G-TPÇ deney numunesinin deneye başlamadan önceki durumu



a) 8 nolu G-TPÇ deney numunesine ait yük geçmişi (Taban Kesme Kuvvetine Göre)



a) 8 nolu G-TPÇ deney numunesine ait deplasman geçmişi (tepe deplasmanına göre)

Şekil 4.86. G-TPÇ deney numunesinin yükleme geçmişi a) Yatay yüke göre b) Tepe deplasmanına göre

Deney aşamasında ilk çatlak, -6'ıncı geri çevrimde -30.92 kN yükte -0.583 mm tepe deplasmanında S102 kolonu uzun kenarında temelden 21 cm yukarda kolon uzun kenarının ortasını geçecek kadar 1 numaralı ilk çatlak gözlenmiştir. Sistemde oluşan bu ilk çatlaklar elastik bölge sınırları içerisinde oluşan çatlaklardır. Şekil 4.87'de meydana gelen ilk çatlaklar gösterilmiştir.



Şekil 4.87. 8 nolu G-TPÇ deney numunesine ait oluşan ilk çatlaklar

G-TPÇ deney numunesinin akmaya başladığı yük değeri ileri çevrimde 160.65 kN olarak ölçülmüş ve bu yükteki tepe deplasmanı değeri ise 15.75 mm olarak elde edilmiştir. Bu yük değerinde zemin kat S101 kolonu üst kısımda bitişik panelde yarılma ve S101-duvar birleşiminde açılma meydana gelmiştir. Bununla beraber zemin S102-K101 birleşiminde kolonda kabuk dökülmesi olup donatı gözükmüştür. Geri çevrimde ise maksimum taşınan yük -161.57 kN, tepe deplasmanı -27.21 mm olarak ölçülmüştür. Deney aşamasında, her çevrimde gözlenen davranış Çizelge 4.16'da verilmiştir. Çizelgede her bir yükleme çevrimi (itme +1 ve çekme -1 nolu olmak üzere), yatay yük değeri, ölçülen deplasman ve gözlemlenen çatlaklarla birlikte verilmiştir.

Çizelge 4.16. 8 nolu G-TPÇ numuneli deneyin her çevriminde gözlenen davranışı

Çevrim No	Maksimum Yatay Yük (kN)	Maksimum Tepe Deplasmanı (mm)	X Panelli Numunede Gözlemlenen Çatlak ve Hasar Oluşumu
+1(itme)	4.92	0.027	Deneyin ilk 6 çevriminde herhangi bir çatlak oluşumu gözlemlenmemiştir. Bu çevrimler akma sınırının altında elastik çevrimler olarak uygulanmış ve numunenin elastik özelliklerini görmek için değerlendirilmiştir.
-1(çekme)	-9.51	-0.033	
+2	10.24	0.101	
-2	-9.27	-0.077	
+3	15.41	0.173	
-3	-15.55	-0.169	
+4	19.67	0.230	
-4	-21.27	-0.305	
+5	25.55	0.328	
-5	-24.93	-0.441	
+6	31.41	0.423	
-6	-30.92	-0.583	S102 kolonunun temelden 21 cm üstünde uzun kenar yönünde 1 numaralı ilk çatlak kolon ortasını geçecek şekilde uzamıştır.
+7	36.85	0.548	İleri çevrimde bu yük değerinde hala bir çatlak gözlemlenmemiştir.
-7	-36.38	-0.798	S102 kolonunda daha önce orta kısma kadar oluşan 1 numaralı çatlak kolonun uzun kenarının sonuna kadar uzadı. Ayrıca S102 kolonu uzun kenar temel birleşiminde çekmeye maruz 2 numaralı çatlak kolon ortasına kadar oluşmuştur.
+8	40.23	0.730	S101 kolonunun temelden 20 cm üstünde uzun kenar yönünde 3 numaralı ilk çatlak kolon ortasına kadar uzamıştır.
-8	-41.96	-0.902	S102 kolonunda daha önce orta bölgeye kadar oluşmuş olan 2 numaralı çatlak kolon uzun kenarı boyunca tamamen uzamıştır.
+9	47.53	1.024	S101 kolonu uzun kenarında çekmeye maruz 4 numaralı çatlak kolon uzun kenarı boyunca meydana gelmiştir. Diğer taraftan kolon ortasına kadar oluşmuş olan 3 numaralı çatlak kolon uzun kenarı boyunca uzamıştır.
-9	-46.88	-1.022	S102 kolonunda temelden 40 cm yukarıda uzun kenar doğrultusunda 5 numaralı yeni bir çatlak oluşmuştur. Ayrıca zemin kat sağ alt diagonal panel temel birleşiminde yatay 6 numaralı yeni bir çatlak oluştuğu görülmüştür.
+10	50.33	1.296	S101 kolonunda uzun kenar doğrultusunda orta mesafeye kadar temelden 32 cm üstte 7 numaralı yeni çatlak oluşmuştur.
-10	-51.19	-1.251	S102 kolonunda uzun kenar boyunca oluşan 1 numaralı çatlakta dallanma oluşmaya başladı.
+11	55.94	1.604	Daha önce S101 kolonunda oluşan 7 numaralı çatlak kolon yüzüne kadar uzadı. Ayrıca S101 kolonunda uzun kenar doğrultusunda temelden 15 cm yukarıda 8 numaralı yeni bir çatlak kolon ortasına kadar meydana geldi. Buna ilaveten 7 numaralı yatay çatlağın 10 cm üstünde 9 numaralı kolon yüzü boyunca yeni bir çatlak oluşmuştur.
-11	-56.10	-1.418	Zemin kat sağ alt paneli S102 kolonuna bağlayan ankraj kenarında 10 numaralı yeni bir çatlak oluşurken daha önce S102 kolonunda oluşmuş olan 5 numaralı çatlak kolon boyunca uzamıştır.
+12	61.66	1.990	S101 kolonunda temelden 65 cm yukarıda oluşan 11 numaralı yeni çatlak kolon uzun kenarı boyunca oluşmuştur.
-12	-60.21	-1.700	Zemin kat sağ alt paneli duvar ile bağlayan ankraj ile paneli zemin ile bağlayan dikey ankraj arasında çizgisel 12 numaralı çatlak meydana gelmiştir.

+13	67.34	2.335	Çekmeye maruz kalan zemin kat sol alt panelde panel genişliği boyunca panel ile zemine bağlı olan ankrajı kesecek şekilde 13 numaralı çatlak oluşmuştur. Dahası S101 kolonunda daha önce oluşan 9 numaralı çatlağın 10 cm üstünde 14 numaralı yeni bir çatlak oluşmuştur. Ayrıca daha önce oluşan 7 numaralı ve 9 numaralı çatlaklarda dallanmalar meydana gelmiştir.
-13	-66.44	-2.041	S102 kolonunda temelden 10 cm yukarıda 15 numaralı yeni bir çatlak kolon ortasına kadar oluşmuştur. Sonra 10 numaralı ankrajda oluşan çatlak bir miktar daha uzama gerçekleşti. Ayrıca zemin kat sol üst panelde panel ortasına kadar 16 numaralı yeni bir çatlak ve bu çatlağın yatay 5 cm mesafesinde zıt yönde panel ortasından itibaren numaralı yeni bir çatlak oluşmuştur.
+14	71.20	2.625	S102 kolonunda daha önce oluşan 8 numaralı çatlak kolon yüzü boyunca uzamıştır.
-14	-72.69	-2.395	Daha öne oluşan 5 numaralı çatlak dallandı. Zemin kat sol alt panelde oluşan 10 numaralı çatlak temele doğru uzadı. Sağ alt panel ve sağ üst panel arasında kalan duvar-S102 kolonu arasında 18 numaralı yeni bir çatlak meydana gelmiştir.
+15	79.39	3.129	Sol alt panel ve sağ alt panel arasında kalan duvar-temel birleşim bölgesinde 19 numaralı yeni bir çatlak oluşmuştur. Daha sonra S101 kolonunda kısa kenar doğrultusunda temelden 30 cm yukarıda 20 numaralı çatlak, 20 numaralı çatlağın 10 cm üstünde 21 numaralı çatlak ve 10 cm altında da 22 numaralı yeni çatlaklar oluşmuştur. 22 numaralı çatlağın 10 cm altında da 23 numaralı çatlak meydana gelmiştir. Ayrıca S101-K101 birleşim bölgesinde kiriş alt sınırından S101 kirişi kısa kenar ortasında kadar 24 numaralı yeni kesme çatlağı gözlemlenmiştir.
-15	-81.51	-2.975	Daha önce oluşan 15 numaralı çatlak kolon yüzüne kadar uzadı. S102 kolonu kısa kenar doğrultusunda temelden 23 cm yukarıda 1 numaralı çatlak ile aynı seviyede 25 numaralı yeni çatlak oluşmuştur. Bunun yanı sıra zemin kat sol üst panelde daha önce oluşan 17 numaralı çatlak 8 cm daha panel boyunca uzamıştır. Sonra S102 kolonunda 26 numaralı yeni çatlak 25 numaralı çatlağın 15 cm üzerinde meydana gelmiştir. Oluşan 26 numaralı çatlağında 20 cm üstünde 27 numaralı yeni bir çatlak gözlemlenmiştir. 27 numaralı çatlağında 15 cm üstünde S102-K101 birleşiminde 28 numaralı yeni bir çatlak oluşmuştur.
+16	90.43	3.823	S101 kolonunda daha önce oluşan 21 numaralı çatlaktan 10 cm yukarıda 29 numaralı yeni çatlak kolon kısa kenarı boyunca oluşmuştur. Ayrıca alt kat panellerinin güçlü olmasından dolayı üst kat S201 kolonunun altından 10 cm yukarıda 30 numaralı çatlak aynı şekilde uzun kenar yönünde de 31 numaralı yeni çatlak meydana gelmiştir.
-16	-89.13	-3.762	Zemin kat sağ alt panelle zemini birleştiren ankrajdan temele doğru uzanan yatay 32 numaralı çatlak oluşmuştur.
+17	98.43	4.259	Daha önce oluşan S101 kolonu kısa kenar doğrultusunda oluşan 29 numaralı çatlak kolon iç yüzünden duvara kadar uzamıştır. Ayrıca 29 numaralı çatlağın 10 cm yukarısında kısa kenar doğrultusunda 33 numaralı yeni çatlak meydana gelmiştir. Buna ilaveten daha önce oluşan 20 ve 21 numaralı çatlaklarda 29 numaralı çatlağa benzer şekilde kolon iç yüzünden duvara doğru uzamıştır. Zemin kat sağ üst panelde duvar ile paneli birleştiren ankrajdan panel üst kısmına kadar 35 numaralı çatlak oluşurken ona zıt yönde 5 cm sağ tarafında dikey yönde 34 numaralı yeni çatlak panel ortasına kadar uzamıştır.

-17	-102.10	-4.708	S102 kolonunda temelden 5 cm yukarıda 36 numaralı kesme çatlağı oluşmuştur. Ayrıca daha önce zemin kat sol üst panel ortasına kadar oluşmuş olan 16 numaralı çatlak 8 cm uzamıştır.
+18	112.18	5.316	Zemin kat sol alt panelde panel ortasına kadar uzanan 38 numaralı yeni çatlak oluşurken, S101 kolonunda daha önce oluşmuş olan 33 numaralı çatlağın 5 cm üzerinde 38 numaralı yeni bir çatlak meydana gelmiştir.
-18	-111.32	-5.814	S102 kolonunda daha önce oluşan 27 numaralı çatlakta dallanma meydana gelirken, S102 kolonundaki 28 numaralı çatlak dikey yönde dallanma göstermiştir. Ayrıca zemin kat sol üst panelde daha önce oluşan 16 numaralı çatlak dallanarak panel sonuna kadar uzarken, 16 numaralı çatlağın 10 cm sol tarafında 39 numaralı çatlak panel ortasını 5 cm geçecek şekilde meydana gelmiştir.
+19	119.26	6.245	Birinci kat sol alt panelde 40 numaralı yeni çatlak oluşurken, 40 numaralı çatlağın 10 cm sağ tarafında panel genişliği boyunca 41 numaralı yeni bir çatlak gözlemlenmiştir. Ayrıca S201 kolonu altından 40 cm yukarıda kısa kenar doğrultusu boyunca 42 numaralı çatlak meydana gelmişken, 42 numaralı çatlağın 10 cm altında kolon uzun kenar boyunca 43, kısa kenar boyunca da 44 numaralı yeni çatlak oluşmuştur. Dahası 42 numaralı çatlak ile aynı seviyede ancak kolon kısa doğrultusu boyunca 45 numaralı çatlak gözlemlenmiştir. Zemin katta ise, sol üst paneli S101 paneline bağlayan ankrajdan başlamak üzere 46 numaralı eğik bir çatlak panel sınırına doğru uzamıştır. Daha önce zemin kat sağ üst panelinde birbirine zıt olarak oluşan 34 ve 35 numaralı çatlaklarda dallanarak bu yük değerinde birleşmiştir.
-19	-123.56	-7.553	Birinci kat sağ alt panelini duvara bağlayan orta ankrajdan aşağı yöndeki panel sonuna kadar 47 numaralı çatlak oluşurken, birinci kat sağ alt panelini kirişe bağlayan ankrajın sol tarafından panel sınırına doğru eğik 48 numaralı yeni çatlak oluşmuştur. Ayrıca S202 kolonunun alt sınırından 15 cm yukarıda 49 numaralı, 49 numaralı çatlaktan 15 cm yukarıda 51 numaralı ve 51 numaralı çatlaktan da 20 cm yukarıda 50 numaralı çatlak meydana gelmiştir. Diğer taraftan birinci kat sol üst paneli K202 kirişine bağlayan dikey ankrajdan panel ortasını 5 cm geçecek şekilde ankraj sağ tarafından başlayarak uzanan 52 numaralı yeni çatlak oluşmuştur. Daha sonra K101-S102 birleşiminde kiriş yüksekliği boyunca dikey 53 numaralı çatlak meydana gelmiştir. Ayrıca 1 numaralı çatlak genişliğinde artış gözlemlenmiştir.
+20	131.07	7.721	Zemin kat sol alt paneli S101 kolonuna bağlayan yatay ankrajın sağ tarafından başlamak üzere ankraj uzunluğunu geçecek şekilde 54 numaralı yeni çatlak meydana gelmiştir. Ayrıca Zemin kat sol alt panel ile sol üst panel arasında kalan duvar ile S101 kolonu arasındaki kısımda 55 numaralı yeni çatlak duvar boyunca oluşmuştur. Aynı anda zemin kat sağ üst panelin S102 kolonuna değen kısmından başlamak üzere panel ortasına kadar uzanan 56 numaralı yeni çatlak gözlemlenmiştir.
-20	-131.83	-9.998	Zemin kat sol üst panelde S101 kolonu panel birleşimindeki ankrajdan başlayarak çapraz şekilde yukarı yönde 57 numaralı yeni çatlak meydana gelmiştir. Daha önce oluşan 5 numaralı çatlak dallanıp genişlerken, zemin kat sağ ve sol alt panellerin arasında kalan duvarın ortasından başlamak üzere Temel uç kısmına kadar uzanan 58 numaralı çatlak meydana gelmiştir. Birinci katta S201-duvar birleşiminde 59 numaralı çatlak

			oluşurken, birinci kat sol üst panelden ankrajdan başlayıp çapraz şekilde yukarı yönde 60 numaralı yeni çatlak gözlemlenmiştir. Daha sonra daha önce zemin kat sağ alt panelde oluşmuş olan 32 numaralı çatlak uzamıştır. Birinci katta ise sağ alt panelde 48 numaralı çatlak uzarken 61 numaralı yeni bir çatlak 48 numaralı çatlağın 5 cm sağ tarafında oluşmuştur.
+21	142.01	9.532	Zemin kat sağ üst panel kenarından duvara doğru 62 numaralı çatlak oluşmuştur. Ayrıca sağ üst panel altından sağ alt panel üstüne kadar olan mesafede duvarda 63 numaralı çatlak gözlemlenmiştir. S201 kolonu kısa kenar yönünde 64, 65 ve 66 numaralı yeni çatlaklar yatay şekilde meydana gelmiştir. Bununla beraber 3, 7, 9 ve 14 numaralı daha önce oluşan çatlaklarda genişlemeler meydana gelmiştir.
-21	-141.15	-13.787	Daha önce oluşan 16 ve 17 numaralı çatlaklar uzadı, çatallandı ve belli mesafelerdeki çatlaklar genişledi. Zemin kat sağ üst panelin kolon kiriş birleşim bölgesinden başlamak üzere diyagonal 67 numaralı çatlak meydana gelmiştir. S102-K101 birleşim bölgesinde betonda ezilme görülmüştür. Daha önce oluşmuş olan 10 ve 18 numaralı çatlak genişlikleri arttı. 32 numaralı çatlak dallandı ve 27 numaralı çatlak kolon uzun kenar boyunca uzadı. Daha sonra birinci katta S202 kolonu uzun kenarında 68 ve 69 numaralı çatlaklar meydana gelmiştir. Ayrıca daha önce S202 kolonunda oluşan 50 ve 51 numaralı çatlaklarda uzun kenar boyunca uzamıştır.
+22	151.26	12.252	Daha önce oluşan zemin kat sağ üst paneldeki 34 numaralı çatlak panel genişliği boyunca yukarı yönde uzamıştır. Ayrıca birinci kattaki S201 kolonu kısa kenar doğrultusunda alttan 15 cm yukarıda 70 numaralı yeni çatlak oluşmuştur. Daha sonra birinci kat sol alt panelde üstten aşağı doğru uzanan 71 ve onun 30 cm sağında yukarıdan aşağı doğru 72 numaralı yeni çatlak meydana gelmiştir. Bu arada 56 numaralı çatlak uzadı. Zemin kat sol üst panelde diyagonal 73, birinci kat üst paneli üst kirişe bağlayan düşey ankraj boyunca 74 ve Zemin kat sağ üst panelde panel genişliğinde 75 numaralı yeni çatlaklar meydana gelmiştir. Ayrıca S101-K101 birleşiminde 76 numaralı eğik çatlak oluşmuştur.
-22	151.08	-19.025	S102-K101 birleşim bölgesinde 28 numaralı çatlak genişliği iyice arttı. Çok sayıda birleşim bölgesinde kılcal çatlaklar oluştu. Ezilme artışları devam etti. S101'e bitişik duvardaki 55 numaralı çatlak genişliği 1 cm'e kadar ulaştı. Ayrıca daha önce zemin kat üst panelde oluşan 57 numaralı çatlak genişliğindeki artış 1cm'e kadar ulaştı.
+23	160.65	15.751	S102 kolonuna bitik 18 numaralı çatlak genişliğinde artış belirgin hale geldi. Zemin kat sağ üst panelde daha önce oluşan 56 numaralı çatlak genişliği1cm'e ulaştı. Birinci kat sol üst panelde köşe bölgelerinde dökülmeler meydana gelmiştir. Ayrıca S101 kolonu uzun kenar doğrultusu çekme kuvvetinden dolayı daha önce oluşan 4 numaralı çatlak genişliği artmıştır. ***Bu çevrimde, numune itme yönünde maksimum yatay yük taşıma kapasitesine ulaşmıştır.***
-23	-161.57	-27.219	10 numaralı çatlak genişliğindeki artış belirginleşti. Zemin kat sol panelde diyagonal şekilde uzanan 77 numaralı yeni çatlak meydana geldi. S102-K101 birleşimindeki ezilme iyice arttı, kabuk beton döküldü ve S102'deki boyuna donatı görünür hale geldi. Yapı akma noktasına az kaldığının işaretlerini gösterdi. ***Bu çevrimde, numune çekme yönünde maksimum yatay yük taşıma kapasitesine ulaşmıştır.***

DEPLASMAN KONTROLLÜ YÜKLEMEYE GEÇİLDİ.			
+24	147.10	18.475	**Numune 170 kN'a gidilmeye çalışılırken aktı.** S101 kolonu üst kısmında kesme iyice belirginleşti. Güçlü panellerden dolayı daha zayıf kalan kolonlarda kesme çatlakları arttı. Zemin kat duvarında sıva dökülmeleri başladı ve daha önce var olan 33 ve 38 numaralı çatlak genişlikleri belirgin ölçüde arttı. S201 kolonu kısa kenarında olan 65 numaralı çatlak uzun kenar doğrultusu boyunca uzadı. Zemin kat sol üst panel ezildi, köşe bölgesinde dökülmeler başladı. Zemin kat duvarı S101 kolonu arasındaki açıklık 2 cm seviyesine kadar arttı. S102 temel bileşiminde yoğun kılcal çatlaklar oluştu.
-24	-135.50	-33.467	**Numune -170 kN'a gidilirken akmıştır**. Deplasman kontrollü yüklemeye geçildiğinden çekme durumunda 5 cm deplasman artışları ile yük okumaları yapılmıştır. Zemin kat S102-K101 kolon kiriş birleşiminde belirgin bir kesme meydana gelmiştir. Kabuk beton artışları olup donatıda eğilme belirgindir. Zemin kat sağ üst panel ve bu panelin alt ve üst kısmındaki duvarlarda bir hat şeklinde daha önce oluşan yukarıdan aşağıya doğru 62, 35, 34 ve 63 numaralı çatlakları takip eden kılcal çatlak meydana gelmiştir.
+25	100.17	27.813	Deplasman kontrollü yüklemede itme durumu için ileri çevrimlerde 5 mm'lik deplasman artışları ile okumalar gerçekleştirilmiştir. Zemin kat sağ ve sol üst panel ortasından başlayan ve sağ üst panel ile orta paneli birbirine bağlayan birleşim bölgesinden geçen ve sağ üst panel altındaki duvarda daha önce oluşmuş olan 63 numaralı çatlağında üzerinden geçen yaklaşık 1 cm açıklığında belirgin bir yarılma meydana gelmiştir. S101-K101 birleşim bölgesindeki kabuk beton dökülmeleri artmıştır.
-25	-90.89	-38.679	Deplasman kontrollü yüklemede çekme durumu için geri çevrimlerde 5 mm'lik deplasman artışları ile okumalar gerçekleştirilmiştir. S102 kolonu üst kısmında kabuk beton dökülmeleri kısa kenar boyunca tamamen gerçekleşti ve donatılar tamamen ortaya çıktı. S101 kolonu üst kısmında belirgin eğilme gözlendi. Zemin katta S101 kolonuna bitişik 55 numaralı duvar ayrımı açılan boşluktan diğer taraf görülecek şekilde belirginleşti.S102 kolonunda kolon yüksekliği boyunca kabuk beton dökülen kısmın hemen altından başlayarak yukarıdan aşağıya doğru kılcal çatlaklar uzayarak devam etti.
+26	75.123	33.356	Zemin kat sağ üst paneli uç kısımları duvardan ayrılmaya başladı. Zemin kat duvarında gerilmeler iyice arttı. Ancak panel hale işlevini gerçekleştirdiği görüldü. Özellikle birleşim bölgesindeki panel yük aktarımına devam etmektedir. S101 kolonu üst kısmında kabuk beton tamamen döküldü ve donatılarda eğilmeler artmaya devam etti. Plastik mafsallaşma gözlendi. Ayrıca Zemin kat sol üst panelde oluşan hasarlar artmaya devam etti.
-26	-62.51	-44.852	S101'e bitişik duvarda 5 cm açılma meydana geldi. Zemin kat sol üst panelde Köşe bölgesi tamamen ezildi. S101 kolonu kısa kenar doğrultusunda ezilmeler arttı. Ayrıca S101 kolonunda kabuk beton dökülen kısmın hemen altından başlamak üzere kolon yüksekliği boyunca kabuk beton dökülmeleri meydana geldi. Plastik mafsallaşma gözlendi. S101 kolonu alt noktası ile üst noktası arasında belirgin göreli deplasman oluştu. Zemin kattaki rijitliğin yüksek olmasından dolayı üst kata ilerleyen hasarlar olsa da ciddi bir hasar üst katta oluşmamıştır.

+27	58.31	44.358	Zemin kat sağ üst panel S102 kolonunu birbirine bağlayan ankrajdan ayrıldı. Duvardan da belirgin olarak ayrılan panelin orta bölgedeki panel ile bağlantısı da iyice zayıfladı. Ancak orta bölgeye yakın epoksi ile duvara bağlı kısım çevrimlerde yük aktarmaya devam etmektedir.
-27	-34.40	-54.851	Bu aşamada 100 mm'lik deplasman artışları sonucu davranış izlenmeye devam edilmiştir. Birinci katta ciddi hasarlar gözlenmeyip zemin katta hasarlar artmaya devam etti. Özellikle S101 ve S10 kolon alt üst uçlarının K101 ile birleşim bölgesindeki hasarları iyice arttı.
+28	49.18	55.232	Zemin kat sağ üst ve sol üst panel arasında kalan duvardaki sıva dökülmeleri arttı. S101 kolonu kısa kenar uç kısmındaki kabuk beton kolon yüksekliği boyunca döküldü. S101 kolonu uç kısmında donatı eğilmesi ve plastik mafsallaşma ciddi oranda arttı. Beton taşıma gücü kalmadı.
-28	-26.78	-66.108	Zemin kat sol üst paneli S101 kolonuna bağlayan ankrajdan ayrılma tamamen gerçekleşti.S102 kolonu orta bölgesinden eğildi. Zemin kat sağ üst panel altındaki duvarda dökülmeler iyice arttı.
+29	46.60	66.214	Kalıcı deformasyonlar zemin katta artarken duvarda dökülmeler devam etti. S101 kolonu kısa kenar uç bölgelerinde kolon yüksekliği boyunca beton döküldü ve donatıda kalıcı hasarlar tamamen ortaya çıktı.
-29	27.24	-77.466	Zemin katta alttan 50 cm yukarıda artan mafsallaşmalar sonucu numunenin enerji tüketme kapasitesi iyice azaldı.
+30	37.62	76.84	Bu son 8 çevrimde; S101 ve S102 kolonlarında meydana gelen hasarlar ile betonarme çerçevede genel olarak güçlü kiriş-zayıf kolon davranışı gözlemlenmiştir. Numunede meydana gelen bu hasarlardan ve sistem stabilitesinin tehlikeye girmesinden dolayı çatlak numaralandırılması yapılmamıştır. Sadece oluşan hasarların çekilen fotoğraflarla tespiti yapılmıştır.
-30	-10.64	-88.120	
+31	+35.92	86.641	
-31	-6.95	-99.258	
+32	34.52	+98.729	
-32	-6.149	-110.789	

X şeklinde yapılan güçlendirme neticesinde ileri ve geri çevrimde taşıma gücü seviyesine panel yerleşimlerinin simetrik olmasından dolayı yaklaşık benzer yük değerinde ulaşılmışken, referans numuneye göre ileri çevrimde 3.61, geri çevrimde ise 3.74 kat dayanım artışı görülmüştür. Zemin kat sol üst paneli S101 kolonuna bağlayan ankrajdan başlamak üzere panel üzerinde yarılmalar ve S101'e bitişik duvarda ayrışma gözlenmiştir. X şeklinde yapılan güçlendirme etkisi ile üst katlarda da hasar oluşması gözlenmiştir. Şekil 4.88'de G-TPÇ numunenin akma anındaki ileri ve geri çevrimdeki genel görünüşü, Şekil 4.89'da ise akma anında ileri ve geri çevrimde duvarlarda birleşim bölgelerinde ortaya çıkan hasarların görünüşleri verilmiştir.



Şekil 4.88. G-TPÇ deney numunesinin akma anındaki görünüşü



Şekil 4.89. G-TPÇ deney numunesinin akma anında meydana gelen kalıcı hasar durumu

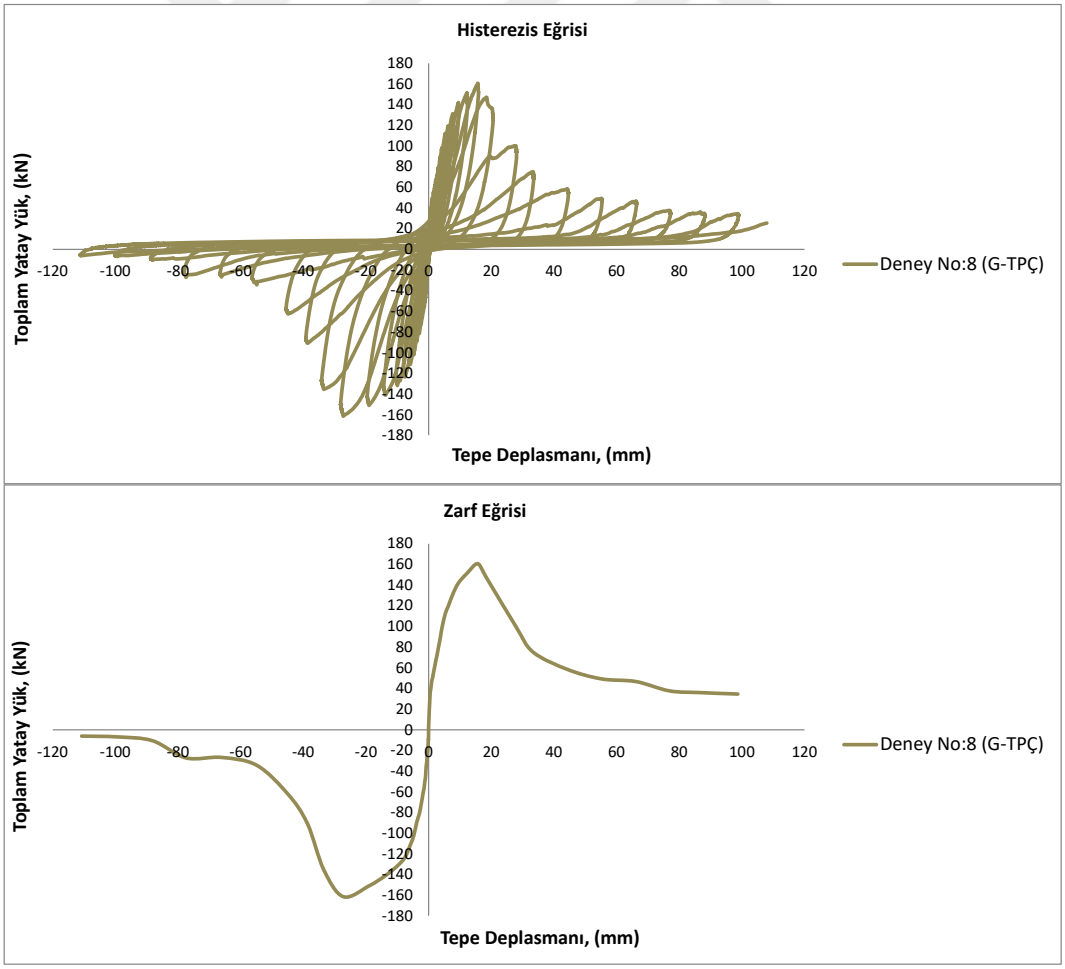
G-TPÇ deney numunesinin itme durumunda 160.65 kN olan maksimum yatay yük değeri 32. çevrim sonunda 34.52 kN'a, çekme durumunda ise -161.57 kN olan maksimum yatay yük değeri -6.95 kN'a düşmüştür. Yatay yük taşıma kapasitesinde itme durumunda yaklaşık %78 oranında bir azalma meydana gelmişken çekme durumunda yaklaşık %95.6'lık bir azalma meydana gelmiştir. Şekil 4.90'da G-TPÇ numunenin akmadan sonra deney sonuna kadar oluşan hasarların genel görünüşü gösterilmiştir.



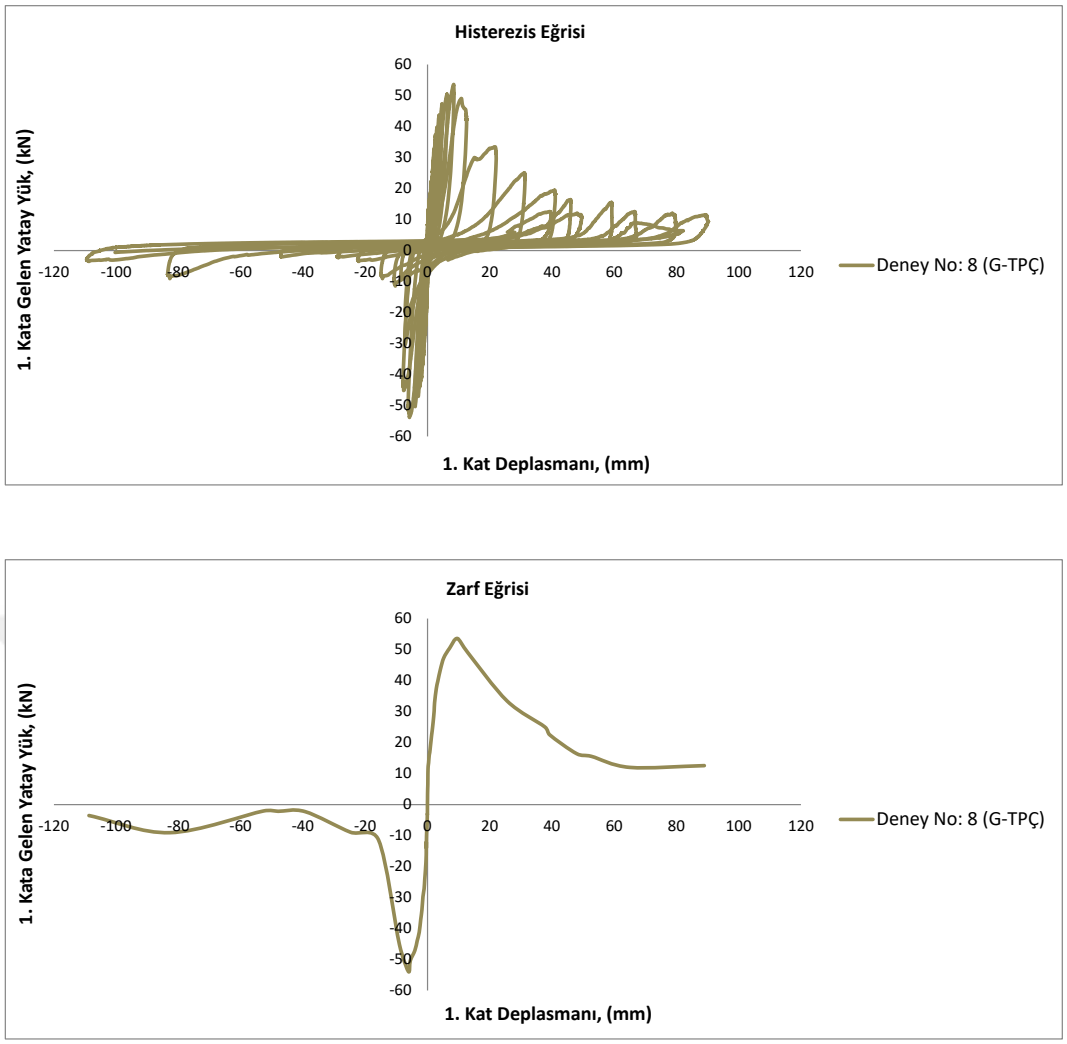
Şekil 4.90. G-TPÇ numunenin deney sonundaki kalıcı hasarlı görünüşü

G-TPÇ numune için deney sonucunda sırasıyla aşağıdaki grafikler elde edilmiştir.

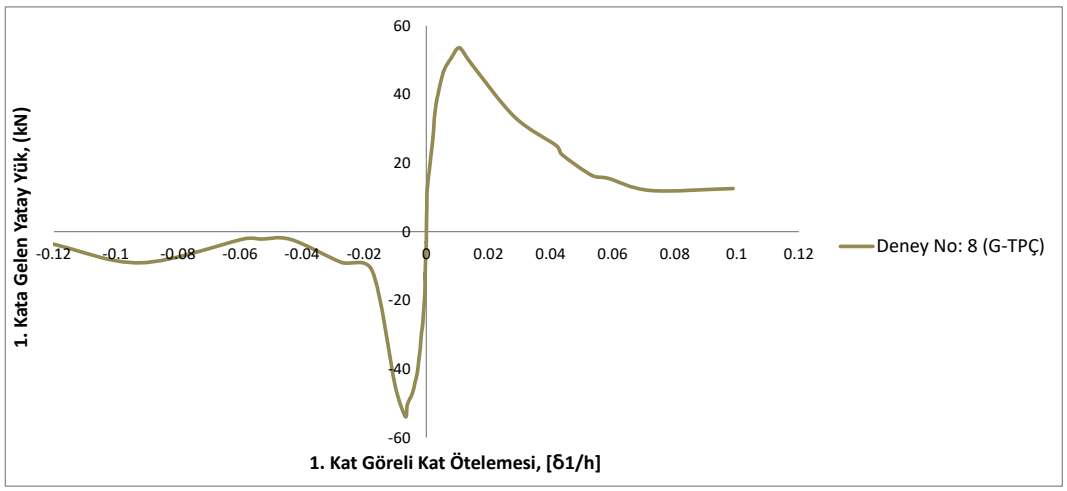
1. Toplam Yatay Yüke (Taban Kesme Kuvveti) karşılık – Tepe Deplasmanı grafiği (Histerezis Eğrisi) Şekil 4.91'de,
2. Toplam Yatay Yüke (Taban Kesme Kuvveti) karşılık – Tepe Deplasmanı grafiği (Zarf Eğrisi) Şekil 4.91'de,
3. 1. Kata ait Yatay Yüke karşılık – 1.Kat Deplasmanı grafiği (Histerezis Eğrisi) Şekil 4.92'de,
4. 1. Kata gelen Yatay Yüke karşılık – 1.Kat Deplasmanı grafiği (Zarf Eğrisi) Şekil 4.92'de,
5. 1. Kata gelen Yatay Yüke karşılık – 1. Kat Ötelenme grafiği Şekil 4.93'de,
6. Sistem rijitlik azalım grafiği Şekil 4.94'de,
7. Sistem süneklik değerlendirme grafiği Şekil 4.95'de
8. Kümülatif toplam tüketilen enerji - 2. kat ötelenme oranı grafiği ise Şekil 4.96' da gösterilmiştir.



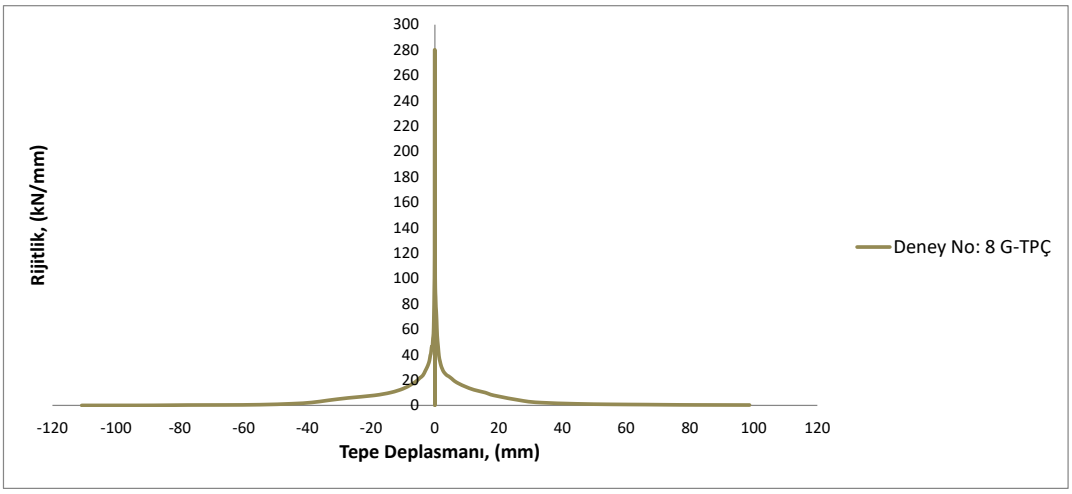
Şekil 4.91. G-TPÇ deney numunesi tepe deplasmanına bağlı histerezis ve zarf eğrisi



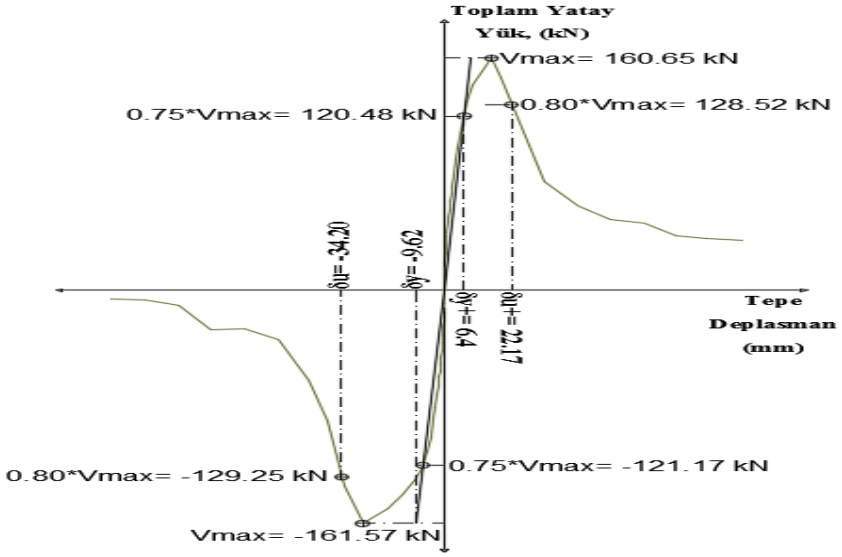
Şekil 4.92. G-TPÇ deney numunesinin 1.kat histerezis ve zarf eğrisi



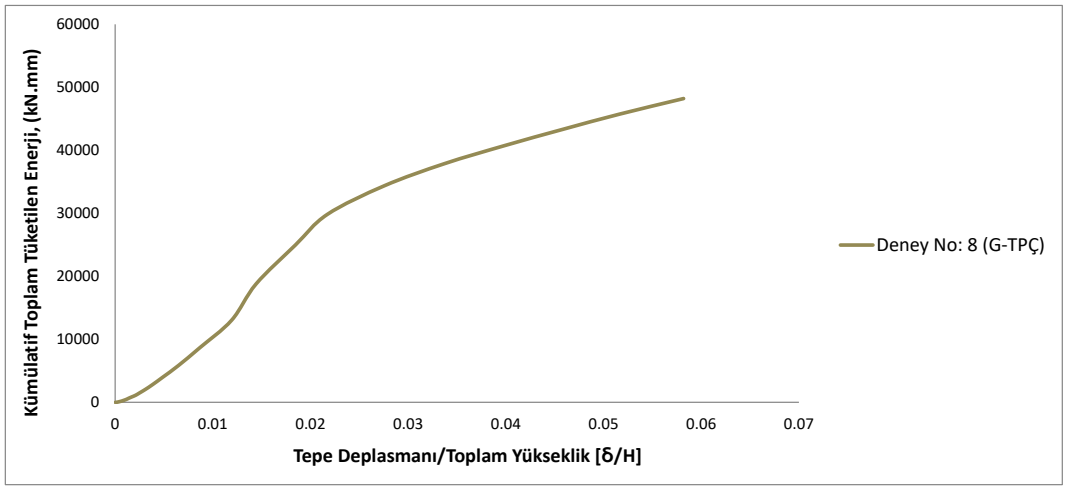
Şekil 4.93. G-TPÇ deney numunesine ait 1. Kat yatay yük – ötelenme oranı grafiği



Şekil 4.94. G-TPÇ deney numunesine ait rijitlik azalım grafiği



Şekil 4.95. G-TPÇ deney numunesine ait süneklik değerlendirilmesi grafiği



Şekil 4.96. G-TPÇ deney numunesine ait kümülatif toplam tüketilen enerji–Toplam Yükseklik oranı grafiği

Taban kesme kuvvetine karşılık gelen tepe deplasmanı histerezis eğrilerinin altında kalan alanın kümülatif hesaplanması ile referans numunenin enerji tüketme kapasitesi hesaplanmış olup Şekil 4.96'de gösterilmiştir. Ayrıca deneyin her bir itme ve çekmeden oluşan çevrimlerinden elde edilen maksimum yatay yük değerlerine karşılık gelen yatay deplasman değerlerine oranlanması ile de her bir çevrimde elde edilen rijitlik değerleri Şekil 4.94'de ve süneklik değerlendirilmesi Şekil 4.95'de gösterildiği gibi elde edilmiştir.

5. DENEY SONUÇLARININ KARŞILAŞTIRILMASI

Deneysel çalışma sonuçları 4. bölümde her bir deney numunesi için verilmişti. Bu bölümde ise panel genişliğine göre iki gruba ayrılan güçlendirme elemanlarının referans numuneyle ve birbirleriyle karşılaştırılması yapılmıştır. Yapılan çalışmanın amacı önüretimli panellerin güçlendirmedeki başarısını test etmek olduğundan, deprem dayanımı zayıf olan yalnızca dolgu duvarlı betonarme çerçeveden oluşan referans numune güçlendirilmiş numuneler ile karşılaştırılmıştır. Bunun için öncelikle panel genişliği 200 mm olan A-TPÇ, B-TPÇ ve C-TPÇ numuneleri ile referans numune karşılaştırılmıştır. Daha sonra panel genişliği 200 mm olan güçlendirilmiş deney numuneleri ve referans numune tek bir grafik üzerinde değerlendirilmiştir. İkinci grup güçlendirme için, panel genişliği 300 mm olan D-TPÇ, E-TPÇ, F-TPÇ ve G-TPÇ numuneleri ile referans numune karşılaştırılmıştır. En sonunda da panel genişliği 200 mm ve 300 mm olan paneller ile referans numune karşılaştırılarak değerlendirmeler ve öneriler yapılmıştır. Yapılan karşılaştırmalar için oluşturulan gruplar ise şu şekildedir:

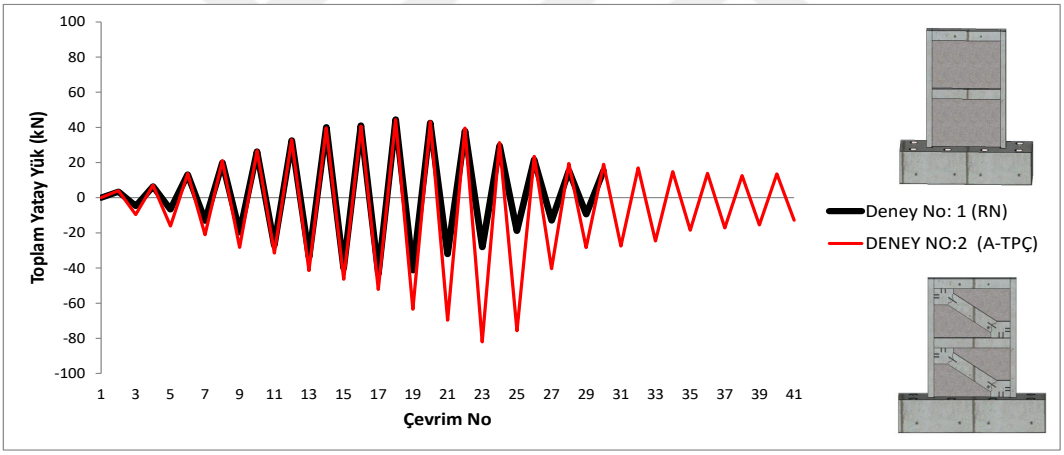
a) Referans numune ile panel genişliği 200 mm A-TPÇ numunesinin karşılaştırılması
b) Referans numune ile panel genişliği 200 mm B-TPÇ numunesinin karşılaştırılması
c) Referans numune ile panel genişliği 200 mm C-TPÇ numunesinin karşılaştırılması
d) Referans numune ile panel genişliği 300 mm D-TPÇ numunesinin karşılaştırılması
e) Referans numune ile panel genişliği 300 mm E-TPÇ numunesinin karşılaştırılması
f) Referans numune ile panel genişliği 300 mm F-TPÇ numunesinin karşılaştırılması
g) Referans numune ile panel genişliği 300 mm G-TPÇ numunesinin karşılaştırılması

Çalışmanın bu bölümünde, karşılaştırma amaçlı verilecek grafikler şunlardır;

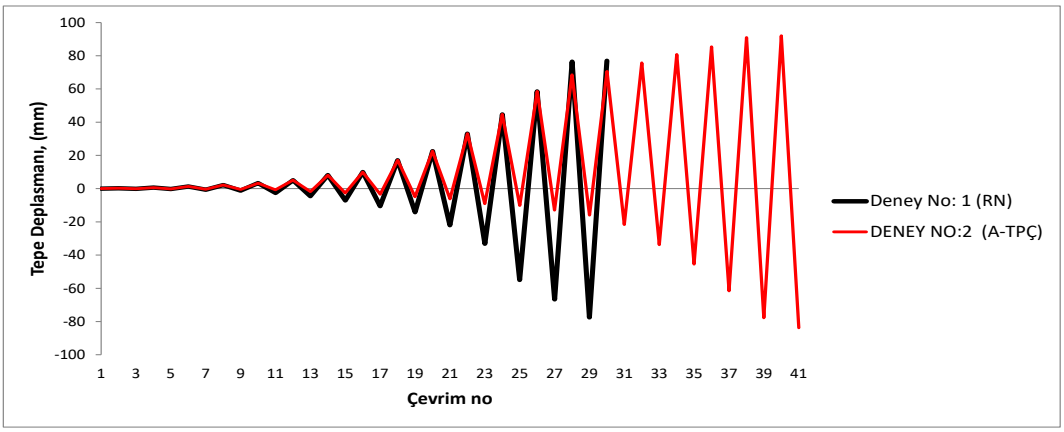
a) Deney numunelerine uygulanan yükleme geçmişi
b) Deney numunelerine uygulanan deplasman geçmişi
c) 1. kat yatay yük – 1. kat deplasmanı dayanım zarfı
d) Toplam yatay yük – Tepe deplasmanı dayanım zarfı
e) Toplam yatay yük – Tepe deplasmanına bağlı rijitlik azalım grafiği
f) Kümülatif toplam tüketilen enerji – ötelenme oranı grafiği

5.1.Referans Numune (RN) ile A Tipi Önüretimli Panellerle Güçlendirilmiş Numunenin Karşılaştırılması (1 ve 2 Nolu Deneyler)

İlk olarak, 1 nolu referans deney numunesi ile 2 nolu tuğla dolgu duvarları panel genişliği 200 mm olan A tipi panellerle güçlendirilmiş deney numunesi karşılaştırılmıştır. 1 nolu ve 2 nolu deney numunelerinin her ikisinde de akma noktasına kadar ±5 ve ±10 kN yük artırımı uygulanmıştır. Akma noktasına ulaştıktan sonra ise, yatay yük 1 nolu deney numunesinde 10 mm deplasman artımı ile uygulanmış, 2 nolu deney numunesinde ise tek taraflı güçlendirme yapıldığı için ileri ve geri çevrimlerde farklı akma yükü oluşmuştur. Bunun için ileri çevrimde referans numuneye benzer yaklaşık 10 mm deplasman artımı ile gidilirken geri çevrimde önce küçük deplasman artışları sonra ±5mm artış ve daha sonra ±10 mm artış ile deney tamamlanmıştır. 1 ve 2 numaralı deneylerin karşılaştırmalı yükleme geçmişleri, Şekil 5.1 ve Şekil 5.2'de yük ve deplasman değerlerine göre ayrı ayrı verilmiştir.



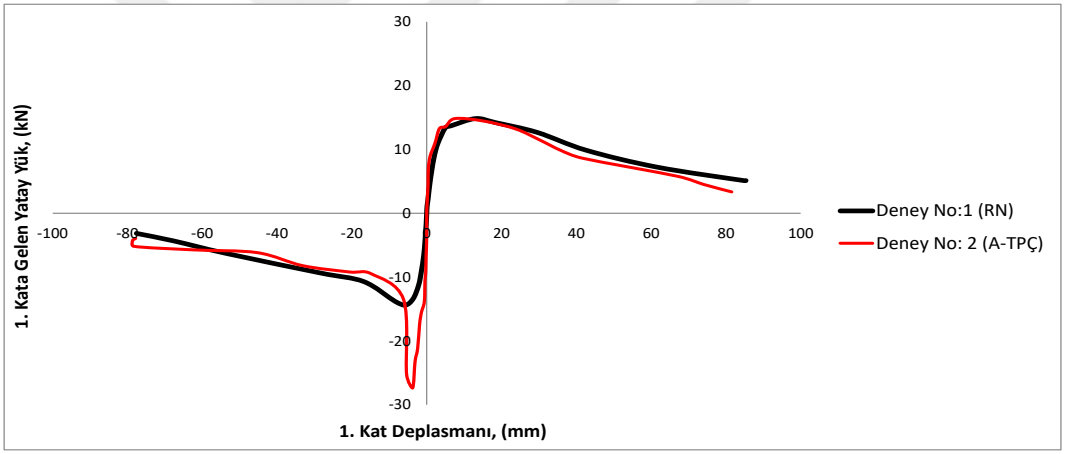
Şekil 5.1. 1. ve 2. deneylerin yükleme geçmişleri (yatay yüke göre)



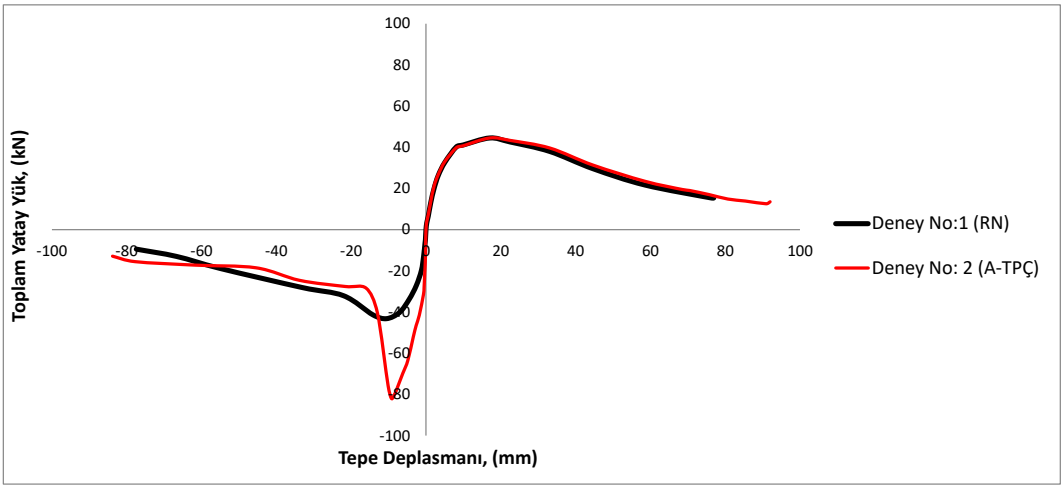
Şekil 5.2. 1. ve 2. deneylerin yükleme geçmişleri (tepe deplasmanına göre)

RN ve A-TPÇ'ye ait dayanım zarflarının karşılaştırması Şekil 5.3 ve Şekil 5.4'de verilmiştir. Şekil 5.3'de 1. kat yatay yük - 1. kat deplasmanını gösterirken, Şekil 5.4 Toplam yatay yükün-Tepe deplasmanına göre değişimini göstermektedir. Şekil 5.3'deki 1. kat dayanım zarfları için yatay yük taşıma kapasitesinde herhangi bir artış meydana gelmemiştir. Bunun sebebi A-TPÇ'de ileri yönde herhangi bir panelin olmayışından dolayı yatay yüke katkı sağlamamasıdır. Ancak geri çevrimde var olan panel RN'ye göre % **90** yatay yük kapasitesinde artış meydana getirmiştir.

İkinci kata gelen yatay yük değerleri açısından karşılaştırma yapıldığında ileri çevrimde bir değişim olmazken, geri çevrimde RN 28.79 kN maksimum yatay yük taşırken, A-TPÇ numunesi 54.71 kN maksimum yatay yük taşımıştır. Şekil 5.4.'deki toplam sisteme gelen yatay yüke bağlı tepe deplasmanının olduğu dayanım zarflarında RN geri çevrimde 43.20 kN yük taşırken, A-TPÇ 82.07 kN yük taşımıştır. Bu da RN'ye göre geri çevrimde % **90** artış meydana geldiğini göstermektedir.

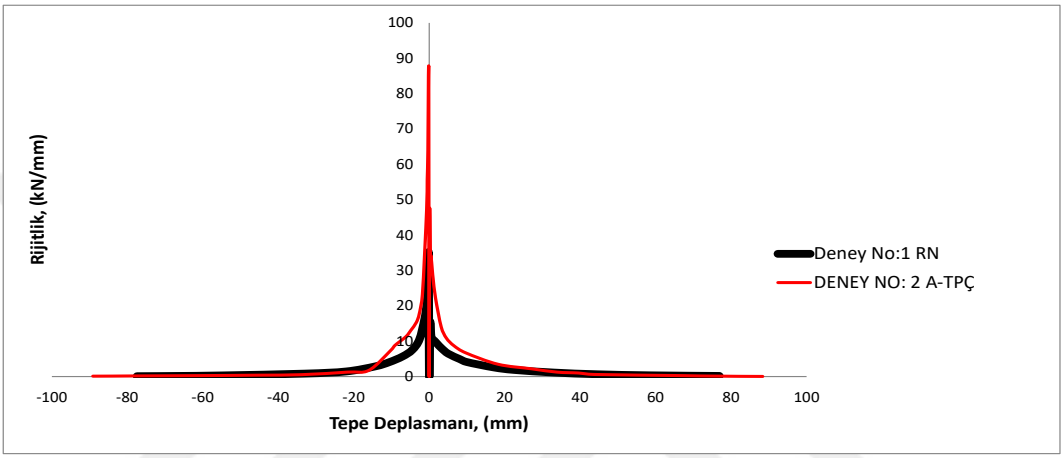


Şekil 5.3. 1. ve 2. deney numunelerinin 1. kat yatay yük – 1. kat deplasman dayanım zarfları



Şekil 5.4. 1. ve 2. deney numunelerinin toplam yatay yük – tepe deplasman dayanım zarfları

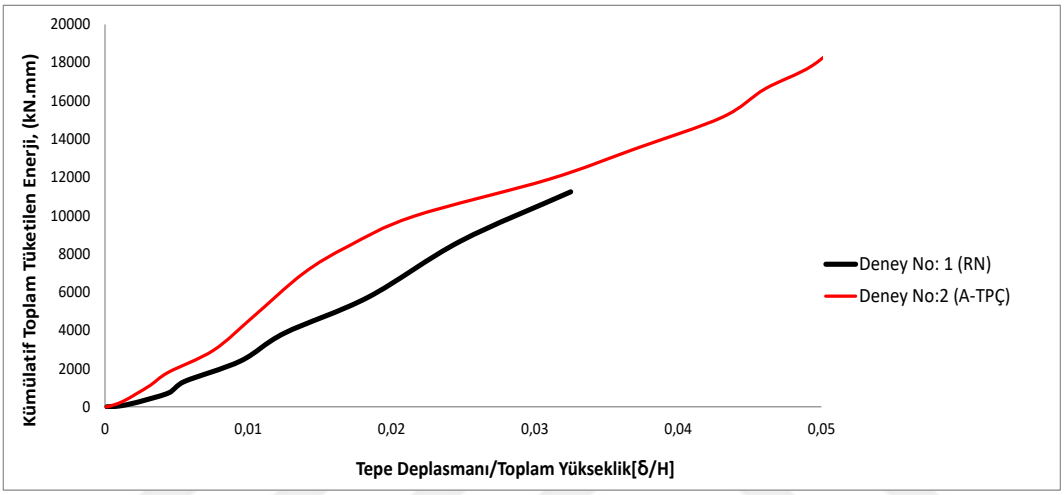
Rijitlik azalım grafikleri 1. ve 2. deney numuneleri için Şekil 5.5'de verilmiştir. Şekil 5.5'de verilen Toplam yatay yük – Tepe deplasmanı için verilen rijitlik azalımı grafiğinden görüldüğü gibi, 1 nolu deneyde başlangıç rijitliği ileri çevrimde 15.15 kN/mm, geri çevrimde 33.98 kN/mm iken, 2 nolu deneyde başlangıç rijitliği ileri çevrimde 22.20 kN/mm ve geri çevrimde 87.85 kN/mm'dir. İlerleyen ileri ve geri çevrimlerde ise rijitlikler hızla düşmüştür. Şekil 5.5'de verilen rijitilik azalım grafiğine göre 2. deney numunesi 1. deney numunesine göre ileri çevrimde %46.5 artış sağlarken, geri çevrimde %158.5 daha fazla başlangıç rijitliğine sahiptir.



Şekil 5.5. 1. ve 2. deney numunelerinin rijitlik azalım eğrileri (Toplam yatay yük – Tepe deplasmanı için)

RN ve A-TPÇ deney numunelerine ait kümülatif toplam tüketilen enerji – Tepe deplasmanı/toplam yükseklik (ötelenme oranı) grafikleri Şekil 5.6.'da gösterilmiştir. Daha önceki bölümde kümülatif toplam tüketilen enerjinin, her çevrimde tüketilen enerjilerin ardışık olarak toplanmasıyla elde edildiği belirtilmişti. Şekil 5.6'da görüldüğü gibi, RN deney numunesi deney sonunda 0.032'lik deplasman oranı için 11.24 kj (kilojoule) enerji tüketmişken, A-TPÇ deney numunesi 0.052'lik deplasman oranında 19.52 kj enerji tüketmiştir. A-TPÇ deney numunesinin RN'ye göre deney sonunda %**73.6** oranından daha fazla enerji tükettiği görülmüştür. TDY-2007'de göreli kat öteleme oranı δ_{mak}/h oranı ile sınırlandırılmıştır. Bu yönetmeliğe göre güvenlik sınırı 0.03, göçme sınırı 0.04 olarak verilmiştir. Diğer bir deyişle gerçek bir yapıda tuğla duvarın dışında bulunan betonarme çerçevenin yeterince sünek olması durumunda ileri hasar düzeyinde olacağını, 0.04 oranını aşması halinde ise göçme bölgesine gireceğini söylemektedir. Bu açıdan bakıldığında güçlendirilmiş A-TPÇ deney numunesinin bu sınır değerin altında kaldığı görülmektedir.

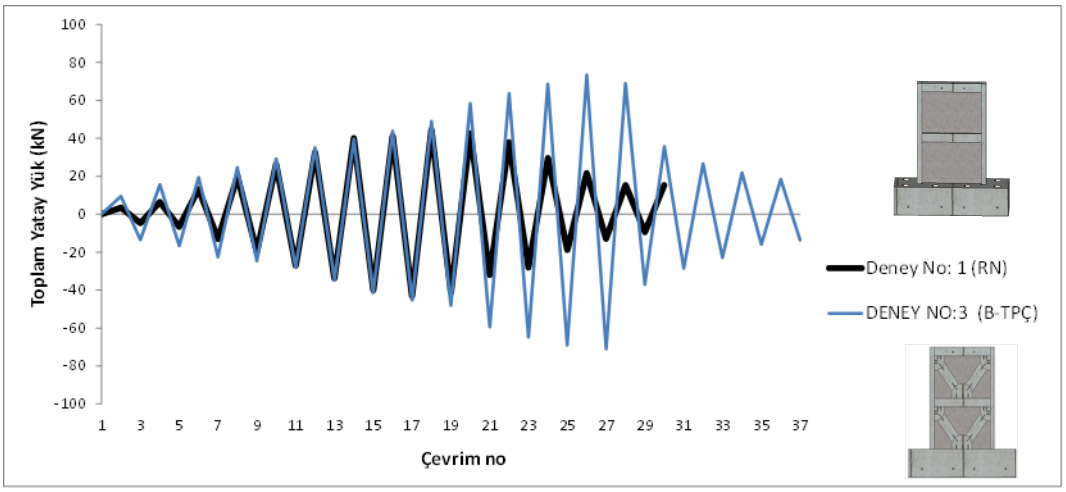
Güvenlik sınırı olan % 3 için karşılaştırma yapılırsa RN 10.40 kj enerji tüketmişken, A-TPÇ 11.69 kj enerji tüketmiştir. A-TPÇ, RN'ye göre %12.5 daha fazla enerji tüketmiştir. 0.04 oranındaki göçme sınırı için karşılaştırma yapıldığında 1 nolu deney numunesinin maksimum 0.032 seviyesine ulaştığı ve bu orandaki değerinin 11.24 kj olduğu buna karşılık, 2 nolu deney numunesinin 0.04 oranındaki değerinin 14.30 kj olduğu hesaplanmıştır. Buna göre % 4 göçme sınırı için A-TPÇ, RN'ye göre % **27** daha fazla enerji tüketmiştir.



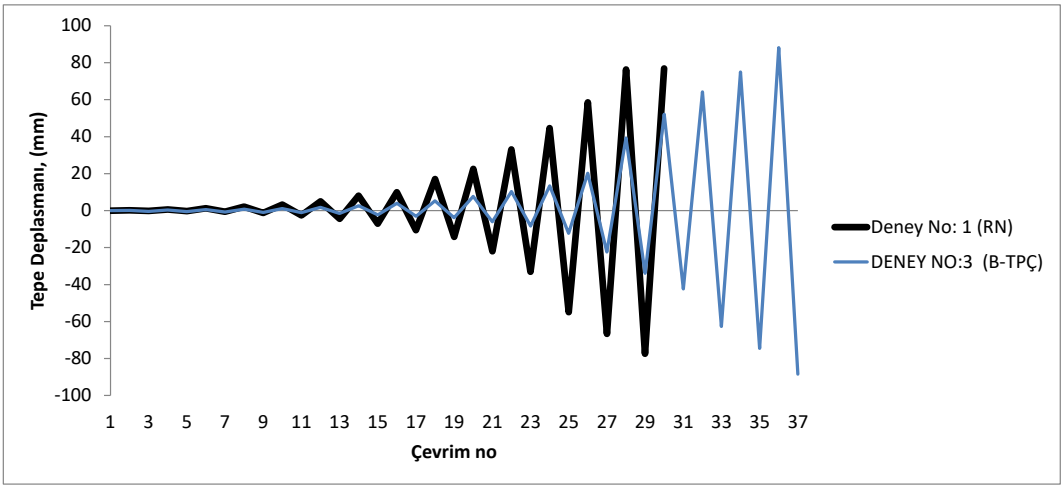
Şekil 5.6. 1. ve 2. deneyler için kümülatif toplam tüketilen enerji – ötelenme oranı grafikleri

5.2.Referans Numune (RN) ile B Tipi Önüretimli Panellerle Güçlendirilmiş Numunenin Karşılaştırılması (1 ve 3 Nolu Deneyler)

Bu bölümde, 1 nolu referans deney numunesi ile 3 nolu tuğla dolgu duvarları panel genişliği 200 mm olan B tipi panelle güçlendirilmiş deney numunesi karşılaştırılmıştır. 1 nolu ve 3 nolu deney numunelerinin her ikisinde de akma noktasına kadar ±5 ve ±10 kN yük artırımı uygulanmıştır. Akma noktasına ulaştıktan sonra ise, yatay yük 1 nolu deney numunesinde 5 ve 10 mm deplasman artımı ile uygulanmış, 3 nolu deney numunesinde ise merkezi V şeklinde güçlendirme yapıldığı için ileri ve geri çevrimlerde yaklaşık benzer akma yükü oluştuğudan ileri ve geri çevrimde referans numuneye benzer yaklaşık 5 ve 10 mm deplasman artımı ile deney tamamlanmıştır. 1 ve 3 numaralı deneylerin karşılaştırmalı yükleme geçmişleri, Şekil 5.7 ve Şekil 5.8'de yük ve deplasman değerlerine göre ayrı ayrı verilmiştir.

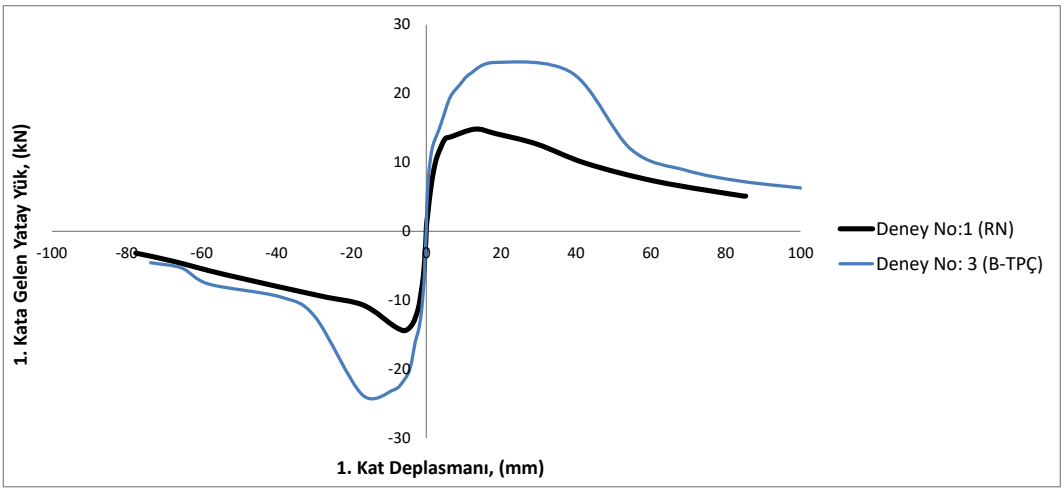


Şekil 5.7. 1. ve 3. deneylerin yükleme geçmişleri (yatay yüke göre)

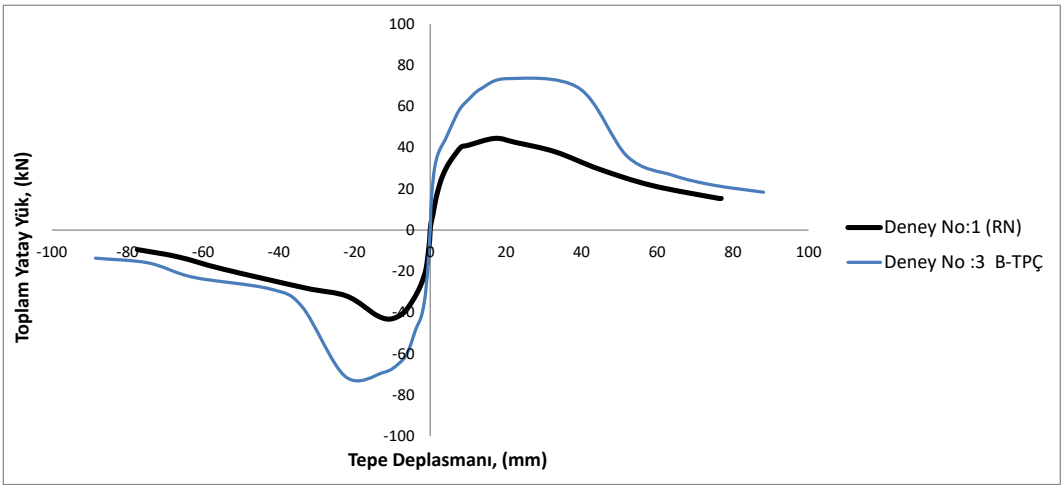


Şekil 5.8. 1. ve 3. deneylerin yükleme geçmişleri (tepe deplasmanına göre)

RN ve B-TPÇ'ye ait dayanım zarflarının karşılaştırması Şekil 5.9 ve Şekil 5.10'da verilmiştir. Şekil 5.9'da 1. kat yatay yük - 1. kat deplasmanını gösterirken, Şekil 5.10 Toplam yatay yükün-Tepe deplasmanına göre değişimini göstermektedir. 1. kat dayanım zarfları için yatay yük taşıma kapasitesindeki artış ileri ve geri yön için de %65'dir. İkinci kata gelen yatay yük değerleri açısından karşılaştırma yapıldığında ileri yönde RN 29.66 kN, geri yönde 28.79 kN yük taşırken, B-TPÇ numunesi ileri yön için 48.99 kN, geri yön için 47.39 kN maksimum yatay yük taşımıştır. Şekil 5.10'daki toplam sisteme gelen yatay yüke bağlı tepe deplasmanının olduğu dayanım zarflarında RN ileri ve geri yönde sırasıyla 44.50 kN ve 43.19 kN yük taşırken, B-TPÇ ileri ve geri yönde sırasıyla 73.50 kN ve 71.10 kN yük taşımıştır. Bu da RN'ye göre ileri ve geri yönde sırasıyla **1.65** kat ve **1.64** kat yatay yük taşıma kapasitesinde artış meydana geldiğini göstermektedir.

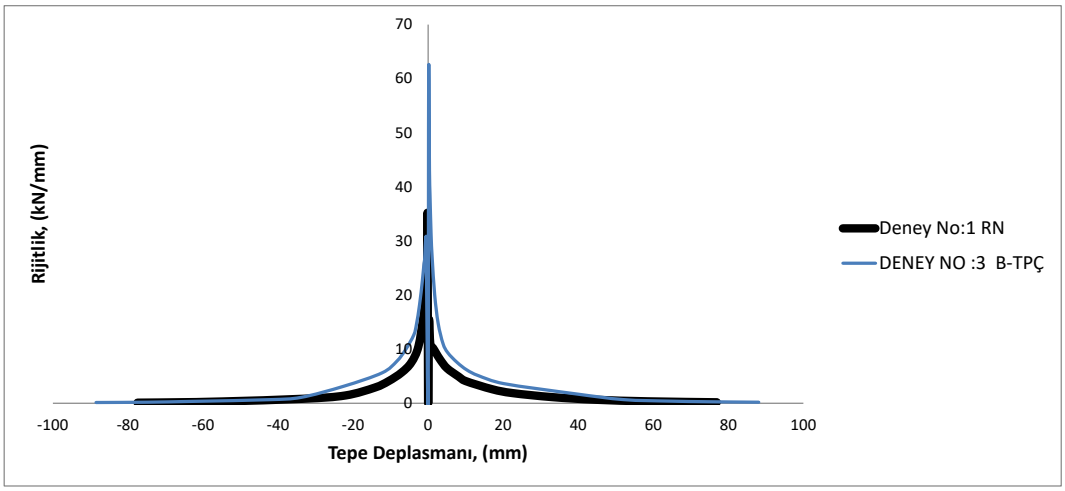


Şekil 5.9. 1. ve 3. deney numunelerinin 1. kat yatay yük – 1. kat deplasman zarfları



Şekil 5.10. 1. ve 3. deney numunelerinin toplam yatay yük – tepe deplasman dayanım zarfları

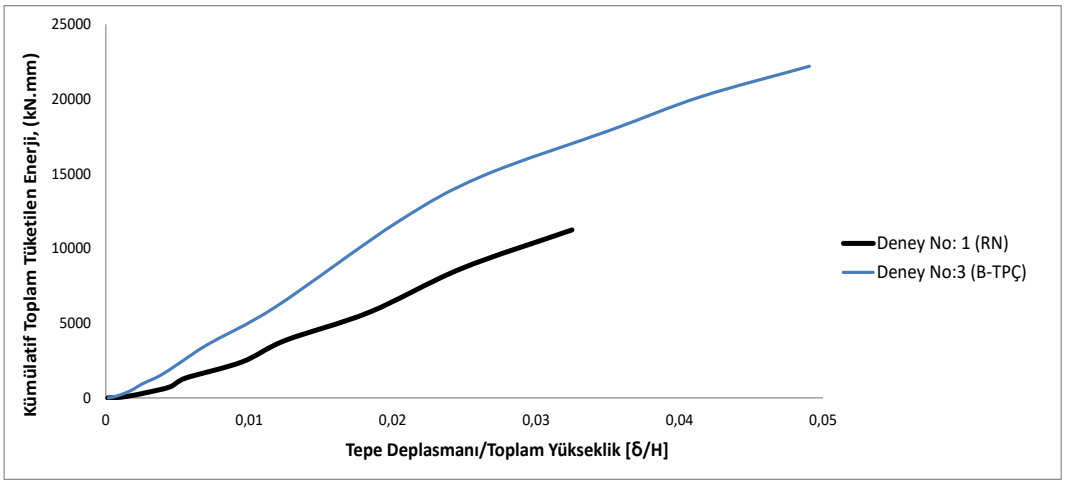
Rijitlik azalım grafikleri 1. ve 3. deney numuneleri için Şekil 5.11'de verilmiştir. Şekil 5.11'de verilen Toplam yatay yük – Tepe deplasmanı için verilen rijitlik azalımı grafiğinden görüldüğü gibi, 1 nolu deneyde başlangıç rijitliği ileri çevrimde 15.15 kN/mm, geri çevrimde 33.98 kN/mm iken, 3 nolu deneyde başlangıç rijitliği ileri çevrimde 61.25 kN/mm ve geri çevrimde 30.87 kN/mm'dir. İlerleyen ileri ve geri çevrimlerde ise rijitlikler hızla düşmüştür. Şekil 5.11'de verilen rijitlik azalım grafiğine göre 2. deney numunesi 1. deney numunesine göre ileri çevrimde %304 artış sağlarken, geri çevrimde %9.1 daha az başlangıç rijitliğine sahip olduğu görülmüştür.



Şekil 5.11. 1. ve 3. deney numunelerinin rijitlik azalım eğrileri (Toplam yatay yük- Tepe deplasmanı için)

RN ve B-TPÇ deney numunelerine ait kümülatif toplam tüketilen enerji – Tepe deplasmanı/toplam yükseklik (ötelenme oranı) grafikleri Şekil 5.12.'de gösterilmiştir. Şekil 5.11'de görüldüğü gibi, RN deney numunesi deney sonunda 0.032'lik deplasman oranı için 11.24 kj enerji tüketmişken, B-TPÇ deney numunesi 0.049'luk deplasman oranında 22.19 kj enerji tüketmiştir. B-TPÇ deney numunesinin RN'ye göre deney sonunda %97.4 oranından daha fazla enerji tükettiği görülmüştür. TDY-2007'de göreli kat öteleme oranı δ_{mak}/h oranı ile sınırlandırılmıştır. Bu yönetmeliğe göre güvenlik sınırı 0.03, göçme sınırı 0.04 olarak verilmiştir. Diğer bir deyişle gerçek bir yapıda tuğla duvarın dışında bulunan betonarme çerçevenin yeterince sünek olması durumunda ileri hasar düzeyinde olacağını, 0.04 oranını aşması halinde ise göçme bölgesine gireceğini söylemektedir. Bu açıdan bakıldığında güçlendirilmiş B-TPÇ deney numunesinin bu sınır değerin altında kaldığı görülmüştür.

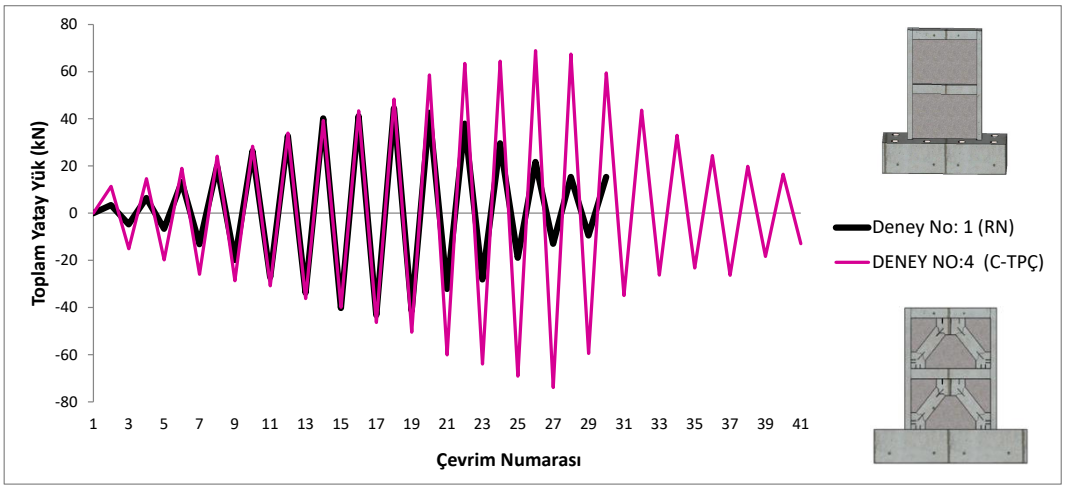
Güvenlik sınırı olan %3 için karşılaştırma yapılırsa RN 10.40 kj enerji tüketmişken, B-TPÇ 16.13 kj enerji tüketmiştir. B-TPÇ, RN'ye göre %55 daha fazla enerji tüketmiştir. 0.04 oranındaki göçme sınırı için karşılaştırma yapıldığında 1 nolu deney numunesinin maksimum 0.032 seviyesine ulaştığı ve bu orandaki değerinin 11.24 kj olduğu buna karşılık, 3 nolu deney numunesinin 0.04 oranındaki değerinin 19.62 kj olduğu hesaplanmıştır. Buna göre %4 göçme sınırı için B-TPÇ, RN'ye göre **%75** daha fazla enerji tüketmiştir.



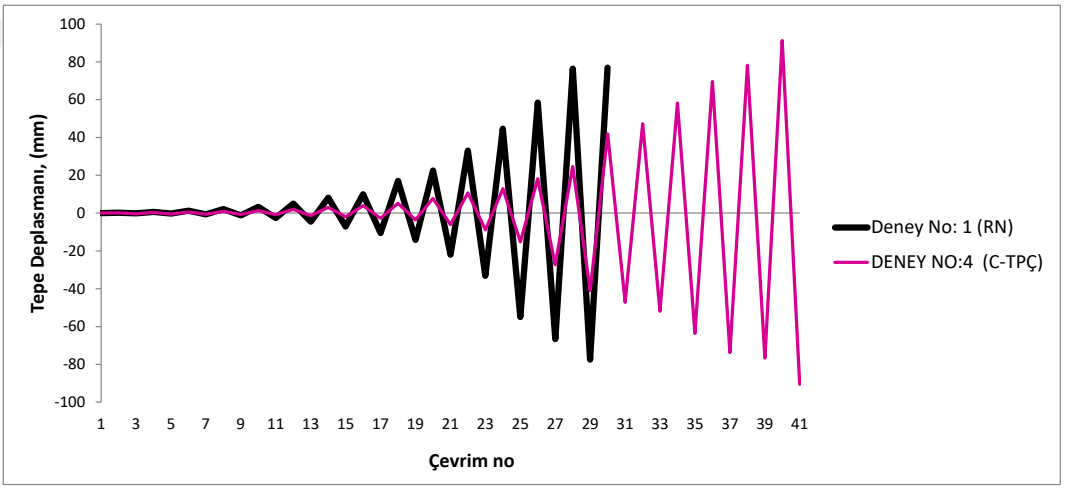
Şekil 5.12. 1. ve 3. deneyler için kümülatif toplam tüketilen enerji – ötelenme oranı grafikleri

5.3.Referans Numune (RN) ile C Tipi Önüretimli Panellerle Güçlendirilmiş Numunenin Karşılaştırılması (1 ve 4 Nolu Deneyler)

Panel genişliği 200 mm olan gruptaki güçlendirilmiş deney numunelerinin sonuncusu C-TPÇ‘dir. Bu bölümde 1 nolu referans deney numunesi ile 4 nolu tuğla dolgu duvarları panel genişliği 200 mm olan C tipi panellerle (Merkezi ters V) güçlendirilmiş deney numunesi karşılaştırılmıştır. 1 nolu ve 4 nolu deney numunelerinin her ikisinde de akma noktasına kadar ±5 ve ±10 kN yük artırımı uygulanmıştır. Akma noktasına ulaştıktan sonra ise, yatay yük 1 nolu deney numunesinde 5 ve 10 mm deplasman artımı ile uygulanmış, 4 nolu deney numunesinde ise merkezi ters V şeklinde güçlendirme yapıldığı için ileri ve geri çevrimlerde yaklaşık benzer akma yükü oluştuğu için ileri ve geri çevrimde referans numuneye benzer yaklaşık 5 ve 10 mm deplasman artımı ile deney tamamlanmıştır. 1 ve 4 numaralı deneylerin karşılaştırmalı yükleme geçmişleri, Şekil 5.13 ve Şekil 5.14’de yük ve deplasman değerlerine göre ayrı ayrı verilmiştir.

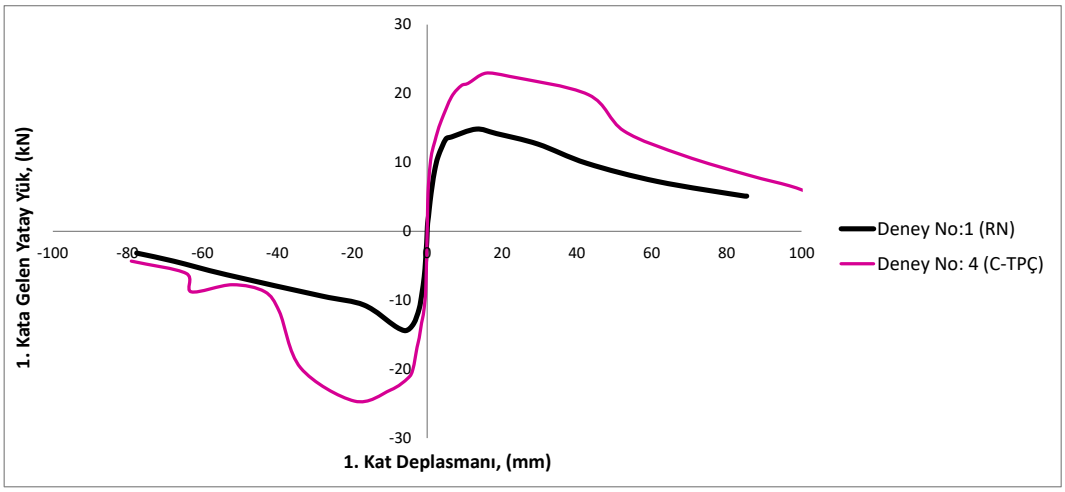


Şekil 5.13. 1. ve 4. deneylerin yükleme geçmişleri (yatay yüke göre)

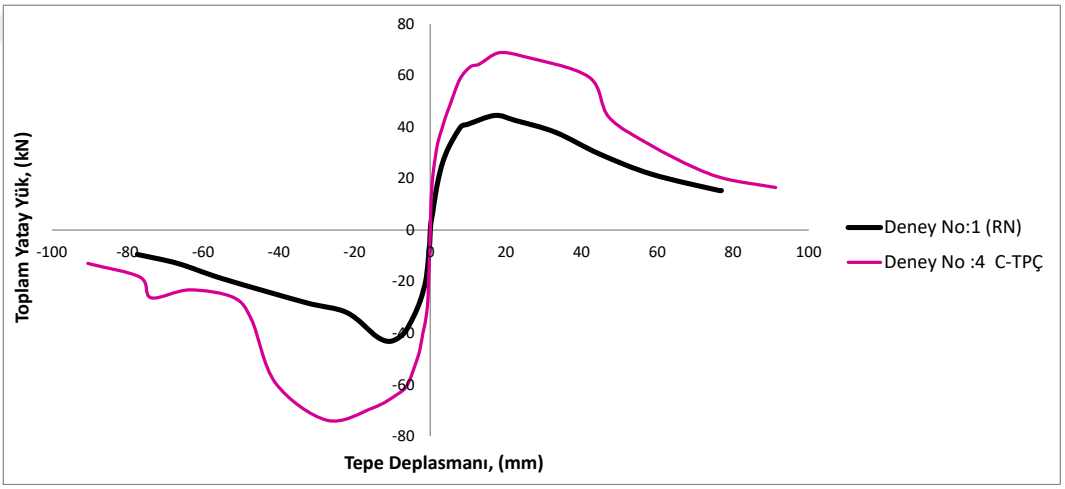


Şekil 5.14. 1. ve 4. deneylerin yükleme geçmişleri (tepe deplasmanına göre)

RN ve C-TPÇ'ye ait dayanım zarflarının karşılaştırması Şekil 5.15 ve Şekil 5.16'da verilmiştir. Şekil 5.15, 1. kat yatay yük - 1. kat deplasmanını gösterirken, Şekil 5.16 Toplam yatay yükün-Tepe deplasmanına göre değişimini göstermektedir. 1. kat dayanım zarfları için yatay yük taşıma kapasitesindeki artış ileri ve geri yön için sırasıyla %55 ve %71'dir. İkinci kata gelen yatay yük değerleri açısından karşılaştırma yapıldığında ileri yönde RN 29.66 kN, geri yönde 28.79 kN yük taşırken, C-TPÇ numunesi ileri yön için 45.89 kN, geri yön için 49.23 kN maksimum yatay yük taşımıştır. Şekil 5.16'daki toplam sisteme gelen yatay yüke bağlı tepe deplasmanının olduğu dayanım zarflarında RN ileri ve geri yönde sırasıyla 44.50 kN ve 43.19 kN yük taşırken, C-TPÇ ileri ve geri yönde sırasıyla 68.85 kN ve 73.85 kN yük taşımıştır. Bu da RN'ye göre ileri ve geri yönde sırasıyla **1.55** kat ve **1.71** kat yatay yük taşıma kapasitesinde artış meydana geldiğini göstermektedir.

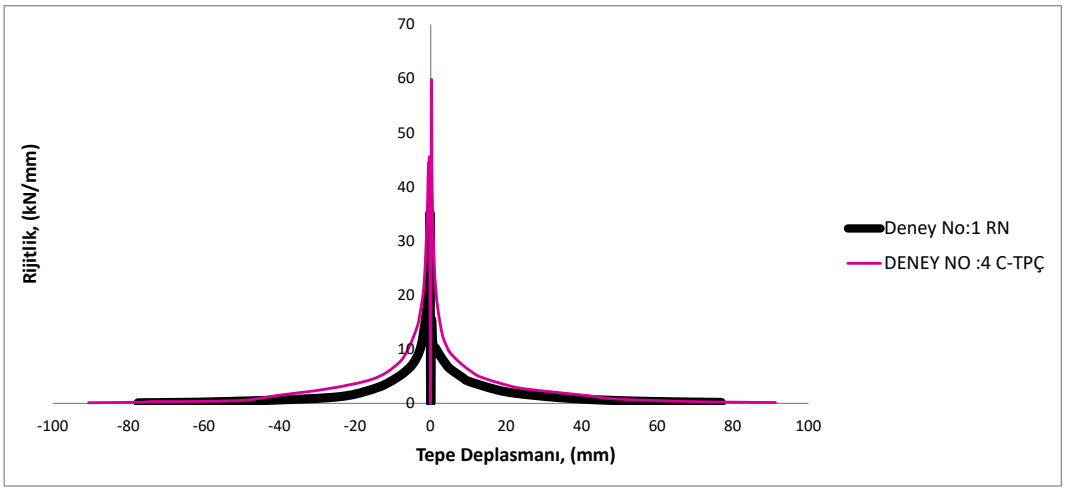


Şekil 5.15. 1. ve 4. deney numunelerinin 1. kat yatay yük – 1. kat deplasman zarfları



Şekil 5.16. 1. ve 4. deney numunelerinin toplam yatay yük – tepe deplasman dayanım zarfları

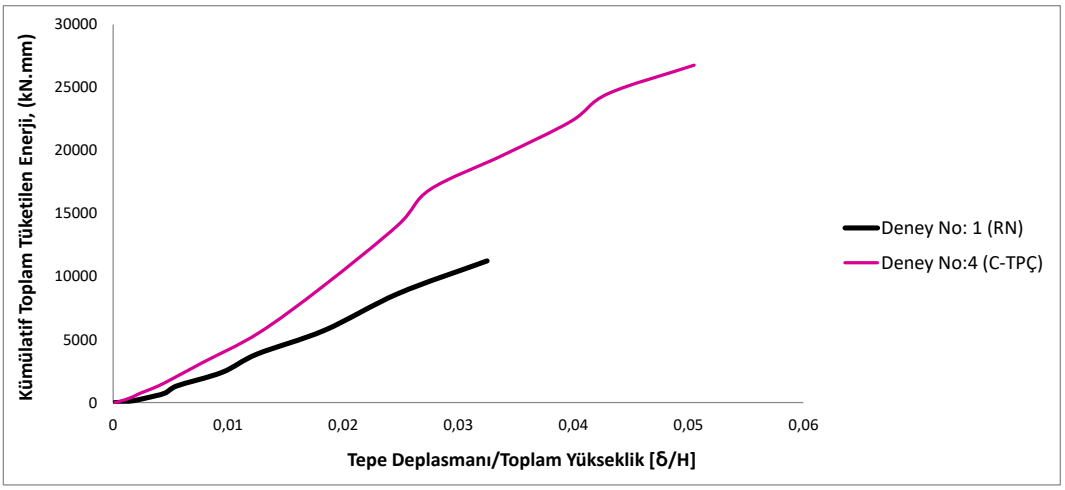
Rijitlik azalım grafikleri 1. ve 4. deney numuneleri için Şekil 5.17'de verilmiştir. Şekil 5.17'de verilen Toplam yatay yük – Tepe deplasmanı için verilen rijitlik azalımı grafiğinden görüldüğü gibi, 1 nolu deneyde başlangıç rijitliği ileri çevrimde 15.15 kN/mm, geri çevrimde 33.98 kN/mm iken, 4 nolu deneyde başlangıç rijitliği ileri çevrimde 57.95 kN/mm ve geri çevrimde 45.56 kN/mm'dir. İlerleyen ileri ve geri çevrimlerde ise rijitlikler hızla düşmüştür. Şekil 5.17'de verilen rijitilik azalım grafiğine göre 2. deney numunesi 1. deney numunesine göre ileri çevrimde % 282.5 artış sağlarken, geri çevrimde %34 daha fazla başlangıç rijitliğine sahiptir.



Şekil 5.17. 1. ve 4. deney numunelerinin rijitlik azalım eğrileri (Toplam yatay yük- Tepe deplasmanı için)

RN ve C-TPÇ deney numunelerine ait kümülatif toplam tüketilen enerji – Tepe deplasmanı/toplam yükseklik (ötelenme oranı) grafikleri Şekil 5.18.'de gösterilmiştir. Şekil 5.18'de görüldüğü gibi, RN deney numunesi deney sonunda 0.032'lik deplasman oranı için 11.24 kj enerji tüketmişken, C-TPÇ deney numunesi 0.050'lik deplasman oranında 26.77 kj enerji tüketmiştir. C-TPÇ deney numunesinin RN'ye göre deney sonunda %138.10 oranından daha fazla enerji tükettiği görülmüştür. TDY-2007'de göreli kat öteleme oranı δ_{mak}/h oranı ile sınırlandırılmıştır. Bu yönetmeliğe göre güvenlik sınırı 0.03, göçme sınırı 0.04 olarak verilmiştir. Diğer bir deyişle gerçek bir yapıda tuğla duvarın dışında bulunan betonarme çerçevenin yeterince sünek olması durumunda ileri hasar düzeyinde olacağını, 0.04 oranını aşması halinde ise göçme bölgesine gireceğini söylemektedir. Bu açıdan bakıldığında güçlendirilmiş C-TPÇ deney numunesinin bu sınır değerin altında kaldığı görülmektedir.

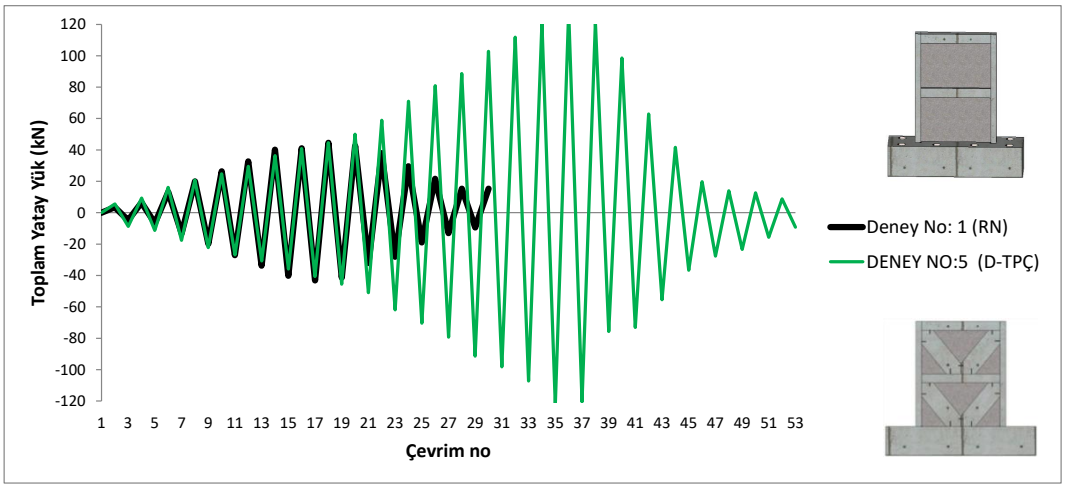
Güvenlik sınırı olan %3 için karşılaştırma yapılırsa RN 10.40 kj enerji tüketmişken, C-TPÇ 17.96 kj enerji tüketmiştir. C-TPÇ, RN'ye göre %73 daha fazla enerji tüketmiştir. 0.04 oranındaki göçme sınırı için karşılaştırma yapıldığında 1 nolu deney numunesinin maksimum 0.032 seviyesine ulaştığı ve bu orandaki değerinin 11.24 kj olduğu buna karşılık, 4 nolu deney numunesinin 0.04 oranındaki değerinin 22.45 kj olduğu hesaplanmıştır. Buna göre %4 göçme sınırı için C-TPÇ, RN'ye göre %**99.7** daha fazla enerji tüketmiştir.



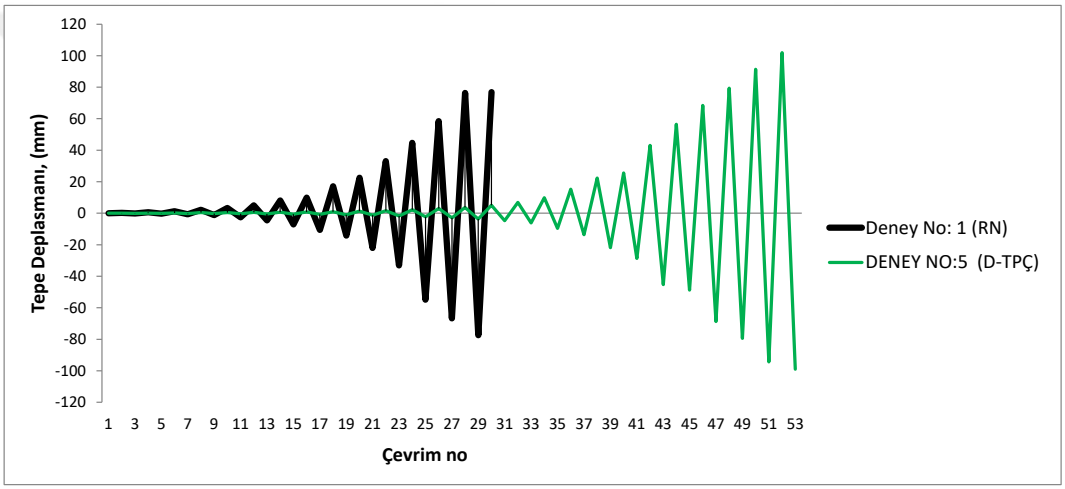
Şekil 5.18. 1. ve 4. deneyler için kümülatif toplam tüketilen enerji – ötelenme oranı grafikleri

5.4. Referans Numune (RN) ile D Tipi Önüretimli Panellerle Güçlendirilmiş Numunenin Karşılaştırılması (1 ve 5 Nolu Deneyler)

Panel genişliği 300 mm olan gruptaki güçlendirilmiş deney numunelerinin ilki D-TPÇ deney numunesidir. Bu bölümde 1 nolu referans deney numunesi ile 5 nolu tuğla dolgu duvarları panel genişliği 300 mm olan D tipi panellerle (Dış Merkez V) güçlendirilmiş deney numunesi karşılaştırılmıştır. 1 nolu ve 5 nolu deney numunelerinin her ikisinde de akma noktasına kadar ±5 ve ±10 kN yük artırımı uygulanmıştır. Akma noktasına ulaştıktan sonra ise, yatay yük 1 nolu deney numunesinde 5 ve 10 mm deplasman artımı ile uygulanmış, 5 nolu deney numunesinde ise dış merkez V şeklinde güçlendirme yapıldığı için akmaya kadar ±5 ve ±10 kN yük artırımı uygulanmış, akma gerçekleştikten sonra ileri ve geri çevrimde referans numuneye benzer yaklaşık 5 ve 10 mm deplasman artımı ile deney tamamlanmıştır. 1 ve 5 numaralı deneylerin karşılaştırmalı yükleme geçmişleri, Şekil 5.19 ve Şekil 5.20'de yük ve deplasman değerlerine göre ayrı ayrı verilmiştir.

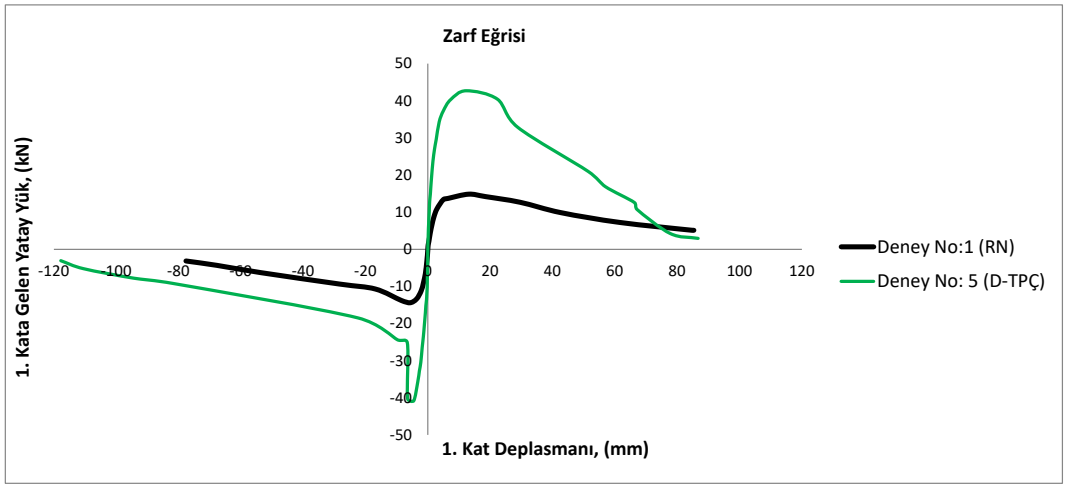


Şekil 5.19. 1. ve 5. deneylerin yükleme geçmişleri (yatay yüke göre)

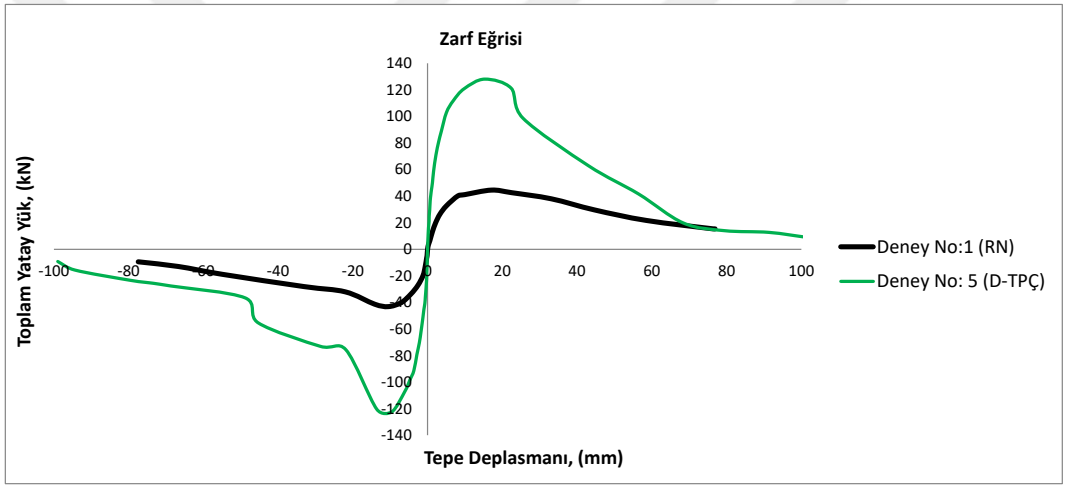


Şekil 5.20. 1. ve 5. deneylerin yükleme geçmişleri (tepe deplasmanına göre)

RN ve D-TPÇ'ye ait dayanım zarflarının karşılaştırması Şekil 5.21 ve Şekil 5.22'de verilmiştir. Şekil 5.21'de 1. kat yatay yük - 1. kat deplasmanını gösterirken, Şekil 5.22, Toplam yatay yükün-Tepe deplasmanına göre değişimini göstermektedir. 1. kat dayanım zarfları için yatay yük taşıma kapasitesindeki artış ileri ve geri yön için sırasıyla %187 ve %183'dür. İkinci kata gelen yatay yük değerleri açısından karşılaştırma yapıldığında ileri yönde RN 29.66 kN, geri yönde 28.79 kN yük taşırken, D-TPÇ numunesi ileri yön için 85.35 kN, geri yön için 81.66 kN maksimum yatay yük taşımıştır. Şekil 5.22'deki toplam sisteme gelen yatay yüke bağlı tepe deplasmanının olduğu dayanım zarflarında RN ileri ve geri yönde sırasıyla 44.50 kN ve 43.19 kN yük taşırken, D-TPÇ ileri ve geri yönde sırasıyla 128.02 kN ve 122.49 kN yük taşımıştır. Bu da RN'ye göre ileri ve geri yönde sırasıyla **2.87** kat ve **2.83** kat yatay yük taşıma kapasitesinde artış meydana geldiğini göstermektedir.

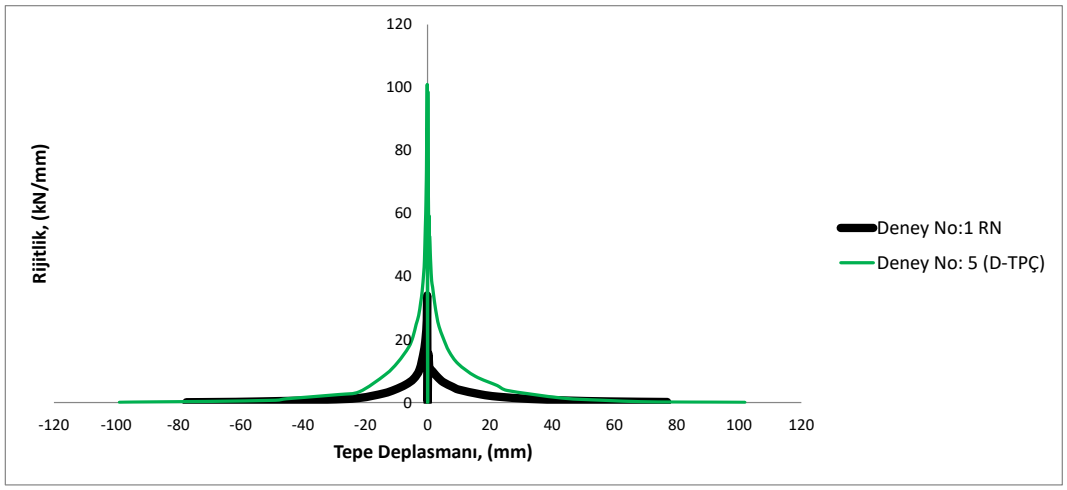


Şekil 5.21. 1. ve 5. deney numunelerinin 1. kat yatay yük – 1. kat deplasman zarfları



Şekil 5.22. 1. ve 5. deney numunelerinin toplam yatay yük – tepe deplasman dayanım zarfları

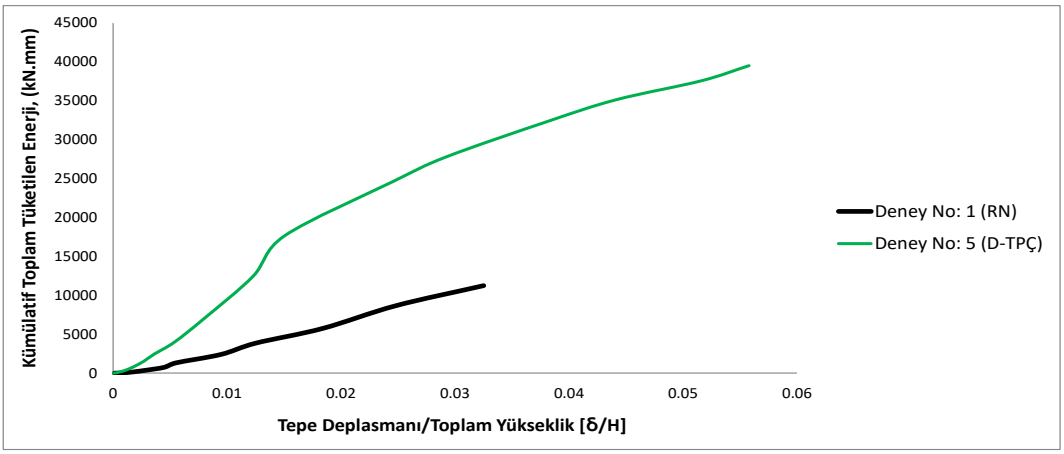
Rijitlik azalım grafikleri 1. ve 5. deney numuneleri için Şekil 5.23'de verilmiştir. Şekil 5.23'de verilen Toplam yatay yük – Tepe deplasmanı için verilen rijitlik azalımı grafiğinden görüldüğü gibi, 1 nolu deneyde başlangıç rijitliği ileri çevrimde 15.15 kN/mm, geri çevrimde 33.98 kN/mm iken, 5 nolu deneyde başlangıç rijitliği ileri çevrimde 98.71 kN/mm ve geri çevrimde 77.72 kN/mm'dir. İlerleyen ileri ve geri çevrimlerde ise rijitlikler deney sonuna doğru düşmüştür. Şekil 5.23'de verilen rijitilik azalım grafiğine göre 2. deney numunesi 1. deney numunesine göre ileri çevrimde % 551.5 artış sağlarken, geri çevrimde %128.7 daha fazla başlangıç rijitliğine sahiptir.



Şekil 5.23. 1. ve 5. deney numunelerinin rijitlik azalım eğrileri (Toplam yatay yük- Tepe deplasmanı için)

RN ve D-TPÇ deney numunelerine ait kümülatif toplam tüketilen enerji – Tepe deplasmanı/toplam yükseklik (ötelenme oranı) grafikleri Şekil 5.24'de gösterilmiştir. Şekil 5.24'de görüldüğü gibi, RN deney numunesi deney sonunda 0.032'lik deplasman oranı için 11.24 kj enerji tüketmişken, D-TPÇ deney numunesi 0.055'lik deplasman oranında 39.51 kj enerji tüketmiştir. D-TPÇ deney numunesinin RN'ye göre deney sonunda %251.47 oranından daha fazla enerji tükettiği görülmüştür. TDY-2007'de göreli kat öteleme oranı δ_{mak}/h oranı ile sınırlandırılmıştır. Bu yönetmeliğe göre güvenlik sınırı 0.03, göçme sınırı 0.04 olarak verilmiştir. Diğer bir deyişle gerçek bir yapıda tuğla duvarın dışında bulunan betonarme çerçevenin yeterince sünek olması durumunda ileri hasar düzeyinde olacağını, 0.04 oranını aşması halinde ise göçme bölgesine gireceğini söylemektedir. Bu açıdan bakıldığında güçlendirilmiş D-TPÇ deney numunesinin de bu sınır değerin altında kalacağı açıkça görülmektedir.

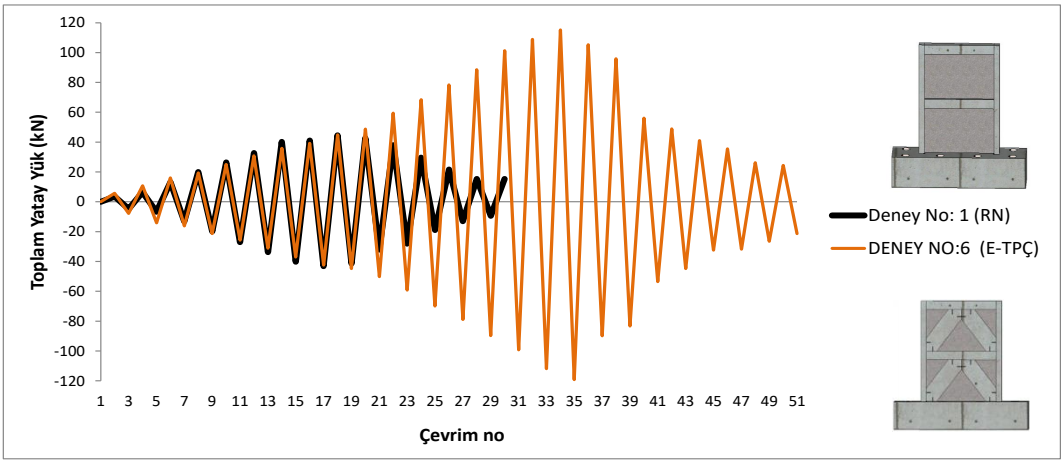
Güvenlik sınırı olan %3 için karşılaştırma yapılırsa RN 10.40 kj enerji tüketmişken, D-TPÇ 28.19 kj enerji tüketmiştir. D-TPÇ, RN'ye göre %171 daha fazla enerji tüketmiştir. 0.04 oranındaki göçme sınırı için karşılaştırma yapıldığında 1 nolu deney numunesinin maksimum 0.032 seviyesine ulaştığı ve bu orandaki değerinin 11.24 kj olduğu buna karşılık, 5 nolu deney numunesinin 0.04 oranındaki değerinin 33.22 kj olduğu hesaplanmıştır. Buna göre %4 göçme sınırı için D-TPÇ, RN'ye göre **%195.5** daha fazla enerji tüketmiştir.



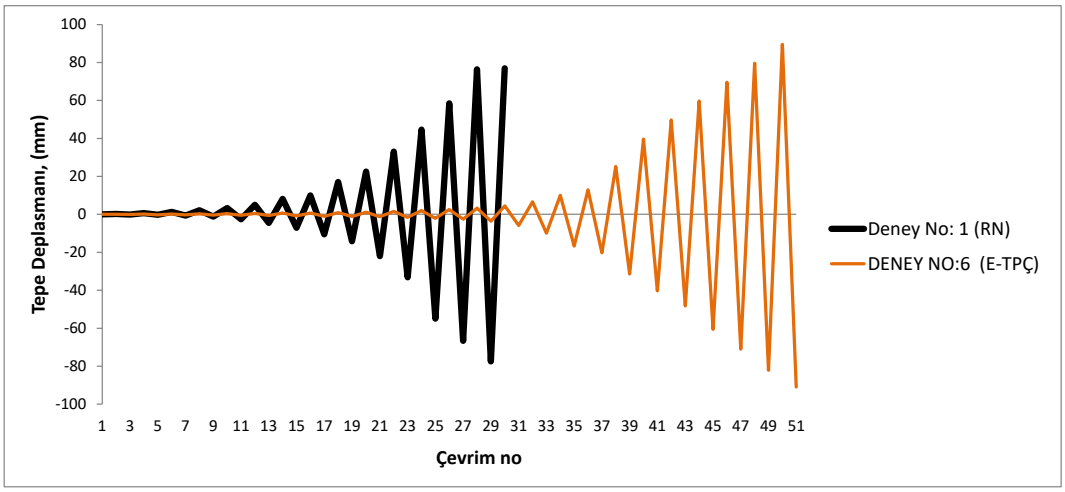
Şekil 5.24. 1. ve 5. deneyler için kümülatif toplam tüketilen enerji – ötelenme oranı grafikleri

5.5. Referans Numune (RN) ile E Tipi Önüretimli Panellerle Güçlendirilmiş Numunenin Karşılaştırılması (1 ve 6 Nolu Deneyler)

Panel genişliği 300 mm olan gruptaki güçlendirilmiş deney numunelerinin ikincisi E-TPÇ deney numunesidir. Bu bölümde 1 nolu referans deney numunesi ile 6 nolu tuğla dolgu duvarları panel genişliği 300 mm olan E tipi panellerle (Dış Merkez Ters V) güçlendirilmiş deney numunesi karşılaştırılmıştır. 1 nolu ve 6 nolu deney numunelerinin her ikisinde de akma noktasına kadar ±5 ve ±10 kN yük artırımı uygulanmıştır. Akma noktasına ulaştıktan sonra ise, yatay yük 1 nolu deney numunesinde 5 ve 10 mm deplasman artımı ile uygulanmış, 6 nolu deney numunesinde ise dış merkez V şeklinde güçlendirme yapıldığı için akmaya kadar ±5 ve ±10 kN yük artırımı uygulanmış, akma gerçekleştikten sonra ileri ve geri çevrimde referans numuneye benzer yaklaşık 5 ve 10 mm deplasman artımı ile deney tamamlanmıştır. 1 ve 6 numaralı deneylerin karşılaştırmalı yükleme geçmişleri, Şekil 5.25 ve Şekil 5.26'da yük ve deplasman değerlerine göre ayrı ayrı verilmiştir.

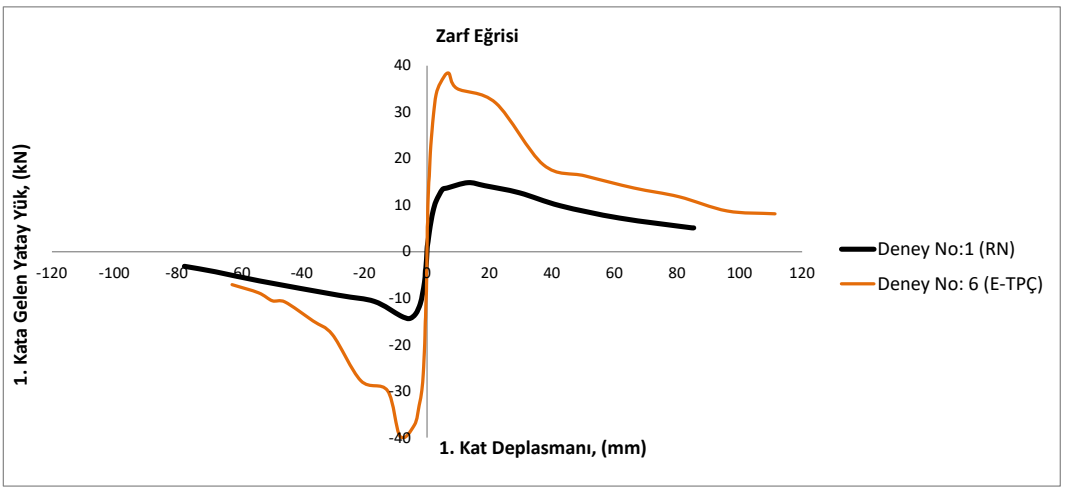


Şekil 5.25. 1. ve 6. deneylerin yükleme geçmişleri (yatay yüke göre)

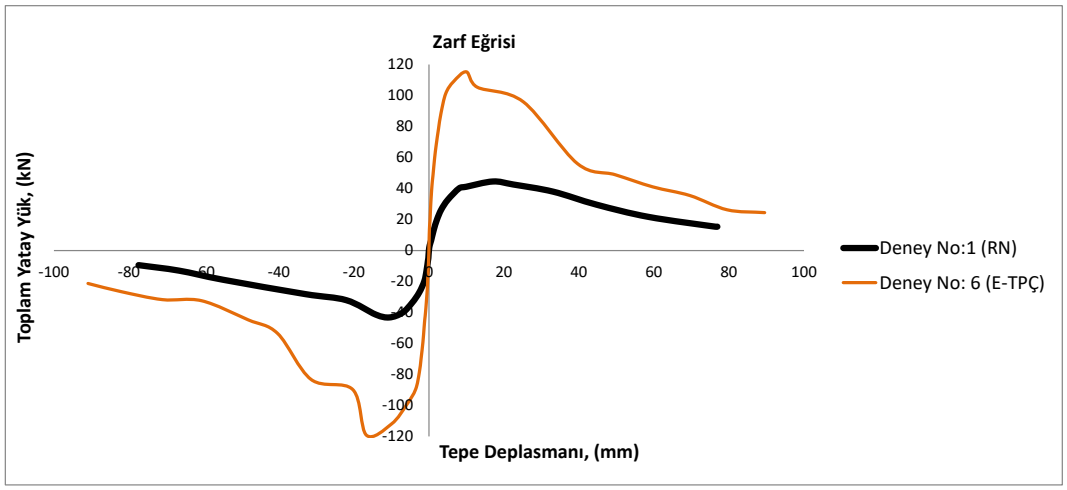


Şekil 5.26. 1. ve 6. deneylerin yükleme geçmişleri (tepe deplasmanına göre)

RN ve E-TPÇ'ye ait dayanım zarflarının karşılaştırması Şekil 5.27 ve Şekil 5.28'de verilmiştir. Şekil 5.27'de 1. kat yatay yük - 1. kat deplasmanını gösterirken, Şekil 5.28 Toplam yatay yükün-Tepe deplasmanına göre değişimini göstermektedir. 1. kat dayanım zarfları için yatay yük taşıma kapasitesindeki artış ileri ve geri yön için sırasıyla %159 ve %176'dır. İkinci kata gelen yatay yük değerleri açısından karşılaştırma yapıldığında ileri yönde RN 29.66 kN, geri yönde 28.79 kN yük taşırken, E-TPÇ numunesi ileri yön için 76.80 kN, geri yön için 79.45 kN maksimum yatay yük taşımıştır. Şekil 5.22'deki toplam sisteme gelen yatay yüke bağlı tepe deplasmanının olduğu dayanım zarflarında RN ileri ve geri yönde sırasıyla 44.50 kN ve 43.19 kN yük taşırken, E-TPÇ ileri ve geri yönde sırasıyla 115.20 kN ve 119.18 kN yük taşımıştır. Bu da RN'ye göre ileri ve geri yönde sırasıyla **2.58** kat ve **2.75** kat yatay yük taşıma kapasitesinde artış meydana geldiğini göstermektedir.

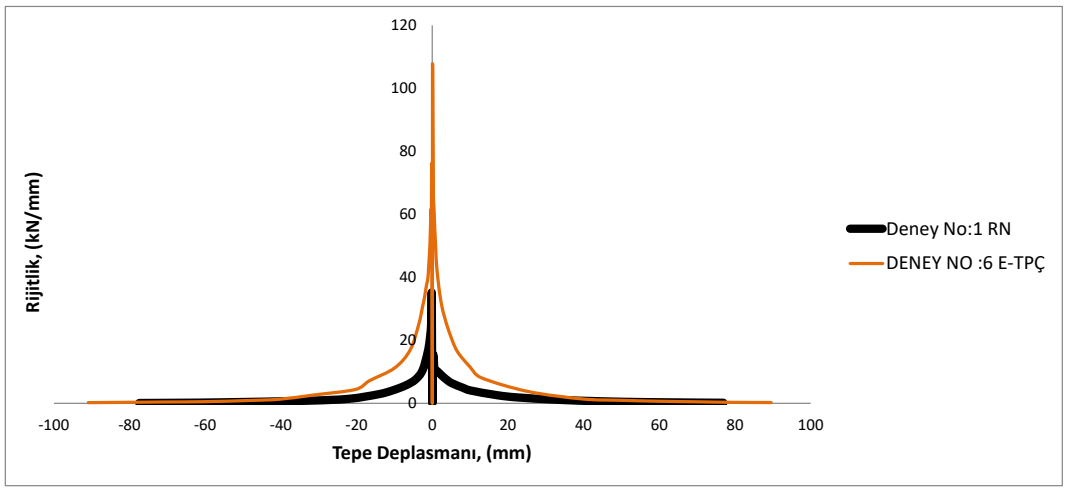


Şekil 5.27. 1. ve 6. deney numunelerinin 1. kat yatay yük – 1. kat deplasman zarfları



Şekil 5.28. 1. ve 6. deney numunelerinin toplam yatay yük – tepe deplasman dayanım zarfları

Rijitlik azalım grafikleri 1. ve 6. deney numuneleri için Şekil 5.29'da verilmiştir. Şekil 5.29'da verilen Toplam yatay yük – Tepe deplasmanı için verilen rijitlik azalımı grafiğinden görüldüğü gibi, 1 nolu deneyde başlangıç rijitliği ileri çevrimde 15.15 kN/mm, geri çevrimde 33.98 kN/mm iken, 6 nolu deneyde başlangıç rijitliği ileri çevrimde 107.78 kN/mm' ve geri çevrimde 76.28 kN/mm' dir. İlerleyen ileri ve geri çevrimlerde ise rijitlikler deney sonuna doğru düşmüştür. Şekil 5.23'de verilen rijitilik azalım grafiğine göre 6. deney numunesi 1. deney numunesine göre ileri çevrimde % 611.4 artış sağlarken, geri çevrimde %124.4 daha fazla başlangıç rijitliğine sahiptir.

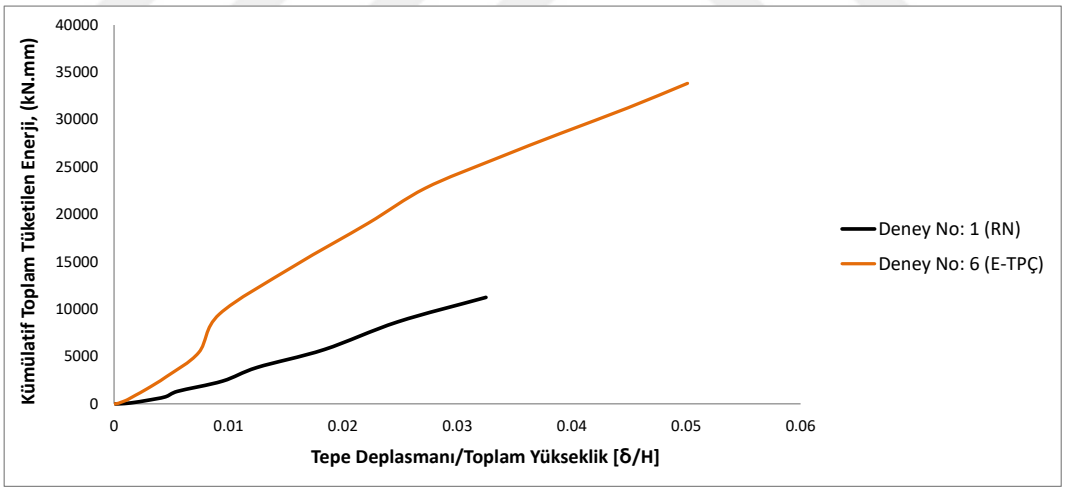


Şekil 5.29. 1. ve 6. deney numunelerinin rijitlik azalım eğrileri (Toplam yatay yük- Tepe deplasmanı için)

RN ve E-TPÇ deney numunelerine ait kümülatif toplam tüketilen enerji – Tepe deplasmanı/toplam yükseklik (ötelenme oranı) grafikleri Şekil 5.30'da gösterilmiştir. Şekil 5.30'da görüldüğü gibi, RN deney numunesi deney sonunda 0.032'lik deplasman

oranı için 11.24 kj enerji tüketmişken, E-TPÇ deney numunesi 0.050'lik deplasman oranında 33.83 kj enerji tüketmiştir. E-TPÇ deney numunesinin RN'ye göre deney sonunda %200.91 oranından daha fazla enerji tükettiği görülmüştür. TDY-2007'de göreli kat öteleme oranı δ_{mak}/h oranı ile sınırlandırılmıştır. Bu yönetmeliğe göre güvenlik sınırı 0.03, göçme sınırı 0.04 olarak verilmiştir. Diğer bir deyişle gerçek bir yapıda tuğla duvarın dışında bulunan betonarme çerçevenin yeterince sünek olması durumunda ileri hasar düzeyinde olacağını, 0.04 oranını aşması halinde ise göçme bölgesine gireceğini söylemektedir. Bu açıdan bakıldığında güçlendirilmiş E-TPÇ deney numunesinin de bu sınır değerlerin altında kaldığı görülmüştür.

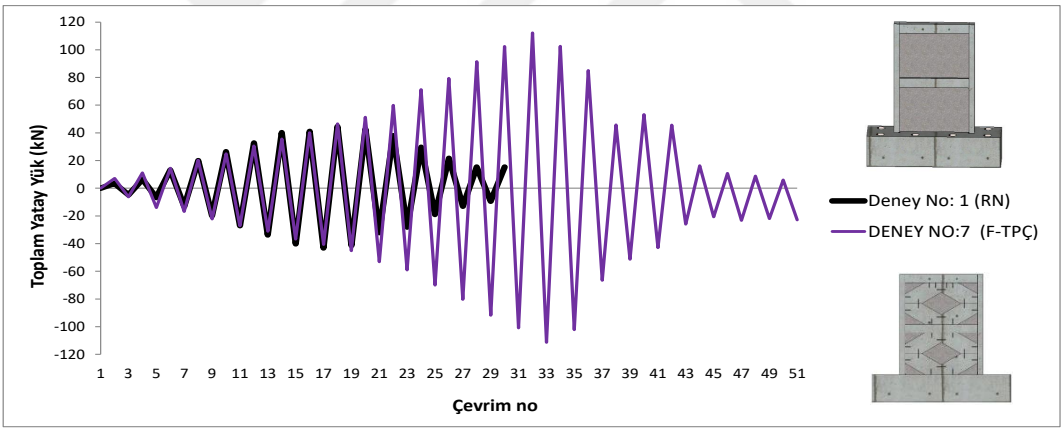
Güvenlik sınırı olan %3 için karşılaştırma yapılırsa RN 10.40 kj enerji tüketmişken, E-TPÇ 24.17 kj enerji tüketmiştir. E-TPÇ, RN'ye göre %132 daha fazla enerji tüketmiştir. 0.04 oranındaki göçme sınırı için karşılaştırma yapıldığında 1 nolu deney numunesinin maksimum 0.032 seviyesine ulaştığı ve bu orandaki değerinin 11.24 kj olduğu buna karşılık, 6 nolu deney numunesinin 0.04 oranındaki değerinin 28.99 kj olduğu hesaplanmıştır. Buna göre %4 göçme sınırı için B-TPÇ, RN'ye göre **%248.9** daha fazla enerji tüketmiştir.



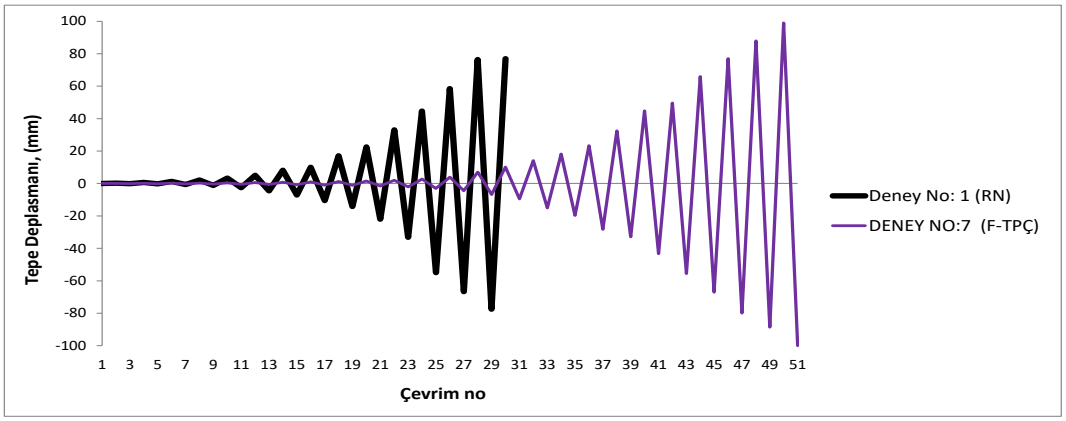
Şekil 5.30. 1. ve 6. deneyler için kümülatif toplam tüketilen enerji – ötelenme oranı grafikleri

5.6. Referans Numune (RN) ile F Tipi Önüretimli Panellerle Güçlendirilmiş Numunenin Karşılaştırılması (1 ve 7 Nolu Deneyler)

Panel genişliği 300 mm olan gruptaki güçlendirilmiş deney numunelerinin üçüncüsü F-TPÇ deney numunesidir. Bu bölümde 1 nolu referans deney numunesi ile 7 nolu tuğla dolgu duvarları panel genişliği 300 mm olan F tipi panellerle (K şeklinde panel) güçlendirilmiş deney numunesi karşılaştırılmıştır. 1 nolu ve 7 nolu deney numunelerinin her ikisinde de akma noktasına kadar ±5 ve ±10 kN yük artırımı uygulanmıştır. Akma noktasına ulaştıktan sonra ise, yatay yük 1 nolu deney numunesinde 5 ve 10 mm deplasman artımı ile uygulanmış, 7 nolu deney numunesinde ise K şeklinde güçlendirme yapıldığı için akmaya kadar ±5 ve ±10 kN yük artırımı uygulanmış, akma gerçekleştikten sonra ileri ve geri çevrimde referans numuneye benzer yaklaşık 5 ve 10 mm deplasman artımı ile deney tamamlanmıştır. 1 ve 7 numaralı deneylerin karşılaştırmalı yükleme geçmişleri, Şekil 5.31 ve Şekil 5.32'de yük ve deplasman değerlerine göre ayrı ayrı verilmiştir.

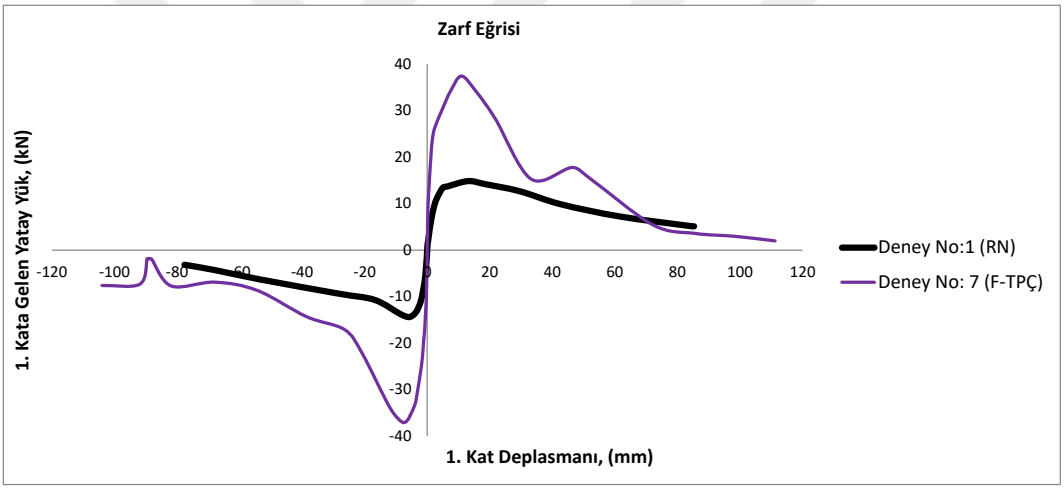


Şekil 5.31. 1. ve 7. deneylerin yükleme geçmişleri (yatay yüke göre)

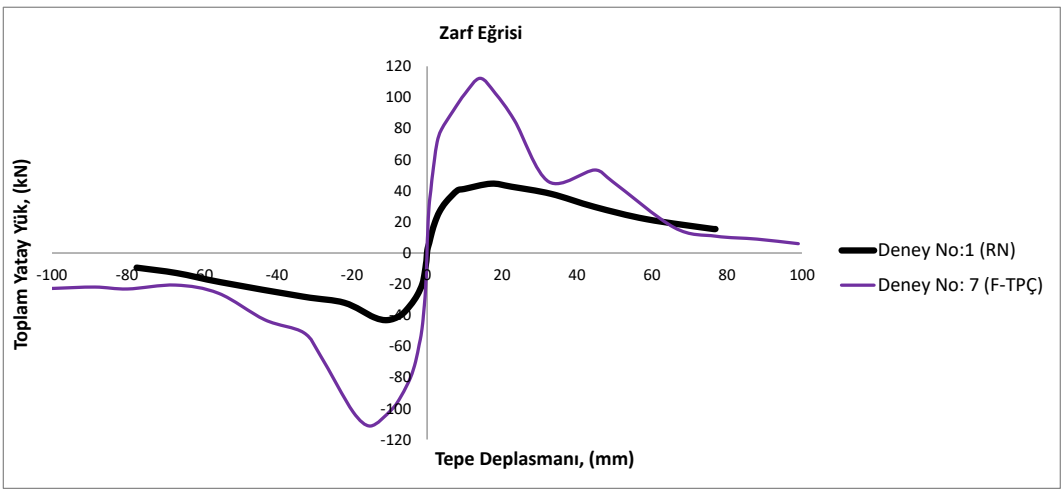


Şekil 5.32. 1. ve 7. deneylerin yükleme geçmişleri (tepe deplasmanına göre)

RN ve F-TPÇ'ye ait dayanım zarflarının karşılaştırması Şekil 5.33 ve Şekil 5.34'de verilmiştir. Şekil 5.33, 1. kat yatay yük - 1. kat deplasmanını gösterirken, Şekil 5.34 Toplam yatay yükün-Tepe deplasmanına göre değişimini göstermektedir. 1. kat dayanım zarfları için yatay yük taşıma kapasitesindeki artış ileri ve geri yön için sırasıyla %152 ve %157'dir. İkinci kata gelen yatay yük değerleri açısından karşılaştırma yapıldığında ileri yönde RN 29.66 kN, geri yönde 28.79 kN yük taşırken, F-TPÇ numunesi ileri yön için 74.82 kN, geri yön için 74.18 kN maksimum yatay yük taşımıştır. Şekil 5.34'deki toplam sisteme gelen yatay yüke bağlı tepe deplasmanının olduğu dayanım zarflarında RN ileri ve geri yönde sırasıyla 44.50 kN ve 43.19 kN yük taşırken, F-TPÇ ileri ve geri yönde sırasıyla 112.23 kN ve 111.27 kN yük taşımıştır. Bu da RN'ye göre ileri ve geri yönde sırasıyla **2.52** kat ve **2.57** kat yatay yük taşıma kapasitesinde artış meydana geldiğini göstermektedir.

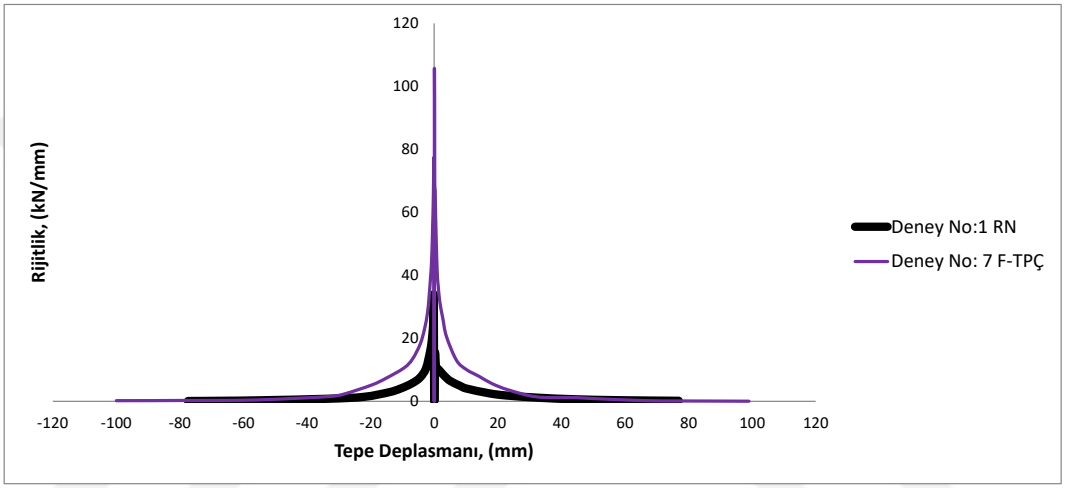


Şekil 5.33. 1. ve 7. deney numunelerinin 1. kat yatay yük – 1. kat deplasman zarfları



Şekil 5.34. 1. ve 7. deney numunelerinin toplam yatay yük – tepe deplasman dayanım zarfları

Rijitlik azalım grafikleri 1. ve 7. deney numuneleri için Şekil 5.35'de verilmiştir. Şekil 5.35'de verilen Toplam yatay yük – Tepe deplasmanı için verilen rijitlik azalımı grafiğinden görüldüğü gibi, 1 nolu deneyde başlangıç rijitliği ileri çevrimde 15.15 kN/mm, geri çevrimde 33.98 kN/mm iken, 7 nolu deneyde başlangıç rijitliği ileri çevrimde 105.68 kN/mm ve geri çevrimde 77.42 kN/mm'dir. İlerleyen ileri ve geri çevrimlerde ise rijitlikler deney sonuna doğru düşmüştür. Şekil 5.35'de verilen rijitilik azalım grafiğine göre 7. deney numunesi 1. deney numunesine göre ileri çevrimde % 597.5 artış sağlarken, geri çevrimde %127.8 daha fazla başlangıç rijitliğine sahiptir.

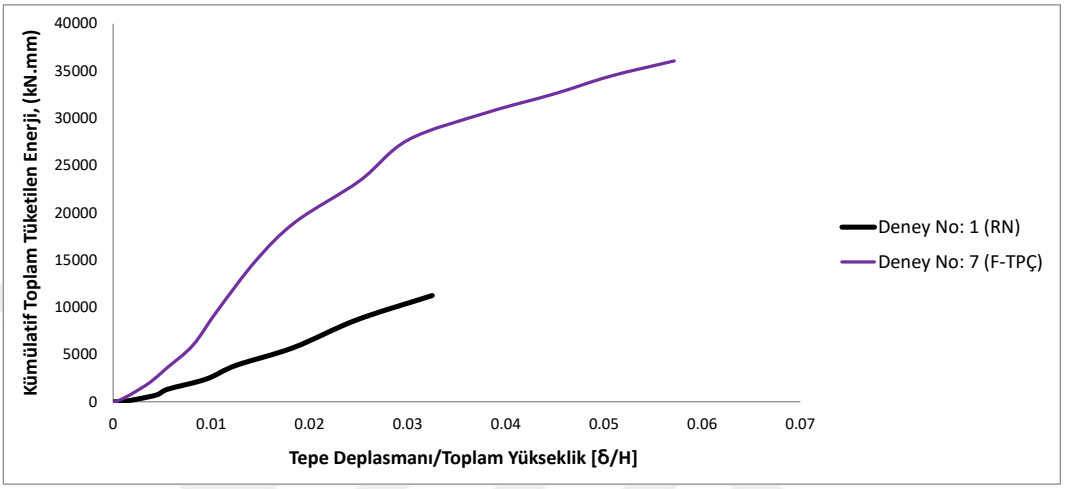


Şekil 5.35. 1. ve 7. deney numunelerinin rijitlik azalım eğrileri (Toplam yatay yük- Tepe deplasmanı için)

RN ve F-TPÇ deney numunelerine ait kümülatif toplam tüketilen enerji – Tepe deplasmanı/toplam yükseklik (ötelenme oranı) grafikleri Şekil 5.36'da gösterilmiştir. Şekil 5.36'da görüldüğü gibi, RN deney numunesi deney sonunda 0.032'lik deplasman oranı için 11.24 kj enerji tüketmişken, F-TPÇ deney numunesi 0.057'lik deplasman oranında 36.06 kj enerji tüketmiştir. F-TPÇ deney numunesinin RN'ye göre deney sonunda %220.75 oranından daha fazla enerji tükettiği görülmüştür. TDY-2007'de göreli kat öteleme oranı δ_{mak}/h oranı ile sınırlandırılmıştır. Bu yönetmeliğe göre güvenlik sınırı 0.03, göçme sınırı 0.04 olarak verilmiştir. Diğer bir deyişle gerçek bir yapıda tuğla duvarın dışında bulunan betonarme çerçevenin yeterince sünek olması durumunda ileri hasar düzeyinde olacağını, 0.04 oranını aşması halinde ise göçme bölgesine gireceğini söylemektedir. Bu açıdan bakıldığında güçlendirilmiş F-TPÇ deney numunesinin bu sınır değerin altında kaldığı görülmektedir.

Güvenlik sınırı olan %3 için karşılaştırma yapılırsa RN 10.40 kj enerji tüketmişken, F-TPÇ 27.71 kj enerji tüketmiştir. F-TPÇ, RN'ye göre %166 daha fazla

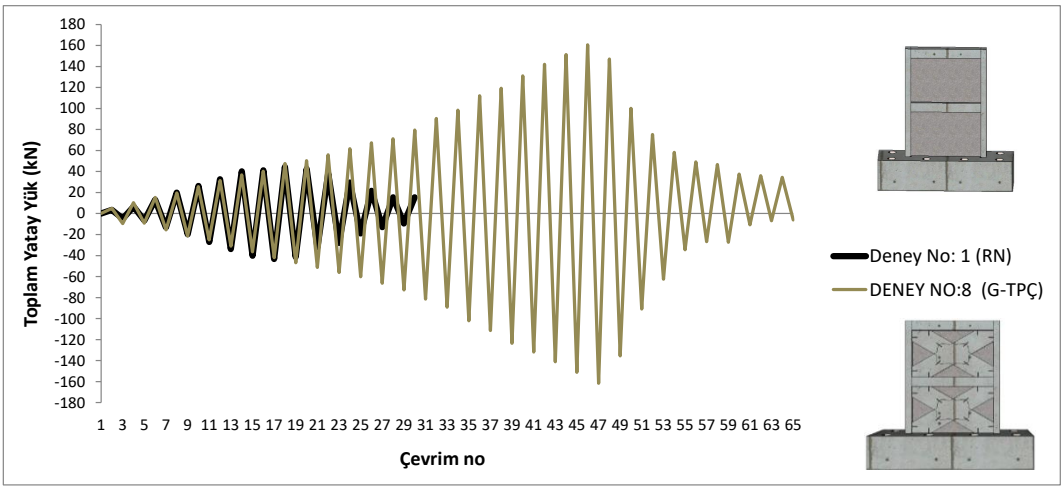
enerji tüketmiştir. 0.04 oranındaki göçme sınırı için karşılaştırma yapıldığında 1 nolu deney numunesinin maksimum 0.032 seviyesine ulaştığı ve bu orandaki değerinin 11.24 kj olduğu buna karşılık, 7 nolu deney numunesinin 0.04 oranındaki değerinin 31.14 kj olduğu hesaplanmıştır. Buna göre %4 göçme sınırı için F-TPÇ, RN'ye göre **%177** daha fazla enerji tüketmiştir.



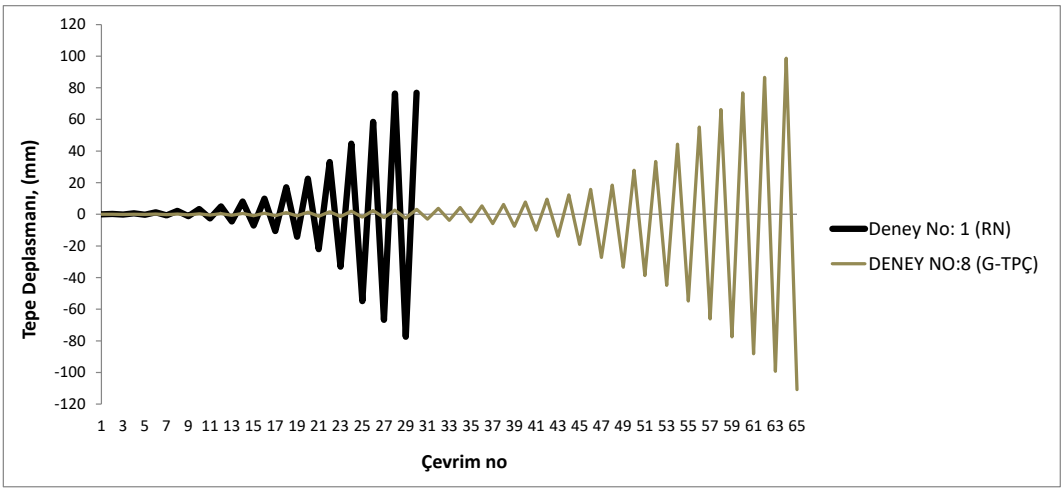
Şekil 5.36. 1. ve 7. deneyler için kümülatif toplam tüketilen enerji – ötelenme oranı grafikleri

5.7. Referans Numune (RN) ile G Tipi Önüretimli Panellerle Güçlendirilmiş Numunenin Karşılaştırılması (1 ve 8 Nolu Deneyler)

Panel genişliği 300 mm olan gruptaki güçlendirilmiş deney numunelerinin sonuncusu G-TPÇ deney numunesidir. Bu bölümde 1 nolu referans deney numunesi ile 8 nolu tuğla dolgu duvarları panel genişliği 300 mm olan G tipi panellerle (X şeklinde panel) güçlendirilmiş deney numunesi karşılaştırılmıştır. 1 nolu ve 8 nolu deney numunelerinin her ikisinde de akma noktasına kadar ±5 ve ±10 kN yük artırımı uygulanmıştır. Akma noktasına ulaştıktan sonra ise, yatay yük 1 nolu deney numunesinde 5 ve 10 mm deplasman artımı ile uygulanmış, 7 nolu deney numunesinde ise X şeklinde güçlendirme yapıldığı için akmaya kadar ±5 ve ±10 kN yük artırımı uygulanmış, akma gerçekleştikten sonra ileri ve geri çevrimde referans numuneye benzer yaklaşık 5 ve 10 mm deplasman artımı ile deney tamamlanmıştır. 1 ve 8 numaralı deneylerin karşılaştırmalı yükleme geçmişleri, Şekil 5.37 ve Şekil 5.38'de yük ve deplasman değerlerine göre ayrı ayrı verilmiştir.

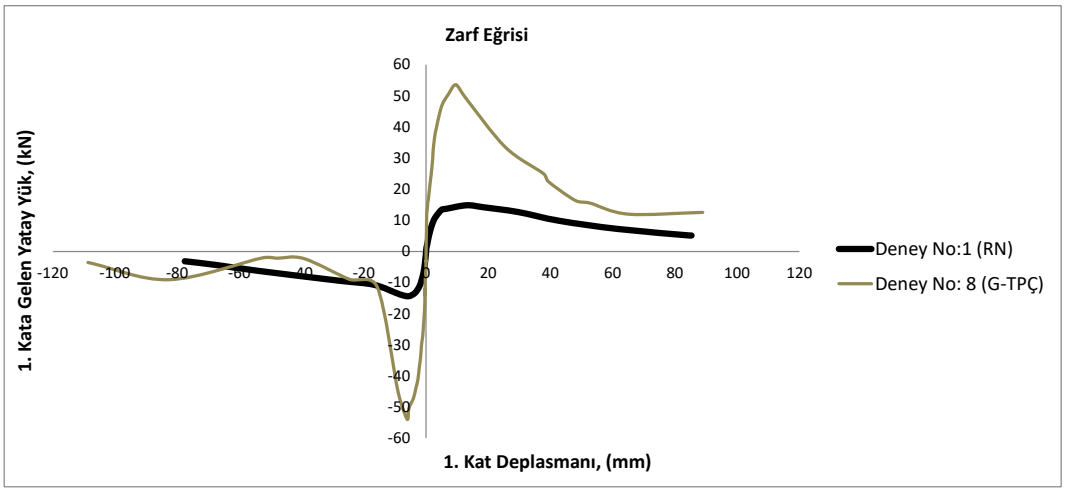


Şekil 5.37. 1. ve 8. deneylerin yükleme geçmişleri (yatay yüke göre)

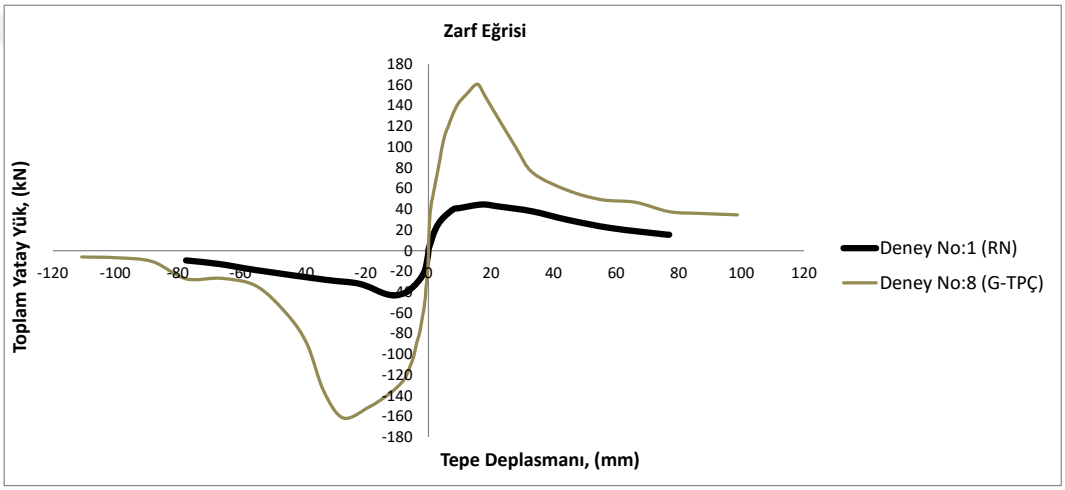


Şekil 5.38. 1. ve 8. deneylerin yükleme geçmişleri (tepe deplasmanına göre)

RN ve G-TPÇ'ye ait dayanım zarflarının karşılaştırması Şekil 5.39 ve Şekil 5.40'da verilmiştir. Şekil 5.39'da 1. kat yatay yük - 1. kat deplasmanını gösterirken, Şekil 5.40 Toplam yatay yükün-Tepe deplasmanına göre değişimini göstermektedir. 1. kat dayanım zarfları için yatay yük taşıma kapasitesindeki artış ileri ve geri yön için sırasıyla %261 ve %274'dür. İkinci kata gelen yatay yük değerleri açısından karşılaştırma yapıldığında ileri yönde RN 29.66 kN, geri yönde 28.79 kN yük taşırken, G-TPÇ numunesi ileri yön için 107.10 kN, geri yön için 107.71 kN maksimum yatay yük taşımıştır. Şekil 5.40'daki toplam sisteme gelen yatay yüke bağlı tepe deplasmanının olduğu dayanım zarflarında RN ileri ve geri yönde sırasıyla 44.50 kN ve 43.19 kN yük taşırken, G-TPÇ ileri ve geri yönde sırasıyla 160.65 kN ve 161.57 kN yük taşımıştır. Bu da RN'ye göre ileri ve geri yönde sırasıyla **3.61** kat ve **3.74** kat yatay yük taşıma kapasitesinde artış meydana geldiğini göstermektedir.

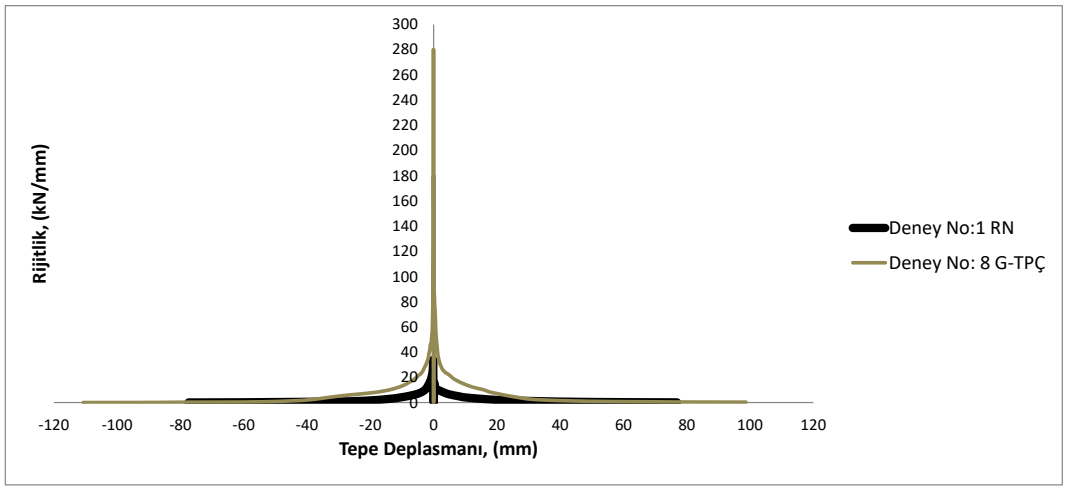


Şekil 5.39. 1. ve 8. deney numunelerinin 1. kat yatay yük – 1. kat deplasman zarfları



Şekil 5.40. 1. ve 8. deney numunelerinin toplam yatay yük – tepe deplasman dayanım zarfları

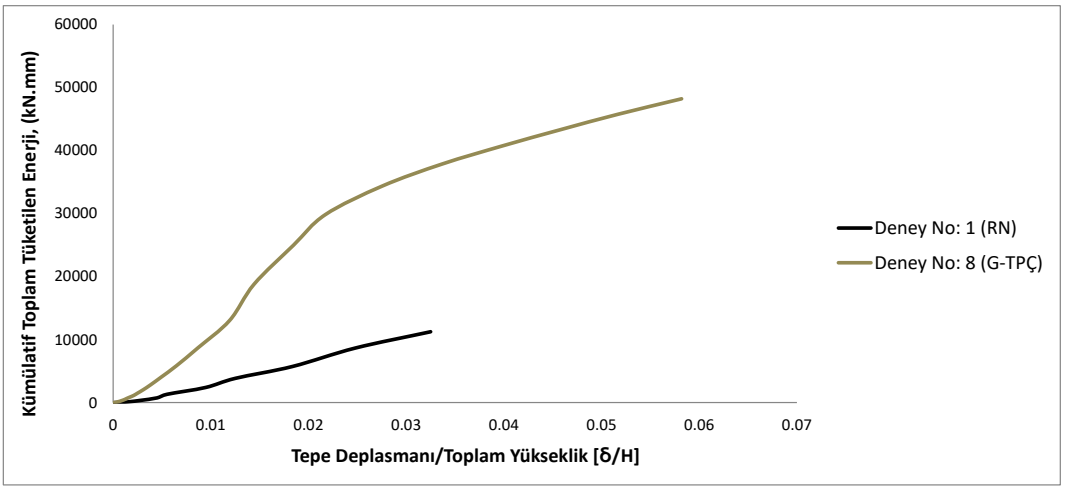
Rijitlik azalım grafikleri 1. ve 8. deney numuneleri için Şekil 5.41'de verilmiştir. Şekil 5.41'de verilen Toplam yatay yük – Tepe deplasmanı için verilen rijitlik azalımı grafiğinden görüldüğü gibi, 1 nolu deneyde başlangıç rijitliği ileri çevrimde 15.15 kN/mm, geri çevrimde 33.98 kN/mm iken, 8 nolu deneyde başlangıç rijitliği ileri çevrimde 179.83 kN/mm' ve geri çevrimde 280.22 kN/mm' dir. İlerleyen ileri ve geri çevrimlerde ise rijitlikler deney sonuna doğru düşmüştür. Şekil 5.41'de verilen rijitlik azalım grafiğine göre 8. deney numunesi 1. deney numunesine göre ileri çevrimde % 1087.00 artış sağlarken, geri çevrimde %724.4 daha fazla başlangıç rijitliğine sahiptir.



Şekil 5.41. 1. ve 8. deney numunelerinin rijitlik azalım eğrileri (Toplam yatay yük- Tepe deplasmanı için)

RN ve G-TPÇ deney numunelerine ait kümülatif toplam tüketilen enerji – Tepe deplasmanı/toplam yükseklik (ötelenme oranı) grafikleri Şekil 5.42'de gösterilmiştir. Şekil 5.42'de görüldüğü gibi, RN deney numunesi deney sonunda 0.032'lik deplasman oranı için 11.24 kj enerji tüketmişken, G-TPÇ deney numunesi 0.058'lik deplasman oranında 48.20 kj enerji tüketmiştir. G-TPÇ deney numunesinin RN'ye göre deney sonunda %328.74 oranından daha fazla enerji tükettiği görülmüştür. TDY-2007'de göreli kat öteleme oranı δ_{mak}/h oranı ile sınırlandırılmıştır. Bu yönetmeliğe göre güvenlik sınırı 0.03, göçme sınırı 0.04 olarak verilmiştir. Diğer bir deyişle gerçek bir yapıda tuğla duvarın dışında bulunan betonarme çerçevenin yeterince sünek olması durumunda ileri hasar düzeyinde olacağını, 0.04 oranını aşması halinde ise göçme bölgesine gireceğini söylemektedir. Bu açıdan bakıldığında güçlendirilmiş G-TPÇ deney numunesinin de bu sınır değerin altında kaldığı görülmektedir.

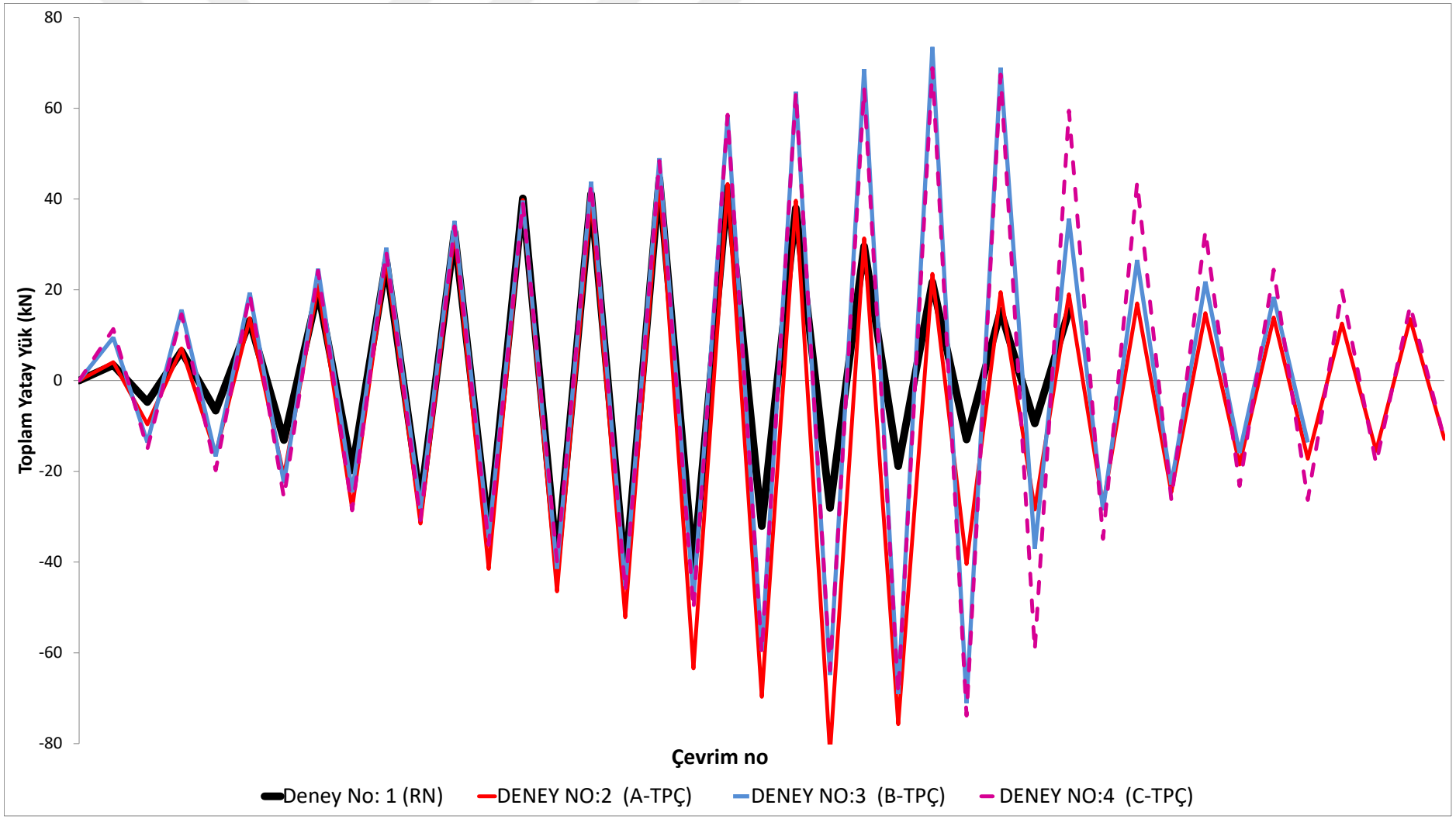
Güvenlik sınırı olan %3 için karşılaştırma yapılırsa RN 10.40 kj enerji tüketmişken, G-TPÇ 35.77 kj enerji tüketmiştir. G-TPÇ, RN'ye göre %244 daha fazla enerji tüketmiştir. 0.04 oranındaki göçme sınırı için karşılaştırma yapıldığında 1 nolu deney numunesinin maksimum 0.032 seviyesine ulaştığı ve bu orandaki değerinin 11.24 kj olduğu buna karşılık, 8 nolu deney numunesinin 0.04 oranındaki değerinin 40.79 kj olduğu hesaplanmıştır. Buna göre %4 göçme sınırı için G-TPÇ, RN'ye göre **%262.8** daha fazla enerji tüketmiştir.



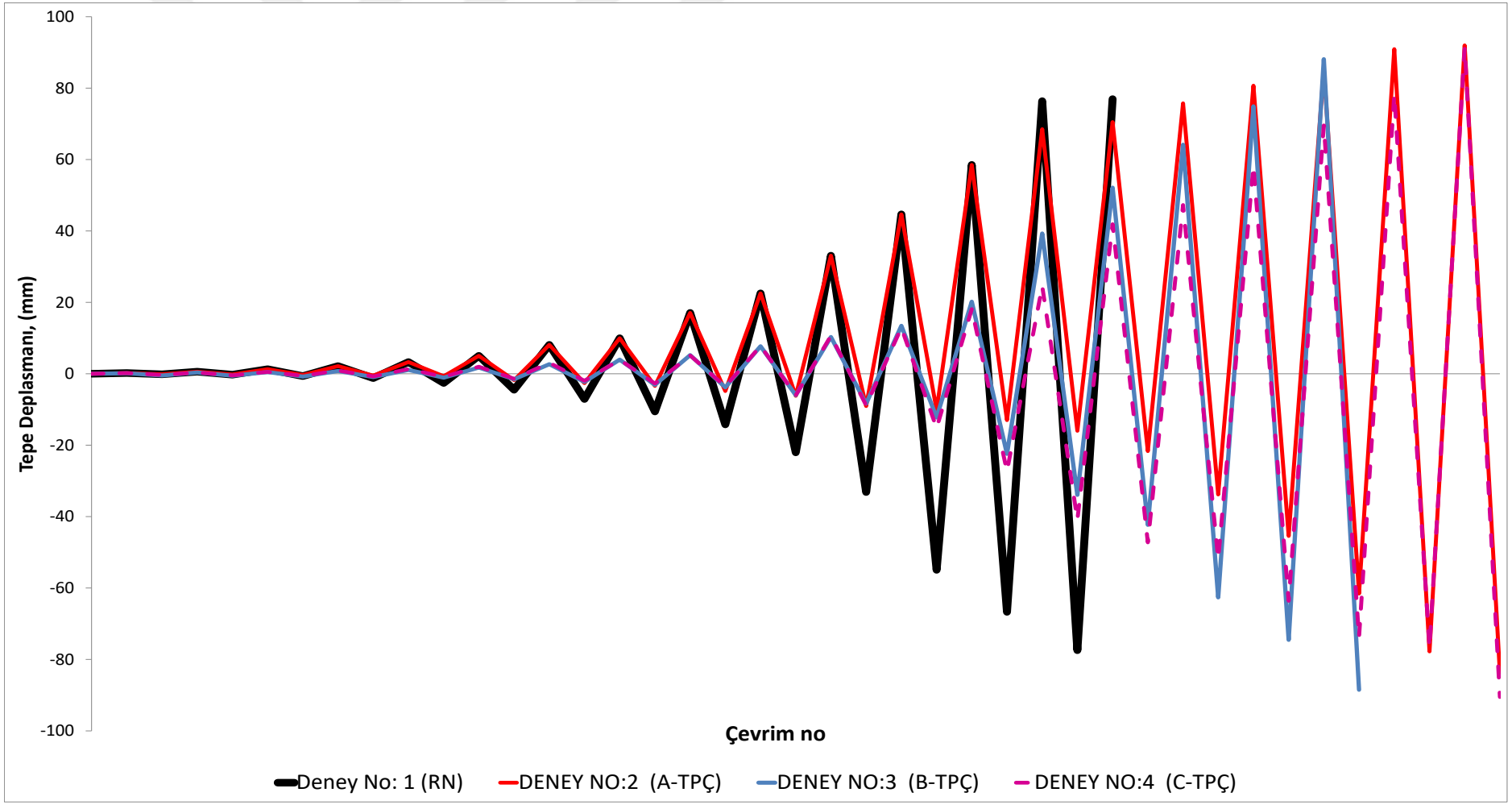
Şekil 5.42. 1. ve 8. deneyler için kümülatif toplam tüketilen enerji – ötelenme oranı grafikleri

5.8. Bütün Deneylerin Beraber Karşılaştırılması (1., 2., 3., 4., 5., 6., 7., 8., Deney Numuneleri)

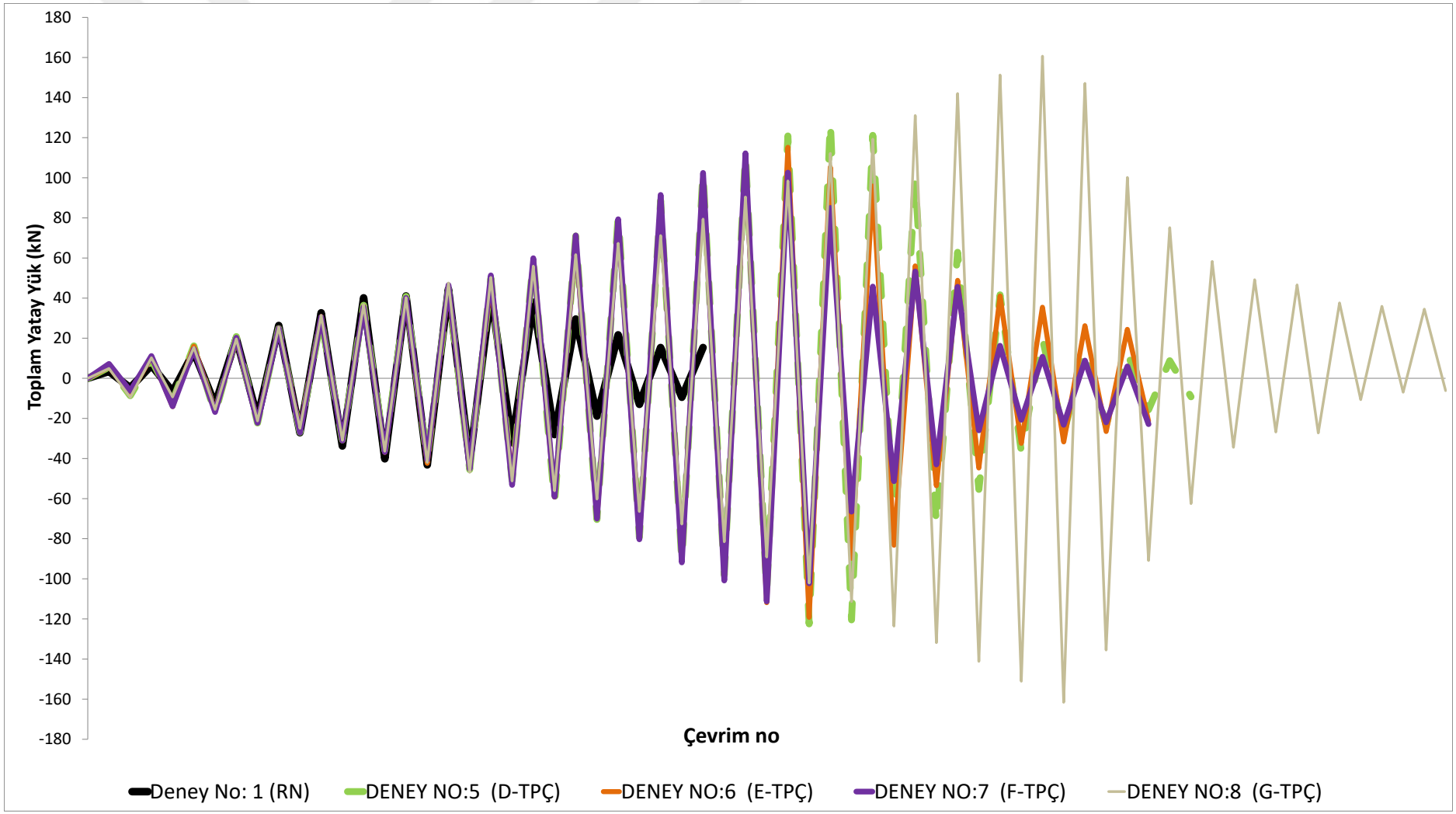
Bu bölümde birinci grup olarak bilinen panel genişliği 200 mm (A-TPÇ, BTPÇ ve C-TPÇ) ve ikinci grup 300 mm (D-TPÇ, E-TPÇ, F-TPÇ ve G-TPÇ) olan güçlendirilmiş deney numuneleri bir arada karşılaştırılmıştır. Bunun yanında numunelerinin sayısal olarak karşılaştırılması için maksimum yatay yük taşıma kapasiteleri, rijitlik ve enerji tüketme kapasitelerini içeren farklı tablolar hazırlanmıştır. Toplam yatay yüke ve Tepe deplasmanına göre birinci grup güçlendirilmiş deney numunelerinin referans numune ile birlikte karşılaştırılması sırasıyla Şekil 5.43-Şekil 5.44'de, ikinci grup güçlendirilmiş deney numunelerinin referans numune ile karşılaştırılması Şekil 5.45-Şekil 5.46'da ve tüm güçlendirilmiş deney numunelerinin referans deney numunesi ile birlikte karşılaştırılması Şekil 5.47- Şekil 5.48'de verilmiştir



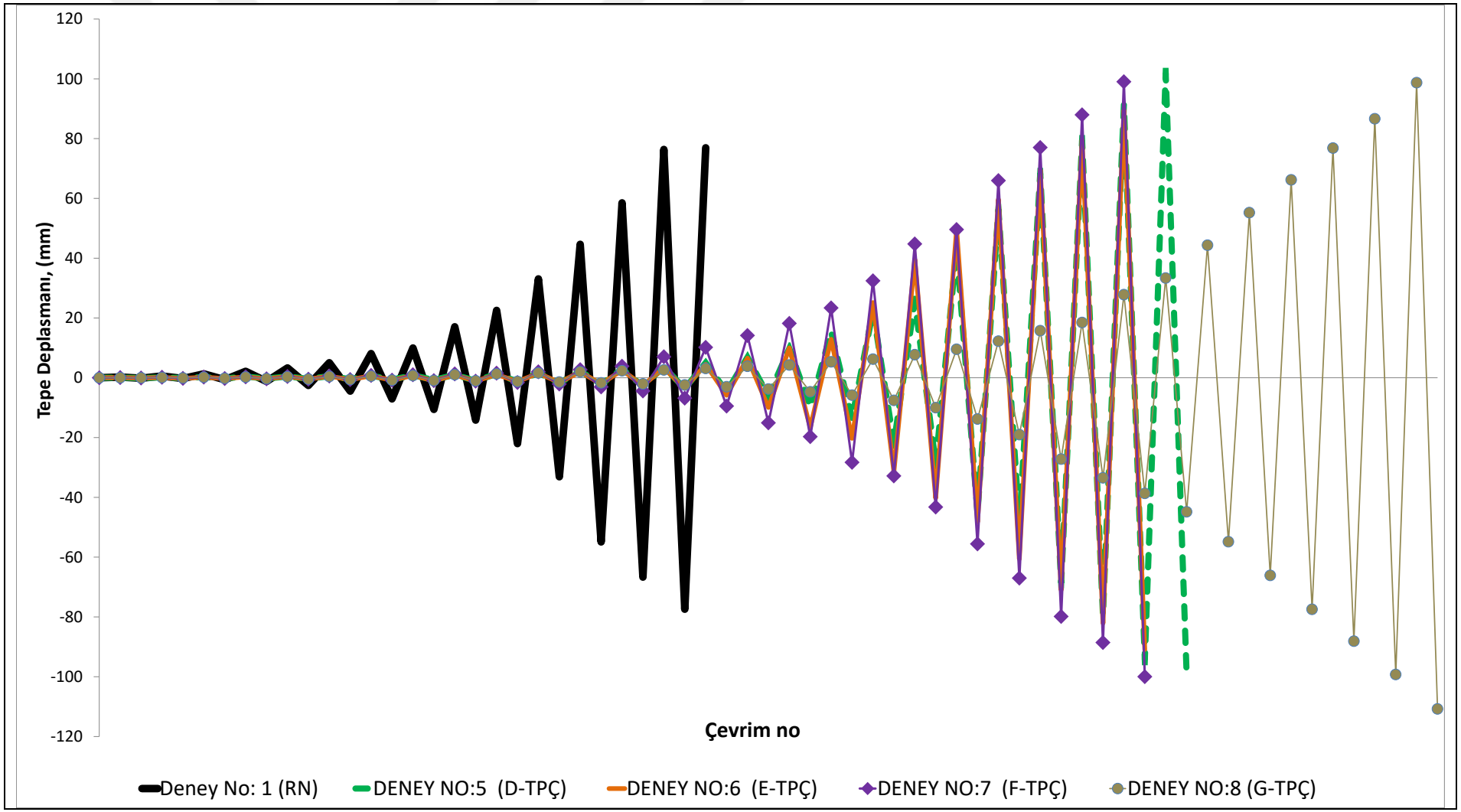
Şekil 5.43. 1., 2., 3. ve 4., deneyleri yükleme geçmişleri (toplam yatay yüke göre)



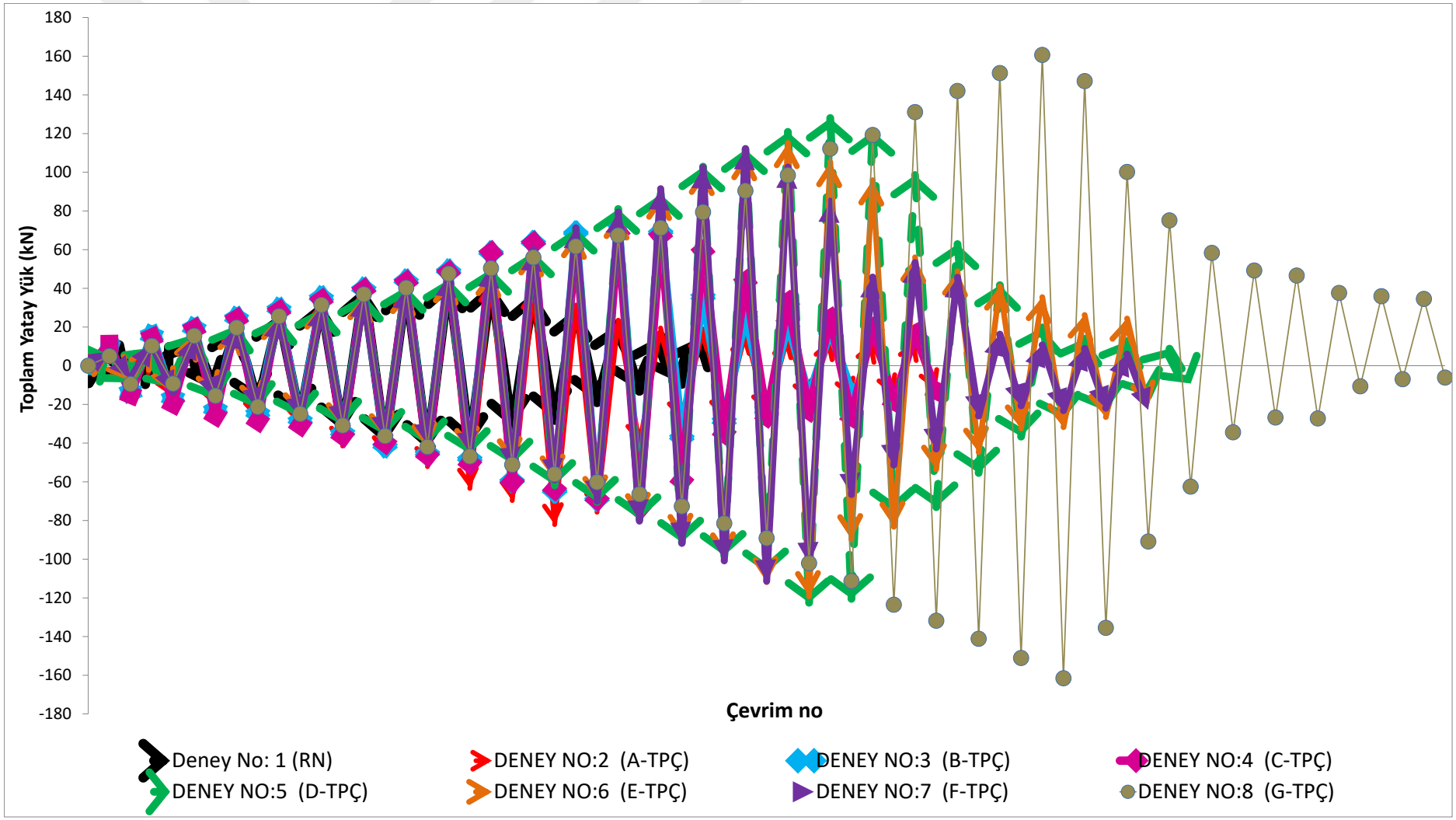
Şekil 5.44. 1., 2., 3. ve 4., deneylerin yükleme geçmişleri (tepe deplasmanına göre)



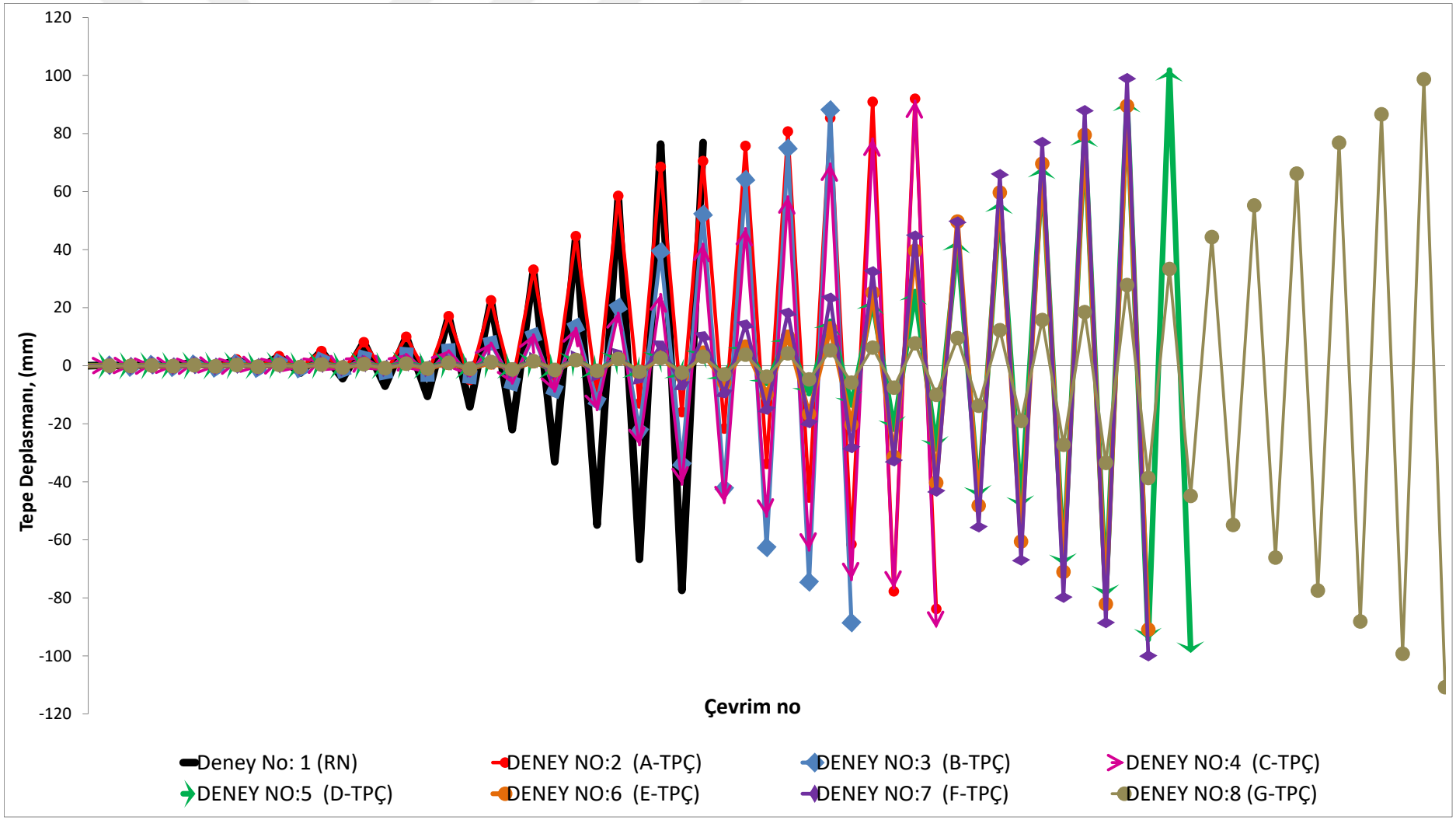
Şekil 5.45. 1., 5., 6., 7 ve 8. Deneylerine ait yükleme geçmişleri (toplam yatay yüke göre)



Şekil 5.46. 1., 5., 6., 7 ve 8. deneylerin yükleme geçmişleri (tepe deplasmanına göre)



Şekil 5.47. 1., 2., 3., 4., 5., 6., 7 ve 8. deneylerin yükleme geçmişleri (yatay yüke göre)

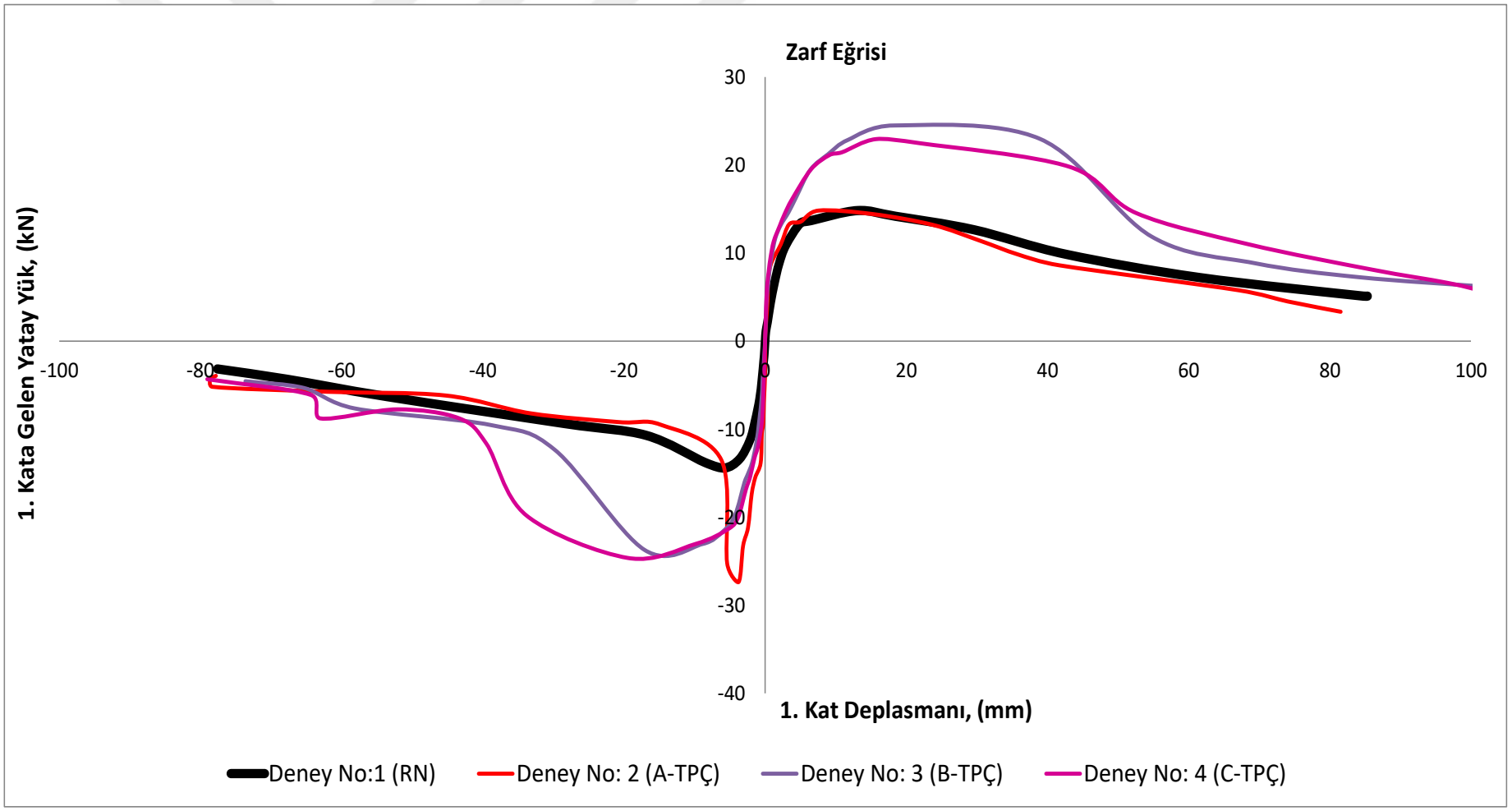


Şekil 5.48. 1., 2., 3., 4., 5., 6., 7 ve 8. deneylerin yükleme geçmişleri (tepe deplasmanına göre)

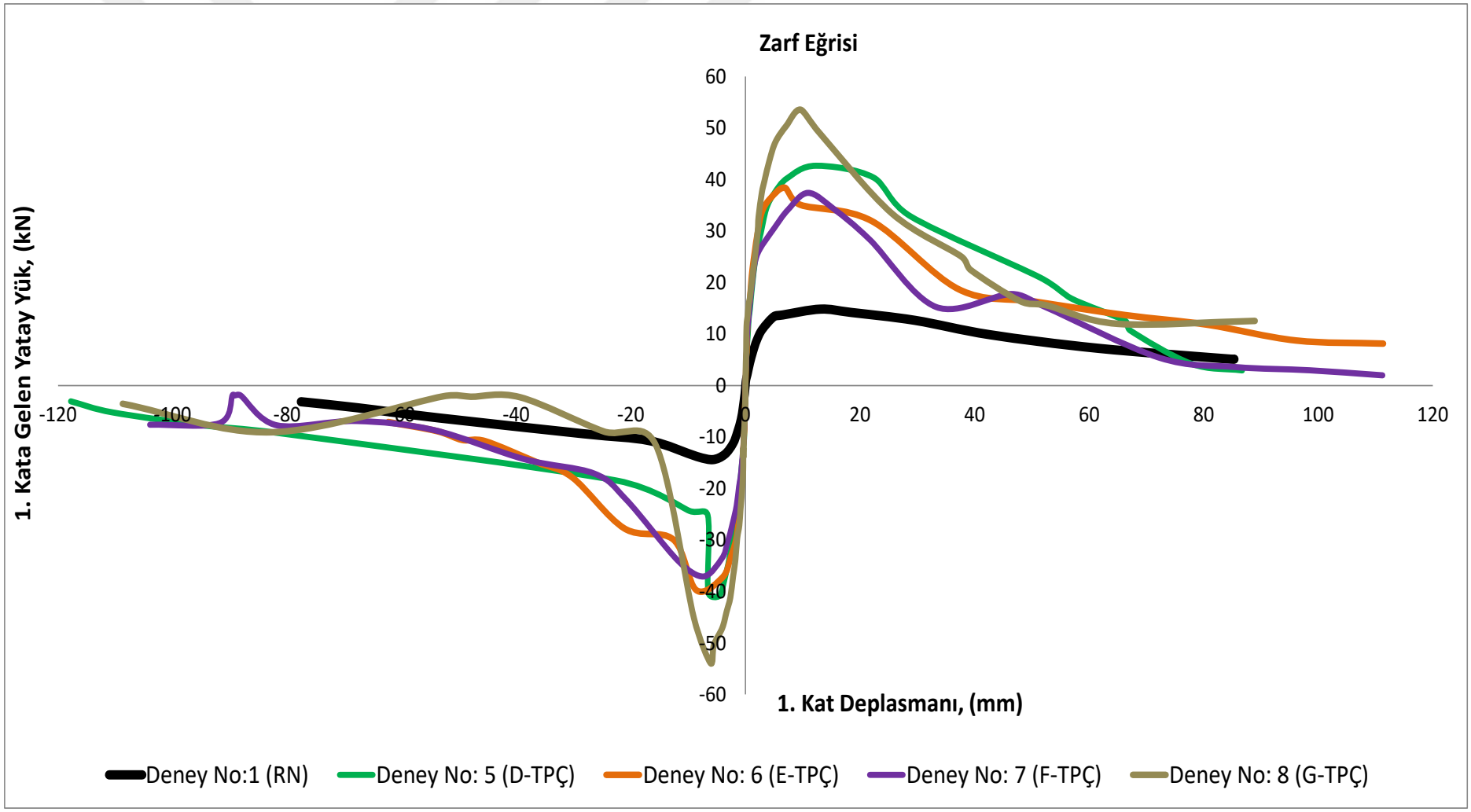
Panel genişliği 200 mm olan birinci ve panel genişliği 300 mm olan ikinci grup deney numunelerinin 1. kat yatay yük – 1. kat deplasman zarfı grafikleri Şekil 5.49-Şekil 5.50'de tüm deney numunelerinin karşılaştırılması ise Şekil 5.51'de verilmiştir. Toplam yatay yük – Tepe deplasman zarf eğrileri ise Şekil 5.52-Şekil 5.53'de ve tüm deney numunelerinin karşılaştırılması da Şekil 5.54'de gösterilmiştir.

Şekil 5.54'deki grafikten görüldüğü gibi, 8 nolu numune itme yönünde 160.65 kN ve çekme yönünde -161.57 kN maksimum yatay yüke ulaşarak kapasitesi en yüksek numune olmuştur. 8 nolu numune ulaştığı maksimum yük bakımından itme ve çekme durumunda sırasıyla, 1 nolu numuneden % 261-%274, 2 nolu numuneden %261-%97, 3 nolu numuneden %118-%127 , 4 nolu numuneden %133-%118, 5 nolu numuneden %25-%32, 6 nolu numuneden %39-%36 ve 7 nolu numuneden %43-%45 daha fazla yatay yük taşımıştır. Bu da gösteriyor ki 8 nolu deney numunesi hem maksimum yatay yük taşıma kapasitesi bakımından hem de akmadan sonra gösterdiği süneklik açısından güçlendirilmiş deney numuneleri arasında en başarılı olanıdır.

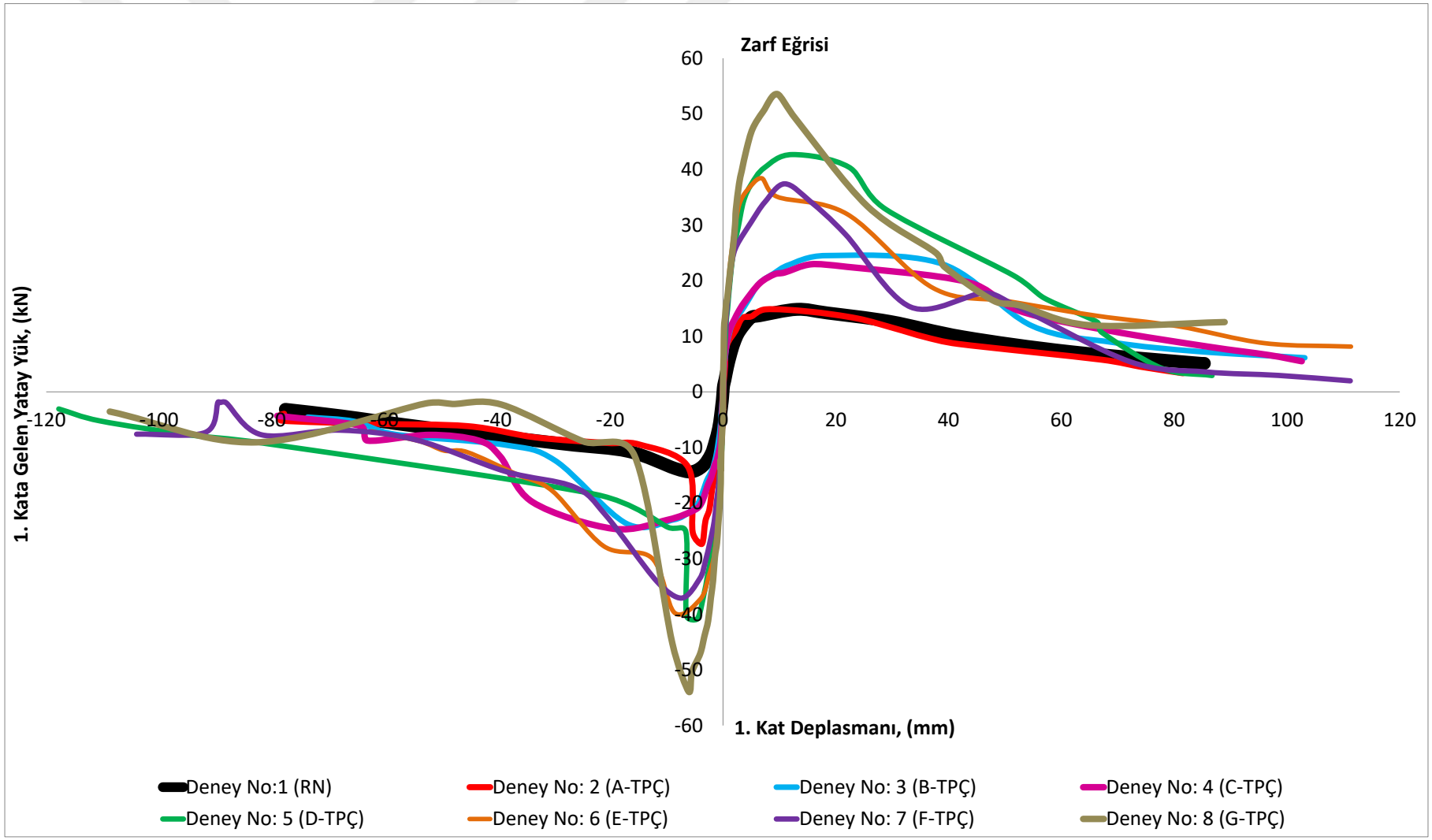
Sistem rijitlik azalım grafikleri birinci grup deney numuneleri için Şekil 5.55'de, İkinci grup deney numuneleri için Şekil 5.56'da ve tüm deney numunelerinin toplam yatay yük-Tepe deplasmanına bağlı rijitlik azalım grafiği Şekil 5.57'de gösterilmiştir. Şekil 5.57 incelendiğinde başlangıç rijitliği açısından en yüksek değere sahip numune 8 nolu numunedir. Ayrıca numunelerde ileri ve geri yöndeki rijitlik değerleri farklılık göstermektedir. 8 nolu numune ulaştığı maksimum rijitlik bakımından itme ve çekme durumunda sırasıyla 1 nolu numuneden %1087 -%724, 2 nolu numuneden %286-%219, 3 nolu numuneden %194-%808 , 4 nolu numuneden %210-%515, 5 nolu numuneden %82-%178, 6 nolu numuneden %67-%267 ve 7 nolu numuneden %70-%262 daha fazla başlangıç rijitliğine sahiptir. Dolayısıyla 8 nolu deney numunesi başlangıç rijitliği bakımından da güçlendirilmiş deney numuneleri arasında en iyi olanıdır.



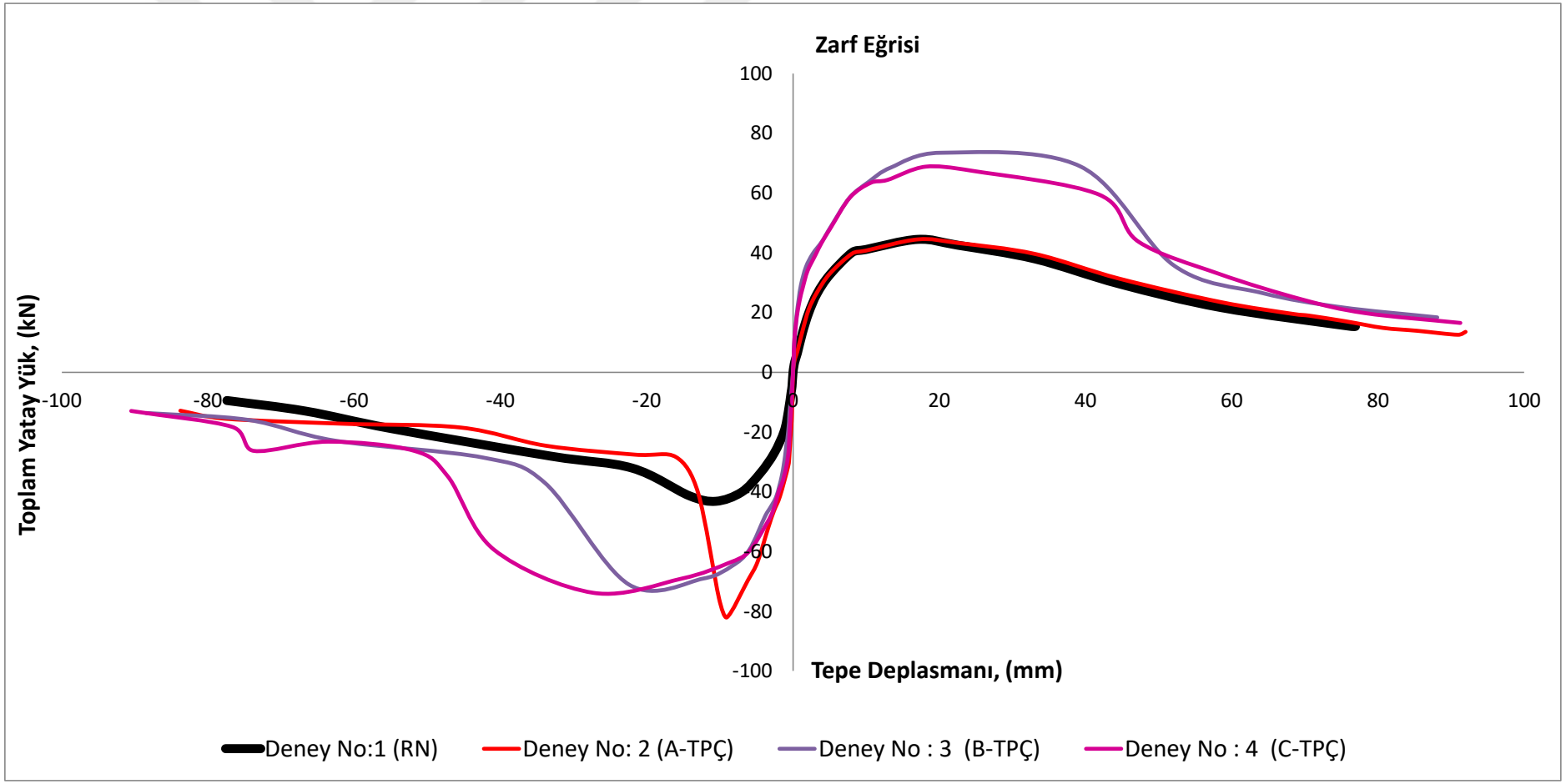
Şekil 5.49. 1., 2., 3. ve 4. deney numunelerin 1. kat yatay yük – 1. kat deplasman zarfı grafikleri



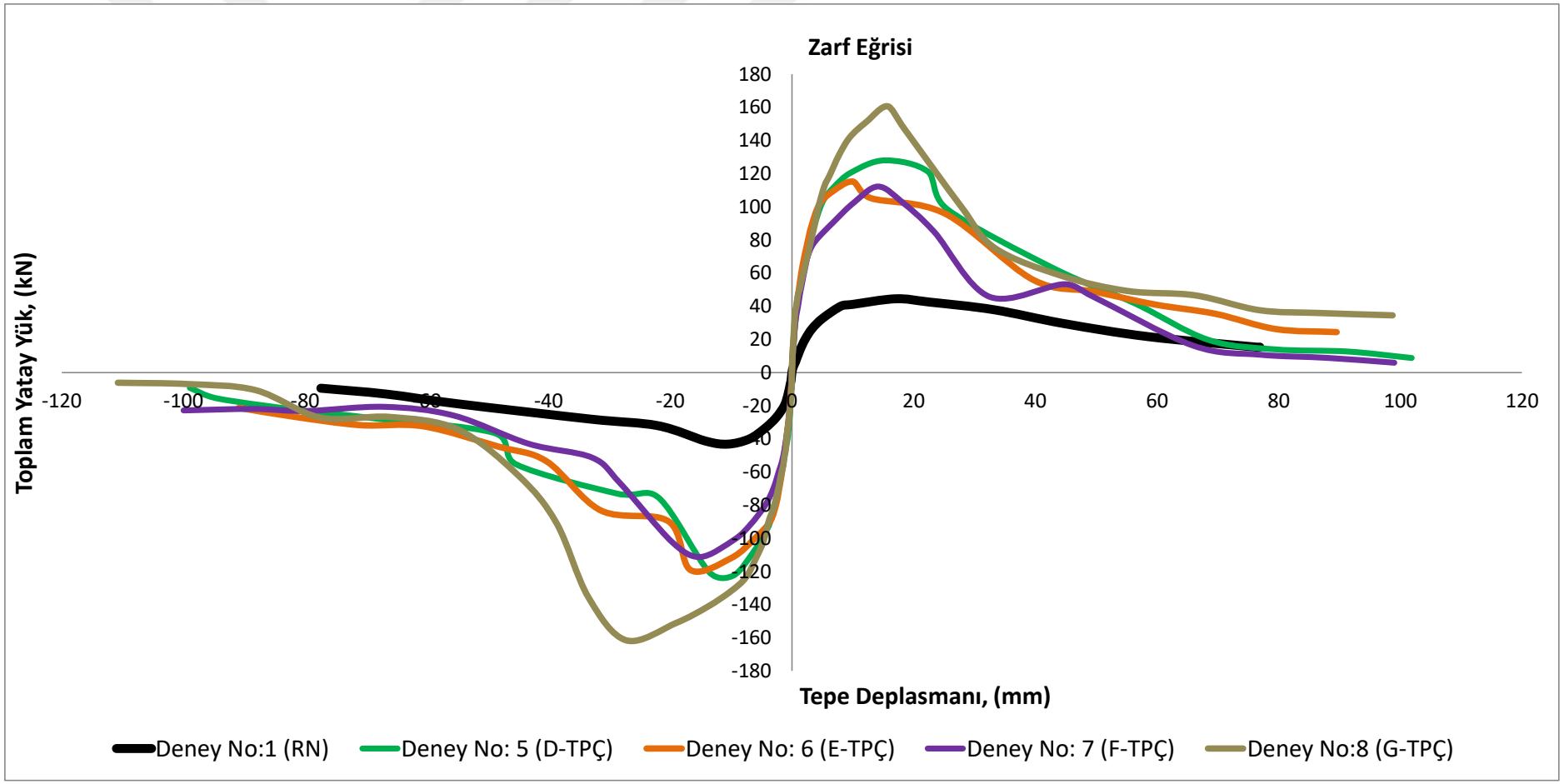
Şekil 5.50. 1., 5., 6., 7 ve 8. deney numunelerin 1. kat yatay yük – 1. kat deplasman zarfı grafikleri



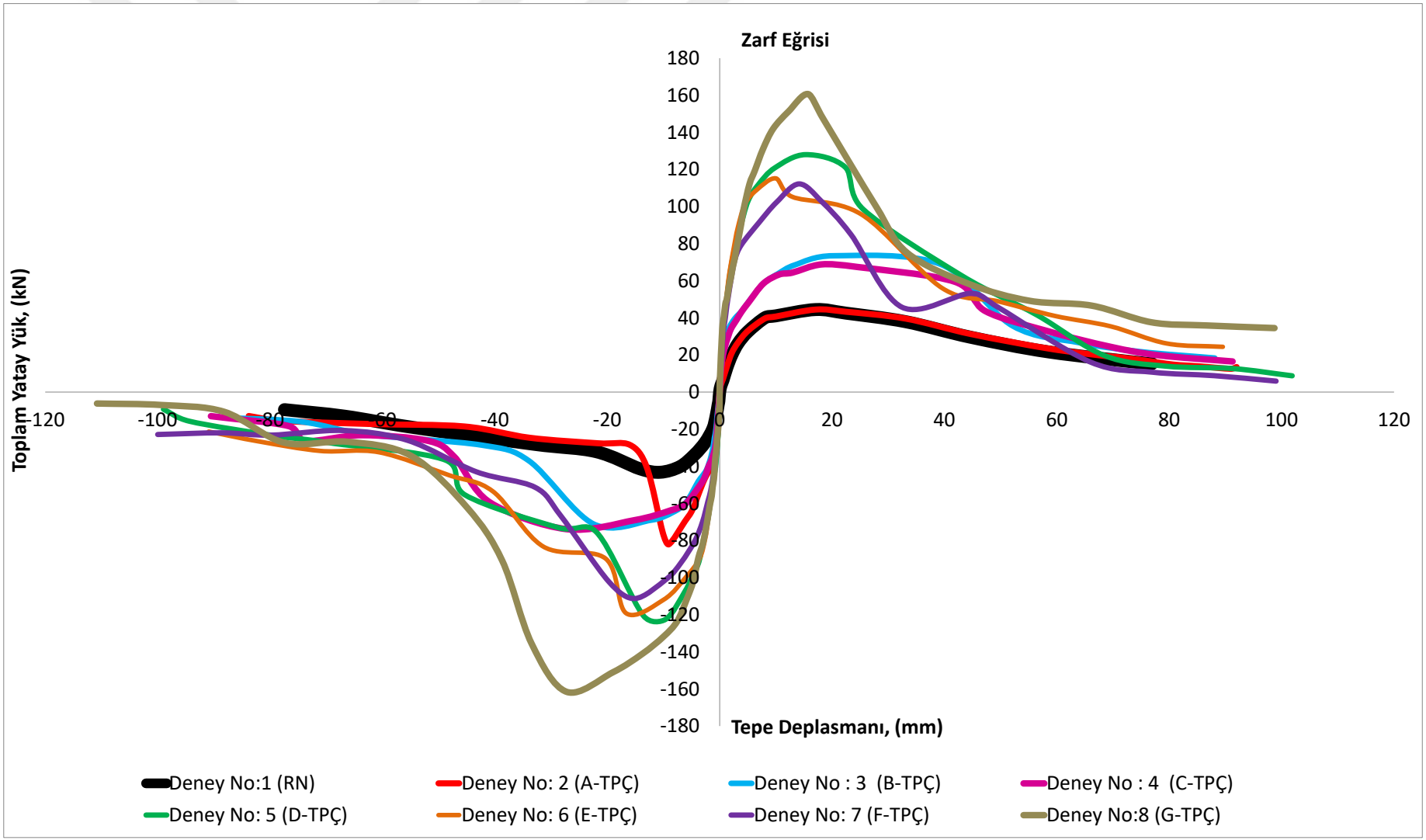
Şekil 5.51. 1., 2., 3., 4., 5., 6., 7 ve 8. deney numunelerin 1. kat yatay yük – 1. kat deplasman zarfı grafikleri



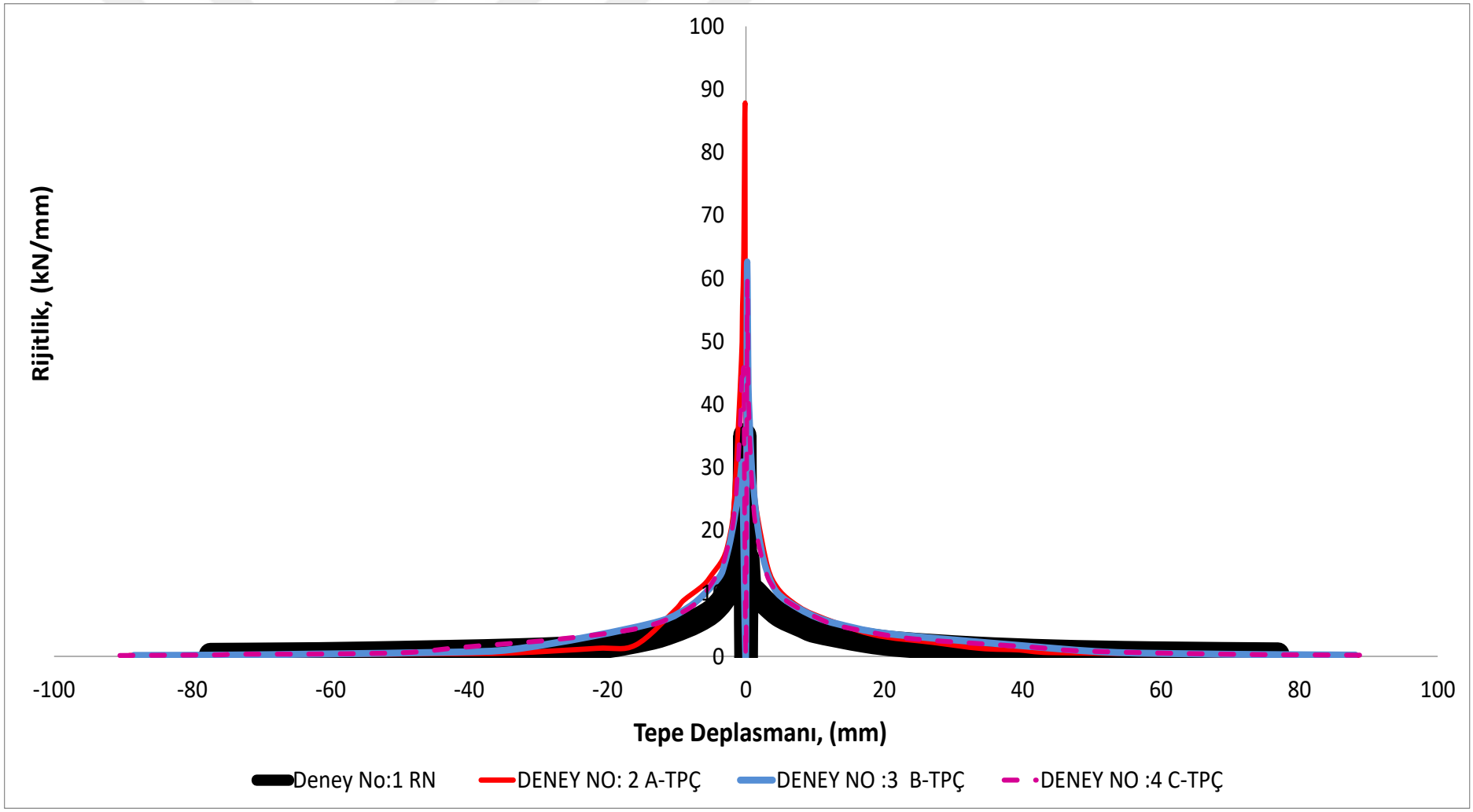
Şekil 5.52. 1., 2., 3. ve 4. deney numunelerin Toplam yatay yük – Tepe deplasman zarfı grafikleri



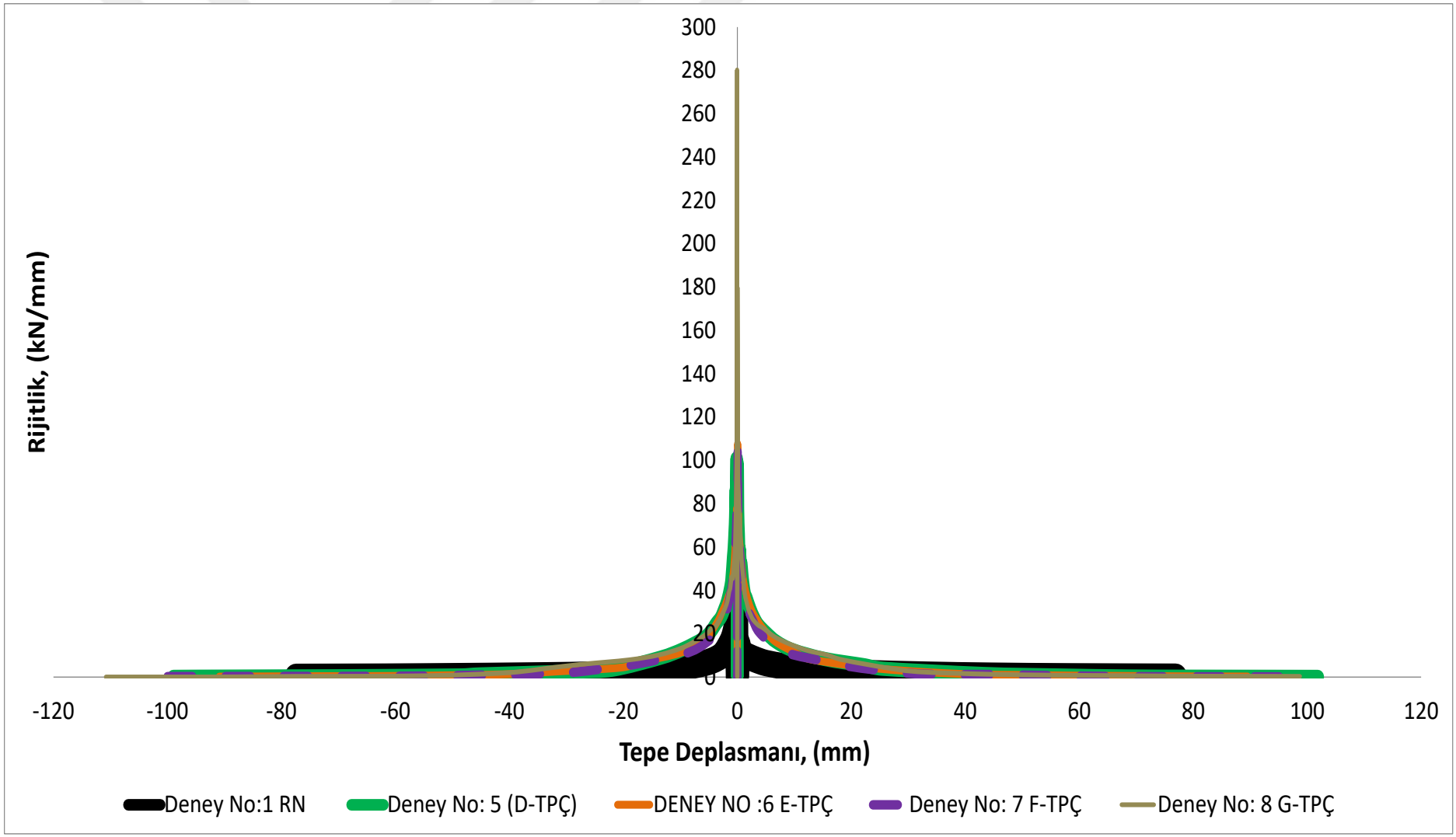
Şekil 5.53. 1., 5., 6., 7 ve 8. deney numunelerin Toplam yatay yük – Tepe deplasman zarfı grafikleri



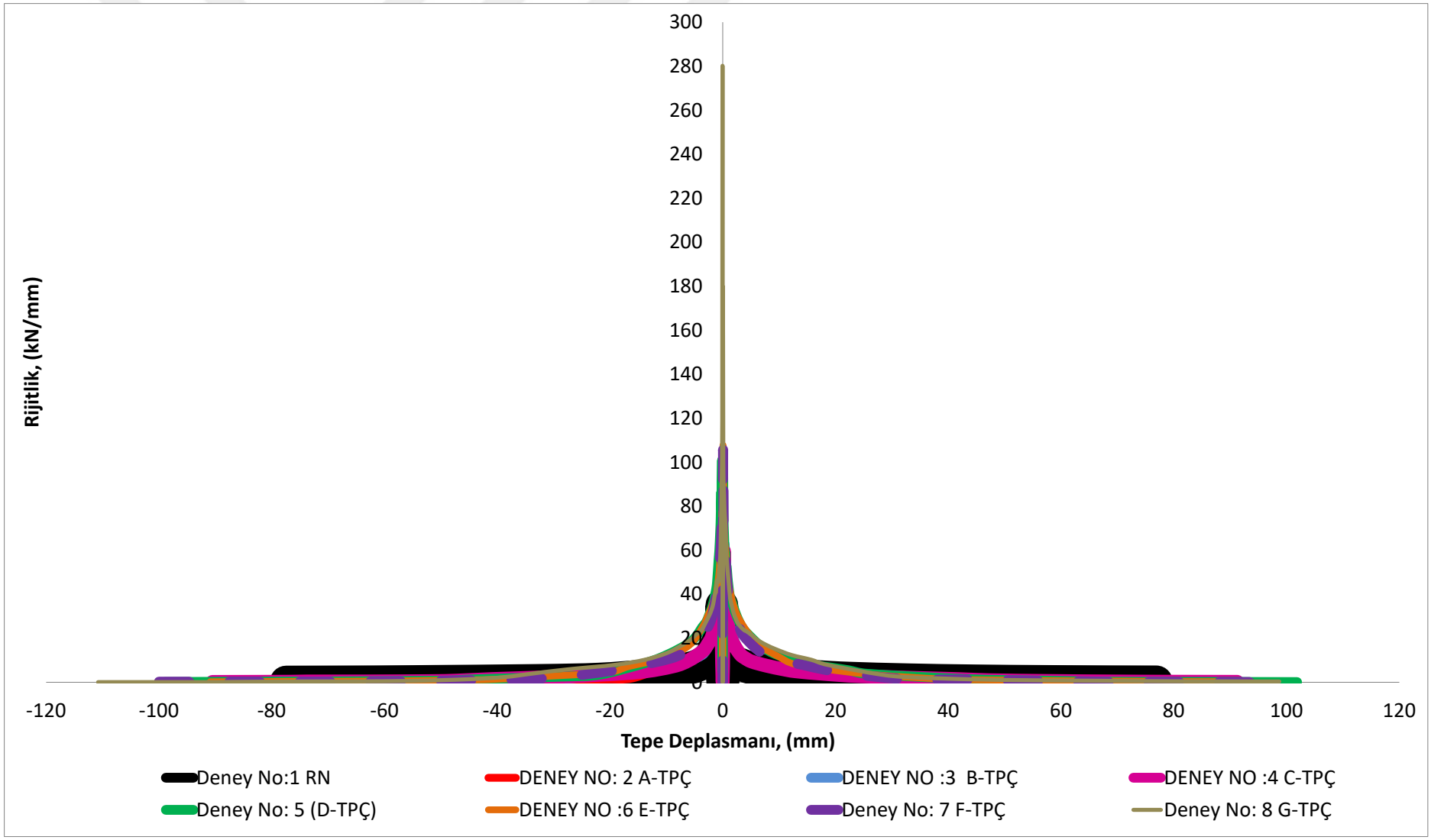
Şekil 5.54. 1., 2., 3., 4., 5., 6., 7 ve 8. deney numunelerin Toplam yatay yük – Tepe deplasman zarfı grafikleri



Şekil 5.55. 1., 2., 3. ve 4. deney numunelerinin rijitlik azalım eğrileri (Toplam yatay yük – Tepe deplasmana göre)



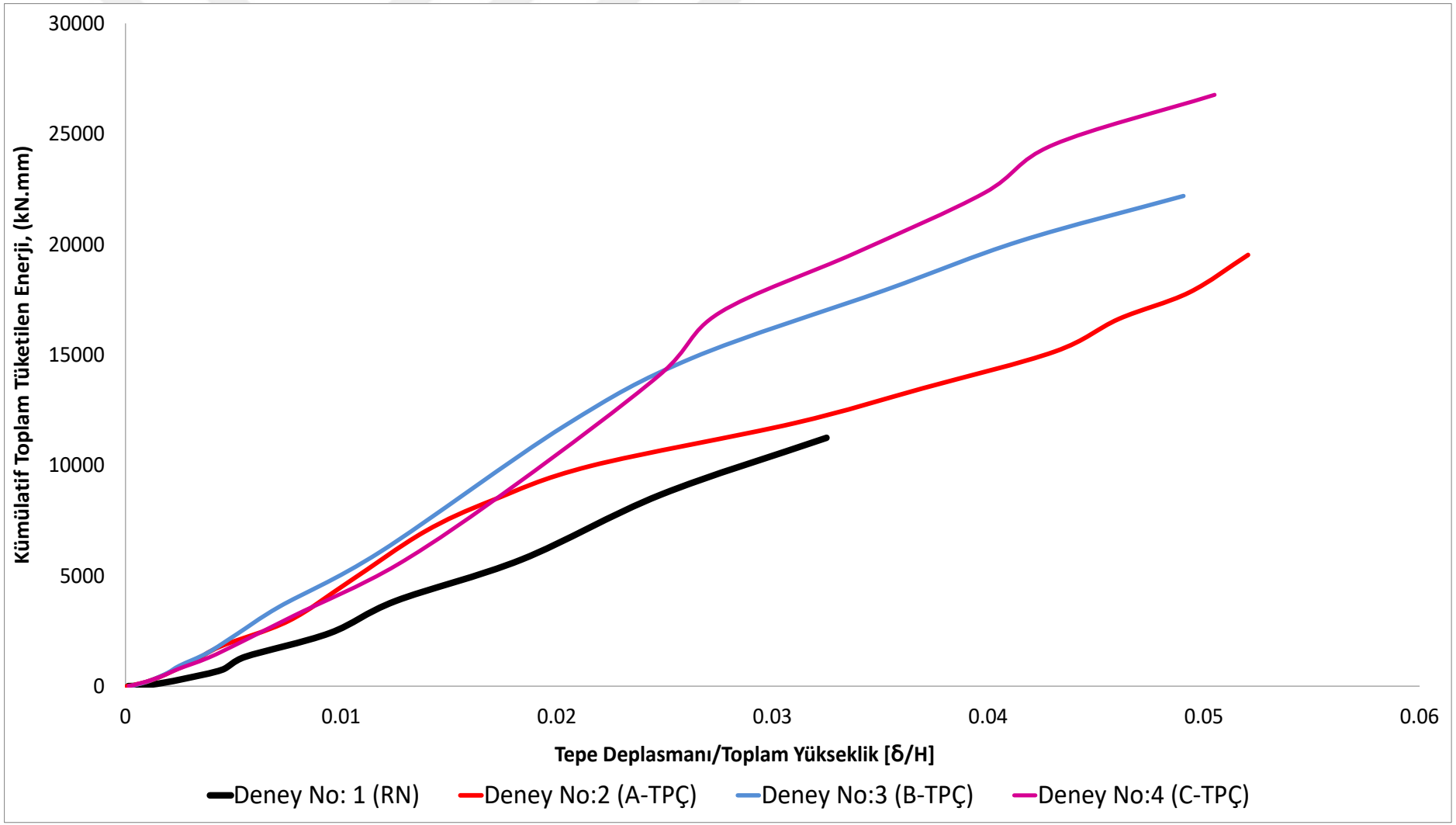
Şekil 5.56. 1., 5., 6., 7. ve 8. deney numunelerinin rijitlik azalım eğrileri (Toplam yatay yük – Tepe deplasmana göre)



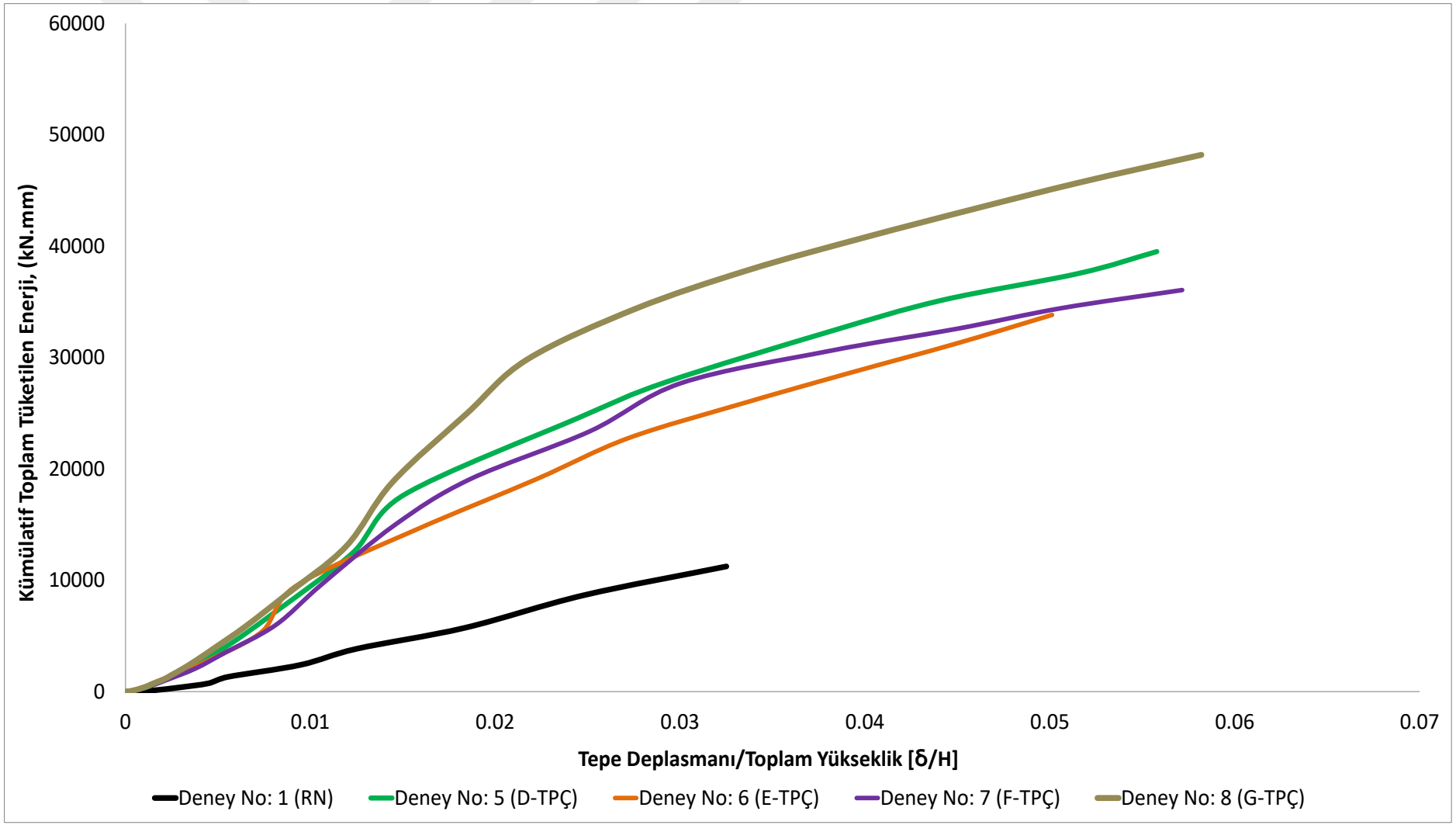
Şekil 5.57. 1., 2., 3., 4., 5., 6., 7. ve 8. deney numunelerinin rijitlik azalım eğrileri (Toplam yatay yük - Tepe deplasmana göre)

Enerji tüketme kapasitesi yapıların şiddetli yer sarsıntılarına karşı koyabilmesinin ve davranıştaki olası iyileşmenin bir göstergesidir. Bütün deney numunelerinde bu değer, toplam yatay yük-tepe deplasmanı grafiklerindeki tam çevrimlerin altındaki alanlarının toplanması ile elde edilmiştir. Bu amaçla, birinci grup deney numunelerinin enerji tüketim grafikleri Şekil 5.58'de, ikinci grup deney numunelerinin enerji tüketim grafikleri Şekil 5.59'da ve tüm deney numunelerinin enerji tüketimi açısından karşılaştırılması Şekil 5.60'da verilmiştir. Şekil 5.60'daki kümülatif toplam tüketilen enerji – ötelenme oranı grafiklerinden görüldüğü gibi, deney sonunda 8 nolu güçlendirilmiş deney numunesi, 1 nolu numuneden % 329, 2 nolu numuneden % 147, 3 nolu numuneden % 117, 4 nolu numuneden ise % 80, 5 nolu numuneden % 22, 6 nolu numuneden %42 ve 7 nolu numuneden % 34 daha fazla enerji tüketmiştir. Maksimum yükteki enerji tüketimleri karşılaştırıldığında, 8 nolu güçlendirilmiş deney numunesi, 1 nolu numuneden %983, 2 nolu numuneden %253, 3 nolu numuneden %148, 4 nolu numuneden ise %69, 5 nolu numuneden %15, 6 nolu numuneden %53 ve 7 nolu numuneden %15 daha fazla enerji tüketmiştir. Dolayısıyla güçlendirilmiş deney numuneleri arasından 8 nolu deney numunesi enerji tüketme kapasitesi açısından diğer numunelere göre maksimum yükte ve deney sonunda daha başarılıdır.

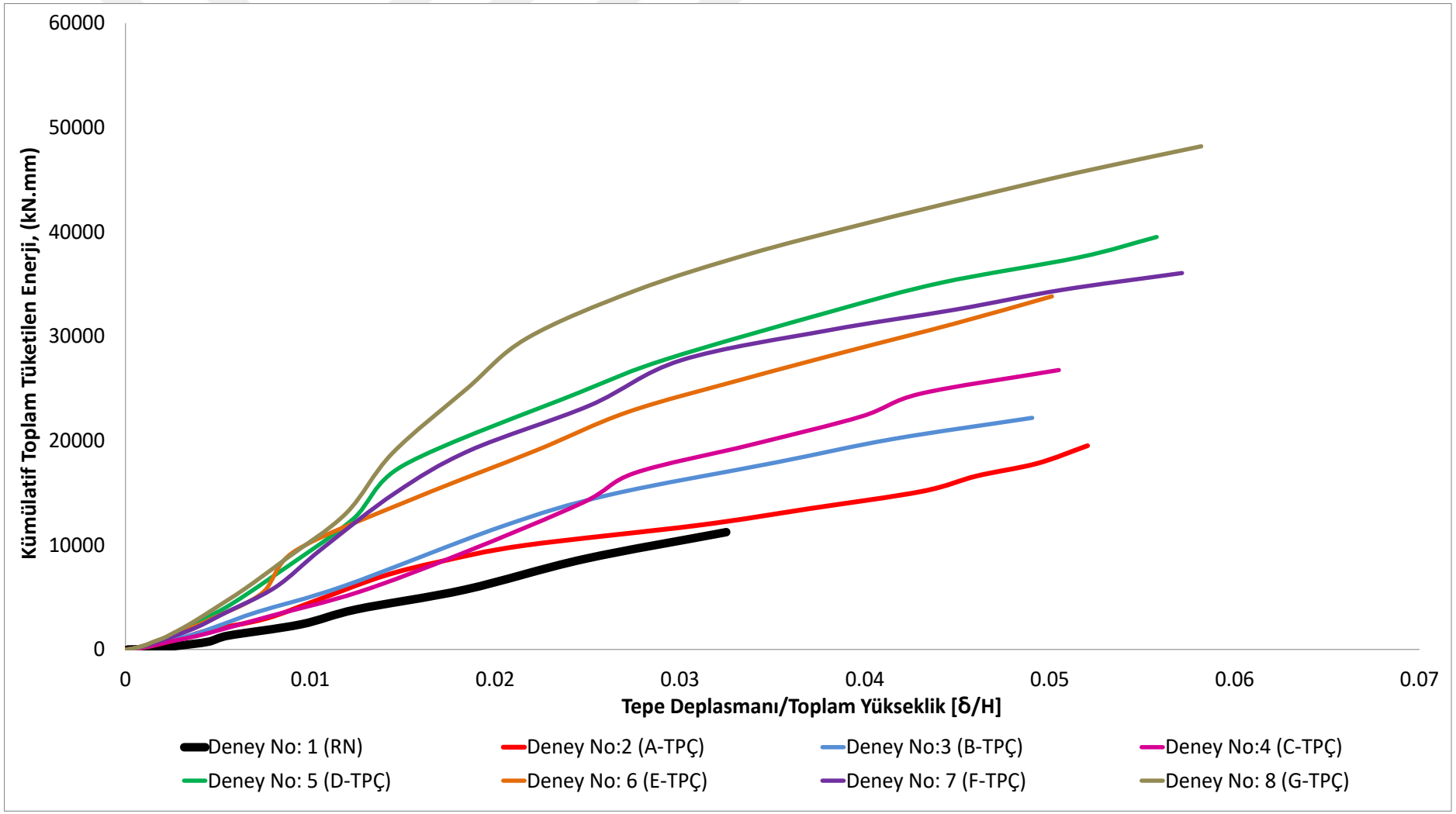
Diğer taraftan panel genişliği 200 mm ve 300 mm olan birinci ve ikinci grup güçlendirilmiş deney numunelerinin daha kolay karşılaştırılabilmesi için farklı tablolar hazırlanmıştır. Deney numunelerinin maksimum yatay yük kapasiteleri ve bu yükte oluşan ötelenme oranları Çizelge 5.1'de, rijitlik değişimi Çizelge 5.2'de 8 adet deney numunesinin maksimum yükte ve deney sonunda tükettikleri maksimum enerji değerleri kj (kilojoule) cinsinden Çizelge 5.3'de gösterilmiştir. Karşılaştırmalar 1. deney numunesine göre yapılmıştır. Çizelge 5.1 incelendiğinde, RN'ye göre güçlendirilmiş deney numuneleri etkili bir oranda deformasyon miktarını azaltmıştır. Ayrıca TDY-2007'de yapıların göreli kat ötelenme oranı güvenlik sınırında 0.03 olarak belirtilmiştir. Çizelge 5.1'de görülebildiği üzere tüm elemanların maksimum yatay yük seviyelerindeki 2. kat ötelenme oranı değerleri sınır değerin altında kalmıştır.



Şekil 5.58. 1., 2., 3. ve 4. deney numunelerinin kümülatif toplam tüketilen enerji – ötelenme oranı grafikleri



Şekil 5.59. 1., 5., 6., 7. ve 8., deney numunelerinin kümülatif toplam tüketilen enerji – ötelenme oranı grafikleri



Şekil 5.60. 1., 2., 3., 4. 5., 6., 7. ve 8., deney numunelerinin kümülatif toplam tüketilen enerji – ötelenme oranı grafikler

Çizelge 5.1. Deney numunelerinin maksimum yatay yük taşıma kapasiteleri ile ilgili karşılaştırma

Deney Numunesi	Maksimum Yatay Yük Tepe Deplasmanı Değerleri				Maksimum Yatay Yük Oranı		Maksimum Yatay Yükte 2. Kat ötelenme oranı $(\delta_{mak}/h)=[(d_i-d_{i-1})/h)]$		Maksimum Yatay Yükte 1. Kat ötelenme oranı $(\delta_{mak}/h)=[(d_i-d_{i-1})/h)]$	
	Maksimum Yatay Yük (kN)		Tepe Deplasmanı (mm)							
	İleri	Geri	İleri	Geri	İleri	Geri	İleri	Geri	İleri	Geri
Deney 1: RN	**44.50**	**43.20**	**17.06**	**10.57**	**1.000**	**1.000**	**0.0044**	**0.0054**	**0.0145**	**0.0063**
Deney 2: A-TPÇ	44.49	82.07	17.05	9.05	0.99	1.90	0.011	0.0059	0.0083	0.00417
Deney 3: B-TPÇ	73.50	71.10	20.20	22.43	1.65	1.64	0.0021	0.0059	0.0203	0.0190
Deney 4: C-TPÇ	68.85	73.85	18.14	27.30	1.55	1.71	0.0027	0.0087	0.0174	0.0216
Deney 5: D-TPÇ	128.02	122.49	15.30	9.61	2.87	2.83	0.0033	0.0056	0.0136	0.0050
Deney 6: E-TPÇ	115.20	119.18	10.01	16.64	2.59	2.76	0.0034	0.0089	0.0076	0.0095
Deney 7: F-TPÇ	112.23	111.27	14.14	15.09	2.52	2.57	0.0035	0.0086	0.0121	0.0081
Deney 8: G-TPÇ	160.65	161.57	15.75	27.21	3.61	3.74	0.0067	0.0234	0.0107	0.0068

Çizelge 5.2. Tüm deney numunelerinin rijitlik karşılaştırması

Numune	**Maksimum Yatay Yük (kN)**		**Başlangıç Rijitliği (kN/mm)**		**Oran [(1)]**		**Maksimum Yatay Yük Altındaki Rijitlik (kN/mm)**		**Oran[(2)]**		**Son Rijitlik (kN/mm)**		**Oran [(3)]**	
Çevrim														
Numune	İleri	Geri	İleri	Geri	İleri	Geri	İleri	Geri	İleri	Geri	İleri	Geri	İleri	Geri
RN	**44.50**	**43.20**	**15.15**	**33.98**	**1**	**1**	**2.61**	**2.65**	**1**	**1**	**0.19**	**0.12**	**1**	**1**
A-TPÇ	44.49	82.07	22.20	87.85	1.46	2.58	6.72	11.27	2.57	4.25	0.19	0.13	1	1.08
B-TPÇ	73.50	71.10	61.25	30.87	4.04	0.91	3.64	3.17	1.39	1.19	0.21	0.15	1.11	1.25
C-TPÇ	68.85	73.85	57.95	45.56	3.82	1.34	2.74	2.70	1.04	1.02	0.20	0.14	1.05	1.17
D-TPÇ	128.02	122.49	98.71	77.72	6.52	2.28	8.36	9.61	3.20	3.62	0.13	0.16	0.68	1.33
E-TPÇ	115.20	119.18	107.78	76.28	7.11	2.24	11.50	7.16	4.41	2.71	0.27	0.23	1.42	1.92
F-TPÇ	112.23	111.27	105.68	77.42	6.97	2.28	7.93	7.37	3.03	2.78	0.25	0.24	1.31	2
G-TPÇ	160.65	161.57	179.83	280.22	11.86	8.25	12.34	4.04	4.73	1.52	0.35	0.35	1.84	2.92

[(1)] Güçlendirilmiş deney numunelerinin RN'ye göre başlangıç rijitlikleri oranı

[(2)] Güçlendirilmiş deney numunelerinin RN'ye göre maksimum yatay yük altındaki rijitlikleri oranı

[(3)] Güçlendirilmiş deney numunelerinin RN'ye göre son rijitlikleri oranı

Tüm deney numunelerinin dayanım ve rijitlikleri ile genel davranışları deneye başlangıcından sonuna kadar Çizelge 5.2'de değerlendirilmiştir. Bir deney numunesinin herhangi bir çevrimdeki rijitlik değeri, ilgili çevrimdeki yatay yük-tepe deplasmanı grafiğindeki en dik lineer bölümün eğimi olarak hesaplanmıştır. Çizelge 5.2'deki değerler incelendiğinde RN'ye göre ikinci grup güçlendirme panelleri birinci gruba göre ilk rijitliklerini daha da artırmış, ileri çevrim rijitlik değerlerindeki düşüşü azaltmıştır. Panel genişliğinin 200 mm'den 300 mm'ye çıkarılması da ayrıca duvar elemanlarının daha yüksek çevrim rijitlik değerlerine sahip olmalarını sağlamıştır.

Enerji tüketme kapasitesi, yapının şiddetli yer sarsıntılarına karşı direnç gösterebilmesinin ve yapı davranışındaki iyileşmenin bir ölçüsüdür. Yapılan tüm deneysel çalışmadaki numuneler için bu değerler, yatay yük-tepe deplasmanı grafiklerindeki bütün çevrimlerin altında kalan alanların toplanması sonucu hesap edilmiştir. Tüm deney numunelerinin deney sonundaki toplam kümülatif enerji tüketme kapasiteleri ve maksimum yükte ilgili çevrimdeki tüketilen toplam enerji değerleri Çizelge 5.3'de ***kj (kilojoule) cinsinden*** verilmiştir. Çizelge 5.3 incelendiğinde, sıvanmış dolgu duvar üzerine önüretimli beton panellerin yapıştırılması numunelerin enerji tüketme kapasitesini artırmıştır. Özellikle 300 mm panel genişliğine sahip ikinci grup güçlendirilmiş deney numuneleri panel genişliğinin artırılmasına bağlı olarak enerji tüketme kapasitesindeki artışı pekiştirmiştir.

Çizelge 5.3. Deney numunelerinin enerji tüketme kapasiteleri ile ilgili karşılaştırma

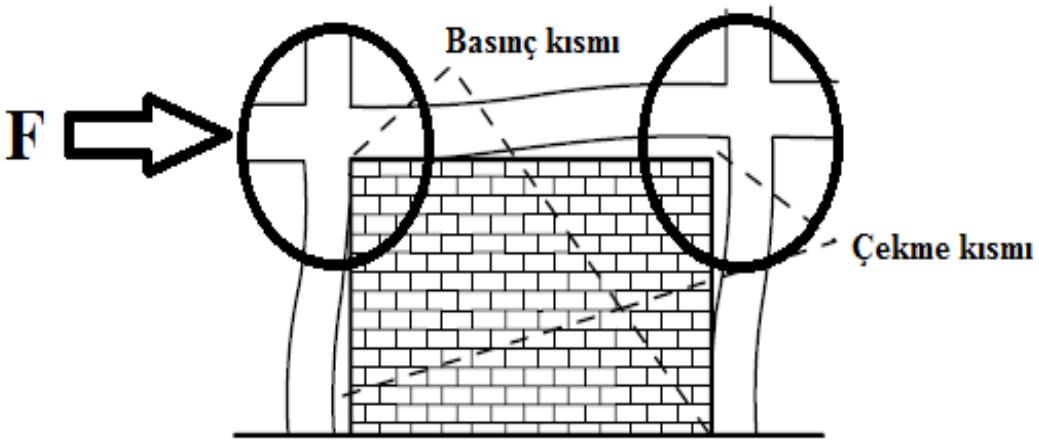
	Tüketilen Enerji Değerleri (kj)		Tüketilen Enerji Oranları	
	Maksimum Yükte	Deney Sonunda	Maksimum Yükte	Deney Sonunda
RN	**0.57**	**11.24**	**1.00**	**1.00**
A-TPÇ	1.75	19.52	3.07	1.74
B-TPÇ	2.50	22.19	4.37	1.97
C-TPÇ	3.67	26.77	6.43	2.38
D-TPÇ	5.39	39.51	9.43	3.51
E-TPÇ	4.06	33.83	7.10	3.01
F-TPÇ	5.38	36.06	9.40	3.21
G-TPÇ	6.20	48.20	10.83	4.29

6. ANALİTİK ÇALIŞMA

Tez çalışmasının analitik kısmını oluşturan bu bölümde, tüm deney numuneleri çubuk eleman olarak modellenmiş olup, sonuçları karşılaştırılmıştır. Betonarme yapıların deprem altındaki davranışını inceleyebilmek için SAP2000 programı aktif olarak kullanılmaktadır. Bu çalışmada da deprem dayanımı zayıf çerçeve sistemin güçlendirme sonucunda değişen davranış biçimi SAP2000'de modellenerek incelenmiştir. Statik itme analizi (pushover) ile gerçekleştirilen analiz önce yük kontrollü sonra deplasman kontrollü olarak tek yönlü itme şeklinde gerçekleştirilmiştir. Statik itme analizi sonucu elde edilen kapasite eğrisi deneysel çalışma sonuçları ile karşılaştırılmıştır.

6.1. Dolgu Duvarlar İçin Kullanılan Matematiksel Modeller

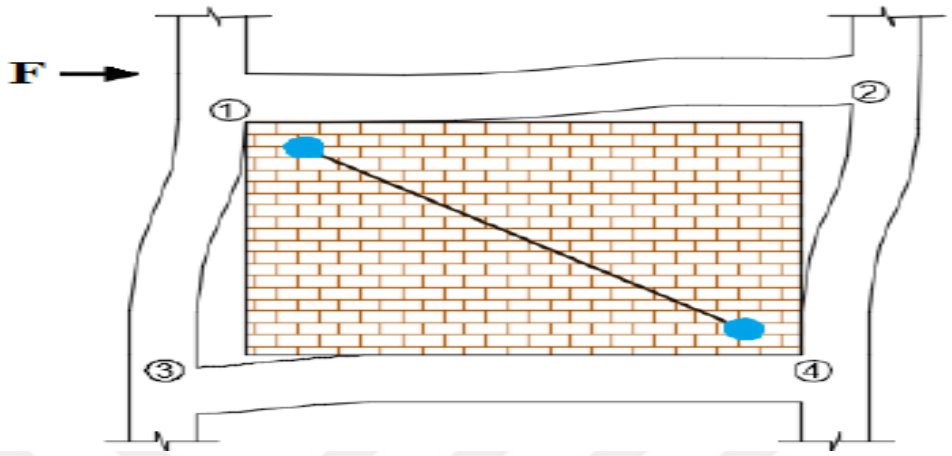
Dolgu duvarlar üzerine bir çok analitik ve deneysel çalışmalar farklı dönemlerde yapılmıştır. Yapılan çalışmalar sonucunda yatay yükler altında dolgu duvarlı bir çerçevenin davranışını belirlemenin oldukça zor ve karmaşık olduğu görülmüştür. Yapılan araştırmalarda, duvara uygulanan yükün duvar üzerinde bir köşegen doğrultusunda çatlaklar meydana getirdiği tespit edilmiştir. Diğer taraftan yük almayan diğer kısımda ise boşluklar oluşmuştur (Şekil 6.1).



Şekil 6.1 Dolgu duvarlı betonarme çerçevenin yatay yük etkisi altındaki davranışı

Dolgu duvarlarda bu tespit ilk olarak Polyakov (Polyakov, 1956) tarafından yapılmış ve matematiksel model oluşturulmasına ilham kaynağı olmuştur. Bu aşamadan sonra oluşan çatlakların diyagonal olmasından dolayı eşdeğer basınç çaprazı olarak

modellenme fikri ortaya çıkmıştır. Şekil 6.2'de eşdeğer basınç çubuğu ile modellenmiş dolgu duvar örneği görülmektedir. Bu şekilde dolgu duvarın tek bir yapı elemanı olarak modellenebilmesi mümkün kılınmıştır.

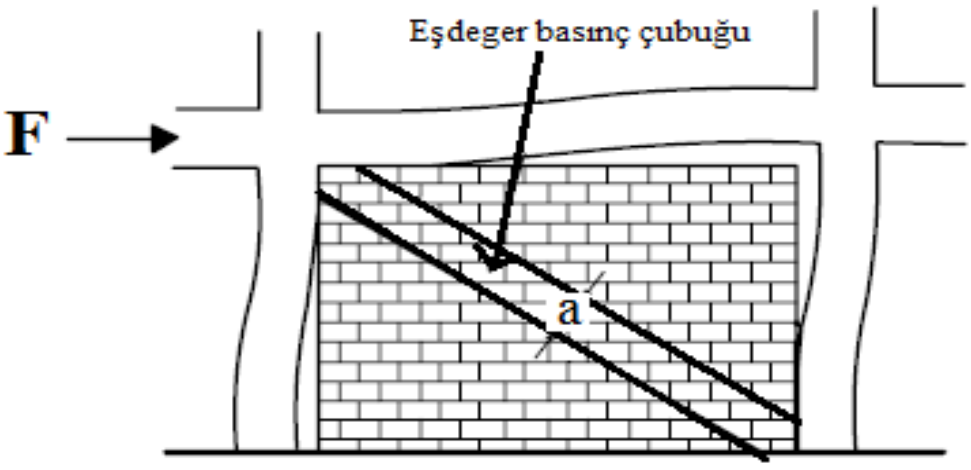


Şekil 6.2. Eşdeğer basınç çubuğu olarak dolgu duvarın Modellenmesi(Öztürkoğlu ve ark., 2015)

Bu tez çalışmasında da dolgu duvarlar eşdeğer basınç çubuğu olarak modellenmiştir. Bu davranışın detayları sonraki bölümlerde açıklanmıştır.

6.1.2. Eşdeğer basınç çubuğu modeli

Tuğla dolgu duvara sahip bir çerçeve sisteme uygulanan yükün değeri belli bir aşamaya geldiğinde dolgu duvar hareketleri birbirlerine göre farklı hareketler yapmaktadır. Oluşan çatlaklar diyagonal biçimde Şekil 6.3'de gösterildiği gibi bir band genişliğine sahip olmaktadır. Bu band genişliğini temsilen de Şekil 6.2'de gösterilen iki ucu mafsallı tek bir yapı elemanı ile modellenerek ancak çözüme gidilebilmektedir.

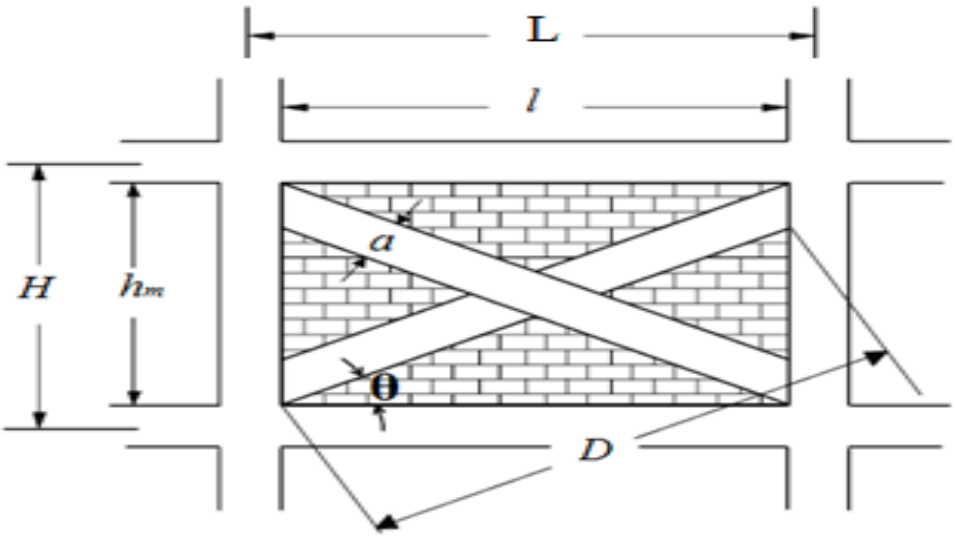


Şekil 6.3. Dolgu duvarın eşdeğer basınç çubuğu olarak modellenmesi(Suak, 2010)

6.1.2. Dolgu duvar matematiksel model parametreleri

Dolgu duvar davranışının tam olarak yansıtılabilmesi amacıyla çok sayıda parametrik değerler tanımlanmıştır. Bunlardan en çok dikkate alınanları Şekil 6.4'de gösterilmiş olup her bir parametrenin ne anlama geldiği de aşağıda verilmiştir:

- a: Eşdeğer basınç çubuğu genişliği
- D: Eşdeger basınç çubuğu uzunluğu
- t: Eşdeğer basınç çubuğu kalınlığı
- l: Duvar genişliği
- h_m: Duvar yüksekliği
- E_m: Eşdeğer basınç çubuğuna ait elastisite modülü
- E_f : Betonarme çerçevenin elastisite modülü
- θ: Eşdeğer basınç çubuğunun yatayla yaptığı açı



Şekil 6.4. Eşdeğer basınç çubuğu ile dolgu duvarın temsil edilmesinde kullanılan parametreler (Suak, 2010)

6.1.3 Eşdeğer basınç çubuğu genişliğinin hesabı

Eşdeğer basınç çubuğu genişliğinin bulunması için araştırmacılar tarafından çok sayıda farklı hesaplar önerilmiştir. (Paulay ve Priestley, 1992) ve (Angel ve ark., 1994), eşdeğer basınç çubuğu genişliği için yaptıkları araştırmalar neticesinde belirli bir aralığı kapsayan katsayılar belirlenmiştir. Bu katsayı Denklem 6.1'de verildiği gibi dolgu duvar üzerindeki eşdeğer basınç çubuğu uzunluğunun %12.5-%25'i arasında bir değer olarak belirtilmiştir.

a= %12.5D-%25D (6.1)

Yukarıdaki bağıntıda ”D” ile ifade edilen eşdeğer basınç çubuğu uzunluğu olup Denklem 6.2 kullanılarak hesap edilmiştir:

$$D^2=H^2+L^2 \tag{6.2}$$

Öte yandan (Smith ve Carter, 1969), (Amrhein ve ark., 1985), daha karmaşık bir bağıntı ile eşdeğer basınç çubuğu genişliğini hesaplamışlardır. Diyagonal band genişliğinin geometrik özellikleri duvarla kolonlar arasında ki temas uzunluğunun (αh) ve duvarla kirişler arasındaki temas uzunluğunun (αL) fonksiyonları olduğunu ve bu fonksiyonların hesabı içinde Denklem 6.3 ve Denklem 6.4 kullanılarak hesap edilmesi gerektiğini söylemişlerdir:

$$\alpha h = \frac{\pi}{2}\sqrt[4]{\frac{(4*E_f*I_c*h)}{(E_d*t*\sin(2\theta))}} \tag{6.3}$$

$$\alpha L = \pi\sqrt[4]{\frac{(4*E_f*I_b*h)}{(E_d*t*\sin(2\theta))}} \tag{6.4}$$

Kirişlerin, kolonların ve dolgu duvarın göreceli rijitliklerine göre belirlenen α_h ve α_L yi hesaplamak için yukarıdaki denklemler önerilmiş ve her bir denklemdeki parametrelerin karşılıkları aşağıda verilmiştir:

- E_d, E_f : Duvar ve çerçeveye ait elastisite modülü
- t, h, L : Dolgu duvarın sırasıyla kalınlık, yükseklik ve uzunluğu
- I_c, I_h : Kolon ve kirişe ait atalet momenti
- θ : $\tan^{-1}(h/L)$

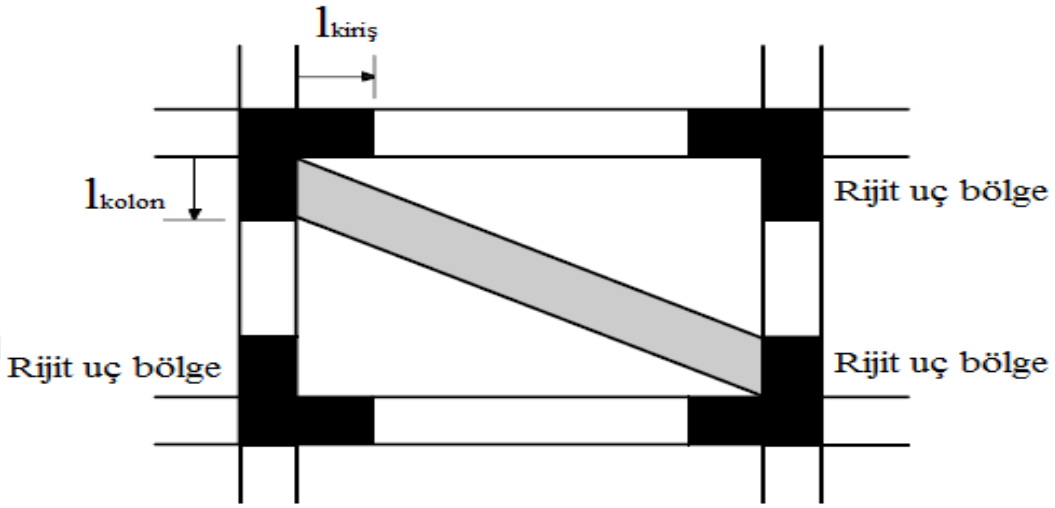
Bu aşamadan sonra dolgu duvar genişliğinin (a) hesabı için (Hendry, 1981) tarafından Denklem 6.5 önerilmiştir:

$$a = \sqrt{\alpha_h^2 + \alpha_L^2} \tag{6.5}$$

6.1.4 Rijit uç bölgelerin tanımlanması

Dolgu duvarlar SAP2000 yardımıyla eşdeğer basınç çubuğu olarak modellendiğinde, deneysel çalışmadaki dolgu duvar davranışına göre daha esnek olduğu bilinmektedir. Bunun sebebi ise, deneysel çalışma esnasında dolgu duvar ve çerçeve elemanlarının birbirlerine yaptığı tutma etkisi analitik ortamda eşdeğer basınç çubuğu

tarafından tam olarak yansıtılamamasıdır. Bu etkinin sisteme tam olarak yansıtılabilmesi için analitik hesapta kolon ve kirişlerin uç bölgelerinde rijit uçların tanımlanması gerekmektedir. Rijit uç bölgelerinin uzunluğu ise kolonlarda, kiriş yüzünden l_{kolon}, kirişlerde kolon yüzünden $l_{kiriş}$ mesafesinde tanımlanmalıdır. Bu rijit uç bölgeleri Şekil 6.5' de gösterilmiştir.



Şekil 6.5. Rijit uç bölgelerin tanımlanması(Suak, 2010)

Eşdeğer basınç çubuğunun genişliği, kalınlığı, malzeme özellikleri ve rijit uçları yukarıda anlatıldığı gibi tanımlandıktan sonra, dolgu duvarın eşdeğer basınç çubuğu olarak analiz edilip sistemde oluşan, iç kuvvetler ve deplasmanları belirlemek mümkündür.

6.2. Yapı Performansının Belirlenmesi (Pushover Analiz)

Mevcut durumu tayin edilecek olan herhangi bir yapının deprem performansı için en iyi sonuç doğrusal olmayan zaman tanım alanı yöntemiyle elde edilebilir. Fakat yöntemin zor ve karmaşık olması çoğu zaman tercih edilmemesine yol açmaktadır. Dolayısıyla, hali hazırda yapıların performans analizi için FEMA 356 daha basit bir takım yöntemler ortaya koymuştur. FEMA 356 (FEMA-356, 2000) tarafından önerilen en etkili ve çoğu zaman tercih edilen yöntem doğrusal olmayan statik analiz yöntemi adıyla "Pushover"(statik itme) analizidir.

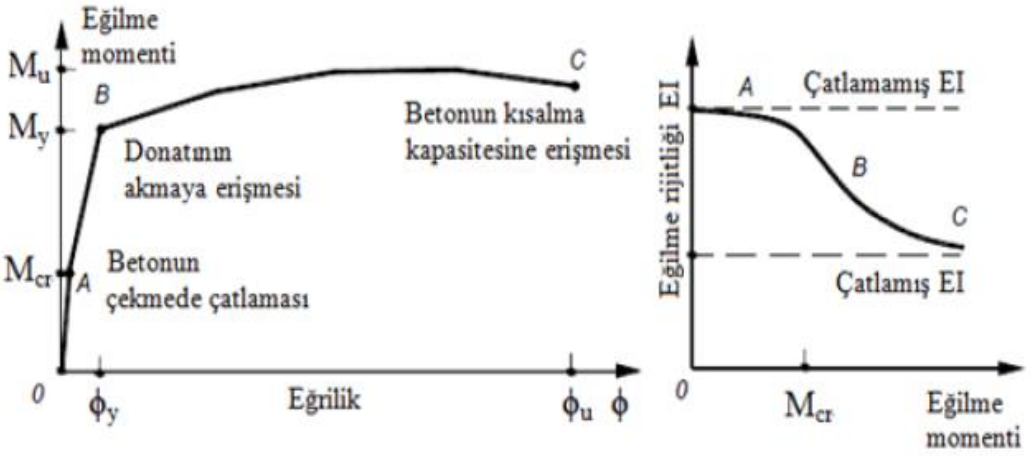
Pushover analizinde, seçilen tasarım depremi altında yapının daha önceden belirlenen dayanım ve deformasyon taleplerine göre yapı performansının tespit edilmesi ve seçilen performans seviyesi kriterlerinin uygun olup olmadığının belirlenmesi amaçlanmaktadır. Bunun için FEMA 356, yapıya etkimekte olan yatay yüklerin

istenilen deplasman değerine kadar adım adım (step by step) artırılması ile gerçekleşeceğini belirtmektedir. Ulaşılması istenilen deplasman, yapının ilgili deprem altında yapabileceği en büyük deplasman değerine eşittir. Deplasman kontrolü tayininde ise son katın ağırlık merkezi noktasının kullanılması önerilmektedir. Bundan dolayı statik itme analizine başlamadan önce ilk sisteme düşey yüklerin tanıtılması ve ardından yatay yüklerin girilmesi gerekir. Daha sonra da adım adım uygulanan yatay yük etkisiyle pozitif ve negatif yön için ayrı ayrı kapasite eğrisinin elde edilmesi sağlanır. Doğrusal elastik olmayan davranışın analizde yansıtılması için de seçilen kesitlerin moment-eğrilik özellikleri analiz öncesi programda tanıtılmalıdır.

SAP2000 Yapı Analiz Programı ile 1/3 ölçekli betonarme çerçevenin modellenmesi ve Pushover analizinde izlenecek yol genel hatlarıyla aşağıdaki gibidir:

1. Yapı dikkate alınan yönetmelik şartlarına göre boyutlandırılır.
2. Pushover (statik itme) analizi için matematiksel model oluşturulur.
3. Analizde kullanılacak malzemeye (beton ve donatı) ait parametrik özellikler (birim hacim ağırlık, elastisite modülü, çekme ve basınç dayanımı, poisson oranı, ısıl genleşme katsayısı vb.) tanımlanır. Daha sonra betonarme çerçevede kullanılan eleman boyutları tanımlanır. Doğrusal elastik olmayan analiz yapılacağı için betonarme elemanların çatlamış rijitliklerinin ve gerçek malzeme dayanımlarının kullanılması gerekmektedir (Şekil 6.6). Bunun için ya iç kuvvet-deformasyon bağıntıları yardımıyla rijitlikler tayin edilir ya da FEMA 356'da önerilen yaklaşık değerler seçilir.
4. Plastik mafsal oluşması beklenen kolon-kiriş gibi yapı elemanlarının kritik kesitlerinde donatı yerleşimleri düzenlenir. Yapı analiz programı tarafından oluşan iç kuvvet-deformasyon ilişkisinin hazırlanabilmesi için donatı düzenlenmesi gerekmektedir.
5. Kesit ve donatı özellikleri programa tanıtıldıktan sonra FEMA 356'da önerilen ve SAP2000 yapı analiz programı bünyesinde Default(Varsayılan) olarak bulunan iç kuvvet-deformasyon bağıntıları kolon, kiriş, duvar ve panel elemanlara aktarılır.
6. Bunun için kirişlerin iki ucuna tek eksenli eğilme mafsalı olan (M3) mafsalı atanır. Çift eksenli eğilme özelliği gösteren kolonlara normal kuvvet ve moment etkileşiminin yansıtılabilmesi için (PM2M3) mafsalı atanır. Sadece kesme kuvvetini içeren (V) mafsalı genellikle kolonlara atanırken, yalnız eksenel kuvvet taşıyan elemanlara da (P) mafsalı atanır.

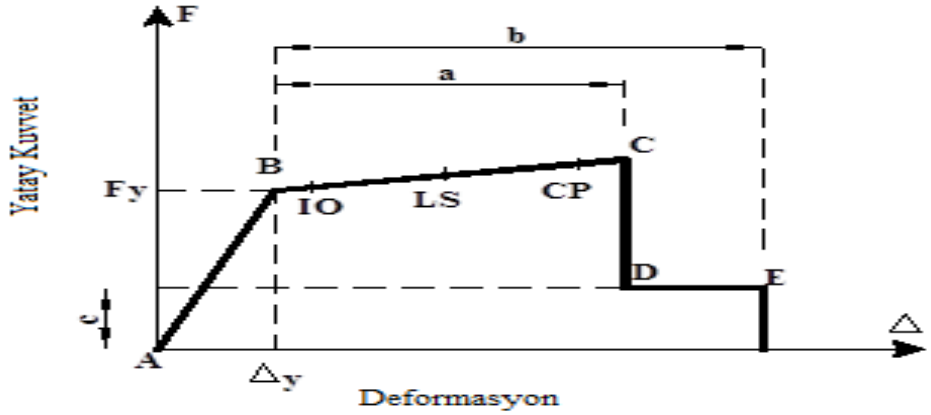
7. Bu aşamadan sonra yükleme durumları Load Pattern ve Load Case kısmından tanımlanır. Pushover analizde düşey yükler sabit ancak yatay yükler artan şekilde uygulandığından 1/3 ölçekli iki katlı çerçevenin üst katına 2/3, alt katına 1/3 yük gelecek şekilde yüklenerek sistem izlenir. Yapının kütle kaynağı tanımlama kısmında (Mass Source) hareketli yük olmadığından yapı ağırlığı hesabında yalnızca yapının kendi ağırlığını oluşturan düşey yükler dikkate alınmıştır.
8. Yükleme aşamasından sonra analiz aşamasına geçerken hem düşey yük hemde yatay yük etkisi düşünülerek iki ayrı aşamada gerçekleştirilir. Her iki aşama için de doğrusal olmayan (nonlineer) analizi yapmak için P-Delta kutucuğu seçili duruma getirilir.
9. Son olarak analizi gerçekleştirilecek olan betonarme çerçevede önce yük kontrollü olarak, akma gerçekleştikten sonra ise deplasman kontrollü olarak analiz tamamlanır.



Şekil 6.6. Betonarme kesitteki moment –eğrilik ilişkisi ve betonarme kesitin eğilme etkisi altında çatlama rijitliğinin değişimi (Celep, 2008)

Plastik mafsallar elemanların uçlarında meydana gelmektedir. SAP2000 programında her bir eleman için plastik mafsal oluşum yerleri belirtilmelidir. Girilecek olan plastik mafsal çeşidi (moment, kesme mafsalı vs.) kuvvet ile deplasman arasındaki ilişkiye göre tanımlanmaktadır. Şekil 6.7'de herhangi bir mafsala ait yatay yük-deformasyon ilişkisini gösteren idealleştirilmiş kuvvet-deformasyon ilişkisi diyagramı verilmiştir. Herhangi bir kesitteki deformasyona karşılık gelen iç kuvvet değerlerinin birleştirilmesi ve daha sonra performans seviyelerine karşılık gelen noktaların işaretlenmesiyle plastik mafsal özellikleri oluşturulmaktadır. Yapıdaki performans seviyeleri; hemen kullanım (IO), can güvenliği (LS) ve yapı stabilitesini temsil eden

(CP)'den oluşmaktadır. Şekil 6.2 incelendiğinde B noktası ile gösterilen kısım akmanın meydana geldiğini, E noktası ise artık yapının göçtüğünü göstermektedir. ATC-40 (ATC-40, 1996) ve FEMA-273 / 356 (FEMA-273, 1997; FEMA-356, 2000) plastik mafsal özelliklerini gösteren çeşitli tablolar sunmaktadır.



Şekil 6.7. İdealize edilmiş kuvvet-deformasyon ilişkisi (FEMA-273, 1997; FEMA-356, 2000)

Şekil 6.7'de her biri bir harf ile gösterilen performans seviyeleri depreme maruz kalan yapılarda oluşacak olan hasar durumları hakkında bilgi vermektedir. Bu sayede yapıda meydana gelen hasarlar ve neticesinde yapının kullanılıp kullanılmayacağına karar verilir. Performans seviyeleri olarak:

- **Kullanıma Devam Yapısal Performans Seviyesi (B: Basic Safety):**
  Yapı tipi olan bina da neredeyse hiç hasar yoktur ya da kısa sürede onarılabilecek hasarlar vardır. Deprem sonrası bina hemen kullanılabilecek seviyededir. Can güvenliği tehlikesi yoktur.
- **Hemen Kullanım Performans Seviyesi (IO: Immediate Occupancy):** Özellikle önemli yapılar için kullanılan performans seviyesidir. Yapı deprem öncesi sahip olduğu dayanım ve rijitliğini büyük ölçüde sürdürmektedir. Yapısal hasarlar oldukça sınırlı düzeydedir.
- **Can Güvenliği Performans Seviyesi (LS: Life Safety):**
  Binada depremden sonra yapısal ve yapısal olmayan elemanlarda belirli seviyelere kadar hasar oluşması beklenir. Artık bina deprem öncesinde sahip olduğu dayanım ve rijitliğin bir kısmını kaybetmiş durumdadır. Fakat binada çökme ve ağır hasarlar olmaz. Binanın onarıldıktan sonra kullanılması gerekmektedir.
- **Göçmenin Önlenmesi Performans Seviyesi (CP: Collapse Prevention):** Deprem sonrası binada ağır hasar oluştuğunun göstergesidir. Taşıyıcı

sistemde oldukça ciddi hasarlar meydana gelmiştir. Dolayısıyla kalıcı deformasyonlar görülmüştür. Yapının bu haliyle kullanılması mümkün değildir.

Şekil 6.7'deki grafikte görülen B noktasının yatay ve düşey değeri M_y akma momentine göre SAP2000 tarafından belirlenmektedir. Benzer şekilde grafikteki C, D ve E noktalarındaki dönmeler ise ATC-40 ve FEMA-273/356'da belirtilen çizelgeler kullanılarak hesap edilir. Çizelge 6.1 ve Çizelge 6.2'de ATC-40 ve FEMA-273/356'da verilenler açıklanmıştır. Çizelgeler sayesinde kesitte tanımlanacak olan plastik mafsalın lineer olmayan davranışı kolaylıkla karakterize edilmektedir.

SAP2000 bünyesinde ATC-40 ve FEMA-273 / 356 'nın dikkate alınmasıyla bir takım hali hazırda mafsal tipleri mevcuttur. Kesite gelen etkiler düşünülerek atanması gereken normal kuvvet mafsalı P, kesme mafsalı V2, moment mafsalı M3 ve normal kuvvet ile momentin bir arada atanması gereken PM2M3 mafsalı mevcuttur.

Çizelge 6.1. Betonarme **kiriş kesitlerinde** plastik mafsal dönmeleri için modelleme parametreleri ve sayısal kabul kriterleri (ATC-40, 1996; FEMA-273, 1997; FEMA-356, 2000)

DURUMLAR			**Modelleme Parametreleri**			**Kabul Kriterleri**				
			Radyan Cinsinden Plastik Dönme Açıları		**Artık Güç Oranları**	**Radyan Cinsinden Plastik Dönme Açıları**				
						Eleman Tipi				
						Birincil			**İkincil**	
			a	**b**	**c**	**IO**	**LS**	**CP**	**LS**	**CP**
1. Eğilme Etkisindeki Kirişler										
$\frac{\rho - \rho'}{\rho_b}$	Sargı donatı durumu	$\frac{V}{b_w d\sqrt{f'_c}}$								
≤ 0.0	Uygun	≤ 3	0.025	0.05	0.2	0.005	0.02	0.025	0.02	0.05
≤ 0.0	Uygun	≥ 6	0.02	0.04	0.2	0.005	0.01	0.02	0.02	0.04
≥ 0.5	Uygun	≤ 3	0.02	0.04	0.2	0.005	0.01	0.02	0.02	0.03
≥ 0.5	Uygun	≥ 6	0.015	0.02	0.2	0.005	0.005	0.015	0.015	0.02
≤ 0.0	Uygun Değil	≤ 3	0.02	0.03	0.2	0.005	0.01	0.02	0.02	0.03
≤ 0.0	Uygun Değil	≥ 6	0.01	0.015	0.2	0.0	0.005	0.01	0.01	0.015
≥ 0.5	Uygun Değil	≤ 3	0.01	0.015	0.2	0.005	0.01	0.01	0.01	0.015
≥ 0.5	Uygun Değil	≥ 6	0.005	0.01	0.2	0.0	0.005	0.005	0.005	0.01
2. Kesme Etkisindeki Kirişler										
Etriye aralığı ≤ d / 2			0.0	0.02	0.2	0.0	0.0	0.0	0.01	0.02
Etriye aralığı > d / 2			0.0	0.01	0.2	0.0	0.0	0.0	0.005	0.01
3. Bindirme Boyu Yetersiz Kirişler										
Etriye aralığı ≤ d / 2			0.0	0.02	0.0	0.0	0.0	0.0	0.01	0.02
Etriye aralığı > d / 2			0.0	0.01	0.0	0.0	0.0	0.0	0.005	0.01
4. Düğüm Noktasında Kiriş Donatılarının Yeterince Uzatılmadığı Kirişler										
			0.015	0.03	0.2	0.01	0.01	0.015	0.02	0.03

Çizelge 6.2. Betonarme **kolon kesitlerinde** plastik mafsal dönmeleri için modelleme parametreleri ve sayısal kabul kriterleri (ATC-40, 1996; FEMA-273, 1997; FEMA-356, 2000)

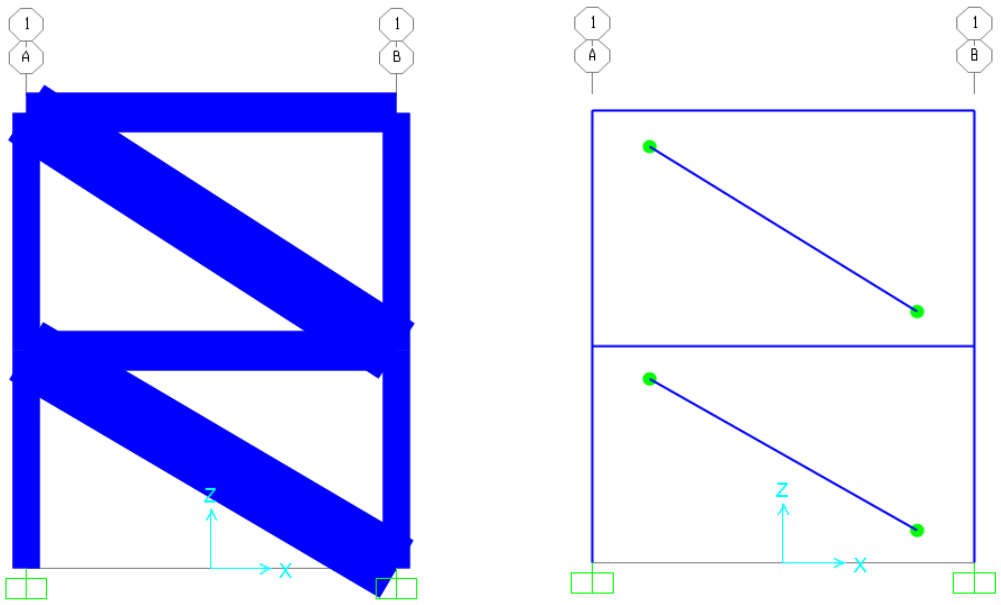
DURUMLAR			**Modelleme Parametreleri**			**Kabul Kriterleri**				
			Radyan Cinsinden Plastik Dönme Açıları		**Artık Güç Oranları**	**Radyan Cinsinden Plastik Dönme Açıları**				
						Eleman Tipi				
						Birincil			**İkincil**	
			a	**b**	**c**	**IO**	**LS**	**CP**	**LS**	**CP**
1. Eğilme Etkisindeki Kolonlar										
$\frac{N}{A_g f_c'}$	Sargı donatı durumu	$\frac{V}{b_w d\sqrt{f_c'}}$								
≤ 0.1	Uygun	≤ 3	0.02	0.03	0.2	0.005	0.01	0.02	0.015	0.03
≤ 0.1	Uygun	≥ 6	0.015	0.025	0.2	0.005	0.01	0.015	0.01	0.025
≥ 0.4	Uygun	≤ 3	0.015	0.025	0.2	0.0	0.005	0.015	0.01	0.025
≥ 0.4	Uygun	≥ 6	0.01	0.015	0.2	0.0	0.005	0.01	0.01	0.015
≤ 0.1	Uygun Değil	≤ 3	0.01	0.015	0.2	0.005	0.005	0.01	0.005	0.015
≤ 0.1	Uygun Değil	≥ 6	0.005	0.005	-	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005
≥ 0.4	Uygun Değil	≤ 3	0.005	0.005	-	0.0	0.0	0.005	0.0	0.005
≥ 0.4	Uygun Değil	≥ 6	0.0	0.0	-	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
2. Kesme Etkisindeki Kolonlar										
Etriye aralığı ≤ d / 2 veya $\frac{N}{A_g f_c'} \le 0.1$			0.0	0.015	0.2	0.0	0.0	0.0	0.01	0.015
Diğer Durumlar			0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
3. Temiz yüksekliği boyunca bindirme boyu yetersiz kolonlar										
Etriye aralığı ≤ d / 2			0.01	0.02	0.4	1	1	1	0.01	0.02
Etriye aralığı > d / 2			0.0	0.01	0.2	1	1	1	0.005	0.01
4. Eksenel yükü 0.70 N_0 'ı geçen kolonlar										
Uzunluğunun tamamında uygun donatılı kolonlar			0.015	0.03	0.2	0.01	0.01	0.015	0.02	0.03
Diğer bütün durumlar			0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

6.3. SAP2000'de Deney Numunelerinin Modellenmesi

Laboratuvar ortamında deneyleri gerçekleştirilen ve daha önceki bölümlerde detaylı anlatılan numunelerin eşdeğer çubuk eleman olarak bilgisayar yardımı ile çözümü yapılmıştır. Bunun için SAP2000 yapı analiz programı kullanılmıştır. Statik itme analizi yapılacağından betonarme kesitlerde çatlamış rijitlikler ve deney de kullanılan her bir malzemenin özellikleri kullanılmıştır. Yapılan deneysel çalışmada

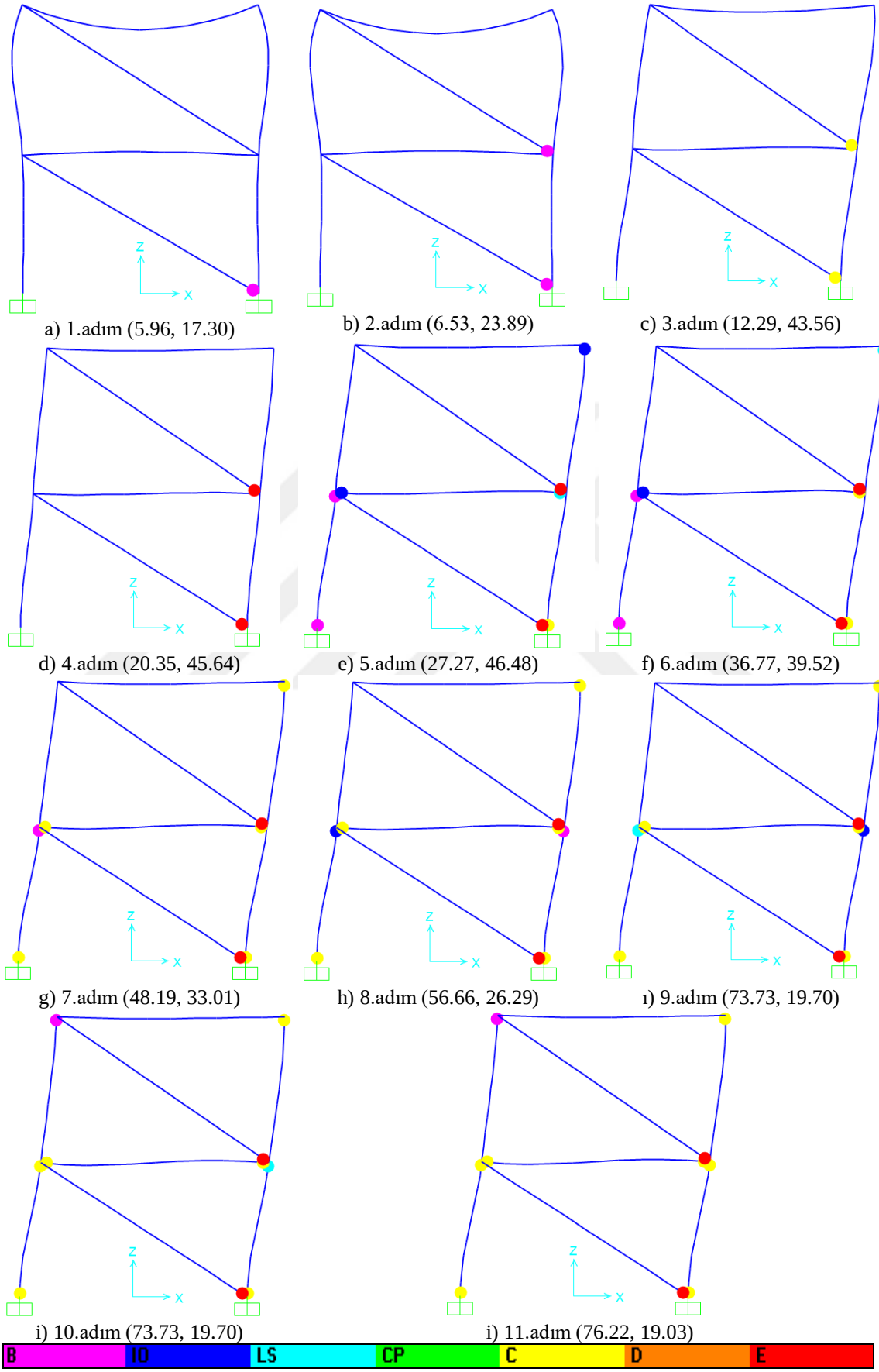
kolonlara etkimesi gereken düşey yük ihmal edilmiştir. FEMA 273/356'da eksenel yük seviyesinin kolonlarda $0.30xbxhxf_c$'den küçük olması durumunda eğilme rijitliği kirişlerde olduğu gibi 0.5EI şeklinde dikkate alınması belirtilmiştir. Yapılan analizde bu dikkate alınmıştır.

Yalnızca sıvanmış dolgu duvardan oluşan referans deney numunesi (RN) iki ucu mafsallı eşdeğer basınç çubuğu olarak modellenirken, önüretimli paneller kullanılarak güçlendirilen numuneler TDY-2007'deki 7F.2.1. kriterleri göz önüne alınarak benzer şekilde eş değer basınç çubuğu olarak modellenmiştir. 1 nolu güçlendirilmemiş deney numunesinin (RN) SAP2000 programında oluşturulan modeli Şekil 6.8'de gösterilmiştir. Analizden sonra adım adım çerçevede oluşan plastik mafsal yerleri Çizelge 6.3'de görülmektedir. Daha önce Şekil 6.7'de her harfin hangi performans seviyesini temsil ettiği belirtilmişti. Yapılan analiz sonucunda plastik mafsallardaki farklı hasar seviyeleri farklı renkler ile gösterilmiş olup performans seviyeleride belirtilmiştir. Çizelge 6.4'de SAP2000'deki tablolardan alınan plastik mafsal sayıları performans durumları gösterilmiştir. Plastik mafsallarda, oluşan hasar seviyelerine göre sınıflandırılmıştır.



Şekil 6.8. 1 nolu deney numunesinin (RN) SAP2000'de oluşturulan modeli

Çizelge 6.3. Statik itme analizi sonucu 1 nolu deney numunesinde her adımda oluşan plastik mafsallar ve yatay yüke (kN) karşılık deplasman (mm) değerleri



a) 1.adım (5.96, 17.30)

b) 2.adım (6.53, 23.89)

c) 3.adım (12.29, 43.56)

d) 4.adım (20.35, 45.64)

e) 5.adım (27.27, 46.48)

f) 6.adım (36.77, 39.52)

g) 7.adım (48.19, 33.01)

h) 8.adım (56.66, 26.29)

ı) 9.adım (73.73, 19.70)

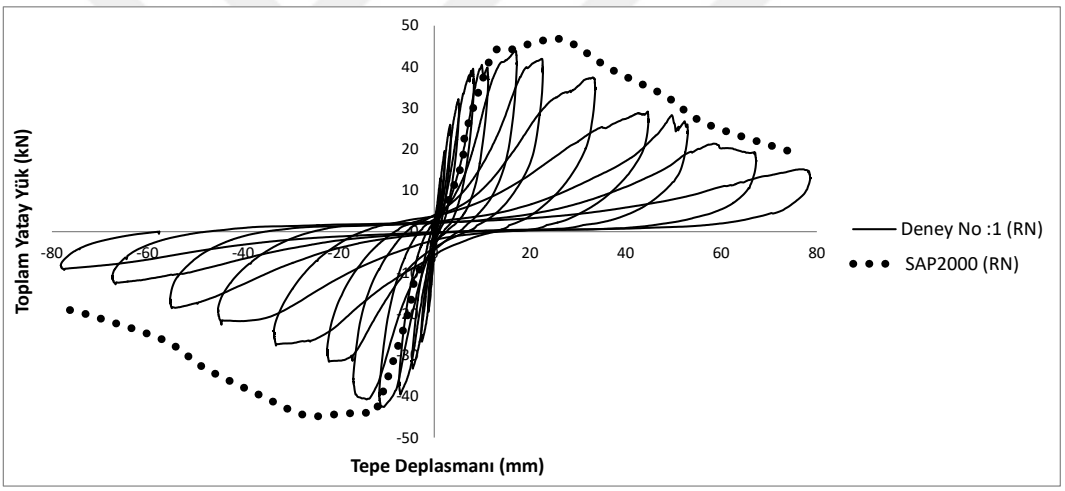
i) 10.adım (73.73, 19.70)

i) 11.adım (76.22, 19.03)

Çizelge 6.4. Statik itme analizi sonucunda 1 nolu (RN) deney numunesinde adım adım oluşan mafsal sayıları ve hasar seviyeleri

Adım	A-B	B-IO	IO-LS	LS-CP	CP-C	C-D	D-E	>E
0	12	0	0	0	0	0	0	0
1	12	1	0	0	0	0	0	0
2	12	2	0	0	0	0	0	0
3	8	2	0	0	0	2	0	0
4	8	2	4	0	0	0	0	2
5	8	2	2	1	0	1	0	2
6	7	2	1	1	0	1	0	2
7	7	2	1	1	0	1	0	2
8	5	1	1	0	0	5	0	2
9	6	1	1	0	0	5	0	2
10	6	0	1	1	0	5	0	2
11	6	1	0	1	0	6	0	2

RN numunesinin deneysel ve analitik karşılaştırılması toplam yatay yük-tepe deplasmanı cinsinden Şekil 6.9'da gösterilmiştir.



Şekil 6.9. 1 nolu deney numunesinin deneysel ve analitik karşılaştırılması

6.3.1. Güçlendirilmiş deney numunelerinin eşdeğer basınç çubuğu olarak modellenmesi

Önüretimli panellerin dolgu duvar üzerine yapıştırılması sonucu oluşan güçlendirmenin modellenme parametreleri TDY-2007'de açıklanmıştır. Eşdeğer basınç çubuğu kalınlığı güçlendirilmiş dolgu duvar kalınlığına eşit olduğu ve Denklem 6.6'daki gibi hesaplanması gerektiği belirtilmiştir.

$$a_d = 0.175 * (\lambda_d * h_h)^{-0.4} * r_d \quad (6.6)$$

a_d çubuk genişliği (mm), h_k kolon yüksekliği (mm), r_d duvar köşegen uzunluğudur. λ_d ise Denklem 6.7'de gösterildiği gibi hesap edilmelidir.

$$\lambda_d = \left[\frac{E_d * t_d * \sin 2\theta}{4 * E_c * I_k * h_d}\right]^{1/4} \quad (6.7)$$

Burada,

E_d: Duvar elastisite modülü,

E_c: Çerçeve elastisite modülü,

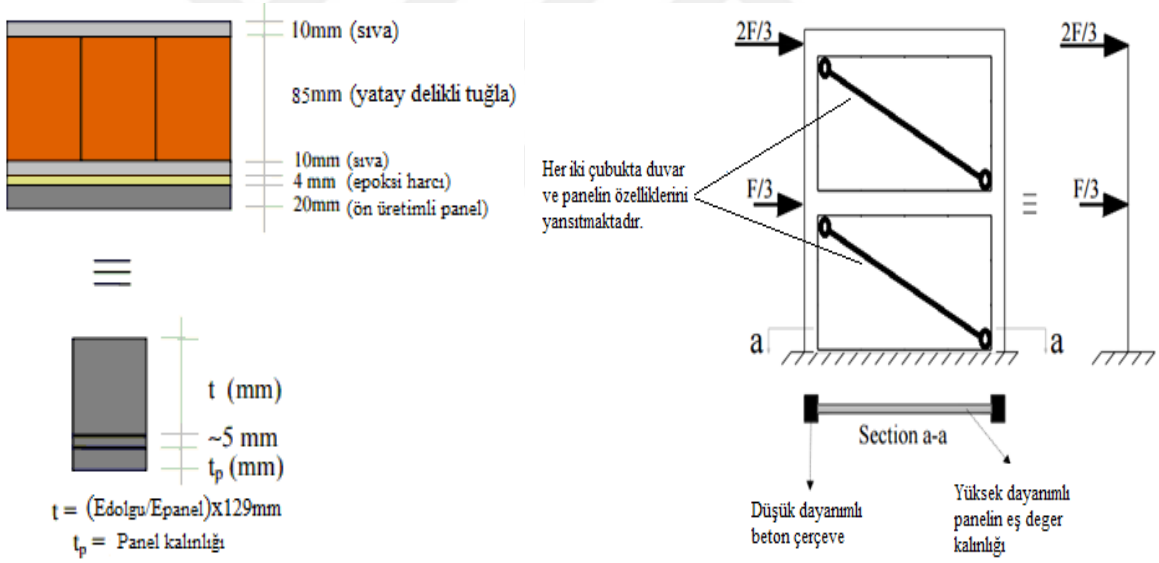
t_d : Duvar kalınlığı (mm),

h_d: Duvar yüksekliği (mm),

I_k : Kolon atalet momenti (mm^4),

θ : Yatayla yapılan açı

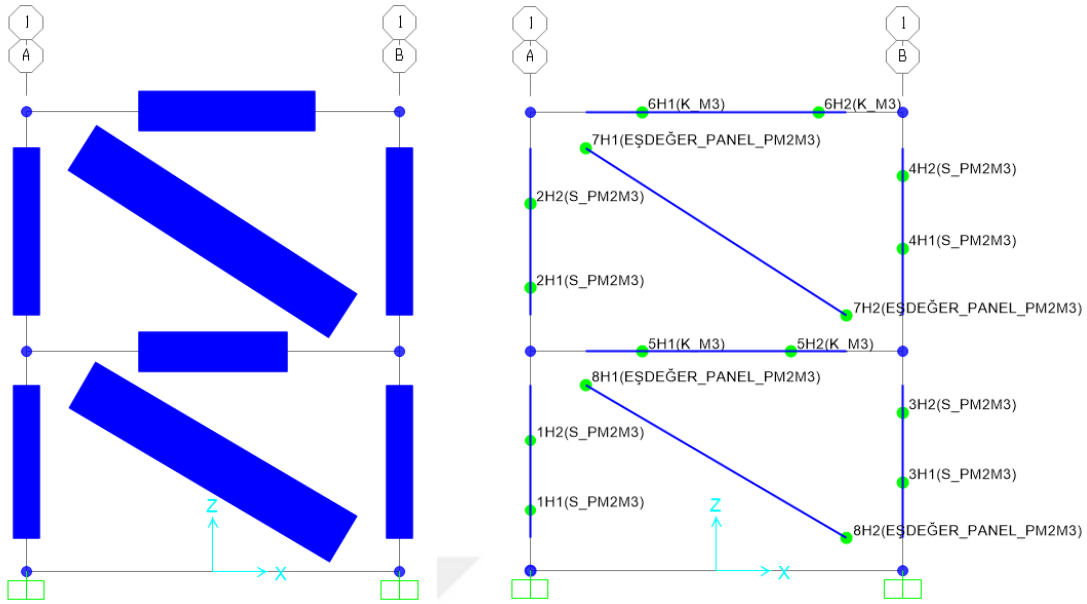
E_d ve t_d güçlendirilmiş çerçeveler için hesaplama, Şekil 6.10'daki gibi yapılmıştır:



Şekil 6.10. Eşdeğer panel kalınlığı hesabı(Baran, 2005)

Eşdeğer kalınlık hesabında duvar, çerçeve ve panel elastisite modülleri sırasıyla 1650 MPa, 27250 MPa ve 36000 MPa olarak hesaba katılmıştır.

Deneysel çalışmada panel genişliği 200 mm olan 2 nolu güçlendirilmiş deney numunesinin (A-TPÇ) SAP2000 programında oluşturulan modeli Şekil 6.11'de gösterilmiştir. Her bir elemanın net görünmesi için SAP2000'deki object shrink toggle düğmesi aktif haldeyken görüntü alınmıştır.



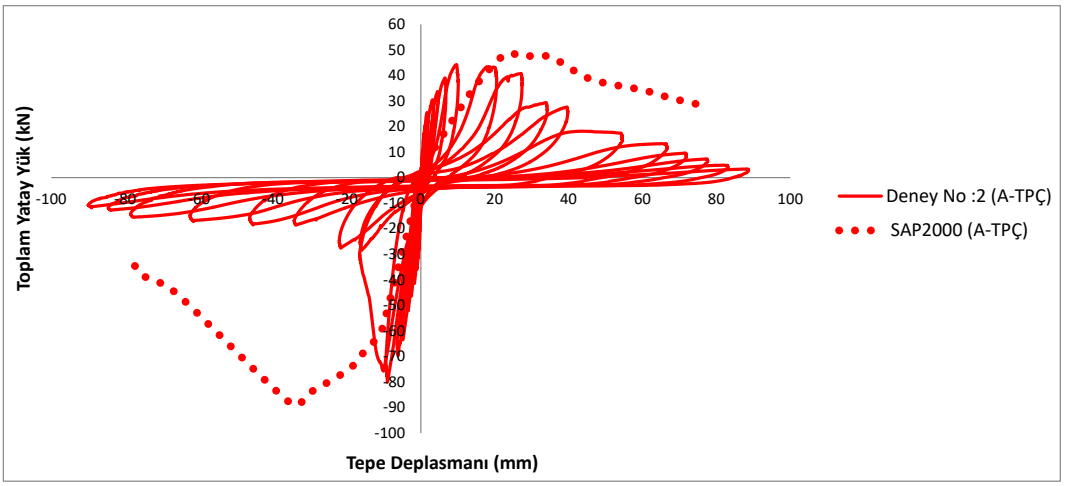
Şekil 6.11. 2 nolu deney numunesinin (A-TPÇ) SAP2000'de oluşturulan modeli

Çizelge 6.5'de 2 nolu deney numunesi (A-TPÇ) için SAP2000'deki tablolardan alınan plastik mafsal sayıları performans durumları gösterilmiştir. Plastik mafsallarda oluşan hasar seviyelerine göre sınıflandırılmıştır.

Çizelge 6.5. Statik itme analizi sonucunda 2 nolu (A-TPÇ) deney numunesinde adım adım oluşan mafsal sayıları ve hasar seviyeleri

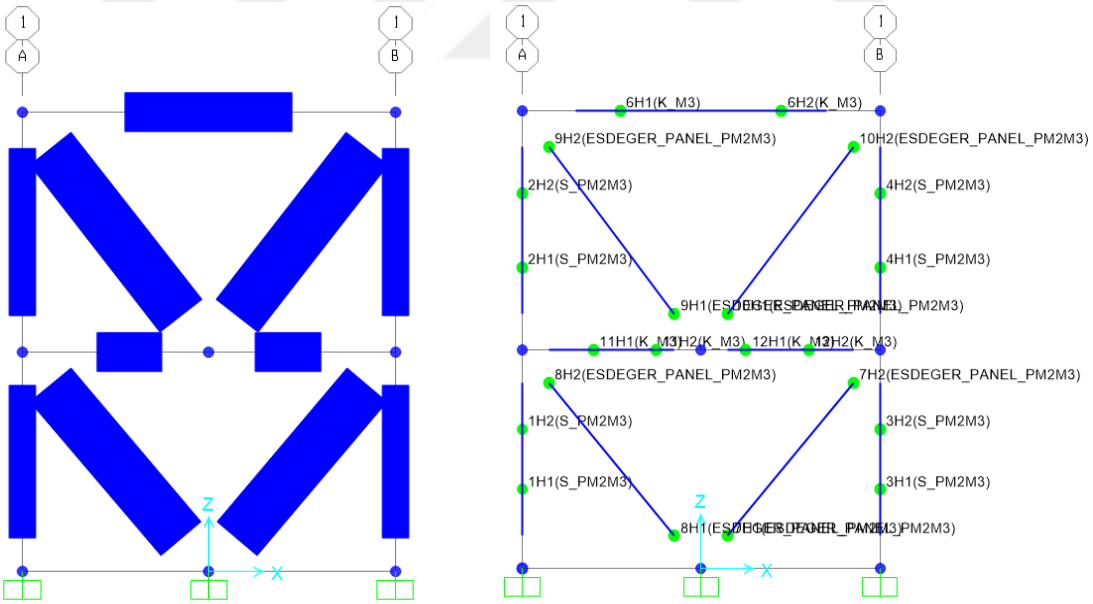
Adım	A-B	B-IO	IO-LS	LS-CP	CP-C	C-D	D-E	>E
0	16	0	0	0	0	0	0	0
1	15	1	0	0	0	0	0	0
2	14	2	0	0	0	0	0	0
3	14	0	0	0	0	2	0	0
4	14	0	0	0	0	2	0	0
5	11	1	0	0	0	4	0	0
6	11	0	0	0	0	5	0	0
7	9	1	0	0	0	6	0	0
8	9	0	0	0	0	7	0	0
9	9	0	0	0	0	7	0	0
10	7	2	0	0	0	7	0	0
11	7	1	0	0	0	8	0	0
12	7	1	0	0	0	8	0	0
13	7	1	0	0	0	8	0	0
14	6	1	1	0	0	8	0	0
15	6	0	2	0	0	8	0	0
16	6	0	2	0	0	8	0	0
17	6	0	2	0	0	8	0	0

A-TPÇ deney numunesinin deneysel ve analitik karşılaştırılması toplam yatay yük-tepe deplasmanı cinsinden Şekil 6.12'de gösterilmiştir.



Şekil 6.12. 2 nolu deney numunesinin deneysel ve analitik karşılaştırılması

Deneysel çalışmada panel genişliği 200 mm olan 3 nolu güçlendirilmiş deney numunesinin (B-TPÇ) SAP2000 programında oluşturulan modeli Şekil 6.13'de gösterilmiştir. Her bir elemanın net görünmesi için SAP2000'deki object shrink toggle düğmesi aktif haldeyken görüntü alınmıştır.



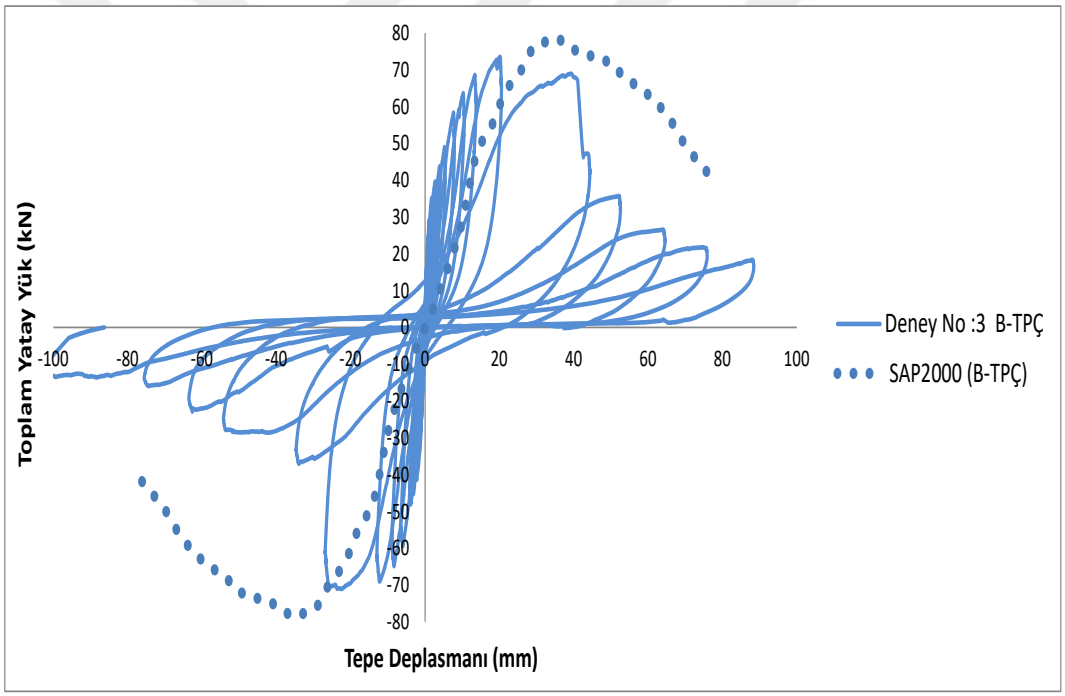
Şekil 6.11. 3 nolu deney numunesinin (B-TPÇ) SAP2000'de oluşturulan modeli

3. deney numunesi (B-TPÇ) için yapılan pushover analizi sonucunda plastik mafsallaşma sıraları ise Çizelge 6.6' da gösterilmiştir.

Çizelge 6.6. Statik itme analizi sonucunda 3 nolu (B-TPÇ) deney numunesinde adım adım oluşan mafsal sayıları ve hasar seviyeleri

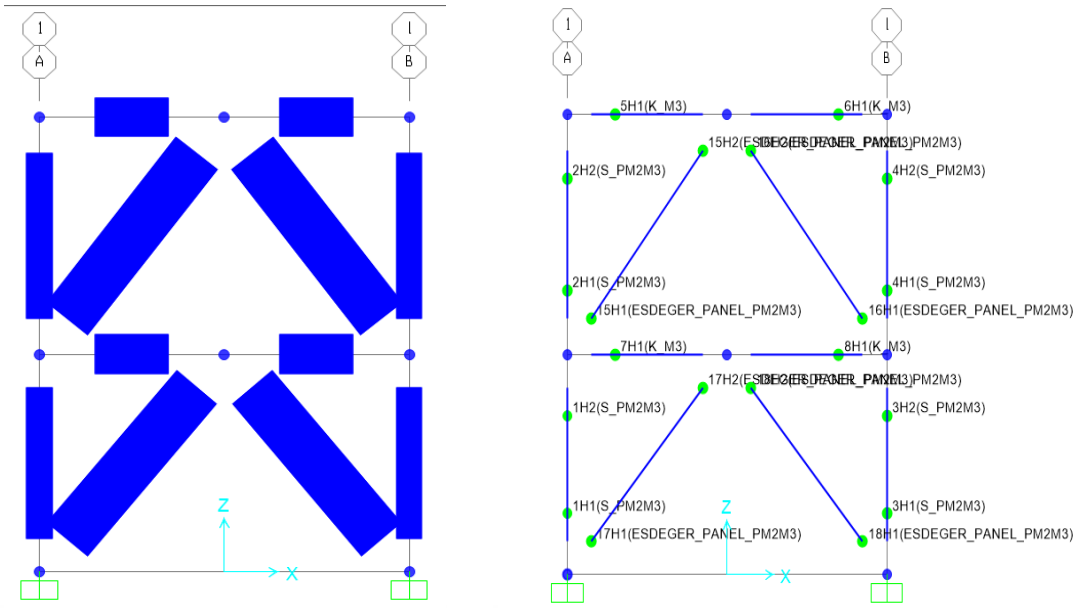
Adım	A-B	B-IO	IO-LS	LS-CP	CP-C	C-D	D-E	>E
0	18	4	0	0	0	0	0	0
1	17	5	0	0	0	0	0	0
2	16	6	0	0	0	0	0	0
3	15	3	0	0	0	4	0	0
4	14	3	0	0	0	5	0	0
5	14	2	0	0	0	6	0	0
6	14	2	0	0	0	6	0	0
7	11	3	0	0	0	8	0	0
8	11	2	0	0	0	9	0	0
9	10	2	1	0	0	9	0	0
10	9	3	0	0	0	10	0	0

B-TPÇ deney numunesinin deneysel ve analitik karşılaştırılması toplam yatay yük-tepe deplasmanı cinsinden Şekil 6.13'de gösterilmiştir.



Şekil 6.13. 3 nolu deney numunesinin deneysel ve analitik karşılaştırılması

Deneysel çalışmada panel genişliği 200 mm olan 4 nolu güçlendirilmiş deney numunesinin (C-TPÇ) SAP2000 programında oluşturulan modeli Şekil 6.14'de gösterilmiştir. Her bir elemanın net görünmesi için SAP2000'deki object shrink toggle düğmesi aktif haldeyken görüntü alınmıştır.



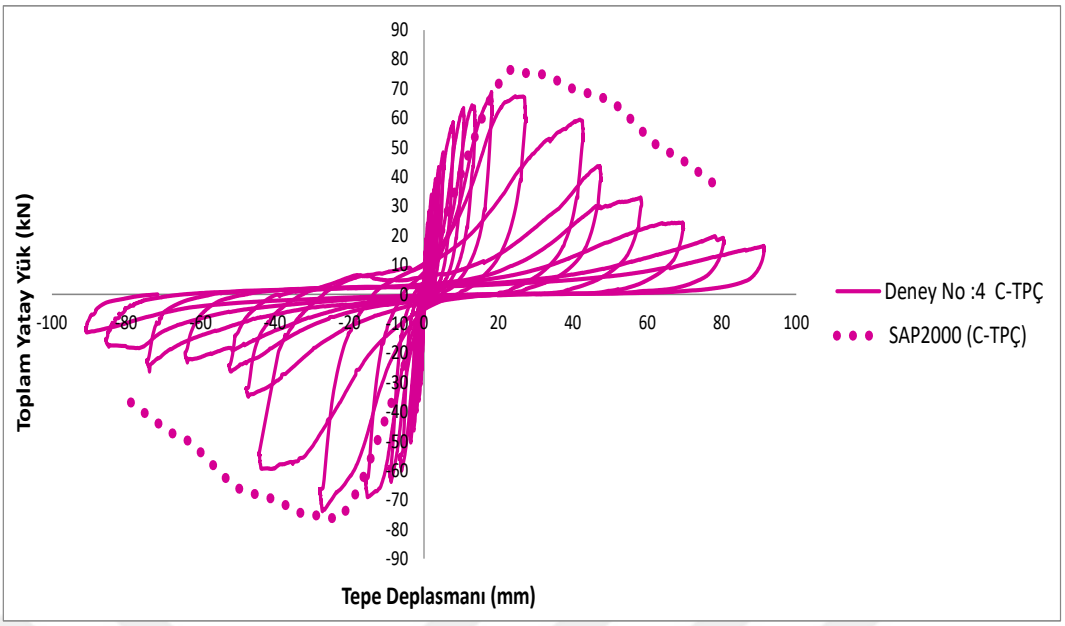
Şekil 6.14. 4 nolu deney numunesinin (C-TPÇ) SAP2000'de oluşturulan modeli

4. deney numunesi (C-TPÇ) için yapılan pushover analizi sonucunda plastik mafsallaşma sıraları ise Çizelge 6.7'de gösterilmiştir.

Çizelge 6.7. Statik itme analizi sonucunda 4 nolu (C-TPÇ) deney numunesinde adım adım oluşan mafsal sayıları ve hasar seviyeleri

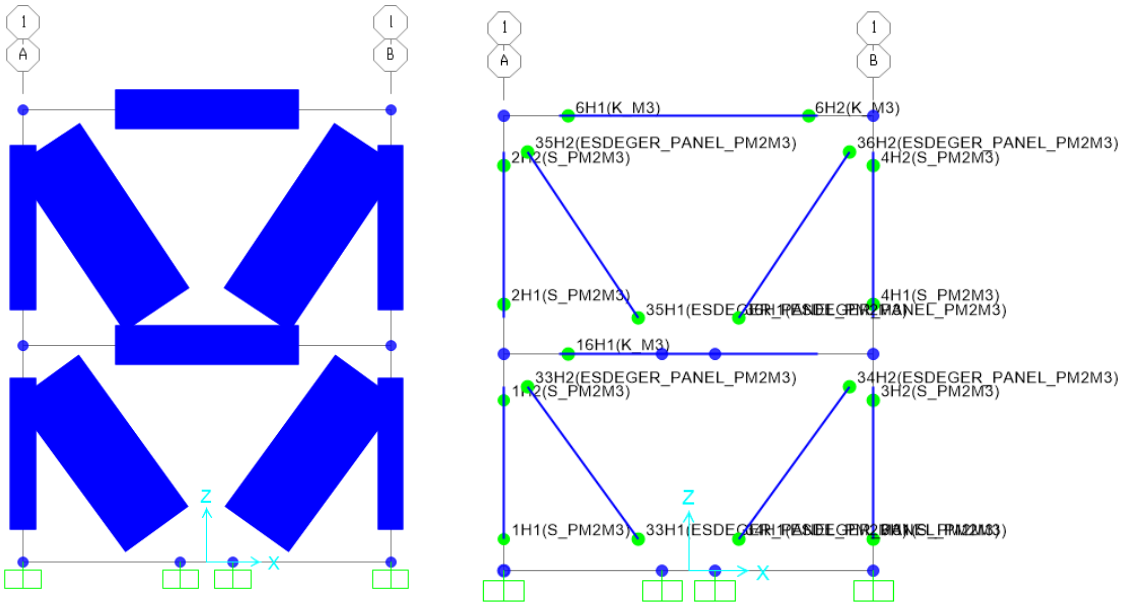
Adım	A-B	B-IO	IO-LS	LS-CP	CP-C	C-D	D-E	>E
0	20	0	0	0	0	0	0	0
1	19	1	0	0	0	0	0	0
2	18	2	0	0	0	0	0	0
3	17	3	0	0	0	0	0	0
4	16	4	0	0	0	0	0	0
5	16	4	0	0	0	0	0	0
6	14	4	1	0	0	1	0	0
7	14	4	0	0	0	2	0	0
8	12	5	0	0	0	3	0	0
9	12	4	0	0	0	4	0	0
10	12	4	0	0	0	4	0	0
11	10	5	0	0	0	5	0	0
12	10	4	0	0	0	6	0	0
13	10	4	0	0	0	6	0	0
14	10	1	0	0	0	9	0	0
15	10	0	0	0	0	10	0	0
16	10	0	0	0	0	10	0	0
17	10	0	0	0	0	9	1	0

C-TPÇ deney numunesinin deneysel ve analitik karşılaştırılması toplam yatay yük-tepe deplasmanı cinsinden Şekil 6.15'de gösterilmiştir.



Şekil 6.15. 4 nolu deney numunesinin deneysel ve analitik karşılaştırılması

Deneysel çalışmada panel genişliği 300 mm olan 5 nolu güçlendirilmiş deney numunesinin (D-TPÇ) SAP2000 programında oluşturulan modeli Şekil 6.16'da gösterilmiştir. Her bir elemanın net görünmesi için SAP2000'deki object shrink toggle düğmesi aktif haldeyken görüntü alınmıştır.



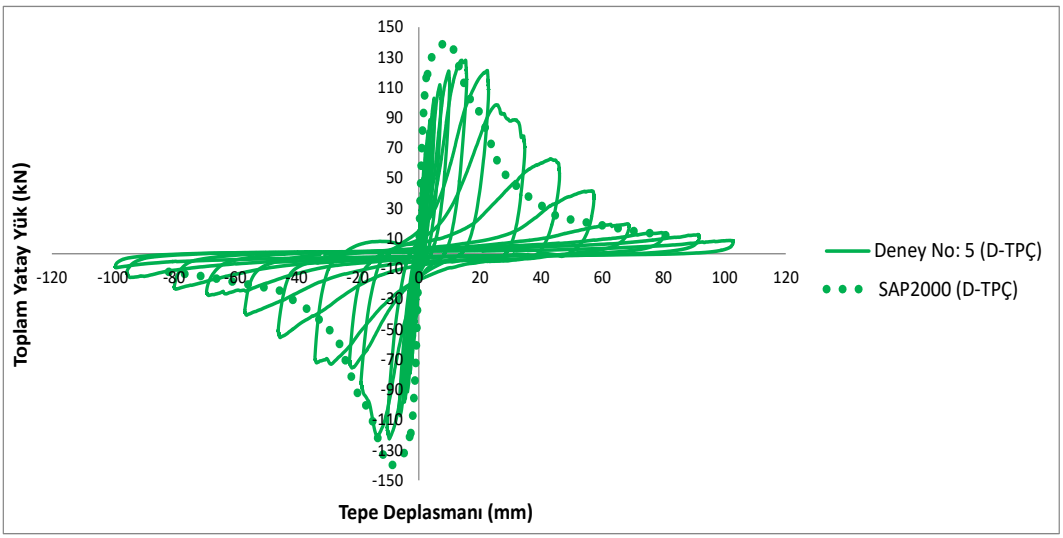
Şekil 6.16. 5 nolu deney numunesinin (D-TPÇ) SAP2000'de oluşturulan modeli

5. deney numunesi (D-TPÇ) için yapılan pushover analizi sonucunda plastik mafsallaşma sıraları ise Çizelge 6.8'de gösterilmiştir.

Çizelge 6.8. Statik itme analizi sonucunda 4 nolu (C-TPÇ) deney numunesinde adım adım oluşan mafsal sayıları ve hasar seviyeleri

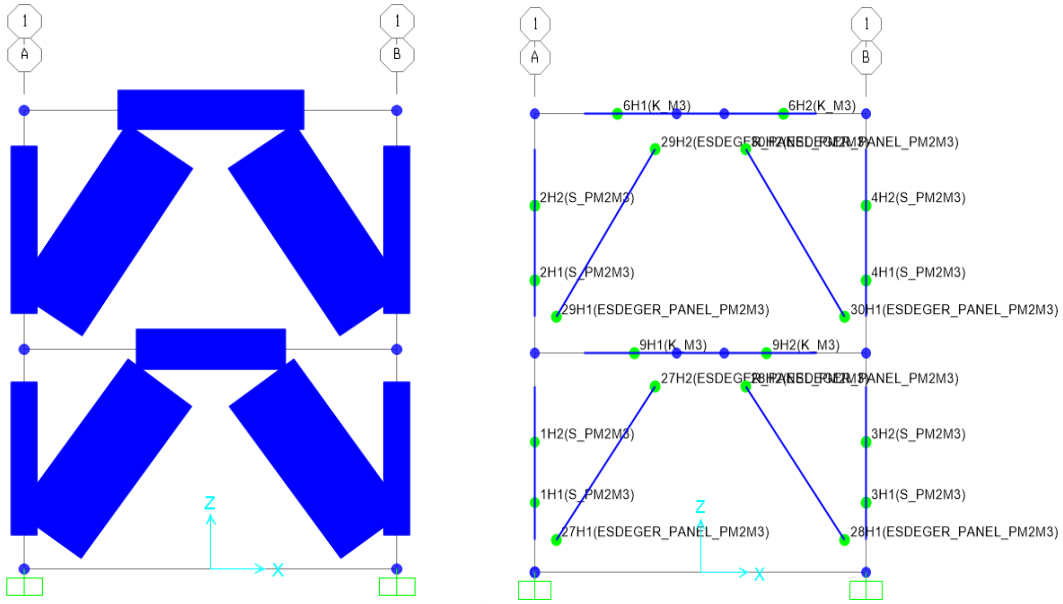
Adım	A-B	B-IO	IO-LS	LS-CP	CP-C	C-D	D-E	>E
0	15	4	0	0	0	0	0	0
1	14	5	0	0	0	0	0	0
2	12	7	0	0	0	0	0	0
3	8	8	1	0	0	2	0	0
4	7	7	2	1	0	2	0	0
5	7	7	2	0	0	3	0	0
6	7	7	2	0	0	3	0	0
7	7	7	2	0	0	3	0	0
8	7	7	0	0	0	5	0	0
9	5	8	1	0	0	5	0	0
10	5	7	0	0	0	7	0	0
11	5	7	0	0	0	7	0	0
12	5	7	0	0	0	6	1	0
13	5	7	0	0	0	6	0	1
14	5	7	0	0	0	5	0	2
15	5	7	0	0	0	5	0	2
16	5	7	0	0	0	4	1	2
17	5	7	0	0	0	4	0	3
18	5	7	0	0	0	4	0	3
19	5	7	0	0	0	4	0	3

D-TPÇ deney numunesinin deneysel ve analitik karşılaştırılması toplam yatay yük-tepe deplasmanı cinsinden Şekil 6.16'da gösterilmiştir.



Şekil 6.16. 5 nolu deney numunesinin deneysel ve analitik karşılaştırılması

Deneysel çalışmada panel genişliği 300 mm olan 6 nolu güçlendirilmiş deney numunesinin (E-TPÇ) SAP2000 programında oluşturulan modeli Şekil 6.17'de gösterilmiştir. Her bir elemanın net görünmesi için SAP2000'deki object shrink toggle düğmesi aktif haldeyken görüntü alınmıştır.



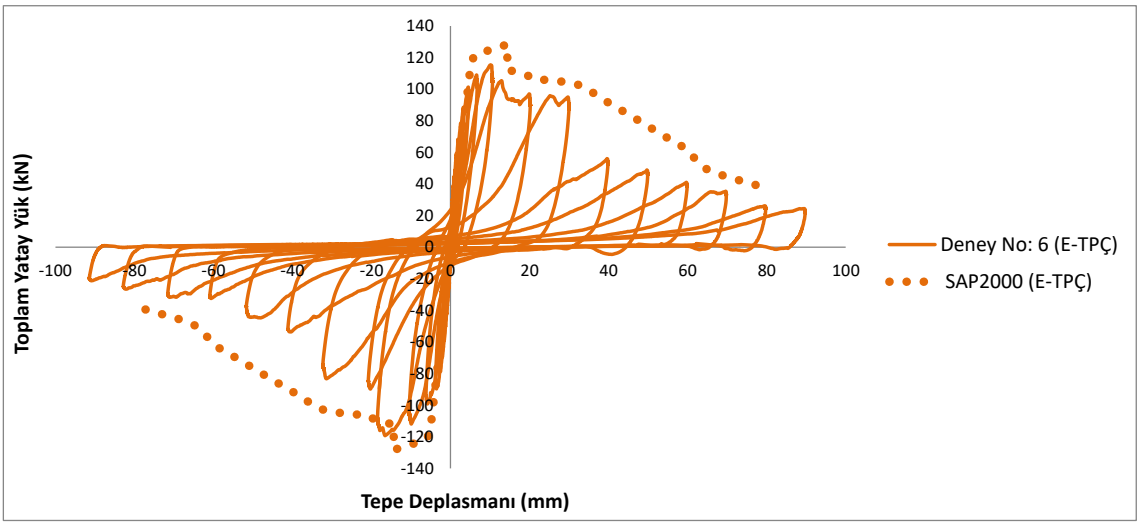
Şekil 6.17. 6 nolu deney numunesinin (E-TPÇ) SAP2000'de oluşturulan modeli

6. deney numunesi (E-TPÇ) için yapılan pushover analizi sonucunda plastik mafsallaşma sıraları ise Çizelge 6.9'da gösterilmiştir.

Çizelge 6.9. Statik itme analizi sonucunda 6 nolu (E-TPÇ) deney numunesinde adım adım oluşan mafsal sayıları ve hasar seviyeleri

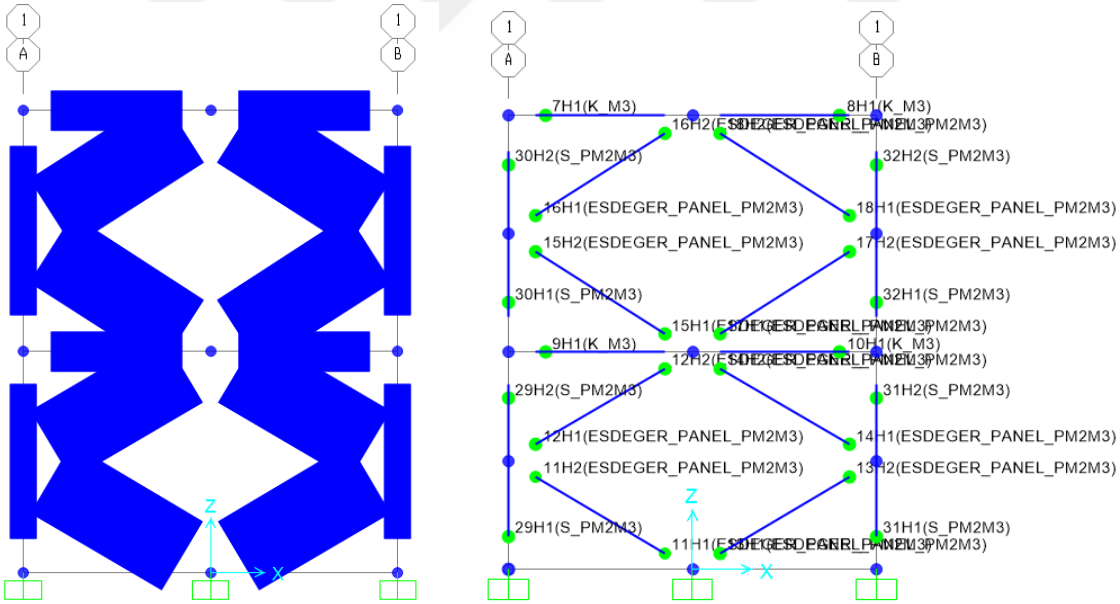
Adım	A-B	B-IO	IO-LS	LS-CP	CP-C	C-D	D-E	>E
0	20	0	0	0	0	0	0	0
1	19	1	0	0	0	0	0	0
2	18	2	0	0	0	0	0	0
3	16	4	0	0	0	0	0	0
4	14	6	0	0	0	0	0	0
5	14	4	0	0	0	2	0	0
6	14	4	0	0	0	2	0	0
7	12	5	0	0	0	3	0	0
8	12	4	0	0	0	4	0	0
9	10	5	0	0	0	5	0	0
10	10	4	0	0	0	6	0	0
11	10	4	0	0	0	6	0	0
12	10	4	0	0	0	6	0	0
13	10	4	0	0	0	4	2	0
14	10	4	0	0	0	4	0	2
15	10	2	0	0	0	6	0	2
16	10	0	0	0	0	8	0	2
17	10	0	0	0	0	8	0	2
18	10	0	0	0	0	8	0	2

E-TPÇ deney numunesinin deneysel ve analitik karşılaştırılması toplam yatay yük-tepe deplasmanı cinsinden Şekil 6.18'de gösterilmiştir.



Şekil 6.18. 6 nolu deney numunesinin deneysel ve analitik karşılaştırılması

Deneysel çalışmada panel genişliği 300 mm olan 7 nolu güçlendirilmiş deney numunesinin (F-TPÇ) SAP2000 programında oluşturulan modeli Şekil 6.19'da gösterilmiştir. Her bir elemanın net görünmesi için SAP2000'deki object shrink toggle düğmesi aktif haldeyken görüntü alınmıştır.



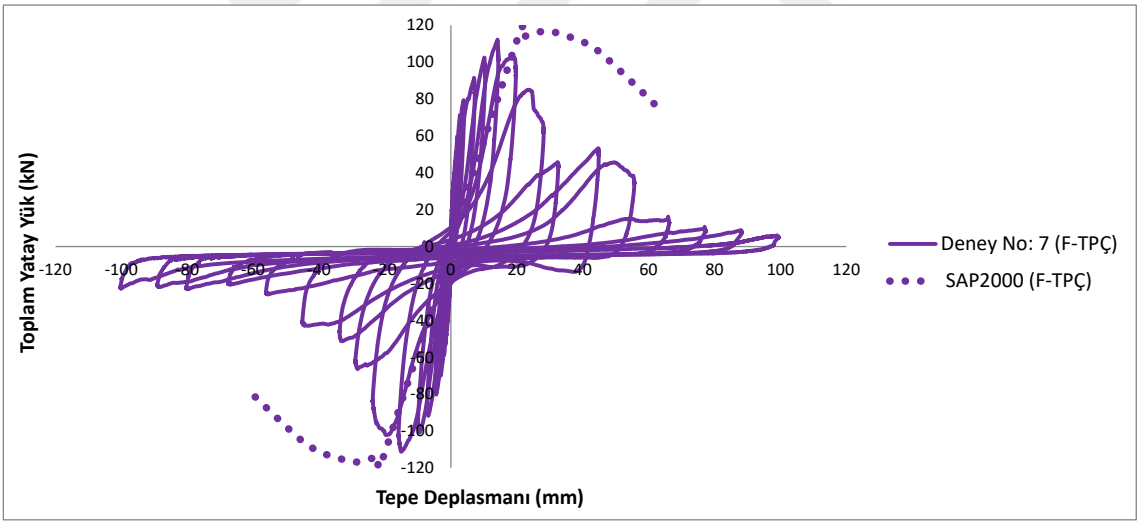
Şekil 6.19. 7 nolu deney numunesinin (F-TPÇ) SAP2000'de oluşturulan modeli

7. deney numunesi (F-TPÇ) için yapılan pushover analizi sonucunda plastik mafsallaşma sıraları ise Çizelge 6.10'da gösterilmiştir.

Çizelge 6.10. Statik itme analizi sonucunda 7 nolu (F-TPÇ) deney numunesinde adım adım oluşan mafsal sayıları ve hasar seviyeleri

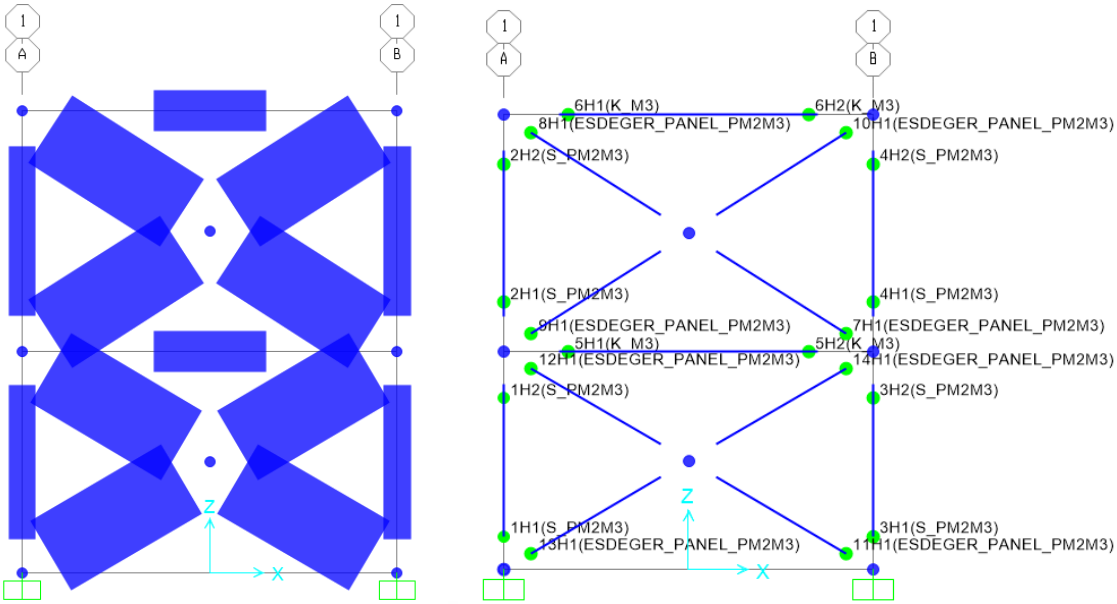
Adım	A-B	B-IO	IO-LS	LS-CP	CP-C	C-D	D-E	>E
0	12	16	0	0	0	0	0	0
1	12	16	0	0	0	0	0	0
2	12	16	0	0	0	0	0	0
3	12	16	0	0	0	0	0	0
4	12	16	0	0	0	0	0	0
5	12	16	0	0	0	0	0	0
6	10	17	0	0	0	1	0	0
7	10	16	0	0	0	2	0	0
8	10	16	0	0	0	2	0	0
9	9	17	0	0	0	2	0	0
10	7	18	0	0	0	3	0	0
11	7	16	0	1	0	4	0	0
12	5	13	1	0	0	9	0	0
13	5	12	0	2	0	7	0	2

F-TPÇ deney numunesinin deneysel ve analitik karşılaştırılması toplam yatay yük-tepe deplasmanı cinsinden Şekil 6.20'de gösterilmiştir.



Şekil 6.20. 7 nolu deney numunesinin deneysel ve analitik karşılaştırılması

Deneysel çalışmada panel genişliği 300 mm olan 8 nolu güçlendirilmiş deney numunesinin (G-TPÇ) SAP2000 programında oluşturulan modeli Şekil 6.21'de gösterilmiştir. Her bir elemanın net görünmesi için SAP2000'deki object shrink toggle düğmesi aktif haldeyken görüntü alınmıştır.



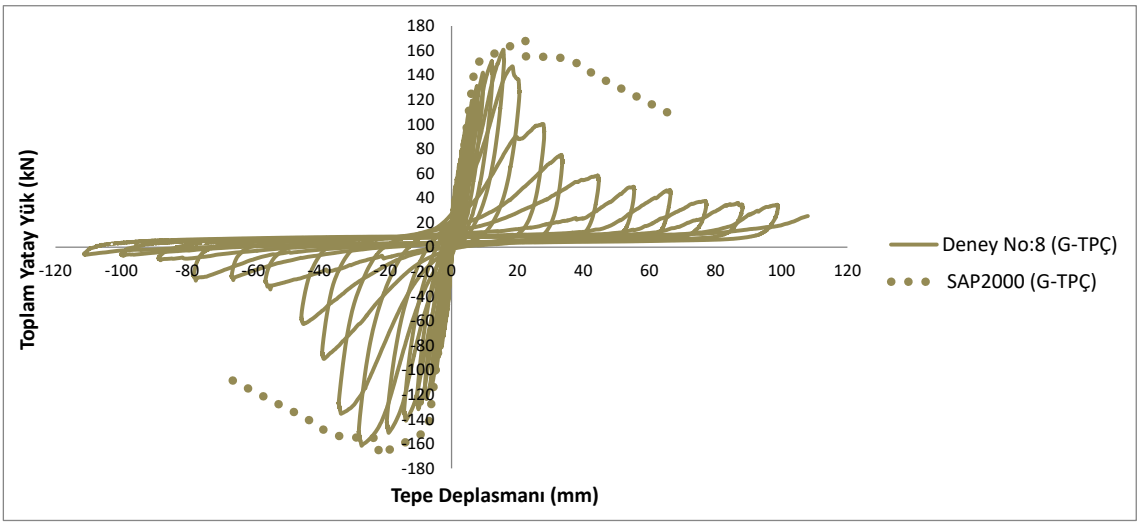
Şekil 6.21. 8 nolu deney numunesinin (F-TPÇ) SAP2000'de oluşturulan modeli

8. deney numunesi (G-TPÇ) için yapılan pushover analizi sonucunda plastik mafsallaşma sıraları ise Çizelge 6.11'de gösterilmiştir.

Çizelge 6.11. Statik itme analizi sonucunda 8 nolu (G-TPÇ) deney numunesinde adım adım oluşan mafsal sayıları ve hasar seviyeleri

Adım	A-B	B-IO	IO-LS	LS-CP	CP-C	C-D	D-E	>E
0	16	4	0	0	0	0	0	0
1	15	5	0	0	0	0	0	0
2	14	6	0	0	0	0	0	0
3	10	8	1	0	0	1	0	0
4	10	8	0	0	0	2	0	0
5	10	8	0	0	0	2	0	0
6	7	9	1	0	0	3	0	0
7	7	8	0	0	0	5	0	0
8	5	9	1	0	0	5	0	0
9	5	8	1	0	0	6	0	0
10	5	8	1	0	0	6	0	0
11	5	8	1	0	0	6	0	0
12	5	8	1	0	0	6	0	0
13	5	4	1	0	0	10	0	0

G-TPÇ deney numunesinin deneysel ve analitik karşılaştırılması toplam yatay yük-tepe deplasmanı cinsinden Şekil 6.22'de gösterilmiştir.



Şekil 6.22. 8 nolu deney numunesinin deneysel ve analitik karşılaştırılması

6.4. Süneklik Değerlendirmesi

Yapılan deneysel çalışmalar sonucu elde edilen zarf eğrilerinde deplasman sünekliği, oluşan en büyük deplasmanın akma anında oluşan deplasmana oranı olarak tanımlanmıştır. Sistemde oluşan en büyük deplasman, numunenin en büyük yatay yük kapasitesinin %85 değerine düştüğü noktadaki ikinci kat seviyesi deplasman değeri olarak alınmıştır. Akma anında oluşan deplasman değeri ise, orjinden başlayan ve numunenin en büyük yatay yük kapasitesinin tepe öncesi %75 değerine ulaştığı ileri ve geri çevrim noktaları arasında çizilen sekant eğrisi ile en büyük yatay yük seviyesinden yatay olarak uzatılan doğrunun kesiştiği tepe deplasmanı değeri, akma deplasmanı olarak kabul edilmiştir [Yüksel ve ark., 2002]. Deplasman sünekliği hesabında μ_s olarak tanımlanan süneklik katsayısı Denklem 6.8'deki gibi hesap edilmiştir. Ayrıca Çizelge 6.12'de tüm deneysel numunelere ait süneklik değerleri gösterilmiştir.

$$\mu_s = \frac{\delta_u}{\delta_y} \tag{6.8}$$

Çizelge 6.12. Deney numunelerine ait deplasman süneklik katsayıları

Deney Numunesi	Maksimum Yatay Yük (kN) V_{max}		Akma Yükü (kN) (0.75* V_{max})		Göçme Yükü (kN) (0.8* V_{max})		Süneklik oranı μ_s	
	itme	çekme	itme	çekme	itme	çekme	itme	çekme
RN	44.50	-43.20	33.37	-32.40	35.60	-34.56	5.11	3.65
A-TPÇ	44.49	-82.07	33.37	-61.55	35.59	-65.66	5.59	1.77
B-TPÇ	73.50	-71.09	55.12	-53.32	58.80	-56.87	4.72	4.25
C-TPÇ	68.85	-73.85	51.64	-55.38	55.08	-59.08	5.56	6.38
D-TPÇ	128.02	-122.49	96.01	-91.86	102.41	-97.99	4.32	3.12
E-TPÇ	115.21	-119.18	86.41	-89.38	92.17	-95.34	6.45	4.17
F-TPÇ	112.23	-111.28	84.17	-83.46	89.78	-95.34	4.29	3.37
G-TPÇ	160.65	-161.57	120.48	-121.17	128.52	-129.25	3.46	3.55

7. DEĞERLENDİRME VE SONUÇLAR

Bu tez çalışmasında dolgu duvarların önüretimli paneller ile güçlendirilmesi sonucunda yapı davranışına olan etkileri araştırılmıştır. Bu amaçla *SÜ Yapı ve Deprem Laboratuvarında* bir dizi deneyler gerçekleştirilmiştir. Daha sonra güçlendirilmiş bu çerçeve numunelerin analitik olarak statik itme analizi (pushover) yapılarak elde edilen analitik sonuçlar ile deneysel sonuçlar karşılaştırılmıştır.

Yapılan deneysel çalışmada toplam 8 adet 1/3 ölçekli iki katlı tek açıklıklı betonarme dolgu duvarlı çerçeve numuneler hazırlanmıştır. Bu çerçeve numunelerden 1 tanesi referans numune olarak alınmışken, diğer 7 tanesi önüretimli farklı yerleşime sahip paneller ile güçlendirilmiştir. Bu çerçevelerdeki beton sınıfı, özellikle ülkemizdeki çok sayıda yapının mühendislik hizmeti almadan inşa edilmesi göz önüne alınarak deprem davranışını gerçeğe yakın tespit edebilme adına düşük dayanımlı seçilmiştir. 1 nolu RN deneysel numune analitik çalışmaya referans olması ve önüretimli paneller ile güçlendirilmiş dolgu duvarların etkilerini daha iyi görebilme adına yalnızca sıvanmış dolgu duvarlı çerçeve olarak üretilmiştir. İlk grup olan 2 nolu (A-TPÇ) numune panel genişliği 200 mm olan yalnızca tek yönlü güçlendirme örneğidir. 3 nolu (B-TPÇ) numune Merkezi V şeklinde yerleştirilmiş panel genişliği 200 mm olan güçlendirilmiş numunedir. 4 nolu (C-TPÇ) Merkezi Ters V olarak üretilmiş ve panel genişliği 200 mm olan güçlendirilmiş ilk grup deney numunelerinin sonuncusudur. Yapılan ilk grup güçlendirmeler panel genişliğinin optimum seviyesini yakalama adına fikir veren önemli bir aşamadır. Yapılan ikinci grup güçlendirmeden ilki Merkezi olmayan V (D-TPÇ) şeklinde 300 mm panel genişliğine sahip güçlendirilmiş numunedir. Bir diğeri Merkezi olmayan Ters V (E-TPÇ) şeklinde üretilen panel genişliği 300 mm olan numunedir. K şeklinde üretilen (F-TPÇ) panel genişliği de 300 mm olan güçlendirilmiş deney numunesi ikinci grup deney numunesi içinde üçüncü sıradadır. Son olarak X şeklinde üretilen (G-TPÇ) güçlendirilmiş numune panel genişliği 300 mm olan ve deprem davranışı açısından en iyi sonucu veren numunedir. Tüm deney numunelerindeki dolgu duvarlar 85x190x190 mm boyutlarında piyasadan temin edilen sıradan tuğlalardan oluşmaktadır. Yatay delikli tuğlalar birbirlerine ve çerçeveye harç ile bağlanmıştır. Dolgu duvarlar gerçekte olduğu gibi sıvalı hale getirilmiştir. Tüm paneller epoksi esaslı yapıştırıcı ile sıvanmış dolgu duvar üzerine yapıştırılmış ve ankrajlar ile birbirlerine ve çerçeveye sabitlenmiştir.

Laboratuvarda yapılan deneysel çalışmada, dolgu duvarlı ve güçlendirilmiş çerçeve sistemleri arasındaki davranış farklılıklarının anlaşılabilmesi için, tüm deney numuneleri depremi benzeştiren tersinir-tekrarlanır artan yatay yükler altında, önce yük kontrollü sonra da deplasman kontrollü olarak yüklenmiştir. Deney numuneleri üzerinde düşey yük etkisi laboratuvar ortamındaki yetersizliklerden dolayı ihmal edilmiştir. Bu durum tüm deney numunelerinin sünekliğini bir miktar artıracak olup, yatay yük seviyesini azaltacak olsada bütün deneyler için aynı şartlar geçerli olduğu için karşılaştırmalar bu şekilde yapılmıştır. Ayrıca elde edilen sonuçların bu tez çalışması kapsamı ile sınırlı olduğu ve sınırlı sayıda elemandan çıkan sonuçların analizini yansıtması bakımından kesin ve mutlak yargılara vararak genelleme yapmak için henüz erken olduğu bilinmelidir.

7.1. Sonuçlar

Yukarıda yapılan açıklamalar ve uygulananlardan sonra dolgu duvarlı çerçeve ve panel genişliği 200 mm ve 300 mm olan iki grup önüretimli paneller ile yapılan güçlendirme neticesinde aşağıdaki sonuçlara ulaşılmıştır:

- Panel genişliği 200 mm olan 2 nolu deney numunesi (A-TPÇ), 1 nolu deney numunesine (RN) göre maksimum yatay yük taşıma kapasitesi açısından, ileri çevrimde herhangi bir panelin olmayışından dolayı yatay yüke katkı sağlamazken, geri çevrimde var olan panel **%90** daha fazla yatay yük taşınmasını sağlamıştır. Yalnızca geri yönde yapılan A-TPÇ güçlendirme, sistemin yatay yük taşıma kapasitesini artırmıştır. Ancak gerçek yapıda depremin tersinir-tekrarlanır etkisi olduğundan dolayı yapılan bu tek yönlü güçlendirme yalnızca panel davranışını izlemek için yapılmıştır.
- İlk rijitlikleri bakımından 2 nolu deney numunesi (A-TPÇ), 1 nolu deney numunesine göre ileri çevrimde **%46.5** artış sağlarken, geri çevrimde **%158.5** daha fazla başlangıç rijitliğine sahiptir. Maksimum yatay yükte ise 2 nolu deney numunesi 1 nolu deney numunesine göre, ileri çevrimde **%157** artış sağlarken, geri çevrimde **%325** daha fazla rijitliğe sahiptir.
- TDY-2007'de yapıların göreli kat ötelenme oranı güvenlik sınırında 0.03 olarak belirtilmiştir. 2 nolu deney numunesi (A-TPÇ), maksimum yatay yükte ileri çevrimde **0.011**, geri çevrimde **0.0059** göreli kat ötelenme oranına sahipken, 1

nolu deney numunesi ileri çevrimde **0.0044**, geri çevrimde **0.0054** değerine sahiptir. 2 nolu deney numunesi ve 1 nolu deney numunesinin maksimum yatay yük altında güvenlik sınırını aşmadığı ve yönetmelik şartlarını sağladığı görülmüştür.

- 2 nolu deney numunesi (A-TPÇ) deney sonundaki 0.052'lik deplasman oranında **19.52 kj** enerji tüketmişken, 1 nolu deney numunesi 0.032'lik deplasman oranı için **11.24 kj** enerji tüketmiştir. A-TPÇ deney numunesinin RN'ye göre deney sonunda **%73.6** oranından daha fazla enerji tükettiği görülmüştür.
- Maksimum yükte tüketilen enerji açısından 2 nolu deney numunesi **1.75 kj** değerine sahipken, 1 nolu deney numunesi **0.57 kj** değerine sahiptir. A-TPÇ deney numunesinin RN'ye göre maksimum yükte **%207** daha fazla enerji tükettiği görülmüştür. Dolayısıyla A-TPÇ deney numunesi, enerji tüketme kapasitesi bakımından dolgu duvarlı çerçeveye önemli ölçüde katkı sağlamıştır.
- 1 nolu (RN) deney numunesinde 44.50 kN yatay yük ve 17.06 mm tepe deplasmanı seviyesinde köşe tuğlalarda ezilme ve diyagonal çatlakların oluşması ile taşıma kapasitesine ulaşılmışken, 2 nolu A-TPÇ deney numunesinde panelin çalışma doğrultusundaki geri çevrimde, -82.06 kN değerinde akma gerçekleşirken, tepe deplasmanı -9.05 mm olarak ölçülmüştür. Panelin olduğu yönde tuğla ezilmesi gecikmiştir. Ayrıca A-TPÇ deney numunesi geri çevrimde daha az deplasman ve daha fazla yatay yük ile taşıma kapasitesine ulaşmıştır.
- Panel genişliği 200 mm olan 3 nolu deney numunesi (B-TPÇ), 1 nolu deney numunesine (RN) göre maksimum yatay yük taşıma kapasitesi açısından, ileri ve geri çevrimin her ikisinde de yaklaşık %65 daha fazla yatay yük taşımasını sağlamıştır. Bu sonuçlara göre B-TPÇ güçlendirme, sistemin yatay yük taşıma kapasitesini artırmıştır.
- İlk rijitlikleri bakımından 3 nolu deney numunesi (B-TPÇ), 1 nolu deney numunesine göre ileri çevrimde %103.7 artış sağlarken, geri çevrimde %80.25 daha fazla başlangıç rijitliğine sahiptir. Maksimum yatay yükte ise 3 nolu deney numunesi 1 nolu deney numunesine göre, ileri çevrimde %39 artış sağlarken, geri çevrimde %20 daha fazla rijitliğe sahiptir.
- TDY-2007'de yapıların göreli kat ötelenme oranı güvenlik sınırında 0.03 olarak belirtilmiştir. 3 nolu deney numunesi (B-TPÇ), maksimum yatay yükte ileri çevrimde 0.0021, geri çevrimde 0.0059 göreli kat ötelenme oranına sahipken, 1

nolu deney numunesi ileri çevrimde 0.0044, geri çevrimde 0.0054 değerine sahiptir. 3 nolu deney numunesi ve 1 nolu deney numunesinin maksimum yatay yük altında güvenlik sınırını aşmadığı ve yönetmelik şartlarının altında kaldığı görülmüştür.

- 3 nolu deney numunesi (B-TPÇ) deney sonundaki 0.049'luk deplasman oranında **22.19 kj** enerji tüketmişken, 1 nolu deney numunesi 0.032'lik deplasman oranı için **11.24 kj** enerji tüketmiştir. B-TPÇ deney numunesinin RN'ye göre deney sonunda %97.4 oranından daha fazla enerji tükettiği görülmüştür.
- Maksimum yükte tüketilen enerji açısından 3 nolu deney numunesi **2.50 kj** değerine sahipken, 1 nolu deney numunesi **0.57 kj** değerine sahiptir. B-TPÇ deney numunesinin RN'ye göre maksimum yükte % 337 daha fazla enerji tükettiği görülmüştür. Dolayısıyla B-TPÇ deney numunesi, enerji tüketme kapasitesi bakımından dolgu duvarlı çerçeveye önemli ölçüde katkı sağlamıştır.
- 1 nolu (RN) deney numunesinde ileri çevrimde 44.50 kN yatay yük ve 0.0044 2.kat göreli ötelenme oranında köşe tuğlalarda ezilme ve diyagonal çatlakların oluşması ile taşıma kapasitesine ulaşılmışken, 3 nolu B-TPÇ deney numunesinde 73.50 kN yatay yük ve 0.0021 2.kat göreli ötelenme oranında zemin kat panellerinin duvardan ayrılmaya başlaması ve sol-sağ alt köşe duvarının ezilmesi ile taşıma kapasitesine ulaşmıştır.
- Panel genişliği 200 mm olan 4 nolu deney numunesi (C-TPÇ), 1 nolu deney numunesine (RN) göre maksimum yatay yük taşıma kapasitesi açısından, ileri çevrimde %55 ve geri çevrim de %71 daha fazla yatay yük taşımasını sağlamıştır. Bu sonuçlara göre B-TPÇ güçlendirme, sistemin yatay yük taşıma kapasitesini artırmıştır.
- İlk rijitlikleri bakımından 4 nolu deney numunesi (C-TPÇ), 1 nolu deney numunesine göre ileri çevrimde %282.5 artış sağlarken, geri çevrimde %34.0 daha fazla başlangıç rijitliğine sahiptir. Maksimum yatay yükte ise 4 nolu deney numunesi 1 nolu deney numunesine göre, ileri çevrimde %4.9 artış sağlarken, geri çevrimde %1.8 daha fazla rijitliğe sahiptir. Başlangıç rijitliği bakımında oldukça yüksek olan C-TPÇ numunesi maksimum yatay yük kapasitesine ulaştığında panellerde oluşan hasarlardan dolayı rijitlikte artış neredeyse olmamıştır.
- TDY-2007'de yapıların göreli kat ötelenme oranı güvenlik sınırında 0.03 olarak belirtilmiştir. 4 nolu deney numunesi (C-TPÇ), maksimum yatay yükte ileri

çevrimde 0.0027, geri çevrimde 0.0087 göreli kat ötelenme oranına sahipken, 1 nolu deney numunesi ileri çevrimde 0.0044, geri çevrimde 0.0054 değerine sahiptir. 3 nolu deney numunesi ve 1 nolu deney numunesinin maksimum yatay yük altında güvenlik sınırını aşmadığı ve yönetmelik şartlarının altında kaldığı görülmüştür.

- 4 nolu deney numunesi (C-TPÇ) deney sonundaki 0.050'lik deplasman oranında **26.770 kj** enerji tüketmişken, 1 nolu deney numunesi 0.032'lik deplasman oranı için **11.24 kj** enerji tüketmiştir. C-TPÇ deney numunesinin RN'ye göre deney sonunda **%138.10** oranından daha fazla enerji tüketmiştir.
- Maksimum yükte tüketilen enerji açısından 4 nolu deney numunesi **3.67 kj** değerine sahipken, 1 nolu deney numunesi **0.57 kj** değerine sahiptir. C-TPÇ deney numunesinin RN'ye göre maksimum yükte **%543** daha fazla enerji tükettiği görülmüştür. Dolayısıyla C-TPÇ deney numunesi, enerji tüketme kapasitesi bakımından panel genişliği 200 mm olan güçlendirilmiş numuneler arasında daha fazla katkı sağlamıştır.
- 1 nolu (RN) deney numunesinde ileri çevrimde 44.50 kN yatay yük ve 0.0044 2.kat göreli ötelenme oranında köşe tuğlalarda ezilme ve diyagonal çatlakların oluşması ile taşıma kapasitesine ulaşılmışken, 4 nolu C-TPÇ deney numunesinde 73.85 kN yatay yük ve 0.0087 2.kat göreli ötelenme oranında zemin kat S101-S102 kolonlarına bitişik D1 ve D3 duvarında meydana gelen ezilme ile taşıma kapasitesine ulaşmıştır.
- Panel genişliği 300 mm olan 5 nolu deney numunesi (D-TPÇ), 1 nolu deney numunesine (RN) göre maksimum yatay yük taşıma kapasitesi açısından, ileri çevrimde %187 ve geri çevrim de %183 daha fazla yatay yük taşımasını sağlamıştır. Bu sonuçlara göre yalnızca panel genişliğinin artırılması, sistemin yatay yük taşıma kapasitesini birinci grup deney numunelerine göre oldukça fazla ölçüde artırmıştır.
- İlk rijitlikleri bakımından 5 nolu deney numunesi (D-TPÇ), 1 nolu deney numunesine göre ileri çevrimde %551.5 artış sağlarken, geri çevrimde %128.7 daha fazla başlangıç rijitliğine sahiptir. Maksimum yatay yükte ise 5 nolu deney numunesi 1 nolu deney numunesine göre, ileri çevrimde %220 artış sağlarken, geri çevrimde %263 daha fazla rijitliğe sahiptir. Başlangıç rijitliği bakımında

oldukça yüksek olan D-TPÇ numunesi maksimum yatay yük kapasitesine ulaştığında da rijitlik değeri oldukça yüksektir.

- TDY-2007'de yapıların göreli kat ötelenme oranı güvenlik sınırında 0.03 olarak belirtilmiştir. 5 nolu deney numunesi (D-TPÇ), maksimum yatay yükte ileri çevrimde 0.0033, geri çevrimde 0.0056 göreli kat ötelenme oranına sahipken, 1 nolu deney numunesi ileri çevrimde 0.0044, geri çevrimde 0.0054 değerine sahiptir. 5 nolu deney numunesi ve 1 nolu deney numunesinin maksimum yatay yük altında güvenlik sınırını aşmadığı ve yönetmelik şartlarının altında kaldığı görülmüştür.
- 5 nolu deney numunesi (D-TPÇ) deney sonundaki 0.055'lik deplasman oranında **39.51 kj** enerji tüketmişken, 1 nolu deney numunesi 0.032'lik deplasman oranı için **11.24 kj** enerji tüketmiştir. D-TPÇ deney numunesinin RN'ye göre deney sonunda **%251.47** oranından daha fazla enerji tüketmiştir.
- Maksimum yükte tüketilen enerji açısından 5 nolu deney numunesi **5.39 kj** değerine sahipken, 1 nolu deney numunesi **0.57 kj** değerine sahiptir. C-TPÇ deney numunesinin RN'ye göre maksimum yükte %843 daha fazla enerji tükettiği görülmüştür. Dolayısıyla D-TPÇ deney numunesi, enerji tüketme kapasitesi bakımından panel genişliği 200 mm olan güçlendirilmiş numuneler içerisinden en fazla enerji tüketme başarısına sahip C-TPÇ'den **1.55 kat** daha fazla enerji tüketmiştir.
- 1 nolu (RN) deney numunesinde ileri çevrimde 44.50 kN yatay yük ve 0.0044 2.kat göreli ötelenme oranında köşe tuğlalarda ezilme ve diyagonal çatlakların oluşması ile taşıma kapasitesine ulaşılmışken, 5 nolu D-TPÇ deney numunesinde 128.02 kN yatay yük ve 0.0033 2.kat göreli ötelenme oranında zemin kat sol üst panelde ezilme sonucu taşıma kapasitesine ulaşılmıştır.
- Panel genişliği 300 mm olan 6 nolu deney numunesi (E-TPÇ), 1 nolu deney numunesine (RN) göre maksimum yatay yük taşıma kapasitesi açısından, ileri çevrimde %158 ve geri çevrim de %175 daha fazla yatay yük taşımasını sağlamıştır. Bu sonuçlara göre yalnızca panel genişliğinin artırılması, sistemin yatay yük taşıma kapasitesini birinci grup deney numunelerine göre oldukça fazla ölçüde artırmıştır.
- İlk rijitlikleri bakımından 6 nolu deney numunesi (E-TPÇ), 1 nolu deney numunesine göre ileri çevrimde %611.4 artış sağlarken, geri çevrimde %124.4

daha fazla başlangıç rijitliğine sahiptir. Maksimum yatay yükte ise 6 nolu deney numunesi 1 nolu deney numunesine göre, ileri çevrimde %341 artış sağlarken, geri çevrimde %170 daha fazla rijitliğe sahiptir. Başlangıç rijitliği bakımında oldukça yüksek olan E-TPÇ numunesi maksimum yatay yük kapasitesine ulaştığında da rijitlik değeri D-TPÇ'ye benzer şekilde oldukça yüksektir.

- TDY-2007'de yapıların göreli kat ötelenme oranı güvenlik sınırında 0.03 olarak belirtilmiştir. 6 nolu deney numunesi (E-TPÇ), maksimum yatay yükte ileri çevrimde 0.0034, geri çevrimde 0.0089 göreli kat ötelenme oranına sahipken, 1 nolu deney numunesi ileri çevrimde 0.0044, geri çevrimde 0.0054 değerine sahiptir. 6 nolu deney numunesi ve 1 nolu deney numunesinin maksimum yatay yük altında güvenlik sınırını aşmadığı ve yönetmelik şartlarının altında kaldığı görülmüştür.
- 6 nolu deney numunesi (E-TPÇ) deney sonundaki 0.050'lik deplasman oranında **33.83 kj** enerji tüketmişken, 1 nolu deney numunesi 0.032'lik deplasman oranı için **11.24 kj** enerji tüketmiştir. E-TPÇ deney numunesinin RN'ye göre deney sonunda **%200.9** daha fazla enerji tüketmiştir.
- Maksimum yükte tüketilen enerji açısından 6 nolu deney numunesi **4.06 kj** değerine sahipken, 1 nolu deney numunesi **0.57 kj** değerine sahiptir. E-TPÇ deney numunesinin RN'ye göre maksimum yükte **%610** daha fazla enerji tükettiği görülmüştür. Dolayısıyla E-TPÇ deney numunesi, enerji tüketme kapasitesi bakımından panel genişliği 200 mm olan güçlendirilmiş numuneler içerisinden en fazla enerji tüketme başarısına sahip C-TPÇ'den **1.10 kat** daha fazla enerji tüketmiştir.
- 1 nolu (RN) deney numunesinde ileri çevrimde 44.50 kN yatay yük ve 0.0044 2.kat göreli ötelenme oranında köşe tuğlalarda ezilme ve diyagonal çatlakların oluşması ile taşıma kapasitesine ulaşılmışken, 6 nolu E-TPÇ deney numunesinde 115.20 kN yatay yük ve 0.0034 2.kat göreli ötelenme oranında zemin kat S101 kolonuna bitişik sol üst duvarda ezilme ile beraber duvarda genişçe bir yarılma meydana gelmesiyle taşıma kapasitesine ulaşmıştır.
- Panel genişliği 300 mm olan 7 nolu deney numunesi (F-TPÇ), 1 nolu deney numunesine (RN) göre maksimum yatay yük taşıma kapasitesi açısından, ileri çevrimde %152 ve geri çevrim de %157 daha fazla yatay yük taşımasını

sağlamıştır. F-TPÇ dolgu duvarın yatay yük kapasitesinin artmasında önemli oranda katkı sağlamıştır.

- Başlangıç rijitlikleri bakımından 7 nolu deney numunesi (F-TPÇ), 1 nolu deney numunesine göre ileri çevrimde %597.5 artış sağlarken, geri çevrimde %127.8 daha fazla başlangıç rijitliğine sahiptir. Maksimum yatay yükte ise 7 nolu deney numunesi 1 nolu deney numunesine göre, ileri çevrimde %204 artış sağlarken, geri çevrimde %178 daha fazla rijitliğe sahiptir. Başlangıç rijitliği bakımında oldukça yüksek olan F-TPÇ numunesi maksimum yatay yük kapasitesine ulaştığında da rijitlik değeri köşe bölgelerde panel olmamasından dolayı ikinci grup güçlendirme içerisinde daha az rijitliğe sahiptir.
- TDY-2007'de yapıların göreli kat ötelenme oranı güvenlik sınırında 0.03 olarak belirtilmiştir. 7 nolu deney numunesi (F-TPÇ), maksimum yatay yükte ileri çevrimde 0.0035, geri çevrimde 0.0086 göreli kat ötelenme oranına sahipken, 1 nolu deney numunesi ileri çevrimde 0.0044, geri çevrimde 0.0054 değerine sahiptir. 7 nolu deney numunesi ve 1 nolu deney numunesinin maksimum yatay yük altında güvenlik sınırını aşmadığı ve yönetmelik şartlarının altında kaldığı görülmüştür.
- 7 nolu deney numunesi (F-TPÇ) deney sonundaki 0.057'lik deplasman oranında **36.06 kj** enerji tüketmişken, 1 nolu deney numunesi 0.032'lik deplasman oranı için **11.24 kj** enerji tüketmiştir. F-TPÇ deney numunesinin RN'ye göre deney sonunda **%220.75** daha fazla enerji tüketmiştir.
- Maksimum yükte tüketilen enerji açısından 7 nolu deney numunesi **5.38 kj** değerine sahipken, 1 nolu deney numunesi **0.57 kj** değerine sahiptir. F-TPÇ deney numunesinin RN'ye göre maksimum yükte **%840** daha fazla enerji tükettiği görülmüştür. Dolayısıyla F-TPÇ deney numunesi, enerji tüketme kapasitesi bakımından panel genişliği 200 mm olan güçlendirilmiş numuneler içerisinden en fazla enerji tüketme başarısına sahip C-TPÇ'den **1.46 kat** daha fazla enerji tüketmiştir.
- 1 nolu (RN) deney numunesinde ileri çevrimde 44.50 kN yatay yük ve 0.0044 2.kat göreli ötelenme oranında köşe tuğlalarda ezilme ve diyagonal çatlakların oluşması ile taşıma kapasitesine ulaşılmışken, 7 nolu F-TPÇ deney numunesinde 112.23 kN yatay yük ve 0.0035 2.kat göreli ötelenme oranında zemin kat S102-K101 birleşim bölgesindeki duvardan başlayıp çapraz şekilde zemin kat sol üst

paneli ve paneller ortasındaki duvarı yararak zemin kat sağ alt ve üst panel noktasına kadar açılma gözlenmiştir. Bununla beraber zemin kat sağ ve sol üst köşe duvarda ezilme ve bitişiğindeki kolondan ayrılmasıyla taşıma kapasitesine ulaşmıştır.

- Panel genişliği 300 mm olan 8 nolu son deney numunesi olan (G-TPÇ), 1 nolu deney numunesine (RN) göre maksimum yatay yük taşıma kapasitesi açısından, ileri çevrimde %261 ve geri çevrim de %274 daha fazla yatay yük taşıyarak güçlendirilmiş tüm deney numuneleri arasında ilk sırayı almıştır. G-TPÇ dolgu duvarın yatay yük kapasitesinin artmasında önemli oranda katkı sağlamıştır.
- Başlangıç rijitlikleri bakımından 8 nolu deney numunesi (G-TPÇ), 1 nolu deney numunesine göre ileri çevrimde %1087 artış sağlarken, geri çevrimde %724.4 daha fazla başlangıç rijitliğine sahiptir. Maksimum yatay yükte ise 8 nolu deney numunesi 1 nolu deney numunesine göre, ileri çevrimde %204 artış sağlarken, geri çevrimde %178 daha fazla rijitliğe sahiptir. Başlangıç rijitliği bakımında güçlendirilmiş tüm numuner arasında en yüksek değere sahip olan G-TPÇ numunesi maksimum yatay yük kapasitesine ulaştığında da rijitlik değeri bakımından birinci ve ikinci grup güçlendirme numuneleri arasında **en fazla rijitliğe** sahiptir.
- TDY-2007'de yapıların göreli kat ötelenme oranı güvenlik sınırında 0.03 olarak belirtilmiştir. 8 nolu deney numunesi (G-TPÇ), maksimum yatay yükte ileri çevrimde 0.0067, geri çevrimde 0.0234 göreli kat ötelenme oranına sahipken, 1 nolu deney numunesi ileri çevrimde 0.0044, geri çevrimde 0.0054 değerine sahiptir. 8 nolu deney numunesi ve 1 nolu deney numunesinin maksimum yatay yük altında güvenlik sınırını aşmadığı ve yönetmelik şartlarının altında kaldığı görülmüştür.
- 8 nolu deney numunesi (G-TPÇ) deney sonundaki 0.058'lik deplasman oranında **48.20 kj** enerji tüketmişken, 1 nolu deney numunesi 0.032'lik deplasman oranı için **11.24 kj** enerji tüketmiştir. F-TPÇ deney numunesinin RN'ye göre deney sonunda %328.74 daha fazla enerji tüketmiştir.
- Maksimum yükte tüketilen enerji açısından 8 nolu deney numunesi **6.20 kj** değerine sahipken, 1 nolu deney numunesi **0.57 kj** değerine sahiptir. G-TPÇ deney numunesinin RN'ye göre maksimum yükte **%983** daha fazla enerji tükettiği görülmüştür. Dolayısıyla G-TPÇ deney numunesi, enerji tüketme

kapasitesi bakımından panel genişliği 200 mm olan güçlendirilmiş numuneler içerisinden en fazla enerji tüketme başarısına sahip C-TPÇ'den **1.69 kat** daha fazla enerji tüketmiştir.

- Deneysel numunelerin maksimum yatay yük taşıma kapasitelerine göre karşılaştırırsak, 300 mm panel genişliğine sahip X şeklinde güçlendirilmiş 8 nolu (G-TPÇ) deney numunesi diğer numunelere göre daha iyi davranış göstermiştir. Sisteme etkiyen toplam yük dikkate alınırsa 8 nolu deney numunesi ileri ve geri çevrimde 1 nolu (RN)'ye göre 3.61-3.74, 2 nolu (A-TPÇ)'ye göre 3.61-1.97, 3 nolu (B-TPÇ)'ye göre 2.19-2.27, 4 nolu (C-TPÇ)'ye göre 2.18- 2.35, 5 nolu (D-TPÇ)'ye göre 1.25- 1.32, 6 nolu (E-TPÇ)'ye göre 1.39- 1.36, 7 nolu (F-TPÇ)'ye göre 1.43- 1.45 kat daha fazla yatay yük taşımıştır. Dolayısıyla 8 nolu deney numunesi hem maksimum yatay yük taşıma kapasitesi bakımından hem de akmadan sonra gösterdiği süneklik açısından güçlendirilmiş deney numuneleri arasında **en başarılı** olanıdır.
- Başlangıç rijitlikleri açısından karşılaştırma yapılırsa, 8 nolu (G-TPÇ) deney numunesi maksimum yatay yükte olduğu gibi daha iyi davranış sergilemiştir. Daha sonra rijitlik bakımından en iyi sonucu E-TPÇ vermiştir. Başlangıç rijitlikleri karşılaştırılırsa 8 nolu deney numunesi ileri ve geri çevrimde 1 nolu (RN)'ye göre 11.86-8.25, 2 nolu (A-TPÇ)'ye göre 8.10-3.19, 3 nolu (B-TPÇ)'ye göre 2.94-9.07, 4 nolu (C-TPÇ)'ye göre 3.10- 6.15, 5 nolu (D-TPÇ)'ye göre 1.82-3.61, 6 nolu (E-TPÇ)'ye göre 1.67- 3.67, 7 nolu (F-TPÇ)'ye göre 1.70- 3.62 kat daha fazla rijitliğe sahiptir. Bu da gösteriyor ki 8 nolu deney numunesi başlangıç rijitliği bakımından da güçlendirilmiş deney numuneleri arasında en iyi olanıdır.
- Yapılan tüm deney numuneleri enerji tüketimleri bakımından karşılaştırıldığında deney sonunda en fazla enerji tüketimi 8 nolu (G-TPÇ) deney numunesinde gerçekleşmiştir. 8 nolu deney numunesi tüketilen toplam enerji bakımından diğer güçlendirilmiş numuneler ile karşılaştırılırsa, 2 nolu (A-TPÇ)'ye göre 2.47, 3 nolu (B-TPÇ)'ye göre 2.17, 4 nolu (C-TPÇ)'ye göre 1.80, 5 nolu (D-TPÇ)'ye göre 1.22, 6 nolu (E-TPÇ)'ye göre 1.42, 7 nolu (F-TPÇ)'ye göre 1.34 kat daha fazla enerji tüketmiştir.
- 7 nolu (F-TPÇ) deney numunesi hariç diğer güçlendirilmiş deney numunelerinde Kullanılan köşe bağlantı panelleri köşe bölgelerin ezilmesini geciktirmiştir.

Çapraz şekilde yerleştirilen paneller doğrultusunda duvarda çatlamalar azalmış olup panellere yakın bölgelerde çatlamalar meydana gelmiştir.

- Tüm güçlendirilmiş deney numunelerin maksimum yatay yük seviyesinde göreli kat ötelenme değerleri, TDY-2007 tarafından tanımlanan göçme hasar bölgesine ulaşmadığını göstermiştir. Dolayısıyla bu teknikle güçlendirilmiş duvarın can güvenliği seviyesine ulaşılmadan etkinliğini sürdürebileceği söylenebilir.
- Tüm duvarı önüretimli beton paneller ile kaplamak [Baran, M., Tankut, T., 2011] yerine önüretimli yeni çapraz beton panellerle kaplamak suretiyle güçlendirmek özellikle ikinci grup numuneler içerisinde ki 8 nolu (G-TPÇ) deney numunesi açısından yatay yük taşıma kapasitesini tüm yüzeyin kaplı olduğu literatürdeki çalışmalar [Baran, M., Tankut, T., 2011- Akın, A., 2011] kadar artırmakla beraber, işçilik azaltımı, ekonomiklik ve can güvenliği bakımından başarılı olduğunu kanıtlamıştır. Yani tüm yüzeyi kaplamak yerine literatürde bahsedilen %12.5D-%25D aralığında band genişliğine yüksek dayanımlı panel yerleştirmek etkili ve yeterli olmaktadır.
- E-TPÇ deney numunesinde zemin kat sağ ve sol alt köşe bölgelerin rijitliğinden dolayı ileri aşamalarda kısa kolon davranışı meydana gelmektedir. Bu tür bir güçlendirme başka problemlere yol açabilir. Ayrıca A-TPÇ ile yapılan güçledirmede tek yönde alınan bir önlem vardır. Ancak depremin tersinir-tekrarlanır etkisi düşünüldüğünde G-TPÇ'de olduğu gibi önlem alınması gerekmektedir.
- Kullanılan malzemeler piyasadan kolayca temin edilebilen malzemeler olup insanların evlerini boşaltmasına gerek kalmadan uygulanabilecek pratik ve ekonomik bir güçlendirme alternatifi olabileceği düşünülmektedir.
- Çalışmanın analitik kısmında tüm deney numuneleri eşdeğer basınç çubuğu olarak SAP2000'de modellenmiş ve statik itme analizi uygulanmıştır. Bu amaçla, betonarme kesit gerilme-şekildeğiştirme bağıntısı için *Mander Sargılı Beton Modeli* kullanılmış, bu sayede yapı sisteminin sünekliliğini önemli derecede etkileyen beton sarılma etkisi göz önüne alınmıştır. Ayrıca dolgu duvar özellikleri ve panel özellikleri Bölüm 6'da bahsedildiği gibi yansıtılmıştır. Sonuç olarak analitik ve deneysel çalışma sonuçları incelendiğinde limit yük değerlerinin yaklaşık olarak benzer olduğu tespit edilmiştir.

7.1. Öneriler ve Gelecek Çalışmalar

Yapılan tez çalışmasından elde edilen sonuçlar sınırlı sayıda deneysel numuneden elde edilmiş olup literatür açısından önemlidir. Önüretimli paneller ile yapılan güçlendirme neticesinde dolgu duvarlı çerçevelerin deprem davranışına olan etkileri incelenmiş ve araştırmanın geliştirilebilmesi için araştırmacılara aşağıdaki öneriler sunulmuştur:

- Yapılan deneysel çalışmalarda laboratuvar şartlarındaki eksikliklerden dolayı düşey yük etkisi ihmal edilmiştir. Betonarme çerçeve sistemde kolonlara düşey eksenel yükün ilave edilmesi durumunda referans numunenin ve güçlendirilmiş numunelerin süneklikleri daha düşük olacak ancak yatay yük taşıma kapasitelerinin ise daha yüksek sonuçlar vereceği bilinmektedir **(Baran, 2011)**. Dolayısıyla gerçek davranışı daha iyi temsil etmesi adına yapılan deneylerde en iyi sonucu veren 8 nolu G-TPÇ deney numunesinin düşey yük etkisi altında test edilerek sonuçları değerlendirilebilinir. Ayrıca düşey yük etkisiyle panelleri birbirine ve çerçeveye bağlayan ankrajlarda sıyrılma etkisi de azalacağından dolgu duvar ve panellerin bir bütün halinde çalışması daha üst noktalara taşınmış olacaktır.
- Yapılan deneysel çalışmada Φ8 ankrajlar kullanılmıştır. Bunun yerine önüretimli panellerin çerçeveye ve duvara ankrajında daha küçük çaplı ankrajlar kullanılabilir. Özellikle ilk grup numunelerde başlıkları kolonlara ve kirişlere bağlayan ankrajların 1'er adet uygulanması panellerin ankraj bölgelerinden hasar almasını geciktireceği düşünülmektedir.
- Kolonların zayıf ancak kirişlerin güçlü olmasından dolayı rijitliği oldukça fazla olan panellerin hasar görmesi kolonlardan sonra olmaktadır. Kolon rijitliklerinin artırılması sonucu veya kolona yapılacak ilave güçlendirme ile deneysel çalışmaların yapılması önerilmektedir.
- Panellerin dolgu duvara ve betonarme çerçeveye yerleştirilmesinde akraj yerleşimi ve sayısı panel etkinliğinde ve işçilik azaltımı bakımından önemlidir. Farklı ankraj yerleşim şekilleri optimize edilmek suretiyle deneysel çalışmalar denenebilir.
- Deneysel çalışmalar deney boyutunun küçülmesine bağlı olarak oluşabilecek hata paylarını içeren 1/3 ölçek yerine tam anlamıyla gerçekçi 1/1 ölçekte yapılarak denenmesi tavsiye edilmektedir.
- Ekonomik olması bakımından ithal edilen epoksi yerine, yerli üretim olan Kalekim vb. marka fayans yapıştırıcısı ile deneyler yapılabilir **(Baran ve ark., 2014)**.

- Önüretimli panellerin daha hafif olması için hafif betondan üretilerek deneylerin yapılması tavsiye edilmektedir.
- Yapılan çalışmada güçlendirme yalnızca tuğla dolgu duvar üzerine uygulanmıştır. Tuğla malzemesi yerine bims, gaz beton gibi uygulamada çokça kullanılan malzemeler üzerinede önüretimli paneller uygulanarak güçlendirme deneyleri yapılabilir.
- Yapılan çalışmadaki amaçlardan birisi dolgu duvarın kaldırılıp zahmetli olan betonarme perde duvar yapmak yerine önüretimli paneller ile güçlendirmenin yeterli olabileceğinin gösterilmesi olduğundan 1/3 ölçekli betonarme çerçeve içine perde duvar inşaa edilerek önüretimli panel ile elde edilen sonuçlar karşılaştırılabilinir.
- Yapılan güçlendirme 3 boyutlu modellenmek suretiyle tekrar denenebilir. Ayrıca statik itme şeklinde değil de sarsma tablası üzerinde veya deprem ivme simülasyonu ile dinamik analiz uygulanabilir.
- Hafif ve orta şiddetteki deprem bölgeleri için en iyi sonucu veren X şeklindeki G-TP panelli güçlendirme, alternatif olarak değerlendirilebilir.
- Yapılan tüm güçlendirmeler dolgu duvarın tek yüzüne uygulanmıştır. Ancak her iki yüze de uygulanabilecek sandviç şeklinde güçlendirme ile deneysel çalışmalar yapılabilir. Ayrıca deneysel çalışma sonuçları daha fazla parametreyi bünyesinde bulunduran Opensees, Abaqus Ansys gibi yapı analiz programlarından da faydalanılarak daha etkili sonuçlara ulaşılabileceği düşünülmektedir.

KAYNAKLAR

Akın, A., 2011, Ön üretimli Beton Panellerle Güçlendirilmiş Dolgulu Betonarme Çerçevelerin Deprem Davranışının Deneysel ve Analitik Olarak İncelenmesi, Doktora Tezi, *Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Konya.

Alsancak, E., 2007, Dolgu Duvarlı Betonarme Çerçevelerin Hasır Çelikli Betonarme Plaklarla Güçlendirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, *Celal Bayar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Manisa.

Altin, S., Anil, O., Kara, M. E. ve Kaya, M., 2008, An experimental study on strengthening of masonry infilled RC frames using diagonal CFRP strips, *Composites Part B-Engineering*, 39 (4), 680-693.

Altın, S., 1990, Strengthening of R/C Frames with R/C Infills, Doktora Tezi, *Ortadoğu Teknik Üniversitesi*, Ankara.

Amrhein, J. E., Anderson, J. ve Robles, V., 1985, Mexico Earthquake- September1985, *The Masonry Society Journal*, 4 (2), G.12-17.

Angel, R., Abram, D. P., Shapiro, D., Uzarshki, J. ve Webster, M., 1994, Behavior of Reinforced Concrete Frames with Masonry Infills. University of Illinois at Urbana, Structural Research Series. 589.

Anil, O. ve Altin, S., 2007, An experimental study on reinforced concrete partially infilled frames, *Engineering Structures*, 29 (3), 449-460.

Anıl, Ö., 2002, Betonarme Çerçevelerin Boşluklu Betonarme Dolgu Duvarlar ile Güçlendirilmesi, Doktora Tezi, *Gazi Üniversitesi*, Ankara, Türkiye.

Anonim, 2017, http://www.deprem.gov.tr/tr/kategori/deprem-bolgeleri-haritasi-28841, [04.02.2017].

Arslan, M. H., 2007, Kolonları Çekme Kırılması Gösteren Sünek Olmayan Betonarme Çerçevelerin Dış Perde Duvar Uygulaması ile Güçlendirilmesi, Doktora Tezi, *Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Konya.

ATC-40, 1996, Seismic Evaluation and Retrofit of Concrete Buildings, Applied Technology Council, California.

Balık, F. S., 2012, Betonarme Dolgu Duvarla Güçlendirilmiş Deprem Davranışı Yetersiz Betonarme Çerçevelerin Davranışına Pencere Boşluklarının Etkisi, Doktora Tezi, *Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Konya.

Baran, M., 2005, Precast Concrete Panel Reinforced Infill Walls For Seismic Strengthening Of Reinforced Frame Structures, Doktora Tezi, *Orta Doğu Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara.

Baran, M., Canbay, E. ve Tankut, T., 2010, Beton Panellerle Güçlendirme-Kuramsal Yaklaşım, *İMO Teknik Dergi*, 324, 4959-4978.

Baran, M., 2011, Dolgu Duvarların Betonarme Çerçeveli Yapıların Davranışı Üzerindeki Etkilerinin İncelenmesi, *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, 27 (2), 275-284.

Baran, M., Aktaş, M. ve Aykaç, S., 2014, Sıvanmış Tuğla Dolgulu Duvarların Şerit Beton/Betonarme Panellerle Güçlendirilmesi, *Gazi Üniversitesi Müh. Mim. Fak. Dergisi*, 29 (1), 23-33.

Bayülke, N., 2003, *Betonarme Yapının Dolgu Duvarı,Türkiye Mühendislik Haberleri* 426, 85-98.

Binici, B., Ozcebe, G. ve Ozcelik, R., 2007, Analysis and design of FRP composites for seismic retrofit of infill walls in reinforced concrete frames, *Composites Part B-Engineering*, 38 (5-6), 575-583.

Buonopane, S. G. ve White, R. N., 1999, Pseudo dynamic testing of masonry ınfilled reinforced concrete frames, *ASCE, Journal of Structural Engineering*, 125 (6), 578-589.

Burtz, J. L., 2003, Behavior and design of grouted anchors loaded in tension including edge and group effects and qualification of engineered grout products, Master Thesis, *University of Florida*, Florida, USA.

Celep, Z., 2008, Betonarme Taşıyıcı Sistemlerde Doğrusal Olmayan Davranış ve Çözümleme, Damga Yayınevi, p.

Ceritli, S., 2006, Depremde Hasar Görmüş Yapıların Mantolama ve Perdelerle Güçlendirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, *Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Elazığ.

Demir, İ., Simsek, O. ve Yaprak, H., 2009, Ankraj Donatısı Turunun Ankraj Performansına Etkisi, *5. Uluslar Arası İleri Teknolojiler Sempozyumu, 13-15 Mayıs*, Karabük, Türkiye.

Demirkan, D., 2014, Betonarme Yapılarda Onarım ve Güçlendirme Yöntemleri, Yüksek Lisans Tezi, *Aksaray Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Aksaray.

Duvarcı, M., 2003, Seismic Strengthening Of Reinforced Concrete Frames With Precast Concrete Panels, Yüksek Lisans Tezi, *Orta Doğu Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*

Ankara.

Erdem, I., Akyuz, U., Ersoy, U. ve Ozcebe, G., 2006, An experimental study on two different strengthening techniques for RC frames, *Engineering Structures*, 28 (13), 1843-1851.

Ersoy, U., Ozcebe, G., Tankut, T., Turk, M. ve Sonuvar, O., 1998, Behavior of Reinforced Concrete Infilled Frames An Experimental Study, *Second Japan-Turkey Workshop on Earthquake Engineering*, Istanbul, Turkey., 292-308.

Faella, C., Martinelli, E. ve Nigro, E., 2004, Seismic assessment and retrofitting of R.C. existing buildings, *13th World Conference of Earthquake Engineering*, Canada.

FEMA-273, 1997, NEHRP Guidelines for the Seismic Rehabilitation of Buildings, Federal Emergency Management Agency, Washington.

FEMA-356, 2000, Prestandart and Commentary for the Seismic Rehabilitation of Buildings, Federal Emergency Management Agency. Washigton.

Frosch, R. J., Li, W., Jirsa, J. O. ve Kreger, M. E., 1996, Retrofit of Non-Ductile Moment-Resisting Frames Using Precast Infill Wall Panels, *Earthquake Spectra*.

Hamutcuoğlu, O. M., Karadoğan, F., S., P. ve C., G., 2004, The Nonlinear Behavior of Low Rise Reinforced Concrete Buildings with Common Structural Deficiencies, *Proceedings of ACE 2004 Advances in Civil Engineering 6th International Conference October 6-8*, İstanbul, 412-421.

Hendry, A., 1981, Structural Brickwork, Macmillan Education UK, p.

Ignatiev, N., 1998, Some Problems of Existing Buildings with New Structural Components, Repair and Strengthening of Existing Buildings, *Second Japan-Turkey Workshop on Earthquake Engineering*, Istanbul, Turkey, 11-42.

İlki, A. ve Kumbasar, N., 2000, Hysteretic Model For Reinforced Concrete Members, *Fourteenth Engineering Mechanics Conference, American Society Of Civil Engineers*, Austin, Texas, USA, May 21-24.

İlki, A., Demir, C., Karadeniz, A. ve Kumbasar, N., 2003, Hasarlı Betonarme Elemanların Çelik Köşebent ve Lamalar ile Güçlendirilmesi, *İTÜ DERGİSİ/d*, 2 (3), 3-16.

Kaltakcı, M. Y. ve Arslan, M. H., 2005, Taşıyıcı Olmayan Tuğla Dolgu Duvarların Yapı Davranış Katsayısına Olan Etkisinin İncelenmesi, *Deprem Sempozyumu, Mart*, Kocaeli, 598-605.

Kappos, A. J. ve Manafpour, A., 2001, Seismic Design of R/C Buildings with the Aid of Advanced Analytical Techniques, *Engineering Structures Journal*, 23 (4), 319-332.

Karslıoğlu, Ö., 2005, Çok Katlı Binalarda Bulunan Tuğla Dolgu Duvarların Yapı Davranışına Etkileri, Yüksek Lisans Tezi, *Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi*, Kahramanmaraş, 79.

Kato, D., Kabesayasawa, T., Otani, S. ve Aoyama, H., 1995, Earthquake resistant design of shear walls with one opening, *ACI Structural Journal*, 92 (4), 495-500.

Kaya, Y., 2007, Yapıların Güçlendirilmesi Uygulamalarında Kullanılabilecek Kısmi Bağlı Ankraj Detayı Ve Yüzey Temizliği Koşulları Altında Ankrajların Eksenel Çekme Davranışlarının İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul.

Korkmaz, A., 2006, Nonlinear pushover analysis for high rise R/C frame structures, *D.P.Ü Fen Bilimler Enstitüsü Dergisi*, 11, 87-99.

Lee, H. S. ve Woo, S. W., 2002, Seismic performance of a Three Story RC Frame in a Low-Seismicity Region, *Engineering Structures Journal*, 24 (6), 719-734.

Mosalam, K. M., White, R. N. ve Gergely, P., 1997, Static response of infilled frames using quasi-static experimentation, *Journal of Structural Engineering-Asce*, 123 (11), 1462-1469.

Mwafy, A. M. ve Elnashai, A. S., 2002, Calibration of Force Reduction Factor of RC Buildings, *Journal of Earthquake Engineering*, 6 (2), 239-273.

Nakano, Y., 1995, Recent Seismic Retrofit Techniques of Existing RC Buildings in Japan, *IIS University of Tokyo Report on the January 17,Kobe Earthquake, INCEDE Report 10(joint with ERS and KOBE.net)*, 233-247.

Özbalaban, G., 2002, Betonarme Bir Binanın Perdelerle Güçlendirilmesinde Karşılaşılan Zorluklar Ve Perde Yüksekliğinin İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi*, İstnbul, Türkiye.

Özbek, E. ve Can, H., 2012, Dolgu Tuğla Duvarların Çelik Profillerle Güçlendirilmesi, *Gazi Üniversitesi Müh. Mim. Fak. Dergisi*, 27 (4), 921-929.

Özdöner, N., 2011, Betonarme Binaların Deprem Güvenliğinin, Bina Dışından Uygulanan Betonarme Prefabrik Paneller İle Arttırılması, Doktora Tezi, *Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Konya, 200.

Öztürk, M., 2010, Deprem Dayanımı Yetersiz Betonarme Çerçevelerin Bağ Kirişli Dış Perde Duvar Uygulaması İle Güçlendirilmesi, Doktora Tezi, *Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Konya.

Öztürkoğlu, O., Uçar, T. ve Yeşilce, Y., 2015, Kısmi Boşuklu Dolgu Duvarların Betonarme Binaların Deprem Davranışına Etkisinin İncelenmesi, *International Burdur Earthquake & Environment Symposium (IBEES2015)*, Burdur, Turkey, 124-133.

Pakdamar, F., 2001, Performans Metodunun Mevcut Betonarme Binaların İncelenmesi için Kullanılması ve Uygulamaları, Yüksek Lisans Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul.

Paulay, T. ve Priestley, N., 1992, Seismic Design of Reinforced Concrete and Masonry buildings, John Wiley & Sons Inc., p.

Phan, L. T., Cheok, G. S. ve Todd, D. R., 1995, Strengthening Methodology for Lightly Reinforced Concrete Frames: Recommended Design Guidelines for Strengthening with Infill Walls, *Building and Fire Research Laboratory National Institute of Standards and Technology Gaithersburg,*, 1-55.

Polyakov, S. V., 1956, Masonry in Framed Buildings, *Moscow, Russia*, p.

SAP2000, v.17.3, SAP2000, version 7.40, . Berkeley, California, USA., CSI Company, .

Seyhan, E. C., 2006, Kimyasal Ankrajların Davranışlarının İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul.

Sezer, B., 2004, Seismic strengthening of existing RC frame buildings by steel panels, Yüksek Lisans Tezi, *Boğaziçi Üniversitesi*, İstanbul, 87.

Smith, B. S. ve Carter, C., 1969, A Method of Analysis For Infill Frames, In, Eds, *Proc Institution n.of Civil Engineers, London, England*, p.

Sonuvar, M. O., 2001, Hysteretic Response of Reinforced Concrete Frames Repaired by Means of Reinforced Concrete Infills, PhD Thesis, *Middle East Technical University*, Ankara.

Suak, Y., 2010, Deprem Yükleri Altında Betonarme Binalardaki Bölme Duvar Etkisinin Farklı Modellerle İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, *İstanbul Teknik Üniverstesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul.

Sugano, S., 1980, A seismic Strengthening of Existing Reinforced Concrete Buildings. Proceedings of the First Seminar on Repair and Retrofit of Structures, US/Japan Cooperative Earthquake Engineering Research Program. Department of Civil Engineering The University of Michigan Ann Arbor, Michigan 48109, National Technical İnformation service U.S. Department of Commerce Springfield, VA. 22161**:** 13-41.

Sümengen, U., 2009, Mevcut Yapılarda Kullanılan Güçlendirme Yöntemlerinin Hasar Olasılığına Etkisi, Yüksek Lisans Tezi, *Yıldız Teknik Üniversitesi*, İstanbul.

Süsoy, M., 2004, Seismic Strengthening Of Masonry Infilled Reinforced Concrete Frames With Precast Concrete Panels, Yüksek Lisans Tezi, *Orta Doğu Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara.

Şirin, C., 2006, Yapılarda Oluşan Hasar Biçimleri Ve Nedenleri Ve Yapıların Onarım Ve Güçlendirilmesi Teknikleri İle Bir Yapının Güçlendirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, *İstanbul Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul.

TDY-2007, 2007, DBYBHY-2007 (TDY-07), Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik. Bayındırlık ve İskan Bakanlığı, Mart Ankara.

Tekeli, H., Akyürek, O., Deniz, M., Hersat, E., Kara, N., Tosun, U. ve Kaya, F., 2014, Betonarme Çerçevede Dolgu Duvarların Hasır Çelik Donatılı Sıva İle Güçlendirilmesi *BEÜ Fen Bilimleri Dergisi*, 3 (2), 179-191.

Temür, F., 2007, Statik itme (pushover) yöntemi kulanılarak yapıların analizi, Yüksek Lisans, *Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Sakarya, 102.

Tezcan, S. S. ve İkizoğulları, S., 1998, Stresses along the Periphery of the Infilled Shear Walls in Retrofitted Frames, Repair and Strengthening of Existing Buildings, *Second Japan-Turkey Workshop on Earthquake Engineering*, Istanbul, Turkey., 199-209.

Triantafillou, T. C., 2001, Seismic Retrofitting of Structures with Fibre-Reinforced Polymers, *Structural Engineering Materials*, 3 (1), 57-65.

Ünal, A., 2012, TDY 2007'ye göre tasarlanmamış betonarme çerçevelerin düzlem dışı perde duvarla güçlendirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, *Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Konya.

Xhahysa, A. ve Yardım, Y., 2013, Analytical And Experimental Behavior Of A Anchorage Layout For Frp Confined Rectangular Columns, *2nd International Balkans Conference on Challenges of Civil Engineering, May 23-25*, Epoka University,Tirana, Albania, 712-719.

Yalçın, E., 1999, Dolgu Duvarların ve Konumlarının Çok katlı Betonarme Yapıların Deprem Kuvvetleri Altındaki Davranışlarına Etkileri, Yüksek Lisans Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul.

Yavuz, G., 2005, Kısmi Betonarme Perde Duvar İle Güçlendirilmiş Deprem Davranışı Zayıf Sünek Olmayan Betonarme Çerçevelerin Deprem Davranışı, Doktora Tezi, *Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Konya.

Youssef, M. A., 1999, Modeling of Existing and Rehabilitated Reinforced Concrete Buildings, PhD Thesis, *McMaster University*, Ontario, Canada.

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı : Ceyhun AKSOYLU
Uyruğu : T. C.
Doğum Yeri ve Tarihi : ANTALYA, 15.04.1988
Telefon : -
e-mail : ceyhunaksoylu@selcuk.edu.tr

EĞİTİM

Derece	Üniversite	Alanı	Yılı
Lisans	Selçuk Üniversitesi	İnşaat Mühendisliği	2007-2011
Lisans	Selçuk Üniversitesi	Çevre Mühendisliği (Çift Anadal)	2008-2012
Yüksek Lisans	Selçuk Üniversitesi	İnşaat Mühendisliği	2011-2014
Doktora	Selçuk Üniversitesi	İnşaat Mühendisliği	2014-2018

İŞ DENEYİMLERİ

Yıl	Kurum	Görevi
2011-2012	Mega Steel	Saha Mühendisi
2012-2014	KTO Karatay Üniversitesi Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü	Arş. Gör.
2014-2018	Selçuk Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü	Arş. Gör.

YABANCI DİLLER

İngilizce: İyi derece

1. YAYINLAR

1.1. Uluslararası hakemli dergilerde yayınlanan makaleler (SCI & SSCI & Arts and Humanities)

[1] C. Aksoylu, Ş. E. Mendi, A. Soylev, " *Ses Yalıtımında Ses Azaltım İndisi (R) Modellerinin Karşılaştırmalı Olarak İncelenmesi*" Journal Of The Faculty Of Engineering and Architecture of Gazi University, Volume 4, İssue 31, pp. 961-970, December 2016. DOI: 10.17341/gazimmfd.278451 (**SCI-Expanded).** ***(Yüksek Lisans Tezinden Yapılmıştır.)***

[2] C. Aksoylu, R. Sezer,"*Investıgatıon Of Precast New Dıagonal Concrete Panels In Strengthened The Infilled Reınforced Concrete Frames"* KSCE Journal Of CivilEngineering, May, 2017 DOI: https://doi.org/10.1007/s12205-017-1290-6 (**SCI-Expanded).*(Doktora Tezinden Yapılmıştır).***

1.2. Uluslararası diğer hakemli dergilerde yayınlanan makaleler

[1] R. Sezer, **C. Aksoylu**, N. Kara, "*Investigation Of Behavior Of Structures According To Different Local Site Classes For L Type Reinforced Concrete Frame Building Having A1 And A3 Irregularities",* The Online Journal of Science and Technology, Volume 6, Issue 1, January 2016.

[2] C. Aksoylu, O.Öztürk, M. H. Arslan, İ. H. Erkan**,** *" Investigation of Vertical Column Discontinuity in Reinforced Concrete Buildings",* International Journal of Scientific & Engineering Research, Volume 7, issue 6, pp. 474-481, June 2016.

[3] C. Aksoylu, R. Sezer, "*Analytical Investigation on Seismic Behavior of Infilled Reinforced Concrete Frames Strengthened with Precast Diagonal Concrete Panels"* World Academy of Science, Engineering and Technology International Journal of Civil and Environmental Engineering, Vol.3, No.1, January 2016. ***(Doktora Tezinden Yapılmıştır).***

1.3. Uluslararası bilimsel toplantılarda sunulan ve bildiri kitabında (Proceedings) basılan bildiriler

[1] C. Aksoylu, E. Mendi, M. H. Arslan, "*A Comparative Study on Computer Simulation of Sound Insulation in Buildings*", 11th International Congress on Advances in Civil Engineering (ACE 2014), Istanbul, Turkey, October 21-25, 2014. ***(Yüksek Lisans Tezinden Yapılmıştır.)***

[2] O. Ozturk, **C. Aksoylu**, M. H. Arslan, "*Çerçeve Türü Betonarme Binalardaki Taşıyıcı Sistemin Düşey Elemanlarının Süreksizliği Üzerine Bir İrdeleme*", International Burdur Earthquake & Environment Symposium (IBEES2015) Uluslararası Burdur Deprem ve Çevre Sempozyumu 7-9 May 2015, sayfa: 114-122 Mehmet Akif Ersoy University, Burdur-Türkiye.

[3] R. Sezer, **C. Aksoylu**, N. Kara, "*Investigation Of Behavior Of Structures According To Different Local Site Classes For L Type Reinforced Concrete Frame Building Having A1 And A3 Irregularities*" International Science and Technology Conference

(ISTEC 2015)", September 2-4, 2015, Proceeding Book ISSN:2146-7382, page: 287-300, ST. Petersburg, Russia.

[4] C. Aksoylu, R. Sezer, **"***Experımental Investıgatıon On Seısmıc Behavıor Of Infılled Reınforced Concrete Frames Strengthened Wıth Precast Dıagonal Concrete Panels"* 2nd International Conference on Science, Ecology and Technology (ICONSETE), October 14-16 2016, Proceeding Book 17ISBN: 978-605-9269-55-1 pp. 397-406, Barcelona, Spain. ***(Doktora Tezinden Yapılmıştır).***

[5] C. Aksoylu, R. Sezer, "*Analytical Investigation on Seismic Behavior of Infilled Reinforced Concrete Frames Strengthened with Precast Diagonal Concrete Panels"* ICCCE 2016:18th International Conference on Civil and Construction Engineering, January 26-27**, 2016**, Jeddah, Saudi Arabia***.(Doktora Tezinden Yapılmıştır).***

[6] C. Aksoylu, N. Kara, "*Investigation on Seismic Behavior of Infilled Reinforced Concrete Frames Strengthened with Using Different Type of Precast Concrete Panels"*, 2nd International Conference On Civil and Environmental Engineering(ICOCEE), May 8-10, 2017, Cappadocia, Nevşehir***.(Doktora Tezinden Yapılmıştır).***

[7] C. Aksoylu, M.H. Arslan, "*An Investigation about Reinforcement Criteria of High Ductility Shear Wall in Turkish Earthquake Codes*" 2nd International Conference On Civil and Environmental Engineering(ICOCEE), May 8-10, 2017, Cappadocia, Nevşehir.

[8] C. Aksoylu, R. Sezer, "*Önüretimli Çapraz Beton Panellerle Güçlendirilmiş* Betonarme *Dolgulu Çerçevelerin Deprem Davranışının Deneysel Olarak Araştırılması*" Ulusal Yapı Mekaniği Laboratuvarları Toplantısı (YMLT 2015), Kayseri Erciyes, Türkiye, 29-30 Mayıs 2015. ***(Doktora Tezinden Yapılmıştır).***

[9] C. Aksoylu, N.Kara, "*Experimental Investigation of Strengthened Infilled Wall Using Different Type of Precast Panel*", 1nd International Advanced Researches and Engineering Congress 16-18 Kasım 2017, Osmaniye, Türkiye. ***(Doktora Tezinden Yapılmıştır).***

[10] M.S. Sertkaya, M.H. Arslan**, C. Aksoylu,** "Kesme Donatılı Dikdörtgen Kesitli Betonarme Kirişlerin Kesme Kapasitelerinin Deneysel Veriler Kullanılarak Belirlenmesi", 1nd International Advanced Researches and Engineering Congress 16-18 Kasım 2017 Osmaniye, Türkiye.

2. Diğer Bilimsel Etkinlikler ve Deneyim

[1] Erasmus Öğretim Kadrosu Hareketliliği: Ventspils Üniversitesi, Ventspils, Latvia, Letonya Aralık 7-14, 2013.

[2] Tubitak-2238 Girişimcilik ve Yenilikçilik Yarışması Finalist (http://www.tubitak.gov.tr/sites/default/files/2238_2015_girisimcilik_finale_davet_edilenler.df) (http://www.tubitak.gov.tr/tr/yarismalar/innovasyon-yarismasi/icerik-final asamasina-gecen-projeler).

[3]Tubitak-2238 Girişimcilik ve Yenilikçilik Yarışması Finalist http://www.tubitak.gov.tr/sites/default/files/2238_2016_finale_katilmaya_hak_kazanan_projeler.pdf.