

Osman Fatih BAYRAK



**İSKENDERUN TEKNİK**

ÜNİVERSİTESİ

MÜHENDİSLİK VE FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI

**YÜKSEK  
LİSANS  
TEZİ**

**DOLGU DUVAR-BETONARME  
ÇERÇEVE ARASI ESNEK  
DERZLİ BAĞLANTI  
ÇEŞİTLERİNİN ARAŞTIRILMASI**

**Osman Fatih BAYRAK**

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ  
ANABİLİM DALI

EYLÜL 2020

EYLÜL 2020



**DOLGU DUVAR-BETONARME ÇERÇEVE ARASI ESNEK DERZLİ  
BAĞLANTI ÇEŞİTLERİNİN ARAŞTIRILMASI**

**Osman Fatih BAYRAK**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ  
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**İSKENDERUN TEKNİK ÜNİVERSİTESİ  
MÜHENDİSLİK VE FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**EYLÜL 2020**

Osman Fatih BAYRAK tarafından hazırlanan “DOLGU DUVAR-BETONARME ÇERÇEVE ARASI ESNEK DERZLİ BAĞLANTI ÇEŞİTLERİNİN ARAŞTIRILMASI” adlı tez çalışması aşağıdaki jüri tarafından OY BİRLİĞİ ile İskenderun Teknik Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalında YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

**Danışman:** Prof. Dr. Murat BİKÇE

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, İskenderun Teknik Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum

.....

**Başkan:** Prof. Dr. Murat BİKÇE

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, İskenderun Teknik Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum

.....

**Üye:** Dr. Öğr. Üyesi Selçuk KAÇIN

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, İskenderun Teknik Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum

.....

**Üye:** Dr. Öğr. Üyesi Engin EMSEN

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Akdeniz Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum

.....

Tez Savunma Tarihi: 09/09/2020

Jüri tarafından kabul edilen bu tezin Yüksek Lisans Tezi olması için gerekli şartları yerine getirdiğini onaylıyorum.

.....

Prof. Dr. Tolga DEPCİ

Mühendislik ve Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

## ETİK BEYAN

İskenderun Teknik Üniversitesi Enerji Enstitüsü Tez Yazım Kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada;

- Tez üzerinde Yükseköğretim Kurulu tarafından hiçbir değişiklik yapılamayacağı için tezin bilgisayar ekranında görüntülediğinde asıl nüsha ile aynı olması sorumluluğunun tarafıma ait olduğunu,
  - Tez içinde sunduğum verileri, bilgileri ve dokümanları akademik ve etik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
  - Tüm bilgi, belge, değerlendirme ve sonuçları bilimsel etik ve ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
  - Tez çalışmada yararlandığım eserlerin tümüne uygun atıfta bulunarak kaynak gösterdiğimi,
  - Kullanılan verilerde herhangi bir değişiklik yapmadığımı,
  - Bu tezde sunduğum çalışmanın özgün olduğunu,
- bildirim, aksi bir durumda aleyhime doğabilecek tüm hak kayıplarını kabullendiğimi beyan ederim.

Osman Fatih BAYRAK

09/09/2020

DOLGU DUVAR-BETONARME ÇERÇEVE ARASI ESNEK DERZLİ BAĞLANTI  
ÇEŞİTLERİNİN ARAŞTIRILMASI  
(Yüksek Lisans Tezi)

Osman Fatih BAYRAK

İSKENDERUN TEKNİK ÜNİVERSİTESİ  
MÜHENDİSLİK VE FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Eylül 2020

ÖZET

Taşıyıcı olmayan dolgu duvarlar farklı nedenlerden dolayı betonarme çerçeve sistemlerde yaygın olarak kullanılmaktadır. Özellikle düşey ve yatay taşıyıcı elemanlar arasında oluşturulan dolgu duvarlar, yapının yanal yük taşıma kapasitesine, yanal rijitliğine ve enerji yutma kapasitesine katkı sağlamaktadır. Ancak tasarım aşamasında genellikle hesaplara dahil edilmeyen dolgu duvarlar, yatay yüke maruz kalan yapılarda kısa kolon, burulma, yumuşak kat veya zayıf kat gibi önemli sorunlar oluşturabilmektedir. Dolgu duvarların homojen ve izotrop bir yapıya sahip olmaması, dolgu duvar davranışını ifade edebilecek basit bir denklem ile analizlerde hesaplara dahil edilmesini güçleştirmektedir. Bu durum, uygulama aşaması için yenilikçi çözümlerin önemini artırmaktadır.

2018 yılında yürürlüğe giren Türkiye Bina Deprem Yönetmeliğinde dolgu duvarların hasar görmesini engelleme amacıyla esnek derzli bağlantı detayı önerilmiştir. Bu bağlantı detaylı çerçevenin, dolgu duvar ile taşıyıcı elemanların arasına esnek malzeme doldurulması ile oluşturulacağı belirtilmiştir. Yönetmelikte, derzli ve derzsiz uygulamalar için farklı ötelenme sınırlandırmaları getirilmiştir. Ayrıca, esnek derzlerin kullanıldığı çerçevelerde, detayın yeterliliği deneyle kanıtlanması şartı da bulunmaktadır.

Bu çalışmada, dolgu duvarların neden olduğu olumsuzlukların önüne geçebilecek yenilikçi çözüm önerilerinin analitik olarak araştırılması amaçlanmıştır. Bu amaçla öncelikle, Erdem tarafından deneyleri yapılmış olan dolgu duvarsız imal edilmiş boş çerçeve, geleneksel olarak dolgu duvarlı imal edilmiş dolu çerçeve ve güncel deprem yönetmeliği tarafından önerilen bağlantı detayının uygulandığı çerçevelerin zarf eğrileri kullanılarak bu çalışmada ABAQUS sonlu elemanlar yazılımında hazırlanan modellerinin doğrulanması yapılmıştır. Daha sonra, bu modellere ek olarak yenilikçi iki farklı esnek bağlantı detaylarının kullanıldığı çerçeveler analitik olarak incelenmiştir. Elde edilen bulgular ile bağlantı elemanlarının avantajları ve dezavantajları sunulmuştur.

Anahtar Kelimeler : Dolgu duvar, esnek derzli bağlantı elemanı, betonarme çerçeve, yatay öteleme

Sayfa Adedi : 86

Danışman : Prof. Dr. Murat BİKÇE

INVESTIGATION OF FLEXIBLE JOINT CONNECTION TYPES BETWEEN INFILL  
WALLS AND REINFORCED CONCRETE FRAMES  
(M. Sc. Thesis)

Osman Fatih BAYRAK

ISKENDERUN TECHNICAL UNIVERSITY  
ENGINEERING AND SCIENCE INSTITUTE

July 2018

ABSTRACT

Non-structural infill walls are widely used in frame systems for different reasons. Infill walls formed especially between vertical and horizontal structural elements contribute to the lateral load bearing capacity, lateral stiffness, and energy absorption capacity of the building. However, infill walls, which are not included in the calculations during the design phase, may cause significant problems such as short columns, torsion, soft floor or weak floor in structures exposed to horizontal loads. The fact that the infill walls do not have a homogeneous and isotropic structure makes it difficult to create a simple declaration that can express the infill wall behavior and makes it difficult to include in the calculations during the analysis phase. This situation increases the importance of innovative solutions for the practical phase.

Turkey Earthquake Building Code which came into force in 2018, flexible joint connection detail is proposed to prevent damage to the infill walls. It has been stated that this connection detailed frame will be formed by filling flexible material between the infill wall and the structural elements. In the code, different displacement limitations have been introduced for flexible joint and jointless applications. Moreover, there is a requirement to prove the details with experiments in the use of the systems.

In this study, it is aimed to investigate analytically innovative solutions that can prevent the negative effects caused by infill walls. For this purpose, firstly, the models prepared in ABAQUS finite element software were verified by using the backbone curves of the hollow frame produced by Erdem without infill wall, the solid frame traditionally produced with infill wall and the frame to which the connection detail suggested by the current earthquake regulation was applied. Then, in addition to these models, two innovative flexible connection detail with frame were analyzed analytically. Advantages and disadvantages of flexible joint connection are presented with the findings.

Key Words : Infill wall, flexible joint connection element, rc frame, lateral drift  
Page Number : 86  
Supervisor : Prof. Dr. Murat BİKÇE

## TEŞEKKÜR

Yüksek lisans tezimin hazırlanmasında ve yaptığım çalışmalarda, güçlü deneyim ve bilgisi ile hiçbir yardımı esirgmeden destek olan ve büyük bir özveriyle beni yönlendiren danışman hocam sayın Prof. Dr. Murat BİKÇE'ye sonsuz saygı ve teşekkürlerimi borç bilirim.

Her zaman manevi ve maddi desteği ile yanımda olan sevgili aileme sonsuz teşekkürlerimi sunarım. Gerçekleştirilen analizlerde büyük katkıları bulunan Dr. Öğr. Üyesi Engin EMSEN hocama teşekkürlerimi sunarım. Lisans ve yüksek lisans boyunca üzerimde büyük emekleri bulunan İskenderun Teknik Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü'ndeki tüm hocalarıma çok teşekkür ederim. Birçok çalışmada ve tez çalışmamda da bana destek olan sevgili arkadaşlarım Seda YEDEK'e, Nilay SABAHOĞLU'na ve Sami Can ÇETİNDÖĞAN'a teşekkürlerimi bildiririm. Tez çalışmamda yardımda bulunan Ar. Gör. Muhammet Musab ERDEM'e teşekkür ederim.

118M317 No'lu TÜBİTAK projesi kapsamında gerçekleştirilen bu tez çalışmasına, TÜBİTAK tarafından sağlanan destek için teşekkürümü borç bilirim.

## İÇİNDEKİLER

	<b>Sayfa</b>
ÖZET .....	iv
ABSTRACT.....	v
TEŞEKKÜR.....	vi
İÇİNDEKİLER .....	vii
ÇİZELGELERİN LİSTESİ.....	ix
ŞEKİLLERİN LİSTESİ .....	xiv
RESİMLERİN LİSTESİ .....	xix
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	xv
1. GİRİŞ.....	1
2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI .....	4
2.1. Çalışmanın Amacı ve Kapsamı .....	13
3. BETONARME ÇERÇEVENİN TASARLANMASI .....	16
3.1. Sismik Hesaplar .....	16
3.2. Yapısal Analizler.....	19
3.3. Betonarme Çerçevenin Ölçeklendirilmesi ve Detaylandırılması .....	21
4. MODELLER ve BAĞLANTI APARATLARI .....	26
4.1. BÇ Modeli.....	26
4.2. GÇ Modeli.....	27
4.3. YÇ Modeli.....	29
4.4. D4 Modeli .....	30
4.5. D5 Modeli .....	32



5. ANALİTİK ÇALIŞMA .....	35
5.1. Modelleme Teknikleri.....	35
5.1.1. Donatı.....	36
5.1.2. Beton .....	37
5.1.3. Dolgu duvar.....	39
5.1.4. Taşyünü .....	48
5.2. Çerçevelerin Modellenmesi .....	49
5.2.1. Boş çerçevenin modellenmesi (BÇ).....	51
5.2.2. Dolgu duvarlı çerçevenin modellenmesi (GÇ) .....	54
5.2.3. Esnek derzli çerçevenin modellenmesi (YÇ).....	58
5.2.4. Önerilen bağlantı aparatlı çerçevenin modellenmesi (D4).....	63
5.2.5. Önerilen bağlantı aparatlı çerçevenin modellenmesi (D5).....	67
6. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA.....	72
7. SONUÇLAR.....	74
KAYNAKLAR .....	76
ÖZGEÇMİŞ .....	83

## ÇİZELGELERİN LİSTESİ

<b>Çizelge</b>	<b>Sayfa</b>
Çizelge 3.1. Rapor çıktıları [60] .....	19
Çizelge 4.1. Çerçeve bilgileri ve kısaltmaları .....	26
Çizelge 5.1. Beton ek parametreleri.....	38
Çizelge 5.2. Eşdeğer basınç çubuğu genişliği değişimi.....	42
Çizelge 5.3. Dolgu duvar $k_1$ ve $k_2$ parametreleri .....	43
Çizelge 5.4. Duvar kontak özellikleri .....	50
Çizelge 5.5. Enerji tabanlı duvar kontak özellikleri .....	50
Çizelge 5.6. Beton mekanik özellikleri (BÇ).....	52
Çizelge 5.7. Çelik mekanik özellikleri (BÇ).....	52
Çizelge 5.8. Beton mekanik özellikleri (GÇ).....	55
Çizelge 5.9. Çelik mekanik özellikleri (GÇ) .....	55
Çizelge 5.10. Duvar mekanik özellikleri (GÇ) .....	55
Çizelge 5.11. Beton mekanik özellikleri (YÇ).....	59
Çizelge 5.12. Donatı mekanik özellikleri (YÇ) .....	59
Çizelge 5.13. Duvar mekanik özellikleri (YÇ) .....	59
Çizelge 5.14. Beton mekanik özellikleri (D4) .....	63
Çizelge 5.15. Donatı mekanik özellikleri (D4).....	63
Çizelge 5.16. Duvar mekanik özellikleri (D4).....	63
Çizelge 5.17. Beton mekanik özellikleri (D5) .....	67

<b>Çizelge</b>	<b>Sayfa</b>
Çizelge 5.18.Donatı mekanik özellikleri (D5).....	67
Çizelge 5.19. Duvar mekanik özellikleri (D5).....	67



## ŞEKİLLERİN LİSTESİ

<b>Şekil</b>	<b>Sayfa</b>
Şekil 1.1. Dolgu duvarın (a) diyagonal basınç, (b) kısa kolon ve (c) yumuş/zayıf kat.....	1
Şekil 2.1. Dolgu duvar bağlantı konumları ve detayı [54].....	14
Şekil 2.2. 2018 TBDY’de önerilen dolgu duvar-kolon esnek bağlantı detayı [5] .....	15
Şekil 3.1. Çerçeve- dolgu duvar bağlantısı bitişik (esnek derzsiz) için en büyük etkin görelî kat ötelemeleri [62] .....	17
Şekil 3.2. Çerçeve- dolgu duvar bağlantısı esnek derzli için en büyük etkin görelî kat ötelemeleri [62] .....	17
Şekil 3.3. Her bir il için elde edilen en büyük etkin görelî kat ötelemeleri [62].....	18
Şekil 3.4. Analiz için zemin sınıfının seçilmesi [60] .....	18
Şekil 3.5. Yapının (a) açıklıkları, (b) ETABS modeli, (c) İdeCAD model ve (d) SAP2000 modeli .....	20
Şekil 3.6. Model tasarımının (a) üç boyutlu ve (b) düzlemsel boy kesit görüntüsü .....	21
Şekil 3.7. Excel programında kiriş için 1/1 ve 2/3 ölçeğinde boyut ve donatı alanları .....	22
Şekil 3.8. Excel programında kolon için 1/1 ve 2/3 ölçeğinde boyut ve donatı alanları .....	23
Şekil 3.9. Excel programında kiriş için 1/1 ve 2/3 ölçeğinde boyut ve donatı yerleşimi .....	23
Şekil 3.10. Excel programında kolon için 1/1 ve 2/3 ölçeğinde boyut ve donatı yerleşimi.....	24
Şekil 3.11. Deneylerde kullanılacak betonarme çerçeve, (a) boyutları, (b) donatı tasarımları.....	25
Şekil 4.1. BÇ modeli detayları .....	27
Şekil 4.2. Gazbeton (a) mevcut boyutları, (b) ölçeklenen ve üretilen boyutları .....	28
Şekil 4.3. GÇ modeli detayları.....	28

<b>Şekil</b>	<b>Sayfa</b>
Şekil 4.4. YÇ (a) çerçeve elemanları, (b) A-A kesit görünümü .....	29
Şekil 4.5. D4 (a) çerçeve, (b) bağlantı detayı .....	30
Şekil 4.6. D4 bağlantı aparatı yerleşimi (a) katı, (b) şeffaf görünüm .....	31
Şekil 4.7. D4 bağlantı aparatlarının yerleştirilmesi .....	31
Şekil 4.8. D4 bağlantı aparatının (a) kolon ve kirişteki konumu, (b) ön ve arkada yüzdeki konumu .....	32
Şekil 4.9. D5 (a) çerçeve, (b) bağlantı detayı .....	33
Şekil 4.10. D5 bağlantı aparatı yerleşimi (a) katı, (b) şeffaf görünüm .....	33
Şekil 4.11. D5 bağlantı aparatının (a) kolon ve kirişteki konumu, (b) ön ve arkada yüzdeki konumu .....	34
Şekil 5.1. Analizde kullanılan yük protokolü .....	35
Şekil 5.2. Mühendislik gerinim dönüşümü .....	36
Şekil 5.3. Beton (a) basınç ve (b) çekme genel davranışı .....	38
Şekil 5.4. Sonlu elemanlar modeli .....	40
Şekil 5.5. Eşdeğer diyagonal basınç .....	41
Şekil 5.6. Duvarları modelleme teknikleri, (a) detaylı mikro modelleme, (b) basitleştirilmiş mikro modelleme, (c) makro modelleme .....	44
Şekil 5.7. Dolgu duvarlarda (a) basınç ve (b) çekme gerilmeleri .....	45
Şekil 5.8. DPM doğrusal kırılma yüzeyi.....	45
Şekil 5.9. Dolgu duvarlar derzlerinde oluşan (a) çekme ve (b, c) kayma hasar durumları .....	46
Şekil 5.10. Dolgu duvarlar derzlerinin çekme ve kayması .....	47
Şekil 5.11. Hyperfoam malzeme özelliklerine sahip (a) model ve (b) analiz sonucu [93].....	48

<b>Şekil</b>	<b>Sayfa</b>
Şekil 5.12. Donatıların test verileri ve kabulleri (a) enine, (b) boyuna donatı (BÇ) [6, 95].....	51
Şekil 5.13. Betonun (a) basınç gerilme-birim şekil değiştirme (b) basınç plastisite (c) basınç hasar (a) çekme gerilme-birim şekil değiştirme (b) çekme plastisite (c) çekme hasar eğrisi (BÇ) .....	52
Şekil 5.14. BÇ numunesi (a) katı, (b) donatı ve (c) mesh modeli.....	53
Şekil 5.15. BÇ’de meydana gelen (a) plastik yer değiştirme ve (b) gerilme .....	53
Şekil 5.16. BÇ çerçevesinin donatıları üzerinde oluşan gerilmeler .....	53
Şekil 5.17. BÇ deney ve analiz yanal kuvvet-öteleme oranı eğrisi .....	54
Şekil 5.18. Betonun (a) basınç gerilme-birim şekil değiştirme (b) basınç plastisite (c) basınç hasar (d) çekme gerilme-birim şekil değiştirme (e) çekme plastisite (f) çekme hasar eğrisi (GÇ).....	55
Şekil 5.19. Donatıların test verileri ve kabulleri (a) enine, (b) boyuna donatı (GÇ) [6, 95].....	56
Şekil 5.20. Dolgu duvarın (a) basınç gerilme-birim şekil değiştirme (b) basınç plastisite (c) basınç hasar (d) çekme gerilme-birim şekil değiştirme (e) çekme plastisite (f) çekme hasar eğrisi (GÇ).....	56
Şekil 5.21. GÇ numunesinin ABAQUS modeli; (a) katı model (b) mesh.....	57
Şekil 5.22 GÇ numunesinin donatıları.....	57
Şekil 5.23. (a) 2 mm, (b) 20 mm, (c) 45 mm, (d) 80 mm deplasman için maksimum asal gerilmeler (GÇ).....	57
Şekil 5.24. Analiz sonucunda (a) sıvada oluşan kalıcı deformasyonlar ve (b) derzlerde meydana gelen gerilmeler (GÇ).....	58
Şekil 5.25. GÇ deney ve analiz yanal kuvvet-öteleme oranı eğrisi .....	58
Şekil 5.26. Beton (a) basınç gerilme-birim şekil değiştirme (b) basınç plastisite (c) basınç hasar (d) çekme gerilme-birim şekil değiştirme (e) çekme plastisite (f) çekme hasar eğrisi (YÇ) .....	60

<b>Şekil</b>	<b>Sayfa</b>
Şekil 5.27. Donatıların test verileri ve kabulleri (a) enine, (b) boyuna donatı (YÇ) [6, 95].....	60
Şekil 5.28. Dolgu duvarın (a) basınç gerilme-birim şekil değiştirme (b) basınç plastisite (c) basınç hasar (d) çekme gerilme-birim şekil değiştirme (e) çekme plastisite (f) çekme hasar eğrisi (YÇ).....	60
Şekil 5.29. YÇ ABAQUS katı modelleri.....	61
Şekil 5.30. YÇ donatı yerleşimi ve bağlantı aparatı konumları.....	61
Şekil 5.31. (a) 2 mm, (b) 20 mm, (c) 45 mm, (d) 90 mm deplasman için maksimum asal gerilmeler (YÇ).....	61
Şekil 5.32. YÇ numunesinde oluşan kalıcı şekil değiştirmeler (a) 35 mm (b) 106,8 mm.....	62
Şekil 5.33. YÇ (a) 35 mm (b) 40 mm için yer değiştirmeler.....	62
Şekil 5.34. YÇ deney ve analiz yanal kuvvet-öteleme oranı eğrisi.....	62
Şekil 5.35. Beton (a) basınç gerilme-birim şekil değiştirme (b) basınç plastisite (c) basınç hasar (d) çekme gerilme-birim şekil değiştirme (e) çekme plastisite (f) çekme hasar eğrisi (D4).....	64
Şekil 5.36. Donatıların test verileri ve kabulleri (a) enine, (b) boyuna donatı (D4) [6, 95].....	64
Şekil 5.37. Dolgu duvarın (a) basınç gerilme-birim şekil değiştirme (b) basınç plastisite (c) basınç hasar (d) çekme gerilme-birim şekil değiştirme (e) çekme plastisite (f) çekme hasar eğrisi (D4).....	64
Şekil 5.38. D4 ABAQUS katı modelleri.....	65
Şekil 5.39 D4 donatı yerleşimi ve bağlantı aparatı konumları.....	65
Şekil 5.40. D4 (a) 2 mm, (b) 10 mm, (c) 15 mm, (d) 35 mm deplasman için maksimum asal gerilmeler.....	65
Şekil 5.41. D4 modelinde oluşan kalıcı şekil değiştirmeler (a) 35 mm (b) 90,68 mm.....	66
Şekil 5.42. D4 çerçevesinin dolgu duvar derzlerinde oluşan gerilmeler (a) 70 mm, (b) 90 mm, (c) 110 mm.....	66

<b>Şekil</b>	<b>Sayfa</b>
Şekil 5.43. D4 analiz yanal kuvvet - öteleme oranı eğrisi .....	66
Şekil 5.44. Beton (a) basınç gerilme-birim şekil değiştirme (b) basınç plastisite (c) basınç hasar (d) çekme gerilme-birim şekil değiştirme (e) çekme plastisite (f) çekme hasar eğrisi (D5) .....	68
Şekil 5.45. Donatıların test verileri ve kabulleri (a) enine, (b) boyuna donatı (D5) [6, 95]	68
Şekil 5.46. Dolgu duvarın (a) basınç gerilme-birim şekil değiştirme (b) basınç plastisite (c) basınç hasar (d) çekme gerilme-birim şekil değiştirme (e) çekme plastisite (f) çekme hasar eğrisi (D5) .....	68
Şekil 5.47. D5 ABAQUS katı modelleri.....	69
Şekil 5.48 D5 donatı yerleşimi ve bağlantı aparatı konumları.....	69
Şekil 5.49. D5 (a) 2 mm, (b) 10 mm, (c) 15 mm, (d) 35 mm deplasman için maksimum asal gerilmeler .....	69
Şekil 5.50. D5 numunesinde oluşan kalıcı şekil değiştirmeler (a) 35 mm (b) 90,68 mm.....	70
Şekil 5.51. D5 çerçevesinin dolgu duvar derzlerinde oluşan gerilmeler (a) 70 mm, (b) 90 mm, (c) 110 mm .....	70
Şekil 5.52. D5 analiz yanal kuvvet - öteleme oranı eğrisi .....	70
Şekil 6.1. BÇ, GÇ, YÇ, D4 ve D5 çerçevelerinin tepe yükü – öteleme oranı mukayesesi .....	72



**RESİMLERİN LİSTESİ****Resim****Sayfa**

- Resim 1.1. (a) Yanal rijitliğe karşı katkı sağlayan tuğla dolgu duvar, (b) yanal rijitliğe karşı katkı sağlayan briket dolgu duvar, (c) düzensiz yerleştirilmiş dolgu duvarlı hasarlı yapı [4] .....2



## SİMGELER VE KISALTMALAR

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

<b>Simgeler</b>	<b>Açıklamalar</b>
$\delta_i^{(X)}$	Etkin görelî kat ötelemesi (x doğrultusu için)
<b>R</b>	Taşıyıcı sistem davranış katsayısı
<b>I</b>	Bina önem katsayısı
$\Delta_i^{(X)}$	Azaltılmış görelî kat ötelemesi
$h_i$	i'ninci katın yüksekliği
$\lambda$	Elastik tasarım spektral ivmelerinin oranı
<b>Z<sub>A</sub> ve Z<sub>E</sub></b>	Yerel zemin sınıfları
<b>PGA</b>	Maksimum yer ivmesi
<b>PGV</b>	Maksimum yer hızı
<b>S<sub>s</sub></b>	Kısa periyot bölgesi için harita spektral ivme katsayısı
<b>S<sub>1</sub></b>	1,0 saniye periyot için harita spektral ivme katsayısı
<b>S<sub>DS</sub></b>	Kısa periyot bölgesi, tasarım spektral ivme katsayısı
<b>S<sub>D1</sub></b>	1,0 saniye periyot için tasarım spektral ivme katsayısı
<b>F<sub>s</sub></b>	Kısa periyot bölgesi için Yerel Zemin Etki Katsayısı
<b>F<sub>1</sub></b>	1,0 saniye periyot için Yerel Zemin Etki Katsayılar
<b>S<sub>ae</sub></b>	Yatay elastik tasarım spektral ivmeleri
<b>T<sub>x</sub></b>	Binanın X yönü için titreşim periyodu
<b>T<sub>y</sub></b>	Binanın Y yönü için titreşim periyodu
$\emptyset$	Donatı çapı
<b>f<sub>ck</sub></b>	Beton karakteristik dayanımı
<b>f<sub>cm</sub></b>	Ortalama beton basınç dayanımı
<b>E<sub>c</sub></b>	Elastisite Modülü
<b>k1, k2</b>	Dolgu duvar katsayıları

**Kısaltmalar****Açıklamalar****2018 TBDY**

Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği (2018) [5]

**DD-2**

Deprem Yer Hareketi Düzeyi-2

**DD-3**

Deprem Yer Hareketi Düzeyi-3

**BÇ**

Sadece kolon/kirişten oluşan boş çerçeve

**GÇ**

Geleneksel dolgu duvarlı çerçeve

**YÇ**

Yönetmelik tarafından önerilen esnek derzli çerçeve

**D4, D5**

Bu çalışmada önerilen esnek derzli çerçeveler

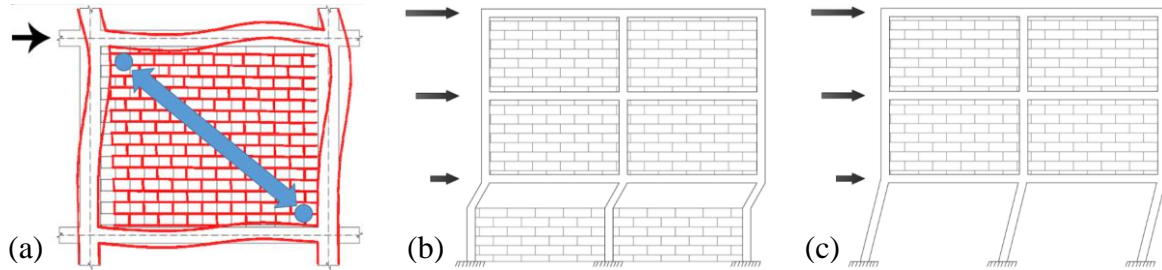
**TDTH**

Türkiye Deprem Tehlike Haritası [60]

## 1. GİRİŞ

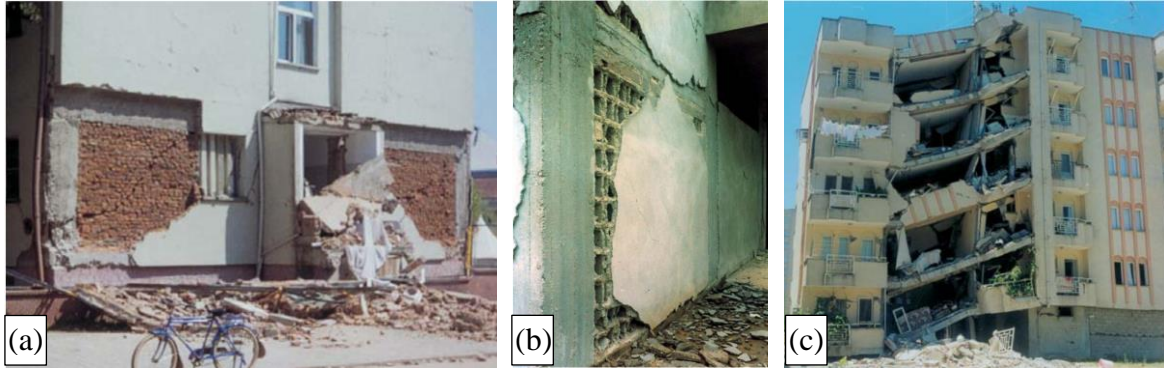
Betonarme yapılarda dolgu duvarlar bölme, odalara ayırma, mimari neden ve ticari amaçlarla yaygın olarak kullanılmaktadır. Yapı tasarımı sırasında taşıyıcı olmayan eleman olarak kabul gören dolgu duvarlar genellikle yapıya salt düşey yük olarak etki ettirilmektedir. Ancak, taşıyıcı elemanlara bitişik oluşturulan bu duvarlar, çerçeve sistem davranışını değiştirebilmektedir [1, 2]. Dolayısıyla yapı davranışını olumlu veya olumsuz etkileyebilmektedir.

Dolgu duvarların yapısal sisteme etkisi dolgu duvar özelliklerine göre değişkenlik göstermektedir [3]. Yatay yüklere maruz kalan duvarın diyagonal köşelerinde oluşan basınç gerilmeleri, birleşim bölgeleri yeterli mukavemette ise yapıya dayanım katmaktadır (Şekil 1a). Ancak, bu bölgelerde meydana gelebilecek bölgesel ezilmeler, kolon serbest yüksekliğini azaltarak kısa kolon etkisi oluşturabilmektedir. Buna ek olarak duvar üzerine konumlandırılan bant pencereler de bu etkiyi arttırmaktadır (Şekil 1b). Zemin katlarda dolgu duvar oluşturulmaması ise, düşeyde süreksizliğe ve yapısal düzensizliklere neden olmaktadır (Şekil 1c).



Şekil 1.1. Dolgu duvarın (a) diyagonal basınç, (b) kısa kolon ve (c) yumuş/zayıf kat

Tasarım aşamasında dolgu duvarların sadece düşey yük olarak dikkate alınması uygulamada öngörülemeyen hasarlara neden olmaktadır. Düşey taşıyıcı eleman aralarında oluşturulması halinde yapının rijitliğini ve yatay yük taşıma kapasitesini artırmakla birlikte hâkim titreşim periyodunu düşürebilmektedir (Resim 1.1a, b). Planda gelişigüzel ve düşeyde süreksiz konumlandırıldığında yapısal hasarlara neden olmaktadır (Resim 1.1c).



Resim 1.1. (a) Yanal rijitliğe karşı katkı sağlayan tuğla dolgu duvar, (b) yanall rijitliğe karşı katkı sağlayan briket dolgu duvar, (c) düzensiz yerleştirilmiş dolgu duvarlı hasarlı yapı [4]

Öngörülemeyen bu davranışların neden olabileceği hasarların önlenmesinde, proje ile uygulama arasındaki uyum önem kazanmaktadır. Bu durumda depreme dayanıklı yapı tasarımı için, ya dolgu duvarların modele yansıtılması gerekliliğini ya da dolgu duvarlar yapılarından izole edilmesi ihtiyacını ortaya çıkarmaktadır. Dolgu duvarların hesap aşamasında dikkate alınması için farklı yöntemler bulunmaktadır. Dolgu duvarların yapıdan izole edilmesine yönelik tasarım 2018 yılında yürürlüğe giren Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği'nde (2018 TBDY) yenilikçi bir çözüm olarak yer almıştır [5]. Taşıyıcı çerçevenin esnek derzlerle izole edilerek tasarıma gidilmesi halinde 2 kat daha fazla görelî kat ötelemelerine müsaade edilmektedir. Bu durum esnek derz kullanımını artırıcı bir seçenek olmuştur. 2018 TBDY'de "etkin görelî kat ötelemelerinin sınırlandırılması" bölümünde;

$$\delta_i^{(X)} = \frac{R}{I} \Delta_i^{(X)} \quad (1.1)$$

ile hesaplanmaktadır. Burada etkin görelî kat ötelemelerinin maksimum değeri, dolgu duvar ile çerçeve arası bağlantı durumuna göre iki şekilde sınırlandırılmaktadır [5]. Bunlar; gevrek malzemeden yapılmış boşluklu veya boşluksuz dolgu duvarların ve cephe elemanların çerçeve elemanlarına, aralarında herhangi bir esnek derz veya bağlantı olmaksızın, tamamen bitişik olması durumunda (2018 TBDY – 3.34a);

$$\lambda \frac{\delta_{i,max}^{(X)}}{h_i} \leq 0,008 \quad (1.2)$$

olarak sınırlandırılmıştır. Gevrek malzemeden yapılmış dolgu duvarları ile çerçeve elemanlarının aralarında esnek derzler yapılması, cephe elemanlarının dış çerçevelere esnek bağlantılarla bağlanması veya dolgu duvarın çerçeveden bağımsız olması durumunda ise (TBDY – 3.34b);

$$\lambda \frac{\delta_{i,max}^{(X)}}{h_i} \leq 0,016 \quad (1.3)$$

olarak dikkate alınmaktadır. Çerçeve ile dolgu duvarlar arasında esnek derz kullanılması durumunda (Eş. 1.3); TBDY-3.34b’de verilen sınır değerini sağladığı deneylerle kanıtlanması istenmektedir. Yukarıdaki denklemlerde etkin görelî kat ötelemesi  $\delta_i^{(X)}$ , taşıyıcı sistem davranış katsayısı  $R$ , bina önem katsayısı  $I$ , azaltılmış görelî kat ötelemesi  $\Delta_i^{(X)}$ , kat yüksekliği  $h_i$ , DD-3 ve DD-2 (Deprem Yer Hareketi Düzeyi) depremlerinden elde edilen elastik tasarım spektral ivmelerinin oranı ise  $\lambda$  ile gösterilmiştir.

Bu çalışmada öncelikle, Erdem [6, 95] tarafından deneyleri gerçekleştirilen; dolgu duvarların bulunmadığı boş çerçeve (BÇ), geleneksel dolgu duvarlar ile oluşturulan çerçeve (GÇ) ve 2018 TBDY’de sunulan esnek derzli bağlantı aparatının kullanıldığı çerçeve (YÇ) deneyleri ABAQUS sonlu elemanlar yazılımında modellenerek analiz edilmiştir. Deney sonuçlarından elde edilen zarf eğrileri ile çalışma kapsamında yapılan analizler doğrulanmıştır. Daha sonra, modeller ile yenilikçi çözüm olarak önerilen iki farklı bağlantı detaylı çerçevenin analizleri gerçekleştirilmiştir. Yapılan çalışma ile esnek derzli bağlantı yönteminin avantaj ve dezavantajları belirlenmiştir.

## 2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

Depreme maruz kalan yapılarda, çerçeve içlerine konumlandırılan dolgu duvarların yapı davranışına etkisinin incelenmesine dair ilk katkı 1956 yılında Polyakov [8], tarafından ortaya konmuştur. Daha sonra Holmes [9] çalışmasında, çerçeveli yapılarda yalıtım ve gerekli mimari nedenler ile bulunan dolgu duvarların, yapı tasarımına etkisinin anlaşılabilmesi için dolgu duvarların kalınlığının tahmininde yarı ampirik bir ifade geliştirmiştir.

Mallick ve Severn [10] çalışmalarında, çerçeveli yapılarda dolgu duvarın yapıya olan etkisini belirlemek için sonlu elemanlar tekniği kullanmışlardır. Yaptıkları araştırmada dolgu duvarları dikdörtgen panel olarak ele almışlardır. Bir başka deyişle; oluşturulan dolgu panellerini düzlemsel şekil değiştiren elemanlar olarak ele alırken, çerçeve elemanlarını çubuk olarak modele dahil etmişlerdir. Analizler sonucunda, dolgu duvar ve çerçeve elemanları arasındaki kaymayı göz önünde bulundurarak temas ettiği yüzey boyunca meydana gelen gerilmeleri incelemişlerdir. Ayrıca, sonlu elemanlar metodunun uygulandığı modellerin, analizlerinde çok uzun süre aldığını belirtmişlerdir.

Smith ve Carter [11], dolgu duvarlı çerçeve yapıların dolgu duvarları eşdeğer bir çubuğa dönüştürerek, bilinen statik yöntemlerle analizinin yapılabileceğini öne sürmüşlerdir. Dolgu duvarları temsil eden ve çerçeve sistemlerde kullanılan eşdeğer çubuklar, yatay yük etkisiyle diyagonal köşelerde oluşan basınçların temsili amacıyla eşdeğer basınç çubuğu olarak idealize edilmiştir. Çerçeve elemanlarının hepsi, yük altında çekmeye ve basınca çalıştığı varsayılp eğilme taşımadıkları kabul edilmiştir. Smith'in çerçevede bulunan elemanları çubuk elemanlar olarak düşünmesinin nedeni, dolgu duvarların çerçeveye yerleştirilmesiyle çerçevenin taşıyıcı elemanlarında meydana gelen eğilme momentlerinde hızlı düşüşün anlaşılması olarak açıklanabilmektedir. Bu yaklaşımın ileri sürülmesine bir diğer neden ise çok katlı çerçevelerde kat sayısı arttıkça aksenal kuvvetlerin, eğilme momentlerinden daha etkin hale gelmesi olarak görülmüştür.

Deneysel çalışmalar Holmes ile başlamış [9]; Smith ve Carter [11], Smith [12-14], Türk vd. [15], Marjini [16], Kaltakçı ve Köken [17] olarak devam etmiştir. Dolgu duvarlar üzerinde yapılan deneysel araştırmalar günümüzde de devam etmektedir.

Sachansky ve Brankov [18], dolgu duvarlı betonarme binaların büyük deprem yüklerinin etkisinde davranışını incelemişlerdir. Altı katlı betonarme bir binayı boşluklu ve boşluksuz dolgu duvarları göz önüne alarak hesaplamışlardır. Boşluklu ve boşluksuz dolgu duvarlarını eşdeğer basınç çubuklarıyla modellemişlerdir. Yapıda bulunan dolgu duvarların etkisi belirlenmiştir.

Riddington ve Stafford Smith [19] çalışmalarında, dolgu duvarlı çerçevelerin analizi için sonlu elemanlar programı geliştirmiştir. Üç farklı tipe sahip dolgu duvarlı çerçeveler modellenerek çeşitli parametrelerin etkileri incelenmiştir. Bu parametreler dolgu duvar ve çerçeve bağlantı noktalarının özellikleri, dolgu duvar uzunluğunun yüksekliğine oranı, görelî rijitlik parametresi ve kolon ile kirişin birleşim bölgesinin rijitliği olarak dikkate alınmıştır. Dolgu duvarlı çerçevelerin yatay ötelenmelerinin hesaplanması da kullanılması gereken eşdeğer basınç çubuğu kalınlığının, duvar genişliğinin onda birine eşit alınmasının güvenilir olduğu belirtmiştir.

Ersoy ve Uzsoy [20] yaptıkları 9 adet tek açıklı çerçevenin artan yükler analizinde yatay yük taşıma kapasitesini %700 artırdığını ve yatay deplasmanı %6 azalttığı sonucuna ulaşmıştır. Ayrıca sistemin yatay elastik rijitliğini de %500 artırdığı görülmüştür.

Zarnic ve Tomasevic [21], yatay yük etkisinde kalan yapılarda, dolgu duvarların olumlu veya olumsuz etkilerinin olduğunu belirtmiştir. Bu sonuçtan yola çıkarak yapıların tasarım ve inşaa aşamasında iki farklı öneride bulunmuştur. Bunlardan ilki, dolgu duvarların ikinci dereceden bir yapı elemanı olarak kabul edilmesi ve gerekli miktarda bırakılan derzler ile sistemden soyutlanması olmuştur. Yapılacak bu uygulama ile yatay yük altındaki yapının dolgu duvardan serbest hareket edebileceği düşünülmüştür. Bir diğer öneri ise, dolgu duvarların yapıya etkisi göz önünde bulundurulduğunda, tasarım aşamasında çerçeve ile dolgu duvar arasında yük dağılımının uygun şekilde göz önüne alınması gerektiği olmuştur.

Yalçın [22], yapmış olduğu çalışmayla, betonarme çerçeve sisteme sahip dolgu duvarlı çok katlı yapılarda deprem altındaki davranışlarını incelemiştir. Ayrıca literatür değerlendirmesinde bulunarak eşdeğer basınç çubuğu modelinin kullanılmasına karar verilmiş ve dolgu duvarı temsil eden eşdeğer basınç çubuğun boyutlarını elde etmiştir. Bu çubuğun bir boyutu duvar kalınlığına eşitken diğer boyutu köşegen uzunluğunun %25'i olarak alınmıştır. Modelini oluşturduğu dolgu duvarlar konumlarının betonarme sistem



üzerindeki etkisini araştırmak için 4 farklı model oluşturarak spektral analizler yapılmıştır. Duvarların bulunduğu çerçeve doğrultusunda yer değiştirmenin azaldığını görürken toplam kesme kuvvetinin ve rijitliğin arttığı gözlemlenmiştir. Dolgu duvar yerleşiminin asimetrik olduğu durumlarda burulma deformasyonlarının çok etkili olduğu da anlaşılmıştır.

Calvi ve Bolognini [23], farklı modülde dolgu duvarlı çerçeveler oluşturarak, dolgu duvarın çerçeve sisteme olan etkisini araştırmıştır. Ayrıca Karaduman [24], 7 farklı, tek açıklıklı çelik çerçeve sistem oluşturarak dolgu duvarın, yer değiştirmeye, göçmeye ve çatlaklara olan etkisinin yanında sıva kalınlığını da parametre olarak dahil etmiştir.

İrtem vd. [25], çalışmasında, dolgu duvarın yapı deprem performansına etkisi araştırmıştır. Duvarlı ve duvarsız modeller için artan tükler altında hem malzeme hem geometrik olarak lineer olmayan analize gidilmiştir. Dolgu duvarların yapı performansını artırdığı ve farklı konumda olmaları yapıya farklı etkiler getirdiği gözlemlenmiştir.

Perera [26], dolgu duvar eşdeğer basınç modeli için sürekli hasar mekaniğine dayanan yeni bir makro model önerilmiştir.

Kızıloğlu [27], çalışmasında dolgu duvarların betonarme yapılar içindeki etkinliği ve modellenmesi üzerine durulmuştur. Dolgu duvarlar iki ucu mafsalı diyagonallerle modellenmiş, sisteme rijitliği dolgu duvarın cinsine, boşluk oranına, yüksekliğine bağlı olarak belirlenen çeşitli parametrelerle ifade edilmiştir. Sonlu elemanlar yöntemiyle modellenen yapının tüm elemanları çubuk sistem olarak modele yansıtılmıştır. Hesaplarda yapının yalnızca zati ağırlığı dikkate alınarak, bina; salt çerçeve, dolgu duvarların bulunduğu çerçeveler ise sıvalı ve sıvasız olarak modellenip analiz edilmiştir. Yapılan hesaplar sonucunda; 12 katlı olarak ele alınan binaların çıplak çerçeve halde mekanik model sonucu belirlenen periyot değerleri hemen hemen ölçülen değerlere yakın bulunmuştur. Ancak özellikle sıvalı halde bulunan değerler ölçülen değerlere göre %22 oranında farklılık gösterdiği anlaşılmıştır. Buna rağmen dolgu duvarlı yapı periyotları yalın çerçeve sistem periyotlarına göre %70 oranında değişiklikler göstermiştir.

Dünder [28], düzlem çerçevelerden elde edilen sonuçlara bağlı olarak 3 boyutlu duvarlı modellerimiz sonlu elemanlar yöntemi ile oluşturularak, duvarsız olan modeller ile doğal yapı periyotları, 1998 Deprem Yönetmeliği'nin [29] yapılarda karşılanmasını istediği görel

kat ötelemeleri kontrolü ve ikinci mertebeye etkiler açısından karşılaştırılmıştır. Oluşturulan 2 ve 7 katlı modellere eşdeğer deprem yükü yöntemine göre deprem yüklemeleri uygulanmış ve buna bağlı olarak betonarme boyutlandırmaları sonucunda duvarlı modellerde duvarsız modellere göre beton ve demir miktarlarında önemli ölçüde azalma gözlemlenmiştir.

Tarakçı [30], dolgu duvarların yapılar kattığı rijitlik nedeniyle, yapılan analizinde taşıyıcı sistem katsayısının (R) özenle seçilmesinin gerekliliğini vurgulamıştır. Yapılan güçlendirmelerde, duvarların düşeyde sürekliliğinin oluşturulmasına dikkat edilmesini belirtiş ve meydana gelebilecek diyagonal gerilmelerinin önüne geçilebilmesi için kapı/pencere boşluklarının bilinçli bir şekilde konumlandırılması gerekliliğine dikkat çekmiştir.

Özdoğu [31], deprem etkisindeki betonarme yapıların davranışının, dolgu duvar uygulama modellerinin üzerindeki etkisi incelenmiştir. Bu amaçla toplam on kat olmak üzere, zemin kat yükseklikleri farklı tipte olmak üzere 4 ayrı duvar modelleriyle, toplam 12 adet çerçeve sistemin zaman tanım alanında dinamik analizleri SAP2000 [32] programıyla gerçekleştirmiştir. Çalışma sonucunda; zemin katta boş çerçeve sistemlerde, deprem yükleri altında, kolonların aşırı zorlandığı ve yüksek gerilmeler meydana geldiği görülmüştür. Duvar dolgu olan çerçeve sistemlerde ise taşıyıcı kolonlarda gerilmelerin düşük olduğu, dolgu duvarların, deprem altındaki taşıyıcı sistemin gerilme kapasitesini arttırdığı gözlenmiştir. Bant şeklinde pencere olan çerçeve sistemlerde ise, aşırı gerilmelerin bu sefer pencere bölümündeki kolon üst bölgelerinde toplandığı görülmüştür.

Sivri vd. [33] yaptığı incelemelerde, dolgu duvarlı çerçevelerin yapının dinamik davranışını büyük ölçüde değiştirdiğini belirtmiştir. Tasarım aşamasında dikkate alınmayan dolgu duvarlardan dolayı yapının rijitlik ve bilinirliğinin değiştiğine dikkat çekmiştir. Dolgu duvarlı çerçevelerin taban kesme kuvvetlerinin ve yer değiştirmelerinin duvarsız yapıya göre nispeten değişiklik gösterdiğini vurgulamıştır. Ayrıca, yumuşak kat etkisindeki yapıların dolgu duvarların da etkisine bağlı olarak kesit tesirlerinde değişiklikler gözlemlenmiştir. Ancak dolgu duvarların yapı içerisinde bilinçli bir şekilde yerleştirilmesinin dayanıma katkı sağlayacağını belirtmiştir.

Öztürkoğlu vd. [34], çeşitli nedenler ile dolgu duvarlarda bırakılan boşlukların, farklı modelleme teknikleriyle analizlere dâhil etmiş ve dolgu duvar kalınlığının modal analize etkisini araştırmıştır. Analizler sonucunda; dolgu duvarlardaki boşluk oranının artmasıyla rijitlik kaybının olduğunu, kat yatay deplasmanlarının çerçevenin yatay rijitliğinin bir fonksiyonu olduğunu ve dolgu duvarlarda bırakılan boşluk oranına göre kat deplasmanının arttığına ulaşmıştır. Çerçeve sistem içerisinde bulunan dolgu duvar kalınlığının yatay rijitliği etkilediğini ve buna bağlı olarak kat yatay ötelemelerini ve görelî kat ötelemelerini etkilediğine dikkat çekmiştir.

Toker [35], 17 Ağustos 1999 Kocaeli depreminde sonra orta derece hasar gören ve dolgu duvarların yapısal hesaba katılmadığı bir yapıyı modellemiştir. Modeller üzerinde güçlendirme çalışmaları da yaparak doğrusal olmayan dinamik analiz gerçekleştirmiştir. Yapılarda bulunan dolgu duvarların serbest titreşim periyodunu düşürdüğü görülmüştür. Meydana gelen bu değişimin dolgu duvarların yapıya kattığı rijitlik olduğunu belirtmiştir. Ayrıca yapının duvarlı ve duvarsız durumu için tepe yere değiştirmesinin ve taban kesme kuvvetinin değişti anlaşılmıştır.

Kaplan [36] çalışmasında, dolgu duvarların en az betonarme sistem katar etkili olduğunu belirtmiştir. Farklı nedenler ile kolon giriş taşıyıcı sistemin içerisine yerleştirilen duvarların, yapının rijitliğini ve yatay yük taşıma kapasitesini artırmıştır. Dolgu duvarların üzerine bırakılan kapı/pencere boşluklarının bu yapısal olmayan elemanların etkisini azalttığını söylemiştir. İnşa aşamasında bırakılan taşıyıcı sistem ile duvarlar arasında bırakılan boşlukların yatay yük taşıma kapasitesindeki öngörülemeyen artışın oldukça düşük olduğuna dikkat çekmiştir. Ayrıca dolgu duvarların yapıya olan etkisinin malzeme özelliklerine göre değiştiğini de belirtmiştir.

Tetik [37], dolgu duvarların yapıların serbest titreşim periyoduna etkileri dolgu duvar alanına ve dolgu duvardaki boşluk tiplerine göre incelenmiştir. Analizlerde öncelikle örnek bir bina modeli üzerinde çalışılmış, daha sonra mevcut 12 bina üzerinde inceleme yapılmıştır. Çıkarılan sonuçlardan; öncelikle dolgu duvarların, yapı dinamik davranışını büyük ölçüde etkilediğini ve çerçevelerde bulunan dolgu duvarların rijitliğini önemli ölçüde katkı sağladığı ve bunun sonucunda da yapının serbest titreşim periyodunda önemli ölçüde azalmaya neden olduğunu saptanmıştır. Yapıların taşıyıcı sisteminde dolgu duvarları temsil etmek için, iki ucu mafsalı çapraz pandül çubukların kullanılmasının gerçeğe uygun

sonuçlar verdiği grlmŖtir. Dolgu duvarların boŖluk içermemesi halinde, yapı periyodunda önemli ölçüde azalmalara gzlenmiŖtir. Dolgu duvarlı durumda, yapı periyodundaki azalma oranının dolgu duvar alanı ile iliŖkisi araŖtırılmıŖ, duvar alanı arttıkça yapı periyodunun duvar alanı ile ters orantılı deđiŖim göstererek azaldığı gzlenmiŖtir. Aynı zamanda, dolgu duvarlardaki boŖlukların rijitlikte neden olduğu azalma sık rastlanılan boŖluk tipleri ele alınarak incelenmiŖ, boŖluk tip ve oranlarının yapı periyodunda neden olduğu deđiŖimler gzlenmiŖtir.

Köse [38] alıŖmasında, bina yüksekliği, açıklık sayısı, dŖeme alanının zemine oranı, panellerin toplam panel sayısına oranı ve betonarme yapı tipinin periyot üzerindeki etkileri araŖtırılmıŖtir. Dolgu duvarın periyodu %5 ile %10 arasında azalttığını grlmŖtir. Aynı zamanda 186 model ile yapının dolgu duvarlı durumu için formülasyon retilmiŖtir.

Baran vd. [39], yüksek dayanıma sahip panellerle glendirilmiŖ duvarların modellenme yöntemlerini araŖtırmıŖtir. Yapılan araŖtırmalarla dolgu duvar etkisinin basit bir Ŗekilde formüle edilmesi amalanmıŖtir. Ayrıca yaygın kullanılan elastik analiz yöntemleri kullanarak dolgu duvar davranıŖını ifade edebilecek yaklaŖıkta dayanımın elde edilmesi amalanmıŖtir. GlendirilmiŖ duvarların st üste koyulması ve eŖdeđer basınç çubuğu olmak üzere iki farklı yaklaŖımda bulunulmuŖtur. Yapılan itme analizleri ile maksimum yatay yük sonrası davranıŖ tam olarak elde edilememiŖtir. Her iki yönteminde yapı tasarımı ve mevcut yapıların değerlendirilmesinde elastik ereve modelleri kullanılarak yapı davranıŖının n görülmesi sağlanabilmektedir. Sonuç olarak zaman ve maddiyat tasarrufunun sağlayacağı dŖnlmŖtir.

Pujol ve Fick [40], tam ölçekli yaptıkları deneylerde, güçlendirme sonrası dolgu duvarların yanal rijitliği %500 artırmıŖ ve taban kesme kuvvetini %100 artırdığını grmŖtir.

Kaymak ve Tuna [41], çerçevelerde bulunan dolgu duvarların, yapı üzerindeki etkisi yapılan elastik ötesi analizlerden anlaŖılmıŖtir. Yatay yüke maruz kalan yapılarda meydana gelen ilk mafsallar eŖdeđer basınç çubuğunda görülürken, dolgu duvarsız modellerde ilk mafsallar kolon/kiriŖte meydana gelmiŖtir. Meydana gelen bu farklılık dolgu duvarların yk aldığını gstermiŖtir. Elde edilen bu sonuçlara göre, yapıların tasarım ve inŖa aŖamaları sırasında, dolgu duvarların salt zati yük olarak değer, rijitliklerinin de etki ettirilmesi gerekliliği grlmŖtir.

Wijaya vd. [42] deneysel çalışmalarında, dolgu duvarın CFR ile güçlendirilmesi ile, FRP ile güçlendirilen betonarme çerçevelerin yapısal modellere katılacak kadar etkisinin olduğu görmüştür. Dolgu duvarların modellenmesinde, literatürde sunulan mevcut yöntemlerin kullanılması, dolgu duvarların kayma mukavemeti açısından makul bir doğruluk ile tahmin edilebileceğini belirtmiştir. Kullanılan harcın kalitesinin, dolgu duvarın basınç ve kayma mukavemeti üzerinde etkili olduğunu, ayrıca kesme kuvvetinde ciddi artış gözlemlendiğine dikkat çekmiştir.

Asteris vd. [43], boşluklu duvar sıva panelleri bulunan çerçeveler üzerinde yapılan yarı statik deneyler sunmuştur. Bu deneylerin sonuçları, test edilen dolum çerçevelerinin küresel yanı sıra yerel cevaba ilişkin önemli bilgiler ortaya koymuştur. Özellikle, deney sonuçları, doldurulmuş çerçevelerin çatlak durumların farklı modlarda sınıflandırılabilirliğini göstermiştir. Kırılma modlarının böyle sınıflandırılması, doldurulmuş çerçevelerin depreme dayanıklı davranışının anlaşılmasını önemli ölçüde artırmış ve modelleme, analiz ve tasarımın daha iyi bir şekilde tamamlanmasına yol açmıştır.

Tabeshpour vd. [44], çeşitli binalarda bulunan dolgu duvarlarının olumsuz ve olumlu etkilerini araştırmıştır. Dolgu duvarların nerelere konumlandırılması üzerine incelemelerde bulunmuştur. Özellikle çerçeve ile dolgu arasında etkileşimi incelemiştir. Bu çalışmada; dolgu duvarların yapıya olumlu ve olumsuz etkilerinin olduğu vurgulanmıştır. Özellikle yapıda meydana gelebilecek burulmaların önlenmesi için dolgu duvar konumlarının önemi açıklanmıştır. Dolgu duvarlar ile betonarme elemanlar arasında gevrek göçmeler olduğunu belirtilmiştir.

Ju, Bai vd. [45] çalışmasında, çerçevelerin arasına doldurulan dolgu duvarlar çelik elemanlar ile ayrılarak yumuşak kat ve zayıf kat etkileri ortadan kaldırılmak istemişlerdir. Elde edilen sonuçlarda, dolgu duvarların yapıya olan etkisinin azaldığı gözlemlenmiştir.

Asteris vd. [46], duvar kalınlığının malzeme ve yapısal seviyedeki davranışına ilişkin belirsizlikler nedeniyle, bu unsurlar pratik yapısal analiz ve tasarım esnasında göz ardı edildiğini ileri sürmüştür. Çalışmasında, farklı mikro ve makro modellemeler kullanılarak tasarım için gerçekçi sonuçlar araştırılmıştır. Ayrıca yaptığı bu çalışmada mikro modelleme teknikleri üzerinde durmuştur.

Hermanns vd. [47], 11 Mayıs 2011 tarihinde Mw 5,1 olan Lorca depreminin hasarlarını incelemiştir. Çalışmada, 3 ila 8 kat yüksekliğinde yığma dolgu duvarları olan betonarme çerçeve binalarda gözlenen hatalar irdelenmiştir. Yapısal ve yapısal olmayan dolgu duvarlar, bazı durumlarda kolonların hasar almasına neden olan kuvvetleri meydana getirdiği görülmüştür. Yapısal çerçeveler ile dolgu duvarlar arasındaki etkileşimin önemi, doğrusal olmayan Sonlu Elemanlar Modelleri analiz edilmiştir. Elde edilen yük seviyeleri, eleman kapasiteleri karşılaştırılmıştır ve önemli ölçüde farklılıklar görülmüştür.

Jiang vd. [48], beşi duvar dolgu duvarı ve esnek bağlantılı, biri dolgu duvarlı ve rijit bağlantılı, biri dolgu duvarı olmayan yedi tam ölçekli, tek bölmeli ve tek katlı betonarme çerçeve numunesini test etmiştir. Test sonuçlarına göre, numunenin hasar davranışı, yanal rijitlik, yer değiştirme süneklik oranı, rijitlik değişimini ve enerji dağılımı karşılaştırılmıştır. Dolgu duvarların yapısal detaylarının betonarme çerçevelerinin sismik davranışı üzerindeki etkisi analiz edilmiştir. Çerçeveye sıkıca bağlı dolgu duvarının eklenmesiyle, çıplak betonarme çerçevesinin yanal rijitliği, sertliği ve enerji yayma kapasitesinin önemli ölçüde arttığı, yer değiştirme sünekliği oranı önemli ölçüde azaldığı bulunmuştur. Rijit bağlantılı dolgu duvarına kıyasla, esnek bağlantıya sahip dolgu duvarının sağladığı mukavemet, rijitlik ve enerji yutma kapasitesi önemli ölçüde düşmüştür, ancak çerçevenin yer değiştirme süneklik oranı artmıştır.

Totoev ve Harthy [49] çalışmasında, birbirine kenetlenen duvar olarak SIM adı verilen yeni bir harçsız duvarcılık sistemi sunulmuştur. Rijitliği ve hasara karşı hassasiyeti azaltılan ve tuğla yollarının bir duvarın düzleminde görel olarak kaymasına izin veren ve tuğlaların düzlem dışı göreceli hareketini önleyen özel bir birbirine geçme tuğla yöntemi kullanmıştır. Ayrıca çalışma SIM üzerine yapılan araştırmayı bugüne kadar gözden geçirmekte ve bu alandaki yeni araştırma fırsatlarını sunmuştur.

Qian ve Li [50], çok bölmeli 6 katlı betonarme çerçeve ile çok katlı çerçeveleri test etmiştir. Deneysel ve analitik sonuçlarda, aşamalı çökme tasarımında duvarlarının etkilerinin göz ardı edilmesinin, aşamalı çökmeye direnmek için doldurulmuş çerçevelerin rijitlik, mukavemet ve göçme modlarının tahmin edilmesinde önemli yanlışlığa neden olabileceğini göstermiştir. Düşük yükseklik/açıklık oranına sahip dolgu duvarları, ezmeden önce eşdeğer basınç çubuklarından ayrılması da hasar olarak nitelendirilebileceğini belirtmiştir.

Baghi vd. [51], yığma dolgu duvarların bir kolon hasarını betonarme çerçevenin davranışı üzerindeki etkisini deneysel olarak incelenmiştir. Elde edilen sonuçlar, dolgu duvarının betonarme çerçevesinin yük taşıma kapasitesini önemli ölçüde artırabildiğini ve dolayısıyla öngörülemeyen aşırı olaylar (yani yerel etki, patlama veya deprem) durumunda önemli bir rijitlik rezervi olarak hizmet edebileceğini göstermiştir. Sonunda, deney programı çerçevenin davranışını incelemek için bilgisayar ortamında modellemiştir. Bu modelin yük eğrisi iyi bir doğrulukla tahmin edebildiğini gösterdikten sonra, kirişlerin ve kolonların boyuna donatı oranı yüzdesinin dolgu betonarme çerçevesinin yük taşıma kapasitesi üzerindeki etkisini değerlendirmek için bir parametrik çalışma yapmıştır.

Koutas ve Bournas [52], deneysel olarak çalışmıştır. Altı yarım ölçekli, tek katlı duvarla doldurulmuş betonarme çerçevelerinin test etmiştir. Tüm örnekler düzlemsel olmayan monotonik yüklemeye tabi tutulmuştur. İki numune, herhangi bir uyarılma yapılmadan test edilmiştir, böylece referans örnekler olarak kullanılmıştır. Geri kalan dört numune önce karbon fiber ile güçlendirilerek test edilmiştir. İncelenen parametreler şunları içermektedir; dolgu duvar ile betonarme çevresindeki elemanları arasındaki bağlantı konfigürasyonu ve duvar kalınlığıdır. Yeniden uyarlanmış duvarların tüm hasarları düzlem dışı performansın çarpıcı şekilde iyileştirildiği, incelenen parametrelerin duvarın davranışının belirli yönlerinde önemli bir rol oynadığı bulunmuştur. Genel olarak, duvarlar betonarme çerçeveye bağlandığında çökme riski büyük ölçüde azaltılmış, böylece insan yapımı veya doğal felaket olaylarına maruz kalan duvarla doldurulmuş betonarme binalarının sünekliği arttırmıştır.

Akhoundi vd. [53], mevcut dolguların düzlem dışı davranışı hakkında daha iyi bir fikir edinmenin önemli olduğunu, böylece güçlendirme kılavuzları elde edilebileceğini belirtmiştir. Çalışma kapsamında, Portekizli binaların karakteristiği olan ve diğer Güney Avrupa ülkelerinde görülebilen kâgir dolgu çerçevelerin düzlem dışı deneysel davranışını analiz edilmiştir. Yapılan deneysel çalışmada, dolgu duvarlı çerçevelerin düzlem dışı davranışını etkileyen farklı parametreler, yani işçilik, açıklıkların varlığı ve önceki düzlem içi hasar dikkate alınmıştır. Deney programı, altı yarım ölçekli örneği test etmek için tasarlanmıştır. Düzlem dışı yükleme, depremlerin etkisini benzeştirmek için bir hava yastığı vasıtasıyla tuğla dolgularına eşit olarak uygulanmıştır.

Binici vd. [54] çalışmasında, altı tek bölmeli tek katlı yarı ölçekli betonarme çerçeveyi, düzlem içi ve düzlem dışı yük etkisi altında test etmiştir. Düzlem dışı etki, dolgu duvarlı betonarme çerçevelerde deformasyon kapasitesini önemli ölçüde azalttığı görülmüştür. Daha sonra, dolgu duvarları düzlem içi kaynaklı kuvvetlerden korumak ve düzlem dışında destek sağlamak amacıyla bir sistem önerilmiştir. Önerilen sistemin faydalı etkisini test etmek için üç ek test daha yapılmıştır. Önerilen sistem, düzlem dışı stabilitesini kaybetmeden düzlem içi deformasyon talebine ulaşmayı başarmıştır.

Peng vd. [55], dolgu duvarların düşey taşıyıcı elemanlara bağlandığı, bağlantı tipinin ve aralarında bulunan dolgu malzemesinin yapısal detaylarını incelemek üzere; içlerinde dolgu duvar bulunan dört farklı bağlantılı çerçeve örneği ve içerisinde dolgu duvar bulunmayan çıplak bir çerçeve örneği üzerinde yarı statik bir test gerçekleştirilmiştir. Dolgu duvarlı çerçevelerde, taşıyıcılar ve dolgu duvarlar arasında rijit bağlantı veya esnek bağlantı ile oluşturulmuştur. Test sonuçları, çerçeve içlerinde bulunana dolgu duvarların yanal rijitliği, sünekliğini ve enerji yutma kapasitesini arttırdığını göstermektedir. Ayrıca bağlantılar analiz edilmiş kendi aralarında mukayese edilmiştir. Sonlu elemanlar modelleri deneysel sonuçlarla valide edilmiştir.

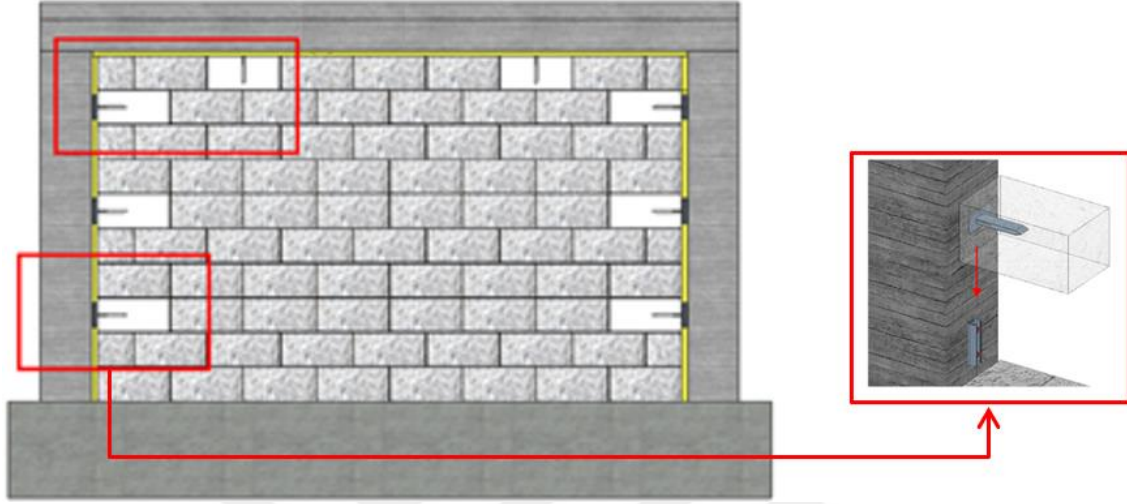
Yoon vd. [56], Japonya'daki tipik konut binalarında bölme betonarme sistemlerde kullanılan dolgu duvarları araştırmıştır. Deneyler, döngüsel yükleme altında, yapısal olmayan duvarları olan ve olmayan, geleneksel olarak inşa edilmiş 1/2,5 ölçekli, tek katlı, tek katlı betonarme çerçeve numuneleri kullanılarak gerçekleştirilmiştir. İzole edilmiş duvar ve geleneksel duvar, betonarme çerçevelerin mukavemetini önemli ölçüde artırmıştır. Ayrıca çalışma deneysel sonuçları benzeştirmek ve yapısal olmayan duvarların test numunelerinin genel performansı üzerindeki etkilerini açıklığa kavuşturmak için analitik modeller önerilmiştir.

## **2.1. Çalışmanın Amacı ve Kapsamı**

Dolgu duvarların yapılar üzerindeki olumsuz etkilerinin önlenmesi amacıyla literatürde çeşitli çalışmalar yapılmıştır [48, 55]. Aynı zamanda dolgu duvar-çerçeve arasında uygulanan esnek derz bağlantıları, çerçeve sünekliğinin artırılmasında ve tasarım/uygulama aşamalarının birbirleri ile olan uyumluluğunun elzem olması neticesinde gelişmeye devam eden bir yöntem olmuştur. Fakat dolgu duvar-çerçeve arasına bırakılan boşluklar, duvarların düzlem dışı davranışını etkilememektedir. Bu durum da çerçeve içlerinde bulunan duvarların



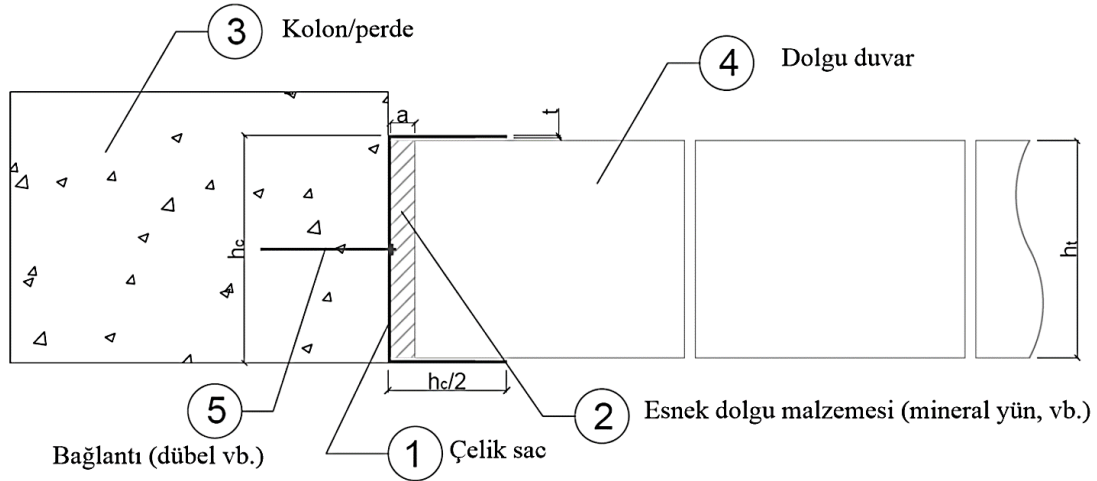
yatay yükler altında düzlem dışı devrilmelerine neden olabilmektedir. Kolonlarda, köşebent veya içi esnek malzeme ile doldurulmuş kayar konnektörlerin kullanıldığı çerçevelerin deneylerinden başarılı sonuçlar alındığı görülmüştür (Şekil 2.1) [54].



Şekil 2.1. Dolgu duvar bağlantı konumları ve detayı [54]

Ülkemizde ilk olarak 2018 TBDY’de, dolgu duvarların hasar görmesini engelleyen ve yapısal davranışta neden olabileceği olumsuzlukların önüne geçebilmek için “esnek derzli bağlantı” seçeneği getirilmiştir. 2018 TBDY dolgu duvarın çerçeve sistemden esnek derzlerle izole edilmesi durumunda, binada izin verilen görelî kat ötelemesi iki kat artmaktadır (2018 TBDY-4.34a, b). Bu durum inşaat sektöründe, esnek derz kullanılması ve yaygınlaşması ihtimalini artırmaktadır. Ayrıca yapıların daha büyük görelî kat ötelemelerine göre tasarlanması taşıyıcı eleman kesitlerinin küçülmesine olanak sağlayacaktır.

2018 TBDY’de, Bilgilendirme Eki 4C’de sunulan esnek bağlantı detayı örneği Şekil 2.2’de gösterilmiştir. Detayları görülen sistemde, dolgu duvar–kolon arasında bulunan esnek malzeme, düşey ve yatay taşıyıcılar uzunluğu boyunca devam etmektedir. Esnek malzemeler taşıyıcı elemanların iç yüzeylerine ankraj ile bağlanan C-profilin içlerine yerleştirilmektedir. Bu sistemle, yanal yüke maruz kalan yapılarda dolgu duvar ile kolon arasında etkileşim engellenmektedir. Taşıyıcı elemanların yüzeylerine ankre edilen C-profilinin flanşları ise dolgu duvarların düzlem dışı hareketini engellemektedir.



Şekil 2.2. 2018 TBDY’de önerilen dolgu duvar-kolon esnek bağlantı detayı [5]

Bu çalışmada, 2018 TBDY’de örnek olarak sunulan (Şekil 2.2) bağlantı detayının ve yenilikçi çözümler ile geliştirilen iki farklı bağlantı aparatının avantajları ve dezavantajları araştırılmıştır. Esnek derzli bağlantı sistemlerin özellikle 2018 TBDY’de yer alması, bu tarz bağlantıların önemini artırmaktadır. Çalışmada önerilen bağlantı aparatlarıyla, yatay yüke maruz betonarme çerçevelerin belirlenen sınırlar içerisinde dolgu duvar - çerçeve etkileşiminin engellenmesi, düşük maliyet ve işçilik süresiyle, uygulanması kolay esnek derzli bağlantı elemanlarının tasarlanması hedeflenmiştir.

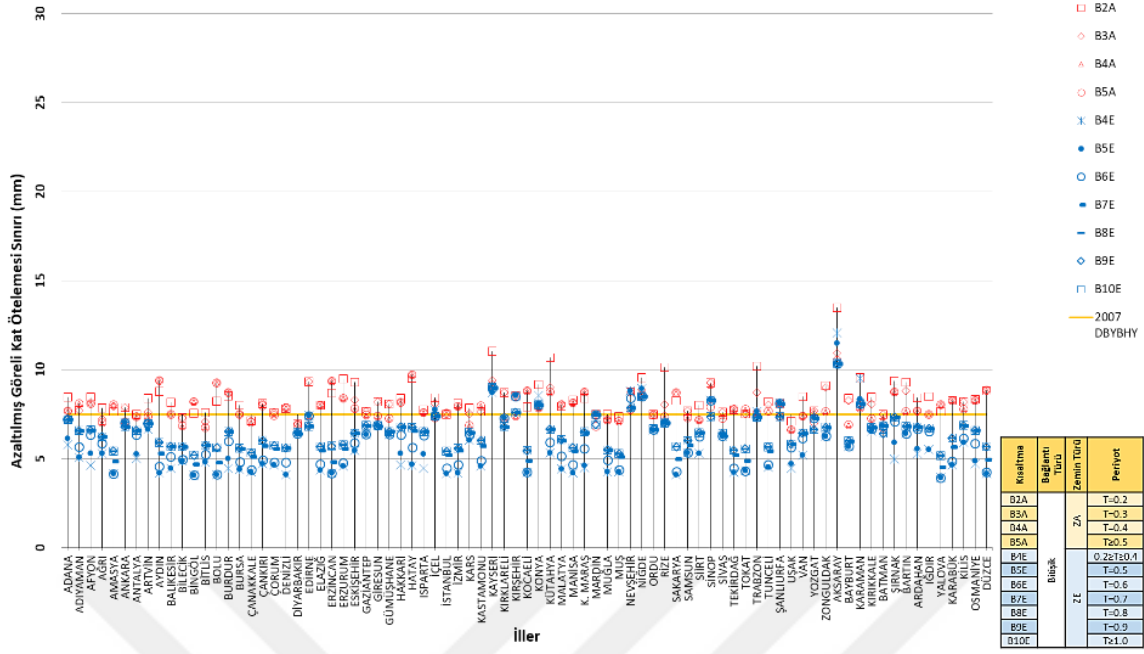
Çalışma kapsamında, tipik altı katlı yapının analizi gerçekleştirilmiştir. Farklı konumlarda, farklı deprem etkilerine maruz kalan yapının izin verilen en büyük öteleme sınırı için analizi ve tasarımı gerçekleştirilmiştir. Bu binadan, yapıyı temsil edecek çerçeve sistem seçilerek detaylandırılmıştır. Detaylandırılan çerçeve sistem; Erdem [6, 95] tarafından, kolon/kirişten oluşan betonarme boş çerçeve (BÇ), çerçeve içerisine bitişik olarak geleneksel yöntemlerle dolgu duvarların oluşturulduğu dolu çerçeve (GÇ), yönetmelik tarafından önerilen esnek derzli çerçeve (YÇ) şeklinde oluşturulmuş ve deneyleri yapılmıştır. Deneyleri yapılmış çerçeve sistemler ABAQUS yazılımında modellenmiş ve analiz edilmiştir. Elde edilen analitik sonuçlar ile deneysel sonuçlar doğrulanmıştır. Analitik çalışma ile deneysel çalışma arasında tutarlılığın sağlanmasıyla önerilen bağlantı aparatlarının kullanıldığı D4 ve D5 çerçeveleri modellenerek analizleri gerçekleştirilmiştir. Bulgular ile tüm modeller üzerinde mukayeseler yapılmış, avantajlar ve dezavantajlar tartışılmıştır.

### 3. BETONARME ÇERÇEVENİN TASARLANMASI

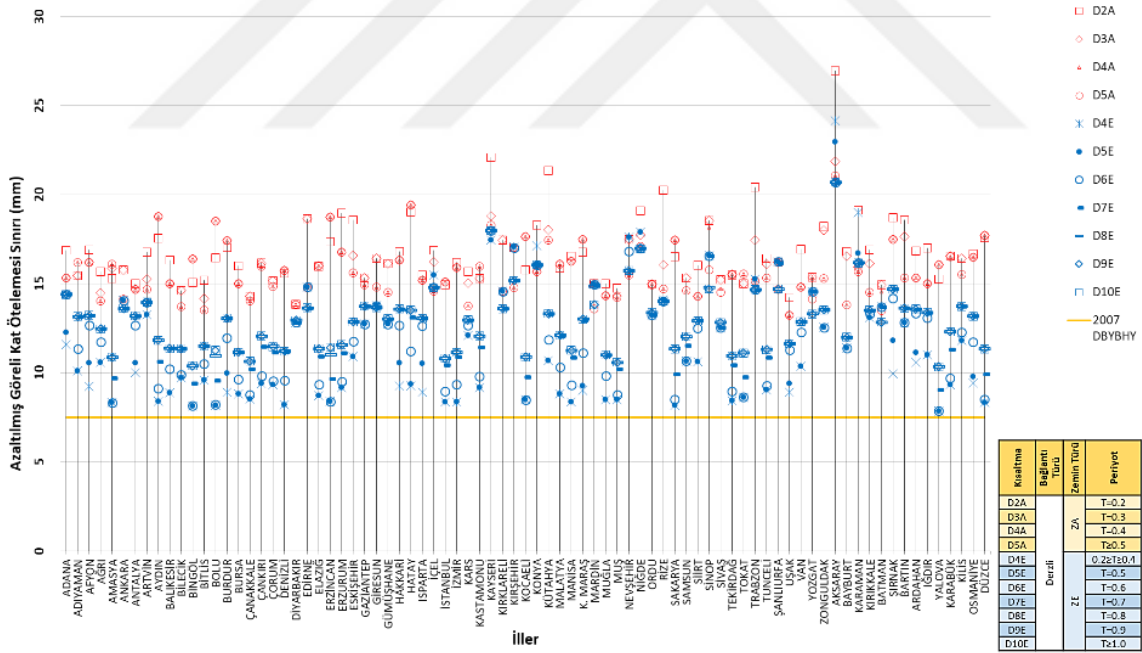
#### 3.1. Sismik Hesaplar

Dolgu duvarlar üzerinde farklı çalışmalar bulunmaktadır [57, 58]. Üzerinde çalışılacak çerçeve sistemin belirlenmesinde literatürden yararlanılmıştır. Bu çerçeve altı katlı tipik bir betonarme binanın en alt katından elde edilmiştir (Şekil 3.5a). Çerçeve sistemin açıklık ve yükseklikleri, Azak vd.'nin [59] binalar üzerinde yaptığı istatistiksel çalışmadan elde ettikleri ortalama kat yüksekliği ve açıklıktan faydalanılarak seçilmiştir. Çerçeve sistemin analizleri 2018 TBDY'ye göre gerçekleştirilmiştir. Numune kirişlerdeki yayılı yük ve kolonlarının eksenel yükleri, modellenen yapının mevcut yüklerinden alınmıştır.

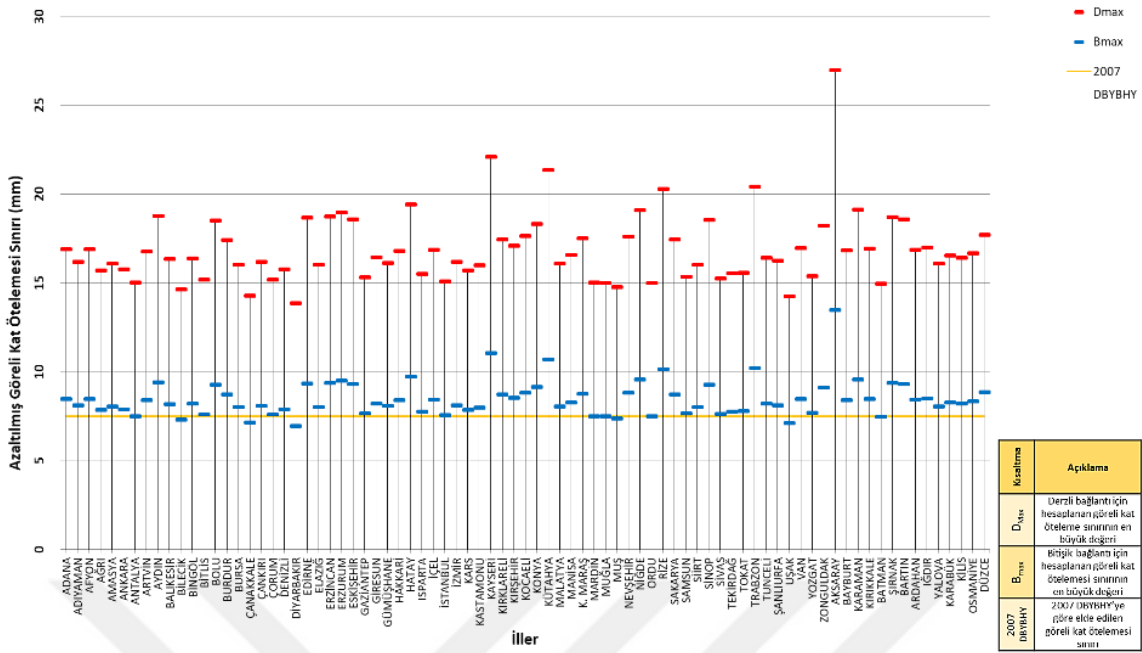
Çerçeve sistemin tasarlanmasında en önemli konulardan birisi dolgu duvar imalatının esnek derzli veya geleneksel olarak yapılabilmesi olmuştur. 2018 TBDY'de dolgu duvarların bu imalatları seçenek olarak sunulmaktadır. Dolayısıyla çerçeve sistemlerin dolgu duvarlı olup olmamasına göre hesaplanacak görelî kat öteleme sınırları da değişkenlik göstermektedir (Eş 1.1, 1.2). Ayrıca 2018'de Türkiye Deprem Tehlike Haritası'nın (TDTH) [60] güncellenmesiyle görelî kat öteleme sınırları, yapının bulunduğu konuma, zemin sınıfına ve hakim titreşim periyoduna göre de değişkenlik göstermektedir. Erdem vd. [61], dolgu duvar bağlantı türü ve zemin sınıfına bağlı olarak değişen görelî kat öteleme sınırının belirlenmesinde, özellikli olarak seçilen üç farklı merkez ve uç zemin türleri için incelemelerde bulunmuştur. Erdem ve Bikçe [62] yaptıkları diğer bir çalışmada ise; her bir il merkezindeki konumlar için,  $Z_A$  ve  $Z_E$  yerel zemin sınıfları, 0,2–1,0 sn doğal titreşim periyodu aralığı ve dolgu duvar – çerçeve bağlantısının esnek derzli veya bitişik olma durumu değişken olarak kabul ederek, bu değişkenlere göre etkin görelî kat öteleme sınırlarını belirlemişlerdir. En büyük etkin görelî kat ötelemeleri çerçeve- dolgu duvar bağlantısı; esnek derzsiz yani bitişik olma durumu için Şekil 3.1'de, derzli için Şekil 3.2'de ve her bir il için elde edilen en büyük etkin görelî kat ötelemeleri Şekil 3.3'te sunulmuştur. Modelleri oluşturulacak çerçeve sistemin Türkiye'deki her bölgeyi temsil etmesi amacıyla, 81 il için izin verilen en büyük görelî kat ötelemeleri dikkate alınmıştır.



Şekil 3.1. Çerçeve- dolgu duvar bağlantısı bitişik (esnek derzsiz) için en büyük etkin görelî kat ötelemeleri [62]



Şekil 3.2. Çerçeve- dolgu duvar bağlantısı esnek derzli için en büyük etkin görelî kat ötelemeleri [62]



Şekil 3.3. Her bir il için elde edilen en büyük etkin görelî kat ötelemeleri [62]

Yapılan değerlendirmelere göre en fazla görelî kat ötelemesine izin verilen şehrin 26,95 mm ile Aksaray (Şekil 3.3) ve ZA zemin türünde (Şekil 3.2) olduğu anlaşılmaktadır. Bu değer güvenli tarafta kalmak amacıyla 35 mm olarak alınmıştır. Aksaray merkezinde yapılacak görelî kat ötelemeleri diğer illeri de kapsayacağı düşünüldüğünden, seçilen yapının Aksaray'da ve ZA zemin türünde olduğu kabul edilmiştir (Şekil 3.4).

Yerel Zemin Sınıfı	Zemin Cinsi	Üst 30 metrede ortalama		
		$(V_s)_{30}$ [m/s]	$(N_{60})_{30}$ [darbe /30 cm]	$(c_u)_{30}$ [kPa]
ZA	Sağlam, sert kayalar	> 1500	–	–
ZB	Az ayrılmış, orta sağlam kayalar	760 – 1500	–	–
ZC	Çok sıkı kum, çakıl ve sert kil tabakaları veya ayrılmış, çok çatlaklı zayıf kayalar	360 – 760	> 50	> 250
ZD	Orta sıkı – sıkı kum, çakıl veya çok katı kil tabakaları	180 – 360	15 – 50	70 – 250
ZE	Gevşek kum, çakıl veya yumuşak – katı kil tabakaları veya $PI > 20$ ve $w > \% 40$ koşullarını sağlayan toplamda 3 metreden daha kalın yumuşak kil tabakası ( $c_u < 25$ kPa) içeren profiller	< 180	< 15	< 70
ZF	Sahaya özel araştırmaya ve değerlendirme gerektiren zeminler: 1) Deprem etkisi altında çökmeye ve potansiyel göçme riskine sahip zeminler (sıvılaştırılabilir zeminler, yüksek derecede hassas killer, göçebilir zayıf çimentolu zeminler vb.), 2) Toplam kalınlığı 3 metreden fazla turba ve/veya organik içeriği yüksek killer, 3) Toplam kalınlığı 8 metreden fazla olan yüksek plastisiteli ( $PI > 50$ ) killer, 4) Çok kalın (> 35 m) yumuşak veya orta katı killer.			

Şekil 3.4. Analiz için zemin sınıfının seçilmesi [60]

Öncelikle Aksaray şehir merkezinde amaca en uygun yer seçilerek, <https://tdth.afad.gov.tr> [60] adresinden gerekli değerlerin raporu alınmıştır (Çizelge 3.1).

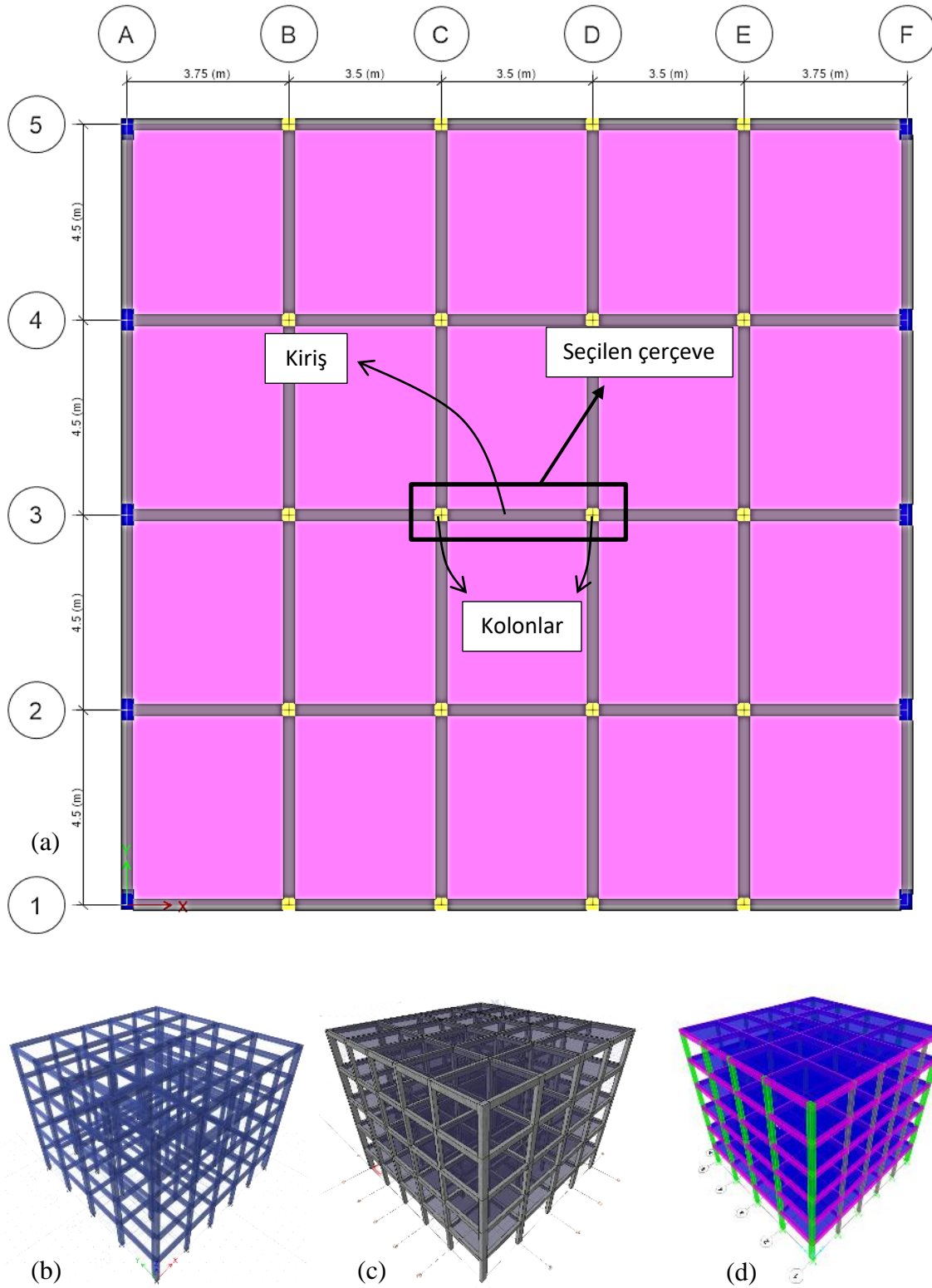
Çizelge 3.1. Rapor çıktıları [60]

		Çıktılar
$S_s$	0,342	
$S_1$	0,083	$S_{DS} = S_s \times F_s = 0,342 \times 0,800 = 0,274$
PGA	0,147	
PGV	8,294	$S_{D1} = S_1 \times F_1 = 0,803 \times 0,800 = 0,066$

Çalışmada; dolgu duvar – çerçeve esnek derzli bağlantılı elemanlarının performansının değerlendirilecek olmasının yanı sıra, güncel yönetmelikte sunulan betonarme tasarımı için minimum kesit ve malzeme şartları dikkate alınarak asgari esnek bağlantı detayları incelenmektedir. Söz konusu özgün kesitlerin yönetmeliğin ilgili koşullarını sağlayıp/sağlamadığı ve yöntemin performansı da değerlendirilmiş olacaktır.

### 3.2. Yapısal Analizler

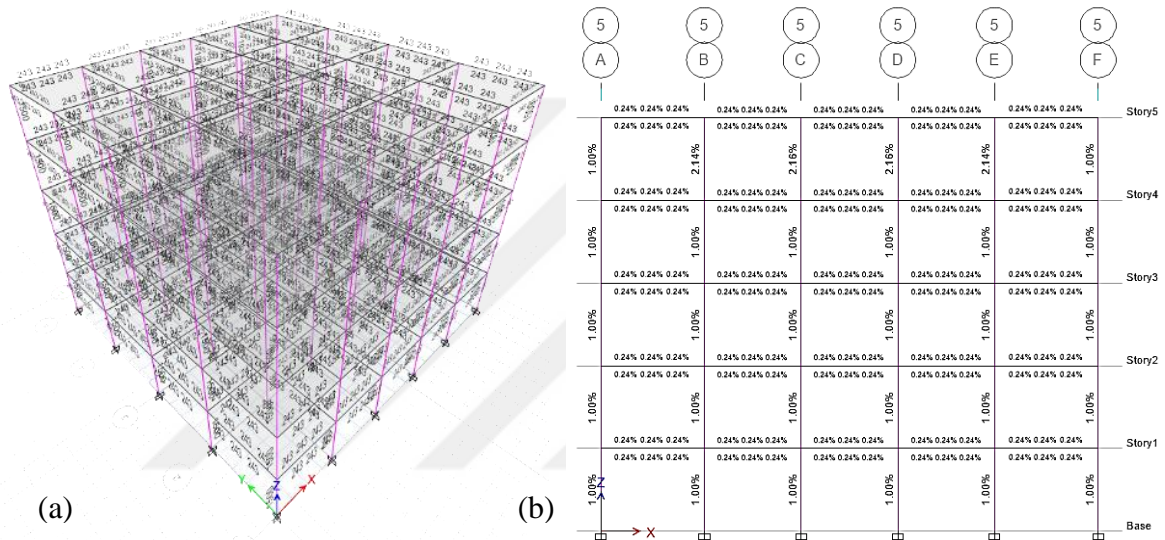
Çalışma güncel deprem yönetmeliği ile yürürlüğe giren bir yöntemin araştırılması kapsamındadır. Bu nedenle incelenecek betonarme yapıyı oluşturan çerçeve boyutları 2018 TB DY'yi sağlayan minimum tasarım kriterleri dikkate alınmıştır. Ayrıca farklı standartlardaki uyumda göz önünde tutulmuştur [63, 64]. Böylece esnek bağlantı yöntemi için asgari boyutlar belirlenmiştir. Analiz için ETABS (Şekil 3.5b), İdeCAD (Şekil 3.5c) ve SAP2000 (Şekil 3.5d) programları ayrı ayrı kullanılmıştır [32, 65, 66]. Seçilen yapıyı oluşturan değerler; kirişler  $25 \times 40 \text{ cm}^2$ , kolonlar  $30 \times 30 \text{ cm}^2$  ve  $30 \times 50 \text{ cm}^2$ , kat yüksekliği 3 m, C25 ve B420C şeklindedir. Modellenen yapının plan ve üç boyutlu görünümü Şekil 3.5'te yer almaktadır.



Şekil 3.5. Yapının (a) açıklıkları, (b) ETABS modeli, (c) İdeCAD model ve (d) SAP2000 modeli

ETABS analizlerinde modellenen yapının periyotları;  $T_x=0,785726$  ve  $T_y=0,719530$  olarak elde edilmiştir. Yapının deprem yüklemeleri tanımlanmış ve analiz neticesinde, kesit tesirleri

elde edilerek tasarımı yapılmıştır. Kesit tesirleri 2018 TBDY-4.5.8’de belirtilen etkin kesit rijitlikleri, TS500 [67] ve 2018 TBDY-4.4’te tanımlanan yük birleşimleri kullanılarak elde edilmiştir. Yapıda oluşacak ötelenmeleri artırmak amacıyla, en büyük deprem yükü ( $S_{ac}=S_{DS}$ ) Kocaeli tasarım spektral ivme katsayıları kullanılarak analiz edilerek, yapacağı en büyük görel kat ötelenmeleri elde edilmiştir. Deprem hesapları için 2018 TBDY’nin öngördüğü şekilde yük kombinasyonları oluşturulmuştur. Kesit tasarımları kombinasyonların mutlak değer olarak maksimumuna göre yapılmıştır (Şekil 3.6).



Şekil 3.6. Model tasarımının (a) üç boyutlu ve (b) düzlemsel boy kesit görüntüsü

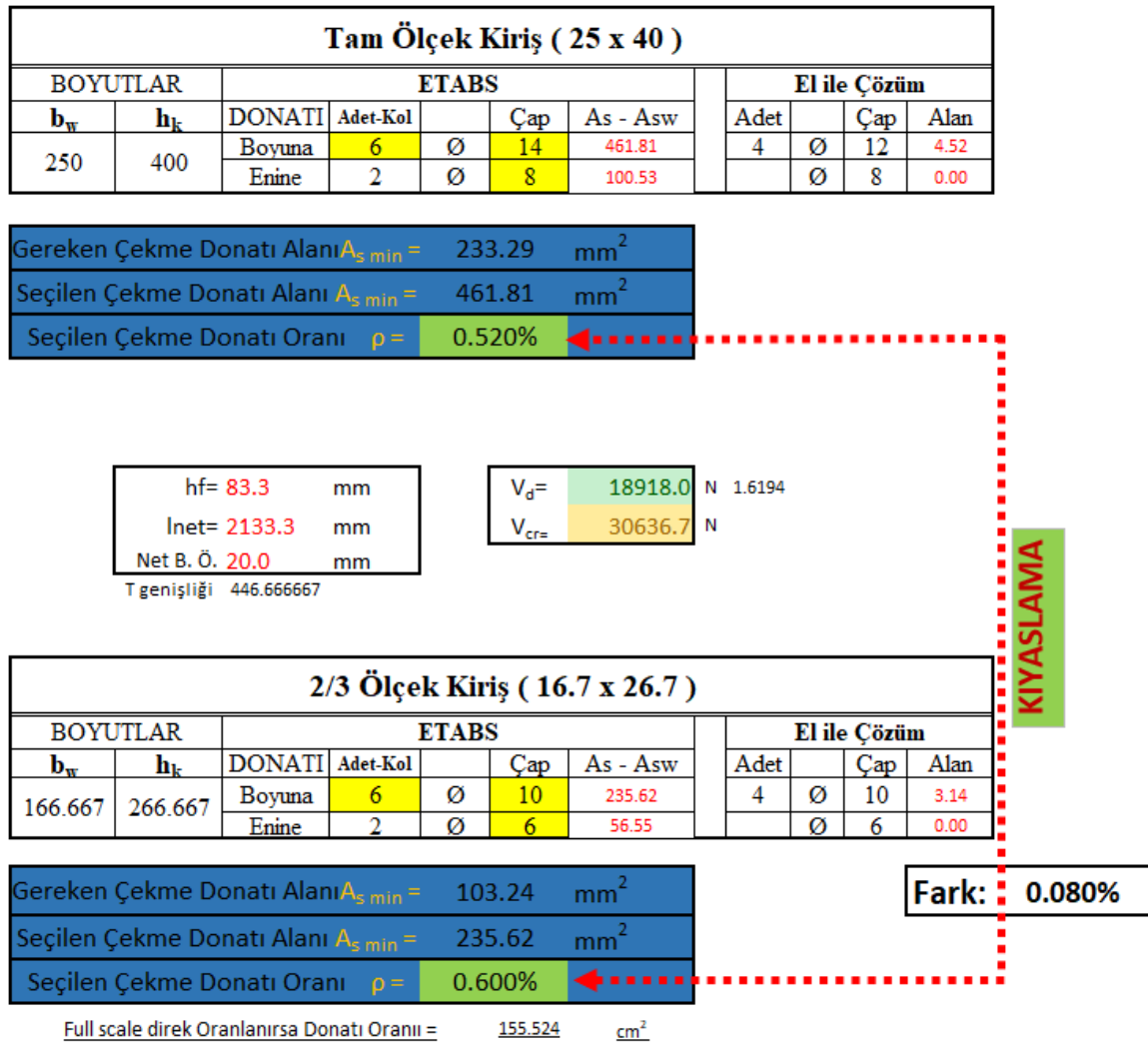
ETABS analizinden elde edilen sonuçlara göre donatı detaylandırması TS500 ve 2018 TBDY’ye göre yapılmıştır. Kolon, kiriş ve temel donatı miktarları kontrol amacıyla aynı model, ideCAD ve Sta4CAD [68] programları ile de mukayese edilmiştir. ETABS donatı tasarımları ve elle hesap kontroller neticesinde donatı miktar ve tasarımları netleştirilmiştir.

### 3.3. Betonarme Çerçevenin Ölçeklendirilmesi ve Detaylandırılması

Çerçeve sistemin (Şekil 3.5) 1/1 ölçekli (tam ölçekli) boyutlardan, donatı alanlarından, 2/3 ölçeğine dönüştürülmesi gerekmektedir. Çünkü; deney düzeneğinin 1/1 ölçeğinden 2/3 ölçeğine küçültülmesi, zaman ve maliyet tasarrufu sağlarken sağlıklı sonuçlar alınmasını etkilemeyecek olması bu yönde bir karar verilmesini sağlamıştır. Bu karar verilirken öncelikle en doğru ölçeklemeye ulaşabilmek için Excel’de bir program oluşturulmuştur [69]. Beton agregası, donatı vb. değerlerin dikkate alınması ile çerçeve sistem kesit ve açıklıkları



2/3 oranında küçültülmesinin sağlıklı olabileceğine karar verilmiştir. 1/1 ölçekli çerçeve ile 2/3 ölçekli çerçeve içerisindeki donatı oranları oransal olarak değişmeyeceğinden dolayı, her iki çerçeve için donatı oranları sabit tutulmuştur. Sabit donatı oranlarına bağlı olarak; kolon ve kirişlerdeki farklı denemeler sonucunda ulaşılan en uygun donatı sayısı ve çapı Şekil 3.7 ve Şekil 3.8’de sırasıyla gösterilmiştir. Kolon ve kirişler, belirli standart ve yönetmelikler [5, 63] dikkate alınarak aslına uygun şekilde detaylandırılmıştır (Şekil 3.9, 10).



Şekil 3.7. Excel programında kiriş için 1/1 ve 2/3 ölçeğinde boyut ve donatı alanları [69]

TAM ÖLÇEK KOLON ( 300 x 300 )									
BOYUTLAR		ETABS					El ile Çözüm		
En	Boy	DONATI	Adet-Kol		Çap	$A_s - A_{sv}$	Adet	Çap	Alan
300	300	Boyuna	8	Ø	16	1608.50	8	Ø 14	12.32
		Enine	3	Ø	8	150.80		Ø 8	0.00

Gereken Donatı Alanı	$A_{s \min} = 900 \text{ mm}^2$
Seçilen Donatı Alanı	$A_{s \min} = 1608.50 \text{ mm}^2$
Seçilen Donatı Oranı	$\rho = 1.787\%$

0.666666666666667 Ölçek Kolon ( 20 x 20 )									
BOYUTLAR		ETABS					El ile Çözüm		
En	Boy	DONATI	Adet-Kol		Çap	$A_s - A_{sv}$	Adet	Çap	Alan
200	200	Boyuna	8	Ø	10	628.32	8	Ø 10	6.28
		Enine	3	Ø	6	84.82		Ø 6	0.00

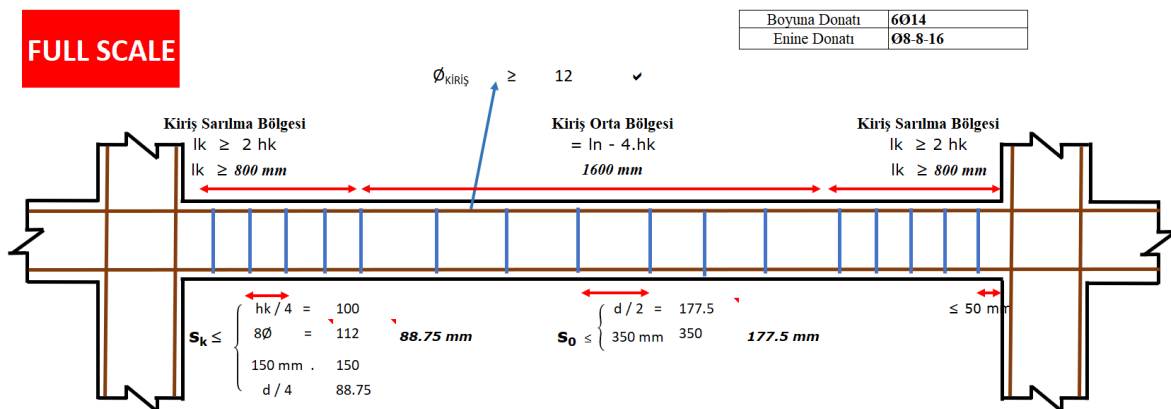
  

Gereken Donatı Alanı	$A_{s \min} = 400 \text{ mm}^2$
Seçilen Donatı Alanı	$A_{s \min} = 628.32 \text{ mm}^2$
Seçilen Donatı Oranı	$\rho = 1.571\%$

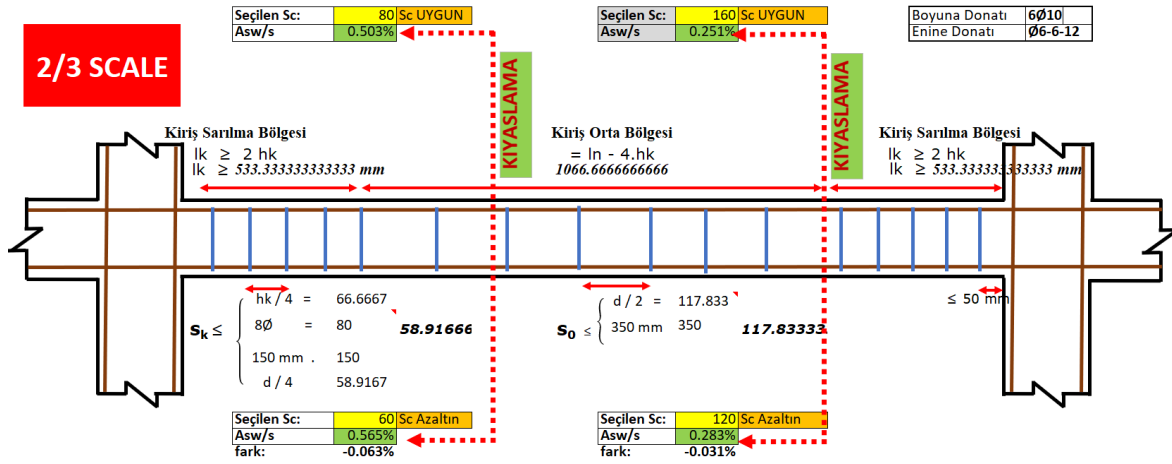
KIYASLAMA

0.216%

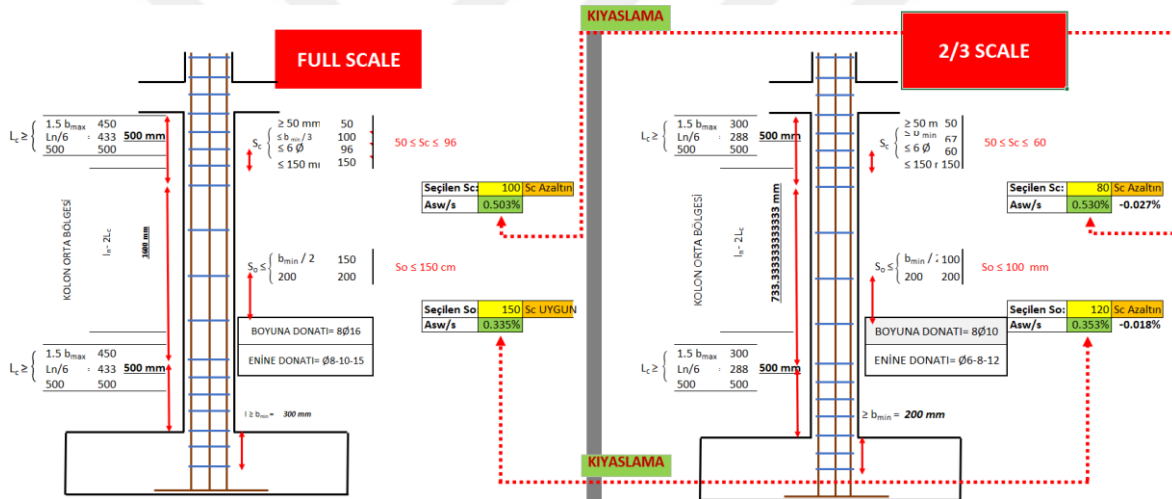
Şekil 3.8. Excel programında kolon için 1/1 ve 2/3 ölçeğinde boyut ve donatı alanları [69]



Şekil 3.9. Excel programında kiriş için 1/1 ve 2/3 ölçeğinde boyut ve donatı yerleşimi [69]

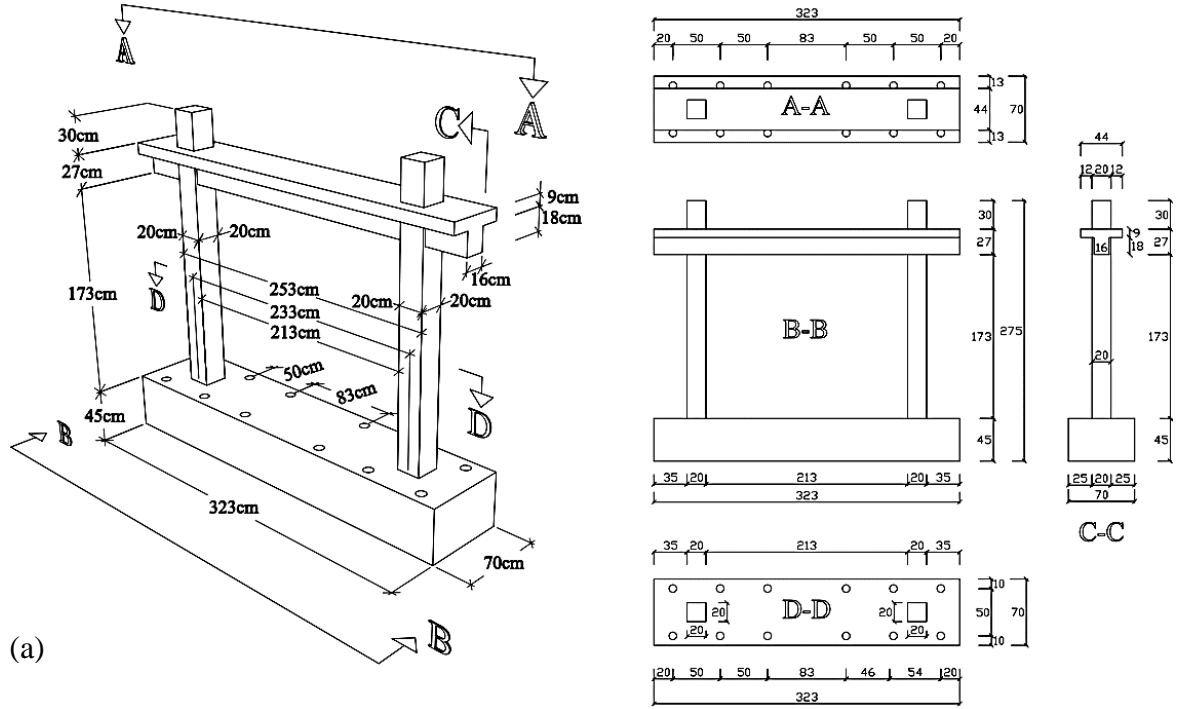


Şekil 3.9. (Devamı) Excel programında kiriş için 1/1 ve 2/3 ölçeğinde boyut ve donatı yerleşimi

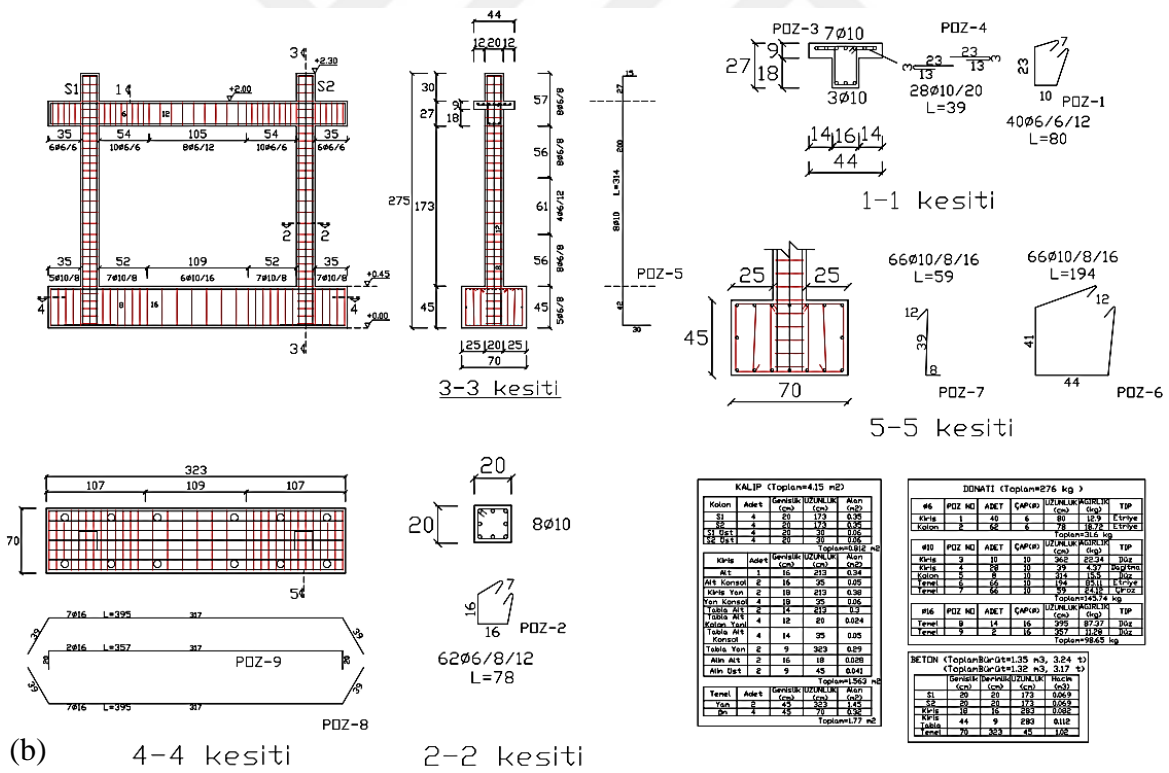


Şekil 3.10. Excel programında kolon için 1/1 ve 2/3 ölçeğinde boyut ve donatı yerleşimi [69]

Excel'de oluşturulan program ile; 2/3 ölçekli yapı ve 1/1 ölçekli yapının mukayesesi kolaylıkla gerçekleştirilmiştir. Aynı zamanda bu program ile, hem 1/1 ölçek için hem de 2/3 ölçek için 2018 TBDY'de öngörülen donatı detaylandırılmasındaki detaylara dikkat edilmiştir. Bu detaylar ölçekli çerçevenin donatılandırılmasını kolaylaştırmış ve ileride yapılabilecek başka deneyler için kullanılabilir arayüz geliştirilmiştir. 2/3 ölçekli çerçevedeki kesit boyutları ve kesitleri Şekil 3.11a'da gösterilmiştir. Çerçeve donatıları ise kiriş, kolon ve temel olmak üzere ayrı ayrı Şekil 3.11b'de sunulmuştur.



(a)



(b)

Şekil 3.11. Deneylerde kullanılacak betonarme çerçeve, (a) boyutları, (b) donatı tasarımları

Deney çerçevesinin kiriş ve kolonlarında; etriyeler S220 Ø6, boyuna donatılar B420C Ø10 olarak elde edilmiştir. Rijit temel için B420C Ø16 donatı kullanılmıştır. Uygulama kolaylığı açısından kiriş boyuna donatılarında pilye kullanılmamıştır.

## 4. MODELLER ve BAĞLANTI APARATLARI

TÜBİTAK 1001 118M317 No'lu proje [95] kapsamında deneyleri gerçekleştirilen, dolgu duvarların bulunmadığı çerçeve (BÇ), geleneksel dolgu duvar ile oluşturulmuş çerçeve (GÇ) ve 2018 TBDY tarafından önerilen esnek derzli çerçevelerin (YÇ) analitik modelleri ABAQUS yazılımında hazırlanmıştır. Bu çerçevelere ek olarak bu çalışmada D4 ve D5 olarak adlandırılan iki farklı bağlantı aparatlı çerçevenin analitik incelenmesi gerçekleştirilmiştir. Modellenen çerçevelerin isimlendirilmesi aşağıda sunulmuştur (Çizelge 4.1).

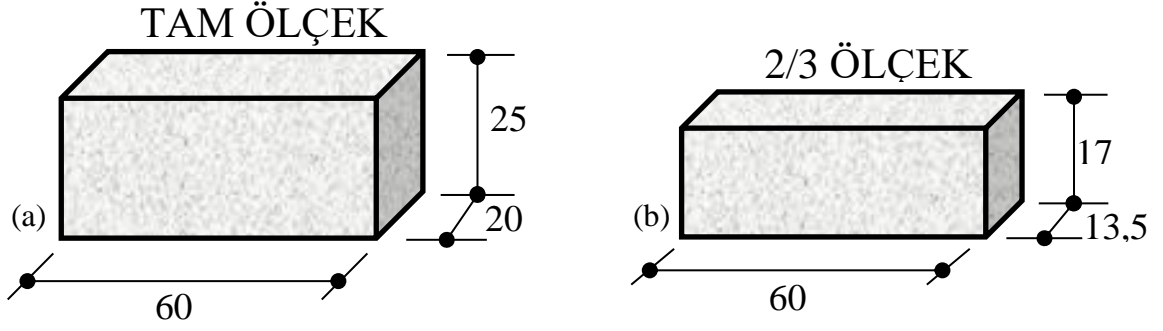
Çizelge 4.1. Çerçeve bilgileri ve kısaltmaları

Çerçeve Adı	Duvar Bilgisi
BÇ	Dolgu duvarların bulunmadığı çerçeve (boş çerçeve)
GÇ	Geleneksel dolgu duvarlı çerçeve
YÇ	TBDY2018'de önerilen boşluk detayına göre hazırlanmış çerçeve
D4	Önerilen bağlantı elemanlı çerçeve
D5	Önerilen bağlantı elemanlı çerçeve

### 4.1. BÇ Modeli

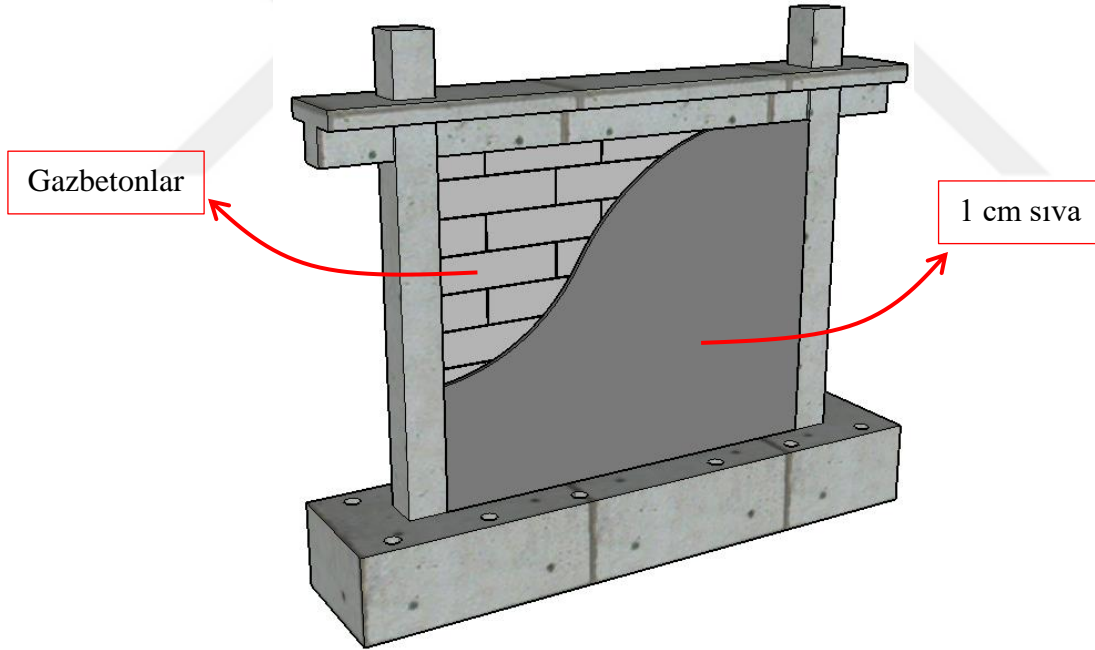
BÇ, dolgu duvarların bulunmadığı kolon, kiriş ve temelden oluşan çerçeve sistemdir. Yapısal analizlerde elde edildiği gibi, deney çerçevesinin kiriş ve kolonlarında; etriyeler S220 Ø6, boyuna donatılar B420C Ø10 olarak elde edilmiştir. Rijit temel için B420C Ø16 donatı kullanılmıştır. Beton sınıfı C25 olarak tasarlanmıştır. Bu numune çerçevelerin karşılaştırılmasında şahit olarak kullanılmıştır. Bu çerçeve; 45 cm temel yüksekliğine, 200 cm kat yüksekliğine ve 213 cm temiz açıklığa sahiptir (Şekil 4.1). Kiriş genişliği 16 cm, tabla genişliği 44 cm'dir.





Şekil 4.2. Gazbeton (a) mevcut boyutları, (b) ölçeklenen ve üretilen boyutları

Gazbetonlar aslına uygun şekilde modele yansıtılmıştır. Gazbetonlar arası derzler 7 mm olarak modellenmiştir. Çerçevenin her iki yüzüne 1 cm sıva uygulanmıştır. Oluşturulan model Şekil 4.3'te sunulmuştur.



Şekil 4.3. GÇ modeli detayları

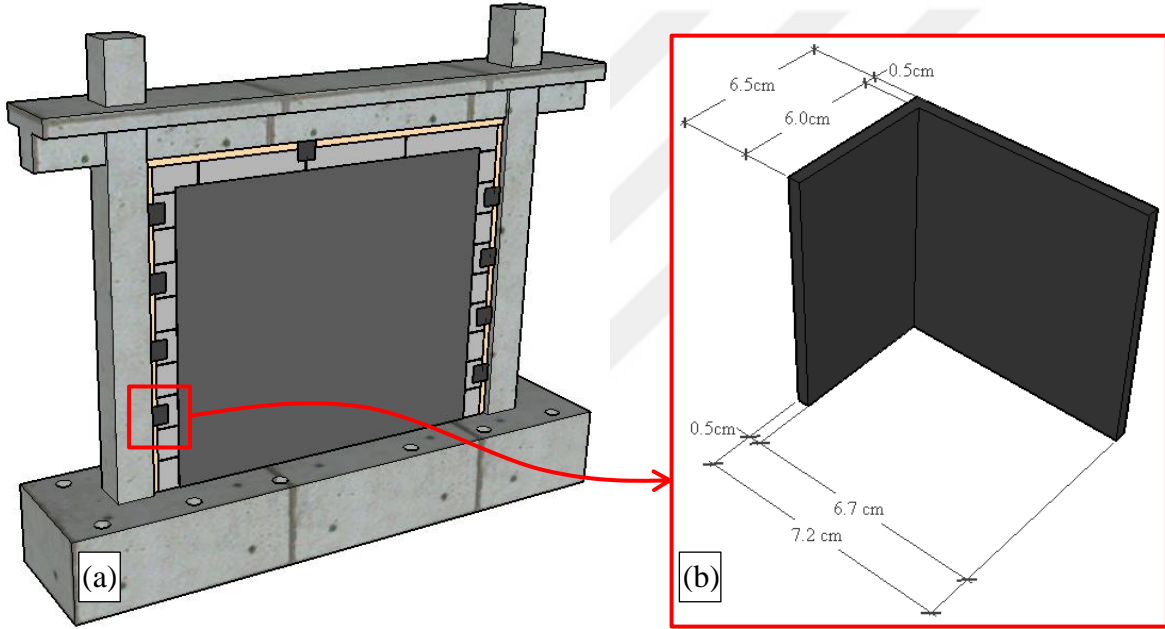
Bu çerçeve geleneksel dolgu duvar davranışını yansıttığı için şahit olarak kullanılan diğer modeldir. Analiz sonuçlarının karşılaştırılmasında çerçeve içerisine oluşturulan dolgu duvarın ve duvarlar üzerine oluşturulan sıvanın etkisi bu model ile gözlenebilecektir.





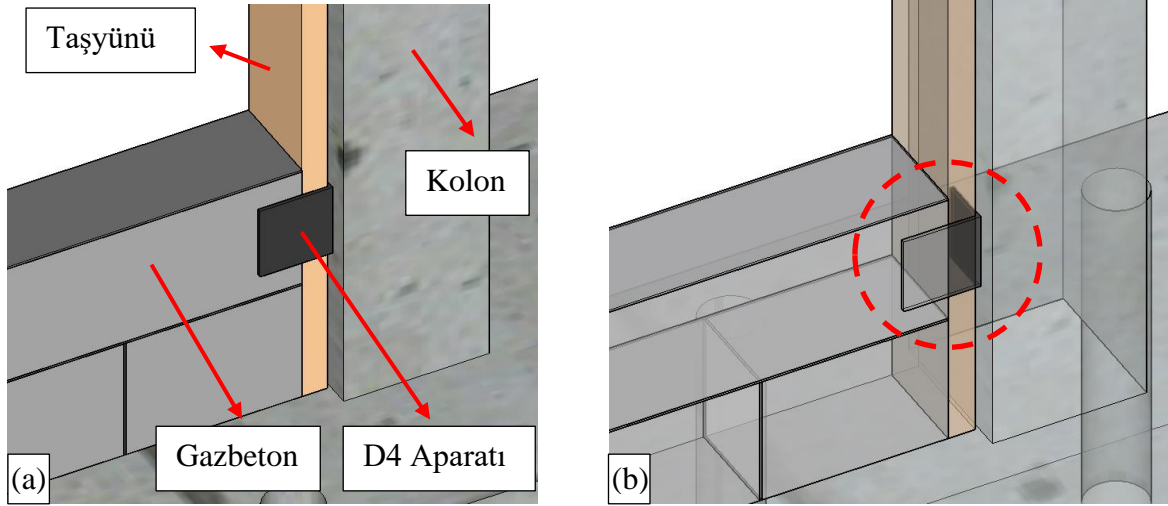
#### 4.4. D4 Modeli

Analitik olarak incelenecek, önerilen ilk bağlantı detaylı çerçeve D4'tür. L profil şeklinde oluşturulan D4 bağlantı aparatı kolon yüzeyine yapıştırılarak veya ankrajlanarak çerçeveye dahil edilebileceği düşünülmektedir. Dolgu duvarın düzlem dışı yıkılmasında, devrilme momentin en az olduğu temel yüzeyinde oluşturulan dolgu duvarlarda bağlantı aparatı konumlandırılmamıştır. Bu duvarların üzerinde kalan dolgu duvarlarda birer sıra atlanarak çerçeveye dahil edilmiştir (Şekil 4.5a). Yüksekliği 10 cm olarak düşünülen bağlantı aparatının detayları Şekil 4.5b'de sunulmuştur.



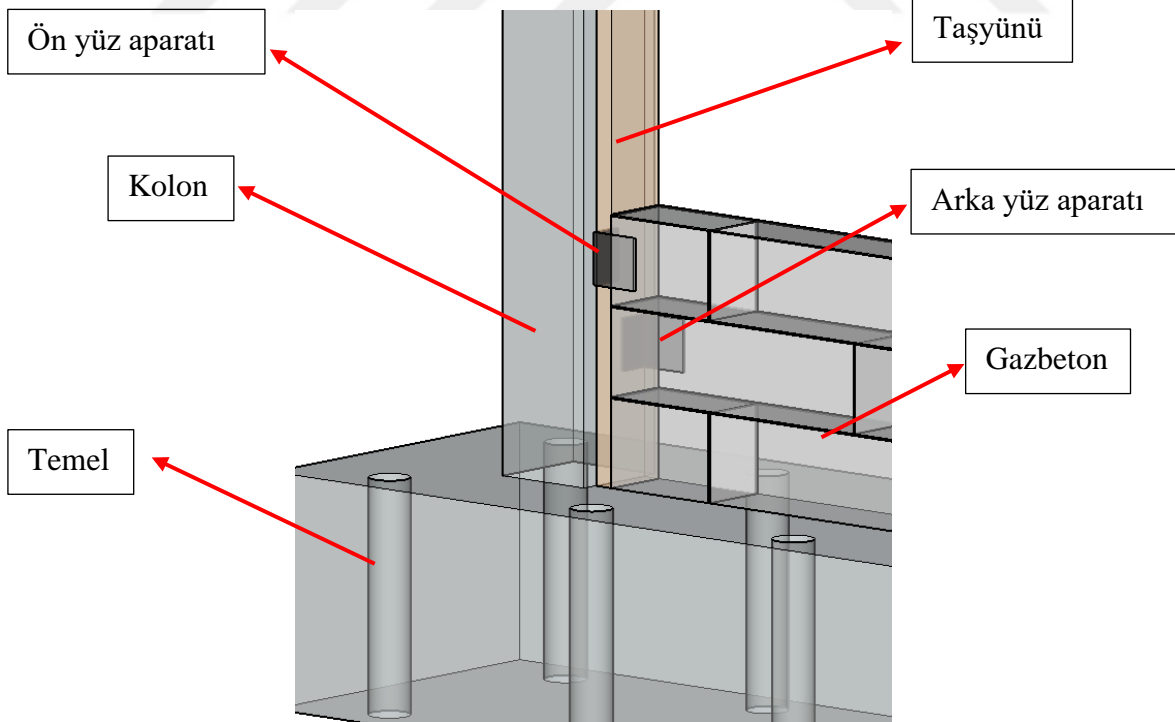
Şekil 4.5. D4 (a) çerçeve, (b) bağlantı detayı

L profilin 6,5 cm genişliğinde ve 7,2 cm uzunluğunda tasarlanmıştır. Profilde tüm yükün tek kulağa binmesinden dolayı et kalınlığı C profile göre artırılarak 0,5 cm seçilmiştir. Köşe noktası bükümü  $90^\circ$  olması düşünülmüştür. C profil detayında olduğu gibi dolgu duvar ile L profilin yan yüzeyinde 2,5 mm boşluk bırakılmıştır. Bu boşluk ile dolgu duvarın serbest hareketi sağlanmıştır. Bağlantı detayının yerleştirilmesindeki katı ve şeffaf görünüm Şekil 4.6a, b'de sırasıyla gösterilmiştir.



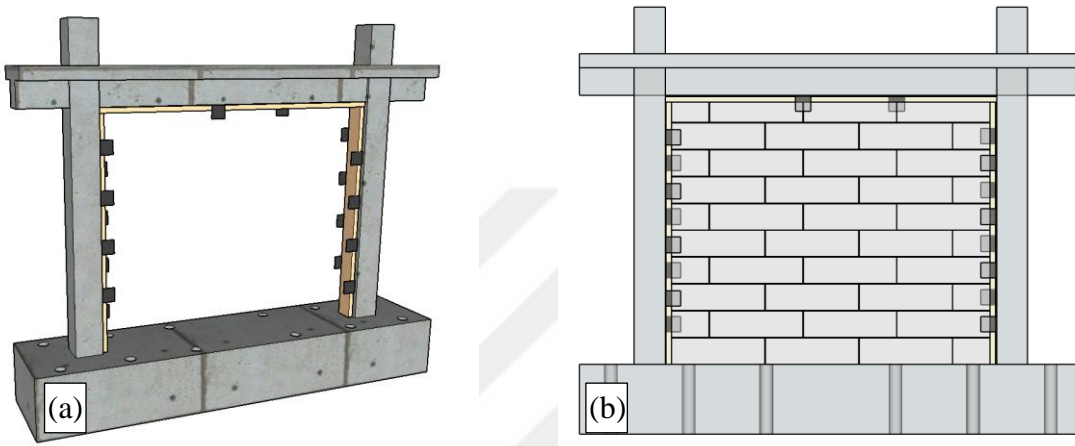
Şekil 4.6. D4 bağlantı aparatı yerleşimi (a) katı, (b) şeffaf görünüm

Bağlantı aparatları en alt gazbetonun üzerinden itibaren konumlandırılmıştır. Taş yünleri ise kolon ve kiriş yüzeyi boyunca devam etmektedir. Dolgu duvarın düzlem dışı devrilmesinin engellenmesi için L profiller şaşırtmalı olarak çerçeveye dahil edilmiştir. Her dizi gazbeton için ön ve arka yüze olmak üzere uygulanmıştır (Şekil 4.7).



Şekil 4.7. D4 bağlantı aparatlarının yerleştirilmesi

Kiriş altındaki gazbetonlar için, bağlantı aparatları derzlere denk gelecek şekilde önce ve arka yüzde oluşturulmuştur. Kiriş altındaki bağlantı aparatlarının altına 3,5 cm taş yünü eklenerek olası hasarların engellenmesi ön görülmüştür. D4 bağlantı aparatının kolon ve kirişlerdeki konumu Şekil 4.8a'da, çerçevenin ön ve arka bölgesindeki bağlantı aparatları Şekil 4.8b'de gösterilmiştir. Çerçeve oluşturulan sıva ile bağlantı aparatı arasında 3,5 cm boşluk bırakılmıştır.

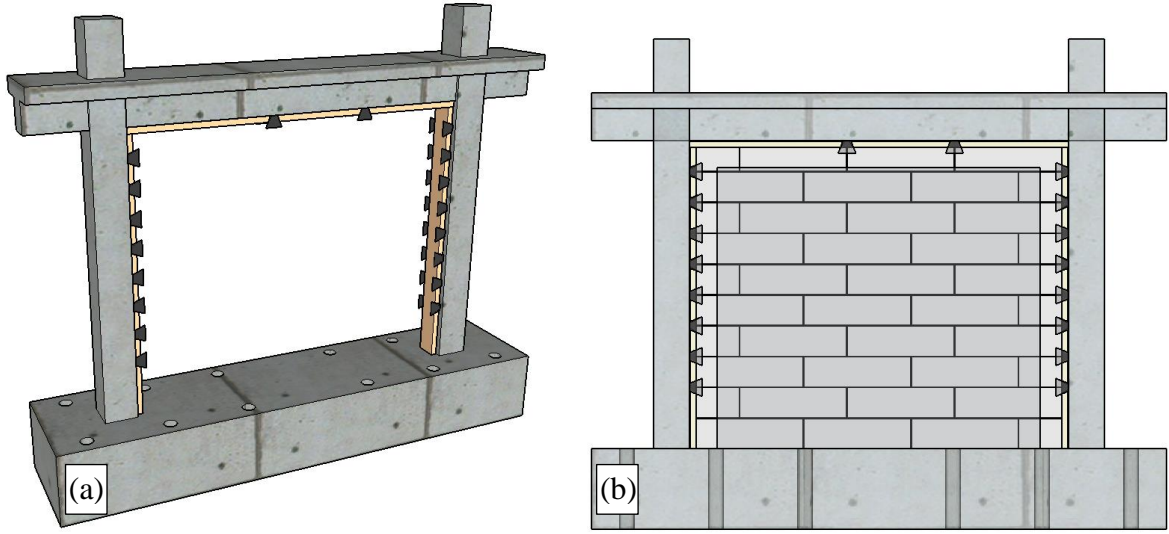


Şekil 4.8. D4 bağlantı aparatının (a) kolon ve kirişteki konumu, (b) ön ve arkada yüzdeki konumu

#### 4.5. D5 Modeli

Bu çalışmada önerilen ve analitik olarak incelenecek olan diğer bir bağlantı detayı ise D5'tir. C profil şeklinde oluşturulan D5 bağlantı aparatı, D4 modelinde olduğu gibi kolon yüzeyine yapıştırılarak veya ankrajlanarak çerçeveye dahil edilebileceği düşünülmektedir. C profil şeklindeki aparatın kolon yüzeyindeki yüksekliği azaltılarak, kulak uçlarına doğru 25° açıyla 10 cm yüksekliğe ulaşılmıştır. Aparatın genişliği YÇ'de olduğu gibi 14,4 cm seçilmiştir. Dolgu duvarlar ile yan kulaklar arasında 2,5 mm olacak şekilde boşluk bırakılmıştır. Aparatlar, kolonlar için temel üstü gazbeton dizisi hariç, her gazbeton arası derzlerde konumlandırılmıştır. Kiriş altına yerleştirilen aparatlar ise gazbetonlar arası iki farklı derze konumlandırılmıştır (Şekil 4.9a, b).





Şekil 4.11. D5 bağlantı aparatının (a) kolon ve kirişteki konumu, (b) ön ve arkada yüzdeki konumu

YÇ ve D4 çerçevelerinde olduğu gibi bağlantı aparatı ile sıva arasında 3,5 cm boşluk bırakılmıştır. Bu boşluk ile yatay öteleme sırasında öngörülemeyen kuvvetlerin engellenmesi amaçlanmıştır.

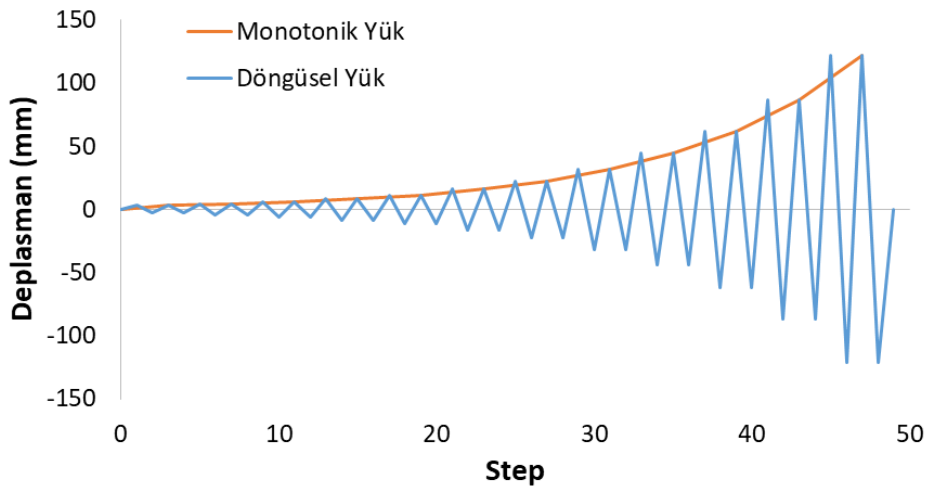
## 5. ANALİTİK ÇALIŞMA

Sonlu elemanlar yöntemi betonarme yapı elemanlarının doğrusal ve doğrusal olmayan yük-deplasman, çatlak vb. davranışlarının değerlendirilmesinde sıklıkla kullanılmaktadır. Bilgisayar sistemlerinin gelişmesine de bağlı olarak beton ve çelik ve dolgu duvarlarının sonlu elemanlar yöntemi ile modellenmesi son yıllarda yaygınlaşmaktadır [70-74]. Bu yöntemler genellikle test sonuçları ile kalibre edilmiş sayısal analizlerin geliştirmesine dayanmaktadır. Yaygın kullanılan sonlu elemanlar yöntemi, karmaşık elemanlar içeren ve sürekliliği bulunan bir yapıyı modellemek için kullanılan güçlü araçlardan birisi olmuştur.

### 5.1. Modelleme Teknikleri

Test sonuçlarının oluşturulan model ile tutarlı olması için beton, çelik ve dolgu duvarların malzeme tanımı önem kazanmaktadır. Birçok sonlu eleman yazılımında beton ve çelik malzeme özellikleri tanımlanabilse de model ile test arasında tutarsız davranışlar olabilmektedir. Bu çalışmada, birçok malzeme tanımlanabilen, statik/dinamik etkileri modele yansıtılabilen ve son zamanlarda test sonuçlarının değerlendirilmesinde sıklıkla kullanılan ABAQUS yazılımı tercih edilmiştir.

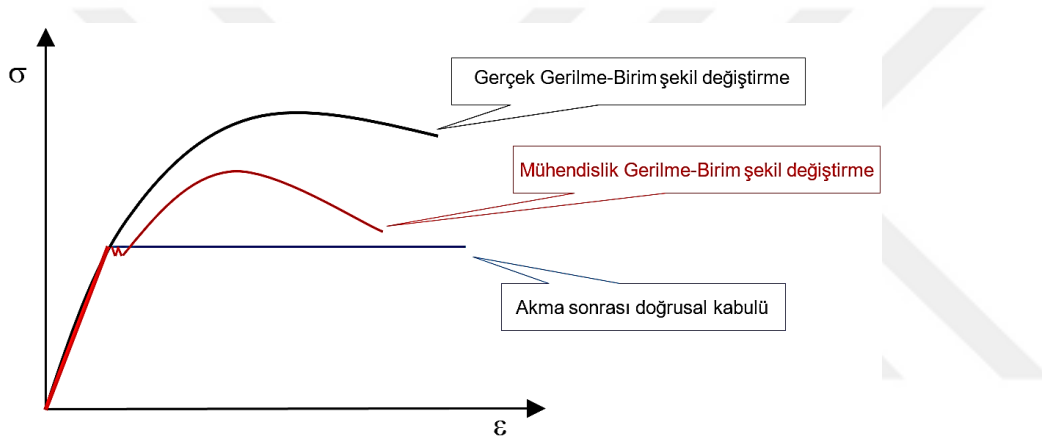
ABAQUS'te çerçeve donatıları iki düğümlü Beam eleman olarak, beton, duvar ve bağlantı elemanları sekiz düğümlü Solid eleman olarak modellenmiştir. Analiz süresini kısaltmak amacıyla deneylerde kullanılan döngüsel yük monotonik yüke çevrilmiştir (Şekil 5.1).



Şekil 5.1. Analizde kullanılan yük protokolü

### 5.1.1. Donatı

ABAQUS yazılımında çelik davranışının modele yansıtılması için farklı yaklaşımlar bulunmaktadır. Çelik çekme deneylerinden elde mühendislik gerilme-birim şekil değiştirme verileri gerçek gerilme-birim şekil değiştirme verilerine dönüştürülerek analiz dosyasına girdi yapılabilmektedir. Ayrıca ABAQUS'un sağladığı kalibrasyon aracı ile mühendislik verileri program üzerinden gerçek verilere dönüştürülebilmektedir. Ancak doğrusal olmayan veri ve eleman sayısının fazla olması analiz süresini uzatmaktadır. Bu tip modellerde akma dayanımı sonrası çelik davranışı doğrusal kabul edildiği yaklaşımlarda da bulunmaktadır (Şekil 5.2).



Şekil 5.2. Mühendislik gerinim dönüşümü

Modelde gerçek gerilme-birim şekil değiştirme kullanılması durumunda numune testlerinden elde edilen Mühendislik gerilme-birim şekil değiştirme eğrileri Eş. 5.1, 2 kullanılarak gerçek gerilme-birim şekil değiştirme eğrisine dönüştürülebilmektedir.

$$\sigma = s(1 + e) \quad (5.1)$$

$$\varepsilon = \ln(1 + e) \quad (5.2)$$

$\sigma$  ve  $\varepsilon$  sırasıyla gerçek gerilme ve gerinim değerlerini,  $s$  ve  $e$  ise sırasıyla mühendislik gerilme ve gerinim değerlerini ifade etmektedir. Yapılan analizlerde çeliğin akma sonrası lineer olduğu kabulü esas alınmıştır.

### 5.1.2. Beton

Betonun davranışı, tek eksenli, çift eksenli veya çok eksenli olabilen yükleme basınç veya çekme yükleme tipi, yükleme hızı, sıcaklık vb. gibi birçok parametreye bağlıdır. Betonun tek eksenli basınç dayanımı, standart boyutlu numunelerin laboratuvar deneyleri ile kolayca elde edilebilmektedir. Benzer şekilde, betonun çekme gerilmesine yarmada çekme deneyi ile kolayca ulaşılabilmektedir. Betonun çekme gerilmesi genellikle basınç dayanımının yüzde 10-15'i olduğu tahmin edilmektedir. Ayrıca deneysel veri mevcut değilse, çekme dayanımı Eş. 5.3'ten hesaplanabilmektedir [67].

$$f_{ct} = 0,35\sqrt{f_c} \text{ (MPa)} \quad (5.3)$$

Burada;  $f_{ct}$  ve  $f_c$ , sırasıyla betonun çekme ve basınç dayanımlarıdır. Betona ait elastisite modülünün ( $E_c$ ) ve poisson oranının ( $\nu_c$ ) deneyler ile elde edilmesi oldukça zordur. Bundan dolayı  $j$  günlük basınç dayanımına sahip numunenin,  $j$  günlük elastisite modülü Eş. 5.4 ile tahmin edilebilmektedir [67].

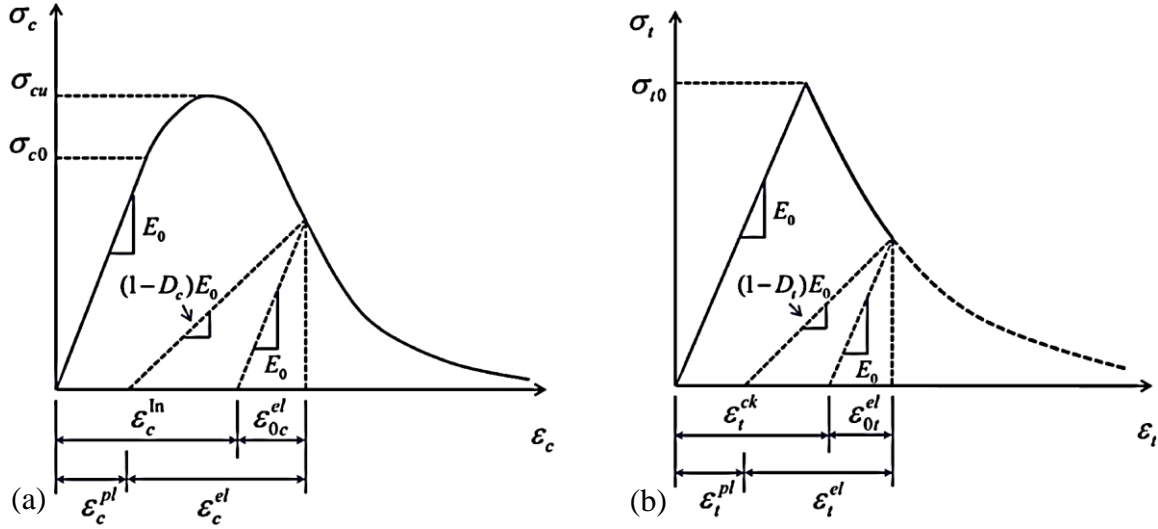
$$E_{cj} = 3250\sqrt{f_{cj}} + 14000 \text{ (MPa)} \quad (5.4)$$

Poisson oranı ise genellikle 0,15 ile 0,20 arasında seçilmektedir. Ayrıca poisson oranının tahmininde Eş. 5.5 dikkate alınabilir [75],

$$\nu_c = 4,5 \times 10^{-7} w^{1,75} f_c^{0,5} \quad (5.5)$$

Betonun gerilme-birim şekil değiştirme verileri için son yıllarda yaygın olan Plastisiteli Hasar Beton (CDP) malzeme modeli kullanılmıştır. Bu model monotonik, döngüsel ve dinamik yüklerde kullanılabilir. ABAQUS'te CDP'nin tanımlanması için betonun gerilme-şekil değiştirme ilişkisine, çatlak ve kırılma hasar parametrelerine ek olarak dilatasyon açısı, eksantrisite, viskozite vb. gibi parametrelere ihtiyaç duyulmaktadır. Betonda yaygın kullanılan gerilme-birim şekil değiştirme eğrisi ve ek parametreler Şekil 5.3'da ve Çizelge 5.1'de gösterilmiştir.





Şekil 5.3. Beton (a) basınç ve (b) çekme genel davranışı

Çizelge 5.1. Beton ek parametreleri

Dilatasyon açısı	Eksantrisite	$f_{b0}/f_{c0}$	K	Viskozite
31	0,1	1,16	0,666	0,001

CDP malzeme modeli özellikle gevrek malzemeler için sıklıkla kullanılmaktadır. Gevrek davranış gösteren beton malzemesinin modellenmesinde ilk olarak Popovics tarafından önerilen ve sonra Thoronfeldt vd. tarafından geliştirilen genel basınç gerilme-birim şekil değiştirme ilişkisi Eş. 5.6'da sunulmuştur [76, 77].

$$\frac{f_c}{f_c'} = \frac{n \times \left(\frac{\epsilon_c}{\epsilon_{c0}}\right)}{(n-1) + \left(\frac{\epsilon_c}{\epsilon_{c0}}\right)^n} \quad n = 2,76 \times 10^{-10} f_c' \text{ (MPa)} \quad (5.6)$$

Burada;  $f_c'$ ,  $\epsilon_{c0}$ , sırasıyla maksimum basınç dayanımı ve bu gerilmeye karşılık gelen birim şekil değiştirmedir.  $\epsilon_c$  ise malzemenin genel birim şekil değiştirmesini ifade etmektedir. Çekme gerilme-birim şekil değiştirme ilişkisi için maksimum çekme gerilmesine kadar doğrusal kabul edilip ve maksimum noktadan sonra üstel fonksiyon olarak kullanılmaktadır. Çekme davranışının doğrusal olmayan gerilme-birim şekil değiştirme eğrişi Eş. 5.7, 8'den elde edilebilmektedir [74].

$$\sigma = f_t \left(\frac{\epsilon_t}{\epsilon}\right)^{(0,7+1000\epsilon)} \quad (5.7)$$

$$\varepsilon_t = \frac{f_t}{E_c} \quad (5.8)$$

Burada;  $\sigma$  ve  $\varepsilon_t$  sırasıyla çekme dayanımı ve bu dayanıma karşılık gelen birim şekil değiştirmelerdir.  $f_t$ , deneysel veri ile elde edilen çekme dayanımı,  $E_c$  ise beton elastisite modülüdür. Ezilme ve çatlak davranışı olarak nitelendirilen basınç ve çekme hasar parametrelerinin hesaplanması Eş. 5.9, 10'da verilmiştir. Basınç ( $d_c$ ) ve çekme ( $d_t$ ) hasar parametreleri 0 (hasarsız) ile 1 (tam hasarlı) arasında değerler almaktadır.

$$d_c = \frac{\sigma_c E_c^{-1}}{\varepsilon_c^{pl} (1/b_c - 1) + \sigma_c E_c^{-1}} \quad (5.9)$$

$$d_t = \frac{\sigma_c E_c^{-1}}{\varepsilon_c^{pl} (1/b_t - 1) + \sigma_c E_c^{-1}} \quad (5.10)$$

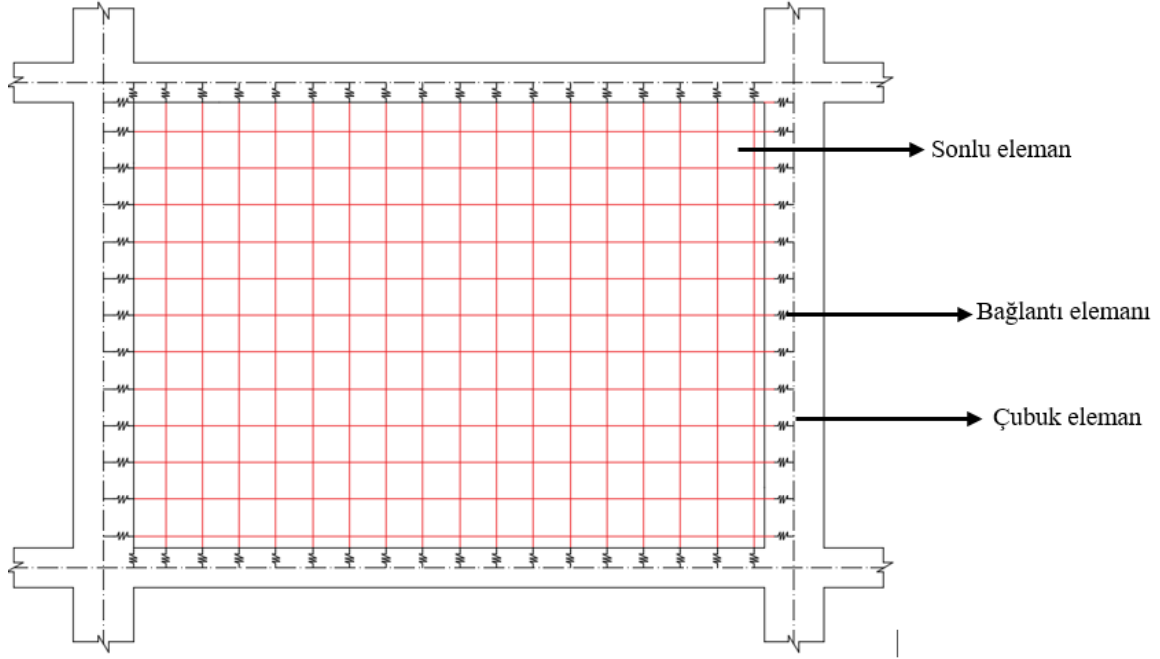
olarak ifade edilmektedir. Burada Birtel ve Mark  $b_c$  ve  $b_t$  Parametrelerini sırasıyla 0,7 ve 0,1 olarak önermiştir [77].

### 5.1.3. Dolgu duvar

Yığma yapıların sonlu elemanlar yöntemiyle gerçekleştirilen yapısal çözümlerinde taşıyıcı duvar elemanlarının modellenmesi son derece önemlidir. Özellikle doğrusal olmayan çözümlerde bilinmeyen sayısının fazla olması ve büyük boyutlardaki sistem rijitlik matrisi çözüm süresini artırmaktadır. Bu durum için yığma yapıların analizinde kullanılmak üzere farklı yöntemler geliştirilmiştir. Bu yöntemler mikro ve makro olarak birbirinden ayırt edilebilir. Makro modeller genellikle serbestlik derecesi çok olan sistemler için kullanılırken, mikro modeller ise deneysel çalışmaların doğrulanmasında kullanılmaktadır. Makro modeller, literatürde sıklıkla kullanılan sonlu elemanlar yöntemi ve eşdeğer basınç çubuğu olarak sınıflandırılabilir. Kullanım alanına göre farklı modelleme tekniklerinin bulunduğu dolgu duvarlar için bu çalışmada mikro modelleme kullanılmıştır.

### *Sonlu elemanlar modeli*

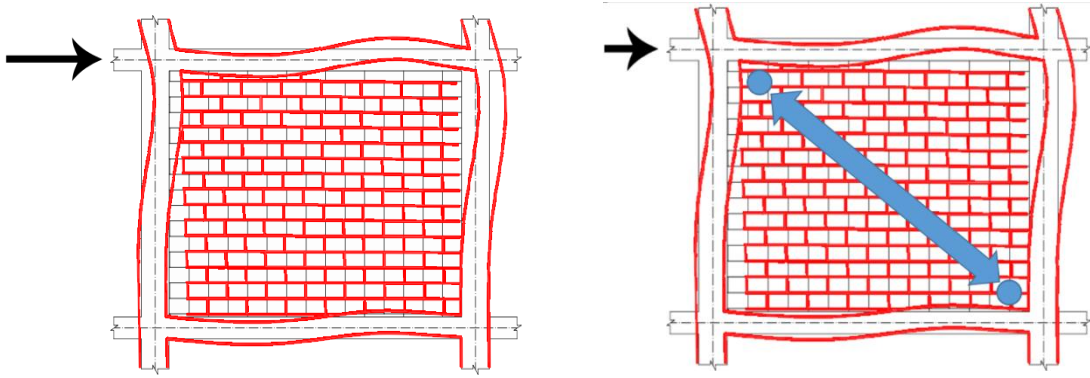
Sonlu elemanlar yaklaşımında, dolgu duvarlar iki veya üç boyutlu düzlemsel kabul edilen sonlu elemanlar ile modellenir. Bu model ile çok sayıda hiperstatik sistem ortaya çıkmakta ve bilgisayar ortamında çözülmeye ihtiyaç duyulmaktadır. Kabuk eleman olarak tasarlanan dolgu duvarlar çerçeve sisteme bağlantı elemanları ile bağlanmaktadır ve bu bağlantı elemanları yatay yük altında sadece basınca çalışmaktadır (Şekil 5.4).



Şekil 5.4. Sonlu elemanlar modeli

### *Eşdeğer basınç çubuğu yöntemi*

Dolgu duvarın diğer bir modellenme şeklide düzlemsel olarak yayıldığı çerçevenin eşdeğer bir çubuk elemana dönüştürülmesi kabuldür. Çerçeve sistemlere gelen yatay yük altında diyagonal olarak kolon-kiriş birleşim bölgelerinde basınç oluşturmakta ve çubuk boyunca ilerlediği varsayılmaktadır (Şekil 5.5).



Şekil 5.5. Eşdeğer diyagonal basınç

Bayrak ve Bıkçe yaptığı çalışmada [78], literatürde önerilen eşdeğer basınç çubuğu kalınlıklarını incelemiştir.

Holmes [9], dolgu duvarların modellenmesinde, eşdeğer basınç çubuğu genişliği ( $w$ ) değerinin, dolgu duvar diyagonal uzunluğunun üçte biri olarak alınmasını önermiştir. Smith [79],  $\lambda_h$ , dolgu duvarın göreceli rijitlik parametresini,

$$\lambda_h = \left( \frac{E_z t \sin(2\theta)}{4 E_b I_s H} \right)^{1/4} \quad (5.11)$$

olarak alınabileceğini ifade etmiştir. Burada;  $E_z$  ve  $E_b$ , sırasıyla dolgu duvarın ve çerçevenin elastisite modüllerini,  $t$ , boşluksuz dolgu duvarın ve eşdeğer basınç çubuğunun kalınlığını,  $I_s$ , kolonların atalet momenti,  $H$ , dolgu duvar yüksekliğini ve  $\theta$  eşdeğer basınç çubuğunun yatay ile yaptığı açığı tanımlamaktadır. Smith ve Carter [11] yaptıkları çalışmada dolgu duvar kalınlığı için,

$$w = 0,58 \left( \frac{1}{H} \right)^{-0,445} (\lambda_h H')^{0,335} d_z \times \left( \frac{1}{H} \right)^{0,064} \quad (5.12)$$

eşitliğini sunmuştur. Burada,  $H'$ , kolon yüksekliğini ifade etmektedir. Mainstone [80] çalışmasında, eşdeğer basınç çubuğu genişliği ifadesini, rijitlik parametresi kullanarak,

$$w = 0,175 d_z (\lambda_h H')^{-0,4} \quad (5.13)$$

şeklinde belirlemiştir. Burada,  $d_z$ , eşdeğer basınç çubuğu uzunluğudur. Bu formül FEMA [81] tarafından da kabul görmüştür. Kadir [82] çalışmasında, dolgu duvar rijitliğini, dolgu duvara bitişik kolonların yanı sıra üstündeki kirişinde etkilediğini söyleyerek,  $\lambda_g$  parametresinin,

$$\lambda_g = \left( \sqrt[4]{\frac{E_z t \sin(2\theta)}{4 E_b I_g H}} \right) \quad (5.14)$$

olarak alınmasını önermiş ve eşdeğer basınç çubuğu genişliği ifadesini de,

$$w = \frac{\pi}{2} \left( \frac{1}{4\lambda_h^2} + \frac{1}{4\lambda_g^2} \right) \quad (5.15)$$

şeklinde alınabileceğini belirtmiştir. Liaw ve Kwan [83], yaptıkları dolgu duvar deneyleri ile, çelik çerçeveler için eşdeğer basınç çubuğu genişliğini,

$$w = \frac{\pi 0,95 H \cos(\theta)}{\sqrt{\lambda_h H}} \quad (5.16)$$

eşitliği ile ifade etmişlerdir. Decanini ve Fantin [84], eşdeğer basınç çubuğunun genişliğinin rijitlik parametresine bağlı olarak değişimini Çizelge 5.2’de görüldüğü gibi sunmuştur.

Çizelge 5.2. Eşdeğer basınç çubuğu genişliği değişimi

<b>Çatlaksız Duvar</b>	$w = \left( \frac{0,748}{\lambda_h} + 0,085 \right) d_z$	$\lambda_h \leq 7,85$
	$w = \left( \frac{0,393}{\lambda_h} + 0,130 \right) d_z$	$\lambda_h > 7,85$
<b>Çatlak Duvar</b>	$w = \left( \frac{0,748}{\lambda_h} + 0,085 \right) d_z$	$\lambda_h \leq 7,85$
	$w = \left( \frac{0,748}{\lambda_h} + 0,085 \right) d_z$	$\lambda_h > 7,85$

Dawe ve Seah [85],  $\lambda_h$  ve  $\lambda_g$  parametrelerini temel alan eşitliği

$$w = \frac{2\pi}{3} \left( \frac{\cos(\theta)}{\lambda_h} + \frac{\sin(\theta)}{\lambda_g} \right) \quad (5.17)$$

olarak güncellemişlerdir. Hendry [86] eşdeğer basınç çubuğu genişliğinin, kolon ve kirişin temas uzunluğuna bağlı olduğunu öne sürerek  $\alpha_h$  ve  $\alpha_L$  parametrelerini önermiş ve

$$w = \frac{1}{2} \sqrt{\alpha_h^2 + \alpha_L^2} \quad (5.18)$$

formülünü sunmuştur. Burada.  $\alpha_h$  ve  $\alpha_L$  sırasıyla statik yüksekliği ve açıklığı göstermektedir. Bertoldi ve arkadaşları [87], doğrusal olmayan sonlu elemanlar yöntemi analizlerine ve deneylere dayanarak eşdeğer basınç çubuğu genişliğini,

$$\frac{w}{d_z} = \frac{k_1}{\lambda_h H'} + k_2 \quad (5.19)$$

denklemini ile belirlenebileceğini belirtmişlerdir. Burada,  $k_1$  ve  $k_2$  parametreleri Çizelge 5.3'teki gibi alınmaktadır.

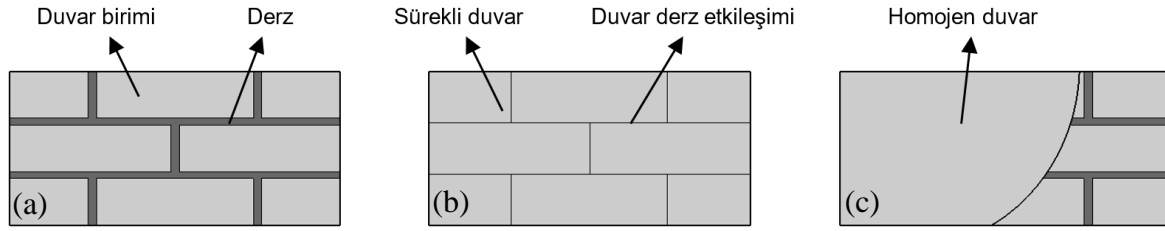
Çizelge 5.3. Dolgu duvar  $k_1$  ve  $k_2$  parametreleri

	$\lambda_h H' < 3,14$	$3,14 < \lambda_h H' < 7,85$	$7,85 < \lambda_h H'$
$k_1$	1,3	0,707	0,47
$k_2$	-0,178	0,01	0,04

### Mikro Modelleme

Mikro modellemede, sistemin büyüklüğüne göre sunulan 3 farklı yığma modelleme stratejisi, betonarme çerçevelerde üretilen dolgu duvarların modellenmesi içinde kullanılabilir (Şekil 5.6a-c). Bu modelleme stratejilerine Lourenço çalışmalarında geniş yer vermektedir [88, 89]. Bu stratejiler;

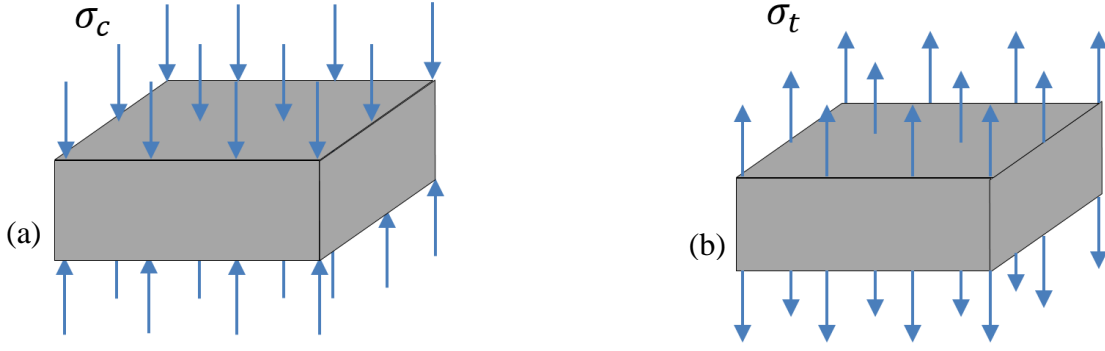
- Detaylı mikro modelleme (Şekil 5.6a)
- Basitleştirilmiş mikro modelleme (Şekil 5.6b)
- Makro modelleme (Şekil 5.6c)



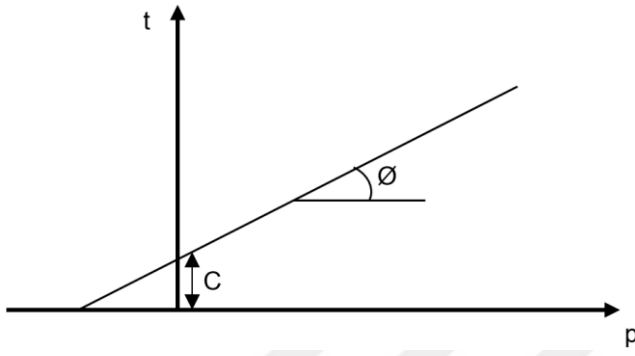
Şekil 5.6. Duvarları modelleme teknikleri, (a) detaylı mikro modelleme, (b) basitleştirilmiş mikro modelleme, (c) makro modelleme

Detaylı mikro model yaklaşımında, tüm birimler ayrıntılı olarak modele yansıtılmaktadır. Duvar birimleri ve bu birimler arasında bulunan derzler model üzerinde eleman olarak tanımlanmaktadır. Yapılan analizler ile detaylı mikro model gerçek davranışı daha iyi yansıtmasına karşın modellerin analiz süresini de uzatmaktadır. Basitleştirilmiş mikro model ile detaylı mikro modelin bazı dezavantajlarının kısıtlanabilmektedir. Bu yaklaşım hem derz elemanlarının modele dahil edilmemesi ve duvarların sürekli devam etmesi kabulü ile model üzerinde eleman sayısını ve analiz süresini düşürmektedir hem de derzli duvar davranışını yansıtmaktadır. Makro modelde ise duvar birimleri ve derzler homojen olarak kabul edilmektedir. Diğer modellere göre daha yaklaşık sonuç verse de serbestlik derecesinin fazla olduğu ve daha karmaşık yığma yapı modellerinde oldukça etkilidir. Bu çalışmada, test numunesinin mevcut durumunun modele yansıtılması ve analiz süresinin azaltılması amacıyla ABAQUS yazılımında basitleştirilmiş mikro modelleme tekniği uygun görülmüştür.

Duvar malzemesinin ABAQUS yazılıma tanımlanabilmesi için gerilme-birim şekil değiştirme eğrisinin oluşturulması gerekmektedir. Doğrusal ve doğrusal olmayan davranışa sahip dolgu duvarların gerilme-birim şekil değiştirme eğrileri farklı yaklaşımlar ile elde edilebilmektedir. Basınç ve çekme etkisindeki dolgu duvarla da yapılan testler ile duvarların doğrusal davranışa kolayca ulaşılmaktadır (Şekil 5.7a, b). Buna karşın doğrusal olmayan davranışın elde edilebilmesi için farklı denklemler önerilmektedir. Gevrek davranışı iyi yansıtan Drucker-Prager plastisite modeli (DPM) dolgu duvarların gerilme-birim şekil değiştirme eğrisinin oluşturulmasında sıklıkla kullanılmaktadır [90]. Gevrek kırılma yüzeyini baz alan DPM’ide basınç ve çekme gerilmeleri ile  $C$  (kohezyon) ve  $\phi$  (sürtünme açısı) parametrelerine ihtiyaç duyulmaktadır (Şekil 5.8).



Şekil 5.7. Dolgu duvarlarda (a) basınç ve (b) çekme gerilmeleri



Şekil 5.8. DPM doğrusal kırılma yüzeyi

Oluşturulan modelde düzlem dışı etkilerinin göz önüne alınmaması durumunda kırılma yüzeyi düzlemsel seçilebilmektedir (Eş. 5.20) [91].

$$\sqrt{\frac{1}{3}(\sigma_x^2 + \sigma_y^2 - \sigma_x\sigma_y)\tau_{xy}^2} + \alpha(\sigma_x + \sigma_y) - k \leq 0 \quad (5.20)$$

Burada, C ve  $\theta$ 'ye bağlı; k ve  $\alpha$  parametreleri Eş. 5.21, 22'de açıklanmıştır.

$$\alpha = \frac{2 \sin\theta}{\sqrt{3}(3 - \sin\theta)} \quad (5.21)$$

$$k = \frac{6C \cos\theta}{\sqrt{3}(3 - \sin\theta)} \quad (5.22)$$

Dolgu duvar malzemesine ait basınç ve çekme gerilmeleri Eş. 5.23, 24'de verilmiştir.

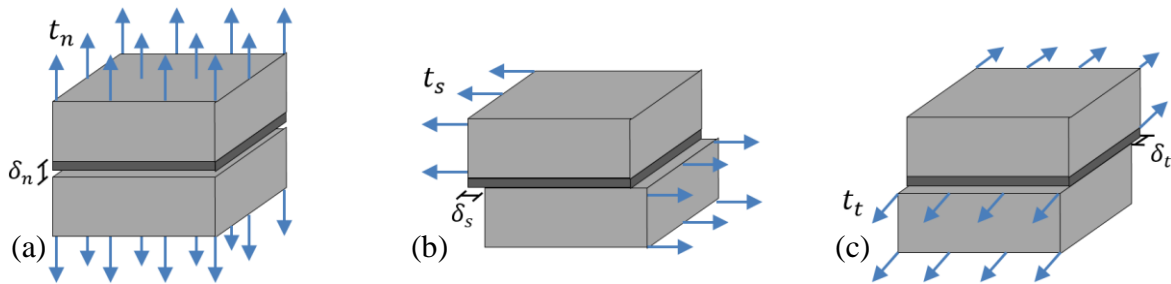


$$\sigma_c = \frac{k}{\frac{1}{\sqrt{3}} - \alpha} \quad (5.23)$$

$$\sigma_t = \frac{k}{\frac{1}{\sqrt{3}} + \alpha} \quad (5.24)$$

Burada;  $\sigma_c$  ve  $\sigma_t$  sırasıyla duvar basınç ve çekme dayanımıdır. Dolgu davranışlarının DPM ile iyi bir şekilde benzetilebildiği gibi CDP ile de simüle edilebilmektedir. Bu çalışmada dolgu duvarların modellenmesinde CDP modeli tercih edilmiştir.

Dolgu duvarlar derzlerdeki davranışın tanımlanması analizler için ayrıca önem taşımaktadır. Bu çalışmada, ABAQUS yazılımında bulunan yüzey esaslı yapılma modeli (Cohesive behavior) kullanılmıştır. Bu model duvarlar arası düşey ve yatay derzler için kullanılmaktadır. Birim duvarların gerilme altında çekme ayrılmasına dayanan model derzlerin doğrusal ve doğrusal olmayan kırılma davranışını kapsamaktadır. Dolayısıyla duvar derzlerinin hasar mekanizması çekme kırılması (Şekil 5.9a) ve kayma (Şekil 5.9b, c) olarak ifade edilebilmektedir.



Şekil 5.9. Dolgu duvarlar derzlerinde oluşan (a) çekme ve (b, c) kayma hasar durumları

Basitleştirilmiş mikro model ile oluşturulan derz yüzeyleri hasar almadan önce doğrusal kayma ayrılması davranışı sergilemektedir. Bu davranış doğrusal bir rijitlik matrisi ile yazılabilmektedir. Doğrusal rijitlik matrisi ( $\mathbf{K}$ ), nominal çekme vektörü ( $t$ ), rijitlik ve çekmeye bağlı ayrılma vektörü ( $\delta$ ) Eş. 5.25'te verilmiştir [90].

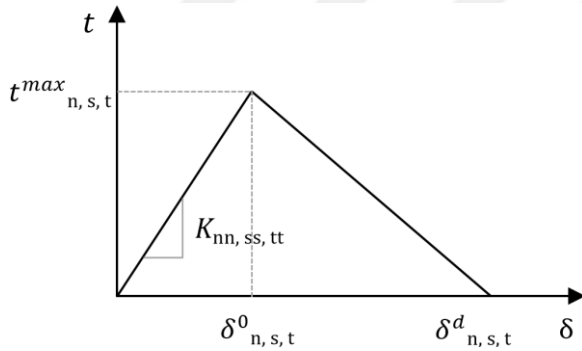
$$t = \begin{Bmatrix} t_n \\ t_s \\ t_t \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} K_{nn} & 0 & 0 \\ 0 & K_{ss} & 0 \\ 0 & 0 & K_{tt} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \delta_n \\ \delta_s \\ \delta_t \end{Bmatrix} = \mathbf{K} \delta \quad (5.25)$$

Aynı sınır koşullarında, duvar birimleri arasında bulunan derzlerin rijitliği, basitleştirilmiş mikro modeldeki yüzey temaslarının rijitliğini yansıtmalıdır. Bu nedenle basitleştirilmiş mikro modelde yüzey temaslarının rijitliği normal duvar birimleri arasında bulunan derzlerin kalınlığı ve rijitliği cinsinden ifade edilebilmektedir (Eş. 5.26, 27) (Şekil 5.10) [90].

$$K_{nn} = \frac{E_u E_m}{h_m (E_u - E_m)} \quad (5.26)$$

$$K_{ss} \text{ ve } K_{tt} = \frac{G_u G_m}{h_m (G_u - G_m)} \quad (5.27)$$

Burada; duvar birimlerinin yüzey temasındaki çekme rijitliği  $K_{nn}$ , ilk doğrultudaki kayma rijitliği  $K_{ss}$ , ikinci doğrultudaki kayma rijitliği  $K_{tt}$ , duvar birimlerine ait elastisite modülü  $E_u$ , derzlere ait elastisite modülü  $E_m$ , derzlerin kalınlığı  $h_m$ , duvar birimlerinin kayma modülü  $G_u$ , derzlerin kayma modülü  $G_m$ 'dir.



Şekil 5.10. Dolgu duvarlar derzlerinin çekme ve kayması

Temas yüzeylerinin doğrusal olmayan davranışı çatlak oluşması ile devam etmektedir. Duvar derzlerinin normal ve kayma gerilmesini aşması durumunda temas yüzeylerinde çatlak hasarlarına neden olabilmektedir. İkinci derece bir fonksiyon olarak ifade edilen hasar başlangıcında temas yüzeylerinin gerilme oranlarının bire eşit olduğu kabul edilmektedir. Temas yüzeylerinde oluşabilecek normal ve kayma gerilmeleri birleştirilerek Eş. 5.28'deki gibi ifade edilebilir [92]. Derzlerde meydana gelecek çekme çatlakları kayma gerilmesine bağlı olarak Mohr-Coulomb göçme kriteri ile ifade edilebilmektedir. Temasların kayma dayanımı ise Eş. 5.29'daki gibi hesaplanabilmektedir. Bu denklem kayma dayanımı esas

aldığı için kohezyon katsayısına (C), sürtünme katsayısına ( $\mu$ ) ve normal kuvvete ( $\sigma_n$ ) bağlı olarak  $t_s^{max}$  ve  $t_t^{max}$  hesaplanabilmektedir. Kesme sonrası sürtünme katsayısı ( $\tau_s$ ) ise normal kuvvete bağlı olarak Eş. 5.30 ile elde edilebilmektedir. Sürtünmeye bağlı bu formül kritik kayma gerilmesini aşan temas yüzeylerinin gerilmesini ifade etmektedir.

$$\left(\frac{\langle t_n \rangle}{t_n^{max}}\right)^2 + \left(\frac{t_s}{t_s^{max}}\right)^2 + \left(\frac{t_t}{t_s^{max}}\right)^2 = 1 \quad (5.28)$$

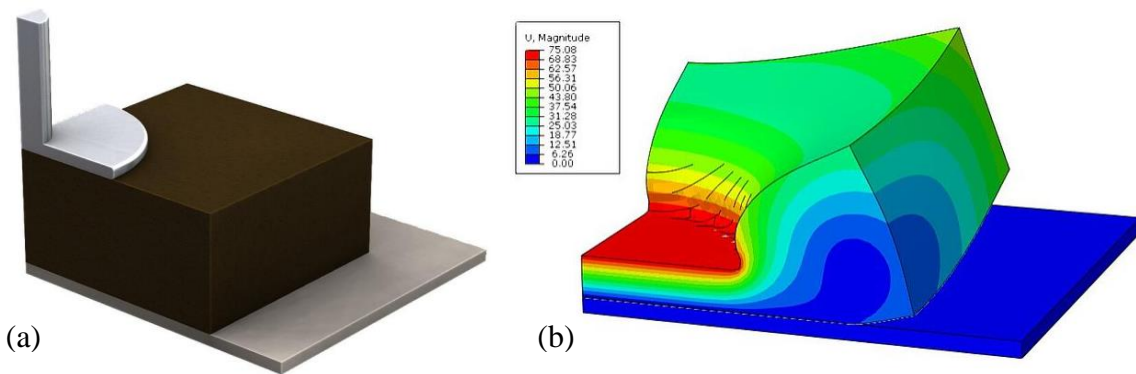
$$\tau_c = c + \mu\sigma_n \quad (5.29)$$

$$\tau_s = \mu\sigma_n \quad (5.30)$$

#### 5.1.4. Taşyünü

Dolgu duvar ile çerçeve sistem davranışının birbirinden yalıtıldığı YÇ, D4 ve D5 modellerinde, çerçeve ile dolgu duvarlar arasında esnek malzeme (taşyünü) bulunmaktadır. Düşük rijitlik değerine sahip taşyününün malzeme modelinin oluşturulması, beton, çelik ve dolgu duvar malzeme modellerine göre farklılık göstermektedir. ABAQUS'te bulunan Hyperfoam malzeme modeli ile istenilen özelliklerdeki taşyünü davranışı modellere ve analizlere yansıtılabilmektedir [93]. ABAQUS yazılımı, Hyperfoam malzeme modelinin tanımlanması için farklı deney sonuçları girdi olarak kabul etmektedir.

Bu malzeme testlerinden elde edilen veriler ABAQUS'e tanımlanmaktadır. Hyperfoam malzeme modeli ile oluşturulan bir model ve analiz Şekil 5.11a, b'de sunulmuştur.



Şekil 5.11. Hyperfoam malzeme özelliklerine sahip (a) model ve (b) analiz sonucu [93]

Doğrusal davranış göstermeyen bu malzeme modeli yük altında kısmi kalıcı şekil değiştirmeler meydana getirmektedir. Bu durum analizlerde iterasyon sayısının artmasına neden olmaktadır. YÇ, D4 ve D5 modellerinde küçük alanlarda konumlanan taşıyınlarının daha iyi sonuç vermesi açısından çerçeve sisteme göre nispeten daha küçük mesh aralıklarının oluşturulması önem arz etmektedir. Mesh aralıklarının küçültülmesine bağlı olarak eleman sayısı artmakta ve analiz süresi uzamaktadır. Ayrıca çerçeve, dolgu duvar ile çerçeve sistem arasına konumlandırılan esnek malzeme (taşıyını), çerçevenin yanal rijitliğinde dikkate alınacak bir katkı sunmamaktadır. Dolayısıyla YÇ, D4 ve D5 çerçeve sistemlerinde, çerçeve ile dolgu duvar arasında bulunan taşıyınleri modellere dâhil edilmemiş ve bu kısımlarda 35 mm boşluk bırakılarak çerçeve davranışı modele yansıtılmıştır.

#### *Modeller için yapılan kabuller*

Tüm çerçeve modellerde kullanılan varsayımlar aşağıda sıralanmıştır;

- Donatılar çerçeve sisteme tam aderans ile bağlanmaktadır
- Çerçevelerde kullanılan yükleme plakaları çerçeve sisteme tam aderans ile bağlıdır
- Dolgu duvar yüzeylerine oluşturulan sıvalar dolgu duvarlara tam aderans ile bağlıdır
- Donatılar çubuk eleman olarak kabul edilmiştir
- Beton ve çelik elemanların malzemeleri homojen kabul edilmiştir

## **5.2. Çerçevelerin Modellenmesi**

Sonlu elemanlar yöntemi, problem çözümlerinde birçok alanda karşılaşılan etkin sayısal yöntemlerden birisi olmuştur. Bu yöntem, karmaşık sistemlerin çözümlerini kolaylaştırmak ve doğru sonuç elde etmek için sistemi daha küçük yapılara ayırarak (mesh) modelleme esasına dayanmaktadır.

Gerçekleştirilen BÇ, GÇ ve YÇ çerçeve deneyleri [6, 95] ABAQUS sonlu elemanlar yazılımında aslına uygun olarak modellenmiştir. Analiz sonuçları karşılaştırılarak ABAQUS modelleri teyit edilmiştir. Deneyler ile modeller arasında tutarlılığın sağlanması sonucunda D4 ve D5 aparatlı çerçeveler oluşturularak analizleri gerçekleştirilmiştir. D4 ve D5 beton, çelik ve dolgu duvar özellikleri YÇ modeli ile aynı olduğu kabul edilmiştir.

Prizma deneyleri, çerçeve modellerinin analizi için önem arz etmektedir. Hem dolgu duvar birimlerinin davranışlarından hem de bu birimler arasında meydana gelen davranışlarından deneyde elde edilen davranışlara yakın sonuçlar alınması çerçeve analizlerini güçlendirmektedir. Bu nedenle dolgu duvarlarda kullanılan kontak özellikleri, TÜBİTAK 1001 118M317 No'lu proje [95] kapsamında gerçekleştirilen sıvalı/sıvasız basınç, sıvalı/sıvasız diyagonal kayma, kayma ve çekme testlerinin elde edilmiştir. Modellerde kullanılan derzlere ait kontak özellikleri Çizelge 5.4'te sunulmuştur.

Çizelge 5.4. Duvar kontak özellikleri

Teğetsel davranış (Tangential behavior)		Normal davranış (Normal behavior)
Sürtünme katsayısı (Friction coefficient)		
0,78		Sert kontak (Hard kontak)

Duvarlar arasındaki derzler hasarların tanımlanması kırılma enerjisine dayanmaktadır. Bu modellerde duvarların enerjiye dayanan kontak özellikleri Çizelge 5.5'te sunulmuştur. 118M317 No'lu projeden [95] elde edilen veriler, bu çalışma kapsamında gerçekleştirilen tüm duvar model ve analizlerinde kullanılmıştır. Dolgu duvarların sadece düzlem içi etkisinin araştırılmasından dolayı, düzlem dışında gerçekleşecek kayma gerilmeleri (Kesme-II) ile düzlem içinde gerçekleşecek kayma gerilmeleri (Kesme-I) aynı değer alınmıştır.

Çizelge 5.5. Enerji tabanlı duvar kontak özellikleri

Yüzey esash yapışma (Cohesive behavior)								
Çekme-ayrılma davranış hasarı			Hasar (Damage)			Değerlendirme (Evolution)		
Rijitlik katsayısı (N/mm)			Başlangıç MPa (Initiation)			Kırılma enerjisi* (Fracture Energy)		
(Traction-separation behavior damage Stiffness coefficients)			Normal (Normal)	Kesme- I (Shear- I)	Kesme-II (Shear- II)	Normal (Normal)	1.Kesme (1st shear)	2.Kesme (2nd shear)
$K_{nn}$	$K_{ss}$	$K_{tt}$	0,1	0,45	0,45	0,001	0,023	0,023

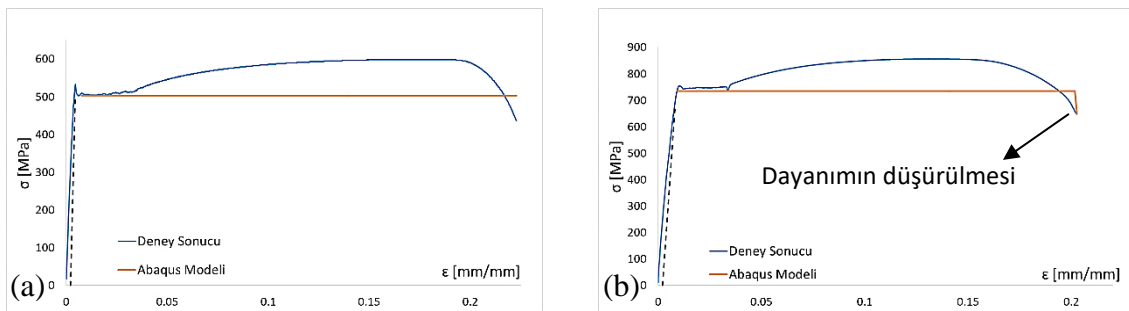
\*BK katsayısı 2 alınmıştır [94]

BÇ, GÇ ve YÇ modellerinin beton, çelik ve dolgu duvar mekanik özellikleri Erdem tarafından gerçekleştirilen çalışmadan alınmıştır [6, 95]. Bu mekanik özellikler kullanılarak beton ve dolgu duvar için basınç gerilme-birim şekil değiştirme, basınç plastisite, basınç hasar, çekme gerilme-birim şekil değiştirme, çekme plastisite ve çekme hasar eğrileri elde edilmiştir. Donatı özellikleri dayanımlara göre kabul yapılmıştır.

Çalışmada [6, 95], döşeme yüklerinin noktasal etkimesini önlemek ve yükün yayılı olarak uygulanmasını sağlamak için tüm yükler tabla genişliğine yayılmıştır. Kolon aksenal yükleri ise, aksenal yük taşıma kapasitesinin %10'u olarak uygulanmıştır. Tüm çerçevelerde kirişlere uygulanan yayılı yük 351,43 kg/m, kolonlara uygulanan aksenal yük 10 ton'dur.

### 5.2.1. Boş çerçevenin modellenmesi (BÇ)

Boyuna ve enine donatı parametreleri elde edilen donatı testlerinden alınmıştır [6, 95]. Analiz süresinin kısaltılması amacıyla akma dayanımından sonraki kısmın doğrusal davrandığı kabul edilmiştir (Şekil 5.12). Boyuna donatının sıyrıлма, uzama vb. davranışları modele yansıtılması oldukça güçtür. Bu nedenden dolayı donatının akma sonrasındaki dayanım değeri düşürülerek bu etkiler modele yansıtılmıştır.



Şekil 5.12. Donatıların test verileri ve kabulleri (a) enine, (b) boyuna donatı (BÇ) [6, 95]

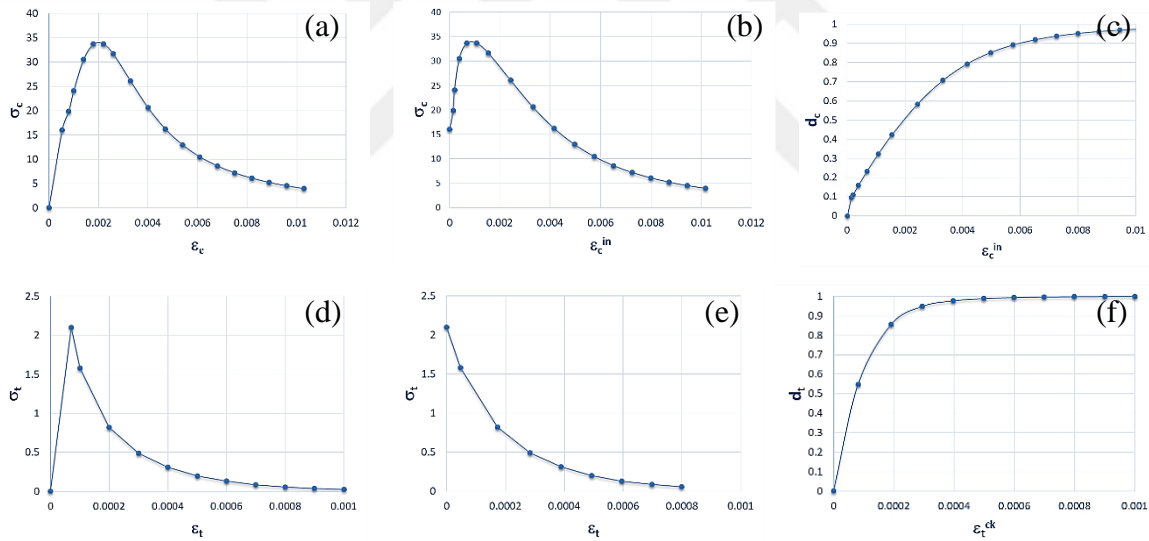
Beton ait mekanik özellikler malzeme testlerinden alınmıştır [6, 95] ve betonun basınç gerilme-birim şekil değiştirme eğrisi Eş. 5.7'ye göre, çekme gerilme-birim şekil değiştirmesi eğrisi Eş. 5.8'e göre excel yazılımında [69] yapılan program ile elde edilmiştir. Basınç ve çekme için plastik tanımlama Şekil 5.13a, b, d, e'de gösterilip hasar parametreleri Şekil 5.13c, f'de sunulmuştur. Ayrıca betona ve çeliğe ait malzeme parametreleri sırasıyla Çizelge 5.6'te ve Çizelge 5.7'te gösterilmiştir.

Çizelge 5.6. Beton mekanik özellikleri (BÇ)

Birim Hacim Ağırlık (ton/mm <sup>3</sup> )	Elastik			Plastik			
	Elastisite Modülü (N/mm <sup>2</sup> )	Poisson Oranı	Dilatasyon Açısı (Ψ)	Eksantrisite	$f_{bo}/f_{co}$	K	Viskozite
$2,2 \times 10^{-9}$	29197	0,2	31	0,1	1,16	0.6667	0,001

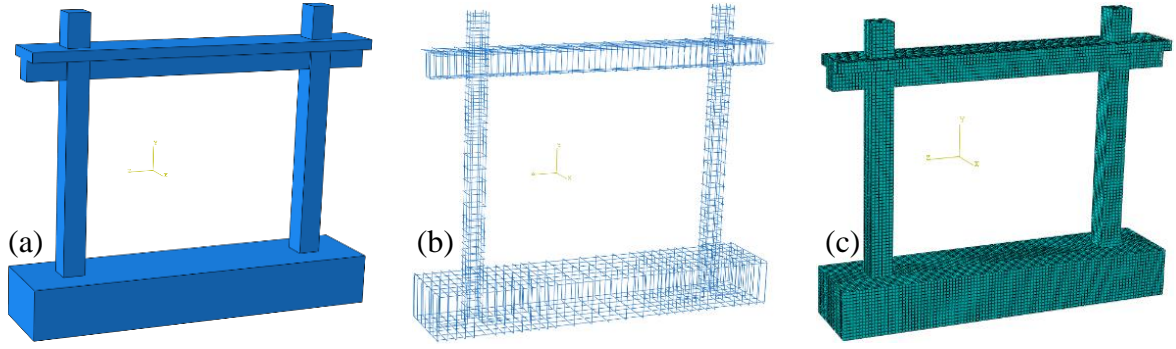
Çizelge 5.7. Çelik mekanik özellikleri (BÇ)

Birim hacim ağırlık (ton/mm <sup>3</sup> )	Boyuna donatı			Enine donatı		
	Elastisite modülü (N/mm <sup>2</sup> )	Poisson Oranı	Akma dayanımı (MPa)	Elastisite modülü (N/mm <sup>2</sup> )	Poisson Oranı	Akma dayanımı (MPa)
$7,85 \times 10^{-9}$	246687	0,3	650	208333	0,3	503



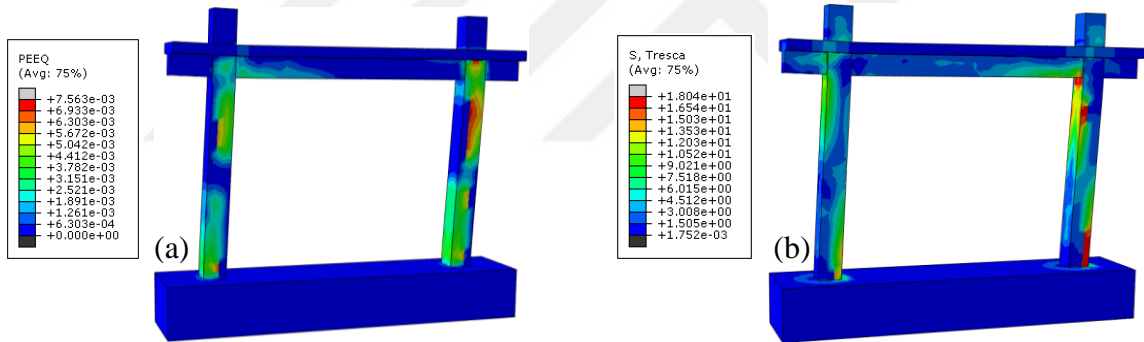
Şekil 5.13. Betonun (a) basınç gerilme-birim şekil değiştirme (b) basınç plastisite (c) basınç hasar (a) çekme gerilme-birim şekil değiştirme (b) çekme plastisite (c) çekme hasar eğrisi (BÇ)

Beton ile çelik tasarımına uygun modellenip aralarındaki etkileşim tam adersans kabul edilmiştir. Modellerde beton ve çelik elemanların mesh boyutu 20 mm alınmıştır. BÇ deneyinin ABAQUS'te yapılan beton (Solid), çelik (Beam), mesh ve betonarme görüntüsü Şekil 5.14a-c'de sunulmuştur.

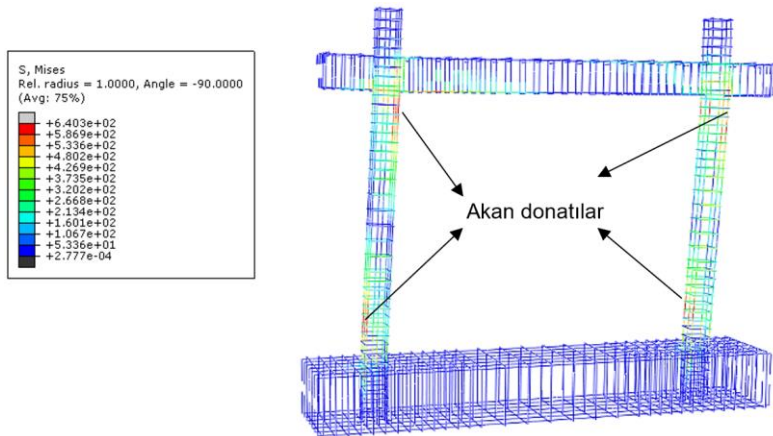


Şekil 5.14. BÇ numunesi (a) katı, (b) donatı ve (c) mesh modeli

Çerçeve sistemin analiz edilmesi ile betonun plastik yer değiştirmeleri ve Tresca gerilmeleri elde edilmiştir (Şekil 5.15a, b). Ayrıca kolonların uç bölgelerinde donatının akma dayanımına ulaştığı ve kesitlerin plastik olarak mafsallaştığı görülmüştür (Şekil 5.16). BÇ deney ve analiz verilerinin değerlendirilmesi neticesinde elde edilen yatay kuvvet yanal öteleme oranı grafiği Şekil 5.17’de verilmiştir.

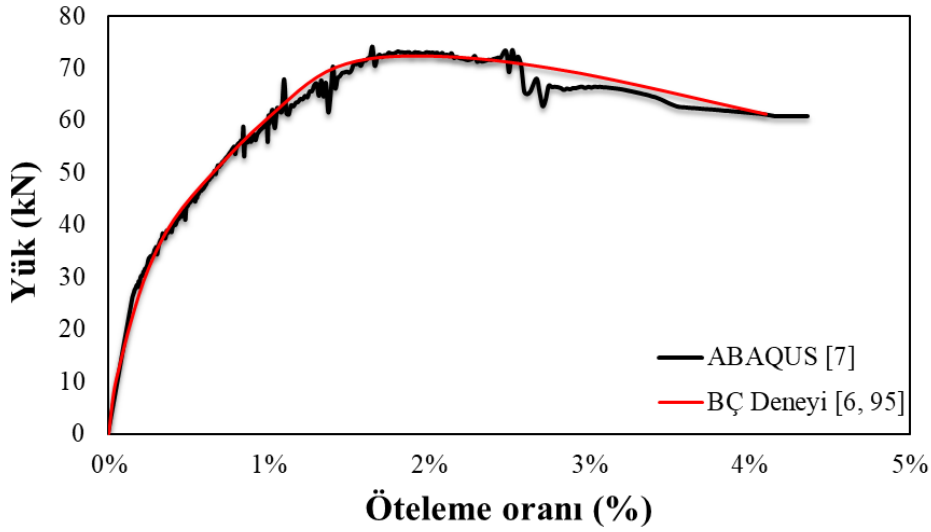


Şekil 5.15. BÇ’de meydana gelen (a) plastik yer değiştirme ve (b) gerilme



Şekil 5.16. BÇ çerçevesinin donatıları üzerinde oluşan gerilmeler





Şekil 5.17. BÇ deney ve analiz yanal kuvvet-öteleme oranı eğrisi

Boş çerçeve numunesinin test ve analiz sonuçlarının yakın değerler verdiği görülmektedir. Testin başlangıç rijitliği malzeme testlerinden elde edilen veriler ile doğrulanmıştır. Doğrusal olmayan davranışın modellenmesi için çelik üzerinde akma dayanımının düşürülmesi kabulü ile tutarlılık sağlanmıştır.

### 5.2.2. Dolgu duvarlı çerçevenin modellenmesi (GÇ)

GÇ modelinin analizinde; betona ait parametreler Çizelge 5.8'de, çeliğe ait parametreler Çizelge 5.9'da, duvara ait parametreler Çizelge 5.10'da sunulmuştur. Dolgu duvar ile çerçeve sistem arasındaki temas yüzeyinde normal davranış (normal behavior), sıkı kontak (hard contact) ve sürtünme (friction) etkileri tanımlanmıştır. Duvar birimleri temas yüzeylerine kohezif davranış (Cohesive behavior) tanımlanıp test esnasındaki duvar davranışı modele yansıtılmıştır. Prizma deneylerinin tutarlılığı ile kontak özellikleri prizma deney sonuçlarından elde edilmiştir. Beton ve çelik ait gerilme-birim şekil değiştirme eğrileri sırasıyla Şekil 5.18-20'da gösterilmiştir. Analizlerde sıvanın duvarlarla tam aderans sağladığı varsayılmıştır. Ayrıca kolon/kiriş ile arasında hard kontak tanımlanmıştır. Dolgu duvara ait maksimum dayanım, prizma deneylerinden alınarak gerilme - birim şekil değiştirme eğrisi oluşturulmuştur (Şekil 5.20). GÇ çerçevesinin dolgu duvarları üzerinde kullanılan sıvaya ait parametreler 118M317 No'lu proje [95] kapsamında gerçekleştirilen deneylerden elde edilmiştir.

Çizelge 5.8. Beton mekanik özellikleri (GÇ)

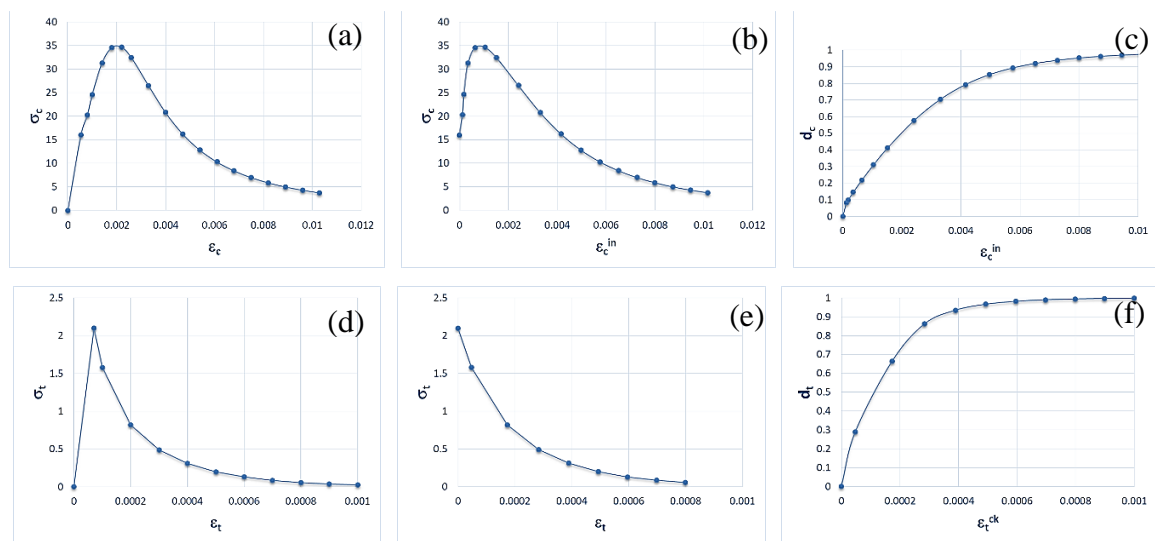
Birim	Elastik			Plastik			
	Hacim Ağırlık (ton/mm <sup>3</sup> )	Elastisite Modülü (N/mm <sup>2</sup> )	Poisson Oranı	Dilatasyon Açısı (Ψ)	Eksantrisite	f <sub>bo</sub> /f <sub>co</sub>	K
2,2x10 <sup>-9</sup>	29744	0,2	31	0,1	1,16	0,6667	0,001

Çizelge 5.9. Çelik mekanik özellikleri (GÇ)

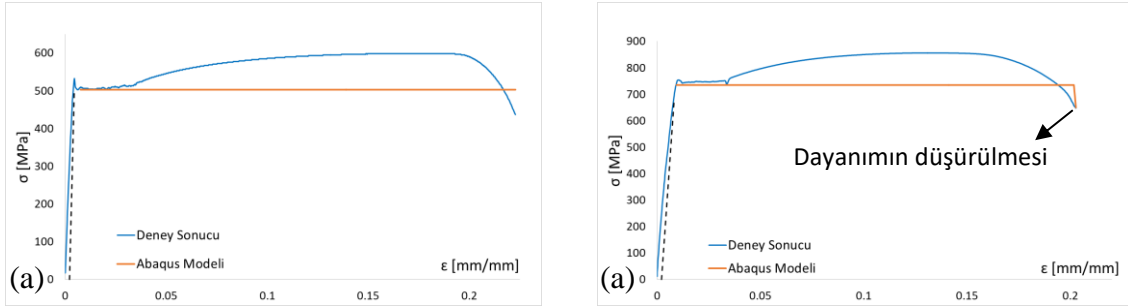
Birim	Boyuna donatı			Enine donatı		
	Hacim Ağırlık (ton/mm <sup>3</sup> )	Elastisite Modülü (N/mm <sup>2</sup> )	Poisson Oranı	Akma Dayanımı (MPa)	Elastisite Modülü (N/mm <sup>2</sup> )	Poisson Oranı
7,85x10 <sup>-9</sup>	246687	0,3	735	280962	0,3	503

Çizelge 5.10. Duvar mekanik özellikleri (GÇ)

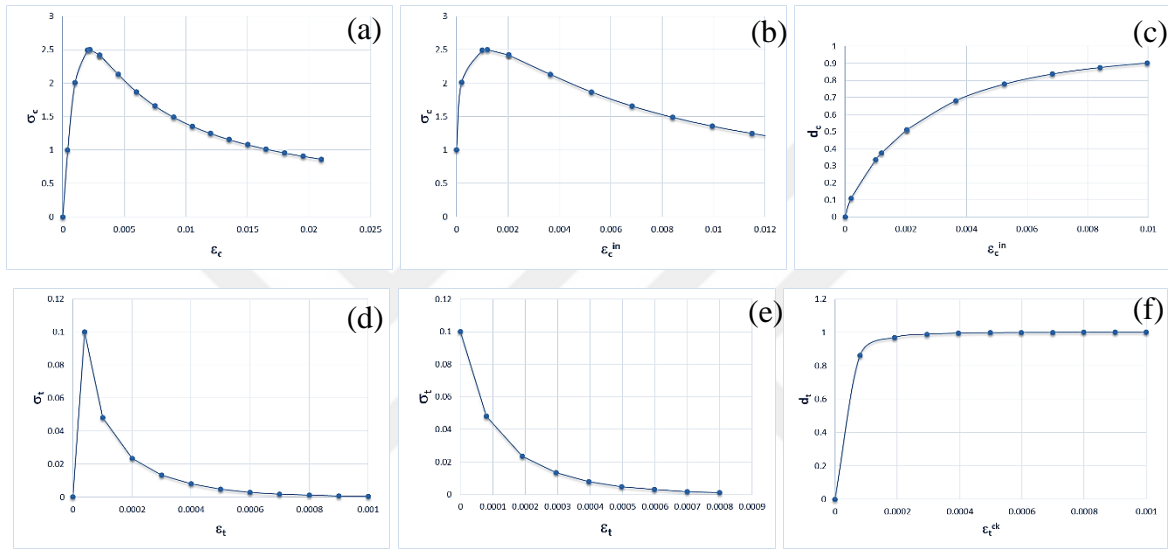
Birim	Elastik			Plastik			
	Hacim Ağırlık (ton/mm <sup>3</sup> )	Elastisite Modülü (N/mm <sup>2</sup> )	Poisson Oranı	Dilatasyon Açısı (Ψ)	Eksantriste	f <sub>bo</sub> /f <sub>co</sub>	K
2,2x10 <sup>-9</sup>	1612	0,2	31	0,1	1,16	0,6667	0,001



Şekil 5.18. Betonun (a) basınç gerilme-birim şekil değiştirme (b) basınç plastisite (c) basınç hasar (d) çekme gerilme-birim şekil değiştirme (e) çekme plastisite (f) çekme hasar eğrisi (GÇ)

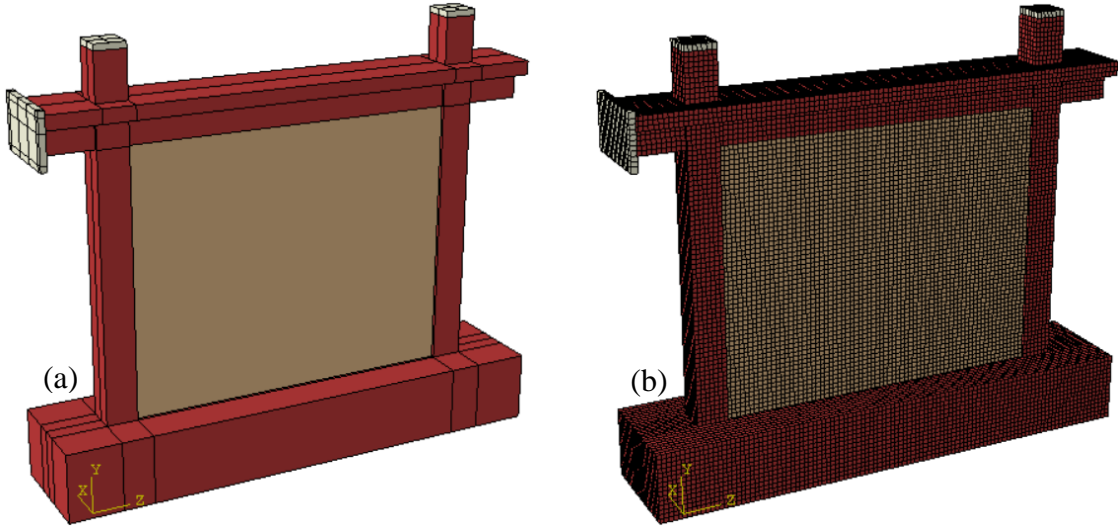


Şekil 5.19. Donatıların test verileri ve kabulleri (a) enine, (b) boyuna donatı (GÇ) [6, 95]

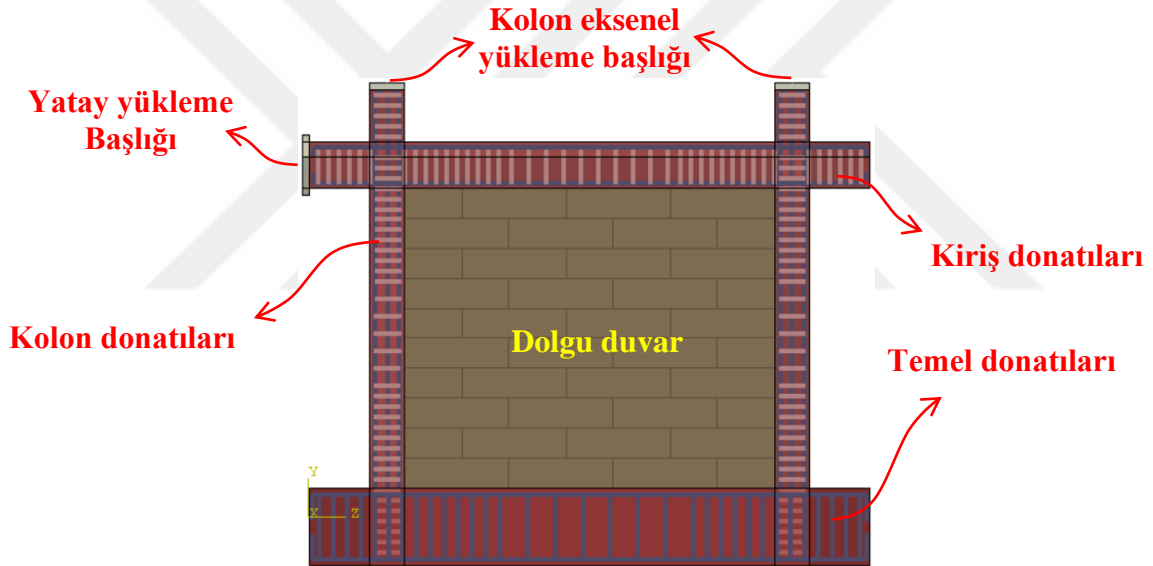


Şekil 5.20. Dolgu duvarın (a) basınç gerilme-birim şekil değiştirme (b) basınç plastisite (c) basınç hasar (d) çekme gerilme-birim şekil değiştirme (e) çekme plastisite (f) çekme hasar eğrisi (GÇ)

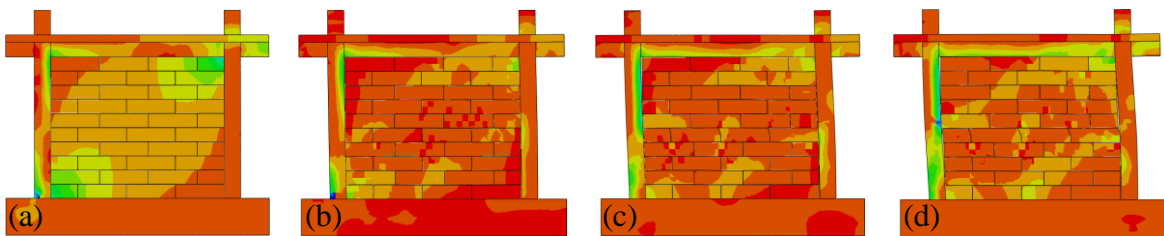
Sonuçların tutarlılığı açısından modelde mesh aralığı 20 mm alınmıştır. Duvarlı ve mesh'li duvar modelleri Şekil 5.21a, b'de verilmiştir. Çerçeve içerisindeki donatılar Şekil 5.22 c'de gösterilmiştir. Yapılan dinamik analiz ile duvar ve çerçeve sistemde oluşan farklı ötelemelerdeki maksimum asal gerilmelere ulaşılmıştır (Şekil 5.23a-d). Ayrıca sıvalarda meydana gelen kalıcı şekil değiştirmeler Şekil 4.24a'da, derzlerde meydana gelen gerilmeler Şekil 5.23b'de gösterilmiştir. Deney ve analize ait yanal kuvvet - öteleme oranı eğrisi Şekil 5.25'da sunulmuştur.



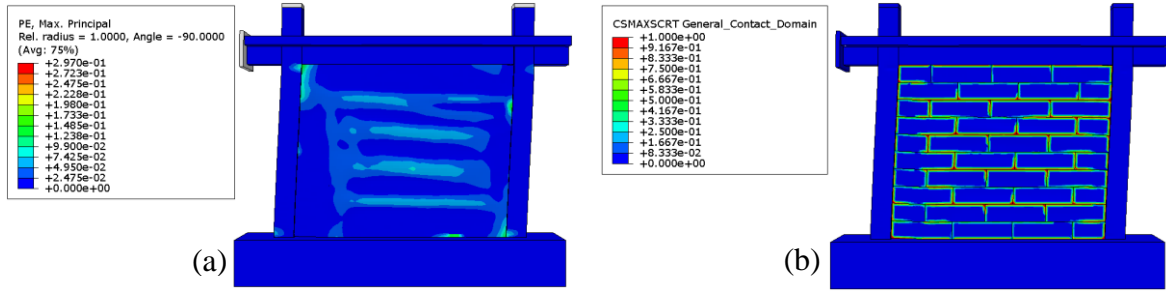
Şekil 5.21. GÇ numunesinin ABAQUS modeli; (a) katı model (b) mesh



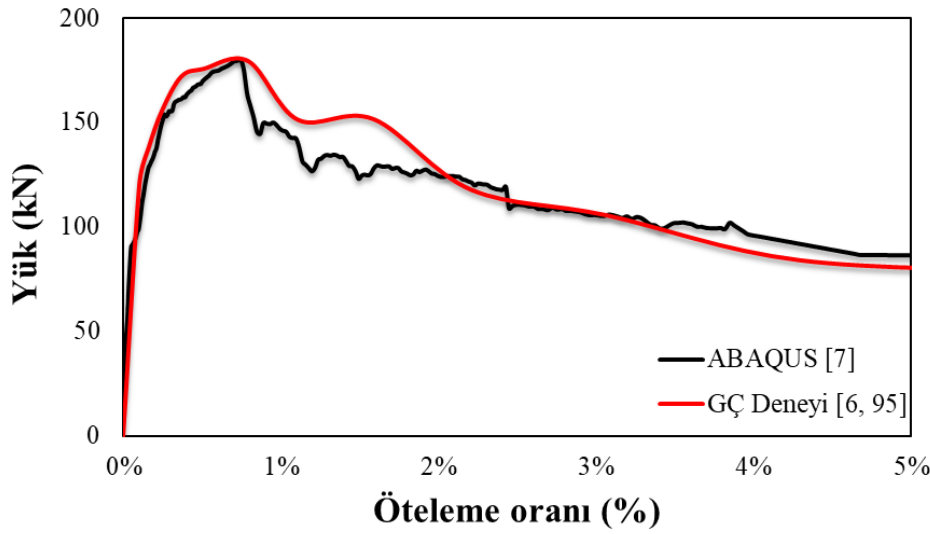
Şekil 5.22 GÇ numunesinin donatıları



Şekil 5.23. (a) 2 mm, (b) 20 mm, (c) 45 mm, (d) 80 mm deplasman için maksimum asal gerilmeler (GÇ)



Şekil 5.24. Analiz sonucunda (a) sıvada oluşan kalıcı deformasyonlar ve (b) derzlerde meydana gelen gerilmeler (GÇ)



Şekil 5.25. GÇ deney ve analiz yanal kuvvet-öteleme oranı eğrisi

GÇ modelinin yatay yük altında diyagonal köşe noktalarında asal gerilmeler oluşturduğu görülmüştür (Şekil 5.23a). Yatay ötelemeye bağlı olarak dolgu duvarda hasar meydana gelmiş ve asal gerilmeler diyagonal çaprazdan dışa aktarılmıştır (Şekil 5.23d). Dolgu duvarlar ile tam aderans sağladığı kabul edilen sıva, çerçevenin başlangıç rijitliğini artırmıştır. Ayrıca sıva, dolgu duvar derzlerinde meydana gelen gerilmelerin homojen dağılmasına katkı sağlamıştır. Şekil 5.25'te görüleceği üzere model ile deney arasında tutarlılık sağlanmıştır.

### 5.2.3. Esnek derzli çerçevenin modellenmesi (YÇ)

YÇ çerçevesinin analizinde kullanılan betona ait parametreler Çizelge 5.11'de, çeliğe ait parametreler Çizelge 5.12'de, duvara ait parametreler Çizelge 5.13'de sunulmuştur. GÇ çerçevesinde olduğu gibi birimler arası kontaklar; bu çerçevede de kullanılmıştır. Duvar

birimleri temas yüzeylerine kohezif davranış (Cohesive behavior) tanımlanmıştır. Beton, çelik ve duvara ait gerilme-birim şekil değiştirme eğrileri sırasıyla Şekil 5.26-28'de gösterilmiştir. Sıvaların duvara tam aderans ile bağlandığı varsayılmıştır. Ayrıca duvar ile taşıyıcı elemanlar arasındaki rijit olmayan taşıyünü modele dahil edilmemiştir.

Çizelge 5.11. Beton mekanik özellikleri (YÇ)

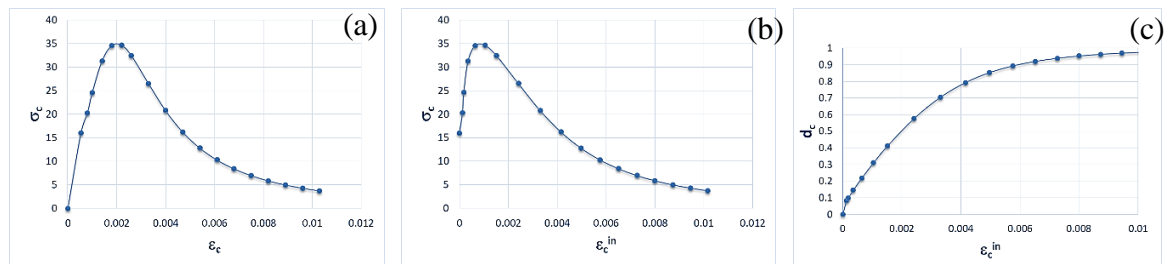
Birim	Elastik			Plastik				
	Hacim	Elastisite Modülü	Poisson	Dilatasyon	Eksantrisite	$f_{bo}/f_{co}$	K	Viskozite
Ağırlık ( $\text{ton}/\text{mm}^3$ )	( $\text{N}/\text{mm}^2$ )	Oranı	Açısı ( $\Psi$ )					
$2,2 \times 10^{-9}$	31743	0,2	31	0,1	1,16	0,6667	0,001	

Çizelge 5.12. Donatı mekanik özellikleri (YÇ)

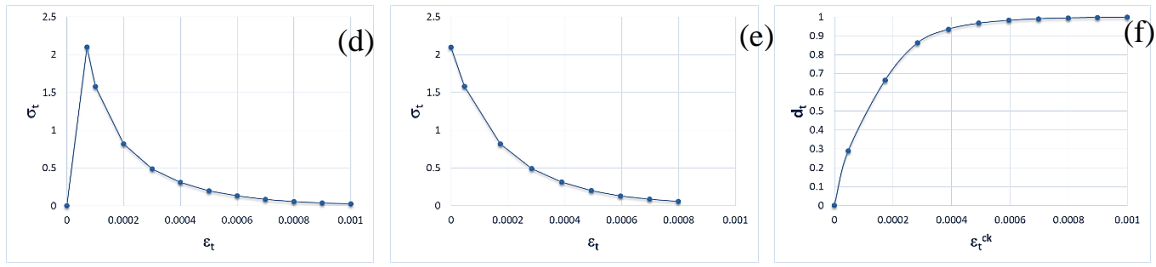
Birim	Boyuna donatı			Enine donatı		
	Hacim	Elastisite	Poisson	Akma	Elastisite	Akma
Ağırlık ( $\text{ton}/\text{mm}^3$ )	Modülü ( $\text{N}/\text{mm}^2$ )	Oranı	Dayanımı (MPa)	Modülü ( $\text{N}/\text{mm}^2$ )	Oranı	Dayanımı (MPa)
$7,85 \times 10^{-9}$	246687	0,3	735	280962	0,3	503

Çizelge 5.13. Duvar mekanik özellikleri (YÇ)

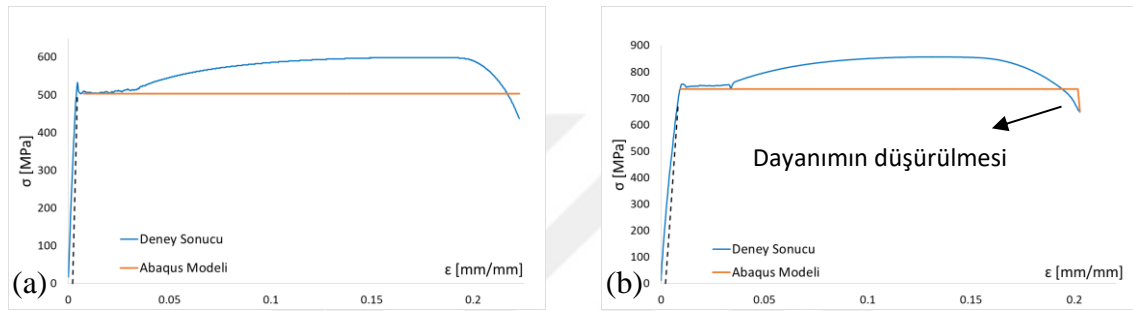
Birim	Elastik			Plastik				
	Hacim	Elastisite Modülü	Poisson	Dilatasyon	Eksantriste	$f_{bo}/f_{co}$	K	Vizkozite
Ağırlık ( $\text{ton}/\text{mm}^3$ )	( $\text{N}/\text{mm}^2$ )	Oranı	Açısı ( $\Psi$ )					
$2,2 \times 10^{-9}$	1612	0,2	31	0,1	1,16	0,6667	0,001	



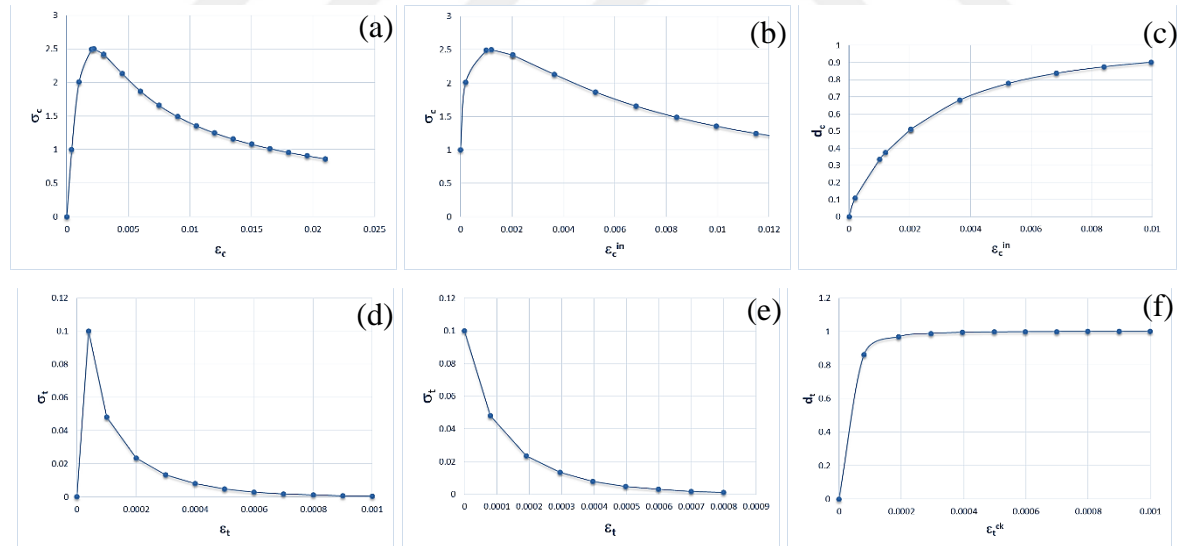
Şekil 5.26. Beton (a) basınç gerilme-birim şekil değiştirme (b) basınç plastisite (c) basınç hasar (d) çekme gerilme-birim şekil değiştirme (e) çekme plastisite (f) çekme hasar eğrisi (YÇ)



Şekil 5.26. (Devamı) Beton (a) basınç gerilme-birim şekil değıştirme (b) basınç plastisite (c) basınç hasar (d) çekme gerilme-birim şekil değıştirme (e) çekme plastisite (f) çekme hasar eğrisi (YÇ)



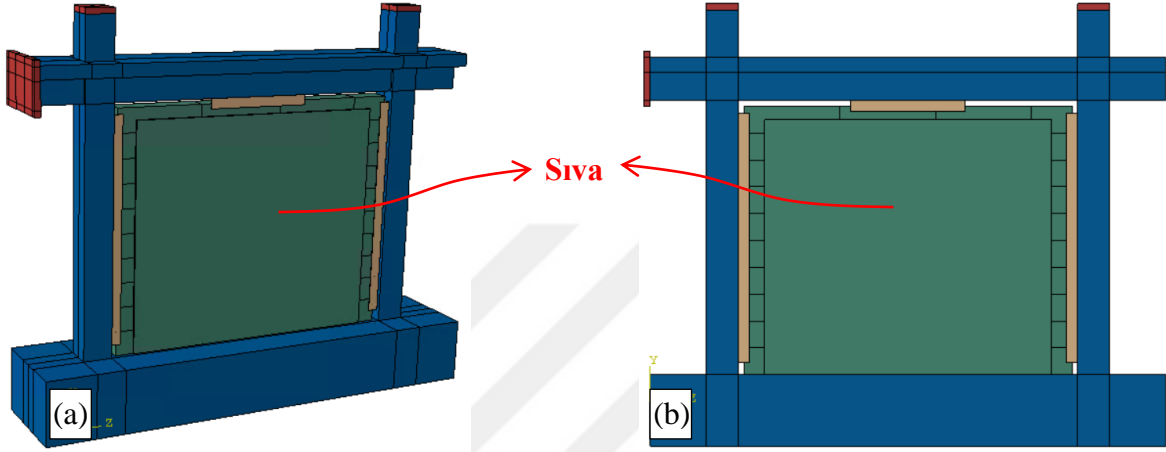
Şekil 5.27. Donatıların test verileri ve kabulleri (a) enine, (b) boyuna donatı (YÇ) [6, 95]



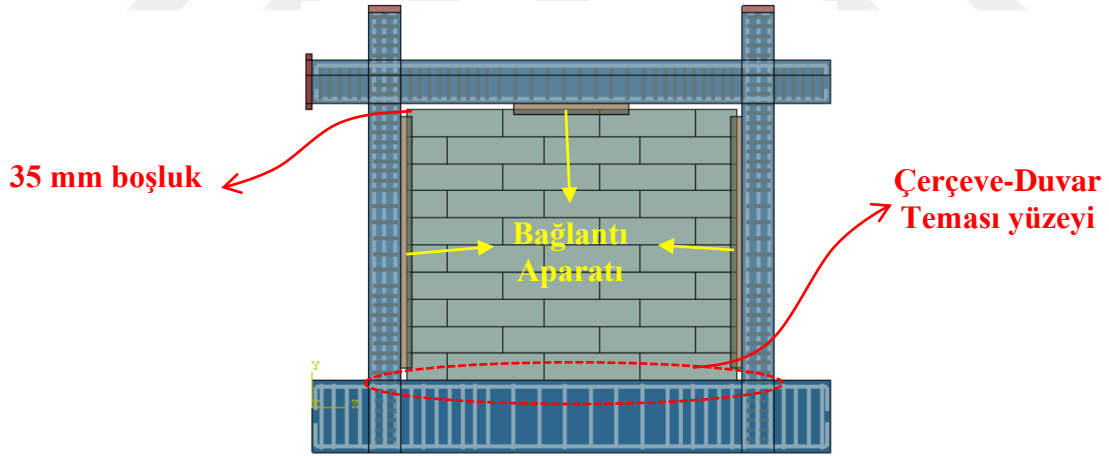
Şekil 5.28. Dolgu duvarın (a) basınç gerilme-birim şekil değıştirme (b) basınç plastisite (c) basınç hasar (d) çekme gerilme-birim şekil değıştirme (e) çekme plastisite (f) çekme hasar eğrisi (YÇ)

YÇ çerçevesinin ABAQUS katı modeli Şekil 5.29a, b'de, donatıları ve bağlantı aparatları Şekil 5.30'da gösterilmiştir. Dolgu duvarlar etkisini 35 mm'den sonra göstereceği için duvarların mesh aralıkları artırılmıştır. Yapılan analiz ile farklı öteleme değerlerinde duvar ve çerçeve sisteminde oluşan maksimum asal gerilmelere ulaşılmıştır (Şekil 5.31a-d). Asal

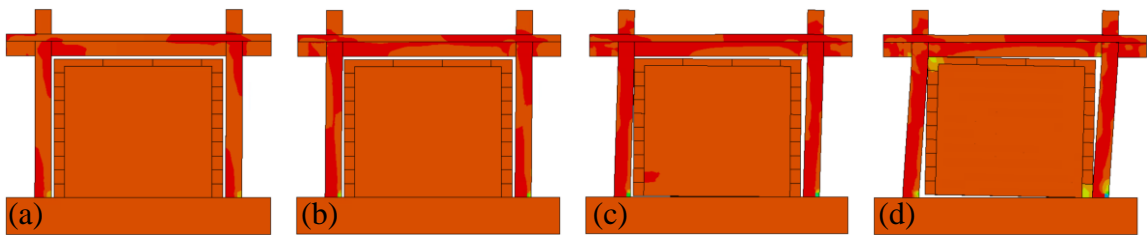
gerilme veri aralığını değiştirmemesi için aparatlar görünümünden kaldırılmıştır. Deney sonucunda oluşan plastik konumlar ile analiz sonucunda oluşan plastik konumlar; 35 ve 106,8 mm için Şekil 5.32a’da ve Şekil 5.32b’de sırasıyla gösterilmiştir. Ayrıca 35 ve 40 mm yanıl öteleme için çerçevede oluşan yer değiştirmeler Şekil 5.33a, b’de verilmiştir. Deney ve analize ait yanıl kuvvet yanıl – öteleme oranı eğrisi Şekil 5.34’te sunulmuştur.



Şekil 5.29. YÇ ABAQUS katı modelleri

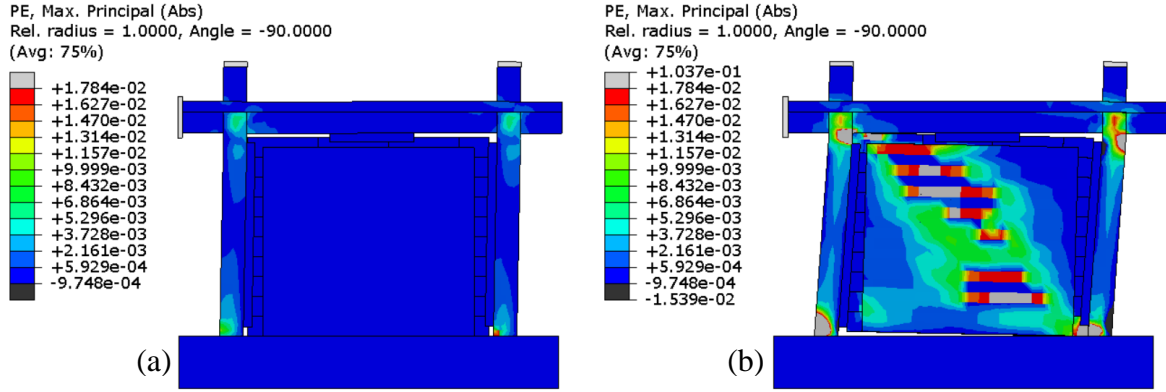


Şekil 5.30. YÇ donatı yerleşimi ve bağlantı aparatı konumları

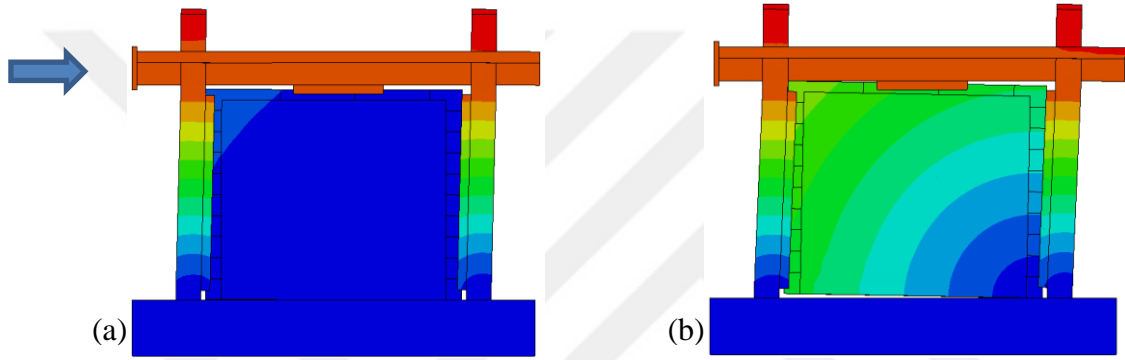


Şekil 5.31. (a) 2 mm, (b) 20 mm, (c) 45 mm, (d) 90 mm deplasman için maksimum asal gerilmeler (YÇ)

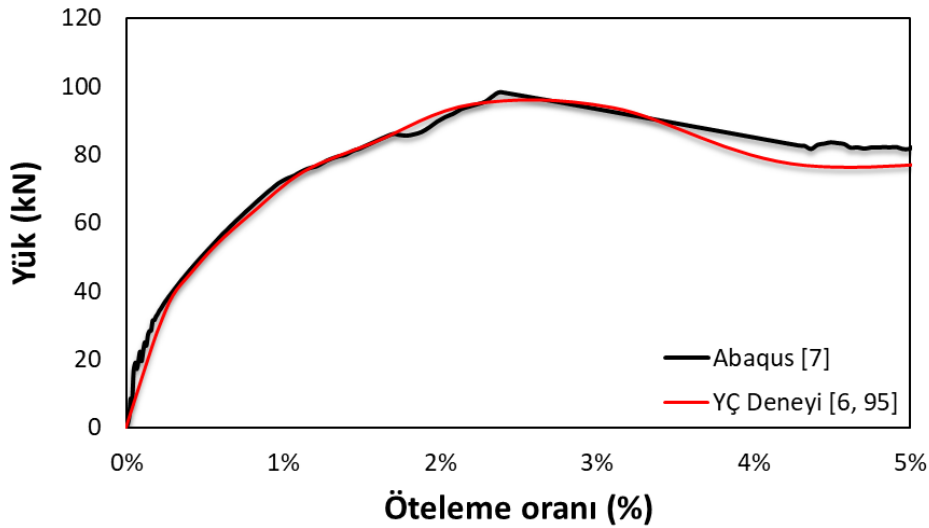




Şekil 5.32. YÇ numunesinde oluşan kalıcı şekil değiştirmeler (a) 35 mm (b) 106,8 mm



Şekil 5.33. YÇ (a) 35 mm (b) 40 mm için yer değiştirmeler



Şekil 5.34. YÇ deney ve analiz yanal kuvvet-öteleme oranı eğrisi

%5,34 öteleme değerinde dolgu duvar diyagonal köşe noktalarından sıkışmıştır ve dolgu duvar bu değerden sonra çerçeve dayanımına katkı sağlamıştır. Test ile analitik model

arasındaki %5,34 öteleme oranından sonraki farklılık yükleme protokolünden kaynaklandığı düşünülmüştür.

#### 5.2.4. Önerilen bağlantı aparatlı çerçevenin modellenmesi (D4)

Oluşturulan bu çerçevenin deneyi gerçekleştirilmediği için betona, çeliğe ve dolgu duvara ait mekanik özellikleri YÇ modelinde ve analizinde kullanılan parametreler ile aynı alınmıştır (Çizelge 5.14-16). Çerçevede kullanılan kontaklar diğer analizlerde olduğu gibi dikkate alınmıştır. Beton, çelik ve duvara ait gerilme-birim şekil değiştirme eğrileri sırasıyla Şekil 5.35-37’de gösterilmiştir. Sıvalar duvara tam aderans ile bağlandığı varsayılmıştır. Ayrıca analiz süresinin kısaltılması amacıyla, duvar ile taşıyıcı elemanlar arasındaki rijit olmayan taşıyünü modele dahil edilmemiştir.

Çizelge 5.14. Beton mekanik özellikleri (D4)

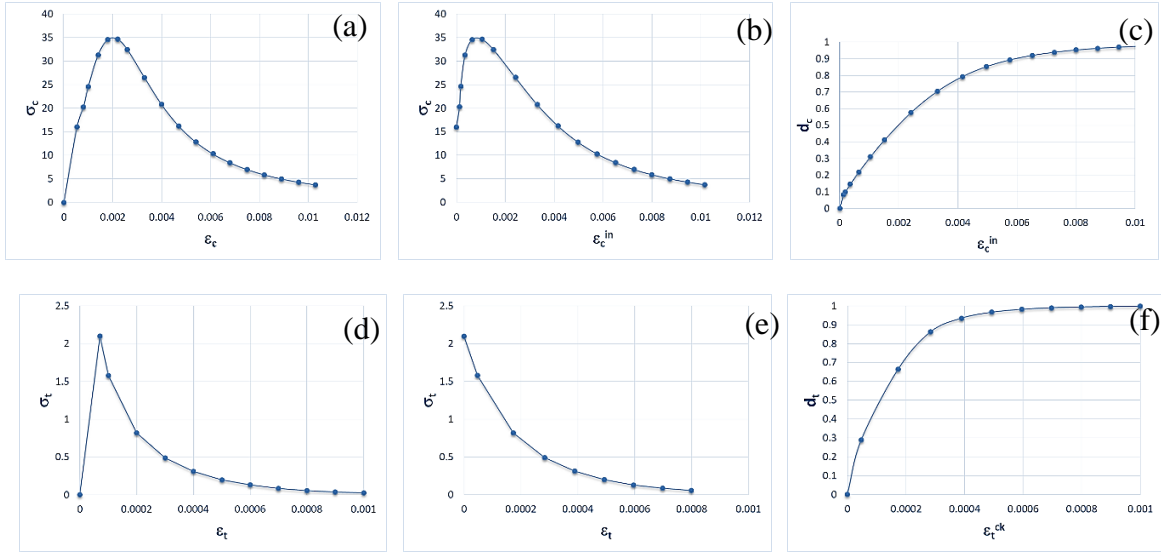
Birim	Elastik			Plastik			
	Hacim Ağırlık (ton/mm <sup>3</sup> )	Elastisite Modülü (N/mm <sup>2</sup> )	Poisson Oranı	Dilatasyon Açısı (Ψ)	Eksantrisite	f <sub>bo</sub> /f <sub>co</sub>	K
2,2x10 <sup>-9</sup>	31743	0,2	31	0,1	1,16	0,6667	0,001

Çizelge 5.15. Donatı mekanik özellikleri (D4)

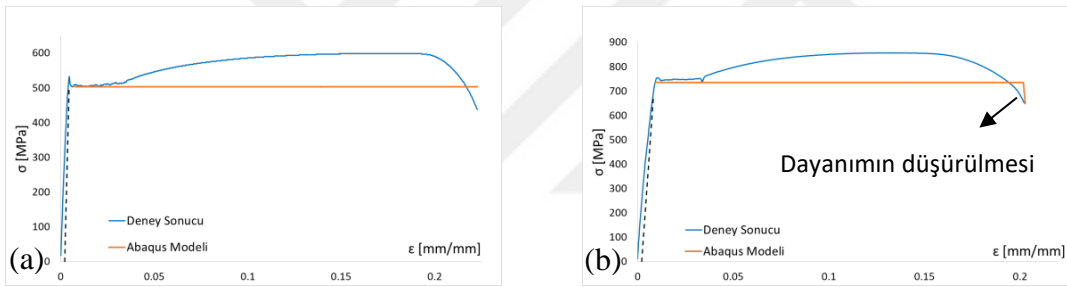
Birim	Boyuna donatı			Enine donatı		
	Hacim Ağırlık (ton/mm <sup>3</sup> )	Elastisite Modülü (N/mm <sup>2</sup> )	Poisson Oranı	Akma Dayanımı (MPa)	Elastisite Modülü (N/mm <sup>2</sup> )	Poisson Oranı
7,85x10 <sup>-9</sup>	246687	0,3	735	280962	0,3	503

Çizelge 5.16. Duvar mekanik özellikleri (D4)

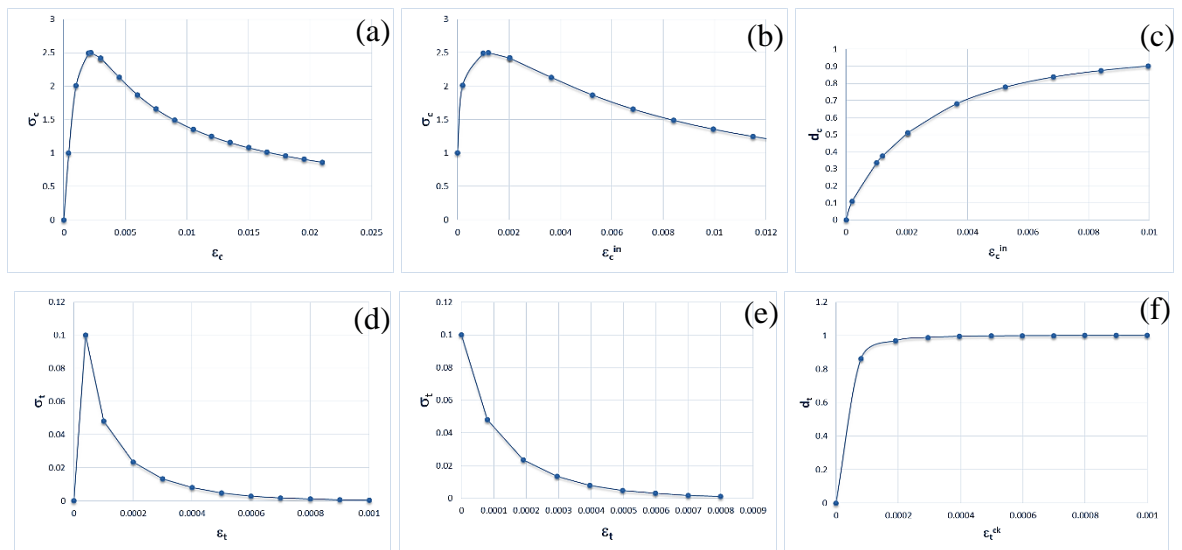
Birim	Elastik			Plastik			
	Hacim Ağırlık (ton/mm <sup>3</sup> )	Elastisite Modülü (N/mm <sup>2</sup> )	Poisson Oranı	Dilatasyon Açısı (Ψ)	Eksantriste	f <sub>bo</sub> /f <sub>co</sub>	K
2,2x10 <sup>-9</sup>	1612	0,2	31	0,1	1,16	0,6667	0,001



Şekil 5.35. Beton (a) basınç gerilme-birim şekil değıştirme (b) basınç plastisite (c) basınç hasar (d) çekme gerilme-birim şekil değıştirme (e) çekme plastisite (f) çekme hasar eğrisi (D4)

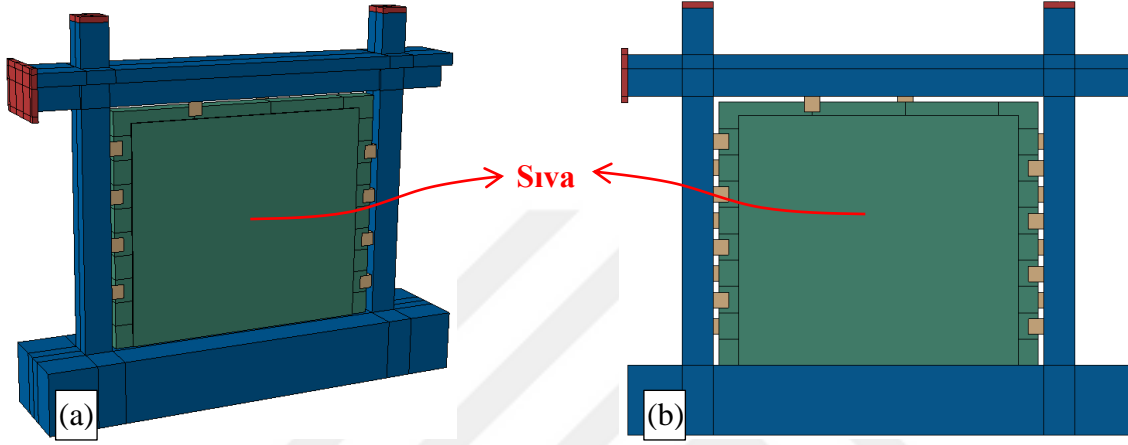


Şekil 5.36. Donatıların test verileri ve kabulleri (a) enine, (b) boyuna donatı (D4) [6 , 95]

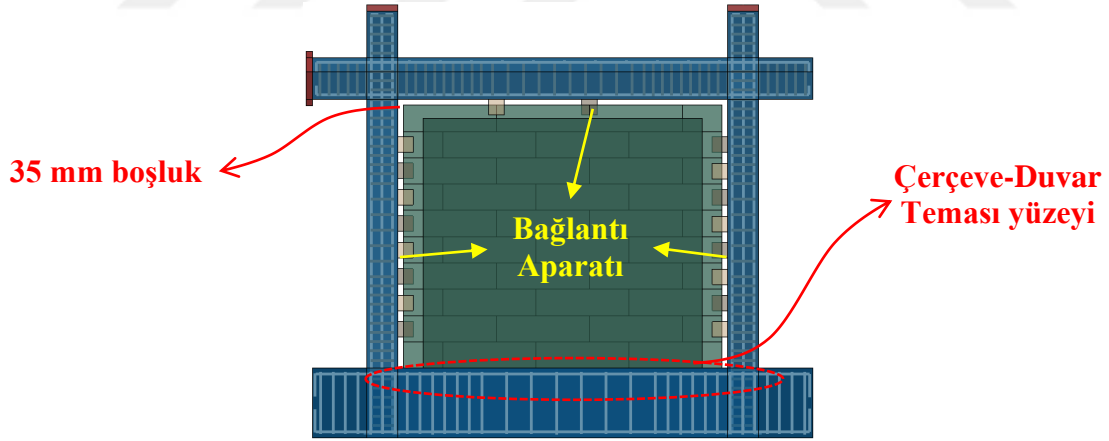


Şekil 5.37. Dolgu duvarın (a) basınç gerilme-birim şekil değıştirme (b) basınç plastisite (c) basınç hasar (d) çekme gerilme-birim şekil değıştirme (e) çekme plastisite (f) çekme hasar eğrisi (D4)

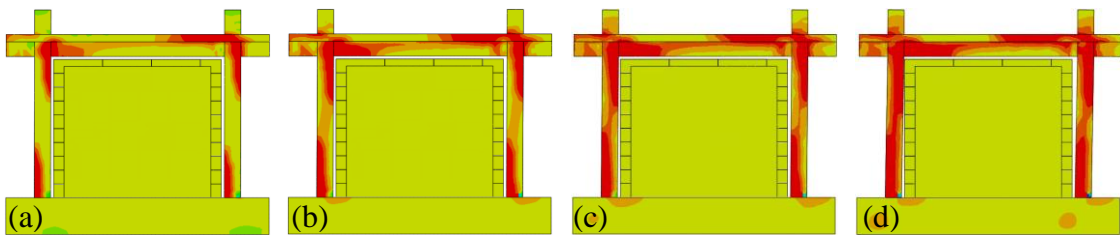
D4'e ait katı modeli Şekil 5.38a, b'de ve donatıları Şekil 5.39c'de gösterilmiştir. Çerçeve sistemde oluşan maksimum asal gerilmelere Şekil 5.40 a-d'de sunulmuştur. Analizin 35 ve 90,68 mm'deki deplasmanları sırasıyla Şekil 5.41a, b'de verilmiştir. Öteleme oranına bağlı olarak derzlerde meydana gelen gerilmeler Şekil 5.42a-b'de gösterilmiştir. Yatay yük ve öteleme oranı Şekil 5.43'de sunulmuştur.



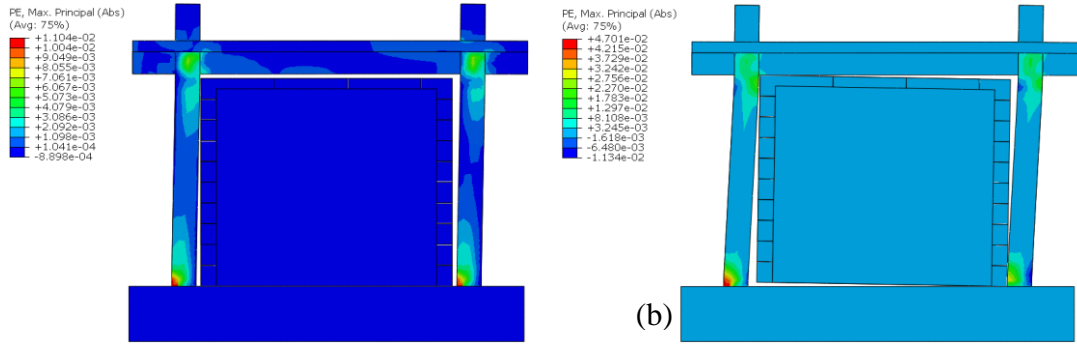
Şekil 5.38. D4 ABAQUS katı modelleri



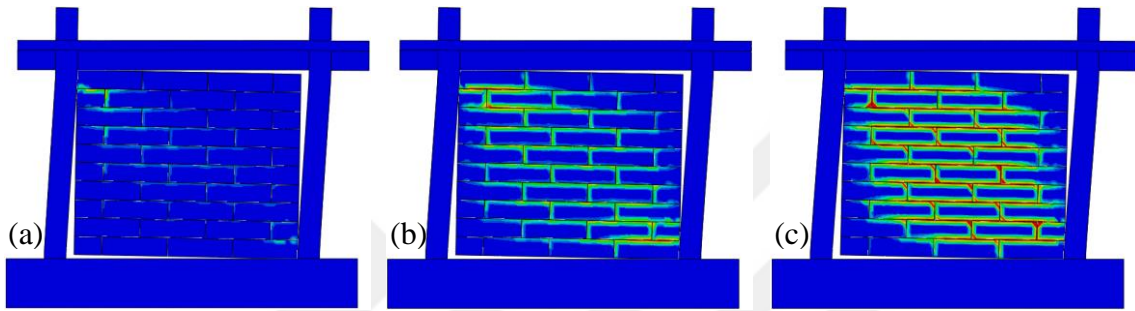
Şekil 5.39 D4 donatı yerleşimi ve bağlantı aparatı konumları



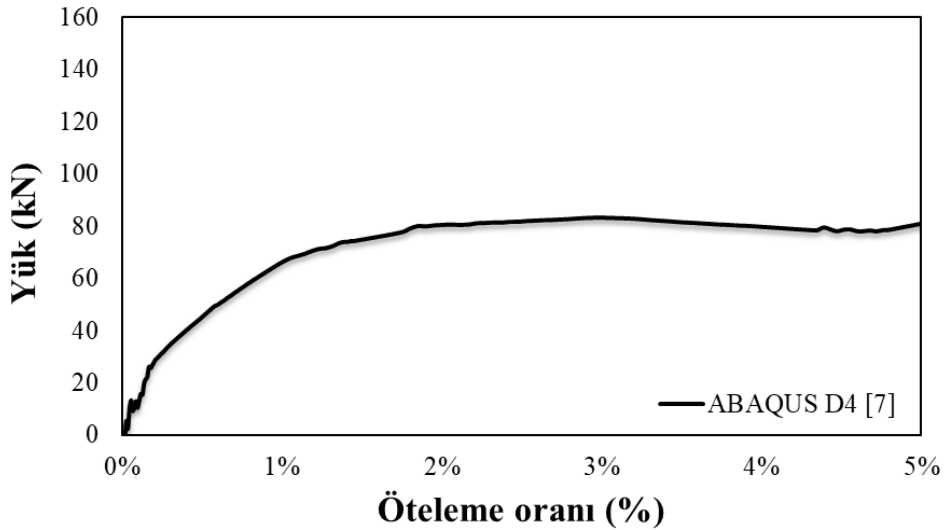
Şekil 5.40. D4 (a) 2 mm, (b) 10 mm, (c) 15 mm, (d) 35 mm deplasman için maksimum asal gerilmeler



Şekil 5.41. D4 modelinde oluşan kalıcı şekil değiştirmeler (a) 35 mm (b) 90,68 mm



Şekil 5.42. D4 çerçevesinin dolgu duvar derzlerinde oluşan gerilmeler (a) 70 mm, (b) 90 mm, (c) 110 mm



Şekil 5.43. D4 analiz yanal kuvvet - öteleme oranı eğrisi

35 mm yanal ötelemeye kadar dolgu duvarda asal gerilme oluşmamıştır. Bu değerden sonra dolgu duvarda ve çerçevede kalıcı hasar meydana gelmeye başlamıştır. Artan öteleme ile dolgu duvar derzlerinde diyagonal yönde gerilmeler meydana geldiği görülmüştür. YÇ

analiz sonucunda olduğu gibi, D4 analiz sonuçlarında da 90,68 öteleme değerinde dolgu duvar diyagonal köşe noktalarından sıkışmıştır. Dolgu duvar %5,34 öteleme değerinden sonra çerçeve dayanımına etkisini göstermiştir.

### 5.2.5. Önerilen bağlantı aparatlı çerçevenin modellenmesi (D5)

Bu çerçevenin mekanik özellikleri YÇ çerçevesinden alınmıştır ve Çizelge 5.17-19.'da verilmiştir. Çerçevede kullanılan kontaklar diğer analizlerde olduğu gibi dikkate alınmıştır. Beton, çelik ve duvara ait gerilme-birim şekil değiştirme eğrileri sırasıyla Şekil 5.44-46'te gösterilmiştir. Sıvalar duvara tam aderans ile bağlandığı varsayılmıştır. Ayrıca duvar ile taşıyıcı elemanlar arasındaki rijit olmayan taşıyünü modele dahil edilmemiştir.

Çizelge 5.17. Beton mekanik özellikleri (D5)

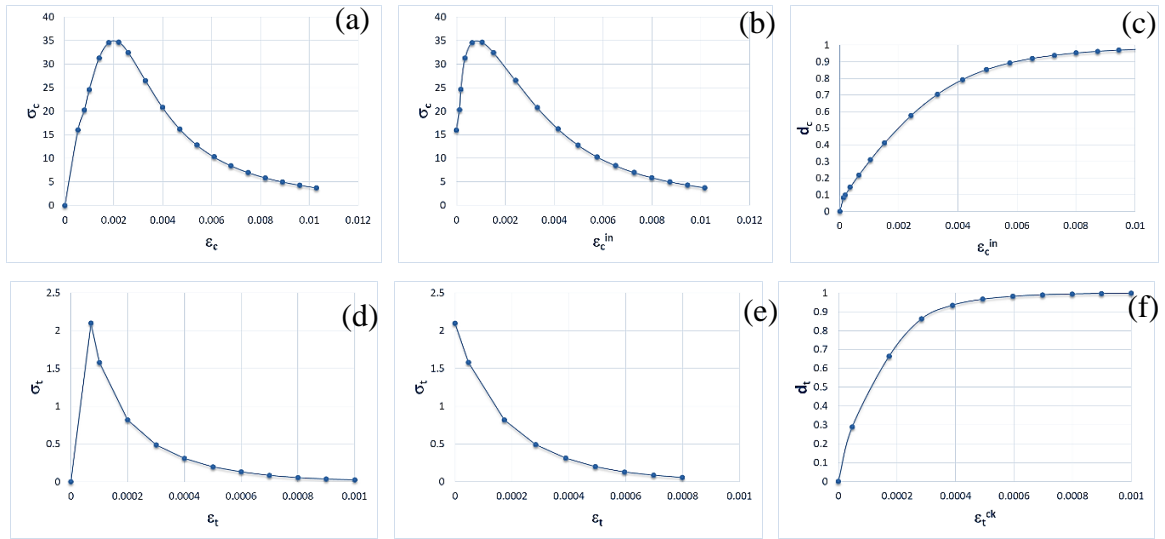
Birim Hacim Ağırlık (ton/mm <sup>3</sup> )	Elastik			Plastik			
	Elastisite Modülü (N/mm <sup>2</sup> )	Poisson Oranı	Dilatasyon Açısı (Ψ)	Eksantrisite	f <sub>bo</sub> /f <sub>co</sub>	K	Viskozite
2,2x10 <sup>-9</sup>	31743	0,2	31	0,1	1,16	0,6667	0,001

Çizelge 5.18. Donatı mekanik özellikleri (D5)

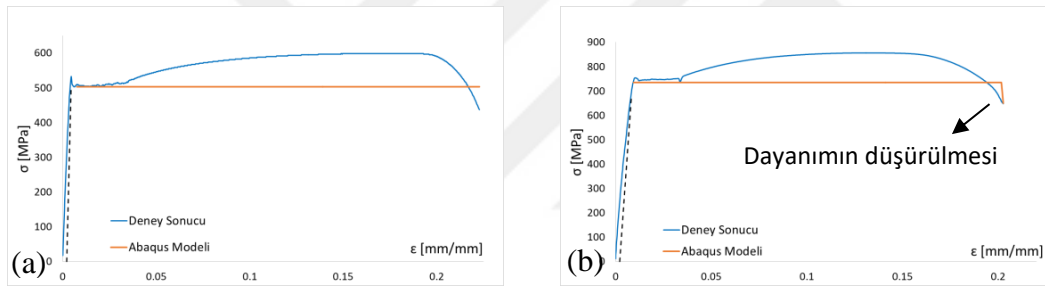
Birim Hacim Ağırlık (ton/mm <sup>3</sup> )	Boyuna donatı			Enine donatı		
	Elastisite Modülü (N/mm <sup>2</sup> )	Poisson Oranı	Akma Dayanımı (MPa)	Elastisite Modülü (N/mm <sup>2</sup> )	Poisson Oranı	Akma Dayanımı (MPa)
7,85x10 <sup>-9</sup>	246687	0,3	735	280962	0,3	503

Çizelge 5.19. Duvar mekanik özellikleri (D5)

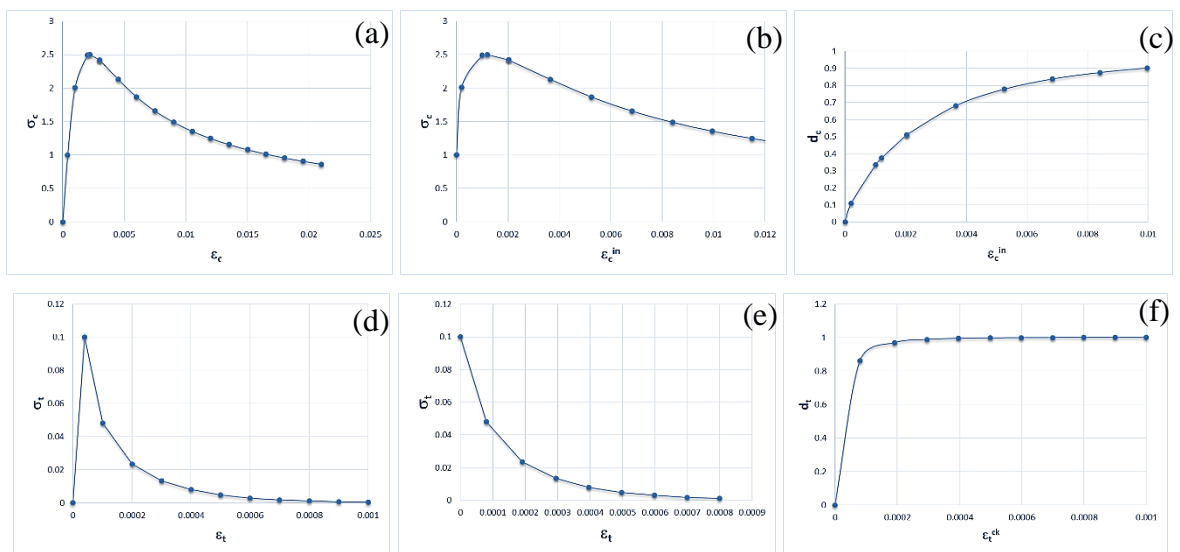
Birim Hacim Ağırlık (ton/mm <sup>3</sup> )	Elastik			Plastik			
	Elastisite Modülü (N/mm <sup>2</sup> )	Poisson Oranı	Dilatasyon Açısı (Ψ)	Eksantriste	f <sub>bo</sub> /f <sub>co</sub>	K	Vizkozite
2,2x10 <sup>-9</sup>	1612	0,2	31	0,1	1,16	0,6667	0,001



Şekil 5.44. Beton (a) basınç gerilme-birim şekil değıştirme (b) basınç plastisite (c) basınç hasar (d) çekme gerilme-birim şekil değıştirme (e) çekme plastisite (f) çekme hasar eğrisi (D5)

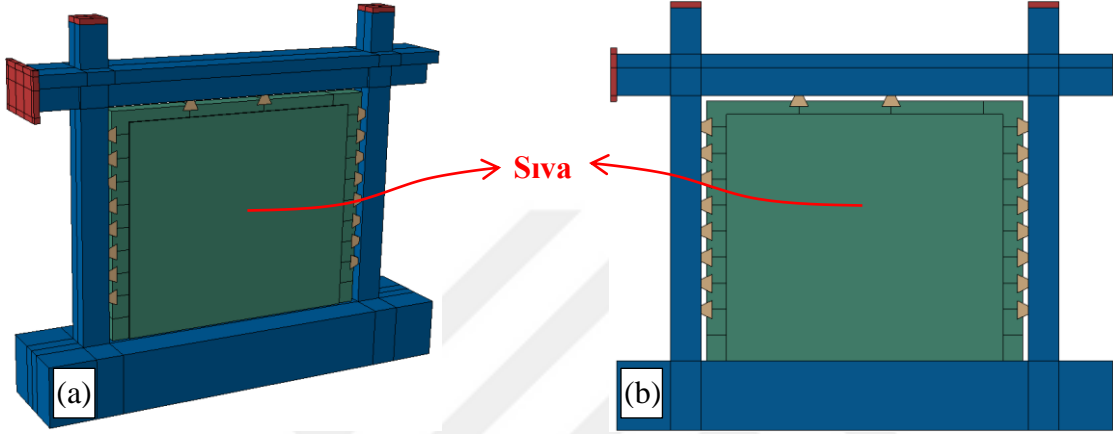


Şekil 5.45. Donatıların test verileri ve kabulleri (a) enine, (b) boyuna donatı (D5) [6 , 95]

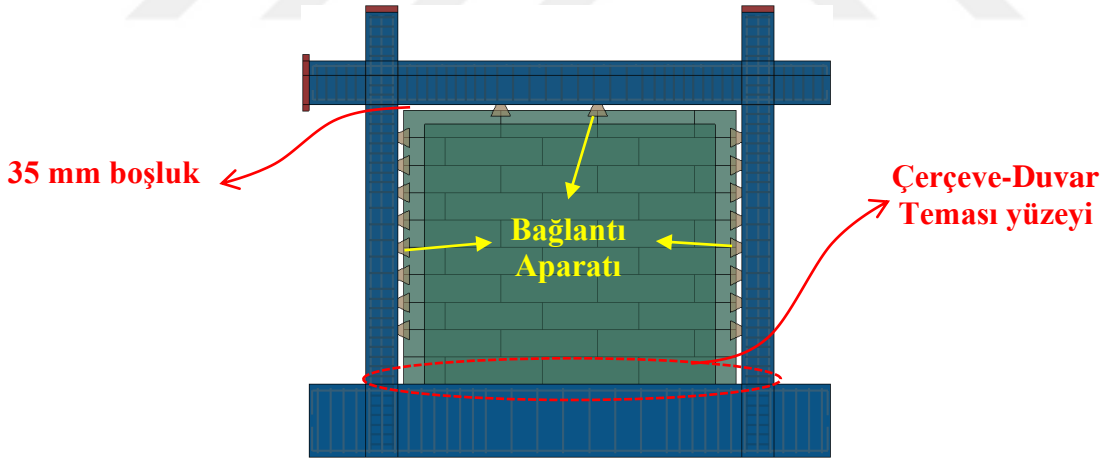


Şekil 5.46. Dolgu duvarın (a) basınç gerilme-birim şekil değıştirme (b) basınç plastisite (c) basınç hasar (d) çekme gerilme-birim şekil değıştirme (e) çekme plastisite (f) çekme hasar eğrisi (D5)

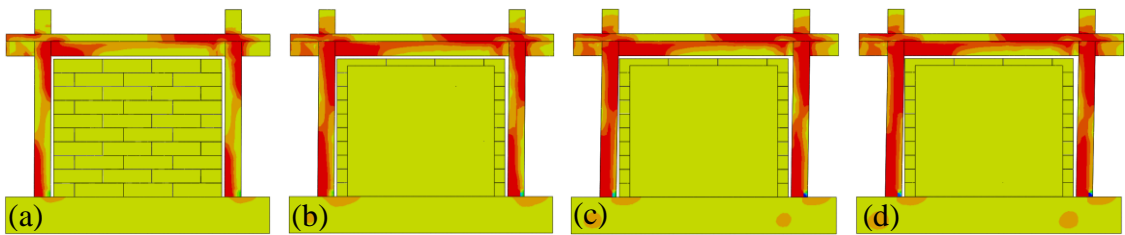
Çerçeveye ait katı modeli Şekil 5.47a, b'de ve donatıları Şekil 5.48'de gösterilmiştir. Çerçeve sistemde oluşan maksimum asal gerilmelere Şekil 5.49 a-d'de sunulmuştur. Analizin 35 ve 90,68 mm'deki deplasmanları sırasıyla Şekil 5.50a, b'de verilmiştir. Çerçevenin yatay yük altında dolgu duvar derzlerinde meydana gelen gerilmeler Şekil 5.51'te sunulmuştur. Yatay yük ve öteleme oranı Şekil 5.52'de verilmiştir.



Şekil 5.47. D5 ABAQUS katı modelleri

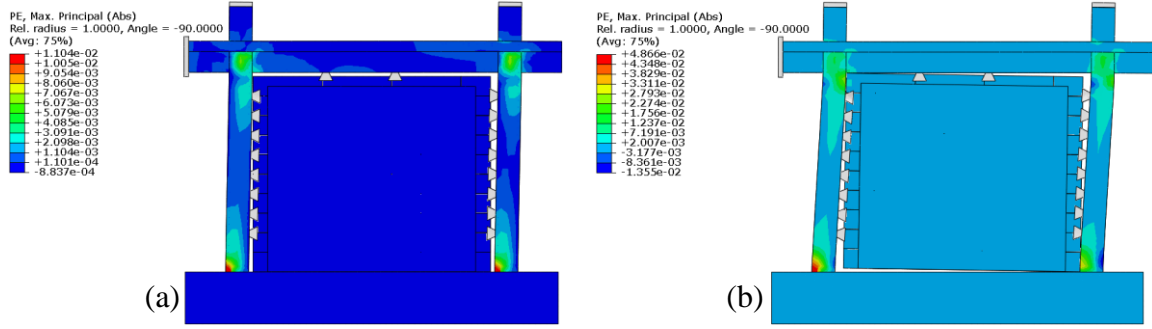


Şekil 5.48 D5 donatı yerleşimi ve bağlantı aparatı konumları

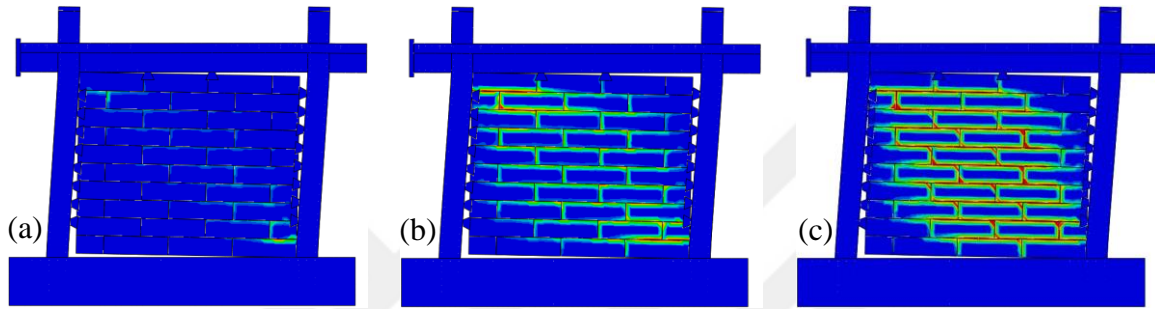


Şekil 5.49. D5 (a) 2 mm, (b) 10 mm, (c) 15 mm, (d) 35 mm deplasman için maksimum asal gerilmeler

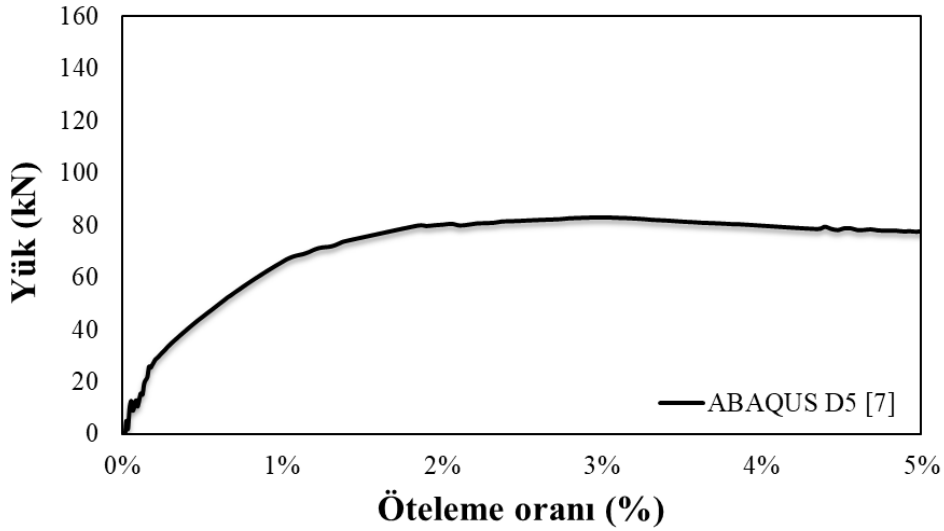




Şekil 5.50. D5 numunesinde oluşan kalıcı şekil değiştirmeler (a) 35 mm (b) 90,68 mm



Şekil 5.51. D5 çerçevesinin dolgu duvar derzlerinde oluşan gerilmeler (a) 70 mm, (b) 90 mm, (c) 110 mm



Şekil 5.52. D5 analiz yanal kuvvet - öteleme oranı eğrisi

35 mm yanal ötelemeye kadar dolgu duvarlarda asal gerilme oluşmamıştır. Bu değerden sonra dolgu duvarda ve çerçevede kalıcı hasar meydana gelmeye başlamıştır. Artan öteleme

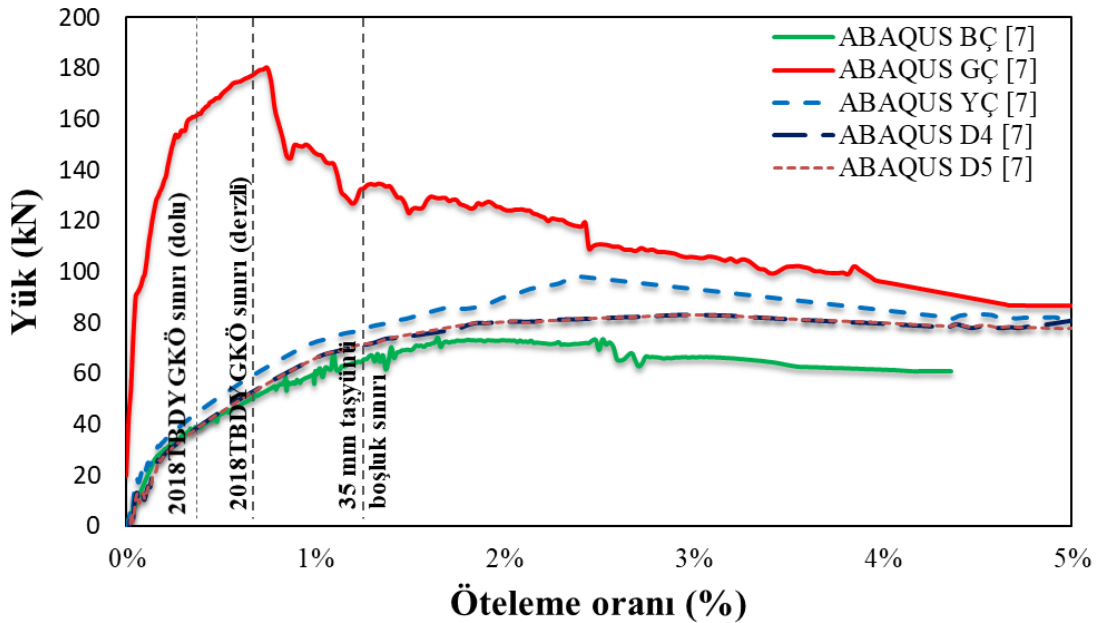
ile dolgu duvar derzlerinde diyagonal yönde gerilmeler meydana geldiği görülmüştür. Dolgu duvar %5,34 öteleme oranından sonra çerçeve dayanımına katkı sağlamıştır.



## 6. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA

Dolgu duvarların olumlu etkilerini ifade eden çalışmalar literatürde oldukça yer bulmaktadır [19-26]. Bu çalışmalar genellikle, dolgu duvarlı çerçevelerin yanal rijitliğini artırdığı ve enerji tüketme kapasitesine katkı sağladığı yönündedir. Nitekim deprem sonrasında dolgu duvarlarda gözlenen çatlak ve hasarlar, dolgu duvarların yanal yük taşıdıklarının açık göstergesidir [26-30]. Buna ek olarak; dolgu duvarlar çerçevenin yanal rijitliğini önemli ölçüde artırdığı ve enerji tüketimine katkı sağladığı literatürde yer almaktadır [35-40]. Dolgu duvarların neden olduğu olumsuz etkilerde literatürde geniş yer almıştır [47, 48, 50, 52, 53].

Dolgu duvarların olumsuz etkilerinin giderilmesi üzere, BÇ GÇ ve YÇ deneyleri [6, 95] ile doğrulanan analitik modellerden elde edilen yük – deplasman eğrilerine ek olarak, D4 ve D5 analitik modellerinden elde edilen eğriler Şekil 6.1’de mukayese edilmiştir. Bu grafik, 2018 TBDY’de çerçevenin dolgu duvarlı veya esnek derzli olma durumuna göre sınırlandırılan etkin görece kat öteleme sınırlarını da içermektedir. Ayrıca dolgu duvar ile taşıyıcı elemanlar arasında bırakılan 35 mm’lik boşluk değerinin öteleme oranı da sunulmuştur.



Şekil 6.1. BÇ, GÇ, YÇ, D4 ve D5 çerçevelerinin tepe yükü – öteleme oranı mukayesesi

Yatay ötelemelerde GÇ numunesi BÇ, YÇ'ye göre daha gevrek bir davranış göstermiştir. BÇ, YÇ, D4 ve D5 çerçeveleri yatay yük taşıma kapasitelerine, GÇ numunesinin yatay yük taşıma kapasitesinden daha az bir değerde ve daha fazla bir öteleme oranında ulaşmıştır.

YÇ modelinde, kolon ve kiriş taşıyıcı eleman yüzeylerinin büyük bir açıklığına C profil ankrajlanmıştır. Bu durum GÇ modeline göre düşük yük taşıma kapasitesinde kalmasını sağlarken BÇ, D4 ve D5 modellerine göre nispeten daha fazla yük almasına neden olmuştur. Özellikle düşey taşıyıcılara ankrajlanan C profillerin çerçevenin yanal rijitliğine katkı sağladığı görülmüştür. Dolgu duvarların esnek derz ile ayrıldığı YÇ, D4 ve D5 modellerin analizlerinde, belirli bir öteleme oranından sonra ani yük artışı görülmüştür. Bu yük artışı, dolgu duvarın diyagonal köşe noktalarından sıkışmasıyla meydana gelmiştir.

D4 ve D5 modellerin yanal ötelemelerde, tamamen boş çerçeve davranışında olmayıp, çerçeve dayanımlarına sınırlı da olsa katkı sağladığı belirlenmiştir. Böylece D4 ve D5 yanal yük taşıma kapasiteleri BÇ ile YÇ arasında kalmıştır.

Çerçeve sistemlerin sonlu elemanlar ile modellenmesi ve analiz edilmesi oldukça zaman almıştır. Yapılan çalışmalar ve izlenimler sonucunda aşağıda sunulan öneriler;

- Deneyle için rijit sistem oluşturmak amacıyla imal edilen temelin modele yansıtılmaması
- Yükleme plakaların düzlemsel eleman (shell) olarak modellenmesi
- Bağlantı aparatlarının düzlemsel eleman (shell) olarak modellenmesi
- Bağlantı aparatlı çerçevelerde dolgu duvarların mesh aralığının büyütülmesi
- Bütün davranış gösteren dolgu duvarların homojen olarak modellenmesi

bu süreci kısaltabilmektedir.

## 7. SONUÇLAR

Bu tez kapsamında, BÇ, GÇ ve YÇ'li durumlar modellenerek analitik olarak incelenmiştir. Ayrıca, 2018 TBDY'de esnek bağlantı elemanına ek olarak bu çalışmada iki adet yenilikçi bağlantı detayı analitik olarak incelenmiştir. Yapılan analizlerde ABAQUS sonlu elemanlar yazılımı tercih edilmiştir. Bu çalışmadaki ABAQUS modellerinin doğrulanmasında, sadece kolon/kirişten oluşan yani boş çerçevenin, çerçeve içerisinde geleneksel yöntemler ile dolgu duvarlar ile oluşturulduğu yani dolu çerçevenin ve yönetmelik tarafından önerilen esnek derzli çerçevenin deney sonuçları [6, 95] kullanılmıştır. Hazırlanan modeller bu çalışmada önerilen iki farklı bağlantı aparatlı çerçevenin (D4, D5) analizi yapılarak elde edilen sonuçlar mukayese edilmiştir.

Yapılan çalışmada, esnek derzli/derzsiz yöntemler analitik olarak incelenmiştir. Modeller arasında karşılaştırmalar yapılmış ve değerlendirilmiştir. Bu çalışmada önerilen D4, D5 bağlantı detayları tasarlanırken; 2018 TBDY'de öngörülen şartları sağlayan, betonarme çerçevenin düzlem içi hareketinde dolgu duvar ile etkileşimini asgari düzeye indirgeyen, esnek derzli bağlantı elemanı tasarlanmaya çalışılmıştır. Çalışma kapsamında elde edilen sonuçlar aşağıda sunulmuştur.

- Çerçeve içinde dolgu duvar bulunmayan çerçeve modelinde (BÇ) izin verilen düzlem içi görece deplasmanı yaparken yanal yüke karşı kazandığı rijitlik, geleneksel olarak esnek derzsiz üretilmiş dolgu duvarlı modele göre (GÇ) düşük kalmıştır. Bu nedenle, yanal rijitliğe pozitif yönde katkı sağlayacağı düşüncesiyle yapılarda oluşturulan duvarların dayanıma katkısı genellikle ihmal edilmekte, yatay yüklerin yalnızca kolon ve perdeler tarafından taşındığı kabul edilerek analiz yapılmaktadır. Bu durum yatay yüke maruz kalan yapıların analizinde öngörülemeyen hasarlar oluşturmaktadır.
- 2018 TBDY tarafından önerilen bağlantı detaylı dolgu duvarlı model (YÇ), izin verilen öteleme sınırı içerisinde boş çerçeve modeline (BÇ) yakın bir davranış göstermiştir. Bu öteleme sınırı içerisinde dolgu duvar etkisini taşıyıcı sistemlere iletmemiş beklenen performansı sergilemiştir. Ancak YÇ'de kolon/kiriş yüzeyinde kullanılan C profiller, düzlemi doğrultusundaki ataletinin büyük olmasından dolayı çerçeve rijitliğine katkıda bulunmuştur.

- D4 çerçevesinde kullanılan L profiller, boş çerçeve gibi davranarak dolgu duvar etkilerini belirlenen görelî kat öteleme sınırı içerisinde taşıyıcı elemanlara iletmemiştir. Bağlantı elemanı taşıyıcı elemanlara rijitlik katmamıştır. Ayrıca, dolgu duvarların üretilmesi aşamasında kolayca yerleştirileceği düşünülmektedir. Ankraj sisteminin getireceği dezavantajından dolayı bağlantı aparatının kolona epoksi bazlı malzemeler ile yapıştırılması uygulamada ayrıca kolaylık sağlayacaktır.
- D5 çerçevesi D4 ile aynı davranışı göstermiş ve çerçeveye rijitlik katmamıştır. Taşıyıcı sisteme epoksi bazlı malzemeler ile yapıştırılması uygulamada kolaylık sağlayacaktır. Taşıyıcılara yapışan kısımlarının flanşlarından küçük olması, tüm yapısal sistem düşünüldüğünde ekonomik kazanç sağlamaktadır.
- D4 bağlantı aparatının diğer bağlantı aparatlarına göre daha düşük ankrajlanma yüzeyi bulunmaktadır. Yanal öteleme esnasında beklenmeyen sonuçların önüne geçilebilmesi için; kolon ve kiriş yüzeylerine yeterli mukavemette sabitlenmesi önem arz etmektedir. Çerçeveslere uygulamak üzere üretilen D5 bağlantı aparatı sayısının fazla olması ayrıca uygulama için zaman yönünde bir dezavantaj meydana getirmektedir.
- YÇ, D4 ve D5 çerçevelerinde, duvarlar ile taşıyıcılar arasında bırakılan 35 mm boşluk yeterli olmuştur. Ancak çalışma kapsamında incelenen D4 ve D5 çerçevelerinin bağlantı detayları deneyle desteklenmesi gerekmektedir.

## KAYNAKLAR

1. Çağlayan, E. (2006). Betonarme Çerçevelerin Yatay Yüklere Göre Analizinde Dolgu Duvar Etkisinin İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Entitüsü, Celal Bayar Üniversitesi, Manisa.
2. Saylan, Ş. (2008). Betonarme yapılarda, yatay yükler etkisi altında dolgu duvarların taşıyıcı sistem davranışına etkisi, Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü Balıkesir Üniversitesi, Balıkesir.
3. Dönmez, S. (2006). Deprem Etkisinde Betonarme Binalarda Hasarın Oluşmasında Dolgu Duvarların Modellenmesi ve Taşıyıcı Sisteme Katkısı, Doktora Tezi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul.
4. Bayülke, N. (2003). Betonarme yapının dolgu duvari. Türkiye mühendislik haberleri, 85-98.
5. TBDY (2018). Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği, Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı, Ankara.
6. Erdem, M. (2021). Betonarme Binalarda Dolgu Duvar ve Taşıyıcı Çerçeve Arası Uygun Bağlantı Elemanlarının Araştırılması, İskenderun Teknik Üniversitesi, Mühendislik ve Fen Bilimleri Enstitüsü, İskenderun / HATAY. Tez No: 10336246.
7. ABAQUS (1996). ABAQUS User's Manual (version 5.5) Hibbitt, Karlsson, and Sorensen, Inc, Pawtucket, USA.
8. Polyakov, S. (1956). Masonry in Framed Buildings: An Investigation into the Strength and Stiffness of Masonry Infilling." *Gosudarstvennoe izdatel'stvo Literaturny po stroitel'stvu i arkhitekture*. Moscow Russia. Technical Report.
9. Holmes, M. (1961). Steel frames with brickwork and concrete infilling. *Proceedings of the Institution of civil Engineers*, 19 (4), 473-478.
10. Mallick, D. and Severn, R. (1968). Dynamic Characteristics Of Infilled Frames. *Proceedings of the Institution of Civil Engineers*, 39 (2), 261-287.
11. Stafford Smith, B. and Carter, C. (1969). A method of analysis for infilled frames. *Proceedings of the institution of civil engineers*, 44 (1), 31-48.
12. Smith, B.S. (1962). Lateral stiffness of infilled frames. *Journal of the Structural Division*, 88 (6), 183-226.
13. Smith, B.S. (1963). Infilled frames. Ph. D. Thesis, Bristol University, England.
14. Smith, B.S. (1967). The composite behaviour of infilled frames. *In Tall Buildings*, Elsevier, pp. 481-495.
15. Türk, M., Ersoy, U. and Özcebe, G. Betonarme Çerçevelerin Betonarme Dolgu Duvarlarla Depreme Karşı Onarımı ve Güçlendirilmesi.

16. Marjani, F. and Ersoy, U. (1997). Behavior of brick infilled reinforced concrete frames under reversed cyclic loading. A Doctor of Philosophy Thesis in Civil Engineering, Middle East Technical University, Ankara.
17. Kaltakçı, M. and Köken, A. (2003). Beşinci Ulusal Deprem Mühendisliği Konferansı, 26-30 Mayıs 2003. İstanbul Bildiri No: AT-026.
18. Sachansky, S. and Brankov, G. (1973). Influence of The Nonelastic Deformations On The Structures On The Changing Of Dynamic Characteristics and Response.
19. Stafford Smith, B. and Riddington, J. (1977). The Composite Behaviour of Elastic Wall-Beam Systems. *Proceedings of the Institution of Civil Engineers*, 63 (2), 377-391.
20. Ersoy, U. and Uzsoy, S. (1971). The behavior and strength of infilled frames. *Report No. MAG-205 TUBITAK*, Ankara, Turkey.
21. Žarnić, R. and Tomažević, M. (1984). The behaviour on masonry infilled reinforced concrete frames subjected to cyclic lateral loading.
22. Yalçın, E. (1999). Dolgu Duvarların ve Konumlarının Çok Katlı Betonarme Yapıların Deprem Kuvvetleri Altındaki Davranışına Etkileri, Fen Bilimleri Enstitüsü.
23. Calvi, G.M. and Bolognini, D. (2001). Seismic response of reinforced concrete frames infilled with weakly reinforced masonry panels. *Journal of Earthquake Engineering*, 5 (02), 153-185.
24. Karaduman, A. (2005). An experimental study on the behavior of infilled frames under horizontal loading. *Pamukkale University Journal of Engineering Sciences*, 11 (3), 345-349.
25. İrtem, E., Türker, K. and Hasgül, U. (2010). Dolgu duvarlarının betonarme bina davranışına etkisi. *İTÜDERGİSİ/d*, 4 (4).
26. Perera, R. (2005). Performance evaluation of masonry-infilled RC frames under cyclic loading based on damage mechanics. *Engineering Structures*, 27 (8), 1278-1288.
27. Kızıloğlu, M.Y. (2006). Deprem etkisi altında dolgu duvarların betonarme çerçeve yapılar üzerindeki etkisi.
28. Dündar, E. (2007). Çok Katlı Betonarme Yapılarda Bölme Duvarlarının Deprem Davranışına Etkisi. Yüksek Lisan Tezi, Çukurova Üniversitesi, Adana.
29. ABYYHY (1998). Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik, Bayındırlık ve İskan Bakanlığı, Ankara. .
30. Tarakçı, U. (2006). Mevcut yapıların incelenmesi ve dolgu duvar takviyesi ile güçlendirilmesi, Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
31. Özdoğu, O.Z. (2006). Deprem Etkisi Altındaki Binaların Davranışına Dolgu Duvarların Etkisi, Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Entitüsü, Sakarya Üniversitesi, Sakarya.



32. SAP2000, C. S. I. (2007). Integrated software for structural analysis & design. Computer and Structures. Inc. Berkeley.
33. Sivri, M., Demir, F. and Kuyucular, A. (2006). The effects of infill walls, frame structures on the earthquake behavior and failure mechanism. *Journal of Institute of Natural Sciences*, Süleyman Demirel University, 10 (1), 109-115.
34. Öztürkoğlu, O., Uçar, T. and Yeşil, Y. Kısmi Boşluklu Dolgu Duvarların Betonarme Binaların Deprem Davranışına Etkisinin İncelenmesi.
35. Toker, A. (2007). Betonarme bir yapıda dolgu duvar etkisinin doğrusal olmayan dinamik hesap yöntemiyle incelenmesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
36. Kaplan, S.A. (2008). Dolgu Duvarların Betonarme Taşıyıcı Sistem Performansına Etkisi. *TMH*, 452, 49-62.
37. Tetik, D. (2007). Dolgu duvarların betonarme yapıların serbest titreşimine etkisi.
38. Kose, M.M. (2009). Parameters affecting the fundamental period of RC buildings with infill walls. *Engineering Structures*, 31 (1), 93-102.
39. Baran, M., Canbay, E. and Tankut, T. (2010). Beton Panellerle Güçlendirme-Kuramsal Yaklaşım. *Teknik Dergi*, 21 (101), 4959-4978.
40. Pujol, S. and Fick, D. (2010). The test of a full-scale three-story RC structure with masonry infill walls. *Engineering Structures*, 32 (10), 3112-3121.
41. Kaymak, F. and Mehmet, T. (2011). Kısmi Ve Tam Dolgu Duvarlı Çelik Çerçevelerin Yatay Yükler Altındaki Davranışının Elasto-Plastik Analiz Yöntemi İle İncelenmesi. *Gazi Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 26 (2).
42. Wijaya, W., Kusumastuti, D., Suarjana, M. and Pribadi, K. (2011). Experimental study on wall-frame connection of confined masonry wall. *Procedia engineering*, 14, 2094-2102.
43. Asteris, P.G., Kakaletsis, D. and Chrysostomou, C. (2011). Failure modes of in-filled frames.
44. Tabeshpour, M.R., Azad, A. and Golafshani, A.A. (2012). Seismic behavior and retrofit of infilled frames. *Earthquake-Resistant Structures-Design, Assessment and Rehabilitation*.
45. Ju, J., Bai, H., Zheng, Y., Zhao, T., Fang, R. and Jiang, L. (2012). A multi-structural and multi-functional integrated fog collection system in cactus. *Nature Communications*, 3 (1), 1-6.
46. Asteris, P.G., Cotsovos, D.M., Chrysostomou, C., Mohebkah, A. and Al-Chaar, G. (2013). Mathematical micromodeling of infilled frames: state of the art. *Engineering Structures*, 56, 1905-1921.

47. Hermanns, L., Fraile, A., Alarcón, E. and Álvarez, R. (2014). Performance of buildings with masonry infill walls during the 2011 Lorca earthquake. *Bulletin of Earthquake Engineering*, 12 (5), 1977-1997.
48. Jiang, H., Liu, X. and Mao, J. (2015). Full-scale experimental study on masonry infilled RC moment-resisting frames under cyclic loads. *Engineering Structures*, 91, 70-84.
49. Totoev, Y. and Al Harthy, A. (2016). Semi interlocking masonry as infill wall system for earthquake resistant buildings: a review. *The Journal of Engineering Research [TJER]*, 13 (1), 33-41.
50. Qian, K. and Li, B. (2017). Effects of masonry infill wall on the performance of RC frames to resist progressive collapse. *Journal of Structural Engineering*, 143 (9), 04017118.
51. Baghi, H., Oliveira, A., Valença, J., Cavaco, E., Neves, L. and Júlio, E. (2018). Behavior of reinforced concrete frame with masonry infill wall subjected to vertical load. *Engineering Structures*, 171, 476-487.
52. Koutas, L.N. and Bournas, D.A. (2019). Out-of-plane strengthening of masonry-infilled RC frames with textile-reinforced Mortar Jackets. *Journal of Composites for Construction*, 23 (1), 04018079.
53. Akhoundi, F., Vasconcelos, G. and Lourenço, P. (2020). Experimental out-of-plane behavior of brick masonry infilled frames. *International Journal of Architectural Heritage*, 14 (2), 221-237.
54. Binici, B., Canbay, E., Aldemir, A., Demirel, I.O., Uzgan, U., Eryurtlu, Z. *et al.* (2019). Seismic behavior and improvement of autoclaved aerated concrete infill walls. *Engineering Structures*, 193, 68-81.
55. Peng, Q., Zhou, X. and Yang, C. (2018). Influence of connection and constructional details on masonry-infilled RC frames under cyclic loading. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 108, 96-110.
56. Yoon, R., Sanada, Y. and Akahori, T. (2017). Seismic Performance Evaluation of RC Moment-Resisting Frames with Typical Non-Structural Walls in Japan. *Journal of Advanced Concrete Technology*, 15 (9), 544-557.
57. Cheng, X., Zou, Z., Zhu, Z., Huang, X., Liang, W., Mo, Y. and Chen, W. (2020). Experimental study on a steel frame infill wall based on vertical partitioning technology. *Engineering Structures*, 213, 110-565.
58. Lastowski, M. and Vanker, J. L. (2020). U.S. Patent No. 10,533,314. Washington, DC: U.S. Patent and Trademark Office.
59. Eroğlu Azak, T., Ay, B. and Akkar, S. (Year). Published A Statistical Study on Geometrical Properties of Turkish Reinforced Concrete Building Stock, pp. 24-29.
60. AFAD. Türkiye Deprem Tehlike Haritaları İnteraktif Web Uygulaması (2018), URL: <https://tdth.afad.gov.tr/>, Son Erişim Tarihi: 8.8.2020.

61. Erdem, M.M., Emsen, E. ve Bikçe M. (2019). Esnek Derzli Dolgu Duvar – Çerçeve Bağlantısı ve Yerel Zemin Sınıfının Kolon Kesitlerine Etkisinin İncelenmesi, Uluslararası İnşaat Mühendisliğinde Yenilik, Sürdürülebilirlik, Teknoloji ve Eğitim Konferansı (iSTE-CE'2019), İskenderun Teknik Üniversitesi, 13-15 Haziran, 2019, İskenderun, Hatay / TÜRKİYE, 1315-1325. Bildiri Kitabı 1 cilt (ISBN 978-605-031-927-9). [TÜBİTAK 1001 programı ile desteklenen 118M317 numaralı proje kapsamındadır].
62. Erdem, M.M. ve Bikçe M. (2019). 2018 TBDY'ne göre etkin görel kat öteleme sınırlarının incelenmesi. 5. Uluslararası Deprem Mühendisliği ve Sismoloji Konferansı (5ICEES), 08-11 Ekim 2019, ODTÜ Konferans Salonları, Ankara / TÜRKİYE. [TÜBİTAK 1001 programı ile desteklenen 118M317 numaralı proje kapsamındadır].
63. TS EN 1992-1-1 “Beton yapıların tasarımı - Bölüm 1-1: Genel kurallar ve binalara uygulanacak kurallar (eurocode 2)”, Türk Standartlar Enstitüsü.
64. TS EN 1992-1-1 (İngilizce Metin) “Eurocode 2: Beton yapıların projelendirmesi - Bölüm 1-1: Genel kurallar ve bina kuralları”, Türk Standartlar Enstitüsü.
65. ETABS, C. S. I. (2007). Integrated software for structural analysis & design. Computer and Structures. Inc. Berkeley.
66. Version, I. S. 10.17 (2013) İdeyapı.
67. Enstitüsü, T.S. (2000). TS 500 Betonarme Yapıların Tasarım ve Yapım Kuralları. Ankara, Türkiye.
68. STA4-CAD, Ver.13,2, İstanbul.
69. Microsoft Excel - Microsoft Corporations, One Microsoft Way Redmond, WA 98052-6399.
70. Lotfi, H. and Shing, P. (1991). An appraisal of smeared crack models for masonry shear wall analysis. *Computers & structures*, 41 (3), 413-425.
71. Milani, G. (2008). 3D upper bound limit analysis of multi-leaf masonry walls. *International Journal of Mechanical Sciences*, 50 (4), 817-836.
72. Milani, G. (2010). 3D FE limit analysis model for multi-layer masonry structures reinforced with FRP strips. *International Journal of Mechanical Sciences*, 52 (6), 784-803.
73. Milani, G. (2011). Simple homogenization model for the non-linear analysis of in-plane loaded masonry walls. *Computers & structures*, 89 (17-18), 1586-1601.
74. Dere, Y. and Koroglu, M.A. (2017). Nonlinear FE modeling of reinforced concrete. *International Journal of Structural and Civil Engineering Research*, 6 (1), 71-74.
75. Popovics, S. (1973). A numerical approach to the complete stress-strain curve of concrete. *Cement and concrete research*, 3 (5), 583-599.

76. Thorenfeldt, E. (Year). Published Mechanical properties of high-strength concrete and applications in design.
77. Birtel, V. and Mark, P. (Year). Published Parameterised finite element modelling of RC beam shear failure, pp. 95-108.
78. Bayrak, O.F, Bikçe, M. (2018). Dolgu Duvar Davranışını Temsil Eden Eşdeğer Basınç Çubuğu Modellerinin Karşılaştırılması, 3rd International Mediterranean Science and Engineering Congress (IMSEC 2018).
79. Smith, B.S. (1966). Behavior of square infilled frames. *Journal of the Structural Division*, 92 (1), 381-404.
80. Mainstone, R. (1974). On the stiffness and strength of in-filled frames. *Proc. Supplement, Trans. of Inst. Of Civil Eng. State Univ. of New York*.
81. Prestandard, F. (2000). commentary for the seismic rehabilitation of buildings (FEMA356). Washington, DC: Federal Emergency Management Agency, 7.
82. Kadir, M.R. (1974). Structural behaviour of masonry infill panels in framed structures.
83. Liauw, T., Kwan, K., May, I., MA, S., Wood, R. and Sims, P. (1984). Discussion. Plastic Theory Of Non-Integral Infilled Frames. *Proceedings of the Institution of Civil Engineers*, 77 (2), 279-286.
84. Decanini, L. and Fantin, G. (1986). Modelos simplificados de la mampostería incluida en porticos. *Características de stiffnessy resistencia lateral en estado limite*. Jornadas Argentinas de Ingeniería Estructural, 2, 817-836.
85. Dawe, J., Schriver, A. and Sofocleous, C. (1989). Masonry infilled steel frames subjected to dynamic load. *Canadian Journal of Civil Engineering*, 16 (6), 877-885.
86. Hendry, A. (1990). Structural masonry. *MacMillan Education, Ltd., London*.
87. Bertoldi, S., Decanini, L. and Gavarini, C. (1993). Telai tamponati soggetti ad azioni sismiche, *un modello semplificato: confronto sperimentale e numerico*. Atti del, 6, 815-824.
88. Lourenço, P. (1996). Computational strategies for masonry structures. PhD Dissertation. Delft University of Technology, Delft University Press. The Netherlands, 1996. 209 p.
89. Lourenço, P. and Zucchini, A. (2001). A homogenization model for stretcher bond masonry. *Computer Methods in Structural Masonry-5, Computers & Geotechnics*, UK, 60-67.
90. Drucker, D.C. and Prager, W. (1952). Soil mechanics and plastic analysis or limit design. *Quarterly of applied mathematics*, 10 (2), 157-165.
91. Noorfard, M. and Marefat, M. (Year). Published Finite element modeling and investigation of the effects of masonry infill on the behavior of reinforced concrete (RC) frames.

92. Campilho, R.D., De Moura, M. and Domingues, J. (2008). Using a cohesive damage model to predict the tensile behaviour of CFRP single-strap repairs. *International Journal of Solids and Structures*, 45 (5), 1497-1512.
93. İnternet: URL: <https://info.simuleon.com/blog/foam-indentation-with-ABAQUS-fea>, Son Erişim Tarihi: 8.8.2020
94. Song, K., Dávila, C.G. and Rose, C.A. (2008). Guidelines and parameter selection for the simulation of progressive delamination.
95. Bikçe, M. and Emsen, E. (15/11/2019 - 15/05/2020). Dolgu Duvar-Betonarme Çerçeve Arası Esnek Derzli Yeni Bağlantı Elemanlarının Araştırılması. *TUBITAK 118M317 - 1001* , Ankara, Turkey.



## ÖZGEÇMİŞ

### Kişisel Bilgiler

Soyadı, adı : BAYRAK, Osman Fatih  
 Uyuğu : T.C.  
 Doğum tarihi ve yeri : 20.02.1993, K.Maraş  
 Medeni hali : Bekar  
 Telefon : 0 (553) 462 31 28  
 E-mail : osmanfatihbayrak@gmail.com  
 Web-site : www.osmanbayrak.org



### Eğitim

Derece	Eğitim Birimi	Mezuniyet Tarihi
Yüksek lisans	İskenderun Teknik Üniversitesi/İnşaat Mühendisliği/İnşaat Mühendisliği ABD	Devam ediyor
Lisans	İskenderun Teknik Üniversitesi/İnşaat Mühendisliği	2018
Lise	Erdem Beyazıt Anadolu Lisesi	2013

### İş Deneyimi

Yıl	Görev
2012-Adonis Mimarlık Mühendislik	Proje Elemanı
2014-SEGA İnşaat	Şantiye Elemanı
2016-KHB İnşaat	Şantiye Elemanı

### Yabancı Dil

İngilizce

## Yayınlar

### A. Uluslararası Hakemli Dergilerde Yayımlanan Makaleler

- A1. Bayrak, O. F., Bikçe, M. (2018). Analyzing the Effect of Infill Walls on A Rc Structure. *Disaster Science And Engineering*, 4(1), 32-39.
- A2. Bayrak, O. F., Yedek, S., Erdem, M. M., Bikçe, M. (2018) Investigating the Effect of Infill Walls on Steel Frame Structures. *Challenge Journal Of Structural Mechanics*, 4(1), 27-32.

### B. Ulusal Hakemli Dergilerde Yayımlanan Makaleler

- B1. Bayrak, O. F., Bikçe, M., Erdem, M., Emsen, E. (2020). Dolgu Duvarların Düzlem İçi ve Düzlem Dışı Davranışına Esnek Derzli Bağlantı Elemanının Etkisi. *Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 3 (1), 24-28.
- B2. Bayrak, O. F., Bikçe, M. (2019). Dolgu Duvarın Yapısal Düzensizliklere ve Performansa Etkisinin Mevcut Bir Yapı Üzerinde İncelenmesi. *Uludağ University Journal of The Faculty of Engineering*, 24(3), 241-254.

### C. Uluslararası Bilimsel Toplantılarda Sunulan ve Bildiri Kitaplarında Basılan Bildiriler

- C1. Bayrak, O. F., Bikçe, M. Investigation of the Effect Of Door / Window Opening on the Steel Frame, Sözlü Sunum. 5. International Conference on Earthquake Engineering and Seismology, 08 - 11 October 2019.
- C2. Yedek, S., Bayrak, O. F., Bikçe, M. The Investigation of the Triangular Structure in the 2011 Van Earthquake, Tam Metin Bildiri. 5. International Conference on Earthquake Engineering and Seismology, 08 - 11 October 2019.
- C3. Bayrak, O. F., Erdem, M. M., Bikçe., E. Emsen. Esnek Derzli Dolgu Duvarların Düzlem İçi ve Düzlem Dışı Davranışı, Sözlü Sunum. International Conference on Innovation, Sustainability, Technology and Education in Civil Engineering , 13 - 15 June 2019.
- C4. Bayrak, O. F., Yedek, S., Bikçe, M. Komşu Yapılarda Dolgu Duvar Etkisinin İncelenmesi, Sözlü Sunum. International Mediterranean Science and Engineering Congress, 24 - 26 October 2018.

C5. Bayrak, O. F., Yedek, S., Bikçe, M. Litaretürde Önerilen Eşdeğer Basınç Çubuğu Kalınlıklarının Karşılaştırılması. Sözlü Sunum, International Mediterranean Science and Engineering Congress, 24 - 26 October 2018.

C6. Bayrak, O. F., Yedek, S., Erdem, M. M., Bikçe, M. Çelik Çerçevesi Yapılar Özelinde Dolgu Duvar Etkisinin İncelenmesi, Sözlü Sunum, Uluslararası Katılımlı 7. Çelik Yapılar Sempozyumu, 26 - 28 October 2017.

C7. Bayrak, O. F., Bikçe, M. Dolgu Duvarların Yapı Deprem Performansına Etkisinin Mevcut Bir Yapı Üzerinde Araştırılması, Sözlü Sunum, 4. Uluslararası Deprem Mühendisliği ve Sismoloji Konferansı, 11 - 13 October 2017.

#### D. Projeler

D1. 118M317, Dolgu Duvar-Betonarme Çerçeve Arası Esnek Derzli Yeni Bağlantı Elemanlarının Araştırılması, 1001 - Araştırma, Burslu, Yürürlükte, ARDEB, MAG - Mühendislik Araştırma Destek Grubu.



## DİZİN

---

### **A**

ABAQUS · iv, xvi, xvii, xviii,  
46, 55, 64, 65, 67, 73, 75,77,  
78, 81, 86, 89, 90, 92, 94, 99,  
104, 106, 112

---

### **B**

Bağlantı aparatı · xiv, xv, xvi,  
xvii, xviii, 34, 45, 58, 59, 60,  
61, 62, 63, 90, 95, 99, 105,

---

### **C**

C profil · 58, 59, 61, 102, 104,  
105

---

### **D**

Deprem · iv, xvi, 33, 34, 35, 36,  
37, 38, 41, 42, 43, 45, 46, 47,  
50, 51, 101, 106, 107, 108,  
109, 110, 114,

---

### **G**

Geleneksel dolgu duvar · iv, xvi,  
34, 55, 56, 57

---

### **H**

Harita · iv, xvi, 47, 109, 115

---

### **K**

Kabul · xv, xvi, xvii, 32, 35, 36,  
47, 49, 65, 68, 69, 71, 73, 76,  
77, 78, 79, 80, 81, 83, 85, 89,  
93, 98, 104, 115,

---

### **L**

L profil · 59, 60, 105

---

### **N**

Numune · xv, xvi, xvii, xviii, 42,  
43, 44, 47, 55, 66, 73, 81, 83,  
86, 91, 100, 102

---

### **Ö**

Özet · iv, v, vii, 80

---

### **P**

Program · v, xiv, 35, 38, 42, 43,  
50, 52, 53, 65, 110

---

### **R**

Referans · 43,  
Resimlemelerin Açıklamaları · 21

---

### **S**

Simge · xv

---

### **Ş**

Şekillerin listesi · xiv

---

### **U**

U profil · 45, 105

---

### **Y**

Yaklaşım · 35, 40, 65, 73, 108



**TEKNOVERSİTE**



teknoversite **AYRICALIĞINDASINIZ**

**İSTE**

