

T.C  
VAN YÜZÜNCÜ YIL ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ  
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**ISI KATMANLI ÖN DÖKÜMLÜ BETONARME PERDE DUVARININ  
DEPREM PERFORMANSININ İNCELENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

HAZIRLAYAN: Mehmet Ali ERÇETİN  
DANIŞMAN: Doç. Dr. Mücip TAPAN

VAN-2019



T.C  
VAN YÜZÜNCÜ YIL ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ  
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**ISI KATMANLI ÖN DÖKÜMLÜ BETONARME PERDE DUVARININ  
DEPREM PERFORMANSININ İNCELENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

HAZIRLAYAN: Mehmet Ali ERÇETİN

Bu çalışma TÜBİTAK tarafından 115M037 No'lu proje kapsamında gerçekleştirilmiştir.

VAN-2019



## KABUL VE ONAY SAYFASI

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı'nda Doç.Dr. Mücip TAPAN danışmanlığında, Mehmet Ali ERÇETİN tarafından sunulan "Isı Katmanlı Ön Dökümlü Betonarme Perde Duvarının Deprem Performansının İncelenmesi" isimli bu çalışma Lisansüstü Eğitim ve Öğretim Yönetmeliği'nin ilgili hükümleri gereğince 08/03/2019 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği ile başarılı bulunmuş ve Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

Başkan: Doç. Dr. Salih KESKİN

İmza 

Üye: Doç. Dr. Mücip TAPAN

İmza 

Üye: Dr. Öğr. Üyesi Barış ERDİL

İmza 

Üye:.....

İmza

Üye:.....

İmza

Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun 05.04/2019 tarih ve 2019/22-1 sayılı kararı ile onaylanmıştır.





## TEZ BİLDİRİMİ

Tez içindeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edilerek sunulduğunu, ayrıca tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yaptığımı bildiririm.



(İmza)

Mehmet Ali ERÇETİN





## ÖZET

### ISI KATMANLI ÖN DÖKÜMLÜ BETONARME PERDE DUVARININ DEPREM PERFORMANSININ İNCELENMESİ

ERÇETİN, Mehmet Ali  
Yüksek Lisans Tezi, İnşaat Mühendisliği Ana Bilim Dalı  
Tez Danışmanı : Doç. Dr. Mücip TAPAN  
Ocak 2019, 68 sayfa

Tez kapsamında tasarlanan yenilikçi yüksek ısıl dirence sahip yalıtım malzemesinin entegre edildiği sistemin deprem performansına taşıyıcı olarak önemli bir katkı sağlaması beklenmese de bu yüklemeye etkisinde genel davranışı incelenerek; ağır hasar alıp almayacağı, bütünlüğünü koruyup korumayacağı yapılan testlerle raporlanmıştır.

Önerilen sistemle yüksek ısı izolasyon kapasitesine sahip ön dökümlü betonarme duvar elemanları standart yapılarda kullanılan konvansiyonel betonarme perde duvarlar ile deprem davranışları düzlemleri içerisinde uygulanan depremi benzeştiren tersinir tekrarlanır yatay statik yüklemeye etkisi altında test edilerek karşılaştırılmıştır. Tasarlanan ön üretimli çift katmanlı betonarme panel sisteminin deprem performansı hakkında fikir elde edilebilmesi için düzenlenen deneysel çalışma kapsamında boşluksuz ve kapı boşluklu (ısı katmanlı ve ısı katmansız) olmak üzere seçilen 2 farklı tip panel için toplamda dört adet gerçek boyutlarda 1/1 ölçekli panel test edilmiştir.

**Anahtar kelimeler:** Deprem dayanımı, Isı yalıtımı, Köpük beton, Ön dökümlü betonarme sandviç duvar, Pomza.



## ABSTRACT

### INVESTIGATION OF THE EARTHQUAKE PERFORMANCE OF THE HEAT-LAYERED FRONT CASTED CONCRETE CURTAIN WALL

ERÇETİN, Mehmet Ali  
MSc. Thesis, Civil Engineering  
Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Mücip TAPAN  
January 2019, 68 pages

Although it is not expected that the precast wall system with the integrated innovative insulation material which has high thermal resistance and designed in the first stage of the project will have an effect on the lateral load carrying capacity, the damage status and the integrity of the coating material under earthquake loading was reported with tests conducted in the scope of this thesis.

Earthquake performance of proposed pre-cast concrete wall elements with high thermal insulation capacity were compared with the conventional reinforced concrete shear walls used in standard structures under the effect of in-plane, reversible repetitive horizontal static loading similar to the earthquake behavior. Within the scope of the experimental study conducted to obtain the earthquake performance of the proposed prefabricated double layer reinforced concrete shear wall system; four different full scale shear walls with and without openings were tested.

**Keywords:** Earthquake resistance, Thermal insulation, Foam concrete, Pre-cast reinforced sandwich wall, Pumice.



## ÖN SÖZ

Yüzüncü Yıl Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Ana Bilim Dalı'nda hazırlanan bu yüksek lisans tez çalışması TÜBİTAK tarafından 115M037 no'lu ve “Yüksek Isıl Direnç Yeteneği Kazandırılmış Depreme Dayanıklı Tasarlanmış Ön Dökümlü Betonarme Yapı Sistemleri” isimli araştırma projesi kapsamında gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmaya 115M037 no'lu proje kapsamında destek veren TÜBİTAK'a ve Yüzüncü Yıl Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinatörlüğünün ilgili birimlerine teşekkür ederim.

Bu tez çalışmamda ve yüksek lisans öğrenimim boyunca, hep yanımda olan ve yardımlarını esirgemeyen başta danışman hocam Doç. Dr. Mücîp TAPAN olmak üzere Yüzüncü Yıl Üniversitesi İnşaat Mühendisliği bölüm hocalarına ve Gazi Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü öğretim üyesi Prof. Dr. Özgür Anıl ve ekibine deneysel çalışmalardaki yardımları ve emeklerinden dolayı sonsuz teşekkür ederim.

2019

Mehmet Ali ERÇETİN



## İÇİNDEKİLER

	<b>Sayfa</b>
ÖZET .....	i
ABSTRACT .....	iii
ÖN SÖZ .....	v
İÇİNDEKİLER .....	vii
ÇİZELGELER LİSTESİ .....	ix
ŞEKİLLER LİSTESİ .....	xi
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	xv
1. GİRİŞ .....	1
2. KAYNAK BİLDİRİŞLERİ.....	7
2.1. Köpük Beton.....	7
2.2. Isı Katmanlı Taşıyıcı Betonarme Perde Duvarının Deprem Performansı .....	9
3. MATERYAL VE YÖNTEM .....	15
3.1. Materyal.....	15
3.1.1. Çimento.....	15
3.1.2. Köpük beton üretiminde kullanılan köpük ajanları .....	16
3.1.3. Pomza .....	19
3.1.4. Çalışmada kullanılan karma ve kür suyu.....	20
3.1.5. Kopolimer dispersiyon esaslı beton katkı maddesi .....	20
3.2. Yöntem .....	21
3.2.1. Çimento bağlayıcılı yalıtım malzemesinin tasarımı .....	21
3.2.2 Köpük ajanı kullanarak çimento bağlayıcılı yalıtım malzemesinin tasarımı.....	22
3.2.3. Çift katmanlı çimento bağlayıcılı izolasyon malzemesi ile ön üretilmiş betonarme perde duvar tasarımı .....	23
3.2.3.1. Kalıp imalatı.....	24
3.2.3.2. Donatı imalatı.....	29
3.2.3.3. Beton dökümü.....	34

	<b>Sayfa</b>
3.2.3.4. Yüksek ısı direnç yeteneği kazandırılmış çimento bağlayıcılı inorganik yalıtım malzemesi ile yalıtım sağlayan katmanın üretilmesi.....	36
3.2.3.5. Deney ve ölçüm düzeneğinin hazırlanması .....	39
4. BULGULAR VE TARTIŞMA .....	45
4.1. Çift Katmanlı Çimento Bağlayıcılı İzolasyon Malzemesi İle Üretilen Ön Üretimli Betonarme Perde Duvarlar Üzerinde Yapılan Deneylere Ait Sonuçlar .....	45
4.1.1. Deney elemanı-1 (tam dolu birdöküm betonarme perde).....	45
4.1.2. Deney elemanı-2 (kapı boşluklu birdöküm betonarme perde) .....	49
4.1.3. Deney elemanı-3 (tam dolu çift ısı katmanlı ön üretimli betonarme perde).....	53
4.1.4. Deney elemanı-4 (kapı boşluklu çift ısı katmanlı ön üretimli betonarme perde)..	57
4.2. Isı Katmanlı ve Isı Katmansız Betonarme Perde Duvar Elemanlarının Yük-Deplasman İlişkilerinin Karşılaştırılması .....	61
5. SONUÇLAR .....	63
KAYNAKLAR .....	67
ÖZ GEÇMİŞ .....	67



## ÇİZELGELER LİSTESİ

<b>Çizelge</b>	<b>Sayfa</b>
Çizelge 3.1. Kullanılan çimento malzemesinin fiziksel ve kimyasal özellikleri.....	15
Çizelge 3.2. Çalışmada kullanılan pomzanın fiziksel özellikleri .....	19
Çizelge 3.3. Çalışmalarda kullanılan pomza agregasına ait elek analizi sonuçları. ....	19
Çizelge 3.4. Kopolimer dispersiyon esaslı beton katkı maddesinin teknik özellikleri...	21
Çizelge 3.5. Deney elemanlarının özellikleri .....	23
Çizelge 3.6. Deney elemanlarının üretilmesinde kullanılan donatıların mekanik özellikleri .....	29
Çizelge 3.7. Demir metraжі .....	29
Çizelge 3.8. Toplam demir metraжі.....	30
Çizelge 3.9. Deney elamanlarına uygulanacak kat deplasmanı değerleri .....	44



## ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 2.1. Sulfak yapılarının sıvı içerisinde hava boşluklarının oluşturması .....	8
Şekil 3.1. Kullanılan çimento malzemesi görünümü.....	16
Şekil 3.2. Çalışmalarda kullanılan sentetik köpük ajanı.....	18
Şekil 3.3. Laboratuarda üretilen sentetik lateks katkılı köpük ajanı.....	18
Şekil 3.4. Çalışmada kullanılan farklı boyutlara sahip pomza agregası.....	20
Şekil 3.5. Kopolimer dispersiyon esaslı beton katkı maddesinin görselleri.....	21
Şekil 3.6. Köpük jeli ile üretilen köpüğün çimento harcı ile karışımı.....	22
Şekil 3.7. Tam dolu perde kalıp detayı.....	24
Şekil 3.8. Kapı açıklığı kalıp detayı.....	24
Şekil 3.9. Kapı açıklığı kalıp imalatı.....	25
Şekil 3.10. Temel ve perde birleşimi kalıp imalatı.....	26
Şekil 3.11. Ankrajlı tam dolu perde kalıp detayı.....	27
Şekil 3.12. Ankrajlı kapı açıklığı kalıp detayı.....	27
Şekil 3.13. Ankrajlı kapı açıklığı kalıp imalatı.....	28
Şekil 3.14. Ankrajlı tam dolu perde kalıp imalatı.....	28
Şekil 3.15. Tam dolu perde donatı detayı.....	30
Şekil 3.16. Kapı açıklığı donatı detayı.....	30
Şekil 3.17. Donatı detayı.....	31
Şekil 3.18. Donatı imalatı tamamlanmış kapı açıklığı.....	31
Şekil 3.19. Donatı imalatı tamamlanmış tam dolu perde.....	32
Şekil 3.20. Ankrajlı tam dolu perde donatı detayı.....	32

<b>Şekil</b>	<b>Sayfa</b>
Şekil 3.21. Ankrajlı kapı açıklığı donatı detayı. ....	33
Şekil 3.22. Donatı detayı. ....	33
Şekil 3.23. Kapı açıklığı beton tesviyesi. ....	34
Şekil 3.24. Ankrajlı kapı açıklığı beton tesviyesi. ....	35
Şekil 3.25. Betonarme elemanlara kür yapılması. ....	35
Şekil 3.26 Ankraj donatıları kesilmiş betonarme elemanı. ....	36
Şekil 3.27. Çimento bağlayıcı yalıtım malzemesinin kalıbı. ....	37
Şekil 3.28. Köpük jeli ve köpük jeneratörü. ....	38
Şekil 3.29. Su ve çimentonun karıştırılması. ....	38
Şekil 3.30. Köpüğün çimento harcı ile karışımı. ....	39
Şekil 3.31. Çimento bağlayıcı yalıtım malzemesinin kalıba dökümü. ....	39
Şekil 3.32. Betonarme elemanın rijit temelinden gijonlarla sabitlenmesi. ....	40
Şekil 3.33. Betonarme elemanın sağdan ve soldan gijonlarla sabitlenmesi. ....	41
Şekil 3.34. Rijit duvar, hidrolik piston, yük hücresi ve başlık plakaları. ....	41
Şekil 3.35. Hidrolik piston, yük hücresi ve başlık plakaları. ....	42
Şekil 3.36. Hidrolik piston, yük hücresi ve başlık plakaları. ....	42
Şekil 3.37. Deplasman ölçerlerin (lvdt) yerleştirilmesi. ....	43
Şekil 3.38. Deney elemanlarına uygulanan yükleme tarihçesi. ....	44
Şekil 4.1. Deney elemanı -1 yük deplasman grafiği. ....	47
Şekil 4.2. Deney elemanı -1 hasar dağılımı (1). ....	47
Şekil 4.3. Deney elemanı -1 hasar dağılımı (2). ....	48
Şekil 4.4. Deney elemanı -1 hasar dağılımı (3). ....	48
Şekil 4.5. Deney elemanı -1 hasar dağılımı (4). ....	49

<b>Şekil</b>	<b>Sayfa</b>
Şekil 4.6. Deney elemanı -2 yük deplasman grafiği.....	50
Şekil 4.7. Deney elemanı -2 hasar dağılımı (1). ....	51
Şekil 4.8. Deney elemanı -2 hasar dağılımı (2). ....	51
Şekil 4.9. Deney elemanı -2 hasar dağılımı (3). ....	52
Şekil 4.10. Deney elemanı -2 hasar dağılımı (4). ....	52
Şekil 4.11. Deney elemanı -3 yük deplasman grafiği.....	54
Şekil 4.12. Deney elemanı -3 hasar dağılımı (1). ....	55
Şekil 4.13. Deney elemanı -3 hasar dağılımı (2). ....	55
Şekil 4.14. Deney elemanı -3 hasar dağılımı (3). ....	56
Şekil 4.15. Deney elemanı -3 hasar dağılımı (4). ....	56
Şekil 4.16. Deney elemanı -4 yük deplasman grafiği.....	58
Şekil 4.17. Deney elemanı -4 hasar dağılımı (1). ....	59
Şekil 4.18. Deney elemanı -4 hasar dağılımı (2). ....	59
Şekil 4.19. Deney elemanı -4 hasar dağılımı (3). ....	60
Şekil 4.20. Deney elemanı -4 hasar dağılımı (4). ....	60
Şekil 4.21. Deney elemanlarının yük deplasman değerlerinin karşılaştırılma grafiği....	61



## SİMGELER VE KISALTMALAR

Bu çalışmada kullanılmış bazı simgeler ve kısaltmalar, açıklamaları ile birlikte aşağıda sunulmuştur.

### Simgeler

### Açıklama

<b>A</b>	Alan
<b>b</b>	Numune kalınlığı
<b>d</b>	Numune yüksekliği
<b>G<sub>kr</sub></b>	Kuru ağırlık
<b>K</b>	Kelvin sıcaklık birimi
<b>m<sub>kr</sub></b>	Kuru ağırlık
<b>P</b>	Yük
<b>V</b>	Hacim
<b>W</b>	Watt
<b>λ</b>	Isı iletim katsayısı
<b>μ</b>	Su buharı difüzyon direnci
<b>σ</b>	Basınç gerilmesi
<b>σ<sub>e</sub></b>	Eğilme gerilmesi

### Kısaltmalar

### Açıklama

<b>B.sız</b>	Başarısız
<b>EPB</b>	Genleştirilmiş perlit
<b>EPS</b>	Genleştirilmiş (expanded) polistiren
<b>PVA</b>	Polivinil alkol
<b>SEM</b>	Taramalı elektron mikroskobu
<b>TS</b>	Türkiye standardı
<b>TÜİK</b>	Türkiye İstatistik Kurumu





## 1. GİRİŞ

Enerji kelimesi, eski Yunancada devinim ve çalışma kelimelerinden oluşmuştur. Yani, bir devinim olarak gerçekleştirilmek demektir. Uluslararası düzeyde ülkelerin tüketmekte olduğu enerji, ülkelerin uygarlaşma durumlarını ortaya koyan bir kriterdir.

Gelişen teknoloji ile dünya nüfusundaki artış enerji gereksinimlerini artırmakta ve daha çok üretmek gereksinimi kaçınılmaz olmaktadır. Üretimin artırılması için ana girdilerin başında enerji gelmektedir. Aynı zamanda üretilen ürünlerin tüketimi sırasında da enerji gereklidir. Dolayısıyla, üretimden tüketime yaşamın her alanında ihtiyaç duyulan enerji kısıtlı bir kaynaktır. Enerji verimliliği ise dünya kaynaklarının sürdürülebilirliği ve korunması açısından önem arz etmektedir. Enerji üretimi ve verimliliğinin fazlaşması tıpkı enerji kaynaklarındaki dışa bağımlılığının sona erdirilmesine katkı sağlamaktadır. Enerji talebindeki artış uygun fiyatlı doğal gaz ve Petrolün sürekli erişiminde sorunlara yol açmaktadır. Enerji verimliliğinin artırılarak lüksüz enerji tüketiminin azaltılması sağlanarak kaynakların sürdürülebilirliğine katkı sağlayacaktır. Enerji tüketiminin artması, ekonomik ve üretimin büyümesine de pozitif yönde etkilemektedir.

Enerjinin önemli bir kısmı konutlarda kullanıcı konforunu sağlamak için havalandırma, ısıtma, klima ve aydınlatma amaçlı kullanılmaktadır. 2023 yılında Gayri Safi Yurtiçi Hâsıla başına harcanan enerji hacminin %20 oranında tasarruf edilmesi hükümetimizin enerji verimliliği konusunda önemli politikalarındandır. 05.12.2008 tarihli ve 27075 sayılı Resmi Gazete’de yayınlanan “Binalarda Enerji Performansı Yönetmeliği” ile birlikte yeni yapılan binaların mimari tasarımı, soğutma ve/veya ısıtma ekipmanları, yalıtımı, aydınlatması ve tesisatı yönetmelikte tanımlanan asgari performans kriterlerine uygun olarak yapılacaktır. Dahası, Çevre ve Şehircilik Bakanlığı TS 825 no’lu “Binalarda Isı Yalıtım Kuralları” ve Isı Yalıtım Yönetmeliği standardına göre bir konutun dizayn seviyesinden başlayarak enerjinin verimli kullanılması için gerekli yalıtımların yapılmasını zorunlu hale getirmektedir. Konutlarda harcanan enerjinin %80’i de ısınma amaçlıdır. Isı kayıplarının engellenmesi ile yakıt ve enerji tasarrufu sağlanır. Bu hem ülke hem de aile bütçesi için kazanç demektir. Devlet İstatistik Enstitüsü (DİE) verilerine göre Türkiye’de harcanan enerjinin %65’ine yakını

dış ülkelerden temin edilmektedir. Isınmada tüketilen yakıtlar yılda 15 milyon ton eşdeğer petroldür. Bunun parasal karşılığı ortalama 5 Milyar \$'dır. Türkiye'de gerçekleşecek bir ısı yalıtım yenilikçiliğiyle ile %50 enerji tasarrufu sağlanabilir. Bu da ülke bütçesi için yaklaşık 2-2,5 Milyar \$ kazanç demektir. Uygulamalardaki eksiklikler de göz önüne alındığında ısı kayıplarının çok daha yüksek oranlarda olduğu görülmektedir. Dolayısıyla yalıtım uygulamalarındaki eksiklikler, ısınma için her yıl daha fazla yakıt tüketimine neden olmaktadır.

Bunun yanında TÜİK (2011), girdileri 2011 yılında Türkiye'deki bina sayısının 17 milyon olduğunu göstermektedir. Bina başına düşen yalıtım malzeme sarfıyatı 0,5 metreküp olduğu varsayıldığında Türkiye'deki senelik yalıtım malzemesi pazarının 8,5 milyon metreküp olduğu öngörülmektedir. Yapısal olmayan ürünlerin pazar dağılımının gruplarına göre ise, %17'sinin XPS, %30'unun EPS, %34'ünün camyünü, %11'inin taş yünü ve %8'inin de PU olarak gerçekleştiği tahmin edilmektedir. 550 milyon TL değerindeki ısı yalıtım pazarının bu tüketim miktarının büyük bölümü ısı yalıtım elemanlarının imalatı için yurtdışından getirilen hammadde için kullanılmaktadır. Yapılan yeni kanun değişiklikleriyle Türkiye'de ısı yalıtım pazarı her geçen gün için büyümekte ve ısı yalıtım malzemelerinin üretiminde tüketilen ve dışarıdan ithal edilen petrol esaslı ürünlere bağımlılık artmaktadır.

Bütün bu bilgilerden yolla çıkarak da konutlarda kullanılan ürünlerde pahalı ithal malzeme yerine köpük beton içerisinde kapalı gözenekli iç yapısından dolayı ses ve ısı yalıtımı kazanılmış malzemeler kullanarak ülkemizde kullanılan pahalı ithal ses ve ısı yalıtım ürünlerine alternatif ucuz yerli ve milli ürünler kullanılması sağlanacaktır, bu maksatla tezin ilk ve en önemli çalışma çimento bağlayıcı inorganik yalıtım malzemesinin birim ağırlığının düşük seviyelere indirilip yüksek yalıtım özelliği kazandırılması olmuştur. Yine bu bilgiler ışığında Çimento, agrega ve suyun karışımından oluşan harca köpük ajanı ile gerçekleştirilen kapalı gözenekli köpüğün karıştırılmasıyla elde edilir. Her bir bileşenin en etkin özelliğini belirlemek amacı ile birden fazla deney ve inceleme yapıp tek bir reçete belirlenmiştir.

Petrol esaslı ürünlere bağımlılığı azaltan köpük beton ilk zamanlarda yalnızca yalıtım malzemesi olarak yararlanmış olsa da son zamanlarda yalıtım ve hafiflik özelliklerinden dolayı yapısal eleman üretiminde de uygulanmaya başlanmıştır. Köpük

betonu, köpük solüsyonunun su ve çimento ile karıştırılması ile oluşan bir betondur. Köpük beton enerji tasarrufu sağlamanın yanı sıra kapalı gözenekli (hava kabarcıkları) yapısı ile yapılarda zati (ölü) yükü azaltmayı sağlar. Köpük beton kapalı gözenekli yapısından dolayı; ısı iletim katsayısı düşüklüğü, şantiye ortamında kolay üretimi, yangına karşı dayanıklılığı, ucuz olması gibi nedenlerle son yıllarda kullanımı giderek artmaktadır.

Yerkabuğu içindeki kırılmalar nedeniyle, ani olarak ortaya çıkan titreşimlerin dalgalar halinde yayılarak, geçtikleri ortamlar ve yer kabuğunun yüzeyinde sarsıntılar yaratması olayına "deprem" denir (Diker, 2001). Başka bir deyişle deprem, yer kabuğu içinde birikmiş olan potansiyel enerjinin, fay adı verilen jeolojik kırıklar boyunca boşalması ve o bölgenin dengesini bozan ani sarsıntıların oluşmasıdır. Depremler, enerji birikiminden meydana gelir ve dalga şeklinde yayılır (Küçük, 2006).

Topraklarının tamamına yakını önemli deprem riskleri barındıran ülkemizin, nüfusunun %95'i deprem doğrultusunda tehlikeli bölgelerde yaşamakta ve başta sanayi de olmak üzere bina yoğunluğu %98'i yine deprem bölgelerinde bulunmaktadır. Özellikle son zamanlarda meydana gelen depremlerin, büyüklüklerine oranla daha fazla hasara, mal ve can kaybına sebep olmaları; deprem bölgelerinde yer alan betonarme yapıların büyük bir kısmının, depreme dayanıklı binaların sağlanması gereken yeterli dayanım, süneklik ve rijitliğe sahip olmadıklarının bir ispatıdır.

Depremler, yapıya yatay ve dinamik bir yük uygularlar. Deprem anında yapıların temellerinde ani ötelenme ve dönmeler olur. Temelin bu hareketlerine binanın üst yapısı(kolon, kiriş ve döşemeler) aynı anda ayak uyduramadığı için, buralarda önemli zorlanmalar, hatta dağılmalar meydana gelebilir. Sonuç olarak, her an değişen büyük kuvvetler, özellikle deprem yönetmeliğine uygun olarak inşa edilmemiş binalar için çok tehlikelidir (Ercömert, 2007).

Türkiye, Avrupa, Afrika ve Asya gibi üç büyük tektonik levha ile Anadolu ve Ege levhaları gibi iki küçük levha arasında yer almıştır. Türkiye'de 1988-1998 yıllarında düzenli olarak yapılan, levha hareketleri ve bunların sınırlarını oluşturan fay zonlarındaki yıllık yer değiştirme oranlarına dair önemli bilgiler vermektedir. Aşağıda bu ölçümlerin sonuçları özetlenmiştir.

- Rijit bir blok olan Merkezi Anadolu levhası, Avrupa – Asya levhasına göre izafi olarak yılda 25 mm’lik hızla batıya doğru hareket etmektedir.
- Batı Anadolu yılda 30 mm’lik hızla güney-batıya doğru hareket etmektedir.
- Arap levhası, yılda 23mm’lik hızla kuzey - doğuya ve kuzeye doğru hareket etmektedir. Kafkas sıra dağları yılda 10mm’lik hızla kısalmakta, Doğu Anadolu’da ise bu hareket, doğu - batı doğrultusunda uzanan Bitlis bindirme zonunda yılda 15mm’lik hareket ile Doğu Anadolu bölgesindeki sol-yanal atımlı faylarla karşılanmaktadır.
- Batı Anadolu çöküntü havzaları, güney - batı, kuzey-doğu doğrultusundaki açılma nedeniyle, yılda 15mm’lik hızla hareket etmektedir.
- Afrika levhası, Avrupa-Asya plakasına göre izafi olarak yılda 10mm’lik hızla kuzey - doğu doğrultusunda hareket etmektedir (JICA, 2004).

Depremler doğa, insan, ekonomi ve yaşam alanı göz önüne alındığında diğer doğal afetlere göre nispeten çok daha yıkıcı etkiler yaratmaktadır. Bu yıkıcı etkinin temel sebeplerinden biri depremin ne vakit meydana geleceği sorusuna günümüz teknolojisiyle cevap bulamamamızdan kaynaklanmaktadır. Üstelik umulmadığı bir anda çıkan afetin yıkıcı etkisi mühendislik hizmeti görmemiş binaların sayısı oranında artmaktadır. Ülkemiz fay hattı üzerinde olduğundan can ve mal kaybına uğrama olasılığı çok fazladır. Türkiye’de Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik’e göre topraklarımızın %66’sı, toplam belediyelerin %68’i (1900 adedi), nüfusumuzun %71’i 1. ve 2. derece deprem bölgeleri içinde yer almaktadır. 3. ve 4. derece deprem bölgeleri ile birlikte %92’si deprem tehlikesi altında bulunmaktadır. Bundan dolayı, depreme dayanıklı olmayan yapı stoğunun fazlalığını göz önüne alırsak, can ve mal kayıplarının ne derece ürkütücü olacağı aşikardır. Ayrıca ülkenin geleceğinin de sosyal ve ekonomik olarak büyük ölçüde etkileneceğini de hesaba katmak gerekmektedir. Bu nedenle zamanını önceden tahmin edemediğimiz bu yıkıcı doğal afete karşı, disiplin içerisinde hem yetkililer hem de halk tarafından tüm önlemlerin alınması gerekmektedir. Bu amaçla Türk Deprem Yönetmeliği-2007 depreme dayanıklı yapı tasarımı konusunda mühendislere yol göstermekte ve gerek can güvenliği gerekse yapının hemen kullanılmasını gerektiren durumlar için çözüm sunmaktadır.

Çalışma kapsamında geliştirilecek olan yalıtım malzemesi kullanılarak ön dökümlü betonarme çift duvar üretilebilmesi için gerekli detaylandırma yapılarak tamamlanan ürünün deprem performansının belirlenmesi için geliştirilen detaya uygun olarak üretilen büyük ölçekli 2 adet (kapı boşluklu ve kapı boşluksuz) ve 2 adet ısı izolasyon katmanına sahip çift katmanlı ön üretimli betonarme perde olmak üzere 4 adet gerçek boyutlarda 1/1 ölçekli deney elemanları yatay yüklemeler altında test edilerek standart yapılarda kullanılan betonarme perdeler ile performansları irdelenecektir.





## 2. KAYNAK BİLDİRİŞLERİ

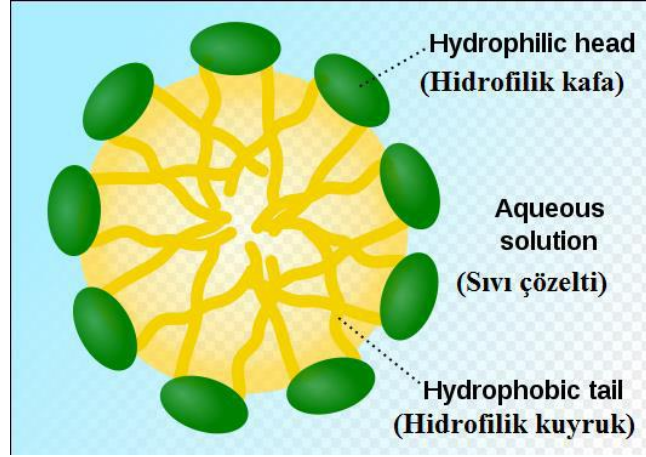
İnorganik yapıdaki çimento ve su bağlayıcılı yüksek yalıtım malzemesinin geliştirilmesine yönelik deneysel çalışmalar ile ön üretimli betonarme panel duvarlarına sabitlenmiş yüksek yalıtımlı inorganik malzemelerin yatay deprem yüklerine benzer kuvvetler etkisindeki davranışların incelendiği çalışmalar kısaca özetler verilerek elde edilen sonuçlar hakkında bilgi verilecektir. Yapılan projesinde bu çalışmaya benzer çalışmanın olmadığı görülmüştür. Diğer yatay kuvvet etkisinde ön üretimli betonarme panel duvarlar hakkında deneysel araştırmalar incelenerek konuya ışık tutulabileceği düşünüülerek kısaca bilgi verilecektir.

### 2.1. Köpük Beton

Köpük betonun ilk patenti 1923’de alınmış olmasına rağmen, ancak son yıllarda yarı taşıyıcı ya da taşıyıcı olmayan inşaat uygulamalarında yaygınlaşmaya başlamıştır (Ramamurthy ve ark., 2009).

Köpük beton, hava boşluklarının harç içine, uygun köpürme ajanıyla oluşturulan köpük solüsyonun katılmasıyla elde edilen, hafif beton olarak da adlandırılan çimento harcıdır. Yüksek akışkanlık, düşük birim ağırlık, çok az agrega kullanımı, düşük dayanım ve çok iyi ısı ve ses yalıtımı özelliklerine sahiptir. Köpük ajanı dozajı ayarlanarak 400-1600 kg/m<sup>3</sup> birim ağırlığında köpük beton üretilebilir. Köpük beton; oda bölmesi, yalıtım harcı, dolgu ve taşıyıcı duvar gibi amaçlarla kullanılır (Valore, 1954; Ramamurthy ve ark., 2009).

Sülfonatlar; surfaktan maddelerden oluşup bir sıvının yüzey gerilimini azaltan maddelerdir. Hidrofilik baş ve hidrofilik kuyruktan oluşan surfaktan molekülleri hava ile suyun birleştiği yerde yoğunlaşırlar. Suyun içindeyken bu moleküllerin hidrofobik kısımları hava kabarcığı tarafından çekilir ve hava kabarcığının etrafını sarar ve hava kabarcığını suyun içinde muhafaza eder. Suyun dışında ise bunun tersi olur. Surfaktan maddeler yüzey gerilimini azalttığı için suyun yüzeyine çıkan kabarcıklar uzun süre patlamadan kalırlar.



Şekil 2.1. Surfak yapılarının sıvı içerisinde hava boşluklarının oluşturması

Surfaktan iyonlarının hidrofilik kuyrukları, polar olmadığı için sudan uzaklaşmaya çalışırken, Şekil 2.1'de hidrofilik kafaları ise polar olduğu için suyun yüzeyine tutunurlar. Yüzey aktif madde moleküllerinin polar kafaları, su ile daha güçlü etkileşime girdiğinden su içerisinde hidrofilik dış kapak şeklinde bariyer oluştururlar. Bu şekilde sıvı içerisinde hava kabarcıkları oluşturarak sıvının köpürmesini sağlarlar (Helmenstine, 2017).

Köpük beton; gözenekli mikro yapısından dolayı mükemmel ısı yalıtımına sahiptir. 1000 kg/m<sup>3</sup> birim ağırlığındaki köpük betonun aynı birim ağırlıktaki normal betona göre ısı iletkenlik katsayısı % 5-30 arasında daha düşüktür. Kuru yoğunluğu 600–1600 kg/m<sup>3</sup> arasında olan köpük betonun ısı geçirgenliğinin 0.1 ile 0.7 W/mK arasında değiştiğini ve normal ağırlıklı betonla kıyaslandığında %5 – 30 arasında daha düşük ısı geçirgenliğine sahip olduğunu belirtmiştir (Jones ve McCarthy, 2005 a). Yapısal eleman üretiminde kullanılan hafif agregalı köpük betonun kuru yoğunluğunun 100 kg/m<sup>3</sup> azalması ile ısı geçirgenliğinin 0.004 W/mK azaldığını tespit etmiştir. (Weigler ve Karl, 1980).

Hücreli hafif köpük betonun geçmiş çalışmalarda ortaya çıkan olumlu özelliklerinden dolayı, bu tez kapsamında, kimyasal katkıları içerisinde sıralanan köpük ajanları kullanılarak, birim ağırlığı en yüksek 400 kg/m<sup>3</sup> ve en yüksek ısı iletkenlik katsayısı 35-40 mW/mK değerleri arasında olan köpük betonun geliştirilmesi amaçlanmaktadır.



## 2.2. Isı Katmanlı Taşıyıcı Betonarme Perde Duvarının Deprem Performansı

Liauw ve Lee (1977), boşluklu ve boşluksuz betonarme dolgulu ve aynı zamanda çerçeve ve dolgu arasında bağlantılı ve bağlantısız 4 katlı çelik çerçeveden oluşan çok katlı dolgulu çerçeveleri deneysel olarak araştırmış, dayanım ve rijitlikleri açısından analitik olarak incelemişlerdir. Bu çalışmada, 2 analitik metot sunulmaktadır. Bunlardan biri, bağlantısız dolgulu çerçeveler için; diğeri ise, bağlantılı dolgulu çerçeveler içindir. Analitik ve deneysel sonuçlar karşılaştırılmakta ve bağlantıların dolgulu çerçevelerin dayanım, rijitlik ve güvenilirliğini artırmadaki önemli rolü gösterilmektedir.

Liauw ve Kwan (1985), bu çalışmada boş, yarı dolgulu ve tamamen dolgulu betonarme çerçevelerin plastik analizi için bir analitik model geliştirmişlerdir. Çalışmanın ilk bölümünde, statik yükler altında yük-sehim davranışı, gerilme dağılımı ve göçme sekilerli incelenmiştir. İkinci bölümde ise, tekrarlı yükler altında tersinir tekrarlanır karakteristikler, enerji tüketme kapasiteleri ve diğeri özellikleri değerlendirilmiştir. Geliştirilen yöntem deney sonuçları ile karşılaştırılarak test edilmiştir.

Kato ve ark. (1999), toplam 6 adet deney elemanı, 4 adedinde perde ortasında yer alan pencere boşluğu ve boşluk alanı büyüklüğünün değişimi, diğeri 2 elemenda ise merkezde olan ve olmayan kapı boşluğu üzerinde araştırma yapılmıştır. Araştırmada, bir döküm olarak üretilmiş betonarme perdelerde boşluk alanı büyüklüğü ve yerinin, perde yatay deplasman kapasitesi ve dayanımı üzerindeki etkilerinin incelenmesi amaçlanmıştır. Deney sonuçlarında boşluklu perde tarafından taşınan kesme kuvvetinin sadece basınç etkisinde kalan kanat kısmı tarafından taşınmasına karşın, eğilme dayanımı ve deplasman kapasitesinin boşluksuz perdeler göre çok fazla değişim göstermediği tespit edilmiştir.

Bing ve Hui (2003), bu çalışmada düzensiz boşlukları olan ve sürekli temel üzerine mesnetli bir perde duvarda yatay yük etkisi altındaki davranışın nasıl olacağını belirlemek için yaptıkları deneysel çalışmanın sonuçlarını sunmuşlardır. Deneylerde kullanılan numuneler, bir adedi boşluksuz, 3 adedi düzensiz boşluklu, 2 adedi düzenli boşluklu olarak toplam 6 adet üretilmiştir. Düzensiz boşluklu perde duvarda kullanılan yatay ve düşey donatılar strut-and-tie modelinden bulunan gerilme yörüngeleri dikkate

alınarak hesaplanmıştır. Deney sonucunda, çatlak oluşumunun deneyden önce seçilen strut-and-tie modeliyle uyumlu olduğu görülmüştür. Deneysel sonuçlardan, perde duvarlardaki boşlukların boyut ve yerleşiminin düzensiz boşluklu bir perde üzerinde önemli bir etkiye sahip olmadığı sonucuna varılmıştır.

Türker (2003), çalışmada, çok katlı perde-çerçeve sistemler ve boşluklu perdelerin, statik yatay yükler etkisi altında elastik analizlerini yapabilmek amacıyla uygulanabilecek modelleme teknikleri sunulmuştur. Perde-çerçeve sistemlerin davranışları paralelinde yapılabilecek kabullere dayanarak serbestlik derecelerinin azaltılması yöntemlerine değinilmiş ve verilen modelleme teknikleri bilgisayar yardımıyla çözümlenerek sonuçlar karşılaştırılmıştır.

Cavaleri ve ark. (2003), hafif puzolanlı taş betonun muhtemel yapısal amaçla kullanımında bazı temel özelliklerinin belirlenmesi için deneysel bir çalışma yapmışlardır. Üç ayrı çeşit betonarme duvar panelleri, hafif puzolanlı taş beton, hafif genleştirilmiş kil ve normal ağırlıklı beton kullanılarak üretilmiş ve yatay rijitlikleri, çatlama şekilleri, son mukavemet ve plastik deformasyonları referans alınarak yatay periyodik ve sabit düşey yükler altındaki yapısal davranışları analiz edilmiştir. Yapılan bu çalışmalar hafif puzolanın duvar tipi yapısal panel elemanlarında kullanılacak beton üretiminde efektif agrega olarak kullanılabilirliğini göstermiştir. Yapılan deneysel çalışmalar ayrıca puzolanın yapay hafif agregaların alternatifini olabileceğini ve yapılan testlerde puzolanlı beton duvar panellerinin gösterdikleri yapısal davranışın bunun bir göstergesi olduğu belirtilmektedir.

Chai ve Anderson (2005), yaptıkları çalışmada esas yanal yükleri karşılamak için tasarlanan ön dökümlü beton duvar panellerinin modüler az katlı okul yapıları için kullanımını araştırmıştır. Depreme dayanıklı olarak inşa edilen geleneksel betonarme çerçevelerde yapılan karşılaştırmalar bu tip yapılarda pencere ve kapı boşluklarının artması bu yapıların deprem performansının azalmasına sebep olduğunu göstermektedir. Bu yapıların deprem performansları üzerindeki kuşku için iki adet prototip panel üzerinde tam ölçekli deneyler yapılmıştır. Tek katlı modüler sınıflarda kullanılması düşünülen 5 cm kalınlığındaki prototip paneller üzerinde yapılan testlerle, bu panellerin yüksek yatay rijitliğe ve mukavemete sahip olduğu fakat sınırlı sünek olduğu sonuçlarına varılmıştır. Bu panellerde sargı eksikliğine rağmen, yer değiştirme süneklik faktörleri,  $\mu\Delta = 2$  veya 3, için sabit histeretik davranışı elde edilmiştir. Bu yapılardaki

sınırlı süneklik kapasitesi yüksek yatay mukavemet tarafından telafi edilip bu tip yapıların tasarımında herhangi bir eksikliğin bulunmadığı sonucuna varılmaktadır. Ön dökümlü duvarlardan yapılmış az katlı modüler yapıların düşük periyot özellikleri göstermesinin de beklendiği yapılan bu çalışma neticesinde belirtilmektedir.

Iskhakov ve Ribakov (2005), tam ölçekli çok katlı ön dökümlü betonarme çerçeve binanın dinamik yükler altındaki davranışını belirlemek amacıyla deneysel ve nümerik bir çalışma yapmışlardır. Dinamik parametreler ve yapıdaki yapısal elemanların hasar durumlarının tespit edilmesi bu çalışma kapsamında yapılan deneylerin ana amacını oluşturmuştur. Deneysel çalışmalar neticesinde binanın sarsıntı yükleri altındaki davranışı nümerik olarak gerçek deprem yükleri kullanılarak hesaplanan bina davranışı ile karşılaştırılmıştır. Yapılan çalışmalar neticesinde bu yapı tipinin yer ivmesinin 0.3g'den küçük olduğu deprem bölgelerindeki deprem yönetmeliklerini karşılayabilecek kapasitede olduğu belirtilmiştir.

Benayoune ve ark. (2007), ön dökümlü betonarme kompozit sandviç panellerin eksenel yükler altındaki davranışlarını belirlemek amacıyla 10 ila 20 arasında narinlik oranına sahip tam ölçekli altı adet ön dökümlü betonarme kompozit sandviç paneli teste tabi tutmuşlardır. Elde edilen test sonuçları, eksenel yük taşıma kapasitesi, yük-deplasman profilleri, duvar kalınlığındaki gerinim değişimleri, çatlama ve yıkılma şekilleri bakımından analiz edilerek narinlik oranının son yük taşıma kapasitesi üzerindeki etkileri de tartışılmıştır. Bu paneller yük altında kırılana kadar tam kompozit bir davranış sergilemiş fakat küçük ölçekli bir gerinim süreksizliği gözlemlenmiştir. Sonlu elemanlar yöntemi kullanılarak yapılan nümerik analizler deneysel çalışmaların sonuçları ile karşılaştırılmış ve sonuçta ön dökümlü betonarme kompozit sandviç panellerin tasarımı için yeni bir yarı ampirik formül önerilmiştir.

Rezaifar ve ark. (2008), tek katlı üç boyutlu prefabrik beton sandviç panelden yapılmış bir yapının dinamik davranışını belirlemek amacıyla sarsma tablası üzerinde tam ölçekli bir test (değişik yer hareketleri kullanılarak) gerçekleştirmiştir. Çalışmanın amacı, bu sistemin dinamik yükler altındaki deprem performansını, lineer ve lineer olmayan yapı karakteristikleri, şekil değiştirebilme, rijitlik bozulması ve yıkım mekanizmalarını, belirlemek olarak açıklanmıştır. Yapılan nümerik analizlerle elde edilen, yapının temel frekansları, salınım modları deneysel çalışmalardan elde edilenlerle karşılaştırılmıştır. Yapılan deneyler üç boyutlu ön dökümlü (prefabrik) beton

sandviç panellerden oluşturulmuş yapının yüksek deprem hareketlerine karşı çok yüksek deprem performansı sergilediğini göstermiştir. Fakat yapının yüksek rijitliğe sahip olması bu tip yapıların yüksek frekanslı yer hareketlerine karşı zayıf olduğunu göstermiştir. Dolayısıyla, bu tip yapıların yüksek frekanslı deprem riskine sahip bölgelerde özel tasarımlar kullanılarak tasarlanması önerilmiştir.

Hou ve ark. (2009), dört adet tam ölçekli enerji tasarruflu kompozit sandviç duvar panellerinin tersinir yükler altındaki davranışlarını belirlemek için deneysel bir çalışma yapmışlardır. Bu ön dökümlü beton sandviç duvar panellerinin yükleme altındaki yıkım süreci ve modlar, son yük taşıma kapasitesi, yük-deplasman eğrileri ve beton yük-gerinim eğrileri gözlemlenerek karşılaştırmalı olarak analiz edilmiştir. Test sonuçları; yıkım şekillerinin, eğilme rijitliklerinin, son taşıma mukavemetlerinin panellerin boyutlarıyla, panellerdeki açıklıklarla ve panelde kullanılan donatı oranıyla doğrudan ilgili olduğunu göstermiştir. Teste tabi tutulan panellerin yıkım şekli ve modlarının kullanılan donatı oranıyla yakından ilişkili olduğu sonucuna varılmış ve panel ölçülerinin, panellerdeki açıklıkların artırılması ile çatlama yükü ve son taşıma yük kapasitesinin düştüğü belirlenmiştir.

Quandon ve ark. (2015), çalışmalarında 3 adet 1/1 ölçekli çift katmanlı betonarme perde duvarını, deprem yüklerine benzeşim gösteren yatay tersinir tekrarlanır yükler etkisinde test etmiş ve bir döküm monolitik perde duvarlar ile performanslarını karşılaştırmışlardır. Yürütülen deneysel çalışmada bir adet bir döküm monolitik betonarme perde, iki adet ise çift katmanlı ön üretimli betonarme perde duvar sistemi test edilerek sonuçlar karşılaştırılmıştır. Yapılan çalışma sonucunda çift katmanlı ön üretimli betonarme perde duvar sistemlerin monolitik betonarme perde duvar ile benzer deprem performansı sergilediği, enerji tüketim kapasitesi, rijitlik ve deplasman süneklilik oranlarının birbirlerine yakın davranış gösterdiği görülmüştür.

Wibowo (2017), çalışmasında yalıtım malzemesi olarak EPS kullanılan ve aynı zamanda bu yalıtım katmanı ön üretimli betonarme perdenin dökülmesinde kalıp görevi gören yalıtım katmanlı 3 adet ön üretimli betonarme perde duvar deney elemanı test etmiş ve deprem performansı ile ilgili olarak yorumlar yapmıştır. Çalışma kapsamında betonarme perde duvar yükseklik/en oranı değişken olarak ele alınmıştır. Deneysel çalışma sonucunda EPS yalıtım katmanlı ön üretimli betonarme perde duvarların deprem performansı ile ilgili olarak önemli bulgulara ulaşılmıştır.

Gombeda ve ark. (2017), çalışmalarında iki yalıtım levhası arasında yer alan ve kalıp olarak bu levhalardan faydalanılarak dökülen ön üretimli betonarme perde duvar sistemlerinin panele dik olarak etkiyen düzlem dışı yüklemeler etkisi altındaki davranışının analitik olarak hesaplanabilmesi için matematiksel bir model önermişlerdir. Önerilen analitik model kullanılarak düzlem dışı yüklemeler etkisinde ısı yalıtım katmanlı ön üretimli betonarme perde duvarların yük-deplasman davranışı ile ilgili olarak tahminde bulunmaktadır. Önerilen analitik model literatürde yer alan bazı deney sonuçları ile karşılaştırılarak ne ölçüde başarılı sonuçlar verdiği ile ilgili doğrulama çalışmaları yapılmış ve oldukça başarılı sonuçlar verdiği görülmüştür.





### 3. MATERYAL VE YÖNTEM

#### 3.1. Materyal

Bu tez kapsamında yapılan çalışmalarda kullanılan tüm malzemelerin kimyasal ve fiziksel özellikleri ayrı başlıklar altında aşağıda verilmektedir.

##### 3.1.1. Çimento

Su ile karıştırıldığında hidrasyon reaksiyonları ve prosesler nedeniyle priz alıp sertleşen bir hamur oluşturan, sertleşme sonrası suyun altında bile dayanımını ve kararlılığını koruyan, inorganik ve ince öğütülmüş hidrolik bağlayıcıdır.

Tüm numuneler kimyasal ve fiziksel özellikleri verilen iki farklı tip çimento kullanılarak Çizelge 3.1'de verildi. Çimento dayanımının köpük beton özellikleri üzerindeki etkilerin araştırılabilmesi için farklı çimento tipleri kullanılmıştır.

Çizelge 3.1. Kullanılan çimento malzemesinin fiziksel ve kimyasal özellikleri.

Kimyasal Özellikler	CEM-I 42,5 R	CEM-I 52,5 R Beyaz
CaO	63.40	65.70
SiO <sub>2</sub>	20.07	21.60
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	5.46	4.05
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	3.03	0,26
MgO	1.53	1.30
SO <sub>3</sub>	3.32	3.30
K <sub>2</sub> O	0.74	0.35
Na <sub>2</sub> O	0.33	0.32
TiO <sub>2</sub>	0.33	0.33
Kızdırma Kaybı	1.79	2.79
SiO <sub>2</sub> +Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> +Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	21.79	25.91
Fiziksel Özellikler		
Yoğunluğu (g/cm <sup>3</sup> )	3.06	3.06
Blaine İnceliği (cm <sup>2</sup> /g)	4200	4600
Hacim genleşmesi(mm)	1.00	1.00
90 µm elek üstü (%)	5. 72	5. 18
45 µm elek üstü (%)	24.52	22.22



Şekil 3.1. Kullanılan çimento malzemesi görünümü.

### 3.1.2. Köpük beton üretiminde kullanılan köpük ajanları

Köpük ajanı köpük oluşum sürecini başlatan bir kimyasaldır. Köpüğün her bir kabarcığına dayanım kazandıran böylelikle de belli bir süre kaybolmamasını sağlayan bu kimyasallar yaygın olarak protein esaslı ve sentetik olmak üzere iki farklı kategoriye ayrılmaktadır. Protein esaslı köpük ajanı genellikle düşük kuru birim hacim ağırlığına sahip köpük betonların üretiminde yaygın olarak kullanılırken sentetik köpük ajanları daha fazla yoğunluklara sahip köpük beton üretiminde tercih edilmektedir. Köpük ajanı ile su karıştırılarak elde edilen kimyasal suyun hava yardımıyla elde edilmesi işlemi için harcanan enerji köpüğün özellikleri üzerinde etkili olmaktadır. Sentetik köpük için gerekli olan enerji protein esaslı köpük için gerekli olandan azdır. Bu çalışma kapsamında, polimerik köpük de temin edilerek köpük beton üzerindeki etkileri araştırılmıştır. Ayrıca, laboratuvar çalışmaları kapsamında tarafımızdan sentetik lateks katkılı köpük ajanı da üretilmiş ve çalışmalarda kullanılarak köpük beton üzerindeki etkileri de araştırılmıştır. Aşağıda, bu tez kapsamındaki çalışmalarda kullanılan köpük ajanlarının temel özellikleri verilmektedir.

- Protein Esaslı Köpük Ajanı: Protein esaslı köpük ajanları çok uzun zamandır kullanılagelen en temel köpük ajanıdır. Hayvan veya bitkilerden elde edilen protein malzemesinden hidroliz sonrası elde edilmektedir. Protein esaslı köpük ajanlarından elde edilen köpük herhangi bir reaksiyona girmemektedir. Sadece içinde hava saklanmış kabarcıkların oluşumunu sağlamaktadır. Stabil hava kabarcıklarının oluşumu moleküler gruplar arasındaki hidrojen bağlarının oluşumu ile sağlanmaktadır. Tez kapsamında kullanılan protein esaslı köpük ajanı



üretiminde ham malzeme olarak  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  ve  $\text{NaHSO}_3$  kullanılmıştır. Üreticiden alınan bilgilere göre de köpük ajanının stabilizesinin artırılması için farklı özelliklerdeki sürfaktanlar ve jeller kullanılmıştır.

- Sentetik Köpük Ajanı: Sentetik köpük ajanları sıvı üzerindeki yüzey çekme gerilmelerini önlemekte ve köpük kabarcıklarının daha fazla genişmesine olanak tanıyarak daha düşük birim hacim ağırlığına sahip beton üretimine olanak sağlamaktadır.
- Polimer Esaslı Köpük Ajanı: Malzeme mühendisleri tarafından polimer esaslı köpük uygulamalarında en çok tercih edilen polimer tipleri poliüretan (PU), polistiren (PS), polietilen (PE), polipropilen (PP), polivinil klorür (PVC) ve polikarbonat (PC)' dir. Son yıllarda ise polietilen ve polistiren polimerlerine göre polipropilen köpük malzemesinin kullanımı artmaktadır. Tez kapsamında ekonomik beton üretimi hedefi ile köpük beton üreticileri tarafından kullanılmaya başlanan polimer esaslı köpük ajanları temin edilerek kullanılmıştır. Bu köpük ajanlarında polimer olarak bir monomerin polimerizasyonu sonucu yüzey aktif maddelerinin emülsiyonu ile elde edilen sentetik lateks kullanılmaktadır.
- Laboratuarda geliştirilen Lateks Katkılı Köpük Ajanı: Laboratuarda tez kapsamında bir monomerin polimerizasyonu sonucu yüzey aktif maddelerinin emülsiyonu ile elde edilen sentetik lateks farklı miktarlarda köpük ile karıştırılarak köpük ajanı elde edilmiştir.

Farklı köpük ajanları kullanılarak elde edilen betonların mikro yapısal özelliklerinin belirlenmesine ait çalışmalar devam etmektedir. Aşağıda elde edilen betonların gözlemsel ve bazı mekanik özelliklerinin tayinine ait çalışmalara ve sonuçlarına yer verilmektedir. Çalışmalarda kullanılan farklı köpük ajanları Şekil 3.2 - Şekil 3.4'te verilmiştir.



Şekil 3.2. Çalışmalarda kullanılan sentetik köpük ajanı.



Şekil 3.3. Laboratuarda üretilen sentetik lateks katkıli köpük ajanı.



Şekil 3.4. Farklı köpük ajanları kullanılarak elde edilen köpük ve köpük betonlar.

### 3.1.3. Pomza

Çalışmada kullanılan pomza agregası, Bitlis İli Tatvan İlçesi Adabağ Civarından temin edilmiştir. Tez kapsamında kullanılan pomza agregasının özellikleri Çizelge 3.2'de verilmiştir. Çalışmalarda kullanılan pomza agregasının tane boyutları Çizelge 3.3'te ve Şekil 3.4'te gösterilmektedir.

Çizelge 3.2. Çalışmada kullanılan pomzanın fiziksel özellikleri.

Malzeme Yapısı	Fiziksel Özellik
Renk	Açık griden, kirli beyaza
Kristal Suyu	Yok
K.B Hacim Ağırlığı (gr/cm <sup>3</sup> )	0,32 – 0,97
Gerçek Özgül Ağırlığı (gr/cm <sup>3</sup> )	2,15 – 2,65
Porozite (%)	45 – 90
Rötre ( mm/m)	< 1
Isı İletkenlik Katsayısı (W/mK)	0,08 – 0,20
Ses Yalıtımı (dB)	40 – 55
Su Emme (Ağırlıkça %)	30 – 70
Buhar Difüzyon Katsayısı	5 – 10

Çizelge 3.3. Çalışmalarda kullanılan pomza agregasına ait elek analizi sonuçları.

Elek Aralığı	Toplam Malzemede ki Ağırlığı (gr)	Karışım İçine Katılan Pomzanın Hacimsel Yüzdesi (%)	Yoğunluğu
>2.80	196	14.49	0,5
2.80 - 2.00	171	12.64	0,5
2.00 - 1.00	334	24.70	0,5
1.00 - 0.6	183	13.53	0,5
<0.60	468	34.61	0,5



Şekil 3.4. Çalışmada kullanılan farklı boyutlara sahip pomza agregası.

#### 3.1.4. Çalışmada kullanılan karma ve kür suyu

Beton karışım suyunun temel olarak iki önemli görevi vardır. Bunlardan biri islenebilirliği sağlamak, diğeri ise çimento ile reaksiyona girerek agrega taneleri arasında bağlayıcılığı sağlamaktır. Genellikle içilebilir kalitedeki tüm suların beton karışım suyu olarak kullanılabilmesi birçok kaynaktan belirtilmiştir.

Tez kapsamında geliştirilen hafif betonların üretimi için Van şebeke suyu kullanılmıştır.

#### 3.1.5. Kopolimer dispersiyon esaslı beton katkı maddesi

Betonun basınç dayanımı yoğunluğu ile doğru orantılıdır. Bu bakımdan tez kapsamında üretilen ultra hafif betonların dayanımını arttırmak amacıyla kopolimer dispersiyon esaslı beton katkı maddesi kullanılmıştır. Kopolimer dispersiyon esaslı beton katkı maddesi betonun dayanımını artırdığı gibi tozmayı düşürmekte, geçirimsizliği ve aderansı artırmaktadır. Kopolimer dispersiyon esaslı beton katkı maddesi her ne kadar pozitif etkileri olsa da anti köpük özelliğinden dolayı beton içerisindeki hava boşluklarını yok ettiği ve betonun kuru birim ağırlığını artırdığı yaptığımız deneyler sonucunda görülmüştür. Deneylerde kullanılan kopolimer dispersiyon esaslı beton katkı maddesinin teknik özellikleri Çizelge 3.4'te ve görselleri de Şekil 3.5'te verilmektedir.

Çizelge 3.4. Kopolimer dispersiyon esaslı beton katkı maddesinin teknik özellikleri.

Malzemenin yapısı	Modifiye Polimer Dispersiyon
Renk	Beyaz
Yoğunluk	1.1 kg/m <sup>3</sup>
pH	8.5
Uygulama sıcaklığı	+5C- +35C



Şekil 3.5. Kopolimer dispersiyon esaslı beton katkı maddesinin görselleri.

## 3.2. Yöntem

### 3.2.1. Çimento bağlayıcılı yalıtım malzemesinin tasarımı

Bu çalışmada ilk olarak çeşitli kimyasal katkılı köpük ajanları kullanılarak geliştirilmesi planlanan köpük beton (hücreli hafif beton) üretimine özellikle önem verilmiştir. Köpük betonun üretiminde öncelikle çimento, su, köpük ajanı ve pomza agregası kullanılıp, nihai ürünün ısı işlemsiz olarak üretilmesi hedeflenmiştir. Bu şekilde geliştirilen köpük betonunun reolojik parametreleri (eşik gerilmesi ve plastik viskozitesi) istenen seviyelere getirilip taze halde yüksek akıcılığa sahip karışımlar geliştirilmiştir. Birim ağırlık olarak hedeflenen en yüksek değer 400 kg/m<sup>3</sup> olup elde edilmesi planlanan en yüksek ısı iletkenlik katsayısı 35-40 mW/mK değerleri arasında olacaktır. Farklı yöntemler ve malzeme oranları kullanılarak hazırlanan tüm karışımlar 10x10x10cm'lik basınç testi kalıplarına, 40x10x10cm'lik eğilme test kalıplarına ve ısı

iletim katsayısını belirlemek için 30x30x5cm'lik kalıplara dökülerek ilgili testlere tabi tutulmuştur.

### 3.2.2 Köpük ajanı kullanarak çimento bağlayıcılı yalıtım malzemesinin tasarımı

Kimyasal katkıları içerisinde sıralanan köpük ajanları kullanılarak geliştirilmesi planlanan köpük beton (hücreli hafif beton) üretiminde öncelikle çimento, su, köpük ajanı ve pomza agregası kullanarak, ısıtılmamış nihai ürünün elde edilmesi hedeflenmiştir. Hava boşluklarının hacmi, boyutu ve hava-boşluk mesafesinin köpük betonların basınç dayanımı ve yoğunluğu üzerinde etkileri birçok araştırmacı tarafından çalışılmıştır. Bu çalışmalarda; hava boşluğu boyutu daraldıkça daha yüksek basınç dayanımlarının elde edildiği ve hava boşluğunun genişlemesinin ise basınç dayanımını azalttığı sonuçlarına ulaşılmıştır. Boşluk parametreleri ve boşluk mikro yapısı ile beton bileşimi köpük betonun özelliklerini ve pratikte kullanımını direkt olarak etkilemektedir. Önceden yapılmış köpük ile üretilen köpük betonlarda boşluk oranı ve malzemenin boşluklara bağlı parametreleri genellikle köpüğün stabilizesine, boşluk oranına ve su-çimento oranına bağlıdır. Farklı türde sürfaktanlar (sentetik, protein esaslı ve polimer esaslı) kullanılarak tez kapsamında alınan köpük jeneratörü ile köpük elde edilerek köpük beton üretimi yine tez kapsamında alımı gerçekleştirilen köpük pompası yardımıyla köpüğün karışıma ilave edilerek yuvarlak tip mikserde karıştırılması ile elde edilmiştir.



Şekil 3.6. Köpük jeli ile üretilen köpüğün çimento harcı ile karışımı.

### 3.2.3. Çift katmanlı çimento bağlayıcılı izolasyon malzemesi ile ön üretimli betonarme perde duvar tasarımı

Projenin ilk aşamasında elde edilen en iyi özelliklere sahip çimento bağlayıcılı izolasyon malzemesi kullanılarak çift katmanlı ön üretimli betonarme perde duvarlar üretilerek proje kapsamında alınan hizmet alımı desteği ile Gazi Üniversitesi Teknoloji Fakültesi Yapı Mekaniği Laboratuvarında deprem performansının belirlenmesi amacıyla testler yapılmıştır. Yapılan bu testlerde kullanılan yöntemler ve deneysel çalışma kapsamında üretilen deney elemanlarının üretim aşamaları ve yürütülen çalışmalar aşağıda detaylı olarak açıklanmaktadır.

Deneysel çalışma kapsamında 2 adet monolitik bir döküm betonarme perde duvar, 2 adet çift ısı yalıtım katmanlı ön üretimli betonarme perde duvar olmak üzere, toplamda 4 adet deney elemanı üretilerek test edilmiştir. Deney elemanları betonarme perde-çerçevesiz taşıyıcı sisteme sahip betonarme yapının en alt perde duvarını modelleyecek şekilde 1/1 ölçekte üretilmiştir. Betonarme perde duvar deney elemanlarının yükseklik/en oranları (2500/1800) 1.39 olacak şekilde tasarlanmıştır. Betonarme perde duvarların yükseklik/en oranları 1.0 değerinden büyük olması nedeniyle eğilmenin baskın olduğu bir davranışın meydana gelmesi beklenmektedir. Deneysel çalışma kapsamında yer alan deney elemanları Çizelge 3.5'te verilmiştir.

Çizelge 3.5. Deney elemanlarının özellikleri.

Deney Elemanı No	Tanımlama	Açıklama
1	Bir döküm monolitik	Tam dolu
2	perde duvar	Kapı boşluklu
3	Çift katmanlı yalıtımlı ön	Tam dolu
4	üretimli betonarme perde duvar	Kapı boşluklu





### 3.2.3.1. Kalıp imalatı

Yapılan deneysel çalışmada 4 adet numune imal edilmiştir. Bu numuneler boşluksuz tam dolu perde duvar ve kapı boşluklu betonarme perde duvarlardır. Her iki deney elemanı içinde ayrı ayrı kalıp imal edilmiştir. Deneysel programda yer alan deney elemanlarının üretimi iki aşamada ikişer ikişer dökülerek yapılmış olup, ilk imalatta referans alınacak olan bir döküm monolitik perde duvar numunelerinin kalıpları hazırlanmıştır. İkinci seri numunelerde ise aynı kalıplar kullanılmış olup, ön üretimli betonarme perde duvarların dökümleri gerçekleştirilmiş ve daha sonra ısı yalıtım katmanının imalatı içinde aynı kalıp sistemi üzerinde modifikasyonlar yapılarak aynı kalıplardan yararlanılmıştır.

Beton dökümlerinde işçilik hatalarını minimize etmek için betonarme elemanlar yatay olarak imal edilmiştir. Beton dökümünün yatay olarak yapılabilmesi için ilk olarak laboratuvar döşemesine 5/10 ahşap direkleri uzatılıp üzerine vidalarla plywood montajı yapılmıştır. Böylece plywoodlar birleşim noktalarında açıklık kalmayacak, hem elemanların betonu döküldüğü zaman suyunu kaybetmeyecek hem de pürüzsüz bir beton yüzeyi elde edilecektir. Alt kalıbın tamamlanmasından sonra yan kalıpların montajı ve köşelerden ahşaplar ile desteklenmesiyle kalıp imalatı donatı imalatı için hazır hale getirilmiştir.

Deney elemanlarının kalıp imalatı aşamasından alınan fotoğraflardan seçilen örnekleri Şekil 3.9 ve Şekil 3.10'da sunulmuştur.

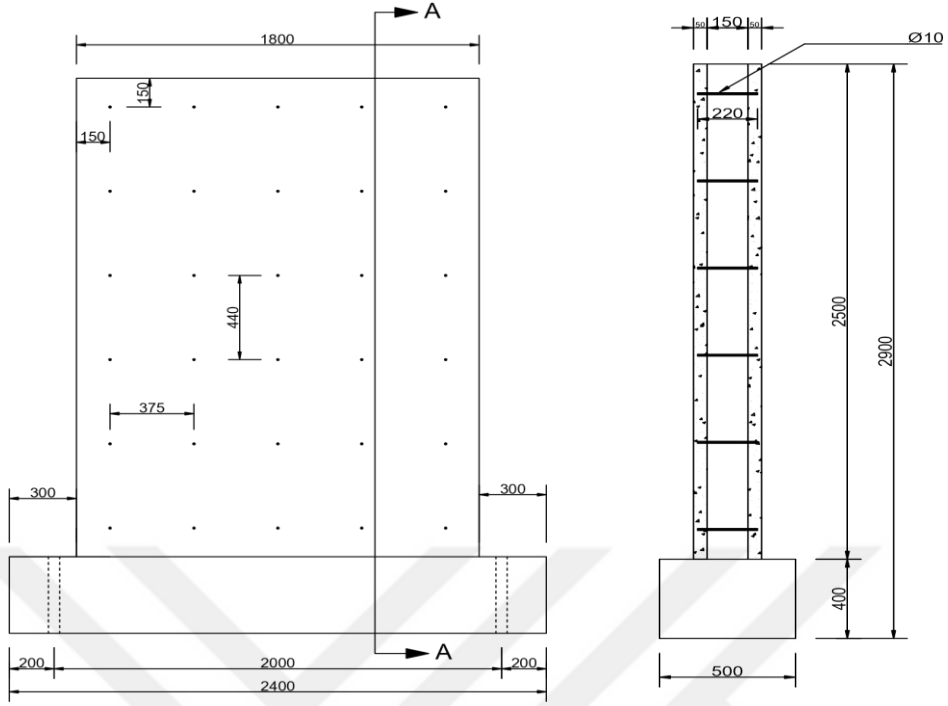


Şekil 3.9. Kapı açıklığı kalıp imalatı.

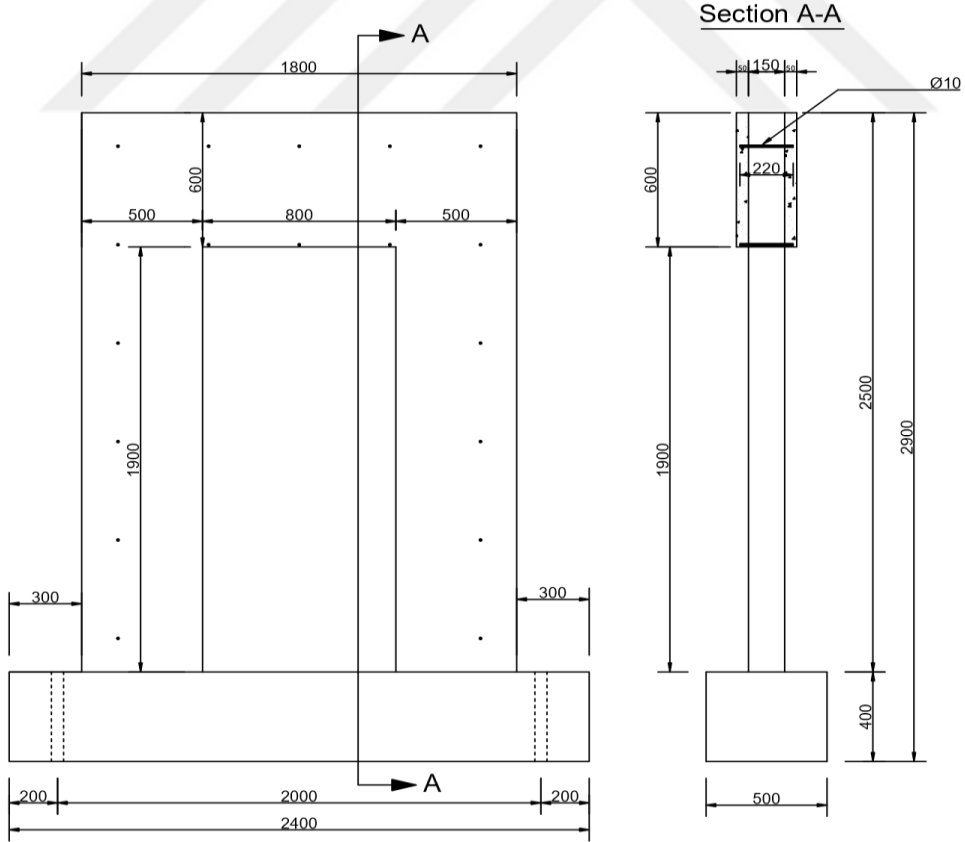


Şekil 3.10. Temel ve perde birleşimi kalıp imalatı.

İkinci sefer beton dökümünde ise yalıtım sağlayan katmanın kullanıldığı deney elemanları üretilmiştir. İkinci seri çift ısı katmanlı ön üretimli betonarme perde duvar deney elemanlarının dökümünde ilk serinin üretilmesinde kullanılan kalıplar kullanılmıştır. Ek olarak ısı katmanı ile ön üretimli betonarme perde duvar arasındaki bağlantı amacıyla yerleştirilecek olan ankraj çubukları için kalıplara düşeyde 440 mm, yatayda ise 375 mm aralıklarla matkap yardımıyla  $\phi 10$ 'luk ankraj donatılarının yerleştirilmesi için delikler açılmıştır. Ankraj deliklerinin açılması ile kalıp imalatı donatı imalatına hazır hale gelmiştir. Çift ısı katmanlı ön üretimli betonarme perde duvar geometrik boyutları ve ısı katmanının perde duvar ile bağlantısı için yerleştirilen ankraj detayı Şekil 3.11 ve 3.12'de verilmiştir. Ayrıca ısı katmanlı tam dolu ve kapı boşluklu ön üretimli betonarme perde duvar deney elemanlarının beton dökümleri esnasında alınan fotoğraflardan seçilen örnekler Şekil 3.13 ve Şekil 3.14'te verilmiştir.



Şekil 3.11. Ankranlı tam dolu perde kalıp detayı.



Şekil 3.12. Ankranlı Kapı Açıklığı Kalıp Detayı.



Şekil 3.13. Ankrajlı kapı açıklığı kalıp imalatı.



Şekil 3.14. Ankrajlı tam dolu perde kalıp imalatı.

### 3.2.3.2. Donatı imalatı

Deney elemanlarının donatı imalatı laboratuvar ortamında tüm dört deney elemanı için tek seferde temin edilen özdeş özellikteki inşaat demiri kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Deney elemanlarının imalatında STIII sınıfı nervürlü donatı kullanılmış olup, donatıdan alınan örnekler üzerinde yapılan aksenal çekme testi sonucunda donatıların dayanımları tespit edilmiş Çizelge 3.6'da verilmiştir.

Çizelge 3.6. Deney elemanlarının üretilmesinde kullanılan donatıların mekanik özellikleri.

Donatı Çapı (mm)	Akma Dayanımı $f_{sy}$ (MPa)	Kopma Dayanımı $f_{su}$ (MPa)	Elastik Modül E (GPa)
10	475	518	209
20	495	576	210

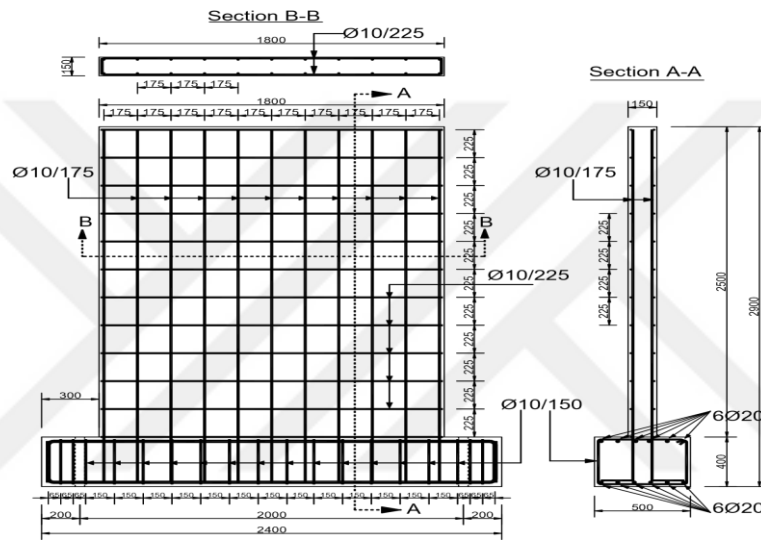
Deney elemanlarında betonarme perde yatay, düşey donatıları ve temel kesme donatısı olarak  $\phi 10$  mm çapında nervürlü inşaat demiri, temel boyuna donatısı olarak ise  $\phi 20$  mm çapında yine nervürlü inşaat demiri kullanılmıştır. İlk seride yer alan bir döküm betonarme perde deney elemanlarının donatı detayları Şekil 3.15 - Şekil 3.17'de verilmiştir. Ayrıca ilk seride yer alan bir döküm betonarme perde duvar deney elemanlarının üretilmesinde kullanılan donatı türleri Şekil 3.17'de ve donatı metrajı ise Çizelge 3.7 - Çizelge 3.8'de verilmiştir.

Çizelge 3.7. Demir metrajı.

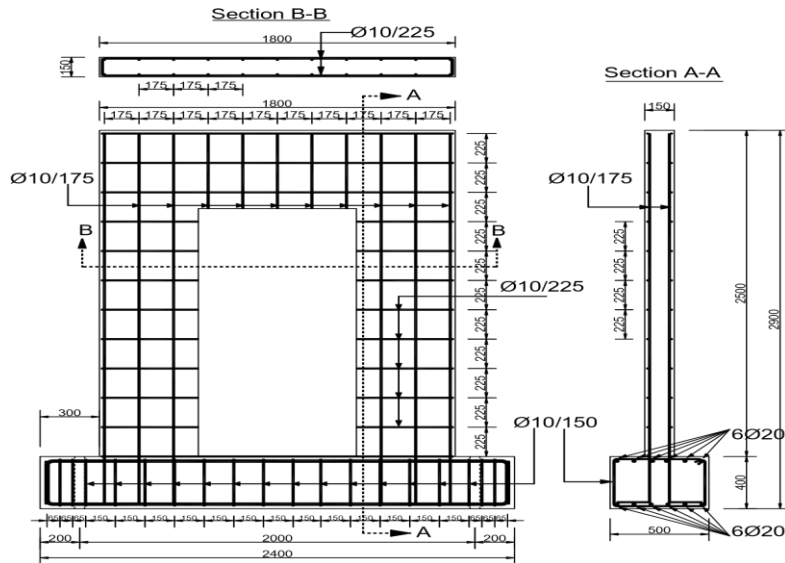
Sıra No	Kullanım Yeri	Çap (mm)	L (mm)	Bir Deney Elemanı	Toplam Adet	Kaç Boy Donat Alınacağı
1	Temel Boyuna Donatısı	20	2990	12	6x12=72	18
2	Perde Yatay Donatısı	10	2015	24	6x24=144	24
3	Perde Düşey Donatısı	10	2990	22	6x22=132	33
4	Temel Etriye	10	1650	18	6x18=108	16

Çizelge 3.8. Toplam demir metrajı.

Sıra No	Çap (mm)	Toplam (Adet)	Tam Boy Adet Demir Ağırlık (kg)	Toplam Ağırlık (kg)
1	20	18	29.592	532.656
2	10	73	7.404	540.492
<b>TOPLAM</b>				<b>1073.148</b>

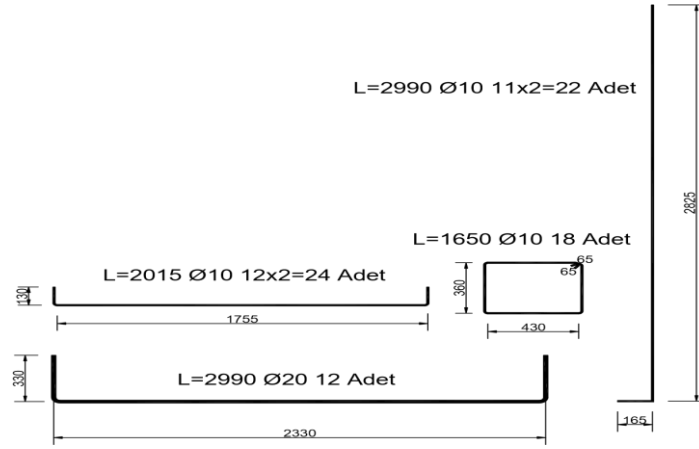


Şekil 3.15. Tam dolu perde donatı detayı.



Şekil 3.16. Kapı açıklığı donatı detayı.





Şekil 3.17. Donatı detayı.

Donatı imalatı için temel donatısı sehpanın üzerinde tamamlandıktan sonra temel kalıbının içine yerleştirilmiştir. Perdenin de donatısının imalatı yapıldıktan sonra perde ile temelin bağlantısı yapılmıştır. Gerekli pas payları bırakıldıktan sonra ve deney esnasında temeli gijonlarla rijit laboratuvar döşemesine sabitlemek için temelin iki tarafına da boşluk bırakmak amacıyla pimajlar yerleştirilerek deney elemanları beton dökümüne hazır hale getirilmiştir. Deney elemanlarının donatı imalatı aşamasında alınan fotoğraflardan seçilen örnekler Şekil 3.18 – Şekil 3.19'da sunulmuştur.

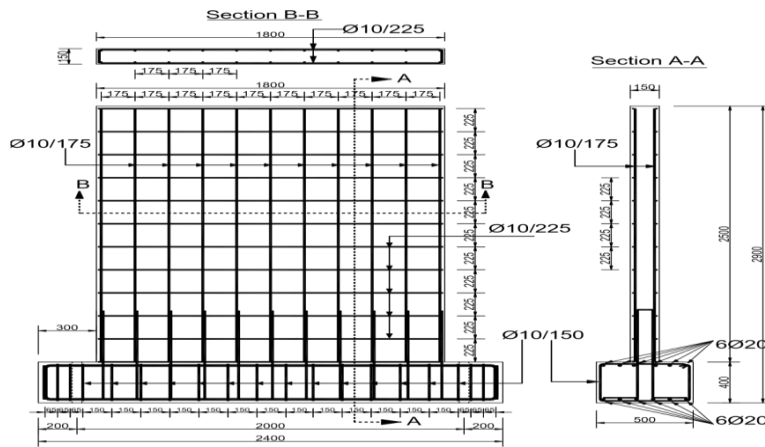


Şekil 3.18. Donatı imalatı tamamlanmış kapı açıklığı.



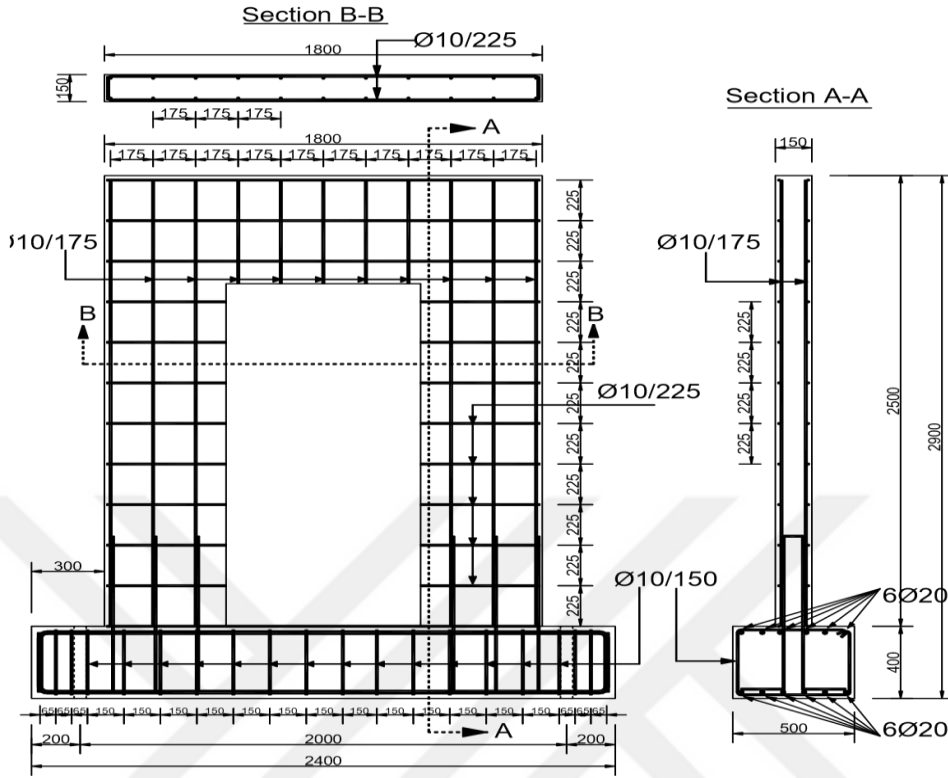
Şekil 3.19. Donatı imalatı tamamlanmış tam dolu perde.

İkinci aşamada üretilen çift katmanlı ön üretimli betonarme perde duvar donatı imalatında farklı olarak ön üretimli bir perde duvar üretildiği için temel kirişi ile perde duvar düşey donatıları sürekli olarak üretilmemiştir. Perdedeki  $\phi 10$ 'luk donatı temelin içine kadar devam etmesi yerine, aradaki bağlantı yine aynı çapta üretilen  $\phi 10$ 'luk donatı ile imal edilen “u” şekilli temel filiz donatıları ile yapılmıştır. Bir diğer farklılık ise yalıtım sağlayan katmanın ön üretimli betonarme perde duvar ile bağlantısı ve yük aktarımını sağlayacak ankraj donatılarının olmasıdır. Ön üretimli çift katmanlı betonarme perde duvarların donatı detayları Şekil 3.20 – Şekil 3.22'de verilmiştir

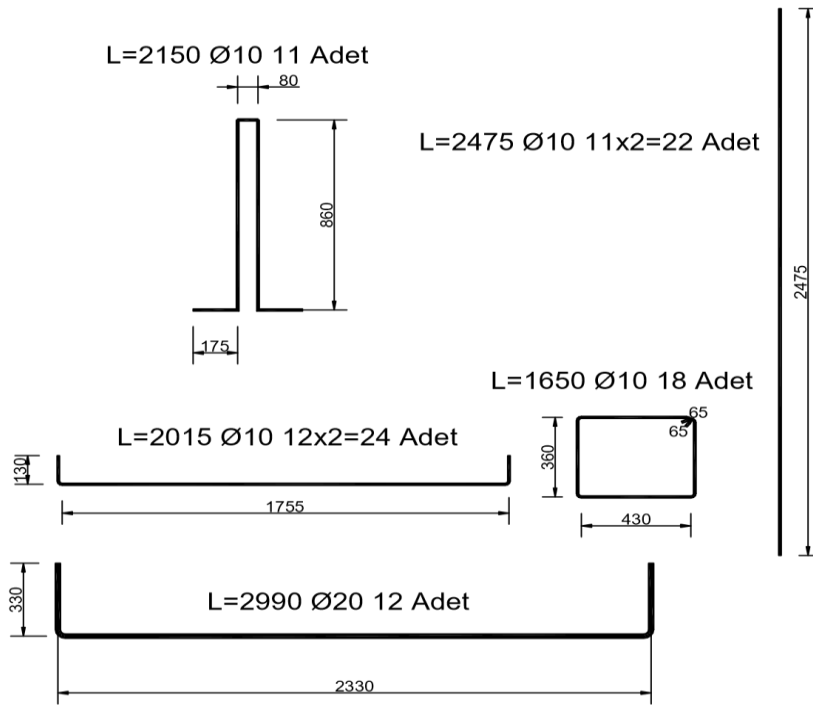


Şekil 3.20. Ankrajlı tam dolu perde donatı detayı.





Şekil 3.21. Ankrajlı kapı açıklığı donatı detayı.



Şekil 3.22. Donatı detayı.

### 3.2.3.3. Beton dökümü

Beton dökümü iki aşamalı gerçekleştirilmiştir. İlk dökülen elemanlar referans olan monolitik betonarme perde duvar deney elemanları, ikinci seferde ise yalıtım katmanlı ön üretimli betonarme perde duvar deney elemanlarıdır. Her iki seri deney elemanlarının dökümünde de C25/30 dayanımı beton sınıfı kullanılmıştır. Beton santralinden temin edilen beton her seri deney elemanının dökülmesi için yaklaşık 4.00 m<sup>3</sup> ve toplamda 8.00 m<sup>3</sup> değerine ulaşmıştır.

Beton kalıba yerleştirildikten sonra betonun kalıba iyi yerleşmesi, donatı etrafında boşluk kalmaması ve içinde kalan havanın dışarı çıkması için vibratör ile titreşim verilerek beton dökümü gerçekleştirilmiştir. Dökülen beton yüzeyi tesviye edilerek beton dökümü tamamlanmıştır. Beton dökümü tamamlanan deney elemanları yüzey suyunu kaybederek rötre çatlaklarının oluşmaması için nemli telisler ve naylon örtüler ile kaplanarak kür ortamı oluşturulmuştur.

Her bir dökümü yapılan deney elemanından 4 adet 150 x 150 mm boyutlarında standart küp kalıplara beton numuneleri alınmıştır. Alınan beton numuneleri deney elemanları ile aynı kür şartlarında saklanmış ve daha sonra deneylerin gerçekleştirileceği zaman aksenal basınç testi uygulanarak deney elemanlarının beton basınç dayanımları tespit edilmiştir. Deney elemanlarının beton dökümü esnasında alınan fotoğraflardan seçilen örnekler Şekil 3.23 - Şekil 3.24'te verilmiştir.



Şekil 3.23. Kapı açıklığı beton tesviyesi.



Şekil 3.24. Ankrajlı kapı açıklığı beton tesviyesi.

Deney elemanlarının beton dökümünden sonra daha rahat kür uygulanabilmesi için kalıpların yan tarafları beton dökümü yapıldıktan 2 gün sonra sökülmüştür. 7 gün boyunca tüm deney elemanlarına beton kürü yapılmış ve sonrasında betonarme elemanlar kalıplarından çıkartılarak küre son verilmiş ve test edilmek üzere düşey konuma getirilmiştir. Aynı işlemler ikinci aşama beton dökümünden sonra da özdeş bir şekilde yapılmıştır. Çift ısı katmanlı ön üretimli betonarme perde deney elemanlarında ısı katmanı için bırakılan ankraj donatıları beton yüzeyinden 35 mm kalacak şekilde kesilmiştir. Deney elemanlarına uygulanan kür, kür sonrasındaki işlemler ve ankrajların hazırlık aşamalarında alınan fotoğraflardan seçilen örnekler Şekil 3.25 – Şekil 3.26'da verilmiştir.



Şekil 3.25. Betonarme Elemanlara Kür Yapılması.



Şekil 3.26 Ankraj donatıları kesilmiş betonarme elemanı.

#### **3.2.3.4. Yüksek ısıl direnç yeteneği kazandırılmış çimento bağlayıcılı inorganik yalıtım malzemesi ile yalıtım sağlayan katmanın üretilmesi**

Tezin ilk aşamasında üretilen yüksek ısıl direnç yeteneği kazandırılmış çimento bağlayıcılı inorganik yalıtım malzemesi ile hazırlanan katman yapı itibarı ile bünyesinde yüksek oranda su bulunduran ve çok akışkan bir malzemedir. Betonarme elemanların her iki yüzeyine de 50 mm kalınlıkta dökülmüştür. 35 mm olarak kesilen ankraj donatılarının 50 mm'lik ısı katmanı içerisinde kalarak ısı katmanı ve betonarme perde arasında bağlantının sağlanması amaçlanmıştır. İlk yüzeyinin ısı yalıtım katmanı yapıldıktan sonra betonarme eleman ters çevrilerek yatay pozisyonda diğer yüzeyinin de ısı yalıtım katmanı üretimi yapılmıştır. Yatay olarak duran betonarme elemanların kalıpları 50mm yükseltilerek tekrardan montajı yapılmıştır. Kalıbın bütün kenarları çimento harcı ile kapatılmıştır. Bu şekilde ısı katmanı üretimi esnasında kullanılan suyun kalıp dışına çıkmasına engel olunmuştur. Isı katmanı dökümü kalıp ve hazırlık aşamasından alınan fotoğraflardan seçilen örnekler Şekil 3.37'de verilmiştir.



Şekil 3.27. Çimento bağlayıcılı yalıtım malzemesinin kalıbı.

Çimento bağlayıcılı yalıtım malzemesinin üretimi projenin birinci aşamasında elde edilen bilgiler ışığında üç temel malzeme kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Bu malzemeler PÇ 52.5 yüksek dayanımlı çimento, su ve özel bir kimyasal katkıdır. Karışım iki aşamada hazırlanmıştır. İlk olarak 23 lt su ile bir torba 50 kg beyaz PÇ 52.5 çimento 5-10 dakika karıştırılarak bir çimento harcı yapılmıştır. İkinci aşamada bir başka yerde 33 lt su ve 0.66 lt özel kimyasal katkı malzemesi karıştırılarak su köpürtülmüş ve toplamda 225 lt köpük elde edilmiştir. Son olarak ayrı ayrı hazırlanan 225 lt köpük ile çimento harcı birbiri ile 3-5 dakika karıştırılarak son karışım elde edilmiştir. Elde edilen son karışım basınçlı bir tanka aktararak kompresör ile deney elemanlarına pompalanmış ve ısı katmanı dökümü gerçekleştirilmiştir. Bu işlemin yapılması için özel bir karıştırma haznesi, basınçlı tankı ve kompresörü bulunan bir makineden faydalanılmıştır. Isı katmanı üretimi sırasında alınan fotoğraflar seçilen bazı örnekler Şekil 3.28 – Şekil 3.31'de verilmiştir.





Şekil 3.28. Köpük jeli ve köpük jeneratörü.



Şekil 3.29. Su ve çimentonun karıştırılması.



Şekil 3.30. Köpüğün çimento harcı ile karışımı.



Şekil 3.31. Çimento bağlayıcılı yalıtım malzemesinin kalıba dökümü.

### 3.2.3.5. Deney ve ölçüm düzeneğinin hazırlanması

Deneyler Gazi Üniversitesi Teknoloji Fakültesi Yapı Mekaniği Laboratuvarında yer alan rijit duvar ve döşeme deney düzeneğinde gerçekleştirilmiştir. Deney elemanları beton dökümü esnasında temel kirişi içerisinde bırakılan pimaj borulardan geçirilen 40

mm çapında yüksek dayanımlı saplamalar ile laboratuarda yer alan rijit deney döşemesine dik şekilde mesnetlenmiştir. Deney elemanlarına deprem yüklemesine benzeşim gösteren yatay tersinir tekrarlanır yükleme laboratuvarında rijit yükleme duvarında yer alan çelik yükleme sistemi ile deney elemanı arasında kurulan yükleme kolonu aracılığı ile uygulanmıştır.

Deney elemanlarına uygulanan yatay yükleme 800 kN basınç, 600 kN çekme kapasiteli bir hidrolik kriko ve pompa sistemi uygulanmış ve uygulanan yükleme ise 1000 kN kapasiteli bir yük hücresi ile ölçülmüştür. Deney elemanları üzerinden elektronik deplasman ölçerler ile kat deplasmanı, rijit ötelenme, rijit dönme, perde duvar üzerinden maksimum moment bölgesinden moment – eğrilik ve iki çapraz doğrultuda kesme çatlağı genişliği ölçümleri alınmıştır. Deneyler esnasında düzeltilmiş kat ötelenme oranı - yük grafiği takip edilerek deneyler gerçekleştirilmiştir. Laboratuvar ortamında deney hazırlığı aşamasından alınan fotoğraflardan seçilen örnekler Şekil 3.32 – Şekil 3.36'da verilmiştir. Deney elemanlarından alınan deplasman ölçümlerinin yerleri ise Şekil 3.37'de sunulmuştur.



Şekil 3.32. Betonarme elemanın rijit temelinden gijonlarla sabitlenmesi.





Şekil 3.33. Betonarme elemanın sağdan ve soldan gijonlarla sabitlenmesi.



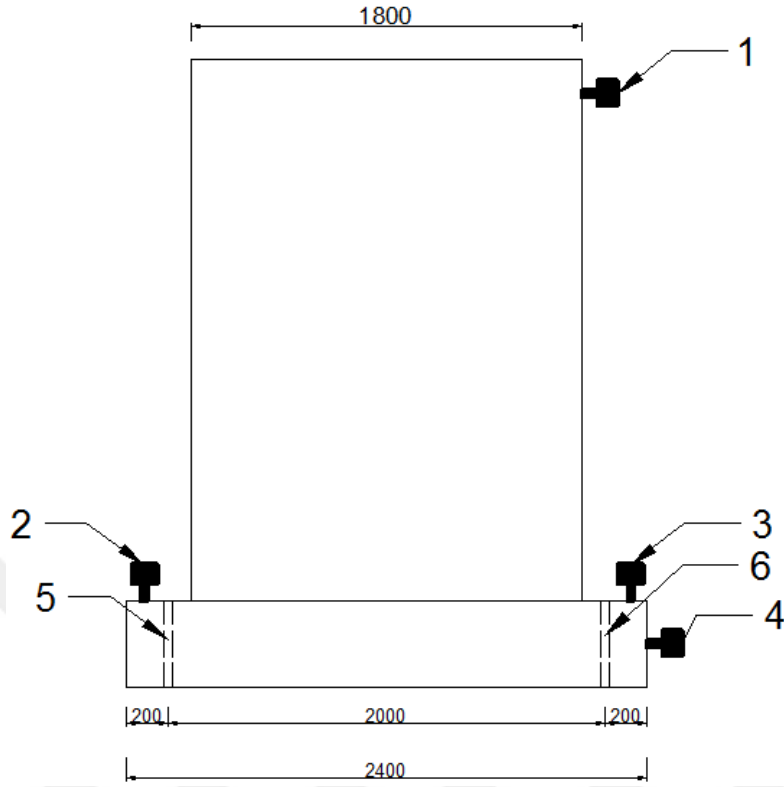
Şekil 3.34. Rijit duvar, hidrolik piston, yük hücresi ve başlık plakaları.



Şekil 3.35. Hidrolik piston, yük hücresi ve başlık plakaları.



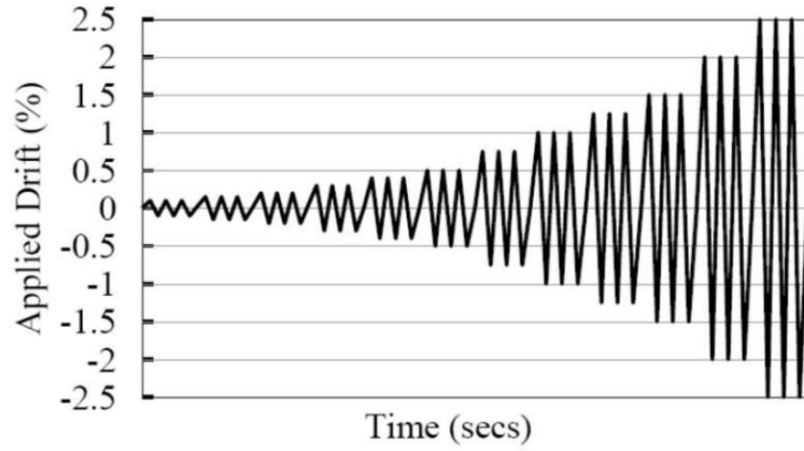
Şekil 3.36. Hidrolik piston, yük hücresi ve başlık plakaları.



Şekil 3.37. Deplasman ölçerlerin (lvdt) yerleştirilmesi.

1. Kat deplasmanı ölçümü
2. Sol rijit dönme ölçümü
3. Sağ rijit dönme ölçümü
4. Rijit ötelenme ölçümü
5. Temeli sabitlemek için kullanılan sol gijon deliği
6. Temeli sabitlemek için kullanılan sağ gijon deliği

Deney elemanlarına uygulanan yatay deprem yüklemesi prosedürü Şekil 3.37'de verilmiş olup, tüm deney elemanlarına özdeş yükleme tarihçesi uygulanmıştır. Yüklemeler deplasman kontrollü yapılmış olup, kat ötelenme oranının değişimine göre deney elemanlarına yükleme uygulanmıştır. Deney elemanlarına Şekil 3.38'de verilen kat deplasman oranlarına göre detayları Çizelge 3.9'da verilen kat deplasmanı değerleri uygulanmış ve her deney elemanına toplam 12 yükleme çevrimi yapılmıştır.



Cycle Series	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Number of Repeattions	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
Drift (%)	0.10	0.15	0.20	0.30	0.40	0.50	0.75	1.00	1.25	1.50	2.00	2.50

Şekil 3.38. Deney elemanlarına uygulanan yükleme tarihçesi.

Çizelge 3.9. Deney elamanlarına uygulanacak kat deplasmanı değerleri.

Çevrim No	Kat Ötelenme Oranı (%)	Kat Deplasmanı (mm)
1	0.10	2.70
2	0.15	4.05
3	0.20	5.40
4	0.30	8.10
5	0.40	10.80
6	0.50	13.50
7	0.75	20.25
8	1.00	27.00
9	1.25	33.75
10	1.50	40.50
11	2.00	54.00
12	3.00	81,00

## 4. BULGULAR VE TARTIŞMA

### 4.1. Çift Katmanlı Çimento Bağlayıcı İzolasyon Malzemesi İle Üretilen Ön Üretimli Betonarme Perde Duvarlar Üzerinde Yapılan Deneylere Ait Sonuçlar

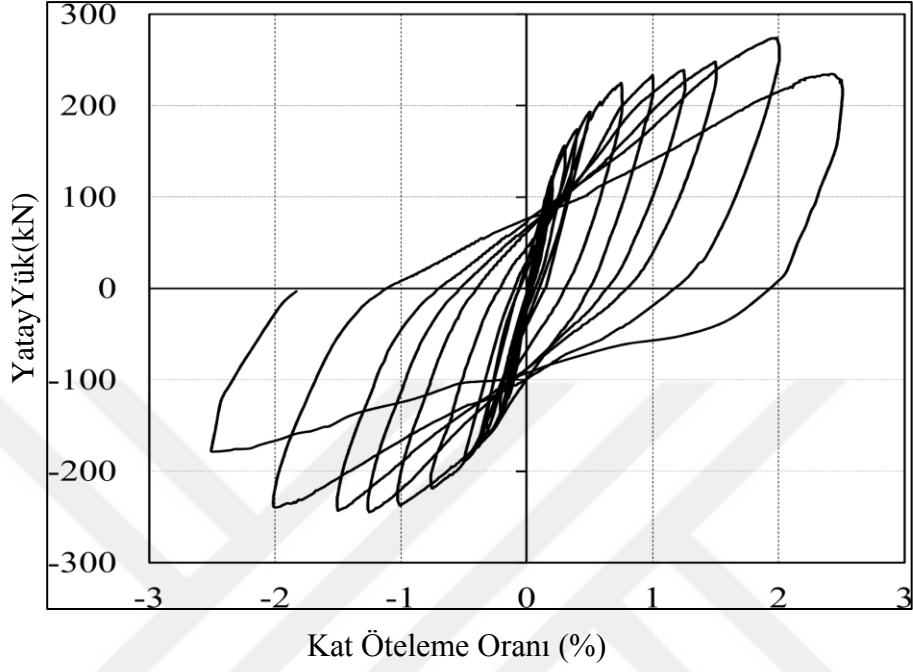
Bu bölümde tez kapsamında çift katmanlı çimento bağlayıcı izolasyon malzemesi ile üretilen ön üretimli betonarme perde duvarları üzerinde yapılan deneyler ile ilgili sonuçlar ve bilgiler paylaşılacaktır. Deneysel programda yer alan iki seri deney elemanından ilk olarak standart bir döküm betonarme perde duvarı deney elemanları test edilmiştir. İlk olarak tam dolu boşluksuz daha sonra kapı boşluklu deney elemanlarının testleri yapılmıştır. İkinci seri deney elemanları tez kapsamında geliştirilen ısı izolasyon katmanına sahip çift katmanlı ön üretimli betonarme perde duvar deney elemanlarıdır. Bu seride yer alan deney elemanları da aynı şekilde boşluksuz tam dolu ve kapı boşluklu olarak üretilmiş ve test edilmiştir. Deney elemanlarına uygulanan yatay tersinir tekrarlanır deprem yüklemesinin kat ötelenme oranına göre değişimleri takip edilerek testler gerçekleştirilmiş ve deneyler sonucunda test elemanlarının genel yük-deplasman davranışları elde edilmiştir. Daha sonra bu grafikler kullanılarak çizilen zarf grafikleri ile deney elemanlarının rijitlikleri, deplasman süneklik oranları ve enerji tüketim kapasiteleri gibi deprem performansları ile ilgili olarak önemli parametreler hesaplanarak yorumlanmıştır. Deneysel çalışma kapsamında yer alan birinci ve ikinci seri deney elemanları birbiri ile karşılaştırılarak yorumlar yapılmıştır.

#### 4.1.1. Deney elemanı-1 (tam dolu birdöküm betonarme perde)

Deneysel programda ilk test edilen deney elemanı bir döküm boşluksuz betonarme perde deney elemanıdır. Deney elemanına uygulanan yatay yükleme etkisi ile ilk olarak perde duvar maksimum moment bölgesi olan temel kirişi ile birleşim ara kesitine yakın bölümlerde yatay eğilme çatlakları meydana gelmeye başlamıştır. Deney elemanına uygulanan ilk %0.1 ve %0.15 kat ötelenme oranları yükleme çevrimlerinde

test elemanı çok rijit davranış göstermiş ve çatlak genişlikleri son derece sınırlı bir şekilde kılcal düzeyde kalmıştır. Artan yükleme etkisiyle deney elemanında meydana gelen eğilme çatlak sayısı ve genişlikleri artış göstermiş, betonarme perde duvar iç bölümüne doğru gelişme göstererek ilerlemiştir. %0.2 ve %0.3 kat ötelenme oranı yükleme çevrimlerinde deney elemanı rijitliğini korumasına rağmen, meydana gelen çatlak sayısı ve genişliklerinde artış görülmüştür. Bu aşamadan sonra artan yükleme ile %0.4-%0.75 kat ötelenme oranları arasında deney elemanının hem ileri hem de geri yükleme yönünde rijitliğinde önemli bir değişiklik meydana gelmiş ve deney elemanında meydana gelen eğilme çatlak sayısı ve genişliklerinde önemli miktarda artış görülmüştür. Betonarme perde deney elemanında meydana gelen eğilme çatlakları ilerleme göstererek sol ve sağdan başlayan eğilme çatlakları perde duvar ortasında birleşmiş ve tek bir çatlak haline gelmiştir. Özellikle temel kirişi ve betonarme perde duvar birleşim bölgesindeki eğilme çatlaklarının sayısında ve genişliğinde artış olmuştur. Deney elemanı ileri yükleme yönünde 224 kN yük düzeyi %0.75 kat ötelenme oranında, geri yükleme yönünde ise 237 kN yük düzeyi ve %1.0 kat ötelenme oranı değerlerinde perde duvar boyuna donatıları akma kapasitelerine ulaşmıştır. Deney elemanında bu kat ötelenme düzeylerinden sonra uygulanan yatay yük etkisiyle akma dayanımına ulaşan betonarme perde duvar donatılarında pekleşme etkisiyle deney elemanında hem ileri hem de geri yükleme yönünde taşıma gücünde bir miktar daha artış meydana gelmiştir. Deney elemanında artış gösteren yatay yük kapasitesi ileri ve geri yükleme yönlerinde %2.0 kat ötelenme oranına kadar devam etmiş, ileri yükleme yönünde deney elemanının maksimum taşıma gücü değeri 274 kN, geri yükleme yönünde ise 240 kN değerine kadar çıkmıştır. Bu yükleme artışı esnasında deney elemanında en dışta yer alan betonarme perde donatılarında dışarı doğru burkulma ve kabuk betonunda dökülmeler meydana gelmiştir. Ayrıca temel kirişi ile perde duvarın birleşim bölgesinde en dış bölümlerde betonda ezilmeler her iki yükleme doğrultusunda da gözlenmiştir. Deney elemanı ileri ve geri yükleme yönlerinde %2.5 kat ötelenme oranına çıkılan yükleme çevriminde en alt köşelerde betonda meydana gelen ezilme ile o bölgedeki betonarme perde düşey donatılarında burkulmanın meydana gelmesi sonucunda taşıma gücünde önemli bir düşüş meydana gelmiş ve deney elemanı göçmüştür. Deney sonucunda elde edilen yük deplasman grafiği Şekil 4.1'de deney

esnasında alınan hasar durumu fotoğraflarından seçilen örnekler Şekil 4.2 - Şekil 4.5'te verilmiştir.



Şekil 4.1. Deney elemanı -1 yük deplasman grafiği.



Şekil 4.2. Deney elemanı -1 hasar dağılımı (1).





Şekil 4.3. Deney elemanı -1 hasar dağılımı (2).



Şekil 4.4. Deney elemanı -1 hasar dağılımı (3).





Şekil 4.5. Deney elemanı -1 hasar dağılımı (4).

#### 4.1.2. Deney elemanı-2 (kapı boşluklu birdöküm betonarme perde)

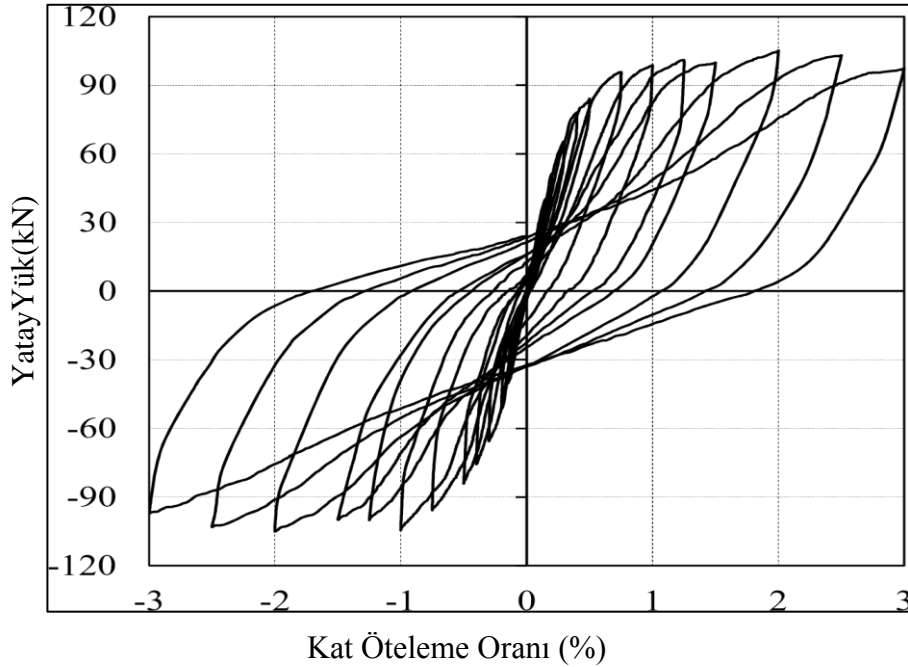
Deney elemanı-2 birdöküm kapı boşluklu betonarme perde duvar deney elemanıdır. Bu deney elemanında betonarme perde duvar simetri ekseninde 1900x800 mm boyutlarında toplam perde duvar alanının %33.7 oranında bir kapı boşluğu bırakılmıştır. Deney elemanına uygulanan yatay yüklemenin artış göstermesi ile ilk olarak kapı boşluğunun köşe noktalarından yaklaşık olarak  $45^\circ$  eğimli kesme çatlakları ile kapı boşluğunun sol ve sağ taraflarında yer alan betonarme perde parçalarında eğilme çatlakları meydana gelmeye başlamıştır. Artan yükleme etkisiyle bu çatlakların sayısında ve genişliklerinde büyüme meydana gelmiş ve %0.5 kat ötelenme oranına kadar rijitlikte önemli bir değişim meydana gelmeden eğilme çatlakları ile kapı köşelerinde meydana gelen kesme çatlakları sayısı ve genişliklerinde artış görülmüştür.

Deney elemanı ileri yükleme yönünde %0.75 kat ötelenme oranı çevriminde rijitlikte ani bir değişimin meydana gelmesi ile 96 kN yük düzeyinde betonarme perde duvar donatılarında akma meydana gelmiştir. Geri yükleme yönünde ise %1.0 kat

ötelenme oranı çevriminde 104 kN yük düzeyinde betonarme perde duvar düşey donatıları akmıştır. %0.75 ve %1.0 kat ötelenme çevrimlerinde hem ileri hem de geri yükleme yönlerinde kapı köşelerinde meydana gelen kesme çatlağı genişliği çok büyük oranda genişleme göstermiş ve kapı yanlarında yer alan betonarme perde bölümlerinin temel kirişi ile birleşim bölümlerinde meydana gelen eğilme çatlağı sayısı ve genişlikleri büyük oranda artış göstermiştir. Deney elemanı artan yükleme etkisiyle %2.0 kat ötelenme oranına kadar taşıma gücünü korumuş ve düşük oranda perde düşey donatılarındaki pekleşme etkisiyle taşıma gücünde artış meydana gelmiştir. %2.0 kat ötelenme oranında deney elemanı ileri yükleme yönünde 104 kN, geri yükleme yönünde ise 105 kN maksimum taşıma gücü değerine ulaşmıştır.

Deney elemanı bu kat ötelenme oranı değerinden sonra %2.5 ve %3.0 kat ötelenme oranı çevrimlerinde hem ileri hem de geri yükleme yönünde taşıma gücünde düşüş meydana gelmiştir. Deney elemanı kapı kenarlarında yer alan kanat betonarme perde duvar parçalarının dış köşelerinde betonun ezilerek, perde duvar en dış boyuna donatılarının burkulması sonucunda göçmeye ulaşmıştır.

Deney elemanı 2'nin yatay yük-kat ötelenme oranı grafiği Şekil 4.6'da verilmiştir. Deney sırasında alınan hasar fotoğraflarından seçilen örnekler Şekil 4.7 – 4.10'da sunulmuştur.



Şekil 4.6. Deney elemanı -2 yük deplasman grafiği.



Şekil 4.7. Deney elemanı -2 hasar dağılımı (1).



Şekil 4.8. Deney elemanı -2 hasar dağılımı (2).



Şekil 4.9. Deney elemanı -2 hasar dağılımı (3).



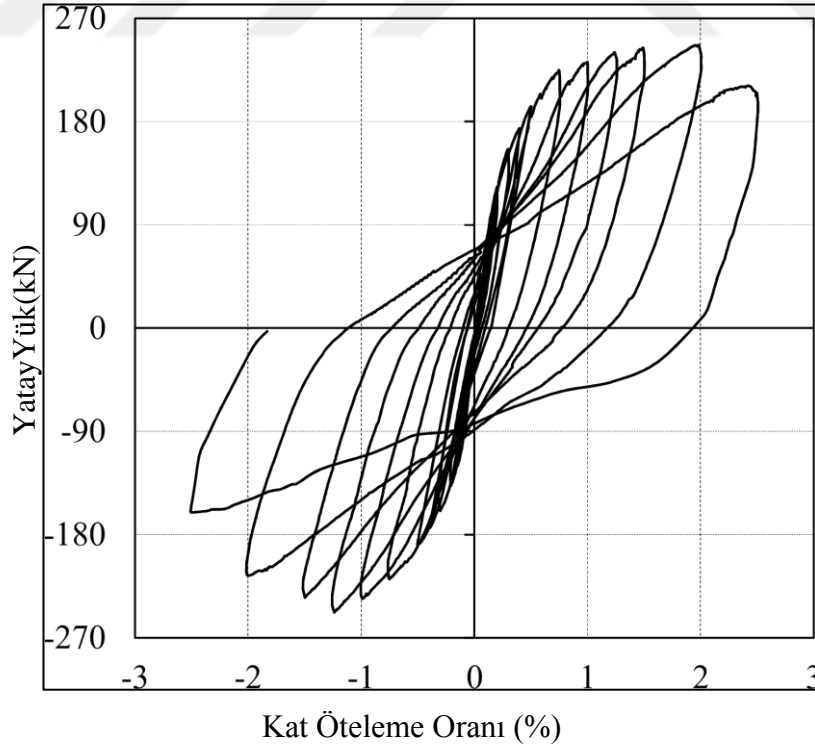
Şekil 4.10. Deney elemanı -2 hasar dağılımı (4).

#### 4.1.3. Deney elemanı-3 (tam dolu çift ısı katmanlı ön üretimli betonarme perde)

İkinci seri çift ısı katmanlı ön üretimli betonarme perde duvar sistemlerin ilk test elemanı boşluksuz tam dolu perde duvarlı deney elemanıdır. Bu elemanın deney elemanı-1'den farklılığı tez kapsamında geliştirilen özel ısı katmanı ile her iki yüzünden kaplanmış olması ve betonarme perde bölümünün ön üretimli elemanlarda olduğu gibi temel kirişi ile bağlantısının filiz donatıları ile sağlanması, düşey perde donatılarının temel kirişi içerisinde sürekli olarak devam etmemesidir. Bu eleman geometrik boyutlar ve donatı detayı olarak deney elemanı-1 ile bu iki farklılık haricinde diğer bütün özellikleri tamamen özdeştir. Deney elemanına uygulanan yatay yüklemenin artması ile ön üretimli perde duvarın temel kirişi ile birleşim bölgesinde kılcal düzeyde eğilme çatlakları meydana gelmeye başlamış ve %0.4 kat ötelenme oranına kadar eğilme çatlaklarının genişliği ve sayısı sınırlı düzeyde kalmış, deney elemanı rijitliğinde önemli bir değişiklik meydana gelmemiştir. Deney elemanında bu yükleme düzeyi ve kat ötelenme oranında ön üretimli perde duvar yüzeylerini kaplayan ısı izolasyon katmanında herhangi bir çatlak, hasar veya yüzeyden ayrılma meydana gelmemiş, çatlaklar sadece perde duvarın açıkta olan yan yüzlerinden ve temel kirişi ile birleşim ara kesitinden takip edilmiştir. Deney elemanında %0.4 kat ötelenme oranından sonra hem ileri hem de geri yükleme yönlerinde rijitlikte önemli bir değişim meydana gelmiş ve ön üretimli perde duvarda meydana gelen eğilme çatlaklarının sayısı ile genişlikleri artış göstermiştir. İleri yükleme yönünde %0.75 kat ötelenme oranında deney elemanı 225 kN yük düzeyinde, geri yükleme yönünde ise %0.75 kat ötelenme oranında 219 kN yük düzeyinde deney elemanı perde duvar donatılarında temel kirişi ile birleşim bölgesinde akma meydana gelmiştir. Daha sonra deney elemanı ileri yükleme yönünde %2.0 kat ötelenme oranına kadar ön üretimli perde duvar donatılarında pekleşme etkisiyle taşıma gücünü bir miktar artırmış ve ileri yükleme yönünde 247 kN maksimum taşıma gücüne ulaşmıştır. Deney elemanı geri yükleme yönünde ise taşıma gücünde artış meydana gelmemiş ancak önemli bir kayıp olmadan %2.0 kat ötelenme oranına kadar taşıma gücünü korumuştur. Deney elemanı perde donatılarında akmanın yaşandığı yükleme çevrimi ile %2.0 kat ötelenme oranı çevrimi arasında hasar temel kirişi ile perde duvar ara kesitinde yoğunlaşmış ve ön üretimli perde duvarın en dış alt köşelerinde betonda ezilmeler ile kabuk betonunda dökülmeler meydana gelmiştir. %2.0

kat ötelenme oranı çevriminde ilk olarak sağ alt köşe ileri yükleme yönünde beton kabuğundaki ezilme sonrası düşey temel filiz donatısında burkulma meydana gelmiştir. Daha sonra aynı yükleme çevriminde geri yükleme yönünde sol köşe betonu ezilerek, temel filizi donatısı burkulmuştur. Deney elemanına uygulanan %2.5 kat ötelenme oranı çevriminde hem ileri hem de geri yükleme yönünde taşıma gücünde önemli bir düşüş meydana gelmiş ve sol alt köşeme temel filiz donatısı koparak deney elemanı göçmeye ulaşmıştır. Deney elemanında yer alan ısı katmanında perde donatılarında akmanın yaşandığı yükleme çevrimine kadar önemli sayılabilecek herhangi bir hasar meydana gelmemiş ve meydana gelen çatlaklar kılcal düzeyde kalmıştır. Bu aşamadan sonra ısı katmanında meydana gelen hasar ön üretimli betonarme perde duvarda beton kabuğunda dökülmenin ve donatılarda burkulmanın yaşandığı perde duvar alt köşe noktalarında yoğunlaşmıştır. Isı katmanı büyük kat ötelenme oranlarına kadar minimum hasarla, dağılmadan, bütünlüğünü koruyarak ve perde duvardan ayrılmadan kalmıştır.

Deney elemanı 4'ün yatay yük-kat ötelenme oranı grafiği Şekil 4.11'de verilmiştir. Deney sırasında alınan hasar fotoğraflarından seçilen örnekler Şekil 4.12 – 4.15'te sunulmuştur.



Şekil 4.11. Deney elemanı -3 yük deplasman grafiği.





Şekil 4.12. Deney elemanı -3 hasar dağılımı (1).



Şekil 4.13. Deney elemanı -3 hasar dağılımı (2).



Şekil 4.14. Deney elemanı -3 hasar dağılımı (3).



Şekil 4.15. Deney elemanı -3 hasar dağılımı (4).



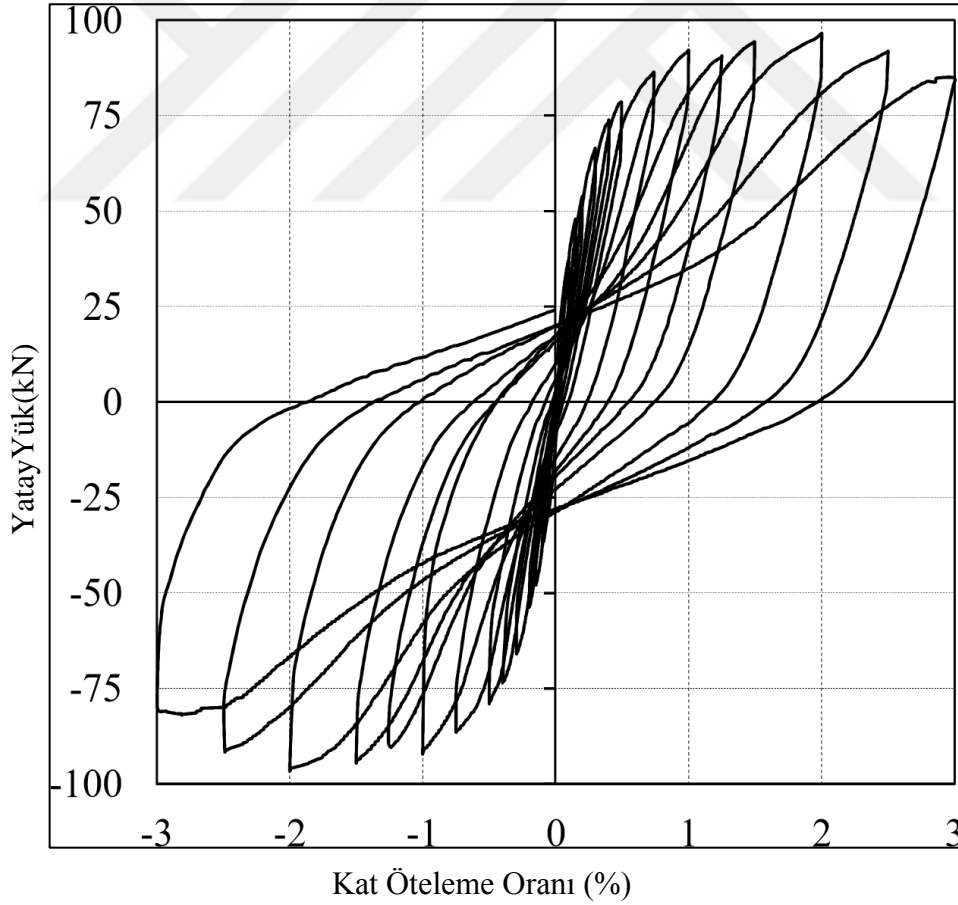
#### **4.1.4. Deney elemanı-4 (kapı boşluklu çift ısı katmanlı ön üretimli betonarme perde)**

Çift ısı katmanlı ön üretimli olarak test edilen ikinci deney elemanı deney elemanı-2 ile aynı geometrik boyutlarda 1900x800 mm boyutlarında kapı boşluklu test elemanıdır. Çift ısı katmanlı ön üretimli perde duvarın simetri ekseninde bırakılan kapı boşluğu deney elemanı-2 ile aynı ölçülerde ve deney elemanının ön üretimli perde duvar ve ısı katmanlı olması haricinde tüm özellikleri de deney elemanı-2 ile özdeştir. Isı katmanlı ön üretim perde duvarlı deney elemanı-5 hem ileri hem de geri yükleme yönlerinde %0.4 kat ötelenme oranı değerine kadar rijitliğinde önemli bir değişim olmadan ve kapı köşeleri ile kanat perde duvar parçalarında meydana gelen kesme çatlakları ile eğilme çatlakları kılcal düzeyde kalarak gelmiştir. Bu kat ötelenme oranına kadar kapının gerilme birikmesi olan köşe noktalarında meydana gelen 45° eğimli kesme çatlakları ve kanat perde duvar bölümlerinde meydana gelen eğilme çatlaklarının sayısı ve genişlikleri sınırlı düzeyde kalmıştır. Deney elemanında %0.4 kat ötelenme oranından sonra rijitlikte hem ileri hem de geri yükleme yönlerinde önemli bir değişim meydana gelmiş ve %1.0 kat ötelenme oranına kadar kapı köşelerinde meydana gelen 45° eğimli kesme çatlakları ile kanat perde duvar parçalarında oluşan eğilme çatlaklarının sayısı ve genişliklerinde önemli oranda artış meydana gelmiştir. Özellikle kapı köşelerinde meydana gelen kesme çatlakları ve temel kirişi ile kanat perde duvarların ara kesitinde oluşan ayrılma çatlaklarının genişlikleri önemli oranda artmıştır. Deney elemanı %1.0 kat ötelenme oranında hem ileri hem de geri yükleme doğrultusunda 92 kN yük düzeyinde ön üretimli perde duvar düşey donatılarında akma meydana gelmiştir. Deney elemanı bu yükleme çevriminden sonra ileri ve geri yükleme yönlerinde %2.0 kat ötelenme oranına kadar taşıma gücünde perde düşey donatılarında meydana gelen pekleşme nedeniyle az miktarda taşıma gücünde artış ile gelmiş ve 96 kN maksimum taşıma gücüne ulaşmıştır. Deney elemanında %1.0 ile %2.0 kat ötelenme oranları arasında yaşanan yükleme çevrimlerinde özellikle ön üretimli kanat perde duvar bölümlerinin alt köşelerinde betonda ezilme ve kabuk betonunda dökülmeler meydana gelmiştir. Deney elemanında %2.5 ve %3.0 kat ötelenme oranı yükleme çevrimlerinde ön üretimli perde duvar kanat duvarlarında perde duvar düşey donatılarında beton

dökülmesinin meydana geldiği noktalarda burkulmalar oluşmuş ve taşıma gücünde düşüş yaşanarak deney elemanı göçmüştür.

Kapı boşluklu deney elemanında ısı katmanı kaplamalarında %1.0 kat ötelenme oranına kadar önemli sayılabilecek bir hasar veya çatlak meydana gelmemiştir. Isı katmanı üzerinde %1.0 kat ötelenme oranına kadar kapı köşelerinde meydana gelen kesme çatlakları görülebilir halde meydana gelmiştir. Bu seviyeden sonraki kat ötelenme oranlarında ısı katmanlarında meydana gelen hasarlar betonarme ön üretimli perde duvarda oluşan beton kabuğundaki dökülmelerin yoğunlaştığı noktalarda oluşmuştur.

Deney elemanı 4'ün yatay yük-kat ötelenme oranı grafiği Şekil 4.16'da verilmiştir. Deney sırasında alınan hasar fotoğraflarından seçilen örnekler Şekil 4.17 – 4.20'de sunulmuştur



Şekil 4.16. Deney elemanı -4 yük deplasman grafiği.



Şekil 4.17. Deney elemanı -4 hasar dağılımı (1).



Şekil 4.18. Deney elemanı -4 hasar dağılımı (2).



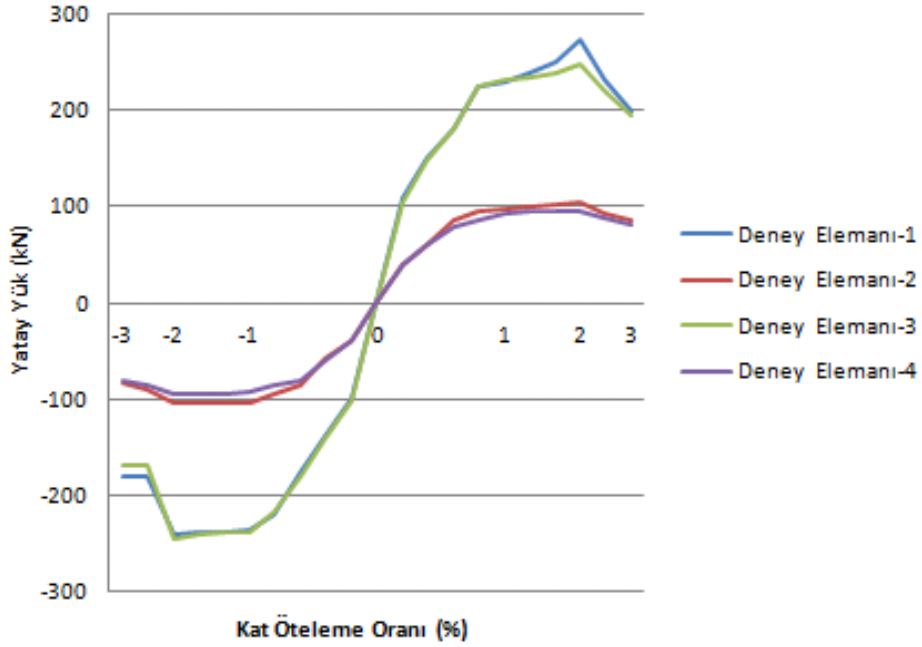
Şekil 4.19. Deney elemanı -4 hasar dağılımı (3).



Şekil 4.20. Deney elemanı -4 hasar dağılımı (4).

#### 4.2. Isı Katmanlı ve Isı Katmansız Betonarme Perde Duvar Elemanlarının Yük-Deplasman İlişkilerinin Karşılaştırılması

Birdöküm betonarme perde duvar ve çift katmanlı ön üretimli betonarme perde duvar sistemlerinin yük – deplasman ilişkileri Şekil 4.21’de verilmiştir. Bu eğriler incelendiğinde maksimum taşıma gücü değerlerinin birbirlerine yakın ve uyumlu olarak elde edildiği görülmüştür. Isı katmanlı ve ısı katmansız betonarme perde duvar sistemlerinin kümülatif enerji tüketim kapasiteleri ve kat ötelenme oranına göre enerji tüketim kapasitelerindeki davranış trendi birbirlerine çok benzer ve uyumlu bir şekilde olduğu görülmüştür.



Şekil 4.21. Deney elemanlarının yük deplasman değerlerinin karşılaştırılma grafiği



## 5. SONUÇLAR

Bu çalışmada, yüksek ısı direnç özelliğine sahip olarak geliştirilen ön üretimli betonarme perde yapı birimlerinin deprem performansı deneysel olarak incelenmiştir. Bu amaca yönelik olarak iki seri boşluksuz ve boşluklu ikişer adet betonarme birdöküm betonarme perde duvar ve çift ısı katmanlı ön üretimli betonarme perde duvarı olmak üzere toplamda 4 adet 1/1 ölçekli gerçek boyutlarda perde duvar sistemi üretilmiş ve deprem yüklerini benzeştiren tersinir tekrarlanır yüklemeler altında test edilmiştir.

Tasarlanan yenilikçi yüksek ısı dirence sahip yalıtım malzemesinin depreme dayanıklı olarak tasarlanmış ön üretimli perde duvar yapı sistemine entegre edilecek olmasından dolayı yalıtım malzemesinden mekanik özellikler bakımından herhangi bir dayanım artışı beklentisinde bulunulmamıştır. Bu malzemenin entegre edildiği sistemin deprem performansına taşıyıcı olarak önemli bir katkı sağlaması ön görülmemiş, deprem yüklemesi etkisinde ağır hasar alıp almadığı, bütünlüğünü ne ölçüde koruyabildiği ve genel davranışının incelenmesi hedeflenmiştir. Bu amaçla çalışma kapsamında 1/1 gerçek boyutlarda bir döküm monolitik betonarme perde duvar ve aynı boyutlarda prefabrik ön dökümlü ısı katmanlı perde duvar deney elemanları üretilerek deprem yüklemesi etkisi altında test edilmiştir. Testler sonrasında deney elemanlarının genel yük-deplasman davranışları, dayanımları, rijitlikleri, deplasman süneklik oranları ve enerji tüketim kapasiteleri hesaplanarak yorumlanmış ve yeni üretilen ısı yalıtım katmanlı ön üretimli betonarme perde duvar sisteminin deprem performansı hakkında yorumlar yapılmıştır. Yürütülen deneysel çalışma ışığında ulaşılan sonuçlar aşağıda maddeler halinde sunulmuştur.

- Birdöküm betonarme perde duvar ve çift ısı katmanlı ön üretimli betonarme perde duvar sistemlerinin yük deplasman zarf grafik değerlerinden anlaşılacağı üzere akma ve maksimum taşıma gücü değerleri birbirlerine çok yakın ve uyumlu olarak elde edilmiştir. Bu çalışma kapsamında geliştirilen ısı yalıtımlı prefabrik olarak üretilebilecek yeni perde duvar panel sistemi taşıma gücü açısından yerinde döküm monolitik perde duvar sistemleri kadar başarılı ve iyi bir deprem performansı sergilemiştir. Taşıma gücü değerleri arasındaki

benzerlik hem tam dolu boşluksuz perde sistemlerinde hem de kapı (%33.7) boşluğuna sahip boşluklu perdelerde görülmüştür.

- Özel olarak bu tez kapsamında tasarlanan ön üretimli çift ısı katmanlı boşluksuz ve boşluklu betonarme perde duvar sistemlerinin başlangıç, akma ve maksimum taşıma gücü düzeylerinde sergilediği rijitlik değerleri ve genel olarak tüm test aşamasında artan kat ötelenme oranı ile sergiledikleri rijitlik değişim trendleri monolitik boşluksuz ve boşluklu betonarme perde duvarlar ile çok benzer ve uyumlu olarak elde edilmiştir.
- Tez kapsamında geliştirilen ısı yalıtım katmanlı prefabrik betonarme perde sistemlerin deplasman süneklilik oranları monolitik birdöküm betonarme perde duvarlara yakın bir davranış göstermiştir.
- Ön üretimli çift ısı katmanlı betonarme perde sistemlerin toplam kümülatif enerji tüketim kapasiteleri ve tüm deney boyunca değişim gösteren kat ötelenme oranına göre enerji tüketim kapasitelerindeki davranış trendi, betonarme monolitik bir döküm betonarme perde sistemleri ile çok benzer ve uyumlu bir şekilde hesaplanmıştır. Bu uyum boşluksuz ve boşluklu tüm perdeler için aynı şekilde başarılıdır.
- Tez kapsamında geliştirilen ve ön üretimli betonarme perde duvar yüzeylerine uygulanan özel ısı yalıtım katmanı testler sırasında %1.0 gibi oldukça büyük kat ötelenme oranına kadar gözlemlenebilecek önemli düzeyde bir hasar ya da çatlama olmadan, bütünlüğünü koruyarak ve ön üretimli betonarme perde yüzeyinden ayrılmadan kalmıştır. Bu düzeyden sonraki kat ötelenme oranlarında perde duvar yüzeyindeki ısı katmanında meydana gelen hasarlar, ön üretimli betonarme perde duvarda oluşan beton kabuğundaki ezilme ve dökülmelerin olduğu bölgelerde lokalize olmuştur. Bu bölgeler haricinde kalan ısı katmanları ön üretimli perde duvar ile bağlantısını sağlayan ankrajlarda bir sorun olmadan bütünlüğünü korumuş ve hasar almamıştır. Isı katmanlarında meydana gelen hasar artan kat ötelenme oranının çok büyük oranlar olan %3.0 değerine ulaşması ile sadece ön üretimli perde duvarda göçmeye neden olan beton ezilmesi ve perde duvar donatılarında meydana gelen burulmaların olduğu bölgeler ile sınırlı kalmıştır.



- Tasarımı yapılan ısı katmanlı ön üretimli perde duvar sisteminde perde duvar sisteminin göçmeye ulaştığı %3.0 kat ötelenme oranına kadar ısı katmanlarında bir dökülme, stabilite bozukluğu can veya mal kaybına sebep olabilecek bütünsel bir düzlem dışı yıkılma vb. herhangi bir göçme mekanizması meydana gelmemiştir. Perde sistemi ve ısı katmanı arasındaki ankraj sayısı ve tasarımı başarılı bir performans sergilemiş ve ısı katmanları perde duvar yüzeylerinden ayrılmamıştır. Ayrılmalar sadece beton kabuğunun çok hasar aldığı lokal bölgelerde meydana gelmiştir. Isı katmanı malzemesi ile ankraj arasındaki aderans korunmuş ve ayrılmalara engel olmuştur.
- Bu tez kapsamında geliştirilen ısı yalıtım özelliğine sahip inorganik malzemelerden üretilen izolasyon katmanlı ön üretimli betonarme perde sisteminin deprem performansının en az birdöküm betonarme perde duvar sistemleri kadar yüksek olduğu ve depreme dayanıklı, düşük maliyetli, enerji korunumlu konut projelerinde kullanılabilir başarılı bir alternatif olduğu düşünülmektedir.



## KAYNAKLAR

- Benayoune A., Samad A. A. A., Abang A. A. A., Trikha D. N., 2007. Response of precast reinforced composite sandwich panels to axial loading. *Construction and Building Materials*, **21** : 677–685.
- Bing, L., Hui, W., 2003. Seismic behaviours of reinforced concrete walls with irregular openings. *Civil Engineering Research*, **16** : 14-16.
- Cavaleri L., Miraglia N., Papia M., 2003. Pozzolan concrete for structural wall panels. *Engineering Structures*, **25** : 115–125.
- Chai Y. H., Anderson J. D., 2005. Seismic response of perforated lightweight aggregate concrete wall panels for low-rise modular classrooms. *Engineering Structures*, **27** : 593–604.
- Diker, C. K., 2001. *Deprem Sonrası Kurulacak Portatif Acil Yapı Türlerinin Çift Tabakalı Yüksek Basınçlı Pnömatikkonstrüksiyonlarla Oluşturulmasında Yapısal Elverişlilik Kriterlerinin Belirlenmesi*. (Yüksek Lisans Tezi). Dokuz Eylül Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir.
- Ercömert, M., 2007. *A2 ve A3 Yapısal Düzensizliklerinin Çok Katlı Yapıların Deprem Davranışına Etkisi*. (Yüksek lisans Tezi). Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ.
- Gombeda, M. J., Trasborg, P., Naito, C. J., Quiel, S. E., 2017. Simplified model for partially composite precast concrete insulated wall panels subjected to lateral loading. *Engineering Structures*, **138** : 367–380.
- Helmesnstine, A. M., 2017. How does soap work. <https://www.thoughtco.com/how-does-soap-clean-606146>. Erişim Tarihi : 30.06.2017.
- Hou, H. T., Hu, X. J., Li G. Q., Wang Y. M., 2009. Ultimate load-bearing capacity of the energy-saving composite sandwich panels. *Jianzhu Cailiao Xuebao/Journal of Building Materials*, **12**: 106-111.
- Iskhakov, I., Ribakov, Y., 2005. Experimental and numerical investigation of a fullscale multi-storey RC building under dynamic loading. *Structural Design of Tall and Special Buildings*, **14** : 299-313.
- JICA, 2004. *Türkiye’de Doğal Afetler Konulu Ülke Strateji Raporu*. Japon Uluslararası İşbirliği Ajansı, 29. Ankara. 17-21
- Kato, D., Noda, H., Sugishita, Y., 1999. Strength and Deformation Capacity of Cantilever Structural Walls with Openings. *PEER Report 1999/10, Pacific Earthquake Engineering Research Center*. University of California, Berkeley, Maui, Hawaii. 311-322.
- Küçük, D., 2006. *Deprem Zararlarını Azaltma Çalışmalarında Mimarlık Eğitiminin Yeri*. (Yüksek Lisans Tezi). Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Liau, T. C., and Lee, S. W., 1977. On the behavior and the analysis of multi-story infilled frames subjected to lateral loading. *Proceedings of the Institute of Civil Engineers*, **63**: 641-656.
- Liau, T. C., Kwan, K. H., 1985. Unified plastic analysis for infilled frames. *Journal of Structural Division*, **111** : 1427-1448.

- Quandon, X., Zhengxing, G., Zhongyuan, Z., 2005. Behavior of double-wall precast concrete shear wall under low-cyclic reversed loading test. *Advanced Materials Research*, **1080** : 354-358.
- Ramamurthy, K., Nambiar, E. K. K., Ranjani, G., 2009. A classification of studies on properties of foam concrete. *Cement & Concrete composite*, **31** : 388-396.
- Rezaifar, O., Kabir, M. Z., Taribakhsh, M., Tehranian, A., 2008. Dynamic behaviour of 3Dpanel single-storey system using shaking table testing. *Engineering Structures*, **30** : 318–337.
- TS 825, 2013. *Binalarda Isı Yalıtım Kuralları*. Türk Standartları Enstitüsü. Ankara.
- Türker LY., 2003. *Perde-Çerçeve Sistemler ve Bosluklu Perdelerin Yatay Yükler İçin Modellenmesi*. (Yüksek Lisans Tezi). Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Valore, R. C., 1954. Cellular concrete part 1 composition and methods of production.
- Weigler, H., Karl, S., 1980. Structural lightweight aggregate concrete with reduced density-lightweight aggregate foamed concrete. *International Lightweight Concrete*, **2** : 101-104.
- Wibowo, A., Wijatmiko, I., Nainggolan. C. R., 2017. Structural behavior of lightweith bamboo reinforced concrete slab with EPS infill panel. *AIP Conference Proceedings*, **24**: 8-14.

## ÖZ GEÇMİŞ

Mehmet Ali ERÇETİN, 1989 yılında Diyarbakır'da doğdu. İlköğretimini Diyarbakır Kazım Karabekir İlköğretim Okulu'nda, Lise eğitimini ise Diyarbakır Birlik Lisesi'nde bitirdi. 2010 yılında yerleştiği Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi, Mühendislik Mimarlık Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü'nü 2014 yılında bitirdi. 2016 yılında Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı'nda Yüksek Lisans öğrenimine başladı.



T.C  
VAN YÜZÜNCÜ YIL ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ  
LİSANSÜSTÜ TEZ ORJİNALLİK RAPORU

Tarih: 28/03/2019

Tez Başlığı / Konusu:

Isı Katmanlı Ön Dökümlü Betonarme Perde Duvarının Deprem Performansının İncelenmesi / Isı katmanlı ve ısı katmansız betonarme perde duvarların deprem performanslarının karşılaştırılarak incelenmesi

Yukarıda başlığı/konusu belirlenen tez çalışmamın Kapak sayfası, Giriş, Ana bölümler ve Sonuç bölümlerinden oluşan toplam 20 sayfalık kısmına ilişkin, 28/03/2019 tarihinde şahsım/tez danışmanım tarafından Arçetin.....intihal tespit programından aşağıda belirtilen filtreleme uygulanarak alınmış olan orijinallik raporuna göre, tezin benzerlik oranı % 1. (bir.) dir.

Uygulanan filtreler aşağıda verilmiştir:

- Kabul ve onay sayfası hariç,
- Teşekkür hariç,
- İçindekiler hariç,
- Simge ve kısaltmalar hariç,
- Gereç ve yöntemler hariç,
- Kaynakça hariç,
- Alıntılar hariç,
- Tezden çıkan yayınlar hariç,
- 7 kelimeden daha az örtüşme içeren metin kısımları hariç (Limit inatch size to 7 words)

Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi Lisansüstü Tez Orijinallik Raporu Alınması ve Kullanılmasına İlişkin Yönergeyi inceledim ve bu yönergede belirtilen azami benzerlik oranlarına göre tez çalışmamın herhangi bir intihal içermediğini; aksinin tespit edileceği muhtemel durumda doğabilecek her türlü hukuki sorumluluğu kabul ettiğimi ve yukarıda vermiş olduğum bilgilerin doğru olduğunu beyan ederim.

Gereğini bilgilerinize arz ederim.

28.03.2019

Tarih ve İmza

Adı Soyadı: Mehmet Ali ERÇETİN

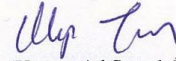
Öğrenci No:159101148

Anabilim Dalı: İnşaat Mühendisliği Ana Bilim Dalı

Programı: İnşaat Mühendisliği


Statüsü: Y. Lisans  Doktora

DANIŞMAN ONAYI  
UYGUNDUR  
Doç. Dr. Mücip TAPAN



(Unvan, Ad Soyad, İmza)

ENSTİTÜ ONAYI  
UYGUNDUR



(Unvan, Ad Soyad, İmza)