

YAPILARIN ÇİMENTO ESASLI KOMPOZİT PANELLERLE GÜÇLENDİRİLMESİ

M.E. Ayatar¹, E. Canbay² ve B. Binici²

¹ Doktora Öğrencisi, İnşaat Müh. Bölümü, Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Ankara

² Profesör, İnşaat Müh. Bölümü, Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Ankara

Email: meayatar@gmail.com

ÖZET:

Deprem esnasında dolgu duvarlar, yönetmeliklere uygun olmayan betonarme yapı elemanlarında ağırlık kesme çatlaklarına neden olmaktadır. Bu çalışmada, dolgu duvarların çimento esaslı kompozit (engineered cementitious composite – ECC) panellerle güçlendirilmesi ve bu güçlendirme yönteminin yapının deprem davranışındaki etkisi dinamik benzeri deneyler yardımıyla irdelenmiştir. ECC çimento harcı esaslı, liflerle güçlendirilmiş bir kompozit materyal olup ana bileşenleri yüksek dayanımlı çimento, mikro agrega, uçucu kül, su, akı kanla tırcı ve polimer kökenli liftir. Deney numuneleri, Türk Deprem Yönetmeliğine uygun olmayacak şekilde tasarlanmış 1/2 ölçekli, 3 katlı ve 3 açıklıklı betonarme çerçevelerdir. Üç açıklıklı referans deney numunesinin, orta açıklıklı duvarla duvar örülmü tür. İkinci deney numunesi ise aynı şekilde inşa edilmiş ve ECC paneller yardımıyla güçlendirilmiştir. Her iki deney numunesine sırasıyla, dinamik benzeri (pseudo-dynamic) deney yöntemi kullanılarak, Düzce merkez için üretilmiş 3 adet sentetik deprem kaydı uygulanmıştır. Deney sonuçları ışığında, dolgu duvarların yer hareketi esnasında betonarme çerçeve üzerinde yaratabileceği etkiler ve seçilen güçlendirme yönteminin deprem performansı değerlendirilmiştir.

ANAHTAR KELİMELER: Betonarme çerçeve, Dinamik benzeri deney, ECC panel

1. GİRİŞ:

Türkiye’de 1980’den önce inşa edilen yapı stoku değerlendirildiğinde halen kullanımda olan birçok yapının yönetmeliklere uygun olmadığı ve deprem etkileri karşısında dayanıksız olduğu görülmektedir. Deprem sonucunda yaşanabilecek can kayıplarının ve kamu güvenliğini tehdit eden tahribatın önüne geçebilmek amacıyla yönetmeliklere uygun olmayan betonarme yapıların yıkılması veya güçlendirilmesi gerekmektedir. Betonarme (BA) yapıların güçlendirilmesi, genellikle planda uygun konumda bulunan açıklıklara temel seviyesinden itibaren betonarme perde duvar yerleştirilmesi ya da kolon veya kiriş elemanlarının etraflarının betonarme ile sarılması şeklindedir. Sonradan eklenen BA perdelerin yapıların deprem performansını önemli ölçüde artıran katkıları arasında yapı rijitliğini artırması, enerji sönümlemesi, görelî kat ötelenmelerini azaltması gibi etkileri sayılabilir. Ayrıca betonarme perdeler yapının taban kesme kuvveti kapasitesini artırır. Yatay kuvvetlere karşı daha dayanıklı hale gelen yapıda kat seviyesinde meydana gelen yer değiştirmeler de azalmaktadır. Fakat BA perdelerin yapı sistemine dâhil edilebilmesi için binanın boşaltılması gerekmekte ve betonarme perde inşa yüksek imalat maliyetlerine neden olmaktadır. Son yıllarda ara tirmacılar tarafından uygulama kolaylığına yönelik ve binayı boşaltmaksızın uygulanabilecek güçlendirme yöntemleri üzerinde durulmuştur.

Yapı tasarımı esnasında dolgu duvarların etkileri genelde ihmal edilir. Yönetmeliğe uygun olmayan betonarme yapılarda yapı elemanları gevrek davranış sergiledikleri için, deprem esnasında dolgu duvarlarda oluşan kesme hasarları yapı elemanlarına sirayet etmekte ve yapıda ağırlık hasarlara neden olmaktadır. Ayrıca dolgu duvarlarda düzlemsel davranış neticesinde dolgu duvar malzemesinin dökülmesi, konut sakinleri için hayati tehlike yaratmaktadır. Dolgu duvarların belirli yöntemlerle güçlendirilmesi hem yapının deprem performansını

arttırmakta hem de yukarıda bahsi geçen hasarlara karşı önlem niteliindedir. Türk Deprem Yönetmeliğinde de (2007) bu yöntemlerden bazılarının yer verilmiştir. Sırasıyla, Dolgu Duvarların Hasır Çelik Donatılı Özel Sıva ile Güçlendirilmesi, Dolgu Duvarlarının Lifli Polimerler ile Güçlendirilmesi, Dolgu Duvarların Prefabrik Beton Paneller ile Güçlendirilmesi yöntemleri yönetmelikte önerilmiştir.

Bu çalışmada 2010 yılında bir TÜB TAK Projesi kapsamında yürütülen betonarme çerçeve-duvar sistemleri üzerinde dinamik benzeri deneyler gerçekleştirilmiş ve sonuçlar irdelenmiştir. Yönetmelikte önerilen Prefabrik Beton Paneller yerine ECC paneller güçlendirme için kullanılmıştır.

2. ÇİMENTO ESASLI KOMPOZİT (ECC)

Bir malzemenin süneklik düzeyinin yüksek olması, yapısal uygulamalarda kullanılabilirliği açısından aranan bir özelliktir. Malzemenin süneklik düzeyinin yüksek olması ise birim ekinde tirmesinin yüksek olmasına bağlıdır. Michigan Üniversitesinde yürütülen çalışmalar kapsamında çimento esaslı kompozit malzeme (ECC) üretilmiş ve birçok alanda uygulama alanı bulmuştur (Li, 2008). ECC malzemenin temel özellikleri yüksek çekme birim ekinde tirme kapasitesi ve süneklik düzeyidir. Bu özellikleri ile ECC yapı güçlendirmesi için uygun bir materyaldir.

ECC malzemesinin temel bileşenleri su, çimento, ince agrega, uçucu kül, fiber ve akı kanla tırıcıdır. Sünek davranış ve yüksek basınç dayanımı için su – çimento oranı 0.5 veya daha düşük olmalıdır (Li ve Kanda, 1998). Malzemelerin homojen olarak karışabilmesi için akı kanla tırıcı kullanılmıştır. Malzemede çekme dayanımını sağlamak için karışım polivinil alkol (PVA) fiber eklenmiştir. Güçlendirilmiş deney numunesi için kullanılan karışım tasarımı Tablo 1'de verilmiştir.

Tablo 1 ECC Karışım Tasarımı

Malzeme	1 m ³ hacimdeki Ağırlık (kg)
Çimento (CEM I 42.5 R)	563
Uçucu Kül	676
Su	329
Kuvars Kumu	450
PVA Lif	26
Akı kanla tırıcı (BASF – Glenium 51)	18.5 – 25.0

ECC karışımı hazırlanırken öncelikle uçucu kül, kum ve çimento karıştırılır daha sonra su eklenir. Karışımın daha akıkan hale gelebilmesi için akı kanla tırıcı ilave edilir. En son fiber lifler eklenerek karışım kalıba alınır. Malzeme deneyleri için 3 adet 10×20 cm silindirik numune, elastisite modülünün belirlenmesi için de 2 adet 10×20 cm silindirik numune üretilmiştir. Ayrıca eilme deneyi için 3 adet 31.5×7.5×7.5 cm prizmatik numune ve 3 adet 51.0×7.5×2.5 cm prizmatik numune üretilmiştir. Son üç takım prizmatik deney numuneleri güçlendirmede kullanılan panellerle aynı kalınlıktadır.

ECC malzemesinin basınç dayanımı normal betona oranla yüksektir. Tek eksenli basınç deneylerinde (ekil 1) elde edilen ortalama sonuç 47.4 MPa olmuştur. Elastisite modülü ise 15 GPa mertebesindedir. Eilme testleri (ekil 2-3) yapılan standart ve ince prizmatik deney numunelerinin eilmeye çekme dayanımları 22.2 MPa ve 15.1 MPa arasında değişmektedir (ekil 4). Deney sonuçlarından gelen basınç ve eilme gerilmelerinin literatürdeki ECC gerilme değerleri ile karşılaştırılabilir mertebede kaldığı söylenebilir (Li, 2008).



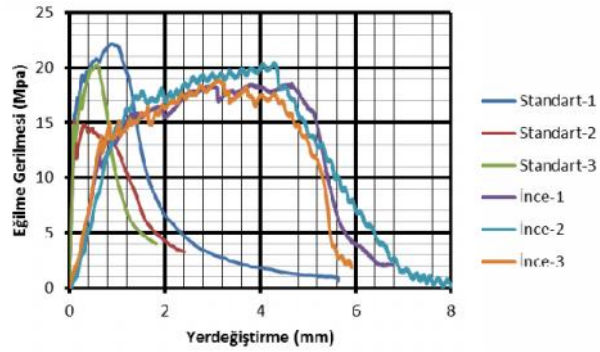
ekil 1. Elastisite modülü deneyi



ekil 2. E ilme deneyleri (Standart numuneler)



ekil 3. E ilme deneyleri (ince numuneler)

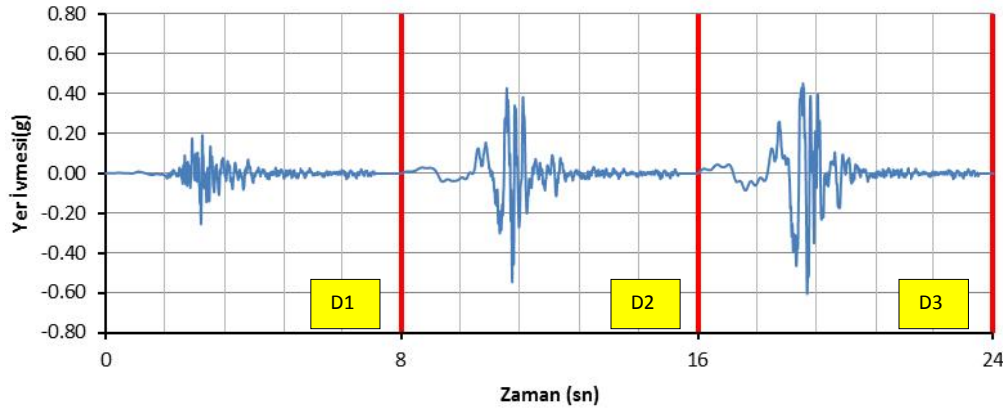


ekil 4. E ilme gerilmesi - yer de i tirme grafi i

3. D NAM K BENZER DENEY

Betonarme çerçeve deneylerinde dinamik benzeri deney yöntemi kullanılmı tır (Molina ve di . 1999). Dinamik benzeri deney yöntemi sayısal modelleme ile deney numunesinin yapısal özelliklerini kullanan bir deney yöntemidir. Bu deney yönteminde deprem süresi gerçek zamanlı olmadı ı ve kullanıcı tarafından yava latılabildi inden, deney esnasında olu an hasarlar daha kolay gözlemlenebilmektedir. Deney elemanları üç katlı oldu u için her kat seviyesine yerle tirilen hidrolik krikolar yardımı ile yatay yükler çerçeveye aktarılmı tır. Her zaman adımında çerçeveye kat seviyelerinden yer de i tirmeler uygulanır. Yer de i tirmeler sonucunda olu acak kuvvet de erleri hidrolik krikoların uç kısımlarında bulunan yük ölçerler vasıtasıyla ölçülür. Yatay kuvvetler, kat yükleri ve sönüm özellikleri girdi olarak kullanılarak hareket denklemi sayısal integral yöntemi ile çözümlür. Denklem çözümünden gelen yeni kat yer de i tirmeleri tekrar çerçeveye uygulanmak suretiyle bir sonraki adıma geçilir ve deprem kaydı sona erene kadar bu süreç tekrarlanır.

Çerçeve deneylerinde üç ayrı ivme zaman serisi kullanılmı tır. Söz konusu ivme – zaman serileri 1999 Düzce Depreminin spektrumlarına uygun olarak üretilmi sentetik deprem kayıtlarıdır (Mutlu ve di . 2011). vme – zaman serileri sırasıyla; Z1 zemin sınıfında 50 yılda a ılma olasılı ı %50 (D1) ve %10 (D2) olmak üzere iki deprem kaydı ve Z3 zemin sınıfında 50 yılda a ılma olasılı ı %10 (D3) olan di er deprem kaydıdır (ekil 5).



ekil 5. vme Zaman Grafi i

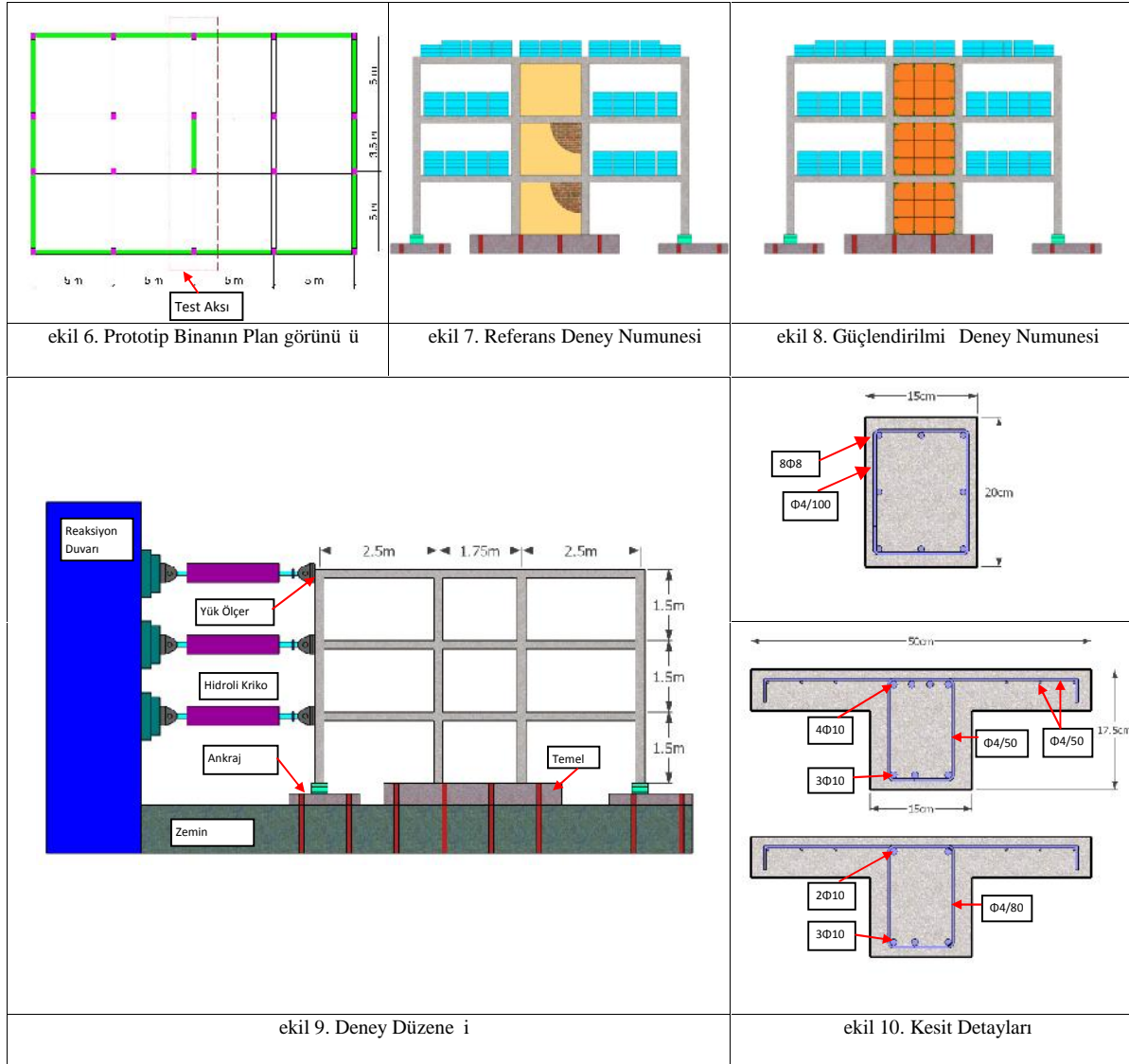
4. DENEY NUMUNELER

Referans ve güçlendirilmiş deney numunelerinin betonarme özellikleri aynı olup ikinci deney numunesi ECC panellerle güçlendirilmiş tir. Deney numunesi üç katlı bir binanın orta aksında bulunan çerçevenin ½ ölçekle küçültülmesi ile elde edilmiştir (ekil 6-7-8). Seçilen binanın birinci deprem bölgesinde olduğu ünlümü ve betonarme detayları Türk Deprem Yönetmeliğine uygun olmayacak şekilde tasarlanmıştır. Ayrıca malzeme dayanımları da düşük tutulmuştur. Kolonlar 15×20 cm, kirişler de 15×17.5 cm boyutlarındadır. Ayrıca yapının döşemelerini temsilen kirişlerde 50×6 cm kenarlıklar mevcuttur (ekil 10). Bu kenarlıklar yapıya uygulanan düşük ağırlıklar için de yerleştirilmiştir.

Çerçevelerde kullanılan beton laboratuvar ortamında hazırlanmıştır. Beton basınç dayanımını düşük tutmak amacıyla deprem karışımları hazırlanarak nihai karışıma ulaştırılmıştır. Kırım sonuçlarına göre Referans çerçeve için beton basınç dayanımları; 1. Kat: 12.7 MPa, 2. Kat 13.9 MPa ve 3. Kat: 14.0 MPa bulunmuştur. Güçlendirilmiş çerçeve için beton basınç dayanımları ise; 1. Kat: 15.0 MPa, 2. Kat 15.8 MPa ve 3. Kat: 13.8 MPa olarak ölçülmüştür.

Çerçevelerde kullanılan donatı tipi düz donatı olarak seçilmiştir. Kolonlarda boyuna donatı olarak 8φ8 kullanılmış olup sıkla tırma bölgesi mevcut değildir. Kolonlarda etriye için φ4 düz donatı kullanılmış ve 100 mm aralıklarla yerleştirilmiştir. Kiriş orta açıklığı çekme bölgesinde 3φ10 düz donatı kullanılmıştır. Bu donatılar mesnet bölgesinde de devam etmektedir. Mesnet bölgesindeki kirişlerin çekme bölgesinde 4φ10 yerleştirilmiş ve iki adedi kiriş üst bölgesi boyunca devam etmiştir. Kirişlerde 350 cm boyunca φ4/50 mm sıkla tırma uygulanmıştır. Orta açıklıklarda etriye aralığı 80 mm olarak seçilmiştir (ekil 10). Türk deprem yönetmeliğine (2007) göre etriye uçlarında 135 derece kıvrımlı kancalar bulunması zorunludur. Ancak deney elemanında kullanılan bütün etriyeler 90 derece kıvrımlı olarak boyuna donatılara bağlanmıştır. Sırasıyla kolon boyuna donatıları, kiriş boyuna donatıları ve etriyelerin akma dayanımları 320 MPa, 355 MPa ve 240 MPa'dır.

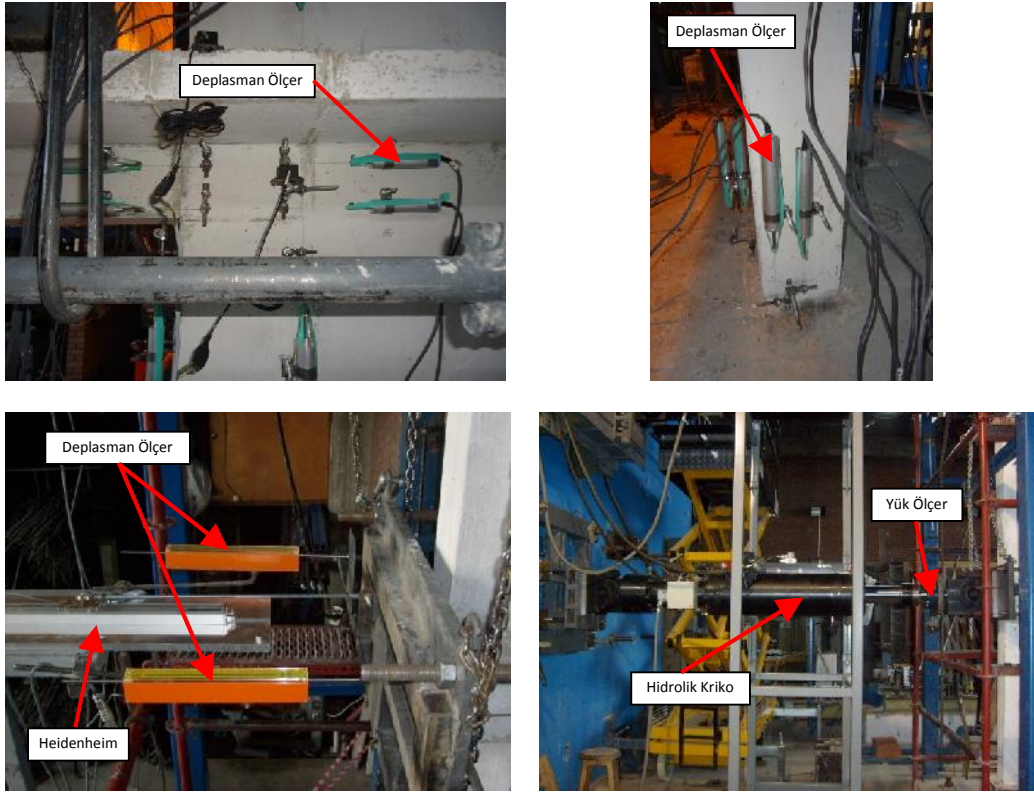
Dolgu duvarların betonarme çerçeve üzerindeki etkilerini araştırmak ve güçlendirme amacıyla yerleştirilecek ECC paneller için hem referans hem de güçlendirilmiş çerçevenin orta açıklığına dolgu duvar örülmüştür. Çerçeveler ½ ölçekli olduğundan çerçevelerde kullanılan tuğlaların boyutları da küçük olacak şekilde seçilmiştir. Yatay delikli yarım tuğlaların boyutları 190×85×95mm olup basınç dayanımı 3.1 MPa'dır. Duvar ve sıva harcında aynı karışım kullanılmış ve ortalama 8.4 MPa basınç dayanımı elde edilmiştir.



Güçlendirilmi çerçevede kullanılan ECC paneller yukarıda ayrıntıları verilen ekilde karımı hazırlanmış ve karımı hazırlanan kalıplara dökülmü tür. Her kat için 9 adet olmak üzere 25 mm kalınlığında paneller hazırlanmış tür. Çerçeve paneller arasında yük aktarımını sağlamak amacıyla kolon ve kirişlere delikler açılmış bu deliklere 10 ankraj demiri yerleştirilmiş tür, ekil 8. Dolgu duvarı komu her kolon ve kirişde dörder adet olmak üzere her katta toplam 16 adet ankraj kullanılmış tür. Paneller epoksi yapıştırıcı kullanılarak duvarlar üzerine yapıştırılmış, panel ve ankraj demirleri arasında bulunan boşluklar da epoksi yapıştırıcı kullanılarak doldurulmuş tür.

5. YÜKLEME VE ÖLÇÜM SİSTEMİ

Dinamik benzeri deney yönteminin uygulanabilmesi için çerçeve deneylerinde oluşturulan yükleme sisteminin temel bileşenleri; çerçevenin altında bulunan temeller, reaksiyon duvarı, hidrolik krikolar, yükleme ekipmanları, ölçüm sistemi ve bilgisayar kontrollü veri toplama sistemidir (ekil 9). Çerçeve altlarında bulunan temeller herhangi bir hasar görmeyecek şekilde tasarlanmıştır ve deney esnasında oluşacak yer deplasmanlarının önüne geçmek için laboratuvar zeminine ankrajlar yardımı ile sabitlenmiştir. Hidrolik krikolar laboratuvardaki reaksiyon duvarından güç alarak itme sağlamaktadır. Yatay yüklerin aktarılabilmesi için reaksiyon duvarı üzerine sabitlenen hidrolik krikolar her kat seviyesinde bulunan kirişlerin ağırlık merkezinden yükleme yapmaktadır. Krikoların kapasiteleri 1. katta 250 kN, 2. katta 500 kN ve 3. katta 500 kN'dur. Düşey yükler için çelik bloklar kullanılmıştır (ekil 7-8). Dinamik benzeri deney yöntemi hareket denkleminin her zaman adımında çözülmesi ile uygulanır. Hareket denklemindeki numerik kütle matrisi ile kat seviyelerine yerleştirilen kütleler uyumludur. Hesaplarda bu yükler konsantrasyon olarak düşünülmüştür. Deney esnasında oluşabilecek göçmelerde bu çelik blokların tehlike yaratmaması için çerçevenin etrafına çelik bir çerçeve inşa edilmiştir ve söz konusu yükler gevşek biçimde çelik çerçeveye bağlanmıştır. Sırasıyla kat seviyelerine yerleştirilen blokların aktarılabilecek toplam yük: 1. katta: 9.43 ton, 2. katta 9.43 ton ve 3. katta: 8.88 tondur. Ölçüm sistemi genel olarak yer deplasmanı ve yük ölçümüne dayanmaktadır. Kat seviyelerine, kolon ve kiriş elemanlarının uçlarına ve dolgu duvar üzerine deplasman ölçerler yerleştirilmiştir. Ayrıca hidrolik krikoların üzerinde yük ölçerler bulunmaktadır (ekil 11). Ölçüm sistemi, hem dinamik benzeri deney yöntemi için bilgisayar kontrollü veri sistemine veri aktarmak hem de deney neticesinde ortaya çıkacak verileri kullanıcıya sağlamıştır.

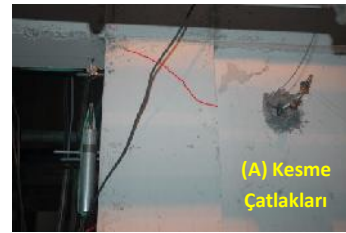
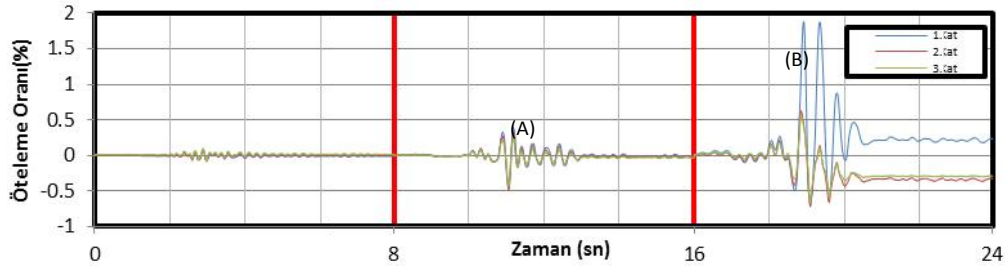


ekil 11. Deplasman ve yük ölçerler

6. DENEY SONUÇLARI

6.1 Referans Deney Numunesi

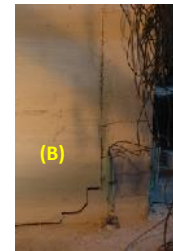
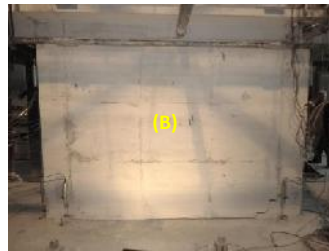
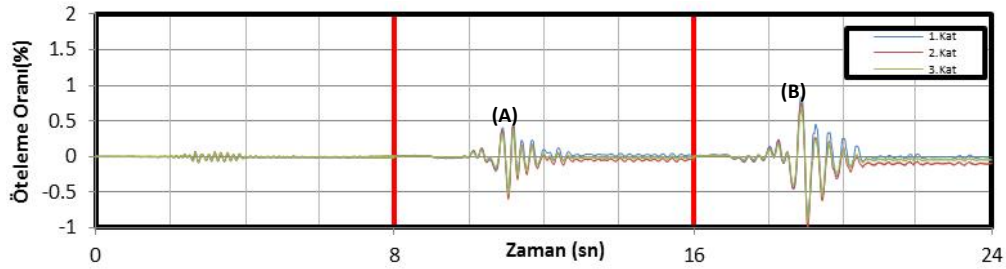
D1 depremi sonrası referans deney numunesinde 4 mm tepe deplasmanı ölçülmü olup katlar arası maksimum kat ötelenme oranı %0.1 mertebesinde kalmı tır (ekil 12). Orta açıklıkta bulunan duvar ve kom u kolon sınırlarında ayrılmalar meydana gelmi tir. Kiri lerin mesnet ve orta açıklıklarında negatif ve pozitif momentlere ba lı olarak e ilme çatlakları olu mu tur. Çerçevenin elastik sınırlar içerisinde kaldı ı söylenebilir. D2 depremi sonucunda maksimum tepe deplasmanı 21 mm olmu tur. Birinci ve ikinci katlardaki maksimum kat öteleme oranı %0.48 seviyesine ula mı tır. Duvar kö elerinde sıva çatlakları ba lamı ve duvarlarda ba layan kesme çatlakları kolonlara sirayet etmi tir. D3 depremi sonucunda 41 mm tepe deplasmanı ölçülmü tür. Birinci katta maksimum kat öteleme oranı %1.88 ile sınırlanmı tır. Sırasıyla ikinci ve üçüncü katlarda maksimum kat ötelenme oranları %0.72 ve %0.66 ölçülmü tür. Birinci kattaki duvar ve kom u kolon bölgesindeki ayrılmalar maksimum seviyeye ula mı tır. Duvara kom u kolonların üst bölümlerinde ciddi kesme hasarları olu mu , kolonların beton paspayında dökülmeler ve boyuna donatılarda burkulmalar meydana gelmi tir. A ır hasarlar sonucunda deney numunesi göçme sınır durumuna eri mi tir. Deney sonuçlarına göre dolgu duvarın deney numunesini daha rijit hale getirdi i söylenebilir. Fakat artan kesme kuvvetleri ve neticesinde duvarlarda olu an kesmeye ba lı hasarlar yapıyı daha narin hale getirmi tir. Maksimum taban kesme kuvveti 184 kN olarak ölçülmü tür (ekil 14). Kolon uç bölgelerindeki yetersiz donatı sıkla tırması ve beton dayanımının dü ük olması yapıda ciddi hasarların olu masına yol açmı tır.



ekil 12. Kat Öteleme Oranı Zaman Grafi i ve gözlemlenen Hasarlar

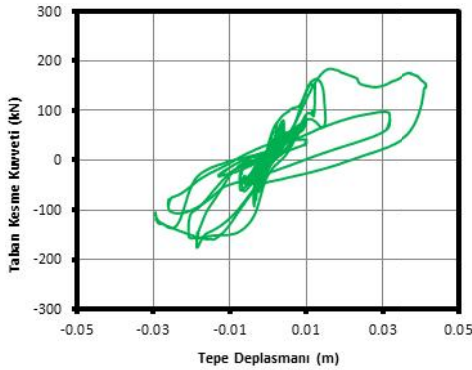
6.2 ECC Panellerle Güçlendirilmiş Deney Numunesi

D1 depremi, güçlendirilmiş deney numunesinde 3.7 mm tepe deplasmanı ve %0.09 kat ötelenme oranına neden olmuştur (ekil 13). Dolgu duvar ve komolu kolonlar arasında minimum düzeyde sınırlı çatlama gözlemlenmiştir. Çerçeve elastik davranış göstermiştir. D2 depremi neticesinde 24 mm tepe deplasmanı ölçülmüştür, sırasıyla birinci, ikinci ve üçüncü katlar için maksimum ötelenme oranları %0.50, %0.60 ve %0.53 mertebesinde kalmıştır. Gözlemlenen hasarlar ECC panel ankraj bölgelerinde ayrılmalar ve kolonlarda eğilme çatlaklarıdır. Çerçevadaki elemanları akma sınırına zorlayacak önemli bir hasar oluşmamıştır. D3 depremi tepe deplasmanını 41 mm mertebesine yükseltmiştir. Maksimum kat ötelenme oranı 1. kat için %0.86 olarak ölçülmüştür. Sırasıyla bu oran 2. kat için %0.99 ve 3. kat için %0.90 olmuştur. Kolonların mesnet bölgelerinde oluşan eğilme çatlakları, bu deprem esnasında genleşmiştir. Temel ve paneller arasındaki oluşan sınırlı çatlama bir kayma zonu yaratarak tüketilen enerjiyi artırmıştır. 1. kat dolgu duvar alt köşelerinde bulunan ankraj bölgesi, epoksi yapıştırıcısında oluşan çatlak neticesinde panellerden ayrılmıştır. Buna rağmen dolgu duvar ve paneller basınç çubuğu gibi davranış göstererek çerçevenin taban kesme kuvveti kapasitesini artırmıştır. 2. ve 3. katlarda ankraj bölgesinde hasar gözlemlenmemiştir ve güçlendirilmiş dolgu duvar hem basınç hem de çekme çubuğu gibi çalışmıştır. Bu deprem serisi sonucunda çerçevenin taban kesme kuvveti 249 kN ölçülmüştür (ekil 15). Taban kesme kuvveti tepe deplasmanı grafiği sistemin eriştiği kapasiteyi göstermektedir.

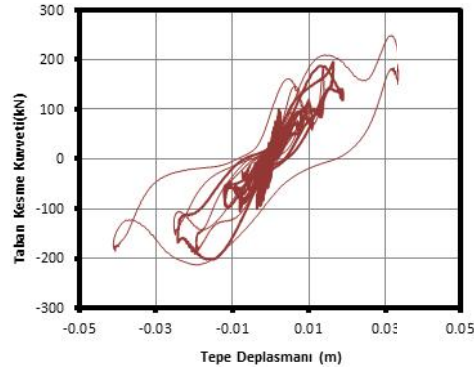


ekil 13. Kat Ötelenme Oranı Zaman Grafiği ve gözlemlenen Hasarlar

Referans ve güçlendirilmiş deney numuneleri karşılaştırıldığında D1 ve D2 depremleri esnasında numunelerin benzer davranış sergilediği gözlemlenmiştir. Kat ötelenme oranları da birbirine yakın mertebede seyretmiştir. D3 depreminde maksimum tepe deplasmanları yakın olmasına rağmen 1. katta gözlemlenen kat ötelenme oranı referans deney numunesinde daha yüksektir. Bu durum son depremde referans deney numunesinin 1. kat orta kolonlarında oluşan ağır hasarla ilgilidir. Güçlendirilmiş deney numunesinde herhangi bir kesme çatlak veya ağır hasar oluşmamıştır. Çerçevelerin hasar durumları ele alındığında güçlendirilmiş çerçevenin daha sünek bir davranış sergilediği görülebilir. Güçlendirilmiş deney numunesi daha stabil ve numunenin enerji tüketim kapasitesi daha yüksektir. Ayrıca ECC panellerin kullanımıyla çerçevenin yatay yük kapasitesi artmıştır. Taban kesme kuvveti tepe deplasmanı grafiklerinden (ekil 14-15) çerçevenin güçlendirilmesi ile artan yatay yük kapasitesi gözlemlenebilir.



ekil 14. Taban Kesme Kuvveti Tepe Deplasmanı Grafiği
(Referans Deney Numunesi)



ekil 15. Taban Kesme Kuvveti Tepe Deplasmanı Grafiği
(Güçlendirilmiş Deney Numunesi)

7. SONUÇLAR

Bu araştırmadaki temel amaç, uygulama kolaylığı sağlayan ve ekonomik bir güçlendirme yönteminin geliştirilmesi ve araştırılmasıdır. ECC paneller kullanılarak yapılacak bir güçlendirme yapı bozulmadan uygulanabilecek kolay ve makul bir yöntemdir. ECC bileşimi ve fiziksel özellikleri gereği sünek bir malzemedir. Basınç kapasitesi yüksek dayanımlı betona yakın ve normal betonların aksine çekme kapasitesi olan bir malzemedir. Bundan dolayı gerçek yapıda çok ince ve hafif paneller halinde uygulanabilir. Bu anlamda ECC'nin güçlendirme amaçlı kullanılması uygundur.

Yapılardaki tasarım hataları, düzensizlikler, kötü çelik, düşük dayanımlı beton ve donatı, düz donatı kullanımı, yetersiz donatı sıklığı Türkiye'deki inşaat uygulamalarında sıklıkla rastlanılan eksikliklerdir. Deney numunelerinin özellikleri bu eksiklerin laboratuvar ortamında oluşturulması amacıyla tasarlanmıştır. Dolgu duvarlı ilk referans deney numunesi ve ECC panellerle güçlendirilmiş deney numunesine dinamik benzeri deney yöntemi ile sırasıyla D1, D2 ve D3 depremleri uygulanmış ve bu aynı depremler altında yapı istemleri incelenmiştir.

Test sonuçlarına göre referans deney numunesinin 1. kat dolgu duvarında ve buna komşu kolon uçlarında ağır kesme çatlakları gözlemlenmiştir. Güçlendirilmiş çerçevede ise kolon uçlarında eşilmeye bağlı çatlaklar oluşmuştur, dolgu duvar üzerinde ise herhangi bir hasar gözlemlenmemiştir. Bu güçlendirme yöntemi ile katlar arası ötelenme oranları azalmıştır. 1. kat maksimum kat arası ötelenme oranı, referans deney numunesinde %1.88, güçlendirilmiş deney numunesinde ise %0.86 olarak ölçülmüştür. Ayrıca deney sonunda referans deney numunesinde 7 mm, güçlendirilmiş deney numunesinde 4 mm kalıcı tepe deplasmanı oluşmuştur.

Bu güçlendirme yönteminin uygun biçimde çalı abilmesi için ECC paneller ve betonarme çerçeve arasındaki yük (çekme ve basınç) aktarımının sa lanması gerekmektedir. Bu amaçla kolon ve kiri lerde ankrajlar kullanılmı ve epoksi bazlı malzeme ile panel – ankraj arasındaki bo luklar doldurulmu tur. Deprem ivmesi yükseldikçe dolgu duvar kö elerinde bulunan epoksi malzeme çekme gerilmeleri neticesinde ayrılmı tur. Sonuç olarak birinci kat seviyesinde basınç gerilmeleri panellere aktarılmı fakat çekme gerilmeleri aktarılamamı tur. Yük aktarımının do ru ekilde sa lanabilmesi için mevcut ankraj uygulamasının geli tirilmesinde fayda vardır.

Referans çerçevede, D3 depremi sonucunda duvar parçaları planı dı nda dü mü tür. Deprem anında binada göçme olu masa bile duvarlardan kopan parçalar apartman sakinleri açısından hayati tehlike yaratmaktadır. Yapının güçlendirilmesi hem yapının deprem performansını arttırmakta hem de duvarın düzlem dı ı hareketine engel olmaktadır.

TE EKKÜR

Bu çalı ma 108G034 sayılı TÜB TAK projesi aracılı ıyla sa lanan fon ile gerçekleştirilmi tir. Yazarlar TÜB TAK'a en içten te ekkürlerini sunmayı borç bilirler.

KAYNAKLAR

DBYBHY, (2007). Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik. Bayındırlık ve skân Bakanlığı 1, Ankara, Türkiye.

Li, V.C., (2008). Engineered Cementitious Composites (ECC) – Material, Structural, and Durability Performance, Concrete Construction Engineering Handbook, Chapter 24, Ed. E. Nawy, CRC Press.

Li, V.C. ve Kanda, T. (1998). Engineered Cementitious Composites for Structural Applications. *ASCE J. Materials in Civil Engineering*, **10:2**, 66-69.

Molina, F.J., Verzeletti, G., Magonette, G., Buchet, P.H. ve Géradin, M. (1999). Bi-Directional Pseudodynamic Test of a Full-Size Three-Storey Building. *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, **28**, 1541-1566.

Mutlu, M. B., Ayatar, M.E., Binici, B., Kurç, O., Canbay, E., Sucuoglu H. ve Ozcebe, G. (2011). Üç Katlı Betonarme Bir Çerçevenin Dinamik Benzeri Deneyleri ve Sayısal Simülasyonları. *1. Türkiye Deprem Mühendisliği ve Sismoloji Konferansı*.

Lin, W., Sucuo lu, H. ve Binici B. (2013). Pseudo Dynamic Testing, Performance Assessment, and Modeling of Deficient Reinforced Concrete Frames. *2nd Turkish Conference on Earthquake Engineering and Seismology – TDMSK*.