



T.C.
DOKUZ EYLÜL ÜNİVERSİTESİ
MÜHENDİSLİK FAKÜLTESİ DEKANLIĞI

Bölüm: İnşaat Mühendisliği

Buca/İZMİR
??/??/????

İÇİNDEKİLER

1. GİRİŞ	3
1.1. Amaç ve Kapsam.....	3
1.2. Deneysel Programın Genel Tanımı.....	5
2. ÇERÇEVE NUMUNESİNİN DETAYLARI.....	6
3. DOLGUSUZ VE DOLGULU ÇERÇEVE DAVRANIŞININ TAHMİNİ.....	9
4. DENEYSEL ÇALIŞMANIN DETAYLARI.....	10
4.1. Numunelerin Özellikleri.....	10
4.2. Düzlemiçi ve Düzlemdışı Yüklemeler.....	11
4.3. Numunelere Yerleştirilen Ölçerler.....	13
4.3.1. <i>Donatı Birim Şekil Değiştirmeleri.....</i>	<i>13</i>
4.3.2. <i>Yerdeğiştirme Ölçümü.....</i>	<i>14</i>
4.4. Deney Altyapısı	14
4.5. Numunelerin Hazırlanması ve Deney Ortamının Genel Görünümü.....	15
5. MALZEME DENEYLERİNİN SONUÇLARI.....	22
5.1. Donatılar.....	22
5.2. Beton.....	22
5.3. Duvar Bileşenleri.....	23
5.3.1. <i>Tuğla Birimleri.....</i>	<i>23</i>
5.3.2. <i>Örgü ve Sıva Harcı.....</i>	<i>25</i>
6. ÇERÇEVE DENEYLERİNİN SONUÇLARI.....	26
6.1. Numunelerin Düzlemiçi Testleri ve Hasar Gözlemleri.....	26
6.1.1. <i>Dolgusuz Çerçeve (N1 Numunesi).....</i>	<i>26</i>
6.1.2. <i>İzotuğla Dolgu Duvarlı Çerçeve (N2 Numunesi)</i>	<i>32</i>
6.1.3. <i>Z Bağlantısız Sandviç Dolgu Duvarlı Çerçeve (N3 Numunesi).....</i>	<i>35</i>



T.C.
DOKUZ EYLÜL ÜNİVERSİTESİ
MÜHENDİSLİK FAKÜLTESİ DEKANLIĞI

Bölüm: İnşaat Mühendisliği

Buca/İZMİR
??/??/????

6.1.4. Z Bağlantılı Sandviç Dolgu Duvarlı Çerçeve (N4 Numunesi).....	39
6.1.5. Bims Dolgu Duvarlı Çerçeve (N5 Numunesi).....	42
6.1.6. Gazbeton Dolgu Duvarlı Çerçeve (N6 Numunesi).....	46
6.2. Düzlemiçi Testlerin Analizleri.....	53
6.3. Düzlemdışı Testlerin Ayrıntıları.....	59
6.4. Düzlemdışı Testlerin Analizleri.....	63
7. SONUÇLAR.....	73



T.C.
DOKUZ EYLÜL ÜNİVERSİTESİ
MÜHENDİSLİK FAKÜLTESİ DEKANLIĞI

Bölüm: İnşaat Mühendisliği

Buca/İZMİR
??/??/????

1. GİRİŞ

1.1. Amaç ve Kapsam

DeneySEL çalışmada, farklı türde dolgu duvarlar içeren betonarme çerçevelerin düzlemiçi ve düzlem dışı davranışlarının belirlenmesi amaçlanmıştır. Bununla birlikte bir adet dolgusuz çerçeve, diğer numunelerle kıyaslanması ve dolgu duvar katkısının belirlenmesi için test edilmiştir.

Dolgu duvarlar genellikle sadece ısı yalıtım kabiliyetleri açısından kıyaslanır. Geçmiş depremlerde gözlenen dolgu duvar hasarları ve sonuçları, bu elemanların sismik etkiler altındaki performansları ile de karşılaştırılabilir olmasını gerekli kılmaktadır. Dolgu duvarlar depremler sırasında farklı doğrultudaki yüklere maruz kaldığı halde konu ile ilgili araştırmaların büyük kısmında duvarların yalnızca düzlemiçi doğrultudaki davranışı incelenmiştir. Bu sebeple literatürde önerilen duvar sayısal modellerinde genellikle sadece düzlemiçi davranışa ait model parametreleri bulunmaktadır.

Çalışma kapsamında, betonarme çerçeveler içerisindeki dolgu duvarların ardışık düzlem içi ve düzlem dışı yükler altındaki davranışı incelenmiş ve deneyler sırasında ülkemizde yaygın olarak kullanılan dolgu duvar türleri kullanılmıştır. Ayrıca, Turgutlu Tuğla ve Kiremit Sanayicileri Derneği üyelerinin de yoğun olarak üretimini gerçekleştirdiği iki sıra tuğla ile oluşturulan sandviç duvarlarda, kanatları birbirine bağlayan Z metal bağlantılarının etkinliği incelenmiştir. Zira Sandviç duvar, piyasa uygulamalarında sıklıkla Z bağlantıları içermeyen bir şekilde imal edilmektedir. Dolgu duvarsız betonarme çerçeve, kontrol numunesi olarak test edilmiş, elde edilen numune davranışları literatürde kabul görmüş benzeri çalışma sonuçları ile karşılaştırılmış ve tarif edilen hasar modları ile örtüştüğü görülmüştür.

Deneyler sırasında aşağıdaki numuneler incelenmiştir,

- a) İzotuğla dolgu duvarlı çerçeve
- b) Z bağlantısı içermeyen Sandviç dolgu duvarlı çerçeve
- c) Z bağlantısı içeren Sandviç dolgu duvarlı çerçeve
- d) Bims dolgu duvarlı çerçeve
- e) Gazbeton dolgu duvarlı çerçeve

Tüm numunelerde, yüksekliği 240 cm ve genişliği 360 cm olan tek katlı-tek açıklıklı betonarme düzlem çerçeveler kullanılmıştır. Bununla birlikte, döşeme etkisinin numunelere yansıtılması ve kolon-kiriş birleşimlerinin sargılanmasının sağlanması için tüm numunelerde etkili tabla genişliği kadar döşeme ve kat hizasında enine kiriş parçaları bulunmaktadır.

Tam ölçeğe yakın seçilen numune boyutlarının amacı, küçük ölçekli numunelerde dolgu duvar-çerçeve rijitlik oranının değişmesidir. Bu durumlarda gerçekçi olmayan sonuçlara ve çoğunlukla yanlış yorumlamalara ulaşılmaktadır.



T.C.
DOKUZ EYLÜL ÜNİVERSİTESİ
MÜHENDİSLİK FAKÜLTESİ DEKANLIĞI

Bölüm: İnşaat Mühendisliği

Buca/İZMİR
??/??/????

Numuneler aşağıda verilen sıralama ile üretilmiştir,

- Temel kalıbının hazırlanması,
- Temel kirişi ve kolon donatılarının örülmesi,
- Temel betonunun dökülmesi,
- Üstyapı kalıbının hazırlanması,
- Kiriş ve döşeme donatılarının örülmesi,
- Kolon, kiriş ve döşeme betonunun dökülmesi,
- Duvarların örülmesi ve sıvanması.

Bu sayede, gerçek hayatta çoğunlukla karşılaşıldığı gibi ve önce dolgu duvar sonra üstyapının imal edildiği örneklerden farklı bir duvar-çerçeve arayüzü elde edilmiştir. Numunelerde duvar-kolon ve duvar-kiriş ara yüzlerinin yani duvarın mesnet koşullarının uygun şekilde oluşturulması için özel çaba sarf edilmiş ve bu ara yüzler harç ile sıkıca doldurulmuştur. Duvar ve çerçeve elemanları birbirine bağlayan yardımcı aparatlar bulunmadığından, düzlemiçi doğrultuda çerçeve ve dolgu duvarın etkileşimi sadece bu iki elemanın teması ile gerçekleşmektedir. Ayrıca, yukarıda belirtilen imalat sıralamasından dolayı üstyapının dolgu duvar üzerinde ön basınç etkisi bulunmamakta ve dolayısıyla dolgu duvarda dayanım artışı gerçekleşmemektedir. Bununla birlikte, her test boyunca numunelerin her iki kolonuna uygulanan sabit basınç yükü sebebiyle dolgu duvarlar üzerinde basınç etkileri bulunmaktadır.

Düzlemiçi davranışın çalışılmasındaki amaçlardan biri ülkemizde yaygın olarak kullanılan dolgu duvar türlerinin, çerçeve – dolgu duvar etkileşimini ne oranda etkilediğinin hesaplanmasıdır. Öncelikli olarak, düzlemiçi doğrultuda çerçevenin ötelenme rijitliğindeki artış (dolayısıyla yapının titreşim periyotlarındaki azalma) ve düzlemiçi dayanımındaki artış araştırılmıştır. Ayrıca artan ötelenmeler boyunca numunelerdeki dayanım ve rijitlik azalması ile enerji tüketme kabiliyetlerindeki değişim karşılaştırılmıştır.

Bununla birlikte ana hedef, farklı dolgu duvar türlerinin düzlemiçi doğrultuda artan hasar düzeyi ile düzlem dışı stabilitesi arasındaki ilişkinin belirlenmesidir. Bu kapsamda düzlem dışı testler ile hedeflenen, **(1) farklı düzlemiçi ötelenme değerlerinde ulaşılan dolgu duvar düzlem dışı rijitliğinin tespit edilmesi ve (2) belirli düzlemiçi ötelenme oranlarında ulaşılan tepe yükünün belirli bir oranında dolgu duvara uygulanan düzlem dışı yükün, dayanımı aşp aşmadığının belirlenmesidir.** Elde edilen yük-ötelenme ilişkisinden hareketle duvar eşdeğer basınç çubuğu parametreleri ve dolgu duvar düzlem dışı titreşim periyodu gibi daha ileri düzey parametrelerin tespit edilmesi mümkün olabilecektir.

Düzlem dışı davranış konusu, can güvenliği açısından önem taşımaktadır. Bu anlamda hasar gören dolgu duvarların düzlem dışı dayanımlarının belirli alt limitleri sağladığını göstermek ve karşılık gelen yanal ivmeleri belirlemek önemli bulgulardır.



T.C.
DOKUZ EYLÜL ÜNİVERSİTESİ
MÜHENDİSLİK FAKÜLTESİ DEKANLIĞI

Bölüm: İnşaat Mühendisliği

Buca/İZMİR
??/??/????

Çalışma kapsamında farklı dolgu duvar türlerini barındıran numunelerin çerçeve ve duvar elemanlarında artan ötelenmeler boyunca hasar dağılımının belirlenmesi ve nihai hasar modlarının tespit edilmesi gibi yararlı sonuçlara ulaşılmıştır.

Ayrıca, elde edilen tepe yükü - tepe ötelenmesi, donatı birim şekildeğiştirmesi, dolgu duvar kayma birim şekildeğiştirmesi ve gözlenen hasar verisi kullanılarak ileriki dönemlerde dolgu duvarların kalibre edilmiş sonlu elemanlar modellerinin oluşturulması mümkün olacaktır.

1.2. Deneysel Programın Genel Tanımı

Deneysel çalışma, düzlemiçi testler ve düzlemdışı testler olarak iki ana gruba ayrılmaktadır. Her bir gruptaki test için kullanılan yükleme ve ölçüm düzenekleri ayrıdır, bununla birlikte testler birbiri içerisine geçen döngüler şeklinde yürütülmüştür.

Numunelere bir taraftan üçer tam çevrimden oluşan önceden tanımlı düzlemiçi tepe ötelenmeleri uygulanmıştır. Bu ötelenmeler, takip eden hedef ötelenme oranlarında gerçekleştirilmiştir (%); 0.15; 0.20; 0.25; 0.35; 0.50; 0.75; 1.00; 1.40; 1.75; 2.20; 2.75.

Diğer taraftan numunelerin hasar görmeye başlamasıyla birlikte, hedef ötelenmelerin son çevriminde, çekme doğrultusunda numune şekil değiştirmiş haldeyken dolgu duvar üzerine tepe yükünün belli bir oranında düzlemdışı doğrultuda yük uygulanmış ve bu yükü güvenle taşıdığı gösterilmiştir. Düzlemdışı doğrultuda uygulanan yük, düzlemiçi doğrultuda ilgili numunenin duvar elemanı tarafından karşılanan tepe yükünün %30'u kadardır.

Tüm testlerin öncesinde kolon elemanlar üzerine $P = 150000$ N basınç yükü uygulanmış ve kullanılan yük kontrollü düzenek sayesinde bu yüklerin test boyunca sabit kalması sağlanmıştır. Bununla birlikte, uygulanan düzlemiçi tepe ötelenmelerinin oluşturduğu devrilme momentleri kaçınılmaz olarak kolon aksenal yük düzeylerinde bir miktar değişim yaratmıştır.

Düzlemiçi ötelenmeler, giriş orta aksı hizasından numuneye bağlanmış deplasman kontrollü bir aktivatör ile gerçekleştirilmiştir. Aktivatör, girişi içine alan bir aktarma çerçevesine bağlıdır. Bununla birlikte, test boyunca hasar alan giriş elemanın boy uzama talebini kısıtlamamak için aktivatör ile numune arasına yeterli miktarda boşluk bırakılmıştır.

Düzlemdışı yüklemede ise hidrolik pistonla bağlı bir dağıtma plakası ile dört eşit parçaya ayrılan yük, dolgu duvarın yükseklik ve genişliğinin orta 1/3'lük noktalarına uygulanmıştır. Detaylı açıklamalar **Bölüm 4**'de verilmiştir.



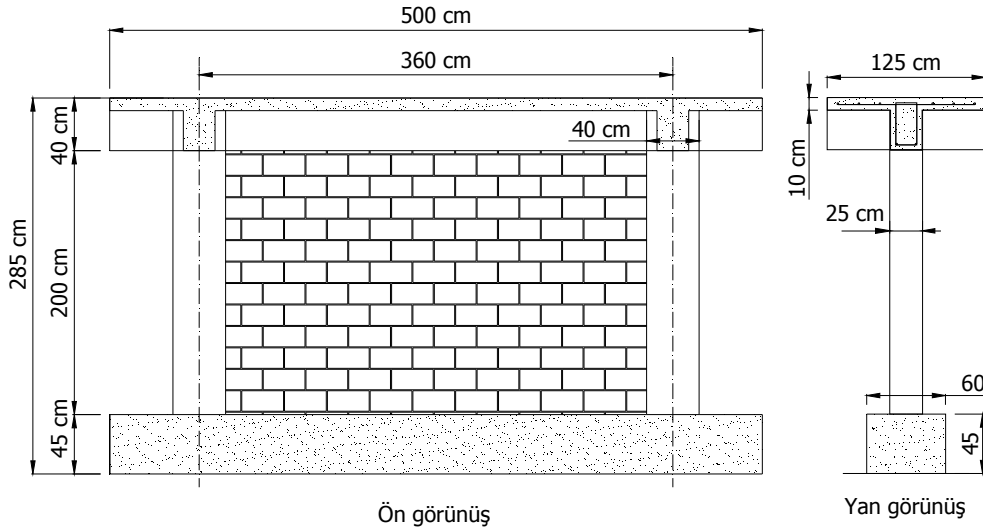
T.C.
DOKUZ EYLÜL ÜNİVERSİTESİ
MÜHENDİSLİK FAKÜLTESİ DEKANLIĞI

Bölüm: İnşaat Mühendisliği

Buca/İZMİR
??/??/????

2. ÇERÇEVE NUMUNESİNİN DETAYLARI

Test numuneleri çok katlı çerçeve türü bir betonarme binanın bir asal doğrultudaki zemin kat çerçevesini temsil edecek şekilde tek kat ve tek açıklıklı düzlem çerçeve olarak boyutlandırılmıştır. Kullanılacak dolgu duvar birimleri hâlihazırda üretimi gerçekleştirilen ürünler olduğundan ve deneysel mekanik çalışmalarda çeşitli olumsuzluklara sebep olan boyut etkisinden kaçınmak için numune boyutları günlük hayatta karşılaşılan kolon-kiriş eleman boyutlarına çok yakın seçilmiştir. Kolon yüksekliği 240 cm ve kolon 250x400 mm² boyutlarındadır. Kirişin kolon yüzünden mesafesi 320 cm ve kiriş kesiti 250x400 mm²'dir. Geometrisi ve dış ölçüleri **Şekil 2.1**'de verilen numunenin donatıları 2007 Türk Deprem Yönetmeliği hükümlerine göre belirlenmiş ve detaylandırılmıştır.



Şekil 2.1. Numune dış ölçüleri ve dolgu duvar yerleşimi

Deneyler sırasında numunelerin kolon-kiriş birleşimlerinin, gerçek yapılardaki kuşatılmış birleşimler gibi davranabilmesini sağlamak ve deneyler sırasında birleşimlerin hasarı ilk gören elemanlar olmamasını garanti etmek için kolon ve kiriş elemanlar düğüm noktasında sonlandırılmamış ve devamına elemanlar eklenmiştir. Ayrıca numuneye enine doğrultudaki kirişler de eklenmiş ve gerçek binalarda olduğu gibi test numunelerinde de döşeme etkisinin gözlenebilmesi için etkili tabla genişliği kadar döşeme parçası numunelerde yer almıştır.

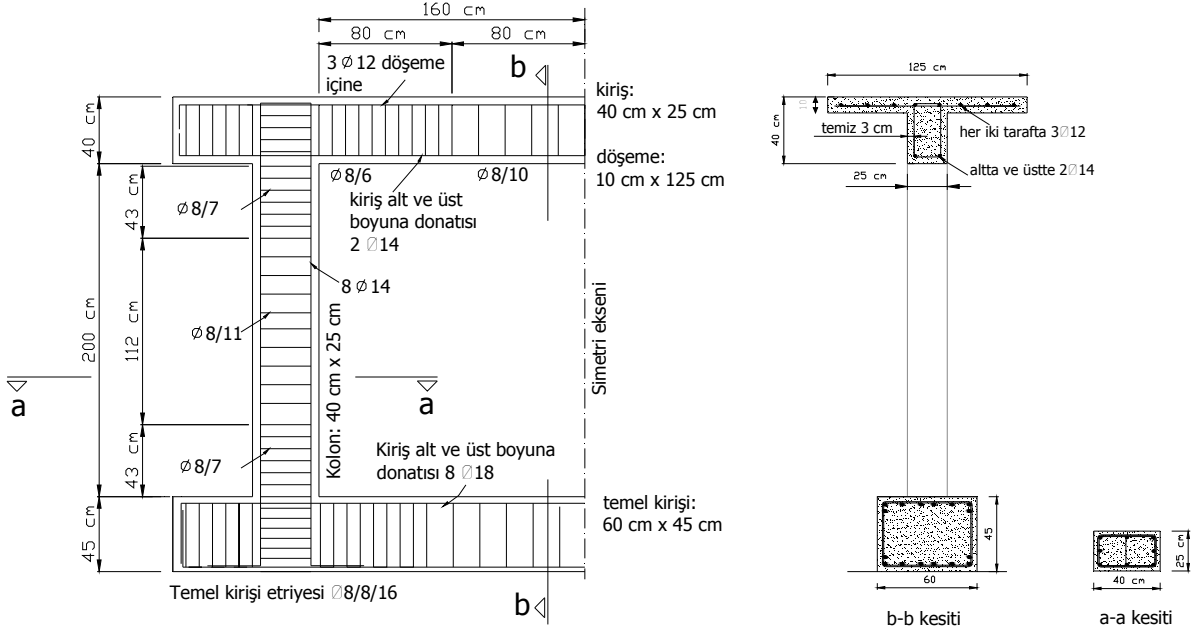
Betonarme çerçevelerin imalatı ve dolgu duvar örülmesi işleri Dokuz Eylül Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü Yapı Mühendisliği Laboratuvarı içerisinde gerçekleştirilmiştir. Betonarme çerçevelerin imalatı sırasında hazır beton kullanılmıştır. Kolon ve kiriş kesitleri sırasıyla 8Φ14 ve 4Φ14 boyuna donatıya sahiptir. Döşemede ayrıca 6Φ14 boyuna donatı bulunmaktadır. Donatılar S420, beton ise C20 kalitesindedir. Numunelerin donatı planı ve detayları **Şekil 2.2** ve **Şekil 2.3**'de verilmiştir. Dolgulu çerçevelerde duvarların örülmesinden sonra duvarların her iki yüzü 1.5 cm kalınlığında sıvanmıştır.



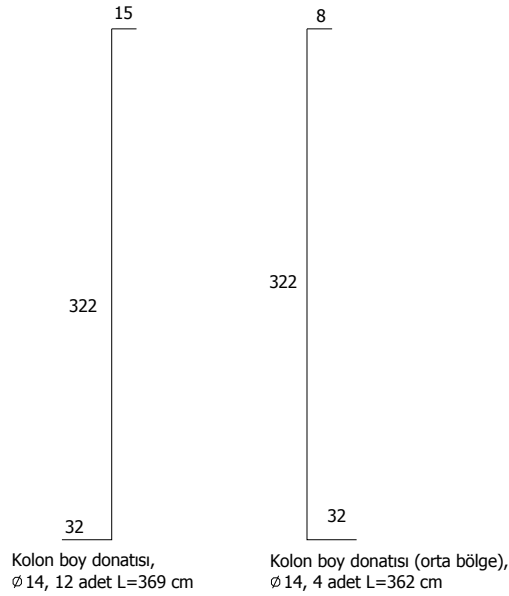
T.C.
DOKUZ EYLÜL ÜNİVERSİTESİ
MÜHENDİSLİK FAKÜLTESİ DEKANLIĞI

Bölüm: İnşaat Mühendisliği

Buca/İZMİR
??/??/????



Şekil 2.2. Numune donatı detaylandırması.



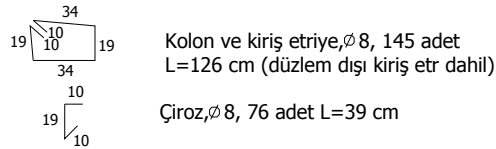
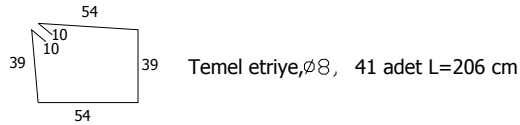
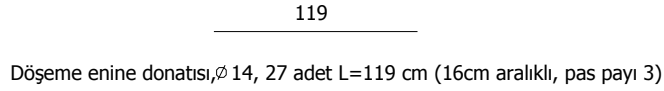
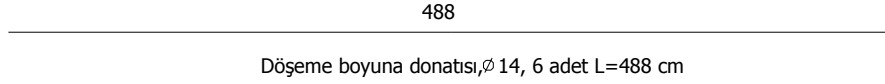
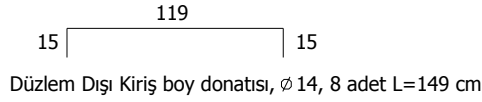
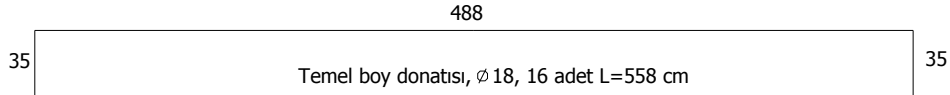
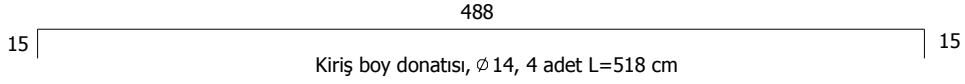
Şekil 2.3. Numune donatı açılımı.



T.C.
DOKUZ EYLÜL ÜNİVERSİTESİ
MÜHENDİSLİK FAKÜLTESİ DEKANLIĞI

Bölüm: İnşaat Mühendisliği

Buca/İZMİR
??/??/????



Şekil 2.3. Numune donatı açılımı, *devam*



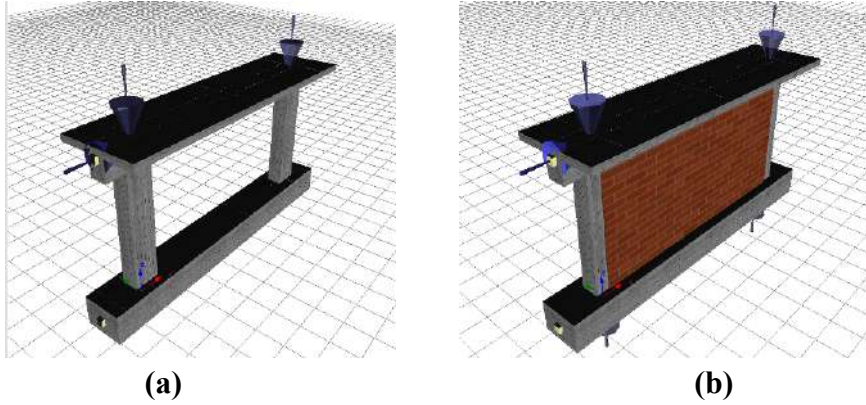
T.C.
DOKUZ EYLÜL ÜNİVERSİTESİ
MÜHENDİSLİK FAKÜLTESİ DEKANLIĞI

Bölüm: İnşaat Mühendisliği

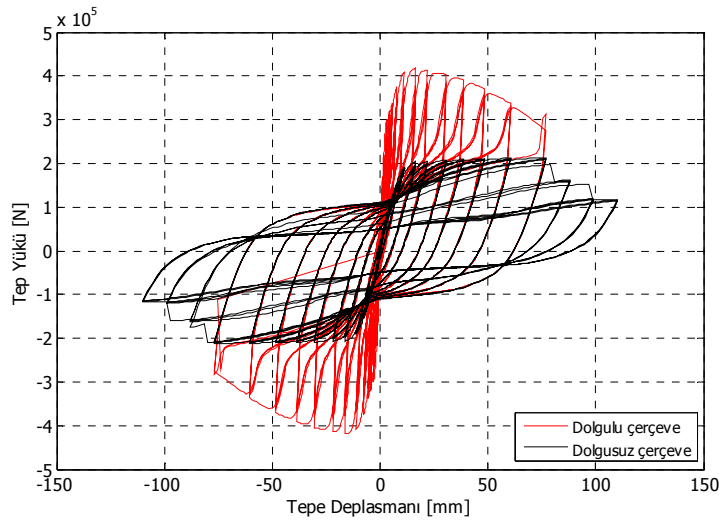
Buca/İZMİR
??/??/????

3. DOLGUSUZ VE DOLGULU ÇERÇEVE DAVRANIŞININ TAHMİNİ

Dolgulu ve dolgusuz numunelerin tepe yükü-tepe ötelenmesi davranışının öngörülebilmesi için yapısal modeller hazırlanmış ve bu amaçla SeismoStruct yazılımı kullanılmıştır. Boş çerçeveyi oluşturmak için kuvvet tabanlı çubuk elemanlar, Mander betonu ve Menegetto-Pinto çeliği kullanılmıştır. Bu malzeme ve eleman modellerine, deneylerde kullanılacak betonarme çerçevenin detayları aktarılmış ve analiz edilmiştir. Dolgulu çerçeve modelinde ise dolgu duvar, basınç çubukları ve kesme yaylarından oluşan bir makro eleman olarak tanımlanmıştır. Çok sayıda model parametresi gerektiren bu elemanda parametrelerin bir kısmı ampirik değerlerdir. Bu değerler, önceki deney sonuçları ile kalibre edilmiş ve yazılımın doğrulama örnekleri olarak sunulan dolgu duvar modelleri üzerinden alınmış ve kullanılmıştır. Oluşturulan sayısal modellerin görünüşleri **Şekil 3.1**'de, analiz sonucu bulunan tepe yükü-ötelenme eğrileri de **Şekil 3.2**'de verilmiştir. Dolgusuz ve dolgulu çerçeve modellerinden elde edilen en büyük tepe yükü sırasıyla 200 kN ve 400 kN mertebesindedir.



Şekil 3.1. Oluşturulan sayısal modellerin görünüşleri, **a)** Dolgusuz, **b)** dolgulu çerçeve.



Şekil 3.2. Sayısal modelleme ile elde edilen yük-ötelenme eğrileri.



T.C.
DOKUZ EYLÜL ÜNİVERSİTESİ
MÜHENDİSLİK FAKÜLTESİ DEKANLIĞI

Bölüm: İnşaat Mühendisliği

Buca/İZMİR
??/??/????

4. DENEYSEL ÇALIŞMANIN DETAYLARI

Bu deneysel çalışmada, bir adet dolgusuz ve beş farklı türde tuğla duvar ile doldurulmuş 4/5 ölçekli tek katlı tek açıklı betonarme çerçeve numuneleri kullanılmıştır. Bu numunelere deplasman kontrollü deney sistemi kullanılarak düzlemiçi doğrultuda artan tepe ötelenmeleri uygulanmış ve kontrollü hasar verilmiştir. İkinci bir yükleme sistemi ile belirli tepe ötelenme değerlerinde dolgu duvarlar üzerine düzlem dışı doğrultuda yükler uygulanmıştır. Bu işlemler yapılırken numunenin davranışı gözlenmiş ve çeşitli sensörler ile betonarme çerçeve ve dolgu duvarın depremi benzeştiren yükler altındaki şekil değiştirmeleri izlenmiştir.

4.1. Numunelerin Özellikleri

Test edilen tüm numunelerin betonarme çerçeveleri geometrik ve mekanik özellikler bakımından benzerdir. Duvarlar, örülmelerini takip eden sekiz gün boyunca kür edilmiş ve sonrasında her iki yüzü 1.5 cm kalınlığında sıvanmıştır. Kullanılan malzemelerin test sonuçları **Bölüm 6.1**'de verilmiştir. Numuneler aşağıda sıralanan altı farklı türde oluşturulmuştur.

1) *Dolgusuz çerçeve*

Geometrik boyutları ve kesit detayları **Bölüm 3**'de verilmiştir.

2) *İzotuğla dolgu duvarlı çerçeve*

Düşey derzleri kilitli ve yatay derzlerinde harç bulunan düşey boşluklu izotuğla ile oluşturulmuş duvarda, düşey doğrultuda toplam sekiz tuğla sırası bulunmaktadır. **24 x 24 x 23.5 cm boyutlarında olan tuğla birimleri, TS EN 771-1 standardındadır.**

3) *Z bağlantısı içermeyen Sandviç dolgu duvarlı çerçeve*

Dolgu duvar, **19 x 19 x 13.5 cm ve 19 x 19 x 8.5 cm** boyutlarında tuğlalar ile oluşturulmuş iki sıra duvardan (iki kanat) oluşmaktadır. **Tuğla birimleri, TS EN 771-1 standardındadır.** Düşey ve yatay derzlerinde harç bulunan duvarda, düşey doğrultuda toplam on tuğla sırası bulunmaktadır. Duvar kanatları arasında **TS 7316 EN 13163 standardına uygun, yoğunluğu 16 dansite ve kalınlığında 3 cm strofor malzeme** bulunmakta ve piyasa uygulamalarında sıkça karşılaşıldığı gibi kanatlar arasında herhangi bir bağlantı bulunmamaktadır.

4) *Z bağlantısı içeren Sandviç dolgu duvarlı çerçeve*

Malzeme ve işçilik özellikleri bakımından “Z bağlantısı içermeyen Sandviç dolgu duvar” ile aynı olan bu duvarda, ilave olarak iki duvar kanadını birbirine bağlayan Z metal bağlantıları bulunmaktadır. Bağlantılar, yatay derz üzerine, **yatayda 60 cm (3 sıra) ve düşeyde 40 cm (2 sıra)** mesafeyle şaşırtmalı şekilde harç içerisine



T.C.
DOKUZ EYLÜL ÜNİVERSİTESİ
MÜHENDİSLİK FAKÜLTESİ DEKANLIĞI

Bölüm: İnşaat Mühendisliği

Buca/İZMİR
??/??/????

yerleştirilmiştir. Metal bağlantı sarfiyatı yaklaşık 4.2 adet/m² olarak gerçekleşmiştir (Duvar yüksekliği ve genişliği sırasıyla 200 cm ve 320 cm'dir).

5) *Bims dolgu duvarlı çerçeve*

Düşey derzleri **geçmeli** ve yatay derzlerinde harç bulunan bims blok ile oluşturulmuş duvarda, düşey doğrultuda toplam on sıra blok bulunmaktadır. **Bims bloklar, TS EN 771-3'e uygun, 3 sıra boşluk içeren, 39 x 19 x 19 cm boyutlarında elemanlardır.**

6) *Gazbeton dolgu duvarlı çerçeve*

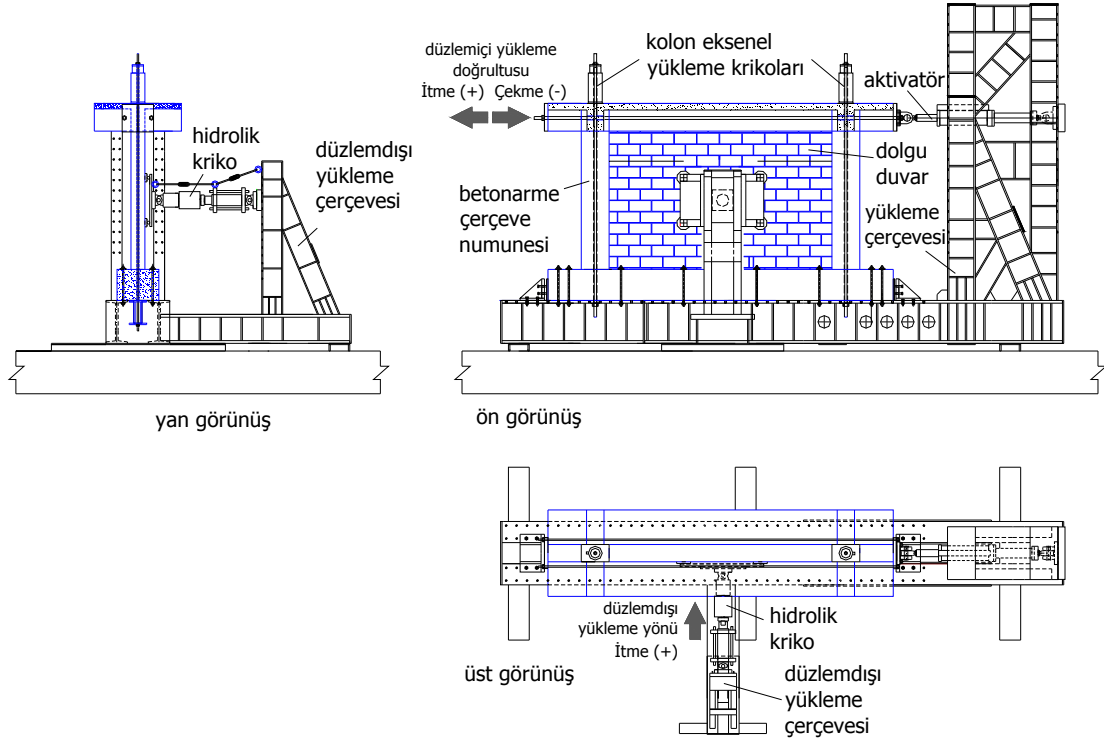
Düşey ve yatay derzlerinde özel gazbeton harcı bulunan gazbeton blok ile oluşturulmuş duvarda, düşey doğrultuda toplam on sıra blok bulunmaktadır. **Gazbeton bloklar, TS EN 771-4'e uygun, 60 x 20 x 25 cm boyutlarında elemanlardır.**

4.2. Düzlemiçi ve Düzlemdışı Yüklemeler

Yatay yükü uygulayan hidrolik piston entegre edilmiş yük hücresi ile yatay kesme kuvveti ölçülmüştür. Ayrıca, kontrollü ve kademeli olarak artan miktarda hasar verilen numunenin içerisinde yer alan dolgu duvarın üzerine, belirli hasar düzeylerinde kuvvet kontrollü düzlem dışı yanal yükler uygulanmıştır. Bu sayede artan hasar düzeyi (tepe ötelenme oranları) ile farklı dolgu duvar türlerinin düzlem dışı stabilitesi arasındaki ilişkinin belirlenmesine çalışılmıştır. Düzlem dışı yükler hidrolik el krikosu kullanılarak duvarın orta 1/3'lük bölgesindeki dört noktadan uygulanmıştır. Deney ortamı ön görünüş, yan görünüş ve üst görünüş olarak **Şekil 4.1**'de verilmiştir.

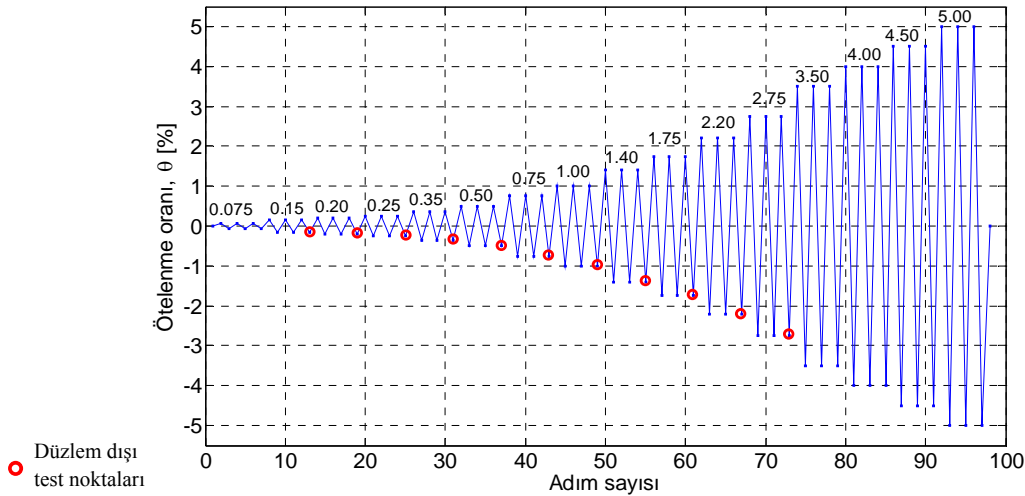
Deneyler ACI 374.1-05 (2005) dokümanı esas alınarak gerçekleştirilmiştir. Test numuneleri, şekilde görülen çelik yükleme çerçevesi üzerine sabitleme çubukları ve takozları ile sabitlenmiş ve test edilmiştir. Yükleme çerçevesi 1800 kN.m kapasitelidir. Şekilde görülen kolon eksenel yükleme bağlantıları kullanılarak numunelerin kolon elemanlarına, bina ağırlığını temsil etmesi amacıyla, deney süresince sabit eksenel basınç kuvveti uygulanmıştır. Bu işlem için kolon elemanlar içerisinde geçen öngerme çubukları kullanılmış, çubukların bir ucu kolon üstüne yerleştirilen 300 kN kapasiteli hidrolik silindirlere bağlanmış, diğer ucu ise temel kirişi altına sabitlenerek bir eksenel yükleme sistemi oluşturulmuştur. Her bir kolona, kolon eksenel yük kapasitesinin %10'u düzeyinde eksenel yük uygulanmıştır (%10 $f_{cm} \cdot A_g$; f_{cd} : beton basınç dayanımı, A_g : kolon brüt enkesit alanı).

Çerçeve numunelerine, deprem etkileri sırasında maruz kalacakları türden tepe ötelenmeleri, TDG-İdatek yapımı 500 kN kapasiteli hidrolik aktivatör kullanılarak kiriş hizasından yerdeğiştirme kontrollü tersinir tekrarlı yükleme yoluyla uygulanmıştır. Ötelenme oranı, numunenin kolon tepe noktasının yaptığı yatay yerdeğiştirmenin (δ), kolon boyuna (L) bölünmesi ile elde edilmektedir (δ/L).



Şekil 4.1. Test kurulumu üç görünüşü.

Yüklem adımları, **Şekil 4.2**'de görülen önceden tanımlanmış tepe ötelenme oranlarında gerçekleştirilmiştir. Tekrarlayan çevrimlerde numunelerdeki dayanım ve rijitlik azalmasını gözlemek amacıyla her bir ötelenme oranı için üçer adet tam çevrim uygulanmıştır. Seçilen ilk ötelenme oranı, numunede elastik bölge olarak kabul edilebilecek iç kuvvetlerin gelişmesini sağlayacak miktardadır.



Şekil 4.2 Yatay yüklem çevrimleri ve düzlem dışı yüklem noktaları



T.C.
DOKUZ EYLÜL ÜNİVERSİTESİ
MÜHENDİSLİK FAKÜLTESİ DEKANLIĞI

Bölüm: İnşaat Mühendisliği

Buca/İZMİR
??/??/????

Dolgusuz çerçeve, ileri ötelenme adımlarındaki davranışının elde edilmesi için % 4.0 ötelenme oranına kadar test edilmiş, dolgulu çerçeveler ise tepe yükündeki azalmaya bağlı olarak en çok % 2.75 ötelenme oranına götürülmüştür.

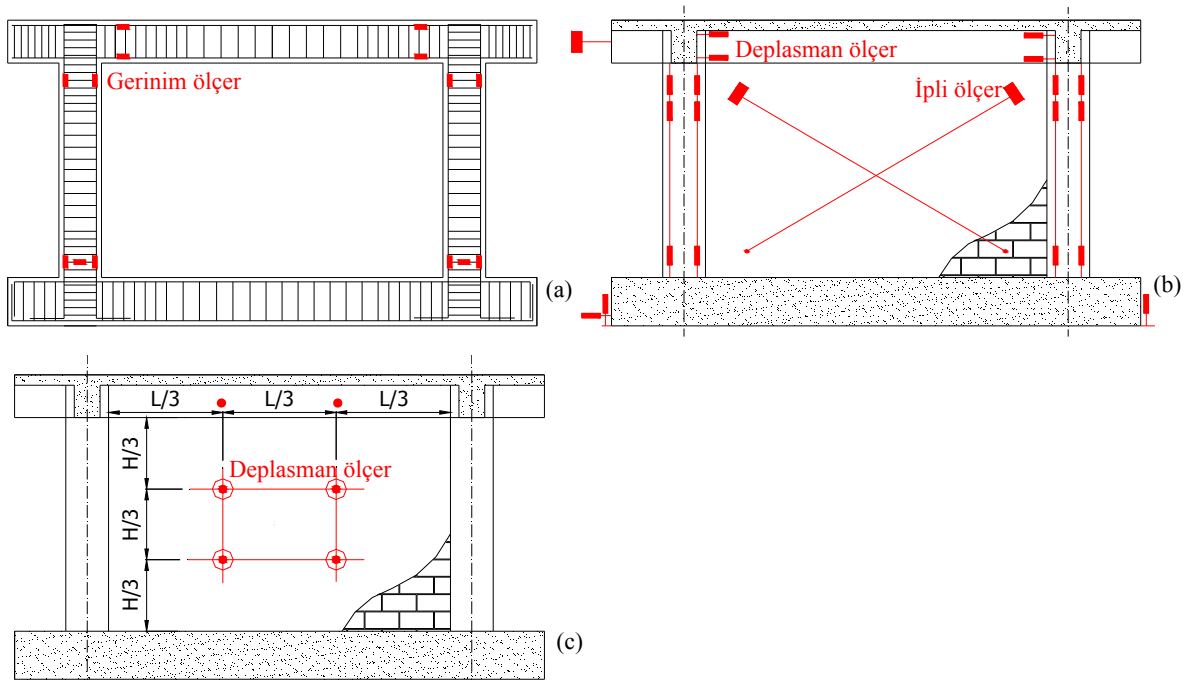
Numunenin mutlak hareketleri aktivatör üzerindeki bir adet yerdeğiştirme ölçer ile izlenmiştir. Düzlem dışı testler Şekil 4.2'de görülen durak noktalarında, betonarme çerçeve çekme doğrultusunda şekil değiştirmiş pozisyonda iken uygulanmıştır.

4.3. Numunelere Yerleştirilen Ölçerler

4.3.1. Donatı Birim Şekil Değiştirmeleri

Numunelerin kritik bölgelerindeki boyuna ve enine donatıların birim şekil değiştirmelerinin deneyler sırasında izlenmesi amacıyla konumları Şekil 4.3.a'da verilen bölgelere gerinim ölçerler yerleştirilmiştir. Çalışma kapsamında 120 Ω gerinim ölçerler kullanılmıştır.

Betonarme çerçeve numunelerinin demir bağlama işi tamamlandıktan sonra ve beton dökümünden önce her bir numunenin boyuna ve enine donatıları üzerine 20 adet gerinim ölçer pulu ve bağlantı kabloları yerleştirilmiştir. Bunlardan 14 tanesi deneyler sırasında aktif olarak izlenmiş, 6 tanesi beton dökümü, kütleme ve diğer olası sebeplerle ölçerlerin zarar görmesi riskine karşı yedek olarak kullanılmıştır. Gerinim ölçerler deneyler öncesinde çeyrek köprü tamamlama kabloları ile veri toplama sistemine bağlanmıştır.



Şekil 4.3. Numuneye yerleştirilen (a) gerinim ölçer (b) düzlemiçi testlerde kullanılacak deplasman ve ipli ölçer (c) düzlemdışı testlerde kullanılacak deplasman ölçer lokasyonları.



T.C.
DOKUZ EYLÜL ÜNİVERSİTESİ
MÜHENDİSLİK FAKÜLTESİ DEKANLIĞI

Bölüm: İnşaat Mühendisliği

Buca/İZMİR
??/??/????

4.3.2. Yerdeğiştirme Ölçümü

Deneyler sırasında numuneye aktarılan yer değiştirme yükünün ve toplam dönmenin, kolon, kiriş ve duvar alt elemanları tarafından ne oranda paylaşıldığının bilinmesi, deney sırasında gözlenen davranışın ve hasarın analiz edilmesi için önemli olmaktadır. Bu bilgi, deneysel verinin analitik olarak işlenmesi (Örneğin numunenin bir sonlu elemanlar modelinin oluşturulması ve deney verisi ile kalibre edilmesi) sırasında da son derece gereklidir. Bu sebeple hasarın yoğunlaştığı bölgelerin düzenli bir şekilde gözlenmesi gerekmektedir. Bu gözlem, **Şekil 4.3.b**'de görüldüğü gibi, numune temeli, kolon dipleri, kiriş hizası ve duvarın her iki diyagonalı üzerine yerleştirilen yüksek hassasiyetli 19 adet yerdeğiştirme ölçer ve 3 adet ipli ölçer kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

Ayrıca düzlemdışı yüklemeler sırasında hidrolik kol üzerinde yer alan bir adet yük ölçer sayesinde ilgili doğrultudaki yük değerleri alınmış ve numune temeline sabitlenen referans çerçeve üzerinde bulunan ve **Şekil 4.3.c**'de görülen toplam 6 adet yüksek hassasiyetli deplasman ölçer ile dolgu duvar ve kiriş hizasında gerçekleşen düzlemdışı doğrultudaki görelî ötelenmeler izlenmiştir.

4.4. Deney Altyapısı

Deneyler, Dokuz Eylül Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü Yapı Mühendisliği Laboratuvarı'nda gerçekleştirilmiştir. Deneyler sırasında laboratuvarda bulunan aşağıdaki cihazlar kullanılmıştır:

- TDG-İdatek yapımı 500 kN kapasiteli düzlemedi yüklem aktivatörü,
- 200 kN kapasiteli düzlemedi yüklem aktivatörü (hidrolik güç üniteleri, kontrol sistemleri ve yük hücreleri ile birlikte),
- 1800 kN-m kapasiteli düzlemedi çelik yüklem çerçevesi,
- 800 kN-m kapasiteli düzlemedi yüklem çerçevesi,
- Kolonlara aksel yüklerin verileceği iki adet 60 ton kapasiteli hidrolik silindir ve elektrikli pompa, ilgili hortum ve manifoldlar,
- Statik deneyler sırasında deney numunesinin tepkisini kayıt altına alacak 8 kanallı 6 adet statik veri toplama sistemi,
- Gerinim ölçer pulu çeyrek köprü tamamlama kabloları,
- 3 adet ipli ölçer, 25 adet deplasman ölçer, 2 adet yükölçer ve ilgili kabloları.

Testler sırasında ayrıca numunelerdeki hasar gelişimi fotoğraf ve video cihazları ile test süresince izlenmiştir.



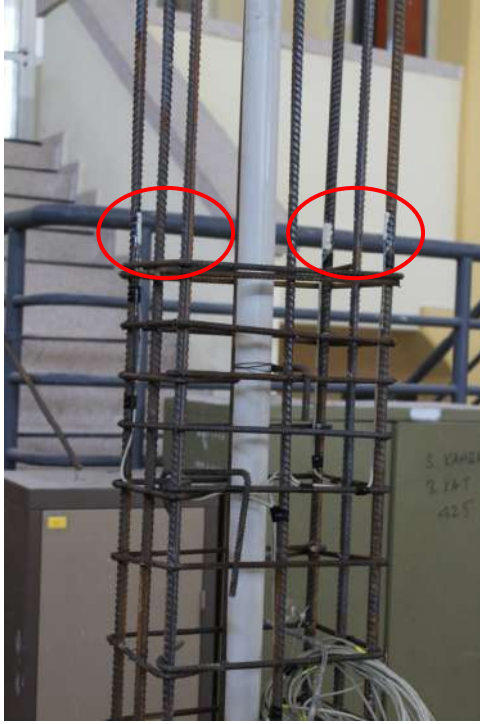
T.C.
DOKUZ EYLÜL ÜNİVERSİTESİ
MÜHENDİSLİK FAKÜLTESİ DEKANLIĞI

Bölüm: İnşaat Mühendisliği

Buca/İZMİR
??/??/????

4.5. Numunelerin Hazırlanması ve Deney Ortamının Genel Görünümü

Altı adet betonarme çerçeve numunesinin, beton dökümü öncesinde kolon ve kiriş donatıları üzerine gerinim ölçerler yerleştirilmiş (Şekil 4.4) ve önceden planlanan detayda ve malzeme kalitesinde üretimleri gerçekleştirilmiştir (Şekil 4.5 ve Şekil 4.6).



(a)



(b)



(c)

Şekil 4.4. Kolon ve kiriş elemanların donatılarına yerleştirilen gerinim ölçerler.



T.C.
DOKUZ EYLÜL ÜNİVERSİTESİ
MÜHENDİSLİK FAKÜLTESİ DEKANLIĞI

Bölüm: İnşaat Mühendisliği

Buca/İZMİR
??/??/????



(a)



(b)

Şekil 4.5. Betonarme çerçevelerin beton dökümünün gerçekleştirilmesi.



T.C.
DOKUZ EYLÜL ÜNİVERSİTESİ
MÜHENDİSLİK FAKÜLTESİ DEKANLIĞI

Bölüm: İnşaat Mühendisliği

Buca/İZMİR
??/??/????



Şekil 4.6. Kalıptan alınan betonarme çerçeveler.

Betonarme çerçevelerin üretiminde kullanılan beton ve çelik malzemeye ait malzeme numuneleri yürürlükteki şartnameler uyarınca alınmıştır. Beton malzemelerin 28 günlük küp basınç dayanımları ve ilgili çerçeve testinin yapılacağı gün gerçekleştirilecek basınç testleri için üçer adet 15 cm boyutlu küp numuneler ayrı ayrı alınarak uygun küre bırakılmıştır. Her bir deney çerçevesi 28 günlük dayanımlarına ulaştırılmıştır. Çerçeve numunelerinin ismi ve açıklaması **Tablo 5.1**'de görülmektedir. Deney çerçevelerinin bir adedi kontrol numunesi olarak dolgunsuz şekilde, diğer beş adedi ise dolgulu şekilde test edilecektir. Hazırlanan dolgulu çerçeveler, **Şekil 4.7-Şekil 4.11** boyunca görülebilir.

Tablo 5.1. Çerçeve numunelerinin isim ve açıklaması.

Numune ismi	Dolgu Türü
N1	Dolgunsuz
N2	İzotuğla Dolgu Duvar
N3	Z bağlantısız Sandviç Duvar
N4	Z bağlantılı Sandviç Duvar
N5	Bims Dolgu Duvar
N6	Gazbeton Dolgu Duvar



T.C.
DOKUZ EYLÜL ÜNİVERSİTESİ
MÜHENDİSLİK FAKÜLTESİ DEKANLIĞI

Bölüm: İnşaat Mühendisliği

Buca/İZMİR
??/??/????



Şekil 4.7. Z bağlantısız “Sandviç Duvar”ın örülmesi.



Şekil 4.8. Z bağlantılı “Sandviç Duvar”ın örülmesi.



T.C.
DOKUZ EYLÜL ÜNİVERSİTESİ
MÜHENDİSLİK FAKÜLTESİ DEKANLIĞI

Bölüm: İnşaat Mühendisliği

Buca/İZMİR
??/??/????



Şekil 4.9. Duvar örümü ve sıva işleri tamamlanan N2, N3 ve N4 numuneleri



T.C.
DOKUZ EYLÜL ÜNİVERSİTESİ
MÜHENDİSLİK FAKÜLTESİ DEKANLIĞI

Bölüm: İnşaat Mühendisliği

Buca/İZMİR
??/??/????



Şekil 4.10. Bims ve Gazbeton dolgu duvarların örülmesi.



Şekil 4.11. Duvar örümü ve sıva işleri gerçekleştirilen N5 ve N6 numuneleri.

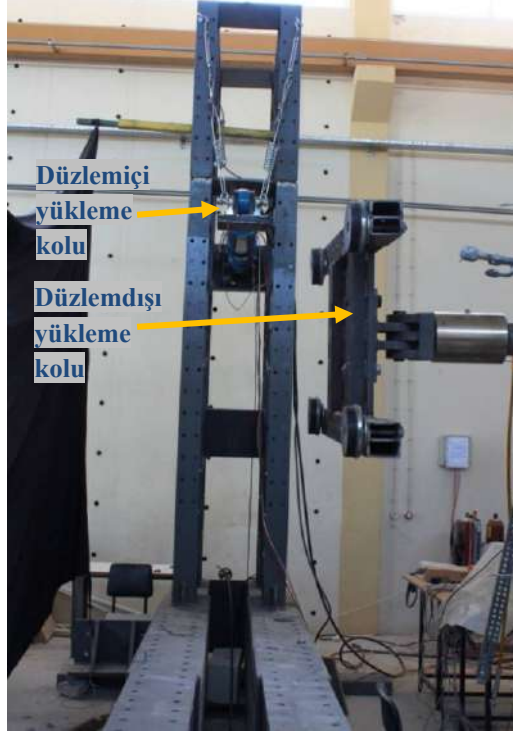
Numunelerin kaldırılması ve deney sistemine yerleştirilmesi sırasında çerçeve ve dolgu elemanların zarar görmemesi için çerçevelerin temeli üzerine taşıma kancaları yerleştirilmiş ve döşeme elemanlar üzerinde boşluklar oluşturulmuştur. Duvar örümü ve sıvanması sırasında kullanılan harç ve sıva karışımlarından 28 günlük küp basınç dayanımları ve ilgili numune testinin yapılacağı gün gerçekleştirilecek basınç testleri için üçer adet 4 cm boyutlu küp numune ayrı ayrı alınmıştır. Priz süreleri boyunca çerçeve ve dolguların su kürleri uygun şekilde gerçekleştirilmiştir. **Şekil 4.12**'de düzlemiçi ve düzlem dışı yükleme kolları görülmektedir. Duvar düzlemine dik doğrultuda uygulanacak düzlem dışı yükleme için dağıtma plakası ve neopren pabuçlu ayaklar şekil üzerinde görülebilir. **Şekil 4.13**'de deney ortamının genel görünümü verilmiştir.



T.C.
DOKUZ EYLÜL ÜNİVERSİTESİ
MÜHENDİSLİK FAKÜLTESİ DEKANLIĞI

Bölüm: İnşaat Mühendisliği

Buca/İZMİR
??/??/????



Şekil 4.12. Hazır hale getirilen düzlemiçi ve düzlemdışı yükleme hidrolik kolları.



Şekil 4.13. Deney ortamının genel görünümü.



T.C.
DOKUZ EYLÜL ÜNİVERSİTESİ
MÜHENDİSLİK FAKÜLTESİ DEKANLIĞI

Bölüm: İnşaat Mühendisliği

Buca/İZMİR
??/??/????

5. MALZEME DENEYLERİNİN SONUÇLARI

5.1. Donatılar

Bu bölümde dolgu duvar donatıları (Z bağlantı) ve betonarme çerçeve donatıları olmak üzere iki grup halinde donatıların çekme testlerine ait sonuçlar sunulmuştur. Sonuçlar ortalama değerler olarak verilmiştir.

Tablo 5.1. Kullanılan dolgu duvar donatısına ait çekme testi sonuçları.

Numune Türü	Akma Gerilmesi [MPa]	Çekme Gerilmesi [MPa]	Kopma anındaki birim uzama ϵ [%]
$\Phi 4$	455	550	4.0

Tablo 5.2. Betonarme çerçevelerin üstyapı donatılarına ait çekme testi sonuçları.

Numune Türü	Akma Gerilmesi [MPa]	Çekme Gerilmesi [MPa]	Kopma anındaki birim uzama ϵ [%]
$\Phi 8$	590	678	20.0
$\Phi 14$	473	574	23.6

5.2. Beton

Betonarme çerçevelerde $f_c' = 25$ MPa silindir basınç dayanımı hedeflenmiştir. Numuneler temel ve üstyapı olarak iki aşamada dökülmüş, her dökümde ya üç adet numunenin temeli veya üç numunenin üstyapısı tamamlanmıştır. Her dökümde 6 adet 15 cm'lik küp numune alınmış, 3 adet küp numunenin 28 günlük standart basınç dayanımı bulunmuş, çerçeveler ile aynı kür koşullarında bırakılan diğer 3 adet numunenin de çerçeve testlerinin yapıldığı gün basınç testleri yapılarak ASTM C39-96 standardına göre f_c' dayanım değerleri bulunmuştur. Deney günü test edilen küp numunelerinin basınç dayanımlarının ortalamaları her bir birleşim numunesi için silindir basınç dayanımına çevrilerek **Tablo 5.3**'de verilmiştir.



T.C.
DOKUZ EYLÜL ÜNİVERSİTESİ
MÜHENDİSLİK FAKÜLTESİ DEKANLIĞI

Bölüm: İnşaat Mühendisliği

Buca/İZMİR
??/??/????

Tablo 5.3. Betonarme çerçevelerin temel ve üstyapı betonlarının silindir basınç dayanımları.

Numune kodu	Numune Türü	Basınç Dayanımı [MPa]	
		Temel kirişi	Üstyapı
N1	Dolgunsuz çerçeve	23.9	25.8
N2	İzotuğla dolgulu çerçeve	23.0	26.4
N3	Z'siz Sandviç dolgulu çerçeve	24.8	26.8
N4	Z'li Sandviç dolgulu çerçeve	28.0	25.5
N5	Bims dolgulu çerçeve	27.4	27.1
N6	Gazbeton dolgulu çerçeve	27.8	24.5

5.3. Duvar Bileşenleri

5.3.1. Tuğla Birimleri

DeneySEL çalışma kapsamında kullanılan duvar birimlerinin (tuğla, blok) basınç testleri gerçekleştirilmiş ve sonuçları bu bölümde verilmiştir. Duvar birimleri, duvarlar oluşturulurken diğer duvar birimleri ile temasta olan iki yüzeyi temel alınarak test edilmiştir. Test öncesinde her test grubu için üçer örnek, gerekli yüzeyleri alçı malzeme ile başlıklararak test edilmiş ve ortalama brüt basınç dayanımları **Tablo 5.4 – 5.8** boyunca verilmiştir.

Tablo 5.4. İzotuğla (240 x 240 x 235 mm) birimlerinin brüt basınç dayanımları.

Numune Türü	Yüklemeye Doğrultusu	Yük Uygulanan Yüzeyi	Basınç Dayanımı [MPa]	
			Ortalama	Standart Sapma
İzotuğla	Deliklere paralel	240 x 240	5.5	0.5
İzotuğla	Deliklere dik	240 x 235	1.3	0.3

Tablo 5.5. 8.5 Tuğla (190 x 190 x 85 mm) birimlerinin brüt basınç dayanımları.

Numune Türü	Yüklemeye Doğrultusu	Yük Uygulanan Yüzeyi	Basınç Dayanımı [MPa]	
			Ortalama	Standart Sapma
8.5 Tuğla	Deliklere paralel	85 x 190	9.1	1.4
8.5 Tuğla	Deliklere dik	85 x 190	2.4	0.6



T.C.
DOKUZ EYLÜL ÜNİVERSİTESİ
MÜHENDİSLİK FAKÜLTESİ DEKANLIĞI

Bölüm: İnşaat Mühendisliği

Buca/İZMİR
??/??/????

Tablo 5.6. 13.5 Tuğla (190 x 190 x 135 mm) birimlerinin brüt basınç dayanımları.

Numune Türü	Yüklemeye Doğrultusu	Yük Uygulanan Yüzeği	Basınç Dayanımı [MPa]	
			Ortalama	Standart Sapma
13.5 Tuğla	Deliklere paralel	135 x 190	7.0	2.1
13.5 Tuğla	Deliklere dik	135 x 190	1.9	0.3

Tablo 5.7. Bims (390 x 190 x 190 mm) blokların brüt basınç dayanımları.

Numune Türü	Yüklemeye Doğrultusu	Yük Uygulanan Yüzeği	Basınç Dayanımı [MPa]	
			Ortalama	Standart Sapma
Bims Blok	Deliklere paralel	190 x 390	2.4	0.2
Bims Blok	Deliklere dik	190 x 190		

Tablo 5.8. Gazbeton (600 x 200 x 250 mm) blokların brüt basınç dayanımları.

Numune Türü	Yüklemeye Doğrultusu	Yük Uygulanan Yüzeği	Basınç Dayanımı [MPa]	
			Ortalama	Standart Sapma
Gazbeton Blok	25 cm ayırt doğrultusunda	200 x 300	3.5	0.1
Gazbeton Blok	60 cm ayırt doğrultusunda	200 x 250	2.2	0.1



T.C.
DOKUZ EYLÜL ÜNİVERSİTESİ
MÜHENDİSLİK FAKÜLTESİ DEKANLIĞI

Bölüm: İnşaat Mühendisliği

Buca/İZMİR
??/??/????

5.3.2. Örgü ve Sıva Harcı

Örgü harcı ve sıva harcı için sırasıyla 1:1:6 ve 1:2:6 hacimsel karışım oranlarında Portland çimentosu, sönmüş kireç ve 0-3 mm kum kullanılmış ve her bir çerçeve numunesinin dolgu duvarı oluşturulurken hazırlanan harç için 3'er adet 5 cm ayırtlı küp numuneler alınmıştır. Bir istisna olarak Gazbeton duvarın oluşturulması sırasında kullanılan örgü harcı için, bu amaçla üretilmiş ve piyasada hazır olarak satılan bir gazbeton yapıstırıcısı kullanılmıştır. Bu örgü harcı farklı nitelikte bir ürün olduğundan diğer karışımlardan daha yüksek bir dayanım sergilemiştir. Suda kür edilen tüm numunelerin 28 günlük ortalama küp basınç dayanımları ortalaması **Tablo 5.9**'da verilmiştir.

Tablo 5.9. Dolgu duvar örgü ve sıva harçlarının küp basınç dayanımları.

Numune kodu	Numune Türü	Basınç Dayanımı [MPa]	
		Örgü Harcı	Sıva Harcı
N1	Dolgunsuz çerçeve	-	-
N2	İzotuğla dolgulu çerçeve	4.1	3.2
N3	Z'siz Sandviç dolgulu çerçeve	4.4	3.6
N4	Z'li Sandviç dolgulu çerçeve	4.5	3.1
N5	Bims dolgulu çerçeve	4.2	3.2
N6	Gazbeton dolgulu çerçeve	9.5	3.2



T.C.
DOKUZ EYLÜL ÜNİVERSİTESİ
MÜHENDİSLİK FAKÜLTESİ DEKANLIĞI

Bölüm: İnşaat Mühendisliği

Buca/İZMİR
??/??/????

6. ÇERÇEVE DENEYLERİNİN SONUÇLARI

6.1. Numunelerin Düzlemiçi Testleri ve Hasar Gözlemleri

Bu bölümde testleri gerçekleştirilen numunelerde izlenen hasarlar rapor edilmiştir. Hasar raporları numuneler için ayrı ayrı verilmiştir.

6.1.1. Dolgusuz Çerçeve (N1, Kontrol Numunesi)

%0.20 görece kat ötelemesi (GKÖ) değerinin ilk çevrim itme yönünde sağ kolon üzerindeki kiriş-birleşim ara yüzünde kılcal eğilme çatlakları oluşmuştur. Aynı GKÖ değerinin çekme yönünde sol kolon üzerindeki kiriş-birleşim ara yüzünde kılcal eğilme çatlakları oluşmuştur. İkinci çevrimin itme yönünde bu kez sağ kolon altında kılcal eğilme çatlakları görülmüştür.

%0.25 GKÖ değerinde itme ve çekme yönlerinde kolon altlarında kılcal düzeyde yeni eğilme çatlakları gelişmiştir.

%0.35 GKÖ değerinde kolon altlarında kılcal düzeyde yeni eğilme çatlakları ile birlikte kirişin her iki ucunda birleşim ara yüzlerinde yeni eğilme çatlakları gelişmiştir.

%0.50 GKÖ değerinin ilk itme ve çekme çevriminde sağ ve sol kolonun açıklığa bakan iç yüzeylerinde kılcal eğilme çatlakları oluşmuş ve kiriş ucu hasarlarında belirginleşme gerçekleşmiştir.

%0.75 GKÖ değerinde daha önce kolon üstünde oluşan ve kılcal düzeyde olan eğilme çatlakları büyüyerek açılmıştır. Kolon-birleşim ara yüzünde yeni kılcal çatlaklar oluşmuş, kirişin her iki ucundaki eğilme çatlakları yaklaşık 1.5 mm mertebesine ulaşmış ve yenileri gelişmiştir. Kolon – temel arayüzündeki açılmalar belirginleşmiştir.

%1.0 GKÖ değerinde kolonlar üzerindeki eğilme çatlakları genişlemiş ve uzamış, daha önce oluşmuş olan sağ kolon-temel arayüzü çatlağı genişlemiştir.

%1.40 GKÖ değerinin ilk çevrimin itme yönünde kiriş sağ ucu-birleşim arayüzü çatlağı yaklaşık 5 mm mertebesine ulaşmıştır. İlk çevrimin çekme yönünde ve ikinci çevrimin itme yönünde sağ ve sol kolon altlarında kabuk betonunda ezilme birim deformasyonuna ulaşmıştır. İkinci çevrimin çekme yönünde kolon-temel ayrışması yaklaşık 3 mm mertebesindedir. İlerleyen çevrimde sağ kolon altındaki beton ezilmeleri ayrışmaya başlamıştır.

%1.75 GKÖ değerinin ikinci çevriminde itme yönünde sol kolon altındaki ezilme fark edilir düzeydedir. Çerçevenin sol tarafında döşeme üzerinde çekme çatlakları gözlenmiş, sol kolon-birleşim arayüzünde eğilme çatlakları belirginleşmiştir. %2.2 GKÖ değerinde sağ ve sol kolon temel birleşimlerindeki çatlaklar biraz daha açılmıştır. %2.75 GKÖ değerinde sol ve sağ kolon altlarındaki kabuk betonu ezilmeleri yoğunlaşmış ve ilerleyen çevrimde kabuk betonu dökülerek etriyeler açığa çıkmıştır. %3.5 GKÖ değerinde kolon altlarında dökülen kabuk betonu bölgesi genişlemiştir. %4.0 GKÖ değerinde sağ kolon altında boyuna donatı burkulması gerçekleşmiş ve sol kolon altındaki ezilme bölgesi de genişlemiştir.



T.C.
DOKUZ EYLÜL ÜNİVERSİTESİ
MÜHENDİSLİK FAKÜLTESİ DEKANLIĞI

Bölüm: İnşaat Mühendisliği

Buca/İZMİR
??/??/????



(a) Deney ortamının genel görünümü



(b) Kiriş-birleşim ara yüzünde oluşan ilk kılcal eğilme çatlakları.



T.C.
DOKUZ EYLÜL ÜNİVERSİTESİ
MÜHENDİSLİK FAKÜLTESİ DEKANLIĞI

Bölüm: İnşaat Mühendisliği

Buca/İZMİR
??/??/????



(c) Kolon diplerinde gözlenen kılcal eğilme çatlakları.



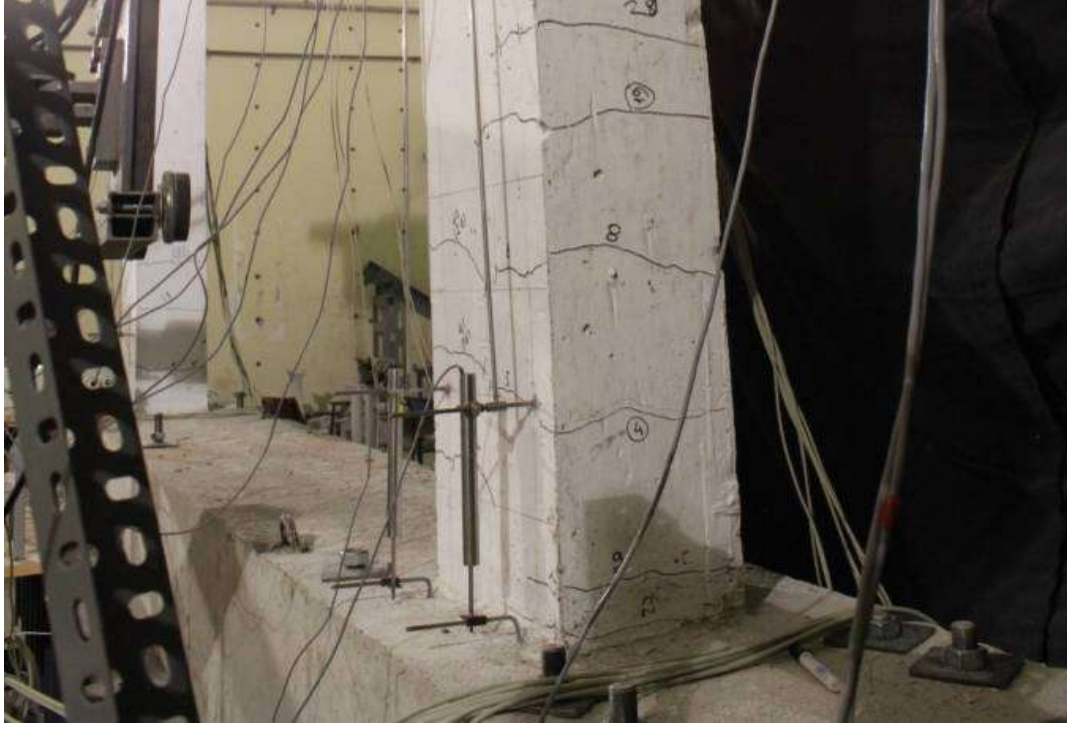
(d) Kirişin ilerleyen eğilme hasarı.



T.C.
DOKUZ EYLÜL ÜNİVERSİTESİ
MÜHENDİSLİK FAKÜLTESİ DEKANLIĞI

Bölüm: İnşaat Mühendisliği

Buca/İZMİR
??/??/???



(d) Kolon elemanların ilerleyen eğilme hasarı.



(e) Döşemde görülen eğilme hasarı.



T.C.
DOKUZ EYLÜL ÜNİVERSİTESİ
MÜHENDİSLİK FAKÜLTESİ DEKANLIĞI

Bölüm: İnşaat Mühendisliği

Buca/İZMİR
??/??/????



(f) Kolon diplerindeki ezilen kabuk betonunun dökülmeye başlaması.



(g) Kolon-birleşim arayüzünde eğilme etkileri sonucu açılma.



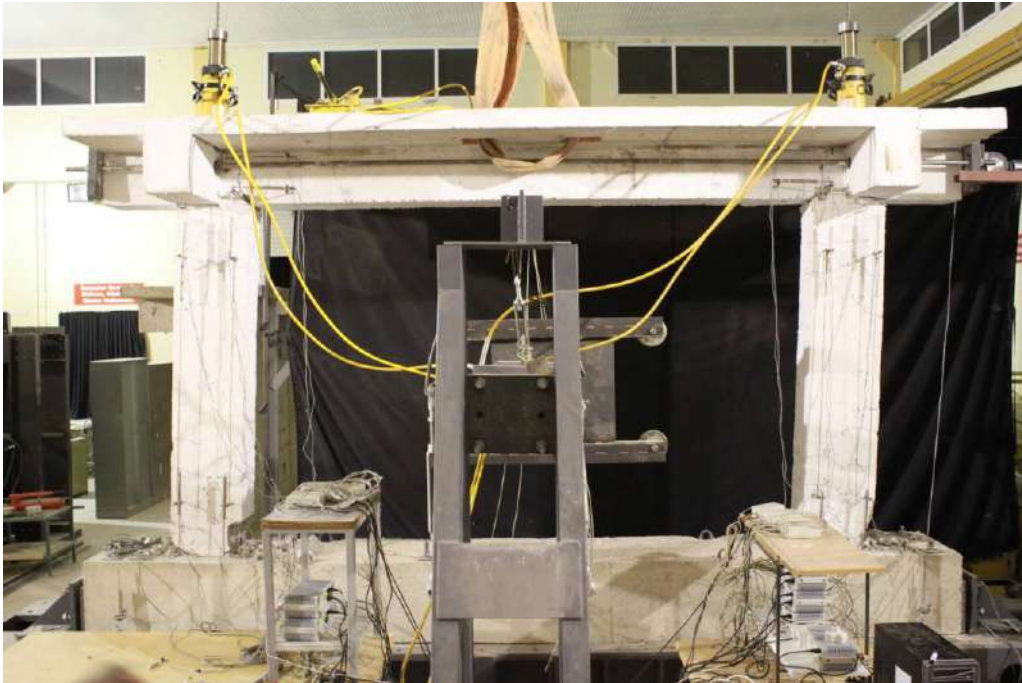
T.C.
DOKUZ EYLÜL ÜNİVERSİTESİ
MÜHENDİSLİK FAKÜLTESİ DEKANLIĞI

Bölüm: İnşaat Mühendisliği

Buca/İZMİR
??/??/????



(h) Kolon diplerinde dökülen kabuk betonu ile beraber boyuna donatı burkulması.



(i) Deney sonunda ulaşılan şekil değiştirmiş hal ve hasar durumu.

Resim 7.1. Dolgusuz çerçeve deneyinin farklı aşamalarındaki görüntüleri.



T.C.
DOKUZ EYLÜL ÜNİVERSİTESİ
MÜHENDİSLİK FAKÜLTESİ DEKANLIĞI

Bölüm: İnşaat Mühendisliği

Buca/İZMİR
??/??/????

6.1.2. İzotuğla Dolgu Duvarlı Çerçeve (N2 Numunesi)

%0.20 görel kat ötelenmesi (GKÖ) değerinin ilk itme çevriminde kolon duvar ara yüzünde kılcal çatlaklar oluşmuştur. Bu durum duvar ile çerçevenin birbirine göre rölatif hareketinden dolayı gerçekleşmiştir.

%0.25 GKÖ değerinin son çevriminin çekme kısmına kadar ne duvarda ne de çerçevede herhangi bir hasar gözlenmemiştir.

%0.35 GKÖ değerinin ikinci çekme çevriminde duvarın ön ve arka yüzünde kiriş ve duvar ara yüzünde açılma oluşmuştur.

%0.50 GKÖ değerinin ilk itme ve çekme çevriminde sağ ve sol kolonlarda kılcal eğilme çatlakları oluşmuş ve duvar ile kiriş arasında daha önce oluşmuş olan çatlaklarda belirginleşme ve yine aynı ötelenme değerinde duvar üst köşelerinde sıva dökülmesi gözlenmiştir. En son çevrimde ise kirişin sağ arka tarafında birleşime yakın eğilme hasarı belirmiştir.

%0.75 GKÖ değerinde daha önce kolon üstünde oluşan ve kılcal düzeyde olan eğilme çatlakları büyüyerek açılmıştır. Duvar üzerinde ilk defa bu ötelenme değerinde çatlaklar oluşmaya başlamıştır. Ayrıca aynı ötelenme değerinin ilerleyen çevrimlerinde kolon üzerinde diyagonal çatlaklar belirmiştir. Aynı şekilde, ikinci çevrimin çekme kısmı gerçekleştirilirken duvar üzerinde ilk diyagonal çatlaklar belirmiştir. %1.0 GKÖ değerinde kolonlar üzerinde yeni eğilme çatlakları oluşmuş, daha önce oluşmuş olan kiriş - birleşim arayüzü eğilme hasarı 3 mm mertebesine ulaşmış ve dolgu duvar üzerinde yeni diyagonal çatlaklar belirmiştir. Ancak duvar üzerinde oluşan çatlakların mertebesi duvarın düzlem dışı stabilitesini bozacak düzeyde değildir.

%1.40 GKÖ değerinin ikinci itme çevriminde duvar üzerinde yatay çatlaklar (sliding shear) belirmiş ve bu çatlakların boyunda artış olmuştur.

%1.75 GKÖ değerinin birinci çekme çevriminde, sol kolon kiriş birleşim ara yüzünde çatlaklar ilerleyerek devam etmiştir. Aynı ötelenme değerinin ikinci itme çevriminde duvar köşesinde kırılma ve ayrışmalar oluşmuştur. Son çevrime ulaşıldığında temel kolon ayrışması, sağ kolon iç yüzünde kesme çatlakları ve duvar üzerinde diyagonal doğrultuda oluşan basınç çubuklarına bağlı topuk ezilmesi diye tarif edilen duvar hasarı gözlenmiştir. Topuk ezilmesi ile birlikte duvarın sol ve sağ alt köşelerinde duvarın ezilerek boşalması durumu gelişmiştir. Bu ötelenme değerine ait çevrimlerin en sonuncusu olan çekme çevriminin maksimum ötelenme değerinde duvar üzerinde düzlem dışı testler yapılmıştır. Bu testler gerçekleştirilirken, duvar üzerinde yatay açılmalar gelişmiştir.



T.C.
DOKUZ EYLÜL ÜNİVERSİTESİ
MÜHENDİSLİK FAKÜLTESİ DEKANLIĞI

Bölüm: İnşaat Mühendisliği

Buca/İZMİR
??/??/????



(a) Çerçeve ve duvar arasında oluşan kılcal çatlakların görünümü.



(b) Çerçeve ve duvar etkileşimi sonucu gelişen ilerlemiş ara yüz hasarları.



T.C.
DOKUZ EYLÜL ÜNİVERSİTESİ
MÜHENDİSLİK FAKÜLTESİ DEKANLIĞI

Bölüm: İnşaat Mühendisliği

Buca/İZMİR
??/??/????



(c) Çerçeve ve duvar etkileşimi sonucu duvar üst köşelerinde oluşan ezilmeler ve birleşim bölgesi hasarları.



(d) İlerlemiş duvar köşe hasarları ve duvarda gelişen diyagonal çatlaklar.



T.C.
DOKUZ EYLÜL ÜNİVERSİTESİ
MÜHENDİSLİK FAKÜLTESİ DEKANLIĞI

Bölüm: İnşaat Mühendisliği

Buca/İZMİR
??/??/????



(e) Deney sonunda ulaşılan hasar durumu – düzlem dışı hareketlenme izlenmemiştir.

Resim 7.2. İzotuğla dolgu duvarlı çerçeve deneyinin farklı aşamalardaki görüntüleri.

6.1.3. Z Bağlantısız Sandviç Dolgu Duvarlı Çerçeve (N3 Numunesi)

Z bağlantısız numune her biri üçer çevrim olmak üzere % 1.75 görelî kat öteleme (GKÖ) değerine kadar test edilmiştir.

Bu numunede izlenen ilk hasar kolon-duvar arayüzünde % 0.35 GKÖ değerinde kılcal çatlaklar şeklinde oluşmuştur, yine aynı değerde sağ kolon üzerinde kılcal çatlaklar gözlenmiştir. Bu ötelenme değerinde duvar üzerinde herhangi bir hasar oluşmamıştır. Bu ötelenmenin ilerleyen çevrimlerinde (2. ve 3.) kolon-duvar ara yüzünde açılmalar ilerlemiş ve bazı kılcal çatlaklar ara yüz üzerinde ilerleyerek kolon-kiriş birleşim noktasına yakın bir şekilde kirişe doğru penetre olmuştur. Ancak tüm bu çatlaklar kılcal düzeydedir, yani yapısal bütünlüğü bozan nitelikte değildir.

Bir sonraki ötelenme değeri olan % 0.5 GKÖ değerinde, bir önceki ötelenme değerinde oluşan çatlaklar uzamaya ve genişlemeye devam etmiştir. Bu GKÖ değerinde, duvar gövdesinde eğik çatlaklar gelişmeye başlamıştır.

% 0.75 GKÖ değerinde yapısal hasar niteliğinde sağ kolon üzerinde eğilme hasarı gelişmeye başlamış ve kolon-duvar ara yüzünde çatlak genişliği 4 mm mertebesine ulaşmıştır. Yine duvar-temel ara yüzünde kayma (sliding) davranışına bağlı ayrışma izlenmiştir. Kolon-kiriş birleşim noktalarında çeşitli kılcal düzeyde hasarlar gelişmiştir. Duvarda ise birinci çevrimin



T.C.
DOKUZ EYLÜL ÜNİVERSİTESİ
MÜHENDİSLİK FAKÜLTESİ DEKANLIĞI

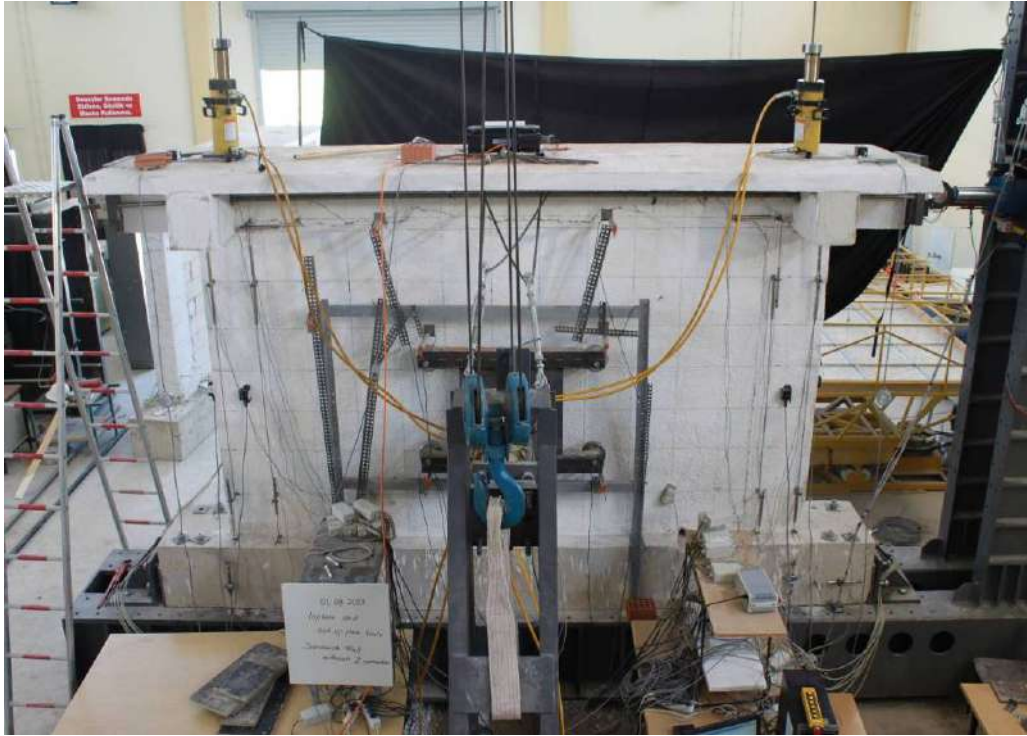
Bölüm: İnşaat Mühendisliği

Buca/İZMİR
??/??/????

itme kısmı gerçekleşirken diyagonal basınç çatlakları oluşmaya başlamıştır. Bu çatlak paterni ilgili GKÖ değerinde duvar üzerinde diyagonal doğrultuda çekme dayanımlarının aşıldığının bir göstergesidir.

Bir sonraki ötelenme değeri olan % 1.0 değerinin ilk çekme çevriminde sandviç duvarın arka cephesinde bulunan 8.5 cm'lik kanadın düzlem dışına doğru hareket ederek çerçeve düzleminden yaklaşık 2.5 cm kadar dışa doğru çıktığı görülmüştür. Bu davranış söz konusu duvarın düzlem dışı stabilitesini yavaş yavaş yitirdiğinin bir işaretidir. Diyagonal çatlaklar artarak duvar hasarı ilerlemiştir. Aynı GKÖ değerinin ikinci çevriminin çekme kısmında duvarın sol arka tarafında düzlem dışına doğru yaklaşık 3 cm kadar hareketlenme izlenmiştir.

% 1.75 GKÖ değerinde önemli olan ve hasar gözlemi açısından önceki ötelenme değerlerinden farklılaşan hasarlar ise kolon üzerinde yaygın düzeyde eğilme çatlakları, kolon-temel ara yüzünde çatlaklar, kolon-duvar ara yüzünde önemli ölçüde ayrışma ve duvarın orta kısmında yatay doğrultudaki duvar hasarında belirgin düzeyde gelişen çatlak sayılabilir. Bu ötelenme değerinde duvarın arka yüzünde düzlem dışına doğru 6 cm'lik bir açılma gözlenmiştir. Bu düzeydeki bir açılma duvar düzlemine dik doğrultuda gelişen bir deprem hareketinde ciddi düzeyde düzlem dışı stabilite problemine neden olabilir.



(a) Çerçeve ve duvar arasında oluşan kılcal çatlakların görünümü.



T.C.
DOKUZ EYLÜL ÜNİVERSİTESİ
MÜHENDİSLİK FAKÜLTESİ DEKANLIĞI

Bölüm: İnşaat Mühendisliği

Buca/İZMİR
??/??/????



(b) Düzlem dışına doğru hareketlenmiş duvarın görünümü (çerçevenin arkası).



(c) Çerçeve ve duvar etkileşimi sonucu duvar köşelerinde oluşan ezilmeler, diyagonal duvar çatlakları ve birleşim bölgesi hasarları.



T.C.
DOKUZ EYLÜL ÜNİVERSİTESİ
MÜHENDİSLİK FAKÜLTESİ DEKANLIĞI

Bölüm: İnşaat Mühendisliği

Buca/İZMİR
??/??/????



(d) Deneyin ilerleyen aşamalarında düzlem dışına doğru daha çok hareket eden duvar.



(e) Duvarın deney sonunda ulaşılan düzlem dışı hareketi.

Resim 7.3. Z bağlantısız sandviç duvarlı çerçeve deneyinin farklı aşamalardaki görüntüleri.



T.C.
DOKUZ EYLÜL ÜNİVERSİTESİ
MÜHENDİSLİK FAKÜLTESİ DEKANLIĞI

Bölüm: İnşaat Mühendisliği

Buca/İZMİR
??/??/????

6.1.4. Z Bağlantılı Sandviç Dolgu Duvarlı Çerçeve (N4 Numunesi)

Z bağlantısız numune her biri üçer çevrim olmak üzere % 2.75 görelî kat öteleme (GKÖ) değerine kadar test edilmiştir. Dikkat edilirse bu numune Z bağlantısız numuneye kıyasla daha ileri ötelenme seviyelerine kadar test edilebilmiştir. Sadece bu durum bile Z bağlantılı numunenin düzlem dışı stabilite açısından Z bağlantısız numuneye kıyasla çok daha iyi davrandığının bir göstergesidir. İlerleyen paragraflarda bu numuneye ait detaylı hasar gözlemleri verilmiştir.

% 0.25 GKÖ değerinin ilk itme çevriminde ilk kez duvar ve kolonlar arasında kılcal düzeyde ayrışmalar başlamış ve ilk çekme çevriminde sıva çatlağı izlenmiştir. Aynı GKÖ değerinin ikinci ve üçüncü çevrimlerinde ise giriş ve duvar arası ayrışmalar başlamıştır.

% 0.35 GKÖ değerinin ilk itme çevriminde sol kolon üstü duvar birleşiminde çatlak gözlenmiş, aynı GKÖ değerinin ilerleyen çevrimlerinde ise zaten oluşmuş olan çatlaklar büyümeye devam etmiştir. Bunların yanı sıra yeni bir hasar türü sol kolon altında gelişen kılcal eğilme çatlaklarıdır.

% 0.50 GKÖ değerinin ilk çevriminde sağ kolonun alt ucunda ve ortasında kılcal düzeyde eğilme çatlakları oluşmuştur. Aynı GKÖ değerinin ilk çekme çevriminde ise benzer şekilde sol kolonda eğilme çatlakları meydana gelmiştir. İlk kez ön yüzde oluşan diyagonal duvar çatlağı ise aynı GKÖ değerinde, ancak ikinci itme çevriminde oluşmuş ve kolon duvar ara yüz ayrışmaları belirginleşmiştir. Bu çevrimin sonunda düzlem dışı test gerçekleştirilmiş ve deney sonunda duvar giriş ayrışmasında belirginleşme gözlenmiş, duvar arka yüzünde duvar genişliği boyunca yatay çatlak oluşmuştur. Z bağlantılar iki kanat arasında yük aktarmaktadır.

% 0.75 GKÖ değerinin ilk itme çevriminde duvar arkasında ve bunların ön yüzdeki izdüşümlerinde diyagonal çatlaklar izlenmiş ve daha önce beliren duvar diyagonal çatlakları belirginleşmeye başlamış ve boyları uzamıştır. Bir başka deyişle duvar hasarları belirginleşmiştir. Aynı GKÖ değerinin ikinci itme çevriminde ise kolon üstü birleşim çatlağı açılmıştır. İlerleyen çevrimlerde kolonların hem uç hem de orta bölgelerinde eğilme çatlakları belirginleşmiştir. Duvar davranışı açısından önemli bir hasar ise bu GKÖ değerinin son itme çevriminde kesme kayması (shear sliding) diye adlandırılan temele paralel şekilde, duvar birimlerinin birbiri üzerinde kaymasıyla oluşan hasar türüdür. Bu hasar ilerleyerek diyagonal çatlaklar ile birleşmiştir.

% 1.0 GKÖ değerinde duvar üzerinde gelişen diyagonal çatlaklara yenileri eklenmiştir. Diyagonaller duvar düzlemine dağılarak yaygınlaşmıştır. Bu ötelenme değerinde kolon üstlerinde kesme etkin çatlaklar da izlenmiştir. Duvarda oluşan diğer bir hasar ise köşe noktalarında ezilme hasarı şeklindedir. Tüm bu hasar tür ve miktarlarına rağmen duvar bu ötelenme değerinde bütünlüğünü halen korumuştur.



T.C.
DOKUZ EYLÜL ÜNİVERSİTESİ
MÜHENDİSLİK FAKÜLTESİ DEKANLIĞI

Bölüm: İnşaat Mühendisliği

Buca/İZMİR
??/??/????

% 1.40 GKÖ değerinin ilk itme çevriminde dolgu duvar sol kolon arasındaki açılma 2-2.5 cm civarına ulaşmıştır. Yine aynı ötelenme değerinde sol ve sağ kolonda zaten oluşmuş olan eğilme çatlakları artarak ilerlemiştir. Bazı çatlaklar eğilerek kesme çatlaklarına dönüşmüştür. Bu ötelenme değerinin birinci çekme çevriminde ise ilk defa duvar düzlem dışına doğru hareket etmiştir. Bu hasar, duvarın arka yüzünde sıva ve duvarın birlikte kabarması şeklinde kendini göstermiştir. Bu GKÖ değerinin son itme çevriminde kolon-kiriş birleşim arayüzü hasarı 3 mm mertebesine ulaşmıştır. Son çekme çevriminde ise duvar sağ üst köşesinde duvarın dökülerek boşaldığı izlenmiştir. Aynı çevrim değerinde temel ara yüzünde kayma (sliding) gözlenmiştir.

% 2.75 GKÖ değerinde taşıyıcı sistemde daha önce izlenen hasarların ilerlemesi şeklinde hasarlar devam etmiştir. Benzer şekilde birleşim arayüzü hasarları artık ileri seviyelere ulaşmış ve duvar ön yüz sol alt köşede dolgu duvar parçalanmış ancak düzlem dışı stabilitesini bozan bir davranış sergilememiştir. Bu açıdan bakıldığında Z bağlantılar duvar bütünlüğünü sağlama hedefini yerine getirmiştir.



(a) Çerçeve ve duvar arasında oluşan kılcal çatlakların görünümü.



T.C.
DOKUZ EYLÜL ÜNİVERSİTESİ
MÜHENDİSLİK FAKÜLTESİ DEKANLIĞI

Bölüm: İnşaat Mühendisliği

Buca/İZMİR
??/??/????



(b) Duvar arkasında oluşan diyagonal çatlaklar.



(c) Çerçeve ve duvar etkileşimi sonucu duvar köşelerinde oluşan ezilmeler, diyagonal duvar çatlakları ve birleşim bölgesi hasarları.



T.C.
DOKUZ EYLÜL ÜNİVERSİTESİ
MÜHENDİSLİK FAKÜLTESİ DEKANLIĞI

Bölüm: İnşaat Mühendisliği

Buca/İZMİR
??/??/????



(d) Deney sonunda ulaşılan hasar durumu – dikkat edilirse düzlem dışı hareketlenme izlenmemiştir.

Resim 7.4. Z bağlantılı sandviç duvarlı çerçeve deneyinin farklı aşamalarındaki görüntüleri.

6.1.5. Bims Dolgu Duvarlı Çerçeve (N5 Numunesi)

% 0.20 GKÖ değerinin ilk itme çevriminde kolon duvar ara yüzünde ayrılma oluşmuştur.

% 0.25 GKÖ değerinin ilk çekme çevriminde kolon ve duvar arasında yeni ayrışmalar gerçekleşmiştir. Aynı ötelenme değerinin son çekme çevriminde ise kiriş-duvar ara yüzünde kirişin ortasına yakın bir yerde ayrışma izlenmiştir.

% 0.35 GKÖ değerinin ilk itme çevriminde kiriş orta açıklığındaki çatlakta artış oluşmuştur. Bu değer ikinci itme çevriminde ise duvar üzerinde kılcal diyagonal çatlaklar izlenmiştir. İkinci çekme çevriminde kiriş ve duvar arasındaki ayrışmada artış gerçekleşmiştir.

% 0.50 GKÖ değerinin ilk itme çevriminde sağ kolon ile duvar arasında ayrışma gelişmiştir. Bu ötelenme değerinin ilerleyen çevrimlerinde ise kolonlarda ve kolon-kiriş birleşimlerinde kılcal düzeyde çatlaklar gözlenmiş ve aynı şekilde temel ve kolon ara yüzünde de ayrılma izlenmiştir.

% 0.75 GKÖ değerinin ilk itme çevriminde duvar ve kolon arasında ayrılmalar başlamıştır. İlerleyen çevrimlerde ise sol ve sağ kolonlarda kılcal düzeyde eğilme çatlakları oluşmuştur. Ayrıca, döşemede eğilme çatlakları da oluşmuştur. Dikkat edilirse buraya kadar duvar üzerinde çatlak gözlenmemiştir.



T.C.
DOKUZ EYLÜL ÜNİVERSİTESİ
MÜHENDİSLİK FAKÜLTESİ DEKANLIĞI

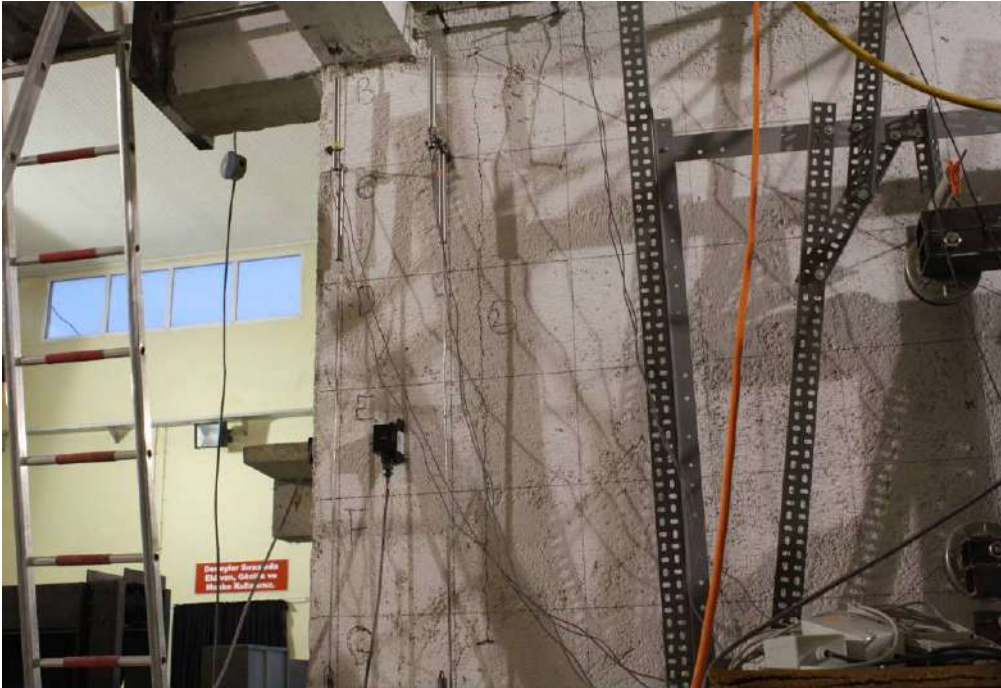
Bölüm: İnşaat Mühendisliği

Buca/İZMİR
??/??/????

% 1.0 GKÖ değerinin ilk itme çevriminde kolon orta bölgesinde eğilme çatlakları oluşmaya devam etmiştir. Aynı şekilde kolon-kiriş birleşim ara yüzünde de çatlaklar gelişmiştir. Bu ötelenme değerinin ikinci itme çevriminde ise sol kolona yakın alt bölgede diyagonal duvar çatlağı meydana gelmiştir. Duvar üzerinde izlenen ilk çatlak budur. Aynı ötelenme değerinin ilerleyen çevrimlerinde ise sağ kolona yakın alt bölgede diyagonal duvar çatlağı oluşmuştur. Bu GKÖ değerinin son çevriminde ise daha önce döşemede oluşan çatlaklarda ilerleme izlenmiştir.

% 1.40 GKÖ değerinde kolonlarda meydana gelen çatlaklarda artış oluşmuş ve daha da önemlisi duvar sol ve sağ üst köşelerinde ezilmeler gerçekleşmiştir. Duvar bloğundaki parçalar dışarı doğru dökülmeye başlamıştır. Deney sonunda Bims bloklardaki hasar daha ayrıntılı incelendiğinde, blokları birbirine bağlayan düşey doğrultudaki dişlerde kırılmalar bulgulanmıştır. Bu durumun daha ileri düzeyde ötelenmeler oluşturacak depremlerde, düzlem dışı stabiliteyi azaltabileceği söylenebilir.

% 1.75 GKÖ değerinde ise yukarıda detayları verilen hasarlara ek olarak sağ kolon temel ara yüzünde açılmalar izlenmiştir. Deney sonunda düzlem dışı stabiliteyi ciddi olarak olumsuz yönde etkileyecek bir duvar hasarı oluşmamıştır.



(a) Çerçeve ve duvar arasında oluşan çatlakların görünümü.



T.C.
DOKUZ EYLÜL ÜNİVERSİTESİ
MÜHENDİSLİK FAKÜLTESİ DEKANLIĞI

Bölüm: İnşaat Mühendisliği

Buca/İZMİR
??/??/????



(b) Çerçeve ve duvar etkileşimi sonucu gelişen ilerlemiş ara yüz ve birleşim hasarları – çekme çevriminden bir görüntü.



T.C.
DOKUZ EYLÜL ÜNİVERSİTESİ
MÜHENDİSLİK FAKÜLTESİ DEKANLIĞI

Bölüm: İnşaat Mühendisliği

Buca/İZMİR
??/??/????



(c) Duvarın üst köşelerinde gelişen hasarlar, topuk hasarları ve duvar gövdesinde gelişen diyagonal çatlaklar.



T.C.
DOKUZ EYLÜL ÜNİVERSİTESİ
MÜHENDİSLİK FAKÜLTESİ DEKANLIĞI

Bölüm: İnşaat Mühendisliği

Buca/İZMİR
??/??/????



(d) Deney sonunda ulaşılan hasar durumu – düzlem dışı hareketlenme izlenmemiş ancak duvarda önemli düzeyde üst ve alt köşelerde topuk hasarları oluşmuştur.

Resim 7.5. BİMS duvar deneyinin farklı aşamalarındaki görüntüleri.

6.1.6. Gazbeton Dolgu Duvarlı Çerçeve (N6 Numunesi)

% 0.25 GKÖ değerinin ikinci itme çevriminde sol kolon üstünde ön ve arka taraflarda diyagonal çatlaklar oluşmuştur. Yine aynı çevrim içinde duvarın sol üst ve sağ alt köşelerinde diyagonal çekme çatlakları meydana gelmiştir. Bu ötelenme değerinin son çevriminin çekme



T.C.
DOKUZ EYLÜL ÜNİVERSİTESİ
MÜHENDİSLİK FAKÜLTESİ DEKANLIĞI

Bölüm: İnşaat Mühendisliği

Buca/İZMİR
??/??/????

kısımında ise duvarın arka tarafında diyagonal çatlak gelişmiştir.% 0.35 GKÖ değerinin ilk itme çevriminde kiriş duvar ara yüzündeki açılmalar belirginleşerek dökülmeler izlenmiştir. Bu ötelenme değerinin son çekme çevriminde ise duvarın ön ve arka yüzünde topuk kısmına yakın kılcal düzeyde çekme çatlakları oluşmuştur.

% 0.50 GKÖ değerinin ilk itme çevriminde kolon ve duvar arası ayrışma başlamış ve sağ kolonda kılcal eğilme çatlakları oluşmuştur. Yine aynı çevrim içinde duvar üzerinde sağ kolona yakın bir noktada diyagonal çatlak belirmiş ve sağ kolon ile temel arasında kılcal düzeyde ayrışma olmuştur. Sağ kolonun üst ve orta bölgelerinde kılcal eğilme çatlakları başlamış ve duvarda beliren diyagonal çatlak sayısında artış meydana gelmiştir. Bu ötelenme değerinin ilerleyen çevrimlerinde ise kolon kiriş birleşim ara yüzünde ve kolon üzerinde gelişen yaygın eğilme hasarlarını saymak mümkündür.

% 1.0 GKÖ değerinin ikinci itme çevriminde kolonlar üzerinde yeni eğilme çatlakları ile duvar üzerinde çekme diyagonalinde çatlaklar belirmiştir.

% 1.40 GKÖ değerinin ilk itme çevriminde kolonlar üzerindeki eğilme çatlakları artmış, sağ kolon birleşim ara yüzüne yakın bölgelerde kesme çatlakları belirmiş ve köşelerin sıkışması sonucunda duvarın sağ üst köşesinde ezilmeden kaynaklı duvar hasarı ve döşeme çatlağı oluşmuştur. Bu GKÖ değerinin ikinci itme çevriminde sağ kolon temel ayrışması belirmiş ve bu kolonun iç tarafında eğilme çatlakları oluşmuştur. İlk çevriminin çekme yönünde ise sol kolon birleşim arayüzü hasarı gerçekleşmiştir. Bu çatlağın genişliği 3-4 mm mertebesindedir. Aynı ötelenme değerinin son çekme çevriminde ise duvarın sağ üst köşesinde ezilme hasarı belirginleşmiş ve yeni döşeme çatlakları oluşmuştur. Buraya kadar meydana gelen duvar hasarlarında duvarın bütünlüğünü bozacak düzeyde bir hasar gelişmemiştir.

% 1.75 GKÖ değerinin ikinci itme çevriminde kılcal düzeyde sağ kolon - temel ayrışması belirmiş, sağ kolonun iç yüzünde yeni eğilme çatlakları oluşmuştur. Aynı şekilde sol kolonun iç yüzünde de eğilme çatlakları meydana gelmiştir. Daha önce beliren kiriş eğilme çatlağının boyutları yaklaşık 3 mm'ye genişlemiş ve sağ kolon birleşim ara yüzündeki çatlak 2 mm'ye ulaşmıştır.

% 2.20 GKÖ değerinin ilk itme çevriminde çok sayıda yeni döşeme çatlağı oluşmuş, sağ kolon temel birleşimindeki ayrışma yaklaşık 3-3.5 mm'ye ulaşmıştır. Bu ötelenme değerindeki ilk çevrim tamamlandığında numunede yaklaşık 16.5 mm kadar kalıcı deformasyon gözlenmiştir. Duvar bu aşamada bütünlüğünü korumuştur.

% 2.75 GKÖ değerinin ikinci itme çevriminde gaz beton duvardan parçalar dökülmeye başlamış, bu ötelenme değerinin sonunda numunede yaklaşık 30 mm mertebesinde kalıcı yer değiştirme meydana gelmiştir. Duvar hasarı açısından, duvarın düzlem dışı stabilitesini bozacak ciddi bir hasar görülmemiştir.



T.C.
DOKUZ EYLÜL ÜNİVERSİTESİ
MÜHENDİSLİK FAKÜLTESİ DEKANLIĞI

Bölüm: İnşaat Mühendisliği

Buca/İZMİR
??/??/????



(a) Çerçeve ve duvar arayüzünde oluşan çatlakların görünümü.



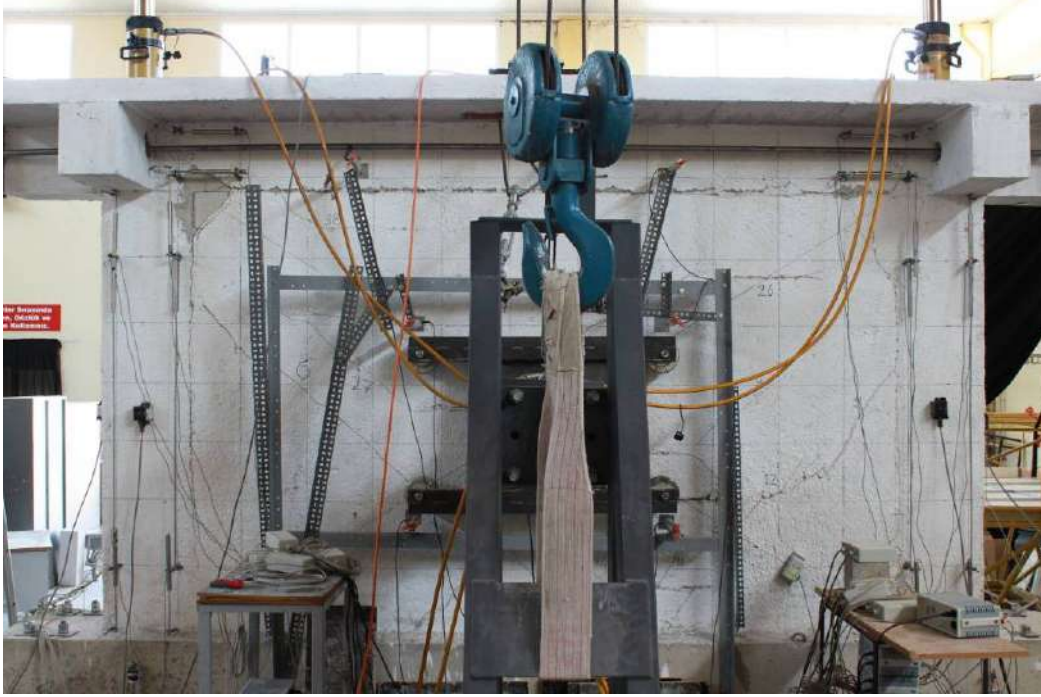
(b) İlerlemiş arayüz hasarları, köşelerde gelişen ezilme hasarları ve duvar gövdesinde oluşan diyagonal çatlaklar.



T.C.
DOKUZ EYLÜL ÜNİVERSİTESİ
MÜHENDİSLİK FAKÜLTESİ DEKANLIĞI

Bölüm: İnşaat Mühendisliği

Buca/İZMİR
??/??/????



(c) İlerlemiş çerçeve ve duvar ara yüz hasarları ile duvar gövdesinde oluşan ilerlemiş diyagonal çatlaklar.



(d) Duvar arkasında gelişmiş ağ şeklindeki yaygın diyagonal çatlaklar, gazbeton birimleri arasındaki harç hasarları.



T.C.
DOKUZ EYLÜL ÜNİVERSİTESİ
MÜHENDİSLİK FAKÜLTESİ DEKANLIĞI

Bölüm: İnşaat Mühendisliği

Buca/İZMİR
??/??/????



(e) Ön yüzde gelişmiş olan ilerlemiş çerçeve-duvar arayüzü hasarları ve diyagonal çatlaklar.



(f) Duvarın arka yüzünde gelişmiş olan gaz beton birimlerinde görülen yaygın hasar ağı.



T.C.
DOKUZ EYLÜL ÜNİVERSİTESİ
MÜHENDİSLİK FAKÜLTESİ DEKANLIĞI

Bölüm: İnşaat Mühendisliği

Buca/İZMİR
??/??/????



(g) Kolon kiriş birleşim hasarı ve köşelerde gelişen duvar hasarları, birimleri bir arada tutan harç hasarları ve bazı gaz beton tuğla birimleri üzerinde oluşan diyagonal kesme çatlakları.



T.C.
DOKUZ EYLÜL ÜNİVERSİTESİ
MÜHENDİSLİK FAKÜLTESİ DEKANLIĞI

Bölüm: İnşaat Mühendisliği

Buca/İZMİR
??/??/????



(h) Deney sonunda ulaşılan hasar durumu – çerçevenin arka taraftan görüntüsü.

Resim 7.6. Gazbeton dolgu duvarlı çerçeve deneyinin farklı aşamalardaki görüntüleri.



T.C.
DOKUZ EYLÜL ÜNİVERSİTESİ
MÜHENDİSLİK FAKÜLTESİ DEKANLIĞI

Bölüm: İnşaat Mühendisliği

Buca/İZMİR
??/??/????

6.2. Düzlemiçi Testlerin Analizleri

Düzlemiçi testler sırasında elde edilen veriler işlenerek her bir numunenin histeretik eğrileri ve dayanım zarfları ile numunelerin karşılaştırmalı rijitlik azalımı, enerji tüketimi ve göreceli enerji tüketim oranı ilişkileri elde edilmiştir. Ayrıca konut türü binaların çeşitli depremlerde performanslarına karşılık gelen tepe ötelenme oranları için değerlendirmeler yapılmıştır.

Şekil 6.1 – Şekil 6.6 boyunca numunelerin tepe yükü – tepe deplasmanı histeretik eğrileri ve her bir ötelenme oranında üçüncü çevrimler kullanılarak elde edilen dayanım zarfları görülmektedir. Depreme dayanıklı yapı tasarımı ilkeleri göz önüne alındığında, test sırasında ulaşılan en büyük tepe yükünde gerçekleşen %15 - %20 mertebesindeki azalma, numunenin yüksek hasar gördüğüne ilişkin bir belirti olarak kabul edilmektedir [Erberik, 2008]. Testler sırasında her bir numune birbirinden farklı ötelenme seviyelerinde bu mertebedeki yük düşüşlerine ulaştığından, düzlemiçi testler de farklı ötelenme oranlarına kadar devam ettirilmiştir. Bu sebeple İzotuğla, Z bağlantısız Sandviç, Z bağlantılı Sandviç, Bims ve Gazbeton dolgulu çerçeveler sırasıyla % 1.75, % 1.75, % 2.75, % 1.75 ve % 2.75 ötelenme oranlarına kadar test edilmiştir.

Şekil 6.7, numunelerin dayanım zarflarını karşılaştırmalı olarak göstermektedir. Dikkat edilirse dolgu duvarsız çerçeve göz önüne alındığında dolgu duvarın varlığı çerçevenin ulaştığı tepe yüklerini büyük oranda artırmaktadır. İlginç olan durum ise dolgu türünden bağımsız olarak dolgulu çerçevelerin bir eğri ailesi şeklinde benzer davranış göstermesidir. Bununla beraber Sandviç duvar ve gazbetonlu çerçeveler, izotuğla ve bims dolgulu çerçevelere göre daha yumuşak dayanım azalmaları göstermiştir. Bu davranış literatürde kesme kayması (shear sliding) olarak tanımlanan bir olgudan kaynaklanmaktadır. Bu dolgu duvarlar, diyagonalleri üzerlerinde gelişen basınç etkilerinden ziyade kesme gerilmeleri altında deformasyona uğramakta ve tuğla sıraları yatay derzler boyunca birbirleri üzerinde kaymaktadır.

Şekil 6.8, numunelerin rijitlik azalmalarını, tepe ötelenme oranının bir fonksiyonu olarak göstermektedir. Burada verilen rijitlik değerleri tüm ötelenme hedeflerinin itme ve çekme yönlerinde ulaşılan en büyük tepe yükleri ve karşılık gelen ötelenme değerleri kullanılarak hesaplanmıştır. Bu rijitlik tanımı “tepeden tepeye rijitlik” olarak isimlendirilmektedir. Görüldüğü gibi dolgunun varlığı, dolgusuz çerçevenin başlangıç rijitliğini yaklaşık iki katına çıkarmıştır. Farklı dolgu türlerinin ötelenme rijitliğine katkısı benzer düzeylerde görülmüştür. Varolan küçük farklar da artan düzlemiçi ötelenme değerleri ile beraber azalma göstermiştir. Bununla birlikte dolgulu çerçeveler, dolgusuz çerçeveye göre daha hızlı bir rijitlik azalması göstermekte ve dolgu duvarın çerçeve rijitliğine katkısı yaklaşık % 1.75 düzeyinde ihmal edilebilir düzeylere inmektedir.

Şekil 6.9, numunelerin tepe yükü – tep deplasmanı eğrilerinin içerisinde kalan alan kullanılarak hesaplanmış kümülatif enerji tüketimi eğrilerini göstermektedir. İlk göze çarpan olgu, dolgu duvar varlığının çerçevelerin enerji tüketim yeteneklerini arttırmış olmasıdır. Bununla birlikte önceki karşılaştırma grafiklerinde de olduğu gibi farklı dolgu duvar türlerinin, dolgusuz çerçevenin düzlemiçi doğrultudaki enerji tüketim yeteneğine katkısı çok benzer düzeylerde gerçekleşmiştir.

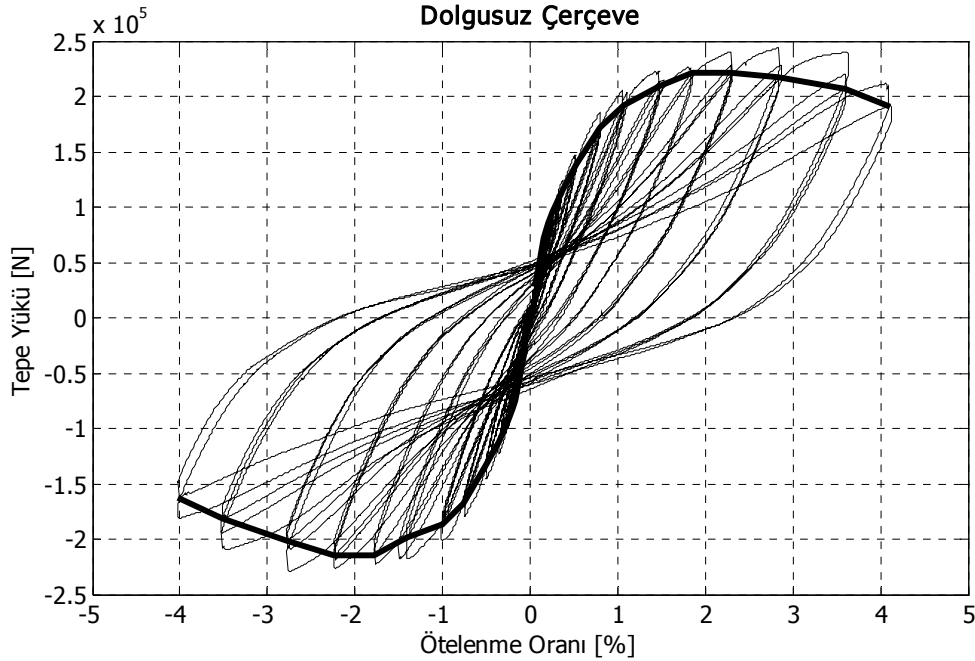


T.C.
DOKUZ EYLÜL ÜNİVERSİTESİ
MÜHENDİSLİK FAKÜLTESİ DEKANLIĞI

Bölüm: İnşaat Mühendisliği

Buca/İZMİR
??/??/????

Numunelerin, deprem mühendisliği açısından performans değerlendirmesi, hemen kullanım (LD1), kontrollü hasar (LD2) ve göçme öncesi (LD3) olarak tanımlanan üç limit durumu göz önüne alınarak gerçekleştirilmiştir. LD1'in genel olarak yapının rijitliği, LD2'nin dayanım ve deformasyon ve LD3'ün de sadece yapının deformasyon özelliklerine bağlı olduğu kabul edilir. Türkiye'deki dolgulu betonarme çerçeve binaların öznel yapısal karakteri de göz önüne alındığında, LD1, LD2 ve LD3 limit durumlarına karşılık gelen tepe ötelenme oranlarının yaklaşık % 0.2, % 0.75 ve % 1.4 olarak alınabileceği literatürde yer almaktadır (Erberik, 2011). İdealize edilmiş modeller ve basit analizler kullanılarak depremde hasar görmüş çok sayıda binanın kırılma eğrileri üzerinden çıkarılan bu limit değerler, binaların global davranış parametreleri esas alınarak elde edilmiştir. *Hemen Kullanım* performansı ile ilişkili rijitlik azalması indeksinin tüm dolgulu çerçevelerde %20 limitinin altında kaldığından, *Hemen Kullanım* performans hedefinin sağlandığı, *Göçme Öncesi* performansı ile ilişkili en yüksek dayanımdaki %20 azalmaya karşılık gelen ötelenme oranının tüm numunelerde %1.4 limitinin üzerinde yer alması sebebiyle *Göçme Öncesi* performans hedefinin sağlandığı, *Göçme Öncesi* performansına karşılık gelen ötelenmenin %75'i değerindeki ötelenme oranlarının tüm numunelerde %0.75 limitinin üzerinde kalması sebebiyle *Can Güvenliği* performans hedefinin de sağlandığı bulunmuştur. Bu durumda 2007 Türk Deprem Yönetmeliği'nde konut türü yapılar için tasarım depreminde düzlemiçi doğrultuda göstermesi beklenen *Can Güvenliği* performansının tüm dolgulu çerçeveler için sağlandığı görülmüştür.



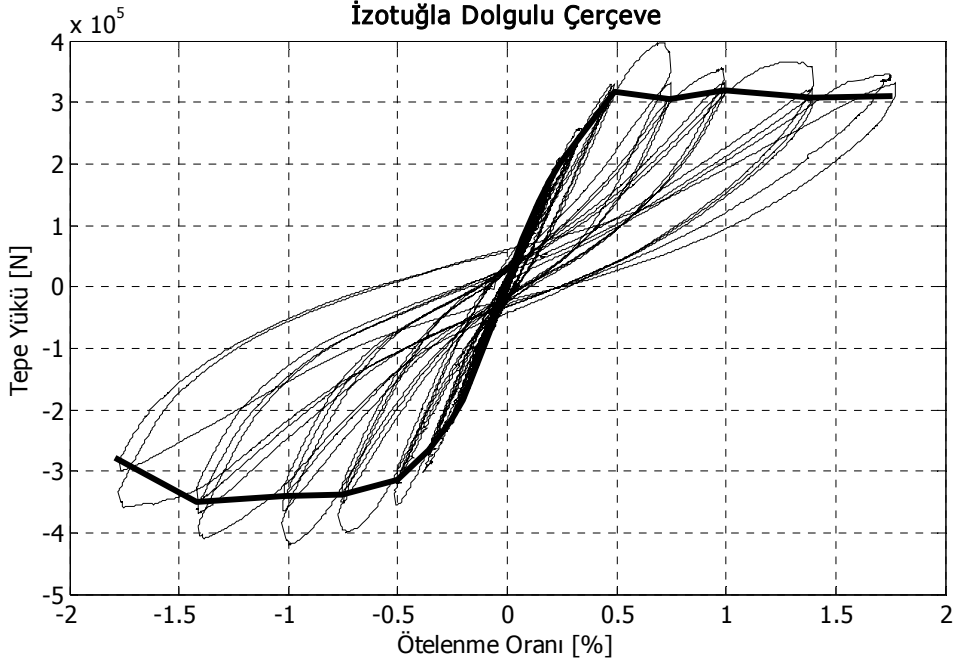
Şekil 6.1. N1 numunesi: Tepe yükü – ötelenme oranı histeretik eğrileri ve üçüncü çevrimler için zarf eğrisi.



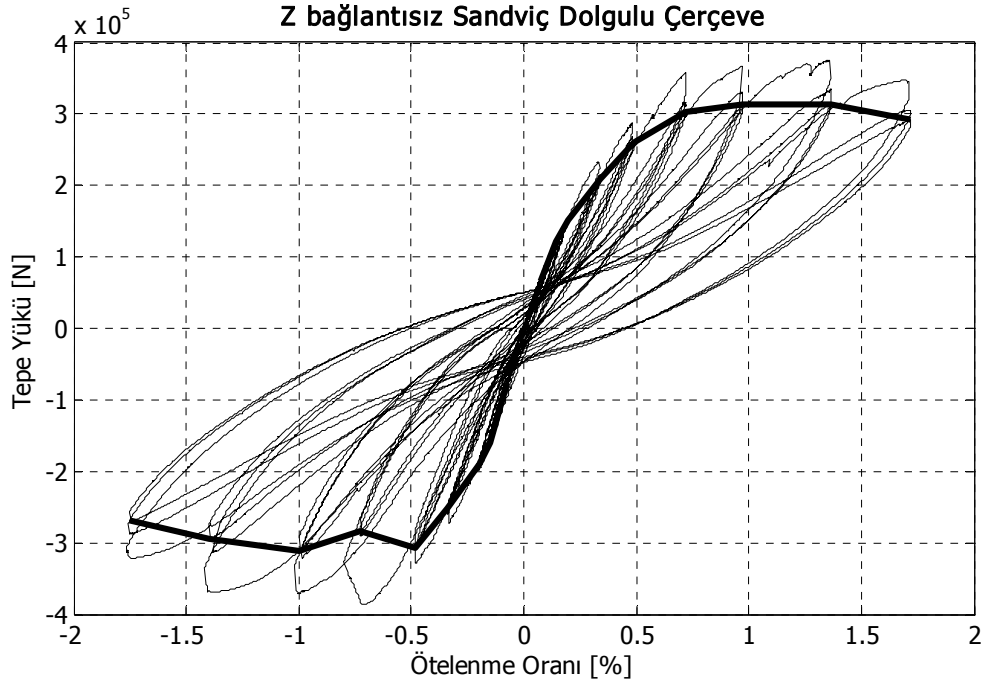
T.C.
DOKUZ EYLÜL ÜNİVERSİTESİ
MÜHENDİSLİK FAKÜLTESİ DEKANLIĞI

Bölüm: İnşaat Mühendisliği

Buca/İZMİR
??/??/????



Şekil 6.2. N2 numunesi: Tepe yüğü – ötelenme oranı histeretik eğrileri ve üçüncü çevrimler için zarf eğrisi.



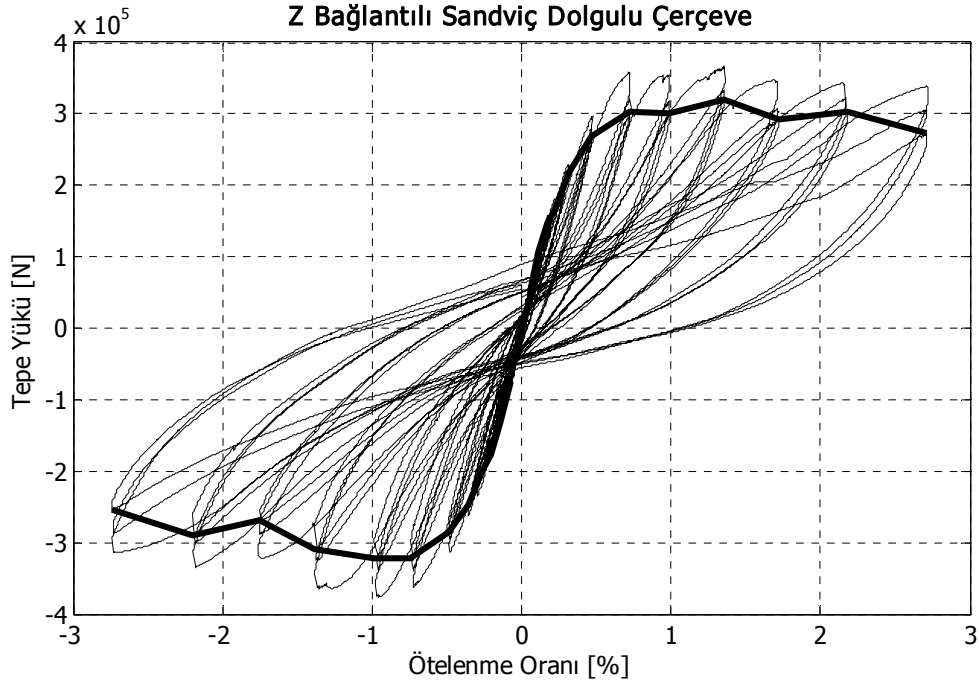
Şekil 6.3. N3 numunesi: Tepe yüğü – ötelenme oranı histeretik eğrileri ve üçüncü çevrimler için zarf eğrisi.



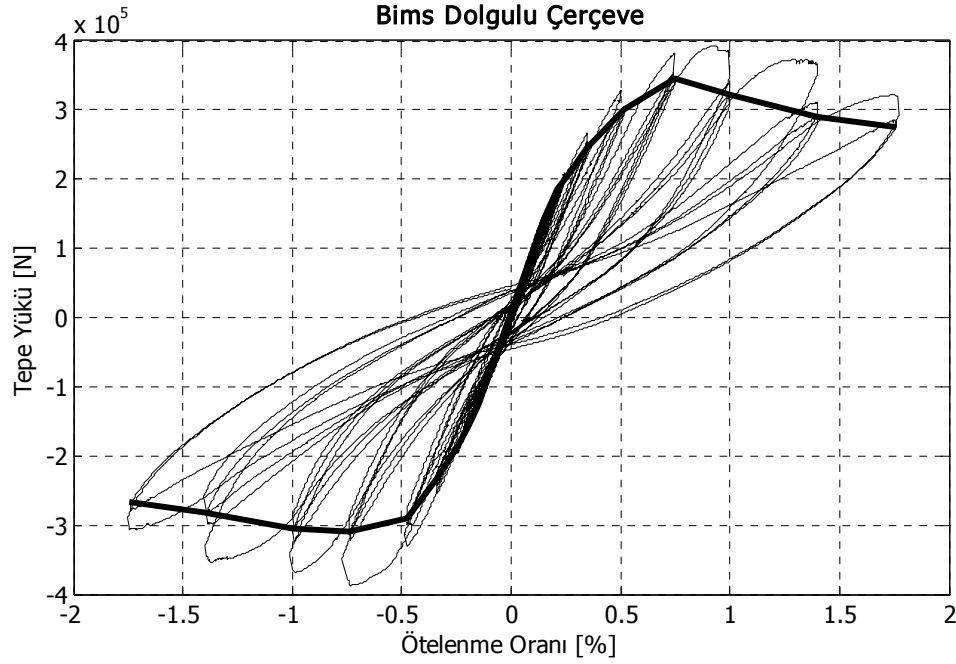
T.C.
DOKUZ EYLÜL ÜNİVERSİTESİ
MÜHENDİSLİK FAKÜLTESİ DEKANLIĞI

Bölüm: İnşaat Mühendisliği

Buca/İZMİR
??/??/????



Şekil 6.4. N4 numunesi: Tepe yüğü – ötelenme oranı histeretik eğrileri ve üçüncü çevrimler için zarf eğrisi.



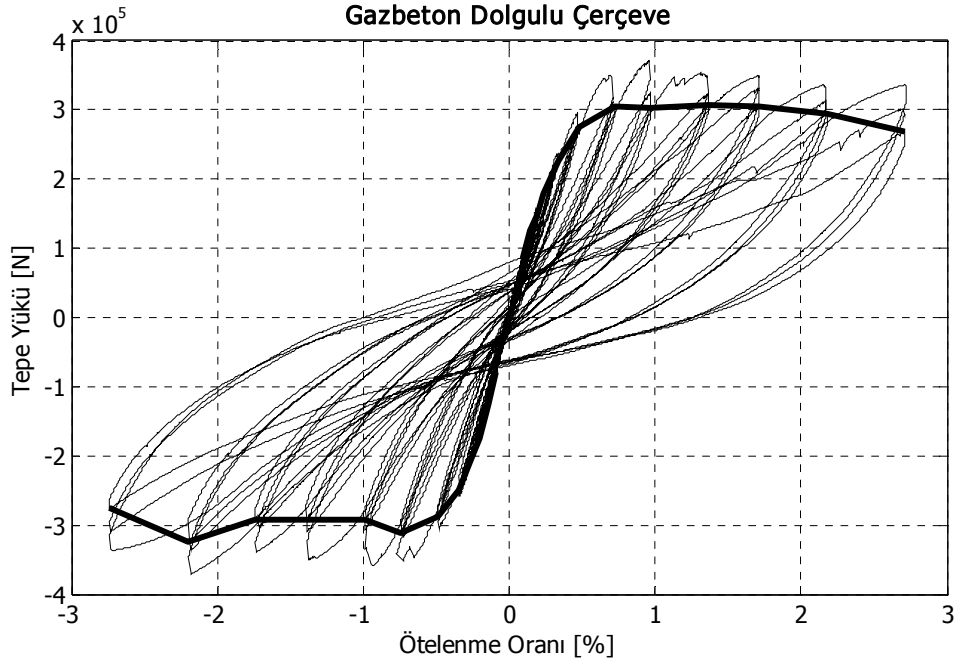
Şekil 6.5. N5 numunesi: Tepe yüğü – ötelenme oranı histeretik eğrileri ve üçüncü çevrimler için zarf eğrisi.



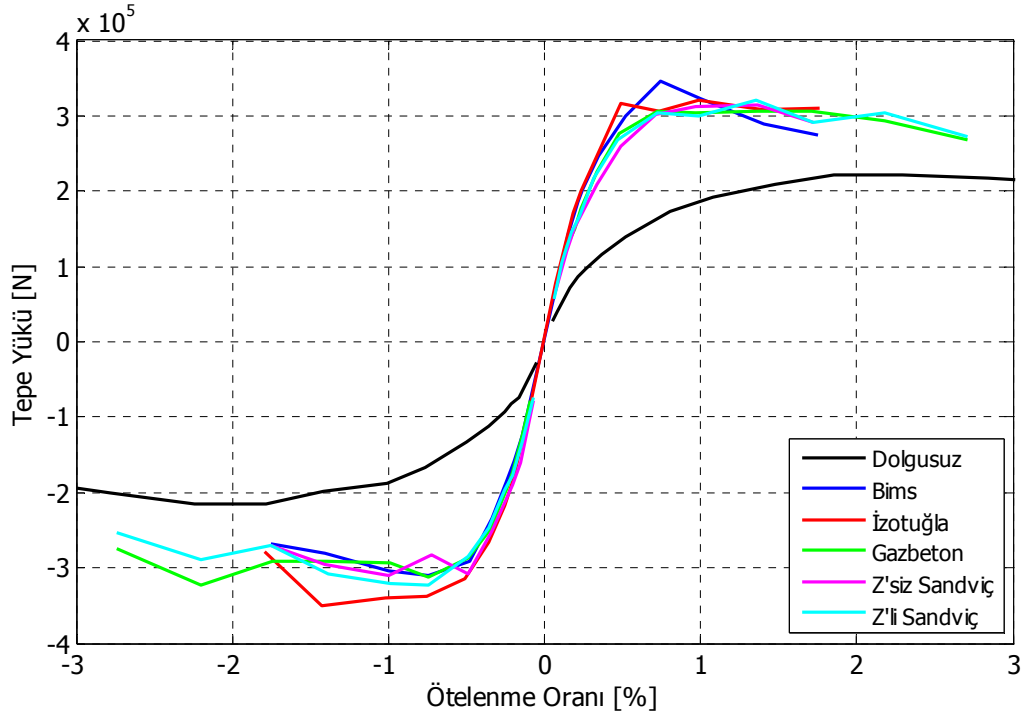
T.C.
DOKUZ EYLÜL ÜNİVERSİTESİ
MÜHENDİSLİK FAKÜLTESİ DEKANLIĞI

Bölüm: İnşaat Mühendisliği

Buca/İZMİR
??/??/????



Şekil 6.6. N6 numunesi: Tepe yükü – ötelenme oranı histeretik eğrileri ve üçüncü çevrimler için zarf eğrisi.



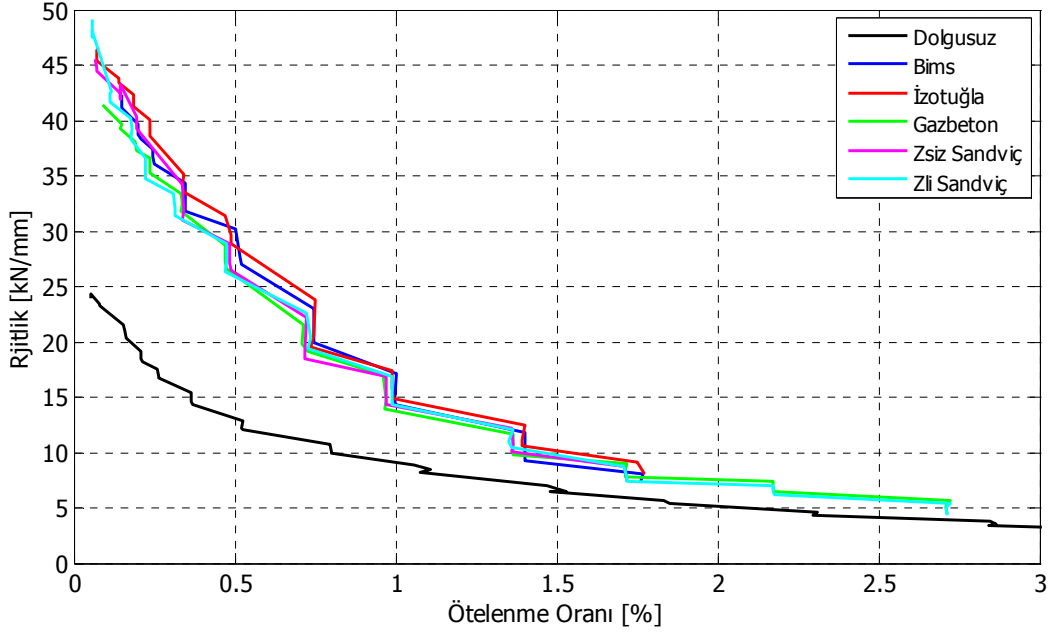
Şekil 6.7. Tüm numuneler: Üçüncü çevrimler için zarf eğrileri.



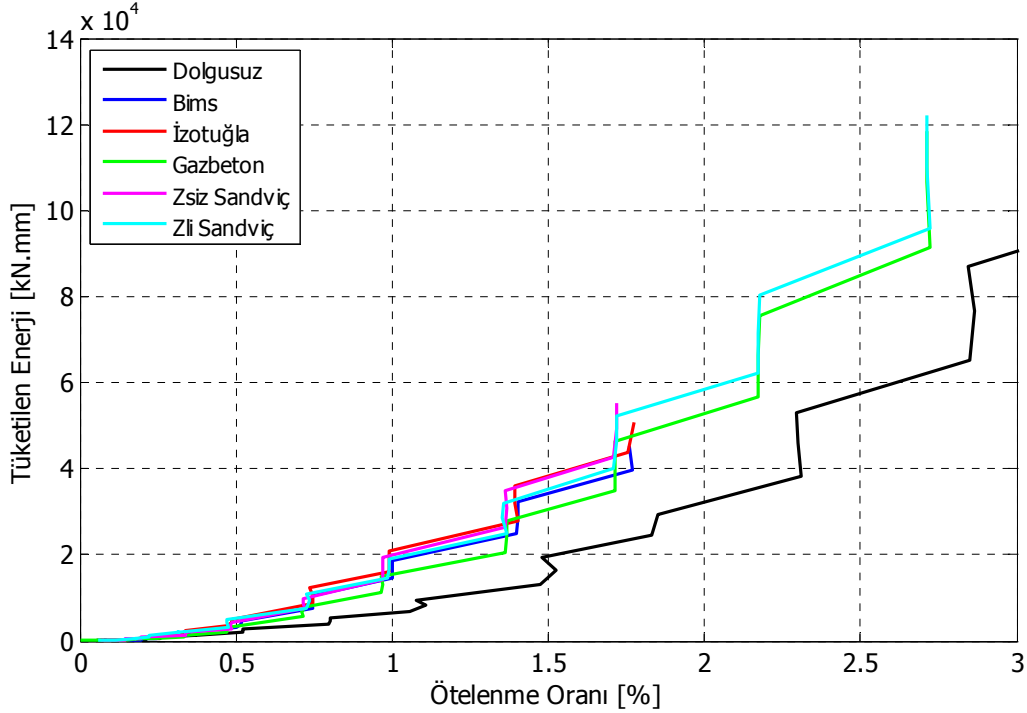
T.C.
DOKUZ EYLÜL ÜNİVERSİTESİ
MÜHENDİSLİK FAKÜLTESİ DEKANLIĞI

Bölüm: İnşaat Mühendisliği

Buca/İZMİR
??/??/????



Şekil 6.8. Tüm numuneler: Rijitlik azalması eğrileri.



Şekil 6.9. Tüm numuneler: Kümülatif enerji tüketimi eğrileri.



T.C.
DOKUZ EYLÜL ÜNİVERSİTESİ
MÜHENDİSLİK FAKÜLTESİ DEKANLIĞI

Bölüm: İnşaat Mühendisliği

Buca/İZMİR
??/??/????

6.3. Düzlemdışı Testlerin Ayrıntıları

Düzlemdışı testler, detayları **Bölüm 4**'de verildiği gibi, düzlemiçi testler ile eş zamanlı olarak yürütülmüştür. Yüklemeler, numunelere üçer tam çevrim olarak uygulanan düzlemiçi tepe ötelenmelerinin son çevriminde, numune çekme yönünde şekil değiştirmiş durumdayken uygulanmıştır. Bunun sebebi gerçek hayatta depremler sırasında duvar elemanlar üzerine mühendislik açısından anlamlı her iki doğrultudaki yükün (düzlemiçi ve düzlemdışı yükler) eş zamanlı ve taşıyıcı sistem şekil değiştirmiş haldeyken etkimesidir. Bu sayede, düzlemiçi doğrultuda şekil değiştirmiş olan çerçevenin kiriş elemanı tarafından düşey doğrultuda sıkıştırılan ve kolon elemanı tarafından yatay doğrultuda itilmekte olan duvarın üzerindeki gerilme etkileri daha gerçekçi olarak canlandırılabilmiştir. Bunun yanında, kolon elemanlar üzerine tüm test dizisi boyunca uygulanan aksel doğrultudaki yükler sebebiyle kolon elemanlar bir miktar kısılmakta ve kiriş eleman duvar üzerine basınç uygulamaktadır. Bu durum gerçek hayatta çok katlı yapıların özellikle alt katlarındaki duvarların karşılaştığı bir yükleme durumuna karşılık gelmektedir.

Şekil 6.10'de düzlemdışı test ortamının genel görünümü verilmiştir. Numune temeli, yükleme altyapısına düşey saplama çubukları ile sabitlenmekte, uygulanan hidrolik yük düzlemdışı yükleme koluna bağlı dağıtma plakası vasıtasıyla duvar üzerindeki simetrik dört noktaya iletilmektedir.



Şekil 6.10. Düzlemdışı test sisteminin genel görünümü.

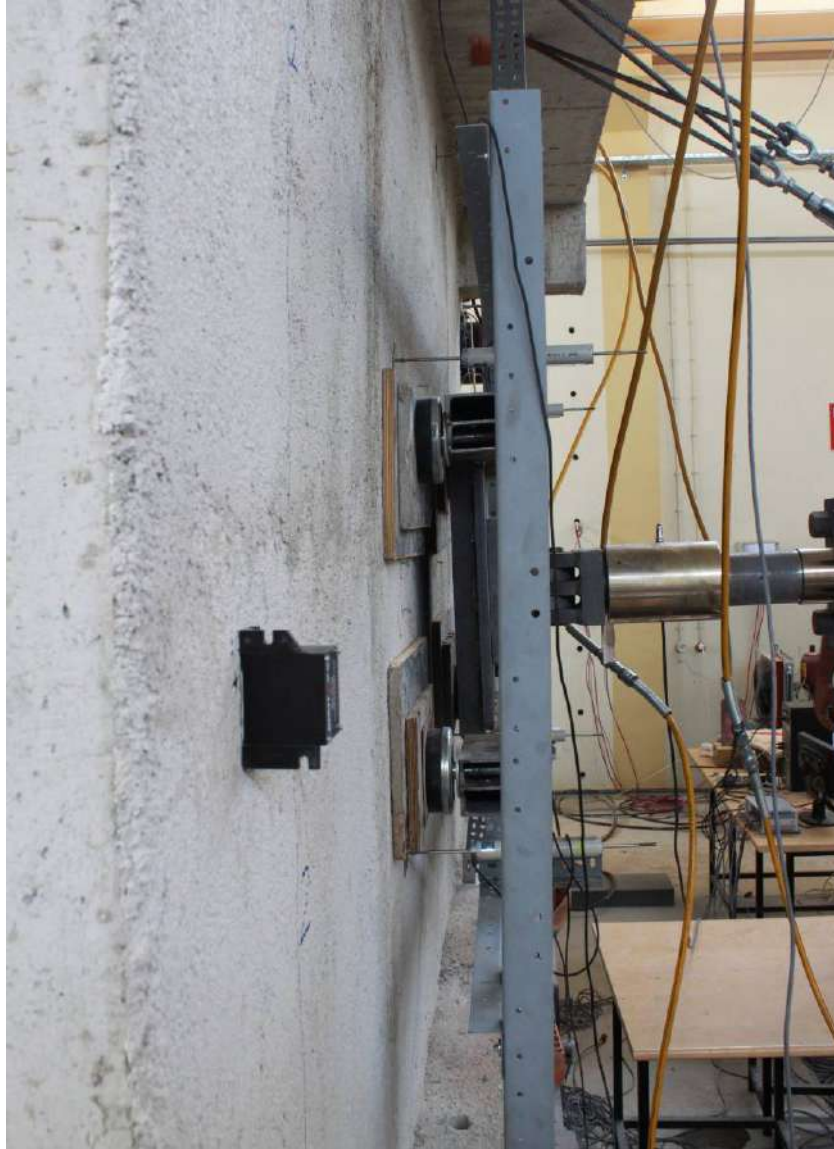


T.C.
DOKUZ EYLÜL ÜNİVERSİTESİ
MÜHENDİSLİK FAKÜLTESİ DEKANLIĞI

Bölüm: İnşaat Mühendisliği

Buca/İZMİR
??/??/????

Düzlemsiz yüklemeye sebebiyle duvar ve çerçeve sistemin ilgili doğrultuda konsol hareketi yapmasına engel olmak ve çerçeveyi düzlemsiz doğrultuda sabitlemek için betonarme çerçeve döşeme hizasından düzlemsiz yüklemeye sistemine sabitlenmiştir. Bu amaçla döşeme, çelik halatlar, çektirme ekipmanları ve imalat sırasında oluşturulan döşeme boşlukları kullanılarak düzlemsiz yüklemeye çerçevesine bağlanmıştır. Düzlemiçi yüklemeye sırasında gevşetilen bu sabitleme ekipmanları, düzlemsiz yüklemeye öncesinde gerdirilerek hazır hale getirilmektedir. Yüklemeler, düşey ve yatayda duvarın orta 1/3'lük noktalarına denk gelmektedir ve duvar üzerinde lokal ezilmeler oluşturmamak için ahşap plakalar ile yüklemeye yüzeyleri genişletilmiştir (Şekil 6.11).



Şekil 6.11. Düzlemsiz yüklemeye sistemi yan görünüşü ve genişletilmiş yüklemeye noktaları.



T.C.
DOKUZ EYLÜL ÜNİVERSİTESİ
MÜHENDİSLİK FAKÜLTESİ DEKANLIĞI

Bölüm: İnşaat Mühendisliği

Buca/İZMİR
??/??/????



Şekil 6.12. Duvarın çerçeveye göre düzlemdışı hareketlerinin izlenmesi.

Şekil 6.12’de görülebileceği gibi, duvarın betonarme çerçeveye göre gerçekleştirdiği düzlemdışı deformasyonlar, yükleme noktalarına çok yakın yerleştirilmiş hassas deplasman ölçerler ile izlenmiştir. Bu amaçla 6 adet ölçer, betonarme çerçevenin temeline sabitlenmiş referans çerçeve üzerine yerleştirilmiştir. Referans çerçevenin numune temeline sabitlenmesi, temelin olası hareketlerini ölçümlerde hariç tutmak amacıyladır. Bu ölçerlerden dört adedi duvar üzerine konumlandırılmış diğer iki tanesi de betonarme üstyapının olası konsol hareketini ölçmek amacıyla kiriş üzerine konumlandırılmıştır. Uygulanan düzlemdışı yükler, hidrolik kol üzerinde yer alan yükölçer ile izlenmiştir



T.C.
DOKUZ EYLÜL ÜNİVERSİTESİ
MÜHENDİSLİK FAKÜLTESİ DEKANLIĞI

Bölüm: İnşaat Mühendisliği

Buca/İZMİR
??/??/????



Şekil 6.13. Düzlemdışı yüklemeler sırasında duvar arkasında gerçekleşen yatay açılmalar.

Numunelerin düzlemiçi doğrultuda aldığı ilk hasarlara bağlı olarak genellikle % 0.5 tepe ötelenme değerinde ilk düzlemdışı yüklemeler uygulanmıştır. **Şekil 6.13**'de görülebileceği gibi uygulanan düzlemdışı yüklemeler sırasında literatürde de karşılık bulan bir hasar modu gerçekleşmektedir. Duvarın ortadan yüklenmiş plağı andıran deformasyonları ve duvar üzerinde lokal ezilmelerin gerçekleşmemesi, yükleme sisteminin amacına uygun olarak duvar üzerinde başarılı bir şekilde yanal atalet yüküne benzer yükler oluşturabildiğini göstermektedir.



T.C.
DOKUZ EYLÜL ÜNİVERSİTESİ
MÜHENDİSLİK FAKÜLTESİ DEKANLIĞI

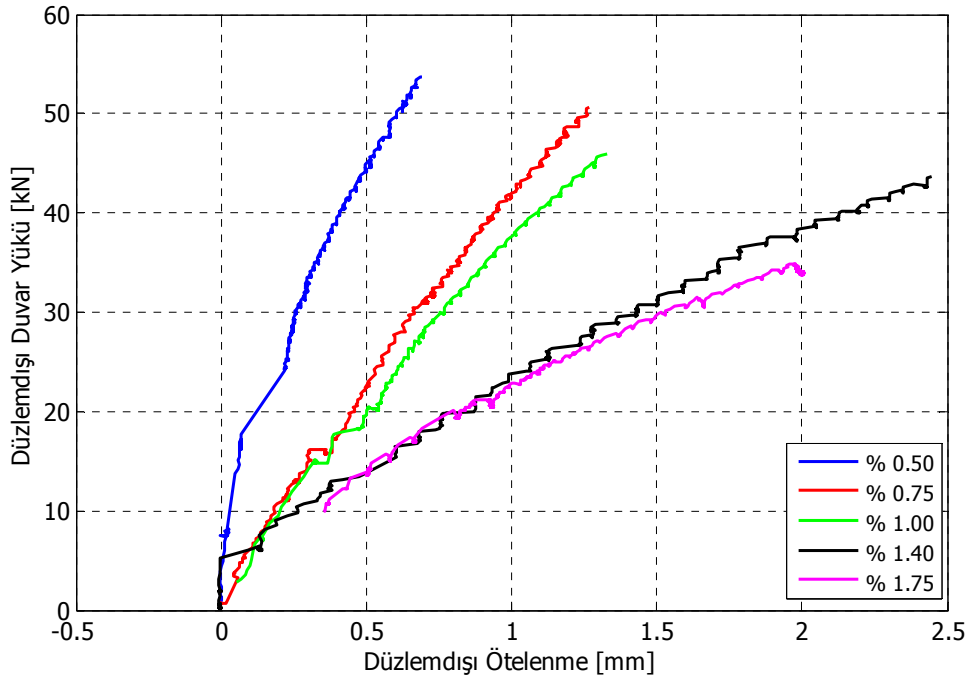
Bölüm: İnşaat Mühendisliği

Buca/İZMİR
??/??/????

6.4. Düzlemdışı Testlerin Analizleri

Düzleminiç ötelenme değerlerinde ilgili numunenin dolgu duvarı tarafından karşılanan tepe yükünün % 30'u dolgu duvar üzerine düzlemdışı yüklenme olarak iletilmiş ve bu yükü güvenle taşıdığı gösterilmiştir. Tali doğrultuda (düzlemdışı doğrultu), asal doğrultunun (düzleminiç doğrultu) %30'u mertebesinde uygulanan yüklenme, deprem yönetmeliklerinde de yer bulmuş bir mühendislik kabulüne dayanmaktadır. Depreme dayanıklı yapı tasarımı ilkeleri çerçevesinde, bir yapının analizi sırasında, yapıya asal doğrultuda hesaplanan deprem yükü uygulanırken, aynı anda bu yükün %30'u tali doğrultuda (dik yönde) uygulanarak iç kuvvetler hesap edilmektedir. Deneyler sırasında uygulanan düzlemdışı yüklemenin mertebesi bu ilkeye dayanmaktadır.

Numunelerin belirli düzleminiç tepe ötelenmesi değerlerinde gerçekteştirilen düzlemdışı yüklemelerin yük-deformasyon eğrileri **şekil 6.14 – şekil 6.18** boyunca toplu olarak verilmiştir. Her bir grafik farklı bir dolgu duvar türüne ve lejantta belirtildiği gibi grafikteki her bir eğri ise farklı düzleminiç tepe ötelenmesi değerlerinde gerçekteştirilen düzlemdışı testlerin yük-deformasyon eğrilerine karşılık gelmektedir. Grafiklerden izlenebileceği gibi artan düzleminiç ötelenme ve dolayısıyla kontrollü olarak artırılan hasar sebebiyle duvarlar düzlemdışı doğrultuda yumuşama eğilimi göstermektedir.



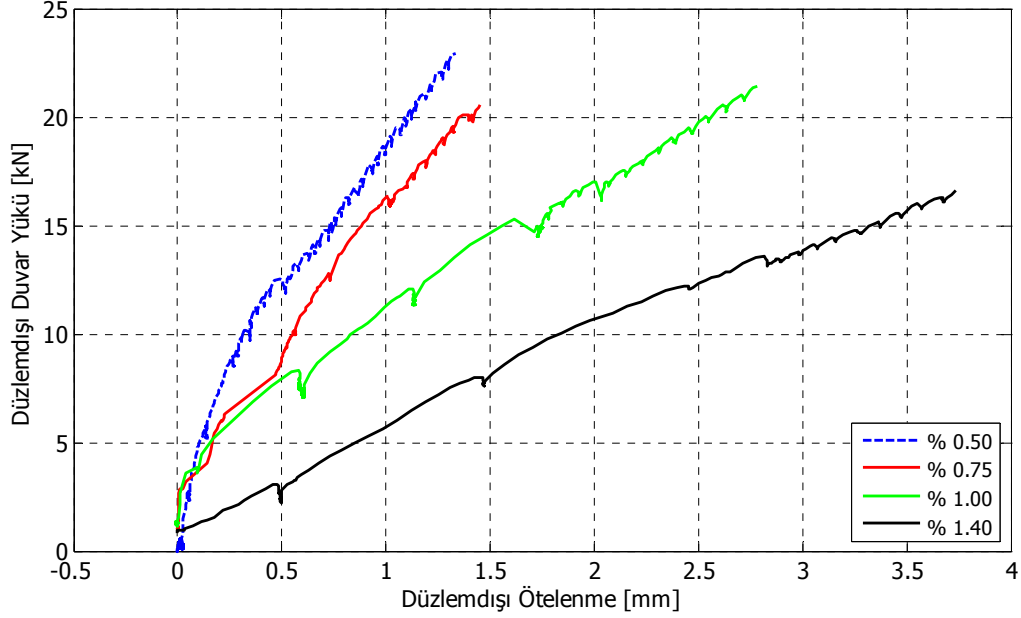
şekil 6.14. İzotuğla dolgulu çerçeve: Farklı düzleminiç ötelenme oranlarında gerçekteştirilen düzlemdışı yük-deplasman eğrileri.



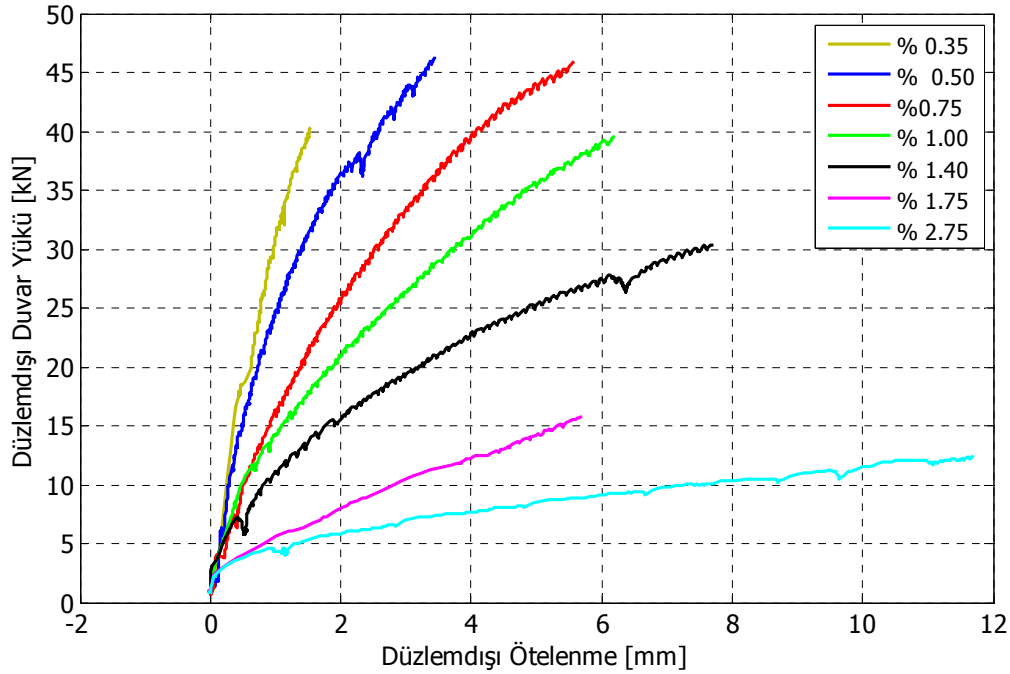
T.C.
DOKUZ EYLÜL ÜNİVERSİTESİ
MÜHENDİSLİK FAKÜLTESİ DEKANLIĞI

Bölüm: İnşaat Mühendisliği

Buca/İZMİR
??/??/????



Şekil 6.15. Z'siz Sandviç dolgulu çerçeve: Farklı düzlemiçi ötelenme oranlarında gerçekleştirilen düzlemsiz yük-deplasman eğrileri.



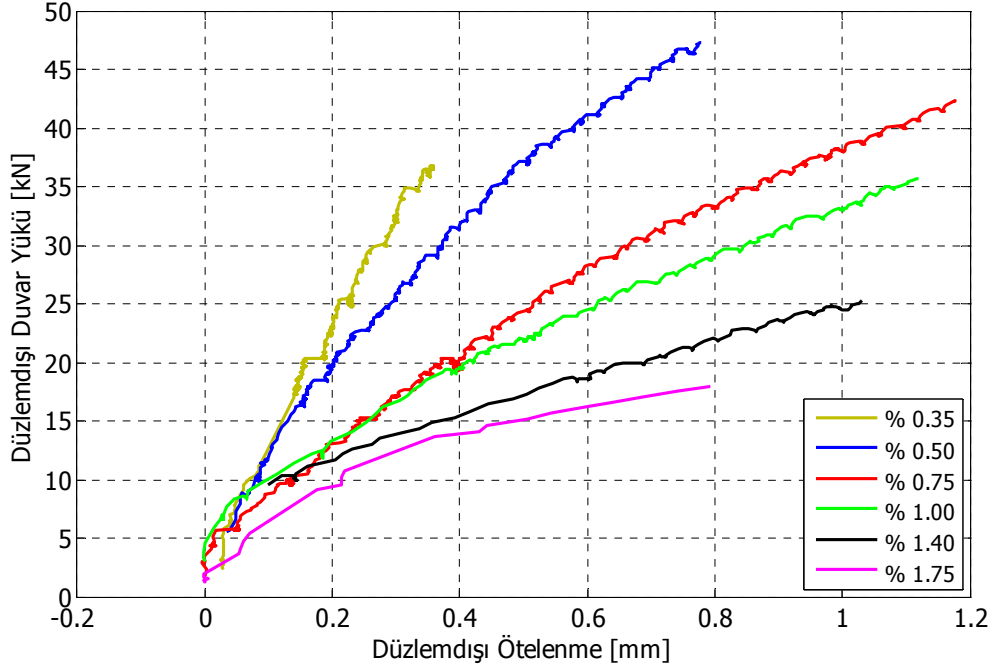
Şekil 6.16. Z'li Sandviç dolgulu çerçeve: Farklı düzlemiçi ötelenme oranlarında gerçekleştirilen düzlemsiz yük-deplasman eğrileri.



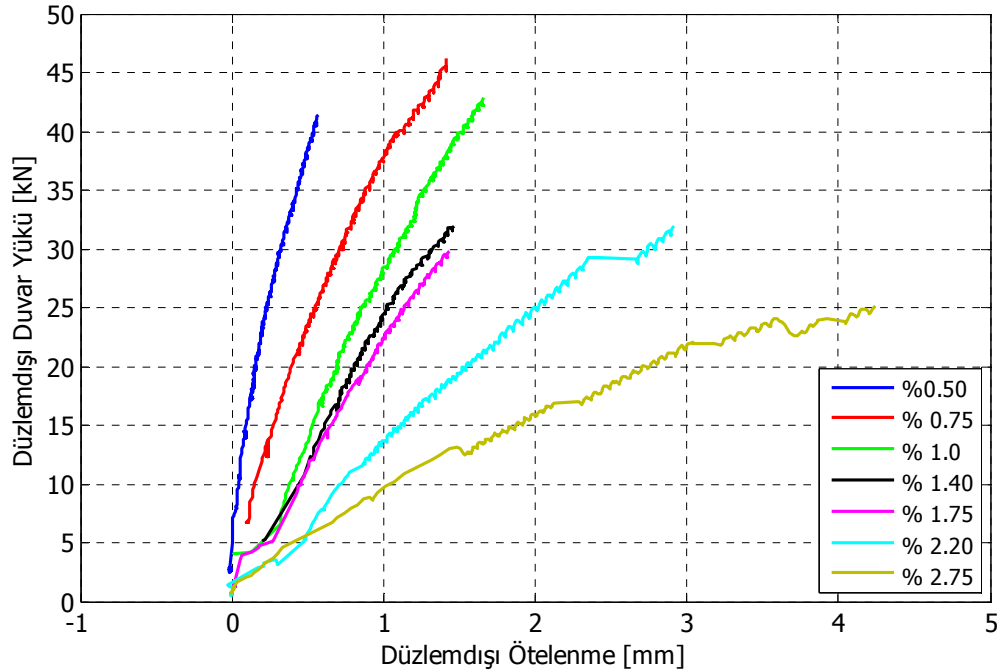
T.C.
DOKUZ EYLÜL ÜNİVERSİTESİ
MÜHENDİSLİK FAKÜLTESİ DEKANLIĞI

Bölüm: İnşaat Mühendisliği

Buca/İZMİR
??/??/????



Şekil 6.17. Bims dolgulu çerçeve: Farklı düzlem dışı ötelenme oranlarında gerçekleştirilen düzlem dışı yük-deplasman eğrileri.



Şekil 6.18. Gazbeton dolgulu çerçeve: Farklı düzlem dışı ötelenme oranlarında gerçekleştirilen düzlem dışı yük-deplasman eğrileri.



T.C.
DOKUZ EYLÜL ÜNİVERSİTESİ
MÜHENDİSLİK FAKÜLTESİ DEKANLIĞI

Bölüm: İnşaat Mühendisliği

Buca/İZMİR
??/??/????

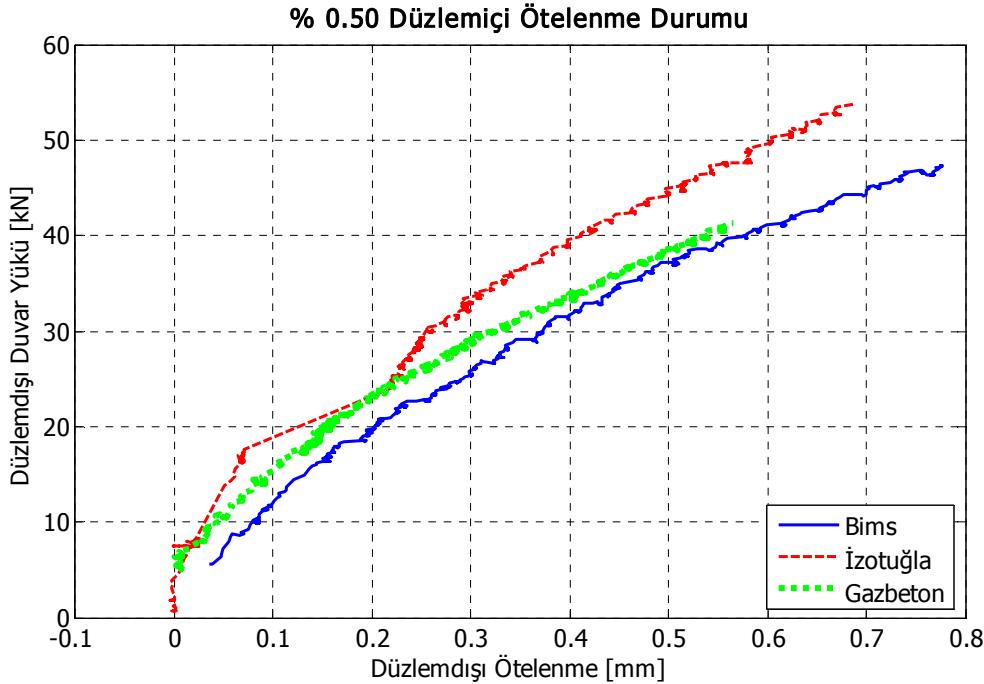
Yükün iletmeye başlandığı sırada, dağıtma plakaları duvar yüzeyine oturmaya başlamakta ve yük değerleri salınım yapmaktadır. Ayrıca bazı yüksek düzlemiçi ötelenme durumlarında duvar üzerindeki lokal hasarlar da veri alımını zorlaştırmıştır. Bu sebeple bazı eğrilerin genel trende uymayan başlangıç bölgeleri grafiklerden çıkarılmıştır. Bununla birlikte duvarların yük-ötelenme davranışları açık olarak izlenebilir durumdadır.

Diğer dolgu tiplerinden farklı olarak Z'siz Sandviç duvar hem iki sıra duvardan oluşmakta hem de bu sıraları birbirine bağlayan herhangi bir bağlantı elemanı barındırmamaktadır. Bu sebeple atalet yükü olarak duvarlar üzerine etkiyen deprem yükünü canlandırarak düzlem dışı yük, itilen kanadın kütlesi ile orantılı olarak azaltılarak duvara uygulanmıştır.

Şekil 6.19 – Şekil 6.27 boyunca farklı dolgu türlerinin aynı tepe ötelenmesi sonundaki düzlem dışı tepkisine ait yük-ötelenme eğrileri verilmiştir. İzotuğla, Bims ve Gazbeton dolgu duvarları tek sıra, Sandviç duvarlar ise iki sıra duvardan oluştuğundan davranışları ayrı şekilde karşılaştırılmıştır. Tek sıra duvarlar görüldüğü gibi benzer davranış göstermiştir.

% 0.50 - % 0.75 düzlemiçi ötelenme bölgesinde Z'li ve Z'siz Sandviç dolgular benzer davranmış fakat artan düzlemiçi ötelenmelerle birlikte, Z'li Sandviç duvarın düzlem dışı rijitliği daha çok korunmuş ve dolayısıyla düzlem dışı stabilitesi olumlu yönde etkilenmiştir.

Tek sıra duvar biriminden oluşan duvarlar (İzotuğla, Bims ve Gazbeton duvarlar):



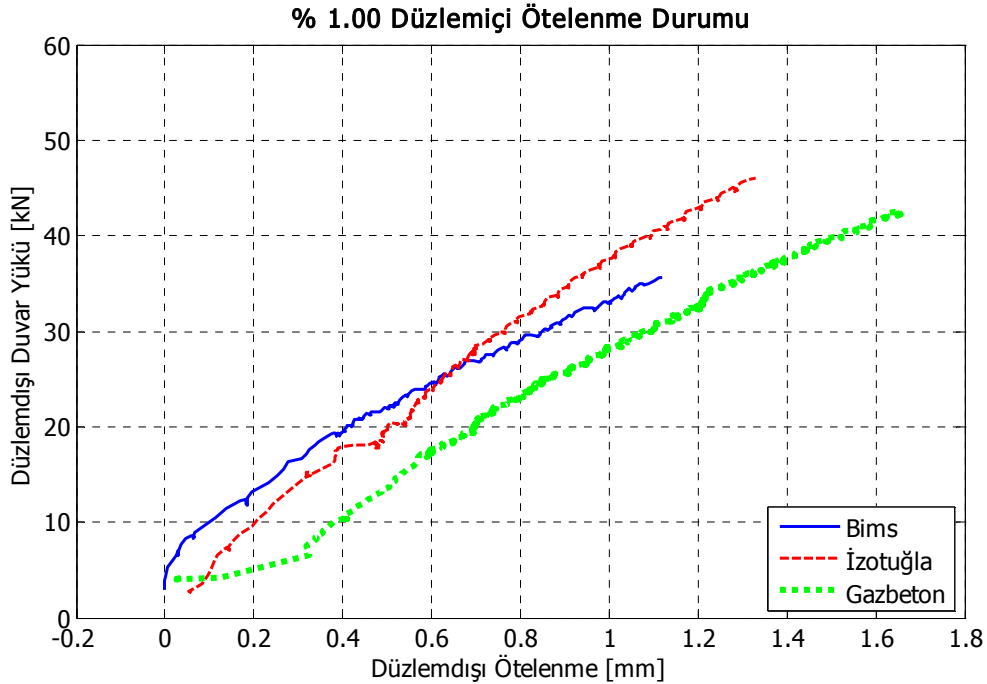
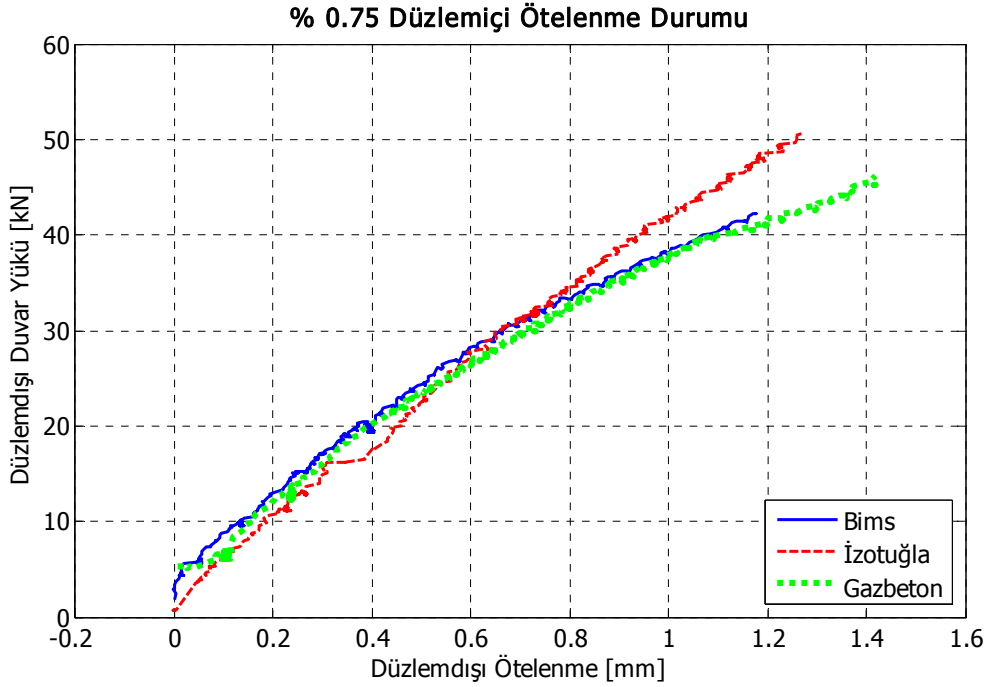
Şekil 6.19. % 0.50 düzlemiçi ötelenme oranındaki farklı dolgulu çerçevelerin düzlem dışı yük-deplasman eğrileri.



T.C.
DOKUZ EYLÜL ÜNİVERSİTESİ
MÜHENDİSLİK FAKÜLTESİ DEKANLIĞI

Bölüm: İnşaat Mühendisliği

Buca/İZMİR
??/??/????

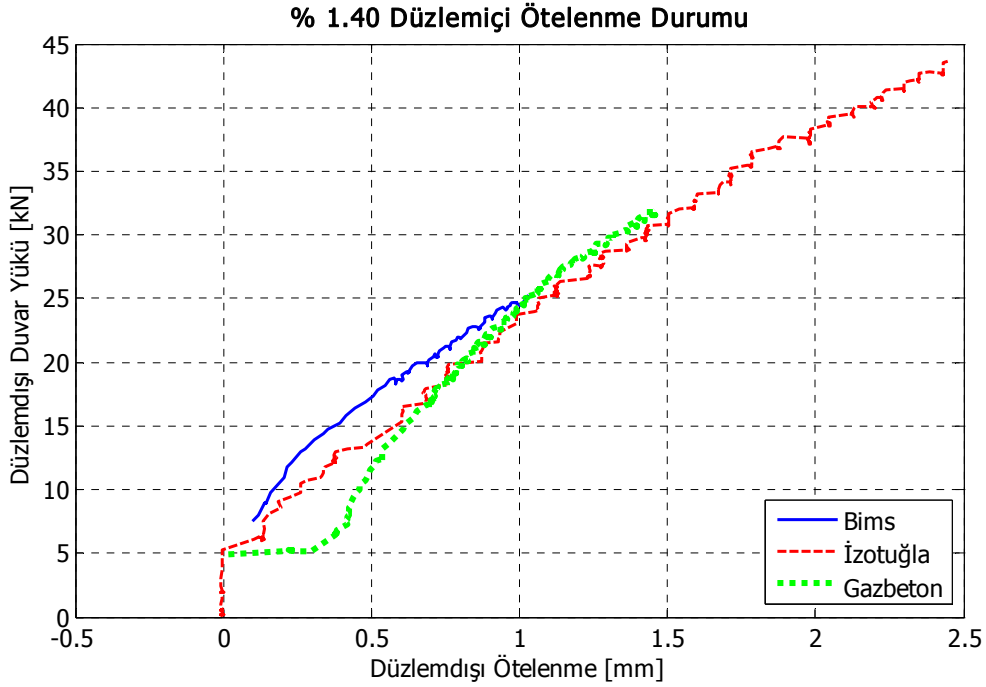




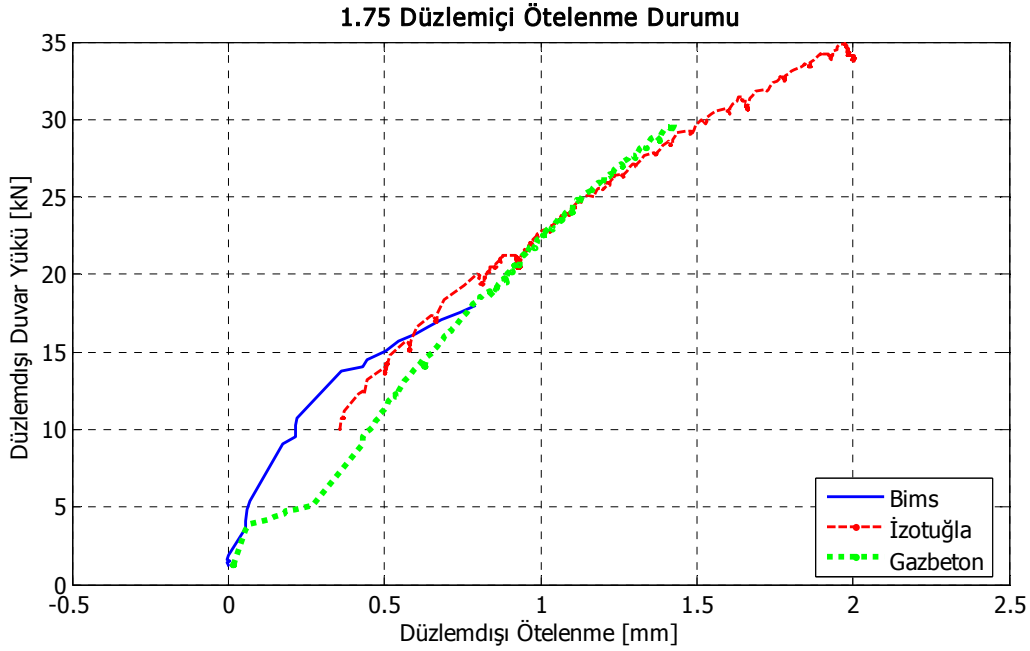
T.C.
DOKUZ EYLÜL ÜNİVERSİTESİ
MÜHENDİSLİK FAKÜLTESİ DEKANLIĞI

Bölüm: İnşaat Mühendisliği

Buca/İZMİR
??/??/????



Sekil 6.22. % 1.40 düzlemiçi ötelenme oranındaki farklı dolgulu çerçevelerin düzlemiçi yük-deplasman eğrileri.



Sekil 6.23. % 1.75 düzlemiçi ötelenme oranındaki farklı dolgulu çerçevelerin düzlemiçi yük-deplasman eğrileri.

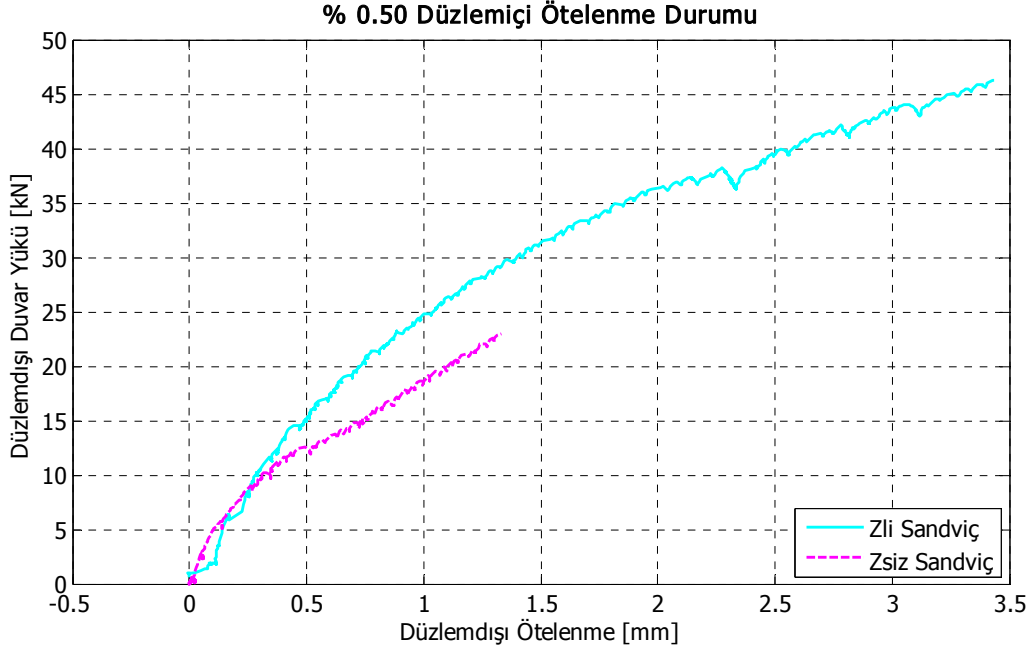


T.C.
DOKUZ EYLÜL ÜNİVERSİTESİ
MÜHENDİSLİK FAKÜLTESİ DEKANLIĞI

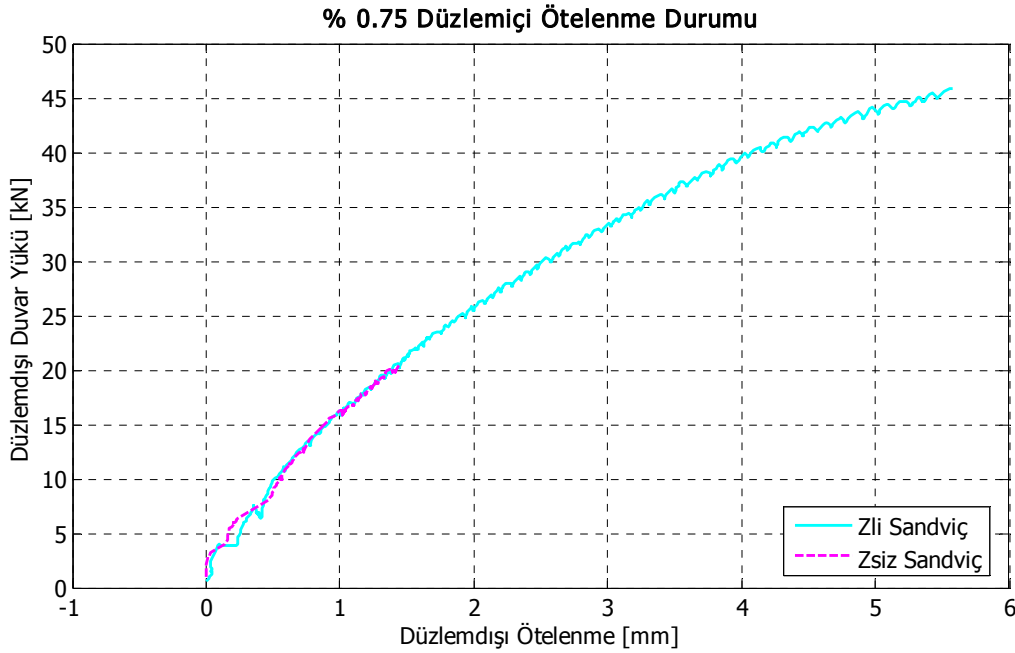
Bölüm: İnşaat Mühendisliği

Buca/İZMİR
??/??/????

İki sıra duvar biriminden oluşan duvarlar (Z'li ve Z'siz Sandviç duvarlar):



Şekil 6.24. % 0.50 düzlemiçi ötelenme oranındaki farklı dolgulu çerçevelerin düzlem dışı yük-deplasman eğrileri.



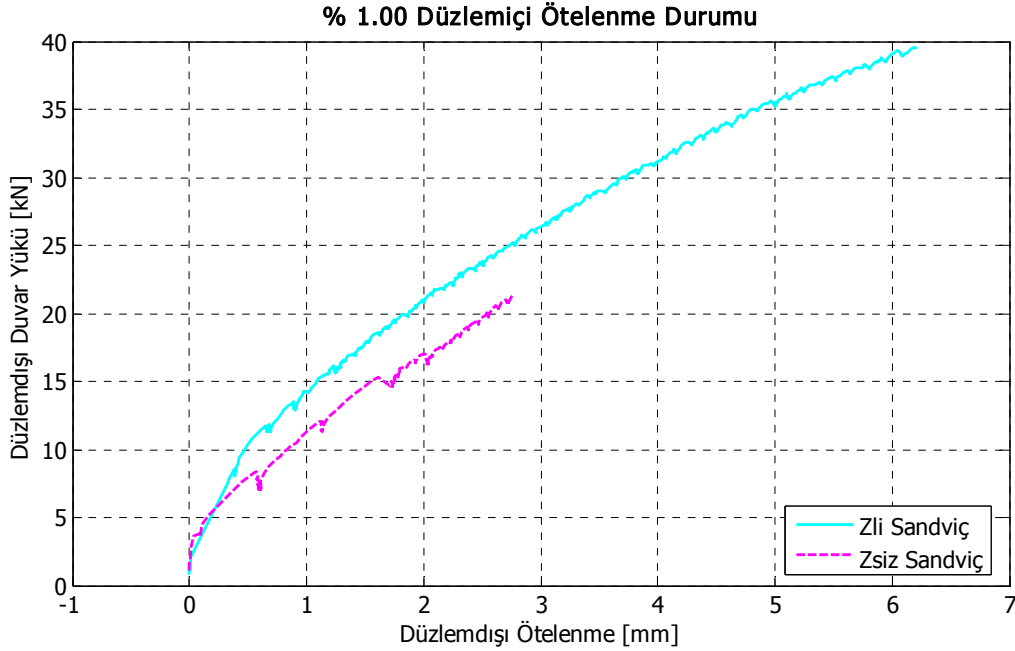
Şekil 6.25. % 0.75 düzlemiçi ötelenme oranındaki farklı dolgulu çerçevelerin düzlem dışı yük-deplasman eğrileri.



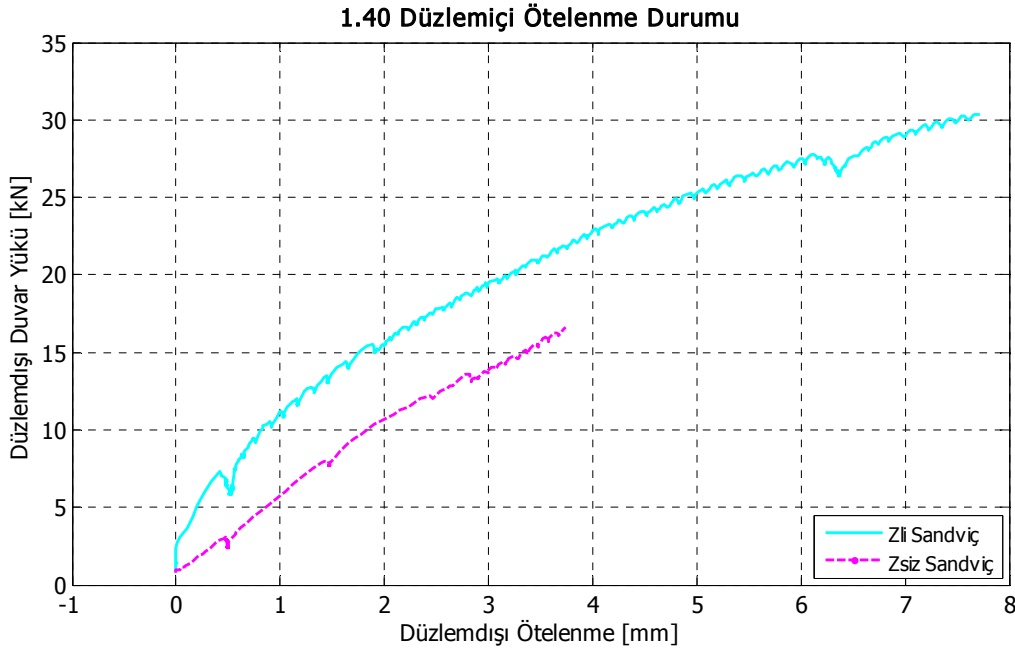
T.C.
DOKUZ EYLÜL ÜNİVERSİTESİ
MÜHENDİSLİK FAKÜLTESİ DEKANLIĞI

Bölüm: İnşaat Mühendisliği

Buca/İZMİR
??/??/????



Şekil 6.26. % 1.00 düzlemiçi ötelenme oranındaki farklı dolgulu çerçevelerin düzlem dışı yük-deplasman eğrileri.



Şekil 6.27. % 1.40 düzlemiçi ötelenme oranındaki farklı dolgulu çerçevelerin düzlem dışı yük-deplasman eğrileri.



T.C.
DOKUZ EYLÜL ÜNİVERSİTESİ
MÜHENDİSLİK FAKÜLTESİ DEKANLIĞI

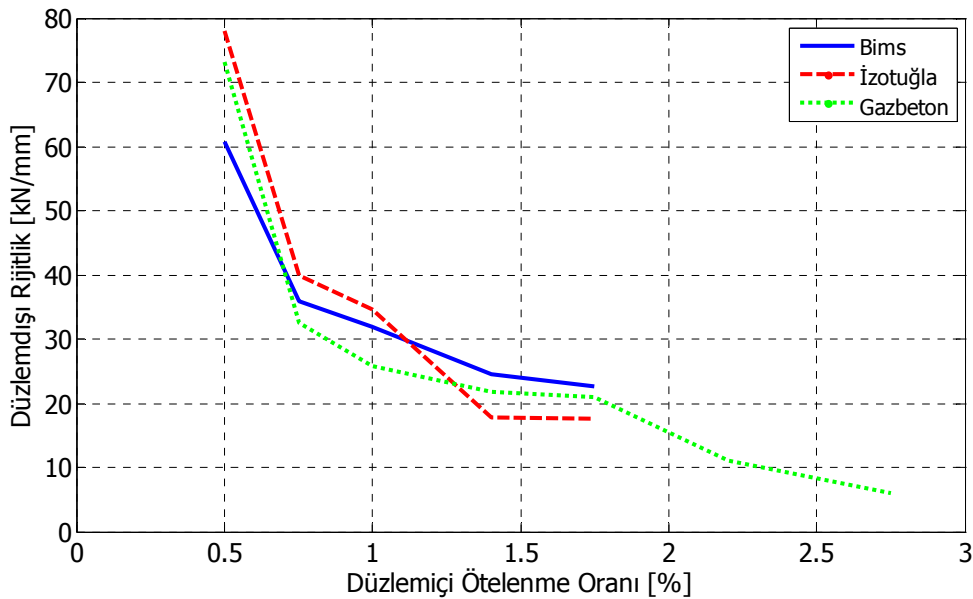
Bölüm: İnşaat Mühendisliği

Buca/İZMİR
??/??/????

Z'siz Sandviç dolgulu çerçeve testinde % 1.0 ötelenme ile birlikte, düzlemdışı yüklemenin arka tarafında kalan duvar kanadı belirgin miktarda düzlemi dışına taşmıştır. %1.40 ötelenme düzeyinden itibaren şiddetlenen bu durum sebebiyle sonraki ötelenmeler için düzlemdışı test gerçekleştirilmemiştir. Ayrıca, İzotuğla ve Bims dolgulu çerçeve deneylerinde % 1.75 tepe ötelenme oranında düzlemiçi doğrultuda ulaşılan % 20 mertebesindeki tepe yükü düşmesi sebebiyle test sonlandırılmıştır. Buna bağlı olarak düzlemdışı testler son olarak bu düzeyde gerçekleştirilmiştir. Z'li Sandviç ve gazbeton dolgulu çerçevelerin düzlemiçi ve düzlemdışı testleri ise aynı yaklaşımla % 2.75 tepe ötelenmesine kadar devam ettirilmiştir.

Duvarların artan hasarla birlikte düzlemdışı rijitliğindeki azalma, dolgu türüne göre değişiklik göstermektedir. **Şekil 6.24** ve **Şekil 6.25**'da verilen ve düzlemdışı rijitlikteki azalmayı gösterir eğriler genel eğilimlerin izlenebilmesi için oluşturulmuştur. İzotuğla, Bims ve Gazbeton dolgunun benzer düzlemdışı davranışlar gösterdiği grafikten izlenmektedir. Düzlemiçi doğrultuda %20 yük düşmesi temel alınarak İzotuğla ve Bims dolgulu çerçevelerin testleri %1.75 düzlemiçi ötelenmeye kadar devam ettirilmiştir. Fakat bu limite kadar gösterdikleri benzer davranışın ileri ötelenmelerde de devam edeceği öngörülebilir.

Sandviç dolgu türleri ayrı bir grup olarak davranmış ve bu şekilde incelenmiştir. Sandviç tuğla duvarlar düzlemiçi doğrultuda diğer türler kadar direnç gösterdiği halde, kalınlığı daha az iki kanattan oluşan bu duvar türünde düzlemdışı rijitlikler doğal olarak daha düşüktür. Düzlemiçi direncin belirli bir oranında uygulanan düzlemdışı yükler Sandviç tuğla duvarlarda eğrisel yük ötelenme ilişkileri oluşturduğundan, bu duvar türleri için başlangıç rijitliği, diğer türler için ise sekant rijitlikleri hesaplanmış ve grafiklerde verilmiştir.



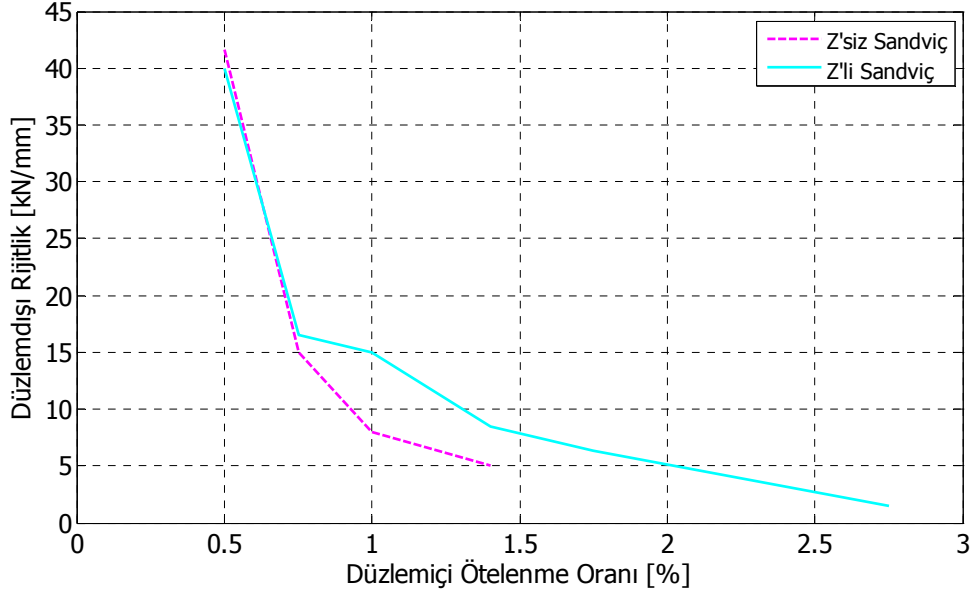
Şekil 6.24. Tek sıra duvar biriminden oluşan dolgu duvarların düzlemiçi hasarına bağlı düzlemdışı rijitlik azalması eğrileri.



T.C.
DOKUZ EYLÜL ÜNİVERSİTESİ
MÜHENDİSLİK FAKÜLTESİ DEKANLIĞI

Bölüm: İnşaat Mühendisliği

Buca/İZMİR
??/??/????



Şekil 6.25. İki sıra tuğladan oluşan dolgu duvarların düzlemiçi hasarına bağlı düzlem dışı rijitlik azalması eğrileri.

Z'li ve Z'siz Sandviç dolgulu çerçeveler % 0.75 ötelenme oranına kadar çok benzer düzlemiçi ve düzlem dışı davranışlar göstermiştir. Kullanılan Z bağlantılar sayesinde, Z'li Sandviç dolgu duvarın düzlem dışı rijitliği diğerine göre, % 1.0 ötelenme düzeyinde % 86, % 1.4 ötelenme düzeyinde ise % 70 daha fazladır. Böylece düzlem dışı rijitlik azalması eğrisinde olumlu bir davranış izlenmiştir. Ayrıca Z'li Sandviç dolgu duvar % 2.75 düzlemiçi ötelenme oranına kadar bütünlüğünü koruyarak diğerine göre daha arzu edilen bir düzlem dışı davranış sergilemiştir.



T.C.
DOKUZ EYLÜL ÜNİVERSİTESİ
MÜHENDİSLİK FAKÜLTESİ DEKANLIĞI

Bölüm: İnşaat Mühendisliği

Buca/İZMİR
??/??/????

7. SONUÇLAR

DeneySEL çalışma kapsamında, dolgu duvarlı betonarme çerçevelerin, depremler sırasında karşılaştıkları türden düzlemiçi ve düzlem dışı yükler altındaki davranışları incelenmiş, hasar mekanizmaları ortaya çıkarılmıştır. Deneyler sırasında, ülkemizde yaygın olarak kullanılan İzotuğla, **Sandviç tuğla duvar, Bims ve Gazbeton bloklu** dolgu duvar türleri kullanılmış, iki sıra tuğla ile oluşturulan Sandviç duvarlarda, kanatları birbirine bağlayan Z metal bağlantılarının etkinliği de ayrıca incelenmiştir. Depremlerde hasar gören dolgu duvarların düzlem dışına devrilmemesi için belirli yükleri güvenle taşıdığını göstermek can güvenliği açısından son derece önemlidir.

Testlerde, gerçekçi numunelerle çalışmak amacıyla büyük ölçekli tek katlı-tek açıklıklı betonarme çerçeveler kullanılmış, bu çerçeveler gerçek boyutlu tuğla ve bloklar ile oluşturulmuştur. Bununla birlikte, tüm numuneler etkili tabla genişliği kadar döşemeye ve sargılanmış kolon-kiriş birleşimlerine sahiptir. DeneySEL çalışma sırasında bir adet dolgusuz olmak üzere toplam altı adet betonarme çerçeve test edilmiştir.

Düzlemiçi davranışın çalışılmasındaki amaç, ülkemizde yaygın olarak kullanılan dolgu duvar türlerinin, çerçeve-dolgu duvar etkileşimini ne oranda etkilediğinin araştırılmasıdır. Bu amaçla, düzlemiçi doğrultuda çerçevenin rijitliğindeki ve dayanımındaki artış araştırılmış, artan ötelenmeler boyunca numunelerdeki dayanım ve rijitlik azalması ile enerji tüketme kabiliyetlerindeki değişim karşılaştırılmıştır.

Çalışmanın ana hedefi, farklı dolgu duvar türlerinin düzlemiçi doğrultuda artan hasar düzeyi ile düzlem dışı stabilitesi arasındaki ilişkinin belirlenmesidir. Bu kapsamda düzlem dışı testler ile hedeflenen **(1) giderek artan düzlemiçi hasarla birlikte dolgu duvarın düzlem dışı rijitliğindeki azalma miktarının belirlenmesi** ve **(2) artan düzlemiçi ötelenmelerde dolgu duvara uygulanan düzlem dışı yükün, belirlenen alt limiti aşıp aşmadığının belirlenmesidir.**

DeneySEL gözlemler ve analiz edilen test verisi ışığında aşağıdaki sonuçlara ulaşılmıştır;

Düzlemiçi Test Sonuçları:

1. Düzlemiçi test verisi kullanılarak elde edilen ve karşılaştırılabilir ölçütler olan dayanım zarfı, rijitlik azalması ve enerji tüketimi gibi özellikleri açısından test edilen tüm dolgulu çerçevelerin, benzer davranışlar sergilediği bulgulanmıştır. Test edilen dolgu duvarlar, dolgusuz çerçevenin dayanım, rijitlik ve enerji tüketme özelliklerine büyük oranda katkıda bulunmuştur. Üçüncü çevrimler göz önüne alındığında, bu katkı düşük hasar bölgesinde yüksek değerde gerçekleşmiş ve artan duvar hasarı ile birlikte yaklaşık % 1.75 tepe ötelenme oranından itibaren ihmal edilebilir düzeye inmiştir.



T.C.
DOKUZ EYLÜL ÜNİVERSİTESİ
MÜHENDİSLİK FAKÜLTESİ DEKANLIĞI

Bölüm: İnşaat Mühendisliği

Buca/İZMİR
??/??/????

Dolgu duvarlar, boş çerçevenin başlangıç ötelenme rijitliğini ortalama % 80 oranında, en büyük dayanımı ortalama % 45 oranında, kümülatif enerji tüketimini de % 1.75 ötelenme düzeyinde ortalama % 50 oranında artırmıştır.

2. Binalar için deprem performansı; *Hemen Kullanım*, *Can Güvenliği* ve *Göçme Öncesi* olarak tanımlanan üç limit durumu göz önüne alınarak incelenebilmektedir. Türkiye'deki konut türü dolgulu betonarme çerçeve binaların öznel yapısal karakteri ve bu yapıların global davranış parametreleri esas alındığında, tasarım depremi altında bu limit durumlara karşılık gelen tepe ötelenme oranlarının yaklaşık olarak % 0.20, % 0.75 ve % 1.40 olduğu literatürde belirtilmiştir. Bu durumda;
 - o *Hemen Kullanım* performansı ile ilişkili rijitlik azalması indeksinin tüm dolgulu çerçevelerde %20 limitinin altında kaldığından, *Hemen Kullanım* performans hedefinin sağlandığı,
 - o *Göçme Öncesi* performansı ile ilişkili en yüksek dayanımdaki %20 azalmaya karşılık gelen ötelenme oranının tüm numunelerde %1.4 limitinin üzerinde yer alması sebebiyle *Göçme Öncesi* performans hedefinin sağlandığı,
 - o *Göçme Öncesi* performansına karşılık gelen ötelenmenin %75'i değerindeki ötelenme oranlarının tüm numunelerde %0.75 limitinin üzerinde kalması sebebiyle *Can Güvenliği* performans hedefinin de sağlandığı bulunmuştur,

Bu durumda 2007 Türk Deprem Yönetmeliği'nde konut türü yapılar için tasarım depreminde düzlemiçi doğrultuda göstermesi beklenen *Can Güvenliği* performansının tüm dolgulu çerçeveler için sağlandığı görülmüştür.

Düzlemdışı Test Sonuçları:

3. Dolgu duvarlara % 1.4 düzlemiçi tepe ötelenmesine kadar belirli aralıklarla düzlemdışı yükler uygulanmıştır. Bu yükler, çıkılan en yüksek düzlemiçi duvar yükünün % 30'u kadardır. İncelenen tüm dolgu duvarlar, uygulanan bu düzlemdışı yükleri, düzlemdışı devrilme görülmeksizin karşılamış ve düzlemdışı dayanımları açısından talebin üzerinde bir kapasiteye sahip olduklarını göstermişlerdir.
4. Yukarıdaki paragrafa bir istisna olarak, Z'siz Sandviç duvar, düzlemiçi % 1.0 tepe ötelenme oranında dış kanadının gösterdiği ve panel kalınlığının % 20'si mertebesinde yaptığı düzlemdışı hareket sebebiyle bu ötelenme değerine kadar düzlemdışı doğrultuda güvenli olduğunu göstermiştir. % 1.0 tepe ötelenmesi değeri, konut türü binaların tasarım depremi altında göstermesi beklenen *Can Güvenliği* performansı için belirlenen % 0.75 tepe ötelenmesi limitinin hala üzerinde olduğundan, Z'siz Sandviç duvar da düzlemdışı doğrultuda *Can Güvenliği* performansını sağlamaktadır.



T.C.
DOKUZ EYLÜL ÜNİVERSİTESİ
MÜHENDİSLİK FAKÜLTESİ DEKANLIĞI

Bölüm: İnşaat Mühendisliği

Buca/İZMİR
??/??/????

5. Z'li ve Z'siz Sandviç dolgulu çerçeveler % 0.75 ötelenme oranına kadar çok benzer düzlemiçi ve düzlemdışı davranışlar göstermiştir. Kullanılan Z bağlantılar sayesinde, Z'li Sandviç dolgu duvarın düzlemdışı rijitliği diğerine göre, % 1.0 ötelenme düzeyinde % 86, % 1.4 ötelenme düzeyinde ise % 70 daha fazladır. Böylece düzlemdışı rijitlik azalması eğrisinde olumlu bir davranış izlenmiştir. Ayrıca Z'li Sandviç dolgu duvar % 2.75 düzlemiçi ötelenme oranına kadar bütünlüğünü koruyarak diğerine göre daha arzu edilen bir düzlemdışı davranış sergilemiştir.
6. Düzlemdışı testlerde Sandviç dolgu duvarlarının düzlemdışı rijitliklerinin genel olarak diğer dolgulara göre daha düşük mertebede olduğu görülmüştür. Bununla birlikte düşük düzlemdışı rijitliğe sahip dolgu duvarların, eğer düzlemdışı göçmesi engellenebilirse (Z metal bağlantıları ile), yapının depremler sırasında salınmakta olan etkin kütlelerini azaltacağı, dolayısıyla deprem yüklerini de azaltabileceği ve daha avantajlı bir durum oluşturabileceği literatürde yer alan çalışmalarda belirtilmiştir [Calvi ve Bolognini, 2001]. Rapor kapsamında verilen düzlemiçi hasara bağlı düzlemdışı rijitlik azalması grafikleri kullanılarak, proje mühendislerinin bu durumu yapısal modeller üzerinde incelemeleri mümkün olacaktır.

Sınırlamalar:

1. Bahsi geçen dolgu duvarlar ile ilgili test sonuçları, testte kullanılan malzemelerin mekanik özelliklerine, işçiliğe, betonarme çerçevenin eleman boyutlarına ve duvarın boyutlarına bağlı bilgilerdir. Dolayısıyla bu bilgiler ışığında ortaya çıkan yorumlar benzer özellikteki dolgular için geçerlidir. Aynı şekilde kullanılan tüm dolgu duvarlarda kapı, pencere vs. boşluk bulunmadığından sonuçların dikkatli bir şekilde kullanılması gerekmektedir.
2. Numunelerde duvar-kolon ve duvar-kiriş ara yüzlerinin yani duvarın mesnet koşullarının uygun şekilde oluşturulması için özel çaba sarf edilmiş ve bu ara yüzler harç ile sıkıca doldurulmuştur. Bu imalat detayı da deneysel bulgular üzerinde önemli etkilere sahiptir.
3. Bütçe, zaman ve numune boyutları dikkate alındığında, her bir dolgu duvar türü için bir adet çerçeve numunesi test edilebilmiştir. Sınırlı sayıda numune ile gerçekleştirilen bu testlerden elde edilen sonuçlar genelleştirilirken bu durum göz önünde bulundurulmalıdır.

Öneriler:

1. Z bağlantılı sandviç dolgusu için farklı türde malzeme ve bağlantı geometrileri için benzer testler gerçekleştirilerek maliyet ve ısıl geçirgenlik anlamında optimize edilmiş bağlantı türleri araştırılabilir.



T.C.
DOKUZ EYLÜL ÜNİVERSİTESİ
MÜHENDİSLİK FAKÜLTESİ DEKANLIĞI

Bölüm: İnşaat Mühendisliği

Buca/İZMİR
??/??/????

Referanslar:

Calvi G.M., Bolognini B. (2001). Seismic response of reinforced concrete frames infilled with weakly reinforced masonry panels, Journal of Earthquake Engineering, 5:2, 153-185.

Erberik M.A. (2008). Fragility-based assessment of typical mid-rise and low-rise RC buildings in Turkey, Engineering Structures, 30, 1360–1374.

Erberik M.A. (2011). Importance of degrading behavior for seismic performance evaluation of simple structural systems, journal earthquake engineering, 15:1, 32-49.

Serap Kahraman
Prof. Dr.

İ. Serkan Mısır
Uzman Dr.

Özgür Özçelik
Yrd. Doç. Dr.

Sadık Can Girgin
İnş. Yük. Müh.