

**T.C.
AKDENİZ ÜNİVERSİTESİ**



**FARKLI GEOMETRİK ÖZELLİKLERE SAHİP GAZBETON DUVAR
NUMUNELERİ İÇİN YAPILAN DİYAGONAL KAYMA DENEYLERİNİN
SAYISAL OLARAK İNCELENMESİ**

İrmak EREN KAYA

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ

ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

TEMMUZ 2022

ANTALYA

**T.C.
AKDENİZ ÜNİVERSİTESİ**



**FARKLI GEOMETRİK ÖZELLİKLERE SAHİP GAZBETON DUVAR
NUMUNELERİ İÇİN YAPILAN DİYAGONAL KAYMA DENEYLERİNİN
SAYISAL OLARAK İNCELENMESİ**

İrmak EREN KAYA

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ

ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

TEMMUZ 2022

ANTALYA

T.C.
AKDENİZ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

FARKLI GEOMETRİK ÖZELLİKLERE SAHİP GAZBETON DUVAR
NUMUNELERİ İÇİN YAPILAN DİYAGONAL KAYMA DENEYLERİNİN
SAYISAL OLARAK İNCELENMESİ

Irmak EREN KAYA
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ
ANABİLİM DALI
YÜKSEK LİSANS TEZİ

Bu tez 08/07/2022 tarihinde jüri tarafından Oybirliği / Oyçokluğu ile kabul edilmiştir.

Dr. Öğr. Üyesi Engin EMSEN (Danışman)

Prof. Dr. Murat BİKÇE

Doç. Dr. Bekir AKGÖZ

ÖZET

FARKLI GEOMETRİK ÖZELLİKLERE SAHİP GAZBETON DUVAR NUMUNELERİ İÇİN YAPILAN DİYAGONAL KAYMA DENEYLERİNİN SAYISAL OLARAK İNCELENMESİ

İrmak EREN KAYA

Yüksek Lisans Tezi, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Engin EMSEN

Temmuz 2022; 62 sayfa

Bu tez çalışması, yığma duvarların davranışlarıyla ilgili mevcut bir dizi deneysel çalışmanın sayısal olarak araştırılmasıdır. Deneysel çalışmaların sayısal olarak modellenmesi ve doğrulanan modelleme tekniğiyle deneyi yapılmayan ara durumların da incelenmesi sayesinde, araştırmanın kapsamı ekonomik bir şekilde arttırılabilmekte ve uygulama için daha kapsamlı bir veri tabanı sağlanabilmektedir. Mevcut deneysel çalışmada, gazbeton ve gazbeton yapıştırıcısıyla beş farklı boyutta duvar numunesi harç kalınlığı sabit tutularak üretilmiştir. Kullanılan malzemelere ait parametreler sayısal modellemeye de kullanılmıştır. Analitik çalışma için gerek olan ilave malzeme dayanım değerleri için ise uluslararası geçerliliği olan şartnamelerden yararlanılmıştır. Deneysel ve sayısal çalışma sonucu elde edilen değerler karşılaştırılmış ve hazırlanan bilgisayar modelinin doğruluğu belirlenmiştir. Deneyi yapılmayan ara durumlar için de ilave modeller oluşturularak elde edilen sonuçlar yorumlanmıştır.

Sayısal çalışmada basitleştirilmiş mikro modelleme tekniği kullanılmıştır. Bu teknik dâhilinde bağlayıcı harç özellikleri, ara yüz elemanlarıyla modele yansıtılmıştır. Gazbeton birimleri arasına kohezif ara yüzey elemanları tanımlanmıştır. Gazbeton birimlerin hasar durumunu belirleyebilmek için ise Beton Hasar Plastisite Modeli (CDP) teorisinden yararlanılmıştır.

Bu çalışma beş ana bölümden oluşmaktadır. İlk bölümde yığma duvarlara ait genel bilgiler verilmiştir. İkinci bölüm literatür özetini, üçüncü bölüm ise sayısal modellemeyle ilgili teoriler ve teknik gereksinimler irdelenmiştir. Dördüncü bölümde deneysel çalışma detayları ve yapılan modelleme aşamaları verilmiştir. Son olarak analiz sonuçları sunulmuş ve deneylerle kıyaslanmıştır. Deneyi yapılmayan dört adet ara durum da dâhil edilerek elde edilen grafikler irdelenmiştir.

ANAHTAR KELİME: Doğrusal olmayan analiz, Gazbeton, Kesme etkisi, Sonlu elemanlar yöntemi, Yığma dolgu duvar.

JURİ: Dr. Öğr. Üyesi Engin EMSEN

Prof. Dr. Murat BİKÇE

Doç. Dr. Bekir AKGÖZ

ABSTRACT

ANALYTICAL INVESTIGATION OF MASONRY WALLS MANUFACTURED WITH DIFFERENT GEOMETRIC AND MATERIAL PROPERTIES

Irmak EREN KAYA

MSc Thesis in Civil Engineering

Supervisor: Asst. Prof. Dr. Engin EMSEN

July 2022; 62 pages

This study is a numerical investigation of a number of existing experimental studies on the behavior of masonry walls. The scope of the research can be increased economically and a more comprehensive database can be provided for the application, by the numerical modeling of the experimental studies and the search for the intermediate cases that were not tested with the validated modeling technique. In the present experimental study, five different sized wall samples were produced with Autoclaved Aerated Concrete (AAC) and aerated concrete adhesive by keeping the mortar thickness constant. As a result of the experimental studies, the parameters of the materials were used in numerical modeling. The results obtained as a result of experimental and numerical studies were compared and the accuracy of the prepared computer model was determined. Additional models were created for the intermediate cases that were not experimented, and the results were interpreted.

A simplified micro modeling technique was used in the numerical study. Within this technique, the binder mortar properties are included in the model with interface elements. Cohesive interface elements are defined between the AAC units. Concrete Damage Plasticity (CDP) theory was used to determine the damage status of this units.

This study consists of five main sections. In the first, general information about masonry walls is given. The second section is the literature summary, and the third is include the theories and technical requirements related to numerical modeling. In the fourth, the experimental study details and the modeling stages are given. Finally, the results of the analysis are presented and compared with the experiments. The graphs obtained by including four intermediate cases, which were not experimented, were examined.

KEYWORDS: Autoclaved Aerated Concrete (AAC), Masonry infilled wall, Nonlinear analysis, Shear effect, Finite element method.

COMMITTEE: Asst. Prof. Dr. Engin EMSEN

Prof. Dr. Murat BİKÇE

Assoc. Prof. Dr. Bekir AKGÖZ

ÖNSÖZ

Bu çalışma, Akdeniz Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalında yüksek lisans tezi olarak yapılmıştır. Bu çalışma boyunca hiçbir konuda yardımını esirgemeyen, yaptığı yorumlar ile tezime, mesleki ve kişisel manada gelişimime katkıda bulunan, bilgi ve deneyimleri ile bana destek olan danışman hocam Dr. Öğr. Üyesi Engin EMSEN'e şükran ve saygılarımı sunarım. Ayrıca değerli görüşleri ile yol gösteren Arş. Gör. Dr. M. Musab ERDEM ve Prof. Dr. Murat BİKÇE'ye teşekkür ederim ve saygılarımı sunarım. Tezime mesnet oluşturan deneysel çalışmayı yaparak bu konuda detaylı veriyi benimle paylaşan İnş. Yük. Müh. Nilay SABAHOĞLU'na teşekkür ederim.

Tez çalışmamın her safhasında maddi ve manevi her konuda bana destek olan, hiçbir şeyi esirgemeyen, bana sonuna kadar güvenerek bilgi birikimi ile katkı sağlayan değerli eşim İnş. Müh. Seçkin KAYA'ya ve kıymetli aileme sonsuz teşekkürlerimi sunarak bu tez çalışmasını aileme ithaf ederim.

İÇİNDEKİLER

ÖZET	i
ABSTRACT	ii
ÖNSÖZ	iii
AKADEMİK BEYAN	vi
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	vii
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	viii
ÇİZELGELER DİZİNİ	x
1. GİRİŞ	1
2. KAYNAK TARAMASI	3
3. MATERYAL VE METOT	6
3.1. Giriş.....	6
3.2. Gazbetonun İncelenmesi	7
3.3. ASTM E-529 Diyagonal Kayma Deneyi	7
3.4. TS EN 1996-1-1 Standardı İncelemesi.....	9
3.5. Uluslararası İnşaat Malzemeleri, Sistemleri ve Yapıları Laboratuvarları ve Uzmanları Birliği (RILEM).....	9
3.6. Sonlu Elemanlar Yazılımı	10
3.7. CDP (Concrete Damage Plasticity) Malzeme Modeli	10
3.8. Kohezif Bölge Modeli (KBM)	11
3.9. Modelleme Teknikleri	14
4. BULGULAR	17
4.1. Deneyin İncelenmesi	17
4.1.1. Giriş.....	17
4.1.2. Gazbeton yapıştırıcısının özellikleri	18
4.1.3. Gazbetonun özellikleri	19
4.1.4. Numunelerin imalatı.....	21
4.1.5. Deplasman ölçerlerin yerleştirilmesi.....	21
4.1.6. Yükleme pabuçları	22
4.1.7. Yükleme düzeneği.....	23
4.2. Analitik Çalışma.....	24
4.2.1. Giriş.....	24

4.2.2. Duvar numunelerinin modellenmesi	25
4.2.3. Malzeme özelliklerinin tanıtılması.....	34
4.2.4. Analiz tipinin oluşturulması.....	36
4.2.5. Pabuç bağlantılarının tanımlanması	36
4.2.6. Parçalar arası etkileşimin tanımlanması.....	37
4.2.7. Sonlu elemanlar ağının tanımlanması	39
4.2.8. Analizin başlatılması ve sonuçların görüntülenmesi.....	39
5. TARTIŞMA	40
5.1. Giriş	40
5.2. Deneysel Çalışmaya Ait Görseller (Sabahoğlu 2022).....	40
5.3. Analitik Çalışma Sonuçlarının Değerlendirilmesi.....	42
5.4. Deneyi Yapılmayan Durumların Modellenmesi	52
6. SONUÇLAR	58
7. KAYNAKLAR	59
8. EKLER.....	61
ÖZGEÇMİŞ	

AKADEMİK BEYAN

Yüksek Lisans Tezi olarak sunduğum “Farklı Geometrik Özelliklere Sahip Gazbeton Duvar Numuneleri için Yapılan Diyagonal Kayma Deneylerinin Sayısal Olarak İncelenmesi” adlı bu çalışmanın, akademik kurallar ve etik değerlere uygun olduğunu belirtir, bu tez çalışmasında bana ait olmayan tüm bilgilerin kaynağını gösterdiğimi beyan ederim.

08/07/2022

Irmak EREN KAYA



SİMGELER VE KISALTMALAR

Simgeler

E : Elastisite modülü

kg : Kilogram

kN : Kilo Newton

mm : Milimetre

MPa : Megapaskal

P : Yük

ϵ : Şekil değiştirme

ϵ_c : Beton basınç birim şekildeğiştirmesi

σ : Basınç gerilmesi

σ_c : Betonun basınç gerilmesi

δ : Yer değiştirme

Kisaltmalar

AAC : Autoclaved Aerated Concrete (Gazbeton)

CAE : Computer Aided Engineering (Bilgisayar Destekli Mühendislik)

CDP : Concrete Damaged Plasticity (Beton Hasar Plastisite Modeli)

KBM : Kohezif Bölge Modeli

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 3.1. 1975 Lice depremi sonucu duvarlarda oluşan hasarlar (Bayülke 2011).....	6
Şekil 3.2. Yığma yapılarda oluşan duvar hasarları (Çırak 2011).....	6
Şekil 3.3. ASTM E-519 diyagonal kayma deneyi montajları.....	8
Şekil 3.4. Tek eksenli yük altında betonun davranışı a) çekme b) basınç.....	11
Şekil 3.5. Kohezif bölge tanımı	12
Şekil 3.6. Çekme ayrılma davranışı	13
Şekil 3.7. Hasar modları.....	13
Şekil 3.8. Detaylı mikro modelleme	15
Şekil 3.9. Basitleştirilmiş mikro modelleme.....	15
Şekil 3.10. Makro modelleme	16
Şekil 4.1. Duvar numunelerinin imalat aşaması (Sabahoğlu 2022).....	17
Şekil 4.2. Yapıştırıcı harç numuneleri (Sabahoğlu 2022).....	18
Şekil 4.3. Yapıştırıcı harç numunelerinin basınç testleri (Sabahoğlu 2022).....	19
Şekil 4.4. 10×10×20 cm gazbeton numuneleri (Sabahoğlu 2022).....	20
Şekil 4.5. 10×10×10 cm gazbeton numuneleri (Sabahoğlu 2022).....	20
Şekil 4.6. Gazbeton birimlerin boyutları.....	21
Şekil 4.7. Hazırlanan duvar numuneleri (Sabahoğlu 2022).....	21
Şekil 4.8. Deplasman ölçerlerin numune üzerinde yerleşimi (Sabahoğlu 2022).....	22
Şekil 4.9. Mevcut ve imal edilen pabuçlar (Sabahoğlu 2022)	23
Şekil 4.10. Numune üzerine deplasman ölçerlerin yerleştirilmesi (Sabahoğlu 2022)....	24
Şekil 4.11. Dönüştürülmüş eşdeğer gazbeton numunesi oluşturulması.....	25
Şekil 4.12. 20×120×120 cm eşdeğer gazbeton numuneleri, başlıklar ve duvar görüntüsü.....	26
Şekil 4.13. 20×100×100 cm eşdeğer gazbeton numuneleri, başlıklar ve duvar görüntüsü.....	28
Şekil 4.14. 20×75×75 cm eşdeğer gazbeton numuneleri, başlıklar ve duvar görüntüsü.....	30

Şekil 4.15. 20×50×50 cm eşdeğer gazbeton numuneleri, başlıklar ve duvar görüntüsü.....	32
Şekil 4.16. 20×25×25 cm eşdeğer gazbeton numuneleri, başlıklar ve duvar görüntüsü.....	33
Şekil 4.17. Analiz süresi ve yer değiştirme grafiği.....	36
Şekil 4.18. Pabuç-duvar bağlantısı	37
Şekil 4.19. Eşdeğer gazbeton etkileşim yüzeyleri	38
Şekil 4.20. Sonlu elemanlar ağının oluşturulması	39
Şekil 5.1. Duvar numunelerinin analiz sonuçlarına ait yük ve yatay uzama + düşey kısalma grafiği	47
Şekil 5.2. Duvar numunelerinin analiz sonuçlarına ait kayma gerilmesi ve kayma birim şekil değiştirme grafiği	47
Şekil 5.3. 25×25 cm duvar numunesinin deney ve analiz sonuçlarına ait kayma gerilmesi ve kayma birim şekil değiştirme grafiği	48
Şekil 5.4. 50×50 cm duvar numunesinin deney ve analiz sonuçlarına ait kayma gerilmesi ve kayma birim şekil değiştirme grafiği	48
Şekil 5.5. 75×75 cm duvar numunesinin deney ve analiz sonuçlarına ait kayma gerilmesi ve kayma birim şekil değiştirme grafiği	49
Şekil 5.6. 100×100 cm duvar numunesinin deney ve analiz sonuçlarına ait kayma gerilmesi ve kayma birim şekil değiştirme grafiği	49
Şekil 5.7. 120×120 cm duvar numunesinin deney ve analiz sonuçlarına ait kayma gerilmesi ve kayma birim şekil değiştirme grafiği	50
Şekil 5.8. Tüm duvar tipleri için analiz sonuçlarına ait yük ve yatay uzama + düşey kısalma grafiği	57
Şekil 5.9. Tüm duvar tipleri için analiz sonuçlarına ait kayma gerilmesi ve kayma birim şekil değiştirme grafiği	57

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 4.1. Deney gruplarının boyut özellikleri.....	17
Çizelge 4.2. Gazbeton yapıştırıcı harç numunelerin basınç deneyi sonuçları	18
Çizelge 4.3. Gazbeton numunelerine ait basınç deneyi sonuçları	19
Çizelge 4.4. Duvar numune boyutlarına göre LPDT yerleşim ölçüleri	22
Çizelge 4.5. V kesitli plaka boyutları.....	23
Çizelge 4.6. Bilgisayar yazılımında kullanılan birimler	25
Çizelge 4.7. 120×120 cm duvarın eleman boyutları.....	27
Çizelge 4.8. 100×100 cm duvarın eleman boyutları.....	29
Çizelge 4.9. 75×75 cm duvarın eleman boyutları.....	31
Çizelge 4.10. 50×50 cm duvarın eleman boyutları.....	32
Çizelge 4.11. 25×25 cm duvarın eleman boyutları.....	33
Çizelge 4.12. CDP malzeme modelinde kullanılan parametreler	34
Çizelge 4.13. Gazbeton, harç ve eşdeğer gazbeton için kullanılan malzeme parametreleri	35
Çizelge 4.14. Ara yüzey için kullanılan parametreler.....	37
Çizelge 4.15. Ara yüzey genel harç özellikleri için kullanılan hasar başlangıç parametreleri (Damage Initiation).....	38
Çizelge 4.16. Ara yüzey genel harç özellikleri için kullanılan hasar gelişim parametreleri (Damage Evolution) (Bikçe, vd. 2021).....	38
Çizelge 5.1. Deneyi yapılan duvar numunelerinin göçme biçimleri (Sabahoğlu 2022)	41
Çizelge 5.2. Kırılma öncesi ve sonrası Von Mises gerilme dağılımı.....	42
Çizelge 5.3. Kırılma öncesi ve sonrası basınç hasar parametresi (DC)	43
Çizelge 5.4. Kırılma öncesi ve sonrası çekme hasar parametresi (DT)	44
Çizelge 5.5. Kırılma öncesi ve sonrası plastik birim şekildeğiştirme (PE) dağılımı	45
Çizelge 5.6. Kırılma öncesi ve sonrası ara yüzler için maksimum etkileşim gerilme oranı.....	46

Çizelge 5.7. Tüm duvar numunelerine ait kayma gerilmesi ve kayma birim şekildeğiştirmesi değerleri	50
Çizelge 5.8. Tüm duvar numunelerine ait kırılma yükü ve yatay uzama+düşey kısalma değerleri	51
Çizelge 5.9. 40×40 cm boyutlu durum için kırılma öncesi ve sonrası değerleri	53
Çizelge 5.10. 60×60 cm boyutlu durum için kırılma öncesi ve sonrası değerleri	54
Çizelge 5.11. 140×140 cm boyutlu durum için kırılma öncesi ve sonrası değerleri	55
Çizelge 5.12. 160×160 cm boyutlu durum için kırılma öncesi ve sonrası değerleri	56



1. GİRİŞ

İnsan varoluşundan bu yana en önemli ihtiyaçlarından biri de barınma ihtiyacıdır. İnsanlar bu ihtiyacını ilk zamanlar karşılamak için ağaç dalları ve ağaç kütüklerinden yapılar oluşturup burada yaşamışlardır. Zaman geçtikçe gelişen teknoloji ve yapı sektöründeki gelişmeler sayesinde bu ihtiyaç daha dayanımlı, daha modern yapılar oluşmasını sağlamıştır.

Taşıyıcı yapı elemanları doğal taş, gazbeton, tuğla, gibi bloklarla üretilmiş yığma yapılar, dış etkilere dayanıklı malzemelerle üretildiği için, günümüze kadar ayakta kalabilmişlerdir. Yığma yapılar, süneklikleri az, gevrek, çekme dayanımı düşük bir malzeme ile inşa edilmektedir. Taşıyıcı duvarlarının tüm katlarda düşeyde sürekli olmaları etkilerin olumsuz bir durum meydana gelmeden doğrudan temele iletilmesi bakımından önemlidir. Yani bu yapıların taşıyıcı sistemleri basit ve sürekli dir. Yapımında ve dayanımında işçilik önemli bir faktördür.

Yığma yapılar tek bir malzeme ile inşa edilebilmeleri, iş kalemlerinin az olması, düşük maliyetli olması, sürekli geliştiğinden yeni ürünler bulunması yönleriyle tercih edilmektedirler. Önceki yıllarda taşıyıcılık özelliği daha baskın olarak kullanılan bu duvarlar betonarmenin gelişimi ile günümüzde daha çok bölme, izolasyon, estetik, gibi amaçlarla kullanılmaktadır.

Betonarme taşıyıcı sisteme sahip binalarda bölme duvar olarak tuğla dolgunun kullanılması ülkemizde çok yaygındır. Betonarme yapıların davranışlarını belirlemek için yapılan analiz ve tasarımlarında çerçeveler arasında yer alan dolgu duvarlar birçok bilinmeyenin olması nedeniyle hesaba katılmayıp etkisi çoğunlukla göz ardı edilmektedir (Sağlıyan 2018). Yapılan çalışmalar sonucunda dolgu duvarların yapının rijitliğini artırdığı bilinmektedir. Bu duvarlar, uygulandığı yapıların yatay yük kapasitesini değiştirme ve enerji tüketimi konusunda önemli rol oynamaktadır. Bununla birlikte dolgu duvarlar büyük düzlemiçi rijitliklere sahip olmaları nedeniyle bina davranışına yatay deprem yüklemelerinin uygulandığı ilk anlarda önemli pozitif etkiler yaratmaktadır.

Dolgu duvarlı ve dolgu duvarsız binaların serbest titreşim periyot değerleri karşılaştırıldığında dolgu duvarlara sahip olan binaların serbest titreşim periyotlarının çok daha kısa olduğu görülmektedir. Diğer bir deyişle dolgu duvarların binaların yatay rijitliğine önemli ölçüde katkıda bulunduğu ve binadaki burulmaları azalttığı da söylenebilir (Mert 2015). Bu sebeplerden kaynaklı olarak bina davranışına katkısı olan bu duvarların davranışının anlaşılması dayanımlarını değerlendirmek ve performanslarını arttırıp daha modern yapılar oluşturabilmek için büyük önem arz etmektedir.

Son yıllarda dolgu duvarların sayısal modelleme yöntemlerinde önemli bir derecede artış olduğu gözlemlenmektedir. Modellemede aşamasında en önemli amaç yapıyı gerçeğe en yakın şekilde analiz etmektir. Yığma yapıların modellenmesinde çeşitli yöntemler mevcuttur. Modeli yapılacak olan yapının özelliklerine göre bu yöntemler seçilebilir. Bu modelleme yöntemleri; Basitleştirilmiş mikro modelleme, detaylı mikro modelleme ve makro modelleme yöntemidir. Detaylı mikro modelleme yönteminde duvarı oluşturan tuğla ve harç birimleri ayrı ayrı modellenir. Bu birimlere ait veriler modele yansıtılır. Basitleştirilmiş mikro modelleme yönteminde duvarı oluşturan tuğla ve harç birimlerinden harç, tuğlalar arası hacimsiz ara-yüz elemanları olarak davranışa

katkısı elde edilmeye çalışılır. Makro modelleme yönteminde ise tuğla harç birimleri bir bütün olarak düşünülür. Tek bir parça olarak modellenir.

Yığma duvarlar taş, tuğla, gazbeton gibi esas duvarı oluşturan boşluklu ve mukavemeti düşük birimlerle birlikte bu birimler arasındaki bağlantıyı, bütünlüğü ve yük aktarımını sağlayan harç malzemesinden oluşmaktadır. Yığma duvarları oluşturan bu iki birim birbirinden farklı mekanik özelliklere sahip olup, bu malzemeleri modellemek için kapsamlı bir modelleme yöntemi gerekmektedir. Yığma duvarları oluşturan birimlerin davranışını yansıtabilmek için sıklıkla tercih edilen, yarı kırılğan malzemelerin modellenmesinde kullanılan, bünyesel modellerden biri de plastisite tabanlı hasar modeli olan CDP (Concrete Damage Plasticity) bünye modelidir. Bu malzeme modeli için gerekli olan plastik parametrelerin en uygun şekilde seçilmesi davranışı doğru olarak yansıtması ve elde edilecek sonuçların doğruluğu açısından büyük bir önem arz etmektedir.

Bu tez çalışmasında, deneysel çalışması literatürde yer alan farklı boyutlardaki gazbeton duvarların bilgisayar ortamında doğrusal olmayan sayısal analizi ABAQUS sonlu elemanlar yazılımında gerçekleştirilmiştir. Duvarlardaki kırılma biçimi, taşıdığı yükler, yaptığı deplasmanlar boyut etkisi yönünden karşılaştırmalı olarak irdelenmiştir. Böylece, bilgisayar modelinin doğruluğu boyut etkisi altında kontrol edilmiş ve kullanılan modelleme tekniği idealize edilmiştir. Deneyi yapılmayan ara durumlar için de ilave modeller oluşturulmuştur. Deneysel çalışma sonuçlarıyla doğrusal ötesi davranışa ait bulgular karşılaştırılmış ve yorumlanmıştır.

2. KAYNAK TARAMASI

İnsan varoluşundan günümüze kadar gelen süreçte ülkemizde barınma ihtiyacında en çok kullanılan yapılardan biri de yığma yapılardır. Yığma yapılar bu sebeple mühendislik tarihinde önemli bir konumdadır. Duvarlar yığma yapılarda taşıyıcı konumda olup, mühendisler yığma yapıları tasarlarken farklı modelleme yöntemleri ile bu duvarlara gelen etkileri belirlemeye çalışmışlardır.

Lourenco (1996), yaptığı çalışmada yapının yükleme biçimlerine uygun çözüm teknikleri ve bünyesel modeller geliştirmeyi amaçlamıştır. Yığma yapıların basit mikro model tekniği kullanılarak modellenmesi konusunda önemli çalışmalar ortaya koymuştur. Ayrıca yığma birimler arasında ara yüzey elemanlar kullanarak modelleme yapmıştır.

Buhan ve Fellice (1997), yaptıkları çalışmada yığma yapının kırılma anını modellemek için sürekli ortam modeli önermişlerdir. Burada ilgili malzeme modeli homojenize edilmiş düzgün olarak dağılmış birim eleman harç ile ayrılmış bir şekilde belirtilmiştir. Eşdeğer ortama dönüştürülen duvardaki harç için belirlenmiş olan kohezyon ve içsel sürtünme açısı ile göçme değerleri tespit edilmiştir. Bu çalışma neticesinde harç özellikleri ve tuğla geometrisini gerektiren bu pratik yaklaşımın oldukça önemli olduğu belirtilmiştir.

Van Zijl vd. (2001), yığma duvarların kesme ve basınç etkisinde davranışları araştırılmıştır. Elde edilen deney verileri basitleştirilmiş mikro modelleme tekniğinde kullanılmıştır. Bu sayede tuğla ve harç elemanlarının elastik ötesi davranışı modellenmiştir. Elde edilen analiz sonuçları ile deneysel çalışma verileri yorumlanmıştır.

Formica, vd. (2002), yaptığı çalışmada yığma duvarlarda ayrık model analiz yapmışlardır. Çalışma neticesinde deneysel ve sayısal çalışmalarda farklılıklar ortaya çıkmıştır. Modellemede tuğlalar rijit, harç elemanı ise ara yüzey eleman olarak tanımlanmıştır. Hasarların ara yüzeyde olduğu tespit edilmiştir. Modeli tanımlamak için yer değiştirme, çatlamalar, şekil değiştirme, gerilmeler ve yüklere bağlı kalınmıştır.

Berto vd. (2005), incelemelerinde mikro modelleme tekniğini geliştirmeye çalışmışlardır. Öyle ki, iki ve üç boyutlu analizlerle yığma duvarların eksenel basınç altındaki davranışını sonlu elemanlar analizi yoluyla incelemişlerdir. Bunun için zayıf harç/güçlü tuğla ve güçlü harç/zayıf tuğlaya göre parametreleri tercih ederek modelleme gerçekleştirmişlerdir.

Chaimoon ve Attard, (2007), araştırmalarında basitleştirilmiş mikro modelleme için blok ve harcı ayrı seçerek modelleme yapmışlardır. Modellemede harç elemanlarının bağlantı kurabilmesi için kalınlığı sıfır olan enterfaz elemanlar tercih edilmiş, tuğla boyutları ise geometrik düzeni bozmayacak biçimde genişletilerek ölçülendirilmiştir. Modellemede betonda kullanılan varsayımlarda özellikle çekme gerilmelerini belirten bağıntıyla birlikte basınç kırılmasını destekleyecek bağıntılar kullanılmıştır. Bunlarla birlikte, enterfaz elemanı tanımlarken elemanın davranışında yumuşama oluştuğunda, sonlu eleman birimi içindeki malzeme doğrusal elastik kabul edilmiştir. Doğrusal olmayan özelliklerin tamamının enterfaz elemana bağlandığı kabulü yapılmıştır.

Yıldırım (2007), yığma yapı elemanlarında izotropik hasar modeli için sonlu elemanlar yönteminin kullanılması araştırılmıştır. Literatürdeki araştırmalara bağlı kalınarak blok, harç ve dolgu malzemeleri ele alınarak LUSAS programında 3 boyutlu sonlu elmanlar modeli uygulanmıştır. Kırılma kriteri olarak Drucker-Prager ve izotropik hasar modeline tercih edilmiştir. Laboratuvarda oluşturulan eksenel yük altında içi boş ve dolu prizmalarda deneysel çalışma yapılmış ve analizler uygulanmıştır. Bu çalışmada içi dolu ve boş prizmaların basınç dayanımı tahmini için parametreler önerilmiştir.

Banadaki vd, (2008), Mikro modellemede her eleman gerçek konumunda gösterilmiştir. Ara yüzler, bitişik blok yüzeyine bağlanmıştır. ABAQUS yazılımında, ara yüzleri temsil etmek için kontak elemanlar kullanmıştır. Yükleme sonrası çatlakların elde edilmesi için kırılma kriteri olarak Mohr-Coulomb kullanılmıştır. Malzeme parametrelerinden eleman boyutları, yoğunluk, elastisite modülü ve sürtünme katsayısı değerleri modelin analiz sonuçlarını değiştirmiştir. Modellemede her zaman adım aralıkları sınırlı tutulmuş ve büyütülmemiştir. Analiz sonucunda da gerçek yapılarıdaki hasara benzer hasarlar elde edilmiştir.

Foytong vd, (2016), ASTM C1314-14 standardına göre basınç deneylerine göre tuğla türleri ve duvar prizmalarını incelemişlerdir. Harman tuğlası, boşluklu tuğla ve hafif bloklar gibi farklı tuğla türleri tercih edilmiştir. Bu malzemelerin dayanımları karşılaştırmıştır. Tuğlarla üretilen dolgu duvarlara yanal itme uygulanmıştır. İçi dolu kil tuğladan üretilen duvarın dayanımı hafif tuğlayla üretilen duvarın dayanımından beş kat daha fazla elde edilmiştir. Hafif tuğladan üretilen duvar en zayıf duvar olmuştur. Basınç dayanımı yüksek tuğlayla üretilen duvarların enerji potansiyeli daha fazladır.

Zengin (2018), yaptığı çalışmada, dört değişik dayanıma sahip tuğla cinsi ve iki değişik dayanıma sahip harç kullanılmıştır. Farklı tuğla örülmesinin de dikkate alındığı numune üretimi esnasında 3 farklı harç kalınlığı da gözetilerek 24 adet duvar numunesi hazırlanmıştır. Duvarlar laboratuvar ortamında, yatay ve düşey yükler altında teste tabi tutulmuştur. Test sonucunda, duvarlarda oluşan hasarlar ve duvarların yatay yer değiştirmeleri kayıt alınmıştır. Diğer yandan farklı derz kalınlığı ve farklı malzemelerin birbiriyle ilişkisi elde edilmiş, bu verilerin duvarların mekanik özelliklerine etkisi yorumlanmıştır.

Aktan (2016), çalışmasında düzlem içi yükler etkisindeki yığma duvarların bünyesel modelleme tekniğini önermiştir. Deneysel ve teorik çalışmalar yapmıştır. Malzeme parametrelerini geliştirebilmek için yığma duvarlarda kullanılan malzemelerin mekanik deneyleri yapılmıştır. Duvar için elasto-plastik hasar mekaniği türetilmiştir. Böylece, duvarın gerilme birim şekildeğiştirme davranışı tanımlanmıştır.

Jafarov (2012), yaptığı çalışma ile lifli polimer kullanılarak güçlendirilmiş elasto plastik davranış gösterdiği kabul edilen yığma duvarların sonlu elemanlar yöntemiyle doğrusal olmayan analizini yapılmıştır. Bu çalışma için önceden çalışılmış deney ve analizlerden faydalanmıştır. Bu duvarlar, yalın, boşluklu ve güçlendirilmiş 17 (on yedi) duvar kullanmıştır. Modelleme yapılırken Drucker-Prager kırılma kriterini tanımlayabilmek için kohezyon ile sürtünme açısı hidrostatik basınca bağlı olarak kullanılmıştır. En büyük çatlak genişliğini elde edebilmek için kırılma tanımlanırken kriterler kullanılmıştır. Örnek duvarlara bu veriler uygulanmıştır. Bunun sonucunda hasarlı ve hasarsız duvarlar lifli polimer güçlendirilmiş ve kuşatma etkisi olan ve olmayan

olarak maksimum asal şekil değiştirme kriteriyle deneysel analize yakın sonuçlar elde edilmiştir.

Oliveira (2003), tezinde Von-Misses kırılma teoremi kullanılarak Plastik hasar modeli ve hasar durumundaki şekil değişimleri elde edilmiştir. Bunun için, hasar durumuna bağlı oluşan kırılmalarda oluşan basınç ve çekme parametreleri kullanılmıştır. Çalışmanın deneysel verileri, duvarların çatlak şekilleri, sayısal modelden elde edilen yük-yer değiştirme eğrileri ve hasar durumları araştırılmıştır. Deneysel ve sayısal modelleme çalışmaları yapılmıştır. Çevrimsel yükleme altında bloklı duvar davranışının çözümlemesi amaçlanmıştır. Numuneler üzerine tek eksenli ve çevrimsel şekil değiştirme kontrol testi uygulanmıştır. Analiz için mikro modelleme tekniği kullanılarak DIANA sayısal programı kullanılmıştır. Sayısal model ve deneysel sonuçlar arasında denge olduğu kanısına varılmıştır.

Luca, (2008), yaptığı çalışmada duvar elemanlarının doğrusal olmayan analizi için bir "Sürekli Hasar Mekanizması" modeli bağıntısı üzerinde çalışmıştır. Malzeme makro modelleme ile incelenmiştir. Gerilim ve basınç için ayrı hasar kriterleri belirlenmiş ve hayali alanı "izotropik" olarak tanımlamıştır. Sayısal çalışma vasıtasıyla düzlemsel yükleme altında yığma duvarın davranışı elde edilmiştir.

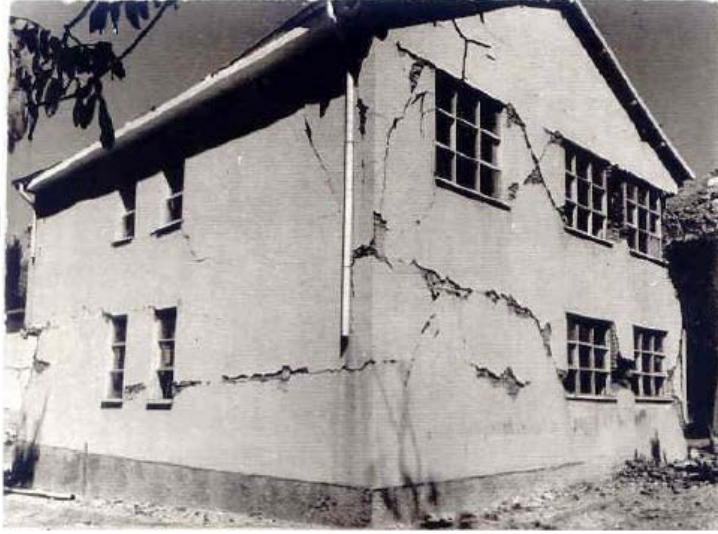
Sabahoğlu (2022) yaptığı çalışmada ASTM E-519 standardında belirtilen numune boyutunun dışına çıkarak, farklı boyutlardaki gazbeton duvar numunelerinin dayanımlarını deneysel olarak incelemiştir. Küçük boyutlu numune kullanımının kayma dayanımı üzerindeki etkisi incelenmek üzere, aynı kalınlıktaki gazbeton bloklarından, 25x25 cm, 50x50 cm, 75x75 cm, 100x100 cm ve 120x120 cm, 'lik diyagonal kayma testi için duvar numuneleri üretilmiştir. Farklı boyutlardaki numunelerden deneysel olarak elde edilen kayma dayanımları, ASTM E-519'a göre üretilen 120x120 cm'lik numuneler ile karşılaştırılmıştır. Çalışma sonucunda gazbeton duvar panellerinin diyagonal kayma dayanımı ve kırılma yükü değerleri elde edilmiştir. Elde edilen veriler ile numune boyutuna göre değerlerin değişimi verilmiştir.

Yılmaz (2010) çalışmasını iki ayrı tez çalışması şeklinde yürütmüştür. Birinci tez çalışmasında aynı boyutlara sahip numunelerde harç tipinin etkisi incelenirken, ikinci tez çalışması olan çalışmanın ana konusu ise aynı harç tipiyle hazırlanmış duvar numunelerinde boyut etkisini araştırmaktır. 1/3 ölçekli özel üretim fabrika tuğlaları ile hazırlanan toplam 36 adet duvar numunesi deneye tabi tutulmuştur. Deneysel çalışma sonucunda, duvar boyutunun artması ile numunelerin basınç ile kayma dayanımının ve deformasyon yeteneğinin azaldığı, güçlendirmenin ise numune basınç dayanımı, kayma dayanımı, enerji yutma özelliği ve şekil değiştirme özelliğini arttırdığı görülmüştür.

3. MATERYAL VE METOT

3.1. Giriş

Yığma yapılarda taşıyıcı sistemi oluşturan ana malzemelerin gevrek olması sebebiyle bu tür yapıların özellikle deprem gibi yıkıcı bir yatay etki altında oluşturduğu tepki hayati bir önem taşımaktadır. Özellikle kırsal yerleşim alanlarında tercih edilen yığma yapılar ülkemizde sıklıkla tercih edilmektedir. 1975 yılı Lice depreminde duvarlarda oluşan hasarlar ve diğer duvar hasarları sırasıyla Şekil 3.1,2’de verilmiştir.



Şekil 3.1. 1975 Lice depremi sonucu duvarlarda oluşan hasarlar (Bayülke 2011)

Yığma yapıları oluşturan bileşenlerden tuğla, taş, gazbeton gibi elemanların çekme dayanımı, bu elemanların bağlayıcısı olan harç ise kayma dayanımı düşük yapı elemanlarıdır. Bunların etkisi ile yığma yapıları kesme kuvveti etkisine karşı zorlayan depreme karşı zayıf dayanım göstererek duvarlarda çatlaklara, temelde oturmalara ve hatta gevrek bir yıkım oluşabilir.



Şekil 3.2. Yığma yapılarda oluşan duvar hasarları (Çırak 2011)

3.2. Gazbetonun İncelenmesi

Günümüzde enerjinin önemi tüm insanlık tarafından bilinmektedir. Ülkemizde enerji harcamalarının önemli bir kısmı, ısınma amacıyla yapılmaktadır. Yapılarda ısı geçirgenliği düşük duvar malzemesi kullanarak enerji tasarrufu sağlanabilmektedir. İlk olarak 1889 yılında harç içerisinde gözenekler oluşturabilen katkı malzemeleri ile üretilen, 1920 yılında ise İsveç'te bugünkü halini alan ısı geçirgenliği düşük bu malzeme gazbetondur. Gazbeton ülkemizde ilk olarak 1950'li yıllarda kullanılmıştır.

Gazbeton malzemesi hammadde olarak kuvarsit, çimento ve kireçten oluşmaktadır. Bu malzemelere ek olarak gözenek oluşturuç alüminyum ilave edilerek gazbeton harcı üretime hazır hale getirilir. Gazbeton boşluklu yapısı sayesinde yoğunluğu 300 – 800 kg/m³ arasında değişen, boşluksuz yoğunluğu 2600 kg/m³ olan bir yapı malzemesidir. Bu malzeme üretim sınıfına bağlı olarak %70-88 arasında değişen gözenek oranına sahiptir. Gözenekler gazbetonun hafifliğini sağlamakla birlikte ısı iletim katsayısı çok düşük olan hava yardımıyla çok iyi bir yalıtım özelliğine sahiptir.

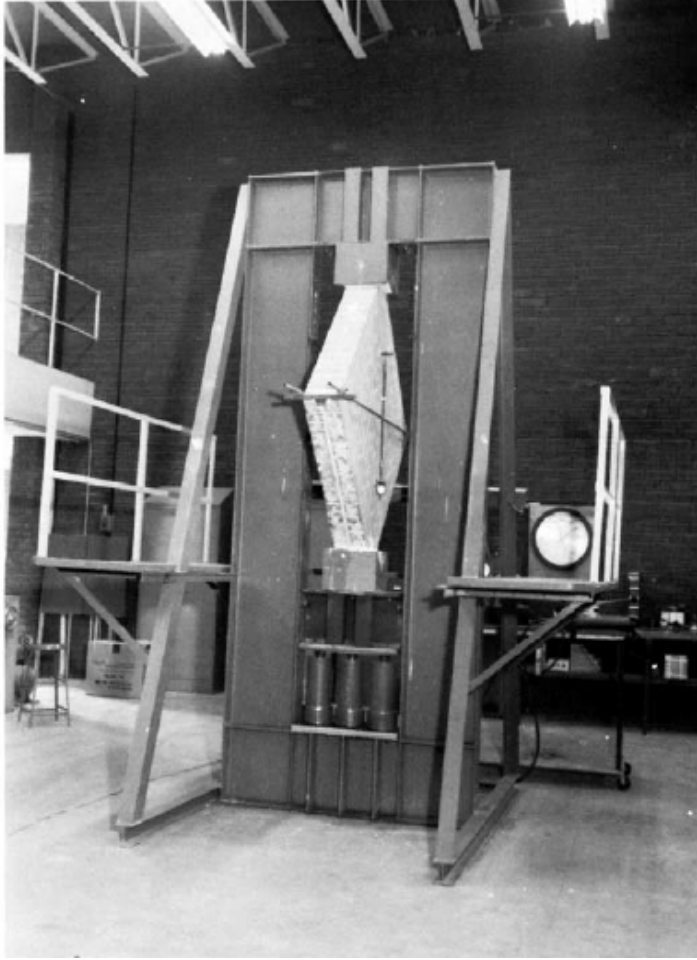
Gazbeton, dünya üzerinde çeşitli isimler altında tanınmaktadır. Bunlar "Otoklavlanmış Hava Karıştırılmış Beton (AAC)", "Otoklavlanmış Hücreli Beton (ACC)", "Otoklavlanmış Beton", "Hücreli Beton", "Gözenekli Beton" şeklinde sıralanabilir (Karaaslan 2009). Gazbeton hafif yapısı sayesinde deprem güvenliği, yanmazlık özelliği sayesinde yangın güvenliği sağlamakla birlikte nakliyede ve işçilikte de önemli bir oranda tasarruf sağlamaktadır. Bu sebeplerden dolayı kullanımı oldukça yaygındır. Her tip konutta, turistik ve sosyal tesislerde, ticari ve sanayi yapılarında kullanılmaktadır.

3.3. ASTM E-529 Diyagonal Kayma Deneyi

Yığma duvarlar derzlere dik basınç kuvveti alırken, bir yandan da deprem gibi yatay kuvvetlere de maruz kalmaktadır. Bu koşullar altında duvar iki eksenli gerilme etkisindedir. Yığma duvarların kayma gerilmeleri duvarı oluşturan tuğla ve harç birimi arasındaki kenetlenme ile alakalıdır.

Yığma duvarların farklı malzeme, yöntem ve işçilik gibi değişen şartlar altında aldıkları hasarların anlaşılması ve elde edilen olumlu sonuçların uygulanması, olumsuz sonuçların ise geliştirilerek uygulanabilir hale getirilebilmesi için farklı deney uygulamaları yapılmakta, duvarlar ve duvarları oluşturan birimler değerlendirilmektedir. Bu deneylerden "American Society for Testing and Materials" tarafından geliştirilen ASTM E-519 diyagonal kayma deneyi detayları açıklanmıştır.

Deney yapılırken laboratuvar ortamında yeterli donanımına sahip deney elemanları bulunması gerekir. Diyagonal kayma deneyinde duvara iki adet potansiyometre adı verilen deplasman ölçer (LVDT) yerleştirilir ve duvar diyagonal yük alacak şekilde yükleme pabuçları arasına yerleştirilir. Yükleme pabuçları yükün duvara doğru bir şekilde aktarılmasını sağlamaktadır. Duvarın deney sırasında hareket etmemesi için yan takviyeler (rijitleştirici) yardımıyla sabitlenmiş olup, deney sırasında düzlem dışı yer değiştirmeler engellenmektedir. Duvar yerleştirilirken en önemli nokta duvar elemanının üst ve alt pabuçları ortalayacak şekilde yerleştirilmesidir. ASTM E-519 diyagonal kayma deneyi montajları Şekil 3.3'te verilmiştir.



Şekil 3.3. ASTM E-519 diyagonal kayma deneyi montajları

Pabuçlar arasına yerleştirilen duvar numunesinde düşeyde ve yatayda oluşan uzama ve kısaltmaların yani deformasyonların ölçümünde kompresometre ve ekstansometre kullanılmaktadır. Yükleme yük piston ile yapılır ve aralıksız olarak devam eder. Yükleme çıktıları (duvarın yaptığı deformasyon ve taşıdığı yük) bilgisayar ortamında düzenli bir şekilde kaydedilmektedir.

Bu test standardı ile duvar numunelerinin kayma gerilmesi ve kayma şekil değiştirmesi hesaplanmaktadır. Test sırasında kaydedilen veriler ile kayma gerilmeleri (3.1)'e göre hesaplanmaktadır. Kayma gerilmesi hesabı için gerekli A_n duvarın net alanı hesabı (3.2)'de verilmiştir.

$$\tau = \frac{0.707 \times P}{A_n} \quad (3.1)$$

$$A_n = \frac{w + h}{2} t_n \quad (3.2)$$

Bu bağıntılarda kullanılan P , duvara uygulanan kuvvet, A_n , duvarın net alanı, w , numune genişliği, h , numune yüksekliği, t , numune genişliği, n ise duvar panelinin katı

olan brüt alanının yüzdesidir. Duvarın kayma şekil değiştirmesi (3.4)'te, kayma modülü ise (3.3)'te verilmiştir.

$$G = \frac{\tau}{\gamma} \quad (3.3)$$

$$\gamma = \frac{(\Delta x + \Delta y)}{g} \quad (3.4)$$

Bu bağıntıda kullanılan Δx , yatay uzama, Δy , düşey kısalma, g , yüklemeye paralel yöndeki ölçü uzunluğu, G ise kayma modülüdür.

3.4. TS EN 1996-1-1 Standardı İncelemesi

Yığma yapı tasarımının daha iyi gerçekleştirilmesi ve tasarım kurallarının deprem ve diğer etkilere karşı daha doğru olması amacıyla ülkemizde ve dünyada birçok yönetmelik ve standart kullanılmaktadır. Bu amaçla ülkemizde yürürlüğe girmiş olan, yığma yapılar hakkındaki son standart TS EN 1996-1-1'dir. Bu standart Avrupa'da kullanılmakta olan Eurocode-6'nın dilimize çevrilmiş halidir.

Ülkemizde önceki dönemlerde uygulaması yapılmayan donatılı, donatısız ve öngermeli yığma yapılar bu standartla birlikte uygulama imkanı bulmuştur. Yığma yapıların deprem davranışlarına ilişkin herhangi bir bilginin bulunmadığı bu standartta, yığma sistemler tanıtılmakta, yapı malzemelerinin özellikleri belirtilmekte ve yığma yapıların yapım kuralları anlatılmaktadır (Batur 1999).

Yığma yapılar ile ilgili düzenleniş olan Avrupa Birliği Yapı Standardı Eurocode-6'dır. Bu standardın birinci bölümü donatılı ve donatısız yığma yapılar için genel kurallar ve yapısal yangın tasarımını içermektedir. Bu bölümün detaylarında çeşitli tanımlamalar, malzemeler, dayanıklılık, taşıma gücü gibi detayları kapsayan bilgiler verilmiştir. Diğer bölümlerde ise donatısız yığma yapılar için genel, basit tasarım kuralları, uygulamayla ilgili esaslar verilmiştir.

3.5. Uluslararası İnşaat Malzemeleri, Sistemleri ve Yapıları Laboratuvarları ve Uzmanları Birliği (RILEM)

RILEM (Réunion Internationale des Laboratoires et Experts des Matériaux, systèmes de construction et ouvrages), inşaat malzemeleri ve yapıları hakkında bilimsel bilgiyi ilerleterek iş birliğini teşvik etmek amacıyla 1947 yılında kurulmuş, şu an 90 ülkeyi kapsayarak dünya çapındaki faaliyetlerine devam eden bir kuruluştur. Kuruluş bilimsel çalışmalarını akademisyenler, araştırmacılar, test laboratuvarları ve yetkililer de dâhil olmak üzere inşaat pratiği ve bilimin önde gelen uzmanlarının iş birliği ile gerçekleştirmektedir.

Yapılan çalışmaların amacı inşaatı kapsayan işleri sürdürülebilir, güvenli ve iyileştirilmiş performansa dayalı hale getirmektir. Bu amaç doğrultusunda komite, sempozyum ve konferanslar düzenleyip, çalışma konusu dâhilinde bildiriler ve belgelendirmeler yayınlamaktadırlar.

3.6. Sonlu Elemanlar Yazılımı

ABAQUS sonlu elemanlar yazılımı ile çalışan bilgisayar destekli bir mühendislik yazılım paketidir. Bu yazılım paketi gerçekçi modeller ve detaylı çözümler yapma imkânı sağlamaktadır. İçeriğinde farklı malzeme modelleri ve paket olarak analiz tiplerinden oluşmaktadır. Bu çalışmada yapılan analizlerde, Explicit yazılımı deneme analizleri sonucunda seçilmiştir.

ABAQUS/Explicit dinamik olayları modellemek için uygundur. Özellikle doğrusal olmayan davranışları faydalı bir şekilde ele alma özelliği mevcuttur. Geometri, malzeme ve sınır şartlarından kaynaklanan lineer olmayan etkiler analizlere dâhil edilebilmektedir.

Deneyi literatürde mevcut olan duvar numunelerinin sayısal modelleri sonlu elemanlar yazılımında oluşturulmuş, deneysel davranışlarından yararlanılarak kalibrasyonları yapılmıştır. Modellerin hazırlanmasında, literatürde mevcut olan modelleme teknikleri ve yaklaşımları kullanılmıştır. Sonlu elemanlar yöntemi son yıllarda dolgu duvarların modellenmesinde sıklıkla kullanılmaktadır.

Sonlu elemanlar yönteminin amacı elimizdeki kompleks bir yapının küçük parçalara bölünerek daha basit ve anlaşılır parçalar elde edilip çözümün daha pratik ve kolay hale gelmesini sağlamaktır. Elemanın parçalara ayrılması işleminden sonra basitleştirme ihtiyacı oluşmaz ve bu durum istenilen geometride bir eleman için kullanılmasını sağlamaktadır. Ayrıca bu yöntem birçok yazılımda (ANSYS, ABAQUS, vb.) mevcuttur. Fakat sonuç verileri yaklaşık veriler olduğu için elde edilen bulgular kontrol edilmelidir.

3.7. CDP (Concrete Damage Plasticity) Malzeme Modeli

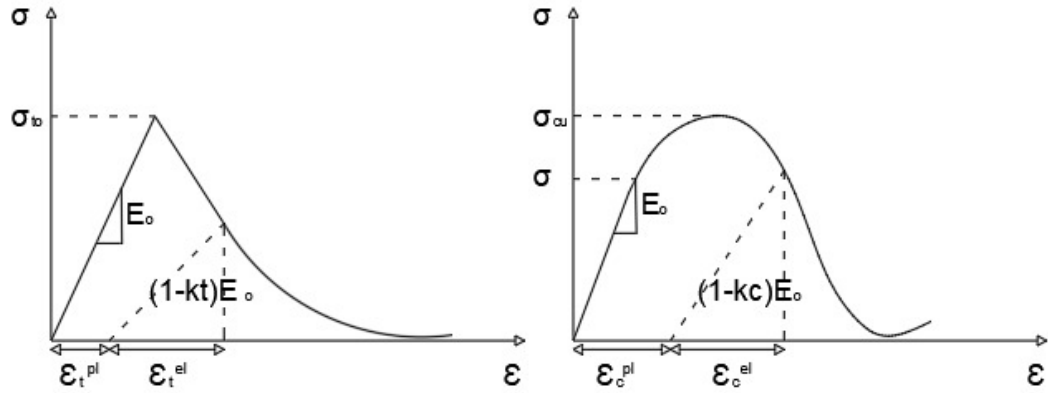
Bir bütünün modellenmesi aşamasında, bütünün davranışının en gerçekçi sonucu vermesi için parçaların özelliklerinin en doğru şekilde sisteme tanıtılması şarttır. Bu tez çalışmasında bahsedilen parçalardan biri gazbeton elemanıdır. Bilgisayar yazılımında mevcut olan ve kırılğan, gevrek davranışı en iyi temsil eden malzeme tanımlamalarından biri Concrete Damage Plasticity (Beton Hasarlı Plastisite) malzeme modelidir.

Gazbeton elemanının doğrusal olmayan davranışının temsil edilebilmesi için CDP malzeme modeli kullanılmıştır. Bu model ile ilgili yapıya bir doğrultuda yüklemenin sürekli artarak uygulanması anlamına gelen monotonik yükleme altında elastik ötesi davranışının tanımlanması yapılmıştır.

CDP modeli, malzemenin ilk çatlaklarının başladığı elastik kısım ile bu kısımdan sonra gelişen plastik kısmın tanımlanmasını başarılı bir şekilde sağlamaktadır. Plastisite tabanlı bu model Lubliner vd., ile geliştirilmiştir. Modellemede oluşabilecek hasarı tanımlamak için çekme kırılması ve basınç ezilmesi olmak üzere iki ana parametre esas alınmıştır (Lubliner vd., 1989). CDP ile malzeme davranışı, tanımlanan akma yüzeyi, plastik potansiyel ve pekleşme kuralı ile belirlenmektedir (Erdem 2021).

CDP malzeme modeline göre tek eksenli gerilme altında, gerilme şekil değiştirme verileri σ_{to} 'ya kadar doğrusal elastik bir ilişki izlemektedir. Çekme dayanımına ulaşıldığında ise ilk çatlakların oluştuğu varsayılmaktadır. Çekme dayanımı aşıldıktan

sonra da ilk oluşan mikro çatlaklar ilerlemektedir. Tek eksenli yük altında betonun çekme ve basınç davranışı Şekil 3.4'te verilmiştir.



Şekil 3.4. Tek eksenli yük altında betonun davranışı **a)** çekme; **b)** basınç

CDP'nin modelinde pekleşme ve yumuşama davranışlarını tanımlayan basınç ve çekmedeki tek eksenli gerilme birim şekildeğiştirme davranışı laboratuvar testleriyle elde edileceği gibi, literatürdeki gerilme birim şekildeğiştirme bağıntılarıyla da tanımlanmaktadır. Ancak araştırmacılar laboratuvar imkânlarının kısıtlılığından dolayı genellikle matematiksel bağıntıları tercih etmektedir (Erdem 2021). Bu çalışmada malzemenin tek eksenli çekme ve basınç altında gerilme birim şekildeğiştirme davranışı Domingo J.Carreira ve Kuang-Han Chu tarafından önerilen matematiksel bağıntılar ile elde edilmiştir.

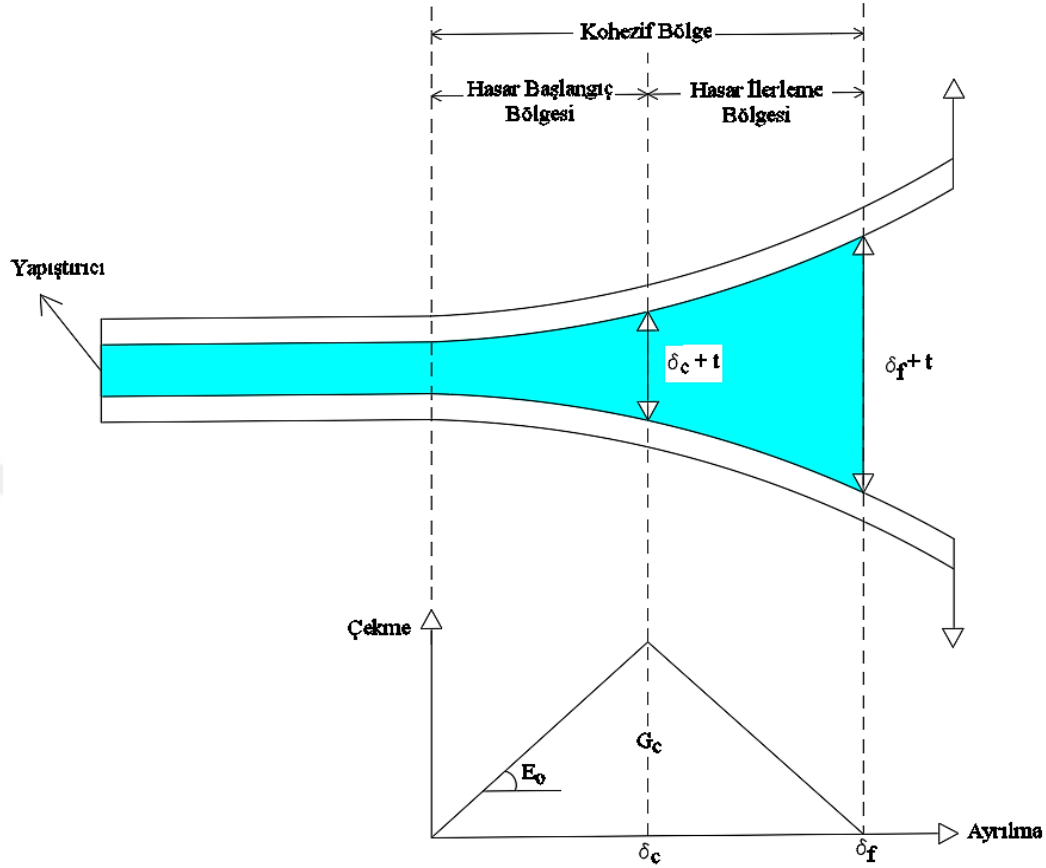
3.8. Kohezif Bölge Modeli (KBM)

Tuğla, gazbeton vb. malzemelerin harç, gazbeton yapıştırıcı vb. farklı özelliklerdeki malzemeler kullanarak birleştirilmesiyle oluşturulan dolgu duvarlarda harç malzemesi dolgu duvarın dayanımında önemli bir rol oynamaktadır. Birim tuğla, gazbeton vb. malzemeleri birbirleriyle birleştiren harç malzemesini sonlu elemanlar modeli kullanılarak farklı sayısal modelleme (mikro, makro ve basitleştirilmiş mikro model) teknikleri ile modellenenmektedir.

Bu tez çalışmasında basitleştirilmiş mikro modelleme tekniği kullanılarak harç, birleştirici malzemesi, bir ara yüzey elemanı olarak modellenmiştir ve yük etkisi altında harcın özelliklerini modele yansıtabilmek için kohezif bölge modeli tekniği kullanılmıştır. Kohezif bölge modeli tekniği, malzeme ve ara yüzey özellikleri dikkate alınarak geliştirilen aynı malzeme içerisinde veya farklı malzemelerin ara yüzeylerinde hasar büyümesini modele yansıtmaya kabiliyetine sahip bir tekniktir. KBM tekniğinde kullanılan ara yüz elemanları fiziksel bir malzemeyi temsil etmez. Bu nedenle sonlu elemanlar modelinde ara yüz elemanı olarak modellenen harç kalınlıksız, yüzey, olarak modellenmektedir.

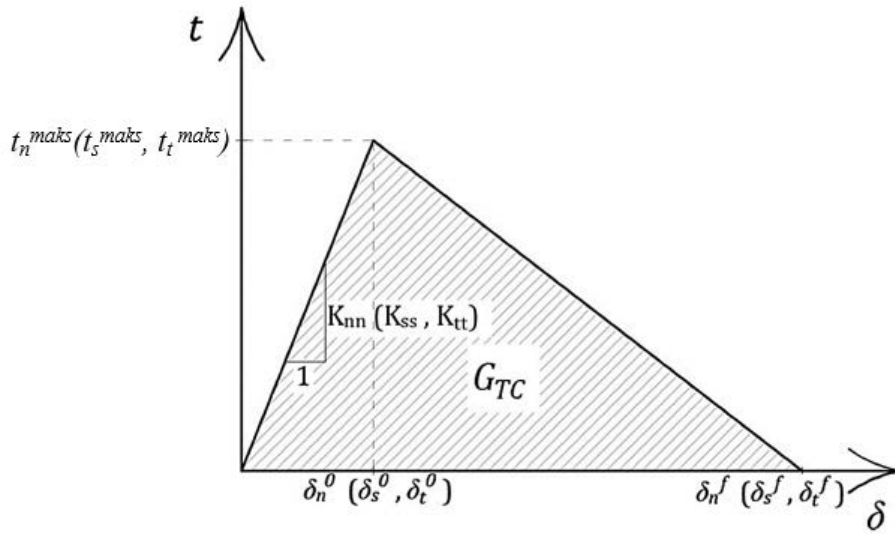
KBM tekniğinde, yapının yüklenmesi ile iki yüzey arasındaki bağlarda yumuşama ve çatlaklar ile hasar oluşur. Hasar oluşumu sonrasında iki yüzey arasındaki bağların bir anda kopması yerine kademeli olarak dayanımının azalması ve ara yüzlerin birbirinden ayrılması temeline dayanmaktadır. Bundan dolayı kohezif bölge modeli gerilme şekil

değiştirme ilişkisi yerine ara yüzdeki çekme-ayrılma ilişkilerini kullanarak kırılma mekanizmasını devreye sokan bir tekniktir. Kohezif bölge tanımı Şekil 3.5'te verilmiştir.



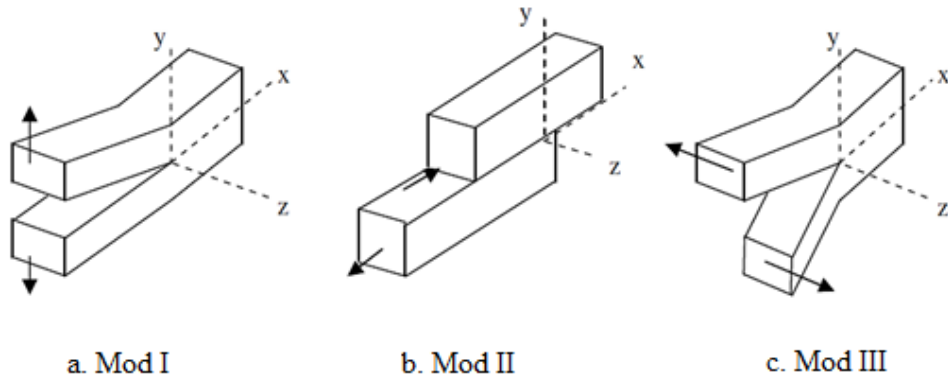
Şekil 3.5. Kohezif bölge tanımı

Kohezif bölge modeli tekniğinde çekme-ayrılma (traction-separation) kanunu temel olarak iki bölgede incelenmektedir. Birinci bölge, başlangıç noktasından hasara kadar olan bölgedir. Bu aralık yapının rijitliğidir ve tepe noktaları, t_n^{maks} (normal) veya t_s^{maks} , t_t^{maks} (kayma) olana kadar doğrusal-elastik davranış sergilediği bölgedir. Bu bölgenin sonunda hasar başlangıcını tanımlayan gerilmelere ulaşılmaktadır. İkinci bölge, malzemedeki hasar başlangıcı ve kopma noktası arasındaki rijitlik azalmalarını ve elastik bozulmaları incelediği bölgedir. Eğrinin en üst noktasından, hasar başlangıcından, itibaren yer değiştirme sürekli artmaya devam ettikçe malzemedeki elastik davranış (çekme) yerini ayrılmaya bırakmaktadır. Bu bölge kontak yüzeyinde gerçekleşecek olan hasarın ilerleme davranışını ifade etmektedir. Çekme ayrılma davranışı Şekil 3.6'da verilmiştir. Bu hasarın ilerlemesi ara yüzdeki ayrılmalar ile ifade edilebildiği gibi, kırılma enerjisi üzerinden de ifade edilebilir.



Şekil 3.6. Çekme ayrılma davranışı (Abdulla 2017)

Kırılma enerjisi üç temel kırılma, modlarına Mod I, Mod II ve Mod III dayanmaktadır. Hasar modları Şekil 3.7’de verilmiştir. Bu hasar modları, çatlak ilerlemesi ile normal doğrultuda Mod I ve kayma doğrultusunda Mod II oluşturmaktadır. Bu çalışmada yapılan modellerde duvar derzlerinin mekanik özelliklerinin her iki kayma doğrultusunda da eşit olduğu (Mod II = Mod III) varsayılmıştır. Bu hasar modlarına bağlı kırılma enerjisi için enerji yayılım hızı “ G ” kullanılır. Hasar modları için kırılma enerjisi çekme-ayrılma davranışının altında kalan alandır.



Şekil 3.7. Hasar modları

Çatlak açılma deformasyonu (Mod I), gerilmenin normal bileşeni çatlak yüzeyine dik, “ y ” eksenı doğrultusunda, çekme gerilmesidir. Çatlak kayma deformasyonu (Mod II), gerilmenin kayma bileşeni, çatlakla dik ve x eksenı doğrultusundadır. Çatlak yırtılma deformasyonu (Mod III), gerilmenin kayma bileşeni, z eksenı doğrultusundadır.

Çekme – ayrılma davranışının elastik bölgesindeki gerilmeleri (t) vektör olarak ifade edilir ve (3.5) bağıntısında verilmiştir. Kontak ara yüzeyindeki yer değıştirme vektörü (δ) ve elastik rijitlik matrisine (K) bağılı olarak tanımlanmaktadır. K elastik rijitlik

matrisi derzler hasar almadan önce yaptığı doğrusal kayma ayrılmasını simgeler. t vektörü üç doğrultudaki gerilme bileşenlerinden (t_n , t_s ve t_t); δ vektörü ise yer değiştirme (ayrılma) bileşenlerinden (δ_n , δ_s , δ_t) oluşmaktadır.

$$t = \begin{Bmatrix} t_n \\ t_s \\ t_t \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} K_{nn} & 0 & 0 \\ 0 & K_{ss} & 0 \\ 0 & 0 & K_{tt} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \delta_n \\ \delta_s \\ \delta_t \end{Bmatrix} = K \delta \quad (3.5)$$

$$K_{nn} = \frac{E_u E_m}{h_m (E_u - E_m)} \quad (3.6)$$

$$K_{ss} \text{ ve } K_{tt} = \frac{G_u G_m}{h_m (G_u - G_m)} \quad (3.7)$$

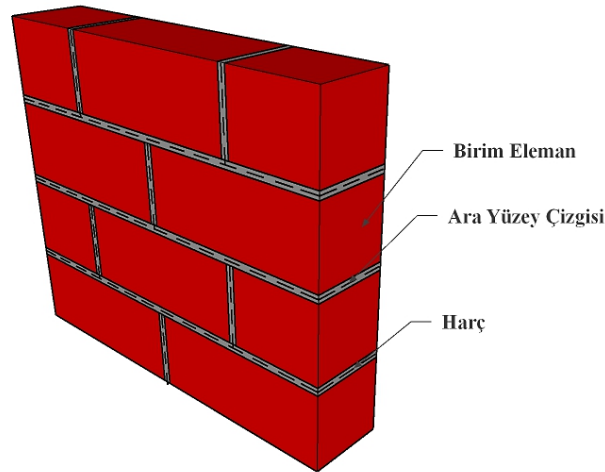
Basitleştirilmiş mikro model yaklaşımına göre yüzey temasının rijitliği derzlerin özelliklerine (rijitliğine ve kalınlığına) bağlı olarak ifade edilir. (3.6) ve (3.7) bağıntılarında verilen duvar birimlerinin yüzey normali doğrultusundaki rijitliği K_{nn} , ilk doğrultudaki kayma rijitliği K_{ss} , ikinci doğrultudaki kayma rijitliği K_{tt} , duvar birimlerine ait elastisite modülü E_u , derzlere ait elastisite modülü E_m , derzlerin kalınlığı h_m , duvar birimlerinin kayma modülü G_u , derzlerin kayma modülü G_m 'dir (Abdulla 2017).

3.9. Modelleme Teknikleri

Yığma duvarların sonlu elemanlar yöntemi ile doğrusal olmayan analizlerinin yapılması yapının davranışının anlaşılabilmesi ve üzerindeki etkilerin yorumlanabilmesi açısından büyük önem arz etmektedir. Özellikle yapılan doğrusal olmayan analizler bilinmeyen sayısını arttırmakta ve rijitlik matrisinin büyümesine sebep olmaktadır. Bu durum ise analiz süresinin uzamasına yol açmaktadır.

Yığma duvarların analizi için yapının büyüklüğüne göre 3 farklı çözüm stratejisi mevcuttur. Lourenço (1996) çalışmasında bu stratejilere genişçe yer vermektedir. Mikro modelleme yönteminde, tuğla ve bağlayıcı yapı malzemesi olan harç ayrı modellenir. Bu modelleme yöntemi detaylı mikro modelleme ve basitleştirilmiş mikro modelleme olmak üzere ikiye ayrılır. Makro modelleme yönteminde, tuğla ve harç birimleri bir bütün olarak tek parça şeklinde modellenir.

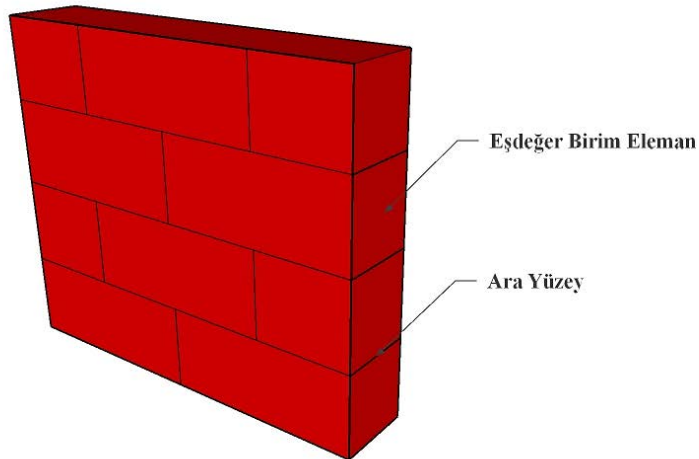
Detaylı mikro modelleme (detaylı ayrık modelleme) yönteminde duvarı oluşturan tuğla ve harç birimleri ayrı ayrı elemanlar olarak modellenir. Detaylı mikro modelleme Şekil 3.8'de verilmiştir. Gerçek boyutları ve malzeme özellikleri her iki birim için de tanımlanır. Bu modelleme yöntemi gerçek davranışı daha iyi yansıtmaya karşın harçta ayrı bir şekilde modellenip sisteme dâhil edildiği için analiz aşamasında zaman açısından tasarruflu olmamaktadır. Bu modelleme yaklaşımı diğer yaklaşımlara kıyasla daha fazla hesaplama ve zaman gerektirmektedir.



Şekil 3.8. Detaylı mikro modelleme

Basitleştirilmiş mikro modelleme (basitleştirilmiş ayrık modelleme) yönteminde duvarı oluşturan tuğla birimleri modellenirken, harç birimini temsilen ara-yüzey modele dâhil edilir. Sanal ara-yüzey elemanı kalınlıksızdır. Bu şekilde harç kalınlığı ihmal edilerek tuğla birimleri duvar boyutlarına kalibre olacak şekilde büyütülür. Basitleştirilmiş mikro modelleme Şekil 3.9’da verilmiştir.

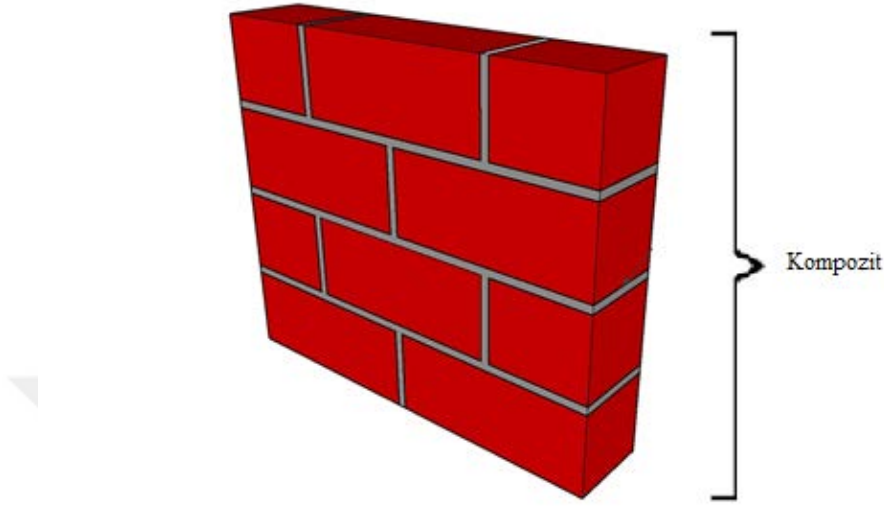
Ara-yüzeyler hem çekme hem kayma davranışını birlikte yapacak şekilde sisteme tanımlanır. Bu sebeple yapılan kabule göre; yığma duvarlarda meydana gelebilecek olan çekme ve kayma çatlaklarının ve tüm hasarın ara-yüzeylerde oluşacağı ve tuğlalarda meydana gelebilecek olan potansiyel çatlakların ise tuğlanın orta kısmında düşey olarak gerçekleşeceği kabul edilmektedir (Ural 2009).



Şekil 3.9. Basitleştirilmiş mikro modelleme

Makro modelleme (sürekli ortam modeli) yönteminde ise duvar birimleri arasında ayrım olmaksızın homojen bir tek kütle olarak düşünülür. Makro modelleme Şekil

3.10’da verilmiştir. Bu modelleme yöntemi nispeten daha büyük ve daha karmaşık yığma duvarları modellemede kullanılır. Modelde tek bir malzeme özelliği giriliyor olması analizi kolaylaştırmaktadır. Uygun değerlerin seçilmesi durumunda gerçekçi sonuçlara çok yakın değerler elde edilebilir.



Şekil 3.10. Makro modelleme

4. BULGULAR

4.1. Deneyin İncelenmesi

4.1.1. Giriş

Bu tez çalışması dâhilinde deneyi literatürde mevcut olan beş farklı boyuttaki gazbeton duvar numuneleri modellenerek analitik açıdan incelenmiştir. Deneyde duvar boyutunun kayma dayanımına etkisi araştırılmak üzere imal edilen duvarlara diyagonal kayma deneyi yapılmıştır. Kayma deneyi “American Society for Testing and Materials” tarafından geliştirilen ASTM E-519-20 standardı baz alınarak uygulanmıştır. Bu test standart ile duvar numunelerinin kayma gerilmesi ve kayma şekil değiştirmesi hesaplanmıştır (Sabahoğlu 2022).

Deney numuneleri 5 ana gruptan oluşmaktadır ve her grupta 3 adet olmak üzere toplam 15 adet deney numunesi teste tabi tutulmuştur. Çizelge 4.1’de teste tabi tutulan duvar numunelerinin adet ve boyut özellikleri verilmiştir.

Çizelge 4.1. Deney gruplarının boyut özellikleri

Grup ismi	Adet	En (cm)	Boy (cm)	Yükseklik (cm)
1’inci grup duvar	3	20	25	25
2’nci grup duvar	3	20	50	50
3’üncü grup duvar	3	20	75	75
4’üncü grup duvar	3	20	100	100
5’inci grup duvar	3	20	120	120

Duvar numuneleri imal edilirken gazbeton ve gazbeton yapıştırıcısı kullanılmıştır. Duvarlar sıvasızdır ve numuneler laboratuvar ortamında muhafaza edilmiştir. Duvar numuneleri imalat aşaması ve harç numuneleri sırasıyla Şekil 4.1-3’te verilmiştir.



Şekil 4.1. Duvar numunelerinin imalat aşaması (Sabahoğlu 2022)

4.1.2. Gazbeton yapıştırıcısının özellikleri

Deneyde gazbeton yapıştırıcı olarak piyasadan temin edilmiş ZNR marka çimento yapıştırıcı kullanılmıştır. Yapıştırıcı harcın basınç dayanımını belirlemek amacıyla laboratuvar ortamında 8×8×16 cm'lik 6 adet numune alınıp basınç testine tabi tutulmuştur. Numunelerin basınç testi sonuçları Çizelge 4.2'de verilmiştir.

Çizelge 4.2. Gazbeton yapıştırıcı harç numunelerin basınç deneyi sonuçları

Numune	Basınç dayanımı (MPa)	Ortalama basınç dayanımı (MPa)
1	16,07	15,88
2	14,24	
3	15,89	
4	14,20	
5	15,88	
6	17,59	



Şekil 4.2. Yapıştırıcı harç numuneleri (Sabahoğlu 2022)



Şekil 4.3. Yapıştırıcı harç numunelerinin basınç testleri (Sabahoğlu 2022)

4.1.3. Gazbetonun özellikleri

Deneyde farklı boyutlarda imal edilmiş duvarların imalatında G2 sınıfı 60×25×20 cm gazbeton kullanılmıştır. Gazbetonun basınç dayanımı ölçmek için 10×10×10 cm boyutlarına sahip 3 adet küp ve 10×10×20 cm boyutlarına sahip 3 adet prizma gazbeton numunesi alınmıştır. Alınan numuneler basınç testine tabi tutulmuştur. Gazbeton numunelere ait elde edilen basınç testi sonuçları Çizelge 4.3'te verilmiştir.

Çizelge 4.3. Gazbeton numunelerine ait basınç deneyi sonuçları

Numune boyutu	Numune adı	Kırılma yükü (kN)	Basınç dayanımı (MPa)	Ortalama basınç dayanımı (MPa)
10×10×10	1	16,14	1,61	1,86
	2	18,07	1,81	
	3	20,24	2,02	
	4	19,80	1,98	
10×10×20	5	19,37	1,94	1,73
	6	15,45	1,55	
	7	18,55	1,86	
	8	16,01	1,60	

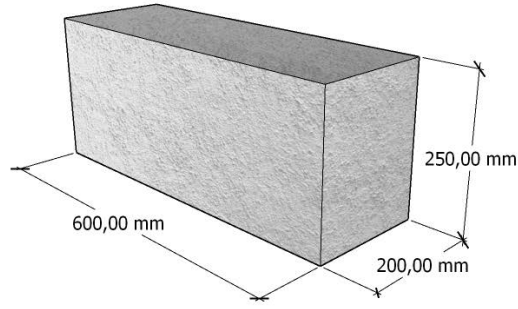
10×10×20 ve 10×10×10 cm gazbeton deney numuneleri sırasıyla Şekil 4.4,5'te verilmiştir. Gazbeton birimlerinin boyutları ise Şekil 4.6'da verilmiştir.



Şekil 4.4. 10×10×20 cm gazbeton numuneleri (Sabahoğlu 2022)



Şekil 4.5. 10×10×10 cm gazbeton numuneleri (Sabahoğlu 2022)



Şekil 4.6. Gazbeton birimlerin boyutları

4.1.4. Numunelerin imalatı

Duvar numunelerinin imalatında piyasadan temin edilmiş gazbeton ve ZNR marka çimento yapıştırıcı kullanılmıştır. Duvar numunelerini örme işleminde derzler birbirlerinin üzerine gelmeyecek şekilde gazbeton malzemenin şaşırtmalı olarak yerleştirilmesiyle örülmüştür. Derz kalınlığı 3 mm'dir. Hazırlanan duvar numuneleri Şekil 4.7'de verilmiştir.



Şekil 4.7. Hazırlanan duvar numuneleri (Sabahoğlu 2022)

4.1.5. Deplasman ölçerlerin yerleştirilmesi

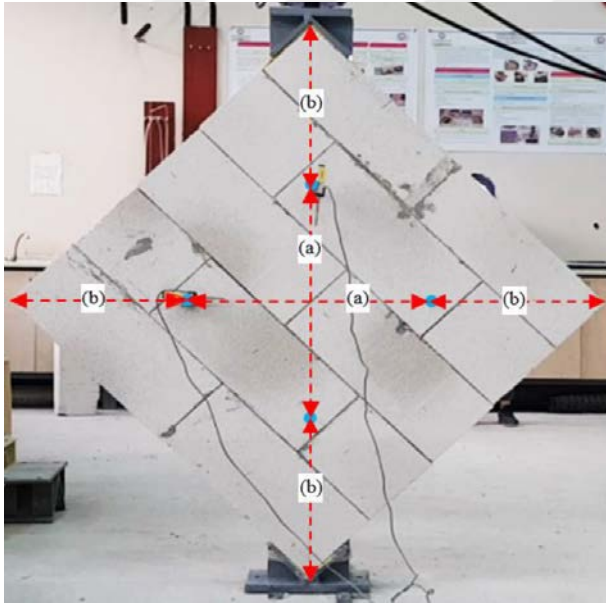
Diyagonal basınç testine tabi tutulan duvar numunelerinde oluşan yer değiştirmeleri, yataydaki uzamaları ve düşeydeki kısalmaları, ölçmek için her bir duvar

numuneleri üzerine 30 ve 50 mm’lik olmak üzere 2 adet deplasman ölçer (LPDT-Linear Potentiometer Displacement Transducer) kullanılmıştır (Şekil 4.8). Deplasman ölçerler yatayda ve düşeyde duvar numunelerinin bir yüzüne “b” kadar olan uzaklıktaki bir mesafeye, hareketsiz metal çubuklar ise deplasman ölçerden “a” kadar uzaklıktaki bir mesafeye yerleştirilmiştir.

Deplasman ölçerlerin hareketli ucuna tutturulan esnek olmayan ip, numune üzerine deplasman ölçerden “a” kadar uzaklıktaki bir mesafeye yerleştirilmiş hareketsiz metal çubuğa bağlanmıştır. Farklı boyutlardaki duvar numuneleri için “a” ve “b” değerleri Çizelge 4.4’te numune üzerinde yerleşimi ise Şekil 4.8’de verilmiştir. İpin hareketi ile ölçümler alınarak bilgisayar ortamında kaydedilmiştir.

Çizelge 4.4. Duvar numune boyutlarına göre LPDT yerleşim ölçüleri

Duvar boyutu	b (cm)	a (cm)
25×25	10	15,6
50×50	21	29
75×75	31	44,5
100×100	42	58
120×120	50	70,4



Şekil 4.8. Deplasman ölçerlerin numune üzerinde yerleşimi (Sabahoğlu 2022)

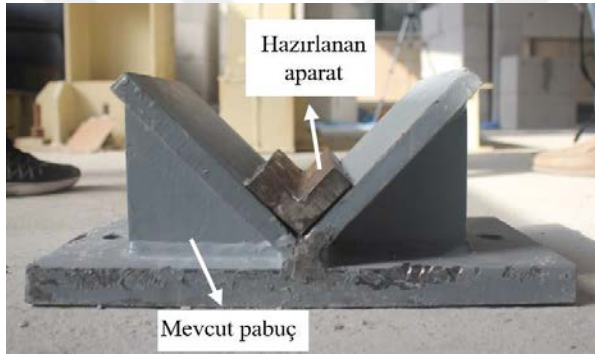
4.1.6. Yükleme pabuçları

Deneyde farklı boyutlarda duvar numuneleri olduğundan yükleme esnasında pabuçlardan numunelere gelen basınç alanını, numunelerin boyutlarına göre azaltmak için ASTM E-519 standardı kullanılmıştır. ASTM E-519 standardında göre pabuçların kol uzunluğu, duvar numunelerinin bir kenarının 1/8’i kadar olması gerekmektedir. Bu

doğrultuda farklı boyutlardaki duvar numuneleri için V kesitli 4 adet çelik parça imalat edilmiştir. Mevcut ve imal edilen parçalar Şekil 4.9’da, boyut özellikleri ise Çizelge 4.5’te verilmiştir.

Çizelge 4.5. V kesitli plaka boyutları

Duvar numunelerinin boyutları (en, boy, yükseklik, mm)	V kesitli 4 adet metal parçanın boyutları (en, temas yüzeyi kol uzunlukları, mm)	
200×1200×1200	200	150
200×1000×1000	200	125
200×750×750	200	93,75
200×500×500	200	62,50
200×250×250	200	31,25

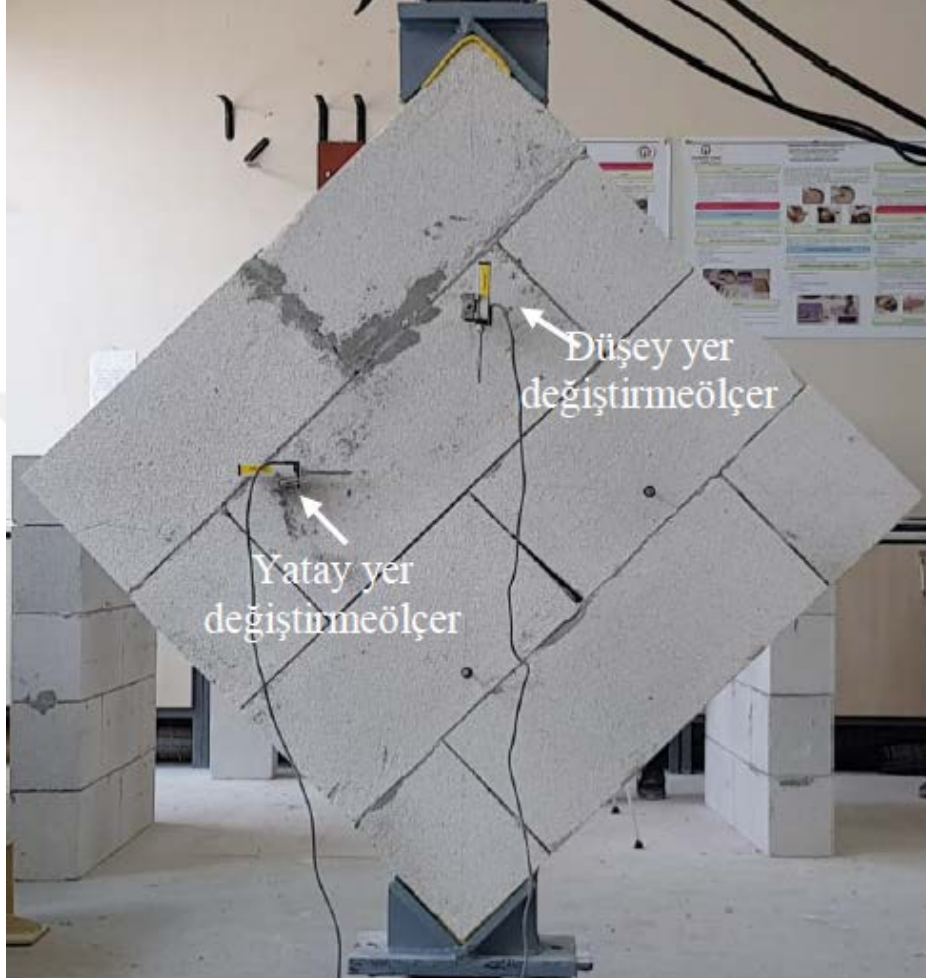


Şekil 4.9. Mevcut ve imal edilen pabuçlar (Sabahoğlu 2022)

4.1.7. Yükleme düzeneği

Deney numuneleri 80 tonluk çelik çerçeve sistem içerisinde 2 pabuç arasında yerleştirilmiştir. Alt kısımdaki pabuç sabittir. Üst kısımdaki pabuç ve yük pistonu arasına pistonun düşey yönde hareketiyle oluşan basınç değerlerini okuma için yük hücresi yerleştirilmiştir.

Duvar numuneleri üzerinde oluşan yatay ve düşey yer değiştirmeleri okumak için numunenin tek yüzüne, yatayda ve düşey olmak üzere, 2 adet deplasman ölçer (LPDT) yerleştirilmiştir. Deplasman ölçerlerin numune üzerinde yerleşimi Şekil 4.10'da verilmiştir.



Şekil 4.10. Numune üzerine deplasman ölçerlerin yerleştirilmesi (Sabahoğlu 2022)

4.2. Analitik Çalışma

4.2.1. Giriş

Deney sonuçları mevcut olan farklı boyutlarda gazbeton ile imal edilmiş duvarlara ait bilgiler Bölüm 4'te verilmiştir. Bu duvarlar ABAQUS programı, 2017 sürümü, kullanılarak modellenmiştir. Deney elemanlarını bilgisayar yazılımında modellemek için Çizelge 4.6'da verilen SI (mm) birim sistemi kullanılmıştır.

Çizelge 4.6. Bilgisayar yazılımında kullanılan birimler

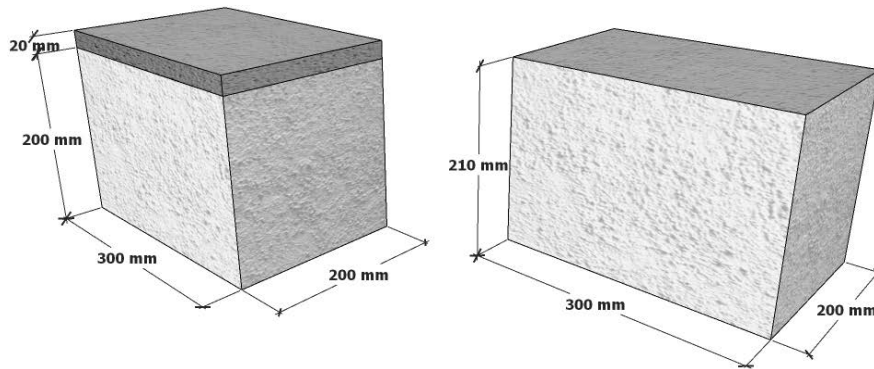
Büyüklik	SI	SI (mm)	US birim (inch)
Uzunluk	m	mm	in
Kuvvet	N	N	lbf
Kütle	kg	ton (10^3 kg)	lbf s ² /in
Zaman	s	s	S
Gerilme	Pa (N/m ²)	MPa (N/mm ²)	Psi (lbf/in ²)
Enerji	J	mJ (10^{-3} J)	in lbf
Yoğunluk	kg/m ³	ton/mm ³	lbf s ² /in ⁴

4.2.2. Duvar numunelerinin modellenmesi

Öncelikle modellenecek olan duvar numunelerini oluşturan her elemanın geometrik olarak modelinin oluşturulması gerekmektedir. Bu elemanlar gazbeton, harç ve yükleme pabucudur.

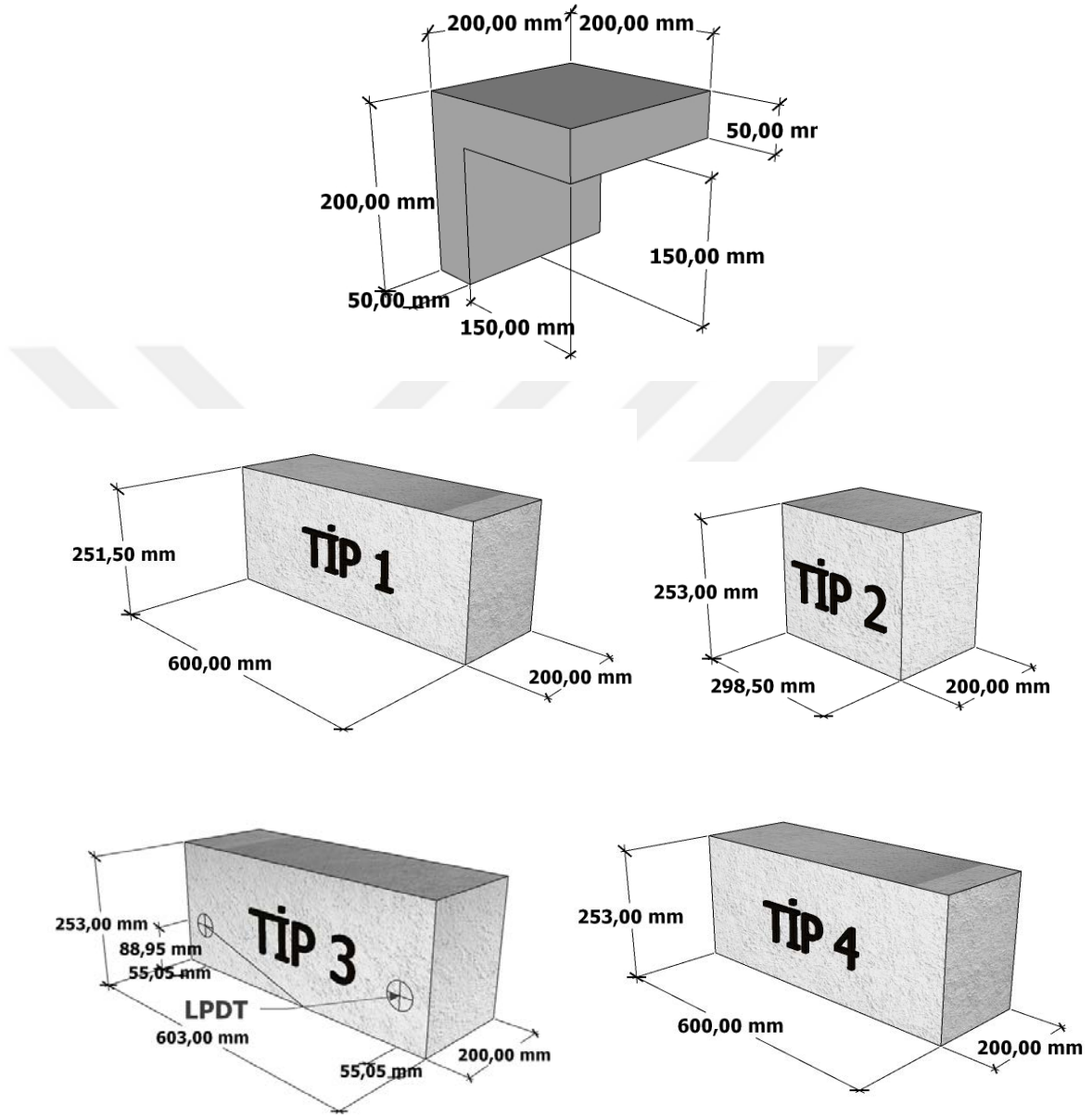
Elemanlar modellenirken basitleştirilmiş mikro modelleme tekniği kullanılmıştır. Bu modelleme tekniğinde harç malzemesi ayrı bir eleman olarak modellenmemektedir. Harç malzemesinde basitleştirme yapılmaktadır. Bu basitleştirme: ile harcın kaldırılarak birim gaz beton malzemenin geometrik olarak harcı ve gazbeton malzemeyi içeren eşdeğer bir gazbeton malzemeye dönüştürülmektedir.

Dönüştürülen eşdeğer gazbeton malzemenin boyutları birim gazbeton malzemenin boyutlarını ve harcın boyutlarının yarısını içermektedir. Eşdeğer gaz beton numunesinin görüntüsü Şekil 4.11’de verilmiştir.

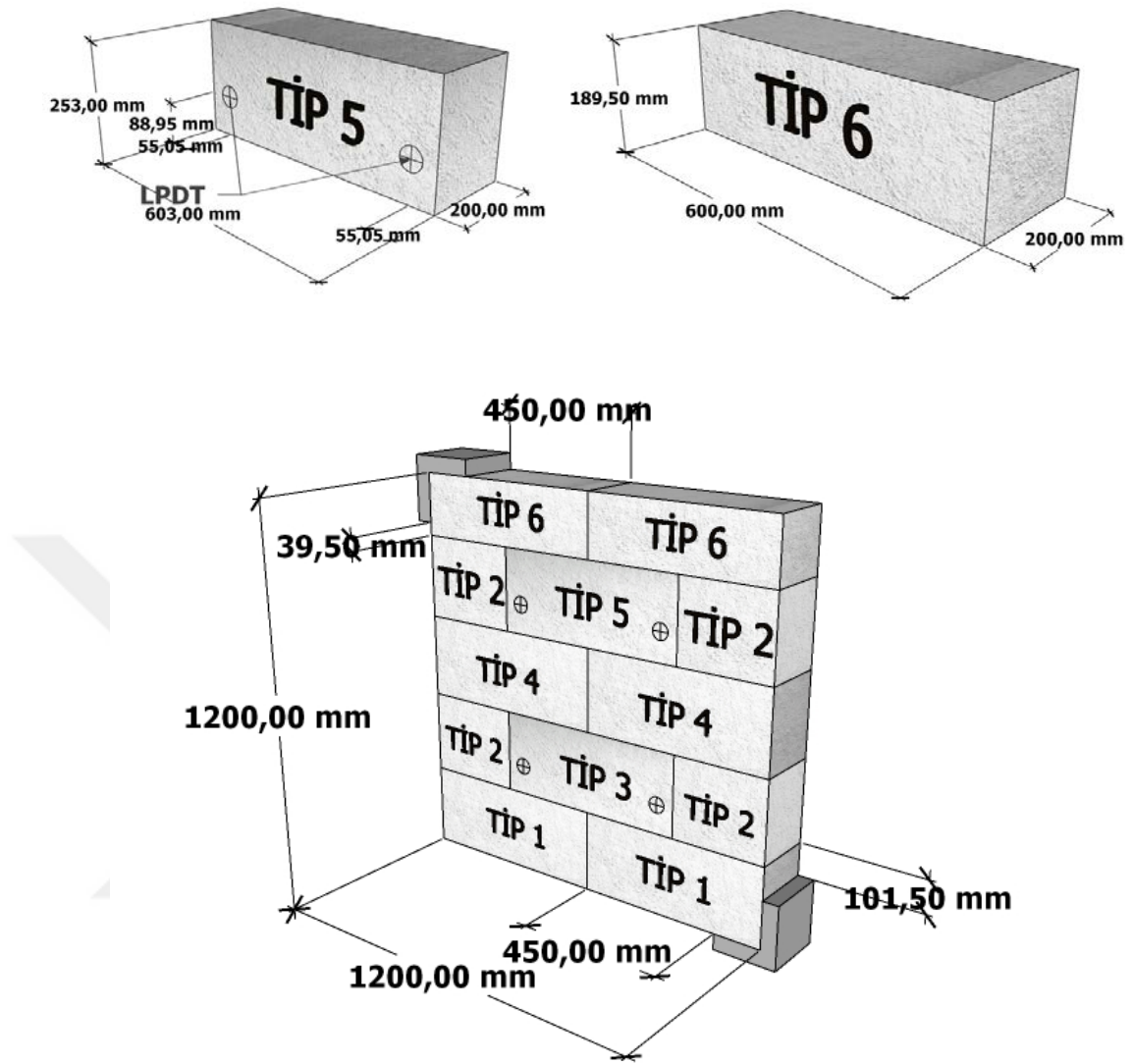
**Şekil 4.11.** Dönüştürülmüş eşdeğer gazbeton numunesi oluşturulması

Basitleştirilmiş mikro modelleme tekniği kullanılarak oluşturulan 120×120, 100×100, 75×75, 50×50 ve 25×25 cm duvarlara ait birim eşdeğer gazbeton numuneleri, yükleme pabuçları, LPDT yerleşimi ve eşdeğer duvarın üç boyutlu numune tip görüntüleri sırasıyla Şekil 4.12-16’da verilmiştir. LPDT’ler deneysel çalışmada duvar numune boyutlarına göre belirtilen mesafelere uygun bir şekilde geometrik modelin

üzerine tanımlanmıştır. Oluşturulan tip numunelerin boyut özellikleri Çizelge 4.7-11’de verilmiştir.



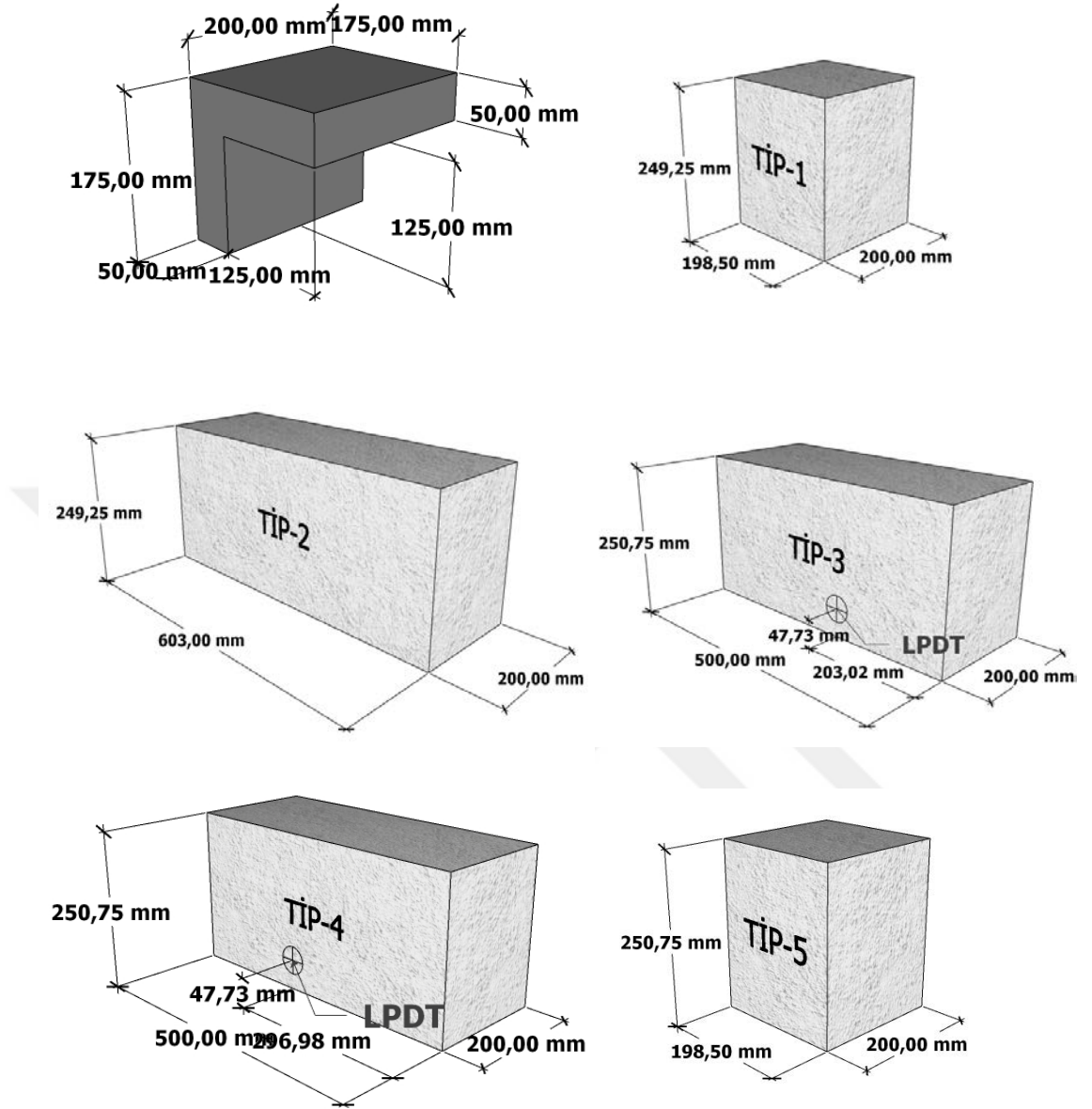
Şekil 4.12. 20×120×120 cm eşdeğer gazbeton numuneleri, başlıklar ve duvar görüntüsü



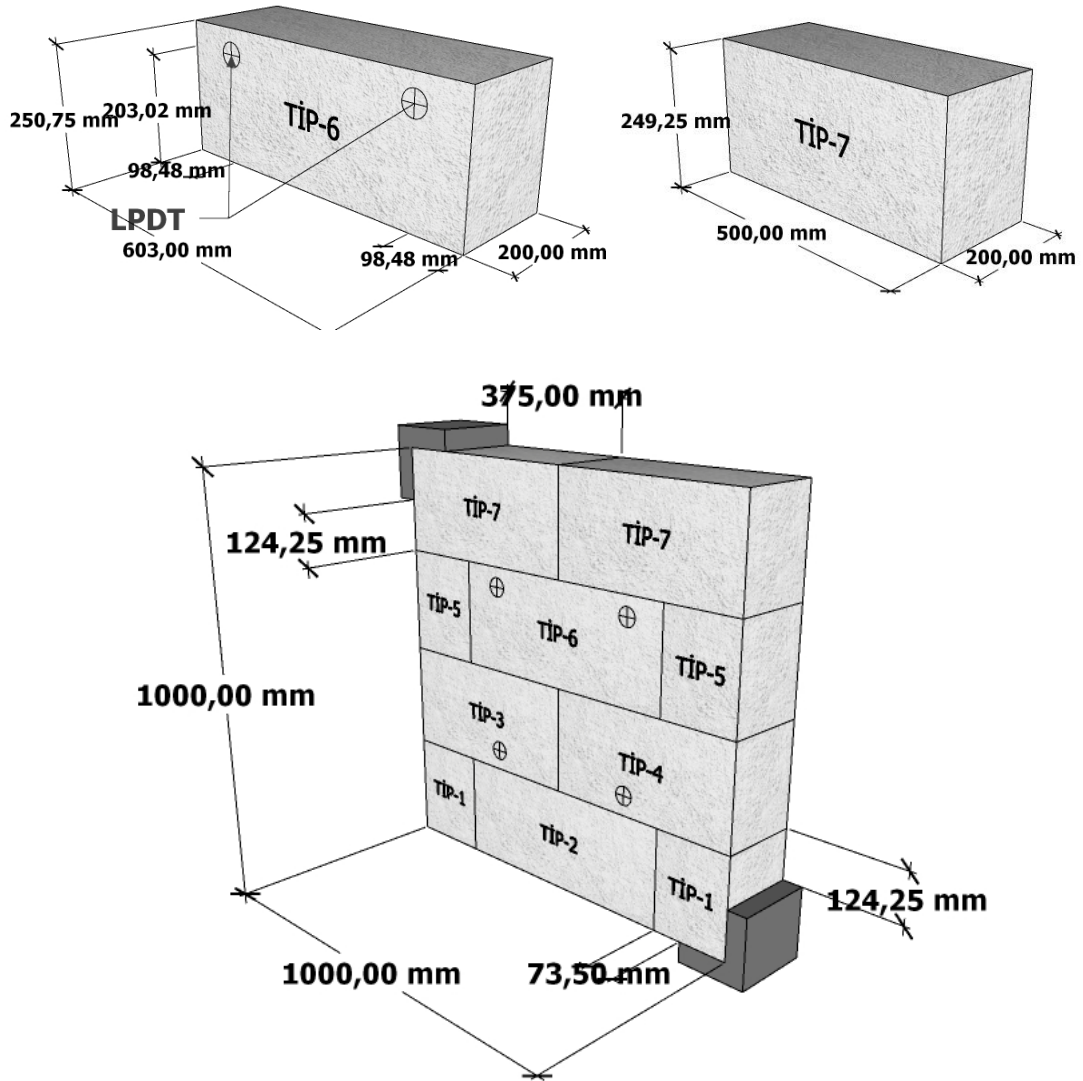
Şekil 4.12.'ün devamı

Çizelge 4.7. 120×120 cm duvarın eleman boyutları

Eleman tipi	En (mm)	Boy (mm)	Yükseklik (mm)
Tip 1	200	600	251,5
Tip 2	200	298,5	253
Tip 3	200	603	253
Tip 4	200	600	253
Tip 5	200	603	253
Tip 6	200	600	189,5



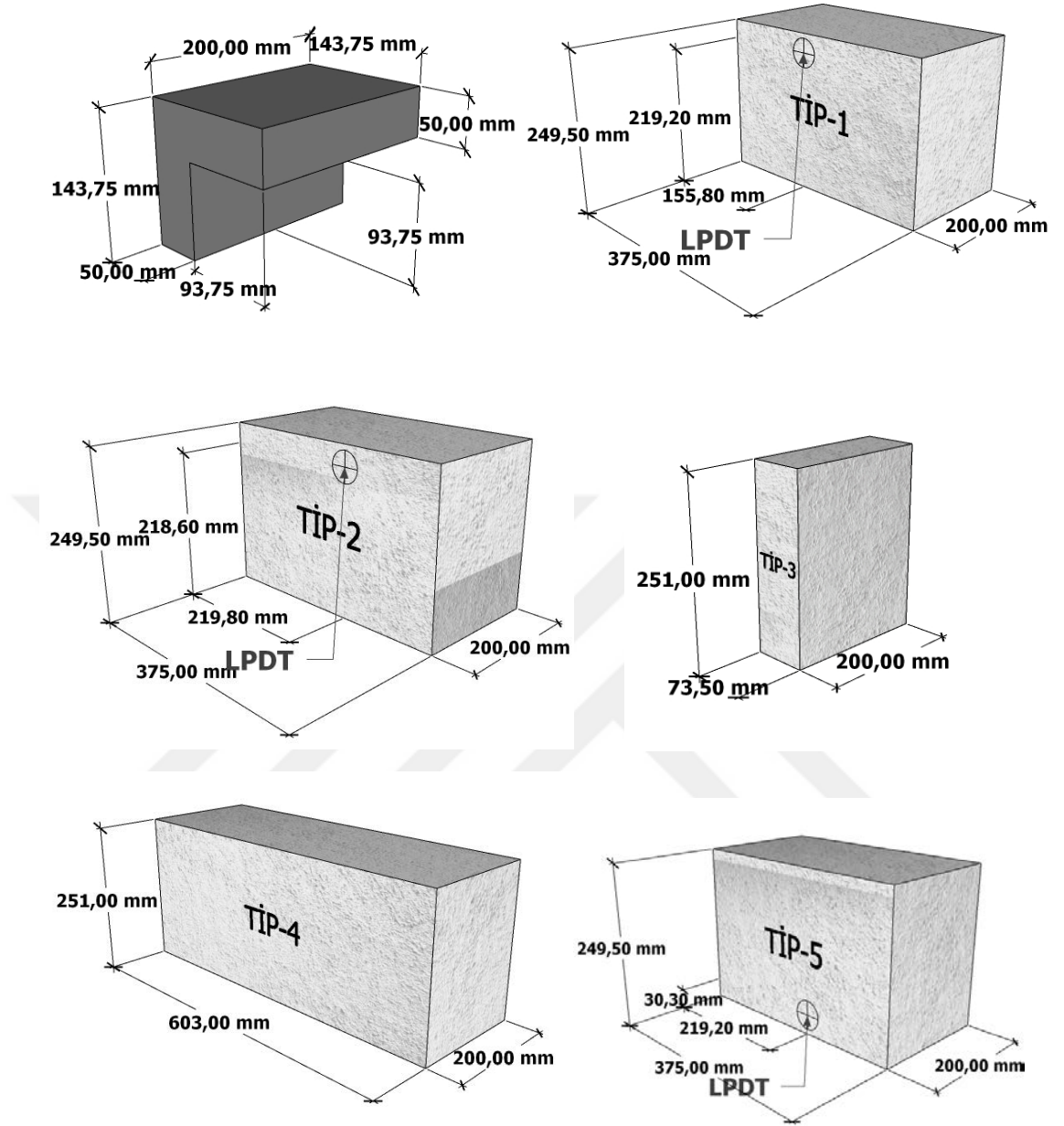
Şekil 4.13. 20×100×100 cm eşdeğer gazbeton numuneleri, başlıklar ve duvar görüntüsü



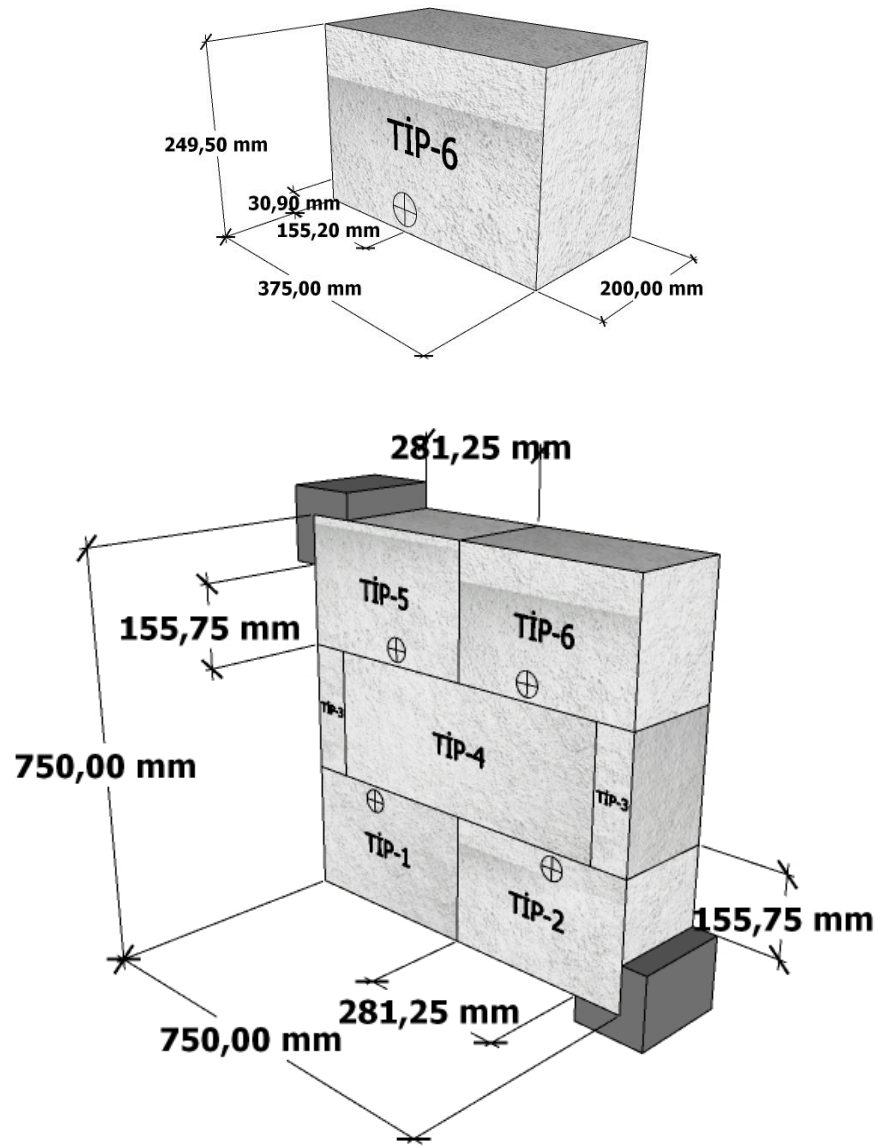
Şekil 4.13.'ün devamı

Çizelge 4.8. 100×100 cm duvarın eleman boyutları

Eleman tipi	En (mm)	Boy (mm)	Yükseklik (mm)
Tip 1	200	198,5	249,25
Tip 2	200	603	249,25
Tip 3	200	500	250,75
Tip 4	200	500	250,75
Tip 5	200	198,5	250,75
Tip 6	200	603	250,75
Tip 7	200	500	249,25



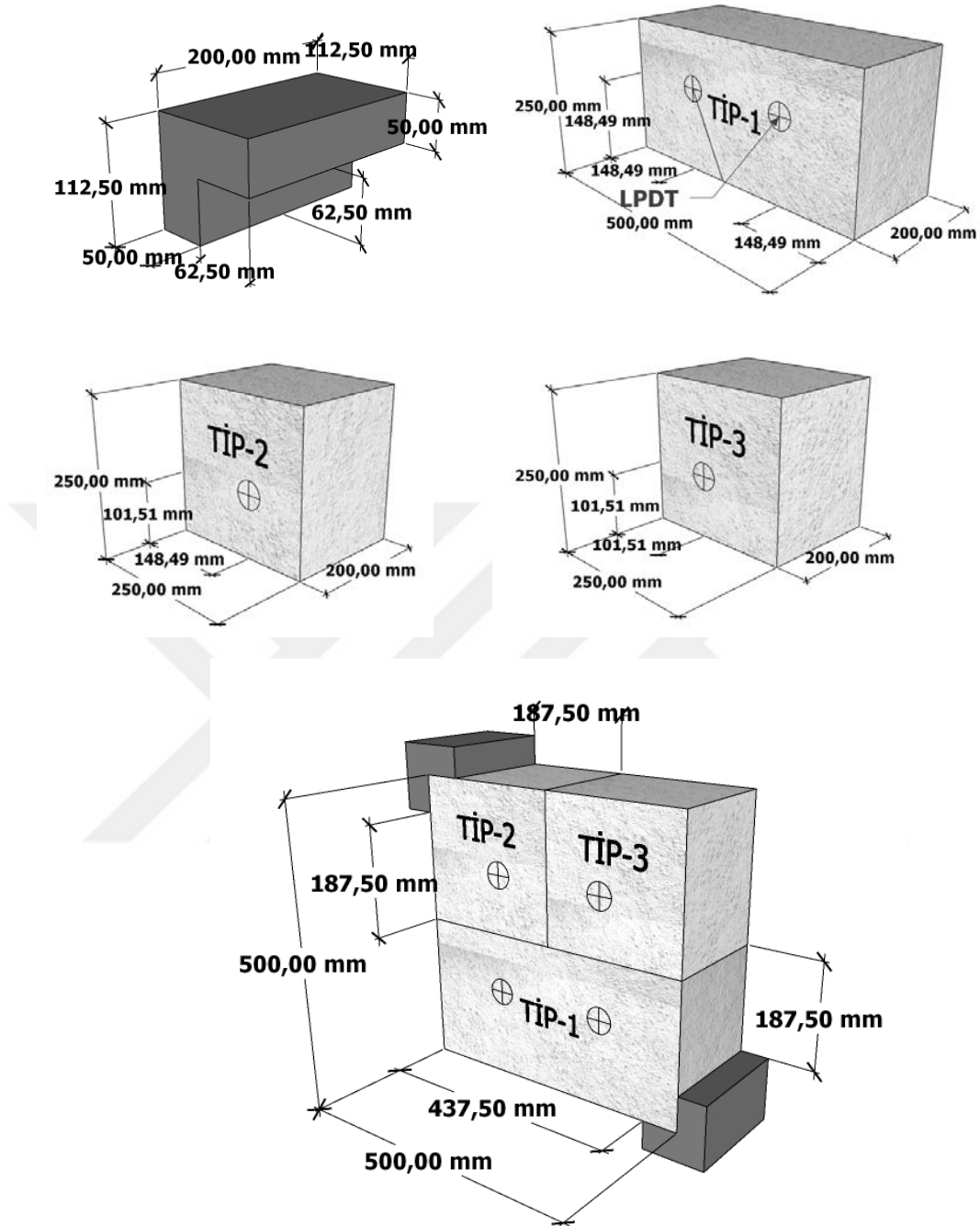
Şekil 4.14. 20×75×75 cm eşdeğer gazbeton numuneleri, başlıklar ve duvar görüntüsü



Şekil 4.14.'in devamı

Çizelge 4.9. 75×75 cm duvarın eleman boyutları

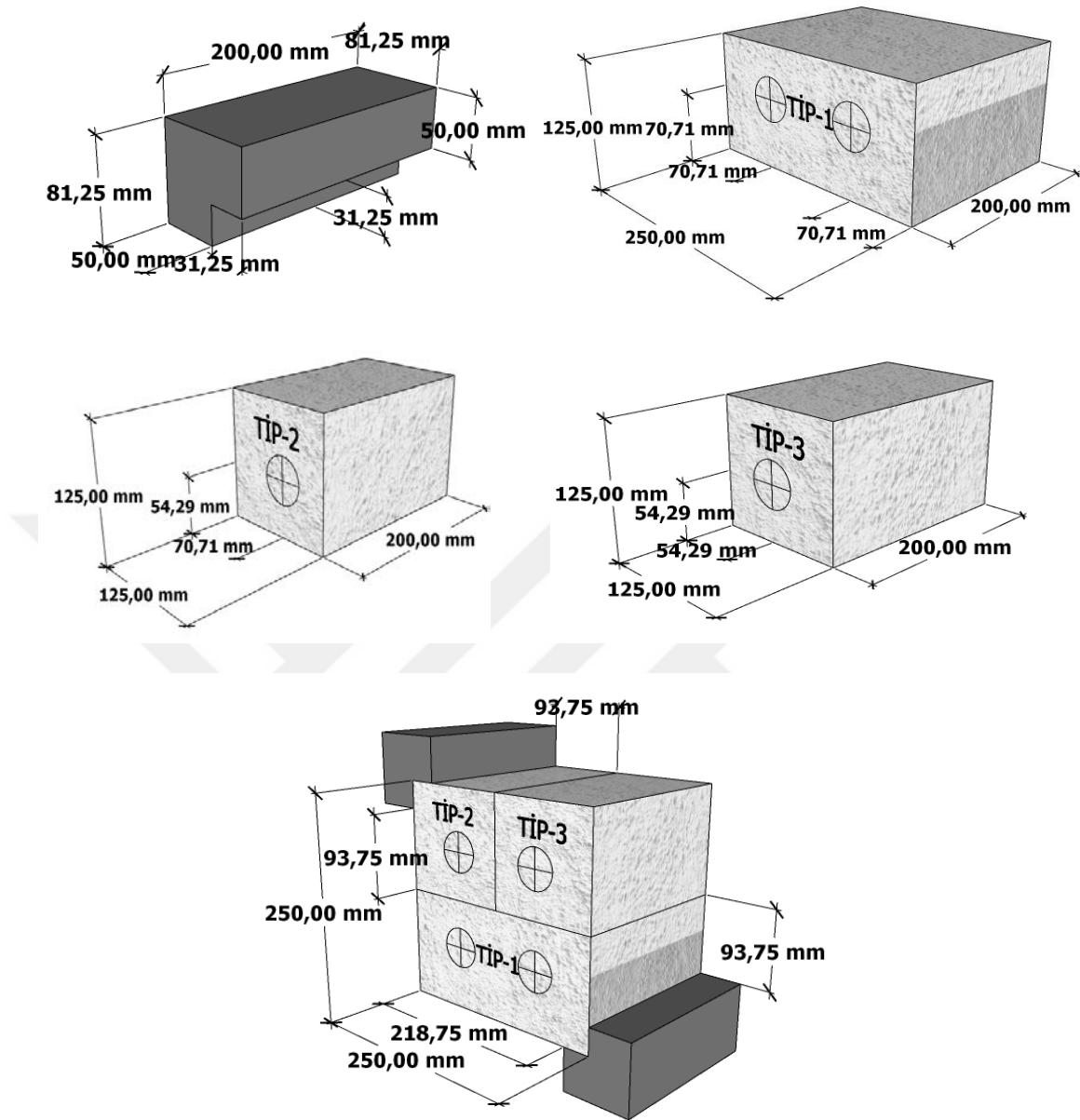
Eleman tipi	En (mm)	Boy (mm)	Yükseklik (mm)
Tip 1	200	375	249,5
Tip 2	200	375	249,25
Tip 3	200	73,5	251
Tip 4	200	603	251
Tip 5	200	375	249,5
Tip 6	200	375	249,5



Şekil 4.15. 20×50×50 cm eşdeğer gazbeton numuneleri, başlıklar ve duvar görüntüsü

Çizelge 4.10. 50×50 cm duvarın eleman boyutları

Eleman tipi	En (mm)	Boy (mm)	Yükseklik (mm)
Tip 1	200	500	250
Tip 2	200	250	250
Tip 3	200	250	250



Şekil 4.16. 20×25×25 cm eşdeğer gazbeton numuneleri, başlıklar ve duvar görüntüsü

Çizelge 4.11. 25×25 cm duvarın eleman boyutları

Eleman tipi	En (mm)	Boy (mm)	Yükseklik (mm)
Tip 1	200	250	125
Tip 2	200	125	125
Tip 3	200	125	125

Bilgisayar yazılımında modellenen duvarın öncelikle her bir parçasının geometrik modeli oluşturulmuştur. Bu parçalar basitleştirilmiş mikro modelleme tekniği kullanılarak oluşturulan eşdeğer birim gazbeton elemanlar ve yükleme pabuçlarıdır. Bilgisayar yazılımında bu parçalar “Solid”, katı cisim, olarak modellenmiştir.

4.2.3. Malzeme özelliklerinin tanıtılması

Modelin hazırlandığı yazılımda malzeme özellikleri için doğrusal ve doğrusal olmayan davranış, yoğunluk, hasar davranışları vb. parametreler kapsamlı bir şekilde tanımlanabilmektedir. Bu özelliklerinin kapsamlı bir şekilde tanımlanması sayesinde analiz sonuçları gerçek davranışa daha yakınsar bir davranış sergilemektedir.

Basitleştirilmiş mikro modelleme tekniğiyle kullanılarak geometrik modeli oluşturulan gazbeton ve bağlayıcı harç birlikte düşünülerek eşdeğer bir malzeme tanımlaması yapılmaktadır. Eşdeğer gazbeton eleman, gazbeton ve harcı içeren özellikleri yansıtmaktadır. Bu özellikler eşdeğer gazbeton eleman için bünye, elastik ve plastik bakımından özelliklerdir.

Plastik özellikler açısından, beton ve yarı gevrek malzemeler için yük etkisi altında malzemenin basınç ve çekme mukavemetindeki kayıpları, elastisite modülündeki azalmaları ve kalıcı şekil değiştirmeler kısmındaki karmaşık davranışı matematiksel olarak tanımlayabilen beton hasarlı plastisite modeli “Concrete Damage Plasticity” (CDP) kullanılmıştır. CDP malzeme modelinde tanımlanan parametreler Çizelge 4.7’de verilmiştir. Yükleme pabuçlarının için ise yüksek rijitliğe sahip çelik malzeme özellikleri tanımlanmıştır.

Eşdeğer gazbeton elemanın bünye bakımından özellikleri; birim hacim ağırlık ve poisson oranıdır. Şekil değiştirme bakımından, elastik kısım için, elastisite modülü ve kayma modülü; plastik kısım için akma (kırılma) yüzeyi, dilatasyon açısı (genişleme açısı), dışmerkezlik (eksantirite), iki yöndeki basınç akma dayanımının tek yöndeki akma dayanımına oranı (meridyenler arası uzaklık oranı) f_{bo}/f_{co} , invariant gerilme oranı katsayısı K , viskozite parametresidir. Değerler Çizelge 4.12’de verilmiştir. Bu parametre değerleri literatürde birçok çalışmada kullanılarak kabul görmüştür (Bikçe, vd. 2021). Eşdeğer gazbeton için hesaplanan CDP değerleri ise (EK-1) ve (EK-2)’de verilmiştir.

Çizelge 4.12. CDP malzeme modelinde kullanılan parametreler

Dilatasyon açısı	Dış merkezlik	f_{bo}/f_{co}	K	Viskozite parametresi
40	0,1	1,16	0,667	0

Gazbeton, derz harcı ve eşdeğer gazbeton malzeme için modellemede kullanılan değerler Çizelge 4.13’te verilmiştir. Eşdeğer gazbetonun elastisite modülü (E_a), (4.1) denkleminde göre hesaplanmıştır (Abdulla 2017). Buna ilave olarak yığma bir duvarın ya da yapı taşlarının elastisite modülü hızlı bir şekilde (4.2) bağıntısına göre de belirlenebilir (Eurocode-6, Bölüm 3.7.2).

$$E_a = \frac{HE_u E_m}{nh_u E_m + (n-1)h_m E_u} \quad (4.1)$$

$$E = K_E f_k \quad (4.2)$$

Burada; E_u , gerçek gazbetonun elastisite modülü; E_m , yapıştırıcı harcın elastisite modülü; H , duvar yüksekliği; h_u , tuğla yüksekliğini; h_m , harcın yüksekliğini; n , duvar yüksekliği boyunca kullanılan gazbeton sayısı; f_k , malzeme basınç dayanımıdır. Eurocode-6'da önerilen K_E değeri, 1000'dir. Harç ve gazbeton arası bağlantı rijitliği ve dayanımı, harca göre çok düşük dayanıma sahip olan gazbetondan etkilenmektedir. Bu nedenle hasar oluşumu harç yerine iki malzemenin ara yüzeyinde gerçekleşmektedir. Dolayısıyla (4.1) bağıntısında, yüksek mertebede olan harcın elastisite modülü (E_m) yerine harç-gazbeton arayüz elastisite modülünü (E'_m) kullanmak daha tutarlı sonuçlar vermektedir. Ara yüz bağlantının dayanımı ve rijitliğini belirlemeye yönelik olarak kayma ve çekme şeklinde bir dizi deney daha yapmak gerekir (Bikçe, vd. 2021). Söz konusu deneysel veri mevcutta olmadığı için E'_m değeri sayısal kalibrasyon neticesinde elde edilmiştir. Duvar numunesinde harca göre gazbeton yüzeyinin çoğunlukta olması nedeniyle eşdeğer gazbetonun poisson oranı gazbetonunkine eşit alınmıştır. Gazbeton, harç ve eşdeğer gazbeton için kayma modülleri (4.3) bağıntısına göre hesaplanmıştır.

$$G = \frac{E}{2(1+\gamma)} \quad (4.2)$$

$$f_{ca} = K \times f_{cu}^{0,7} \times f_{cm}^{0,3} \quad (4.3)$$

Eşdeğer gazbetonun basınç dayanımı (4.4) bağıntısına göre belirlenmiştir (Eurocode-6, Bölüm 3.6.1.2, Tablo 3.3, AAC, Grup 1, $K = 0,55$). Hesaplarda kullanılmak üzere gazbetonun basınç dayanımı (f_{cu}) olarak Çizelge 4.3'te verilen $10 \times 10 \times 20$ cm boyutlarındaki numunelerin ortalama basınç dayanımı alınmıştır. Harç dayanımı (f_{cm}) için ise Çizelge 4.2'de verilen ortalama değer dikkate alınmıştır. Eşdeğer gazbetonun çekme dayanımını (f_{ta}) belirlemeye yönelik deneysel veri mevcut değildir. Bu amaçla f_{ta} değeri için uluslararası standartlardan yararlanılmıştır (Eurocode-6, Bölüm 3.6.3, f_{xk2} için tablo, AAC, $\rho \geq 400 \text{ kg/m}^3$, $f_{cm} \geq 5 \text{ N/mm}^2$).

Çizelge 4.13. Gazbeton, harç ve eşdeğer gazbeton için kullanılan malzeme parametreleri

Açıklama	Basınç dayanımı (MPa)	Çekme dayanımı (MPa)	Elastisite modülü (MPa)	Yoğunluk (kg/m ³)	Poisson oranı	Kayma modülü (MPa)
Gazbeton	$f_{cu} = 1,73$ (Sabahoglu 2022)	bilinmiyor	900 (RİLEM)	400 (RİLEM)	$\gamma_u = 0,25$	$G_u = 360$
Harç	$f_{cm} = 15,88$ (Sabahoglu 2022)	bilinmiyor	$E_m = 15880$ (Eurocode-6) $E'_m = 100$	bilinmiyor	$\gamma_m = 0,2$	$G_m = 41,7$
Eşdeğer gazbeton	$f_{ca} = 1,85$ (Eurocode-6) (4.3)	$f_{ta} = 0,4$ (Eurocode-6)	$E_a = 796$ (Abdulla 2017) (4.1)	400 (RİLEM)	$\gamma_a = 0,25$	$G_a = 318$ (Eurocode-6)

Modelde basınç ve çekme mukavemetindeki kayıplar, elastisite modülündeki azalmalar ve kalıcı şekil değiştirmeler, d_c (basınç hasarı) ve d_t (çekme hasarı) rijitlik azaltma parametreleriyle sağlanmaktadır (EK-1 ve EK-2). Hasar parametrelerinin tanımlanmaması durumunda yalnızca monotonik yük altındaki davranış yakalanabilmektedir (Erdem 2021).

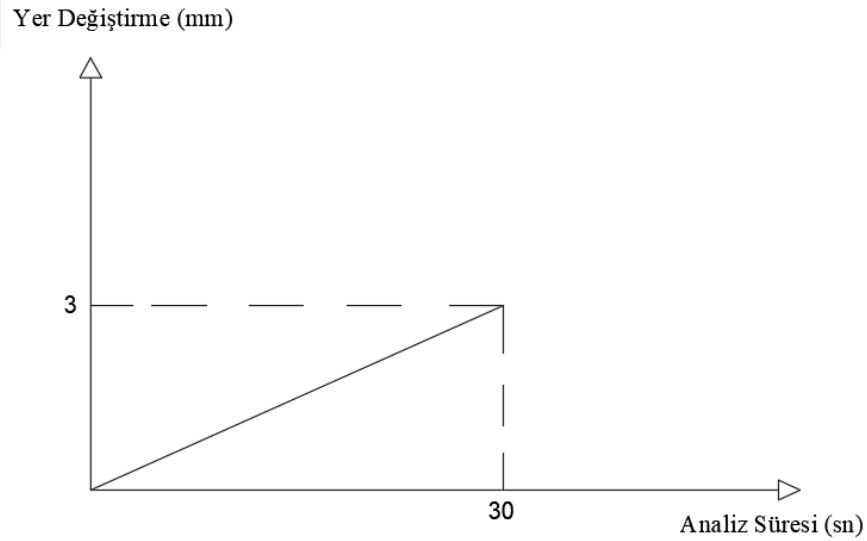
4.2.4. Analiz tipinin oluşturulması

İlk analiz adımı ve dinamik analiz adımı için “Dynamic, Explicit” çözücü kullanılarak oluşturulmuştur. Oluşturulan ilk analiz adımı ve dinamik analiz adımı için önceki bölümlerde anlatılmış olan setler, etkileşim yüzeyleri ve sınır şartları atanmıştır.

Dinamik analiz sonucu çıktı verileri genel dinamik analiz sonucu ve özel bir bölgeden istenen dinamik analiz sonucu çıktı verileri ile alınmıştır. Dinamik analiz sonucu alınan çıktı verileri ile belirli bir zaman aralığında kayıt olarak oluşturulan gerilme değerlerini, plastik deformasyonları, oluşan kuvvetleri, yerdeğiştirmeleri, kontaklar arasındaki davranışını vb. parametreler elde edilmiştir.

Duvarın üst noktasından düşey yönde yük uygulanmıştır, duvarın alt noktası ise sabit pabuç üzere oturtulmuştur. Modele bu durum, yükleme yapılan üst nokta için hareketli mesnet, alt nokta için sabit mesnet ve yükleme için üst mesnede genlik ile ilk hareket tanımlanmıştır.

Analizde duvara yükleme pabucundaki yükleme noktasından 30 saniyede 3 mm düşey yönde yer değiştirme yapması hedeflenmiş ve yazılımın Amplitude komutunu kullanılmıştır. Analiz süresi ve yer değiştirme grafiği Şekil 4.17’de verilmiştir. Düşey yer değiştirme etkisiyle mesnette oluşan düşey tepki kuvveti ölçülmüş ve kuvvet-yer değiştirme grafikleri çizilmiştir.

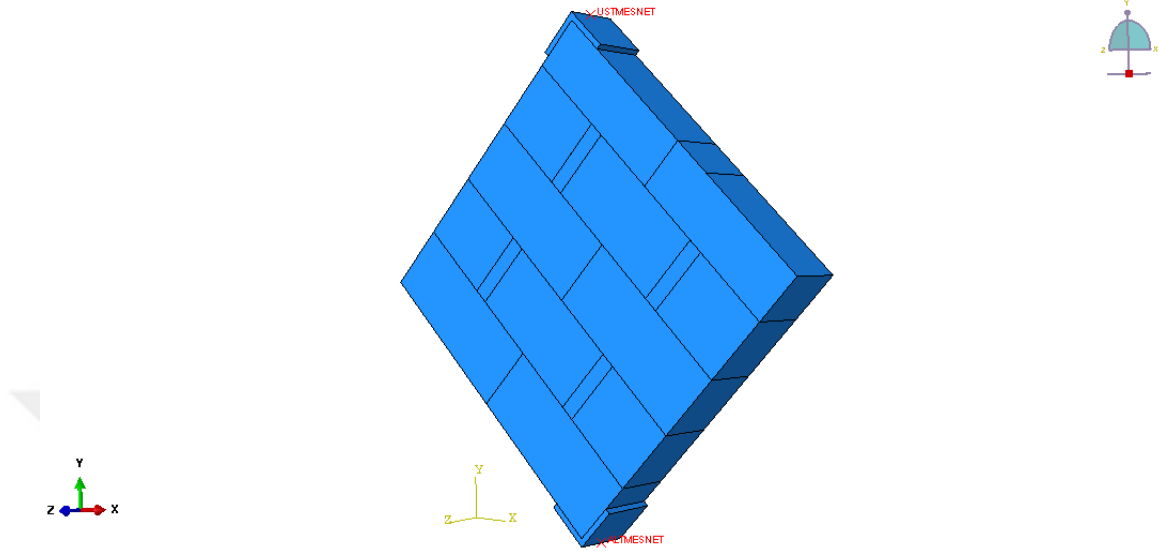


Şekil 4.17. Analiz süresi ve yer değiştirme grafiği

4.2.5. Pabuç bağlantılarının tanımlanması

Modeli yapılan deneyde duvar numuneleri oluşturulurken duvarın üst bölümündeki pabuç üzerine düşey yönde yükleme pistonundan uygulanan yükü ölçmek için yük hücresi, alt bölgesine ise sabit alt pabuç yerleştirilmiştir. Modele bu durumu yansıtmak için üst pabucun ve alt pabucun dışta kalarak duvar ile temas etmediği, yüzeylerinin orta noktalarına referans noktaları atanmıştır.

Pabucun duvar ile temasta olan iç kısmına atanmamasının sebebi yükün noktasal olarak duvara uygulanarak ezilme oluşturmamasına ve gerçeği yansıtmamasına engel olmaktır. Bu referans noktaları modelde mesnet noktalarını ifade etmektedir. Pabuç ile duvar bağlantısı Şekil 4.18’de verilmiştir.



Şekil 4.18. Pabuç-duvar bağlantısı

Deney düzeneğine göre atanan mesnet noktaları ve o noktayı etkileyen yüzeyinde teorik olarak herhangi bir deformasyonun olmadığını, rijit olduğunu, belirtmek için “Rigid body” tanımı yapılmıştır. Deneyde veriler, yükleme pistonu ile pabuç arasına yerleştirilen yük okuma hücresinden ve duvarın tek yüzüne yerleştirilen LPDT’lerden okunmuştur.

4.2.6. Parçalar arası etkileşimin tanımlanması

Kohezif davranış çekme ve kayma gerilmeleri altında, temas halindeki yüzeylerin deformasyon ve hasar davranışını tanımlamaktadır. Eleman bünyesindeki şekil değiştirmeler malzeme özelliklerine bağlı iken temas halindeki yüzeylerde şekil değiştirmeler (ayrılma), yüzeyler arasındaki kohezif kontak özelliklerine bağlıdır.

Kohezif kontak özellikleri temas halinde olan yüzeylerin iki düğüm noktası arasındaki normal, K_{nn} , (Mod I) ve kesme, K_{ss-tt} , (Mod II) doğrultusunda, göreceli yerdeğiştirmelere (ayrılma) bağlı davranış göstermektedir. Bu çalışmadaki modellerde gazbeton duvar derzlerinin mekanik özelliklerinin her iki kayma doğrultusunda eşit olduğu (Mod II = Mod III) varsayılmıştır. Çizelge 4.14’te verilen ara yüzey parametreleri (3.6) ve (3.7) ifadelerine göre hesaplanmıştır (Abdulla 2017).

Çizelge 4.14. Ara yüzey için kullanılan parametreler

K_{nn} (N/mm ³)	$K_{ss} = K_{tt}$ (N/mm ³)
37,5	15,7

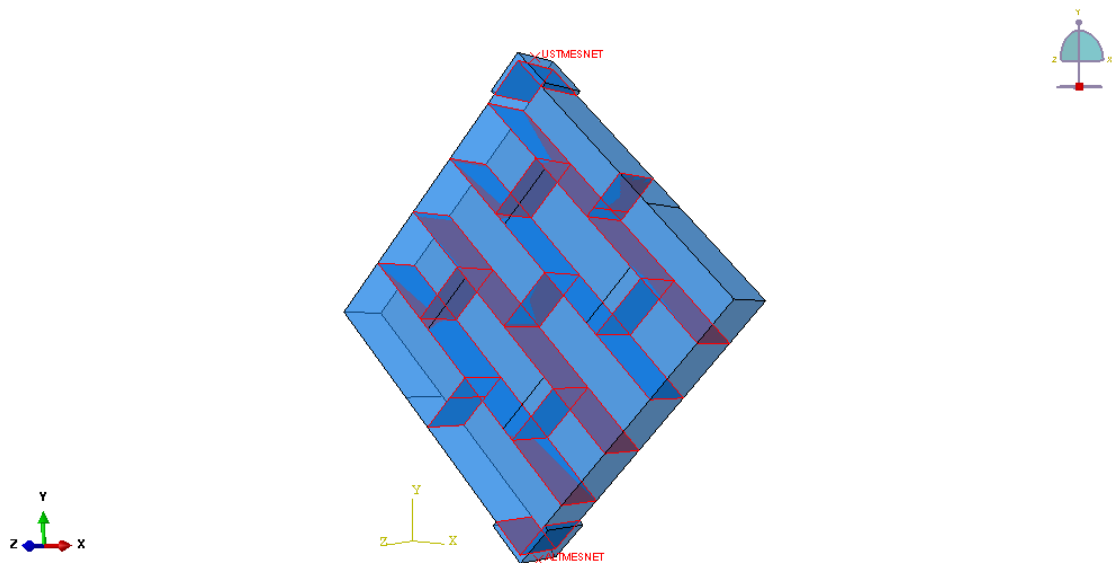
Kohezif kontak yüzeylerin hasar ilerlemesi, hasar davranışı ile tanımlanmıştır. Kohezif davranışa ek olarak modelde, kohezif kontak yüzeyinin herhangi bir noktasında kontak yüzeyi birbirlerinden tamamen ayrılrsa bile kontak yüzeylerindeki normal basıncın diğer yüzeye penetrasyon olmadan iletilmesi sert kontak ve yüzeylerin birbirleri üzerinde kayması normal ve teğetsel davranış ile sağlanmıştır. Modelde ayrıca kohezif kontak yüzeylerinin dışında eşdeğer gazbetonların birbirleri arasındaki etkileşimi tanımlamak içinde normal davranış tanımlanmıştır. Bunlar Şekil 4.19’da verilen etkileşim yüzeylerine tanımlanmıştır. Ara yüzey genel harç özellikleri için kullanılan hasar başlangıcı ve hasar gelişimi sırasıyla Çizelge 4.15,16’da verilmiştir.

Çizelge 4.15. Ara yüzey genel harç özellikleri için kullanılan hasar başlangıç parametreleri (Damage Initiation)

Normal dayanım σ_{nn} (MPa)	Kesme dayanımı $\tau_{ss} = \tau_{tt}$ (MPa)
0,1 (Eurocode-6, Bölüm 3.6.3, f_{xk1} için tablo, AAC, $f_{cm} \geq 5$ N/mm ²)	0,15 (Eurocode-6, Bölüm 3.6.2, Tablo 3.4, AAC)

Çizelge 4.16. Ara yüzey genel harç özellikleri için kullanılan hasar gelişim parametreleri (Damage Evolution) (Bikçe, vd. 2021)

Toplam/Plastik yedeğiştirme oranı (Normal ve kayma yönünde)	Sürtünme katsayısı (μ)	Kohezyon katsayısı (c)
%10	0,3	0,24

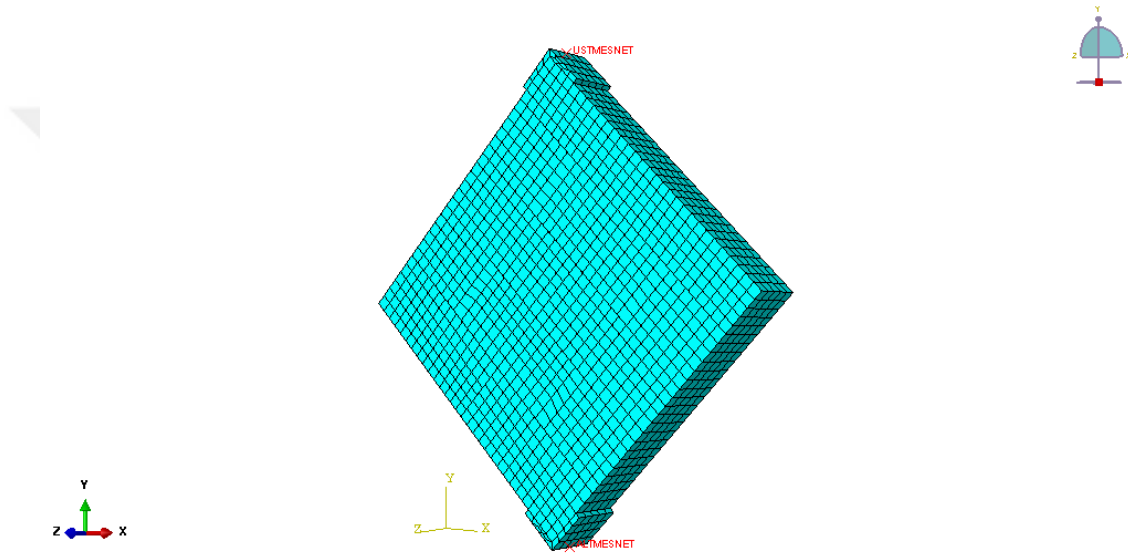


Şekil 4.19. Eşdeğer gazbeton etkileşim yüzeyleri

4.2.7. Sonlu elemanlar ağıının tanımlanması

Sonlu eleman yöntemi kullanılarak yapılan analizlerde sonuçların yaklaşım doğruluğunu, ağ içerisinde kullanılan eleman tipi ve eleman sayısı etkilemektedir. Eleman tipi üçgensel, dörtgensel vb. olabilir.

Bu çalışmada dörtgensel eleman tipi seçilmiştir. Eleman sayısı ise inceleme altındaki elemanın durumunu ve cihazın sınırlarını da göz önüne alınarak 5 mm aralıklar ile bölünerek sonlu eleman ağı oluşturulmuştur. Sonlu elemanlar ağı Şekil 4.20’de verilmiştir. Oluşturulan sonlu elemanlar ağındaki birim elemanların türü “Explicit” ve geometrik düzeni lineer seçilmiştir. Eleman kontrolünde ise kinematik davranışı ortogonal ve eleman maksimum hasar aldığı anda elemanın silinmesi sağlanmıştır.



Şekil 4.20. Sonlu elemanlar ağıının oluşturulması

4.2.8. Analizin başlatılması ve sonuçların görüntülenmesi

Analiz “Job” kısmından bir analiz ismi verilerek oluşturulmuştur. Başlatılan analiz “Monitor” kısmından izlenerek analiz sürecinde program tarafından verilen hatalar ve uyarılar düzeltilip tekrar analiz başlatılmıştır.

Analiz tamamlandıktan sonra “Results” seçeneği ile modele ait analiz sonuçları görüntülenmiştir. “Visualization” bölümündeki “Create XY Data” komutundan “ODB History Output” seçeneği seçilmiştir.

Deney sonucunda grafiklerin yatay ekseninde yer değiştirme, düşey ekseninde ise uygulanan yük elde edilmiştir. Deneyden elde edilen grafiğin yatay eksenindeki deplasman, yatay ve düşey yer değiştirmelerin toplamıdır. Analiz sonucunda elde edilen grafikler ile deney sonucunda elde edilen grafikleri karşılaştırmak için analiz sonucundaki grafiklerinin eksenlerindeki verileri deney grafik verilerine göre ayarlanmıştır.

5. TARTIŞMA

5.1. Giriş

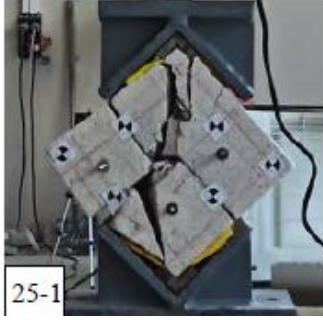
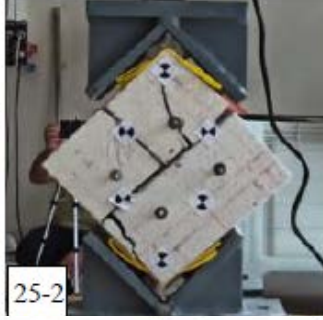
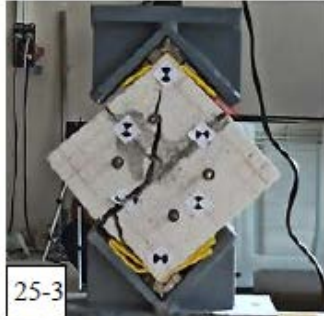
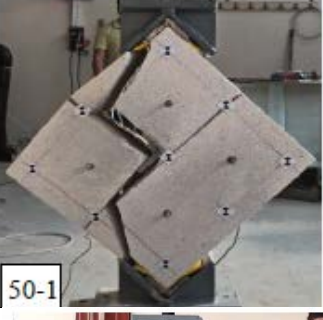
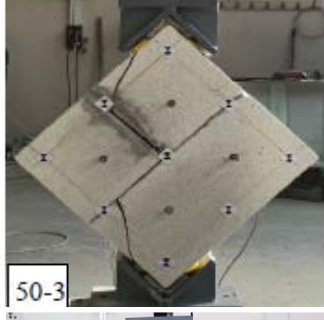
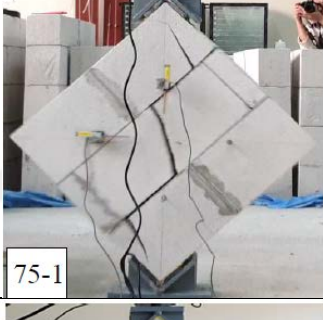
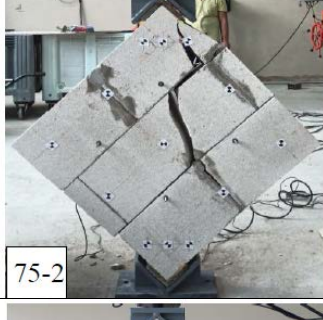
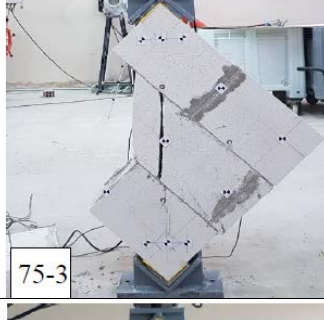
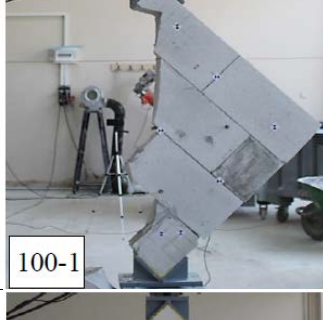
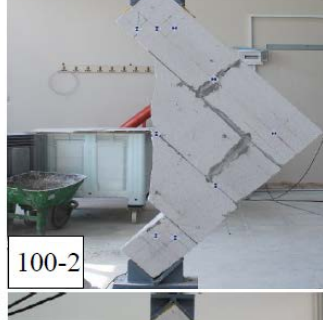
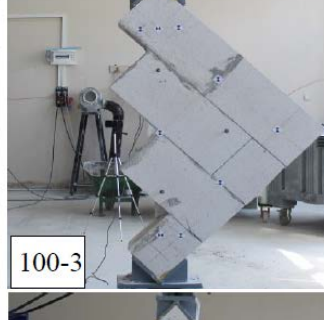
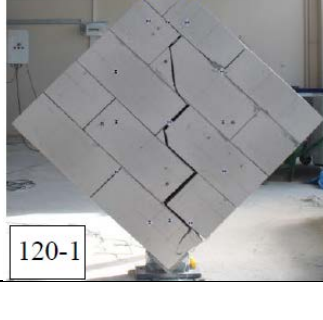
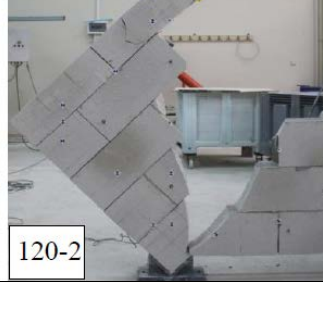
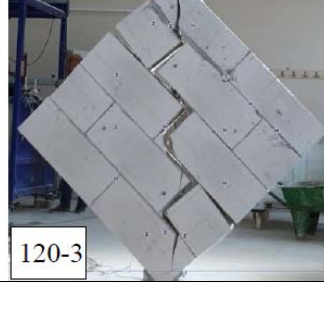
Dolgu duvar örülmesinde kullanılan birçok farklı örgü şekli, harç kalınlığı, ya da tuğla ve harç tipi ile farklı özelliklere ait duvarlar üretilebilmektedir. Örülen bu duvarlar ile ilgili farklı özellikler, farklı dayanım ve kırılma durumları oluşturmaktadır.

Bu tez çalışmasında deneyleri literatürde mevcut olan harç kalınlığı sabit gazbeton ve gazbeton yapıştırıcısı ile imal edilmiş, gazbetonları şaşırtmalı bir şekilde örülmüş, sıvasız beş farklı boyuttaki gazbeton dolgu duvar sonlu elemanlar yöntemiyle analitik olarak modellenmiştir. Deneylerin zaman ve maliyet açısından tasarruflu olamaması ve gelişen teknoloji ile bilgisayarlar aracılığıyla daha hızlı sonuç alınabilmektedir. Bu durumlar sebebiyle bilgisayar ortamında gerçekleştirilen modellemelerde gerçeğe en yakın sonuçları alabilmek çok önemlidir.

5.2. Deneyisel Çalışmaya Ait Görseller (Sabahoğlu 2022)

Analiz sonuçlarının deney sonuçları ile karşılaştırılarak değerlendirildiği bu kısımda deney numunelerine ait değerler, aynı boyutta deneyi yapılan her üç deney numunesinin ortalama deney sonuçlarıdır. Deneyi yapılmış olan duvar numunelerine ait göçme biçimleri Çizelge 5.1’de verilmiştir.

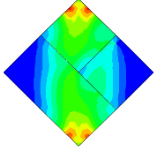
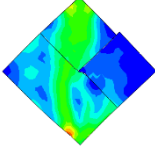
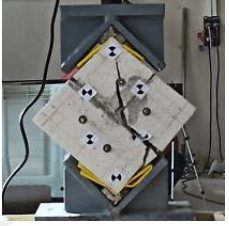
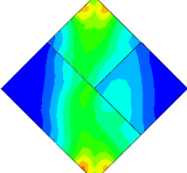
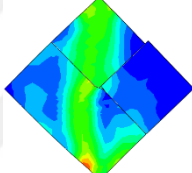
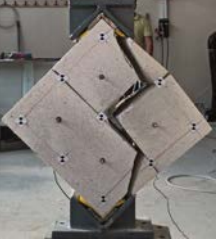
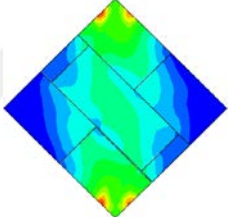
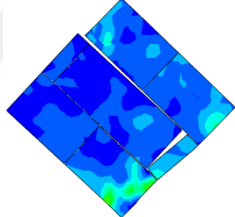
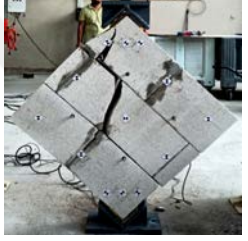
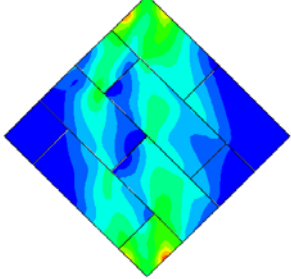
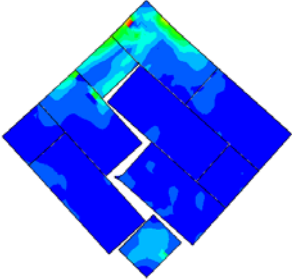
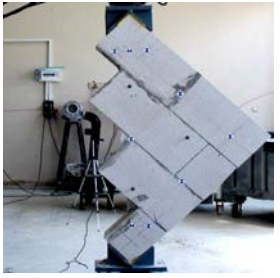
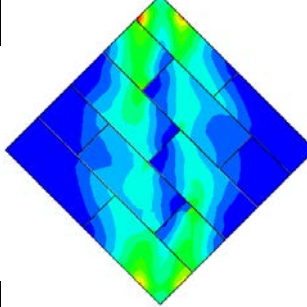
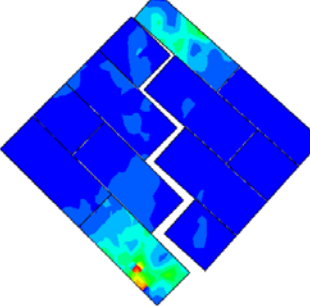
Çizelge 5.1. Deneyi yapılan duvar numunelerinin göçme biçimleri (Sabahoğlu 2022)

25×25			
50×50			
75×75			
100×100			
120×120			

5.3. Analitik Çalışma Sonuçlarının Değerlendirilmesi

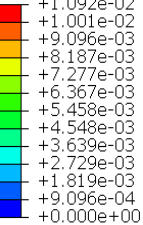
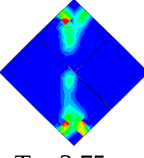
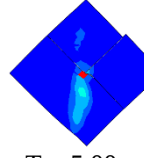
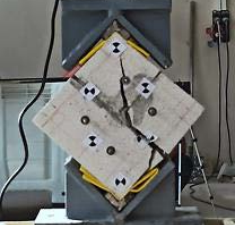
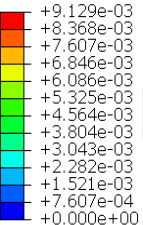
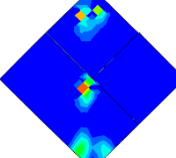
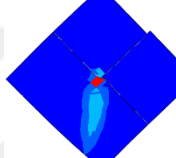
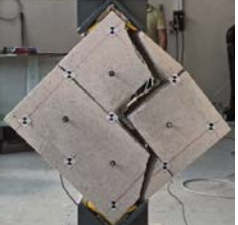
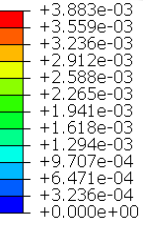
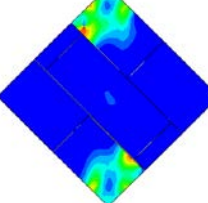
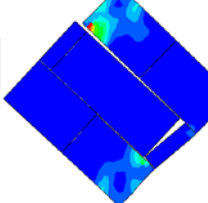
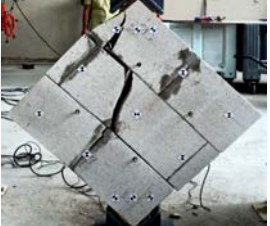
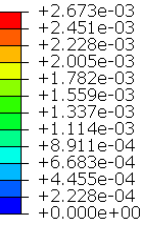
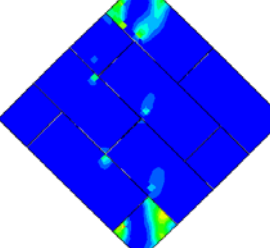
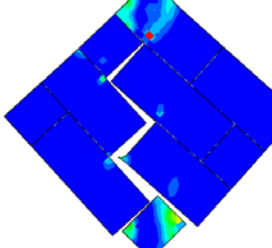
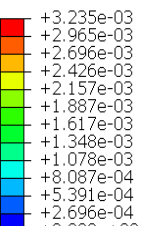
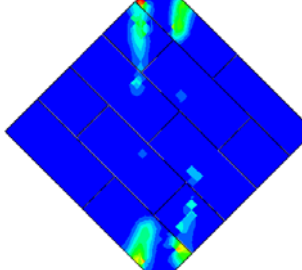
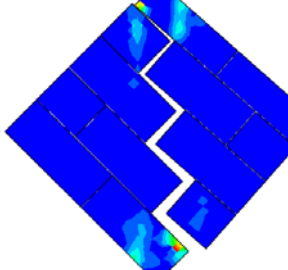
Tüm duvar tipleri için Von Mises gerilme dağılımı karşılaştırmalı olarak Çizelge 5.2’de verilmiştir.

Çizelge 5.2. Kırılma öncesi ve sonrası Von Mises gerilme dağılımı

	Von Mises gerilmesi (N/mm ²)	Kırılma öncesi	Kırılma sonrası	Deneysel durum
25×25 cm	+9.615e-01 +8.819e-01 +8.022e-01 +7.225e-01 +6.429e-01 +5.632e-01 +4.835e-01 +4.039e-01 +3.242e-01 +2.445e-01 +1.649e-01 +8.521e-02 +5.550e-03	 T = 3.75 sn	 T = 5.00 sn	
50×50 cm	+1.036e+00 +9.497e-01 +8.635e-01 +7.774e-01 +6.912e-01 +6.051e-01 +5.189e-01 +4.328e-01 +3.466e-01 +2.605e-01 +1.743e-01 +8.820e-02 +2.047e-03	 T = 6.90 sn	 T = 8.00 sn	
75×75 cm	+1.243e+00 +1.140e+00 +1.037e+00 +9.344e-01 +8.314e-01 +7.284e-01 +6.254e-01 +5.224e-01 +4.194e-01 +3.164e-01 +2.134e-01 +1.104e-01 +7.363e-03	 T = 11.90 sn	 T = 11.95 sn	
100×100 cm	+1.283e+00 +1.176e+00 +1.069e+00 +9.622e-01 +8.554e-01 +7.487e-01 +6.419e-01 +5.351e-01 +4.284e-01 +3.216e-01 +2.148e-01 +1.080e-01 +1.261e-03	 T = 15.60 sn	 T = 15.65 sn	
120×120 cm	+1.328e+00 +1.217e+00 +1.107e+00 +9.966e-01 +8.861e-01 +7.757e-01 +6.652e-01 +5.548e-01 +4.443e-01 +3.339e-01 +2.235e-01 +1.130e-01 +2.569e-03	 T = 15.40 sn	 T = 15.45 sn	

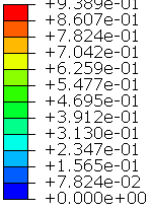
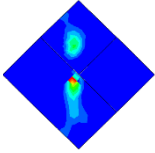
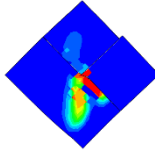
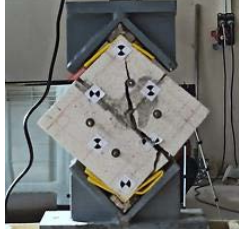
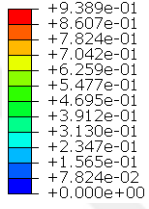
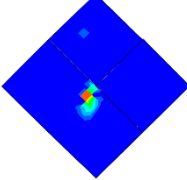
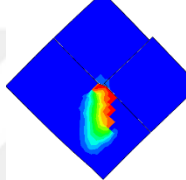
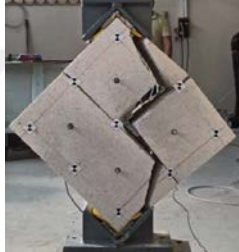
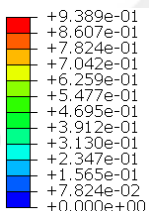
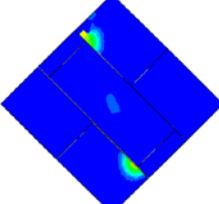
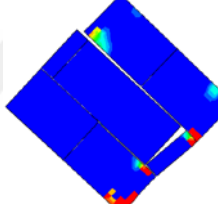
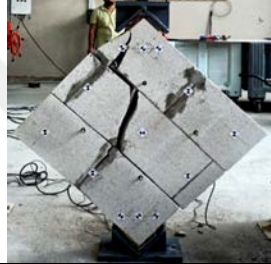
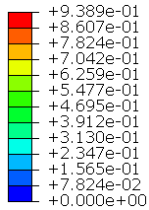
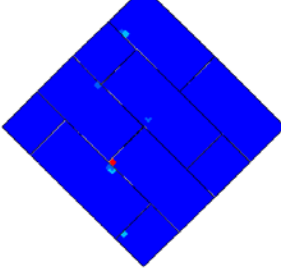
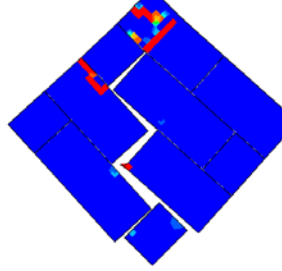
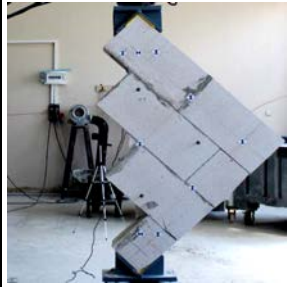
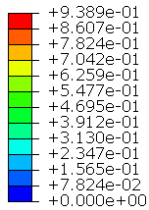
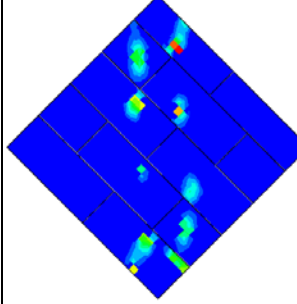
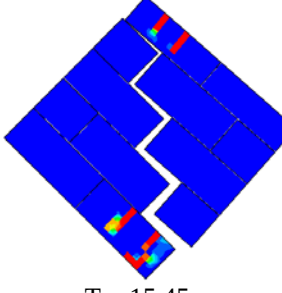
Tüm duvar tipleri için basınç gerilmesi kaynaklı hasar durumu karşılaştırmalı olarak Çizelge 5.3'te verilmiştir.

Çizelge 5.3. Kırılma öncesi ve sonrası basınç hasar parametresi (DC)

	Basınç hasar parametresi	Kırılma öncesi	Kırılma sonrası	DeneySEL durum
25×25 cm		 T = 3.75 sn	 T = 5.00 sn	
50×50 cm		 T = 6.90 sn	 T = 8.00 sn	
75×75 cm		 T = 11.90 sn	 T = 11.95 sn	
100×100 cm		 T = 15.60 sn	 T = 15.65 sn	
120×120 cm		 T = 15.40 sn	 T = 15.45 sn	

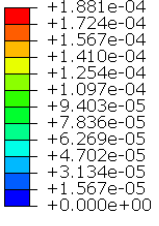
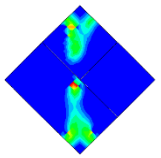
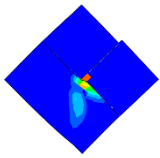
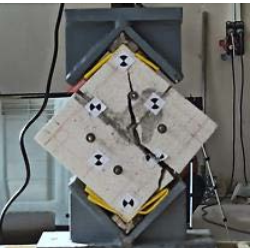
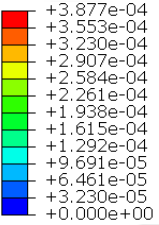
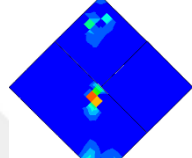
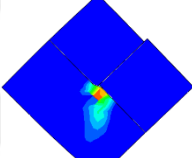
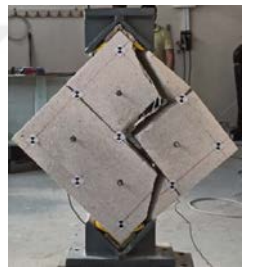
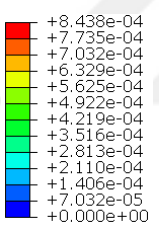
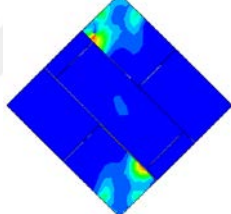
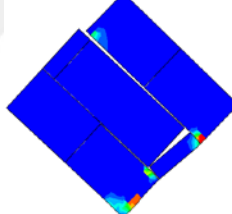
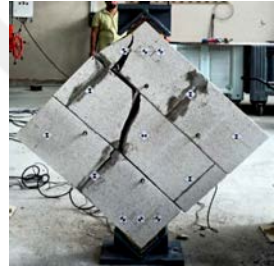
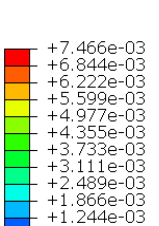
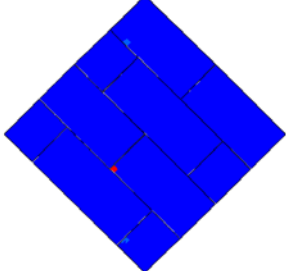
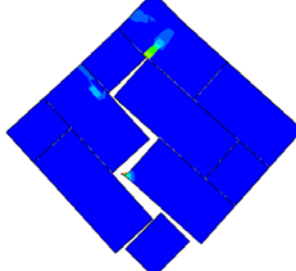
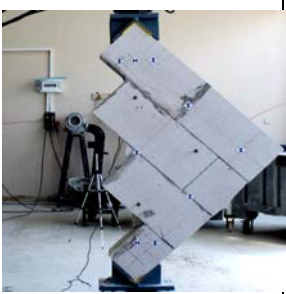
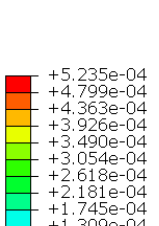
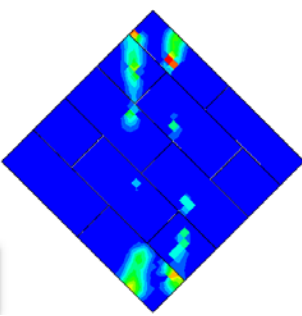
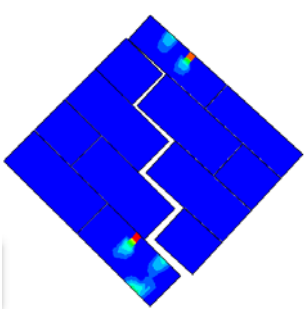
Tüm duvar tipleri için çekme gerilmesi kaynaklı hasar durumu karşılaştırmalı olarak Çizelge 5.4’te verilmiştir.

Çizelge 5.4. Kırılma öncesi ve sonrası çekme hasar parametresi (DT)

	Çekme hasar parametresi	Kırılma öncesi	Kırılma sonrası	Deneyisel durum
25×25 cm		 T = 3.75 sn	 T = 5.00 sn	
50×50 cm		 T = 6.90 sn	 T = 8.00 sn	
75×75 cm		 T = 11.90 sn	 T = 11.95 sn	
100×100 cm		 T = 15.60 sn	 T = 15.65 sn	
120×120 cm		 T = 15.40 sn	 T = 15.45 sn	

Tüm duvar tipleri için plastik birim şekildeğiştirme dağılımı karşılaştırmalı olarak Çizelge 5.5’te verilmiştir.

Çizelge 5.5. Kırılma öncesi ve sonrası plastik birim şekildeğiştirme (PE) dağılımı

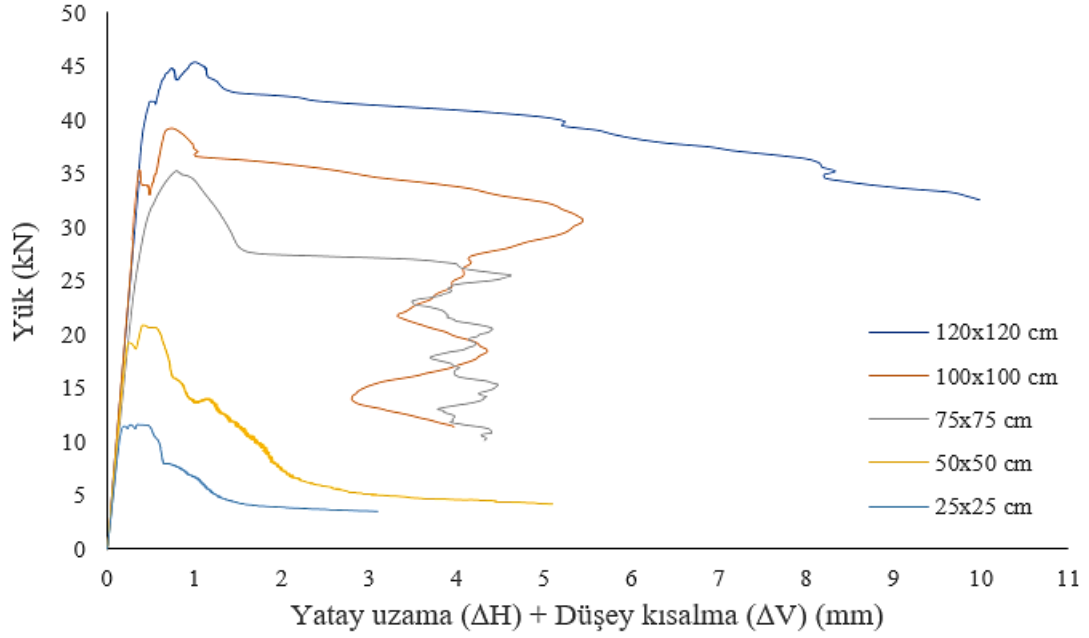
	Plastik birim şekildeğiştirme	Kırılma öncesi	Kırılma sonrası	Deneysel durum
25×25 cm	 +1.881e-04 +1.724e-04 +1.567e-04 +1.410e-04 +1.254e-04 +1.097e-04 +9.403e-05 +7.836e-05 +6.269e-05 +4.702e-05 +3.134e-05 +1.567e-05 +0.000e+00	 T = 3.75 sn	 T = 5.00 sn	
50×50 cm	 +3.877e-04 +3.553e-04 +3.230e-04 +2.907e-04 +2.584e-04 +2.261e-04 +1.938e-04 +1.615e-04 +1.292e-04 +9.691e-05 +6.461e-05 +3.230e-05 +0.000e+00	 T = 6.90 sn	 T = 8.00 sn	
75×75 cm	 +8.438e-04 +7.735e-04 +7.032e-04 +6.329e-04 +5.625e-04 +4.922e-04 +4.219e-04 +3.516e-04 +2.813e-04 +2.110e-04 +1.406e-04 +7.032e-05 +0.000e+00	 T = 11.90 sn	 T = 11.95 sn	
100×100 cm	 +7.466e-03 +6.844e-03 +6.222e-03 +5.599e-03 +4.977e-03 +4.355e-03 +3.733e-03 +3.111e-03 +2.489e-03 +1.866e-03 +1.244e-03 +6.222e-04 +0.000e+00	 T = 15.60 sn	 T = 15.65 sn	
120×120 cm	 +5.235e-04 +4.799e-04 +4.363e-04 +3.926e-04 +3.490e-04 +3.054e-04 +2.618e-04 +2.181e-04 +1.745e-04 +1.309e-04 +8.725e-05 +4.363e-05 +0.000e+00	 T = 15.40 sn	 T = 15.45 sn	

Tüm duvar tipleri için maksimum etkileşim gerilme oranı Çizelge 5.6'da verilmiştir.

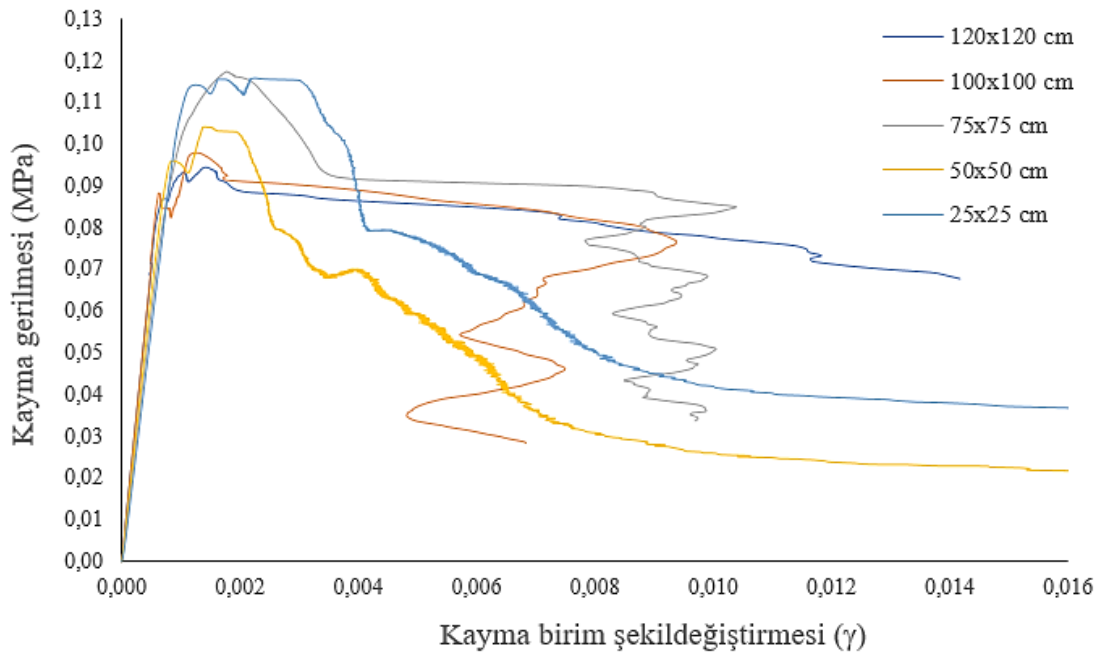
Çizelge 5.6. Kırılma öncesi ve sonrası arayüzler için maksimum etkileşim gerilme oranı

	Maksimum etkileşim gerilme oranını	Kırılma öncesi	Kırılma sonrası	Deneyisel durum
25×25 cm		 T = 3.75 sn	 T = 5.00 sn	
50×50 cm		 T = 6.90 sn	 T = 8.00 sn	
75×75 cm		 T = 11.90 sn	 T = 11.95 sn	
100×100 cm		 T = 15.60 sn	 T = 15.65 sn	
120×120 cm		 T = 15.40 sn	 T = 15.45 sn	

Tüm duvar tipleri için analiz sonuçlarına ait yük-yatay uzama + düşey kısılma grafiği ve kayma gerilmesi - kayma birim şekildeğiştirme grafiği sırasıyla Şekil 5.1,2’de karşılaştırmalı olarak verilmiştir.

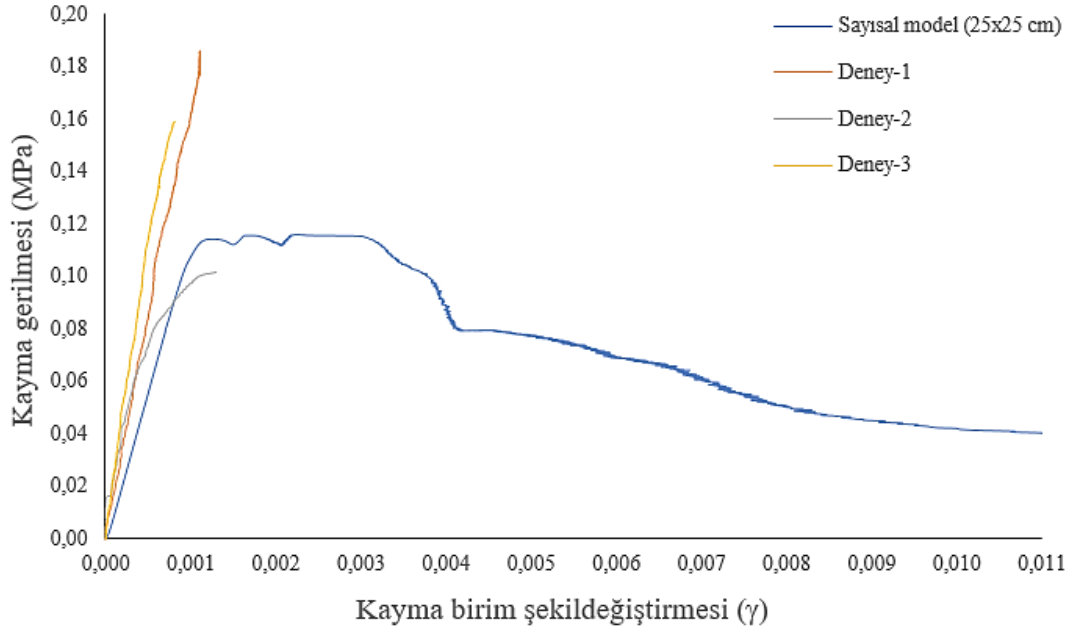


Şekil 5.1. Duvar numunelerinin analiz sonuçlarına ait yük ve yatay uzama + düşey kısılma grafiği

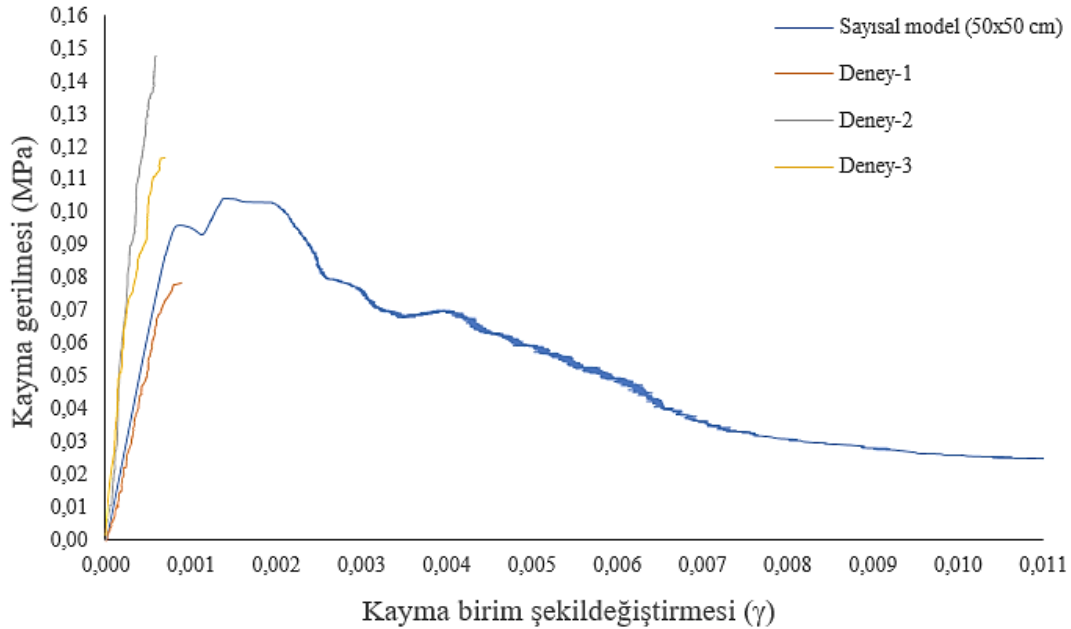


Şekil 5.2. Duvar numunelerinin analiz sonuçlarına ait kayma gerilmesi ve kayma birim şekildeğiştirme grafiği

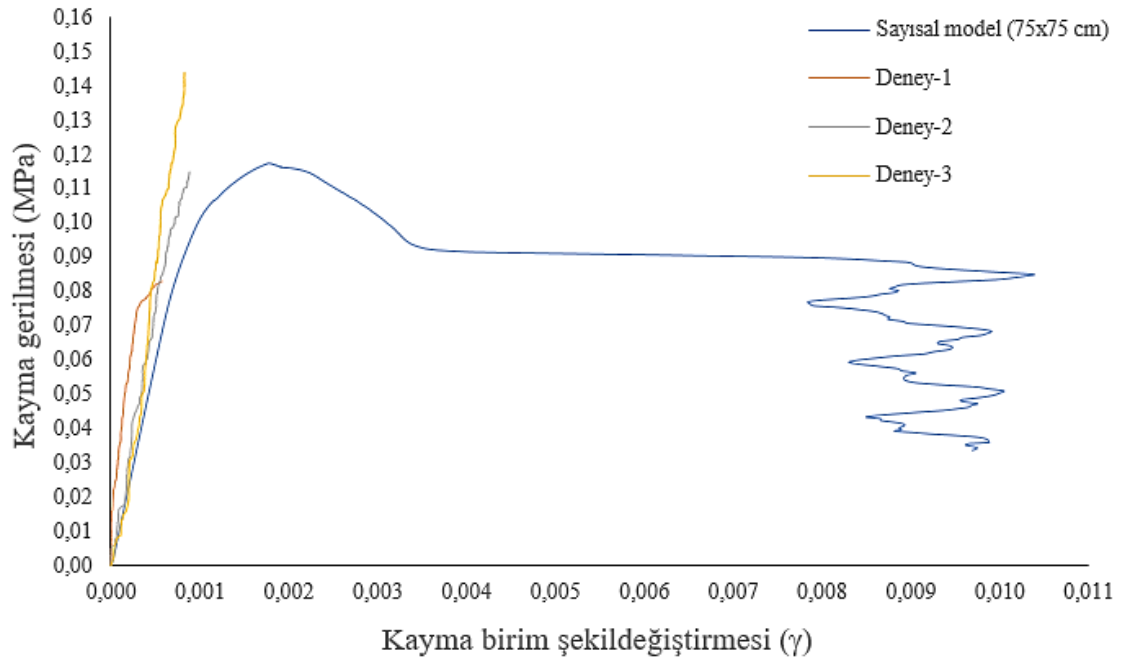
25×25, 50×50, 75×75, 100×100, 120×120 cm duvar tiplerine ait deney ve analiz sonuçlarının kayma gerilmesi ve kayma şekildeğiştirmesi yönünden karşılaştırmalı grafikleri sırasıyla Şekil 5.3-7’de verilmiştir.



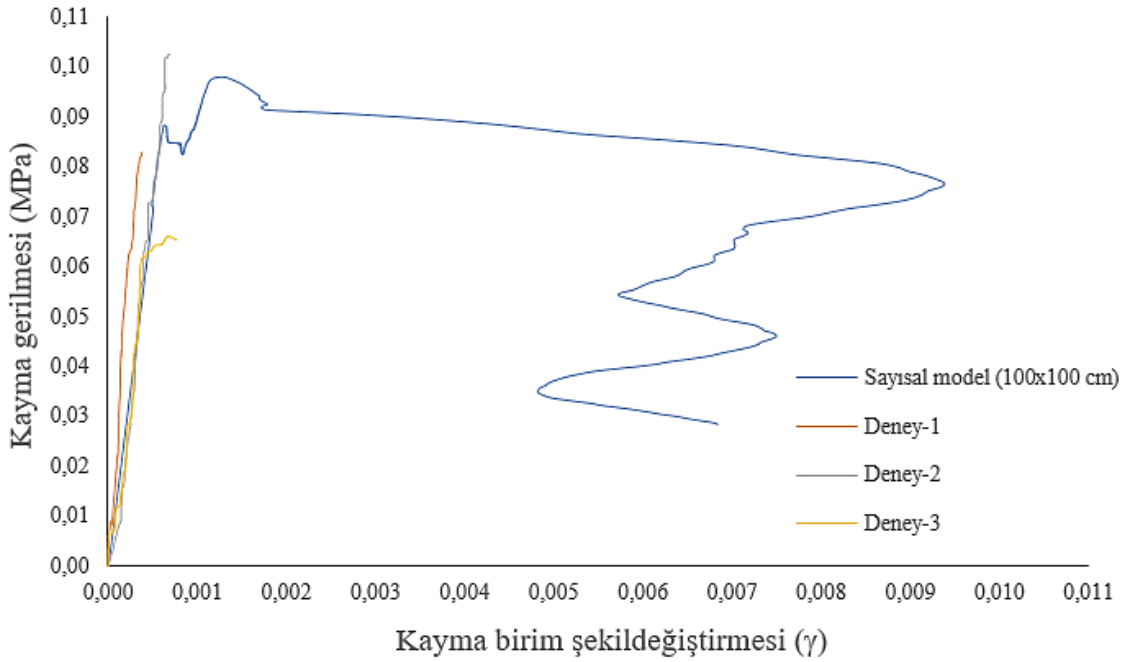
Şekil 5.3. 25×25 cm duvar numunesinin deney ve analiz sonuçlarına ait kayma gerilmesi ve kayma birim şekildeğiştirme grafiği



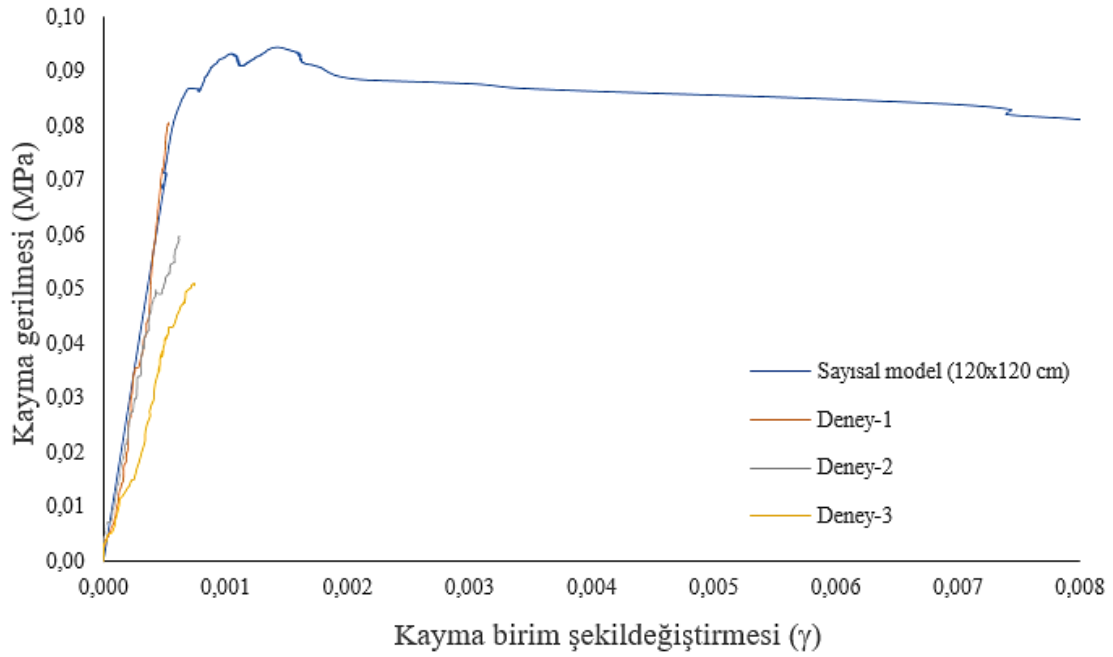
Şekil 5.4. 50×50 cm duvar numunesinin deney ve analiz sonuçlarına ait kayma gerilmesi ve kayma birim şekildeğiştirme grafiği



Şekil 5.5. 75×75 cm duvar numunesinin deney ve analiz sonuçlarına ait kayma gerilmesi ve kayma birim şekildeğiştirme grafiği



Şekil 5.6. 100×100 cm duvar numunesinin deney ve analiz sonuçlarına ait kayma gerilmesi ve kayma birim şekildeğiştirme grafiği



Şekil 5.7. 120×120 cm duvar numunesinin deney ve analiz sonuçlarına ait kayma gerilmesi ve kayma birim şekildeğiştirme grafiği

Tüm duvar tiplerine ait deney ve analiz sonuçlarının kayma gerilmesi–kayma birim şekildeğiştirme değerleri Çizelge 5.7’de, kırılma yükü ve yatay uzama+düşey kısalma değerleri Çizelge 5.8’de verilmiştir.

Çizelge 5.7. Tüm duvar numunelerine ait kayma gerilmesi–kayma birim şekildeğiştirme değerleri

Boyut		25×25	50×50	75×75	100×100	120×120
Kayma gerilmesi (MPa)	Deney	0,149	0,114	0,114	0,084	0,064
	Analiz	0,116	0,104	0,117	0,098	0,095
Kayma birim şekildeğiştirme	Deney	0,0011	0,0007	0,0008	0,0006	0,0006
	Analiz	0,0023	0,0013	0,0018	0,0013	0,0014

Tüm duvarlara ait kırılma yükü ve yatay uzama–düşey kısalma değerleri ASTM E–519-20 standardındaki bağıntılar ve deney sonuçlarının değerleri kullanılarak hesaplanmıştır. Kırılma yükü (5.1) ve (5.2)’ye, yatay uzama–düşey kısalma değerleri (5.3) ifadesine göre hesaplanmıştır.

$$\tau = \frac{0.707 P}{A_n} \quad (5.1)$$

$$A_n = \frac{w+h}{2} t n \quad (5.2)$$

$$\gamma = \frac{\Delta_x + \Delta_y}{g} \quad (5.3)$$

τ kayma gerilmesi, P uygulanan kuvvet, A_n duvar panelinin net alanı, w , h , t sırasıyla duvar panelinin uzunluğu, yüksekliği ve genişliğidir, n duvar panelinin katı olan brüt alanının yüzdesidir, γ duvar numunesinin kayma şekil değiştirmesi, Δ_x yatay uzama, Δ_y düşey kısalma ve g yüklemeye paralel yöndeki ölçü uzunluğudur.

Çizelge 5.8. Tüm duvar numunelerine ait kırılma yükü ve yatay uzama+düşey kısalma değerleri

Boyut		25×25	50×50	75×75	100×100	120×120
Kırılma yükü (kN)	Deney	14,58	22,86	34,2	33,44	30,57
	Analiz	11,59	20,83	35,23	39,19	45,36
Yatay uzama + Düşey kısalma (mm)	Deney	0,168	0,2111	0,3391	0,3571	0,4487
	Analiz	0,353	0,4036	0,7921	0,7404	1,0038

25×25 deney numunelerinin kırılma mekanizması incelendiğinde, hasarın çoğunlukla gazbeton gövdesinde olduğu ve derzlerden ayrılma gerçekleştiği görülmektedir. Analiz sonucu elde edilen gerilme dağılımı incelendiğinde de en fazla gerilmenin yine genel olarak gazbeton gövdesinde olduğu ve derzlerden ayrıldığı görülmektedir.

50×50 deney numunelerinin kırılma mekanizması incelendiğinde, hasarın başlıklar ile temas eden gazbeton gövdesinde olduğu ve derzlerden ayrılma gerçekleştiği görülmektedir. Analiz sonucu elde edilen gerilme dağılımı incelendiğinde de en fazla gerilmenin yine genel olarak gazbeton gövdesinde olduğu ve derzlerden ayrıldığı görülmektedir.

75×75 deney numunelerinin kırılma mekanizması incelendiğinde, gazbeton blokların kırıldığı ve yatay ve düşey derzlerden ayrılma gerçekleştiği görülmektedir. Analiz sonucu elde edilen gerilme dağılımı incelendiğinde de en fazla gerilmenin yine genel olarak gazbeton gövdesinde olduğu ve derzlerden ayrıldığı görülmektedir.

100×100 deney numunelerinin kırılma mekanizması incelendiğinde, gazbeton blokların diyagonal yük gelen kısımdan kırıldığı ve yatay ve düşey derzlerden ayrılma

gerçekleştiği görülmektedir. Analiz sonucu elde edilen gerilme dağılımı incelendiğinde de en fazla gerilmenin yine genel olarak diyagonal yükleme hizasındaki gazbeton gövdesinde olduğu ve derzlerden ayrıldığı görülmektedir.

120×120 deney numunelerinin kırılma mekanizması incelendiğinde, genel olarak yatay ve düşey derzlerden ayrılma gerçekleştiği görülmektedir. Analiz sonucu elde edilen gerilme dağılımı incelendiğinde de en fazla gerilmenin diyagonal yükleme hizasındaki derzlerden ayrıldığı görülmektedir.

5.4. Deneyi Yapılmayan Durumların Modellenmesi

Deneyi yapılan duvar tiplerinin modellenmesi dışında 40×40, 60×60, 140×140 ve 160×160 cm boyutlarındaki duvar tipleri de modellenmiş ve analizi yapılmıştır. Bu duvarlar için düşey yer değiştirme, Von Mises gerilmesi, basınç hasar parametresi, çekme hasar parametresi, plastik birim şekil değiştirme ve maksimum etkileşim gerilme oranı sırasıyla Çizelge 5.9-12’de verilmiştir.

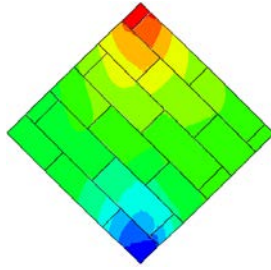
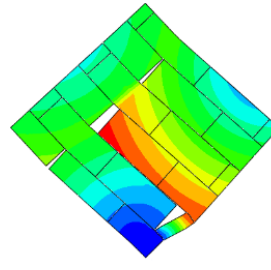
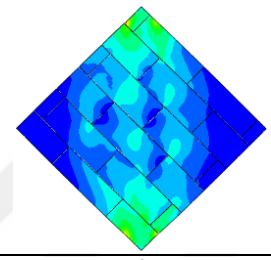
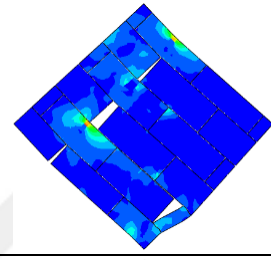
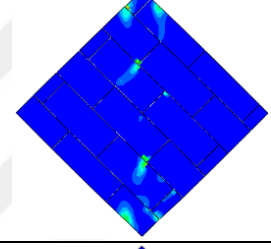
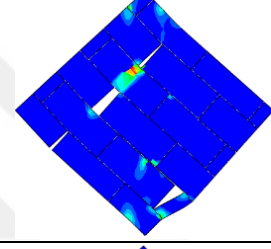
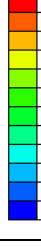
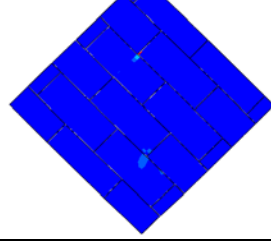
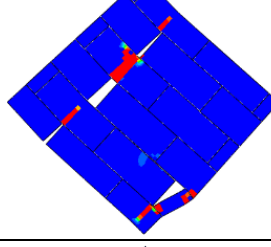
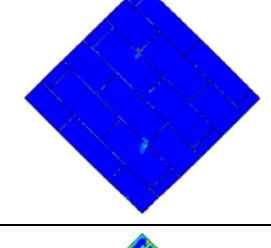
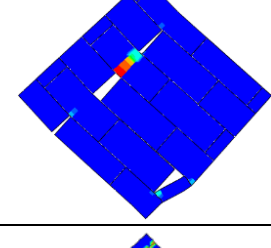
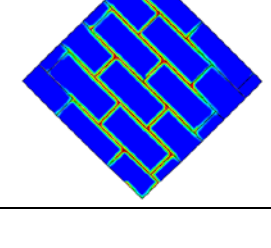
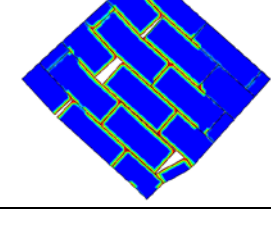
Çizelge 5.9. 40×40 cm boyutlu durum için kırılma öncesi ve sonrası değerleri

	Ölçek	Kırılma öncesi T = 7.95 sn	Kırılma sonrası T = 8.05 sn
Düşey yereğiştirme (mm)	+8.120e-01 +7.444e-01 +6.767e-01 +6.090e-01 +5.414e-01 +4.737e-01 +4.060e-01 +3.384e-01 +2.707e-01 +2.030e-01 +1.353e-01 +6.767e-02 +0.000e+00		
Von Mises gerilmesi (N/mm ²)	+1.062e+00 +9.742e-01 +8.870e-01 +7.997e-01 +7.124e-01 +6.252e-01 +5.379e-01 +4.506e-01 +3.634e-01 +2.761e-01 +1.889e-01 +1.016e-01 +1.432e-02		
Basınç hasar parametresi (DC)	+4.767e-03 +4.370e-03 +3.973e-03 +3.576e-03 +3.178e-03 +2.781e-03 +2.384e-03 +1.986e-03 +1.589e-03 +1.192e-03 +7.946e-04 +3.973e-04 +0.000e+00		
Çekme hasar parametresi (DT)	+9.229e-01 +8.460e-01 +7.691e-01 +6.922e-01 +6.153e-01 +5.383e-01 +4.614e-01 +3.845e-01 +3.076e-01 +2.307e-01 +1.538e-01 +7.691e-02 +0.000e+00		
Plastik birim şekildeğiştirme (PE)	+6.825e-03 +6.256e-03 +5.687e-03 +5.118e-03 +4.550e-03 +3.981e-03 +3.412e-03 +2.844e-03 +2.275e-03 +1.706e-03 +1.137e-03 +5.687e-04 +0.000e+00		
Maksimum etkileşim gerilme oranını	+1.000e+00 +9.167e-01 +8.333e-01 +7.500e-01 +6.667e-01 +5.833e-01 +5.000e-01 +4.167e-01 +3.333e-01 +2.500e-01 +1.667e-01 +8.333e-02 +0.000e+00		

Çizelge 5.10. 60×60 cm boyutlu durum için kırılma öncesi ve sonrası değerleri

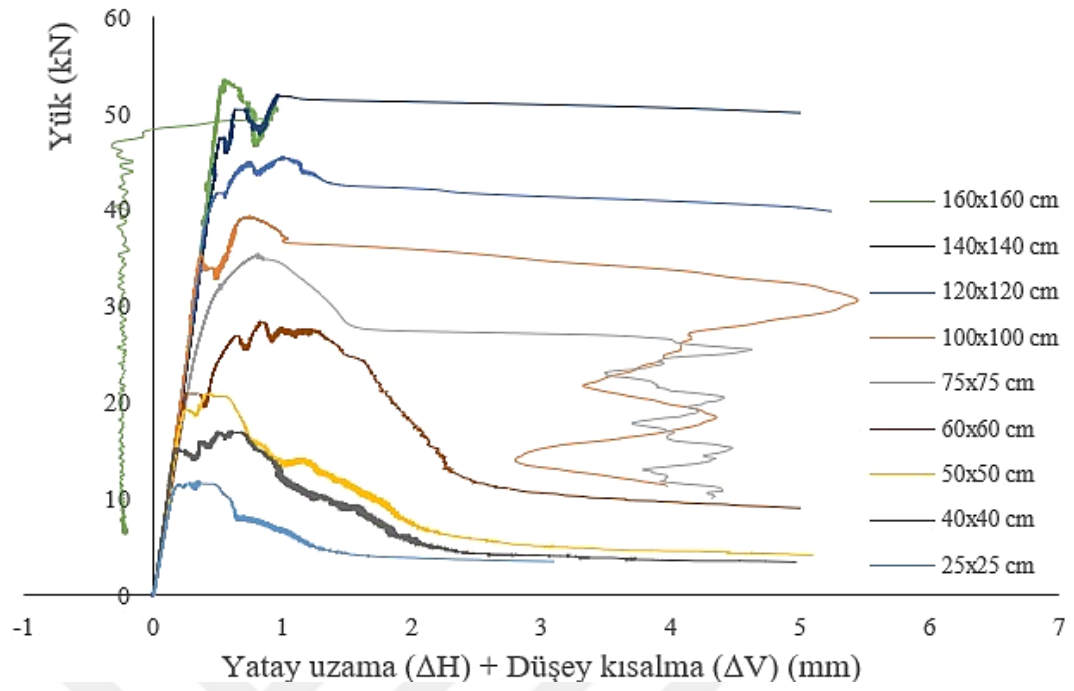
	Ölçek	Kırılma öncesi T = 12.00 sn	Kırılma sonrası T = 12.35 sn
Düşey yer değiştirme (mm)	+1.218e+00 +1.116e+00 +1.015e+00 +9.134e-01 +8.120e-01 +7.105e-01 +6.090e-01 +5.075e-01 +4.060e-01 +3.045e-01 +2.030e-01 +1.015e-01 +0.000e+00		
Von Mises gerilmesi (N/mm ²)	+1.360e+00 +1.247e+00 +1.134e+00 +1.022e+00 +9.086e-01 +7.957e-01 +6.828e-01 +5.699e-01 +4.570e-01 +3.440e-01 +2.311e-01 +1.182e-01 +5.320e-03		
Basınç hasar parametresi (DC)	+3.248e-02 +2.977e-02 +2.707e-02 +2.436e-02 +2.165e-02 +1.895e-02 +1.624e-02 +1.353e-02 +1.083e-02 +8.120e-03 +5.413e-03 +2.707e-03 +0.000e+00		
Çekme hasar parametresi (DT)	+9.389e-01 +8.607e-01 +7.824e-01 +7.042e-01 +6.259e-01 +5.477e-01 +4.695e-01 +3.912e-01 +3.130e-01 +2.347e-01 +1.565e-01 +7.824e-02 +0.000e+00		
Plastik birim şekildeğiştirme (PE)	+2.953e-02 +2.707e-02 +2.461e-02 +2.215e-02 +1.968e-02 +1.722e-02 +1.476e-02 +1.230e-02 +9.842e-03 +7.382e-03 +4.921e-03 +2.461e-03 +0.000e+00		
Maksimum etkileşim gerilme oranını	+1.000e+00 +9.167e-01 +8.333e-01 +7.500e-01 +6.667e-01 +5.833e-01 +5.000e-01 +4.167e-01 +3.333e-01 +2.500e-01 +1.667e-01 +8.333e-02 +0.000e+00		

Çizelge 5.11. 140×140 cm boyutlu durum için kırılma öncesi ve sonrası değerleri

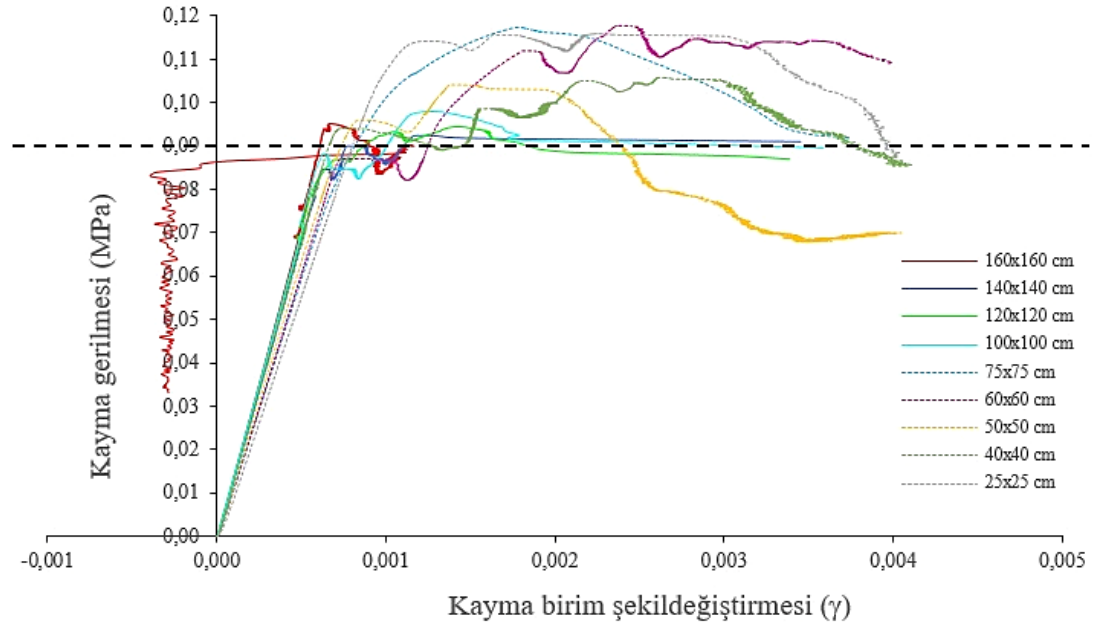
	Ölçek	Kırılma öncesi T = 18.85 sn	Kırılma sonrası T = 18.90 sn
Düşey yereğiştirme (mm)	 +1.860e+00 +1.705e+00 +1.550e+00 +1.395e+00 +1.240e+00 +1.085e+00 +9.299e-01 +7.749e-01 +6.199e-01 +4.649e-01 +3.100e-01 +1.550e-01 +0.000e+00		
Von Mises gerilmesi (N/mm ²)	 +1.583e+00 +1.451e+00 +1.320e+00 +1.188e+00 +1.056e+00 +9.243e-01 +7.926e-01 +6.608e-01 +5.291e-01 +3.973e-01 +2.656e-01 +1.338e-01 +2.080e-03		
Basınç hasar parametresi (DC)	 +3.315e-03 +3.039e-03 +2.762e-03 +2.486e-03 +2.210e-03 +1.934e-03 +1.657e-03 +1.381e-03 +1.105e-03 +8.287e-04 +5.525e-04 +2.762e-04 +0.000e+00		
Çekme hasar parametresi (DT)	 +9.389e-01 +8.607e-01 +7.824e-01 +7.042e-01 +6.259e-01 +5.477e-01 +4.695e-01 +3.912e-01 +3.130e-01 +2.347e-01 +1.565e-01 +7.824e-02 +0.000e+00		
Plastik birim şekildeğiştirme (PE)	 +9.351e-02 +8.572e-02 +7.793e-02 +7.013e-02 +6.234e-02 +5.455e-02 +4.676e-02 +3.896e-02 +3.117e-02 +2.338e-02 +1.559e-02 +7.793e-03 +0.000e+00		
Maksimum etkileşim gerilme oranını	 +1.000e+00 +9.167e-01 +8.333e-01 +7.500e-01 +6.667e-01 +5.833e-01 +5.000e-01 +4.167e-01 +3.333e-01 +2.500e-01 +1.667e-01 +8.333e-02 +0.000e+00		

Çizelge 5.12. 160×160 cm boyutlu durum için kırılma öncesi ve sonrası değerleri

	Ölçek	Kırılma öncesi T = 12.55 sn	Kırılma sonrası T = 12.65 sn
Düşey yer değiştirme (mm)			
Von Mises gerilmesi (N/mm ²)			
Basınç hasar parametresi (DC)			
Çekme hasar parametresi (DT)			
Plastik birim şekildeğiştirme (PE)			
Maksimum etkileşim gerilme oranını			



Şekil 5.8. Tüm duvar tipleri için analiz sonuçlarına ait yük ve yatay uzama + düşey kısılma grafiği



Şekil 5.9. Tüm duvar tipleri için analiz sonuçlarına ait kayma gerilmesi ve kayma birim şekildeğiştirme grafiği

6. SONUÇLAR

Yük etindeki duvarların hasar alma durumu deneysel ve sayısal incelenmekte ve bu konu birçok standartta yer bulmaktadır. Bu tez çalışması, yığma duvarların davranışlarıyla ilgili mevcut bir dizi deneysel çalışmanın sayısal olarak araştırılmasıdır. Deneysel çalışmaların sayısal olarak modellenmesi ve doğrulanan modelleme tekniğiyle deneyi yapılmayan ara durumların da incelenmesi sayesinde, araştırmanın kapsamı ekonomik bir şekilde arttırılabilmekte ve uygulama için daha kapsamlı bir veri tabanı sağlanabilmektedir. Deneysel çalışmada kullanılan malzemelere ait parametreler sayısal modellemede de kullanılmıştır. Analitik çalışma için gerek olan ilave malzeme dayanım değerleri için ise uluslararası geçerliliği olan şartnamelerden yararlanılmıştır. Deneysel ve sayısal çalışma sonucu elde edilen değerler karşılaştırılmış ve hazırlanan bilgisayar modelinin doğruluğu belirlenmiştir. Deneyi yapılmayan ara durumlar için de ilave modeller oluşturularak elde edilen sonuçlar yorumlanmıştır.

Dolgu duvarların modellenmesinde çeşitli yöntemler mevcuttur. Bu modelleme yöntemleri; detaylı mikro modelleme, basitleştirilmiş mikro modelleme ve makro modelleme yöntemidir. Modeli yapılacak olan duvarın özelliklerine göre bu yöntemlerden biri seçilebilir. Bu çalışmada, literatürde deneysel çalışması yapılmış olan beş adet ve deneyi yapılmayan dört adet olmak üzere toplam dokuz adet farklı gazbeton duvar tipinin basitleştirilmiş mikro modelleme yöntemiyle doğrusal olmayan sayısal analizi gerçekleştirilmiştir. Gazbeton ile derz arasındaki bağlantıyı tanımlayabilmek için kohezif arayüz elemanları kullanılmıştır. Gazbeton malzeme modeli olarak ise Beton Hasar Plastisite Modeli (CDP) tanımlanmıştır. CDP modeli, gevrek davranışı iyi şekilde temsil eden malzeme tanımlamalarından biridir.

Analiz sonuçlarına bakıldığında hasar durumu genel olarak ara yüzlerde ayrılma veya gazbeton elemanlarda çekme kırılması şeklinde oluşmuştur. Karma bir göçme biçimi, derzlerde ve gazbetonlarda görülmektedir. Ayrıca duvar boyutları küçüldükçe derz rijitliğinin arttığı ve kırılmaların gazbetondan meydana geldiği görülmüştür. Davranışı etkileyen diğer önemli bir etken ise gazbetonun dizilim şeklidir. Aynı boyuttaki numunelerin farklı tuğla dizilimleri için de benzer sonuçlar verip veremeyeceğinin ayrıca araştırılmasında fayda görülmüştür.

Boyut etkisinin bir sonucu olarak, Çizelge 5.9’da sunulan kayma gerilmesi–kayma birim şekildeğiştirmesi grafiğinin sonuçlarına göre numune boyutu küçüldükçe duvar dayanımının arttığı görülmüştür. Bu durum 100×100 cm’den daha küçük boyutlu numunelerde görülmektedir. 100×100 cm ve daha büyük olan duvar tiplerinde kayma dayanımının yaklaşık 0.09 MPa mertebesinde benzer sonuçlar vermektedir. ASTM E-519 standardında belirtilen numune minimum kenar uzunluğu olan 120 cm değeri uygun bulunmuştur.

Tüm duvar tipleri için analiz sonucu belirlenmiş olan kayma gerilmesi ve kayma birim şekildeğiştirmesi grafikleri incelendiğinde, başlangıç eğimlerinin deneysel sonuçlara benzer şekilde gerçekleştiği görülmüştür. Deney ve analiz sonuçları kıyaslandığında modelleme tekniğinin gerçeğe uygun olduğu sonucuna varılmıştır. Diyagonal yüklemenin duvarlarda gevrek kırılma yarattığı, derzlerden gerçekleşen kırılmanın nispeten daha az gevrek olduğu sayısal olarak da belirlenmiştir.

7. KAYNAKLAR

- Sabahoğlu, N. 2022. ASTM E-519 diyagonal kayma deneyine göre gazbeton duvarlarda numune boyut etkisinin incelenmesi. Yüksek lisans tezi, İskenderun Teknik Üniversitesi, Hatay, 48 s.
- Bikçe, M. Emsen, E. Erdem, M. M. Bayrak O. F. 2021. An investigation on behavior of RC frames with non-interacting infill wall. *Engineering Structures*, 245: 1-16.
- Erdem, M. M. 2021. Betonarme binalarda dolgu duvar ve taşıyıcı çerçeve arası uygun bağlantı elemanlarının araştırılması. Doktora tezi, İskenderun Teknik Üniversitesi, Hatay, 158 s.
- ABAQUS Tutorials, 2022, Online Documentation Dassault Systemes Simulia User Assistance. Dassault Systemes.
- Zengin, B. 2018. Yığma duvarların elasto-plastik davranışlarının deneysel ve sayısal olarak araştırılması. Doktora tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul, 160 s.
- Abdulla, K. F., Cunningham L. S., Gillie M. 2017. Simulating masonry wall behaviour using a simplified micro-model approach. *Engineering Structural*, 151: 350-365.
- Bayrak, O. F. 2020. Dolgu duvar-betonarme çerçeve arası esnek derzli bağlantı çeşitlerinin araştırılması. Yüksek lisans tezi, İskenderun Teknik Üniversitesi, Hatay, 117 s.
- Mert, S. 2015. Dolgu duvarların betonarme taşıyıcı sistem performansına etkisinin belirlenmesi. Yüksek lisans tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul, 108 s.
- Kayırga, O. M. 2017. Yığma yapıların deprem davranışının analitik ve deneysel olarak belirlenmesi. Doktora tezi, Erciyes Üniversitesi, Kayseri, 161 s.
- Sağlıyan, S. 2018. Dolgu duvarların modellenme yaklaşımlarının betonarme çerçeve davranışına etkisi. *Fırat Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 30 (2) : 165-174.
- Kömürcü, S. 2017. Yığma duvarların düzlem içi davranışlarının modellenmesi ve analizi. Yüksek lisans tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, 114 s.
- Özeren, Ö. 2016. Donatılı gazbeton paneller ve bu paneller ile yapılan binaların düşey ve yatay yükler altında davranışı. Yüksek lisans tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, 135 s.
- Karaduman, A. 2004. Dolgu duvarlı çerçevelerin yatay yükler altındaki davranışları üzerine deneysel bir çalışma. *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 11 (3): 345-349.
- Ural, A. 2009. Yığma yapıların doğrusal ve doğrusal olmayan elastik ötesi davranışlarının incelenmesi. Doktora Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Trabzon, 230 s.
- Lourenço, P. B. 1996. Computational strategies for masonry structures. Doktora tezi, Delft Üniversitesi, Delft, 210 s.
- Kıpçak, F. 2018. Harman tuğlası ile inşa edilmiş yan duvarı boşluklu yığma yapıların düzlem dışı davranışlarının eğilme masası yardımı ile belirlenmesi. Yüksek lisans tezi, Yüzüncü Yıl Üniversitesi, Van, 86 s.

- Foytong, P., Boonpichetvong, M., Areemit, N., Teerawong, J. 2016. Effect of brick types on compressive strenght of masonry prisms. *International Journal of Technology*, 7 (7) : 1171-1178.
- Döndüren, M. S. 2008. Bağlayıcı özelliği artırılan duvar ve sıva harcının düzlem dışı yüklenen tuğla duvarların mekaniksel davranışa etkisi. Doktora tezi, Selçuk Üniversitesi, Konya, 230 s.
- Banadaki A. D., Ghannad M. A., Bakhshi A. Lotfalipour M. 2008. A numerical study on seismic behaviour of a typical rural house of Iran. The 14 th World Conference on Earthquake Engineering October 12-17, Beijing.
- Yıldırım, H. 2007. Yığma yapı elemanları için izotropik hasar modeli geliştirilmesi ve sonlu eleman uygulamaları. Doktora tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul, 116 s.
- Chaimoon, K. Attard, M. M. 2007. Modeling of unreinforced masonry walls under shear and compression. *Engineering Structural*, 29: 2056-2068.
- Berto, L., Saetta, A., Scotta, R. Vitaliani, R. 2005. Failure mechanism of masonry prism loaded in axial compression computational aspects. *Materials and Structures*, 1 (38) : 249-256.
- Zijl, G. P. V., Rots, J. G., Vermeltfoort, A. T. 2001. Modeling shear-compression in masonry. 9 th Canadian Masonry Symposium, Canada.
- Formica, G., Sansalone, V., Casciaro, R. 2002. A mixed solution strategy for the nonlinear analysis of brick masonry walls. *Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering*, 191 (51-52): 5847-5876.
- Buhan, P., Felice, G. 1997. A homogenization approach to the ultimate strenght of brick masonry. *J. Mechanics and Physics of Solids* 45 (7): 1085-1104.
- Jankowiak, T., Lodygowski, T. 2013. Identification of parameters of concrete damage plasticity constitutive model. *Institute of Structural Engineering (ISE)*, 60-975.
- Eurocode 6, 1996. Design of masonry structures – Part 1-1: General rules of reinforced and unreinforced masonry structures. 7-123, Brüksel.
- RILEM, 1947. International union of laboratories and experts in construction materials, systems and structures. İtalya.
- Aktan, S. 2016. Düzlem içi yükler etkisindeki yığma duvarlarda bünyesel modelleme. Doktora tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul, 191 s.
- Jafarov, O. 2012. Lifli polimer ile güçlendirilmiş yığma duvarların modellenmesi. Doktora tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul, 218 s.
- Oliveria, D. V. 2003. Experimental and numerical analysis of blocky masonry structures under cyclic loading. Doktora tezi, Minho University, Guimarães.
- Luca, P. 2009. Continuum damage model for nonlinear analysis of masonry structures. Doktora tezi, Katalunya Politeknik Üniversitesi, Barselona.
- Yılmaz, E. 2010. Boşluklu tuğla ile örülmüş yığma duvarların LP kompozitler ile güçlendirilmesi ve davranışta boyut etkisi. Yüksek lisans tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul.

8. EKLER

EK-1. Eşdeğer gazbeton malzemesi için CDP basınç değerleri

No	Concrete Compression Curve		Concrete Compression Damage	
	Stress	Strain	Damage Parameter (d_c)	Inelastic Strain
1	0.56	0	0	0
2	0.713388327789181	2.40335078025359e-05	0.0210678295825615	0.0058841769071119
3	0.906558064468696	8.81079592101803e-05	0.0394811860269335	0.00688913843486159
4	1.07525048837967	0.000182932803543133	0.0600107188246871	0.00789901821167379
5	1.22058706760604	0.000307099161298949	0.0814161582394315	0.00891093370110086
6	1.34438259566892	0.000458327141119452	0.10294515146907	0.0099231363444947
7	1.44877506715521	0.000633930820156766	0.124146383912832	0.0109345772322932
8	1.53598424697735	0.000831121549023427	0.144756035819796	0.0119446432155778
9	1.60816320913472	0.00104719446088604	0.164627857936939	0.0129529943934464
10	1.66731467384048	0.00127963357557729	0.183689546556108	0.0139594627233611
11	1.71525063400219	0.00152616252009776	0.201915206963567	0.0149639880228843
12	1.75357957633163	0.00178476058249795	0.219307800374127	0.0159665771742364
13	1.7837103241115	0.00205365788428203	0.235887869865161	0.0169672779220066
14	1.80686512386965	0.00233131893986225	0.251686264085857	0.0179661619621761
15	1.82409720031561	0.00261642060261858	0.266739434001605	0.0189633140111846
16	1.83630981277303	0.002907828124657	0.28108640101702	0.0199588247594826
17	1.84427506193722	0.00320457153022962	0.294766818883327	0.0209527863671702
18	1.84865148783634	0.0035058235077433	0.307819755301064	0.0219452896322952
19	1.85	0.00381087939698492	0.320282948560212	0.0229364222631948
20	1.84986728722111	0.00391104612158152	0.332192377853486	0.0239262678798521
21	1.83740089464733	0.00488887408545143	0.343582040082397	0.0249149054951664
22	1.81102451527226	0.0058841769071119	0.354483861569808	0.0259024093097623
23	1.77695980585017	0.00688913843486159	0.364927696680677	0.0268888487087847
24	1.73898017017433	0.00789901821167379	0.374941381105077	0.0278742883857342
25	1.69938010725705	0.00891093370110086	0.384550818147101	0.0288587885430136
26	1.65955146978222	0.0099231363444947	0.393780083520731	0.0298424051354858
27	1.62032918976126	0.0109345772322932	0.402651539012007	0.0308251901346385
28	1.58220133373338	0.0119446432155778	0.411185948673392	0.0318071917986337
29	1.54543846281666	0.0129529943934464	0.419402593469638	0.032788454938759
30	1.5101743388712	0.0139594627233611		
31	1.4764568671174	0.0149639880228843		
32	1.44428056930786	0.0159665771742364		
33	1.41360744074945	0.0169672779220066		
34	1.38438041144116	0.0179661619621761		
35	1.35653204709703	0.0189633140111846		
36	1.32999015811851	0.0199588247594826		
37	1.30468138506585	0.0209527863671702		
38	1.28053345269303	0.0219452896322952		
39	1.25747654516361	0.0229364222631948		
40	1.23544410097105	0.0239262678798521		
41	1.21437322584757	0.0249149054951664		
42	1.19420485609585	0.0259024093097623		
43	1.17488376114075	0.0268888487087847		
44	1.15635844495561	0.0278742883857342		
45	1.13858098642786	0.0288587885430136		
46	1.12150684548665	0.0298424051354858		
47	1.10509465282779	0.0308251901346385		
48	1.08930599495422	0.0318071917986337		
49	1.07410520208117	0.032788454938759		

EK-2. Eşdeğer gazbeton malzemesi için CDP çekme değerleri

No	Concrete Tension Curve		Concrete Tension Damage	
	Stress	Strain	Damage Parameter (d_i)	Inelastic Strain
1	0.4	0	0	0
2	0.283270511634645	0.000542283057114285	0.291823720913388	0.000542283057114285
3	0.204334872139218	0.00108456611422857	0.489162819651954	0.00108456611422857
4	0.152699406416352	0.00162684917134286	0.61825148395912	0.00162684917134286
5	0.119445077635717	0.00216913222845714	0.701387305910708	0.00216913222845714
6	0.0978403443013576	0.00271141528557143	0.755399139246606	0.00271141528557143
7	0.0832020967887589	0.00325369834268571	0.791994758028103	0.00325369834268571
8	0.0724891062583833	0.0037959813998	0.818777234354042	0.0037959813998
9	0.0638587187875126	0.00433826445691428	0.840353203031219	0.00433826445691428
10	0.056282769302963	0.00488054751402857	0.859293076742592	0.00488054751402857
11	0.0492509546330669	0.00542283057114285	0.876872613417333	0.00542283057114285
12	0.0425588119629356	0.00596511362825713	0.893602970092661	0.00596511362825713
13			0.909586103804384	0.00650739668537142
14			0.924738517162525	0.0070496797424857
15			0.93892212181987	0.00759196279959999

ÖZGEÇMİŞ

İrmak EREN KAYA

ÖĞRENİM BİLGİLERİ

Yüksek Lisans 2019-2022	Akdeniz Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Antalya
Lisans 2014-2018	Akdeniz Üniversitesi Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Antalya

MESLEKİ VE İDARİ GÖREVLER

İnşaat Mühendisi 2018-Devam Ediyor.	Antalya
--	---------