

**Betonarme Çerçeve Yapısal Sistemlerin Özel Geometrilili ve
Yüksek Dayanımlı Beton Bloklar ile Güçlendirilmesi**

Proje No: 107M633

Doç.Dr. Uğur POLAT
Doç.Dr. İsmail Özgür YAMAN

Haziran 2009
ANKARA

ÖNSÖZ

Dünyanın en aktif deprem kuşaklarından birisi üzerinde yer alan ülkemizin mevcut yapı stoku büyük ölçüde 4-5 katlı betonarme çerçeve yapısal sisteme sahip binalardan oluşmaktadır. İnşaat aşamasındaki yetersiz denetim ve kalifiye olmayan işçilik nedeni ile bu yapıların büyük bir çoğunluğunda deprem güvenliği mevcut yönetmeliklerde öngörülen düzeyin çok altında kalmakta ve bunun acı sonuçlarını her deprem sonrası olduğu gibi son olarak da 1999 Kocaeli ve Düzce depremlerinde yaşamış bulunmaktayız.

Durum böyle olunca yapısal sistemlerdeki yetersizlikler nedeni ile depremlerde beklenenin ötesinde hasar gören veya bu yetersizlikleri önceden saptanarak önlem alınması gereken binaların güçlendirilmesi için daha kolay ve pratik bir alternatif yaklaşım olarak düşünülüp önerilen betonarme çerçevelerin özel geometrili ve yüksek dayanımlı beton blok dolgu duvarlar ile güçlendirilmesi konulu bu araştırma TÜBİTAK tarafından sağlanan destek ile gerçekleştirilmiştir.

Çalışmada kullanılan betonarme çerçeve numunelerin imalatında gereksinim duyulan hazır beton karşılıksız olarak LİMAK-İSTAŞ A.Ş tarafından sağlanmıştır. İnşaat sektörünün adeta bir patlama yaşadığı ve orta hacimli siparişlerin dahi sektör tarafından karşılanamadığı bir dönemde her bir numunenin dökümünde yaklaşık 1m³ beton için bir mikser tahsis eden LİMAK-İSTAŞ A.Ş. ye katkıları için teşekkür ederiz.

İÇİNDEKİLER

ÖZET	vii
ABSTRACT	viii
1 GİRİŞ	1
2 MEVCUT ÇALIŞMALAR	3
3 DENEY NUMUNELERİ	8
3.1 BETONARME ÇERÇEVE BOYUTLARI VE DONATI DETAYLARI.....	8
3.2 BETONARME PANELLER	12
3.3 YÜKSEK DAYANIMLI BETON BLOKLAR.....	13
3.4 BETON MALZEME VE DERZ HARCİ	14
4 TEST DÜZENİĞİ VE YÖNTEM	19
4.1 YÜKLEME ÇERÇEVESİ	19
4.2 YÜKLEME VE VERİ TOPLAMA SİSTEMİ	21
4.3 TEST YÖNTEMİ	21
5 NUMUNELERİN TEST SONUÇLARI	23
5.1 S1 NUMUNESİ.....	23
5.2 S2 NUMUNESİ.....	28
5.3 S3 NUMUNESİ.....	33
5.4 S4 NUMUNESİ.....	38
5.5 S5 NUMUNESİ.....	43
5.6 S6 NUMUNESİ.....	49
6 DENEY SONUÇLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ	55
6.1 BETON DOLGU DUVAR DAVRANIŞI.....	55
6.2 ÇERÇEVE YANAL YÜK-DEPLASMAN ZARF EĞRİLERİ.....	56
6.3 ÇERÇEVE YANAL DAYANIMI.....	56
6.4 ÇERÇEVE YANAL RİJİTLİĞİ VE RİJİTLİK SÖNÜMLENMESİ.....	57
6.5 ÇERÇEVE ENERJİ SÖNÜMLEME KAPASİTESİ.....	59
7 SONUÇ VE ÖNERİLER	61
7.1 SONUÇ	61
7.2 ÖNERİLER	62
REFERANSLAR	64
PROJE ÖZET BİLGİ FORMU	66

ŞEKİLLER

ŞEKİL 3.1 YÜKLEME ÇERÇEVESİ GENEL GÖRÜNÜŞÜ VE TESTE HAZIR DENEY NUMUNESİ.....	8
ŞEKİL 3.2 DONATI KAFESİ YERLEŞTİRİLMİŞ VE DÖKÜME HAZIR BETONARME ÇERÇEVE KALIBI	9
ŞEKİL 3.3 BETONARME ÇERÇEVE GEOMETRİSİ (BOYUTLAR MM OLARAK VERİLMİŞTİR)	9
ŞEKİL 3.4 ÇERÇEVE DONATISI GENEL GÖRÜNÜŞÜ (BOYUTLAR MM OLARAK VERİLMİŞTİR)	10
ŞEKİL 3.5 KOLON DONATI DETAYLARI (BOYUTLAR MM OLARAK VERİLMİŞTİR)	10
ŞEKİL 3.6 KAT KİRİŞLERİ DONATI DETAYLARI (BOYUTLAR MM OLARAK VERİLMİŞTİR)	11
ŞEKİL 3.7 TEMEL KİRİŞİ DONATI DETAYLARI (BOYUTLAR MM OLARAK VERİLMİŞTİR)	11
ŞEKİL 3.8 DOLGU PERDE DUVAR DONATI DETAYLARI (BOYUTLAR CM OLARK VERİLMİŞTİR)	12
ŞEKİL 3.9 BETONARME DOLGU PANELLİ DENEY NUMUNESİ İÇİN ANKRAJ EKİMİ VE DONATILAR.....	13
ŞEKİL 3.10 BETON BLOK TIPLERİ VE BOYUTLARI (BOYUTLAR CM OLARAK VERİLMİŞTİR)	13
ŞEKİL 3.11 DİKDÖRTGEN KESİTLİ BETON BLOK DOLGU DUVARLI DENEY NUMUNESİ.....	14
ŞEKİL 3.12 DALGA YÜZEYLİ BETON BLOK DOLGU DUVARLI DENEY NUMUNESİ.....	14
ŞEKİL 3.13 CONCREŞİVE 1406 DERZLİ DUVAR KESME DENEYLERİ.....	16
ŞEKİL 3.14 CONCREŞİVE 1406 DERZLİ DUVARIN KESME YÜKÜ ALTINDAKİ DAVRANIŞI.	17
ŞEKİL 4.1 KENDİ İÇİNDE DENGELİ ÇELİK YÜKLEME ÇERÇEVESİ VE HİDROLİK YÜKLEME SİSTEMİ.....	19
ŞEKİL 4.2 YÜKLEME ÇERÇEVESİ İÇİNDE DENEY NUMUNESİNİN KONUMU VE MESNETLENMESİ.....	20
ŞEKİL 4.3 DENEY NUMUNELERİNİN YÜKLENMESİ VE KATLAR ARASI YÜK PAYLAŞIMI.	20
ŞEKİL 4.5 YÜK HÜCRELERİ VE DEPLASMAN SENSÖRLERİNİN NUMUNELER ÜZERİNDEKİ KONUMU	22
ŞEKİL 5.1 DENEY NUMUNESİ YAPISAL ALT SİSTEMLERİ VE GERÇEK ÇERÇEVE KARŞILIKLARI	23
ŞEKİL 5.3 S1 NUMUNESİ İÇİN KAT.1 SEVİYESİ YÜK-ÖTELENME DEĞİŞİMİ.....	24
ŞEKİL 5.4 S1 NUMUNESİ İÇİN KAT.2 SEVİYESİ YÜK-ÖTELENME DEĞİŞİMİ.....	24
ŞEKİL 5.5 S1 NUMUNESİ İÇİN KAT.1 SEVİYESİ YÜK-GÖRELİ ÖTELENME ORANI DEĞİŞİMİ.....	25
ŞEKİL 5.6 S1 NUMUNESİ İÇİN KAT.2 SEVİYESİ YÜK-GÖRELİ ÖTELENME ORANI DEĞİŞİMİ.....	25
ŞEKİL 5.7 S1 NUMUNESİ KOLON-TEMEL KİRİŞİ BİRLEŞİMİNDE AÇILMA.	26
ŞEKİL 5.8 S1 NUMUNESİ KAT.1 KİRİŞ-KOLON BİRLEŞİMLERİNİN KOLON YÜZLERİNDE AÇILMA.	26
ŞEKİL 5.9 KAT.1 KİRİŞLERİNDE EĞİLME ÇATLAKLARI, KAT.2 KOLON-KİRİŞ BİRLEŞİMLERİNDE AÇILMA.....	27
ŞEKİL 5.10 S1 NUMUNESİ KAT.1 KOLON-KİRİŞ BİRLEŞİM ÇATLAKLARI	27
ŞEKİL 5.11 KAT.2 KOLON-KİRİŞ BİRLEŞİM BÖLGELERİNDE İLERİ BOYUTLARA ULAŞAN AÇILMALAR.	27
ŞEKİL 5.12 S1 NUMUNESİNİN DENEY SONRASI GURUMU.	28
ŞEKİL 5.14 S2 NUMUNESİ İÇİN KAT.1 SEVİYESİ YÜK-ÖTELENME DEĞİŞİMİ.....	29
ŞEKİL 5.15 S2 NUMUNESİ İÇİN KAT.2 SEVİYESİ YÜK-ÖTELENME DEĞİŞİMİ.....	29
ŞEKİL 5.16 S2 NUMUNESİ İÇİN KAT.1 SEVİYESİ YÜK-GÖRELİ ÖTELENME ORANI DEĞİŞİMİ.....	30
ŞEKİL 5.17 S2 NUMUNESİ İÇİN KAT.2 SEVİYESİ YÜK-GÖRELİ ÖTELENME ORANI DEĞİŞİMİ.....	30
ŞEKİL 5.18 KAT.1 BETONARME DOLGU DUVARLARDA OLUŞAN DİYAGONAL ÇATLAKLAR	31
ŞEKİL 5.19 SOL ÇERÇEVE KAT.1 KOLON-KİRİŞ BİRLEŞİM BÖLGESİNDE OLUŞAN KESME ÇATLAĞI.....	32
ŞEKİL 5.20 SOL ÇERÇEVE KOLONUNDA KAT.1 SEVİYESİNDE OLUŞAN KESME ÇATLAĞI SON HALİ.....	32
ŞEKİL 5.22 S3 NUMUNESİ İÇİN KAT.1 SEVİYESİ YÜK-ÖTELENME DEĞİŞİMİ.....	33
ŞEKİL 5.23 S3 NUMUNESİ İÇİN KAT.2 SEVİYESİ YÜK-ÖTELENME DEĞİŞİMİ.....	34
ŞEKİL 5.24 S3 NUMUNESİ İÇİN KAT.1 SEVİYESİ YÜK-GÖRELİ ÖTELENME ORANI DEĞİŞİMİ.....	34
ŞEKİL 5.25 S3 NUMUNESİ İÇİN KAT.2 SEVİYESİ YÜK-GÖRELİ ÖTELENME ORANI DEĞİŞİMİ.....	35
ŞEKİL 5.26 KAT.1 DOLGU DUVARLARINDA İLK KILCAL ÇATLAKLAR.....	35
ŞEKİL 5.27 KAT.1 DOLGU DUVARLARINDA BELİRGİNLEŞEN DİYAGONAL ÇATLAKLAR.....	36
ŞEKİL 5.28 KAT.2 DOLGU DUVARLARINDA OLUŞAN VE HIZLA GELİŞEN DİYAGONAL ÇATLAKLAR.....	36
ŞEKİL 5.29 KAT.2 DOLGU DUVARLARINDA OLUŞAN VE HIZLA GELİŞEN DİYAGONAL ÇATLAKLAR.....	37
ŞEKİL 5.31 S4 NUMUNESİ İÇİN KAT.1 SEVİYESİ YÜK-ÖTELENME DEĞİŞİMİ.....	38
ŞEKİL 5.32 S4 NUMUNESİ İÇİN KAT.2 SEVİYESİ YÜK-ÖTELENME DEĞİŞİMİ.....	39
ŞEKİL 5.33 S4 NUMUNESİ KAT.1 SEVİYESİ YÜK-GÖRELİ ÖTELENME ORANI DEĞİŞİMİ.....	39
ŞEKİL 5.34 S4 NUMUNESİ KAT.2 SEVİYESİ YÜK-GÖRELİ ÖTELENME ORANI DEĞİŞİMİ.....	40
ŞEKİL 5.35 S4 NUMUNESİ KOLON TEMEL SEVİYESİNDE OLUŞAN EĞİLME ÇATLAKLARI	41
ŞEKİL 5.36 S4 NUMUNESİ KAT.1 DOLGU DUVAR ANA DİYAGONAL ÇATLAKLARI.	41
ŞEKİL 5.37 S4 NUMUNESİ KAT.2 DOLGU DUVAR ANA DİYAGONAL ÇATLAĞI	42
ŞEKİL 5.38 S4 NUMUNESİ SON DURUMU	42
ŞEKİL 5.40 S5 NUMUNESİ İÇİN KAT.1 SEVİYESİ YÜK-ÖTELENME DEĞİŞİMİ.....	43
ŞEKİL 5.41 S5 NUMUNESİ İÇİN KAT.2 SEVİYESİ YÜK-ÖTELENME DEĞİŞİMİ.....	44
ŞEKİL 5.42 S5 NUMUNESİ KAT.1 SEVİYESİ YÜK-GÖRELİ ÖTELENME ORANI DEĞİŞİMİ.....	44

ŞEKİL 5.43 S5 NUMUNESİ KAT.2 SEVİYESİ YÜK-GÖRELİ ÖTELENME ORANI DEĞİŞİMİ	45
ŞEKİL 5.44 S5 NUMUNESİ KAT.1 TEMEL SEVİYESİNDE KOLON EĞİLME ÇATLAKLARI	45
ŞEKİL 5.45 S5 NUMUNESİ SAĞ ÇERÇEVE KAT.2 DOLGU DUVAR ÇATLAĞI	46
ŞEKİL 5.46 S5 NUMUNESİ SOL ÇERÇEVE KAT.2 DOLGU DUVAR ÇATLAĞI	47
ŞEKİL 5.47 S5 NUMUNESİ SOL ÇERÇEVE KAT.2 KOKON-KİRİŞ BİRLEŞİMİ ÇATLAĞI	47
ŞEKİL 5.48 S5 NUMUNESİ SOL ÇERÇEVE KAT.2 KOLON-KİRİŞ BİRLEŞİMİ KESME ÇATLAĞI	48
ŞEKİL 5.49 S5 NUMUNESİ SOL ÇERÇEVE KAT.2 KOKON-KİRİŞ BİRLEŞİMİ HASARI	48
ŞEKİL 5.50 S5 DENEY NUMUNESİNİN SON HALİ	49
ŞEKİL 5.52 S6 NUMUNESİ İÇİN KAT.1 SEVİYESİ YÜK-ÖTELENME DEĞİŞİMİ	50
ŞEKİL 5.53 S6 NUMUNESİ İÇİN KAT.2 SEVİYESİ YÜK-ÖTELENME DEĞİŞİMİ	50
ŞEKİL 5.54 S6 NUMUNESİ KAT.1 SEVİYESİ YÜK-GÖRELİ ÖTELENME ORANI DEĞİŞİMİ	51
ŞEKİL 5.55 S6 NUMUNESİ KAT.2 SEVİYESİ YÜK-GÖRELİ ÖTELENME ORANI DEĞİŞİMİ	51
ŞEKİL 5.56 S6 NUMUNESİNİN KAT.1 DOLGU DUVARLARINDA OLUŞAN ÇATLAKLAR	52
ŞEKİL 5.57 S6 NUMUNESİ SAĞ ÇERÇEVE KAT.2 DOLGU DUVARINDA OLUŞAN İLK ÇATLAK	53
ŞEKİL 5.58 S6 NUMUNESİ SOL ÇERÇEVESİNDE OLUŞAN DOLGU DUVAR VE BİRLEŞİM HASARI	53
ŞEKİL 5.59 S6 NUMUNESİ SOL ÇERÇEVESİNDE OLUŞAN DOLGU DUVAR VE BİRLEŞİM HASARI	54
ŞEKİL 5.60 S6 NUMUNESİNİN DENEY SONRASI GÖRÜNÜŞÜ	54
ŞEKİL 6.1 NUMUNELER İÇİN YANAL YÜK-ÖTELENME ZARF EĞRİLERİ	56
ŞEKİL 6.2 NUMUNELER İÇİN RİJİTLİK SÖNÜMLENME EĞRİLERİ	59
ŞEKİL 6.3 NUMUNELER TARAFINDAN SÖNÜMLENEN TOPLAM ENERJİ MİKTARI	60

TABLÖLAR

TABLO 3.1 BETONARME DENEY ÇERÇEVELERİNİN DONATI DETAYI	12
TABLO 3.2 BETONARME ÇERÇEVE BETON BASINÇ DAYANIMLARI.....	15
TABLO 3.3 BETON BLOKLAR İÇİN KARİŞİM ORANLARI (1 M3 BETON İÇİN)	15
TABLO 3.4 BETON BLOK BASINÇ DAYANIMI.....	15
TABLO 3.5 CONCREŞİVE 1406 ÖZELLİKLERİ.....	17
TABLO 3.6 DENEY NUMUNELERİ VE ÖZELLİKLERİ	18
TABLO 6.1 DENEY NUMUNELERİNİN YANAL YÜK TAŞIMA KAPASİTELERİ.....	57
TABLO 6.2 DENEY NUMUNELERİNİN BAŞLANGIÇ YANAL RÜJTLİKLERİ	58
TABLO 6.3 NUMUNELER TARAFINDAN SÖNÜMLENEN TOPLAM ENERJİ.....	60

ÖZET

Literatürde betonarme çerçeve sistemlerin yatay dayanım kapasitesini artırmak üzere önerilen değişik yöntemler mevcuttur. Uygulamada en yaygın olarak kullanılan yaklaşımın çerçeve sistemdeki bazı açıklıkların yerinde döküm betonarme paneller ile doldurulması olduğu görülmektedir. Ancak ilk bakışta ekonomik gibi görünen bu yöntem imalat aşamasında oldukça tahripkar, kirli ve yavaş olup özel işçilik ve ekipman gerektirmektedir. Ayrıca imalat süresince tüm yapının geçici de olsa kullanım dışı kalmasına yol açmaktadır. Bu nedenlerle sadece betonarme panellerin imalatı olarak düşünüldüğünde oldukça ekonomik gibi görünen bu yöntemin tüm giderler düşünüldüğünde son maliyet olarak çok da ekonomik olmadığı gerçek uygulamalarda açıkça görülmektedir.

Öte yandan dolgu duvarların çerçeve taşıyıcı sisteme sahip yapılarda yatay yük taşıma ve enerji sönmüleme kapasitesine katkısı bilinmekte ve sonuçları itibarı ile tüm çağdaş deprem yönetmeliklerinde göz önüne alınmaktadır. Çerçeve sistem açıklıklarının yerinde döküm betonarme paneller ile doldurulması şeklindeki yaygın güçlendirme yaklaşımı ise bu açıdan uç bir dolgu duvar uygulaması olarak görülebilir.

Bir pilot çalışma olarak tasarlanıp gerçekleştirilen bu çalışmada betonarme çerçeve sistemlerin yerinde döküm betonarme paneller yerine daha basit ve pratik bir yaklaşım olarak özel geometrili ve yüksek dayanımlı beton bloklarla oluşturulan dolgu duvarlar kullanılarak güçlendirilmesi potansiyeli deneysel olarak araştırılmıştır.

Anahtar kelimeler: Betonarme Çerçeve, Güçlendirme, Özel Geometrili Beton Blok, Yüksek Dayanımlı Beton Blok

ABSTRACT

Various techniques and procedures are suggested by researchers in the literature for increasing the seismic capacity of R/C frame structures. One approach also used very widely in Turkey is to fill some of the frame bays by cast-in-place R/C panels. The procedure appears to be very practical at first glance. It also appears to be very economical as far as the production of the panels is concerned. However, the production phase is slow, dirty, destructive and disruptive to occupants. Moreover, it requires relatively skilled personnel and special equipment. Therefore, the real life experience shows that the actual cost in practice is much higher when all other hidden costs are taken into account.

On the other hand, the contribution to lateral load bearing and energy dissipation capacity of the infill walls in frame structures is well-known and recognized in all modern seismic codes. The procedure of filling some of the frame bays by cast-in-place R/C panels can be regarded as an ultimate form of constructing infill walls.

In this pilot study the potential of using infill walls made of custom shaped and high strength concrete blocks as a simpler and more practical alternative to cast-in-place R/C panels to increase the lateral load bearing capacity of reinforced concrete frame structures is investigated.

Keywords:R/C Frame, Strengthening, Masonry Block, High Strength Concrete Block
Custom Shaped Concrete Block

1 GİRİŞ

Betonarme çerçevesel yapısal sistemlerde tasarım veya imalat hatalarından kaynaklanan yanal dayanım yetersizliklerini gidermek, özellikle depremler sonrası sıkça karşılaşılan bir sorun olup bu amaçla literatürde önerilen ve uygulamada da sıkça kullanılan birçok yöntem mevcuttur (PHAN ve diğer, 1993). Genel olarak seçilen bazı çerçeve açıklıklarının ilave taşıyıcı elemanlarla doldurularak güçlendirilmesi şeklinde özetlenebilecek en yaygın yaklaşımda, açıklıklar çelik çaprazlar kullanılarak (GOEL ve LEE, 1990 ; MAHERI ve SAHEBI, 1997) veya daha yaygın olarak kullanılan ve etkinliği de literatürde kabul görmüş olan yerinde döküm betonarme paneller ile doldurulmaktadır (ALTIN, 1990 ; ALTIN ve diğer, 1990). Ancak görünürde ekonomik olmasına karşın bu yöntemin uygulamada oldukça pahalı ve halen kullanımda olan yapılarda uygulamayı son derecede zorlaştırdığı görüldüğünden, literatürde birçok araştırmacının alternatif yöntemlere yöneldiği gözlenmektedir. Bu bağlamda açıklıkların özel ve teknolojik malzemeler kullanılarak imal edilmiş paneller ile oluşturulması (KAHN ve HANSON, 1979 ; YÜZÜGÜLLÜ, 1979 ; SUGANO ve FUJIMURA, 1980 ; FROSH ve diğer, 1996) veya mevcut dolgu duvarların polimer elyaf malzeme ile güçlendirilmesi (ÖZCEBE ve diğer, 2003) gibi yaklaşımlar önerilmektedir. Güçlendirme işleminin başarısı ilk yaklaşımda gerekli olan özel malzemenin üretimi ve uygulama güçlükleri ile, ikinci yaklaşımda ise mevcut dolgu duvarı oluşturan malzemenin düşük dayanımı ile sınırlanmaktadır.

Bir ön araştırma olarak planlanan bu çalışmada betonarme çerçeve sistemlerin yanal yük taşıma kapasitelerini artırmak üzere yaygın olarak kullanılan yerinde döküm betonarme panel uygulaması yerine özel geometri ve yüksek dayanımlı beton bloklarla oluşturulan dolgu duvar uygulamasının çerçevenin yanal yük taşıma kapasitesi ile enerji sönmüleme kapasitesine görece katkısının ve etkinliğinin belirlenmesi hedeflenmektedir. Bu nedenle çalışma ağırlıklı olarak deneysel bir çalışma olarak planlanmış ancak paralel bir analitik çalışmanın da yürütülmesi düşünülmüştür.

Daha önce tuğla duvar dolgu betonarme çerçeve sistemlerde dolgu duvarların kompozit elyaf malzeme kullanılarak güçlendirilmesi ve dolayısı ile çerçeve sistemin yanal yük taşıma kapasitesinin artırılması konusunda yürütülen bir araştırma kapsamında yapılan deneylerde, hasarın genellikle derzlerde başladığı ve sonuçta tuğla blok dayanımının son derece belirleyici olduğu görülmüştür. Bu noktadan hareketle deneylerde kullanılan çerçevelerden birinin tuğla duvarları sökülüp yol ve saha döşemesinde kullanılan ve kilittaş olarak tanımlanan beton bloklar ile yeniden oluşturulmuş ve aynı deney tekrarlandığında hasarın beton bloklarda oluşmaya zorlandığı ve yanal dayanım kapasitesine tuğla duvara göre çok daha ciddi bir katkı sağladığı görülmüştür. Bu gözlemler önerilen ve gerçekleştirilen bu ön projeye temel teşkil etmiştir. Bu nedenle bir pilot çalışma olarak planlanan bu projede sadece beton blokların dayanımı ve geometrisi iki öncelikli temel parametre olarak seçilmiştir.

Çalışmada toplam 6 adet betonarme çerçevenin üretilip test edilmesi planlanmıştır. Bunlardan biri boş olarak, bir diğeri de çok yaygın olarak kullanılan ve başarısı kabul edilmiş bulunan güçlendirme yöntemini temsil etmek üzere çerçeve boşlukları yerinde döküm betonarme dolgu panellerle doldurularak test edilmiştir. Bu iki deney önerilen güçlendirme yönteminin etkinliğini ölçmekte kullanılacak alt ve üst sınırları

belirleyecek referans deneyleri olarak planlanmıştır. Diğer dört numunede ise betonarme deney çerçevesi açıklıklarında iki değişik geometride (dikdörtgen ve dalga yüzeyli) ve iki değişik dayanımda (40MPa ve 70MPa basınç dayanımı) beton bloklar kullanılarak oluşturulan dolgu duvarlarla güçlendirilmiştir.

Mevcut betonarme yapıların yetersiz çerçevelerinden birini temsil eden boş çerçeve deney numuneleri hazırlanırken uygulamada sıkça karşılaşılan tipik imalat ve tasarım hatalarını yansıtmak üzere kolonlarda minimum donatı, kiriş-kolon birleşimlerinde yetersiz kenetlenme ve yetersiz sargılama donatısı kullanılmıştır.

Hazırlanan deney numuneleri ODTÜ İnşaat Mühendisliği Bölümü Yapı Malzemeleri Laboratuvarı ortamında tersinir tekrarlı yükleme rejimi altında test edilerek önerilen yaklaşım yanal dayanım kapasitesi, yanal rijitlik, tersinir yükleme altındaki rijitlik sönümlenmesi ve enerji sönümlenme yeteneği gibi temel parametreler açısından boş çerçeve ve yerinde döküm betonarme dolgu duvarlar ile güçlendirilmiş çerçeveye göre davranışı incelenmiştir.

2 MEVCUT ÇALIŞMALAR

Betonarme çerçeve sistemlerin deprem yüklerine güvenle karşı karşı koyabilmeleri için yanal yük kapasitelerinin artırılması ve bu amaçla güçlendirilmeleri özellikle yüksek deprem riski altında yaşayan ülke araştırmacıları arasında her zaman çekici bir konu olmuş olup bu konuda yoğun araştırmalar yapılmış ve halen yapılmaktadır. Bu çalışmalardan önemli olan bazıları aşağıda özetlenmektedir.

(ERSOY ve UZSOY ,1971) tek açıklıklı ve tek katlı betonarme çerçevelerin yerinde döküm betonarme dolgu duvarlar ile güçlendirilmesini monotonik yükleme altında deneysel olarak incelemişlerdir. Bu çalışmada araştırmacılar tarafından incelenmek üzere seçilen temel parametreler aşağıdaki gibidir.

- Çerçeve açıklığı ile kat yüksekliği arasındaki oran
- Dolgu panel kalınlığı
- Mevcut ölü yük etkisi
- Dolgu panel ile çerçeve arasındaki ankraj dayanımı
- Çerçeveyi oluşturan kirişler ile kolonlar arasındaki rijitlik oranı

Çalışmalar neticesinde araştırmacıların ulaştığı sonuçlar özetle

- Güçlendirilmiş çerçevelerin yanal yük taşıma kapasitesi yaklaşık %700 artabilmekte ve göçme yükü seviyesindeki yanal deplasman %65 mertebesinde azalmaktadır.
- Dolgu perde ile çerçeve arasındaki aderans güçlendirilmiş çerçevenin yanal yük taşıma kapasitesini ve rijitliğini ciddi mertebede etkilememektedir.
- Güçlendirilmiş çerçevelerin başlangıç elastik yanal rijitliği %500 artmaktadır

şeklindedir.

(GOVINDAN ve diğer, 1986) açıklıkları tuğla dolgu duvarlar ile güçlendirilmiş 7 katlı betonarme çerçevelerin yanal yük altındaki davranışını boş çerçeve davranışı ile karşılaştırmak üzere deneysel olarak incelemişler ve tuğla duvar dolgulu çerçevelerin göçme davranışını değerlendirmişlerdir. Bu çalışma sonucundaki değerlendirmeleri özetle şöyledir.

- Tuğla dolgu duvarlı çerçevelerin yanal yük taşıma kapasiteleri boş çerçevelerin iki katına ulaşmaktadır.
- Tuğla dolgu duvarlı çerçevelerin başlangıç elastik yanal rijitlikleri boş çerçevelerin beş katına kadar çıkmaktadır.
- Betonarme boş çerçevelerin toplam düktilitesi tuğla dolgu duvarlarla güçlendirilmiş çerçevelere göre yaklaşık 3.29 kat daha fazladır.
- Tuğla dolgu duvarlı çerçevelerin toplam enerji sönmeme kapasitesi boş çerçevelere göre yaklaşık %50 daha fazladır.
- Göçme yükü seviyesinde tuğla dolgu duvarlarda çevresindekiler için tehlike oluşturacak mertebede aşırı hasar oluşmaktadır.

(ERDEM ve diğeri, 2006) tarafından yapılan deneysel bir çalışmada Türkiye'deki betonarme yapılarda yaygın olarak gözlenen tasarım ve imalat hatalarını içeren çerçeve sistemlerin yanal yüklerle karşı güçlendirmesi için önerilen iki değişik yöntemin etkinliği karşılaştırılmıştır. Bu amaçla 1/3 ölçekli, 2 kat ve 3 açıklıklı iki adet betonarme çerçeve uygulamada gözlenen yaygın imalat hatalarını yansıtacak şekilde imal edilmiş, bunlardan birinde çerçeve boşlukları yerinde döküm betonarme perde duvarlarla doldurulmuş, diğerinde ise boşluklu tuğla duvarlarla doldurularak yüzeylerine dışarıdan uygulanan karbon elyaf polimer örtü (CFRP) şeritleri ile kaplanarak güçlendirilmiştir. Deney numuneleri daha sonra tersinir statik yükleme altında teste tabi tutulmuştur.

Çalışma sonucunda araştırmacıların gözlemleri

- Her iki yöntemle güçlendirilen numunenin de gerek yanal yük taşıma kapasitesinde, gerekse de yanal rijitliğinde önemli artış olduğu, yanal yük taşıma kapasitesindeki artışın yaklaşık 5 kat, rijitlik artışının ise yaklaşık 10 kat olduğu,
- Betonarme perde duvarlı sistemin başlangıç elastik rijitlik artışının CFRP şerit örtülü boşluklu tuğla duvar sistemine göre daha yüksek olduğu,
- CFRP şerit örtülü boşluklu tuğla duvar sisteminin yanal yük taşıma kapasitesinin kullanılan ankrajların miktar ve etkinliğine bağlı olduğu,
- Yanal yük taşıma kapasitesi açısından her iki yöntem de yaklaşık benzer sonuçlar vermekle birlikte CFRP şerit örtülü boşluklu tuğla duvar sisteminde göçme yükü seviyesinde gözlenen dayanım kaybının çok daha yüksek olduğu

şeklindedir.

(SÜSOY, 2004) betonarme çerçevelerin açıklıklarındaki mevcut boşluklu tuğla dolgu duvarların yüzeylerine dışarıdan yapıştırılan yüksek dayanımlı beton paneller ile duvar taşıma kapasitesini artırılması ve sistemin bu yöntemle güçlendirilmesi şeklindeki bir yaklaşımı deneysel olarak araştırmıştır. Çalışmada 1/3 ölçekli tek kat ve tek açıklıklı betonarme deney çerçeveleri kullanılmış ve çerçeveler uygulamada sıkça karşılaşılan hataları yansıtacak şekilde imal edilmiştir.

Çalışmada aşağıdaki temel parametreler incelenmiştir.

- Panel geometrisi
- Paneller arası bağlantı
- Panellerin çerçeveye ankrajı
- Eksenel yük etkisi

Deney numuneleri çerçeve üstündeki ölü yük etkisini yansıtmak üzere sabit bir eksenel basınç önyüklemesi altında ve statik tersinir yanal yük uygulayarak denenmiş olup çalışma sonucunda

- Önerilen yöntemin oldukça etkin olduğu
- Sadece boşluklu tuğla duvar dolgulu referans çerçevesine göre ortalama yanal dayanım artışının 2.5 kat, başlangıç elastik rijitlik artışının ise yaklaşık 3.3 kat olduğu
- Deney numunelerindeki göçmenin beton panellerde oluşan aşırı çatlaklar sonrasında betonarme çerçevenin birleşim bölgelerinde oluşan açılma ve ezilme şeklinde gerçekleştiği

- Beton paneller arasındaki kaynaklı veya kayma kamalı bağlantının pek etkili olmadığı
- Panellerin epoksi ile duvar yüzeyine yapıştırılmasının yöntemin etkinliğini artırdığı

saptanmıştır.

Betonarme çerçevelerin açıklıklarındaki mevcut boşluklu tuğla dolgu duvarların yüzeylerine yüksek dayanımlı ve önüretimli beton paneller yapıştırmak sureti ile güçlendirilmesi şeklindeki yöntemi (BARAN, 2005) daha kapsamlı olarak incelemiştir. Bu çalışmada iki adedi güçlendirilmemiş referans numunesi olmak üzere toplam 14 adet tek açıklıklı ve iki katlı deney numunesi teste tabi tutulmuştur. Betonarme deney çerçeveleri uygulamada yaygın olarak gözlenen yetersiz sargı donatısı, düşük beton dayanımı ve yetersiz donatı bindirme boyu gibi imalat hatalarını yansıtacak şekilde üretilmiştir.

Çalışmada incelenen temel parametreler

- Beton panel geometrisi
- Paneller arası bağlantı (kayma kamaları, kaynak)
- Panellerin çerçeveye ankrajı
- Panellerin çerçeve içinden veya dışarıdan uygulanması
- Panellerin dışarıdan uygulanması durumunda ankraj adedi ve aralığı

Çalışmalar sonucunda

- Güçlendirilmiş çerçevelerin sadece boşluklu tuğla dolgu duvarlı referans çerçevesine göre yanal yük taşıma kapasitesindeki artışın 2.24 ile 2.77 kat arasında olduğu
- Başlangıç elastik yanal rijitlik artışının referans çerçevesine göre 1.72 ile 3.07 kat arasında değiştiği
- Enerji sönmleme kapasitesindeki artışın 1.44 ile 3.86 kat arasında değiştiği
- Paneller arasındaki kayma kamaları ve kaynaklı birleşimlerin pek etkin olmadığı
- Kolon aksenal yük düzeyi çok düşük olmadıkça boyuna donatıdaki yetersiz bindirme boyundan kaynaklanan aderans probleminin kritik olmadığı

saptanmıştır.

(KESNER ve BILLINGTON, 2005) daha çok çelik çerçeve sistemlerin yanal yüklere karşı güçlendirilmesinde pekleşme özelliğine sahip polimer fiberlerle güçlendirilmiş yüksek çekme kapasiteli ve düktil kompozit beton (ECC) ile imal edilen panellerin kullanımını önermektedir. Bu amaçla önüretimli bu panellerin tersinir yük altındaki davranışı deneysel ve analitik olarak incelenmiştir. Çalışma sonucunda özel malzemenin yüksek çekme dayanımı ve düktilitesinden kaynaklanan dayanım ve enerji sönmleme kapasitesi yanında çelik bir plaka gibi bulonlu birleşime de olanak sağlaması sayesinde çerçeve sistemlerin güçlendirilmesinde çok uygun bir dolgu sistemi olarak kullanılabilceği gösterilmektedir.

(KARA, 2006) betonarme çerçevelerin açıklıklarında oluşturulan kısmi betonarme dolgu duvarlar ile güçlendirilmesi şeklindeki bir yaklaşımı deneysel olarak

araştırmıştır. Çalışmada 1/3 ölçekli iki kat ve tek açıklıklı 9 adet deney çerçevesi kullanılmış ve çerçeveler uygulamada sıkça karşılaşılan hataları yansıtacak şekilde imal edilmiştir.

Çalışmada aşağıdaki temel parametreler incelenmiştir.

- Panel boyunun çerçeve açıklığına oranı
- Panellerin çerçeve açıklığı içindeki konumu
- Panellerin serbest kenarları boyunca oluşturulan uç elemanların varlığı

Deneyler sonucunda ulaşılan sonuç

- Kısmi panellerin çerçeve yanal yük taşıma kapasitesini, rijitliğini ve enerji sönümlenme kapasitesini önemli ölçüde artırmaktadır,
- Kısmi panel boyu uzadıkça bu katkılar da artmaktadır,
- Panellerde oluşturulan uç elemanların olumlu katkıda bulunduğu
- Güçlendirilmiş çerçeve taşıma kapasitesinin ve göçme mekanizmasının kısmi panellerin çerçeve boşluğu içindeki konumuna göre değişkenlik gösterdiği

şeklindedir.

(YÜKSEL ve diğer, 2006) tarafından yapılan bir deneysel çalışmada iki kat ve tek açıklıklı 6 adet betonarme deney çerçevesi ikisi boş, ikisi tuğla dolgu duvarlı, ikisi de karbon fiber polimer şeritlerle dış yüzlerinden güçlendirilmiş tuğla dolgu duvarlı olarak sabit ölü yük ve tekrarlı tersinir yanal yük altında test edilmişlerdir. Her deney numunesi çiftinden birinde kullanılan betonarme çerçeve uygulamada sıkça karşılaşılan hataları yansıtacak şekilde donatılarında yetersiz bindirme boyları kullanılarak imal edilmiştir.

Çalışma sonucunda araştırmacıların ulaştığı sonuçlar:

- Dolgu duvarlarda birkaç diyagonal çatlak oluşmakla birlikte esas hasar köşelerde oluşan ezilme olup bu aşamadan sonra dolgu duvarların çerçeve taşıma kapasitesine katkısı sona ermektedir.
- Dolgu duvarların yüzeyine uygulanan CFRP köşelerde oluşan ezilmeyi önlemekte ve diyagonal çatlaklar duvar yüzeyine yayılmaktadır. Çerçeve yanal yük taşıma kapasitesine ulaşırken dolgu duvarlarda ağır hasar oluşmakta ancak tamamen dağılmayıp bütünlüğünü korumaktadır.
- Dolgu duvarların yüzeyine uygulanan CFRP çerçevenin yanal yük taşıma kapasitesini ve yanal rijitliğini önemli miktarda artırmaktadır.
- Dolgu duvar yüzeylerine uygulanan CFRP şeritleri çerçevenin enerji sönümlenme kapasitesini artırmaktadır

şeklinde ifade edilmekte ancak uygulamanın olumlu katkısının düzeyi konusunda sayısal değerler verilmemektedir.

(GAREVSKI ve diğer, 2006) tarafından yapılan bir deneysel çalışmada tuğla dolgu duvarlı betonarme çerçevelerin yanal yüklere karşı güçlendirilmesi için önerilen iki değişik yöntemin geçerliliğini ve uygulanabilirliğini belirlemek üzere sarsma tablası deneyleri yapılmıştı. Bu amaçla 1999 kocaali depreminde göçen gerçek bir yapının çerçevelerini temsil eden 1/3 ölçekli iki kat ve üç açıklıklı 3 adet tuğla duvar dolgu betonarme deney çerçevesi tasarlanıp imal edilmiştir. Bunlardan biri sadece tuğla dolgu duvarlı olarak, bir diğeri tuğla duvar yüzeylerine uygulanan diyagonal CFRP

şeritleri ile dolgu duvarların güçlendirilmesi sonrası, sonuncusu ise tuğla dolgu duvarların yüzeyine ve çerçeve sisteme epoxy yapıştırıcı ile bağlanan ön üretilmiş beton paneller ile güçlendirildikten sonra sarsma tablası üzerine yerleştirilerek testine tabi tutulmuşlardır. Deney numuneleri bu tür yapılarda yaygın olarak gözlenen imalat ve detaylandırma hatalarını barındıracak şekilde imal edilmişler ve sarsma tablası deneylerinde 1999 İzmit depermi koşulları altında test edilmişlerdir.

Çalışma sonucunda

- Uygulanan dolgu duvar güçlendirmesi yöntemleri çerçeve yanal ötelenmelerini yaklaşık %50 - %85 mertebesinde azalttığı
- Her iki yöntemin de kolaylıkla uygulanabilir, basit ve pratik yaklaşımlar olup uygulama sırasında binanın boşaltılması gerekmediğinden özellikle halen kullanımda bulunan yapılar için çok uygun bir yaklaşım olduğu
- Her iki uygulamada da çerçeve sistemin gerek yanal dayanım kapasitesinde gerekse de yanal rijitliğinde kayda değer artış sağlandığı

belirtilmekte ancak kazanımın mertebesi hakkında sayısal bir değer verilmemektedir.

3 DENEY NUMUNELERİ

Deney numuneleri için kullanılacak betonarme çerçeveler esas olarak tek açıklıklı ve iki katlı olarak planlanmıştır. Ancak yükleme sisteminin yapısı gereği ve simetriden yararlanarak her deneyde iki adet benzer numuneyi tek seferde test etmek üzere iki adet çerçeve güçlü bir ortak temel kirişi ile taban tabana birbirine bağlanarak tek bir deney çerçevesi oluşturulmuştur (Şekil 3.1).



Şekil 3.1 Yükleme çerçevesi genel görünüşü ve teste hazır deney numunesi

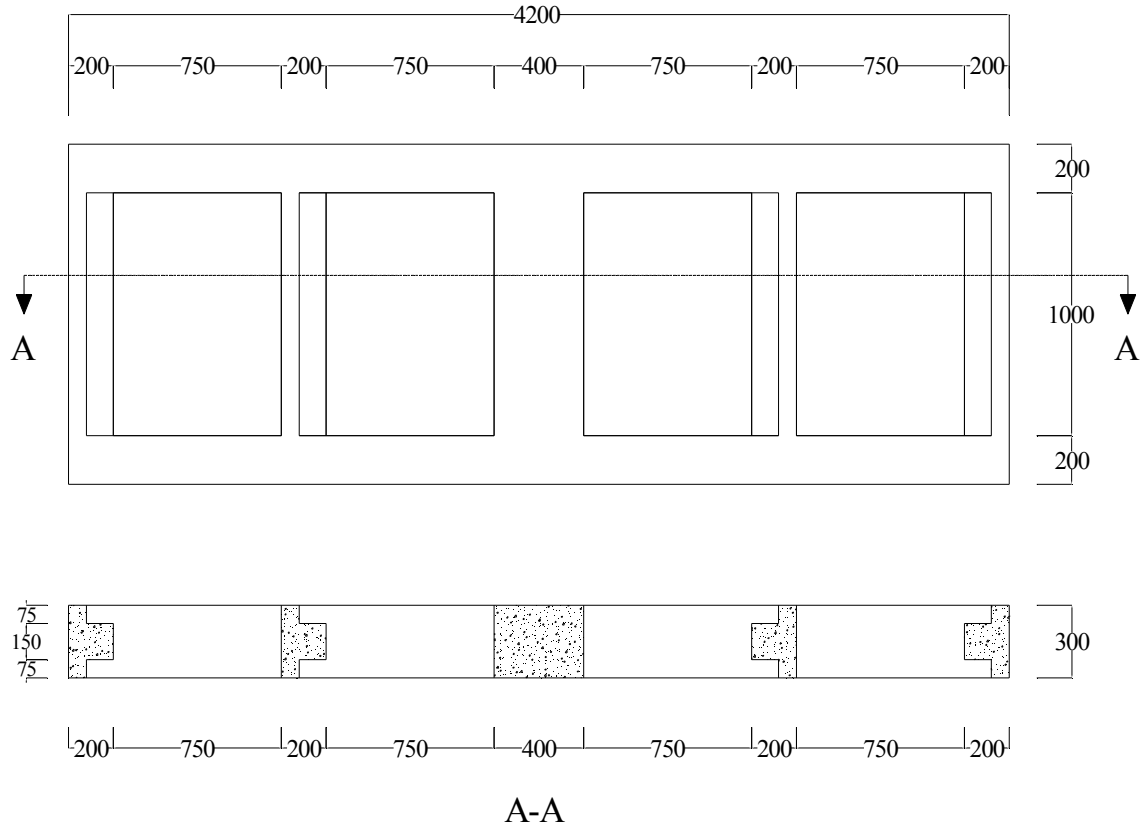
3.1 Betonarme çerçeve boyutları ve donatı detayları

Betonarme çerçeveler 1400x4200mm toplam boyutlarında olup C20 kalitesinde beton kullanılarak özel bir çelik kalıp içinde yatay konumda dökülmüştür (Şekil 3.2). Çerçeveyi oluşturan kolonlar 200x300mm, kat kirişleri 150x200mm, temel kirişi ise 400x300mm boyutlarında dikdörtgen kesitlidir. Donatı detayları uygulamada sıkça karşılaşılan imalat hatalarını yansıtabilecek şekilde belirlenmiştir. Kolonlarda boyuna donatı miktarı minimum düzeyde %1 olarak seçilmiş, kolon-kiriş birleşim bölgelerindeki donatı bindirme boyları da özellikle yetersiz tutulmuştur. Kirişler gerçek yapısal sistemleri yansıtmak üzere tablalı kiriş şeklinde imal edilmiş ve birleşim bölgelerinde etriye sıklaştırılması yapılmamıştır. Kat kirişlerinin tabla genişliği 300mm, döşeme kalınlığı ise 80mm olarak seçilmiştir. Kat yüksekliği 950mm,

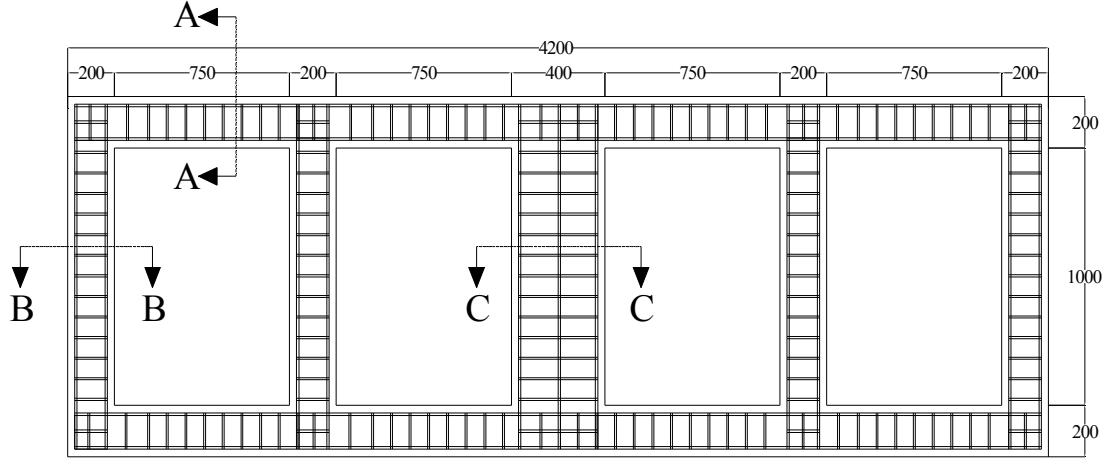
çerçeve temiz açıklığı ise 1000mm dir. Betonarme çerçeve geometrisi Şekil 3.3'de, donatı detayları ise Şekil 3.4-3.7'de görüldüğü ve Tablo 3.1'de özetlendiği gibidir.



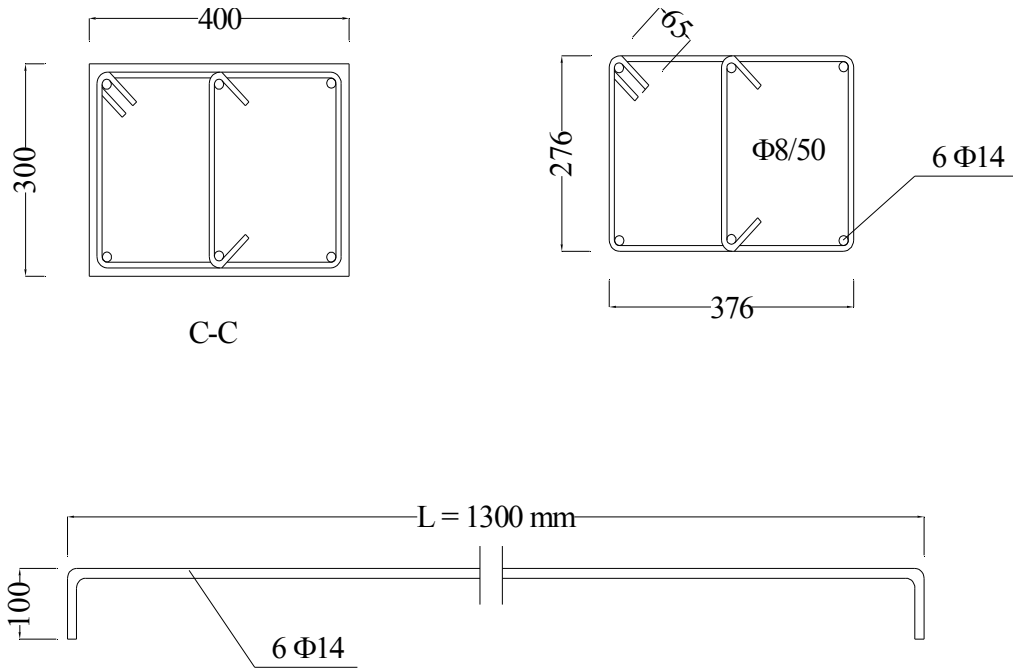
Şekil 3.2 Donatı kafesi yerleştirilmiş ve döküme hazır betonarme çerçeve kalıbı



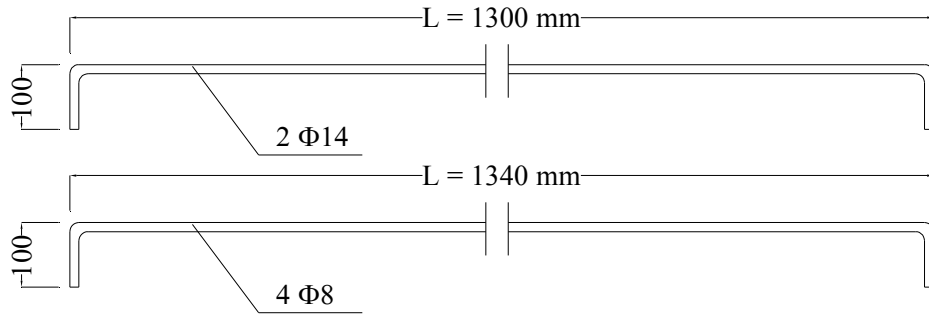
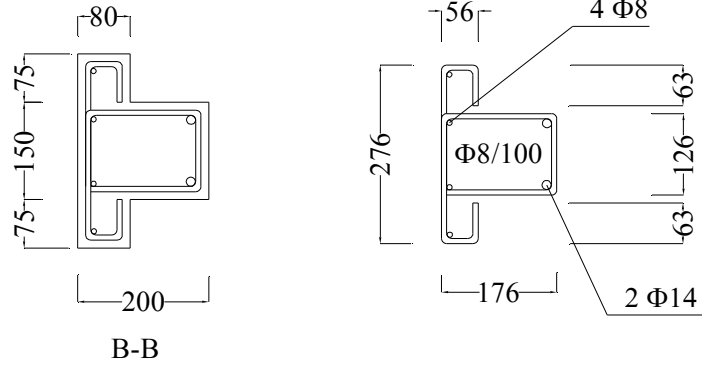
Şekil 3.3 Betonarme çerçeve geometrisi (boyutlar mm olarak verilmiştir)



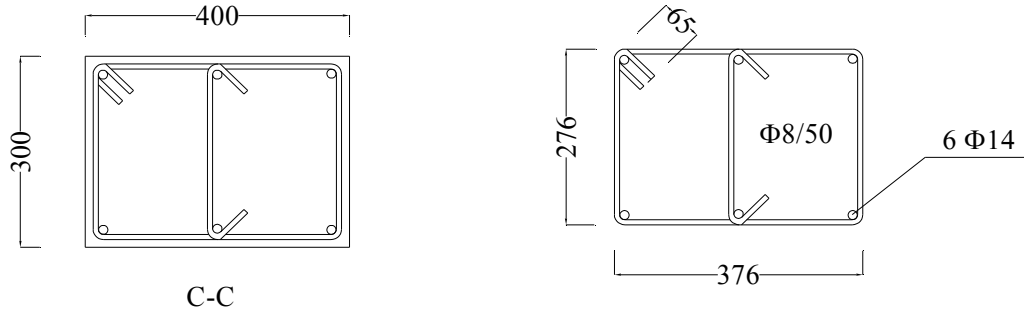
Şekil 3.4 Çerçeve donatısı genel görünüşü (boyutlar mm olarak verilmiştir)



Şekil 3.5 Kolon donatı detayları (boyutlar mm olarak verilmiştir)



Şekil 3.6 Kat kirişleri donatı detayları (boyutlar mm olarak verilmiştir)



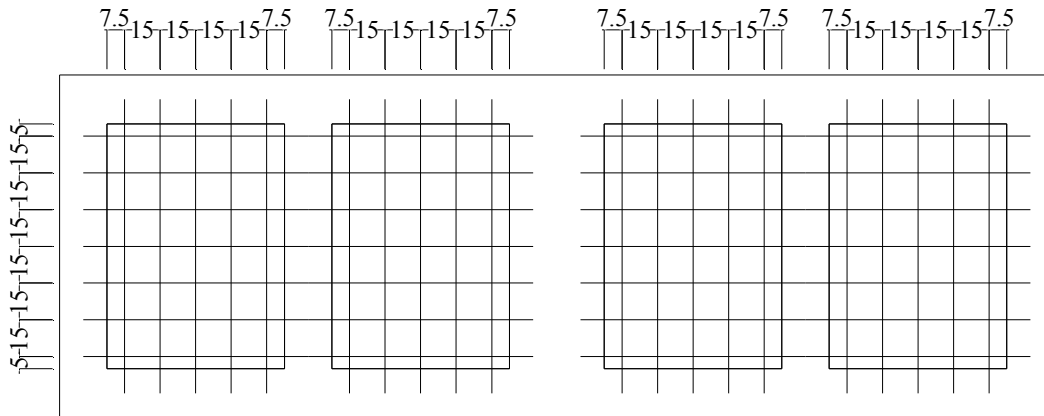
Şekil 3.7 Temel kirişi donatı detayları (boyutlar mm olarak verilmiştir)

Tablo 3.1 Betonarme Deney Çerçevelerinin Donatı Detayı

Doantı Konumu	Donatı Çubuk Adedi	Donatı Çapı ϕ (mm)	Tip	Akma Dayanımı f_y (MPa)
Kiriş Çekme Donatısı	2	14	Nervürlü	420
Kiriş Basınç Donatısı	4	8	Nervürlü	420
Kolon Boyuna Donatısı	2 x 2	14	Nervürlü	420
Temel Kirişi Boyuna Donatısı	2 x 3	14	Nervürlü	420
Etriye (Sargı) Donatısı	-	8	Nervürlü	420

3.2 Betonarme paneller

Yerinde döküm betonarme dolgu duvarlarla güçlendirilmiş deney numunesi için çerçeve açıklıklarında panellerin oluşturulması işlemi pratikteki uygulamaya paralel bir yaklaşımla açıklık çevresindeki kiriş ve kolon yüzlerine ankraj çubuklarının ekilmesi ve ardından perde donatılarını yerleştirerek betonun dökülmesi şekilde gerçekleştirilmiştir. Perde duvar kalınlığı 6cm olup donatı olarak her iki doğrultuda ve sadece panel orta düzleminde $\phi 8/150$ mm olarak seçilmiştir (Şekil 3.8). Çerçeve açıklık boyutlarının sınırlı olması nedeni ile ankraj serbest boyları biraz uzun tutularak panel orta bölümünde karşılıklı olarak bindirilmiş ve ayrıca bir donatı kullanılmamıştır (Şekil 3.9). Paneller çerçevelerde kullanılan C20 beton kullanılarak ve yatay konumda dökülmüştür.



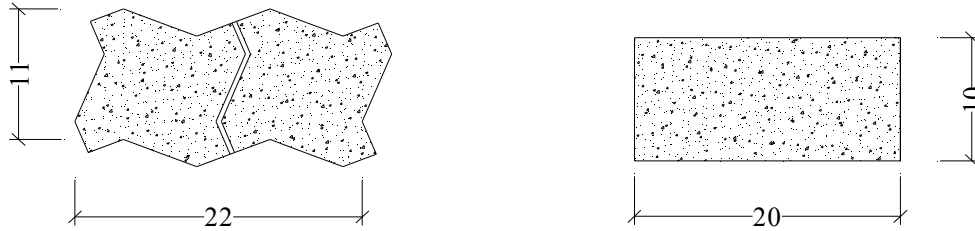
Şekil 3.8 Dolgu perde duvar donatı detayları (boyutlar cm olark verilmiştir)



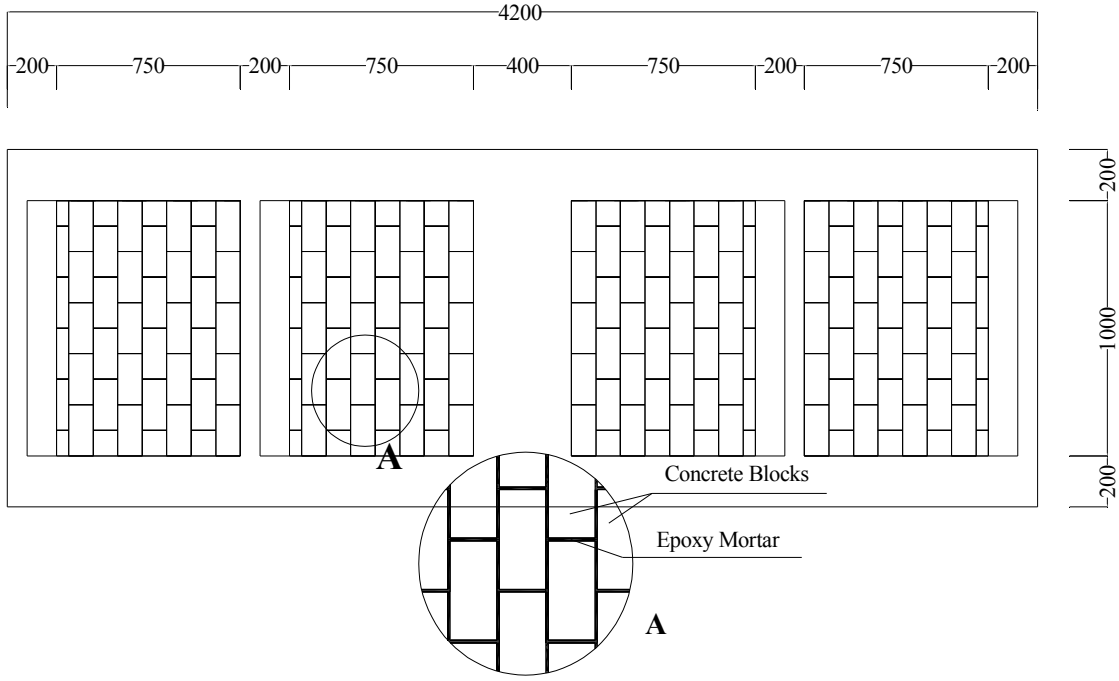
Şekil 3.9 Betonarme dolgu panelli deney numunesi için ankraj ekimi ve donatılar.

3.3 Yüksek dayanımlı beton bloklar

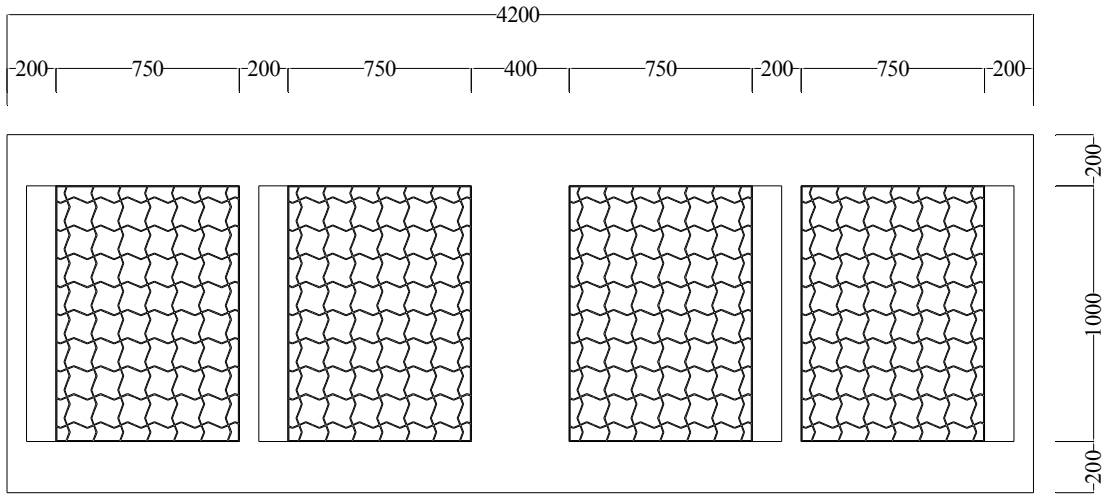
Betonarme çerçevelerin yüksek dayanımlı ve özel geometrili beton blok dolgu duvarlar ile güçlendirilmesi durumundaki davranışını ve referans numunelere göre göreceli potansiyelini belirlemek üzere planlanan 4 adet deney numunesi için iki değişik tip ve dayanımda beton bloklar üretilmiştir. Blok geometrisi olarak dalga yüzeyli ve dikdörtgen kesitli olmak üzere iki değişik tip (Şekil 3.10), dayanım olarak da 40MPa ve 70MPa seçilmiştir. Dalga yüzeyli blok tipi, bloklar arasındaki aderansı artırmak ve kesme zorlaması altında duvarı oluşturan beton bloklar arasındaki derz malzemesi kapasitesinin aşılması durumunda devreye girecek olan çevre bloklar ile aralarındaki mekanik kilitleme sayesinde duvar kesme dayanımının artacak olması nedeni ile seçilmiştir. Beton blok kalınlığı 6cm olup Şekil 3.11 ve Şekil 3.12’de görüldüğü gibi deney numunelerinin herbirinde yaklaşık 160 adet kullanılmaktadır.



Şekil 3.10 Beton blok tipleri ve boyutları (boyutlar cm olarak verilmiştir)



Şekil 3.11 Dikdörtgen kesitli beton blok dolgu duvarlı deney numunesi



Şekil 3.12 Dalga yüzeyli beton blok dolgu duvarlı deney numunesi

3.4 Beton malzeme ve derz harcı

Deney numunelerinin betonarme çerçeveleri için C20 kalitesinde hazır beton kullanılmıştır. Dışarıdan temin edilen bu betondan döküm esnasında alınan silindir numunelerin basınç dayanımı test sonuçları Tablo 3.2’de verildiği gibidir.

Tablo 3.2 Betonarme Çerçeve Beton Basınç Dayanımları

Numune	f_{c7} (MPa)	f_{c28} (MPa)
S1	20.31	28.87
S2	22.56	27.08
S3	19.33	28.03
S4	19.72	30.12
S5	22.46	30.61
S6	14.46	24.92

Bloklar için gerekli olan yüksek dayanımlı beton ODTÜ İnşaat Mühendisliği Bölümü Yapı Malzemeleri Laboratuvarı'nda üretilmiştir. Bu amaçla tasarlanan özel karışımların bileşimi Tablo 3.3'de verilmektedir. Blokların dökümünde kullanılan kalıpların adedi sınırlı olduğundan gereksinim duyulan yaklaşık 800 adet beton blokun dökümü ancak 6 partide tamamlanabilmiş ve dökümler arasında dayanım açısından uyum tam olarak sağlanamamıştır. Herbir dökümde hedeflenen beton basınç dayanımı ile gerçekleşen dayanım Tablo 3.4'de verilmektedir.

Tablo 3.3 Beton Bloklar için Karışım Oranları (1 m³ beton için)

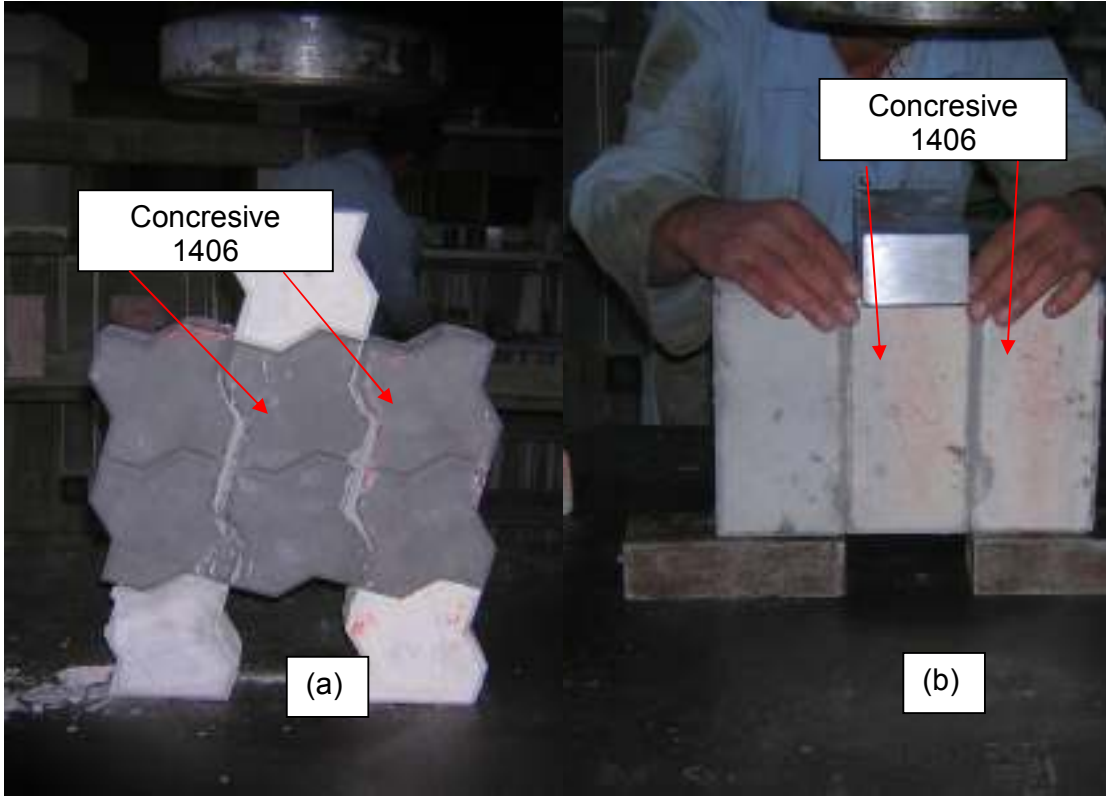
	C40		C70	
	Ağırlık (kg)	Ağırlık (%)	Ağırlık (kg)	Ağırlık (%)
Çimento	250	10.7	500	20.9
Uçucu kül	250	10.7	200	8.4
Silis dumanı	0	0.0	50	2.1
Su	188	8.0	175	7.3
No.1 Agregası	742	31.6	649	27.2
No.2 Agregası	247	10.5	216	9.0
No.3 Agregası	247	10.5	216	9.0
No.4 Agregası	412	17.6	360	15.1
Glenium	10	0.4	20	1.0
Toplam	2346	100	2387	100

Tablo 3.4 Beton Blok Basınç Dayanımı

Döküm	Hedef Dayanım (MPa)	f_{c7} (MPa)	f_{c28} (MPa)
1	40	25.42	45.95
2	40	18.52	40.00
3	40	34.18	37.70
4	70	38.51	55.20
5	70	46.10	69.90
6	70	42.41	67.31

Beton veya tuğla bloklar ile oluşturulan duvarların düzlem içi kesme kuvveti altındaki davranışı incelendiğinde oluşan çatlakların büyük ölçüde bloklar arası derz hatları boyunca olduğu ve yanal yük taşıma kapasitesini büyük ölçüde derz malzemesinin kesme ve çekme dayanımının belirlediği görülmektedir. Dolayısı ile derzler duvar kesme dayanımı açısından zayıf bir halka oluşturmaktadır. Projede duvar kesme dayanımını artırmak üzere yüksek dayanımlı beton blokların kullanılacak olması da göz önüne alındığında amaçlanan duvar kesme dayanımı potansiyelinden olabildiğince faydalanabilmek için derz malzemesinin dayanımı daha da önem kazanmaktadır. Bu nedenle çalışmanın hazırlık aşamasında bloklar arası derz malzemesi olarak geleneksel harç yerine daha nitelikli ve yüksek dayanımlı bir malzemenin kullanılması düşünülmüş ve bu amaçla BASF-YKS firması tarafından üretilen iki bileşenli ve epoksi katkılı **Concresive 1406** adlı ürünün kullanılması kararlaştırılmıştır.

Esas çalışmaya başlamadan önce **Concresive 1406** ile oluşturulan beton bloklar arası derzin kesme yükü altındaki davranışını incelemek üzere basit bir düzenek hazırlanarak bazı deneyler yapılmıştır. Bu deneylerde dolgu duvarın oluşturulmasında kullanılacak tip ve 30MPa basınç dayanımlı beton bloklardan üçer adedi Şekil 3.13'de görüldüğü gibi birbirine **Concresive 1406** derz ile bağlanarak dışta kalan bloklardan mesnetlenmiş ve orta bloğa basınç yükü uygulanmıştır.



Şekil 3.13 Concresive 1406 derzli duvar kesme deneyleri.

Tüm deneylerde kırılmanın normal olarak beklendiği gibi derz hattı boyunca değil de Şekil 3.14'de görüldüğü gibi beton bloklar içinde olduğu, dolayısı ile taşıma kapasitesinin beton blok dayanımı tarafından belirlendiği görülmüştür. Bu durumda derz malzemesi olarak **Concresive 1406** yüksek dayanımlı harç kullanarak en azından 30MPa basınç dayanımlı beton bloklar ile adeta monolitik bir beton dolgu duvar elde etmek olası görülmektedir. Böylece beton bloklar ile oluşturulan dolgu duvarın kesme yükü altındaki dayanım potansiyelini büyük ölçüde kullanmak da mümkün olacaktır.



Şekil 3.14 Concresive 1406 derzli duvarın kesme yükü altındaki davranışı.

Beton bloklar ile oluşturulan dolgu duvarlar ile güçlendirilmiş deney numunelerinde derz malzemesi olarak kullanılan Concresive 1406 harcının özellikleri Tablo 3.5'de verilmektedir

Tablo 3.5 Concresive 1406 Özellikleri

Basınç dayanımı	75 MPa
Çekme dayanımı	25 MPa
Beton için aderans dayanımı	3.5 MPa
Çelik için aderans dayanımı	6.5 MPa

Çalışmada kullanılan deney numunelerinin kodları ve herbir numunenin tanımı aşağıda Tablo 3.6' da verildiği gibidir.

Tablo 3.6 Deney Numuneleri ve Özellikleri

Numune	Güçlendirme yöntemi
S1	Boş çerçeve (referans, kapasite alt sınırı)
S2	Yerinde döküm betonarme panel (referans, kapasite üst sınırı)
S3	40 MPa dayanımlı dalga yüzeyli beton bloklar ile dolgu duvar
S4	40 MPa dayanımlı dikdörtgen beton bloklar ile dolgu duvar
S5	70 MPa dayanımlı dalga yüzeyli beton bloklar ile dolgu duvar
S6	70 MPa dayanımlı dikdörtgen beton bloklar ile dolgu duvar

4 TEST DÜZENEĞİ VE YÖNTEM

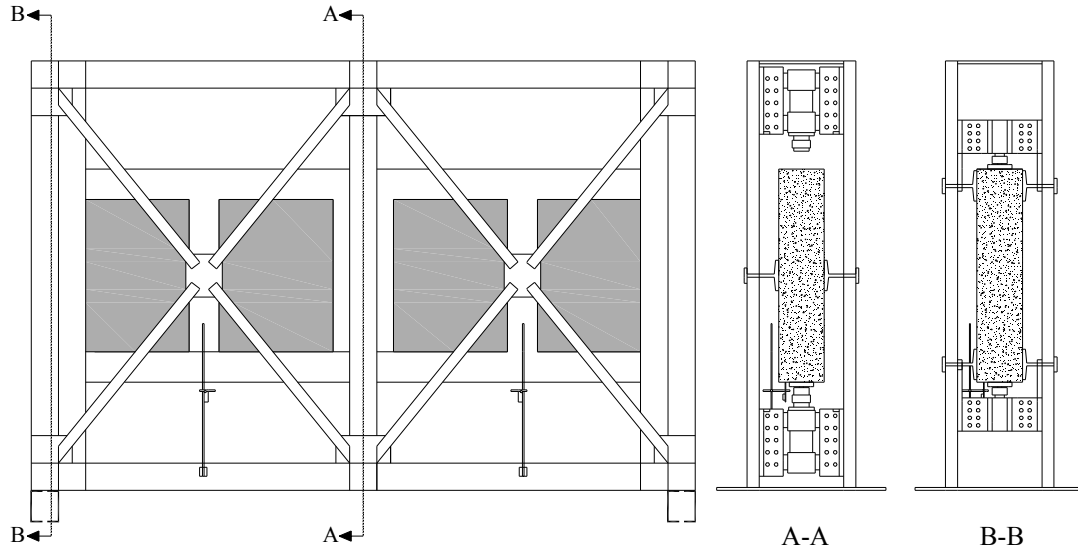
Deney numuneleri ODTÜ İnşaat Mühendisliği Bölümü Yapı Malzemeleri Laboratuvarı ortamında bilgisayar kontrollu entegre bir hidrolik yükleme sistemine sahip ve kendi içinde dengeli çelik yükleme çerçevesi içine yatay konumda yerleştirilerek test edilmişlerdir (Şekil 4.1). Yükleme çerçevesi 800kN kapasiteli olup tersinir tekrarlı yükleme özelliğine ve otomatik veri toplama sistemine sahiptir.



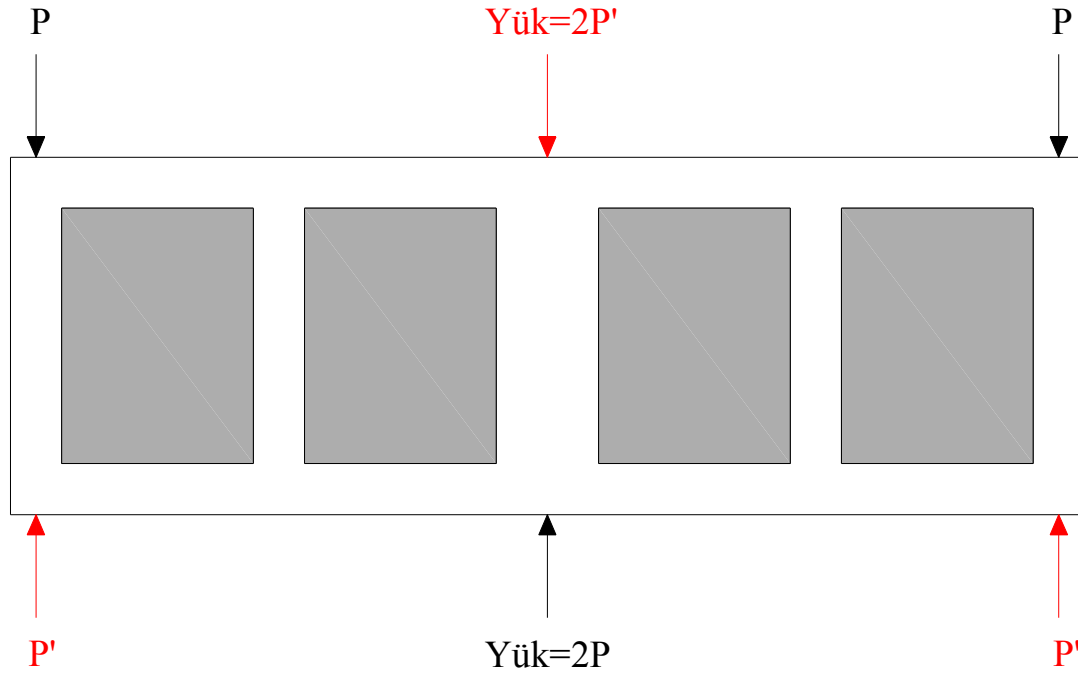
Şekil 4.1 Kendi içinde dengeli çelik yükleme çerçevesi ve hidrolik yükleme sistemi

4.1 Yükleme çerçevesi

Yükleme çerçevesi deney numunesine uygulanan yükün yarattığı tepkiyi çevreden hiçbir destek almadan kendi içinde destekleyen bir yapıya sahiptir. Şekil 4.2'de görüldüğü gibi yükleme çerçevesi içine yatay konumda yerleştirilip mesnetlenen deney numunesinin yüklemesi çerçeveye düşey konumda karşılıklı olarak monte edilmiş, herbiri 1000kN kapasiteli ve bilgisayar kontrollu iki adet hidrolik silindir vasıtası ile yapılmaktadır. Taban tabana eklenmiş tek açıklıklı ve iki katlı çift çerçeve şeklindeki deney numunesinin taban seviyesindeki güçlü temel kirişi eksenli hidrolik silindireler ile aynı düşey aks üzerinde olup yükleme bu temel kirişi üzerinden yapılmaktadır (Şekil 4.3).



Şekil 4.2 Yükleme çerçevesi içinde deney numunesinin konumu ve mesnetlenmesi



Şekil 4.3 Deney numunelerinin yüklenmesi ve katlar arası yük paylaşımı.

4.2 Yükleme ve veri toplama sistemi

Bilgisayar kontrollu entegre yükleme/veri toplama sistemi yükleme çerçevesine monte edilmiş silindirleri besleyen 2 kanal çıkışlı bir hidrolik pompa ile 4 kanal yük hücresi (Load Cell) ve 16 kanal deplasman (LVDT) girişine sahiptir (Şekil 4.4).



Şekil 4.4 Yükleme ve veri toplama sistemi

Hidrolik silindir çıkışları deney numunesine uygulanacak yükün seviyesini belirlemek üzere oransal basınç kontrol valfları ile donatılmıştır. Yükleme yönünü ve yük seviyesini belirleyen dijital sinyaller bilgisayar ortamından ve yükleme/veri toplama sistemi üzerinden yükleme çerçevesine gönderilmektedir. Hidrolik silindir kafalarına monte edilmiş yük hücreleri ile deney numunesi hareketlerini ölçen sensörlerden gelen sinyaller de yine bu sistem tarafından düzenlendikten sonra değerlendirilmek ve depolanmak üzere direk bağlantı ile bilgisayar ortamına aktarılmaktadır.

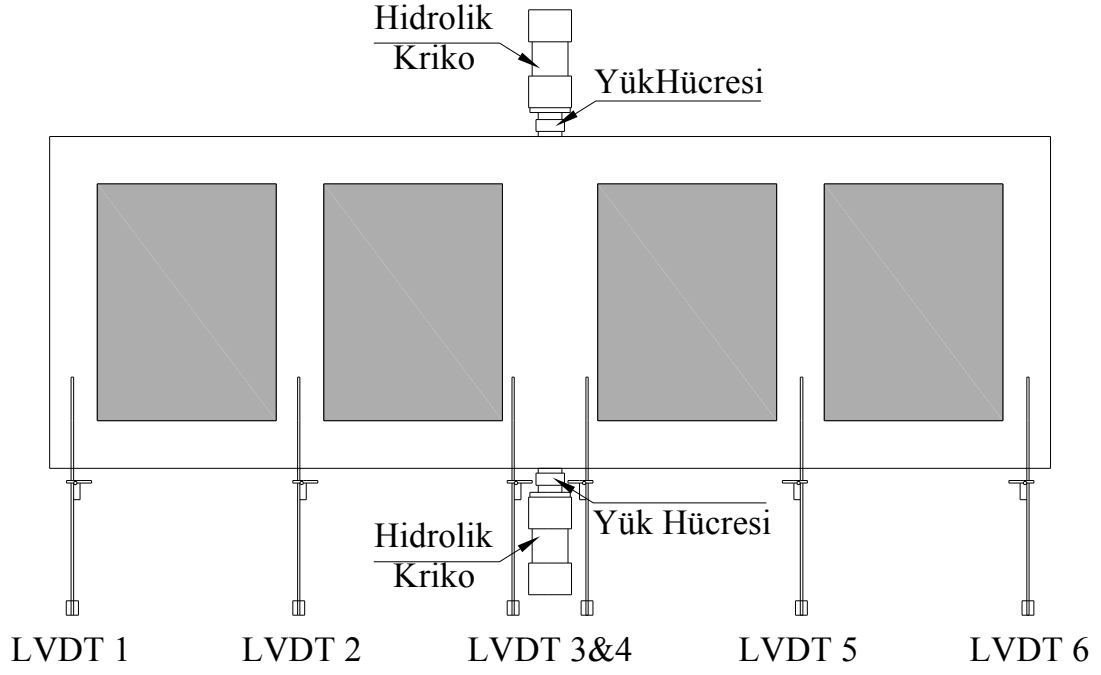
4.3 Test yöntemi

Deney numuneleri yükleme çerçevesi içine yerleştirilip deplasman sensörleri bağlandıktan sonra yapısal sistemin parçası olduğu düşünülen çerçevenin olası bir deprem esnasında maruz kalacağı yanal zorlanmaları temsil etmek üzere mertebesi kademeli olarak artan tersinir yanal yükler altında teste tabi tutulmuş ve numune üzerinde oluşan hasarın konumu, niteliği ve gelişimi sürekli izlenmiştir.

Boş çerçeve deney numunesi (S1) için yüklemeye numunenin beklenen kapasitesinin yaklaşık %50'si seviyesinde bir yük başlanmış ve bu yük numuneye her iki yönde uygulandıktan sonra yük düzeyi yaklaşık 10kN artırılarak her iki yöndeki yükleme tekrarlanmıştır. Bu yükleme düzenine numunenin kapasitesine ulaşıp göçme gerçekleşene kadar devam edilmiştir. Güçlendirilmiş çerçeve deneylerinde ise yüklemeye boş çerçeve deneyinde elde edilen kapasite düzeyinde bir yük ile başlanarak yük seviyesi yaklaşık 25kN luk kademeler halinde artırılmıştır. Ancak numune taşıma kapasitesi düzeyine yaklaştıkça oluşan hasarın derecesine bağlı olarak yükleme rejiminde bu ideal düzenden bazı sapmalar ve dolayısı ile yükleme döngü adedinde değişimler oluşmuştur.

Deplasman sensörlerinin numuneler üzerindeki konumları Şekil 4.5'te görülmektedir. Testlere başlamadan önce tüm sensör okumaları sıfırlanmış ve betonarme çerçeve

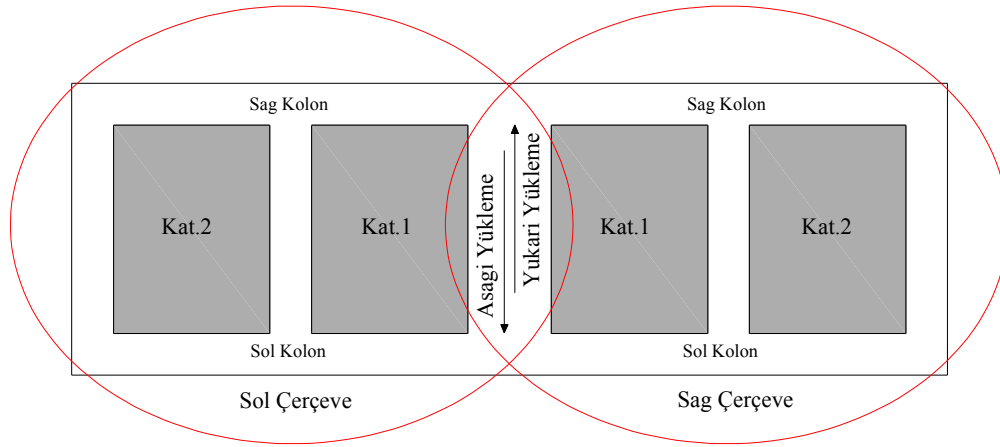
dökümü sırasında alınan silindir numuneler basınç testine tabi tutularak deney sırasındaki beton dayanımları tesbit edilmiştir.



Şekil 4.5 Yük hücreleri ve deplasman sensörlerinin numuneler üzerindeki konumu

5 NUMUNELERİN TEST SONUÇLARI

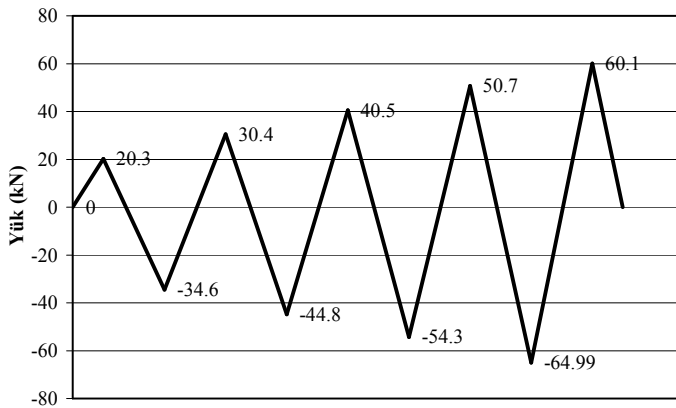
Bu bölümde deney numunelerinin test sonuçları yük-deplasman grafikleri olarak verilmektedir. Deneyler sırasındaki numune davranışı, gözlenen hasarın niteliği, düzeyi ve yükleme sürecindeki gelişimi de özetlenmektedir. Oluşan hasarın numune üzerindeki konumunu belirlemek üzere kullanılan tanımlar Şekil 5.1’de gösterilmiştir. Deney numuneleri yükleme çerçevesi içine yatay konumda yerleştirilip mesnetlendiği için düşey olarak aşağı yönde yapılan yükleme gerçek hayat çerçevelerinde yatayda soldan sağa, yukarı yönde yapılan yükleme ise sağdan sola yüklemeyi temsil etmektedir.



Şekil 5.1 Deney numunesi yapısal alt sistemleri ve gerçek çerçeve karşılıkları

5.1 S1 numunesi

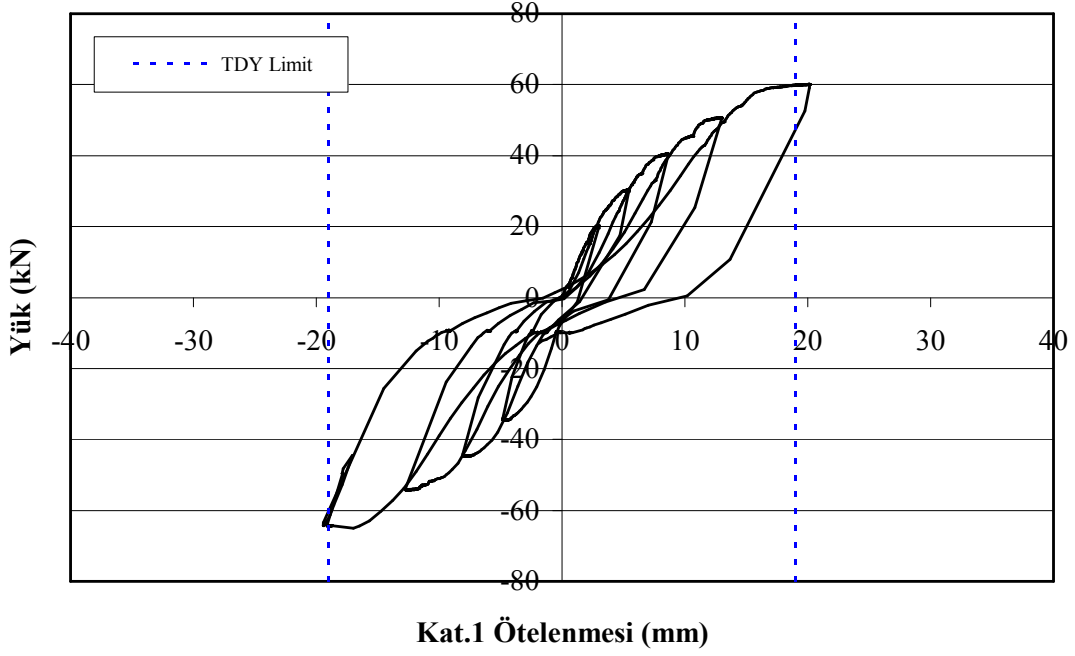
Betonarme çerçeve taşıyıcı sisteme sahip yapılardaki uygulamada sıkça karşılaşılan detay hatalarını da içeren tipik bir çerçeveyi temsil etmekte olan S1 referans numunesi Şekil 5.2’de görülen tersinir yükleme rejimi altında test edilmiştir.



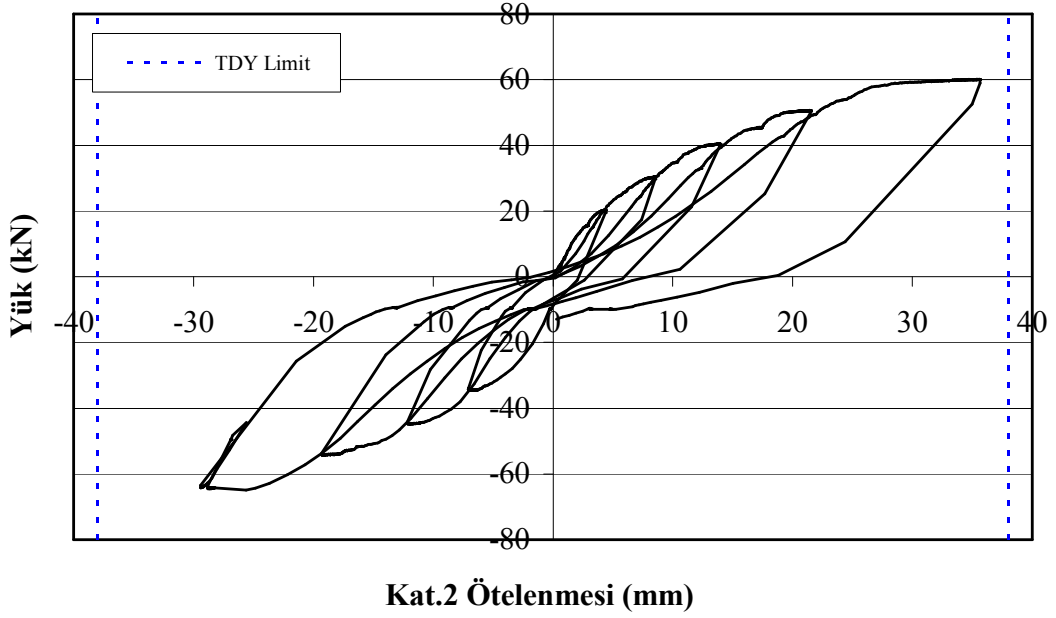
Şekil 5.2 S1 numunesi için yükleme rejimi.

Deney sırasında numuneye uygulanan gerçek yük düzeyi numune ölü ağırlığı dikkate alınıp yükleme yönüne göre düzeltilerek ve çift çerçeve deney numunesinin tek bir çerçevesi için verilmektedir.

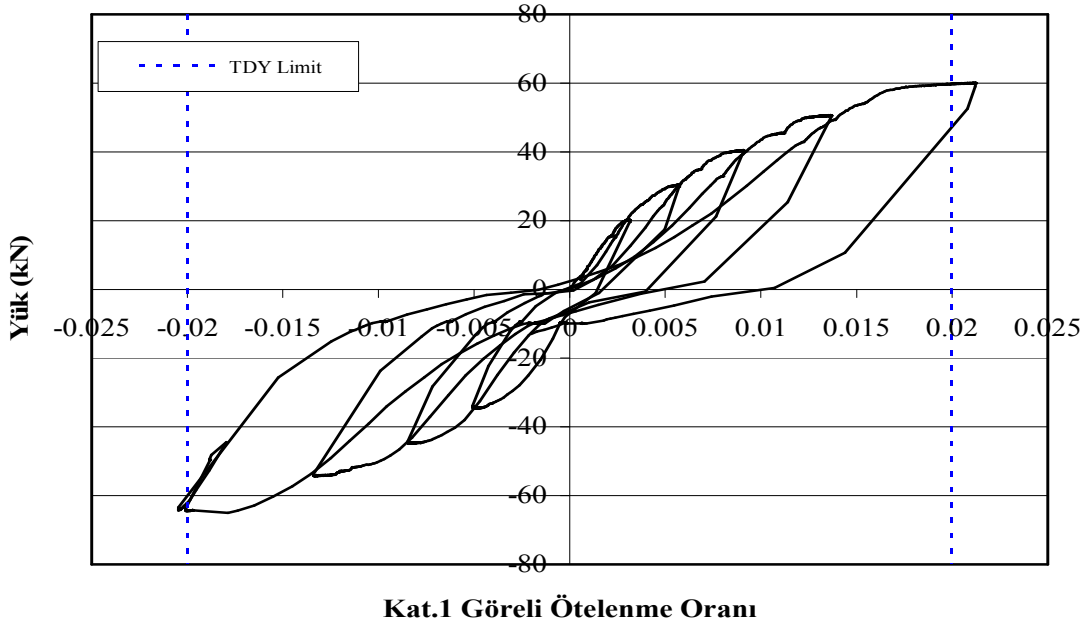
Kat seviyelerinde oluşan yanal ötelenmeler Şekil 5.3 ve Şekil 5.4’te, görelî kat ötelenmesi oranları ise Şekil 5.5 ve Şekil 5.6’da görüldüğü gibidir.



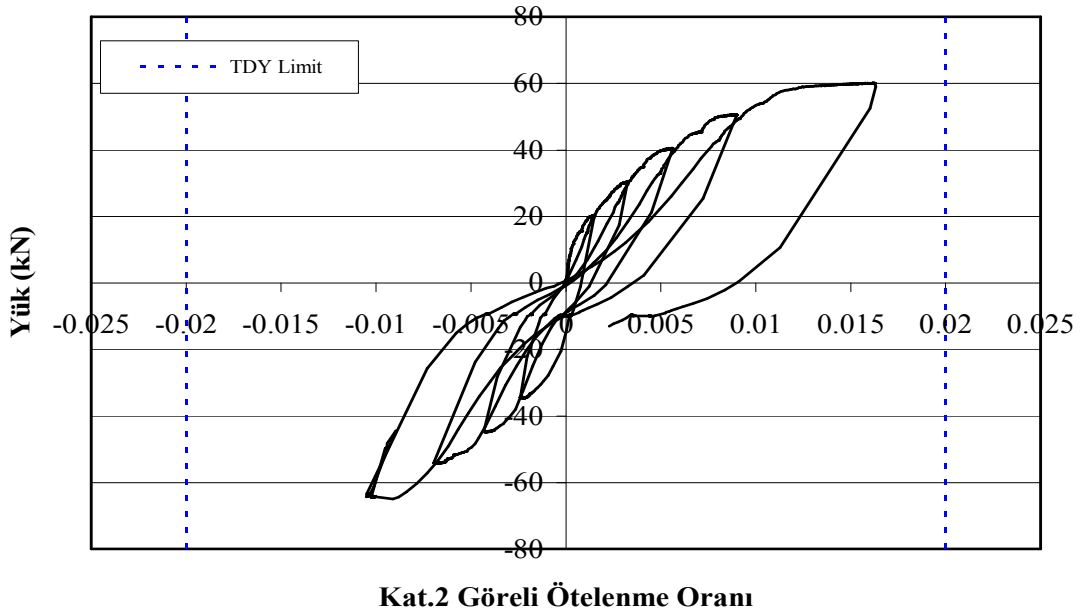
Şekil 5.3 S1 numunesi için Kat.1 seviyesi yük-ötelenme değişimi



Şekil 5.4 S1 numunesi için Kat.2 seviyesi yük-ötelenme değişimi



Şekil 5.5 S1 numunesi için Kat.1 seviyesi yük-görelü ötelenme oranı değışimi



Şekil 5.6 S1 numunesi için Kat.2 seviyesi yük-görelü ötelenme oranı değışimi

Deney sırasındaki gözlemler aşağıda özetlendiği gibidir.

- 30kN yük düzeyinde çerçeve tabanında kolon-temel kirişi birleşimlerinde kiriş donatılarının yetersiz ankraj boyu sonucu ilk kılcal çatlaklar oluşarak açılma başlamıştır (Şekil 5.7).



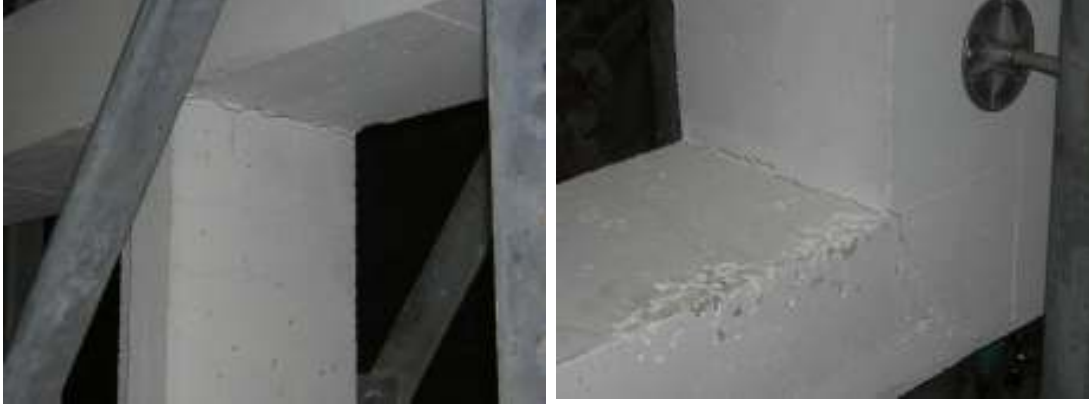
Şekil 5.7 S1 numunesi kolon-temel kirişi birleşiminde açılma.

- 40kN yük düzeyinde temel seviyesi kolon-temel kirişi birleşimlerinde oluşan çatlaklar genişlerken Kat.1 kolon-kiriş birleşimlerinin kolon yüzlerinde kılcal çatlaklar oluşarak açılma başlamıştır (Şekil 5.8). Bu aşamada Kat.1 kolon açıklıklarında yeni eğilme çatlaklarının da oluştuğu gözlenmiştir.



Şekil 5.8 S1 numunesi Kat.1 kiriş-kolon birleşimlerinin kolon yüzlerinde açılma.

- 50kN yük düzeyinde Kat.1 kolon ve kiriş açıklıklarında yeni eğilme çatlakları oluşurken Kat.2 kolon-kiriş birleşimlerinde çatlaklar oluşarak açılmaların başladığı gözlenmiştir (Şekil 5.9).



Şekil 5.9 Kat.1 kirişlerinde eğilme çatlakları, Kat.2 kolon-kiriş birleşimlerinde açılma.

- 60kN yük düzeyine gelindiğinde birleşim bölgeleri ve çerçeve kiriş ve kolonlarda oluşan eğilme çatlaklarının iyice açıldığı (Şekil 5.10,) Kat.2 kolon-kiriş birleşim bölgelerinin ise dağılma eğilimine girdiği gözlenmiştir (Şekil 5.11).



Şekil 5.10 S1 numunesi Kat.1 kolon-kiriş birleşim çatlakları



Şekil 5.11 Kat.2 kolon-kiriş birleşim bölgelerinde ileri boyutlara ulaşan açılmalar.

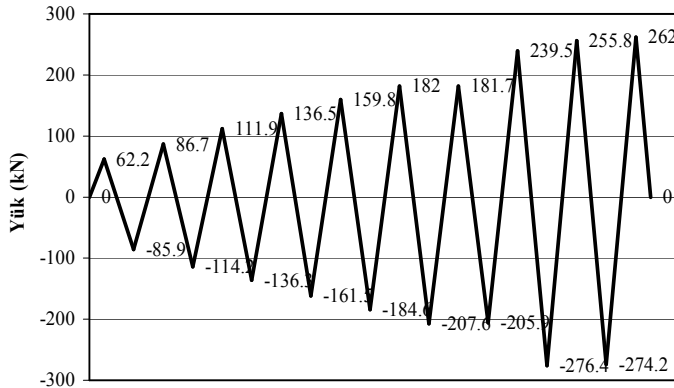
- Yaklaşık 65kN yük düzeyine ulaşıldığında Kat.1 birleşim bölgelerinin ileri düzeyde mafsallaştığı, Kat.2 birleşim bölgelerinin dağıldığı ve numunenin daha fazla yükü taşıyamayarak ötelenmeler sürekli olarak artarken uygulanan yük düzeyinin düşmeye başladığı gözlemlenmiş ve deneye son verilmiştir. Deney numunesinin son hali Şekil 5.12'de görülmektedir.



Şekil 5.12 S1 numunesinin deney sonrası durumu.

5.2 S2 numunesi

Uygulamada sıkça karşılaşılan detay hatalarını da içeren tipik bir çerçeveyi temsil etmekte olan S1 referans numunesinin ülkemizde de yaygın olarak kullanılan yerinde döküm betonarme perde duvarlarla güçlendirilmiş şeklini temsil eden S2 numunesi Şekil 5.13'de görülen tersinir yükleme rejimi altında test edilmiştir.

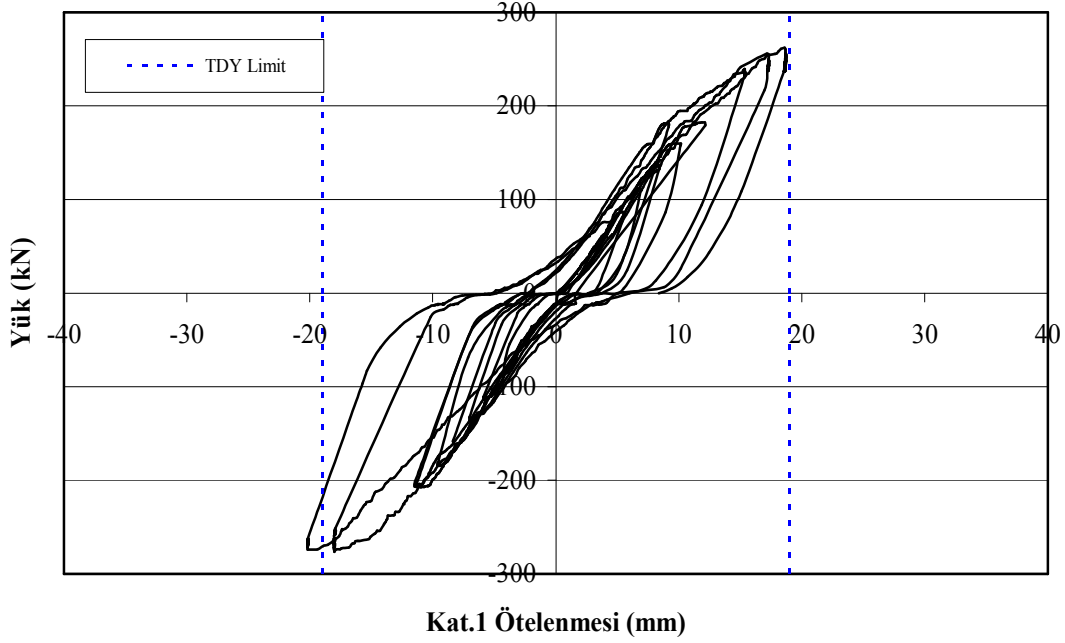


Şekil 5.13 S2 numunesi için yükleme rejimi.

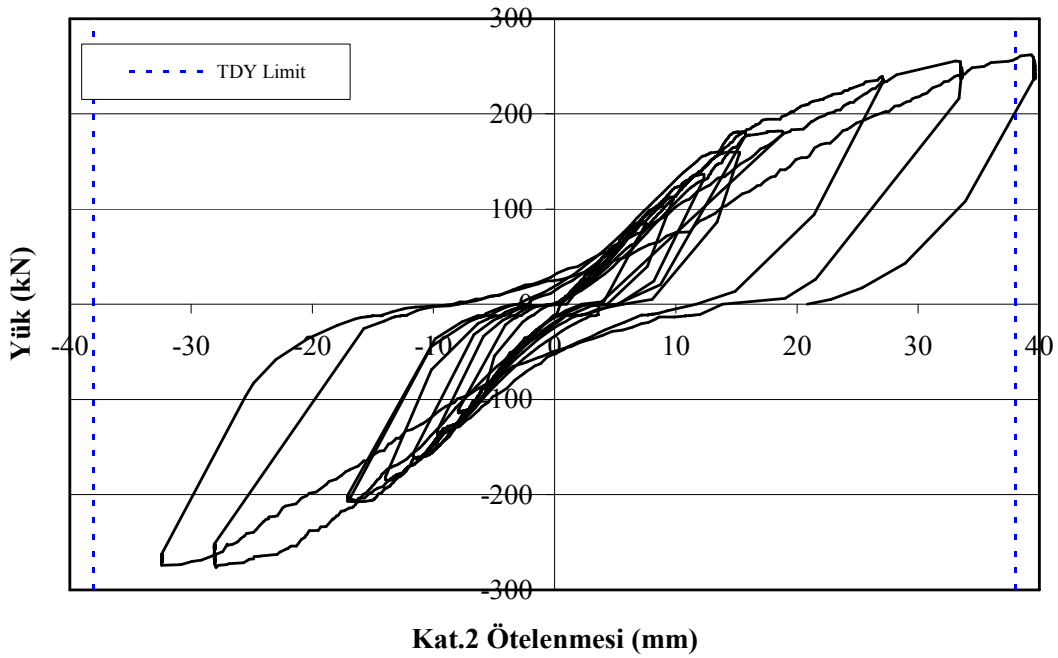
Deney sırasında numuneye uygulanan gerçek yük düzeyi numune ölü ağırlığı dikkate alınıp yükleme yönüne göre düzeltilerek ve çift çerçeve deney numunesinin tek bir çerçevesi için verilmektedir.

Kat seviyelerinde oluşan yanal ötelenmeler Şekil 5.14 ve Şekil 5.15'te, görel kat ötelenmesi oranları ise Şekil 5.16 ve Şekil 5.17'de görüldüğü gibidir.

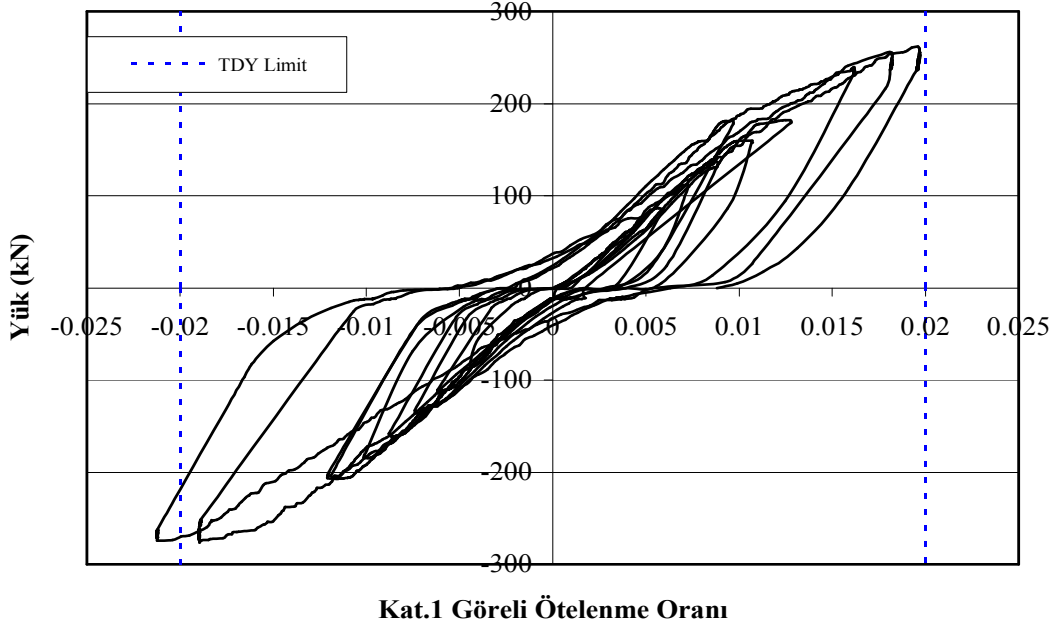
S2 deney numunesi bu çalışmanın hedefi olan betonarme çerçeve sistemlerin yüksek dayanımlı beton bloklarla imal edilen dolgu duvarlarla güçlendirilmesi durumunda ulaşılabilecek kapasite kazanımı konusunda üst sınır oluşturacak ve dolayısı ile önerilen yaklaşımın başarısını ölçebilmek açısından referans teşkil edecektir.



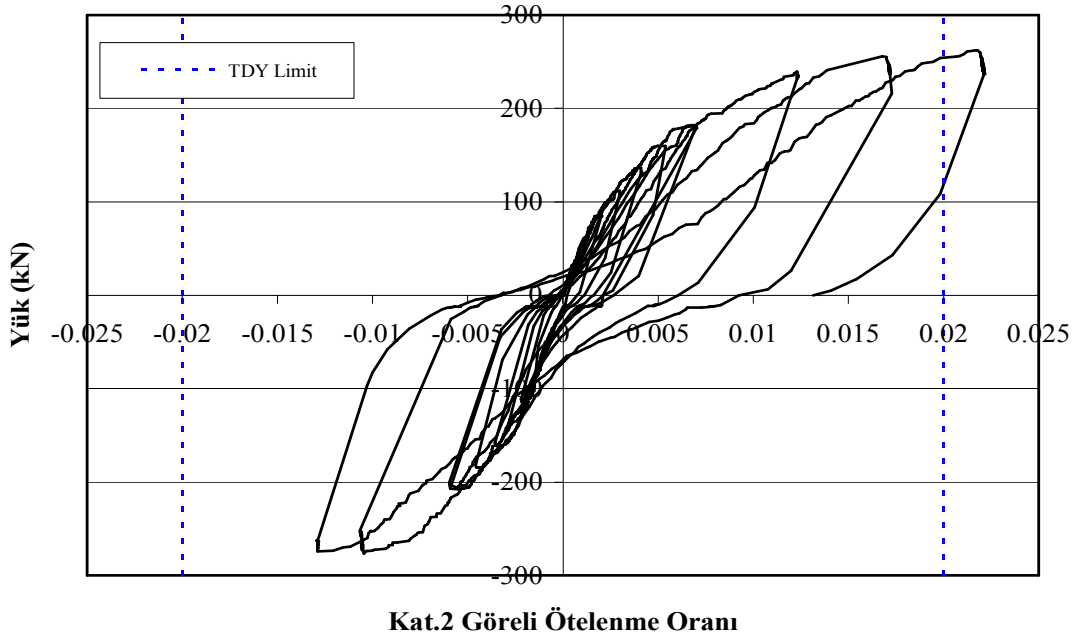
Şekil 5.14 S2 numunesi için Kat.1 seviyesi yük-ötelenme değişimi



Şekil 5.15 S2 numunesi için Kat.2 seviyesi yük-ötelenme değişimi



Şekil 5.16 S2 numunesi için Kat.1 seviyesi yük-görelü ötelenme oranı değışimi



Şekil 5.17 S2 numunesi için Kat.2 seviyesi yük-görelü ötelenme oranı değışimi

Deney sırasındaki gözlemler aşağıda özetlendiği gibidir.

- 85kN yük düzeyinde çerçeve Kat.1 kolon tabanlarında ilk kılcal eğilme çatlaklarının oluştuğu görülmüştür
- Yükleme 110kN seviyesine ulaştığında her iki çerçevenin Kat.1 dolgu duvarlarında kılcal diyagonal çatlakların oluşmaya başladığı görülmüştür.
- 160kN yük düzeyinde Kat.1 dolgu duvarlarında oluşan diyagonal çatlaklar sayı olarak artarken özellikle köşelere yakın mevcut çatlakların genişledikleri görülmüştür (Şekil 5.18). Bu yük seviyesinde Kat.1 kolonlarında oluşan eğilme çatlaklarının kat boyunca yayılarak giriş-kolon birleşim bölgelerine kadar ulaştıkları gözlenmiştir.



Şekil 5.18 Kat.1 betonarme dolgu duvarlarda oluşan diyagonal çatlaklar

- Kat.2 perde duvarlarında ilk kılcal çatlaklar 185kN yük düzeyinde köşelerden başlayarak oluşmaya başlamıştır. Bu aşamada sol çerçeve Kat.1 kolonunun giriş birleşim bölgesinde ciddi bir diyagonal kesme çatlağının oluştuğu ve ötelenme hareketinin hızlandığı görülmüştür (Şekil 5.19).

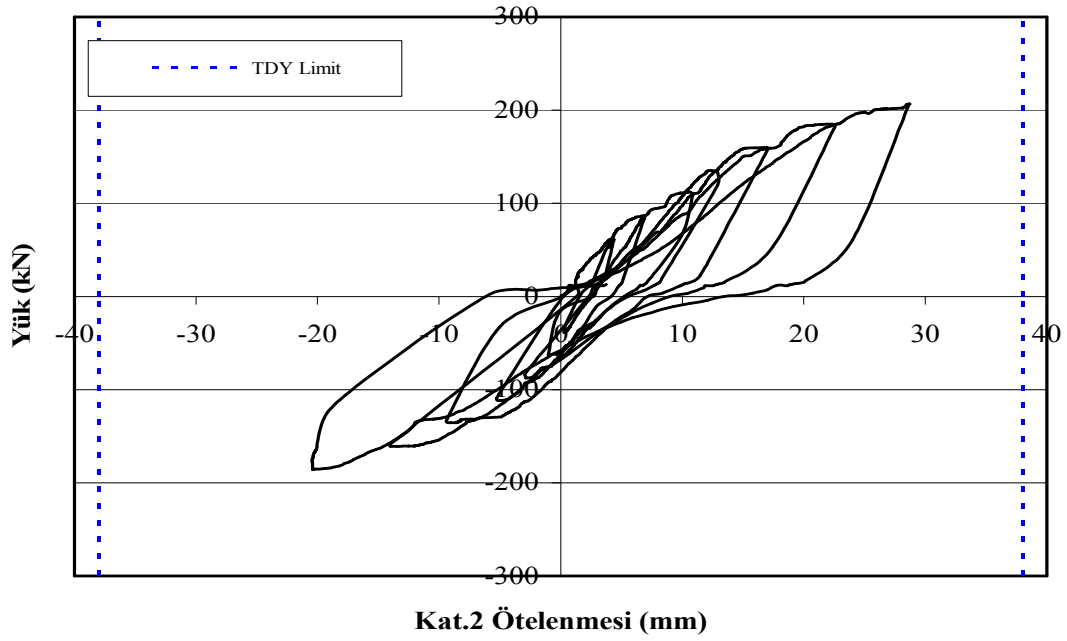


Şekil 5.19 Sol çerçeve Kat.1 kolon-kiriş birleşim bölgesinde oluşan kesme çatlakları

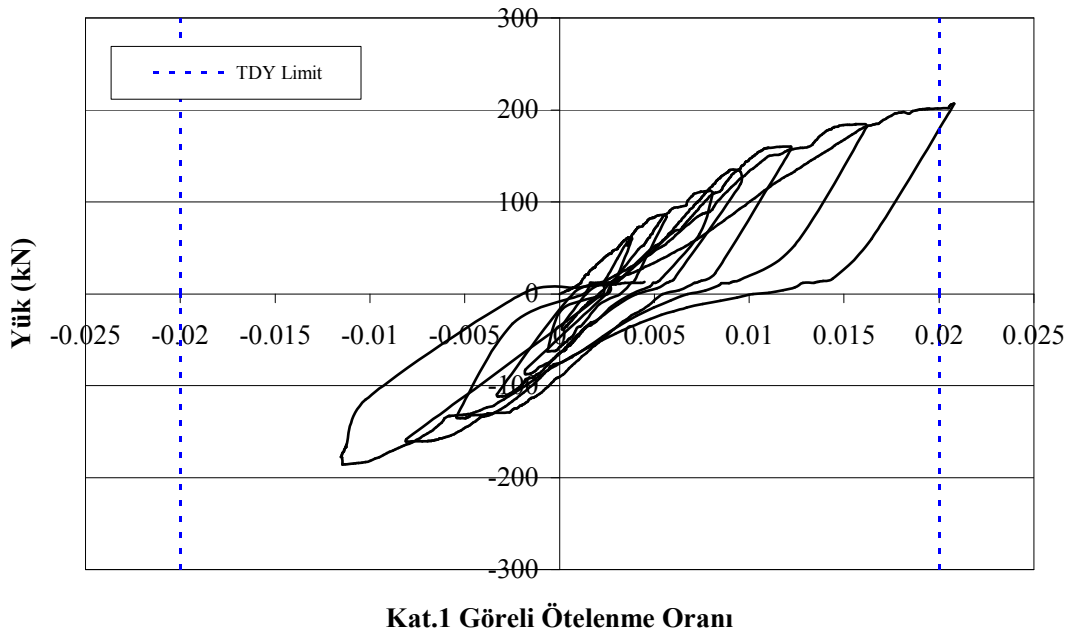
- Yüklemin ilerleyen aşamalarında dolgu duvarlarda oluşan çapraz çatlakların sayısı ve genişlikleri artarken kolonların temel seviyelerinde oluşan çatlakların iyice genişleyip yaklaşık 5mm boyutuna ulaştığı görülmüştür. Yükleme 260kN seviyesine ulaştığında sol çerçeve Kat.1 kolon-kiriş birleşim bölgesinde oluşan diyagonal kesme çatlaklarının hızla açıldığı (Şekil 5.20) ve numunenin yanal hareketi hızla artarken uygulanan ilave yükleri taşıyamadığı görülmüş ve yüklemeye son verilmiştir.



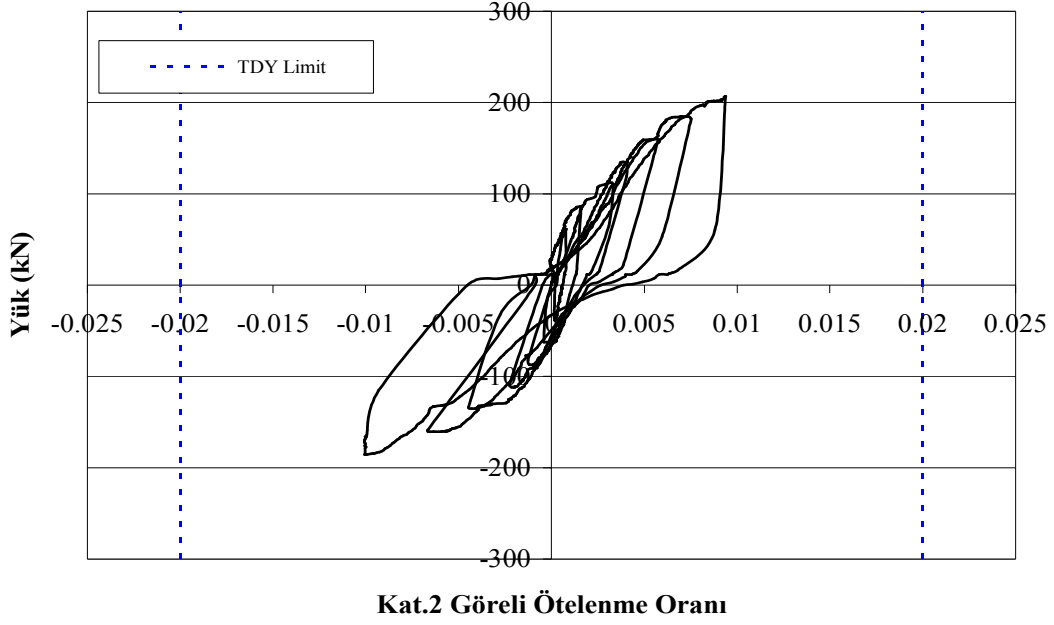
Şekil 5.20 Sol çerçeve kolonunda Kat.1 seviyesinde oluşan kesme çatlakları son hali.



Şekil 5.23 S3 numunesi için Kat.2 seviyesi yük-ötelenme değişimi



Şekil 5.24 S3 numunesi için Kat.1 seviyesi yük-görelü ötelenme oranı değişimi



Şekil 5.25 S3 numunesi için Kat.2 seviyesi yük-görelî ötelenme oranı değışimi

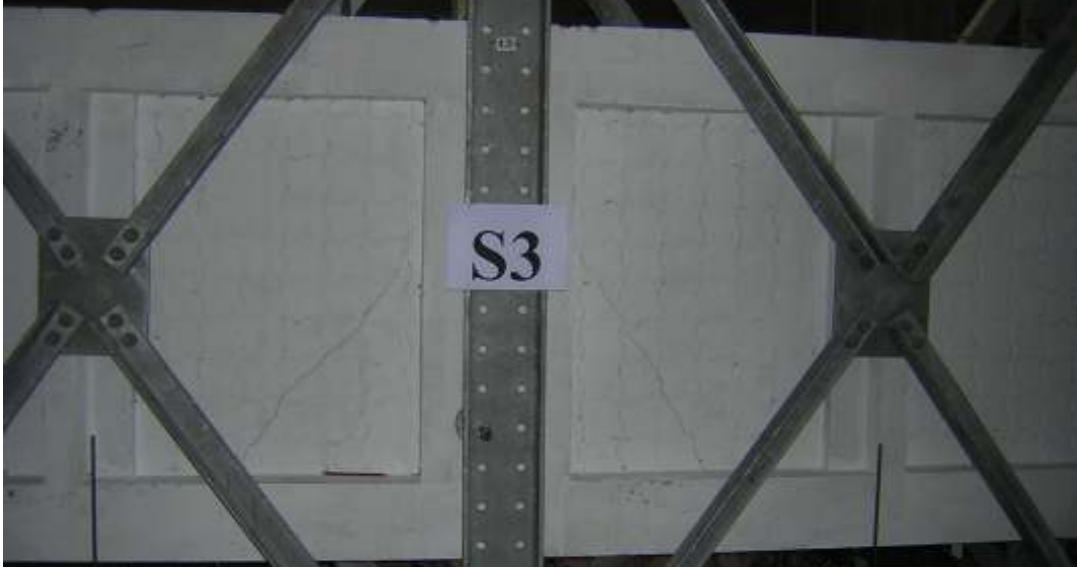
Deney sırasındaki gözlemler aşağıda özetlendiği gibidir.

- 85kN yük düzeyinde çerçeve Kat.1 kolon tabanlarında ilk kılcal eğilme çatlaklarının oluştuğu görülmüştür
- Yükleme 110kN seviyesine ulaştığında her iki çerçevenin Kat.1 dolgu duvarlarında ilk diyagonal çatlaklar oluşmaya başlamıştır (Şekil 5.26).



Şekil 5.26 Kat.1 dolgu duvarlarında ilk kılcal çatlaklar.

- Yükleme 135kN seviyesine ulaştığında her iki çerçevenin Kat.1 dolgu duvarlarındaki diyagonal çatlaklar 1mm genişliğe ulaşmıştır (Şekil 5.27).



Şekil 5.27 Kat.1 dolgu duvarlarında belirginleşen diyagonal çatlaklar

- Yükleme 160kN seviyesine ulaştığında çerçevelerin Kat.2 dolgu duvarlarında da diyagonal çatlaklar oluşmuş ve boyut olarak Kat.1 dolgu duvarlarındaki çatlakları geride bırakmıştır (Şekil 5.28). Ayrıca Kat.1 kirişlerinde kılcal boyutta eğilme çatlaklarının oluştuğu gözlenmiştir.



Şekil 5.28 Kat.2 dolgu duvarlarında oluşan ve hızla gelişen diyagonal çatlaklar

- Yükleme 185kN seviyesine ulaştığında çerçevelerin Kat.2 dolgu duvarlarında da diyagonal çatlaklar oluşmuş ve boyut olarak Kat.1 dolgu duvarlarındaki çatlakları geride bırakmıştır.Çatlak genişliği yer yer 3mm düzeyine ulaşmış ve Kat.1 dolgu duvarlarının köşelerde çerçeveden ayrılma eğilimine girdiği görülmüştür. Bu aşamadan sonra hasar büyük ölçüde Kat.2 duvarlarında gelişmiştir.
- Yükleme 205kN seviyesine geldiğinde Kat.2 dolgu duvarlarında yeni çatlaklar oluşmuş, mevcut çatlaklar ağırlaşarak yaklaşık 4mm genişliğe ulaşmış ve dolgu duvarların köşelerinde başlayan açılmalar 10mm mertebesine ulaşmıştır Ayrıca bu aşamada sol çerçeve sol kolonunun Kat.1 seviyesindeki kiriş-kolon birleşim bölgesinde hasar oluşmaya başladığı gözlenmiştir (Şekil 5.29).

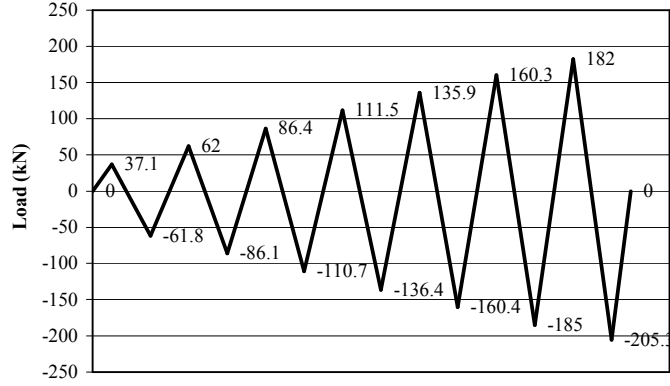


Şekil 5.29 Kat.2 dolgu duvarlarında oluşan ve hızla gelişen diyagonal çatlaklar

- Yükleme 210kN seviyesine geldiğinde sol çerçeve sol kolonunun Kat.1 seviyesindeki kiriş-kolon birleşim bölgesinde kiriş donatı ankraj boylarının yetersiz olması nedeni ile dağılma başlamış ve deneye son verilmiştir.

5.4 S4 numunesi

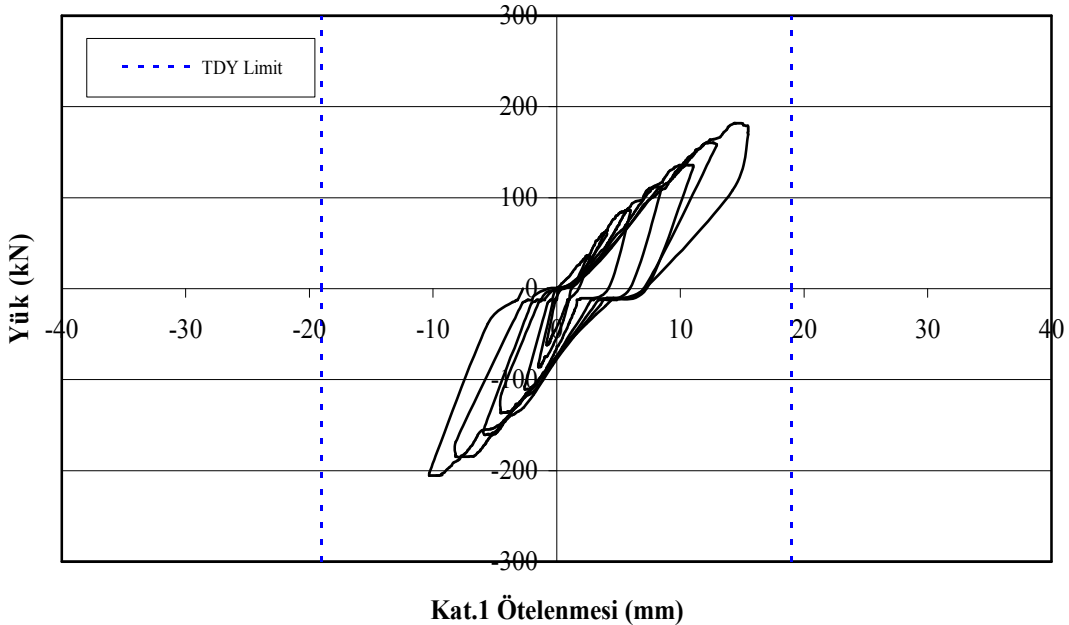
S3 numunesine benzer şekilde ancak S1 referans numunesinin çerçeve açıklıkları üretimi ve uygulaması dalga yüzeyli bloklara göre çok daha kolay olan dikdörtgen kesitli ve 40MPa basınç dayanımlı beton bloklardan oluşturulan dolgu duvarlarla güçlendirilmiş şeklini temsil eden S4 numunesi Şekil 5.30'da görülen tersinir yükleme rejimi altında test edilmiştir. Bu numunenin testinde diğer numunelerin aksine yüklemeye aşağı yönde yük uygulayarak başlanmıştır.



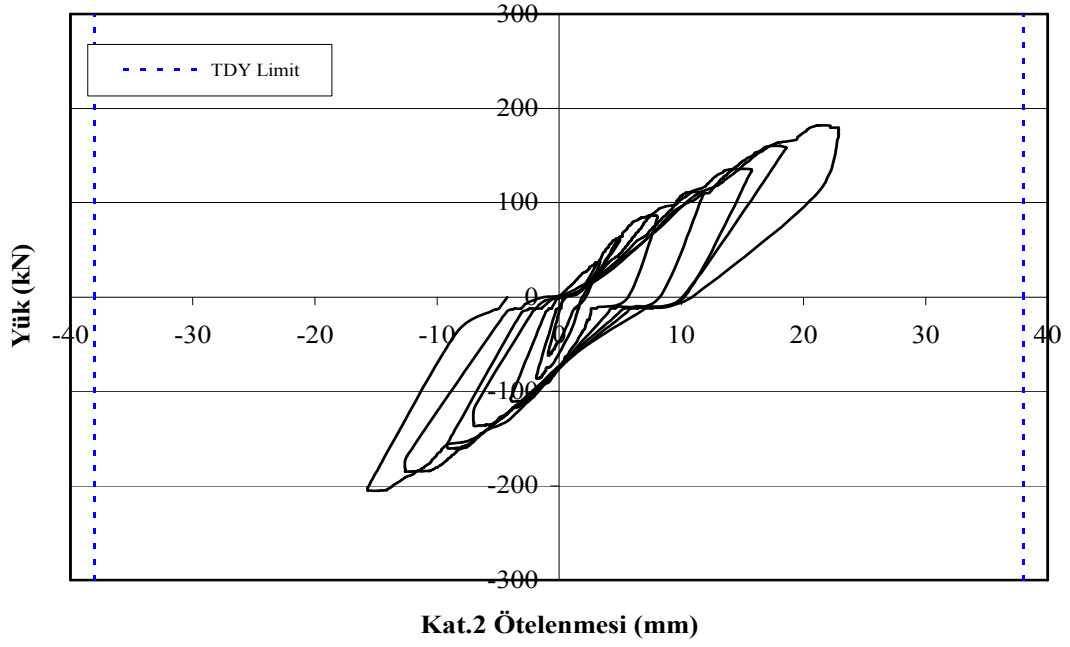
Şekil 5.30 S4 numunesi için yüklem rejimi.

Deney sırasında numuneye uygulanan gerçek yük düzeyi numune ölü ağırlığı dikkate alınıp yüklem yönüne göre düzeltilerek ve çift çerçeve deney numunesinin tek bir çerçevesi için verilmektedir.

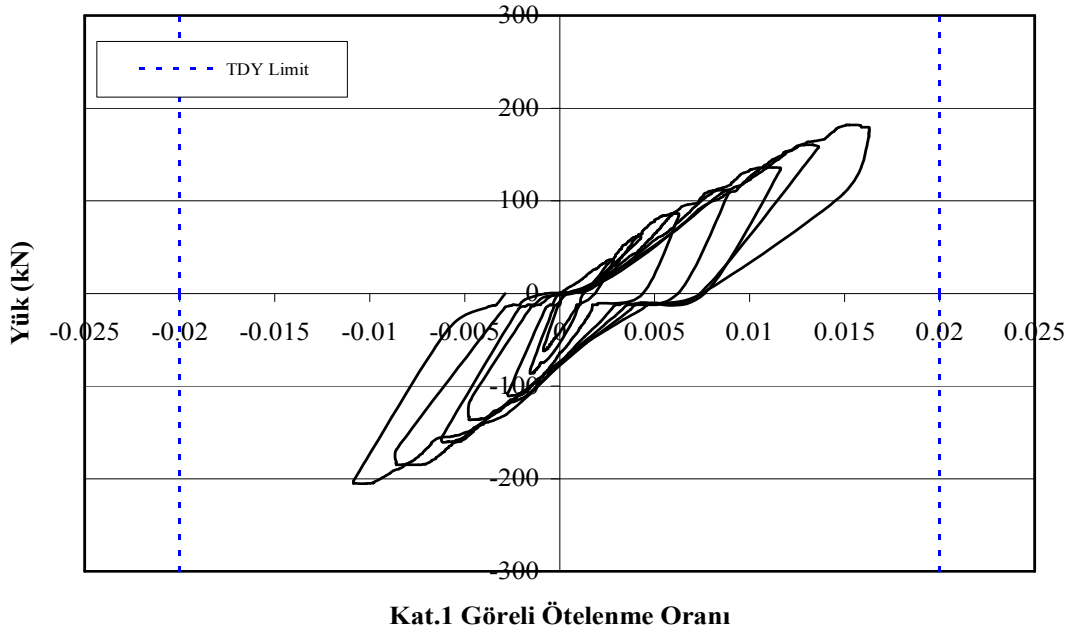
Kat seviyelerinde oluşan yanal ötelenmeler Şekil 5.31 ve Şekil 5.32'de, görel kat ötelenmesi oranları ise Şekil 5.33 ve Şekil 5.34'de görüldüğü gibidir.



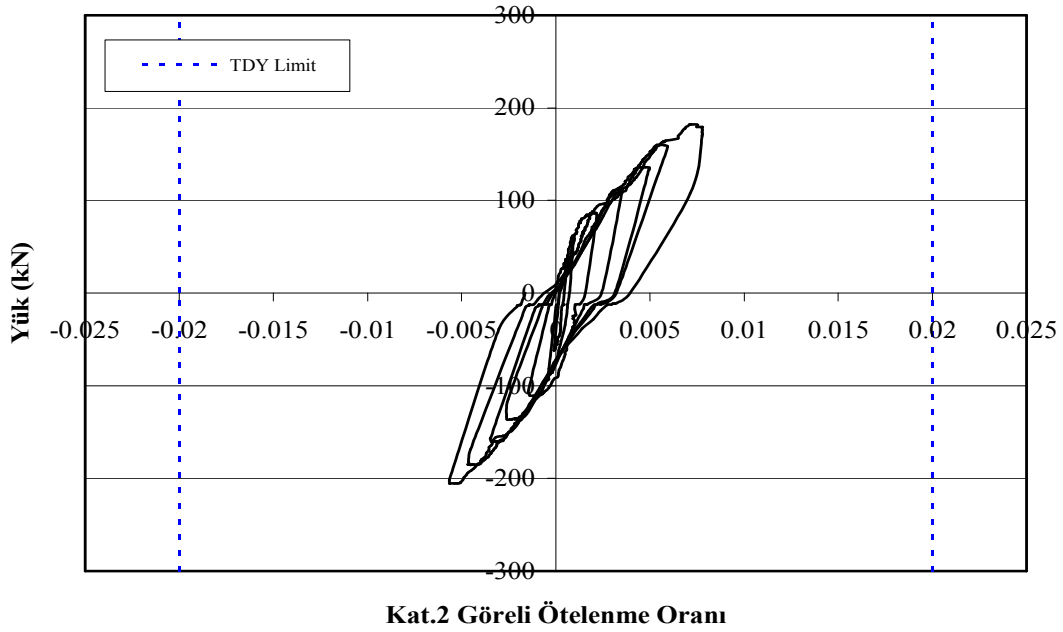
Şekil 5.31 S4 numunesi için Kat.1 seviyesi yük-ötenme değişimi



Şekil 5.32 S4 numunesi için Kat.2 seviyesi yük-ötelenme değişimi



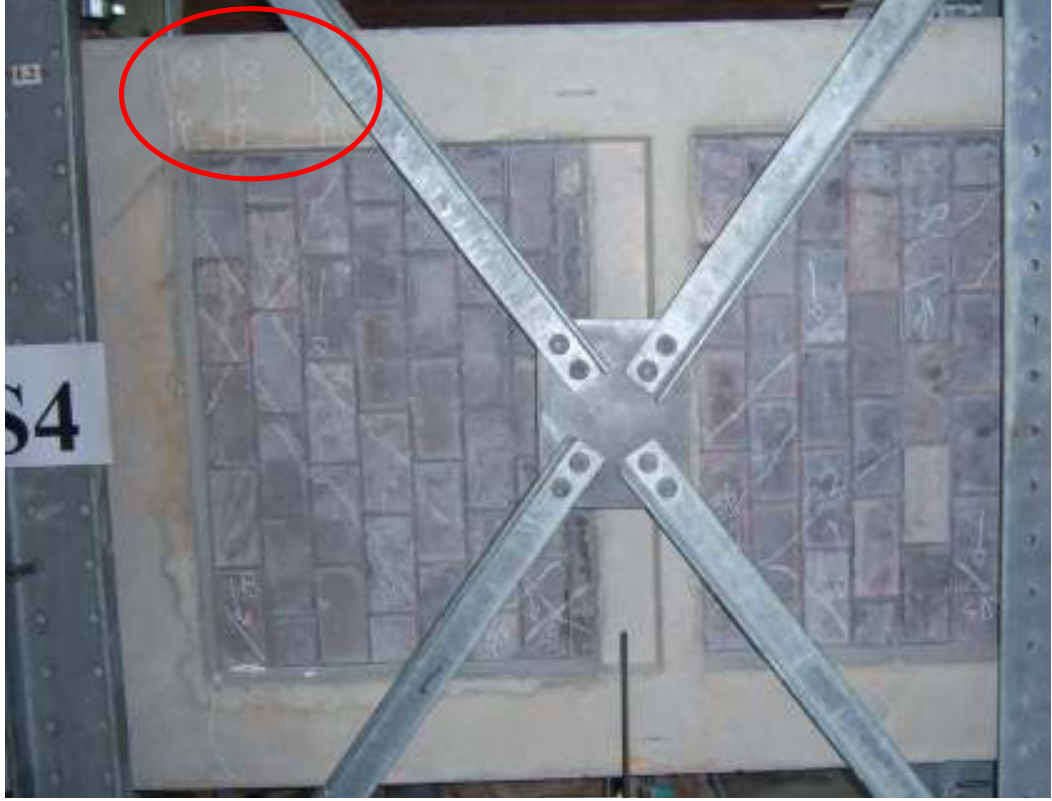
Şekil 5.33 S4 numunesi Kat.1 seviyesi yük-görelî ötelenme oranı değişimi



Şekil 5.34 S4 numunesi Kat.2 seviyesi yük-görelü ötelenme oranı değişimi

Deney sırasındaki gözlemler aşağıda özetlendiği gibidir.

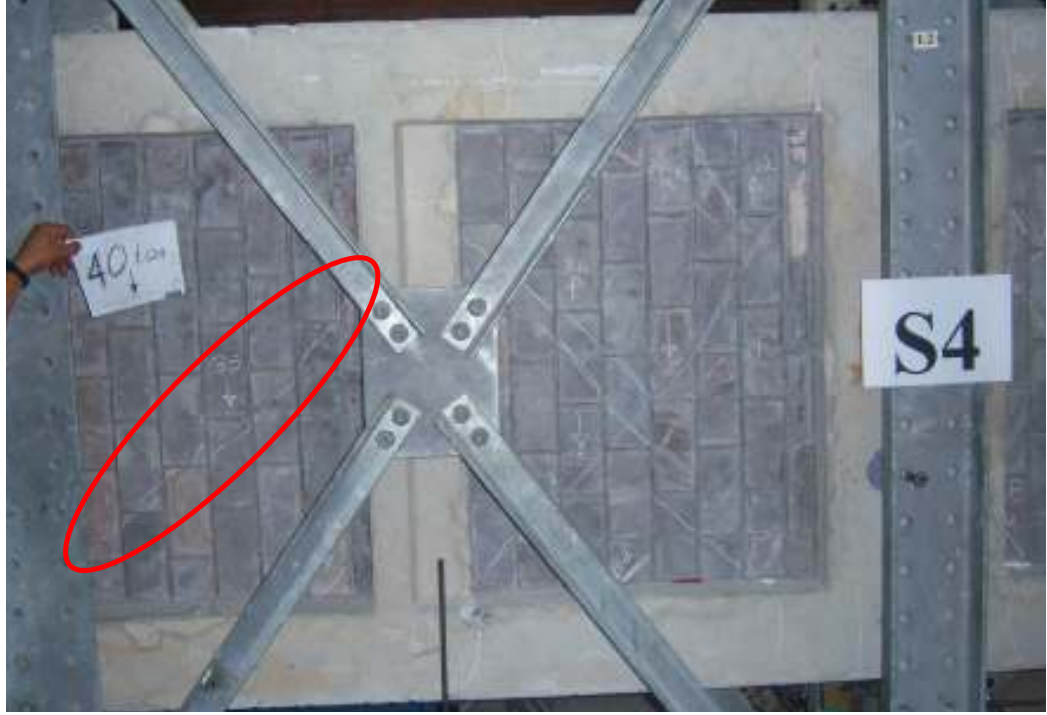
- 85kN yük düzeyinde çerçeve kolonlarının temele yakın bölümlerinde ilk kılcal eğilme çatlaklarının oluştuğu görüldü (Şekil 5.35)
- Yükleme 110kN seviyesine ulaştığında Kat.1 dolgu duvarlarında ilk diyagonal çatlaklar köşelere yakın bölümlerde oluşmaya başladı.
- Yükleme 160kN seviyesine ulaştığında dolgu duvarlarda çatlaklar sayı olarak artarken sol çerçeve Kat.1 dolgu duvarlarında çapraz köşeler arasında ana diyagonal çatlak oluştu (Şekil 5.36).
- Yükleme 185kN seviyesine ulaştığında Kat.2 dolgu duvarlarında genişliği 2mm düzeyinde bir ana diyagonal çatlak oluştu. Kat.2 kolonlarında ve Kat.1 kolon-kiriş birleşimlerinde çatlaklar oluşmaya başladı (Şekil 5.37).
- Yükleme 210kN seviyesine ulaştığında Kat.1 kolon-kiriş birleşimlerindeki çatlaklar ve özellikle Kat.2 duvar çatlakları iyice açılırken sol çerçeve Kat.2 sağ kolon-kiriş birleşiminde oluşan çatlak sonrası numunenin uygulanan yükü boşaltmaya başladığı görülerek deney sonlandırılmıştır. Numunenin deney sonrası durumu Şekil 5.38'de görülmektedir.



Şekil 5.35 S4 numunesi kolon temel seviyesinde oluşan eğilme çatlakları.



Şekil 5.36 S4 numunesi Kat.1 dolgu duvar ana diyagonal çatlakları.



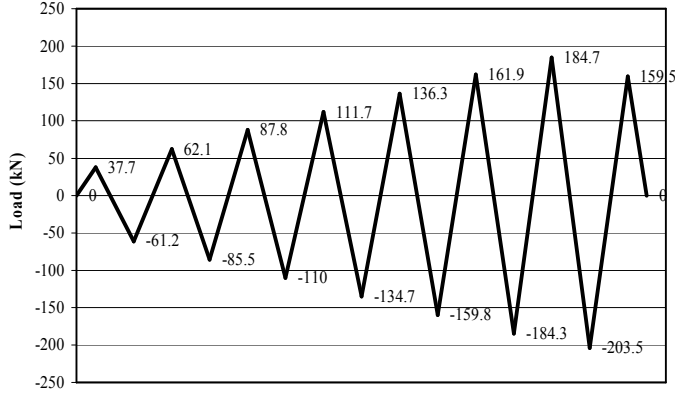
Şekil 5.37 S4 numunesi Kat.2 dolgu duvar ana diyagonal çatlaklı



Şekil 5.38 S4 numunesi son durumu

5.5 S5 numunesi

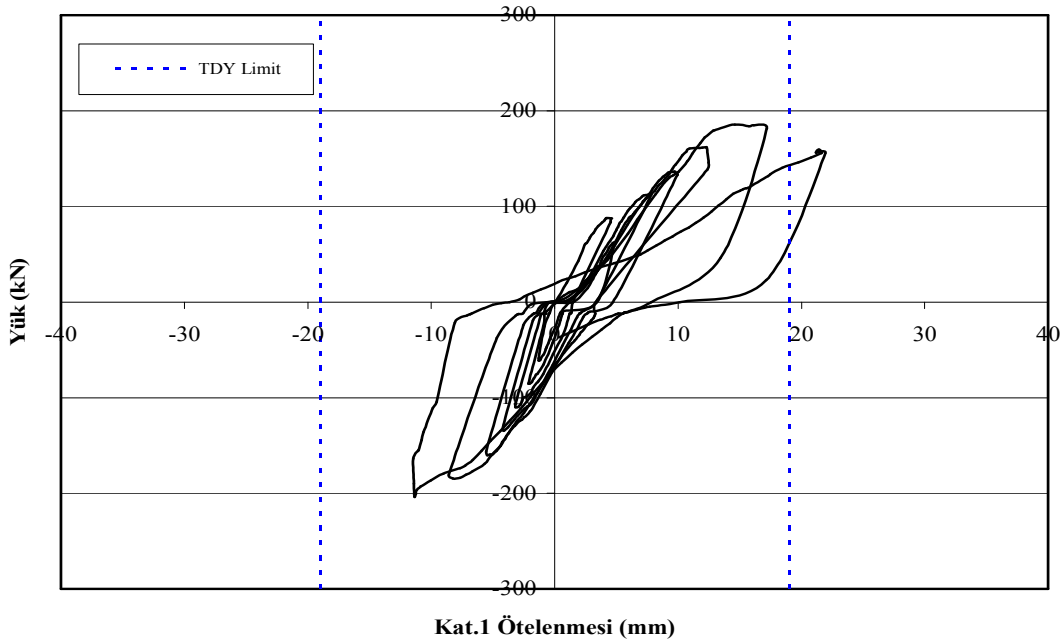
S3 numunesine benzer şekilde S1 referans numunesinin çerçeve açıklıkları dalga yüzeyli ancak 70MPa basınç dayanımlı beton bloklardan oluşturulan dolgu duvarlarla güçlendirilmiş şekli olan S5 numunesi Şekil 5.39'da görülen tersinir yükleme rejimi altında test edilmiştir.



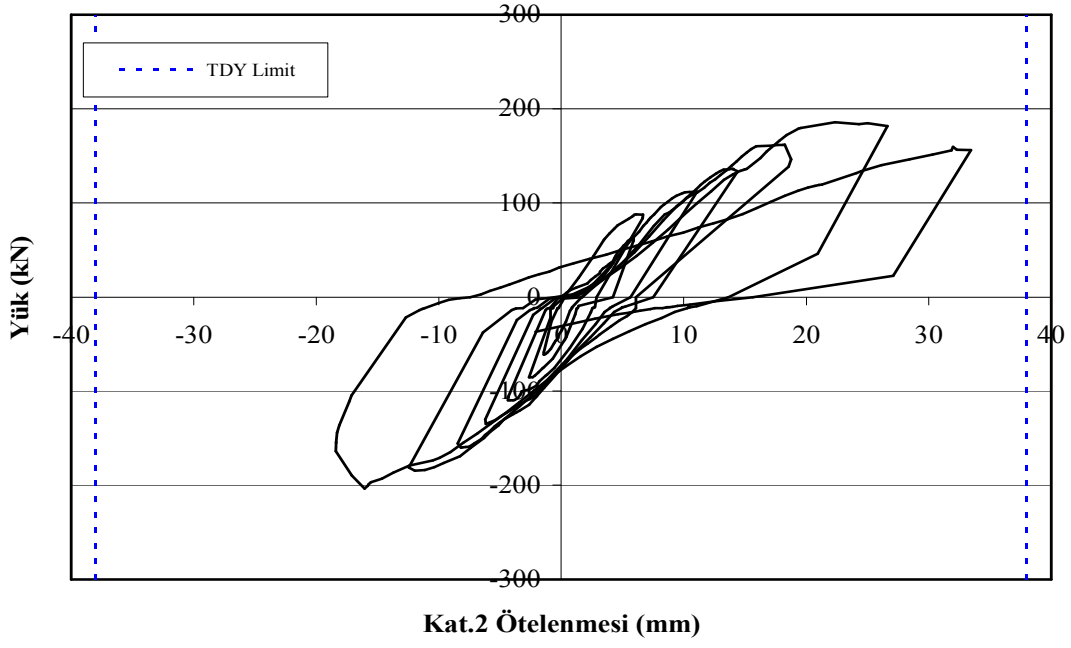
Şekil 5.39 S5 numunesi için yükleme rejimi.

Deney sırasında numuneye uygulanan gerçek yük düzeyi numune ölü ağırlığı dikkate alınıp yükleme yönüne göre düzeltilerek ve çift çerçeve deney numunesinin tek bir çerçevesi için verilmektedir.

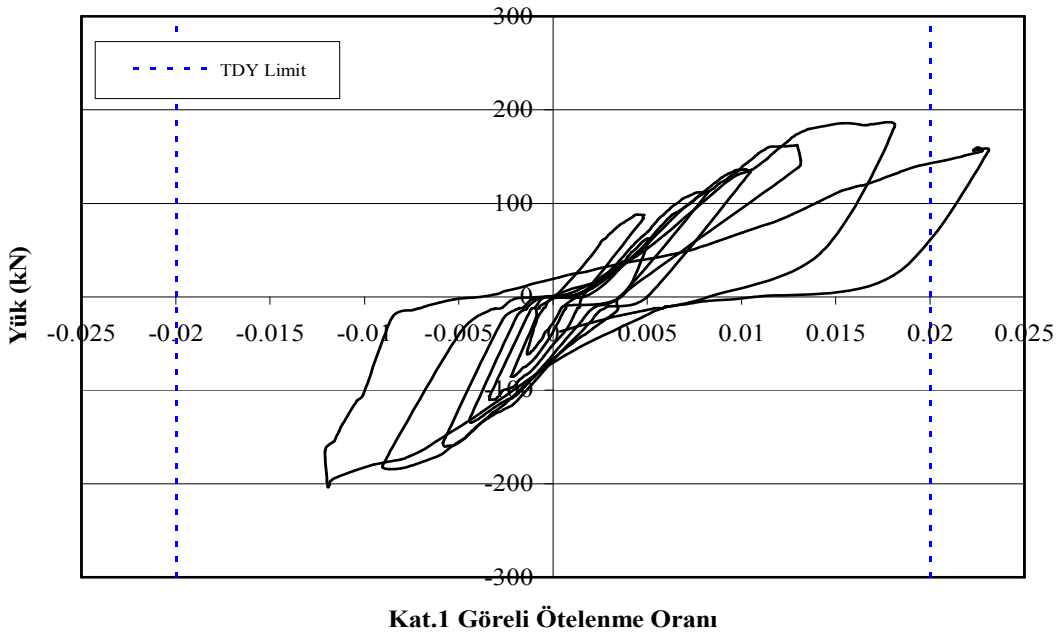
Kat seviyelerinde oluşan yanal ötelenmeler Şekil 5.40 ve Şekil 5.41'de, görece kat ötelenmesi oranları ise Şekil 5.42 ve Şekil 5.43'de görüldüğü gibidir.



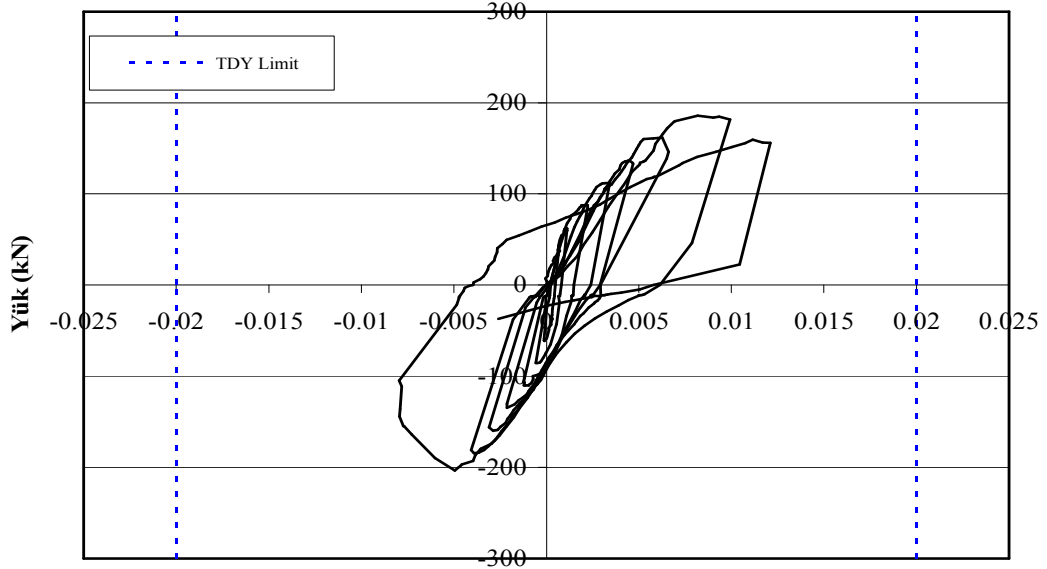
Şekil 5.40 S5 numunesi için Kat.1 seviyesi yük-ötenme değişimi



Şekil 5.41 S5 numunesi için Kat.2 seviyesi yük-ötelenme değişimi



Şekil 5.42 S5 numunesi Kat.1 seviyesi yük-görelî ötelenme oranı değişimi



Kat.2 Görelü Ötelenme Oranı

Şekil 5.43 S5 numunesi Kat.2 seviyesi yük-görelü ötelenme oranı değişimi

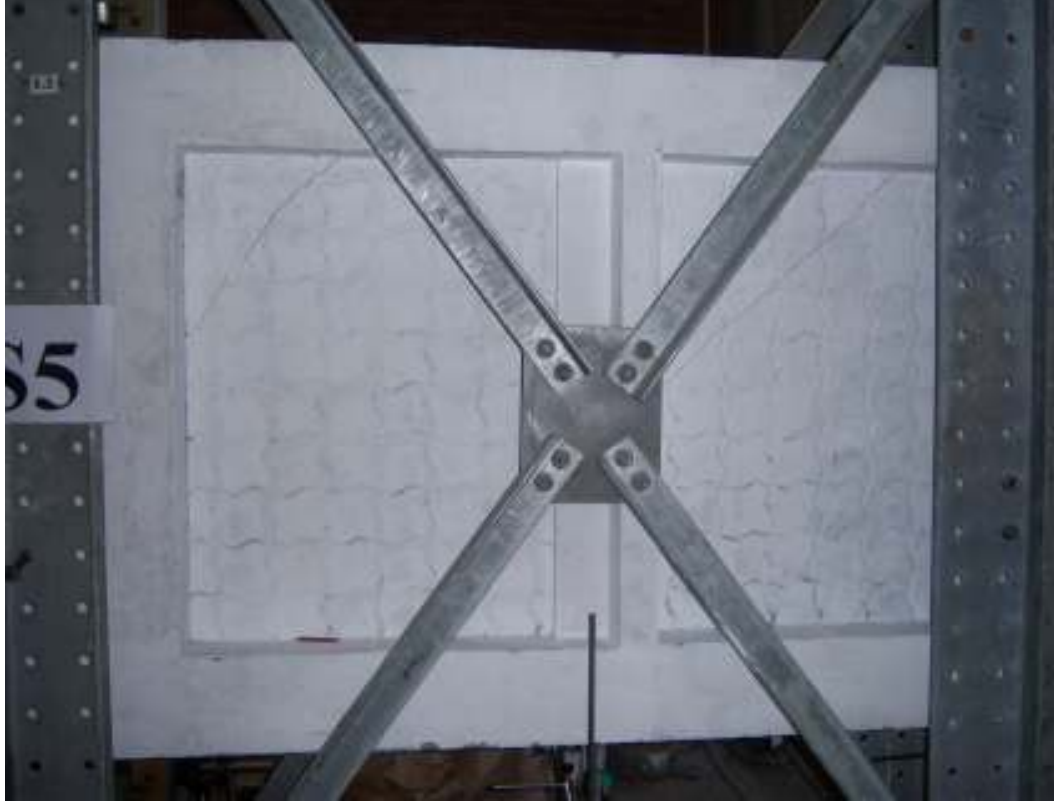
Deney sırasındaki gözlemler aşağıda özetlendiği gibidir.

- İlk iki yükleme döngüsünde numunede hiçbir hasar gözlenmedi.
- 90kN yük düzeyinde Kat.1 kolonlarının temel seviyelerinde dolgu duvar içine doğru ilerleyen kılcal eğilme çatlakları oluşmaya başladı (Şekil 5.44).



Şekil 5.44 S5 numunesi Kat.1 temel seviyesinde kolon eğilme çatlakları.

- 115kN yük düzeyinde Kat.1 dolgu duvarların temel seviyesi köşelerinde daha önce köşelerde oluşan çatlakların paralel yeni çatlaklar olarak açıklık ortasına doğru ilerledikleri görüldü (Şekil 5.44).
- 160kN yük düzeyinde Kat.1 kolon eğilme çatlaklarının sayıca artarak kat seviyesine kadar ulaştığı, sağ çerçeve Kat.1 dolgu duvarındaki çatlakların genişlediği ve Kat.2 dolgu duvarlarında ve kat kirişinde ilk çatlakların oluşmaya başladığı görüldü (Şekil 5.45)



Şekil 5.45 S5 numunesi sağ çerçeve Kat.2 dolgu duvar çatlağı.

- 185kN da sol çerçeve Kat.2 duvarında taban kirişine kadar işleyen ilk çatlak oluştu ve hızla açıldı (Şekil 5.46). Bu aşamada Kat.2 kolon-kiriş birleşim bölgesinde dağılma eğilimi başladığı gözlemlendi (Şekil 5.47).
- Yükleme 200kN seviyesini aştığında sol çerçeve Kat.2 dolgu duvarındaki çatlak açıklığının önce yaklaşık 10mm düzeyine ulaştığı, duvarın çerçeveden ayrılmaya başladığı ve çerçeve sağ kolonu Kat.1 seviyesindeki kiriş birleşim bölgesinde derin bir kesme çatlağının oluştuğu (Şekil 5.48) görülmüştür. Ardından Kat.1 seviyesindeki sağ kolon-kiriş birleşim bölgesinin dağılmaya başladığı (Şekil 5.49) gözlemlenmiş ve yükleme kesilerek deneye son verilmiştir. S5 nunesinin son hali Şekil 5.50'de görülmektedir



Şekil 5.46 S5 numunesi sol çerçeve Kat.2 dolgu duvar çatlağı.



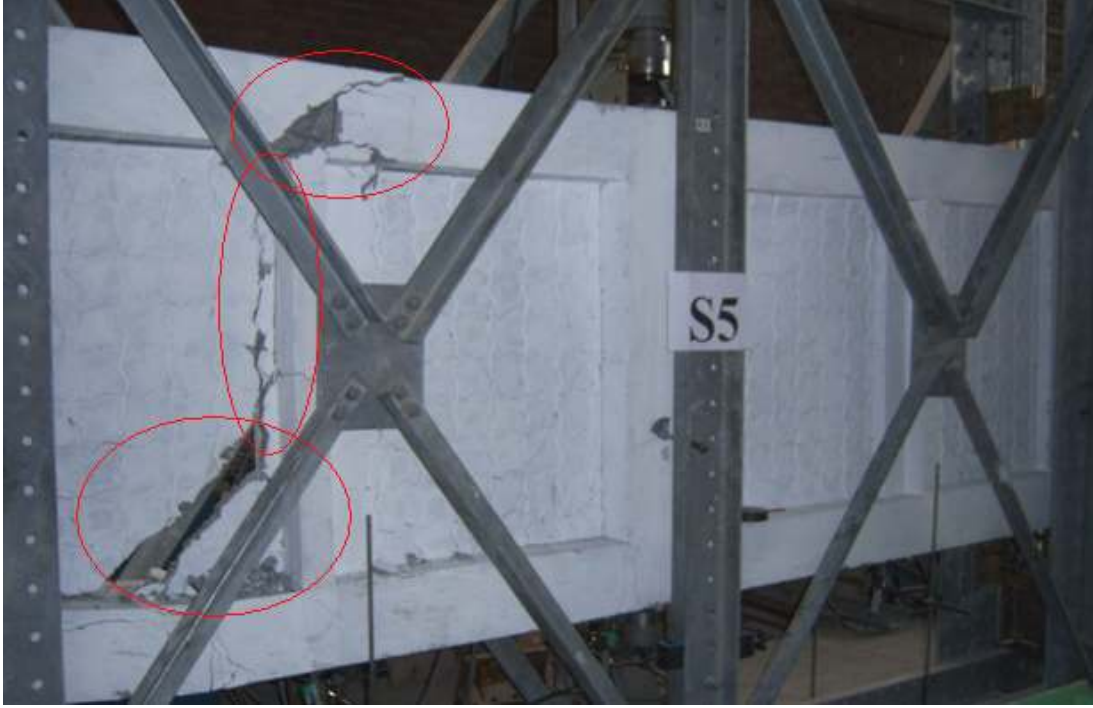
Şekil 5.47 S5 numunesi sol çerçeve Kat.2 kokon-kiriş birleşimi çatlağı.



Şekil 5.48 S5 numunesi sol çerçeve Kat.2 kolon-kiriş birleşimi kesme çatlağı.



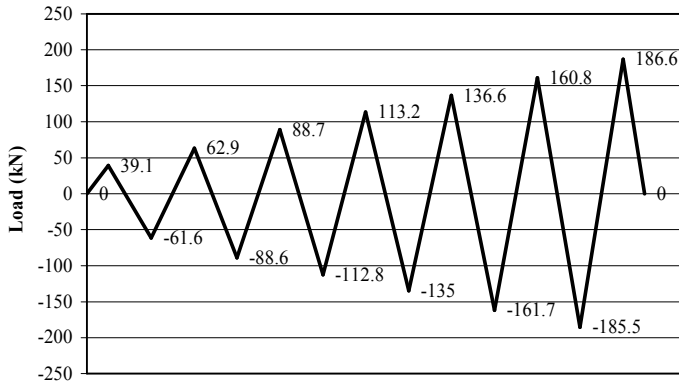
Şekil 5.49 S5 numunesi sol çerçeve Kat.2 kolon-kiriş birleşimi hasarı.



Şekil 5.50 S5 deney numunesinin son hali.

5.6 S6 numunesi

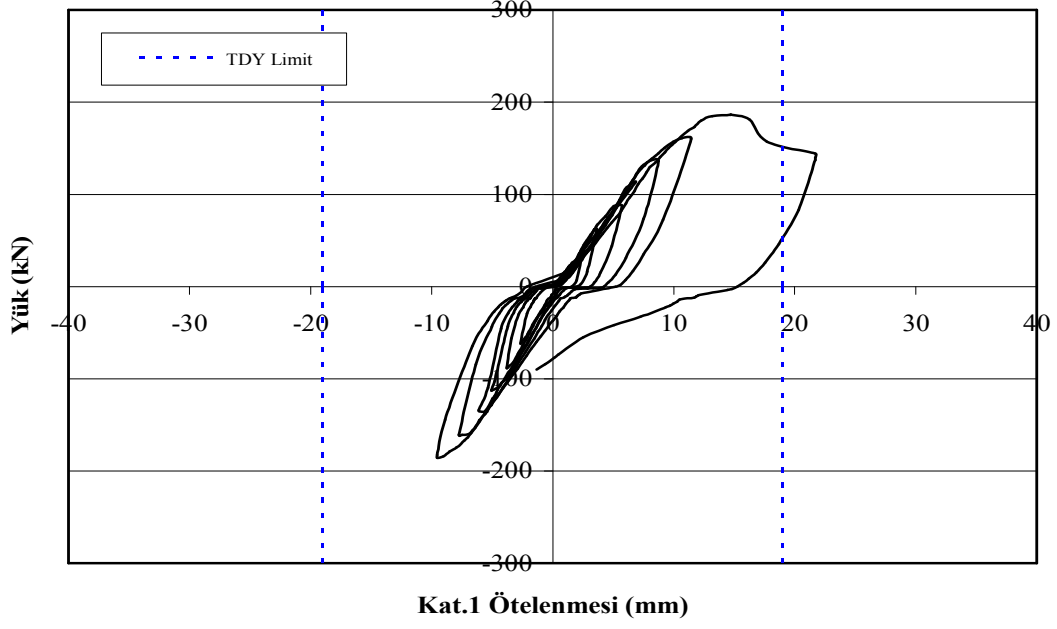
S4 numunesine benzer şekilde S1 referans numunesinin çerçeve açıklıkları dikdörtgen kesitli ancak 70MPa basınç dayanımlı beton bloklardan oluşturulan dolgu duvarlarla güçlendirilmiş şekli olan S6 numunesi Şekil 5.51'de görülen tersinir yükleme rejimi altında test edilmiştir.



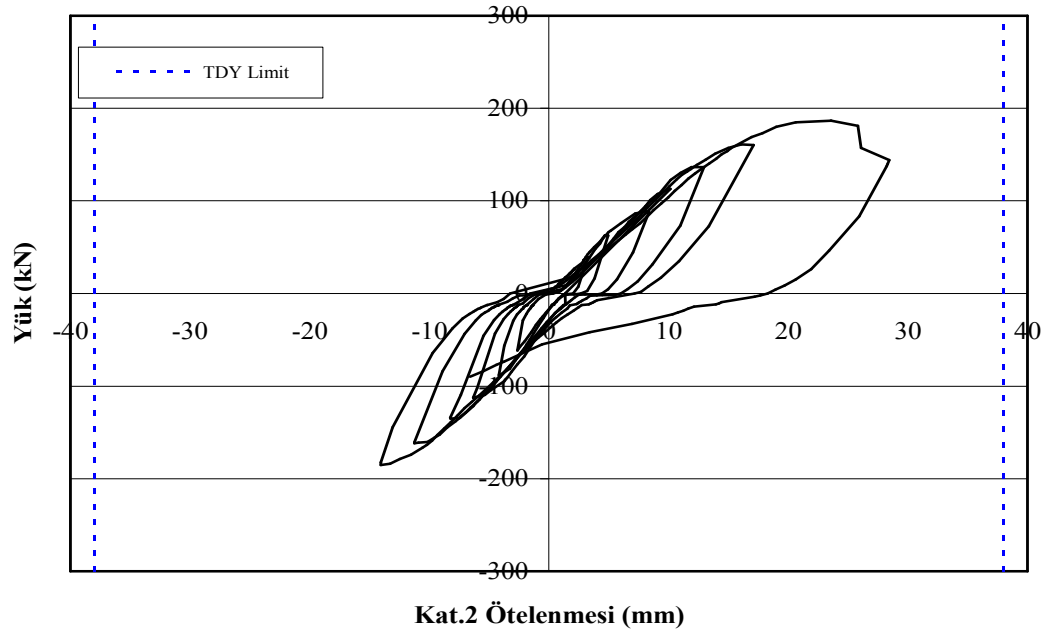
Şekil 5.51 S6 numunesi için yükleme rejimi.

Deney sırasında numuneye uygulanan gerçek yük düzeyi numune ölü ağırlığı dikkate alınıp yükleme yönüne göre düzeltilerek ve çift çerçeve deney numunesinin tek bir çerçevesi için verilmektedir.

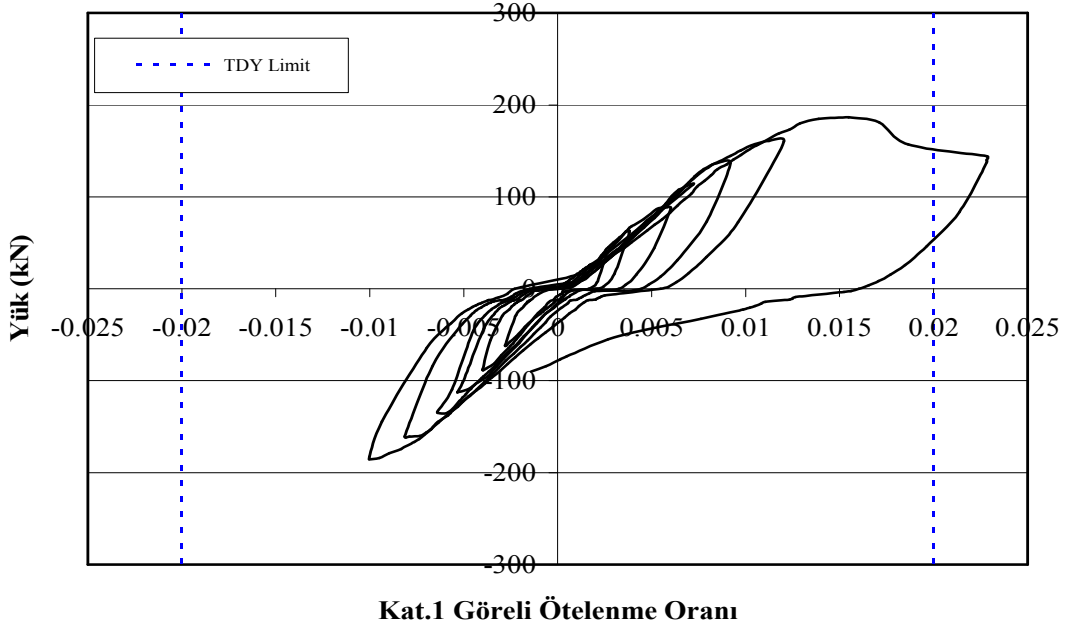
Kat seviyelerinde oluşan yanal ötelenmeler Şekil 5.52 ve Şekil 5.53'de, görelî kat ötelenmesi oranları ise Şekil 5.54 ve Şekil 5.55'de görüldüğü gibidir.



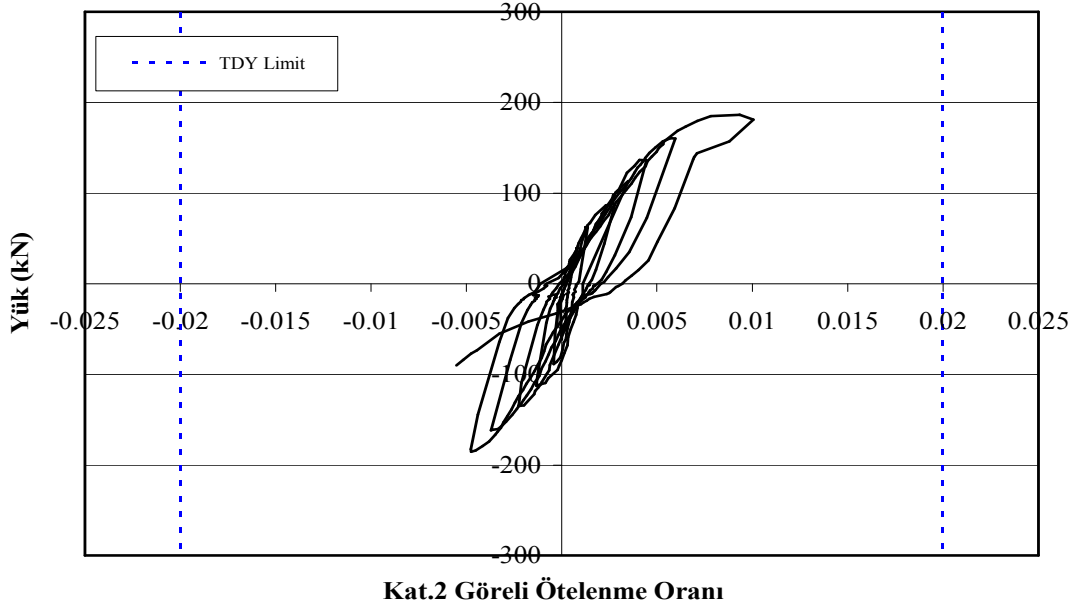
Şekil 5.52 S6 numunesi için Kat.1 seviyesi yük-ötelenme değişimi



Şekil 5.53 S6 numunesi için Kat.2 seviyesi yük-ötelenme değişimi



Şekil 5.54 S6 numunesi Kat.1 seviyesi yük-görelü ötelenme oranı değişimi



Şekil 5.55 S6 numunesi Kat.2 seviyesi yük-görelü ötelenme oranı değişimi

Deney sırasındaki gözlemler aşağıda özetlendiği gibidir.

- İlk iki yükleme döngüsünde numunede hiçbir hasar gözlenmedi.
- Her iki yönde yük yaklaşık 85kN düzeyine geldiğinde Kat.1 kolonlarının temel seviyelerinde kılcal eğilme çatlakları, dolgu duvarların temele komşu köşelerinde ise yaklaşık kolon orta noktalarından başlayarak temel kirişine doğru ilerleyen diyagonal çatlaklar oluşmaya başladı.
- Yük 110kN düzeyine geldiğinde Kat.1 dolgu duvarlarında daha önce oluşan çatlakların genişleyip ilerleyerek temel kirişine ulaştığı gözlemlendi (Şekil 5.56)

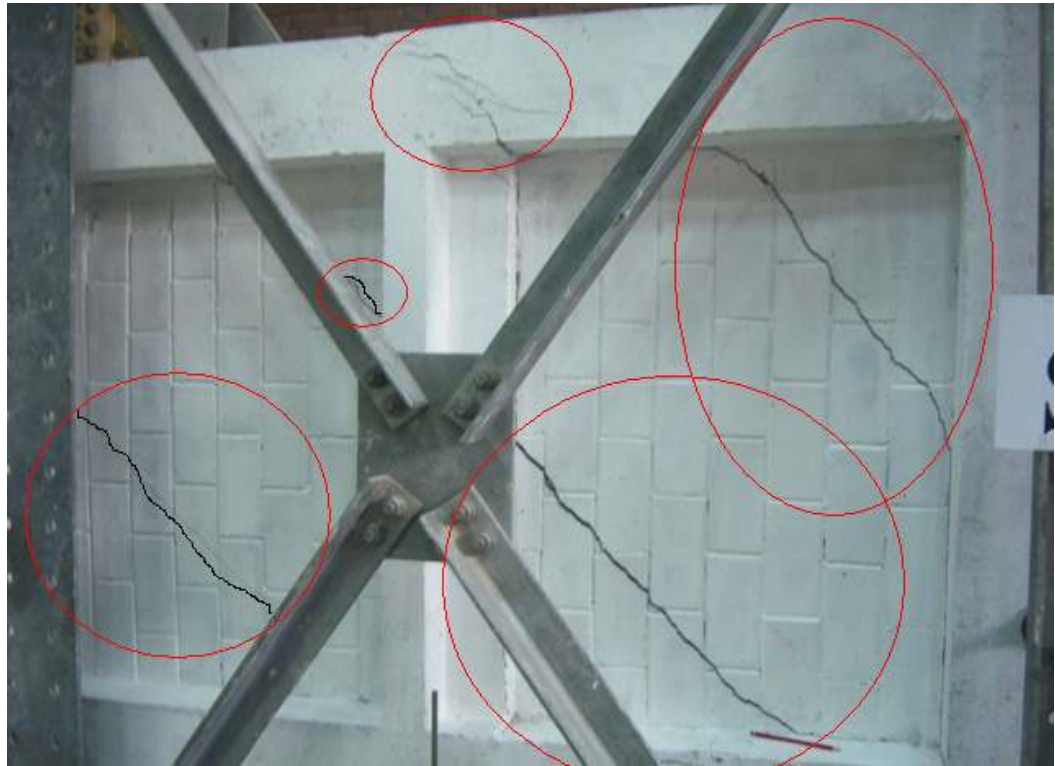


Şekil 5.56 S6 numunesinin Kat.1 dolgu duvarlarında oluşan çatlaklar.

- Yük aşağı yönde 160kN düzeyine ulaştığında sağ çerçeve Kat.2 dolgu duvarında ilk diyagonal çatlağın oluştuğu gözlemlendi (Şekil 5.57).
- Yük yukarı yönde 175kN düzeyine ulaştığında sol çerçeve Kat.2 dolgu duvarında ilk diyagonal çatlak oluşurken Kat.1 dolgu duvarında da ikinci bir diyagonal çatlağın oluştuğu ve Kat.1 seviyesindeki kolon-kiriş birleşiminde kesme çatlağının oluşmaya başladığı gözlemlendi (Şekil 5.58).
- Yük yukarı yönde 185kN düzeyine ulaştığında sol çerçeve Kat.1 dolgu duvarındaki diyagonal çatlakların genişliği 20mm düzeyine ulaşırken kat seviyesindeki sağ kolon-kiriş birleşimi ile çaprazındaki sol kolon-temel birleşim bölgelerinin dağılmaya başladığı görüldü (Şekil 5.59). Bu aşamadan sonra numunenin yük boşaltmaya başladığı görülerek yüklemeye son verildi. Deney numunesinin son hali Şekil 5.60'da görülmektedir.



Şekil 5.57 S6 numunesi sağ çerçeve Kat.2 dolgu duvarında oluşan ilk çatlak.



Şekil 5.58 S6 numunesi sol çerçevesinde oluşan dolgu duvar ve birleşim hasarı.



Şekil 5.59 S6 numunesi sol çerçevesinde oluşan dolgu duvar ve birleşim hasarı.



Şekil 5.60 S6 numunesinin deney sonrası görünüşü.

6 DENEY SONUÇLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ

Bu bölümde deneyler sonucunda belirlenen numune çerçevelerin yanal tersinir yük altındaki davranışları karşılaştırmalı olarak dolgu duvar davranışı, çerçeve dayanımı, çerçeve yanal rijitliği, yanal rijitlik sönümlenmesi ve çerçeve enerji sönümlenme kapasitesi açısından değerlendirilecektir.

6.1 Beton dolgu duvar davranışı

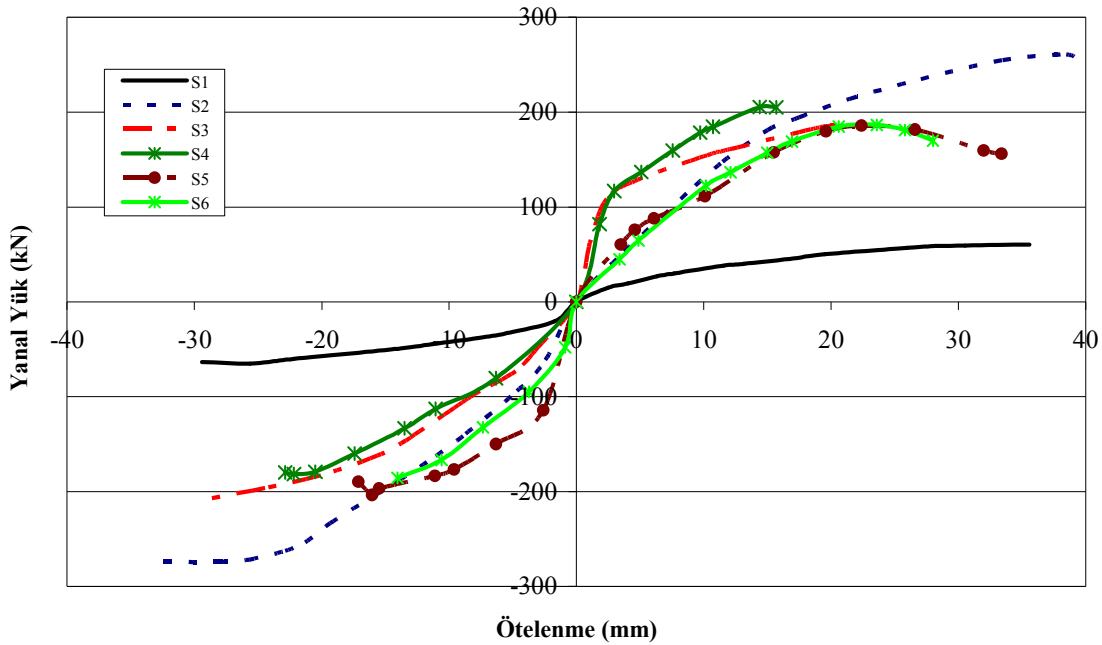
Deneyler sırasında yüksek dayanımlı beton bloklar kullanılarak oluşturulan dolgu duvar panellerin beton bloklar arasındaki derz harcının yüksek çekme dayanımı ve aderans kapasitesi sonucu adeta yerinde döküm donatısız bir beton blok gibi davrandığı görülmektedir. Bu nedenle de beton bloklulu dolgu duvarlar ile betonarme dolgu duvar paneller yanal yük altında ilk diyagonal çatlakların oluşumuna kadar benzer davranış göstermektedirler. Ancak bu aşamadan sonra davranışın farklılaştığı gözlenmiştir. Bu davranış farkı ana hatları ile iki başlık altında şöyle özetlenebilir.

Betonarme panelerde oluşan diyagonal çatlakların artan yük altında sürekli açılması mevcut donatı sayesinde kontrol altında tutulmakta ve panelin daha önce görel olarak daha az zorlanan bölgelerinde yeni çatlakların oluşmasına yol açmaktadır. Böylece betonarme panelerde oluşan diyagonal çatlaklar panel yüzeyine oldukça dengeli olarak yayılmaktadır. Buna karşın beton blok dolgu duvarlarda oluşan çatlaklar ise artan yük altında panelin daha az zorlanan bölümlerinde çekme gerilmelerinin atışını büyük ölçüde kontrol altında tutarak bu bölgelerde yeni diyagonal çatlakların oluşumunu engellemektedir.

Betonarme panelerde dolgu duvar ile çerçeve sistem arasında ankraj donatıları ile sağlanan bağlantı nedeni ile yükleme yönüne göre çapraz doğrultulardan birinde basınç bandı oluşurken diğer doğrultuda daha zayıf ta olsa bir çekme bandı oluşabilmekte ve bu da basınç bandı içindeki gerilme düzeyini görel olarak azaltmaktadır. Buna karşın beton bloklulu panelerde ise çekme bandı oluşmadığı için basınç bandı zorlanma düzeyi daha yüksek olmaktadır. Daha da kötüsü beton blok dolgu duvarlarda paneller ile çerçeve sistem arasında süreklilik bulunmadığından panel çerçeve arayüzlerinde yükleme yönüne göre çekme bandına karşı gelen köşelerden başlayarak ayrılmalar başlamakta ve basınç bandı zorlanmaları doğrudan köşe birleşim noktalarına yöneltilmektedir. Bu da neticede yeterince güçlü olmayan birleşim bölgelerinin dağılmasına yol açmaktadır. Oysa betonarme panelerde çerçeve sistem ile arasındaki ankrajlarla sağlanan süreklilik sayesinde panel-çerçeve arayüzünde oluşan kesme kuvvetleri sonucu basınç bandı içindeki zorlamalar çerçeve sisteme birleşim bölgelerinde daha geniş bir alanda ve çerçeve elemanları da kısmen kullanılarak aktarılmaktadır. Bu da birleşim bölgelerindeki zorlanmaları görel olarak daha düşük bir düzeyde tutmakta ve güçlendirilmiş çerçeve taşıma kapasitesini artırmaktadır.

6.2 Çerçeve yanal yük-deplasman zarf eğrileri

Çerçeve numunelerin tersinir yanal yük döngüleri altındaki deneyleri sırasında elde edilen yük-deplasman eğrilerinin tepe noktaları birleştirilerek oluşturulan zarf eğrileri Şekil 6.1'de verilmektedir. Görüldüğü ve beklendiği gibi boş çerçeve numunesi S1 baz alındığında en iyi ve arzu edilir davranışı yerinde döküm betonarme perde duvarlar ile güçlendirilmiş numune S2 göstermektedir. Bununla birlikte yüksek dayanımlı beton blok dolgu duvarlar kullanılarak güçlendirilen çerçeve numuneler de kendi taşıma gücü kapasiteleri olan yük seviyesine kadar yerinde döküm betonarme perdeli referans sisteme (S2) benzer bir davranış göstermektedir. Ancak bu yük seviyesinde dolgu duvarlar hızla bütünlüklerini kaybetmekte ve çerçevelerin yük taşıma kapasitelerinde betonarme perde duvarlı sisteme oranla çok daha hızlı bir düşüş başlamaktadır.



Şekil 6.1 Numuneler için yanal yük-ötelenme zarf eğrileri

6.3 Çerçeve yanal dayanımı

Genel olarak çerçeve sistemin yetersiz yanal dayanımını olası bir deprem sırasında oluşması öngörülen yanal zorlamaları güvenle karşılayabilecek düzeye çıkarmak bu tür yapısal sistemlerin güçlendirilmesi çalışmalarında ilk hedef olarak seçilmektedir. Bu nedenle çerçeve sistemler için önerilen güçlendirme yöntem ve stratejileri etkinlik açısından değerlendirilirken incelenen en önemli parametrelerden birisi güçlendirilmiş çerçeve sistemde ulaşılan nihai taşıma kapasitesidir. Çalışmada kullanılan numunelerinin tersinir yanal yükleme rejimi altındaki deneyleri sırasında her bir numune için ulaşılan maksimum yanal yük taşıma kapasitesi ve bu yük düzeyindeki yanal ötelenmeler Tablo 6.1'de verilmektedir.

Tablo 6.1 Deney Numunelerinin Yanal Yük Taşıma Kapasiteleri

Numune	Yukarı Yönde Maksimum Yük (kN)	Yukarı Yönde Ötelenme (mm)	Aşağı Yönde Maksimum Yük (kN)	Aşağı Yönde Ötelenme (mm)
S1	60.1	35.6	65.0	25.6
S2	262.0	39.3	276.4	32.6
S3	185.6	25.8	206.8	30.9
S4	182.0	22.3	205.3	15.6
S5	184.7	22.9	203.5	30.3
S6	186.6	23.6	185.5	14.1

Tablo değerleri incelendiğinde yüksek dayanımlı beton blok dolgu duvarların çerçeve yanal yük taşıma kapasitesini önemli mertebede artırdığı ancak bu artışın yerinde döküm betonarme perde dolgu duvarların sağladığı artış düzeyine ulaşmadığı görülmektedir. Bu farkın nedeni çerçeve boşluklarındaki betonarme perde ve beton blok dolgu duvar panellerin deneyler sırasında ve yüklemenin ileri aşamalarındaki davranışından açıkça görülmektedir. Betonarme perde duvarlar çerçeve sistemine ankrajlı olduklarından adeta elemanlarının çekme veya burkulma kapasitesi sınırlı çapraz diyagonalı perde şeklinde çalışırken beton blok dolgu duvarlar tek diyagonalı veya elemanları kablo olan çapraz diyagonalı perde şeklinde çalışmaktadır.

Tablo 6.1’de beton blok dolgu duvarlı numunelerin (S3,S4,S5,S6) sonuçları incelendiğinde ilk bakışta tüm numunelerin yaklaşık aynı dayanıma sahip olduğu ve dolayısı ile beton blok basınç dayanımının güçlendirilen çerçeve dayanımı üzerinde pek etkisi olmadığı söylenebilir. Ancak, numunelerin deneyler sırasındaki davranışı incelendiğinde arada temel bir fark olduğu görülmektedir. Beton dayanımı 40MPa olan beton bloklarla oluşturulan dolgu duvarlı (S3,S4) numunelerde kapasiteye dolgu duvarlarda oluşan aşırı hasar sonucu ulaşılrken basınç dayanımı 70MPa olan beton bloklarla oluşturulan dolgu duvarlı numunelerde (S5,S6) kapasiteyi betonarme çerçeve dayanımı belirlemektedir. Beton bloklar ile oluşturulan dolgu duvarlar bloklar arasındaki derz harcının yüksek çekme dayanımı ve aderans kapasitesi sonucu adeta yerinde döküm donatısız bir beton blok gibi davrandığından beton blok geometrisinin dolgu duvar dayanımı, dolayısı ile güçlendirilmiş çerçeve yanal yük kapasitesi üzerinde herhangi bir etkisi gözlenmemektedir.

6.4 Çerçeve yanal rijitliği ve rijitlik sönümlenmesi

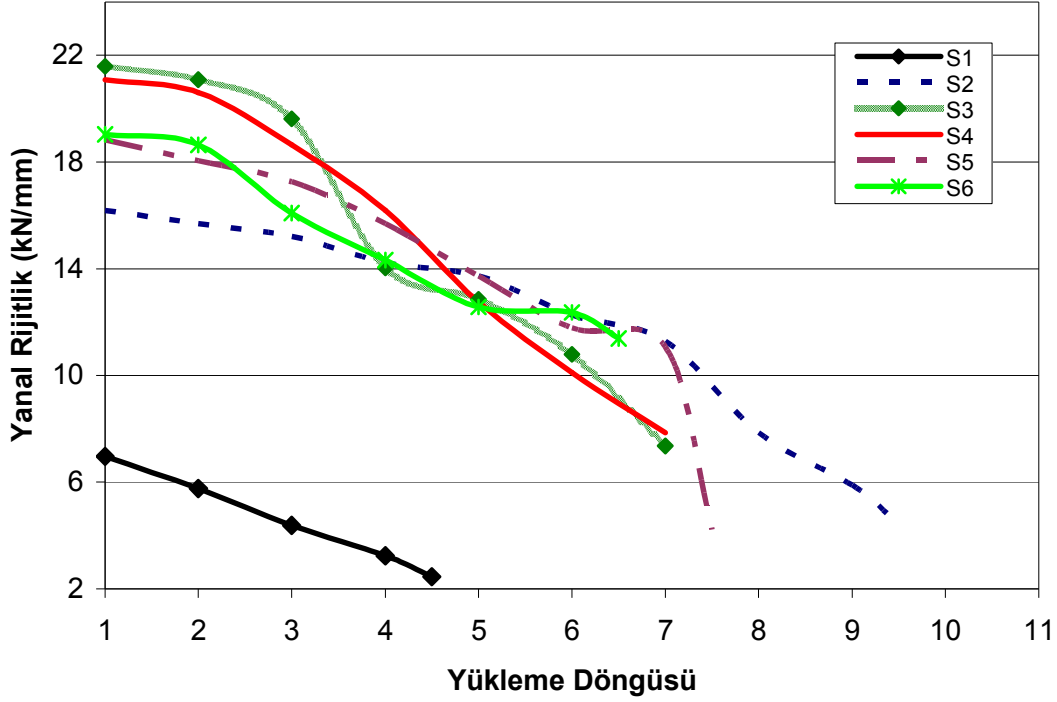
Çerçeve yapısal sistemlerin uygulanan yanal ötelenmelere direncinin ölçüsü olan yanal rijitlik olası bir deprem gibi yanal zorlamalar altında yapısal sistemde oluşan hasarın boyutlarını belirleyen temel bir parametredir. Yetersiz yanal rijitlik çerçeve sistemlerde oluşan aşırı hasarın ana nedenlerinden biri olduğu bilinmekte ve bu nedenle yapısal hasarı kontrol altında tutabilmek için yapısal sistemin yeterli yanal rijitliğe sahip olması gerekmektedir. Bu açıdan iki önemli parametre ise çerçeve yapısal sistemin “başlangıç rijitliği” ve tersinir yükleme altındaki “rijitlik sönümlenmesi” dir.

İlk yükleme döngüsündeki çerçeve sistemin rijitliği olarak tanımlanan başlangıç rijitliği her bir numune için Tablo 6.2’de verilmektedir. Görüldüğü gibi yüksek dayanımlı dolgu duvarlar ile güçlendirilen numunelerin tümünde başlangıç rijitliği yerinde döküm betonarme dolgu duvarlı S2 referans numunesine göre daha yüksektir. Betonarme paneller içindeki donatının henüz etkin olarak devreye girmediği durumu yansıtan bu değerlerin beton blok duvarlı numunelerde daha yüksek olması beton bloklarda kullanılan betonun betonarme panellerde kullanılan betona göre çok daha yüksek olan dayanımı göz önüne alındığında beklenen ve olması gereken bir durumdur. Bu açıdan bakıldığında başlangıç rijitlik değerlerinin normal şartlar altında 70MPa basınç dayanımlı beton bloklar kullanılarak imal edilen S5 ve S6 numunelerinde daha yüksek olması beklenir. Ancak Tablo 6.2’de de görüldüğü gibi bu değer 40MPa basınç dayanımlı beton blokların kullanıldığı S3 ve S4 numunelerinde daha yüksek olarak görülmektedir. Genel olarak bu farkın pek anlamlı olmadığı düşünülmektedir. S6 numunesi için anlaşılabilir bir neden olarak betonarme çerçevesi dayanımının düşük olması gösterilebilir. Çünkü bu numunenin betonarme çerçevesinde kullanılan beton dayanımının Tablo 3.3’de verildiği gibi diğer numune betonlarından daha düşük dayanımda olduğu bilinmektedir. Ancak asıl nedenin mesnet bölgelerindeki koşulların farklılığı olarak düşünülmektedir. Zira mesnet bölgelerinde numune yüzeyindeki pürüzlülük farkından kaynaklanan lokal ezilmeler ilk yükleme sırasında etkisini daha belirgin olarak gösterecektir.

Tablo 6.2 Deney Numunelerinin Başlangıç Yanal Rijitlikleri

Deney Numunesi	Başlangıç Rijitliği (kN/mm)	Boş Çerçeveye Göre Güçlendirilmiş Çerçeve Başlangıç Bağıl Rijitliği
S1	6.97	-
S2	16.19	2.32
S3	21.58	3.10
S4	21.09	3.03
S5	18.84	2.70
S6	19.03	2.73

Tersinir yüklemeye tabi tutulan numunelerin her yükleme döngüsü aşamasındaki başlangıç rijitlikleri kullanılarak oluşturulan rijitlik sönümlenme eğrileri Şekil 6.2’de verilmektedir. Görüldüğü gibi dolgu duvar çatlakları başlayıncaya kadar donatısız beton blok ve betonarme dolgu duvarlı çerçeveler benzer davranış sergilemekte ve çerçeve rijitliği yavaş yavaş azalmaktadır. Ancak yüklemenin ilerleyen aşamalarında betonarme dolgu duvarlı çerçevelerdeki rijitlik kaybı biraz hızlansa da makul bir oranda ilerlerken donatısız beton blok dolgu duvarlı çerçevelerde rijitlik azalışı ilk çatlakların oluşması sonrasında hızla artmaktadır.

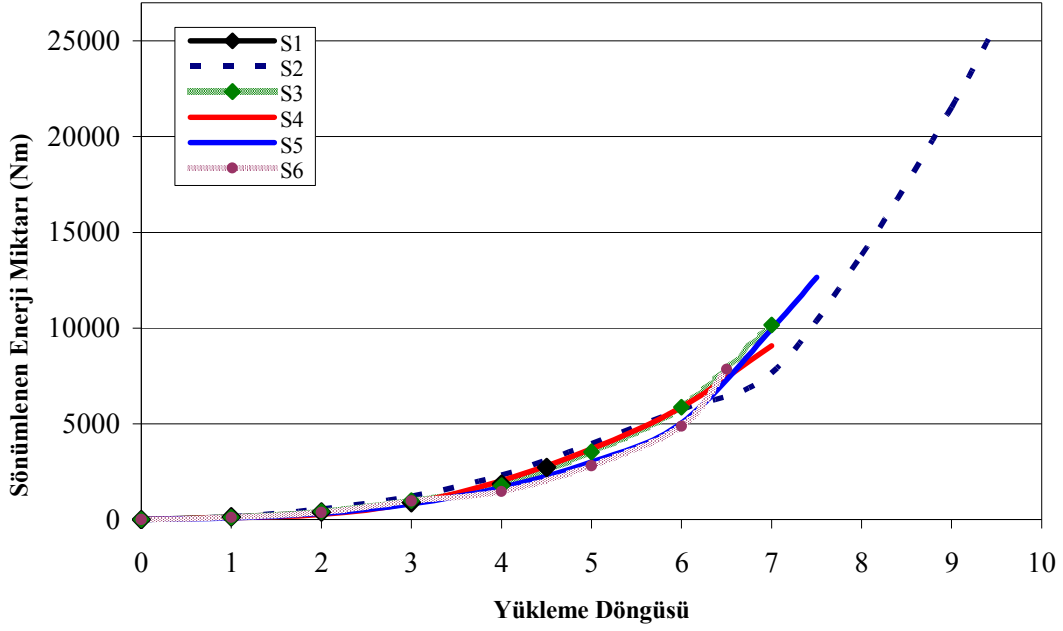


Şekil 6.2 Numuneler için rijitlik sönümlenme eğrileri.

6.5 Çerçeve enerji sönümlenme kapasitesi

Çerçeve yapısal sistemlerin yanal yüklere karşı güçlendirilmesi için seçilecek yöntem ve strateji belirlenirken yanal dayanım kapasitesi yanında bir diğer temel hedef de güçlendirilmiş sistemin sahip olacağı düktilite ve enerji sönümlenme kapasitesidir. Deney numunelerinin tersinir yükleme rejiminin her bir yükleme döngüsü sürecinde sönümlendiği enerji elemana ait yük-ötelenme grafiğinin ilgili eğrisi ile sınırlanan alan hesaplanarak bulunmuştur. Bu değerlerden yola çıkarak numunelerin tüm deney sürecinde sönümlendiği toplam enerji miktarları Şekil 6.3'te verilmektedir.

Görüldüğü gibi tüm numunelerin sönümlendiği toplam enerji miktarı boş çerçeve referans numunesi (S1) dayanım kapasitesine ulaşana kadar benzer bir değişim göstermektedir. Güçlendirilmiş çerçeve numuneler tarafından sönümlenen enerji miktarı da beton blok dolgu duvarlı numunelerin yanal dayanım kapasitesine ulaşana kadar yaklaşık olarak benzer bir değişim göstermektedir. Ancak bundan sonra yerinde döküm betonarme perde dolgu duvarlı numune öne çıkmakta ve içindeki donatının sağladığı düktilite sayesinde enerji sönümlenmeye devam etmektedir.



Şekil 6.3 Numuneler tarafından sönümlenen toplam enerji miktarı

Numunelerin deney sürecinde sönümlendiği toplam enerji miktarları Tablo 6.3'te boş çerçeve referans deney numunesine (S1) göre normalize edilmiş değerler olarak verilmektedir. Görüldüğü gibi yüksek dayanımlı beton blok dolgu duvarlarla güçlendirilmiş çerçevelerde bu oran 3.0 – 4.5 arasında değişmektedir. Yerinde döküm betonarme perde dolgu duvarlı numunede ise bu oran 9.5 seviyesine kadar çıkmaktadır. Aradaki fark büyük ölçüde bu numunenin beton blok dolgu duvarlı numunelerin kapasitesinin tükenmesi sonrasında yaptığı son iki yükleme döngüsünde sönümlendiği enerjiden kaynaklanmaktadır.

Tablo 6.3 Numuneler Tarafından Sönümlenen Toplam Enerji

Numune	Sönümlenen Toplam Enerji (N•m)	Sönümlenen Enerjinin Boş Çerçeve Enerjisine Oranı
S1	2729	-
S2	25934	9.5
S3	10162	3.7
S4	9081	3.3
S5	12645	4.6
S6	7846	2.9

7 SONUÇ VE ÖNERİLER

Türkiye'deki yapı stokunun büyük bir bölümü alçak veya orta yükseklikte betonarme çerçeve yapısal sistemli binalar olarak tanımlanabilir. Bunların büyük bir bölümünün de çeşitli tasarım, imalat ve detaylandırma hataları sonucunda süneklik düzeylerinin düşük, yanal dayanım ve rijitlik açısından da yetersiz oldukları bilinmektedir.

Dolayısı ile betonarme çerçeve taşıyıcı sisteme sahip böyle binaların sismik güvenlik riski oluşturan bu yetersizliklerinin uygun bir yöntemle giderilmesi gereksinimi ortaya çıkmaktadır. Olası bir depreme hazırlık kapsamında veya deprem sonrası hasar gören okul, öğrenci yurdu ve hastane gibi önemli yapılar için yaygın olarak uygulanan güçlendirme yöntemleri ekonomik açıdan yüksek maliyeti ve uygulama sürecinde yapı kullanımını büyük ölçüde olanaksız hale getirdiğinden konut tipi yapılarda büyük problemler yaratmakta mal sahipleri aldıkları riski bilmelerine rağmen böyle bir projenin uygulanmasına yanaşamamaktadırlar. Bu sorunları gidermek üzere daha pratik ve ekonomik alternatif yöntemler geliştirmek üzere özellikle bu sorunlarla sürekli yaşayan Türkiye'deki ve bazı diğer ülkelerdeki araştırmacılar tarafından sürekli bir çalışma yürütülmekte ve değişik yaklaşımlar önerilmektedir. Bu çalışma da TÜBİTAK tarafından desteklenen bu projelerden biridir.

Çalışmada betonarme çerçeve sistemlerin yaygın olarak kullanılan bir yaklaşım olan çerçeve boşluklarında oluşturulan yerinde döküm betonarme paneller yerine daha basit ve pratik bir yaklaşım olarak özel geometri ve yüksek dayanımlı beton bloklarla oluşturulan dolgu duvarlar kullanılarak güçlendirilmesi potansiyeli deneysel olarak araştırılmıştır. Elde edilen test sonuçları önerilen yaklaşım kullanılarak güçlendirilen mevcut çerçeve sistemde sağlanan yanal dayanım ve rijitlik kazanımı yanında enerji sönmüleme kapasitesi açısından da değerlendirilmiştir.

7.1 Sonuç

Deney numunelerinin hazırlanması sürecindeki deneyim ile numunelerin uygulanan tersinir yükleme rejimi sırasındaki davranış verilerinin analizi ve değerlendirilmesi neticesinde varılan sonuçlar şöyle özetlenebilir.

- Betonarme çerçevelerin yanal yüklere karşı güçlendirilmesinde yüksek dayanımlı beton bloklar ile oluşturulan dolgu duvar kullanımı son derecede basit, uygulaması kolay ve etkin bir yöntem olarak görülmektedir. Ancak görece etkinlik yerinde döküm betonarme perde dolgu duvar düzeyine ulaşamamaktadır. Çalışmada kullanılan çerçeve numuneler baz alındığında betonarme perde dolgu duvar sistemine göre etkinlik yaklaşık %65 - %70 düzeyinde kalmaktadır.
- Yanal dayanım kapasitesi kazanımı açısından bakıldığında çalışmada kullanılan ve yüksek dayanımlı beton blok dolgu duvarlar ile güçlendirilen çerçevelerde yanal yük taşıma kapasitesi boş çerçeve referans numunesi dayanımının yaklaşık 3.0 – 3.2 katına çıkmaktadır. Bu oran yerinde döküm betonarme perde dolgu duvarlı çerçevelerde ise yaklaşık 4.25 düzeyindedir. Aradaki fark büyük ölçüde

betonarme çerçevelerin birleşim bölgelerindeki yetersizlik yanında donatılı ve çerçeve sisteme ankrajlı dolgu duvar ile donatısız ve çerçeveye bağlantısız dolgu duvarın davranışından kaynaklanmaktadır. Çerçeveye ankrajlı betonarme dolgu duvarlar diyagonalleri narin X çapraz perde şeklinde çalışırken beton blok dolgu duvarlar tek diyagonalli veya diyagonalleri kablo olan X çapraz perde şeklinde çalışmakta ve birleşim bölgelerini çok daha fazla zorlayarak kendi potansiyelini tam olarak kullanamadan çerçeve sistemin göçmesine yol açmaktadır. Bu yüzden betonarme çerçevelerin güçlendirilmesi için donatısız ve çerçeveye ankrajsız yüksek dayanımlı beton blok dolgu duvarlarının kullanılması durumunda mevcut çerçeve birleşim bölgelerinin de ele alınması ve gerekiyorsa güçlendirilmesi gerekmektedir.

- Rijitlik kazanımı açısından değerlendirildiğinde yüksek dayanımlı beton blok dolgu duvarlı çerçevelerde başlangıç rijitliği boş çerçeve referans numunesi başlangıç rijitliğinin yaklaşık 2.7 - 3.1 katına çıkmaktadır. Bu oran, yerinde döküm betonarme perde duvarlı çerçevelerde biraz daha düşük ve 2.3 civarındadır. Ancak tersinir yükleme altında uygulanan yükün düzeyi arttıkça betonarme dolgu duvarlı çerçevelerde sürekli oluşan rijitlik kaybı biraz hızlansa da makul bir oranda ilerlerken donatısız beton blok dolgu duvarlı çerçevelerde rijitlik azalışı ilk çatlakların oluşması sonrasında hızla artmaktadır.
- Yüksek dayanımlı beton blok dolgu duvarlı çerçevelerin enerji sönümlenme kapasitesi boş çerçeveye oranla 3.0 - 4.5 kat artmıştır. Bu oran betonarme dolgu duvarlı çerçevelerde çok daha yüksek ve 9.5 civarındadır. Ancak aradaki farkın çok büyük bir bölümü beton blok dolgu duvarlı çerçevelerin dayanım kapasitesine ulaştıktan sonra oluşmaktadır. Zira güçlendirilmiş çerçeve numuneler tarafından sönümlenen toplam enerji miktarı beton blok dolgu duvarlı numuneler yanal dayanım kapasitesine ulaşana kadar yaklaşık olarak benzer bir değişim gösterirken daha sonra yerinde döküm betonarme perde dolgu duvarlı numune ön plana çıkmakta ve içindeki donatının sağladığı duktilite sayesinde enerji sönümlenmeye devam etmektedir.
- Yüksek dayanımlı beton blok dolgu duvarlar kullanılan derz harcının yüksek çekme dayanımı ve aderans kapasitesi yanında mevcut betonarme çerçevelerin birleşim bölgelerindeki yetersizlik sonucu çalışmada seçilen beton blok basınç dayanımı aralığında adeta yerinde döküm donatısız beton bloklar gibi davrandığından çerçeve deneylerinde beton blok geometrisinden kaynaklanan kayda değer bir etki gözlenememiştir. Benzer nedenlerle beton blok basınç dayanımından kaynaklanan herhangi bir yanal dayanım kapasitesi kazancı da gözlenememiştir.

7.2 Öneriler

- Normal olarak gerçek yapısal sistem kolonları ölü yükten kaynaklanan basınç kuvveti etkisi altındadır. Bu çalışmada kullanılan çerçeve deney numuneleri ise kolonlarında hiçbir eksenel yük etkisi olmaksızın denenmiştir. Bu şekilde betonarme çerçevelerin yanal dayanım kapasitesine beton blok dolgu duvarların potansiyel katkısı açısından olumsuz bir durum oluşmuştur. Yüksek dayanımlı

beton dolgu duvarların katkı potansiyelini daha gerçekçi olarak belirlemek üzere benzer deneyler kolonlardaki aksel basınç da dikkate alınarak tekrarlanmalıdır.

- Deneylerde kullanılan betonarme çerçeveler uygulamada sıkça karşılaşılan tipik imalat ve tasarım hatalarını yansıtmak üzere özellikle kiriş-kolon birleşimlerinde yetersiz kenetlenme ve yetersiz sargılama donatısı kullanılarak imal edilmiş olduğundan yüksek dayanımlı beton dolgu duvarların potansiyel katkısı tam olarak görülememiştir. Öte yandan beton blok dolgu duvarlar çerçeve sisteme ankrajlı olmadıklarından betonarme perde dolgu duvarlardan farklı davranmakta ve yanal yük altında oluşan basınç bantları ile birleşim bölgelerinde daha büyük zorlamalar oluşturmaktadır. Bu durumda çerçeve birleşim dayanımı güçlendirilen çerçeve taşıma kapasitesi açısından çok daha büyük önem kazanmaktadır. Dolgu duvarlı numune deneyleri çerçeve birleşim bölgesi rehabilitasyonu ile birlikte tekrarlanacak olursa dolgu duvarların katkı potansiyeli çok daha gerçekçi olarak görülecektir.
- Yerinde döküm betonarme dolgu duvar uygulaması ile karşılaştırıldığında deneyler sırasındaki gözlemler ve elde edilen verilerden betonarme çerçevelerin yüksek dayanımlı dolgu duvarlarla güçlendirilmesi yaklaşımındaki başlıca zayıf yönlerin
 - Donatısız olması nedeni ile çekme bandı oluşturamaması ve diyagonal çatlaklar oluştuğundan sonra açılmalarını kontrol edememesi
 - Çekme bandı oluşturamadığı ve çerçeve sistem ile arasında bağlantı bulunmadığı için duvar köşelerinde çerçeve sistemden ayrılma eğilimi ve sonuçta birleşim bölgelerine aşırı yüklenme
 - Donatısız olduğundan düktiliteye sahip olmaması ve enerji sönümleme kapasitesine katkıda bulunamaması

olduğu görülmektedir. Tüm bu zayıflıkları gidermek üzere dolgu duvarlar yüzlerine dışarıdan yapıştırmak suretiyle uygulanacak CFRP benzeri polimer bir örtü kaplama ile güçlendirilebilir. Bu durumda gerek yanal dayanım ve rijitlik sönümlenmesi, gerekse de enerji sönümleme kapasitesi açısından betonarme perde dolgu duvara çok daha yakın bir sonuç elde edilebilecektir.

REFERANSLAR

ALTIN, S., "Strengthening of Reinforced Concrete Frames with Reinforced Concrete Infills", A Doctor of Philosophy Thesis in Civil Engineering, Middle East Technical University, Ankara, (1990).

ALTIN, S., Ersoy, U., Tankut, T., "Seismic Strengthening of Reinforced Concrete Frames with Reinforced Concrete Infills", Report No. METU/SML-90/01, Ankara, Turkey, June, (1990).

BARAN, M., "Precast Concrete Panel Reinforced Infill Walls for Seismic Strengthening of Reinforced Concrete Framed Structures", A Doctor of Philosophy Thesis in Civil Engineering, Middle East Technical University, Ankara, (2005).

ERDEM, İ., Akyüz, U., Ersoy, U., Özcebe, G., "An Experimental Study On Two Different Strengthening Techniques For RC Frames", Engineering Structures, 28, (2006), 1843-1851.

ERSOY, U., Uzsoy, S., "The Behavior and Strength of Infilled Specimens", Report No.MAG-205, TUBITAK, Ankara, Turkey, (1971), In Turkish.

FROSCHE, R.J., Li, W., Jirsa, J.O., and Kreger, M.E., "Retrofit of Non-Ductile Moment-Resisting Frames Using Precast Infill Wall Panels", Earthquake Spectra, Volume 12, Issue 4, November (1996), pp. 741-760

GAREVSKI, M., Hristovski, V., Stojmanovska, M., "Shaking Table Tests of Scaled RC Frame Models for Investigation of Validity and Applicability of Different Retrofitting Techniques", Advances in Earthquake Engineering for Urban Risk Reduction, Netherlands, (2006), 441-453.

GOEL, S.C, Lee, H., "Seismic Strengthening of R.C Structures by Ductile Steel Bracing System", Proc. of Fourth U.S National Congress on Earthquake Engineering, EERI, Vol.3, p.323-331, Palm Springs, California, May (1990).

GOVINDAN, P., Lakshminpathy, M., Santhakumar, A. R., "Ductility of Infilled Frames". Journal of the American Concrete Institute, 83, (1986), pp.567-576.

KAHN, L. F., Hanson, R. D., "Infilled Walls for Earthquake Strengthening", Proc. of the ASCE, Vol. 105, No. ST2, February, (1979), pp. 283-296.

KARA, M. E., "Strengthening of Non-Ductile Reinforced Concrete Frames By Reinforced Concrete Partial Infills", A Doctor of Philosophy Thesis in Civil Engineering, Gazi University, Ankara, (2006).

KESNER, K., Billington, S. L., "Investigation of Infill Panels Made from Engineered Cementitious Composites for Seismic Strengthening and Retrofit". Journal of Structural Engineering, 131, (2005), pp.1712-1720.

MAHERI, M.R., Sahebi, A., "Use of Steel Bracing in Reinforced Concrete Frames", Engineering Structures, Vol.19, No.12, (1997), pp.1018-1024.

ÖZCEBE, G., Ersoy, U., Tankut, T., "Strengthening of Brick-Infilled RC Frames with CFRP", Structural Engineering Research Unit, TÜBİTAK, METU, Ankara, March (2003).

PHAN, L.T., Todd, D.R., Lew, H.S., "Strengthening Methodology for Lightly Reinforced Concrete Frames", NISTIR 5128; 108 p. February (1993).

SUGANO S., Fujimura, M., "Aseismic Strengthening of Existing Reinforced Concrete Building", Proceedings of Seventh WCEE, Vol.4, p.449-456, Istanbul, Turkey, (1980)

SÜSOY, M., "Seismic Strengthening of Masonry Infilled Reinforced Concrete Frames With Precast Concrete Panels", A Master of Science Thesis in Civil Engineering, Middle East Technical University, Ankara, (2004).

YÜKSEL, E., İlki A., Erol, G., Demir, C., Karadoğan, H. F., "Seismic Retrofit of Infilled Reinforced Concrete Frames with CFRP Composites", Advances in Earthquake Engineering for Urban Risk Reduction, Netherlands, (2006), pp.285-300.

YÜZÜGÜLLÜ, Ö., "Depremden Hasar Görmüş Betonarme Çerçevelerin Prefabrik Parçalı Perde Elemanlarıyla Takviyesi", TÜBİTAK, Proje No. MAG-494, Ankara, Turkey, (1979).

PROJE ÖZET BİLGİ FORMU

Proje No: 107M633
Proje Başlığı: BETONARME ÇERÇEVE YAPISAL SİSTEMLERİN ÖZEL GEOMETRİLİ ve YÜKSEK DAYANIMLI BETON BLOKLAR İLE GÜÇLENDİRİLMESİ.
Proje Yürütücüsü ve Araştırmacılar: Doç.Dr.Uğur Polat Doç.Dr.İsmail Özgür Yaman
Projenin Yürütüldüğü Kuruluş ve Adresi: İnşaat Mühendisliği Bölümü ODTÜ - Ankara
Destekleyen Kuruluş(ların) Adı ve Adresi:
Projenin Başlangıç ve Bitiş Tarihleri: 01.02.2008 - 01.10.2008
Öz (en çok 70 kelime) <p>Literatürde betonarme çerçeve sistemlerin yatay dayanım kapasitesini artırmak üzere önerilen değişik yöntemler mevcuttur. Uygulamada en yaygın olarak kullanılan yaklaşımın çerçeve sistemdeki bazı açıklıkların yerinde döküm betonarme paneller ile doldurulması olduğu görülmektedir. Ancak ilk bakışta ekonomik gibi görünen bu yöntem imalat aşamasında oldukça tahripkar, kirli ve yavaş olup özel işçilik ve ekipman gerektirmektedir. Ayrıca imalat süresince tüm yapının geçici de olsa kullanım dışı kalmasına yol açmaktadır. Bu nedenlerle sadece betonarme panellerin imalatı olarak düşünüldüğünde oldukça ekonomik gibi görünen bu yöntemin tüm giderler düşünüldüğünde son maliyet olarak çok da ekonomik olmadığı gerçek uygulamalarda açıkça görülmektedir.</p> <p>Öte yandan dolgu duvarların çerçeve taşıyıcı sisteme sahip yapılarda yatay yük taşıma ve enerji sönmüleme kapasitesine katkısı bilinmekte ve sonuçları itibarı ile tüm çağdaş deprem yönetmeliklerinde göz önüne alınmaktadır. Çerçeve sistem açıklıklarının yerinde döküm betonarme paneller ile doldurulması şeklindeki yaygın güçlendirme yaklaşımı ise bu açıdan uç bir dolgu duvar uygulaması olarak görülebilir.</p> <p>Bir ön araştırma olarak tasarlanıp gerçekleştirilen bu çalışmada betonarme çerçeve sistemlerin yerinde döküm betonarme paneller yerine daha basit ve pratik bir yaklaşım olarak özel geometrili ve yüksek dayanımlı beton bloklarla oluşturulan dolgu duvarlar kullanılarak güçlendirilmesi potansiyeli deneysel olarak araştırılmıştır</p>
Anahtar Kelimeler: Betonarme Çerçeve, Güçlendirme, Özel Geometrili Beton Blok, Yüksek Dayanımlı Beton Blok
Fikri Ürün Bildirim Formu Sunuldu mu? Evet <input type="checkbox"/> Gerekli Değil <input type="checkbox"/> <small>Fikri Ürün Bildirim Formu'nun tesliminden sonra 3 ay içerisinde patent başvurusu yapılmalıdır.</small>
Projeden Yapılan Yayınlar: <p>Arslan, G., "Strengthening of Reinforced Concrete Frames by Custom Shaped High Strength Concrete Masonry Blocks", M.Sc. Thesis, Dept. of Civil Eng., METU, January 2009.</p>