

**T.C.
AKDENİZ ÜNİVERSİTESİ**



**ASTM E-519 DİYAGONAL KAYMA DENEYİNDE
GAZBETON DİZİLİM ETKİSİNİN
SAYISAL OLARAK İNCELENMESİ**

Özgecan KAYA

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ

ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

TEMMUZ 2023

ANTALYA

**T.C.
AKDENİZ ÜNİVERSİTESİ**



**ASTM E-519 DİYAGONAL KAYMA DENEYİNDE
GAZBETON DİZİLİM ETKİSİNİN
SAYISAL OLARAK İNCELENMESİ**

Özgecan KAYA

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ

ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

TEMMUZ 2023

ANTALYA

T.C.
AKDENİZ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ASTM E-519 DİYAGONAL KAYMA DENEYİNDE
GAZBETON DİZİLİM ETKİSİNİN
SAYISAL OLARAK İNCELENMESİ

Özgecan KAYA
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ
ANABİLİM DALI
YÜKSEK LİSANS TEZİ

Bu tez 31/07/2023 tarihinde jüri tarafından Oybirliği / Oyçokluğu ile kabul edilmiştir.

Dr. Öğr. Üyesi Engin EMSEN (Danışman)
Prof. Dr. Murat BİKÇE
Doç. Dr. Bekir AKGÖZ

ÖZET

ASTM E-519 DİYAGONAL KAYMA DENEYİNDE GAZBETON DİZİLİM ETKİSİNİN SAYISAL OLARAK İNCELENMESİ

Özgecan KAYA

Yüksek Lisans Tezi, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Engin EMSEN

Temmuz 2023; 63 sayfa

Bu tez çalışmasında yığma duvarların mekanik özelliklerini belirlemek için yararlanılan Diyagonal Kayma Deneyinde (ASTM E-519) gazbeton duvar numuneleri için birim eleman dizilim etkisi sayısal olarak incelenmiştir. İlgili şartnamede en az deney numune boyutları belirtilmesine karşın numune içi birim eleman dizilimi hakkında bilgi verilmemektedir. Bu düşünceyle örme tekniği ve birim eleman tipi sabit tutularak numune içi derz konumu değişikliğinin deneysel sonuçlara olan etkisi sayısal olarak araştırılmıştır. Deneysel verisi literatürde yer alan referans bir çalışmadan yola çıkarak hazırlanan bilgisayar modeli, nümerik olarak doğrulanmış ve çeşitlendirilmiştir. Çalışma için gereken malzeme özellikleri, referans deneysel çalışmadan ve ilgili uluslararası teknik şartnamelerden yararlanılarak sağlanmıştır. Sayısal çalışmada basitleştirilmiş mikro modelleme tekniği kullanılmıştır. Bu teknikte harç kalınlığı ihmal edilerek birim elemanlar arası davranış temsil eden özel ara yüz elemanlarıyla dikkate alınmıştır. Gazbetonların hasar durumunu belirlemek amacıyla Beton Hasar Plastisite Modeli (CDP) teorisinden faydalanılmıştır.

Bu tez beş ana bölümden oluşmaktadır. İlk bölümde çalışma kapsamı hakkında genel bilgiye yer verilmiştir. İkinci bölüm literatür özeti hakkındadır. Üçüncü bölümde yapılan sayısal modelleme ve bilgisayar modellemelerine ait açıklama yer almaktadır. Dördüncü bölümde referans alınan deneysel ve sayısal çalışmalar hakkında detaylar anlatılmıştır. Son olarak beşinci bölümde ise bütün analiz sonuçları sunularak gerekli karşılaştırmalar ve yorumlar yapılmış, elde edilen grafikler ve tablolar değerlendirilmiştir.

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

JURİ: Dr. Öğr. Üyesi Engin EMSEN

Prof. Dr. Murat BİKÇE

Doç. Dr. Bekir AKGÖZ

ABSTRACT

NUMERICAL INVESTIGATION OF AAC UNIT ARRANGEMENT EFFECT IN ASTM E-519 DIAGONAL SHEAR TEST

Özgecan KAYA

MSc Thesis in Civil Engineering

Supervisor: Asst. Prof. Dr. Engin EMSEN

July 2023; 63 pages

In this thesis study, in the Diagonal Shear Test (ASTM E-519), which was used to determine the mechanical properties of masonry walls, the effect of unit element arrangement for Autoclaved Aerated Concrete (AAC) wall samples was numerically investigated. Although the relevant specification specifies at least the test sample sizes, no information is given about the brick arrangement in the sample. Considering this, the effect of joint (mortar) position change between AAC units on experimental results was investigated by keeping the building technique and unit type constant. The computer model, whose experimental data were prepared based on a reference study in the literature, was numerically verified and derived. The material properties required for the study were obtained by using the reference experimental study and the relevant international technical codes. Simplified micro-modeling technique was used in the numerical study. In this technique, the mortar thickness was neglected and taken into account with special interface elements representing inter-brick behavior. Concrete Damage Plasticity (CDP) theory was used to determine the damage status of aerated concrete.

This thesis consists of five main parts. In the first part, general information about the scope of the study is given. The second part is about the literature summary. In the third part, there is an explanation of numerical modeling and computer modeling. In the fourth part, details about the experimental and numerical studies referenced are described. Finally, in the fifth part, all the analysis results were presented and the necessary comparisons and interpretations were made, and the graphs and tables obtained were evaluated.

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

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. Çalışmam süresince her konuda yoluma ışık tutan, desteğini hiçbir zaman esirgemeyen, bilgi ve deneyimleriyle bana destek olan sevgili danışman hocam Dr. Öğr. Üyesi Engin EMSEN'e teşekkürlerimi ve saygılarımı sunarım. Ayrıca değerli yorumları ve katkılarından dolayı Prof. Dr. Murat BİKÇE'ye ve Doç. Dr. Bekir AKGÖZ'e de şükranlarımı sunarım. Tezime referans sayısal çalışmayı yapan ve benimle gerekli bütün veriyi paylaşan İnş. Yük. Müh. Irmak Eren KAYA'ya teşekkür ederim.

Tez çalışmamın her anında bana güvenlerini ve desteklerini sonuna kadar hissettiren, çalışmamın yoğunluğunu ve stresini benimle birlikte yaşayan çok sevgili aileme ve beni her zaman yüreklendiren değerli Aykut ARZILAR'a teşekkürlerimi sunarım. Bu tez çalışmasını emeği geçen tüm sevdiklerime ve motivasyon kaynağım olan yeğenim Aras ÖZOĞLU'na 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-519 Diyagonal Kayma Deneyi	7
3.4. Uluslararası İnşaat Malzemeleri, Sistemleri ve Yapıları Laboratuvarları ve Uzmanları Birliği (RILEM).....	9
3.5. Sonlu Elemanlar Yazılımı	9
3.6. Beton Hasar Plastisite (Concrete Damage Plasticity-CDP) Malzeme Modeli....	10
3.7. Kohezif Bölge Modeli (KBM)	11
3.8. Modelleme Teknikleri	14
4. BULGULAR.....	16
4.1. Deneyin İncelenmesi	16
4.1.1. Giriş.....	16
4.1.2. Gazbeton yapıştırıcısının özellikleri	16
4.1.3. Gazbeton özellikleri	17
4.1.4. Numunelerin imalatı.....	17

4.1.5. Deplasman ölçerlerin (LPDT) yerleştirilmesi.....	18
4.1.6. Yükleme pabuçları	18
4.1.7. Yükleme düzeneği.....	19
4.2. Analitik Çalışma.....	19
4.2.1. Giriş.....	19
4.2.2. Duvar numunelerinin modellenmesi	20
4.2.3. Malzeme özelliklerinin tanıtılması.....	24
4.2.4. Analiz tipinin oluşturulması.....	26
4.2.5. Pabuç bağlantılarının tanımlanması	27
4.2.6. Parçalar arası etkileşimin tanımlanması.....	28
4.2.7. Sonlu elemanlar ağının tanımlanması	29
4.2.8. Analizin başlatılması ve sonuçların görüntülenmesi.....	30
5. TARTIŞMA	31
5.1. Giriş.....	31
5.2. Deneysel Çalışmaya Ait Görseller (Sabahoğlu 2022).....	31
5.3. Analitik Çalışma Sonuçlarının Değerlendirilmesi.....	31
6. SONUÇLAR	59
7. KAYNAKLAR	60
8. EKLER.....	62
9. ÖZGEÇMİŞ	

AKADEMİK BEYAN

Yüksek Lisans Tezi olarak sunduğum “ASTM E-519 diyagonal kayma deneyinde gazbeton dizilim etkisinin sayısal olarak incelenmesi” adlı bu çalışmanın, akademik kurallar ve etik değerlere uygun olduğunu belirtir, bu tez çalışmasında bana ait olmayan tüm bilgilerin kaynağını gösterdiğimi beyan ederim.

31/07/2023

Özgecan 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 şekildeğiştirme

σ : Basınç gerilmesi

σ_c : Betonun basınç gerilmesi

δ : Yer değiştirme

Kısaltmalar

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. Yığma yapılarda görülen farklı hasarlar (Çırak 2011)	6
Şekil 3.2. Duvar ayrışması (2012 Van depremi) (Alıcıoğlu, 2012).....	6
Şekil 3.3. ASTM E-519 laboratuvar montajı ve deplasman ölçerlerin yerleşimleri (Sabahoğlu 2022)	8
Şekil 3.4. Gerilme birim şekil değiştirme diyagramı	11
Şekil 3.5. Tek eksenli yük altındaki betonun davranışı a) çekme; b) basınç.....	11
Şekil 3.6. Kohezif bölge tanımı (Kaya 2022)	12
Şekil 3.7. Çekme ayrılma davranışı (Saraç 2021).....	12
Şekil 3.8. Çatlak ilerleme modları	13
Şekil 3.9. Modelleme teknikleri.....	17
Şekil 4.1. Harç numunelerine uygulanan basınç testleri (Sabahoğlu 2022)	17
Şekil 4.2. Hazırlanan duvar numuneleri (Sabahoğlu 2022).....	17
Şekil 4.3. Deplasman ölçerlerin yerleştirilmesi	18
Şekil 4.4. Mevcut ve imal edilen pabuçlar (Sabahoğlu 2022)	19
Şekil 4.5. Dönüştürülmüş eşdeğer gazbeton numunesi oluşturulması (Kaya 2022).....	20
Şekil 4.6. Referans model (120×120 cm)	27
Şekil 4.7. Yukarıdan aşağı doğru derz kaydırması	27
Şekil 4.8. Soldan sağa doğru derz kaydırması	27
Şekil 4.9. Duvar ve pabuç bağlantıları.....	27
Şekil 4.10. Eşdeğer gazbeton etkileşim yüzeyleri	29
Şekil 4.11. Sonlu elemanlar ağının hazırlanması.....	30
Şekil 5.1. Düşey yönde kaydırma modellerinde analiz sonucuna ait yük ve yatay uzama + düşey kısalma grafiği	54
Şekil 5.2. Yatay yönde kaydırma modellerinde analiz sonucuna ait yük ve yatay uzama + düşey kısalma grafiği	54
Şekil 5.3. Tüm kaydırma modellerinde analiz sonucuna ait yük ve yatay uzama + düşey kısalma grafiği	55

Şekil 5.4. Düşey yönde kaydırma modellerinde analiz sonucuna ait kayma gerilmesi ve kayma birim şekil değiştirme grafiği55

Şekil 5.5. Yatay yönde kaydırma modellerinde analiz sonucuna ait kayma gerilmesi ve kayma birim şekil değiştirme grafiği55



ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 4.1. Deney gruplarının boyut özellikleri.....	16
Çizelge 4.2. Basınç deneyi sonuçları ve ortalaması.....	16
Çizelge 4.3. Bilgisayar yazılımında kullanılan birimler	19
Çizelge 4.4. Modellenen gazbeton numuneleri ölçüleri	21
Çizelge 4.5. Gazbeton elastik malzeme özellikleri.....	25
Çizelge 4.6. Gazbeton, harç ve eşdeğer gazbeton için kullanılan malzeme parametreleri (Kaya 2022)	26
Çizelge 4.7. Analiz süresi ve yer değiştirme değerleri	27
Çizelge 4.8. Ara yüzeylerin modellemesinde kullanılan değerler	28
Çizelge 4.9. Ara yüzeylerdeki harç özellikleri için kullanılan hasar parametreleri.....	28
Çizelge 4.10. Ara yüzey genel harç özellikleri için kullanılan hasar gelişim parametreleri (Damage Evolution) (Bikçe, vd. 2021).....	29
Çizelge 5.1. Deneyi yapılan duvar numunelerinin göçme biçimleri (Sabahoglu 2022)	31
Çizelge 5.2. Düşey yönde kaydırma modellerinde kırılma öncesi ve kırılma sonrası Von Misses gerilme görselleri.....	32
Çizelge 5.3. Yatay yönde kaydırma modellerinde kırılma öncesi ve kırılma sonrası Von Misses gerilme görselleri.....	34
Çizelge 5.4. Düşey yönde kaydırma modellerinde kırılma öncesi ve kırılma sonrası Basınç hasar parametresi görselleri (DC).....	36
Çizelge 5.5. Yatay yönde kaydırma modellerinde kırılma öncesi ve kırılma sonrası Basınç hasar parametresi görselleri (DC).....	37
Çizelge 5.6. Düşey yönde kaydırma modellerinde kırılma öncesi ve kırılma sonrası Çekme hasar parametresi görselleri (DT).....	40
Çizelge 5.7. Yatay yönde kaydırma modellerinde kırılma öncesi ve kırılma sonrası Çekme hasar parametresi görselleri (DT).....	43
Çizelge 5.8. Düşey yönde kaydırma modellerinde kırılma öncesi ve kırılma sonrası Plastik birim şekil değiştirme görselleri (PE).....	45
Çizelge 5.9. Yatay yönde kaydırma modellerinde kırılma öncesi ve kırılma sonrası Plastik birim şekil değiştirme görselleri (PE).....	47

Çizelge 5.10. Düşey yönde kaydırma modellerinde kırılma öncesi ve kırılma sonrası Maksimum etkileşim gerilme oranı görselleri.....	49
Çizelge 5.11. Yatay yönde kaydırma modellerinde kırılma öncesi ve kırılma sonrası Maksimum etkileşim gerilme oranı görselleri.....	52
Çizelge 5.12. Tüm modellerin maksimum yük kapasiteleri	55
Çizelge 5.13. Düşey kaydırma modellerinde yüzde hata hesapları ve ortalamaları	56
Çizelge 5.14. Yatay kaydırma modellerinde yüzde hata hesapları ve ortalamaları.....	56
Çizelge 5.15. Tüm modellerin yüzde hata hesapları ve ortalamaları.....	57



1. GİRİŞ

Ülkemizde yığma yapıların kırsal bölgelerde ev ya da hayvan barınağı olarak kullanıldığı görülmektedir. Tarihi yapıların büyük bir çoğunluğu da yığma olarak inşa edilmiştir. Geçmişte yığma yapıların tercih edilmelerinin sebepleri arasında gelişigüzel şekilde, fazla mühendislik bilgisi gerekmeden, düşük maliyetle ve yerel malzemelerle kolayca yapılabilmesi sayılabilir.

Yığma yapılar; taş, tuğla, gazbeton gibi birim elemanların bağlayıcı özelliği bulunan ve yükün aktarılmasını sağlayan bir harç malzemesiyle bağlanması sonucu oluşturulmaktadır. Duvarı oluşturan bu birimlerin birbirinden farklı mekanik özellikleri vardır. Yığma yapılarda ana taşıyıcı sistem elemanları duvarlar tarafından oluşturulmaktadır. Bu duvarlar yapıya etki eden yükleri taşıma özelliği göstermektedir. Herhangi bir iskelet sistemi olmaksızın yükü yapıdaki diğer elemanların sırayla duvarlara ve buradan da zemine aktarılmasını sağlayan sürekli bir sistemdir. Bu duvarlar taş, tuğla, briket, gazbeton gibi birim elemanlarla oluşturularak yığma yapılar çeşitlendirilir. Dış etkilere karşı dayanıklı olan bu malzemeler sayesinde yığma yapılar uzun ömürlü olabilmektedir. Yığma yapıların işçiliği kolay, ısıya dayanıklı, ses yalıtımı yüksek ve yapımı düşük maliyetli olması sebebiyle tercih edilebilmektedir. Bunun yanında yığma yapılar, çekme ve kayma gerilmelerine karşı yeterince süneklik kapasiteleri olmadığından enerji sönmülemeye yetersiz kalarak ani hasarlar ortaya çıkabilmektedir. Bu durum kısmi veya tamamen göçmeye kadar gidebilmektedir.

Betonarme yapılar geliştikçe yığma yapılarda taşıyıcı olarak görev üstlenen duvarların daha çok bölme ve estetik gibi amaçlar ile kullanılması yaygınlaşmıştır. Ülkemizde betonarme yapılarda bölme olarak kullanılan duvarlarda tuğla ve gazbeton dolgunun kullanımı yaygındır. Bu dolgu duvarların yapılan çalışmalar sonucunda yapının rijitlik değerini yükselttiğini göstermektedir. Dolgu duvarlar rijit elemanlar olmasına karşın hasar gördükçe rijitlikleri azalır.

Dolgu duvarlar betonarme çerçeve arasında bırakılan boşlukların genel olarak taşıyıcı özelliği göz ardı edilen dolgu malzemeleriyle doldurulduğu ve cephelerine de sıva yapılması ile imal edilmektedir. Dolgu duvarların genel olarak ağırlık dışında yapıya etkisi olmayacağı düşünülerek tasarlanırsa da çalışmalar yapının yatay yük taşıma kapasitesi üzerinde oldukça önemli ölçüde katkısı olduğunu göstermektedir. Dolgu duvarlı yapıların serbest titreşim periyotları dolgu duvarsız yapılara göre çok daha kısa süreli olmakta ve asimetrik yerleştirilen dolgu duvarlar yapılarda burulma düzensizliği yaratabilmektedir. Bu nedenlerle dolgu duvarların yapısal analizlerde dikkate alınmasında fayda bulunmaktadır.

Dolgu duvarların sayısal olarak modellenmesinde son dönemlerde oldukça önemli bir artış yaşanmaktadır. Modellemenin en temel amacı gerçeğe en yakın biçimde analiz ederek sonuç almaktır. Modelleme için üç çeşit yöntem kullanılmaktadır. Bu yöntemlerden ilki basitleştirilmiş mikro modellemedir. Bu yöntem modellemede harç tabakası kalınlığının yarısı kullanılan tuğla ya da gazbetona ilave edilerek birimler ortalama bir ara yüzey çizgisiyle birbirinden ayrılır. Birim eleman arası etkileşimin tanımlanması amacıyla da matematiksel ara yüz elemanlarından faydalanılmaktadır. İkinci yöntem detaylı mikro modellemedir. Bu yöntem modellemede duvarı meydana getiren tuğla ve harç birbirinden bağımsız modellenir. Mekanik özellikleri de ayrı ayrı

modellemeye eklenir. Üçüncü yöntem ise makro modelleme yöntemidir. Bu modelleme yönteminde de bütün duvar birimleri yani birim eleman ve harç bütün olarak tek parça halinde modellenir.

Yığma duvarı meydana getiren birim malzemelerinin nasıl davrandığını gerçeğe uygun analiz etmek için kullanılan çeşitli modelleme yöntemleri vardır. Bunlardan bir tanesi plastisite tabanlı hasar modeli olan Beton Hasar Plastisite Modelidir (CDP: Concrete Damaged Plasticity). Bu modelde malzemelerin plastik parametrelerinin doğru şekilde seçilmesi analiz sonuçlarının gerçeğe en yakın şekilde sonuçlanması için oldukça önemlidir.

Sayısal modellerde kullanmak üzere üretilecek duvarın mekanik özelliklerinin bilinmesi gerekmektedir. Bu amaçla gerçeğe uygun duvar numuneleri laboratuvar ortamında test edilmektedir. Tercih edilen başlıca yöntemlerden bir tanesi de ASTM'nin "American Society for Testing Materials" geliştirdiği ASTM E-519 Diyagonal Kayma Deneyi olarak bilinmektedir. Diyagonal kayma deneyi ile bir diyagonal boyunca duvarlarda oluşan diyagonal kayma ve çekme mukavemeti belirlenmektedir. İlgili şartnamede deney eleman boyutlarının en az 120×120 cm olması gerektiği söylenmesine karşın numune içi birim eleman dizilimi hakkında bilgi verilmemiştir. Bu düşünceyle birim eleman örme tekniği ve tipi sabit tutularak numune içi derz konumu değişikliğinin deneysel sonuçlara olan etkisi araştırılmıştır.

Çalışmada, literatürde deneysel verisi ve sayısal modelleme tekniği açıklanan gazbetondan üretilmiş deney numunelerinden faydalanılarak farklı gazbeton dizilimine sahip duvarların sayısal analizi ABAQUS sonlu elemanlar programında gerçekleştirilmiştir. Malzeme özellikleri ve birim eleman boyutları sabit tutularak farklı gazbeton dizilimine sahip yığma duvar modellemelerinin kırılma biçimleri ve yük kapasitesi referans model ile karşılaştırılmıştır. Böylece duvar numuneleri için birim eleman dizilim etkisinin sayısal olarak incelenmesi sağlanmıştır.

2. KAYNAK TARAMASI

Yığma yapılar, geçmişten günümüze barınmak için en çok tercih edilen yapı çeşitlerinden biri olmuştur. Bu durumdan dolayı mühendislerin de çoğunlukla üzerinde çalışma yaptığı ve geliştirmek adına çalıştığı alanlardan biri haline gelmiştir. Literatürde de bu konuda çok fazla çalışma bulunmaktadır.

Lourenco (1996), yığma yapılar basitleştirilmiş mikro modelleme yöntemi kullanılarak modellenmiştir. Çalışmada yığma yapıların yükleme şekillerine uygun olan modeller geliştirmek amaçlanmıştır.

Buhan ve Fellice (1997), yaptıkları çalışmanın amacı yığma yapıdaki kırılma anını modellemektir. Bunun için de sürekli ortam modeli kullanmışlardır. Harç eşdeğer ortama dönüştürülmüş ve buna göre belirlenen kohezyon ve sürtünme açısıyla göçme yükü belirlenmiştir. Bu çalışma ile harç ve tuğla özellikleriyle ilgili yaklaşımın önemi vurgulanmıştır.

Van Zijl vd. (2001), yığma duvarların basınç-kesme kuvvetleri etkisi altında davranış biçimleri incelenmiştir. Yaptıkları çalışmada elde ettikleri deney verilerinin modellenmesi basitleştirilmiş mikro modelleme tekniği ile yapılmıştır. Bu modelleme sistemi ile birlikte harç elemanları hacimsiz ara yüzey elemanı olarak katkı sağlamıştır. Analizden elde edilen sonuçlar deney sonuçları ile birlikte yorumlanmıştır.

Formica, vd. (2002), yaptıkları çalışmada yığma duvarların tuğlaları rijit olarak harcı ise ara yüzey elemanı olarak tanımlamışlardır. Buna bağlı olarak hasar meydana gelen yerler de ara yüzey olarak tanımlanan kısımda olduğu gözlenmiştir. Deneysel çalışma ile yapılan çalışma sonuçlarında farklılıklar tespit edilmiştir.

Oliveira (2003), çalışmasında Von Misess teorisini kullanmıştır ve yığma duvardaki şekil değiştirmeleri gözlemlemiştir. Bunun için de hasara bağlı olarak oluşan kırılma için çekme ve basınç parametrelerinden yararlanılmıştır. Deneysel ve sayısal olarak yürüttüğü çalışmada çevrimsel yükleme yapılan yığma duvarın davranış biçiminin incelenmesi sağlanmıştır. Sayısal çalışmada mikro modelleme tekniğinden yararlanılmıştır. Yapılan çalışmaların sonuçları karşılaştırıldığında bir denge olduğu görülmektedir.

Berto vd. (2005), çalışmalarında mikro modelleme tekniği üzerinde durmuşlardır. Analizlerini iki ve üç boyutlu olarak sonlu eleman yöntemi kullanarak yapmışlardır. Yığma duvarları harcı zayıf, tuğlayı güçlü ve harcı güçlü, tuğlayı zayıf belirleyerek iki şekilde de parametreler programa girilerek duvarların modellemeleri yapılmıştır. Eksenel basınç etkisindeki davranışları incelenmiştir.

Chaimoon ve Attard, (2007), çalışmalarında basitleştirilmiş mikro modelleme yönteminden yararlanmışlardır. Yaptıkları modellemede tuğlaların boyutlarını geometrik düzeni bozmadan değiştirmişlerdir. Harcı ise hacimsiz bir arayüz olarak tanımlamışlardır. Analizde çekme gerilmesi bağıntısının yanında basınç kırılması bağıntısından da yararlanılmıştır. Arayüz elemanında yumuşama gibi bir durum oluştuğunda malzemenin

doğrusal elastik olduğu kabul edilmektedir. Doğrusal olmayan niteliklerin arayüz elemana bağlanması kabul edilmiştir.

Yıldırım (2007), yığma yapılarıdaki izotropik hasar modelinin sonlu elamanlar yöntemi ile modellenmesini çalışmıştır. Daha önce yapılan çalışmalara bağlı kalarak yığma duvar için kullanılan tuğla, dolgu malzemesi ve harç LUSAS sonlu elemanlar programında üç boyutlu olarak modellenmiştir. Analizde kırılma kriteri için Drucker-Prager ile izotropik hasar modeli seçilmiştir. Eksenel yükler uygulanarak deneysel ve sayısal çalışmalar yapılmıştır. İçi dolu ve boş prizmalar üzerinde çalışmalar sonucunda basınç dayanımı tahminleri yapılmıştır.

Luca (2008), çalışması “Sürekli Hasar Mekanikliği” modeli üzerindedir. İncelediği duvar elemanının doğrusal olmayan analizini makro modelleme tekniğini kullanarak incelemiştir. Alanı hayali olarak izotropik nitelemiş ve gerilim için farklı basınç için farklı ölçütler belirleyerek yığma duvardaki davranış biçimi incelenmiştir.

Baradaki vd, (2008), çalışmasında mikro modelleme tekniği kullanmıştır. Harç ara yüz olarak tanımlanıp bitişik olduğu tuğlayla birlikte modellenmiştir. Modelleme ABAQUS sonlu elemanlar programı kullanılarak hazırlanmıştır. Kırılma kriteri bu çalışmada Mohr-Colulomb hipotezi kullanılmıştır. Kullanılan çeşitli malzeme parametrelerine göre analiz sonuçlarında değişiklikler gözlemlenmiştir. Modellemeler arasında farklılık olmaması adına adım aralıkları sabit tutulmuştur. Analiz sonuçları incelendiğinde de gerçeğe yakın sonuçlar elde edilmiştir.

Yılmaz (2010), yığma duvarlarla ilgili iki farklı çalışması vardır. Bunlardan ilkinde boyutları aynı olan duvar numunelerinde harç etkisi gözlemlenir. Diğer çalışmasında ise aynı harç özellikleri ile hazırlanan numunelerde boyut etkisi gözlemlenmiştir. Yapılan çalışma sonucu boyut etkisinin basınç-kayma dayanımı ve deforme olmaları üzerinde etkisi olduğu görülmüştür. Boyut ile basınç-kayma dayanımı ve deformasyon ters orantılı iken harç güçlendirme ile doğru orantılı olduğu gözlemlenmiştir.

Jafarov (2012), çalışmasında literatürde yer alan deneysel ve sayısal çalışmalardan yararlanmıştır. Modellediği yığma duvarı lifli polimer ile güçlendirmiş ve davranışının elasto-plastik olduğunu kabul etmiştir. Sonlu elemanlar yöntemini kullanarak doğrusal olmayan analiz yapmıştır. Toplamda 17 duvar modellenmiştir ve bu modellemelerde Drucker-Prager kriteri tanımlanmıştır. Bu kırılma kriteri için de sürtünme açısıyla kohezyon hidrostatik basınç ile bağlı olarak verilmiştir. Duvarlara veriler bu şekilde uygulanmıştır. Sonuç olarak da deneysel çalışmalarla yapılan analiz verileri birbirine yakın sonuçlar ortaya koymuştur.

Foytong vd, (2016), çalışmasında basınç deneyleri sonucuna göre farklı tuğla çeşitleri ile oluşturulan duvarlar incelenmiştir. Kullandığı tuğla türleri boşluklu, hafif ve harman tuğladır. Bu tuğlalar dayanım bakımından kıyaslanmıştır. Bu tuğla çeşitleriyle oluşturulan duvarlara yanal yük etki ettirilmiştir. Çalışma sonucunda dayanımı en düşük olan hafif tuğla ile oluşturulan duvar olmuştur. Duvarlarda basınç dayanımı fazla olan tuğlanın kullanımına göre enerji potansiyelinde de artma tespit edilmiştir.

Aktan (2016), yaptığı çalışmada yığma duvarlara düzlem içi yükler eklenerek modellenmiştir. Çalışmasını deneysel ve sayısal olarak yürütmüştür. Kullanılacak malzemeler için mekanik deneyler yaparak malzeme parametreleri geliştirilmiştir. Duvardaki gerilme ve şekil değiştirmeyi tanımlamak için elasto-plastik hasar mekaniği geliştirilmiştir.

Zengin (2018), çalışmasında birbirinden farklı dayanıma sahip dört tuğla çeşidi ve iki farklı dayanıma sahip olan harç çeşidi kullanılmıştır. Numune üretimi sırasında üç farklı harç kalınlığı kullanarak değişik tuğla örülmeleriyle birlikte toplamda 24 tane duvar numunesi oluşturulmuştur. Deney çalışmasında duvarlar düşeyde ve yatayda yükler uygulanarak duvarların hasar durumu ve deplasmanı kaydedilmiştir. Çalışma sonucu olarak değişik derz kalınlıklarının, değişik dayanıma sahip malzemelerin duvara etkileri hakkında yorum yapılmıştır.

Sabahoğlu (2022), ASTM E-519 standardı içinde ifade edilen numune özelliklerinden farklı olan duvar numuneleri üzerinde deneysel bir çalışma yapmıştır. Çalışmasında bu numunelerin dayanımları incelenmiştir. Eşit genişlik ölçülerine sahip farklı boyutlardaki duvar numuneleri üretilerek diyagonal kayma testleri yapılmıştır. Yapılan deneyden elde edilen sonuçlar ASTM-E-519 standardına göre hazırlanan duvar numuneleri ile karşılaştırılarak boyutlara göre sonuçların değişimi ortaya konmuştur.

Kaya (2022), çalışmasında literatürde yer alan deneysel çalışmada kullanılan farklı boyutlardaki gazbeton duvar numunelerinin bilgisayar modellerini oluşturarak sayısal analizlerini hazırlamıştır. Numunelerin dayanımlarını inceleyerek deneysel çalışmadaki sonuçlar ile sayısal analizde çıkan sonuçları kıyaslamıştır.

3. MATERYAL VE METOT

3.1. Giriş

Ülkemizde yığma yapıların özellikle kırsal yerlerde tercih edildiği görülmektedir. Yığma yapıların ağırlıkları çok fazla olduğu için deprem gibi yatay ve dinamik olan yüklere dayanımları azdır. Yığma yapılarda kullanılan ana malzemeler de gevrekler. Bundan dolayı depreme karşı dayanıklı yapılar olarak kabul edilmemektedirler. Şekil 3.1’de yığma yapılarda deprem sonrası görülen farklı hasarlar verilmiştir.



Şekil 3.1. Yığma yapılarda görülen farklı hasarlar (Çırak 2011)

Yığma yapıların tercih edilme sebepleri arasında yerel malzemeler kullanılarak herhangi bir mühendislik bilgisine ihtiyaç duyulmadan gelişigüzel ve ekonomik bir şekilde yapılması vardır. Harç ve tuğla gibi yığma duvarı oluştururken kullanılan malzemelerin süneklikleri de oldukça düşüktür. Yığma binalardaki oluşan hasar şekillerinin incelenerek bu konuda çalışmalar yapılmalıdır. Bunun dışında depreme uygun kat sayısı ve gerekli mühendislik bilgisiyle yapılırsa yığma yapıların avantajlı durumlarından bahsetmek de mümkün olacaktır.



Şekil 3.2. Duvar ayrışması (2012 Van depremi) (Alicioğlu, 2012)

3.2. Gazbetonun İncelenmesi

Birinci Dünya Savaşı zamanında ortaya çıkan enerji sıkıntısı ile İsveçli bilim insanları 1918 yılından itibaren yeni bir malzeme üretmeye çalışmışlardır. Isı geçirgenliğini azaltmaya çalışarak enerji tasarrufu sağlamak için çaba göstermişlerdir. Bunun yanında düşük enerji maliyetli, kolay işlenebilen ve uzun ömürlü olması da oldukça önemliydi. Gazbeton ile ilgili çalışmalar bu şekilde başlamıştır ve son halini 1920’de almıştır. Ülkemizde ilk kullanımı ise 1950’li yıllardır.

Gazbeton içerisinde oldukça fazla hava boşluğu bulundurmaktadır. Bundan dolayı da çok hafif bir beton türüdür. Gazbetonlar deprem ve yangın konularında da güvenliği arttırmaktadırlar. İçerisinde kullanılan kireç sayesinde dayanıklılığı yüksektir. İnorganik yapısından dolayı da yangına karşı dayanıklıdır. Modern yapılarda daha çok yalıtım maddesi olarak tercih edilmektedir. Yapım aşamasına bakıldığında da öncelikle silis kumu, kireç ve çimento karıştırılır. Daha sonra bu karışım içerisine alüminyum pastası eklenir. Bunun sebebi gaz oluşumunu sağlamaktır. Son olarak elde edilen hamur çelik kalıplara dökülerek istenen boyutlarda kesilmektedir.

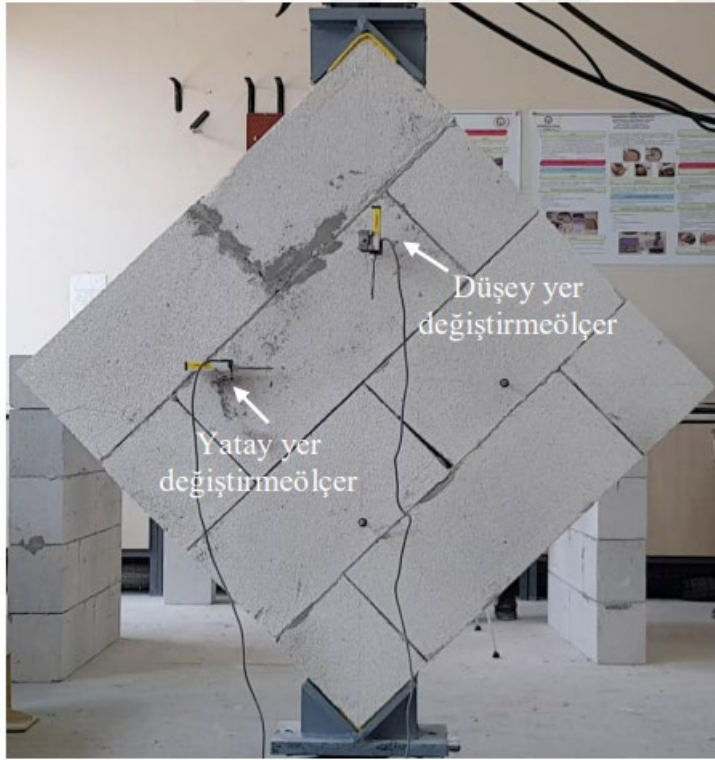
Gazbeton küçük konutlardan gökdelenlere kadar her yapıda tercih edilebilmektedir. Yalnızca ülkemizde de değil, bütün dünyada oldukça fazla tercih edilen bir yapı malzemesidir. Bilinen çeşitli isimleri vardır. Bunlar “Otoklavlanmış Hava Karıştırılmış Beton (AAC)”, “Otoklavlanmış Hücreli Beton (ACC) “Otoklavlanmış Beton”, ”Hücreli Beton”, ”Gözenekli Beton” olarak sıralanabilmektedir (Karaaslan 2009).

3.3. ASTM E-519 Diyagonal Kayma Deneyi

Yığma duvarlar hem dik bir şekilde basınç kuvveti alır hem de yatay kuvvetlerle karşı karşıya kalmaktadırlar. İki doğrultuda da yaşanan bu duruma iki eksenli gerime durumu denilmektedir. Bu duvarlar arasında oluşan kayma gerilmeleri harç ve birim eleman arasındaki bağlantı ile ilgili olmaktadır. Deprem gibi yatay kuvvetlere maruz kalan duvarlarda kırılma yapıda oldukları için bazı hasarlar meydana gelmektedir. Duvarların kayma dayanımları duvarların davranışları hakkında bilgi edinmemizi sağlamaktadırlar. Bunun test edilmesi için de çeşitli yöntemler vardır. Tercih edilen başlıca yöntemlerden bir tanesi de diyagonal kayma test yöntemidir. ASTM’nin “American Society for Testing Materials” geliştirdiği bu yöntem ASTM E-519 Diyagonal Kayma Deneyi olarak bilinmektedir. Diyagonal kayma deneyi ile bir diyagonal boyunca duvarlarda oluşan diyagonal kayma ve çekme mukavemeti belirlenmektedir.

Deney için kullanılacak laboratuvar ekipmanlarının yeterli donanımda olmaları gerekmektedir. Diyagonal basınç testi için kullanılan duvar numunelerinde yukarıdan ve aşağıdan sıkıştırma yapılacağı için yatay yönde uzama ve düşey yönde kısalmalar meydana gelecektir. Bu uzama ve kısalmaların ölçümünü yapmak için deplasman ölçerler (LPDT - Linear potentiometer displacement transducer) kullanılmaktadır. Duvar numunesi yükleme pabuçlarının arasına ortalanarak koyularak verilen yükün buralardan doğru olarak etki etmesi sağlanmaktadır. Deney sırasında duvar numunesinin düzlem dışı olabilecek yer değiştirmeleri engellenmiştir.

ASTM E-519 diyagonal kayma deneyi için laboratuvar montajı ve deplasman ölçerlerin yerleşimleri Şekil 3.3'te gösterilmektedir.



Şekil 3.3. ASTM E-519 laboratuvar montajı ve deplasman ölçerlerin yerleşimleri (Sabahoğlu 2022)

Pabuçlar arasındaki duvar numunesinde oluşan yatay ve düşey kısalma ve uzamaların ölçümü için ekstansometre ve kompresometreden yararlanılmaktadır. Yükleme için yük piston kullanılır ve yük etki ettirme aralıksız bir şekilde devam etmektedir. Numunenin taşıdığı yük ve oluşan deformasyonun bilgisayar ortamında kaydı yapılmaktadır.

Bu test yöntemiyle birlikte numunelerde oluşan kayma gerilmesi ile şekil değiştirmesi hesaplanmaktadır. Kayma gerilmelesi hesaplamaları (3.1)'de verilen bağıntıya göre yapılmaktadır. Kayma gerilmesi formülünde A_n duvarın net alanının hesaplaması (3.2) bağıntısına göre yapılmaktadır.

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

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

Bağıntılarda verilen h , numunenin yüksekliği, w , numunenin genişliği, t_n duvar panelinin katı olan brüt alanının yüzdesi, P duvara uygulanan kuvvettir. Kayma şekil değiştirme formülü (3.4)'te, kayma modülü (3.3)'te verilmektedir.

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

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

Burada; G kayma modülü, Δx , yatay uzama, Δy , düşey kısalma, g ise yüklemeye paralel yöndeki ölçü uzunluğudur.

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

RILEM açık ismiyle Fransızcadan dilimize tercüme edilirse Uluslararası İnşaat Malzemeleri, Sistemleri ve Yapıları Laboratuvarları ve Uzmanları Birliği olan kuruluş yapı sistemleri ve malzemeleri ile alakalı bilimsel çalışmalar yapmaktadır. Kuruluş 1947 senesinden beri ve doksandan fazla ülkeden üyeleri ile hizmet vermeye günümüzde de hizmet vermeye devam etmektedir. RILEM'in yayımladığı teknik çalışmalar uluslararası enstitüler ve komiteler tarafından önemle değerlendirilmektedir.

Kuruluşun yaptığı çalışmalarda amaç inşaattaki işlerin güvenli ve sürdürülebilir bir şekilde iyileştirilmiş performansla devamını sağlamaktır. Bu doğrultuda konferans ve sempozyumlar ile konu ile ilgili bildiriler yayınlanmaktadır.

3.5. Sonlu Elemanlar Yazılımı

Sonlu elemanlar analizi (FEA), modellenen bir nesnenin çok küçük parçalara yani sonsuz elemana ayrılarak kuvvetler, elektrostatik ve farklı fiziksel faktörler karşısında nasıl davranacağı konusunda tahmin yürütülebilen yazılımlardır. Sonlu eleman yöntemi ABAQUS, ANSYS gibi birçok programda kullanılmaktadır. Bu yazılım programları sayesinde detaylı çözümler yapılabilir.

Bu tez çalışmasında kullanılan ABAQUS, sonlu elemanlar metodu ile çalışan bir yazılım paketidir. Bu sonlu elemanlar yazılımında gerçeğe çok yakın modellemeler oluşturulabilirken bu modellerin detaylı çözümlerine de ulaşılmasını sağlamaktadır. Doğrusal ve doğrusal olmayan analiz imkanları bulunmaktadır. Paket içeriğinde beş çeşit temel yazılım bulunmaktadır. Bu tez çalışmasındaki analizlerde Explicit analiz çeşidi kullanılmıştır.

ABAQUS/Explicit dinamik modellemeler için sonlu eleman analizi yapmaya yarar. Doğrusal olmayan analiz için bu analiz yönteminden yararlanılmaktadır. Bu analiz yönteminde malzeme özellikleri, model geometrisi ve sınır şartları ile alakalı lineer olmayan tesirler de analize eklenebilmektedir.

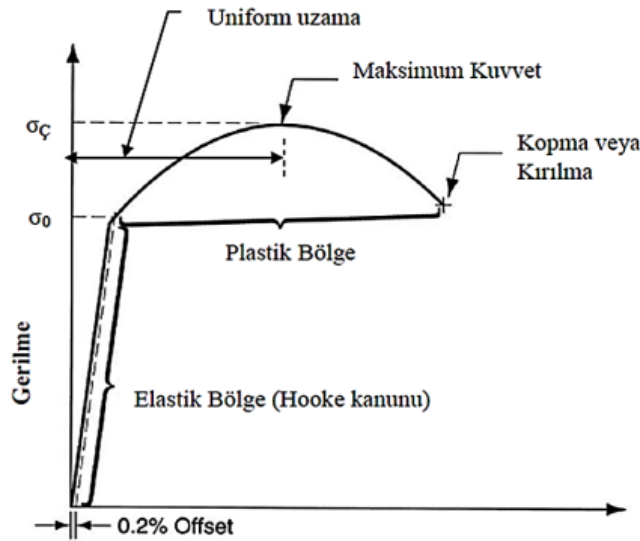
Literatürde yer alan çalışmadaki deneyin yapıldığı duvar numunelerinin sayısal analizleri ABAQUS programında oluşturulmuştur. Oluşturulan bu analizlerin içinden 120×120 duvar numunesi seçilerek gazbeton birim eleman yerleşimleri çeşitlendirilerek analiz edilmiştir. Aynı zamanda söz konusu çalışmada kullanılan modelleme tekniğinden bu çalışmada da yararlanılmıştır. Dolgu duvar modellenmesi için son yıllarda sonlu elemanlar yöntemi sıkça kullanılmaktadır.

Sonlu elemanlar yöntemi ile çalışan ABAQUS dışında ANSYS, CATIA gibi birçok yazılım bulunmaktadır. Analiz sonucunda çıkan sonuç verileri yaklaşık olarak elde edildiği için bulguların kontrol edilmesi önerilmektedir.

3.6. Beton Hasar Plastisite (Concrete Damage Plasticity-CDP) Malzeme Modeli

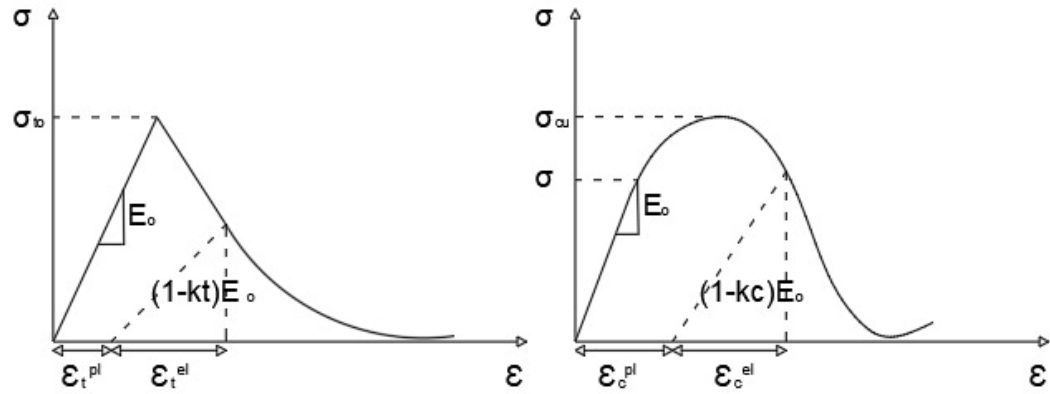
Bir modelin analizi yapılırken gerçeğe en yakın sonucu bulabilmek için bütün parça özelliklerinin sisteme en doğru şekilde tanıtılması önemlidir. Yapılan tez çalışmasında kullanılan parçalardan bir tanesi de gazbetondur. Gazbetonun gevrek ve kırılğan olan davranış biçiminin en iyi şekilde tanıtılmasını sağlayan malzeme modeli Beton Hasar Plastisite malzeme modelidir. Bu tez çalışmasında da gazbetonun doğrusal olmayan analizinde en iyi sonucu almak amacıyla bu malzeme modelinden faydalanılmıştır. Bu malzeme modelinde yapıya verilen yüklemenin devamlı olarak artış gösterdiği monotonik yükleme yapılırken elastik ötesi davranış gösterdiği tanımlanmıştır.

Yük verilen malzeme çatlamaya başladığı zamanlarda elastik, daha sonra ise plastik davranış göstermektedir. CDP modeli ile bunların tanımlanması da çok başarılı şekilde olmaktadır. CDP Lubliner ve diğerlerinin çalışmaları sonucunda geliştirilmiştir. Modellemelerde oluşabilecek hasar tanımlaması için basınç ezilmesi ile çekme kırılması olarak iki ana parametre esas alınmaktadır (Lubliner vd., 1989).



Şekil 3.4. Gerilme birim şekil değiştirme diyagramı

CDP ile malzeme davranışı, tanımlanan akma yüzeyi, plastik potansiyel ve pekleşme kuralı ile belirlenmektedir (Erdem 2021). Yapılan modellemede çekme dayanımına ulaşınca kadar elastik bir davranış gösterdiği, çekme dayanımına ulaştığında ise çatlakların oluşmaya başladığı varsayılmaktadır. Çekme dayanımının aşılması ve sonrasında ise oluşan bu mikro çatlaklar ilerleme göstermeye başlamaktadırlar. Şekil 3.5'te betonun tek eksenli yük etkisi altında çekme ve basınç davranışı gösterilmektedir.



Şekil 3.5. Tek eksenli yük altındaki betonun davranışı **a)** çekme; **b)** basınç

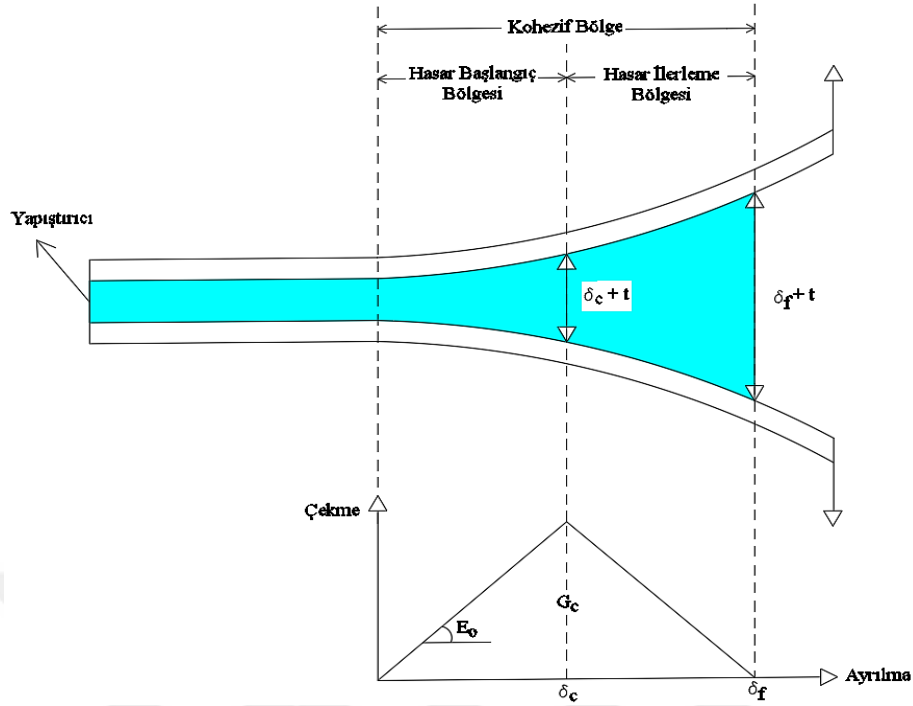
Beton Hasar Plastisite modelinde yumuşama ve pekleşme davranışlarını gösteren tek eksenli gerilme altındaki birim şekil değiştirme davranışı deneysel olarak laboratuvar da elde edilebilmektedir. Fakat bu deneyler fazla maliyetli olduklarından matematiksel bağıntılardan faydalanmak araştırmacılar için daha kolay bir seçenektir. Bu tez çalışmasında kullanılan bağıntılar Kuang-Han Chu ve Domingo J.Carreira tarafından önerilmiş bağıntılardır.

3.7. Kohezif Bölge Modeli (KBM)

Dolgu duvarlar oluşturulurken gazbeton ve tuğla dışında bu malzemeleri birleştirmek için kullanılan gazbeton yapıştırıcısı veya harç da duvarın dayanımı ile ilgili önemli rol oynamaktadırlar. Bu konu ile ilgili olarak öncelikle Lineer Elastik Kırılma Mekaniği üzerine çalışmalar yapılmıştır. Lineer Elastik Kırılma Mekaniğinde tek bir parametre kullanılarak modelleme yapılmaktadır. Bunun yerine iki ya da üç parametre kullanılarak Kohezif Bölge Modeli kullanılmasının daha doğru olduğu kabul edilmiştir. Bu parametreler, kırılma tokluğu, kohezif dayanım ve kohezif dayanımın kaybolduğu karakteristik deplasman değerleri olarak seçilebilmektedir. (Saraç 2021)

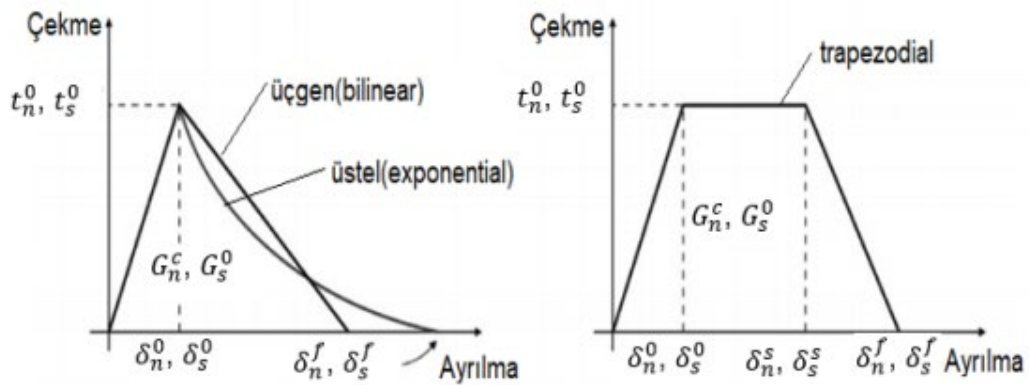
KBM tekniği, ara yüzey ve malzemenin özellikleri düşünülerek aynı ya da farklı malzemelerdeki ara yüzeylerin hasar büyümelerini model içerisine yansıtılma özelliğine sahiptir. KBM tekniği, ara yüzey ve malzeme özellikleri dikkate alınıp KBM metodunda kullanılan, ara yüz olarak belirtilen harç ya da gazbeton yapıştırıcısı fiziksel bir malzemeyi temsil etmemektedir. Bundan dolayı sonlu elemanlar yöntemi kullanılarak yapılan modellemelerde ara yüz elemanları kalınlıksız ve hacimsiz olarak modellenmektedir. Bu tez çalışmasında KBM tekniğinden faydalanılmıştır.

KBM tekniği yapının hasar oluşurken bağlar arasındaki yüzeyler arasındaki kopmanın bir anda olması yerine kademeli bir şekilde dayanımın azalması ile ara yüzeylerdeki ayrılma durumunu göstermektedir. Bu yüzden KBM modelinde gerilme-şekil değiştirme ilişkisi değil çekme-ayrılma ilişkisi ile kırılma mekanizması ortaya konmaktadır. KBM tanımı Şekil 3.6'da verilmektedir.



Şekil 3.6. Kohezif bölge tanımı (Kaya 2022)

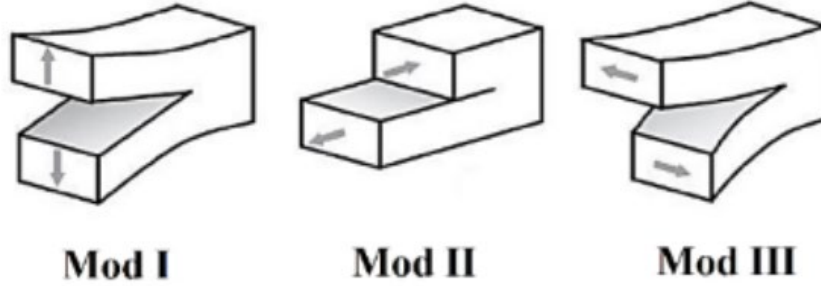
KBM tekniğinde Şekil 3.6’da görüldüğü üzere çekme-ayrılma kanunu iki bölge olarak incelenmektedir. Birinci bölge hasar başlangıç bölgesidir. Bu bölge başlangıçtan itibaren hasar almaya başladığı noktaya kadar olan bölgedir. Yapı birinci bölgede rijit kabul edilmektedir. İkinci bölge, hasarın başlaması ile kopma görülme noktası arasındaki bölgedir. Bu bölgede rijitlik azalmaları ile elastik bozulmalar incelenmektedir. Şekil 3.6’da verilen eğrinin tepe noktasında yani hasarın oluşmaya başlamasından itibaren deplasman sürekli artmaktadır. Bu çekme durumunun ayrılmaya dönüşmesi olarak ifade edilmektedir. Şekil 3.7’de çekme-ayrılma davranışı gösterilmektedir.



Şekil 3.7. Çekme ayrılma davranışı (Saraç 2021)

Tepe noktası olan t_n^0 ya da t_s^0 modeldeki doğrusal elastik olarak davranış gösterdiği kısımdır.

Çatlak ilerleme modları Şekil 3.8’de verilmiştir. Çatlak açılmaları normal doğrultuda deformasyon Mod I, kayma deformasyonu Mod II ve Mod III şeklinde gösterilmektedir. Çatlak ilerleme modlarında kırılma enerjisi çekme ayrılma grafiği altında kalan alan ile hesaplanabilmektedir.



Şekil 3.8. Çatlak ilerleme modları

Mod I çatlak açılma, Mod II çatlak kayma ve Mod III çatlak yırtılma deformasyonudur. Mod I deformasyonunun gerilmesinin normal bileşeni çatlağın yüzeyine diktir ve y eksenindedir. Mod II deformasyonunun gerilmesi çatlağa diktir ve x eksenindedir. Mod III deformasyonunun ise gerilmesi z eksenindedir.

(3.5) bağıntısı ile çekme ayrılma davranışı içindeki elastik bölge gerilmeleri (t) vektörü ile ifade edilmektedir. Ara yüzeydeki elastik rijitlik matrisi (K) ile ara yüzeydeki yer değiştirme matrisine (δ) bağlı olarak gösterilmiştir. Bağıntıda verilen t üç doğrultuda olan gerilme bileşenlerinden (t_n , t_s ve t_t); (δ) ise yer değiştirme bileşenlerinden (δ_n , δ_s , δ_t) meydana gelmektedir.

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

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

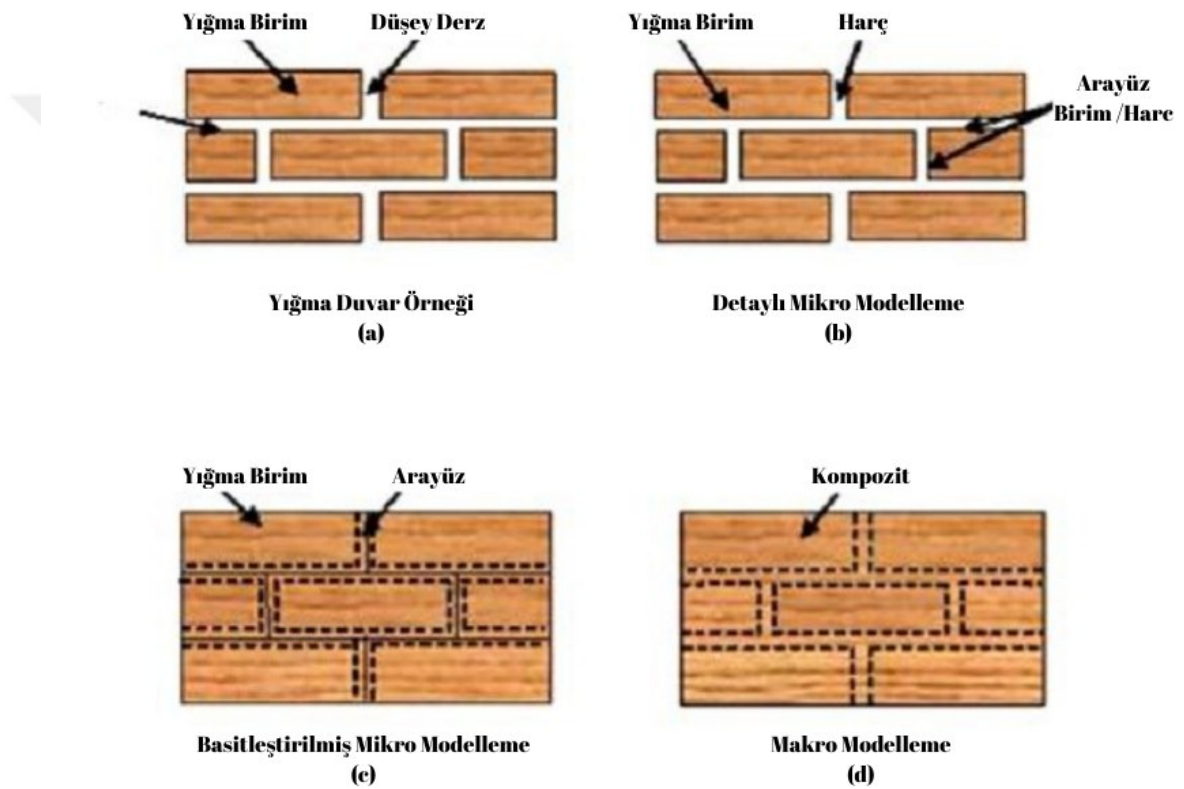
$$K_{ss} \text{ ve } K_{tt} = \frac{G_u G_m}{h_m (G_u - G_m)} \quad (3.7)$$

(3.6) ve (3.7) bağıntılarında gösterilen duvar birimlerinin yüzey normali doğrultusunda olan rijitlik K_{nn} , ilk doğrultuda oluşan kayma rijitliği K_{ss} , ikinci doğrultuda oluşan kayma rijitliği K_{tt} ’dir. Duvar birimlerinin elastisite modülü E_u , derzlerin elastisite modülü E_m , derzlerin kalınlığı h_m ve duvar birimlerine ait kayma modülü G_u , derzlere ait kayma modülü G_m ’dir.

3.8. Modelleme Teknikleri

Sonlu elemanlar yönteminden faydalanılarak yapılan doğrusal olmayan analizler, yığma duvarların davranışları hakkında yorum yapabilmek adına önemlidir. Doğrusal olmayan analizlerin sonuçlanması uzun sürmektedir. Bunun nedeni bilinmeyen sayısı arttıkça rijitlik matrisinin de büyümesidir.

Gazbeton, tuğla ve harç gibi malzemelerle sonlu elemanlar yöntemi kullanılarak yapılan modellemelerde üç çeşit sayısal modelleme tekniği mevcuttur. Bunlar basitleştirilmiş mikro model, detaylı mikro model ve makro modeldir. Bu çalışmada basitleştirilmiş mikro modelleme tekniğinden yararlanılmıştır. Şekil 3.9’da modelleme teknikleri görsel olarak verilmektedir.



Şekil 3.9. Modelleme teknikleri

Mikro modelleme tekniğinde tuğla, gazbeton vs ile bağlayıcı olarak kullanılan harç ayrı ayrı modellenmektedir. Mikro modelleme tekniği basitleştirilmiş ve detaylı olarak iki gruba ayrılmaktadır. Makro modelleme tekniğinde ise tuğla, gazbeton vs ile bağlayıcı harç tek parça halinde modellenmektedir.

Detaylı mikro modelleme tekniğinde birimler ayrı ayrı modellenirken aynı zamanda malzemelerin özellikleri ve gerçek boyutlarının da tanımlanması gerekmektedir. Bu daha iyi ve gerçeğe yakın sonuç almaya yarasa da zaman açısından uzun sürmesi ve daha fazla hesap yapmaya gerek olmasından dolayı diğer tekniklere göre daha az tercih edilmektedir.

Basitleştirilmiş mikro modelleme tekniğinde ise birimler ayrı ayrı modellense bile harç ara yüzey olarak modele yansıtılmaktadır. Bu ara yüzey hacimsiz olmaktadır ve bitişik olduğu tuğla birimlerine kalınlık olarak eklenmiş şekilde düşünülmektedir.

Makro modelleme tekniğinde duvar homojen şekilde tek parça olarak düşünülmektedir. Tuğla, gazbeton, harç vs gibi birimler ayrı ayrı düşünülmemekte ve malzeme özelliği olarak da tek malzeme özelliği girilmektedir. Hesaplamalar da bundan dolayı daha kolay olmaktadır. Gerçeğe daha uzak bir sonuç vermektedir fakat karmaşık yapılarda kullanılması tercih edilmektedir.

Ara yüzeyler kayma ve çekme davranışının her ikisini de birlikte yapmak üzere tanımlanmaktadır. Bundan dolayı kayma ve çekme davranışı ile birlikte duvarda oluşabilecek bütün hasarların ara yüzeylerde oluşurken tuğlalarda oluşabilecek hasarların ise tuğlanın ortasından düşey yönde oluşacağı kabul edilmektedir.



4. BULGULAR

4.1. Deneyin İncelenmesi

4.1.1. Giriş

Bu çalışmada referans alınan deneysel çalışma (Sabahoğlu 2022), beş farklı boyuttaki gazbeton duvar numunesi için yapılan diyagonal kayma deneyleri hakkındadır. Kayma deneyi “American Society for Testing and Materials” tarafından geliştirilen ASTM E-519-20 standardı dikkate alınarak yapılmıştır. Daha sonra bu çalışmadan yola çıkarak Kaya (2022) tarafından benzer sonuçları elde etmek amacıyla bilgisayar yardımıyla analitik modeller geliştirilmiştir. Bu tezde ise deneysel olarak araştırılan numunelerden yalnız 120×120 cm boyutuna sahip olanı için toplam boyut sabit tutularak değişik gazbeton dizilimlerinin duvar kayma dayanımına etkisi analitik araştırılmıştır.

Referans alınan deneysel çalışmada beş farklı boyuta sahip duvar numunelerinden üçer tane hazırlanarak toplamda 15 deney numunesi ile deneyler gerçekleştirilmiştir. Numunelere ait ölçüler Çizelge 4.1’de verilmektedir.

Çizelge 4.1. Deney gruplarının boyut özellikleri

Eleman	En (cm)	Boy (cm)	Yükseklik (cm)
1	20	25	25
2	20	50	50
3	20	75	75
4	20	100	100
5	20	120	120

Numuneler hazırlanırken yalnızca gazbeton ve gazbeton yapıştırıcıdan yararlanılmıştır. Numunelerde sıva kullanılmamıştır.

4.1.2. Gazbeton yapıştırıcısının özellikleri

Deneyde kullanılan gazbeton yapıştırıcı, ZNR markasına ait çimento yapıştırıcısıdır. Kullanılacak olan harcın basınç dayanımını ölçmek için 8×8×16 cm ölçülere sahip 6 numuneye basınç testi yapılmıştır. Testin sonuçlarında çıkan basınç dayanımları Çizelge 4.2’de verilmektedir.

Çizelge 4.2. Basınç deneyi sonuçları ve ortalaması

Numune	Basınç Dayanımı (MPa)
1	16.07
2	14.24
3	15.89
4	14.20
5	15.88
6	17.59
Ortalama	15.88



Şekil 4.1. Harç numuneleri üzerinde basınç testleri (Sabahoğlu 2022)

4.1.3. Gazbeton özellikleri

Deney için oluşturulan duvar modellerinde G2 sınıfı olan 60×25×20 cm standart ölçülere sahip olan gazbetonlardan yararlanılmıştır. Deney için öncelikle gazbetonlar için basınç dayanım testleri uygulanmıştır. Bu testler için ölçüleri 10×10×10 cm olan 3 tane küp numune ve ölçüleri 10×10×20 olan 3 tane dikdörtgen prizma numune alınmıştır. Küp numuneler ile yapılan basınç deneyi sonuçlarında ortalama basınç dayanımı 1.86 MPa, dikdörtgen prizma numuneler ile yapılan basınç deneyi sonuçlarında ise ortalama basınç dayanımı 1.73 MPa bulunmuştur.

4.1.4. Numunelerin imalatı

Duvar numuneleri oluşturulurken G2 sınıfı 60×25×20 cm gazbetondan ve ZNR markasına ait olan çimento yapıştırıcıdan yararlanılmıştır. Gazbetonlar arasında kullanılan derz için kalınlık 3 mm olarak belirlenmiştir. Duvar numuneleri Şekil 4.2’de gösterilmektedir.

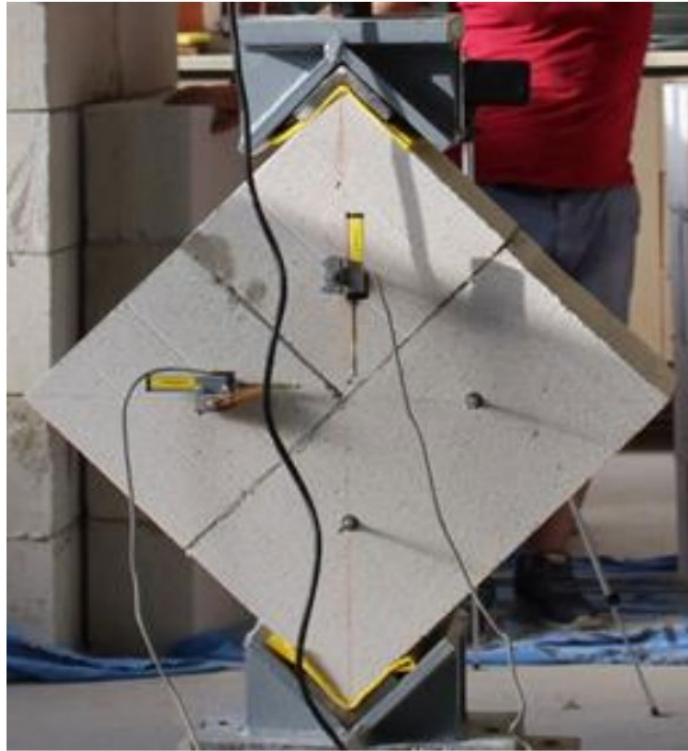


Şekil 4.2. Hazırlanan duvar numuneleri (Sabahoğlu 2022)

4.1.5. Deplasman ölçerlerin (LPDT) yerleştirilmesi

Hazırlanan duvar numuneleri üzerinde basınç testi sonucu yatay yönde uzama ve düşey yönde kısaltmalar görülmektedir. Bu yer değişimlerini ölçmek için numuneler üzerine yerleştirilen deplasman ölçerlerden yararlanılmıştır. Deplasman ölçerler her numune üzerine ikişer adet yerleştirilmiştir. En küçük deney numunesi olan 25×25 cm olan duvar numunesinde 30 mm'lik deplasman ölçer kullanılırken diğerlerinde 50 mm'lik deplasman ölçerlerden yararlanılmıştır.

Yer değiştirme ölçümleri deplasman ölçerlerin sabit olmayan ucuna eklenen ve esnekliği olmayan iplerin hareketi ile yapılmıştır. Bu ipler bütün numunelerde deplasman ölçerlerden belirli bir mesafe uzaklıkta sabitlenen çubuklara bağlanmıştır. Deplasman ölçerlerin köşe noktalardan sırasıyla uzaklıkları 25×25 cm numune için 10 cm, 50×50 cm numune için 21 cm, 75×75 cm numune için 31 cm, 100×100 cm numune için 42 cm ve 120×120 cm numune için 50 olarak belirlenmiştir. Deplasman ölçerlerin hareketli ucundaki iplerin bağlandığı sabit çubukların deplasman ölçerlere uzaklıkları ise sırasıyla 25×25 cm numune için 15.6 cm, 50×50 cm numune için 29 cm, 75×75 cm numune için 44.5 cm, 100×100 cm numune için 58 cm ve 120×120 cm numune için ise 70.4 cm olarak belirlenmiştir. Deplasman ölçerlerin numune üzerine eklenmesi Şekil 4.3'te verilmektedir.



Şekil 4.3. Deplasman ölçerlerin yerleştirilmesi (Sabahoğlu 2022)

4.1.6. Yükleme pabuçları

Deneyler uygulanırken ASTM E-519 standardı göz önüne alınmıştır. Bu standartta, kullanılacak yükleme pabuçlarının kol uzunluğunun deneyde kullanılacak

numunelerin bir kenarının uzunluğuna oranı 1/8 olması gerektiği belirtilmektedir. 25×25 cm duvar numunesi için 3.125 cm, 50×50 cm duvar numunesi için 6.25 cm, 75×75 cm duvar numunesi için 9.375 cm, 100×100 cm duvar numunesi için 12.5 cm kol uzunluğuna sahip yükleme pabuçları hazırlanmıştır. 120×120 cm için kullanılacak olan 15 cm kol uzunluğuna sahip yükleme pabucu ise laboratuvarında mevcut olduğundan toplamda 4 farklı ölçüye sahip, alt ve üst kısma yerleştirmek üzere 8 adet yükleme pabucu imal edilmiştir.



Şekil 4.4. Mevcut ve imal edilen pabuçlar (Sabahoğlu 2022)

4.1.7. Yükleme düzeneği

Çelik malzeme ile hazırlanan 80 ton ağırlığa sahip olan çerçeve sistemindeki pabuçlar arasına numuneler yerleştirilerek yükleme düzeneği oluşturulmuştur. Çerçeve sisteminin altında kalan pabuç sabit kullanılmıştır. Üstte bulunan pabuç ise yük pistonunun oluşturduğu basınç değerlerini okumayabilmek için sabit kullanılmamıştır. Numunelerin düşey ve yatay yöndeki yer değiştirmelerinin okunabilmesi için belirlenen mesafelerde numuneler üzerinde ikişer adet deplasman ölçer kullanılmıştır.

4.2. Analitik Çalışma

4.2.1. Giriş

Literatürde yer alan deney ve sonuçları Bölüm 4'te verilmektedir. Bu deneysel çalışmada kullanılan duvar numuneleri referans alınarak Kaya (2022) tarafından sayısal olarak modellenmiştir. Bu tez çalışmasında ise benzer modelleme tekniği kullanılarak numunelerde gazbeton dizilimleri değiştirilerek duvar davranış ve dayanım farkları incelenmiştir. Analizde ABAQUS (2019) yapısal analiz programından yararlanılırken Çizelge 4.3'te gösterilen SI birim sistemi kullanılmıştır.

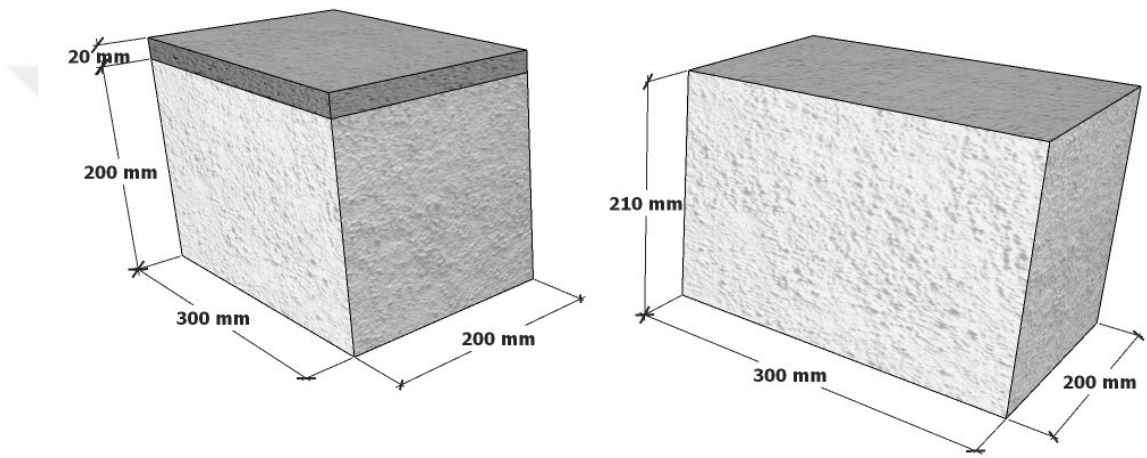
Çizelge 4.3. Bilgisayar yazılımında kullanılan birimler

Büyüklik	SI	SI (mm)
Uzunluk	m	mm
Kuvvet	N	N
Kütle	kg	ton
Zaman	s	s
Gerilme	Pa	MPa
Enerji	J	mJ
Yoğunluk	kg/m ³	ton/mm ³

4.2.2. Duvar numunelerinin modellenmesi

İlk olarak modellenecek olan 120×120 duvar numunesinin belirli oranda derz kaydırması yaparak oluşturulacak yeni gazbeton dizilimleri için Autocad kullanılarak modelleri oluşturulmuştur. Yükleme pabucu ve harç özellikleri için referans alınan sayısal analizden faydalanılmıştır.

Basitleştirilmiş mikro modelleme tekniği kullanıldığından harç ayrı bir eleman olarak değil bitişik olarak bulunduğu gazbetona kalınlık olarak ilave edilerek modellemeye eklenmiştir. Harç kalınlığı yarı yarıya gazbeton malzemelerine eklenmektedir. Harç için basitleştirme yapılmaktadır. Gazbeton ve harcın ayrı ayrı modellendiği ve harcın gazbetona eklenmiş dönüştürülmüş gazbeton numuneleri Şekil 4.5'te verilmektedir.



Şekil 4.5. Dönüştürülmüş eşdeğer gazbeton numunesi oluşturulması (Kaya 2022)

Basitleştirilmiş mikro modelleme tekniği ile modellenen 120×120 duvar numuneleri ilk durumda yukarıdan aşağıya doğru 46'şar mm kaydırılarak toplamda 10 adımda tekrar aynı referans modele dönülmüştür. Kaydırmalar uygulanırken standart gazbeton ölçüleri olan 600×250×200 mm (en-boy-genişlik) göz önünde bulundurulmuştur. Buna göre gazbeton elemanlarının bazı zamanlar boyları artma ya da azalma gösterirken bazı zamanlarda da standart gazbeton ölçülerini aşmamak adına yeni gazbeton parçaları eklenmiştir. Harç elemanı kalınlığı 3 mm düşünülerek bu kalınlık gazbetonlara eklenmiştir. İkinci durumda ise soldan sağa 67'şer mm kaydırma yapılarak 8 adımda referans modele dönüş sağlanmıştır. Bu durumda da standart gazbeton ölçüleri göz önünde bulundurularak gerektiğinde gazbetonların boyutlarıyla oynanmış, gerektiğinde ise yeni gazbetonlar modellenmiştir. Bu modellerde oluşan gazbeton tipleri Çizelge 4.4'te verilmektedir.

Çizelge 4.4. Modellenen gazbeton numuneleri ölçüleri

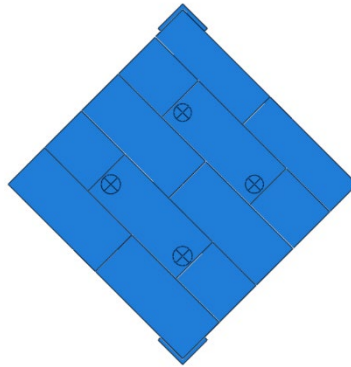
	En (mm)	Boy (mm)	Genişlik (mm)	Model No
TİP-1	600	251.5	200	ref
TİP-2	298.5	253	200	ref, d1, d2, d3, d4, d5, d6, d7, d8, d9, d10
TİP-3	603	253	200	ref
TİP-4	600	253	200	ref, d1, d2, d3, d9, d10
TİP-5	603	253	200	ref
TİP-6	600	189.5	200	ref
TİP-7	600	205.5	200	d1
TİP-8	600	235.5	200	d1
TİP-9	603	253	200	d1
TİP-10	603	253	200	d1
TİP-11	600	159.5	200	d2
TİP-12	298.5	28.5	200	d2
TİP-13	603	28.5	200	d2
TİP-14	603	253	200	d2
TİP-15	603	253	200	d2
TİP-16	600	113.5	200	d3
TİP-17	298.5	74.5	200	d3
TİP-18	603	74.5	200	d3
TİP-19	603	253	200	d3
TİP-20	603	253	200	d3
TİP-21	600	67.5	200	d4
TİP-22	298.5	120.5	200	d4
TİP-23	603	120.5	200	d4
TİP-24	600	253	200	d4
TİP-25	600	253	200	d4
TİP-26	603	253	200	d4, d5, d6, d7, d8, d9, y1, y2, y3, y4, y5, y6, y7, y8
TİP-27	600	253	200	d4
TİP-28	600	253	200	d4
TİP-29	600	21.5	200	d5
TİP-30	298.5	166.5	200	d5
TİP-31	603	166.5	200	d5
TİP-32	600	253	200	d5
TİP-33	600	253	200	d5
TİP-34	600	253	200	d5
TİP-35	600	253	200	d5
TİP-36	298.5	228.5	200	d6
TİP-37	603	228.5	200	d6
TİP-38	298.5	212.5	200	d6
TİP-39	603	212.5	200	d6
TİP-40	600	253	200	d6

	En (mm)	Boy (mm)	Genişlik (mm)	Model No
TİP-41	600	253	200	d6
TİP-42	600	253	200	d6
TİP-43	600	253	200	d6
TİP-44	298.5	182.5	200	d7
TİP-45	603	182.5	200	d7
TİP-46	600	5.5	200	d7
TİP-47	600	253	200	d7
TİP-48	600	253	200	d7
TİP-49	600	253	200	d7
TİP-50	600	253	200	d7
TİP-51	298.5	136.5	200	d8
TİP-52	603	136.5	200	d8
TİP-53	600	51.5	200	d8
TİP-54	600	253	200	d8
TİP-55	600	253	200	d8
TİP-56	600	253	200	d8
TİP-57	600	253	200	d8
TİP-58	298.5	90.5	200	d9
TİP-59	603	90.5	200	d9
TİP-60	600	97.5	200	d9
TİP-61	600	253	200	d9
TİP-62	600	253	200	d9
TİP-63	603	253	200	d9
TİP-64	298.5	44.5	200	d10
TİP-65	603	44.5	200	d10
TİP-66	600	143.5	200	d10
TİP-67	603	253	200	d10
TİP-68	603	253	200	d10
TİP-69	64	189.5	200	y1, y8
TİP-70	603	189.5	200	y1, y2, y3, y4, y5, y6, y7, y8
TİP-71	533	189.5	200	y1, y8
TİP-72	365.5	253	200	y1
TİP-73	603	253	200	y1
TİP-74	231.5	253	200	y1, y8
TİP-75	64	253	200	y1, y8
TİP-76	533	253	200	y1, y8
TİP-77	365.5	253	200	y1
TİP-78	603	253	200	y1
TİP-79	64	251.5	200	y1
TİP-80	603	251.5	200	y1, y2, y3, y4, y5, y6, y7, y8

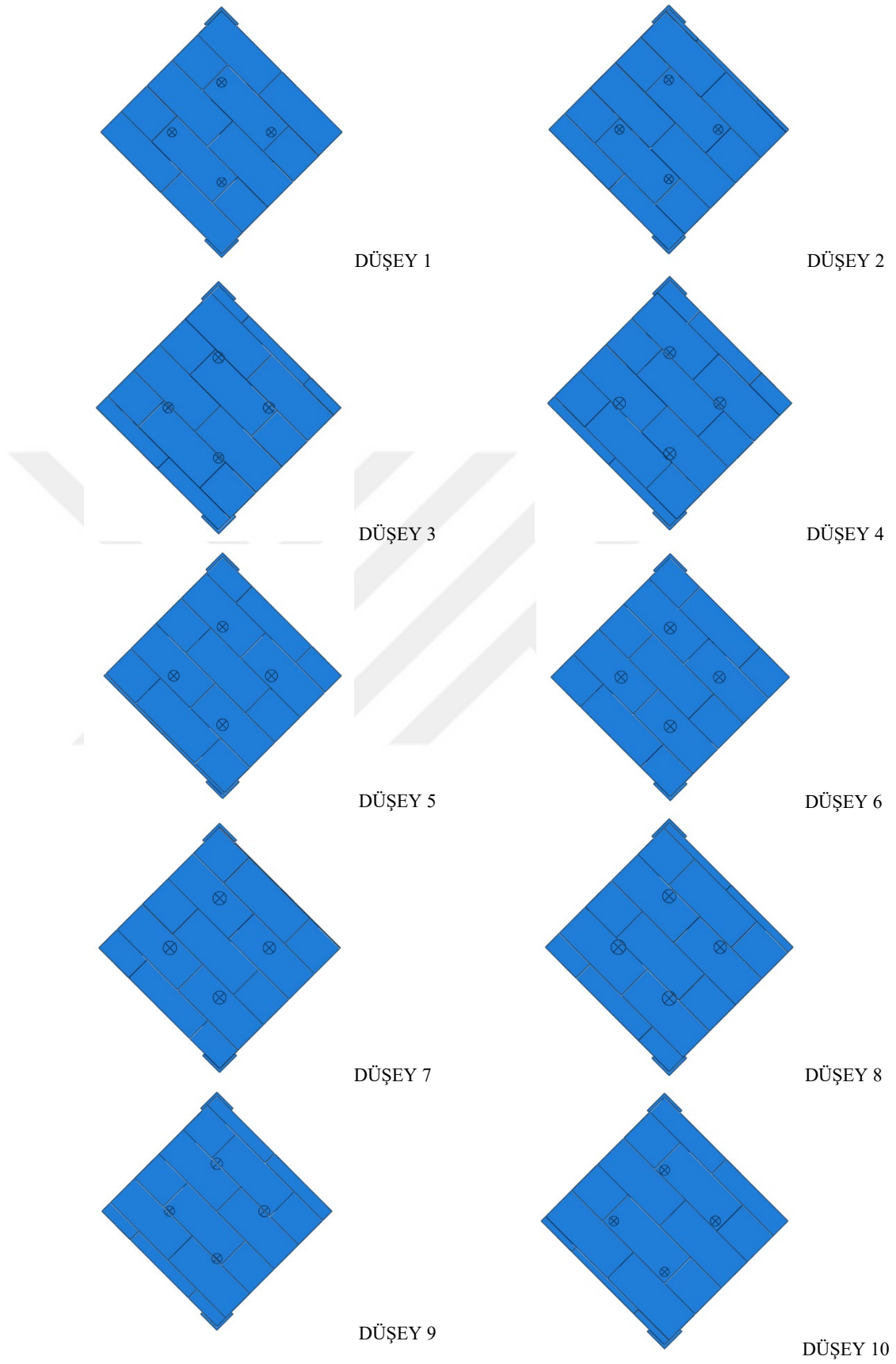
Çizelge 4.4'ün devamı.

	En (mm)	Boy (mm)	Genişlik (mm)	Model No
TİP-81	533	251.5	200	y1, y8
TİP-82	131	189.5	200	y2, y7
TİP-83	466	189.5	200	y2, y7
TİP-84	432.5	253	200	y2
TİP-85	603	253	200	y2
TİP-86	164.5	253	200	y2, y7
TİP-87	131	253	200	y2, y7
TİP-88	466	253	200	y2, y7
TİP-89	432.5	253	200	y2
TİP-90	603	253	200	y2
TİP-91	131	251.5	200	y2, y7
TİP-92	466	251.5	200	y2, y7
TİP-93	198	189.5	200	y3, y6
TİP-94	399	189.5	200	y3, y6
TİP-95	499.5	253	200	y3
TİP-96	603	253	200	y3
TİP-97	97.5	253	200	y3, y6
TİP-98	198	253	200	y3, y6
TİP-99	399	253	200	y3, y6
TİP-100	499.5	253	200	y3
TİP-101	603	253	200	y3
TİP-102	198	251.5	200	y3, y6
TİP-103	399	251.5	200	y3, y6
TİP-104	265	189.5	200	y4, y5
TİP-105	332	189.5	200	y4, y5
TİP-106	566.5	253	200	y4
TİP-107	603	253	200	y4
TİP-108	30.5	253	200	y4, y5
TİP-109	265	253	200	y4, y5
TİP-110	332	253	200	y4, y5
TİP-111	566.5	253	200	y4
TİP-112	603	253	200	y4
TİP-113	265	251.5	200	y4, y5
TİP-114	332	251.5	200	y4, y5
TİP-115	603	253	200	y5
TİP-116	566.5	253	200	y5
TİP-117	603	253	200	y5
TİP-118	566.5	253	200	y5
TİP-119	603	253	200	y6
TİP-120	499.5	253	200	y6
TİP-121	603	253	200	y6
TİP-122	499.5	253	200	y6
TİP-123	603	253	200	y7
TİP-124	432.5	253	200	y7
TİP-125	603	253	200	y7
TİP-126	432.5	253	200	y7
TİP-127	603	253	200	y8
TİP-128	365.5	253	200	y8
TİP-129	603	253	200	y8
TİP-130	365.5	253	200	y8

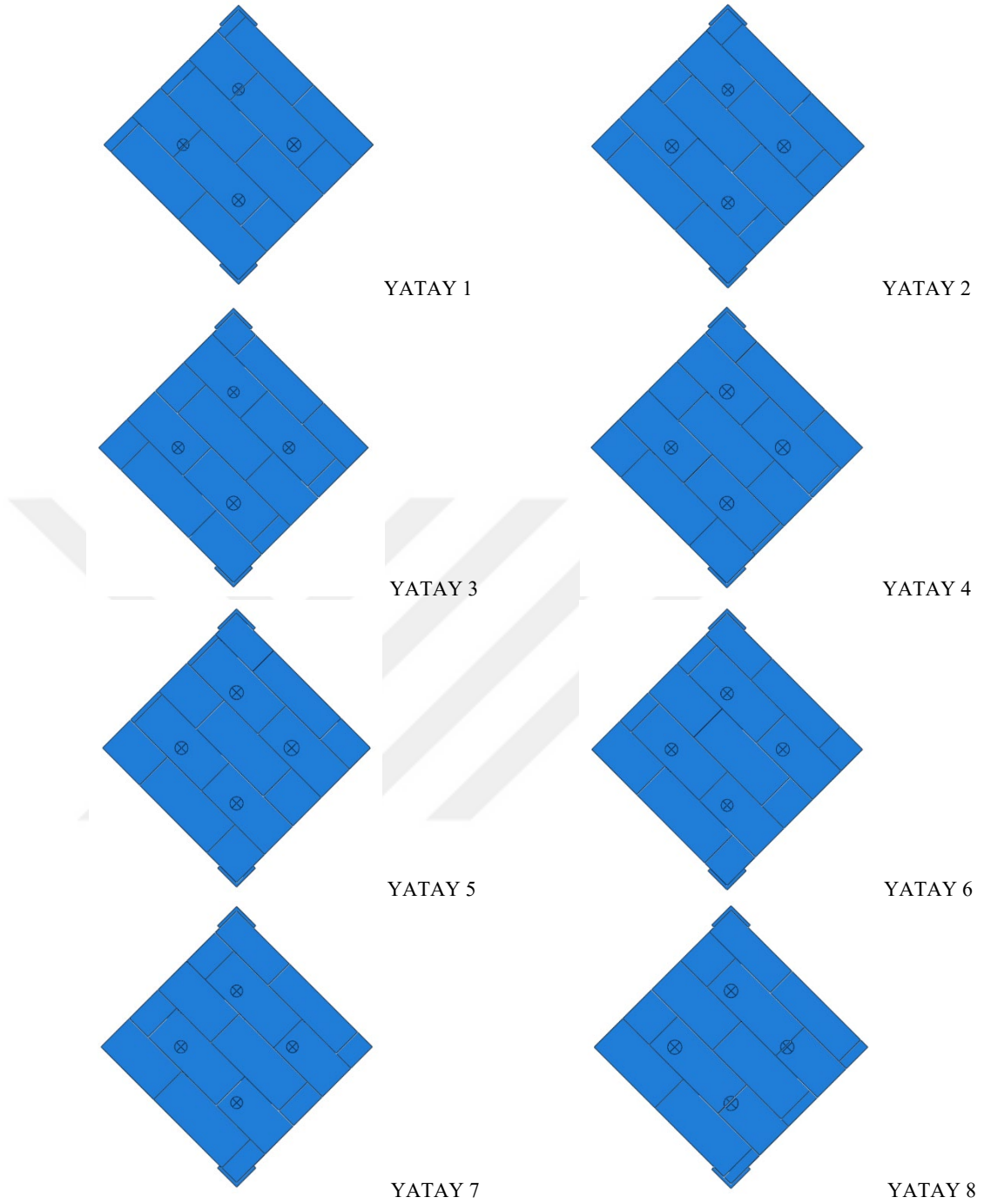
Autocad programında öncelikle modellenecek olan duvar için gazbeton parçaları boyutlandırılmıştır. 120×120 duvarın genel boyutu bozulmadan gazbetonlar belirli oranlarda büyütülüp küçültülerek yukarıdan aşağı (46 mm) ve soldan sağa (67 mm) doğru ayrı olarak derzler kaydırılmışlardır. Basitleştirilmiş mikro modelleme tekniği ile 3 mm harç kalınlığı gazbetonlara eklenmiştir. ABAQUS programında da hazırlanan parçalar katı cisim (solid) olarak seçilerek modellenmiştir. Yukarıdan aşağıya yapılan kaydırma için 10 adet, soldan sağa doğru yapılan için ise 8 adet model hazırlanmıştır. Kaydırma sonucu oluşan duvar modelleri Şekil 4.6-8'de gösterilmektedir.



Şekil 4.6. Referans model (120×120 cm)



Şekil 4.7. Yukarıdan aşağı doğru derz kaydırması



Şekil 4.8. Soldan sağa doğru derz kaydırması

4.2.3. Malzeme özelliklerinin tanıtılması

Analiz sonucunda gerçeğe yakın sonuçlar almak için modellemede kullanılan malzeme özelliklerinin kapsamlı ve doğru bir şekilde tanımlanması önemli olmaktadır. Modelleme yapılan yazılımda da malzeme özelliklerinin kapsamlı olarak tanımlanma imkanı bulunmaktadır. Doğrusal/doğrusal olmayan davranış için parametreler hasar davranışı, yoğunluk gibi parametreler detaylı şekilde tanımlanmaktadır.

Basitleştirilmiş mikro modelleme tekniğinden yararlanılarak hazırlanan modelde bağlayıcı harç ve çeşitli ölçülerde hazırlanan gazbetonlar ayrı ayrı düşünülmeden bir malzeme tanımı yapılmıştır. Gazbeton için hazırlanan malzeme modelinde yoğunluk, elastik, plastik deformasyon için çekme-gerilme bakımından özellikler tanımlanmıştır. Elastik tanımlama için elastikiyet katsayısı ve elastik aralıktaki gerilmeler için kullanılan bir sabit olan poisson oranı tanımlanmıştır. Plastik tanımlama için ise dilatasyon açısı, eksantirite, iki yönde oluşan basınç akma dayanımının tek yönde oluşan akma dayanımına oranı, invaryant gerilme katsayısı K ve viskozite parametresi değerleri tanımlanmıştır. Kullanılan değerler Çizelge 4.5'te gösterilmektedir.

Çizelge 4.5. Gazbeton elastik malzeme özellikleri

Elastikiyet katsayısı	Poisson oranı
795	0.25

Dilatasyon açısı	Eksantirite	f_{b0}/f_{c0}	İnvaryant gerilme katsayısı (K)	Viskozite parametresi
40	0.1	1.16	0.667	0

Malzeme özellikleri tanımlanırken plastik kısımda beton hasar plastisite modeli (CDP-Concrete Damage Plasticity) kullanılmıştır. Bu modelde yük etkisi altında kalan gevrek ve yarı gevrek malzemeler için çekme çatlaması ve basınç ezilmesi olarak iki parametre kullanılmaktadır. CDP ile çekme-basınç mukavemet kayıpları ile şekil değiştirmedeki karmaşık davranışların tanımlanması sağlanmaktadır. Kullanılan CDP değerleri (EK-1) ve (EK-2)'de verilmektedir.

Gazbeton, bağlayıcı harç ve basitleştirilmiş mikro modelleme yöntemi ile oluşturulan eşdeğer gazbeton için kullanılan malzeme özellikleri Çizelge 4.6'da verilmektedir. Elastisite modülü (E_a) eşdeğer gazbeton için (4.1) bağıntısına göre hesaplanmaktadır.

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

Bağıntıda geçen H , duvarın yüksekliği; E_u gerçek gazbetona ait elastisite modülü; E_m bağlayıcı harca ait elastisite modülü; n duvarda yükseklik boyunca kullanılmış gazbeton adedi; h_u birim elemanın yüksekliğini; h_m bağlayıcı harcın yüksekliğini ifade etmektedir.

Bağlayıcı harcın dayanımı gazbetona göre daha yüksek olmaktadır. Bundan dolayı hasar meydana gelirken yüksek dayanıma sahip olan harç, dayanımı daha düşük olan gazbetondan etkilenmektedir ve hasar ara yüzeyde gerçekleşmektedir. Bu sebeple bağıntıda kullanılan harç elastisite modülü (E_m) yerine ara yüz elastisite modülünden (E'_m) yararlanmak daha gerçeğe yakın sonuç almayı sağlamaktadır. Bu elastisite modülünün de dayanımlarını hesaplamak için bazı kayma-çekme deneyleri yapılması

gerekmektedir. Bahsedilen deneysel çalışma literatürde yer almadığı için ara yüz elastisite modülü sayısal kalibrasyon sonucunda elde edilmiştir.

Gazbeton, eşdeğer gazbeton ile bağlayıcı harç için kayma modülleri (4.4) bağıntısı kullanılarak hesaplanmaktadır.

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

$$G = \frac{E}{2(1+\gamma)} \quad (4.3)$$

$$f_{ca} = K \times f_{cu}^{0,7} \times f_{cm}^{0,3} \quad (4.4)$$

Bağıntı (4.2)'de verilen K_E 'nin değeri Eurocode-6'da 1000 olarak verilmiştir. f_k ise malzeme basınç dayanımıdır. Eşdeğer gazbetonun basınç dayanımı (4.4) bağıntısı kullanılarak belirlenmektedir (Eurocode-6, Bölüm 3.6.1.2, Tablo 3.3, AAC, Grup 1, $K = 0,55$). Bağıntı (4.4)'te verilen f_{ca} , eşdeğer gazbetonun basınç dayanımını temsil etmektedir. f_{cu} , gazbeton basınç dayanımı; f_{cm} ise harcın basınç dayanımıdır. Gazbeton basınç dayanımı için standart gazbeton ölçülerindeki bir gazbeton numunesinin ortalama olarak basınç dayanımı göz önüne alınmıştır. Çekme dayanımı değeri olarak eşdeğer gazbeona ait herhangi bir deneysel çalışma bulunmamaktadır. f_{ta} değeri uluslararası standartlar göz önünde bulundurularak belirlenmektedir (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 4.6. Gazbeton, harç ve eşdeğer gazbeton için kullanılan malzeme parametreleri (Kaya 2022)

Açıklama	Basınç dayanımı (MPa)	Çekme dayanımı (MPa)	Elastisite modülü (MPa)	Yoğunluk (kg/m ³)	Poisson oranı	Kayma modülü (MPa)
Gazbeton	$f_{cu} = 1,73$ (Sabahoğlu 2022)	bilinmiyor	900 (RİLEM)	400 (RİLEM)	$\gamma_u = 0,25$	$G_u = 360$
Harç	$f_{cm} = 15,88$ (Sabahoğlu 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)

Duvar numunesine bakıldığında gazbeton yüzeyi harç yüzeyine göre çoğunlukta olduğu için eşdeğer gazbetona ait poisson oranı gazbeton ile aynı alınmıştır. Ek 1 ve Ek 2'de verilen d_c ve d_t rijitlik parametreleri ile modelde oluşan basınç-çekme mukavemeti kayıpları ve elastisite modülü azalmaları sağlanmaktadır. Modelde eğer sadece monotonik yük varsa hasar parametrelerinin tanımlanması durumu gerek olmamaktadır.

4.2.4. Analiz tipinin oluşturulması

Yapılan çalışmada dinamik analiz yapılması öngörüldüğü için öncelikle "Dynamic, Explicit" çözücü ile analiz adımı oluşturulmuştur. Analiz adımlarında daha

önce yapılan deneysel ve analitik çalışmalarda kullanılan etkileşim yüzeyleri, setleri ve sınır şartları kullanılmıştır. Hem genel hem de duvarların belirli yerlerine eklenen LPDT'lere göre analiz sonuçları elde edilmiştir. Bunun sonucunda ile oluşan gerilmeleri, deformasyonları, kuvvetleri, yer değiştirmeleri ve duvarın davranışı gibi parametreler elde edilmiştir.

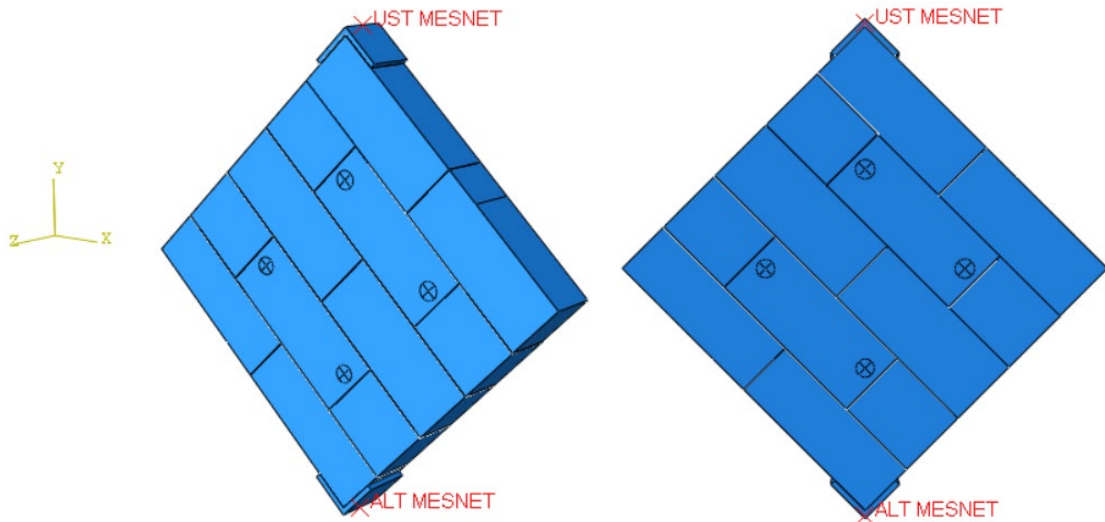
Duvara uygulanan yükleme üst noktadan ve düşey yöndedir. Duvarın üst kısmında modellenen pabuç bundan dolayı hareketli olarak tanımlanırken, alt kısımda modellenen pabuç sabittir. Uygulanan yük ile yükleme yapılan pabucun 30 saniyede 3 mm yer değiştirmesi hedeflenmiştir. Bu durum yazılımın "Amplitude" komutu ile sağlanmıştır. Analiz sonucunda da mesnette oluşan tepki kuvveti ile yer değiştirme ve kuvvet grafikleri elde edilmiştir.

Çizelge 4.7. Analiz süresi ve yer değiştirme değerleri

Analiz Süresi (sn)	Yer Değiştirme (mm)
0	0
30	3

4.2.5. Pabuç bağlantılarının tanımlanması

Duvar numuneleri modellenirken referans alınan deneysel çalışmada duvar numunelerinin alt ve üst noktalarına pabuçlar yerleştirilmiştir. Bu pabuçlardan üstte olanı düşey yönde yükleme yapılacağı için hareketli, altta olan ise sabit olarak kullanılmıştır. Pabuçların referans noktası olarak duvara teması olmayan yüzeylerde orta noktalar seçilmiştir. Bunun nedeni yükleme sebebiyle duvarda oluşan ezilmeden dolayı sonuçların gerçeği yansıtmasına engel olmamasının amaçlanmasıdır. Duvar ile pabuçların bağlantısı Şekil 4.9'da gösterilmektedir.



Şekil 4.9. Duvar ve pabuç bağlantıları

Atanmış olan mesnetler yüklemekten dolayı herhangi bir deformasyona uğramamaktadır. Bunu belirtmek amacıyla “Rigit Body” olarak modellenmiştir. Deney sonuçları duvar numunelerine eklenen LPDT’ler ile elde edilmiştir.

4.2.6. Parçalar arası etkileşimin tanımlanması

Analiz için modelleme oluşturulurken kohezif bölge metodu kullanılmıştır. Kohezif davranış, modellenen duvarda tanımlanan gazbeton temas yüzeyleri arasında oluşan hasar durumunu göstermektedir. Tek parça olan bir elemanın deformasyonu o elemanın malzeme özellikleri ile ilgilidir, fakat temas yüzeyleri olan bir elemanın deformasyonu bu yüzeylerin arasında belirtilen kohezif etkileşim özelliklerine bağlıdır.

Kohezif etkileşim özellikleri birbirine temas eden yüzeyler arasında K_{nn} (normal-Mod I), ve $K_{ss} - K_{tt}$ (kesme-Mod II) doğrultularında deformasyon (ayrılma) göstermektedir. Hazırlanan modellemede Mod II ve Mod III doğrultularındaki iki kayma durumunda da harç özelliklerinin aynı olduğu kabul edilmiştir.

Çizelge 4.8’de gösterilen ara yüzey değerleri (3.6) ve (3.7) bağıntıları kullanılarak hesaplanmıştır.

Çizelge 4.8. Ara yüzeylerin modellemesinde kullanılan değerler

K_{nn} (N/mm ²)	K_{tt} (N/mm ²)	K_{ss} (N/mm ²)
37.5	15.7	15.7

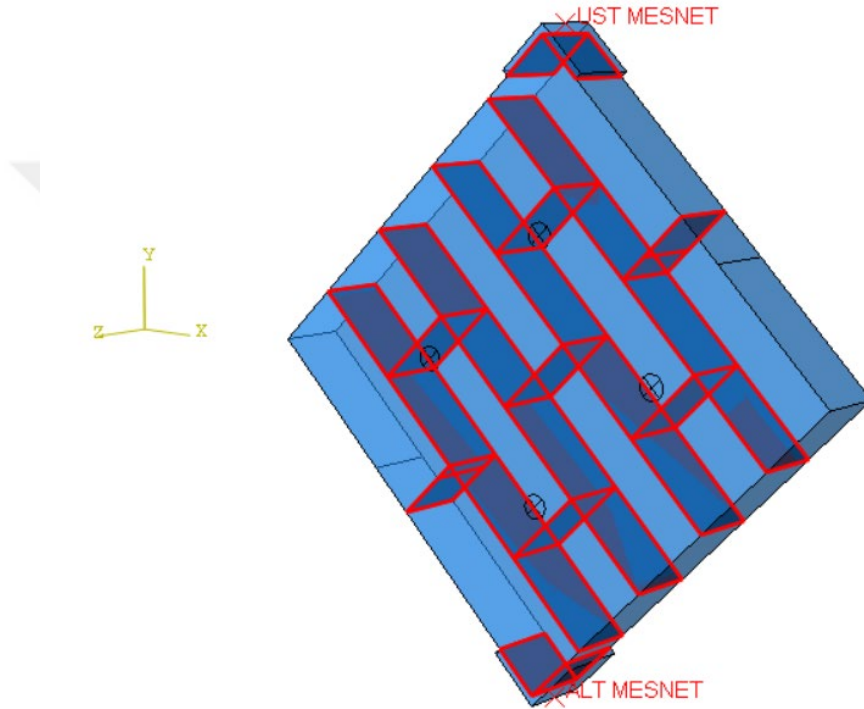
Modelde kohezif davranış ile birlikte kohezif etkileşim yüzeylerinde ayrılma görülse dahi oluşan normal basıncın öteki yüzeye iletilmesi sağlanmıştır. Bu şekilde gazbeton yüzeylerinin birbirleri üzerinde kayması normal ve teğetsel davranış ile sağlanmıştır. (Kaya 2022) Modelleme yapılırken sadece etkileşim yüzeyleri değil gazbetonların etkileşimi de göz önünde bulundurulmuştur. Bu etkileşimler için de normal davranış tanımlaması yapılmıştır. Şekil 4.10’da modelde oluşturulan etkileşim yüzeyleri gösterilmektedir. Ara yüzeyde tanımlanan harç özellikleri için kullanılan hasar ve hasar gelişim parametreleri Çizelge 4.9,10’da verilmektedir.

Çizelge 4.9. Ara yüzeylerdeki harç özellikleri için kullanılan hasar parametreleri

σ_{nn} (MPa)	τ_{ss} (MPa)	τ_{tt} (MPa)
0.1 (Eurocode-6, Bölüm 3.6.3, f_{skl} için tablo, AAC, $f_{cm} \geq 5$ N/mm ²)	0.15 (Eurocode-6, Bölüm 3.6.2, Tablo 3.4, AAC)	0.15 (Eurocode-6, Bölüm 3.6.2, Tablo 3.4, AAC)

Çizelge 4.10. 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

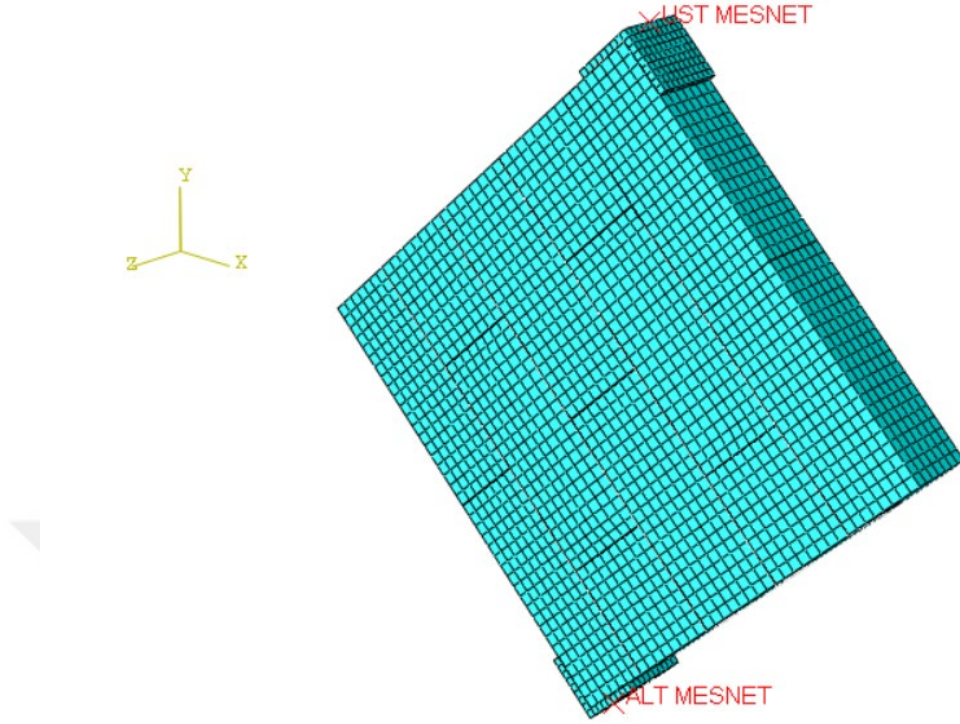


Şekil 4.10. Eşdeğer gazbeton etkileşim yüzeyleri

4.2.7. Sonlu elemanlar ağının tanımlanması

Sonlu elemanlar yöntemi ile hazırlanan analizlerde kullanılan elemanlar bir çözüm ağı oluşturularak istenilen aralıklarla küçük küçük parçalara ayrılmaktadır. Bu şekilde analiz daha detaylı olup sonucun gerçeğe daha yakın çıkması sağlanabilmektedir. Sonuçla ilgili etkenler içerisinde modellenen elemanın tipi ve eleman sayısı da etkili olmaktadır.

Yapılan çalışmada analiz türü “Explicit” olarak seçilmiştir. Geometrik düzen olarak lineer seçilmiştir. Eleman kontrol kısmında kinematik bölünme ortogonal seçilmiştir. Elemanların aldığı hasar maksimum olduğunda ise silinmesi tercih edilmiştir. Sonlu elemanlar ağının oluşturulması Şekil 4.11’de verilmektedir.



Şekil 4.11. Sonlu elemanlar ağının hazırlanması

4.2.8. Analizin başlatılması ve sonuçların görüntülenmesi

Analiz başlatılırken “Job” seçeneği seçilerek yapılacak analize bir isim verilmektedir. “Submit” seçeneğine tıklanarak analiz başlatılmaktadır. Analiz süreci başladıktan sonra “Monitor” kısmından adımların hepsi tek tek görülebilmektedir. Burada analizde oluşan uyarılar ve hatalar dikkate alınarak modellemedeki hatalar düzeltilerek analiz tekrar başlatılmaktadır. Analizin tamamlanmasıyla beraber “Results” kısmından analiz sonuçları incelenmektedir. “Visualization” kısmında modelde oluşan hasarları hem görsel olarak hem de “Create X-Y Data” seçeneği seçildikten sonra “ODB History Output” komutu ile grafik oluşturup grafik olarak incelenebilmektedir.

“ODB History Output” seçeneği ile oluşturulan grafikler Yük (kN) – Yatay Uzama ve Düşey Kısılma grafikleridir. Yük düşey ekseninde, uzama ve kısılma ile oluşan deplasman ise yatay ekseninde verilmektedir. Yatay ekseninde verilen deplasman, uzama ve kısılmaların toplamından elde edilmektedir. Elde edilen grafikler referans alınan duvar modellemesinin analizinden elde edilen grafik ile kıyaslanmıştır.

5. TARTIŞMA

5.1. Giriş

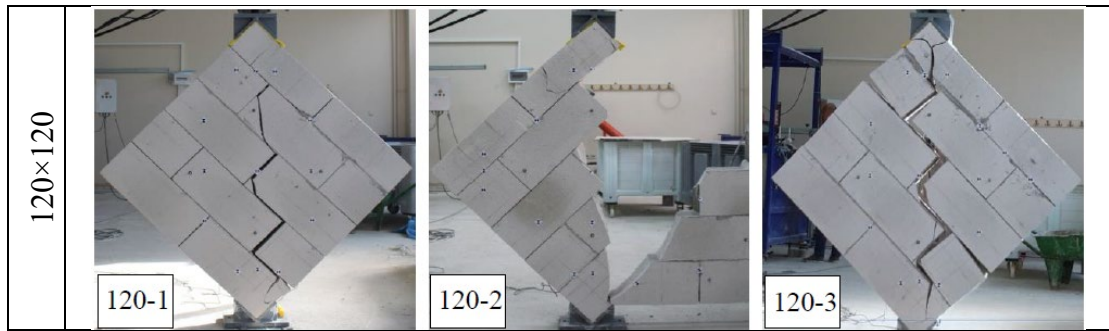
Yığma duvarlar oluşturulurken birim eleman dizilimi, kullanılan harcın tipi ve kalınlığı ya da birim elemanın özelliklerine göre bu yığma duvarların dayanımları ve hasar alma durumları değişmektedir.

Hazırlanan tez çalışmasında literatürde yer alan hem deney hem de sayısal analizi yapılmış olan farklı boyutlarda oluşturulmuş duvar numuneleri birim eleman dizilimi farklılaştırılarak modellenerek sayısal analizi gerçekleştirilmiştir. Sayısal analizler bilgisayar üzerinden yapılabildiği için deneyler kadar maliyetli değildir ve zaman açısından daha kısa sürmektedir. Bundan dolayı tasarruflu bir şekilde sayısal analiz ile gerçeğe yakın sonuçlar elde edilebilmektedir.

5.2. Deneyel Çalışmaya Ait Görseller (Sabahoğlu 2022)

Deneyel çalışmada elde edilen sonuçlar ile analizi yapılan modellerden elde edilen sonuçların karşılaştırılması için deneyde oluşan kırılma biçimleri ve analizde yapılan kırılma biçimleri çizelge olarak gösterilmektedir. Deney sonucundaki kırılma biçimi olarak verilen görseller, her numune için yapılan üçer deneyin ortalama sonuçlarıdır. Deney sonuçlarında elde edilen kırılma şekilleri Çizelge 5.2’de gösterilmektedir.

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



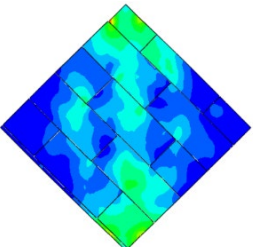
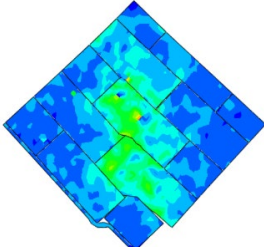
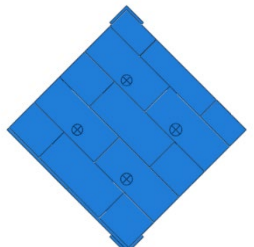
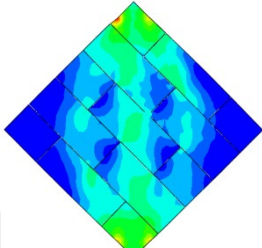
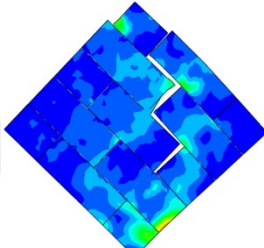
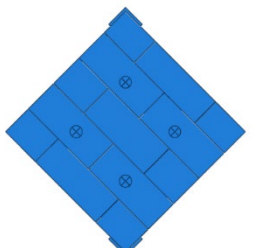
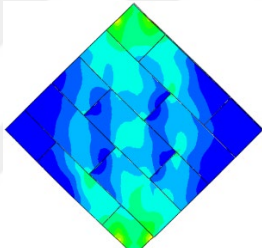
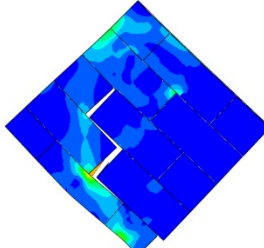
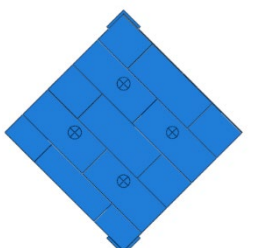
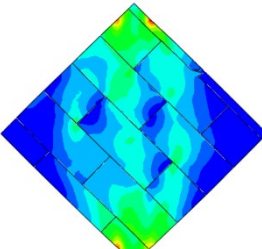
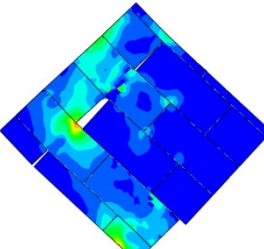
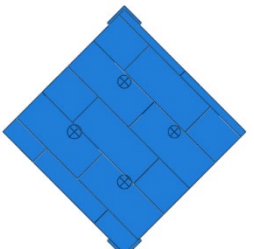
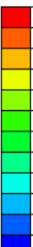
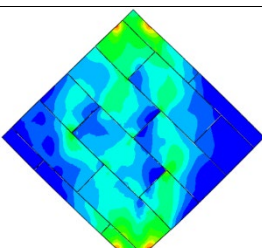
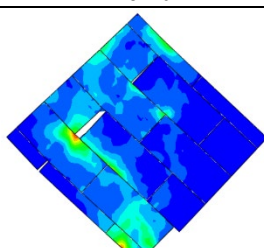
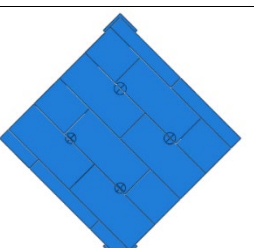
5.3. Analitik Çalışma Sonuçlarının Değerlendirilmesi

Düşey yönde yapılan kaydırma ile hazırlanan duvar modelleri için Von Misses gerilme görselleri Çizelge 5.2’de gösterilmektedir.

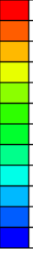
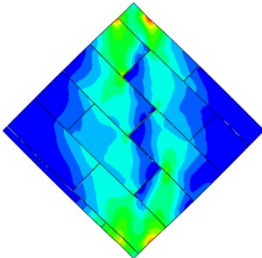
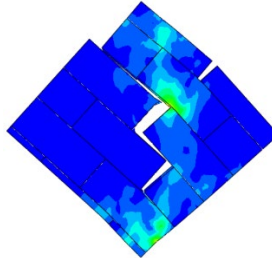
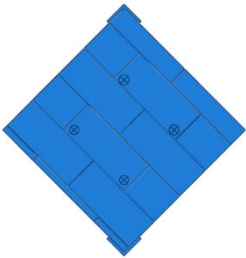
Çizelge 5.2. Düşey yönde kaydırma modellerinde kırılma öncesi ve kırılma sonrası Von Misses gerilme görselleri

	Von Mises gerilmesi (N/mm ²)	Kırılma öncesi	Kırılma sonrası	Gazbeton dizilimi (Düşey derz kaydırması)
REFERANS MODEL	+1.811e+00 +1.661e+00 +1.511e+00 +1.360e+00 +1.210e+00 +1.060e+00 +9.096e-01 +7.593e-01 +6.091e-01 +4.588e-01 +3.086e-01 +1.583e-01 +8.046e-03			
DÜŞEY-1	+1.218e+00 +1.118e+00 +1.017e+00 +9.171e-01 +8.168e-01 +7.164e-01 +6.161e-01 +5.157e-01 +4.154e-01 +3.151e-01 +2.147e-01 +1.144e-01 +1.404e-02			
DÜŞEY-2	+1.276e+00 +1.170e+00 +1.064e+00 +9.579e-01 +8.518e-01 +7.457e-01 +6.395e-01 +5.334e-01 +4.273e-01 +3.212e-01 +2.151e-01 +1.090e-01 +2.873e-03			
DÜŞEY-3	+1.241e+00 +1.138e+00 +1.035e+00 +9.324e-01 +8.297e-01 +7.270e-01 +6.243e-01 +5.216e-01 +4.189e-01 +3.161e-01 +2.134e-01 +1.107e-01 +8.005e-03			
DÜŞEY-4	+1.277e+00 +1.171e+00 +1.065e+00 +9.588e-01 +8.528e-01 +7.468e-01 +6.409e-01 +5.349e-01 +4.289e-01 +3.229e-01 +2.169e-01 +1.109e-01 +4.960e-03			

Çizelge 5.2'nin devamı

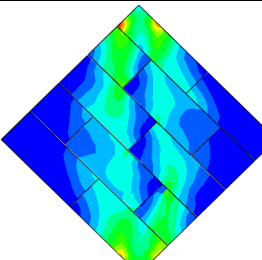
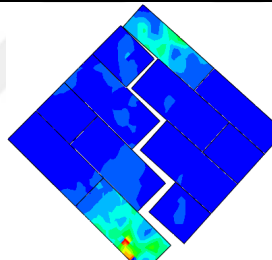
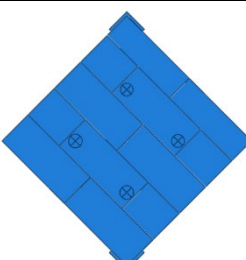
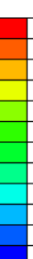
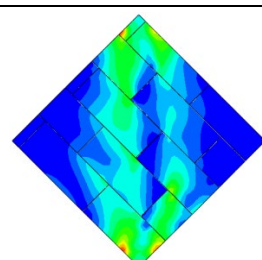
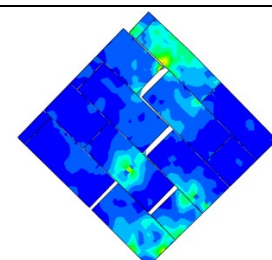
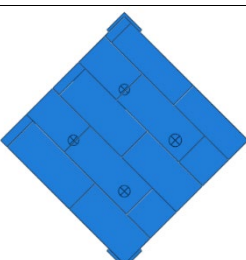
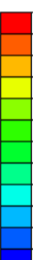
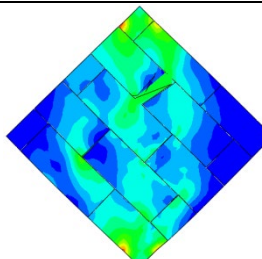
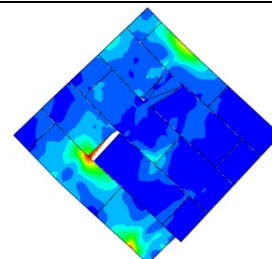
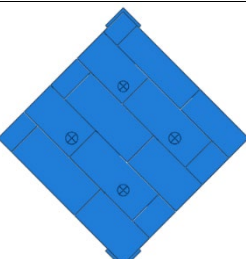
	Von Mises gerilmesi (N/mm ²)	Kırılma öncesi	Kırılma sonrası	Gazbeton dizilimi (Düşey derz kaydırması)
DÜŞEY-5	 +1.308e+00 +1.200e+00 +1.092e+00 +9.839e-01 +8.758e-01 +7.676e-01 +6.595e-01 +5.513e-01 +4.432e-01 +3.351e-01 +2.269e-01 +1.188e-01 +1.064e-02	 T = 14.40 sn	 T = 15.75 sn	
DÜŞEY-6	 +1.286e+00 +1.180e+00 +1.074e+00 +9.679e-01 +8.620e-01 +7.560e-01 +6.500e-01 +5.440e-01 +4.380e-01 +3.321e-01 +2.261e-01 +1.201e-01 +1.413e-02	 T = 16.10 sn	 T = 16.15 sn	
DÜŞEY-7	 +1.566e+00 +1.436e+00 +1.306e+00 +1.176e+00 +1.045e+00 +9.151e-01 +7.849e-01 +6.547e-01 +5.244e-01 +3.942e-01 +2.639e-01 +1.337e-01 +3.443e-03	 T = 15.65 sn	 T = 15.75 sn	
DÜŞEY-8	 +1.281e+00 +1.175e+00 +1.069e+00 +9.632e-01 +8.574e-01 +7.516e-01 +6.457e-01 +5.399e-01 +4.341e-01 +3.283e-01 +2.224e-01 +1.166e-01 +1.077e-02	 T = 16.15 sn	 T = 16.20 sn	
DÜŞEY-9	 +1.171e+00 +1.074e+00 +9.775e-01 +8.807e-01 +7.838e-01 +6.870e-01 +5.902e-01 +4.933e-01 +3.965e-01 +2.996e-01 +2.028e-01 +1.060e-01 +9.111e-03	 T = 15.45 sn	 T = 15.60 sn	

Çizelge 5.2'nin devamı.

	Von Mises gerilmesi (N/mm ²)	Kırılma öncesi	Kırılma sonrası	Gazbeton dizilimi (Düşey derz kaydırması)
DÜŞEY -10	 +1.261e+00 +1.156e+00 +1.052e+00 +9.472e-01 +8.426e-01 +7.380e-01 +6.335e-01 +5.289e-01 +4.243e-01 +3.198e-01 +2.152e-01 +1.106e-01 +6.054e-03	 T = 16.65 sn	 T = 16.75 sn	

Yatay yönde yapılan kaydırma ile hazırlanan duvar modelleri için Von Misses gerilme görselleri Çizelge 5.3'te gösterilmektedir.

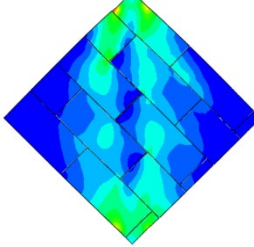
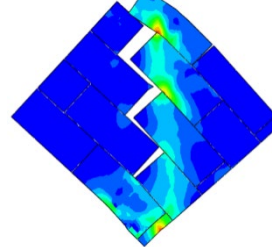
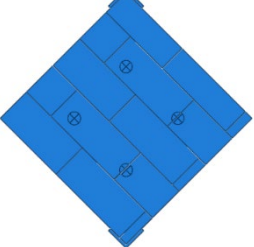
Çizelge 5.3. Yatay yönde kaydırma modellerinde kırılma öncesi ve kırılma sonrası Von Misses gerilme görselleri

	Von Mises gerilmesi (N/mm ²)	Kırılma öncesi	Kırılma sonrası	Gazbeton dizilimi (Yatay derz kaydırması)
REFERANS MODEL	 +1.811e+00 +1.661e+00 +1.511e+00 +1.360e+00 +1.210e+00 +1.060e+00 +9.096e-01 +7.593e-01 +6.091e-01 +4.588e-01 +3.086e-01 +1.583e-01 +8.046e-03	 T = 15.40 sn	 T = 15.45 sn	
YATAY-1	 +1.254e+00 +1.149e+00 +1.045e+00 +9.406e-01 +8.363e-01 +7.320e-01 +6.277e-01 +5.234e-01 +4.191e-01 +3.148e-01 +2.105e-01 +1.062e-01 +1.858e-03	 T = 16.10 sn	 T = 16.15 sn	
YATAY-2	 +1.146e+00 +1.052e+00 +9.569e-01 +8.622e-01 +7.675e-01 +6.729e-01 +5.782e-01 +4.835e-01 +3.888e-01 +2.941e-01 +1.994e-01 +1.047e-01 +9.982e-03	 T = 16.15 sn	 T = 16.20 sn	

Çizelge 5.3'ün devamı.

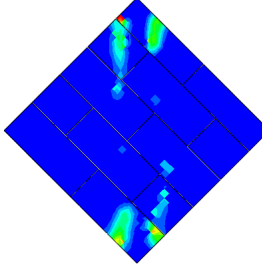
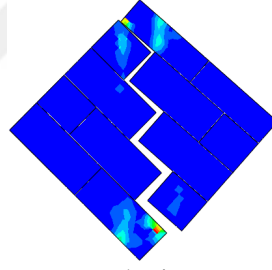
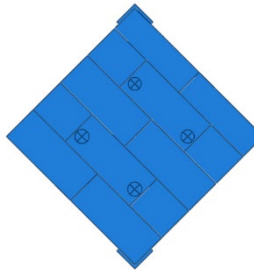
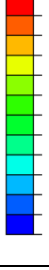
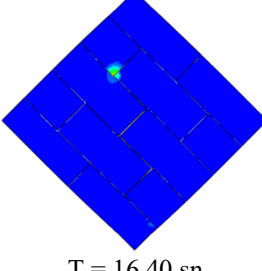
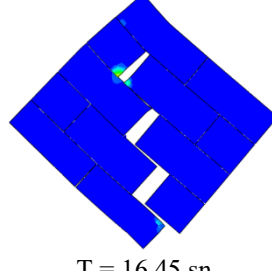
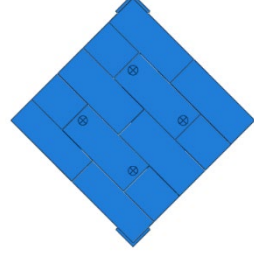
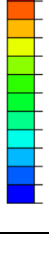
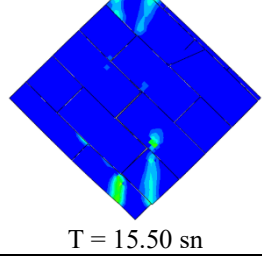
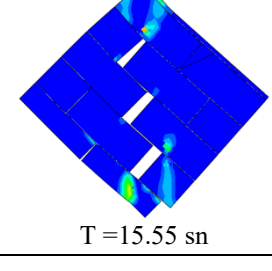
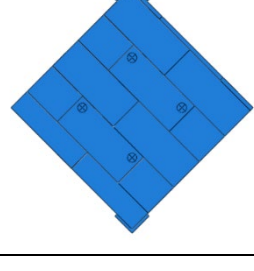
	Von Mises gerilmesi (N/mm ²)	Kırılma öncesi	Kırılma sonrası	Gazbeton dizilimi (Yatay derz kaydırması)
YATAY-3	 +1.159e+00 +1.063e+00 +9.666e-01 +8.705e-01 +7.744e-01 +6.783e-01 +5.822e-01 +4.861e-01 +3.900e-01 +2.939e-01 +1.977e-01 +1.016e-01 +5.520e-03	 T = 16.80 sn	 T = 16.85 sn	
YATAY-4	 +1.032e+00 +9.468e-01 +8.617e-01 +7.767e-01 +6.916e-01 +6.066e-01 +5.215e-01 +4.364e-01 +3.514e-01 +2.663e-01 +1.812e-01 +9.617e-02 +1.111e-02	 T = 16.95 sn	 T = 17.90 sn	
YATAY-5	 +1.305e+00 +1.197e+00 +1.088e+00 +9.798e-01 +8.714e-01 +7.630e-01 +6.546e-01 +5.462e-01 +4.379e-01 +3.295e-01 +2.211e-01 +1.127e-01 +4.285e-03	 T = 16.35 sn	 T = 16.45 sn	
YATAY-6	 +1.403e+00 +1.286e+00 +1.170e+00 +1.053e+00 +9.362e-01 +8.195e-01 +7.028e-01 +5.860e-01 +4.693e-01 +3.525e-01 +2.358e-01 +1.190e-01 +2.304e-03	 T = 16.25 sn	 T = 16.30 sn	
YATAY-7	 +1.487e+00 +1.363e+00 +1.239e+00 +1.116e+00 +9.918e-01 +8.680e-01 +7.442e-01 +6.204e-01 +4.966e-01 +3.727e-01 +2.489e-01 +1.251e-01 +1.318e-03	 T = 15.75 sn	 T = 15.80 sn	

Çizelge 5.3'ün devamı.

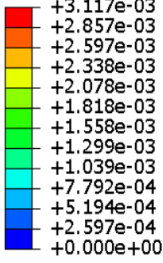
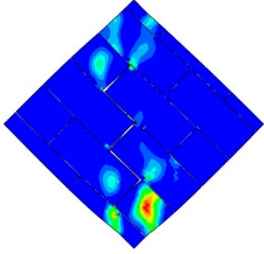
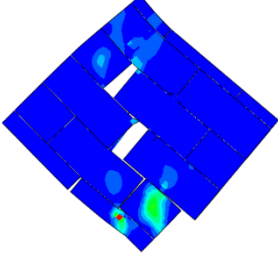
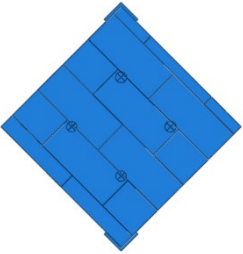
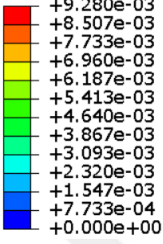
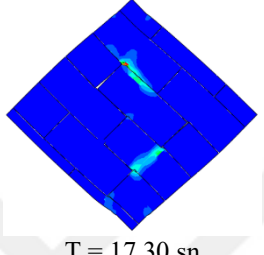
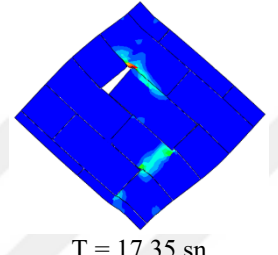
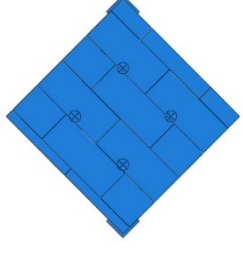
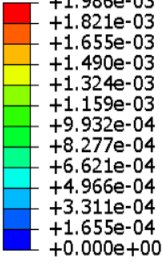
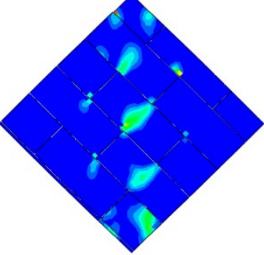
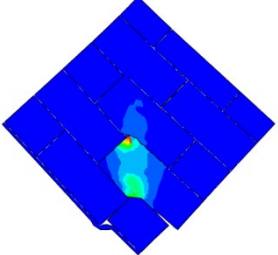
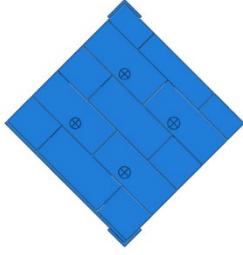
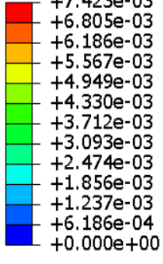
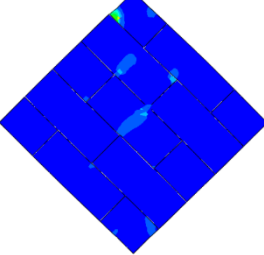
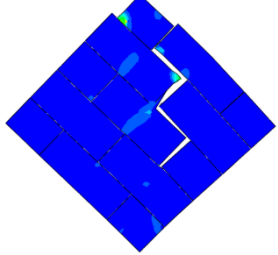
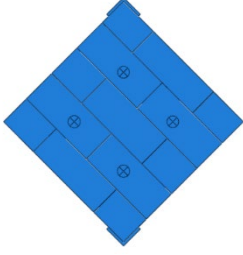
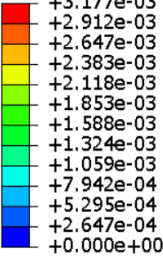
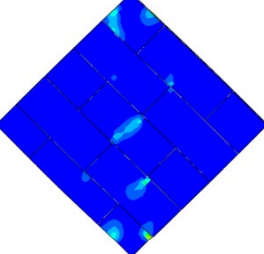
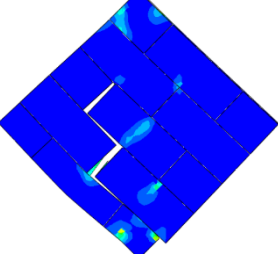
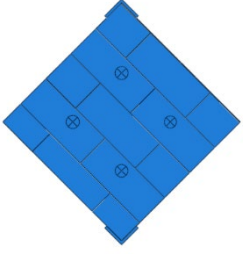
	Von Mises gerilmesi (N/mm ²)	Kırılma öncesi	Kırılma sonrası	Gazbeton dizilmi (Yatay derz kaydırması)
YATAY-8	 +1.506e+00 +1.381e+00 +1.256e+00 +1.130e+00 +1.005e+00 +8.803e-01 +7.552e-01 +6.301e-01 +5.050e-01 +3.799e-01 +2.549e-01 +1.298e-01 +4.682e-03	 T = 15.85 sn	 T = 16.00 sn	

Düşey yönde yapılan kaydırma ile hazırlanan duvar modelleri için Basınç Hasar Parametresi (DC) görselleri Çizelge 5.4'te gösterilmektedir.

Çizelge 5.4. Düşey yönde kaydırma modellerinde kırılma öncesi ve kırılma sonrası Basınç hasar parametresi görselleri (DC)

	Basınç hasar parametresi	Kırılma öncesi	Kırılma sonrası	Gazbeton dizilmi (Düşey derz kaydırması)
REFERANS MODEL	 +2.989e-03 +2.740e-03 +2.491e-03 +2.242e-03 +1.993e-03 +1.743e-03 +1.494e-03 +1.245e-03 +9.963e-04 +7.472e-04 +4.981e-04 +2.491e-04 +0.000e+00	 T = 15.40 sn	 T = 15.45 sn	
DÜŞEY-1	 +1.989e-02 +1.823e-02 +1.657e-02 +1.492e-02 +1.326e-02 +1.160e-02 +9.945e-03 +8.287e-03 +6.630e-03 +4.972e-03 +3.315e-03 +1.657e-03 +0.000e+00	 T = 16.40 sn	 T = 16.45 sn	
DÜŞEY -2	 +2.388e-03 +2.189e-03 +1.990e-03 +1.791e-03 +1.592e-03 +1.393e-03 +1.194e-03 +9.948e-04 +7.958e-04 +5.969e-04 +3.979e-04 +1.990e-04 +0.000e+00	 T = 15.50 sn	 T = 15.55 sn	

Çizelge 5.4'ün devamı.

	Basınç hasar parametresi	Kırılma öncesi	Kırılma sonrası	Gazbeton dizilimi (Düşey derz kaydırması)
DÜŞEY -3		 T = 16.85 sn	 T = 16.90 sn	
DÜŞEY -4		 T = 17.30 sn	 T = 17.35 sn	
DÜŞEY -5		 T = 14.40 sn	 T = 15.75 sn	
DÜŞEY -6		 T = 16.10 sn	 T = 16.15 sn	
DÜŞEY -7		 T = 15.65 sn	 T = 15.75 sn	

Çizelge 5.4'ün devamı.

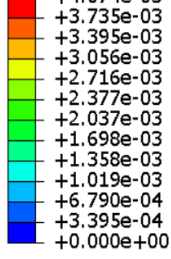
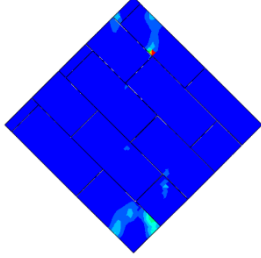
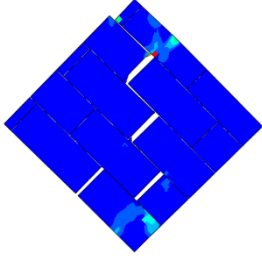
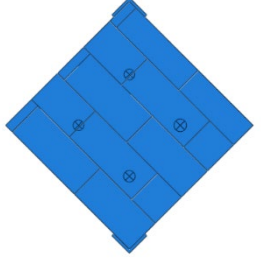
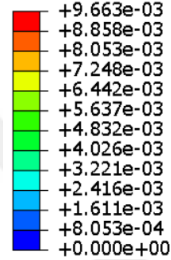
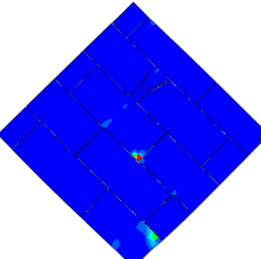
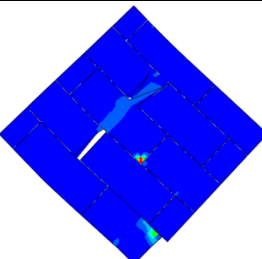
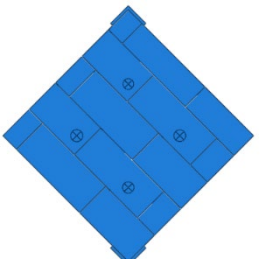
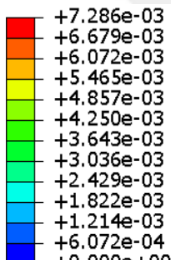
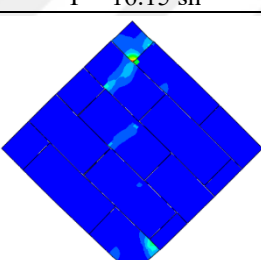
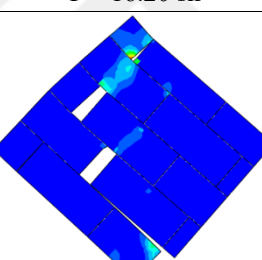
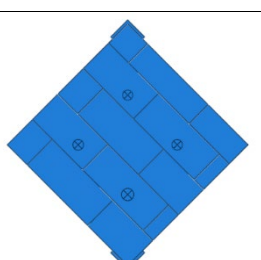
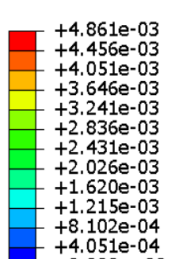
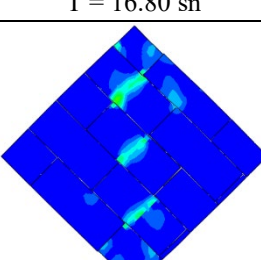
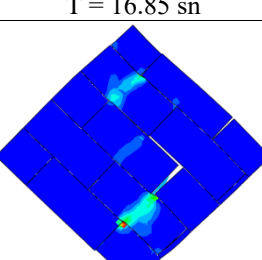
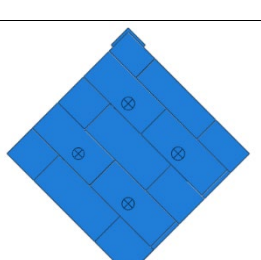
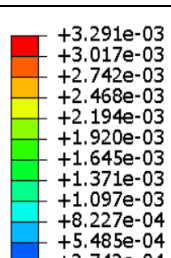
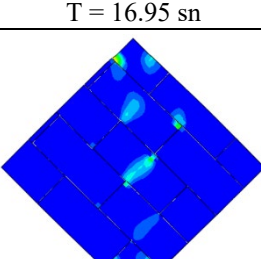
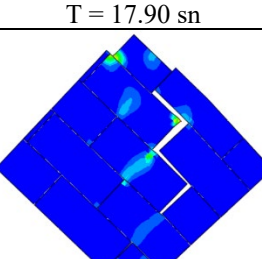
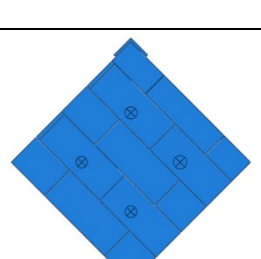
	Basınç hasar parametresi	Kırılma öncesi	Kırılma sonrası	Gazbeton dizilimi (Düşey derz kaydırması)
DÜŞEY -8		 T = 16.15 sn	 T = 16.20 sn	
DÜŞEY -9		 T = 15.45 sn	 T = 15.60 sn	
DÜŞEY -10		 T = 16.65 sn	 T = 16.75 sn	

Yatay yönde yapılan kaydırma ile hazırlanan duvar modelleri için Basınç Hasar Parametresi (DC) görselleri Çizelge 5.5'te gösterilmektedir.

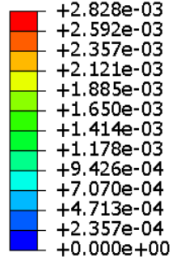
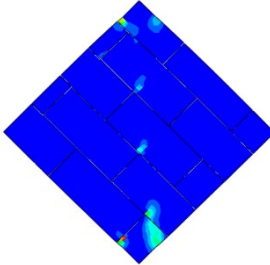
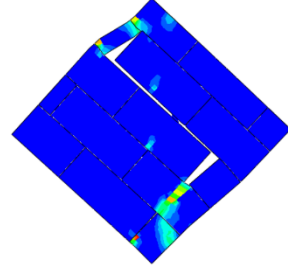
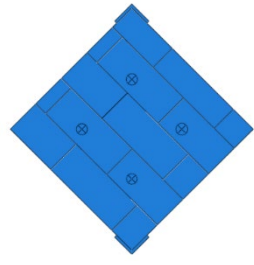
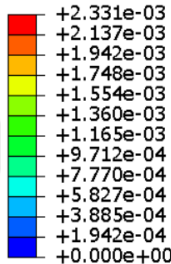
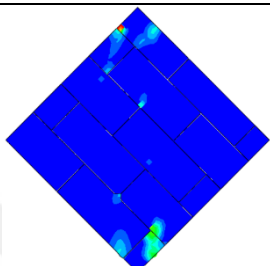
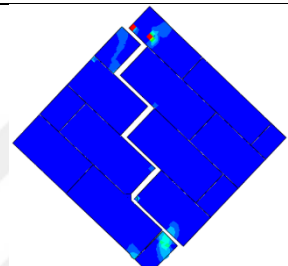
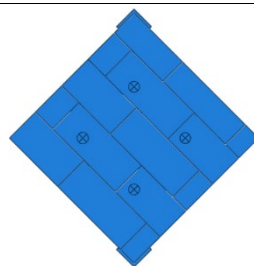
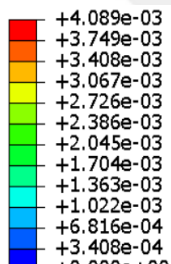
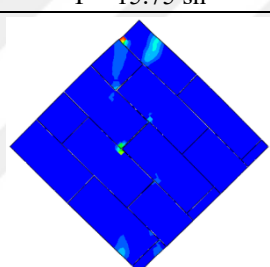
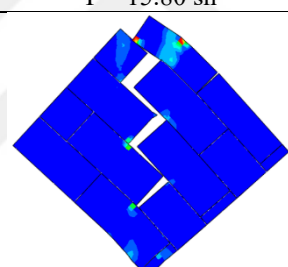
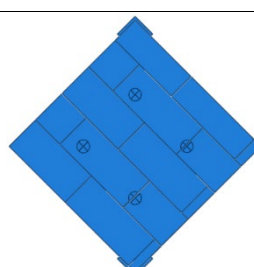
Çizelge 5.5. Yatay yönde kaydırma modellerinde kırılma öncesi ve kırılma sonrası Basınç hasar parametresi görselleri (DC)

	Basınç hasar parametresi	Kırılma öncesi	Kırılma sonrası	Gazbeton dizilimi (Yatay derz kaydırması)
REFERANS MODEL		 T = 15.40 sn	 T = 15.45 sn	

Çizelge 5.5'in devamı.

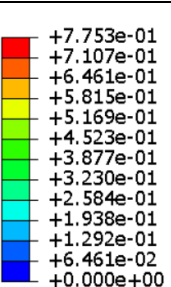
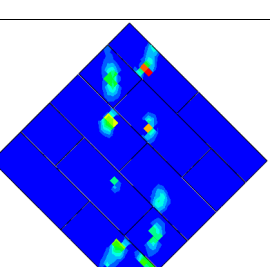
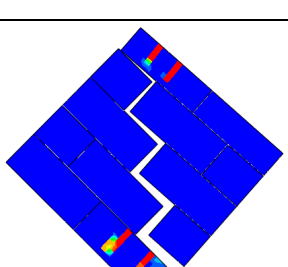
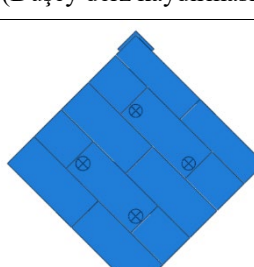
	Basınç hasar parametresi	Kırılma öncesi	Kırılma sonrası	Gazbeton dizilimi (Yatay derz kaydırması)
YATAY-1		 T = 16.10 sn	 T = 16.15 sn	
YATAY-2		 T = 16.15 sn	 T = 16.20 sn	
YATAY-3		 T = 16.80 sn	 T = 16.85 sn	
YATAY-4		 T = 16.95 sn	 T = 17.90 sn	
YATAY-5		 T = 16.35 sn	 T = 16.45 sn	

Çizelge 5.5'in devamı.

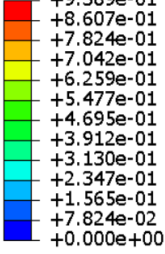
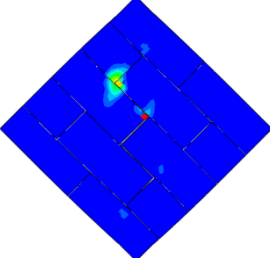
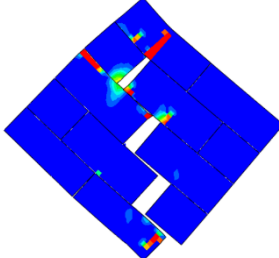
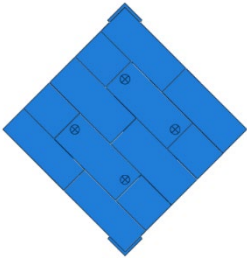
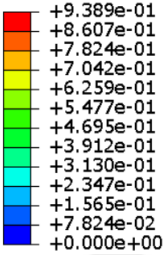
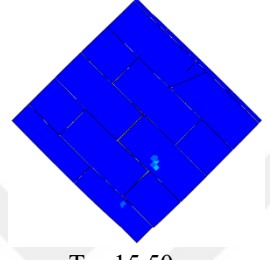
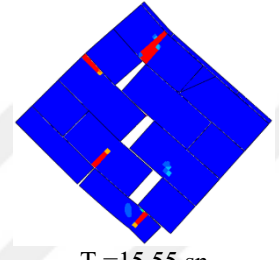
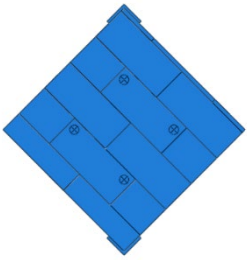
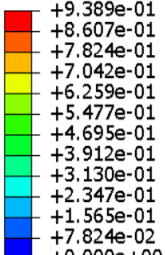
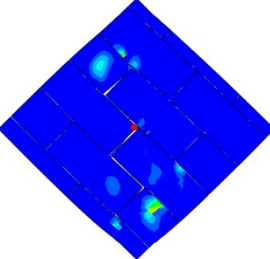
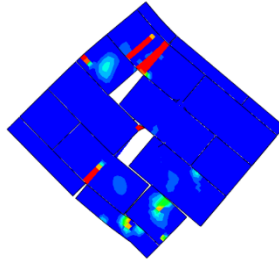
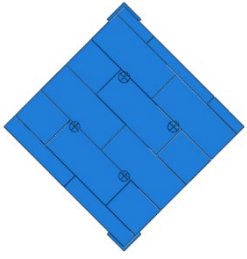
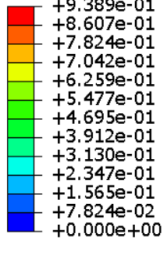
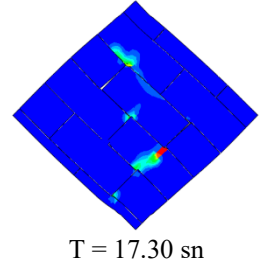
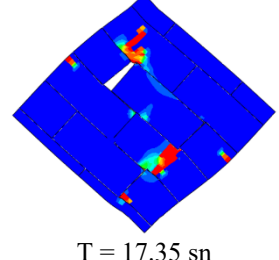
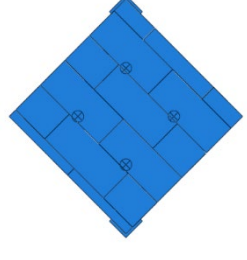
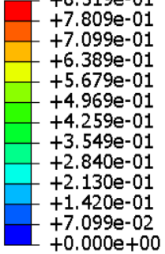
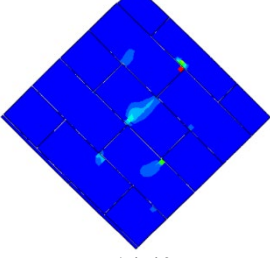
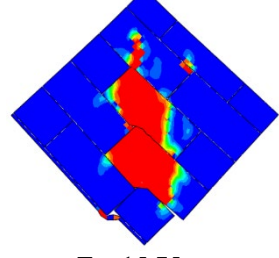
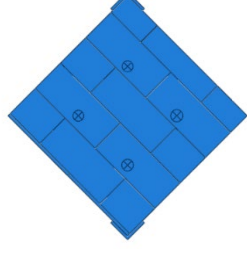
	Basınç hasar parametresi	Kırılma öncesi	Kırılma sonrası	Gazbeton dizilimi (Yatay derz kaydırması)
YATAY-6		 T = 16.25 sn	 T = 16.30 sn	
YATAY-7		 T = 15.75 sn	 T = 15.80 sn	
YATAY-8		 T = 15.85 sn	 T = 16.00 sn	

Düşey yönde yapılan kaydırma ile hazırlanan duvar modelleri için Çekme Hasar Parametresi (DT) görselleri Çizelge 5.6'da gösterilmektedir.

Çizelge 5.6. Düşey yönde kaydırma modellerinde kırılma öncesi ve kırılma sonrası Çekme hasar parametresi görselleri (DT)

	Çekme hasar parametresi	Kırılma öncesi	Kırılma sonrası	Gazbeton dizilimi (Düşey derz kaydırması)
REFERANS MODEL		 T = 15.40 sn	 T = 15.45 sn	

Çizelge 5.6'nın devamı.

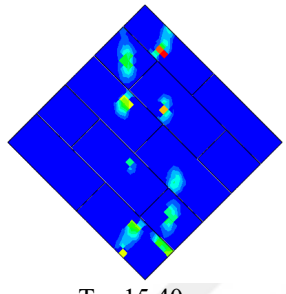
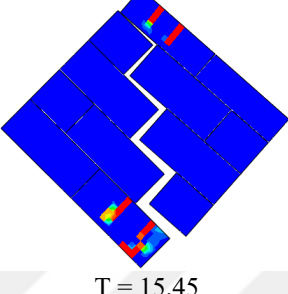
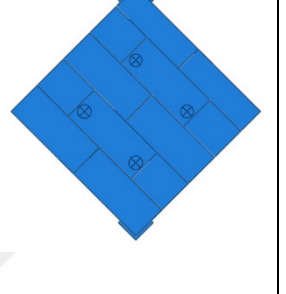
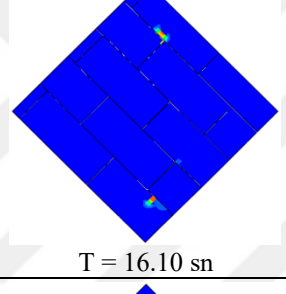
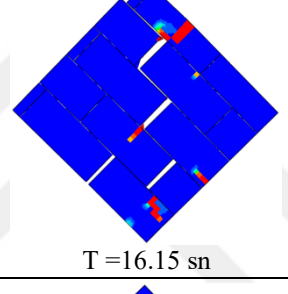
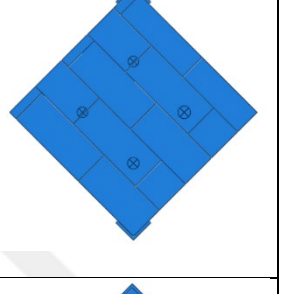
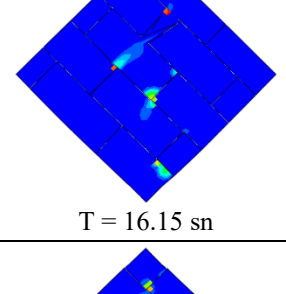
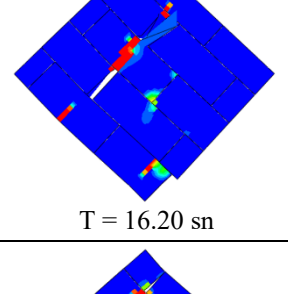
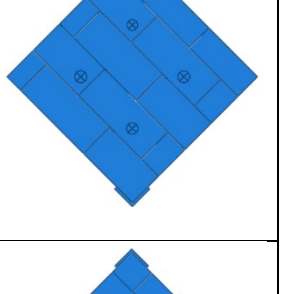
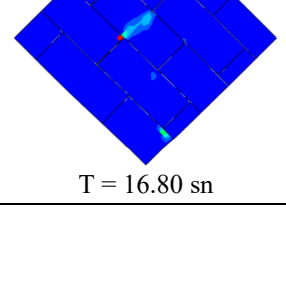
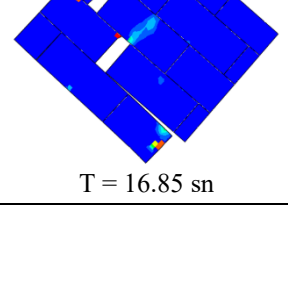
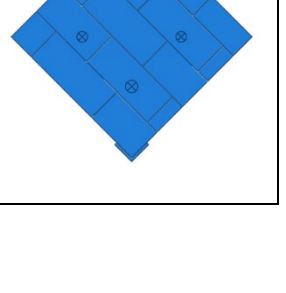
	Çekme hasar parametresi	Kırılma öncesi	Kırılma sonrası	Gazbeton dizilimi (Düşey derz kaydırması)
DÜŞEY-1		 T = 16.40 sn	 T = 16.45 sn	
DÜŞEY-2		 T = 15.50 sn	 T = 15.55 sn	
DÜŞEY-3		 T = 16.85 sn	 T = 16.90 sn	
DÜŞEY-4		 T = 17.30 sn	 T = 17.35 sn	
DÜŞEY-5		 T = 14.40 sn	 T = 15.75 sn	

Çizelge 5.6'nın devamı.

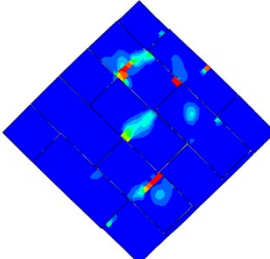
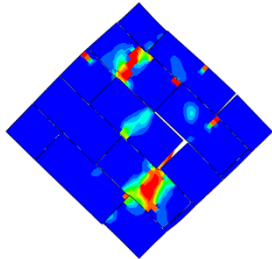
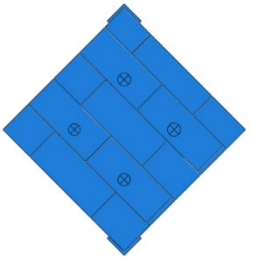
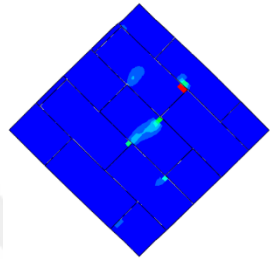
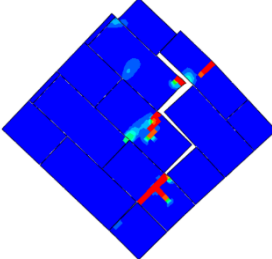
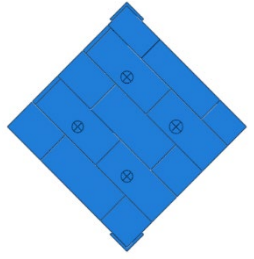
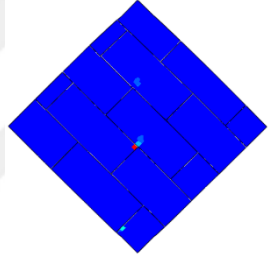
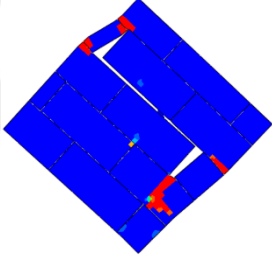
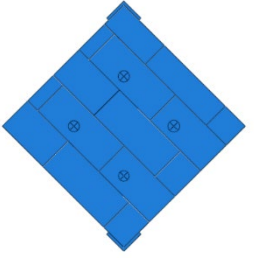
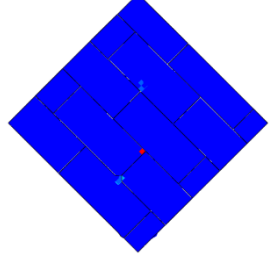
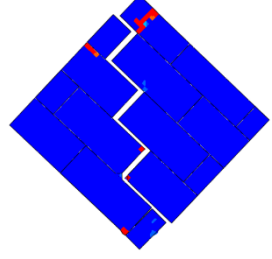
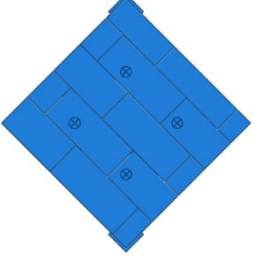
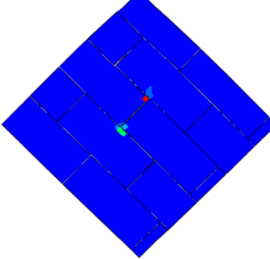
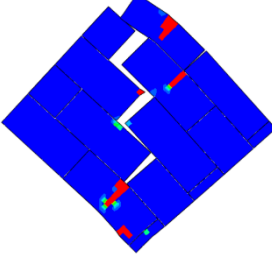
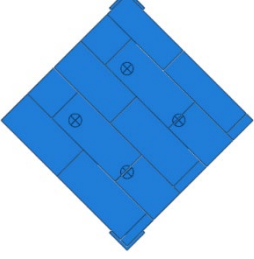
	Çekme hasar parametresi	Kırılma öncesi	Kırılma sonrası	Gazbeton dizilimi (Düşey derz kaydırması)
DÜŞEY -6		 T = 16.10 sn	 T = 16.15 sn	
DÜŞEY -7		 T = 15.65 sn	 T = 15.75 sn	
DÜŞEY -8		 T = 16.15 sn	 T = 16.20 sn	
DÜŞEY -9		 T = 15.45 sn	 T = 15.60 sn	
DÜŞEY -10		 T = 16.65 sn	 T = 16.75 sn	

Yatay yönde yapılan kaydırma ile hazırlanan duvar modelleri için Çekme Hasar Parametresi (DT) görselleri Çizelge 5.7’de gösterilmektedir.

Çizelge 5.7. Yatay yönde kaydırma modellerinde kırılma öncesi ve kırılma sonrası Çekme hasar parametresi görselleri (DT)

	Çekme hasar Parametresi	Kırılma öncesi	Kırılma sonrası	Gazbeton dizilimi (Yatay derz kaydırması)
REFERANS MODEL	 +7.753e-01 +7.107e-01 +6.461e-01 +5.815e-01 +5.169e-01 +4.523e-01 +3.877e-01 +3.230e-01 +2.584e-01 +1.938e-01 +1.292e-01 +6.461e-02 +0.000e+00	 T = 15.40 sn	 T = 15.45	
YATAY-1	 +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	 T = 16.10 sn	 T = 16.15 sn	
YATAY-2	 +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	 T = 16.15 sn	 T = 16.20 sn	
YATAY-3	 +9.295e-01 +8.520e-01 +7.746e-01 +6.971e-01 +6.197e-01 +5.422e-01 +4.647e-01 +3.873e-01 +3.098e-01 +2.324e-01 +1.549e-01 +7.746e-02 +0.000e+00	 T = 16.80 sn	 T = 16.85 sn	

Çizelge 5.7'nin devamı.

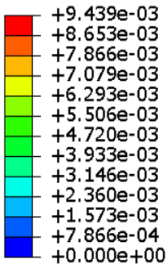
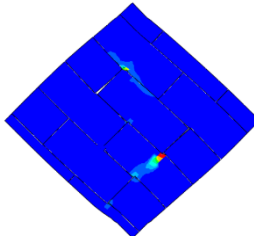
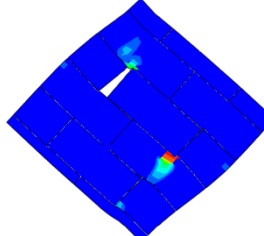
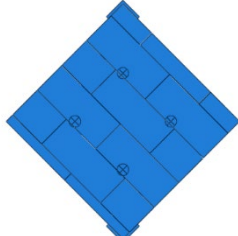
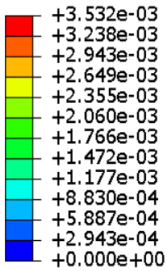
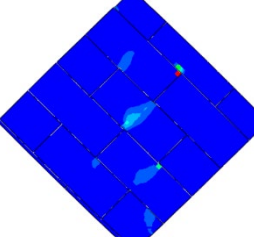
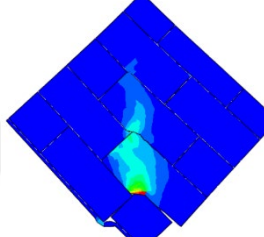
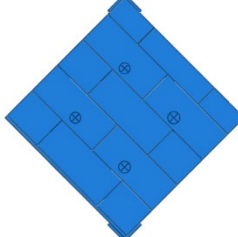
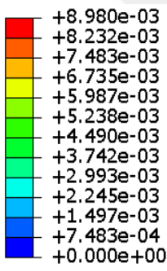
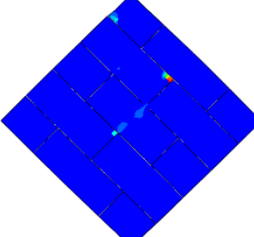
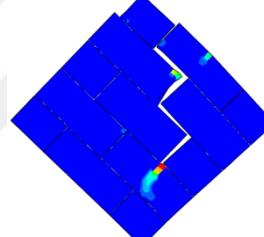
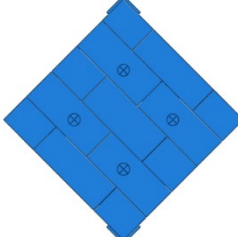
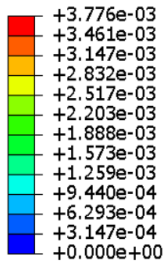
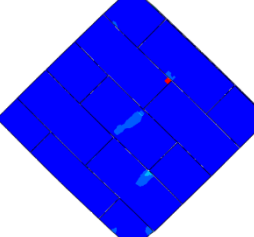
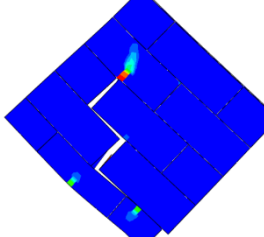
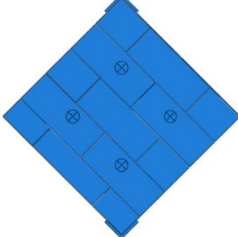
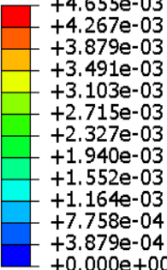
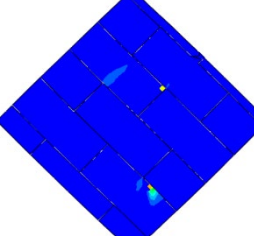
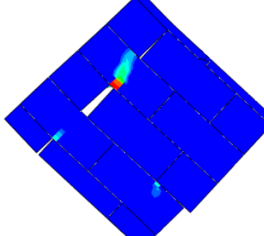
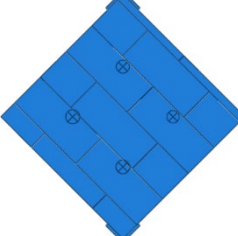
	Çekme hasar parametresi	Kırılma öncesi	Kırılma sonrası	Gazbeton dizilimi (Yatay derz kaydırması)
YATAY-4		 T = 16.95 sn	 T = 17.90 sn	
YATAY-5		 T = 16.35 sn	 T = 16.45 sn	
YATAY-6		 T = 16.25 sn	 T = 16.30 sn	
YATAY-7		 T = 15.75 sn	 T = 15.80 sn	
YATAY-8		 T = 15.85 sn	 T = 16.00 sn	

Düşey yönde yapılan kaydırma ile hazırlanan duvar modelleri için Plastik Birim Şekil Değiştirme (PE) görselleri Çizelge 5.8’de gösterilmektedir.

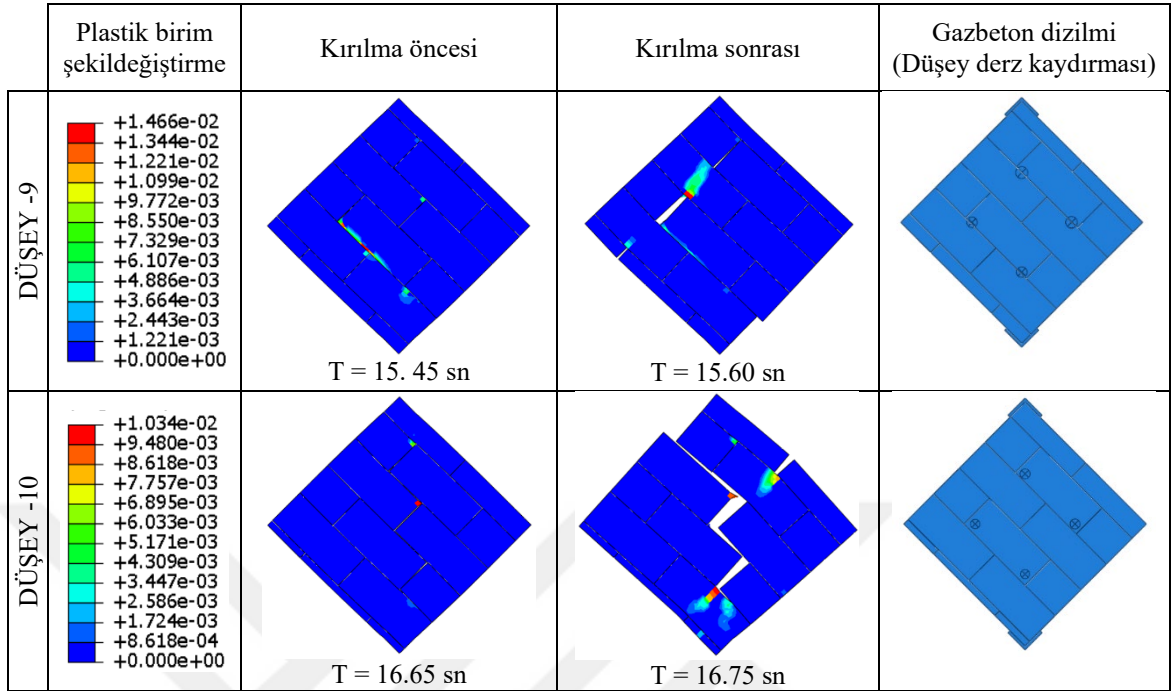
Çizelge 5.8. Düşey yönde kaydırma modellerinde kırılma öncesi ve kırılma sonrası Plastik birim şekil değiştirme görselleri (PE)

	Plastik birim şekildeğiştirme	Kırılma öncesi	Kırılma sonrası	Gazbeton dizilimi (Düşey derz kaydırması)
REFERANS MODEL	 +3.374e-03 +3.093e-03 +2.811e-03 +2.530e-03 +2.249e-03 +1.968e-03 +1.687e-03 +1.406e-03 +1.125e-03 +8.434e-04 +5.623e-04 +2.811e-04 +0.000e+00	 T = 15.40 sn	 T = 15.45 sn	
DÜŞEY -1	 +1.111e-02 +1.018e-02 +9.256e-03 +8.330e-03 +7.405e-03 +6.479e-03 +5.553e-03 +4.628e-03 +3.702e-03 +2.777e-03 +1.851e-03 +9.256e-04 +0.000e+00	 T = 16.40 sn	 T = 16.45 sn	
DÜŞEY -2	 +8.164e-03 +7.484e-03 +6.803e-03 +6.123e-03 +5.443e-03 +4.762e-03 +4.082e-03 +3.402e-03 +2.721e-03 +2.041e-03 +1.361e-03 +6.803e-04 +0.000e+00	 T = 15.50 sn	 T = 15.55 sn	
DÜŞEY -3	 +1.358e-02 +1.245e-02 +1.132e-02 +1.018e-02 +9.053e-03 +7.921e-03 +6.790e-03 +5.658e-03 +4.526e-03 +3.395e-03 +2.263e-03 +1.132e-03 +0.000e+00	 T = 16.85 sn	 T = 16.90 sn	

Çizelge 5.8'in devamı.

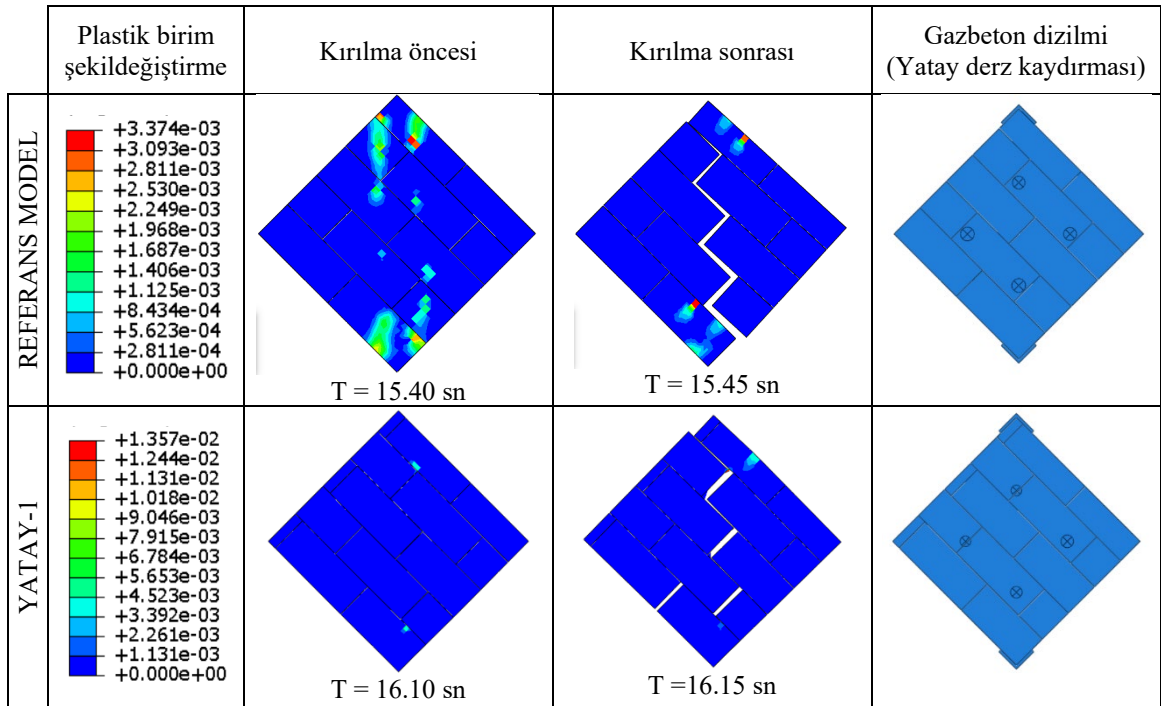
	Plastik birim şekildeğiştirme	Kırılma öncesi	Kırılma sonrası	Gazbeton dizilmi (Düşey derz kaydırması)
DÜŞEY -4		 T = 17.30 sn	 T = 17.35 sn	
DÜŞEY -5		 T = 14.40 sn	 T = 15.75 sn	
DÜŞEY -6		 T = 16.10 sn	 T = 16.15 sn	
DÜŞEY -7		 T = 15.65 sn	 T = 15.75 sn	
DÜŞEY -8		 T = 16.15 sn	 T = 16.20 sn	

Çizelge 5.8'in devamı.

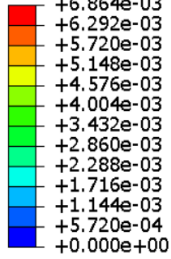
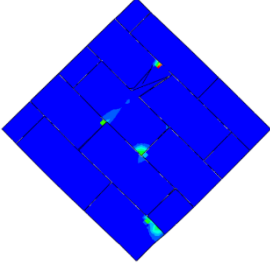
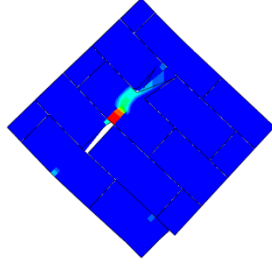
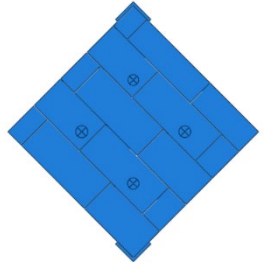
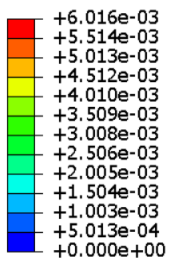
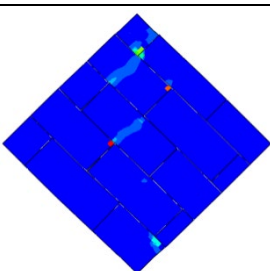
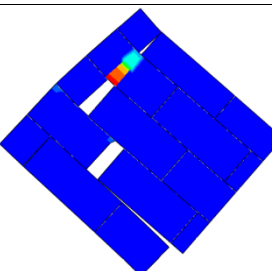
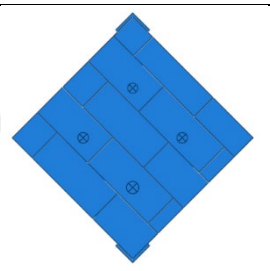
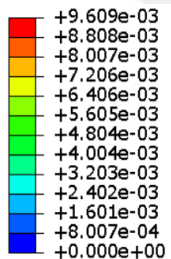
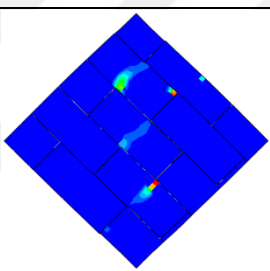
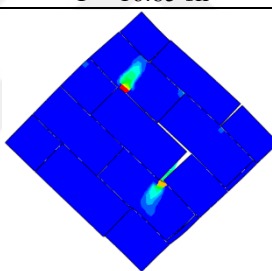
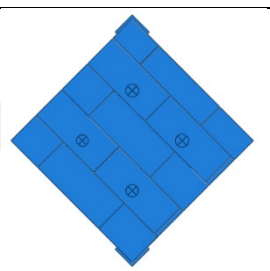
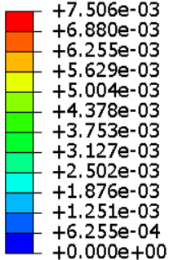
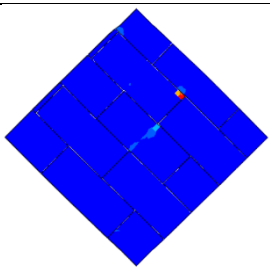
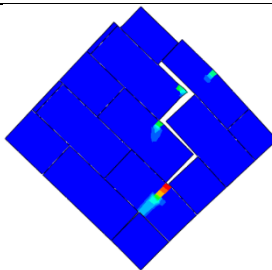
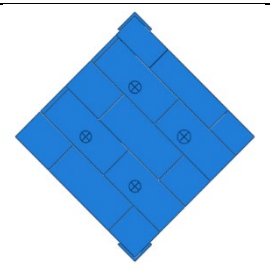
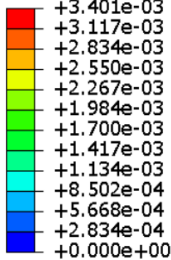
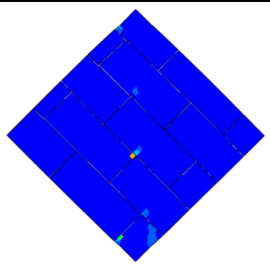
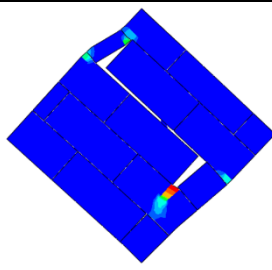
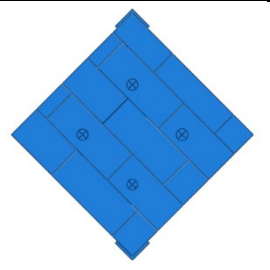


Yatay yönde yapılan kaydırma ile hazırlanan duvar modelleri için Plastik Birim Şekil Değiştirme (PE) görselleri Çizelge 5.9'da gösterilmektedir.

Çizelge 5.9. Yatay yönde kaydırma modellerinde kırılma öncesi ve kırılma sonrası Plastik birim şekil değıştirme görselleri (PE)



Çizelge 5.9'un devamı.

	Plastik birim şekildeğiştirme	Kırılma öncesi	Kırılma sonrası	Gazbeton dizilimi (Yatay derz kaydırması)
YATAY-2		 $T = 16.15 \text{ sn}$	 $T = 16.20 \text{ sn}$	
YATAY-3		 $T = 16.80 \text{ sn}$	 $T = 16.85 \text{ sn}$	
YATAY-4		 $T = 16.95 \text{ sn}$	 $T = 17.90 \text{ sn}$	
YATAY-5		 $T = 16.35 \text{ sn}$	 $T = 16.45 \text{ sn}$	
YATAY-6		 $T = 16.25 \text{ sn}$	 $T = 16.30 \text{ sn}$	

Çizelge 5.9'un devamı.

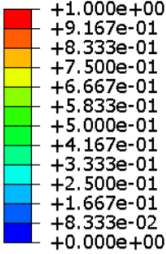
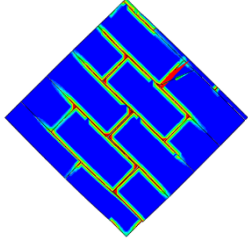
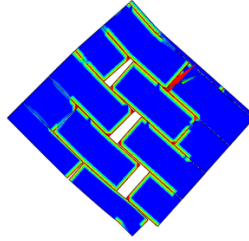
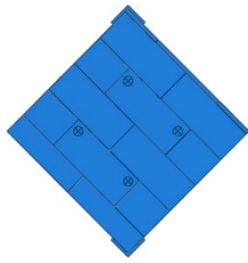
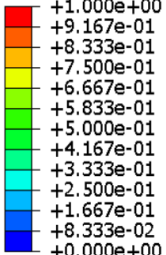
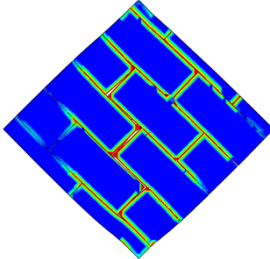
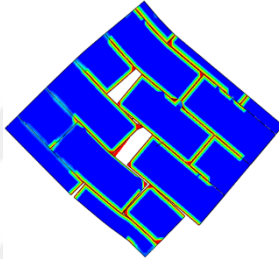
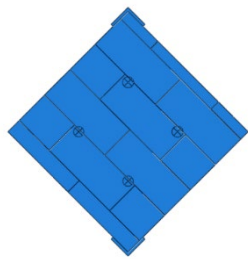
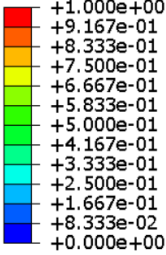
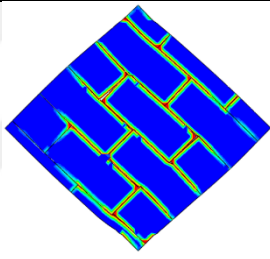
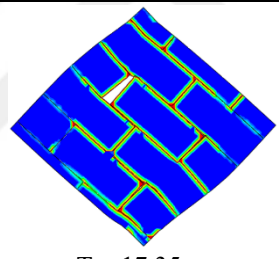
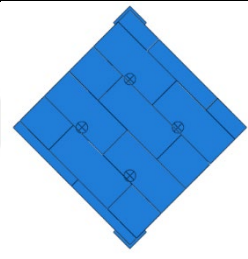
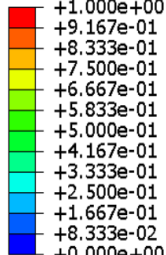
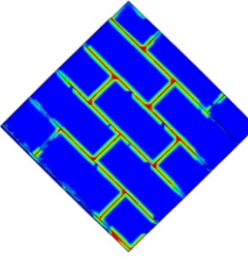
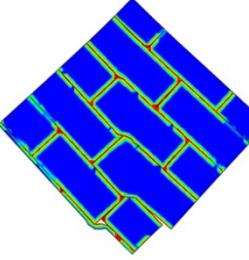
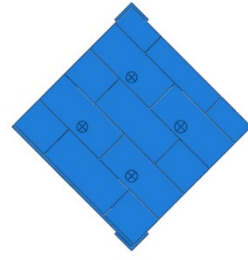
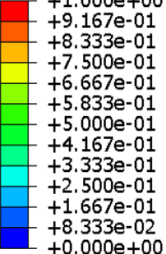
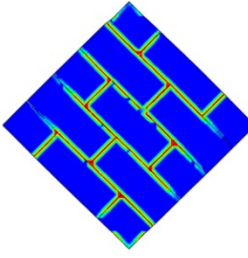
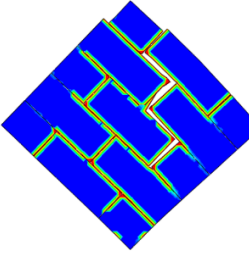
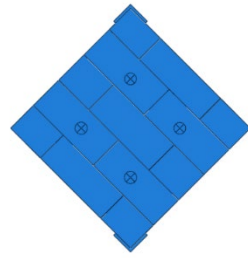
	Plastik birim şekildeğiştirme	Kırılma öncesi	Kırılma sonrası	Gazbeton dizilmi (Yatay derz kaydırması)
YATAY-7		 T = 15.75 sn	 T = 15.80 sn	
YATAY-8		 T = 15.85 sn	 T = 16.00 sn	

Düşey yönde yapılan kaydırma ile hazırlanan duvar modelleri için Maksimum Etkileşim Gerilme Oranı görselleri Çizelge 5.10'da gösterilmektedir.

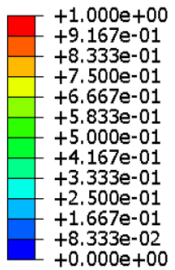
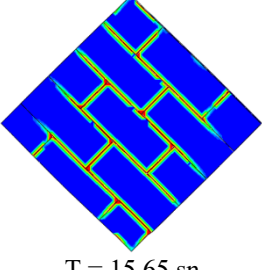
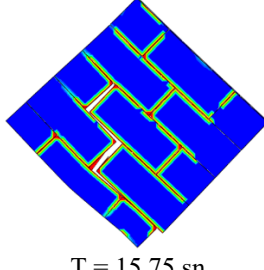
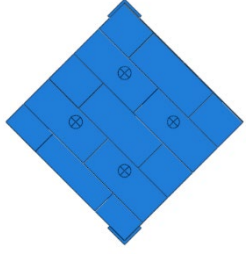
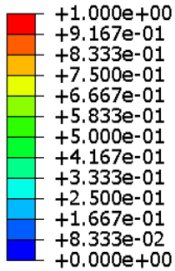
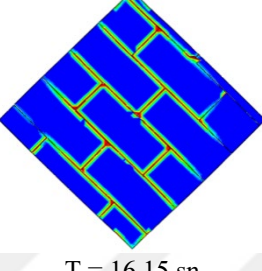
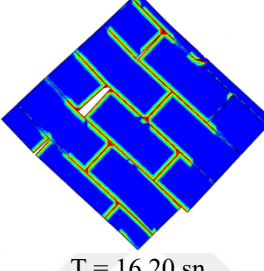
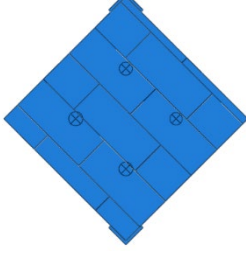
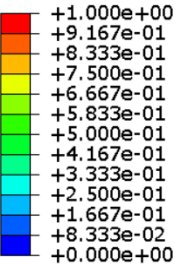
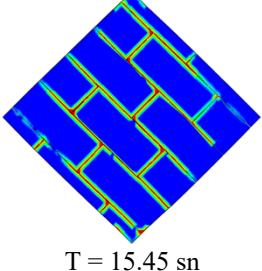
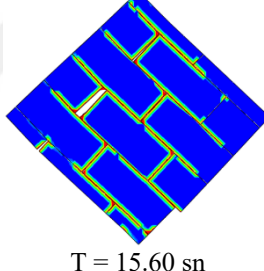
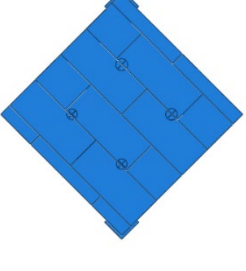
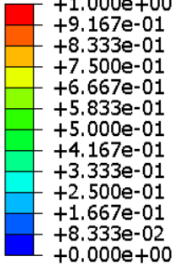
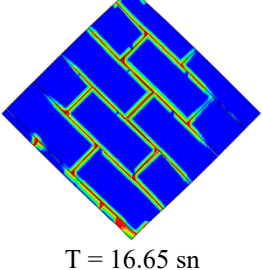
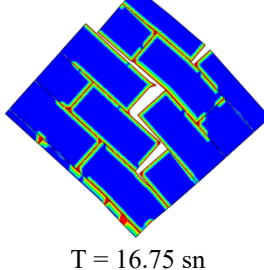
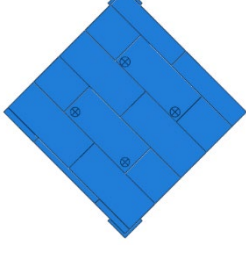
Çizelge 5.10. Düşey yönde kaydırma modellerinde kırılma öncesi ve kırılma sonrası Maksimum etkileşim gerilme oranı görselleri

	Maksimum etkileşim gerilme oranını	Kırılma öncesi	Kırılma sonrası	Gazbeton dizilmi (Düşey derz kaydırması)
REFERANS MODEL		 T = 15.40 sn	 T = 15.45 sn	
DÜŞEY-1		 T = 16.40 sn	 T = 16.45 sn	

Çizelge 5.10'un devamı.

	Maksimum etkileşim gerilme oranını	Kırılma öncesi	Kırılma sonrası	Gazbeton dizilimi (Düşey derz kaydırması)
DÜŞEY -2		 T = 15.50 sn	 T = 15.55 sn	
DÜŞEY -3		 T = 16.85 sn	 T = 16.90 sn	
DÜŞEY -4		 T = 17.30 sn	 T = 17.35 sn	
DÜŞEY -5		 T = 14.40 sn	 T = 15.75 sn	
DÜŞEY -6		 T = 16.10 sn	 T = 16.15 sn	

Çizelge 5.10'un devamı.

	Maksimum etkileşim gerilme oranını	Kırılma öncesi	Kırılma sonrası	Gazbeton dizilimi (Düşey derz kaydırması)
DÜŞEY -7		 T = 15.65 sn	 T = 15.75 sn	
DÜŞEY -8		 T = 16.15 sn	 T = 16.20 sn	
DÜŞEY -9		 T = 15.45 sn	 T = 15.60 sn	
DÜŞEY -10		 T = 16.65 sn	 T = 16.75 sn	

Yatay yönde yapılan kaydırma ile hazırlanan duvar modelleri için Maksimum Etkileşim Gerilme Oranı görselleri Çizelge 5.11'de gösterilmektedir.

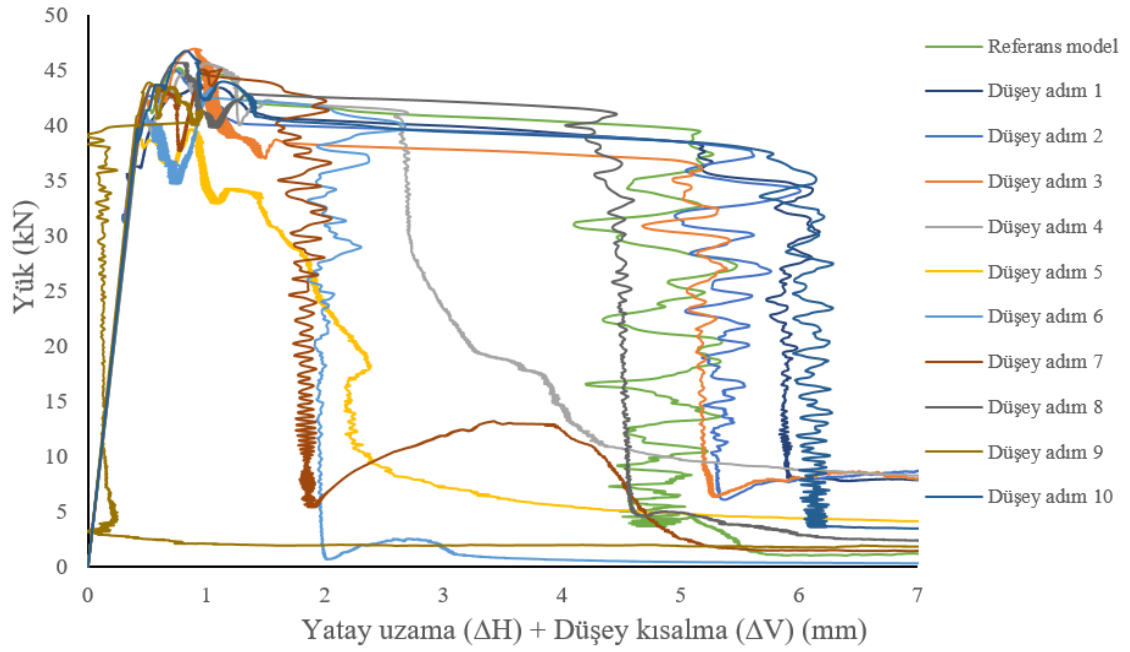
Çizelge 5.11. Yatay yönde kaydırma modellerinde kırılma öncesi ve kırılma sonrası Maksimum etkileşim gerilme oranı görselleri

	Maksimum etkileşim gerilme oranını	Kırılma öncesi	Kırılma sonrası	Gazbeton dizilimi (Yatay derz kaydırması)
REFERANS MODEL	 +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	 T = 15.40 sn	 T = 15.45 sn	
YATAY-1	 +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	 T = 16.10 sn	 T = 16.15 sn	
YATAY-2	 +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	 T = 16.15 sn	 T = 16.20 sn	
YATAY-3	 +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	 T = 16.80 sn	 T = 16.85 sn	
YATAY-4	 +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	 T = 16.95 sn	 T = 17.90 sn	

Çizelge 5.11'in devamı.

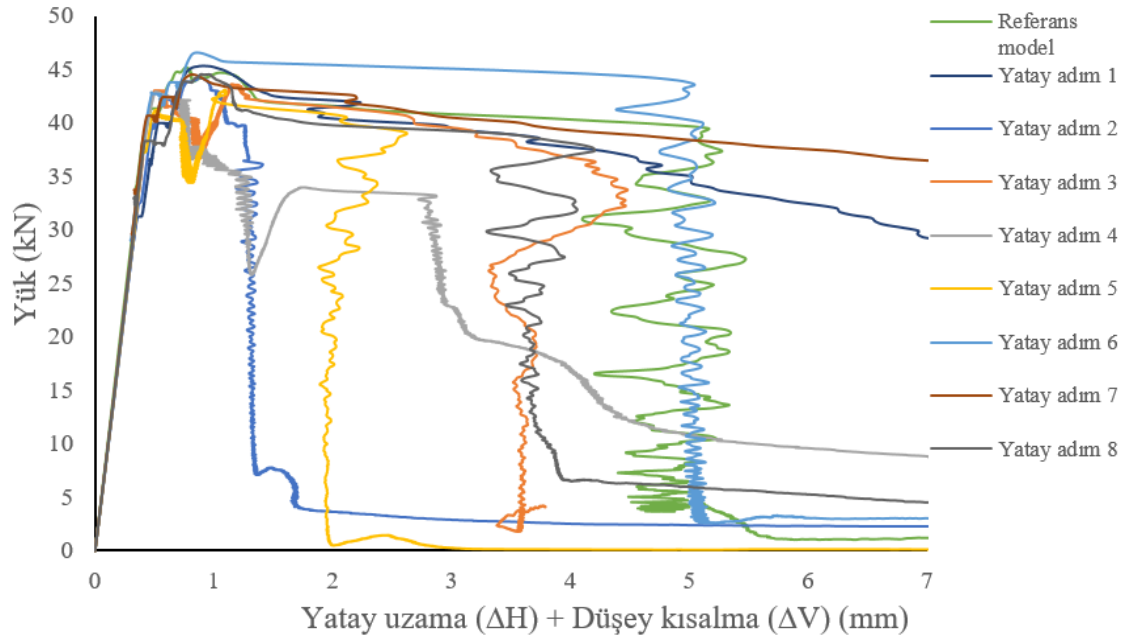
	Maksimum etkileşim gerilme oranını	Kırılma öncesi	Kırılma sonrası	Gazbeton dizilimi (Yatay derz kaydırması)
YATAY-5		 T = 16.35 sn	 T = 16.45 sn	
YATAY-6		 T = 16.25 sn	 T = 16.30 sn	
YATAY-7		 T = 15.75 sn	 T = 15.80 sn	
YATAY-8		 T = 15.85 sn	 T = 16.00 sn	

Düşey yönde yapılan kaydırma ile hazırlanan duvar modelleri ile yapılan analiz sonuçlarına ait yük ve yatay uzama + düşey kısalma grafiği Şekil 5.1'de gösterilmektedir.



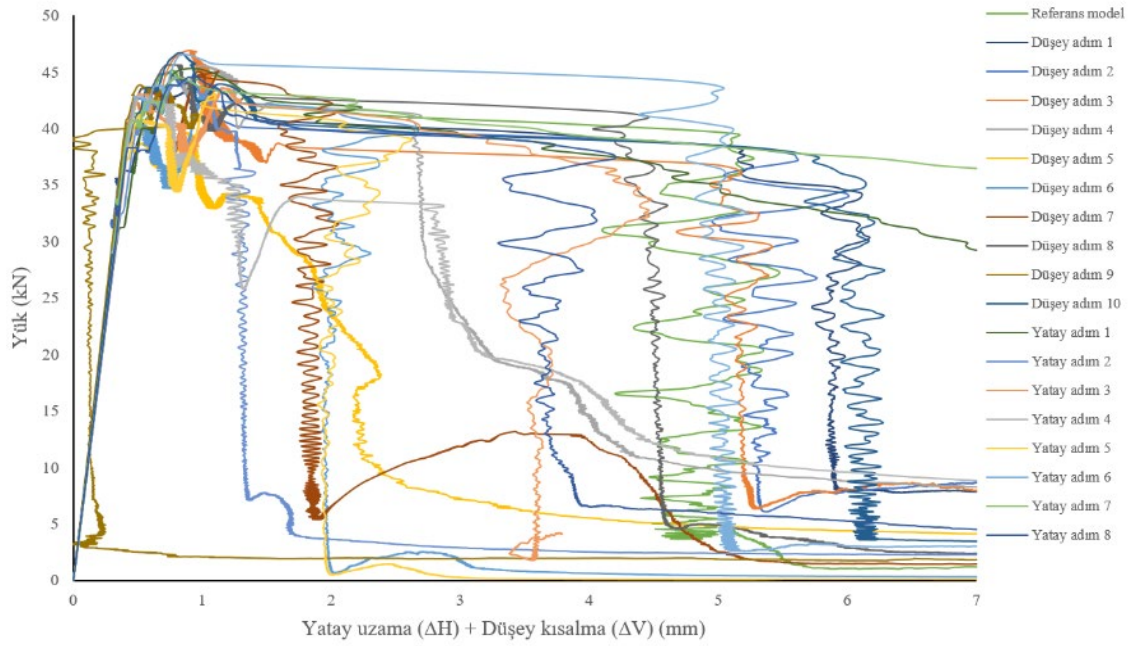
Şekil 5.1. Düşey yönde kaydırma modellerinde analiz sonucuna ait yük ve yatay uzama + düşey kısalma grafiği

Yatay yönde yapılan kaydırma ile hazırlanan duvar modelleri ile yapılan analiz sonuçlarına ait yük ve yatay uzama + düşey kısalma grafiği Şekil 5.2’de gösterilmektedir.



Şekil 5.2. Yatay yönde kaydırma modellerinde analiz sonucuna ait yük – yatay uzama + düşey kısalma grafiği

Hazırlanan tüm modellerin yük ve yatay uzama + düşey kısalma grafiği birlikte Şekil 5.3'te gösterilmektedir.



Şekil 5.3. Tüm kaydırma modellerinde analiz sonucuna ait yük ve yatay uzama + düşey kısalma grafiği

Analizi yapılan düşey ve yatay kaydırmalar ile hazırlanan tüm duvar modellerinin maksimum yük kapasiteleri Çizelge 5.12'de gösterilmektedir.

Çizelge 5.12. Tüm modellerin maksimum yük kapasiteleri (kN)

Referans model	45.18 kN
Düşey model 1	43.81 kN
Düşey model 2	44.96 kN
Düşey model 3	46.91 kN
Düşey model 4	45.60 kN
Düşey model 5	39.63 kN
Düşey model 6	43.48 kN
Düşey model 7	43.78 kN
Düşey model 8	45.65 kN
Düşey model 9	43.86 kN
Düşey model 10	46.71 kN
Yatay model 1	45.33 kN
Yatay model 2	44.25 kN
Yatay model 3	43.61 kN
Yatay model 4	42.91 kN
Yatay model 5	43.09 kN
Yatay model 6	46.57 kN
Yatay model 7	44.52 kN
Yatay model 8	44.55 kN

Düşeyde yapılan kaydırma ile hazırlanan duvar modellerinin analiz sonuçlarına göre yüzde hata hesabı ve ortalamaları Çizelge 5.13'te gösterilmektedir.

Çizelge 5.13. Düşey kaydırma modellerinde yüzde hata hesapları ve ortalamaları

	Maksimum yük kapasitesi (kN)	Ortalamaya göre fark (%)
Düşey model 5	39.63	10.5
Düşey model 6	43.48	1.81
Düşey model 7	43.78	1.14
Düşey model 1	43.81	1.08
Düşey model 9	43.86	0.96
Düşey model 2	44.96	1.51
Referans model	45.18	2.03
Düşey model 4	45.59	2.96
Düşey model 8	45.65	3.07
Düşey model 3	46.91	5.94
Düşey model 10	46.71	5.48
Ortalama	44.51	-

Yatayda yapılan kaydırma ile hazırlanan duvar modellerinin analiz sonuçlarına göre yüzde hata hesabı ve ortalamaları Çizelge 5.14'te gösterilmektedir.

Çizelge 5.14. Yatay kaydırma modellerinde yüzde hata hesapları ve ortalamaları

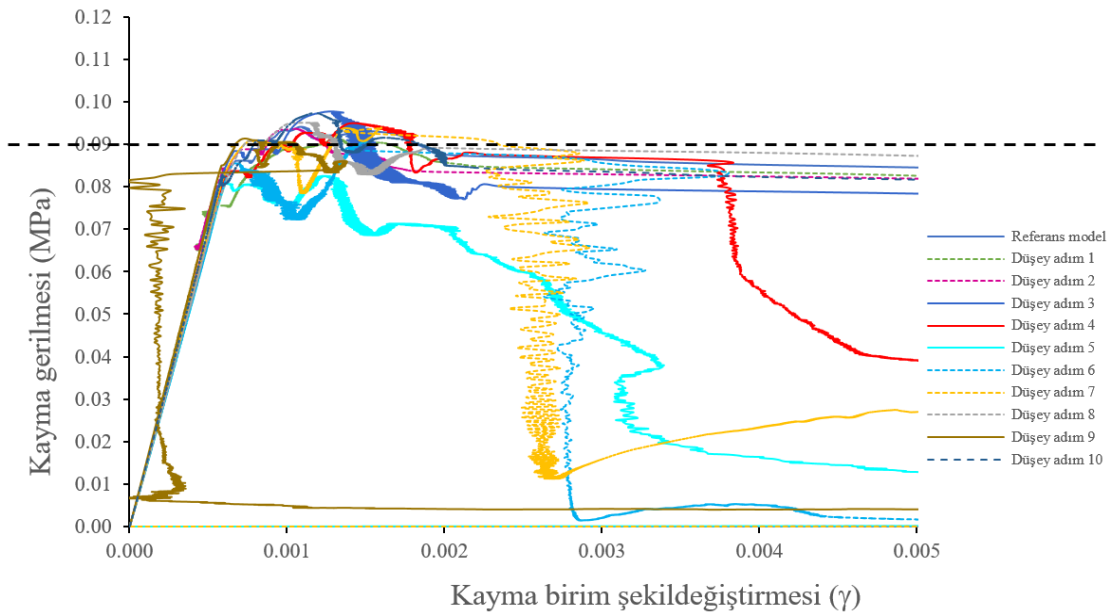
	Maksimum yük kapasitesi (kN)	Ortalamaya göre fark (%)
Yatay model 4	42.91	3.46
Yatay model 5	43.09	3.06
Yatay model 3	43.61	1.87
Yatay model 2	44.25	0.44
Yatay model 7	44.52	0.16
Yatay model 8	44.55	0.24
Referans model	45.18	1.65
Yatay model 1	45.33	1.99
Yatay model 6	46.57	4.77
Ortalama	44.45	-

Tüm duvar modellerinin analiz sonuçlarına göre yüzde hata hesabı ve ortalamaları Çizelge 5.15'te birlikte gösterilmektedir.

Çizelge 5.15. Tüm modellerin yüzde hata hesapları ve ortalamaları

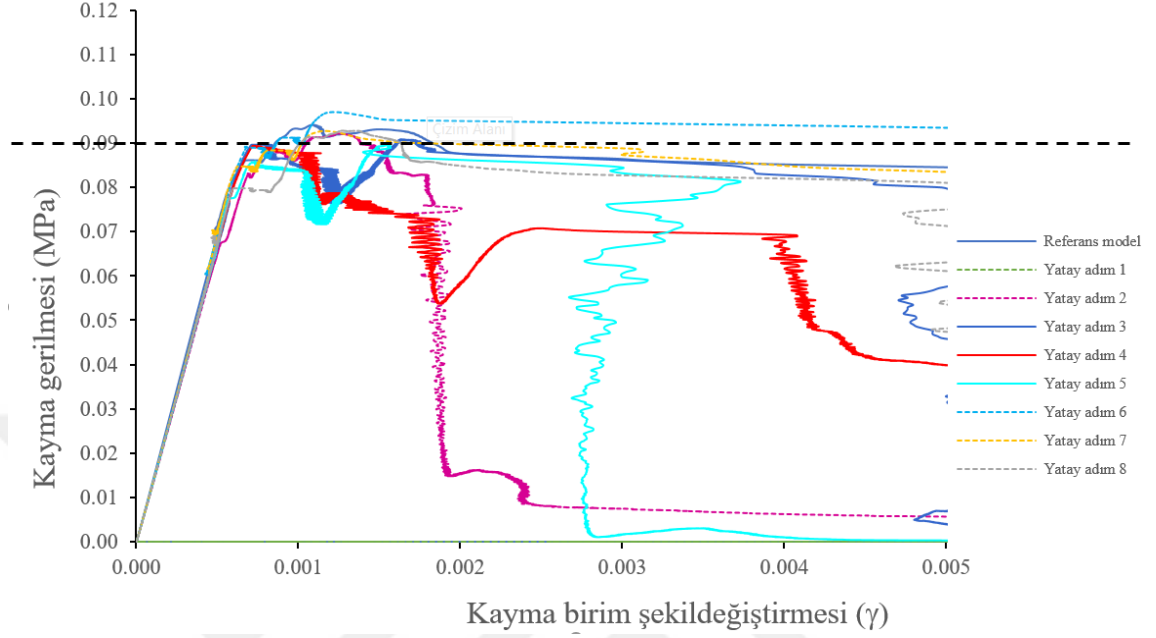
	Maksimum yük kapasitesi (kN)	Ortalamaya göre fark (%)
Düşey model 5	39.63	10.84
Yatay model 4	42.91	3.45
Yatay model 5	43.09	3.05
Düşey model 6	43.48	2.16
Yatay model 3	43.61	1.86
Düşey model 7	43.78	1.48
Düşey model 1	43.80	1.43
Düşey model 9	43.86	1.31
Yatay model 2	44.25	0.43
Yatay model 7	44.52	0.17
Yatay model 8	44.55	0.25
Düşey model 2	44.96	1.16
Referans model	45.18	1.66
Yatay model 1	45.33	2.00
Düşey model 4	45.60	2.60
Düşey model 8	45.65	2.71
Yatay model 6	46.57	4.78
Düşey model 10	46.71	5.11
Düşey model 3	46.91	5.56
Ortalama	44.44	-

Hazırlanan numunelerde oluşan kırılmaların derz kısımlarından olduğu görülmektedir. Yük uygulanan bölgede ve bu hizadaki derzlerde daha fazla gerilme olduğu ve kırılmaların daha çok bu kısımlarda olduğu görülmektedir. Düşey yönde yapılan kaydırma ile hazırlanan duvar modelleri ile yapılan analiz sonuçlarına ait kayma gerilmesi – kayma birim şekil değiştirme grafiği Şekil 5.4’de gösterilmektedir.



Şekil 5.4. Düşey yönde kaydırma modellerinde analiz sonucuna ait kayma gerilmesi ve kayma birim şekil değiştirme grafiği

Yatay yönde yapılan kaydırma ile hazırlanan duvar modelleri ile yapılan analiz sonuçlarına ait kayma gerilmesi ve kayma birim şekil değiştirme grafiği Şekil 5.5’de gösterilmektedir.



Şekil 5.5. Yatay yönde kaydırma modellerinde analiz sonucuna ait kayma gerilmesi ve kayma birim şekil değiştirme grafiği

6. SONUÇLAR

Yığma duvarlara yük etki ettirilmesiyle aldıkları hasar biçimleri birçok tez çalışmasında deney ya da sayısal olarak incelenmektedir. Bu tez çalışmasında örme tekniği ve birim eleman tipi sabit tutularak numune içi derz konumu değişiklik etkisi sayısal olarak araştırılmıştır. Doğrulama için referans alınan deneysel veri literatürde yer alan bir çalışmadır. Bu deneylere göre hazırlanan bilgisayar modeli, nümerik olarak doğrulanmış ve çeşitlendirilmiştir. Deneysel çalışmada elde edilen malzeme özellikleri değiştirilmeden bu tez çalışmasında da kullanılmıştır.

Bu tez çalışmasında gazbeton boyutları yukarıdan aşağıya doğru 46 mm kaydırarak 10 model, soldan sağa doğru 67 mm kaydırarak 8 model oluşturulmuştur. Toplamda 18 farklı gazbeton modeli basitleştirilmiş mikro modelleme yönteminden yararlanılarak hazırlanmıştır. Bu yöntemde ayrıca harç modellemesi yapılmaksızın arayüz elemanları tanımlanarak analiz gerçekleştirilmiştir. Doğrusal olmayan analizle elde edilen sonuçlar incelendiğinde hasarın çoğunlukla tanımlanan kohezif ara yüzeylerde oluştuğu görülmektedir. Karma bir hasar alma durumunda ise gazbeton ve ara yüzeylerde birlikte göçme ve kırılma meydana gelmektedir. Gazbeton tiplerinde oluşan hasarların da çekme kırılması olduğu gözlemlenmiştir. Birim eleman dizilimleri değişirken kırılmaların genelde yük alma hizasındaki ara yüzeylerde görülme durumu değişmemiştir.

Çizelge 5.1-3 ve Çizelge 5.13-15'te referans model ve bu tezde hazırlanan modeller kıyaslandığında maksimum yük kapasitelerinin birbirine yakın değerlerde olduğu görülmektedir. Maksimum yük kapasitelerinin 18 modelde ortalama olarak 44.44 kN olarak elde edilmiştir. Referans modelin maksimum yük kapasitesi 45.18 kN olarak görülmektedir. Şekil 5.4-5'te ise kayma gerilmesi-kayma birim şekil değiştirme grafikleri sunulmuştur. Bu grafiklerde düşey ve yatay derz değişimleri için kayma gerilmesi bant aralığı 0.08 MPa – 0.10 MPa, ortalama kayma gerilmesi ise 0.09 MPa olarak hesaplanmıştır. Referans olarak kullanılan modelin kayma gerilmesi ise 0.093 MPa olarak bulunmuştur. Tüm eğrilerin başlangıç eğimlerinin birbiriyle uyumlu olduğu görülmektedir.

Çizelge 5.13-15'te görülen ortalama değerlere göre yüzdelik farkın oluşma nedeni olarak hazırlanan modellerde kullanılan birim elemanların orijinal gazbeton boyutuna göre daha ince bir tabaka halinde ya da daha kısa şeklide küçük olması ve dolayısıyla hasarın öncelikle bu elemanlarda gerçekleşmesi olarak değerlendirilmiştir. Gerçekle tam gazbeton boyutuyla örülü bir duvarda modelde kullanılan ölçekte birim elemanlar bulunmamaktadır. Deneysel numunenin sınırlı boyuta sahip olması nedeniyle (örneğin 120×120 cm) bu tip elemanlar oluşmaktadır. Dolayısıyla bu çalışmada elde edilen sonuçlardan bir tanesi de deneyi sınırlı boyutlarda yapılan diyagonal kayma deneyinde kullanılan en küçük birim eleman boyutunun orijinal gazbeton boyutlarına mümkün olduğunca benzer olacağı şeklide numune planlaması yapılmasında fayda olacaktır. Bu çalışmaya ilave olarak, kullanılan gazbeton boyutlarının daha küçük ya da daha büyük olması hali için de benzer çalışma tekrarlanabilir.

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.
- Kaya, I. E. 2022. Farklı geometrik özelliklere sahip gazbeton duvar numuneleri için yapılan diyagonal kayma deneylerinin sayısal olarak incelenmesi. Yüksek lisans tezi, Akdeniz Üniversitesi, Antalya, 62s.
- Erdem, M. M. 2021. Betonarme binalarda dolgu duvar ve taşıyıcı çerçeve arası uygun bağlantı elemanlarının araştırılması. Doktora tezi, İskenderun Teknik Üniversitesi, Hatay, 158 s.
- 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.
- Öz, 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.
- 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 strength 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.
- 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.
- ABAQUS Tutorials, 2022, Online Documentation Dassault Systèmes Simulia User Assistance. Dassault Systèmes.
- Karaduman, A. 2004. Dolgu duvarlı çerçevelerin yatay yükler altındaki davranışları üzerine deneysel bir çalışma. *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 11 (3): 345-349.

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_t)	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

Özgecan KAYA

ÖĞRENİM BİLGİLERİ

Yüksek Lisans 2020-2023	Akdeniz Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Antalya
Lisans 2014-2019	Adnan Menderes Üniversitesi Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Aydın

MESLEKİ VE İDARİ GÖREVLER

İnşaat Mühendisi	Antalya
------------------	---------