



T.C.
NECMETTİN ERBAKAN ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**YIĞMA BİR BİNADA UYGULANAN DEPREM
GÜÇLENDİRMESİNİN DOĞRUSAL
OLMAYAN ANALİTİK YÖNTEMLE
İNCELENMESİ**

Kısmet Merve ŞERBETÇİGİL

YÜKSEK LİSANS TEZİ

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Haziran-2021
KONYA
Her Hakkı Saklıdır

TEZ BİLDİRİMİ

Bu seminerdeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edildiğini ve tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

DECLARATION PAGE

I hereby declare that all information in this document has been obtained and presented in accordance with academic rules and ethical conduct. I also declare that, as required by these rules and conduct, I have fully cited and referenced all materials and results that are not original to this work.

Kismet Merve ŞERBETÇİGİL

Tarih: / / 2021

ÖZET

YÜKSEK LİSANS TEZİ

YIĞMA BİR BİNADA UYGULANAN DEPREM GÜÇLENDİRMESİNİN DOĞRUSAL OLMAYAN ANALİTİK YÖNTEMLE İNCELENMESİ

Kısmet Merve ŞERBETÇİGİL

**Necmettin Erbakan Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı**

Danışman: Prof. Dr. Hasan Hüsnü KORKMAZ

2021, 144 Sayfa

Jüri

**Prof. Dr. Hasan Hüsnü KORKMAZ
Dr. Öğr. Üyesi Süleyman Kamil AKIN
Dr. Öğr. Üyesi Nebi ÖZDÖNER**

Yığma yapılar, dünyada ve Türkiye’de depreme yatkın bölgelerde bina stokunun önemli bir kısmını meydana getirmektedir. Dezavantajları bilinmesine rağmen ülkemizde hala kullanılmaya devam edilen ve genellikle kırsal kesimde inşası süren yapılar hala yaşam alanı olarak kullanılmaktadır. Yığma yapıların, olası deprem anında büyük ölçüde hasar aldığı bilinmektedir. Bu tür yapılar, eksenel kuvvetlere karşı daha dayanıklı iken deprem gibi yatay kuvvetler karşısında yeterli potansiyele sahip değildir. Söz konusu yapıların yapımında kullanılan malzemelerin gevrek kırılmalar müsait olması ve çekme dayanımının düşük olması hasarların meydana gelmesindeki başlıca sebeplerdir. Bu sebeple şu anda, gelecekte oluşacak yüklemeler altında meydana gelebilecek hasarları engellemek ve en aza indirmek amacı ile önlemlerin alınması ve yapıların güçlendirilme uygulamalarının yapılması gerekli en önemli uygulamadır.

Performansa dayalı deprem uygulamalarını betonarme ve çelik binalar için geliştirmek daha kolay iken malzeme özelliklerinin değişkenliği, yapının mühendislik dışı doğası ve delikli duvarların yapısal analizindeki zorluklar, yığma binalarının analiz uygulamalarını zorlaştırmaktadır. Sonlu elemanlar modelinin gelişmesine rağmen bu tür yapılarda belirlenemeyen malzeme davranışları için kapsamlı verilere ihtiyaç duyulmaktadır. Oluşturulacak malzeme modeli ile bu sorunu ortadan kaldırarak yığma yapılarda doğrusal olmayan eşdeğer çerçeve modeli yardımı ile gerçeğe en yakın analiz sonuçları elde edilebilir.

Bu tezde sunulan çalışma kapsamında, 2009 yılında Konya’da meydana gelen deprem sonucu Akşehir ilçesinde bulunan hasar almış bir yığma bina referans alınmıştır. ABAQUS sonlu elemanlar programı kullanılarak bu referans binanın 2 modeli oluşturulmuştur. Tez çalışması içerisinde ABAQUS programı tanıtıldıktan sonra yapının analizi için veri girişi sağlanmıştır. Bu analiz aşamasında plastik olarak tasarlanacak tuğla duvar için malzeme modeli geliştirilmiştir. Öncelikle yapının güçlendirilmemiş hali tasarlanarak analiz çıktıları alınmış daha sonra perde duvar eklenerek bina güçlendirilmiş hale getirilip bu modelin analiz çıktıları alınmıştır. Güçlendirilmemiş ve güçlendirilmiş 2 modelin performans dayalı değerlendirmeleri sonucunda perde duvarların yapıya katkısı değerlendirilmiştir.

Anahtar Kelimeler: ABAQUS, Doğrusal Olmayan Analiz, Sonlu Elemanlar Yöntemi, Yığma Bina,

ABSTRACT

MS THESIS

EARTHQUAKE STRENGTHENING APPLIED IN A MASONRY BUILDING BY NONLINEAR ANALYTICAL METHOD

Kismet Merve ŞERBETÇİGİL

**THE GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCE
OF NECMETTİN ERBAKAN UNIVERSITY
THE DEGREE OF MASTER OF SCIENCE
IN CIVIL ENGINEERING**

Advisor: Prof. Dr. Hasan Hüsnü KORKMAZ

2021, 144 Sayfa

Jury

**Prof. Dr. Hasan Hüsnü KORKMAZ
Assist. Prof. Dr. Süleyman Kamil AKIN
Assist. Prof. Dr. Nebi ÖZDÖNER**

Masonry structures, in earthquake-prone regions in the world and in Turkey constitute a significant portion of the building stock. Although the disadvantages are known, the buildings that are still used in our country and generally construction in rural areas are still used as living spaces. It is known that masonry structures substantially damage in the event of an earthquake. Such structures are more resistant to axial forces, but do not have sufficient potential against horizontal forces such as earthquakes. The brittle fractures of the materials used in the construction of these structures and the low tensile strength are the main reasons for the occurrence of damages. For this reason at the moment, it is the most important practice to take precautions and strengthen the structures in order to prevent and minimize the damages that may occur under future loads

While it is easier to develop performance-based earthquake applications for reinforced concrete and steel buildings, the variability of material properties, the non-engineering nature of the structure and the difficulties in structural analysis of perforated walls make the analysis of masonry buildings difficult. Despite the development of the finite element model, comprehensive data are needed for material behavior that cannot be determined in such structures. By eliminating this problem with the material model to be created, the closest realistic analysis results can be obtained with the help of the nonlinear equivalent frame model in masonry structures.

Within the scope of the study presented in this thesis, a masonry building damaged in Akşehir district as a result of the earthquake that occurred in Konya in 2009 was taken as reference. Using the ABAQUS finite element program, 2 models of this reference building were created. After the ABAQUS program was introduced in the thesis, data entry was provided for the analysis of the structure. In this analysis phase, a material model has been developed for the brick wall to be designed as plastic. First, the unreinforced form of the building was designed and the analysis outputs were taken, then the building was strengthened by adding a shear wall and the analysis output of this model was taken. As a result of the performance-based evaluations of the non-reinforced and reinforced model, the contribution of shear walls to the structure was evaluated

Keywords: ABAQUS, Finite Element Method, Masonry Structure, Nonlinear Analysis,

ÖNSÖZ

Yüksek lisans eğitimim boyunca emeklerini benden esirgemeyen ve bu tez çalışmasında danışmanlığımı üstlenen, süreç içerisindeki her aşamada bilgi ve tecrübesi ile katkıda bulunan değerli hocam Sayın Prof. Dr. Hasan Hüsnü KORKMAZ'a ve tez çalışmasının birçok adımında bilgilerinden faydalandığım, yardımları ile sorularımı her zaman cevaplandıran değerli hocam Dr. Öğr. Üyesi Yunus DERE'ye teşekkürlerimi sunarım.

Hayatım boyunca bana her türlü desteği veren ve bugünlere gelmemdeki en büyük paya sahip abime ve aileme; bu süreçte hayat görüşlerinden faydalandığım ve manevi desteğini her zaman hissettiren Derya ÇÖRDÜK GÖKYAR'a sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Kısmet Merve ŞERBETÇİGİL

Konya-2021

İÇİNDEKİLER

ÖZET	III
ABSTRACT.....	IV
ÖNSÖZ	V
İÇİNDEKİLER	6
ŞEKİL DİZİNİ	8
ÇİZELGE DİZİNİ	12
1. GİRİŞ.....	14
1.1 Çalışmanın Kapsamı	14
2. KAYNAK ARAŞTIRMASI.....	15
2.1 Literatür Özeti	15
3. MATERYAL VE YÖNTEM	19
3.1 Yığma Yapının Tanımı	19
3.2 Yığma Yapıların Sınıflandırılması	21
3.2.1 Donatısız Yığma Yapılar	21
3.2.2 Donatılı Yığma Yapılar	23
3.2.3 Kuşatılmış Yığma Bina.....	24
3.2.4 Donatılı Panel Sistemli Yığma Bina	26
3.3 Yığma Yapı Malzemeleri ve Özellikleri	26
3.3.1 Tuğla	27
3.3.1.1 Harman Tuğlası.....	29
3.3.1.2 Fabrika Tuğlası	29
3.3.2 Beton Dolgu	30
3.3.3 Donatı Çeliği.....	30
3.4 Yığma Yapı Elemanları.....	30
3.4.1 Duvar	30
3.4.2 Döşeme	31
3.4.3 Hatıllar	31
3.4.4 Kirişler	31
3.4.5 Temeller	31
3.5 Yığma Yapıların Statik ve Dinamik Yükler Altındaki Davranışları.....	32
3.5.1 Yığma Yapıların Dinamik Yükler Altındaki Davranışları	32
3.5.2 Yığma Yapıların Dinamik Yükler Altındaki Davranışları	34
3.5.2.1 Eksenel Basınç	34

3.5.2.2	Eksenel Çekme.....	35
3.5.2.3	Kayma (Kesme) Etkisi	35
3.6	Yığma Yapılarda Oluşan Hasar Biçimleri	36
3.6.1	Oturma Çatlakları ve Hasarları	37
3.6.2	Deprem Hasarları ve Çatlakları	39
3.7	Deprem Hasar Düzeyleri.....	44
3.8	Onarım ve Güçlendirme	46
3.8.1	Çimento Enjeksiyonu ile Onarım	48
3.8.2	Püskürtme Beton ile Güçlendirme	48
3.8.3	Hasır Çelik Donatılı Beton ile Güçlendirme.....	49
3.8.4	Perde Duvar ile Güçlendirme	50
3.8.5	Çelik Elemanlar ile Güçlendirme	51
3.8.6	FRP ve CFRP ile Güçlendirme	52
3.9	Yığma Duvarların Modellenmesi.....	53
3.9.1	Modelleme Teknikleri	54
3.9.1.1	Mikro Modelleme	55
3.9.1.2	Basit Mikro Modelleme	55
3.9.1.3	Makro Modelleme.....	56
3.9.3	Yığma Duvar Kırılma Hipotezleri.....	57
4.	YIĞMA BİNALARIN SONLU ELEMAN MODELİ İLE ANALİZİ İÇİN BİLGİSAYAR MODELİ	61
4.1	Referans Yapının Mevcut Durumunun İrdelenmesi	61
4.2	ABAQUS Programı	68
4.1.1	Veri Girişi	68
4.2	ABAQUS Programı ile Üç Boyutlu Yığma Binanın Doğrusal Olmayan Analizi	83
4.2.1	Güçlendirilmemiş Yapı Modelinin ABAQUS Programında Tasarlanması ...	83
4.2.2	Güçlendirilmiş Yapı Modelinin ABAQUS Programında Tasarlanması	105
5.	DEĞERLENDİRMELER.....	115
6.	SONUÇLAR.....	138
7.	KAYNAKLAR.....	140

ŞEKİL DİZİNİ

Şekil 3.1 Örnek yığma yapı (Öztaş,2009).....	20
Şekil 3.2 Donatısız yığma duvar görünüşü (Sayın,2009)	22
Şekil 3.3 Donatısız yığma duvar kesiti (Kömürcü, 2017)	22
Şekil 3.4 Donatısız yığma yapı örneği (Web İletisi- Yığma Yapı Nedir? Yığma Bina Çeşitleri ve Özellikleri (insapedia.com))	23
Şekil 3.5 Donatılı yığma duvar kesiti (Kömürcü, 2017).....	24
Şekil 3.6 Sandviç tip yığma duvar görünüşü (Tomažević, 1999).....	24
Şekil 3.7 Kuşatılmış yığma duvar kesiti (Kömürcü,2017)	25
Şekil 3.8 Kuşatılmış yığma duvar örneği (Kömürcü,2017).....	25
Şekil 3.9 Donatılı panel sistemli yığma bina yapımı (Web İletisi- Yığma Yapı Nedir? Yığma Bina Çeşitleri ve Özellikleri (insapedia.com)).....	26
Şekil 3.10 Yığma kargir birim malzeme örnekleri (Kömürcü, 2017)	27
Şekil 3.11 Yüksek yoğunluğa sahip tuğla çeşitleri (TS EN 771-1+A1).....	27
Şekil 3.12 Düşük yoğunluğa sahip tuğla çeşitleri (TS EN 771-1+A1).....	28
Şekil 3.13 Tuğla duvarların basınç dayanımları (https://insapedia.com/duvar-elastisite-modulleri-ve-basinc-dayanimlari/)	28
Şekil 3.14 Tuğla duvar örgü kuralları (Kuruşçu, 2012).....	31
Şekil 3.15 Taş temel modelleri (Çullu,2014).....	32
Şekil 3.16 Yatay yük altında yığma binada meydana gelen hasarlar (Batur, 1999).....	33
Şekil 3.17 Yığma numunenin aksenal basınç altındaki davranışı (Kuruşçu,2005)	34
Şekil 3.18 Yığma bir yapıdaki basınç kırılması (Carbone, Fiore, Pistone, 2001)	34
Şekil 3.19 Aksenal çekmeye maruz deney numunelerindeki deformasyonlar ile gerilme-şekil değiştirme diyagramları (Lourenço, 1996).....	35
Şekil 3.20 Kayma etkisindeki yığma prizmanın davranışı (Ural,2009)	36
Şekil 3.21 Yığma yapılarıdaki çeşitli oturma çatlakları (a) (Bayülke, 2001)	37
Şekil 3.22 Yığma yapılarıdaki çeşitli oturma çatlakları (b) (Bayülke, 2001).....	38
Şekil 3.23 Yığma yapılarıdaki çeşitli oturma çatlakları (c) (Bayülke, 2001)	38
Şekil 3.24 Yığma yapılarında oturma çatlakları (Bayülke, 2001)	39
Şekil 3.25 Yapıların depremdeki davranışlarının şematik açıklaması (Yalnız,2020)	40
Şekil 3.26 Derzlere Dik Yükler Altında Yığma Duvarda Kırılma (Bayülke, 2001)	41
Şekil 3.27 Yatay derzlere paralel etkiyen yükler altında yığma duvarlarda kırılma biçimleri.....	41
Şekil 3.28 Yığma duvardaki çatlak modelleri (Korkmaz, 2007).....	42
Şekil 3.29 Yığma duvarlarda çatlak oluşum aşamaları (Bayülke, 2001).....	42
Şekil 3.30 Yığma yapı köşe hasar biçimleri (Bayülke, 2001)	43
Şekil 3.31 Yığma yapıda köşe hasarı (Korkmaz, 2007)	44
Şekil 3.32 İTÜ Yapı ve Deprem Uygulama Merkezi hasar kriterleri (Batur, 1999)	44
Şekil 3.33 Az hasarlı yığma duvar çatlakları örnekleri (Gülkan, P., Sucuoğlu, H.,1988)	45
Şekil 3.34 Orta hasarlı yığma duvar örnekleri (Gülkan, P., Sucuoğlu, H.,1988)	45
Şekil 3.35 Ağır ve çok ağır hasarlı yığma duvar örnekleri (Özsaraç, 2009)	46
Şekil 3.36 Çimento enjeksiyonu ile güçlendirme (Web İletisi- Negative Side Waterproofing WATERPROOF! Magazine).....	48
Şekil 3.37 Püskürtme beton ile güçlendirilen bağlantı (Kalkan, 2008)	49

Şekil 3.38 Hasır çelik donatı sistemi (Özsaraç,2009).....	50
Şekil 3.39 Duvardaki hasarlı bölümün gergi demirleri ile güçlendirilmesi (Özsaraç, 2009).....	51
Şekil 3.40 Pencere boşlukları arasında kalan duvarların gergi demirleri ile güçlendirilmesi (Özsaraç,2009).....	51
Şekil 3.41 Duvar hatıl bölgesinde FRP uygulaması (Bayraktar,2005).....	52
Şekil 3.42 Modelleme teknikleri (Kömürcü,2017).....	54
Şekil 3.43 Yiğma yapılarında kullanılan modelleme teknikleri (Kömürcü, 2017).....	54
Şekil 3.44 Mikro modelleme tekniği (Lourenço,1996).....	55
Şekil 3.45 Basit mikro modelleme tekniği (Lourenço, 1996).....	56
Şekil 3.46 Basitleştirilmiş mikro model örneği (Idris J., Al Heib M., Verdel, T., 2009).....	56
Şekil 3.47 Makro modelleme tekniği (Lourenço, 1996).....	57
Şekil 3.48 Üç boyutlu uzayda ve düzlemde Tresca ve Von Mises yüzeyleri. (Kömürcü, 2017).....	58
Şekil 3.49 Mohr kriterinin grafik gösterimi (Kuruşçu, 2012).....	58
Şekil 3.50 Mohr Coulomb akma yüzeyi (Kuruşçu, 2012).....	59
Şekil 3.51 Drucker-Prager kriteri (Chen ve Mizuno,1990).....	59
Şekil 3.52 Mohr Coulomb ile Drucker-Prager kırılma yüzeyinin karşılaştırılması a)asal gerilme uzayında b)deviatorik düzlemde (Chen ve Han, 1988).....	60
Şekil 4.1 Perde duvarın kolon temeli ile bağlanması.....	62
Şekil 4.2 Perde temel beton dökümü.....	63
Şekil 4.3 Mevcutta sıvanın kaldırılması.....	63
Şekil 4.4 Yapıda açılan ankraj delikleri örnekleri.....	65
Şekil 4.5 Ankrajların ve donatıların yerleştirilmiş görüntüsü.....	66
Şekil 4.6 Perde duvarın donatı ve ankrajlarının görüntüsü.....	66
Şekil 4.7 Yapıya güçlendirme aşamasında eklenmiş perde duvarın son hali.....	67
Şekil 4.8 ABAQUS veri giriş adımları (Şerbetçigil, 2019).....	69
Şekil 4.9 Malzemenin elastik özelliklerinin tanımlanması (Şerbetçigil, 2019).....	71
Şekil 4.10 Malzemenin plastisite verilerinin girişi (Şerbetçigil, 2019).....	72
Şekil 4.11 Örnek bir eleman tipi tanımlanması (Şerbetçigil, 2019).....	73
Şekil 4.12 Örnek bir malzeme modeli atama (Şerbetçigil, 2019).....	73
Şekil 4.13 Kesit atamasının yapılması (Şerbetçigil, 2019).....	74
Şekil 4.14 Duvarın montajlanması (Şerbetçigil, 2019).....	75
Şekil 4.15 Elemanların mesh sekmesi Mesh ölçülerinin tanıtılması (Şerbetçigil, 2019).....	76
Şekil 4.16 Yapının parçalara bölünmüş görüntüsü (Şerbetçigil, 2019).....	76
Şekil 4.17 Sistemdeki adımların oluşturulması (Şerbetçigil, 2019).....	77
Şekil 4.18 Set oluşturma (Şerbetçigil, 2019).....	77
Şekil 4.19 Sınır şartlarının tanımlanması (Şerbetçigil, 2019).....	78
Şekil 4.20 Yer çekimi yükünün yaratılması (Şerbetçigil, 2019).....	79
Şekil 4.21 Yer çekimi yükünün yaratılması (Şerbetçigil, 2019).....	79
Şekil 4.22 Yük tanımlanması (Şerbetçigil, 2019).....	80
Şekil 4.23 Yükün düzenlenmesi (Şerbetçigil, 2019).....	80
Şekil 4.24 Analiz çıktıların istenilmesi (Şerbetçigil, 2019).....	81
Şekil 4.25 Deplasman çıktısının istenilmesi (Şerbetçigil, 2019).....	81
Şekil 4.26 Job oluşturulması (Şerbetçigil, 2019).....	82
Şekil 4.27 Analiz ayarları (Şerbetçigil, 2019).....	82
Şekil 4.28 Referans modelin AutoCAD ortamında çizilmesi.....	84

Şekil 4.29 Kat duvarlarının birleştirilmiş görüntüsü	84
Şekil 4.30 Hatılların AutoCAD ile geometrisinin tasarlanması	85
Şekil 4.31 Hatılların birleştirilmiş görüntüsü	85
Şekil 4.32 Hatılların birleştirilmiş görüntüsü	86
Şekil 4.33 Etriyelerin birleştirilmesi	86
Şekil 4.34 Etriyelerin bir araya getirilmesi	87
Şekil 4.35 Yükün hatılların üzerine dağıtılması	87
Şekil 4.36 Katların çoğaltılması	88
Şekil 4.37 Çeliğin elastik özelliklerinin tanımlanması	89
Şekil 4.38 Elastik beton özelliklerinin tanımlanması	90
Şekil 4.39 Referans gerilme-birim şekil değiştirme grafikleri	90
Şekil 4.40 Tuğla duvarın gerilme-birim şekil değiştirme eğrisi	91
Şekil 4.41 Malzemenin çekme davranışı eğrisi	92
Şekil 4.42 Tuğla duvarın elastik özelliklerinin tanımlanması	93
Şekil 4.43 Malzemenin plastik verilerinin girişi	94
Şekil 4.44 Plastik betonun basınç davranışının tanımlanması	94
Şekil 4.45 Plastik betonun basınç hasar parametrelerinin tanımlanması	95
Şekil 4.46 Plastik malzemenin çekme davranışının tanımlanması	95
Şekil 4.47 Plastik malzemenin çekme hasar parametrelerinin tanımlanması	96
Şekil 4.48 Donatı kesitinin oluşturulması	96
Şekil 4.49 Duvar kesitinin oluşturulması	97
Şekil 4.50 Hatıl kesitinin oluşturulması	97
Şekil 4.51 Mesh adımıyla sistemin görüntüsü	98
Şekil 4.52 Donatı ve etriyelerin sisteme gömülmesi	98
Şekil 4.53 Yüzeylerin etkileşim hali	99
Şekil 4.54 Bağlantı noktaları	99
Şekil 4.55 Yer çekimi kuvvetinin tanımlanması	100
Şekil 4.56 Yüklerin aktarılması için çıkarılan plan	100
Şekil 4.57 Sistemdeki duvar yüklerinin tanımlanmış hali	102
Şekil 4.58 Ankastre sınır şartının tanımlanması	103
Şekil 4.59 Ankastre mesnet yüzeyleri	103
Şekil 4.60 Sisteme deplasman uygulanması	104
Şekil 4.61 Perde duvar referans modeli	105
Şekil 4.62 Perde duvar ve ankraj tasarımının mevcut hali	106
Şekil 4.63 Perde duvarın mevcuttaki durumu	107
Şekil 4.64 Perde duvar ankraj tasarımı	107
Şekil 4.65 Perde duvar geometrik sistemi	108
Şekil 4.66 Sisteme perde duvarın eklenmiş görüntüsü	108
Şekil 4.67 Perde duvardaki etriyelerin oluşturulması	110
Şekil 4.68 Perde duvar enine donatının çizilmesi	111
Şekil 4.69 Perde duvara yerleştirilmiş enine donatıların görüntüsü	111
Şekil 4.70 Perde duvara boyuna donatıların yerleştirilmesi	112
Şekil 4.71 Perde duvardaki donatıların görüntüsü	112
Şekil 4.72 Köşe duvarlara eklenmiş perde duvarların görüntüsü	113
Şekil 4.73 Ankrajların yerleştirilmesi	114
Şekil 4.74 Ankrajların perde duvara yerleştirilmiş hali	114
Şekil 5.1 Bina duvarlarının isimlendirilmesi	115

Şekil 5.2 Güçlendirilmiş ve güçlendirilmemiş binalara ait toplam taban kesme kuvveti-tepe deplasmanı grafiği	134
Şekil 5.3 aynı yatay tepe deplasmanı noktasında X yönü duvarlarında meydana gelen çekme hasarlarının karşılaştırılması.....	135
Şekil 5.4 Aynı yatay yük altında X yönü duvarlarında meydana gelen çekme hasarlarının karşılaştırılması	136
Şekil 5.5 Duvarların toplam taban kesme kuvvetine yaptığı katkının grafiği	137

ÇİZELGE DİZİNİ

Çizelge 3.1 Yığma yapı sistemi (TBDY 2018).....	21
Çizelge 3.2 Biçim ve basınç dayanımlarına göre harman tuğlası sınıfları (TS EN 771-1+A1).....	29
Çizelge 3.3 Fabrika tuğlasının birim hacim ağırlığı ve basınç dayanımı (TS EN 771-1+A1).....	29
Çizelge 4.1 Çelik elastik malzeme özellikleri	88
Çizelge 4.2 Elastik beton malzeme özellikleri.....	89
Çizelge 4.3 Tuğla duvarın gerilme-birim şekil değiştirme değerleri.....	91
Çizelge 4.4 Tuğla duvarın basınç davranışı.....	91
Çizelge 4.5 Tuğla duvarın çekme davranışı.....	92
Çizelge 4.6 Tuğla duvar elastik malzeme özellikleri.....	93
Çizelge 4.7 Tuğla duvarın plastik özellikleri.....	93
Çizelge 4.8 Duvarlara gelecek yüklerin hesaplanması	101
Çizelge 4.9 Perde duvar gerilme-birim deformasyon verileri	109
Çizelge 4.10 Perde duvar basınç davranışı parametreleri.....	109
Çizelge 4.11 Perde duvar çekme davranışı parametreleri.....	109
Çizelge 4.12 Perde duvar malzeme özellikleri	109
Çizelge 4.13 Perde duvar plastik malzeme özellikleri.....	110
Çizelge 5.1 X1/1 Duvarı Gerilme - Deplasman Eğrisi	116
Çizelge 5.2 X1/2 Duvarı Gerilme - Deplasman Eğrisi	116
Çizelge 5.3 X2/1 Duvarı Gerilme - Deplasman Eğrisi	117
Çizelge 5.4 X2/2 Duvarı Gerilme - Deplasman Eğrisi	117
Çizelge 5.5 X3/1 Duvarı Gerilme - Deplasman Eğrisi	118
Çizelge 5.6 X3/2 Duvarı Gerilme - Deplasman Eğrisi	118
Çizelge 5.7 X4/1 Duvarı Gerilme - Deplasman Eğrisi	119
Çizelge 5.8 X4/2 Duvarı Gerilme - Deplasman Eğrisi	119
Çizelge 5.9 X5/1 Duvarı Gerilme - Deplasman Eğrisi	120
Çizelge 5.10 X5/2 Duvarı Gerilme - Deplasman Eğrisi	120
Çizelge 5.11 X6/1 Duvarı Gerilme - Deplasman Eğrisi	121
Çizelge 5.12 X6/2 Duvarı Gerilme - Deplasman Eğrisi	121
Çizelge 5.13 X7/1 Duvarı Gerilme - Deplasman Eğrisi	122
Çizelge 5.14 X7/2 Duvarı Gerilme - Deplasman Eğrisi	122
Çizelge 5.15 X8/1 Duvarı Gerilme - Deplasman Eğrisi	123
Çizelge 5.16 X8/2 Duvarı Gerilme - Deplasman Eğrisi	123
Çizelge 5.17 X9/1 Duvarı Gerilme - Deplasman Eğrisi	124
Çizelge 5.18 X9/2 Duvarı Gerilme - Deplasman Eğrisi	124
Çizelge 5.19 X10/1 Duvarı Gerilme - Deplasman Eğrisi	125
Çizelge 5.20 X10/2 Duvarı Gerilme - Deplasman Eğrisi	125
Çizelge 5.21 X11/1 Duvarı Gerilme - Deplasman Eğrisi	126
Çizelge 5.22 X11/2 Duvarı Gerilme - Deplasman Eğrisi	126
Çizelge 5.23 X12 Duvarı Gerilme - Deplasman Eğrisi	127
Çizelge 5.24 X13 Duvarı Gerilme - Deplasman Eğrisi	127
Çizelge 5.25 X14 Duvarı Gerilme - Deplasman Eğrisi	128
Çizelge 5.26 X15 Duvarı Gerilme - Deplasman Eğrisi	128
Çizelge 5.27 X16 Duvarı Gerilme - Deplasman Eğrisi	129

Çizelge 5.28 X17 Duvarı Gerilme - Deplasman Eğrisi	129
Çizelge 5.29 X18 Duvarı Gerilme - Deplasman Eğrisi	130
Çizelge 5.30 X19 Duvarı Gerilme - Deplasman Eğrisi	130
Çizelge 5.31 X20 Duvarı Gerilme - Deplasman Eğrisi	131
Çizelge 5.32 X21 Duvarı Gerilme - Deplasman Eğrisi	131
Çizelge 5.33 Perde-1 Gerilme - Deplasman Eğrisi.....	132
Çizelge 5.34 Perde-2 Gerilme - Deplasman Eğrisi.....	132
Çizelge 5.35 Perde-3 Gerilme - Deplasman Eğrisi.....	133
Çizelge 5.36 Perde-4 Gerilme - Deplasman Eğrisi.....	133

1. GİRİŞ

1.1 Çalışmanın Kapsamı

Dünya üzerinde ve ülkemizde yığma yapılar çok fazla karşımıza çıkmaktadır. Son yıllarda yığma yapıların dünya çapında birçok kentsel alanda popülerliğini koruduğu görülmüştür. Zengin kültürel yığma bina mirasına ek olarak deprem ülkesi olan Türkiye’de ise yığma binanın yapımı günümüzde hala yaygındır. Yığma yapılar, briket, tuğla, taş ve kerpiç gibi yığma birimler ile bağlayıcı madde olarak kullanılan harç ile meydana gelmiş duvarların taşıyıcı sistem olarak kullanıldığı yapı sistemleridir. Yığma yapıların; düşük maliyet, dayanıklılık, yaygın coğrafi kullanılabilirlik, yapım kolaylığı gibi birçok avantajı bu tür yapıların inşasını daha cazip hale getirmiştir. Çok az teknoloji ve bilgi ile yapılabilmesi de yığma binaların herhangi bir mühendislik dokunuşu olmadan tasarlanabilmesini ortaya çıkarmaktadır.

Yığma yapılarda meydana gelecek hasarlar nedeniyle ortaya çıkacak can kaybı ve kültürel miras kaybı geri dönülmez olabilmektedir. Malzeme ve yapısal seviyedeki doğal belirsizlikler ile birlikte yapının yüksek kütlesi ile orantılı yüksek atalet kuvvetleri yığma binaları depreme karşı savunmasız hale getirmiştir. Ülkemizde yer alan birçok yapının depreme dayanıklı yapı kriterlerini sağlamadığı bilinirken yığma yapı bunlara ek olarak birçok dezavantaj içerdiğinden bu tür yapıların deprem güvenliğinin artırılması gerekmektedir.

Deprem etkisi altında yapının sünek olması istenmektedir. Fakat yığma yapılar hem sünek hem de çekme dayanımı düşük malzemelerle inşa edildiği için enerji tüketme kapasitesi betonarme ve çeliğe göre düşüktür. Gevrek malzemelerin kullanıldığı yapı türünde taşıma limitinin aşılması durumunda ani çatlama ve kırılmalar meydana gelmektedir.

Ülkemizde performans dayalı çalışmalar daha çok betonarme, çelik gibi yapıları içermektedir. Doğrusal olmayan malzeme modelleri ile inşa edilmiş yığma yapıların deprem gibi yatay yüklemeler karşısındaki davranışlarının gerçeğe en yakın matematiksel modellerini elde etmek zor olduğu için bu konu hakkındaki çalışmalar da kısıtlıdır.

Bu tip yapıların gerçeğe en yakın sonuçları sonlu elemanlar yöntemi ile elde edilmiştir. Teknolojinin ilerlediği günümüzde çeşitli yazılımlar ile analizler yapılabilirken deneysel yaklaşımlarla sayısal değerlerin karşılaştırılması sonucunda en tutarlı sonucun bu modelleme tekniklerinin kullanılması ile elde edildiği görülmüştür.

2. KAYNAK ARAŞTIRMASI

2.1 Literatür Özeti

Yığma yapılar hakkında daha önce yapılmış çalışmalara bakıldığında ülkemizdeki yığma yapıların yapısal davranışları ve depreme dayanıklılığı hakkında yapılan teorik ve deneysel çalışmaların betonarme yapılar için gerçekleştirilen çalışmalara kıyasla daha az olduğu görülmektedir. Bu çalışmalardan bazıları aşağıda verilmektedir.

Sucuoğlu ve Erberik[1] 1992 Erzincan depremini hasarsız atlatan üç katlı donatısız yığma bir yapının sismik performansını, doğrusal olmayan dinamik analiz için bir bilgisayar programı kullanarak değerlendirmişlerdir. Yığma duvarın mekanik özelliklerini inşaatta kullanılmış olan aynı harç ve tuğla malzemesini kullanarak tespit etmişlerdir. Bu malzeme modeline dayanan analitik sonuçlar tasarımı realist malzeme özelliklerinin kullanılması şartıyla, elastik tasarımın donatısız yığma yapı için gerçekçi sonuçlar verdiğini göstermiştir.

Shing ve Mehrabi[2] doğru bir şekilde tasarlanan dolgulu bir çerçevenin, sertlik, mukavemet ve enerji dağıtım açısından çıplak bir çerçeveden daha üstün olabileceğini savunmaktadırlar. Bu çalışmada; dolgulu yapıları analiz etmek için geliştirilmiş sonlu eleman modellerini, dolgulu yapıların davranışlarını ve modellenmesine ilişkin bazı yeni bulguları ve gelişmeleri bir araya getirerek özetlemişler ve yapılacak diğer araştırmalar için altyapı sunmaktadırlar.

Kalkan [3] yığma yapıların donatılı püskürtme beton ile güçlendirilmesini, aynı geometri ve özelliklere sahip 2 tip duvar ürettikten sonra düzlem dışı tersinir yükler altında deneye tabii tutarak araştırmıştır. Deney sonucunda güçlendirilmiş yığma yapının sismik dayanım performansının arttığını ifade etmiştir.

Ural [4] yaptığı çalışmayı 3 bölüme ayırarak yığma yapılar için modelleme teknikleri, taşıyıcı duvarların davranışlarında etkili olabilecek değişkenlerin araştırılmasını hedeflemiştir. Bu amaçla çalışmanın birinci bölümünde, yığma binaların statik ve dinamik yükler altında davranışlarını incelemiştir. Tezinin 2. bölümünde MATLAB programı yardımı ile yazılmış olan FEMMAS-L programını tanıtmıştır. Ayrıca tezinde LUSAS ve DIANA¹ programları ile yaptığı analizlere de yer vermiştir. Çalışmanın sonunda depremde hasar almış gerçek bir yığma yapının analizlerini yapmıştır.

¹ LUSAS ve DIANA: Yapıların analizinde sonlu elemanlar yöntemi kullanarak çözüm yapan yazılımdır.

Zhugue vd.[5] yığma bir duvarı nonlinear bir sonlu eleman programında analizini Newmark zaman entegrasyon algoritması ve Modifiye Newton-Raphson yineleme şemasını kullanarak gerçekleştirmiştir. Analiz sonuçlarını, yinelenen ve dinamik yükler altındaki yığma duvarlarda yapılan testlerden elde edilmiş sonuçlarla karşılaştırarak çözümlenmiş ve deneysel sonuçlar arasında uyumlu sonuçlar olduğunu göstermiştir.

Asteris ve Tzamtzis [6] yığma duvarların iri ölçekli(makro) analizi için sonlu elemanlar modeli metodunu kullanarak bir çalışma yapmışlardır. Elde edilen kırılma yüzeyini kullanan metodun geçerliliği, yığma duvarların doğrusal olmayan davranışının aynı basınç ve kırılma kuvveti altındaki sonuçları ile başka araştırmacılar tarafından elde edilen sonuçların karşılaştırılması ile ortaya konulmuştur.

Lopez vd.[7] bu çalışmada. yığma duvarların sonlu elemanlar yöntemi kullanılarak lineer ve nonlinear analizi ile doğrusal olmayan aralıktaki davranışını öngören gerçekçi modeller ortaya çıkarmayı amaçlamışlardır. Temel model daha önceki çalışmalarda ortaya çıkarılan homojenleştirilmiş anizotropik elastoplastisiteye² dayandırılmıştır. Kullandığı modelin klasik plastisite teorisinin izotropik alanda doğrusal olmayan davranışını tespit edebileceğini söylemiştir. Bu modelin doğruluğunu göstermek amacıyla sonlu elemanlar programı ile bazı yığma yapıların analizini uygulamıştır.

Giordano, Mele vd. [8] yaptıkları çalışmada, 3 yöntemle yığma duvarı analiz ederek karşılaştırmışlardır. Deneysel veriler ile analiz sonuçlarını karşılaştırarak kullanıma hazır bir parametre önermişlerdir. Yığma yapının düzenli olarak artan yükler altında modellenmesinde bu parametrenin mantıklı sonuçlar verdiğini söylemişlerdir.

Demirel vd. [9] çalışmasında ülkemizdeki yığma yapıların nonlinear çubuk çerçeve elemanlar ile performansa bağlı değerlendirilmesini amaçlamıştır. Modeli ANSYS programı ile tasarlamış ve bu model ile Pavia Üniversitesi ve İsmes Laboratuvarındaki iki bina modeli üzerinde gerçekleştirilen deneyleri karşılaştırmıştır. Ayrıca Dinar depreminde hasar görmüş 3 binanın Sap2000 programı ile Lineer Elastik analizi yapılarak performansları incelenmiştir. Binaların hesaplanan performansı ile gözlemlenen performanslarının uyumlu olduğu kanıtlanmıştır.

Quinteros vd. [10] yaptıkları çalışmada yığma duvarlar için kullanılan mikro ve makro modelleme tekniğini donatısız bir yığma duvar üzerinde ANSYS programı ile

² Elastoplastisite: Malzemede kritik gerilimin ve akmanın var olduğu viskozitenin sınır şartıdır.

analiz etmişlerdir. Mikro modelde tuğla ve harç ayrı ayrı modellenirken makro modelde homojenizasyon tekniğini kullanmışlardır. Duvarlarda oluşan gerilmeleri incelerken 2 tekniğin malzemeyi belirlemede ve çatlakların oluşumunda farklı şekilde davrandıklarını tespit etmişlerdir.

Chen [11] bu tezde 2 farklı yığma duvar modelini ANSYS üzerinde analiz ederek düzlem içi davranışlarına ilişkin bilinenlerin geliştirilmesini amaçlamıştır. Analiz sonucunda kendi eksiklerini de referans alarak bu konuda gelecekte çalışma yapacak araştırmacılara önerilerde bulunmuştur.

Oliviera [12] çalışmasında deneysel ve sayısal çalışmaları karşılaştırarak yığma yapıların periyodik yükleme altındaki davranışı hakkında bilinenleri geliştirmeyi amaçlamıştır. Mikro modelleme tekniğini kullanarak sonlu elemanlar analizi için tasarlanmış DIANA'da modelleme yapmıştır. Geliştirdiği modeli kullanarak literatürdeki başka çalışmaların da analizini yapmış ve sonuçlar arasındaki uyumu ortaya çıkarmıştır.

Al-Chaar ve Mehrabi [13] çalışmalarının asıl amacının yığma yapılardaki dolgu ve çerçeve arasındaki etkileşimini belirlenmesi olduğunu belirtmişlerdir. Yığma duvarların yanal yüklemeye maruz kalmış elemanlarının davranışlarını tahmin etmek için sayısal sonlu eleman elaman modelleme yöntemini kullanarak 2 model geliştirmiş ve bu modellerin analizini DIANA yardımı ile gerçekleştirmişlerdir.

Akan ve Özen [14] yaptıkları çalışmada, Bursa Yeşil Türbeyi incelemişlerdir. Yapıyı sonlu elemanlar yöntemi ile lineer olarak SAP2000 programında ele almış ve yapının depreme karşı davranışını saptamaya çalışmışlardır. Çalışma sonucunda daha gerçek ve uyumlu sonuçların elde edilmesi için lineer olmayan analiz yöntemlerini savunmuşlardır. Söz konusu yapının güçlendirilmesi için de önerilerde bulunmuşlar fakat bu çalışmada güçlendirilmesini ele almamışlardır.

Öztaş [15] çalışmasında yığma binaların farklı parametrelerden kaynaklı çekme gerilmeleri karşısındaki deprem davranışlarını incelemeyi ve alacağı hasarların giderilmesi için çeşitli yöntemleri karşılaştırarak sunmayı amaçlamıştır. Söz konusu tez kapsamında incelediği yığma binanın Sta4CAD üzerinde 3 farklı analizini yapmıştır. Öncelikle yığma binanın mevcut halinin analizini yapmış ardından yapıya betonarme güçlendirme perdeleri ekleyerek analizini yapmış son olarak da cam lifli polimerlerle (GFRP)³ güçlendirilmiş halini modelleyerek analizini yapmıştır. Bu sayede perde ile

³ GFRP: İnce cam elyaflarından oluşan kompozit bir güçlendirme malzemesidir.

güçlendirilmiş modelin GFRP ile güçlendirilmiş modele göre daha iyi sonuçlar verdiği kanıtlanmıştır.

Zhang vd.[16] yaptıkları çalışmada yığma duvarların kuvvet-deformasyon eğrilerini elde etmenin yollarını aramışlardır. Bu amaçla geliştirdikleri mikro modelde temas ve sürtünme mekanizmalarının bu eğriye önemli ölçüde etki ettiğini düşünmüş ve sonlu elemanlar yöntemi ile analizinde düğümünden düğüme temas algoritmasını kullanmışlardır. Ancak çalışmanın sonunda geliştirilen modelin malzeme parametrelerinin uygun kalibrasyonuna bağlı olduğunu ve mevcut modellerin deneyi ile karşılaştırılmasının gerekliliğini de belirtmişlerdir.

Can ve Yıldızoğlu[17] yığma yapıların malzeme özelliklerinin değişmesi ve süreksizliği sebebiyle yapısal performansının yorumlanmasının ortaya çıkardığı zorluklara karşı mevcut bir lise binasının StatiCAD-Yığma programı ile performans analizini yapmışlardır. Mevcut yapı hakkında elde ettikleri bilgileri modellemede kullanarak yapının depremde beklenen performansını ortaya çıkarmaya çalışmışlardır. Çalışmalarının sonucunda binanın güçlendirilmesinde kullanılacak yöntemlerden bahsetmişlerdir.

Bağbancı[18] tarihi bir yığma yapı olan Bursa Ördekli Hamamının gelecek kuşaklara aktarılabilmesi için sonlu elemanlar yöntemi ile analizini yapmıştır. Bu amaçla yapının malzeme özelliklerini de tespit ederek KeyCreator programında modellemesini ve çeşitli analizlerini yapan Bağbancı bu modeli ALGOR sonlu elemanlar yazılım programına aktararak sonlu elemanlar analizini yapmıştır. Çalışmanın sonucunda tarihi yapıların güçlendirme ve restorasyon çalışmalarının yapılmasından önce yapısal analizinin yapılmasının gerekliliğini vurgulamıştır.

3. MATERYAL VE YÖNTEM

3.1 Yığma Yapının Tanımı

Ülkemiz Alp-Himalaya kuşağında yer aldığı için sürekli deprem tehdidi altındadır. Yapılan araştırmalar dahilinde ülkedeki bina envanteri içerisinde yığma yapıların önemli bir yer tuttuğu görülmüştür. Bu tür yapıların modellenmesi sırasındaki belirsizliklere ek olarak depreme dayanıklı tasarlanmamış olması da sıkça karşılaşılan problemlerden biridir. Son yıllarda meydana gelen depremlerin sonuçları incelendiğinde yığma yapıların en fazla zarara uğrayan yapılar olduğu tespit edilmiştir.

Teknolojinin gelişmesi ve yapı sektöründeki ilerlemeler, süreç içerisinde dayanımı daha yüksek olan beton ve çeliğe yönelimin artmasına neden olmuştur. Fakat buna nazaran ülkemizde hala çokça bulunan ve kullanılmaya devam edilen yığma yapılar, uzun sürelerden günümüze taşınmıştır. Yığma yapılar, herhangi bir iskelet sistemine sahip olmayan ana taşıyıcı elemanları duvarlar olan yapılardır. Bu yapıyı meydana getiren ögeler yük iletimini sırayla zemine aktarırlar.

Esas olarak 1900'lü yıllardan önce inşa edilmeye başlayan yığma yapılar, ülkemizde kırsal alanlarda karşılaşılan bir yapı türüdür. Tarihi yığma yapılar bugünkü kültürel mirasımızın önemli kısmını oluşturmakla beraber yığma yapıların geçmişte sık uygulanan bir yapı türü olduğunu söylemek doğru değildir. Günümüzde yeni yığma yapıların inşası sayıca daha az olsa da yığma yapıların gelecekte de ülkemizde kendisine yer bulması muhtemeldir. Ülkemizin ekonomik koşulları göz önünde bulundurulduğunda yığma yapı malzemelerinin ulaşılabilir olması ve işçiliğinin kolay olması gibi etkenler bu yapıların gelecekte de tercih edilmesine neden olacaktır.

Yığma yapılarda duvarların, dolgu malzemesi olarak taşıyıcı özelliği bulunmakla beraber yapının iç bölmelerini ayırmaya da yarayabilirler. Yığma yapılar duvar kalınlıklarının fazla olması dolayısıyla ağırdır ve ağırlıklarının fazla olması nedeniyle de beton ve çelik ile karşılaştırıldığında sınırlı kat sayıları ile inşa edilmesi gerekmektedir. Yığma yapılarda dikkat edilmesi gereken en önemli sınırlamalardan biri ise boşluklardır. Bu tip yapıların herhangi bir deprem halinde göstereceği hasar tipine bu boşlukların etkili olduğu bilinmektedir. Ayrıca bu tür yapılar, gevrek malzemelerden meydana geldikleri için taşıma limitinin aşılması durumunda ani çatlama ve kırılmaların meydana gelmesi sebebi ile de nispeten daha düşük dayanıma sahip yapılardır. Büyük iç gerilmelerin meydana geldiği yığma yapılarda enerji sönmüleme oranı düşüktür ve enerjiyi

tüketemeyen bu yapılarda olası bir deprem anında büyük yatay kuvvetlerin meydana gelmesi sebebi ile hasarlar oluşacaktır.

Yığma yapı duvarlarının inşasında tuğla(fabrika tuğlası, harman tuğlası), doğal yapı taşları ve harçlar kullanılır. Fakat bu malzemeleri sınırlamak doğru değildir çünkü bu yapıların teşkil edildiği malzemeler çok geniş bir yelpazededir. Dünya üzerindeki pek çok yerde farklı çeşitte malzeme kullanılarak farklı tekniklerle yığma yapı inşa edilmektedir. (Şekil 3.1)



Şekil 3.1 Örnek yığma yapı (Öztaş,2009)

Yapılan çalışmalar doğrultusunda betonarme ve çelik yapıların yatay ve düşey yükler altındaki davranışları için birçok yorum yapılabilirken yığma yapıların özellikle yatay yükler altındaki davranışını yorumlamak oldukça zordur. Yığma yapıların davranışlarının daha iyi anlaşılabilmesi için modellenmesi gerekmektedir. Fakat yapıyı oluşturan söz konusu malzemelerin geniş yelpazede olması, modellemede kullanılacak mekanik değerlerin birbirinden farklı olmasına neden olmaktadır. İçerdiği belirsizlikler sebebiyle modellemede standart bir yaklaşıma ulaşamamak yığma yapıların anlaşılmasını zorlaştırmıştır. Bu sebeple yığma yapıların analizi genellikle varsayım ve tahminlere dayanmıştır. Yığma duvar ile çerçeve arasındaki etkileşimin ölçümü için bu malzemelerin doğal frekansları ve mod şekilleri gibi dinamik özellikleri gerçeğe yakın biçimde belirlenebilirse kargir duvarların yapının deprem yükleri altındaki davranışına rijitlik ve mukavemet katkısı da doğru bir şekilde değerlendirilebilir.

Bu yapılarda deprem anında meydana gelen hasarlara bakıldığında düzlem dışı yüklerin yapıyı düzlem içi yüklerden daha fazla etkilediği görülmüştür. Bu sebeple modellemelerde düzlem dışı yüklerin etkilerinin belirlenmesi yığma yapıların anlaşılmasında büyük fayda sağlayacaktır.

Ülkemizdeki olası bir deprem durumunda üzücü sonuçlarla karşılaşmamak adına bu yapıların depreme karşı güvenliğinin belirlenmesi ve güçlendirilmesi büyük önem taşımaktadır.

3.2 Yığma Yapıların Sınıflandırılması

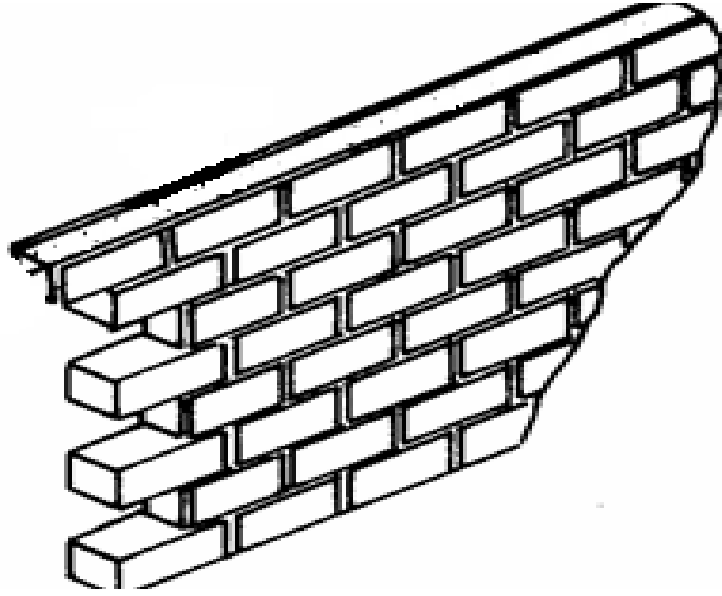
Yapı sistemi olarak yığma yapılar 2018 TBDY’nde donatısız, donatılı, kuşatılmış(sarılmış) ve donatılı panel sistemli olmak üzere 4 gruba ayrılmıştır. Yığma binalar kendilerini meydana getiren kargir birimler esas alınarak çeşitlendirilmiştir. Yönetmelik kapsamında bütün yığma yapı türlerinin yapılabileceği öngörülmüş ve tasarım kuralları anlatılmıştır. (Çizelge 3.1)

Çizelge 3.1 Yığma yapı sistemi (TBDY 2018)

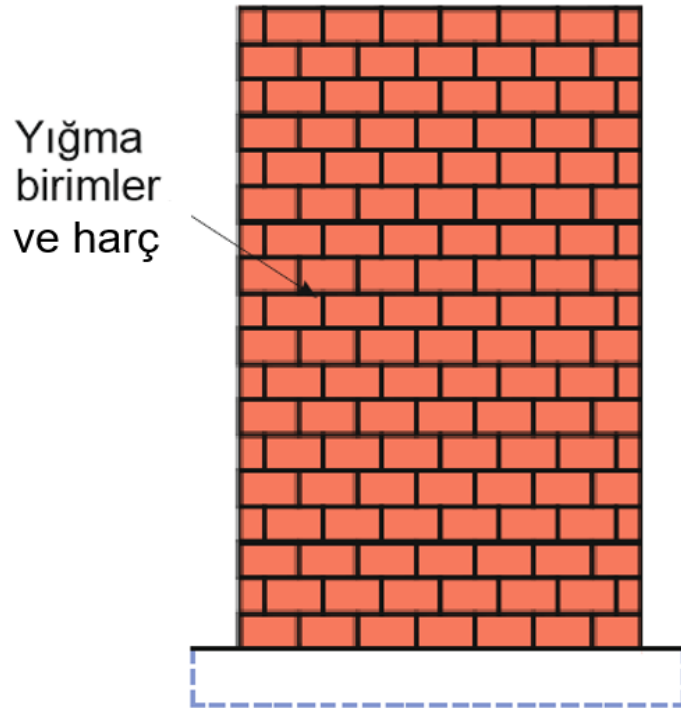
Bina Taşıyıcı Sistemi	Taşıyıcı Sistem Davranış Katsayısı R	Dayanım Fazlalığı Katsayısı D	İzin Verilen Bina Yükseklik Sınıfları BYS
YIĞMA BİNA TAŞIYICI SİSTEMLERİ			
E1.Süneklik Düzeyi Yüksek Taşıyıcı Sistemler			
E11.Donatılı Yığma Binalar	4	2	BYS \geq 7
E12.Donatılı Gazbeton Panel Binalar	4	2	BYS \geq 7
E2.Süneklik Düzeyi Sınırlı Taşıyıcı Sistemler			
E21.Kuşatılmış Yığma Binalar	3	2	BYS = 8
E22.Donatısız Yığma Binalar	2.5	1.5	BYS = 8

3.2.1 Donatısız Yığma Yapılar

Donatısız yığma yapılar, yatay ve düşey yükleri direkt olarak duvarların karşıladığı tuğla, gazbeton, briket gibi kargir malzeme ve bu malzemeleri birbirine bağlayarak bir aderans meydana getirecek olan harç malzemesinin bir araya gelmesi ile meydana gelirler. (Şekil 3.2-3)



Şekil 3.2 Donatısız yığma duvar görünüşü (Sayın,2009)



Şekil 3.3 Donatısız yığma duvar kesiti (Kömürcü, 2017)

Bu tür yapılarda sünekliği arttıracak herhangi bir malzeme kullanılmadığı için yapı düzlem dışı yükler altında gevrek bir davranış sergilemektedir. Donatısız yığma yapılarda taşıyıcı duvarın üzerine döşemeye gelecek yüklerin duvarlara aktarılması amacı

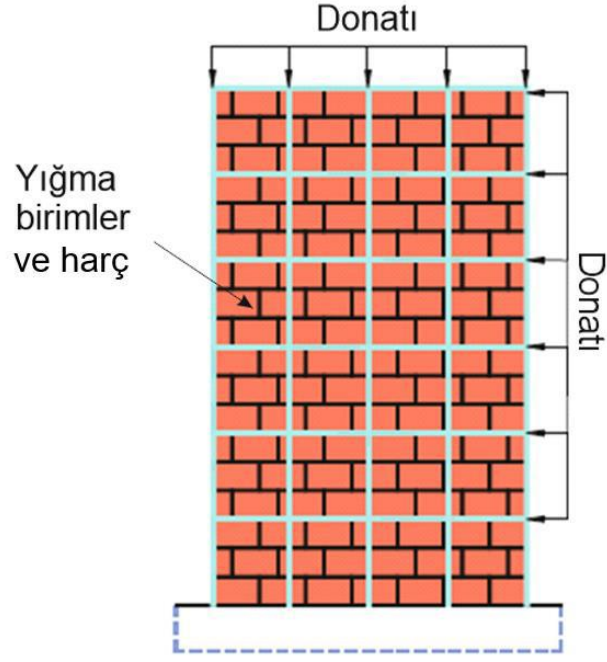
ile yatay hatıllar döşenmektedir. (Şekil 3.4) Hesaplamalarda bu hatıllar düşey taşıma gücüne doğrudan bir faydası olmamasından dolayı ihmal edilmektedir.



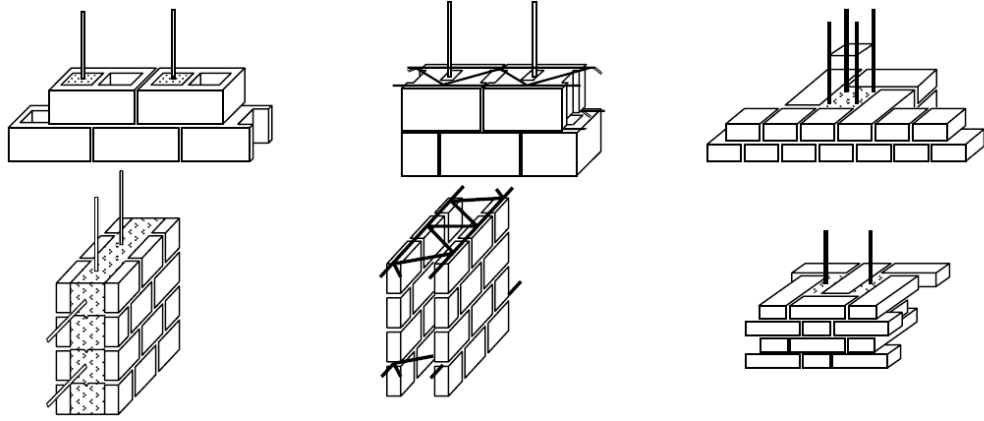
Şekil 3.4 Donatısız yığma yapı örneği (Web İletisi- [Yığma Yapı Nedir? Yığma Bina Çeşitleri ve Özellikleri \(insapedia.com\)](http://insapedia.com))

3.2.2 Donatılı Yığma Yapılar

Donatılı yığma duvarların amacı deprem anında kesme gerilmelerini meydana getiren yatay kuvvetleri karşılayarak daha dayanımlı bir yapı ortaya çıkarmaktır. Kargir birim ve harç kullanılarak oluşturulan taşıyıcı duvarlar daha sünek bir yapı oluşturmak amacıyla kurallara uygun olacak şekilde donatı yerleştirilmesi ile elde edilirler. (Şekil 3.5) Şekil 3.6’da gösterildiği gibi yatay ve düşey donatıların birlikte kullanılması ile meydana gelen tipine ise “sandviç” tip denilmektedir.



Şekil 3.5 Donatılı yığma duvar kesiti (Kömürcü, 2017)

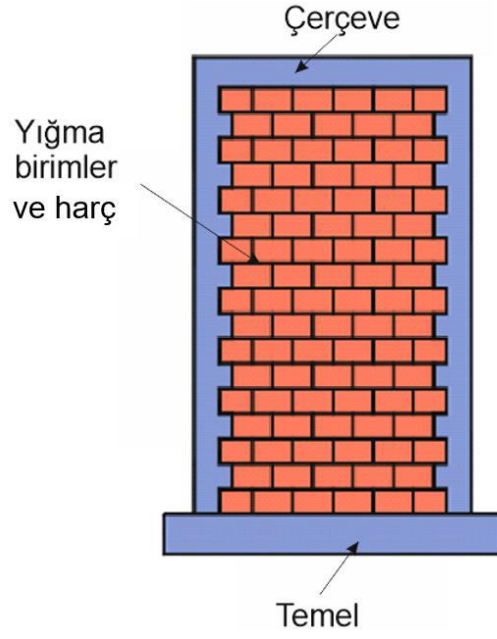


Şekil 3.6 Sandviç tip yığma duvar görünüşü (Tomažević, 1999)

3.2.3 Kuşatılmış Yığma Bina

Kuşatılmış diğer adı sarılmış yığma bina olan yapıların donatısız bir yığma yapıdan farkı yatay ve düşey hatılları içerisinde bulundurmasıdır. (Şekil 3.7) Betonarme elemanların içine gizlenen hatıllar duvar örüldükten sonra birbirlerine ve döşemeye bağlanırlar Yığma duvarların kiriş veya kolonların arasında kalarak kafeslenmesi ile taşıyıcı duvarlarda oluşacak çatlakların engellemesi sağlanır. Kuşatılmış yığma yapıların, yığma yapı türleri içinde en dayanıklısı olduğu

söylenbilir. Bir çerçeve içinde kalan bu tür yığma yapıların süneklik düzeyi sınırlıdır.
(Şekil 3.8)



Şekil 3.7 Kuşatılmış yığma duvar kesiti (Kömürcü,2017)



Şekil 3.8 Kuşatılmış yığma duvar örneği (Kömürcü,2017)

3.2.4 Donatılı Panel Sistemli Yığma Bina

Donatılı panel sistemli yığma binalar; ön üretimli donatılı gazbeton panellerin yan yana getirilerek temele ve kat seviyelerindeki betonarme hatıllara bağlandığı ve bu sayede taşıyıcı duvarları meydana geldiği ve yine donatılı gazbeton panellerin betonarme hatıllara bağlanarak döşemeleri meydana getirdiği süneklik seviyesi yüksek binalar olarak tanımlanmaktadır. Daha hafif yapıların ortaya çıktığı bu tür yapılar, son senelerde olası depremlerdeki hasarları minimuma indirmek amacıyla yapılan araştırmaların konusu olmuştur. Hafif beton sınıfından olan gazbetonun fiziksel ve mekaniksel olarak birçok avantajı bulunmaktadır. TBDY 2018’de bu yapıların tasarımı için kurallar verilmiştir.



Şekil 3.9 Donatılı panel sistemli yığma bina yapımı (Web İletisi- [Yığma Yapı Nedir? Yığma Bina Çeşitleri ve Özellikleri \(insapedia.com\)](http://insapedia.com))

3.3 Yığma Yapı Malzemeleri ve Özellikleri

Yığma duvarlarda kullanılan malzemelerin geniş yelpazede olduğu bilinmektedir. Esas olarak yığma duvarlar, tuğla veya doğal taşların bağlayıcı bir malzeme olan harçlar yardımı ile birleştirilmesi sonucu meydana gelmektedirler. Ancak yığma yapıların sınıflandırılmasında tanımlanan çeşitlere bağlı olarak dolgu beton, donatı çeliği gibi elemanlar da kullanılmaktadır. Genellikle bu tür yapılarda döşemelerin ahşap veya betonarme inşa edildiği görülmektedir. Çatı sistemleri ise bulunduğu ortama göre değişebilmektedir. Kırsal bölgelerde toprak dam, şehirlerde ise

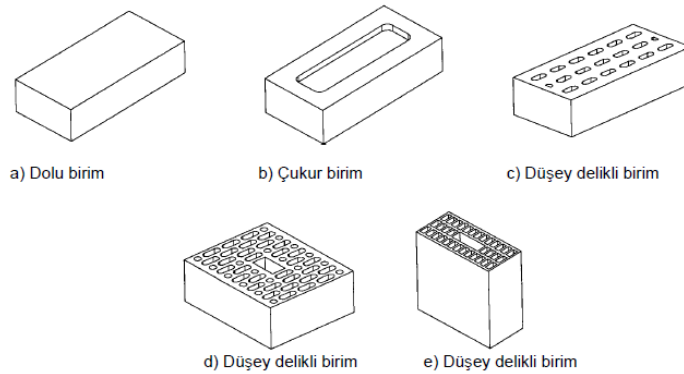
betonarme plak olarak inşa edilebilmektedir. Fakat bu tür yapılarda kullanılan söz konusu malzemeler yapıya ve çevresine uyumlu, dış etkenlere dayanıklı ve çoğunlukla doğal malzemelerdir. (Şekil 3.10)



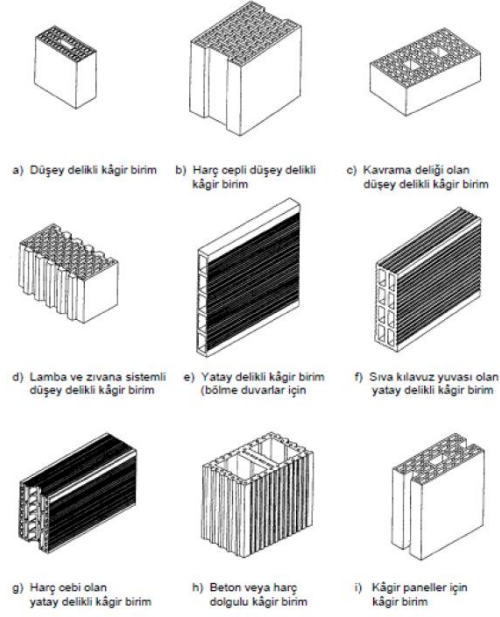
Şekil 3.10 Yığma kargir birim malzeme örnekleri (Kömürcü, 2017)

3.3.1 Tuğla

Seramik usulleri kullanılarak üretilen tuğlanın tarihi çok eskilere dayanmaktadır. Yapılan araştırmalar tuğlanın yığma yapı malzemesi olarak uzun zamandır kullanıldığını göstermiştir. Endüstriyel anlamda ilk kez Babil Kulesinin yapımında kullanıldığı bilinen bu malzeme; killi toprağın su, kum, öğütülmüş tuğla ya da kiremit tozu, kül gibi malzemelerle harmanlanıp balçık hamuru haline getirildikten sonra kullanım amacına göre şekillendirilip fırınlarda pişirilmesiyle elde edilmektedir. Dönemlere göre boyutu değişen tuğlanın 18. yy'den itibaren normal boyutları 19x9x5cm'dir. Şekil 3.11 ve Şekil 3.12'de görüldüğü gibi boyutları ve yoğunlukları değişken birçok tuğla modeli bulunmaktadır.



Şekil 3.11 Yüksek yoğunluğa sahip tuğla çeşitleri (TS EN 771-1+A1)



Şekil 3.12 Düşük yoğunluğa sahip tuğla çeşitleri (TS EN 771-1+A1)

En önemli özelliklerinden biri basınç dayanımı olan tuğlanın bu dayanımı da malzemenin kalitesi, üretim biçimi ve tuğlanın örülme deseni gibi parametrelere bağlıdır. Tuğlaların basınç dayanımı mekanik özelliklerine bağlı olarak 10 MPa'dan 30 MPa'a kadar değişmektedir. (Şekil 3.13) Aynı ocaktan çıkmış tuğlaların dahi basınç dayanımları farklı olabilmektedir. Yığma bina yapımında dolu tuğla veya delikli tuğlalar kullanılmaktadır. Söz konusu delikli tuğlanın duvarlar örülürken düşey yönde sürekli olması sağlanır.

Birim- Birim Sınıfı	Harç sınıfı	Harç basınç dayanımı, f_m (MPa) [*]	Kargir birim basınç dayanımı, f_b (MPa)					
			5	10	15	20	25	30
Grup I	Genel amaçlı harç	M10-M20	3.4-4.2	5.5-6.8	7.3-9.0	8.9-11.0	10.4-12.9	11.9-14.6
		M2.5-M9	2.2-3.3	3.6-5.3	4.8-7.1	5.9-8.7	6.9-10.1	7.8-11.5
		M1-M2	1.7-2.1	2.8-3.4	3.7-4.5	4.5-5.5	5.2-6.4	5.9-7.3
Grup II ve Kesme taş	Genel amaçlı harç	M10-M20	2.8-3.4	4.5-5.5	6.0-7.4	7.3-9.0	8.5-10.5	9.7-12.0
		M2.5-M9	1.8-2.7	3.0-4.4	3.9-5.8	4.8-7.1	5.6-8.3	6.4-9.4
		M1-M2	1.4-1.7	2.3-2.8	3.0-3.7	3.7-4.5	4.3-5.3	4.9-6.0
Tuğla (Grup I)	İnce tabakalı harç ^{**}		2.9	5.3	7.5	9.6	11.6	13.5
Tuğla (Grup II)			2.2	3.5	4.7	5.7	6.7	7.6
Beton (Grup I), Gazbeton			3.1	5.7	8.0	10.2	12.3	14.4
Beton (Grup II)			2.6	4.6	6.5	8.3	10.0	11.7

^(*) Harçlar M harfini takip eden rakam MPa cinsinden karakteristik basınç dayanımlarını gösterecek şekilde isimlendirilmiştir.

^(**) İnce tabakalı harç, birimler arası harç tabakası 0.5 mm ile 3.0 mm olan harç.

Şekil 3.13 Tuğla duvarların basınç dayanımları (<https://insapedia.com/duvar-elastisite-modulleri-ve-basinc-dayanimlari/>)

3.3.1.1 Harman Tuğlası

Harman tuğlası; kil miktarı yüksek olan toprak, balçık, kullanılmayan tuğla parçaları, kum, kiremit tozu gibi farklı malzeme karışımlarının şekillendirilip kurutulmasından sonra fırınlarda pişirilerek mukavemet kazandırılması ile elde edilen bir tuğla çeşididir. Harman tuğlaları dikdörtgen prizmalar şeklinde üretilmektedir.

Biçimlerine göre dolu ve delikli olarak sınıflandırılan harman tuğlaları, dayanımlarına göre orta ve az olarak sınıflandırılmaktadır. (Çizelge 3.2)

Çizelge 3.2 Biçim ve basınç dayanımlarına göre harman tuğlası sınıfları (TS EN 771-1+A1)

Sınıfı		Ortalama Birim Hacim Ağırlığı (max) kg/dm ³	Ortalama Basınç Dayanımı (min) kgf/cm ²	Basınç Dayanımı (min) kgf/cm ²
Dolu Harman Tuğlası	Az Dayanımlı	Sınıflandırılmamış	30	25
	Orta Dayanımlı	Sınıflandırılmamış	50	40
Delikli Harman Tuğlası	Az Dayanımlı	1,40	30	25
	Orta Dayanımlı	1,40	50	40

3.3.1.2 Fabrika Tuğlası

Fabrika tuğlası, dayanımı ve ağırlığı bakımından harman tuğlasından farklılık gösteren tuğla çeşididir. (Çizelge 3.3)

Çizelge 3.3 Fabrika tuğlasının birim hacim ağırlığı ve basınç dayanımı (TS EN 771-1+A1)

Tuğla Sınıfı	Tipi	Basınç Dayanımı		Hacim (kg/m ³)	Ağırlığı	Delik Oranı (%)
		Aritmetik Ortalama (MPa) (max)	En Küçük Değer (MPa) (min)	Min.	Max.	
Dolu Tuğla	2000 kg/m ³	24	9,5	1801	2000	15
	1800 kg/m ³	22	8	1601	1800	
Seyrek Delikli Tuğla	1600 kg/m ³	22	8	1401	1600	20
	1400 kg/m ³	20	6,5	1201	1400	25
Az Delikli Tuğla	1200 kg/m ³	15	4,5	1001	1200	35

3.3.2 Beton Dolgu

Çoğunlukla donatılı yığma yapılarda donatıların yerleştirildiği bölgedeki boşlukları doldurmak amacıyla kullanılan beton dolgu için TBDY 2018’de “*Donatısız yığma bina, donatılı yığma bina, kuşatılmış yığma bina ve donatılı panel sistemli binaların betonarme bileşenlerinde beton sınıfı en az C25 olacaktır.*” ibaresine yer verilmiştir.

3.3.3 Donatı Çeliği

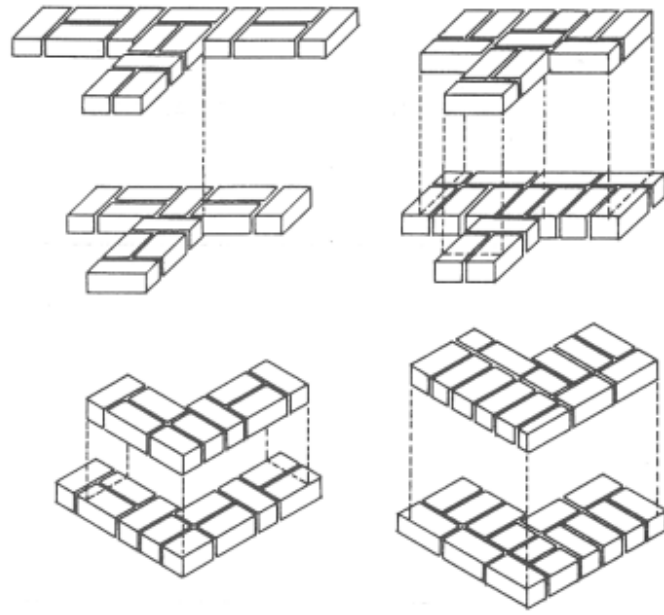
Donatılı yığma yapıların taşıyıcı duvarlarında sünekliği arttırmak amacı ile kullanılmaktadır.

3.4 Yığma Yapı Elemanları

Doğal taş, tuğla vb. blokların üst üste konularak harç ve demir elemanlar gibi bağlayıcı malzemeler ile birleştirilmesi ile oluşan yığma yapıların bir diğer adı da kargir yapılardır. Kargir yapıların önemli özelliklerinden biri de üst üste yerleşerek kendi ağırlıkları ile de bir yapı sistemi oluşturabilmeleridir. Kütle bakımından ağır olan kargir yapılar, yapım tekniğinden dahi etkilenerek farklı davranış biçimleri sergileyebilmektedir. Bu sebeple yığma kargir yapıların dayanımında işçiliğin büyük etkisi bulunmaktadır. Doğrusal ve düzlemsel yapı elemanı olarak duvar, döşeme, hatıllar ve temelden meydana gelen bu yapılar yangın, don gibi dış etkenlere karşı dayanıklı malzemeler ile üretilmişlerdir.

3.4.1 Duvar

Duvarlar, yığma kargir yapılardaki düşey elemanlardan biridir. Kullanılan malzemeye göre kalınlıkları değişebilen duvarlar, giriş ve döşeme gibi yapıların yüklerini temele sürekli olarak aktarırlar. Sünekliğe sahip olmayan bu elemanların çekme kuvvetlerini taşıyamadığı fakat basınç yüklerini taşıyabildikleri kabul edilmektedir. Taşıyıcı sistemin mukavemetini arttıran duvarların taşıma kapasitesi birçok değişkenden etkilenir. Dolu ya da boşluklu olarak üretilen kargir duvarların yapım şekli, kapasitesine etki ederken; duvarın örgü biçimi de dayanımı etkilemektedir. (Şekil 3.14) Yığma kargir duvarların şaşırtmalı olarak örülmesi yükün tabana kadar yayılarak iletilmesine yardımcı olmaktadır.



Şekil 3.14 Tuğla duvar örgü kuralları (Kuruşçu, 2012)

3.4.2 Döşeme

Döşemeler; yatay taşıyıcı elemanlar olup düşey elemanları tamamlayan ve yapıya gelen yükleri ilk olarak karşılayıp diğer elemanlara ileten örtü sistemidir. Döşemelerin yapının genel davranışını etkilemediği düşünülürken döşemenin olmadığı boşluklu yapıların depreme karşı dayanımının etkilendiği bilinmektedir. Olası bir deprem halinde de döşemenin yıkılmasına bağlı meydana gelecek boşluklar yapıda düzensizlik meydana getirerek yığma yapıyı olumsuz etkilemektedir. Yığma kargir yapılardaki döşemeler ahşap, tuğla ve taş gibi malzemeler kullanılarak meydana gelirler.

3.4.3 Hatıllar

Hatıllar, yığma yapıların daha sünek olması ve rijitliğinin artması için kullanılan yatay yatay taşıyıcı elemanlardır. Söz konusu yatay elemanların tasarım kuralları TBDY 2018’de belirtilmiştir.

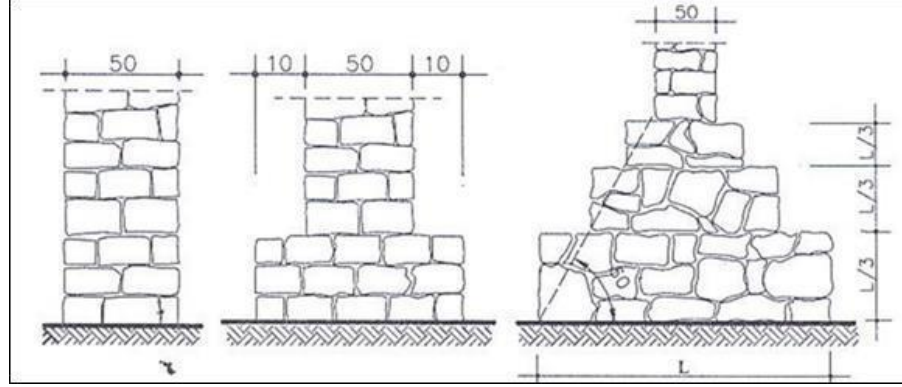
3.4.4 Kirişler

Pencere ve kapı boşluklarının üzerine, üzerlerindeki duvar yüklerinin yan duvarlara aktarılmasını sağlamak amacıyla lentolar teşkil edilmelidir

3.4.5 Temeller

Yığma kargir yapının üzerine gelen yükleri zemine sürekli olarak ileten düşey taşıyıcı elemanlara “yığma temeller” denir. Yığma yapıların temel boyutları yapının ağırlığına ve büyüklüğüne göre değişkenlik göstermekle beraber genellikle bu yapılarda taş

malzemeler kullanılmaktadır. (Şekil 3.15) Taş malzemelerin dayanım kapasitesi, dona dayanıklı olması ve su emme açısından düşük kapasiteli olması yığma yapılarda tercih edilme sebeplerinden bazılarıdır.



Şekil 3.15 Taş temel modelleri (Çullu.2014)

3.5 Yığma Yapıların Statik ve Dinamik Yükler Altındaki Davranışları

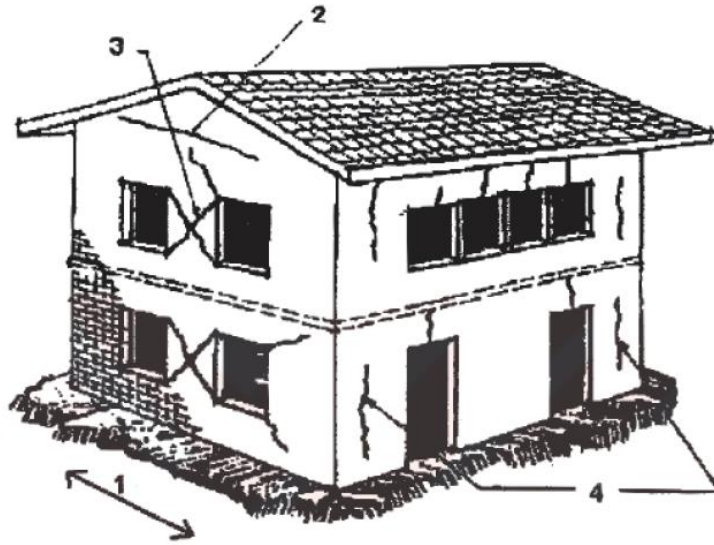
Yığma yapıların kompleks yapılar olması sebebi ile dinamik etkiler altındaki mekanik davranışları beton ve çeliğe göre daha karmaşıktır. Taşıyıcı sistemini duvarların meydana getirdiği bu yapıların heterojen bir yapıya sahip olması davranışlarını incelerken birçok parametreyi dikkate almayı gerektirmektedir. Yığma duvarları meydana getiren malzemeleri ayrı ayrı değerlendirirken bu birimlerin daha çok çekmeye çalıştığı da göz önünde bulundurulmalıdır.

3.5.1 Yığma Yapıların Dinamik Yükler Altındaki Davranışları

Deprem gibi dinamik ve yatay yükler karşısında en fazla hasar alan yapılar arasında yer alan yığma yapıların deprem etkisi altındaki davranışlarını incelemek betonarme ve çelik binaları incelemekten daha komplikedir. Bu sebeple söz konusu yapıların davranışlarının öngörülmesi adına yapılan çalışmalar, bu yapıların dayanımlarını arttırmak adına önemlidir. Bu tip yapıların daha az hasar alması içinse tasarımında dikkat edilmesi gereken birçok husus bulunmaktadır.

Deprem anında döşemelerin yatay yükü bağlandığı kenar duvarlara iletmesinden dolayı kenar duvarlar taşıyıcı yığma duvarlar olarak davranırlar. Kenar duvarlar yatay kuvvetler ile birlikte aksenal kuvvetleri taşıma özelliğine de sahiptir. Tuğla vb. malzemelerin gevrek yapıya sahip olması yığma duvarların çekme dayanımlarını düşürmektedir.

Yığma yapılarda çatıdan gelen yatay kuvvetlerin duvarlar aracılığı ile zemine aktarılması sonucunda meydana gelen kesme gerilmeleri, duvar üzerinde 45 derecelik kesme çatlakları oluşturmaktadır. Fakat duvarın maruz kaldığı aksel basınca göre bu açı değişebilmektedir. Depremi 2 yönlü bir hareket olması diğer yönde de eğik çekme çatlaklarının meydana gelmesine sebep olmaktadır. Bu çatlakların duvarı zayıflattığı bilinmektedir. Duvar, dayanımı düştükten sonra taşıyabileceği düşey yükleri de taşıyamaz hale gelir ve düşey basınç çatlakları oluşur. (Şekil 3.16)



Şekil 3.16 Yatay yük altında yığma binada meydana gelen hasarlar (Batur, 1999)
1-Deprem doğrultusu 2-Kalkan duvarlarında yatay çatlaklar 3-Pencere boşlukları arasındaki dolu duvar parçasında diyagonal çatlaklar 4-Duvarda düşey çatlaklar

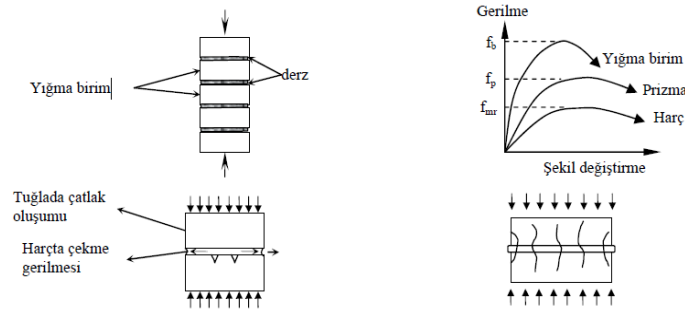
Düşey yüklerin belirlenmesi ve hesabı yatay yüklere nazaran daha kolay olduğu için yapılar düşey kuvvetlere maruz kalacak haline göre tasarlanmaktadır. Fakat yatay yöndeki yüklerin şiddetini ve yerini belirlemek çoğu zaman mümkün değildir. Bu nedenle yığma kargir yapılara gelen yükler, duvar ağırlıklarına ve kat döşemesi ya da çatı döşemesinden gelen kalıcı ve hareketli yüklere göre belirlenmektedir. Düşey ve yatay kuvvetlerin etkisi altındaki taşıyıcı yığma yapıların, taşıyıcı özelliğini kaybederek göçmesi muhtemeldir.

3.5.2 Yığma Yapıların Dinamik Yükler Altındaki Davranışları

Yığma yapılar statik olarak çoğunlukla aksel basınç, aksel çekme, eğilme ve kayma etkilerine maruz kalmaktadırlar.

3.5.2.1 Aksel Basınç

Aksel basınç altındaki yığma duvar numunelerinde meydana gelen basınç etkisi Şekil 3.17’de gösterilmiştir.



Şekil 3.17 Yığma numunenin aksel basınç altındaki davranışı (Kuruşçu,2005)

Yığma yapıların basınç dayanımı, yapıyı meydana getiren kargir ve bağlayıcı birimlerin karakteristik özelliklerine bağlıdır. TBDY 2018’de kargir birimlerin en küçük basınç dayanımlarının, yatay derzlere dik doğrultuda 5.0 MPa, yatay derzlere paralel doğrultuda 2.0 MPa olması istenilmektedir. Kargir birimlerin maruz kaldığı aksel basınç kuvvetinden dolayı bağlayıcı birimlerde yatay yönde çekme kuvveti meydana gelmektedir. Bu sebeple yığma kargir birimlerde en çok görülen düşey yöndeki çatlaklardır. (Şekil 3.18)

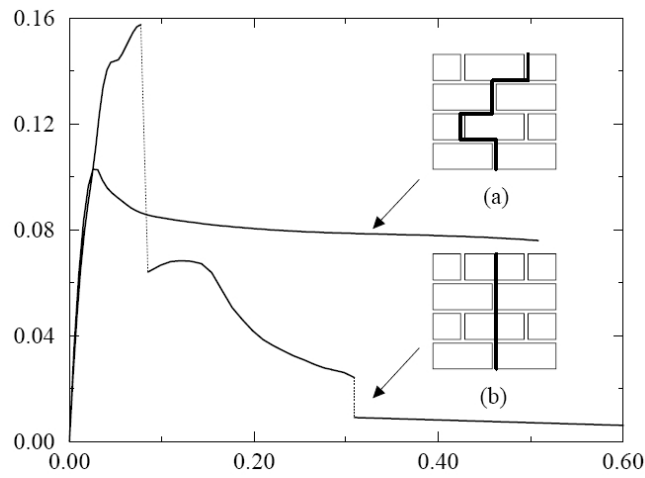


Şekil 3.18 Yığma bir yapıdaki basınç kırılması (Carbone, Fiore, Pistone, 2001)

3.5.2.2 Eksenel Çekme

Yığma duvarların çekme davranışı basınç etkisinin yanında ihmal edilebilecek kadar düşüktür. Eksenel çekme kuvvetleri altındaki yığma yapının 2 şekilde şekil değiştirdiği gözlemlenmiştir. (Şekil 3.19)

Birincisi; kargir birim ile bağlayıcı birim arasındaki aderansın kaybolmasından dolayı zikzak şeklinde meydana gelen şekil değiştirmelerdir. İkincisi ise yatay derze dik olarak yani çekme eksenine dik hem kargir birimde hem bağlayıcı birimde meydana gelen şekil değiştirmelerdir. Bu durum göz önünde bulundurulduğunda Şekil 3.19'daki 1. numunede 2. numuneye kıyasla daha az gerilme meydana geldiği söylenebilir.

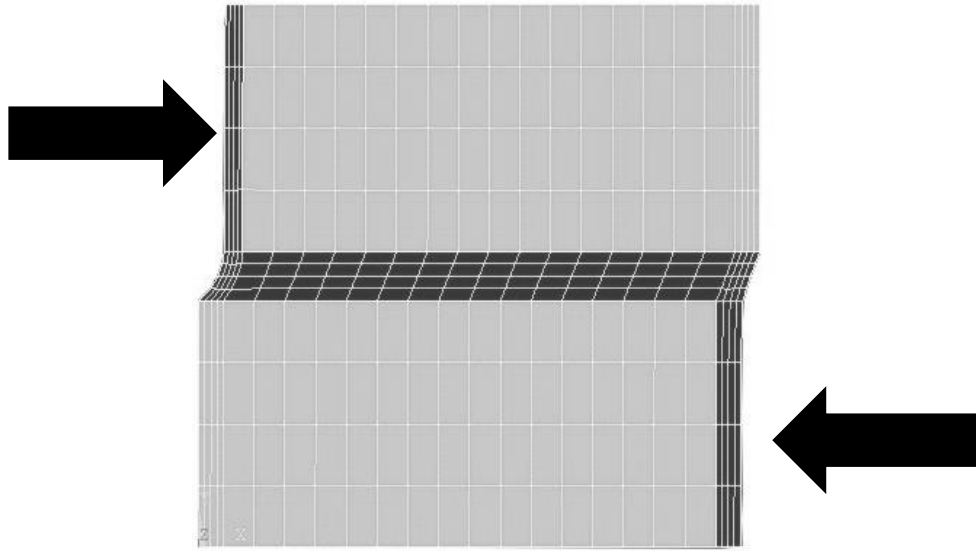


Şekil 3.19 Eksenel çekmeye maruz deney numunelerindeki deformasyonlar ile gerilme-şekil değiştirme diyagramları (Lourenço, 1996).

3.5.2.3 Kayma (Kesme) Etkisi

Aynı eksenle birbirine dik yöndeki yüklemelere maruz kalan yığma yapılar kesme etkisi ile de şekil değiştirmektedirler. (Şekil 3.20) Bu deformasyonlar 2 çeşittir. Birincisinde yığma birimlerde deformasyonlar meydana gelirken ikincisinde derzler boyunca deformasyonlar meydana gelmektedir. Bu deformasyonları harç ve yığma birimin dayanım oranı etkilemektedir.

Kesme kuvvetleri bilindiği üzere birim elemanların birleşim yerlerine paralel olarak etki etmektedir. Bu kuvvetlerin etkisi altında meydana gelecek deformasyonların oluşumuna engel olabilmek adına yığma kargir elemanlar ile bağlayıcı elemanlar arasında iyi bir aderans sağlanması gerekmektedir.



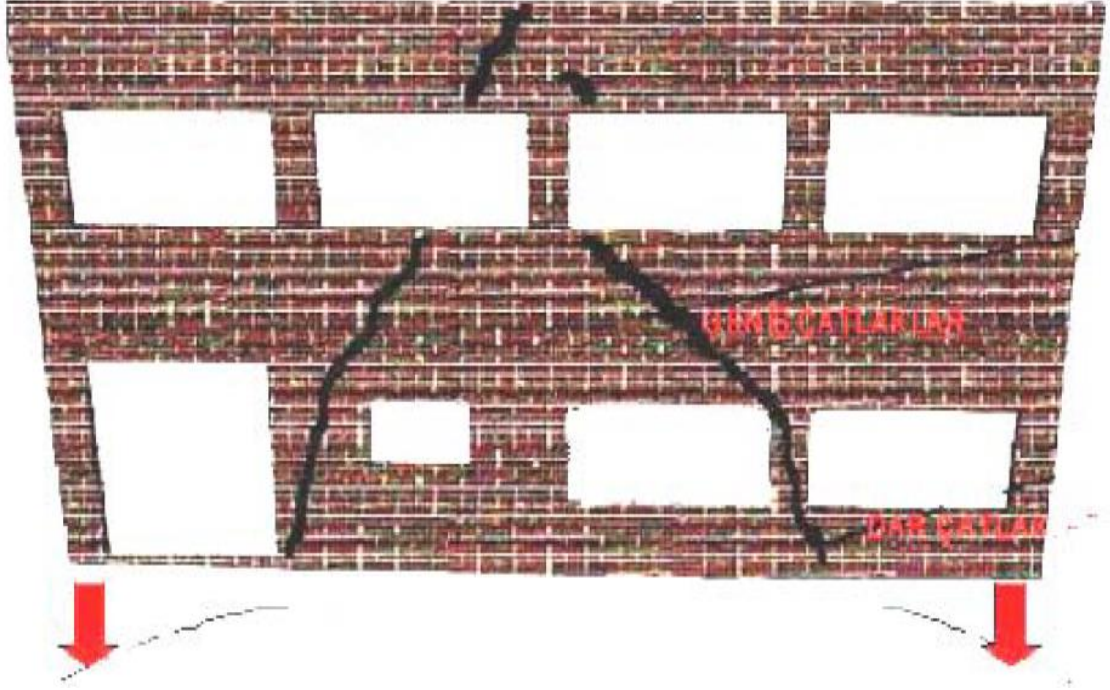
Şekil 3.20 Kayma etkisindeki yığma prizmanın davranışı (Ural,2009)

3.6 Yığma Yapılarda Oluşan Hasar Biçimleri

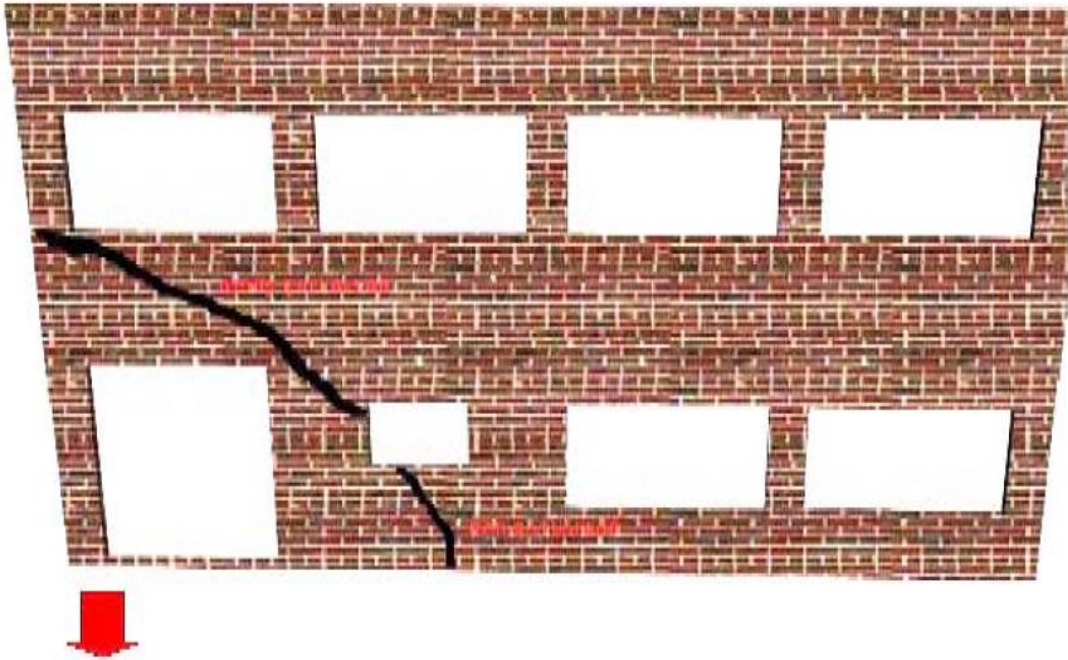
Yığma yapılar ağırlıklarından dolayı çerçeveli yapılara göre daha rijit yapılardır. Bu sebeple olası bir deprem anında daha fazla yatay yüke maruz kalan yığma kargir yapılardaki duvarların taşıyıcı eleman olması sebebi ile üzerine gelen yükler karşısında alacağı hasarlar taşıyıcı sistemi doğrudan etkilemektedir.

Yığma duvarları meydana getiren birimlerin gevrek olması nedeniyle taşıyabileceği elastik gerilmeler çok düşüktür. Bu nedenle en ufak bir deplasman altında çatlama maruz kalmaktadırlar. Çatlama sonrasında kesme dayanımının aşılması ile birlikte yığma kargir yapılar bütün olarak çalışmayı bırakmakta ve bu daha önceki çatlakların büyümesine sebep olmaktadır. Bu çatlaklar, büyük ölçüde maruz kalınan yatay kuvvetin şiddetine bağlıdır.

Gevrek malzemeler ile meydana getirilen yığma yapıların aşırı hassas davranış göstermesi sebebi ile olası bir deprem sonrasında birçok etkene ve sebebe bağlı olarak hasara uğradığı gözlemlenmiştir. Yığma kargir birimlerin ve bağlayıcı malzemenin düşük çekme gerilimine sahip olması, bağlayıcı malzeme olan harcın yeterince iyi aderans sağlayamamış olması, yapının ağır tasarlanmış olması, kullanılan geleneksel malzemelerin çeşitliliği gibi sebepler bunların içinde sayılabilir. İnşa sürecinde yapılan hatalara ek olarak dış etkenler de yapının dayanımını düşürmektedir. Bu açıdan dayanımı düşüren etkiler 2 başlık altında toplanabilir. Kimyasal ve biyolojik oluşumlar, rüzgar ve sel yükleri, yerçekimi ve deprem kuvvetleri gibi doğal olaylar sonucu oluşmuş yük ve kuvvetler ile hatalı müdahale, restorasyon, zemin oturmaları ve yangın gibi insan

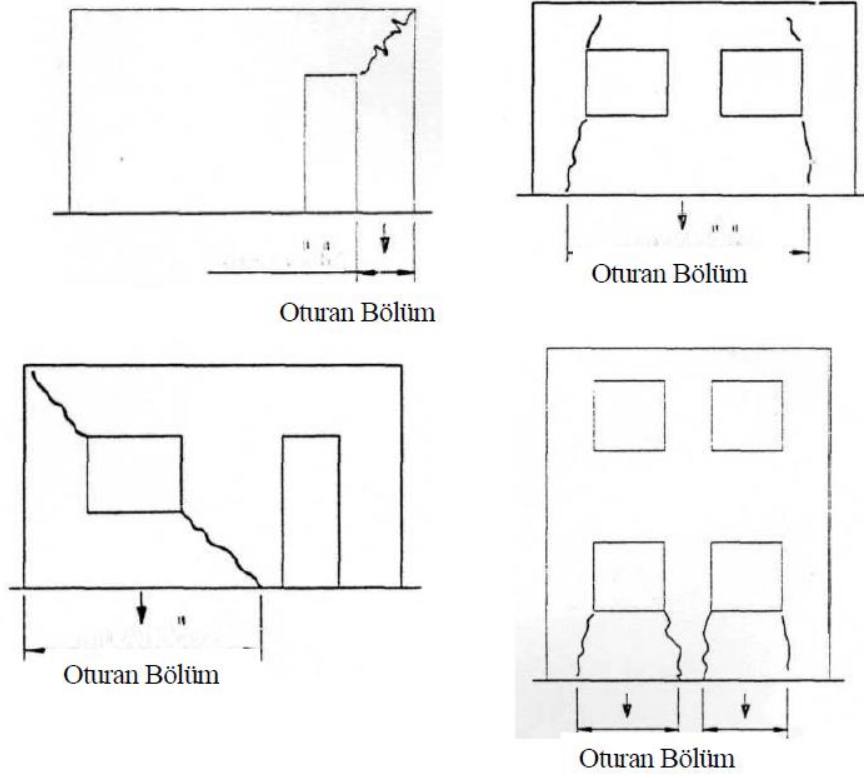


Şekil 3.22 Yığma yapılardaki çeşitli oturma çatlakları (b) (Bayülke, 2001)



Şekil 3.23 Yığma yapılardaki çeşitli oturma çatlakları (c) (Bayülke, 2001)

Zemin oturması meydana gelmiş yapılarda duvarlarda kesme çatlakları ve ezilmeler meydana gelmektedir. (Şekil 3.24)



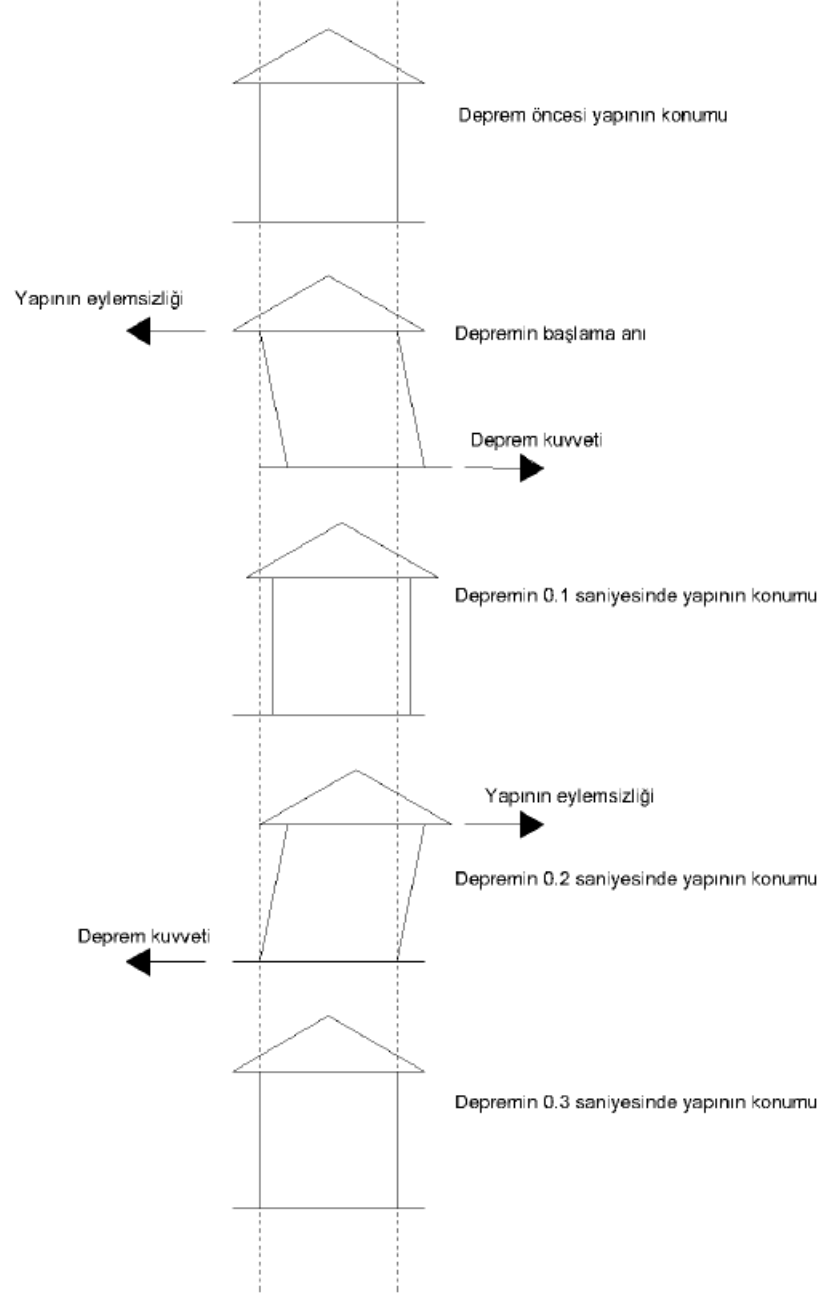
Şekil 3.24 Yığma yapılarda oturma çatlakları (Bayülke, 2001)

3.6.2 Deprem Hasarları ve Çatlakları

Yığma yapılarda, duvar ve düşey hatlı tipi elemanlar tersinir yükler altında eylemsizlik ve elastikiyet ile yer hareketinin tersi yönde hareket ederek iç gerilmeye maruz kalmaktadır. Söz konusu yapıların yapımında kullanılan malzemeler süneklik özelliğini taşımadığından, yığma kargir yapılar deprem anında deplasman yapamayarak ani hasarlar almaktadır. Deprem sırasındaki eylemsizlik kuvveti ve deprem kuvveti yapıyı 2 taraftan çekmeye çalışır. Şekil 3.25’de basitçe yapının deprem anındaki davranışı modellenmiştir. Sistem ve eleman arasında oluşacak herhangi bir düzensizlik yapıda çatlakların oluşmasına sebep olmaktadır.

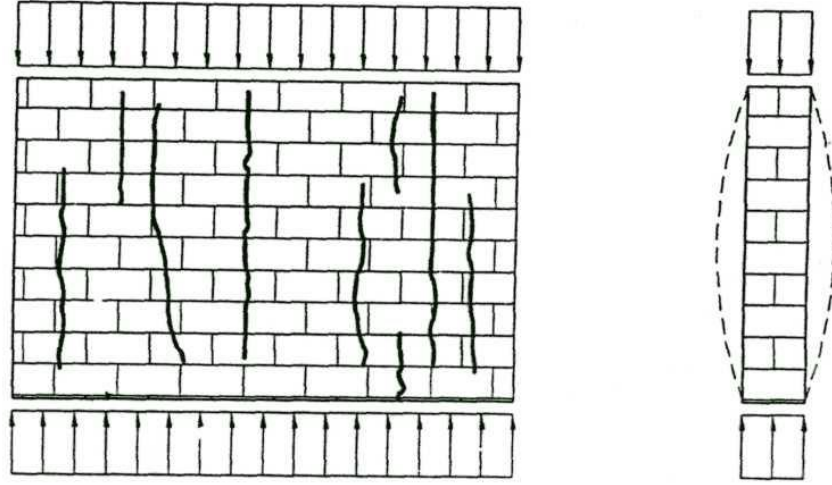
Deprem sırasında oluşacak hasarları 3 grupta sınıflandırmak mümkündür.

- Kesme hasarlarına bağlı diyagonal çatlaklar,
- Döşemelerin duvarlardan ayrılması,
- Duvarların köşelerden ayrılması,

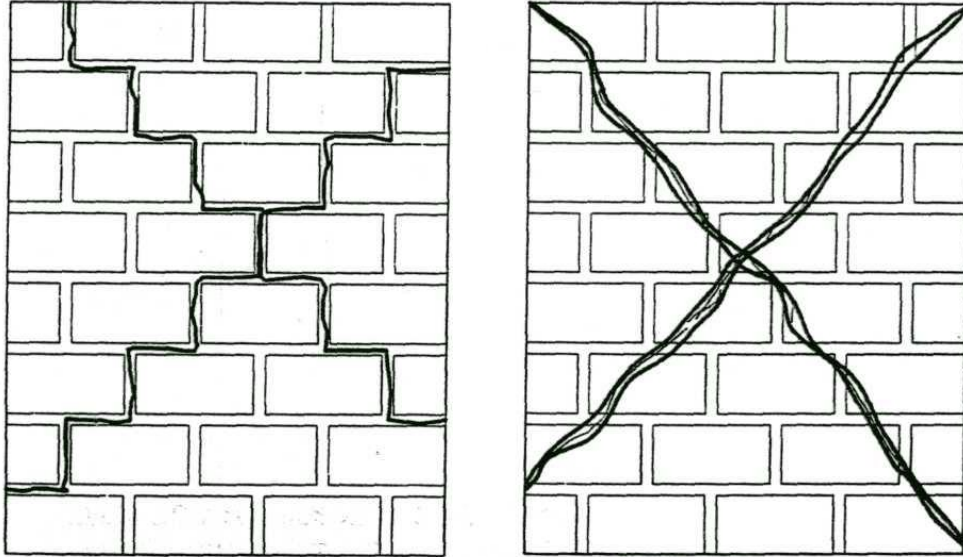


Şekil 3.25 Yapıların depremdeki davranışlarının şematik açıklaması (Yalnız,2020)

Yığma kargir yapıların en zayıf bölgesinin harç ve yapı taşı arasındaki bölge olması sebebi ile oluşan bu hasarların yatay ve düşey derzler doğrultusunda olduğu söylenebilir. Derzlere dik yöndeki kuvvetler altında yığma kargir yapının duvarlarındaki kırılmalar derzlere dik doğrultuda meydana gelmektedir. (Şekil 3.26) Harç dayanımı tuğla dayanımından daha düşük ise eğik çekme çatlakları derzlerden geçmektedir. Harç dayanımı tuğla dayanımından daha yüksek ise eğik çekme çatlakları tuğlaları da keserek meydana gelmektedir. (Şekil 3.27)



Şekil 3.26 Derzlere Dik Yükler Altında Yığma Duvarda Kırılma (Bayülke, 2001)



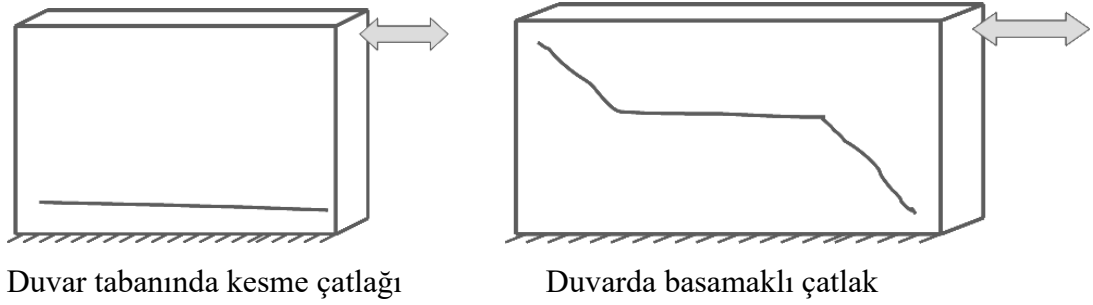
Harç Dayanımı Tuğla Dayanımından Küçük Derzlerden Geçen Çatlaklar

Harç Dayanımı Tuğla Dayanımından Yüksek Tuğlaları da kesen Çatlak

Şekil 3.27 Yatay derzlere paralel etkiyen yükler altında yığma duvarlarda kırılma biçimleri (Bayülke, 2001)

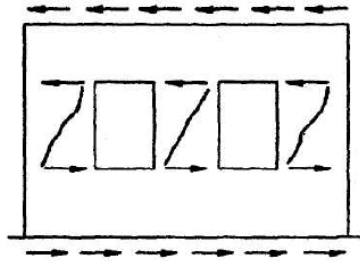
Deprem etkisi altında yığma duvarda oluşan bir diğer kesme çatlakları da duvar tabanında meydana gelmektedir. (Şekil 3.28) Bu çatlakların oluşma sebebi duvarın uzunluk/yükseklik oranının düşük olmasıdır ve bu çatlaklar sıklıkla yatay derzlerin yönünde meydana gelmektedir. Duvarın yüksekliğe göre daha uzun olması durumunda tam bir X çatlakları meydana gelemez ve diyagonal çatlak duvar yüksekliğinin

yarısından itibaren basamaklı olarak yatay devam edecek ve duvar sonunda tekrar diyagonal bir hal alacaktır.

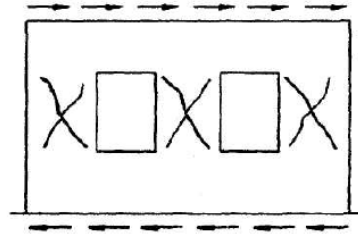


Şekil 3.28 Yığma duvardaki çatlak modelleri (Korkmaz, 2007)

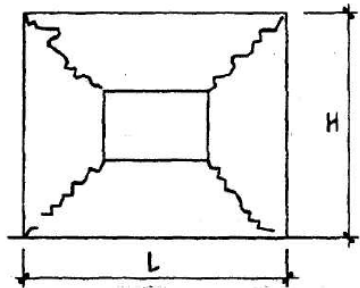
Yığma kargir yapının yatay kuvvetler altında aldığı hasarlardan bir diğeri de taşıyıcı duvarlardaki ezilmeler ve duvarların döşemelerden ayrılmasıdır. Deprem sırasında etki eden yükün oluşan ilk çatlaklara dik olması nedeni ile ikinci bir çatlak meydana gelecektir. Ve bu çok sık rastlanan X şeklindeki eğilme çatlaklarıdır. Çatlakların yeri ve açısı yığma duvardaki boşluk miktarına ve boşluğun yerine göre değişmektedir. (Şekil 3.29)



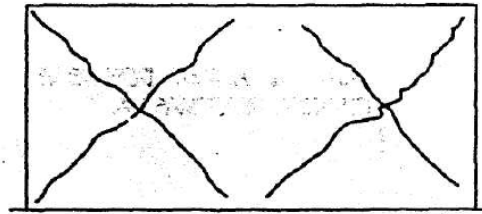
a) Duvarda eğik çekme çatlakları oluşturan kuvvetler ve çatlaklar ilk aşama



b) Duvarda eğik çekme çatlakları oluşturan kuvvetler ve çatlaklar ikinci aşama (deprem hareketinin yönü değişince)



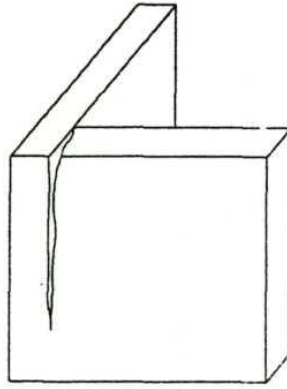
c) H/L oranı 1'e yakın ise kenardaki dolu duvar parçaları yerine bütün cephe birlikte davranır



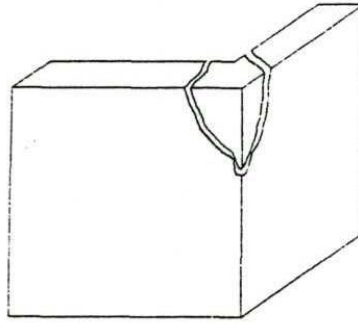
d) Uzun ve dolu duvarda birden fazla eğik çekme çatlağı oluşabilir

Şekil 3.29 Yığma duvarlarda çatlak oluşum aşamaları (Bayülke, 2001)

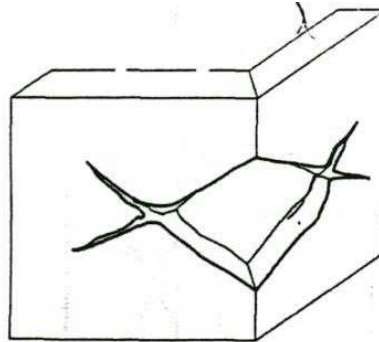
Olası bir deprem anında yapının köşeleri, en çok zorlanan bölgelerdir. Bağlantı bölgeleri, duvarların birlikte hareket etmesini sağladığı için yapının dayanımını büyük ölçüde etkilemektedir. Köşelerinden iyi bağlanmamış, hatıl ya da duvar döşemesi bulunmayan yapıların bağlantı bölgesindeki duvarlar birbirlerini iterek küçük çatlaklar meydana getirmektedir. Bu çatlakların genişlemesi sonucu duvarlar serbest kalarak yıkılmaya müsait hale gelmekte ve bu durumun sonunda çatıyı taşıyacak bir eleman kalmadığı için çatı yıkılmaktadır. (Şekil 3.30) Şekil 3.31’de bu yıkılmaya ait bir örnek gösterilmiştir.



a) Birbirine yeterli örgü ile bağlanmamış yığma duvar köşelerinde deprem hasarı



b) Yüksek ve uzun duvarların yetersiz rijitlikte bir çatı sistemi ile bağlanmış olması sonucu oluşan hasar biçimi



c) Kesişen duvarlara depremde gelen zorlamaların büyüklüğü nedeni ile oluşan hasar biçimi

Şekil 3.30 Yığma yapı köşe hasar biçimleri (Bayülke, 2001)



Şekil 3.31 Yığma yapıda köşe hasarı (Korkmaz, 2007)

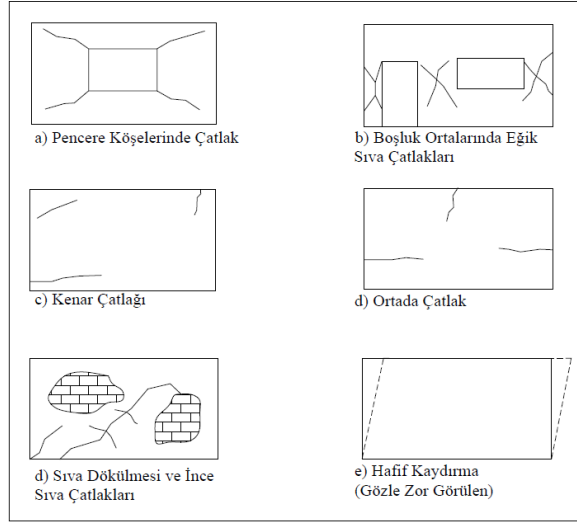
3.7 Deprem Hasar Düzeyleri

Olası bir deprem anında mevcut bir yığma kargir yapıda hasar oluşması kaçınılmazdır. Bu kapsamda hasarların düzeylerini ölçmek amacı ile birçok çalışma yapılmıştır. Şekil 3.32’de İTÜ Yapı ve Deprem Uygulama Merkezi’nde incelenen bir yığma bina için kriterler tanımlanmıştır.

Çatlak Genişliği	Hasar Derecesi	Açıklama
0,1 mm’den az	Önemsiz	Taşıyıcı sisteme ve kullanıma etkisi yoktur
0,1 – 0,3 mm	Önemsiz - az	Taşıyıcı sisteme ve kullanıma etkisi yoktur
0,3 – 1,0 mm	Az	Taşıyıcı sisteme etkisi yoktur. Mimari açıdan tamir gerektir.
1,0 – 2,0 mm	Orta	Taşıyıcı sisteme etkisi yoktur. Mimari açıdan tamir gerektir.
2,0 – 5,0 mm	Orta	Taşıyıcı sistem etkilenir. Dış duvarlardan içeriye gelen hava akımı hissedilir. Pencere veya kapılar sıkışır ya da kapanmaz. Yapının kullanımı etkilenir.
5,0 – 15,0 mm	Orta -ağır	Pencere veya kapılar sıkışır, su ve kanal bağlantıları kırılır. Yapının içine su ve soğuk girer. Pencere camları çatlar ve kırılır, sıvalar dökülür, tuğla duvarlar parçalanır. Yığma kemerler çöker. Kabul edilmez çatlak sınırına ulaşılmıştır.
15,0 – 25 mm	Ağır	Yapının taşıyıcılığı büyük tehlike altındadır. Önemli tamir ve takviyeler gerektirir.
25 mm’den çok	Çok ağır	Yapıda ağır hasar mevcuttur. Çok önemli takviye ya da yıkım gerektirir.

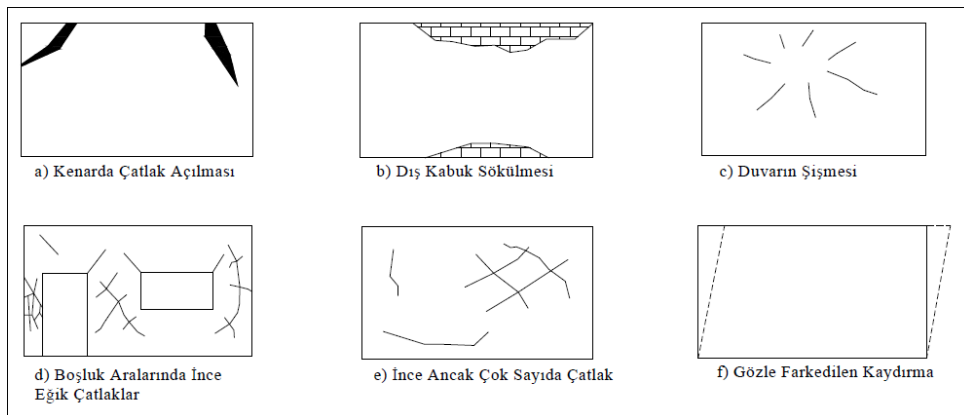
Şekil 3.32 İTÜ Yapı ve Deprem Uygulama Merkezi hasar kriterleri (Batur, 1999)

Şekil 3.32’de görüldüğü üzere kılcal boyutlarda yani 1 mm’den daha ince yüzeysel sıva çatlaklarının olduğu düzeydeki yapılara hasarsız veya az hasarlı denilmektedir. Söz konusu hasar düzeyindeki yapılarda duvarın düzlemi dışına eğilmeye çalışmasından dolayı dikey ve yatay çatlaklar meydana gelmektedir. Bu tür yapıların deprem sonrasında herhangi bir onarım ve güçlendirmeye ihtiyacı olmamaktadır. (Şekil 3.33)



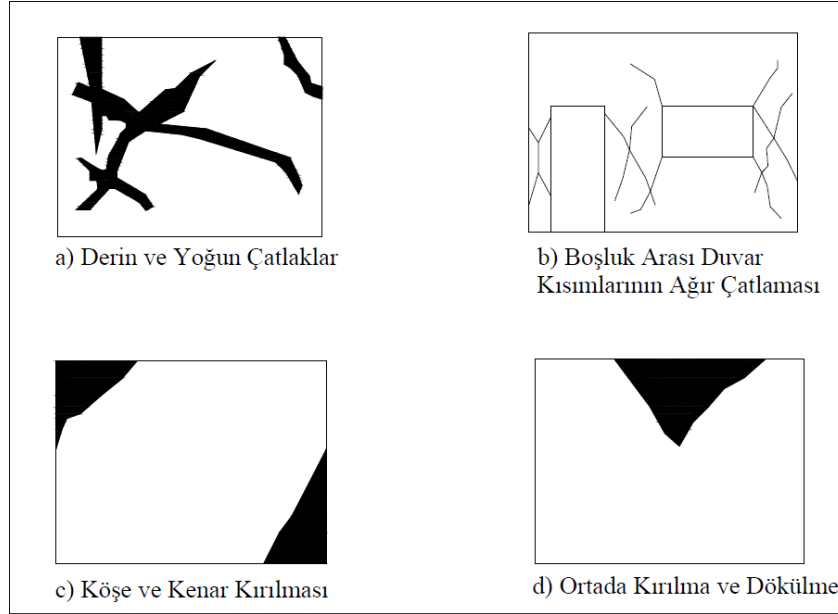
Şekil 3.33 Az hasarlı yığma duvar çatlakları örnekleri (Gülkan, P., Sucuoğlu, H.,1988)

Çatlak genişliği 1-15 mm’ye ulaşmış yığma yapılar orta hasarlı yığma yapılar olarak adlandırılmaktadır. Söz konusu yapıların anlaşılmasındaki en önemli özellik X tipi çatlaklara sahip olmasıdır. Duvarlar elastik olarak taşıyabilecekleri limiti aşmışlardır fakat düzlemleri dışına fazla bir deforme almamışlardır. Bu hasar düzeyinde yapının güçlendirilmesi gerekmektedir. (Şekil 3.34)



Şekil 3.34 Orta hasarlı yığma duvar örnekleri (Gülkan, P., Sucuoğlu, H.,1988)

25 mm'den çok çatlak genişliğine sahip yığma yapılar için çok ağır hasarlı denilmektedir. Bu hasar düzeyinde artık geniş kesme çatlakları duvar boyutundadır. Ayrıca duvarların düşey yönünden uzaklaşmasına, köşelerden duvarların ayrışmasına, duvarlarda şişmelere ve kısmen yıkılmalara rastlanmaktadır. (Şekil 3.35)



Şekil 3.35 Ağır ve çok ağır hasarlı yığma duvar örnekleri (Özsaraç, 2009)

3.8 Onarım ve Güçlendirme

Ülkemizde onarım ve güçlendirme genellikle birbiri ile karıştırılan kavramlardır. Onarım, hasar görmüş bir yapının depremden önceki haline getirilmesi iken güçlendirme, hasar görüp görmemesine bakılmaksızın, yapının depremden önce sahip olduğu taşıyıcı sistem güvenliğinden daha iyi hale getirilmesi durumudur. Bu sebeple çoğu durumda basit onarımlarla hasarların giderildiği düşünülerek sorunların geçirildiği görülmektedir. Kırsal bölgelerde önemli çatlakların sıvalarla örtüldüğü, ekonomik sebeplerle gizlenerek yapının kullanımına devam edildiği bilinmektedir.

Yığma yapıların, yığma kargir birimlerin yatay ve düşey yüklere karşı dayanımının düşmesi, iç duvarların yıkılması, pencerelerin büyütülmesi, yapıya kaçak kat çıkılması ve yapıya yeni duvarların eklenmesi gibi birçok sebep nedeniyle dengeli davranışlarının bozulması sonucunda ilk durumlarından daha yüksek dayanıma sahip hale getirilmesi gerekmektedir. Olası bir deprem anında yapı hasar almış ise bu yapının yükleri taşırken zorlandığını göstermektedir. Bu durumda yapıya gelen yük azaltılabiliyorsa bu yola başvurulmalı ya da yapının dayanım düzeyi artırılarak yapı güçlendirilmelidir.

Onarım ve güçlendirmede çeşitli amaçlara göre belirlenmiş yollar olmasına rağmen uygulanacak önlemler genellikle ortaktır. Yapımı sırasında uyulacak kuralların haricinde onarım ve güçlendirme sırasında da doğru yolu seçmek ekonomik kayıpları büyük ölçüde azaltacaktır.

Yığma kargir yapıların yapım aşamasında alınacak önlemlerden bazıları yer seçimi, temel seçimi olarak sıralanabilir. Yapım aşamasında bu önlemlerin alınması büyük ölçüde dayanımı arttıracaktır. Yapının homojen bir zemine inşa edilmesi, sağlam bir temel seçilerek temel boyutlarının doğru hesaplanması, yapının hafif tasarlanması, boşlukların doğru planlanması, duvar kalınlığının yönetmeliklere uygun inşa edilmesi, tuğla duvarlarda diziliş biçimine dikkat edilmesi, tasarım sırasında hatıl kullanılmasına önem verilmesi, donatı takviyesinden kaçınılması, yapı ve çatının beraber hareket edecek biçimde bağlanması gibi parametrelere dikkat edilerek yapının ilk aşamada dayanımı artırılabilir ve böylece birçok ekonomik masraftan kaçınılabilir.

Aynı şekilde depremden sonraki güçlendirme için de birçok parametreye dikkat edilerek tasarım yapılması gerekmektedir. Yapının güçlendirilmesine karar verildikten sonra hasarın sebebi ve çatlak miktarları, yapının güçsüz yanları araştırılıp deprem yönetmeliğine de uygun birçok yöntemle kesme dayanımı artırılarak yapı güçlendirilmektedir. Bu aşamada 2 şekilde güçlendirme yöntemi uygulanmaktadır. Bunlardan ilki, zeminin dayanımının artırılması diğeri ise yapının dayanımının artırılmasıdır. Burada amaç yapının ağırlık merkezi ile rijitlik merkezinin çakıştırılmasıdır.

Bu sebeple öncelikle yapının ağırlığı azaltılmaya çalışılmaktadır. Yığma yapılar ağır ve rijit olmaları sebebiyle büyük yanal kuvvetlere maruz kalmaktadır. Bu nedenle yapının yükünün azaltılması yapıya gelecek kuvvetleri de azaltacaktır. Ayrıca güçlendirmede kullanılacak yöntemin yapının bulunduğu bölgedeki olanaklar açısından uygulanabilir olması gerekmektedir. Günümüzde sıkça kullanılan yöntemlerden bazıları şu şekilde sıralanabilir.

- Çimento enjeksiyonu ile onarım
- Püskürtme beton ile güçlendirme
- Hasır çelik donatılı beton ile güçlendirme
- Perde duvar ile güçlendirme
- Çelik elemanlarla güçlendirme
- FRP ve CFRP ile güçlendirme

3.8.1 Çimento Enjeksiyonu ile Onarım

Yığma kargir yapılarda çimento enjeksiyonu kullanılarak yapılan güçlendirme genellikle düşük basınç altındaki moloz taş duvarlara uygulanır. Bu uygulama için öncelikle duvarın içine duvar kalınlığında delikler açılarak en derine kadar ince borular yerleştirilir. Açılan deliklerin arasında genellikle 30-40 cm boşluklar bırakılmaktadır. Daha sonraki aşamada duvar 2-3 cm kalınlığında ince bir sıva tabakası ile kaplanır ve duvarın en derinindeki delikten başlayarak yerleştirilen borular yardımı ile çimento şerbetinin enjeksiyon işlemi son deliğe gelene kadar uygulanır. Yerleştirilmiş boruların yanındaki borulardan çimento şerbetinin akması durumuna kadar çimento şerbeti yerleştirmeye devam edilir. Çimento şerbetinin yerleştirildiği delikler dolduktan sonra kapatılır.

Bu güçlendirme yönteminde çimento standardı büyük önem taşımaktadır. Bu sebeple yüksek dayanımlı portland çimentosu ve priz süresince genişlerken daha dayanımlı hale gelebilecek çimento kullanılarak güçlendirme süreci hızlandırılır. Şekil 3.36'da uygulaması görülmektedir.

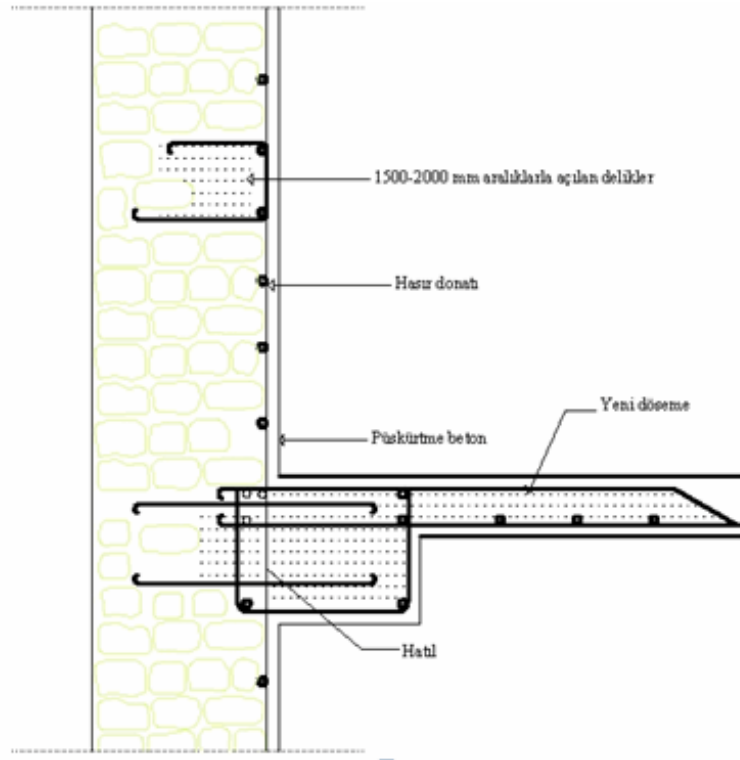


Şekil 3.36 Çimento enjeksiyonu ile güçlendirme (Web İletisi- [Negative Side Waterproofing | WATERPROOF! Magazine](#))

3.8.2 Püskürtme Beton ile Güçlendirme

Püskürtme beton ile güçlendirme son zamanlarda yığma yapılar kadar betonarme yapılarda da kullanılan bir yöntemdir. Genellikle ekonomik açıdan güçlendirmenin

uygulanacağı alanın büyük olduğu durumlarda tercih edilir. Basıncı hava yardımı ile beton uygulamasını yapacak kişinin uygulamada ve beton karışımını hazırlamada büyük önemi bulunmaktadır. Tecrübeli bir uygulamacı tarafından yapılacak uygulama sırasında tabanca yüzeye uzak tutulmalıdır. Yüzeye dik olarak yaklaşık 1-1.5 m uzaklıktan tutulan tabancanın uzaklığının doğru belirlenmesi gerekmektedir. Çünkü yüzeyle çok uzak tutulması durumunda yeterince betonla doldurulamayan boşluklarda ileride çatlaklar meydana gelecektir. Bunun tam tersi olarak tabancanın çok yakından tutulması durumunda ise basıncın etkisini yitirmesi sebebi ile beton yüzeyle yapışamayacağı için betonda kayıplar meydana gelecektir. Başarılı betonun elde edilmesi ayrıca donatının da uygun seçilip yerleştirilmesine bağlı olmaktadır. Bu aşamada donatının aderansını zayıflatacak her türlü kirden arındırılmış olması gerekmektedir. (Şekil 3.37)

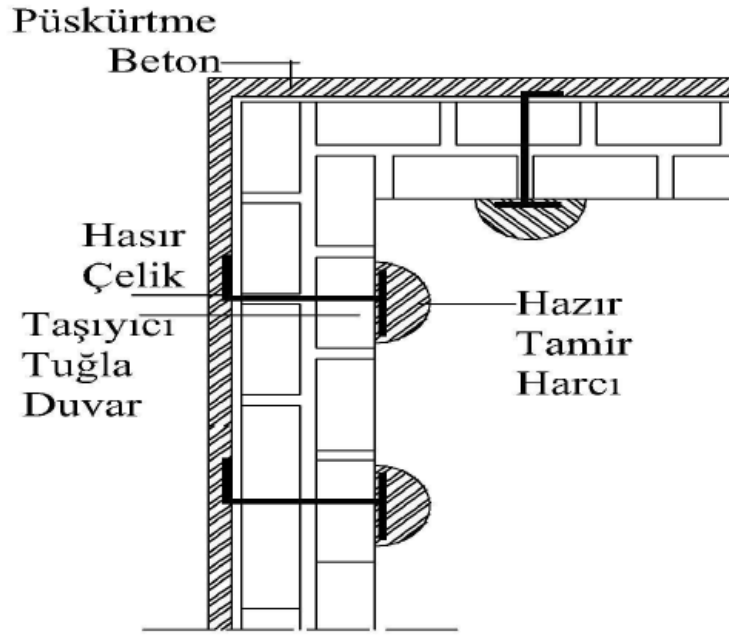


Şekil 3.37 Püskürtme beton ile güçlendirilen bağlantı (Kalkan, 2008)

3.8.3 Hasır Çelik Donatılı Beton ile Güçlendirme

Yığma kargir duvarlarda dayanımı arttırmak için kullanılan bir diğer yöntem ise yüzeyi hasır çelik donatılı sıva tabakası ile kaplamaktır. Bu yöntemde binanın çerçevesi içinde basınç çubukları meydana getirilerek çerçeveye bu amaçla yük aktarımını sağlaması için ankrajlar yerleştirilmektedir. Hasarların bulunduğu yere göre bu yöntem 2

yüzeyle de yapılarak birbirine bağlanmaları sağlanmaktadır. Uygulamanın yapılacağı duvarın iç yüzeyindeki sıva temizlenerek yüzey hazır hale getirilir. Duvar ile çerçeve elemanı arasında 30 mm boşluk olmalıdır. Donatılı sıva tabakası ve çerçeve arasına ankrajlar koyulacaktır. Bunun yanında duvara dik yönde gövde ankrajları da yapılacaktır. Bu ankrajlar açılan deliklere epoksi yardımı ile sabitlenecek ve sonrasında uçları L şeklinde bükülerek hasır donatı ile birlikte çalışması sağlanacaktır. Daha sonra projelendirme aşamasında belirlenen duvar kalınlığı kadar kalıplar yapılacaktır. Bu kalıplara dökülecek betonun akıcı olması gerekmektedir çünkü hasır çelik donatı sistemi duvar ile kalıbın tam ortasına yerleştirilmiştir. En son aşamada kendiliğinden yerleşen betonun kalıba dökümü gerçekleştirilmektedir. Şekil 3.38’de hasır çelik donatı ile güçlendirilmiş bir tuğla duvar örneği verilmiştir.



Şekil 3.38 Hasır çelik donatı sistemi (Özsaraç,2009)

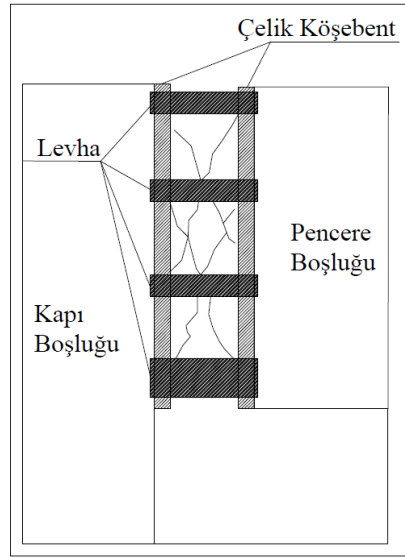
3.8.4 Perde Duvar ile Güçlendirme

Bu yöntemde hasar görmesi muhtemel yığma duvarlar yıkılarak yerine donatılı beton perde duvarlar yapılmaktadır. Fakat bu duvarlar seçilirken simetrik olmalarına dikkat edilmelidir. Güçlendirme yöntemleri arasında en iyisi olarak adlandırılabilir bu uygulamanın en önemli dezavantajı temelle bağlantısının sağlanamamasıdır. Ayrıca bu uygulama sırasında yapının kullanılmayacağı da göz önünde bulundurulursa bu

güçlendirme yönteminin en büyük dezavantajı olan yapım süresi uzunluğu ortaya çıkmaktadır.

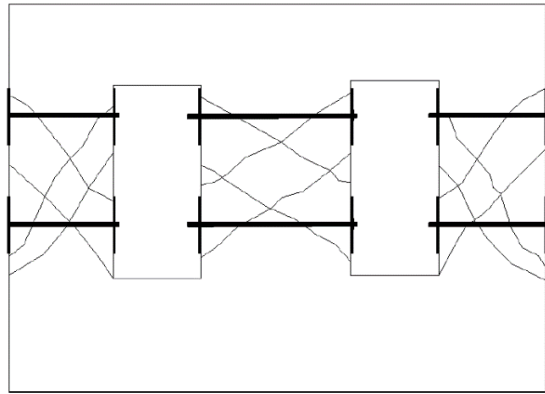
3.8.5 Çelik Elemanlar ile Güçlendirme

Bu yöntemde duvarın iki yüzüne de çatı veya döşeme gibi diyafram elemanlarına bağlanan çelik levhalar konulmaktadır. Eğer duvar kalınlığı fazla ise köşelere yerleştirilecek köşebentler yardımı ile duvarın düzlemi doğrultusunda koyulacak çelik gergi çubukları bağlanarak bu yöntem uygulanmaktadır. (Şekil 3.39)



Şekil 3.39 Duvardaki hasarlı bölümün gergi demirleri ile güçlendirilmesi (Özsaraç, 2009)

Yığma kargir yapılar için tasarlanmış duvarda meydana gelecek çatlakları önlemek amacı ile yerleştirilen çelik elemanlar çatlakları kesmeye çalışır. Şekil 3.40'da pencere boşlukları arasında meydana gelmiş çekme çatlakları için yapılan uygulama gösterilmiştir.



Şekil 3.40 Pencere boşlukları arasında kalan duvarların gergi demirleri ile güçlendirilmesi (Özsaraç,2009)

3.8.6 FRP ve CFRP ile Güçlendirme

FRP (fiber takviyeli plastik); yığma kargir yapıların güçlendirilmesinde sık kullanılan yöntemlerden biridir. Söz konusu plastik kompozitler karbon, cam, aramid veya bazalt fiberleri ile takviye edilerek meydana gelen vinil-ester veya polyester ısıyla sertleşen reçine karışımlarından oluşurlar. FRP'ler uygulama aşamasında binadaki çekme ve eğilmeyi kesecek yönlerde yerleştirilmektedir. (Şekil 3.41)

Çeliğe göre daha yüksek mukavemete sahip FRP, korozyona karşı daha dayanıklı olması açısından avantajlıdır. Ayrıca bu lif malzemeler, liflerin diziliş şekline göre mukavemeti değiştirilebilen, beton ve çeliğin uygulanamayacağı yerlere girebilen ve hızlı uygulanabilen malzemeler olmasından ötürü de son zamanlarda sıklıkla tercih edilen malzemelerdir. Fiber takviyeli polimer malzemeler, epoksi ile duvara uygulanmaktadır. Karbon lifler ile güçlendirilecek yüzeyin sıvası kaldırılarak yüzeydeki gevşek malzemeler uzaklaştırılır ve hazırlanacak olan astar yüzeye düzgün bir şekilde uygulanır. Ardından uzman kişiler yardımı ile düzgünleştirilmiş yüzeye FRP uygulaması yapılır. FRP uygulamasının 7 gün içinde mukavemetine ulaştığı ve kullanılabilir duruma geldiği bilinmektedir.



Şekil 3.41 Duvar hatıl bölgesinde FRP uygulaması (Bayraktar,2005)

3.9 Yığma Duvarların Modellenmesi

Yığma yapı sistemleri, kolay yapılması ve bölgesel olarak malzemelerinin ulaşılabilir olması sebebiyle ülkemizde hala yaygın olarak uygulaması yapılan bir yapı türüdür. Fakat yığma yapıları meydana getiren kargir elemanların kompozit olması sebebi ile bu zamana kadarki bilimsel çalışmalar yığma yapıların modellenmesini tam anlamıyla ortaya koyamamıştır. Kullanılan malzemelerin özellikleri bakımından bilinmezlikle dolu olması da bu yapıların modelleme aşamasında büyük hassasiyete sebep olmaktadır.

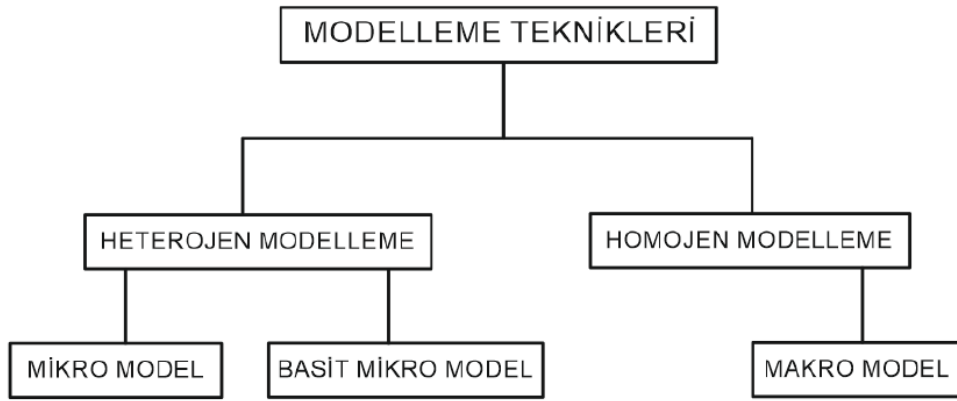
Bu yapıların numerik modellemeleri için yakın zamanlarda kaydedilen büyük ilerlemeler sayesinde bazı kabuller yapılmıştır. Buradaki amaç yapıyı gerçeğe en yakın şekilde modelleyerek analiz etmek ve oluşacak hasarları gerçekçi şekilde ortaya koymaktır. Yığma kargir yapıların yapısal analizi için çoğunlukla tercih edilen modelleme yöntemi sonlu ve ayrık elemanlar ile modelleme yöntemidir. Bu yöntemde öncelikle yapının matematiksel modeli tanımlanır. Fakat buradaki kabuller, betonarme yapılarda kullanılanlardan farklı olarak yığma birimler ve bağlayıcının çeşitli olması sebebi ile de tek tip olamamakta ve bu da modellemeyi zorlaştırmaktadır. Bu nedenle her yapı için birimler ayrı ayrı modellenerek farklı modellemelerin yapılması gerekmektedir.

Sonlu elemanlar yöntemi, tekrarlı yükler altındaki sürekli bir sistemi matematiksel modele göre uygun sonlu elemanlara ayırarak maruz kalınan tüm kuvvetleri bu elemanlara uygulayıp daha bunların hepsini birleştirdikten sonra tüm modelin analizini ortaya çıkarmayı amaçlamaktadır. Bu nedenle bu yöntem daha karmaşık sistemlere uygulanabilmektedir.

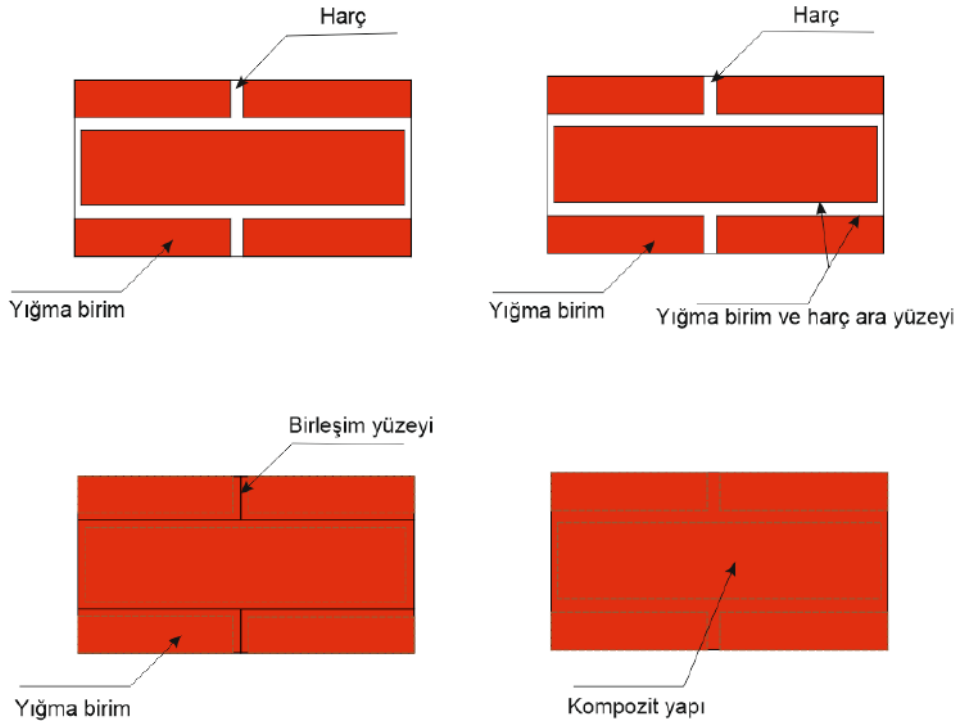
Sonlu elemanlar yönteminde sistem sonlu sayıda elemana ayrılmaktadır. Sistemdeki elemanlar ne kadar küçük boyutlara ayrılırsa analiz gerçeğe en yakın sonucu verir fakat bu durumda analizin çözüm süresi uzamaktadır. Özellikle yığma birimlerin ve bağlayıcı elemanların ayrı ayrı modellendiği durumlarda bilinmeyen parametrelerin fazla olmasına bağlı olarak analiz sırasında hesaba katılacak iterasyonlar da çözüm süresini büyük ölçüde etkilemektedir. Bütün parametreler dikkate alındığında yığma yapı sisteminin büyüklüğüne bağlı olarak farklı modelleme teknikleri geliştirmek zorunlu hale gelmiştir.

3.9.1 Modelleme Teknikleri

Yığma yapıların modellenmesinde çeşitli modelleme teknikleri kullanılmaktadır. Şekil 3.42’de heterojen ve homojen olarak sınıflandırılan yapılar için tercih edilen tekniklerin ayrılma şeması gösterilmiştir. Heterojen modelleme; sistemi oluşturan malzemelerin ayrı ayrı ele alındığı ayırık modellemeler olarak tanımlanabilir. Homojen modelleme; sistemi ile oluşturan birimlerin kompozit bir birim olarak düşünüldüğü modelleme olarak ele alınabilir. (Şekil 3.43)



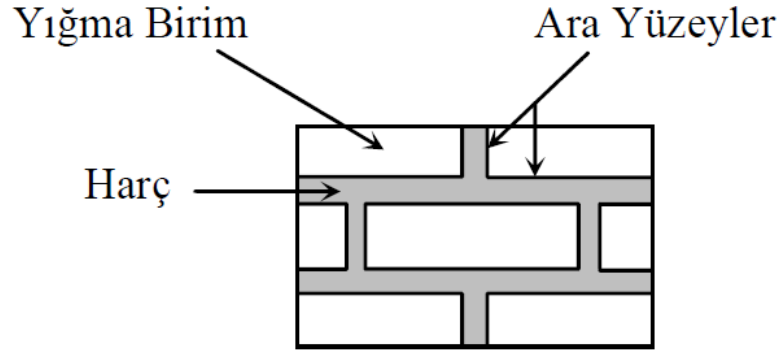
Şekil 3.42 Modelleme teknikleri (Kömürcü,2017)



Şekil 3.43 Yığma yapılarda kullanılan modelleme teknikleri (Kömürcü, 2017)

3.9.1.1 Mikro Modelleme

Sonlu eleman detaylı mikro modelleme olarak da bilinen bu teknik daha çok küçük yapıların çözümlenmesinde tercih edilen yöntemlerden biridir. Çünkü bu teknikte her bileşenin mekanik özelliklerinin bilgisinden ve ayrıntılı deneysel açıklama gerektiren birim harç ara yüzünden elde edilen duvarlardan yararlanır. Detaylı mikro modellemede yığma kargir birimler ve harç ayrı düşünülerek mekanik özellikleri numerik olarak modellenir. (Şekil 3.44) Tuğla birimlerin, harç derzlerin ve aralarındaki ara yüzün mekanik özelliklerinin güvenilir bir şekilde tanımlanması duvar malzemelerine ve inşaat uygulamalarına özgü çeşitlilik nedeniyle yoğun deneysel çalışma gerektirmektedir. Tuğla ve harcın farklı malzeme özelliklerine sahip olması nedeni ile her bir birimin elastisite modülü, poisson oranı, doğrusal olmayan diğer özellikleri manuel olarak tanımlanır. Bu teknikte varsayılan yaklaşım, tuğla ve harç arasındaki ara yüzeyde çatlakların meydana geleceğidir. Modelleme fazla iterasyon içereceği için çözüm süresi buna bağlı olarak artmaktadır. Sonuç olarak sonlu eleman mikro modelleme tekniği gerilme ve şekil değiştirme durumlarının heterojen olduğu küçük yapısal elemanlar için pratik olarak uygulanmaktadır. Ve mikro modelleme gerçeğe en yakın kırılmaları, harçlarda oluşacak kaymayı analiz etmektedir.

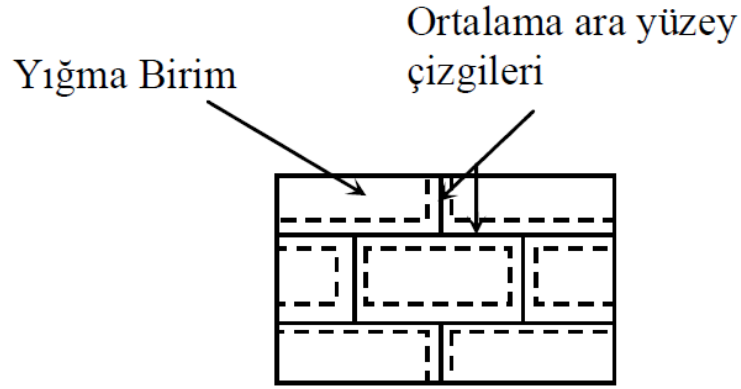


Şekil 3.44 Mikro modelleme tekniği (Lourenço,1996)

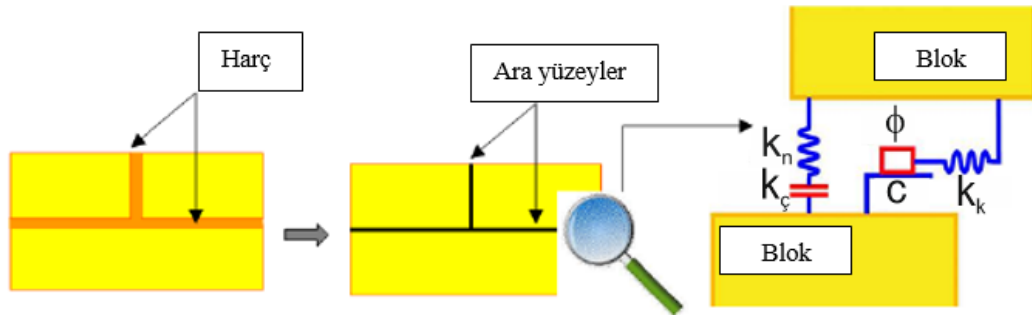
3.9.1.2 Basit Mikro Modelleme

Basitleştirilmiş mikro modelleme tekniği daha büyük sistemlerin çözümünde tercih edilen yöntemdir. Yığma yapıların doğrusal olmayan analiz yöntemlerinden biri olan basit mikro modellemede yığma birimler haricinde elemanların birbirine temas ettiği birleşim yüzeyleri de modellenir. Bunun yanında bağlayıcı maddede ise basitleştirmeye gidilerek modelleme yapılmaz. Bu amaçla yığma birimlerin boyutları harç tabakasının

kalınlığının yarısı kadar genişletilip harç tabakası ihmal edilmektedir. Harç bağlantılarını temsil etmek için sıfır kalınlıktaki arayüz elemanları kullanılmaktadır. Yığma birimler ara yüzey çizgileri ile birbirlerinden ayrılırlar.(Şekil 3.45) Mevcut durumda meydana gelecek hasarların bu ara birleşim yüzeylerinde olacağı varsayılarak bu yüzeyler için malzeme çekme ve kayma davranışlarının beraber tanımlanması gerekir. Şekil 3.46'da oluşturulan ara yüzey modelinde sırasıyla k_n , $k_ç$, k_k değerleri basınç, çekme ve kayma durumlarına ait yay sabitlerini göstermektedir. Modeldeki ara yüzey bölgesi sonlu elemanlar modeli ile tasarlanırken diğer elemanlar rijit olarak tasarlanmaktadır. Ara birleşim yüzeyleri açılma ve kayma yapabilirken rijit elemanlarda hasar orta bölgede oluşmaktadır.



Şekil 3.45 Basit mikro modelleme tekniği (Lourenço, 1996)



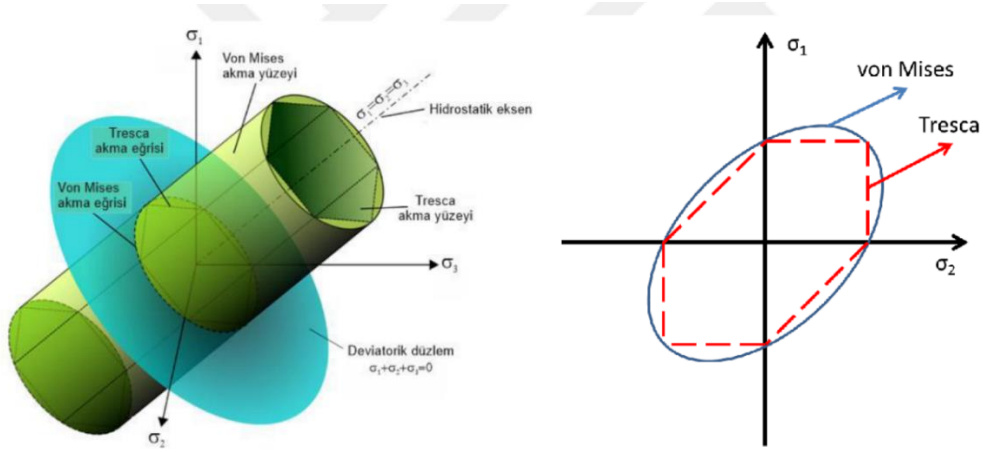
Şekil 3.46 Basitleştirilmiş mikro model örneği (Idris J., Al Heib M., Verdel, T., 2009)

3.9.1.3 Makro Modelleme

Büyük yapısal elemanların modellenmesinde homojen modelleme sistemi olarak tanımlanan makro modelleme tekniği daha çok tercih edilmektedir. Bu model aynı zamanda sürekli modeldir. Sonlu eleman makro modelleme, ayrıık modelleme yerine tuğla birimlerin ve harç derzlerinin homojenizasyonunu içermektedir. Bu modelde

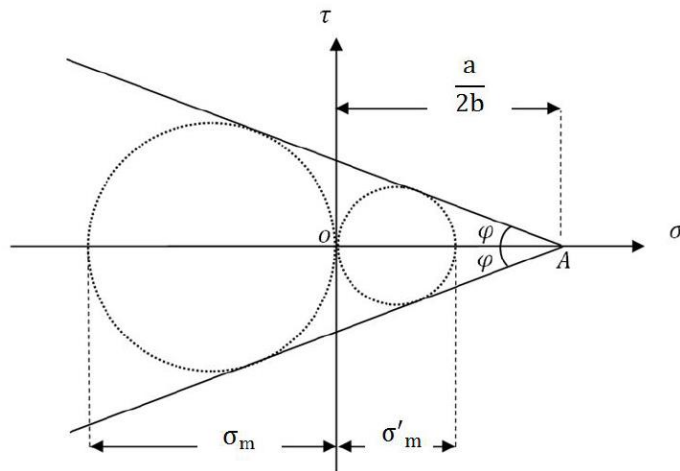
modellemede genellikle Drucker-Prager hipotezi kullanılırken mikro modellemede plastik davranışı temsil etmesi amacıyla kompozit arayüzey modeli kullanılır.

Tresca ve Von-Mises hipotezleri, yığılma birimlerin basınç ve çekme dayanımlarını aynı kabul ettiği için yığılma yapıların doğrusal olmayan analizinde kullanılması mümkün olmamaktadır. (Şekil 3.48)

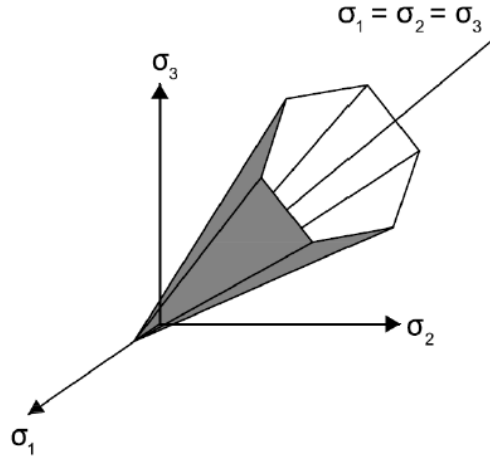


Şekil 3.48 Üç boyutlu uzayda ve düzlemde Tresca ve Von Mises yüzeyleri. (Kömürcü, 2017)

Mohr eğrisinde ise basınç tarafı açık uçludur ve bu da malzemenin sonsuz büyüklükte basıncı taşıyabileceği anlamına gelmektedir. Bu yaklaşım malzemelerin davranışına terstir. (Şekil 3.49) Coulomb kayma gerilme hipotezi ise Tresca hipotezindeki bazı eksikliklerin güçlendirilmesi ve detaylandırılması ile ortaya çıkmıştır. Bu hipotezde cismin mukavemetini kaybetmesine kayma gerilmesinin yanında iç sürtünmenin de etki ettiği düşünülmektedir. (Şekil 3.50)

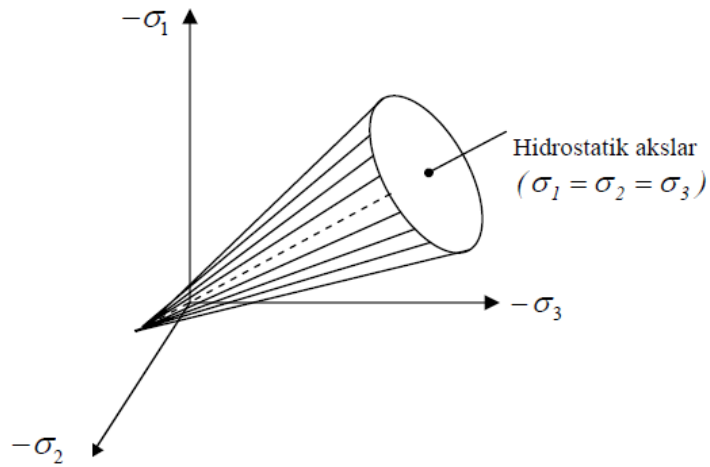


Şekil 3.49 Mohr kriterinin grafik gösterimi (Kuruşçu, 2012)

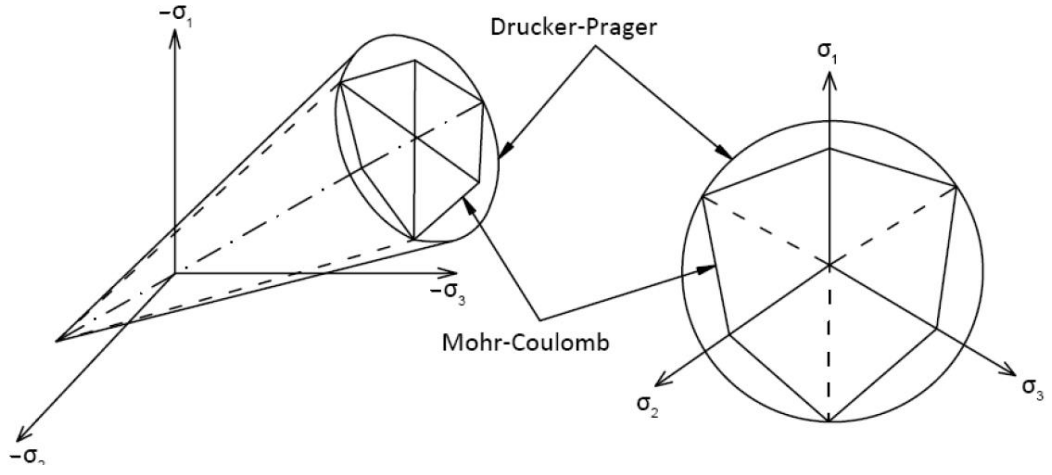


Şekil 3.50 Mohr Coulomb akma yüzeyi (Kuruşçu, 2012)

Çoğunlukla makro modellemelerde kullanılan Drucker-Prager kırılma hipotezi yığılma yapılar için en uygun plastisite modelidir.(Şekil 3.51) Von-Mises kriterinin genelleştirilmesi ile elde edilen bu kriter sonlu elemanların program üzerinde modellenmesinde en yaygın kullanılan malzeme modelidir. Drucker-Prager kriteri, Mohr-Coulomb kriterine de oldukça benzemektedir. (Şekil 3 52) Bu kriterin koni biçiminde olması basınç ve çekme dayanımı farklı olan malzemeler için gerçeğe daha yakın gevrek malzeme davranışını meydana getirerek bu modelin en doğru sonuçları vermesini sağlamaktadır. Koninin uç kısmı çekme dayanımını, ucu açık kısmı ise basınç göstermektedir ve bu da basınca sonsuza kadar dayanabileceğini ifade etmektedir. Fakat bu hipotezin beton malzemeler için daha çok tercih edildiği bilinmektedir.



Şekil 3.51 Drucker-Prager kriteri (Chen ve Mizuno,1990)



Şekil 3.52 Mohr Coulomb ile Drucker-Prager kırılma yüzeyinin karşılaştırılması a)asal gerilme uzayında
b)deviatorik düzlemde (Chen ve Han, 1988)

4. YIĞMA BİNALARIN SONLU ELEMAN MODELİ İLE ANALİZİ İÇİN BİLGİSAYAR MODELİ

Bu bölümde mevcuttaki bir yığma binanın deplasman temelli statik itme analizi için sonlu elemanlar yöntemi ile doğrusal olmayan bir model geliştirilmiştir. Yığma kargir binaların statik ve dinamik karakteristik parametreleri için belli kabuller yapılarak yapının düzlem dışı tekrarlı yükler altındaki davranışı bilgisayar programında analiz edilmiştir. Doğrusal olmayan malzeme modeli yığma bina, makro modelleme tekniği ile sonlu elemanlar yöntemi için geliştirilmiş ABAQUS adlı bilgisayar programında tasarlanmıştır.

4.1 Referans Yapının Mevcut Durumunun İrdelenmesi

Tezin bu bölümünde, Konya'nın 1. derece deprem bölgesinde (2007 deprem bölgeleri haritasına göre) bulunan tüm taşıyıcı sistemi yığma taşıyıcı duvarlar (dolu harman tuğlası) ile oluşturulmuş Akşehir'deki bir yığma bina ele alınmıştır. Binaya 2012 yılında uygulanmış güçlendirme yöntemi irdelenecektir. Mevcuttaki binanın köşe duvarlara perde eklemesi yapılarak bir güçlendirme yolu seçilmiştir. Bu güçlendirme işleminin uygulanma sebeplerinden biri de yöntemin uygulanması sırasında yapının işlevini kaybetmemiş olmasıdır (Şekil 4.1) Bu sebeple öncelikle köşe duvarların çevresinde betonarme perde duvarlar için temel kazısı yapılmıştır. Temel demiri döşenmeden önce eski temele ankraj kazıkları çakılarak yeni ve eski temelin birleştirilmesi sağlanmıştır. Temel donatıları yerleştirildikten sonra perde duvarların beton dökümü yapılmıştır. (Şekil 4.2)



a) Perde duvar donatılarının görüntüsü



b) Perde duvar temeli ve yapının temelini birleşimi



c) Perde duvar donatılarının bağlantısı

Şekil 4.1 Perde duvarın kolon temeli ile bağlanması



Şekil 4.2 Perde temel beton dökümü

Bina köşelerine “L” şeklinde betonarme perdeler eklenmesi düşünülmüştür. Bu perdeler binanın dışında yer alacaktır. Bu amaçla bina köşelerindeki yığma duvarların sıvaları kazınmıştır (Şekil 4.3).



Şekil 4.3 Mevcutta sıvanın kaldırılması

Perde duvarın yapı ile beraber çalışabilmesi (kesme kuvvetlerini aktarabilmesi) için ankrajlardan yararlanılmıştır. Ankrajları yerleştirmek için öncelikle betonarme döşemede ve yatay hatılarda ve sonra yığma duvarlarda delikler açılmıştır. (Şekil 4.4)



a) Köşe duvarda açılan örnek ankraj delikleri



b) Köşe duvarda açılan örnek ankraj delikleri
Şekil 4.4 Yapıda açılan ankraj delikleri örnekleri

Bu delikler yardımı ile ankrajlar perde duvar ve tuğla duvarın içine gömülmüştür.(Şekil 4.5) Enine ve boyuna donatıların da yerleştirilmesi ile ankrajlar ile etkileşimi sağlanmıştır. (Şekil 4.6)



Şekil 4.5 Ankrajların ve donatıların yerleştirilmiş görüntüsü



Şekil 4.6 Perde duvarın donatı ve ankrajlarının görüntüsü

Donatı işçiliğinden sonra kalıp imaline geçilmiştir. Betonarme duvarlar bir taraftan kalıp olarak eski yığma duvarı kullanılmaktadır. Bu sayede iki duvar arasında sürtünme ile yük aktarımı da sağlanmış olacaktır. Sonrasında perde duvarın beton dökümü yapılmış ve boyanarak yapı ile bütünleşmesi sağlanmıştır. (Şekil 4.7)



Şekil 4.7 Yapıya güçlendirme aşamasında eklenmiş perde duvarın son hali

4.2 ABAQUS Programı

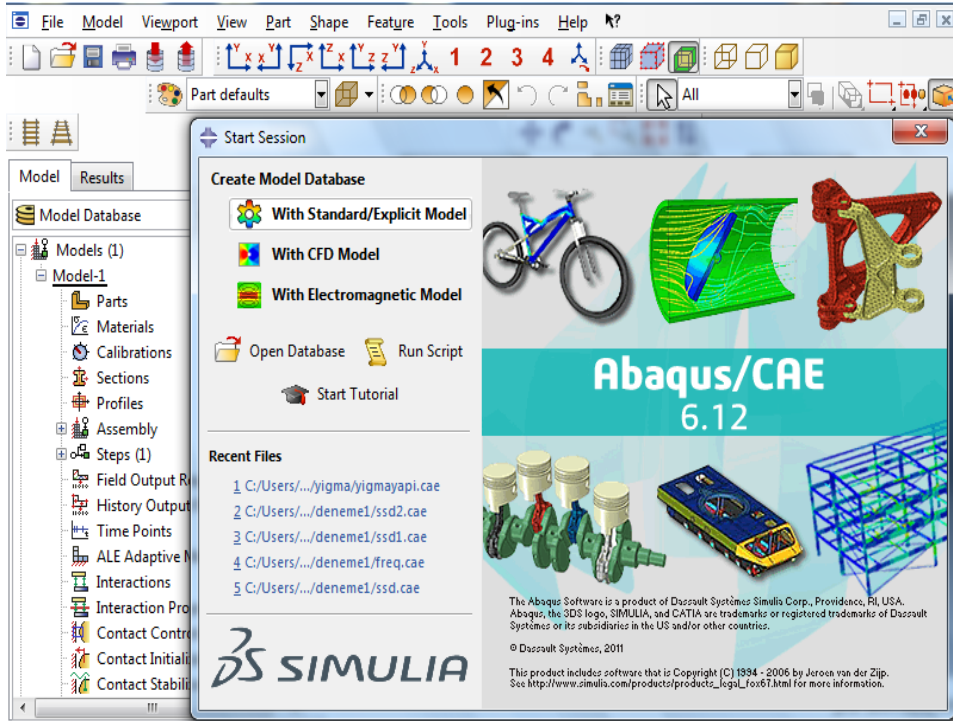
Ticari olarak elde edilebilen ABAQUS sonlu elemanlar programı ile yapının 3 boyutlu modellenmesi sonucunda doğrusal olmayan analiz çalışmaları yapılabilmektedir. Programın genel olarak analizde izlediği adımlar;

- 3 boyutlu analizi yapılacak modelin geometrik özellikleri, malzeme modelleri, yük ve sınır koşullarının tanımlanması,
- Programın meydana gelen iterasyonları analiz ederek sistemin yapmış olduğu deplasman, şekil değiştirme ve gerilmeleri çıktı olarak vermesi

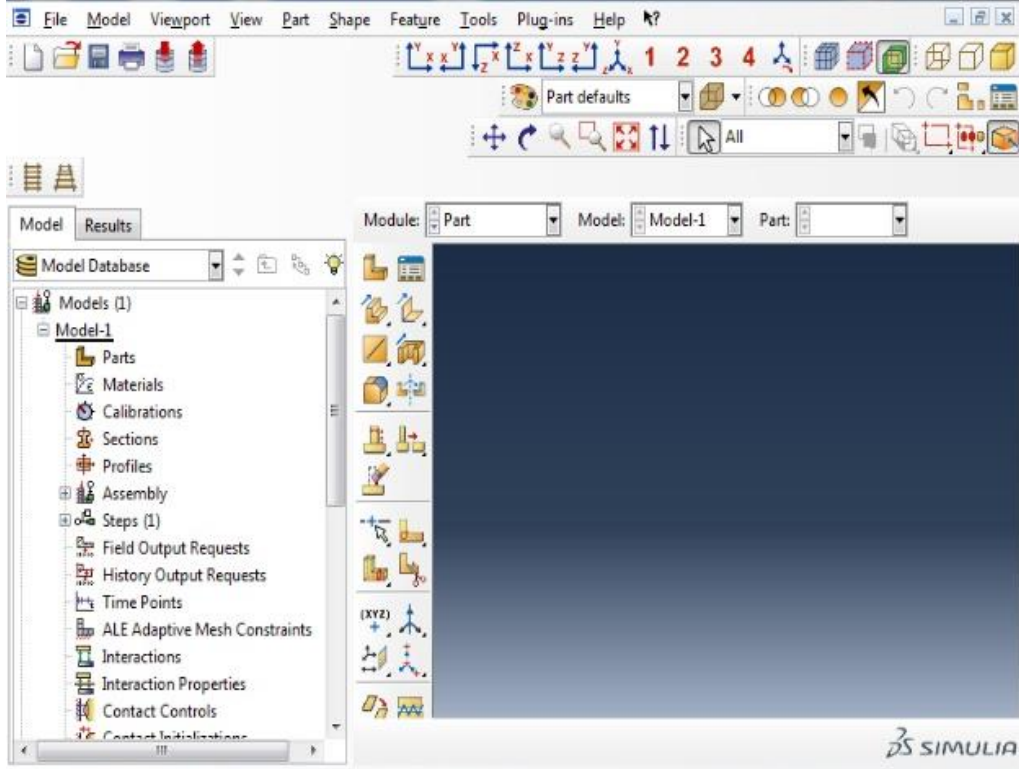
olarak özetlenebilir.

4.1.1 Veri Girişi

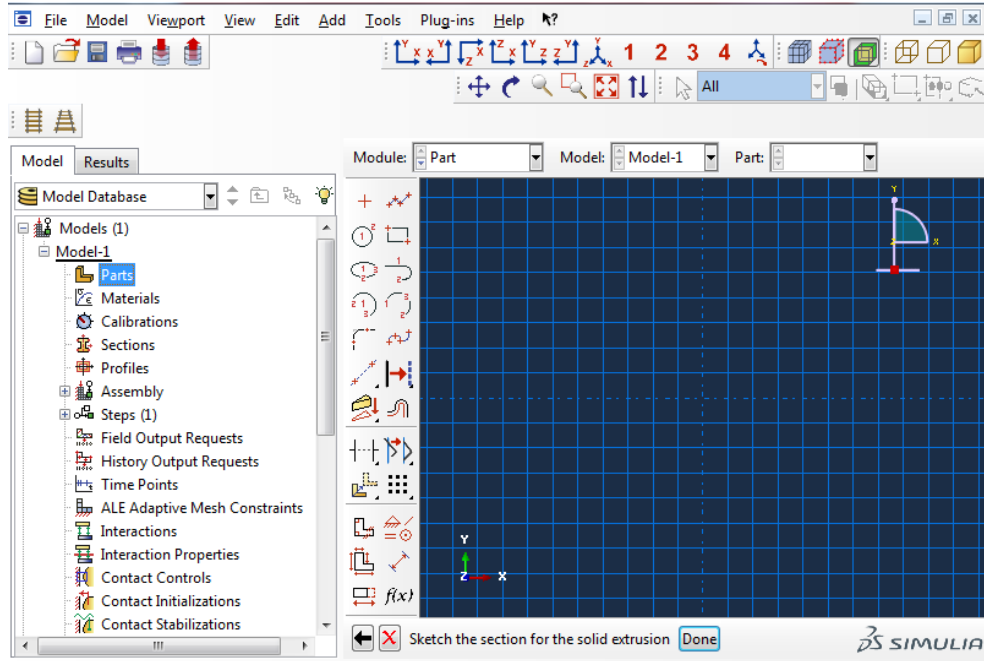
Şekil 4.8’de ABAQUS programının giriş ekranı verilmektedir. **Standart/Explicit** seçeneği dinamik sonlu eleman çözümlerinde kullanılan modellemedir. Bu modelleme seçilerek sisteme veri girişi sağlanır. Şekil 4.8-b’de gösterilen ekranda programın tüm araçlar kısmı görülmektedir. Bu ekrandaki sekmeler kullanılarak sistemin geometrik özelliklerini tanımlanır. **Parts** sekmesi ile çizime başlanır.



a) Abaqus karşılama ekranı



b) ABAQUS CAE ekranı

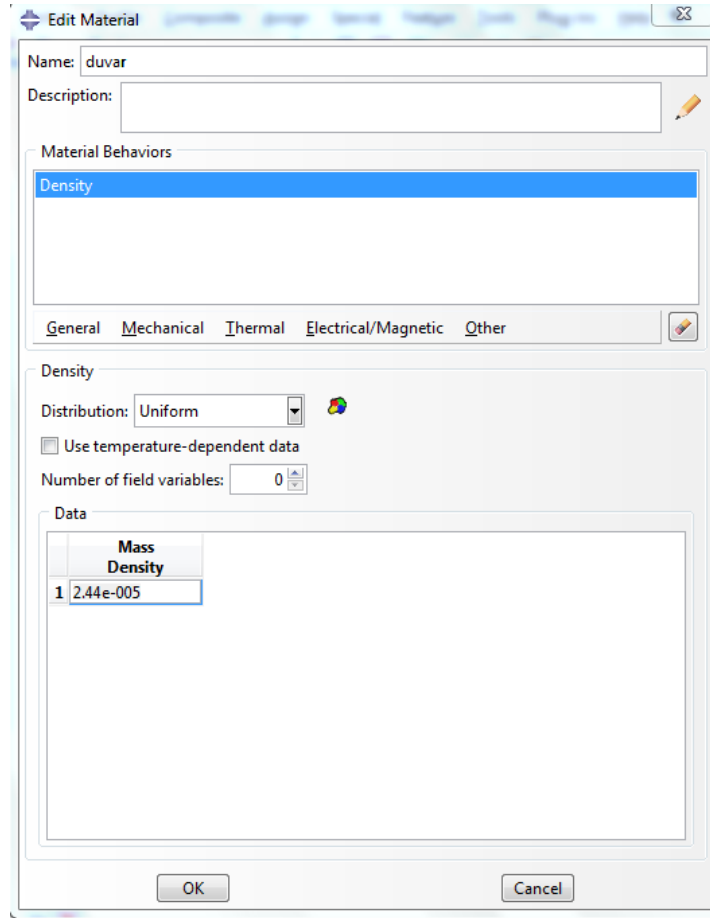


c) Part çizim ekranı

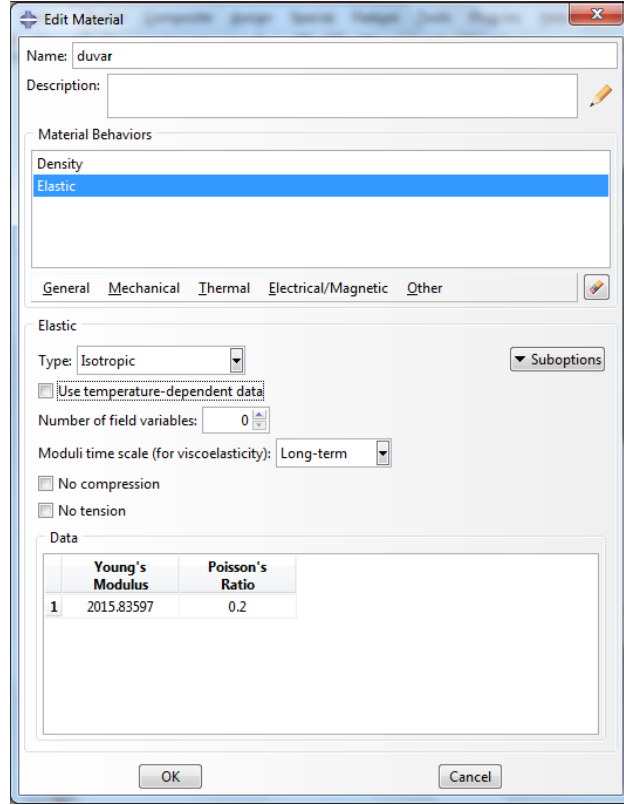
Şekil 4.8 ABAQUS veri giriş adımları (Şerbetçihil, 2019)

Sistemin modeli programda **Part** olarak belirtilen parçalar halinde çizildikten sonra her part için malzeme modeli tanımlanır. Nonlineer duvar, elastik beton, donatı gibi

yapı çerçevesindeki malzemelerin manuel olarak ABAQUS ortamında davranış tiplerinin modellenmesinin ardından sistemdeki parçalara bu malzeme modellerinin atanması sağlanır. Bu aşamada her malzeme için yoğunluk, poisson oranı, young modülü gibi parametreler girilir. Her malzemenin yoğunluğu sistemin birimlerine uyumlu olarak tanımlanmalıdır. Malzemenin tüm elastik özellikleri **Materials** sekmesinden girilir. (Şekil 4.9) Elastik malzeme harici programda nonlinear plastik malzeme de tanımlanabilir. Nonlinear malzemenin plastisite özelliklerini programa girmek için yine **Materials** sekmesi kullanılarak eksantrisite, viskozite gibi plastik özellikleri belirtilir. Plastik malzemenin basınç ve çekme davranışı için ise Excel ortamında oluşturulmuş σ - ϵ eğrisinin formülasyonları kullanılabilir. Bu malzeme modelleri için çıkarılmış formülasyonlar sonucu young modülü eğrilere bağlı olarak değişim göstermektedir. Formülasyondan gelen young modülü elastik özelliklerin tanımlanması aşamasında girilir. Malzemenin çekme ve basınç davranışları için ayrı ayrı hasar parametresi, elastik olmayan gerilme vb. mekanik özelliklerin belirtilmesi ile malzeme modellerinin oluşumu tamamlanır. (Şekil 4.10)

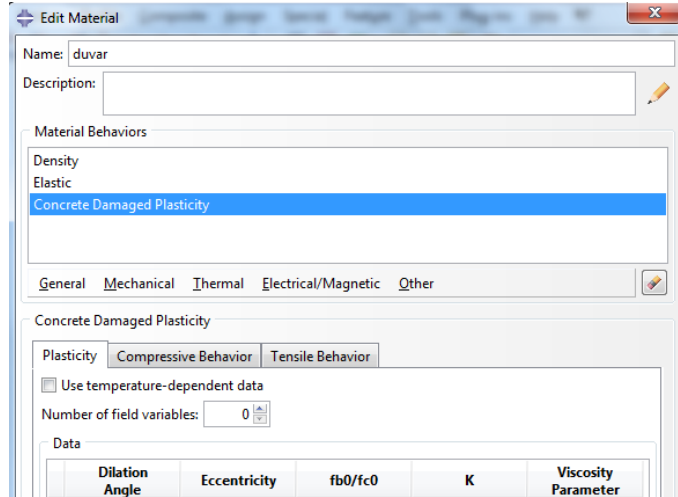


a) Malzemenin yoğunluğunun tanımlanması

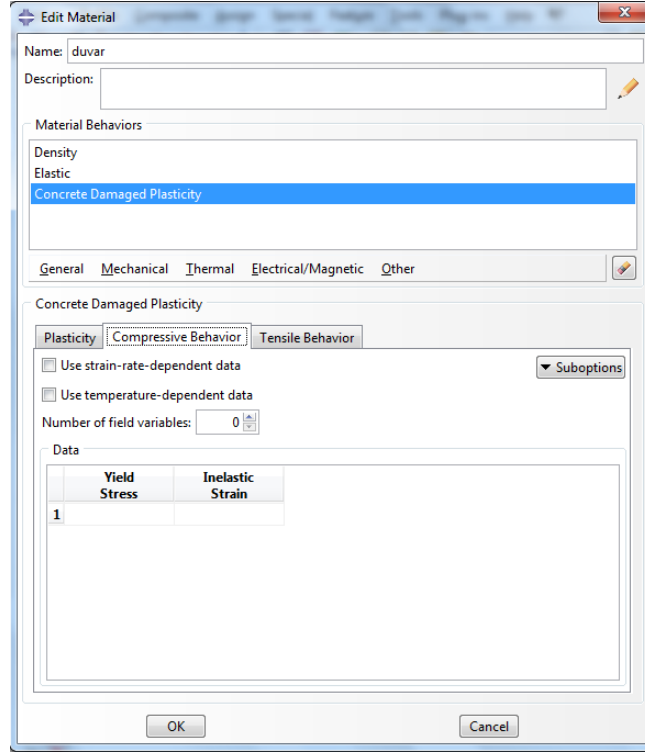


b) Young modülü ve poisson oranının tanımlanması

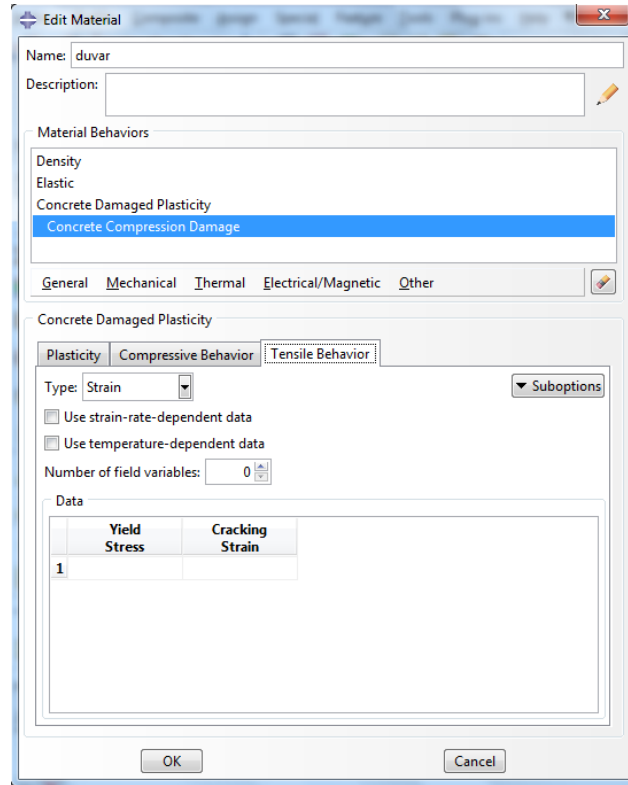
Şekil 4.9 Malzemenin elastik özelliklerinin tanımlanması (Şerbetçigil, 2019)



a) Plastisite özelliklerinin tanımlanması



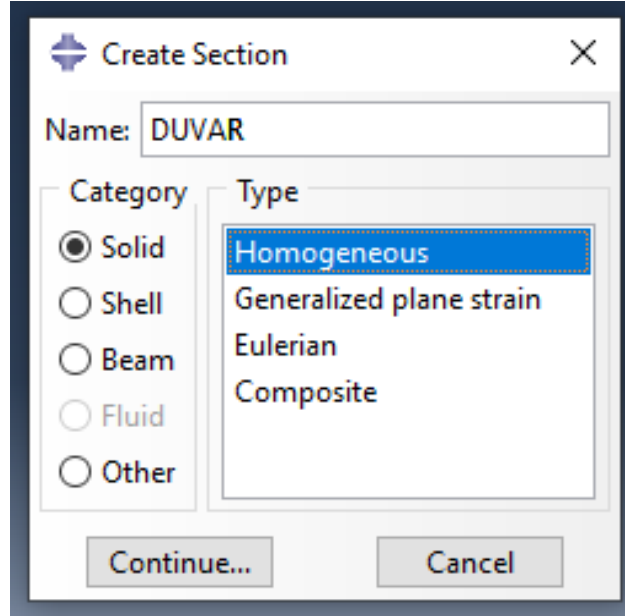
b) Malzemenin basınç davranışının tanımlanması



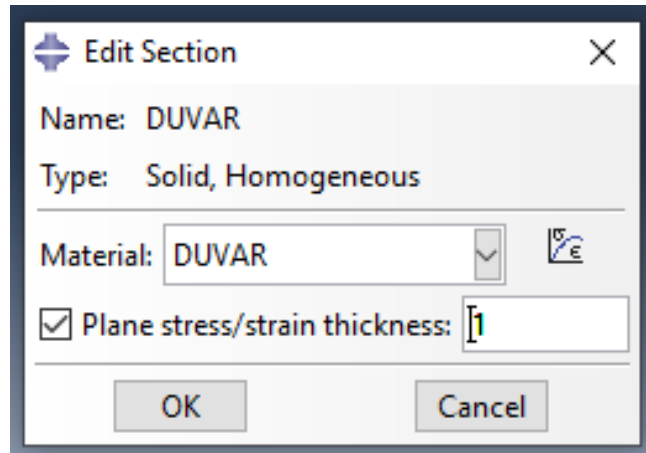
c) Çekme davranışının tanımlanması

Şekil 4.10 Malzemenin plastisite verilerinin girişi (Şerbetçihil, 2019)

Her eleman için programda eleman tipleri modellenir. (Şekil 4.11) **Create Section** sekmesinden homojen olarak tanımlanacak duvar, kiriş, donatı, etriye gibi eleman modellerine oluşturulan malzeme modelleri atanır. (Şekil 4.12)

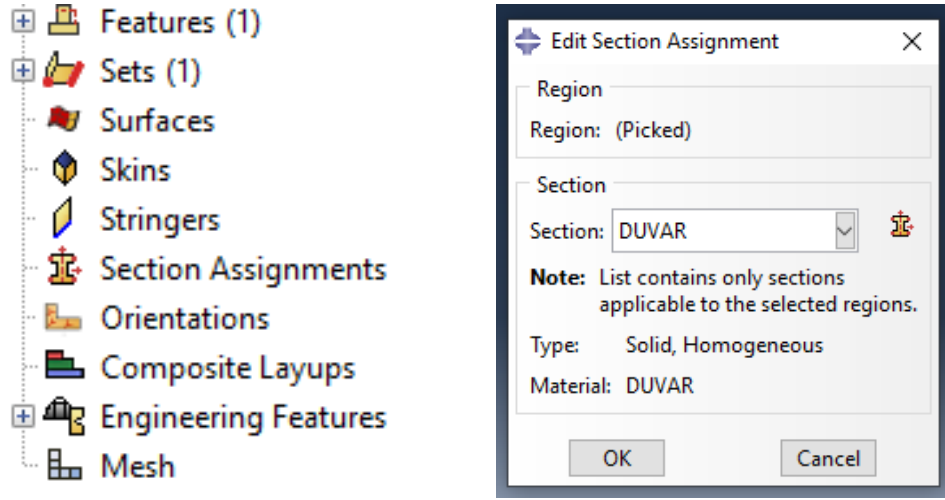


Şekil 4.11 Örnek bir eleman tipi tanımlanması (Şerbetçigil, 2019)



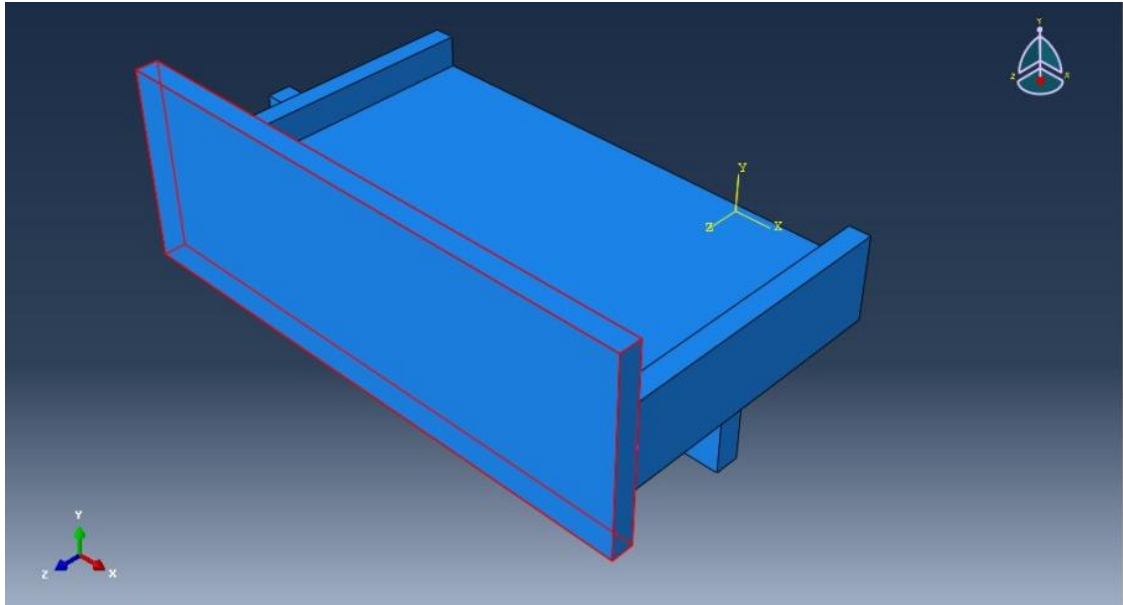
Şekil 4.12 Örnek bir malzeme modeli atama (Şerbetçigil, 2019)

Bu adımlar tekrarlanarak sistemdeki tüm elemanların kesitleri tanımlandıktan sonra çizilen her bir eleman parçası için bu kesitlerin atanması sağlanır. Şekil 4.13'deki **Section Assignments** sekmesi ile kesit tanımlanacak eleman seçilir ve açılan **Edit Section Assignment** sekmesinden kesit atanması yapılır.

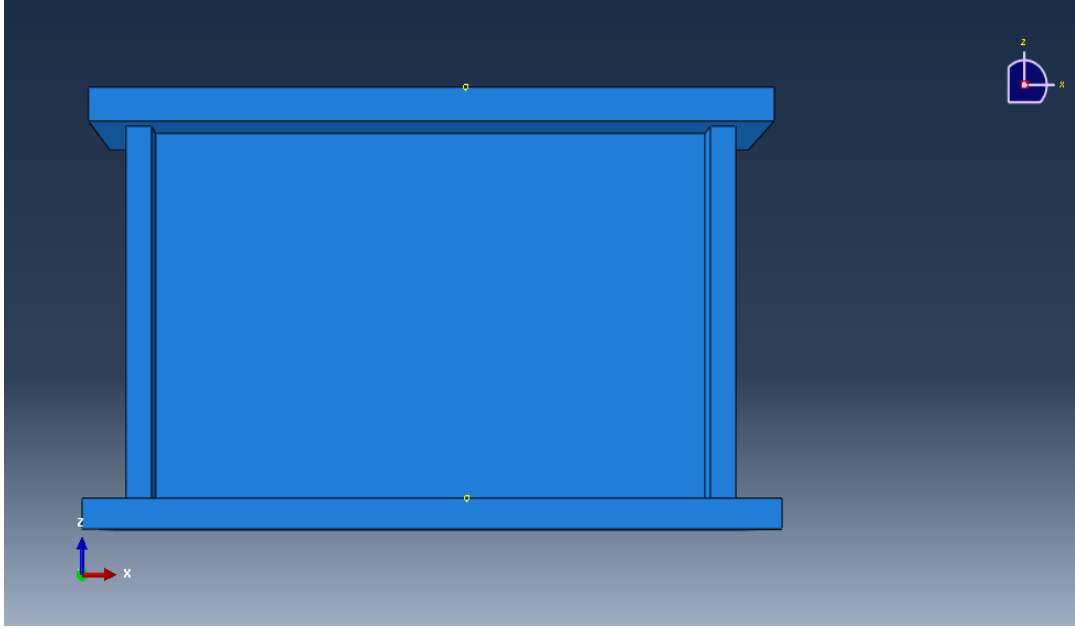


Şekil 4.13 Kesit atamasının yapılması (Şerbetçigil, 2019)

Her eleman için özelliklerin belirlenip atanmasının ardından bu elemanlar birleştirilerek sistem meydana getirilir. Kirişler, duvarlar, donatılar **Assembly** sekmesinde bir araya getirilerek yapı çerçevesi oluşturulur. Şekil 4.14’de basit bir duvarın çiziminde oluşturulmuş başlığın ve duvarın montajlanmasının aşamalarından bazıları verilmiştir. Bu aşamaya taşınan elemanlar döndürülerek ve taşınarak sistemin son hali verilip birleştirilerek tek bir eleman haline getirilmiştir.



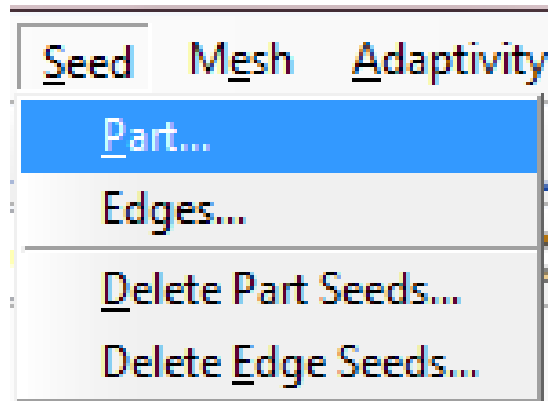
a) Assembly sekmesine getirilen duvar (Şerbetçigil, 2019)



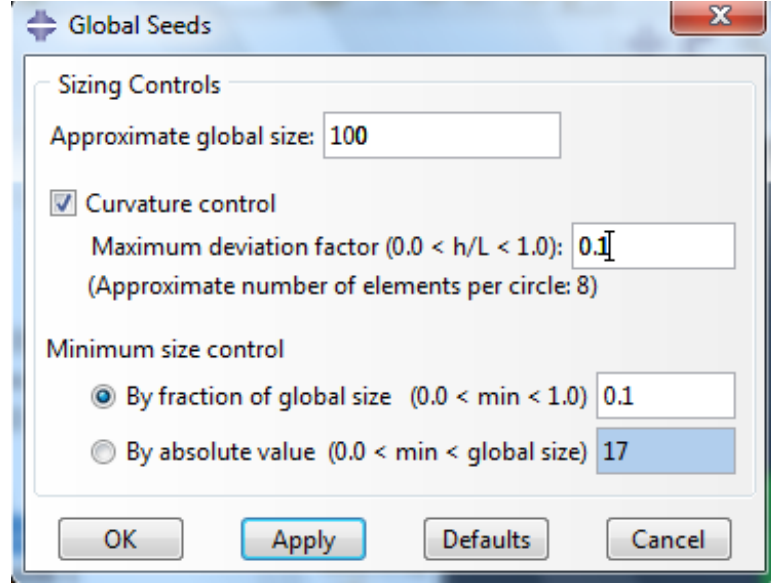
b) Duvar parçalarının döndürülüp taşınması

Şekil 4.14 Duvarın montajlanması (Şerbetçigil, 2019)

ABAQUS ortamındaki en önemli adımlardan biri mesh adıdır. Sistem ne kadar düzenli parçalara bölünmüş ise çözüm aşamasında o derece gerçeğe yakın sonuçlar elde edilir. Sonlu elemanlar yöntemini kullanarak çözüm yapmaya olanak sağlayan programda her eleman küplere bölünür. **Seed** sekmesi ile elemanların ne aralıklarla bölüneceği belirlenir. (Şekil 4.15) Sistemin geometrisi tanımlanırken kullanılan ölçülendirme doğrultusunda elemanlar bölünür. (Şekil 4.16)

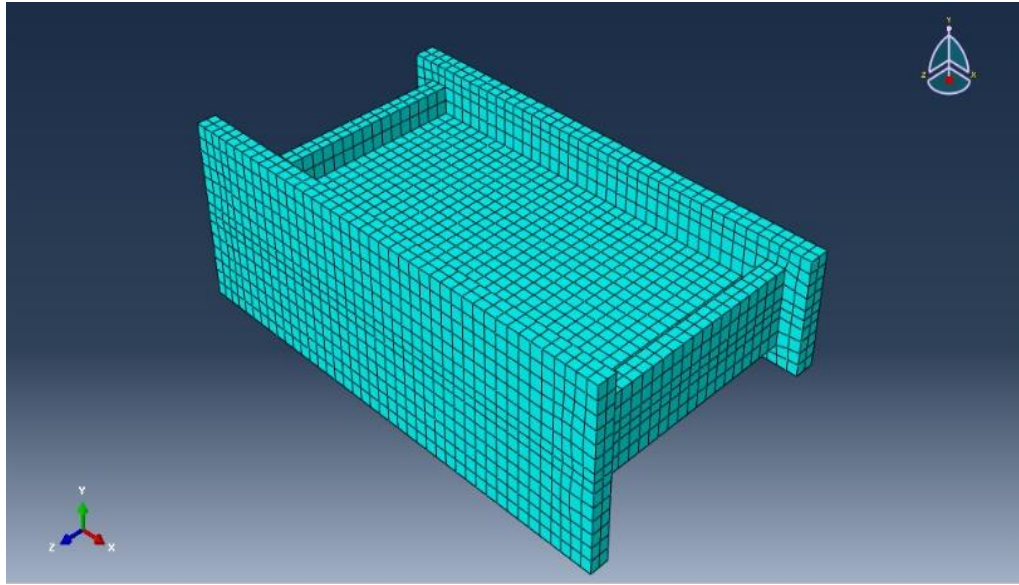


a) ABAQUS Seed komutu



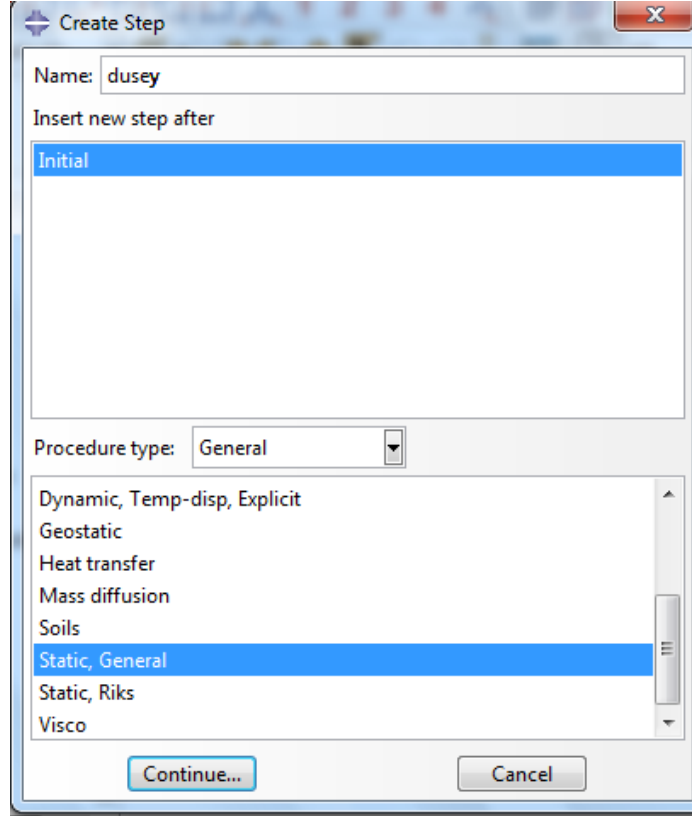
b) Seed ölçülerinin belirlenmesi

Şekil 4.15 Elemanların mesh sekmesi Mesh ölçülerinin tanıtılması (Şerbetçigil, 2019)



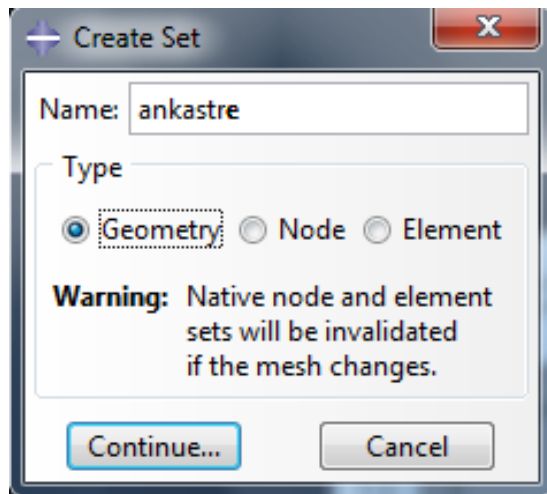
Şekil 4.16 Yapının parçalara bölünmüş görüntüsü (Şerbetçigil, 2019)

Yapı çerçevesinin geometrik ve mekanik özelliklerinin tanımlanıp sistemin bir bütün haline getirilmesinden sonra düşey ve yatay adımlar oluşturulur. Söz konusu adımlar sınır şartları ve yüklenimler belirlenirken kullanılır. Hali hazırda başlangıç adımı bulunan sisteme **Create Step** sekmesi kullanılarak düşey ve yatay adımlar tanımlanır. (Şekil 4.17)



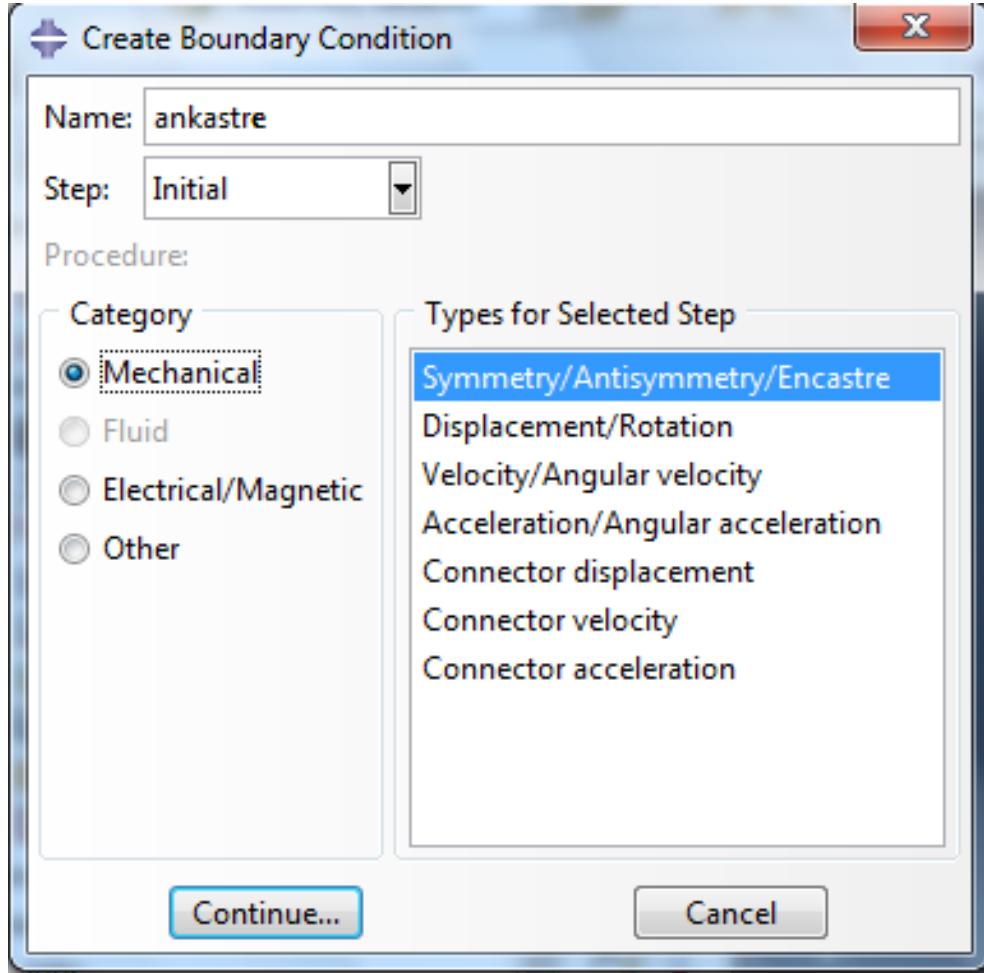
Şekil 4.17 Sistemdeki adımların oluşturulması (Şerbetçigil, 2019)

Oluşturulan adımlardan sonra sistemde mesnet olacak, deplasman veya kuvvet verilecek yüzeyler belirlenir. Belirlenen kısımlar için **Set** yani sınır şartı veya kuvvetin uygulanacağı yerler oluşturulur. **Set** nokta veya yüzey de olabilir. (Şekil 4.18) **Create Set** sekmesi yardımı ile sistemdeki yüzey tipi belirlendikten sonra yeri seçilir. Bu işlem sistemin geometrisi çizilirken planlanırsa büyük kolaylık sağlayacaktır.



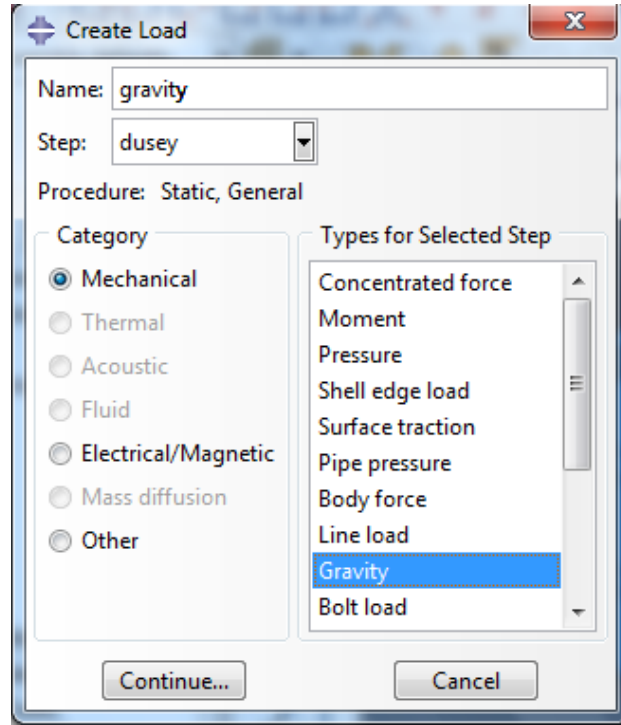
Şekil 4.18 Set oluşturma (Şerbetçigil, 2019)

Belirlenen yüzeyler veya noktalar için sınır şartları veya yükler tanımlanır. **Create Boundary Condition** sekmesi ile uygulanacak sınır şartı seçilir. Şekil 4.19’da görüldüğü gibi sistemin ankastre yüzeyi bu aşamada tanımlanır. Şekil 4.19’da farklı sınır şartları da görülmektedir. Eğer sisteme deplasman yaptırılacaksa yine aynı sekme kullanılır.

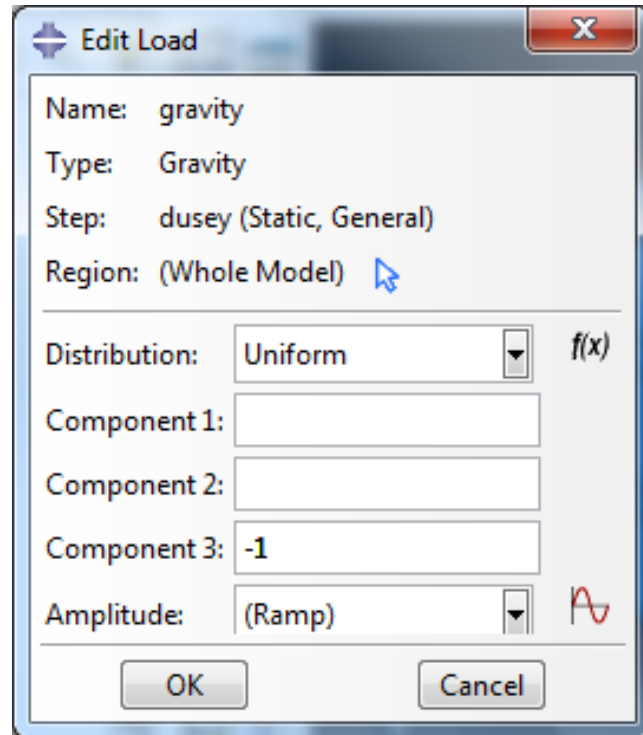


Şekil 4.19 Sınır şartlarının tanımlanması (Şerbetçigil, 2019)

Sisteme yük ataması yapılırken ise **Create Load** sekmesi kullanılır. Bu ara yüzde birçok yük tanımlanabilir. Basınç, moment ve eğer yapının kendi yükü tanımlanmadı ise yer çekimi yükü ataması bu aşamada yapılır. Şekil 4.20’de yer çekimi yükünün tanımlanması yapılırken Şekil 4.21’de görülen yük ataması aşamasında yapının duruş şekli dikkate alınarak değer girilir.

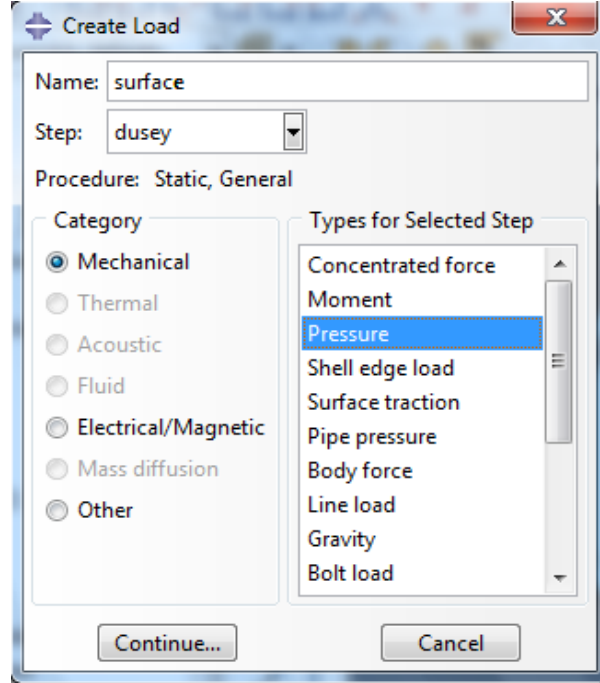


Şekil 4.20 Yer çekimi yükünün yaratılması (Şerbetçigil, 2019)

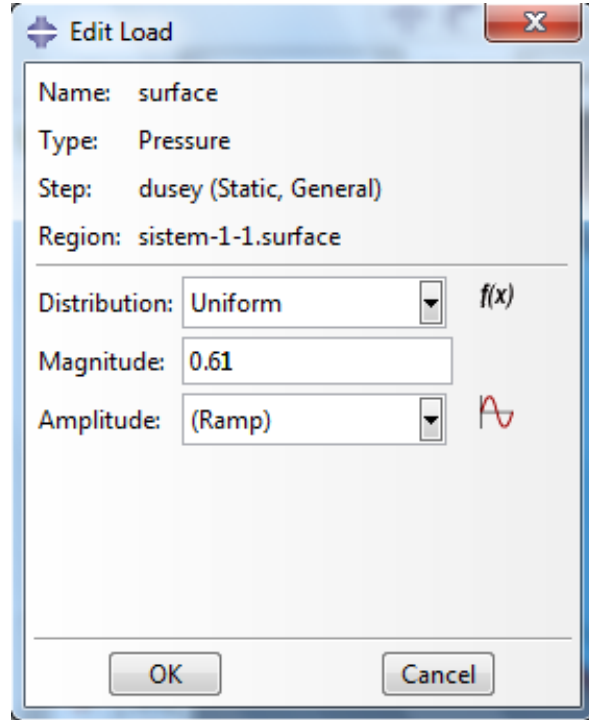


Şekil 4.21 Yer çekimi yükünün yaratılması (Şerbetçigil, 2019)

Şekil 4.22’de set olarak tanımlanmış yüzeye yük ataması yapılmıştır. Bu aşamada yine sistem geometrisinin birimlerine paralel olarak yüklerin girilmesi önemlidir. (Şekil 4.23)

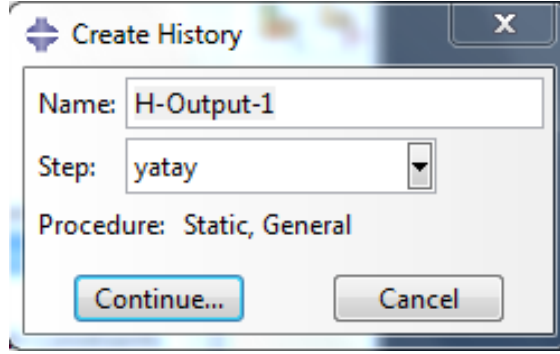


Şekil 4.22 Yük tanımlanması (Şerbetçihil, 2019)

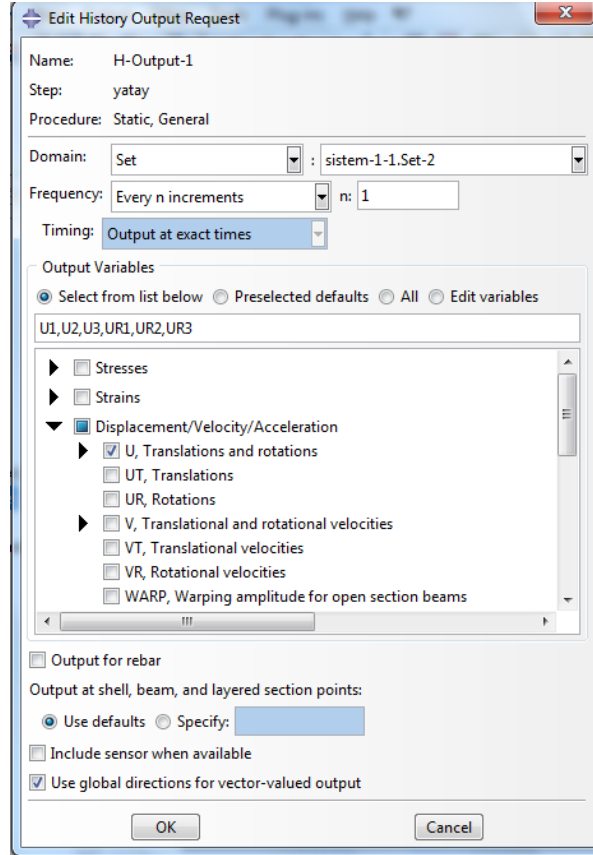


Şekil 4.23 Yükün düzenlenmesi (Şerbetçihil, 2019)

Sistemin analiz için hazır hale getirilmesinden sonra analiz çıktısı olarak ne istenileceği belirlenir. Sistemdeki bir noktanın deplasmanı, toplam düşey yükü ya da yükü, basınç gerilmesi gibi birçok sonucu elde edilebilir. **History Output Request** sekmesi ile hangi verilerin çıktı olarak istenileceği seçilir. Bu ara yüzde oluşturulan setler büyük kolaylık sağlar. Buna ek olarak istenilecek verinin hangi adımdan geleceği de önemlidir. (Şekil 4.24) Şekil 4.25’deki çıktıda belirli bir yerdeki deplasman istenilmiştir.

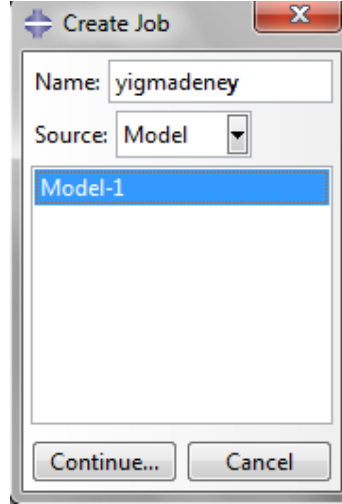


Şekil 4.24 Analiz çıktıların istenilmesi (Şerbetçigil, 2019)



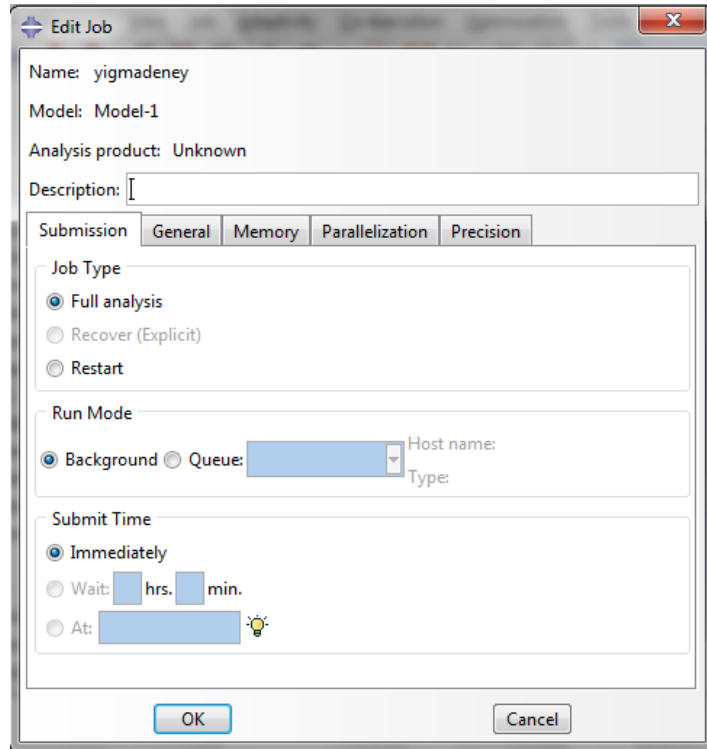
Şekil 4.25 Deplasman çıktısının istenilmesi (Şerbetçigil, 2019)

Sistemi analiz etmek için programda **Job** denilen bir analiz işi oluşturulur. Araçlarda bulunan **Analysis** sekmesi ile model seçilerek programdaki sistem geometrisinin analizi sağlanır. (Şekil 4.26)



Şekil 4.26 Job oluşturulması (Şerbetçigil, 2019)

Job aşamasındaki ayarlar kullanılarak analizin bilgisayarın hafızasının ne kadarını kullanacağını, hızının, işlemci sayısının seçilmesi sağlanır. Bu adımdan sonra sistem analize bırakılır. (Şekil 4.27)



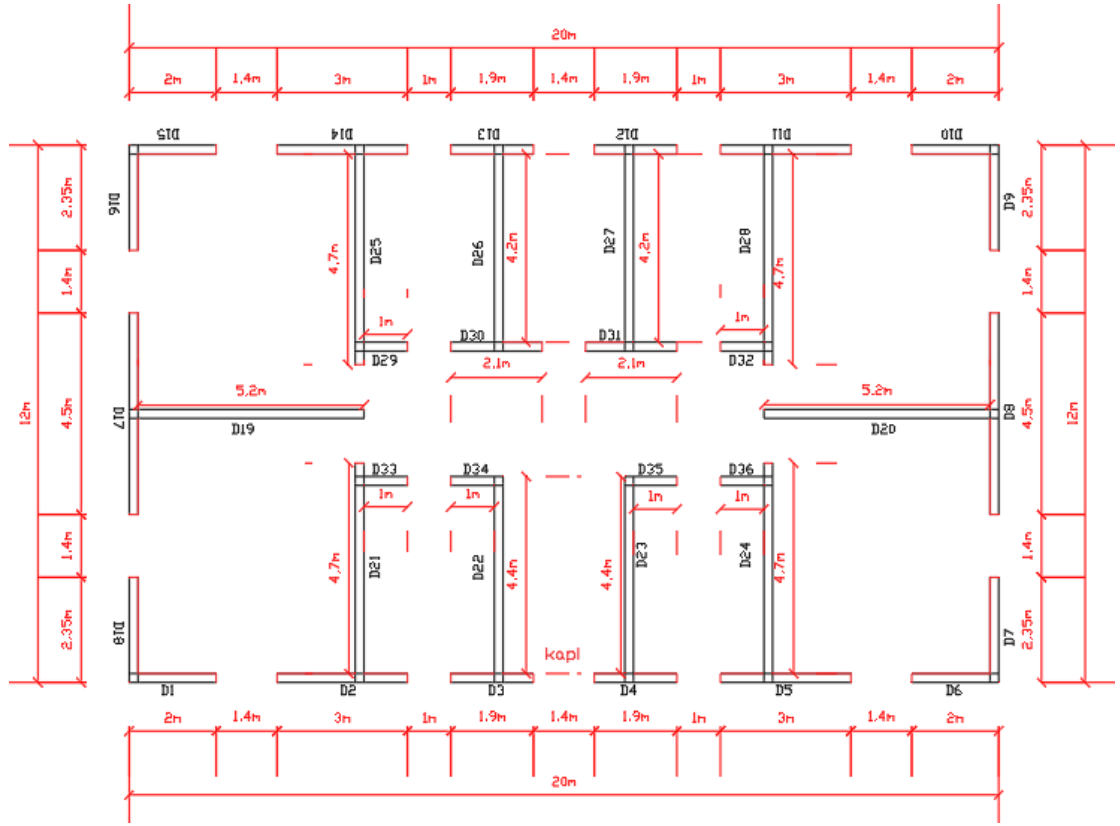
Şekil 4.27 Analiz ayarları (Şerbetçigil, 2019)

4.2 ABAQUS Programı ile Üç Boyutlu Yığma Binanın Doğrusal Olmayan Analizi

4.2.1 Güçlendirilmemiş Yapı Modelinin ABAQUS Programında Tasarlanması

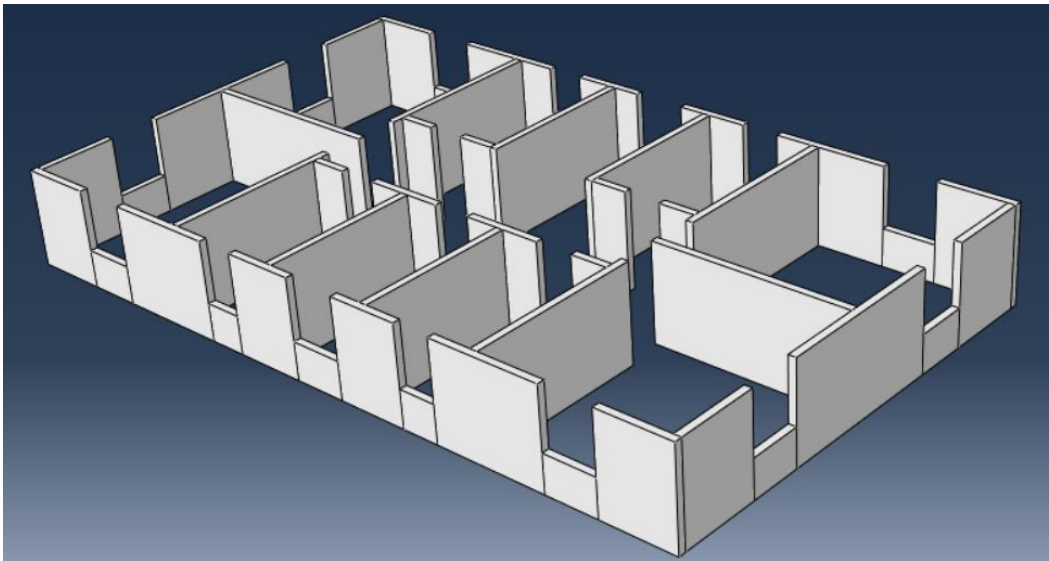
Akşehir’de bulunan yığma yurt binasının hem yatay hem düşey yükler altındaki davranışları, sonlu elemanlar modeli ile tasarlanıp analiz edildikten sonra söz konusu binada mevcutta uygulanmış güçlendirme yöntemi aynı modelleme tekniği ile tasarlanıp 2 modeldeki analiz sonuçlarının karşılaştırılması irdelenecektir. Söz konusu yapı için makro modelleme yöntemi kullanılarak yapılan sonlu eleman analizinde yapı sonlu sayıda düğüm noktasına ayrılacağı için analiz sonucunda ideal bir çıktı edileceği düşüncesi ile hareket edilmiştir. Sistem geometrisinde tuğla duvar ve beton malzeme tanımlanmış olup tuğla duvar için plastik, beton için ise elastik malzeme modeli seçilmiştir. Karşılaştırılan güçlendirilmemiş ve güçlendirilmiş 2 model için tuğla duvarda oluşan gerilmeler, çatlak dağılımı, birim deformasyon-gerilme eğrileri gibi çıktıların sonuçları incelenerek yapının gerçekte deprem sonrasında almış olduğu hasarlar ile de mukayesesi yapılmış ve ABAQUS yazılımının en ideal sonuçları elde etmedeki başarısı tartışılmıştır. Tasarım için daha önce oluşturulmuş referans modelin AutoCAD ortamında planı çıkarılmıştır. (Şekil 4.28)

Yapının mimari planından elde edilen bilgilere göre mevcuttaki yurt binası toplamda 8.82 m yükseklikte 3 katlı olup, 20 cm kalınlıkta tuğla duvarlardan meydana gelmiştir. Mimari plandaki ölçüler doğrultusunda yapının ABAQUS programı kullanılarak 3 boyutlu modellemesi oluşturulmuştur. Daha önceki bölümde bahsedildiği üzere öncelikle yapı **Part** kısımlarına ayrılıp duvarlar, kirişler, donatılar, etriyeler, perde duvarlar çizilerek sistemin geometrisi elde edilecektir.



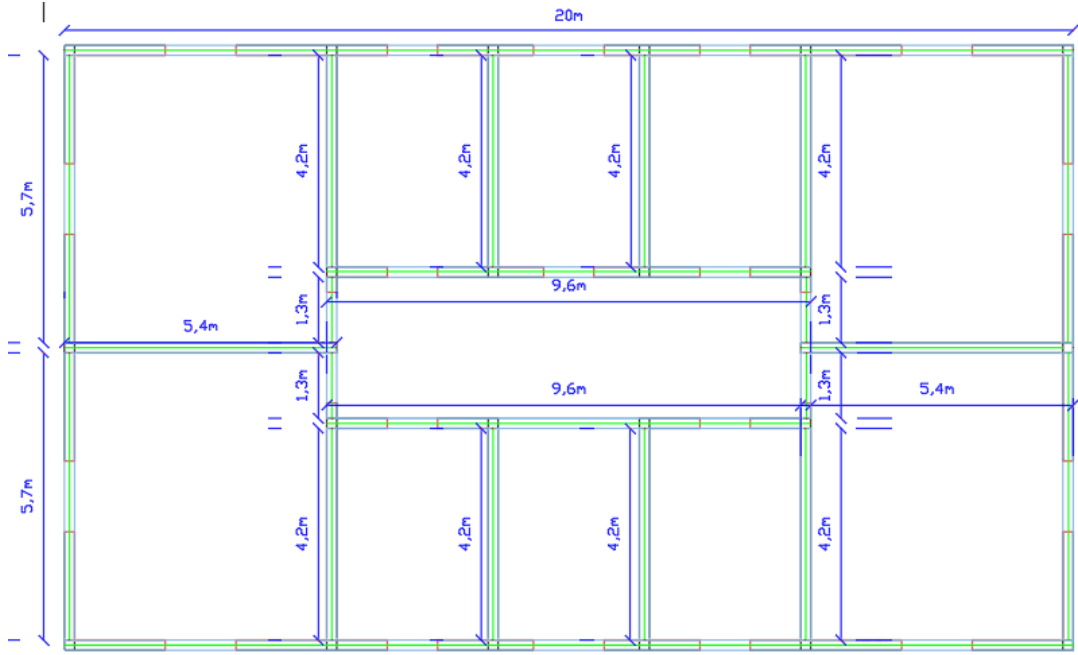
Şekil 4.28 Referans modelin AutoCAD ortamında çizilmesi

İlk part olan duvarların **Part** sekmesi ile 3D-Solid olarak tanımlanmasının ardından 200 mm kalınlıkları verilmiştir. Duvarlar **Assembly** sekmesine **Instance** yani örnek model olarak atandıktan sonra her bir duvarın bir araya getirilip **Merge** sekmesinde tek part haline getirilmesiyle de Şekil 4.29'daki görüntü elde edilmiştir.

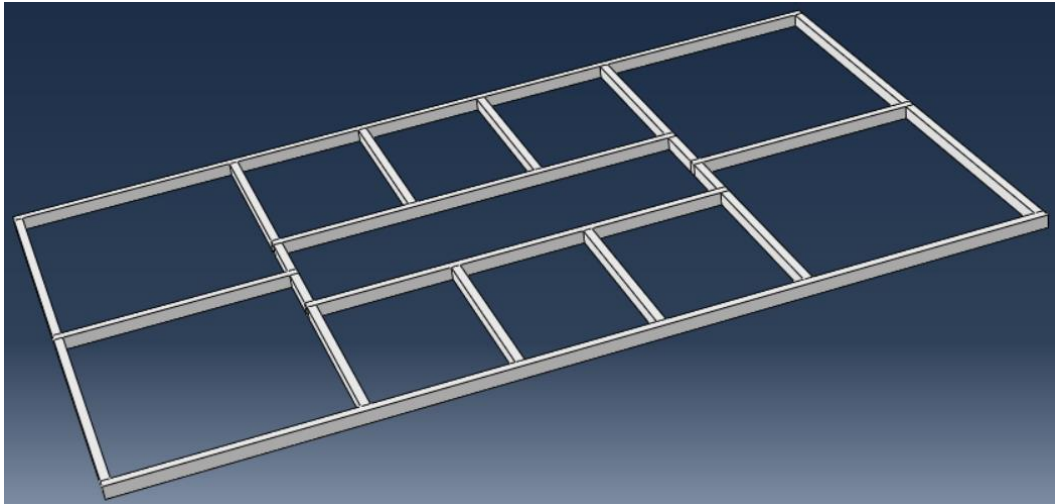


Şekil 4.29 Kat duvarlarının birleştirilmiş görüntüsü

Yapıdaki ikinci part olan hatıllar için Şekil 'de görülen AutoCAD planlaması kullanılmıştır. (Şekil 4.30) Hatıllar 30 cm kalınlıklı olup duvarların üzerine oturtulmuştur. **Part** sekmesinde tanımlanan hatıllar tek bir part halinde değil duvarlarda olduğu gibi farklı boyutlarda çizilmiştir. **Assembly** sekmesine her hatıl tanımlandıktan sonra parçalar birleştirilmiş ve **Merge** sekmesi ile birleştirilmiştir. (Şekil 4.31)

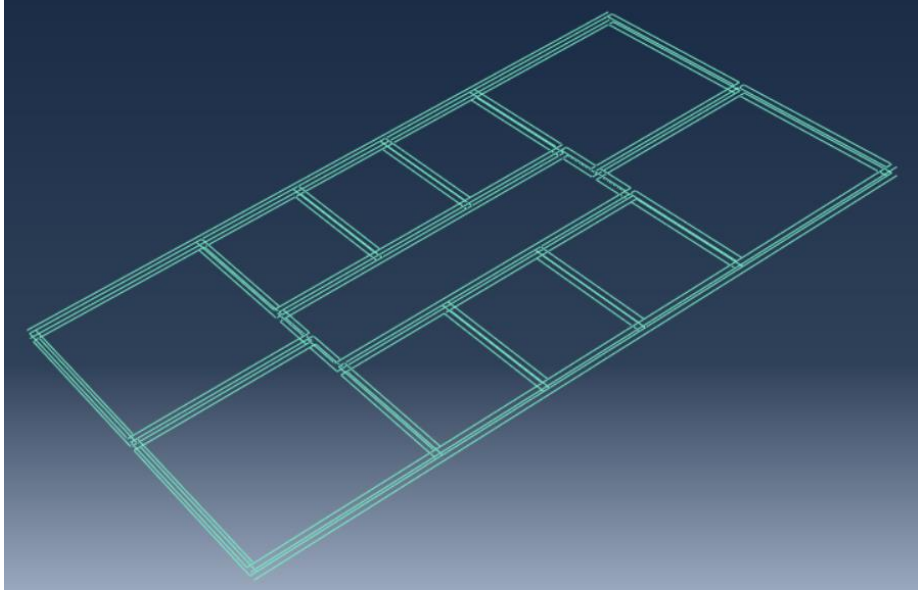


Şekil 4.30 Hatılların AutoCAD ile geometrisinin tasarlanması



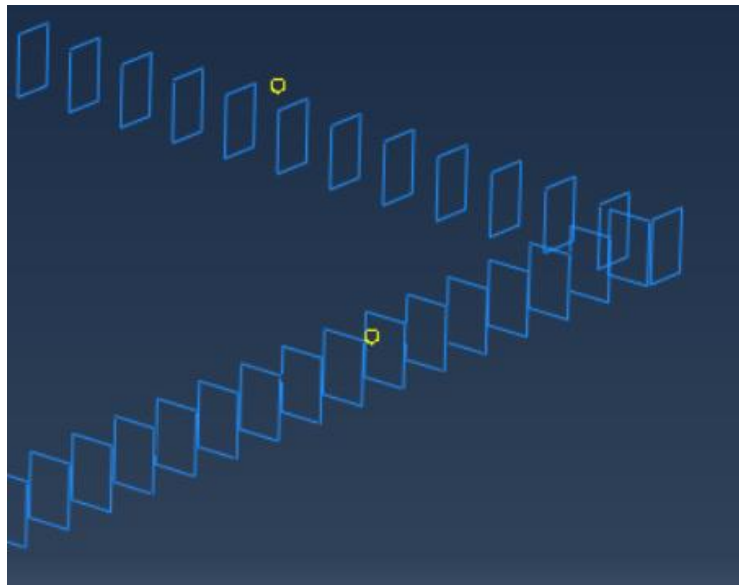
Şekil 4.31 Hatılların birleştirilmiş görüntüsü

Çizilen hatılların geometrisine bağlı kalınarak sistemdeki donatılar çeşitli uzunluklarda çizilmiştir. Boyuna donatılarda 10 mm pas payı bırakılmış ve kirişlerden 20 mm daha küçük tasarlanmıştır. Tasarlanan tüm donatıların **Assembly** adımında birleştirilmesi ile Şekil 4.32'deki görüntü elde edilmiştir.

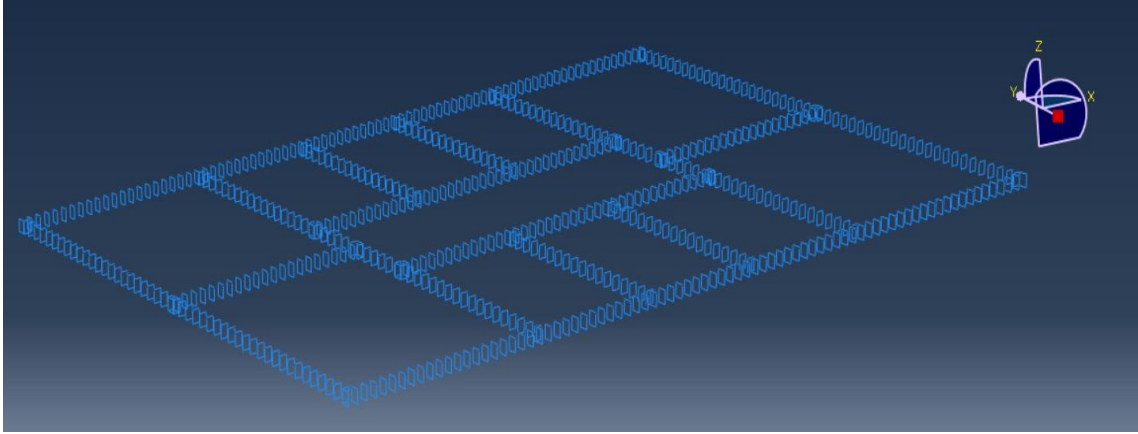


Şekil 4.32 Hatılların birleştirilmiş görüntüsü

10 mm'lik bırakılan pas payından başlayarak 240*300 mm'lik etriyeler 250 mm boşluklar ile yerleştirilmiştir. (Şekil 4.33) X ve Y yönündeki tüm etriyelerin birleştirilmesi ile Şekil 4.34'deki görüntü elde edilmiştir.

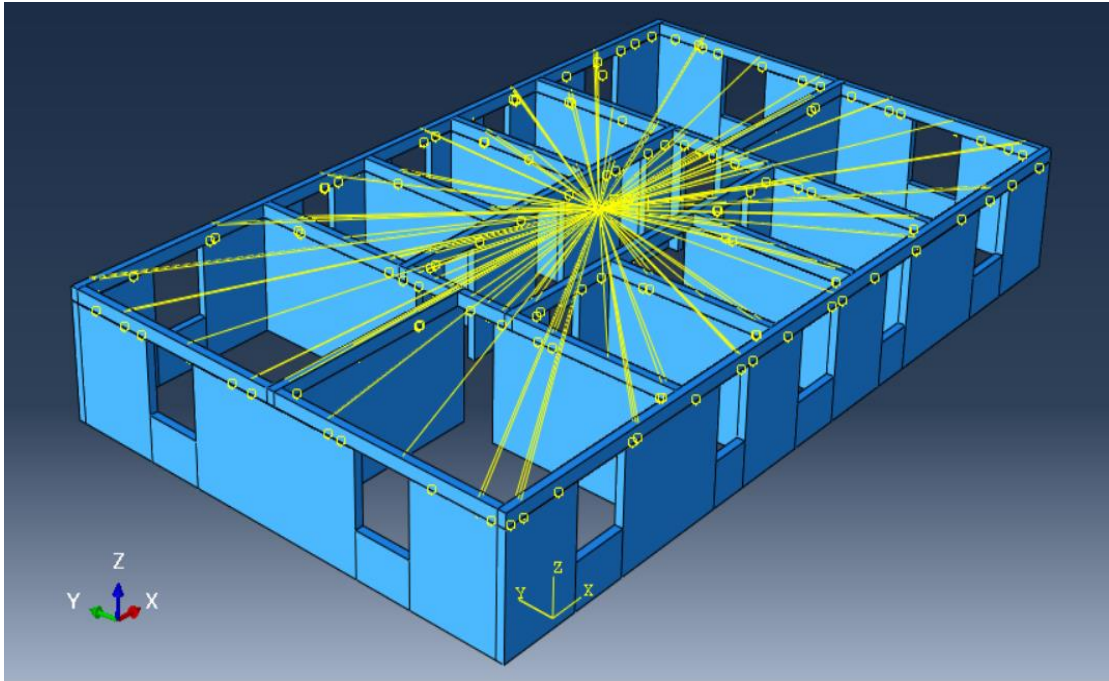


Şekil 4.33 Etriyelerin birleştirilmesi



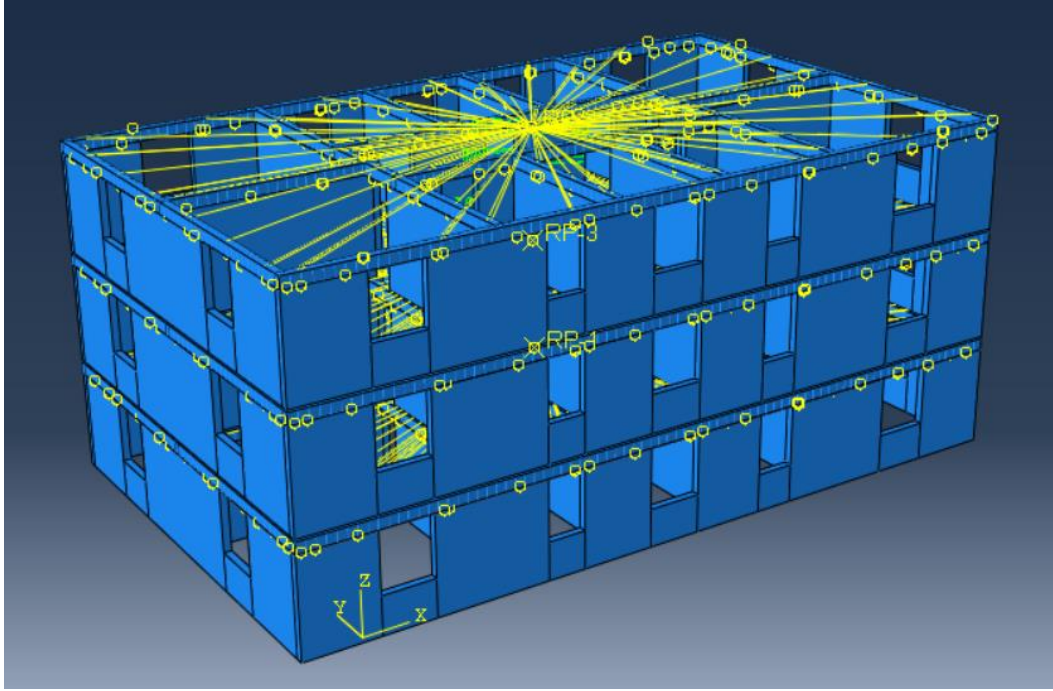
Şekil 4.34 Etriyelerin bir araya getirilmesi

Bu çalışmada, sistem geometrisi çizilirken 120 mm kalınlıktaki döşemenin oluşturulmayıp bunun yerine döşemenin yarısından hatılların üzerine **Coupling** yani bağlantı tasarlanması düşünülmüştür. **Coupling** bir referans noktasından yükün dağıtılmasını sağlamaktadır. Bu sebeple öncelikle **Tools-Datum-Enter Coordinates** sekmesi ile sistemin tam ortasından 60 mm uzaklıkta bir nokta oluşturulduktan sonra **Tools-Reference Point** ile söz konusu noktanın referans noktası olarak tanımlaması yapılmıştır. Daha sonra **Constraints** aracı ile **Coupling** oluşturulmuş ve referans noktası seçildikten sonra bağlantının yükü hangi yüzeylere dağıtacağı belirlenmiştir. Burada yükün hatılların yüzeyine dağıtılması sağlanmıştır. (Şekil 4.35)



Şekil 4.35 Yükün hatılların üzerine dağıtılması

Sistemdeki duvar, hatıl, donatı, etriye elemanlarının oluşturulup birleştirilmesinin ardından **Assembly** sekmesinde bulunan **Linear Pattern** butonu ile bir katın çoğaltılması sağlanmıştır. 2. ve 3. kat için döşeme boşluğu olan 60 mm bırakılarak çoğaltma işlemi yapılmıştır. Ve **Coupling** işlemi 2 kat için de tekrarlanmıştır. Katların ve coupling işleminin çoğaltılmış hali Şekil 4.29'da gösterilmiştir. Şekil 4.36'da etriyeler ve donatılar da görülmektedir.

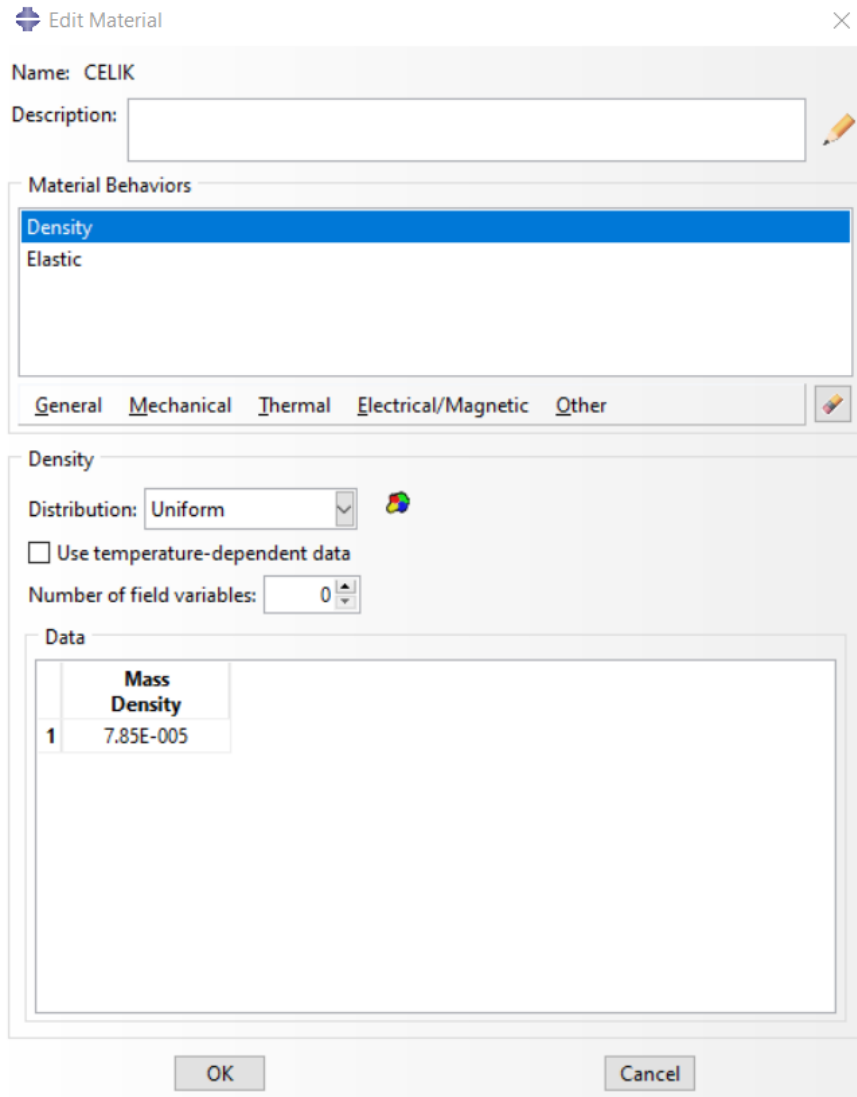


Şekil 4.36 Katların çoğaltılması

Sistem geometrisinin çizilmesinin ardından malzemelerin mekanik özellikleri tanımlanmıştır. Bu yapı için duvarlarda kullanılmak üzere plastik tuğla duvar tanımı, farklı çaplarda donatılar için çelik tanımı, hatıllar için ise elastik beton tanımı yapılmıştır. **Materials** sekmesi kullanılarak tanımlanan çeliğin mekanik malzeme özellikleri Çizelge 4.1'de verilmiştir. **Edit Material** aracı kullanılarak **General** ve **Mechanical** sekmesinde bulunan yoğunluk ve elastik özellikler tanımlanmıştır. (Şekil 4.37)

Çizelge 4.1 Çelik elastik malzeme özellikleri

ÇELİK		
Malzeme Yoğunluğu (N/mm ³)	Young Modülü (N/mm ²)	Poisson Oranı
7.85E-05	200000	0.3

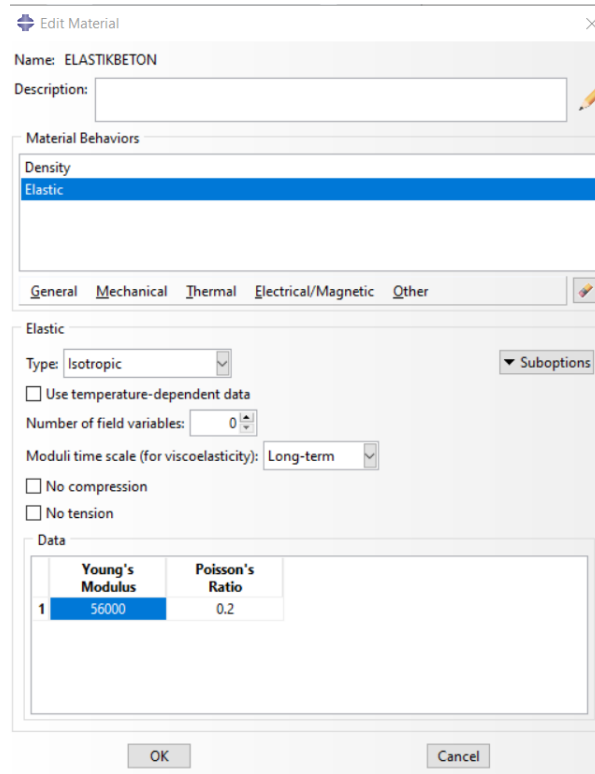


Şekil 4.37 Çeliğin elastik özelliklerinin tanımlanması

Elastik beton için Çizelge 4.2'deki veriler kullanılmıştır. **Edit Material** sekmesi ile tanımlanan beton malzemesi Şekil 4.38'de gösterilmiştir.

Çizelge 4.2 Elastik beton malzeme özellikleri

ELASTİK BETON		
Malzeme Yoğunluğu (N/mm³)	Young Modülü (N/mm²)	Poisson Oranı
2.44E-05	56000	0.2



Şekil 4.38 Elasic beton özelliklerinin tanımlanması

Plastik olarak tanımlanacak tuğla duvar için malzeme modeli Dere ve Köroğlu'nun çalışmaları kullanılarak Excel ortamında oluşturulmuştur. ABAQUS yazılımında plastik olarak tanımlanacak malzeme için gerilme-birim şekil değiştirme grafiği oluşturulmuştur. Bunun için referans olarak Şekil 4.39'daki grafikler ele alınmış ve bu eğrilere benzer bir eğri elde edilmeye çalışılmıştır. Eğrinin elde edilmesinde Dere ve Köroğlu'nun formülasyonları kullanılmış olup bu formüller ile young modülü, elastik olmayan gerilmeler ve hasar parametreleri elde edilmiştir. Çizelge 4.3'de malzemenin gerilme ve birim şekil değiştirme değerleri verilmiştir.

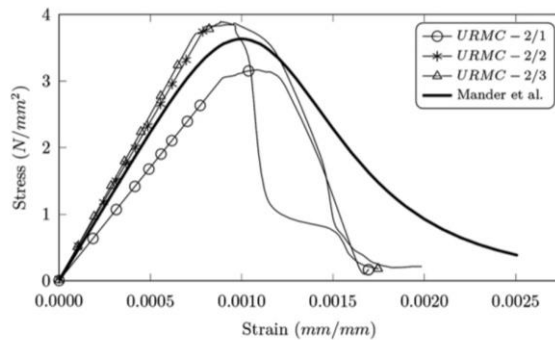


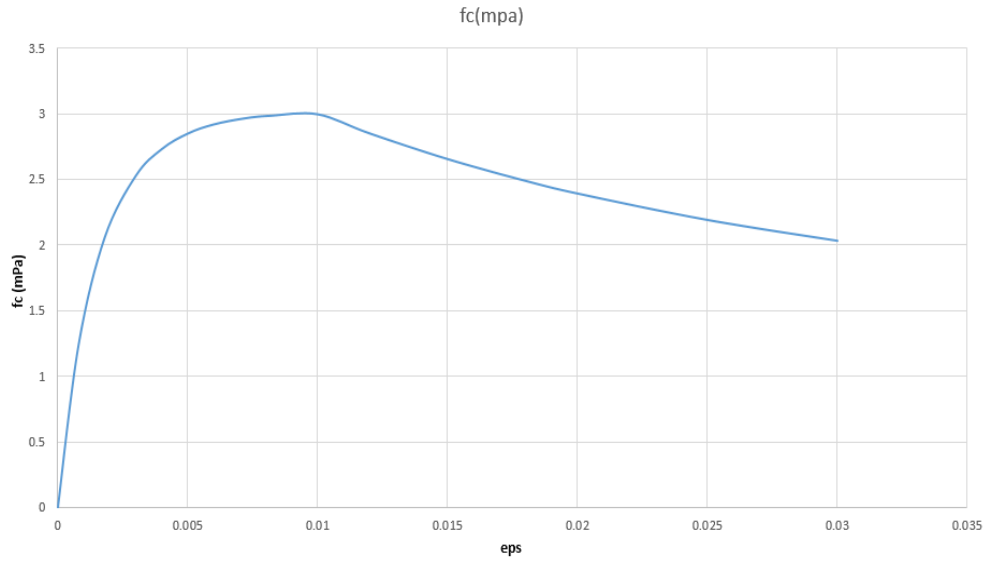
Fig. 8. Stress-strain diagrams.

Şekil 4.39 Referans gerilme-birim şekil değiştirme grafikleri

Çizelge 4.3 Tuğla duvarın gerilme-birim şekil değıştirme değeri

eps	fc(mpa)
0	0
0.00002	0.040316719
0.0008	1.249043935

Söz konusu birim deformasyon ve gerilmeden elde edilen eğri Şekil 4.40'da gösterilmiştir. Referans modeldeki eğriye yaklaşıldığı için de malzemenin bu formülasyondaki değeriyle bağlı olarak hasar parametreleri elde edilmiştir.



Şekil 4.40 Tuğla duvarın gerilme-birim şekil değıştirme eğri

Çizelge 4.4'de duvar malzemesinin basınç davranışı için gerilme(Eps), birim şekil değıştirme(Sig), elastik olmayan gerilme($\epsilon_c(in)$), plastik gerilme($\epsilon_c(pl)$),hasar parametresi(dt) gibi değeri verilmiştir.

Çizelge 4.4 Tuğla duvarın basınç davranışı

Eps	Sig	$\epsilon_c(in)$ Inelastic Strain	$\epsilon_c(pl)$ Plastic Strain	dc (damage parameter)	$\epsilon_c(in)$ Inelastic Strain
0	0				
0.00002	0.0403167	0	0	0	0
0.0008	1.2490439	0.000180384	0.000126	0.0803217	0.00018
0.0018	2.0610742	0.000777559	0.000544	0.185766	0.000778
0.003	2.5319008	0.001743995	0.001221	0.294063	0.001744
0.004	2.7352071	0.00264314	0.00185	0.368844	0.002643
0.005	2.8532154	0.003584599	0.002509	0.431744	0.003585

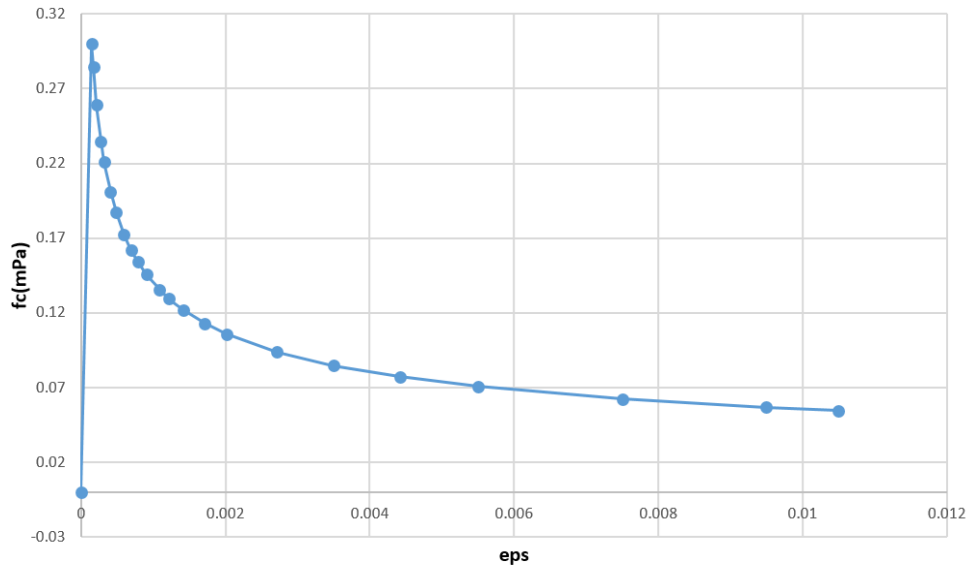
Çizelge 4.4’de verilen gerilme-birim şekil değiştirme değerleri içerisinde 0’dan sonraki değerler alınarak malzemenin young modülü hesaplanmıştır.

- $0.0403167 / 0.00002 = 2015.83597 \text{ N/mm}^2$

Çizelge 4.5’de duvar malzemesinin çekme davranışı için gerilme(Eps), birim şekil değiştirme(Sig), elastik olmayan gerilme(Et(in)), plastik gerilme(Et(pl)),hasar parametresi(dt) gibi değerleri verilmiştir. Çekme davranışı için gerilme ve birim şekil değiştirme eğrisi Şekil 4.41’de gösterilmiştir.

Çizelge 4.5 Tuğla duvarın çekme davranışı

Eps	Sig	Et(in) Inelastic Strain	Et(pl) Plastic Strain	dt (damage parameter)	Et(in) Inelastic Strain
0	0				
0.000149	0.3	0	0	0	0
0.00017	0.284595	2.86E-05	2E-05	0.0573013	2.86E-05
0.000215	0.259052	8.63E-05	6.04E-05	0.1676456	8.63E-05
0.000275	0.234742	0.000158	0.000111	0.289728	0.000158
0.00032	0.220925	0.00021	0.000147	0.3652271	0.00021
0.000405	0.201047	0.000305	0.000214	0.4785135	0.000305



Şekil 4.41 Malzemenin çekme davranışı eğrisi

Çizelge 4.6’daki malzemenin yoğunluğu **Edit Material** sekmesinde bulunan **General-Density** butonu kullanılarak malzemeye tanımlanır. **Mechanical-Elasticity**-sekmesi ile de malzemenin young modülü ve poisson oranı tanımlanmıştır. (Şekil 4.42)

Çizelge 4.6 Tuğla duvar elastik malzeme özellikleri

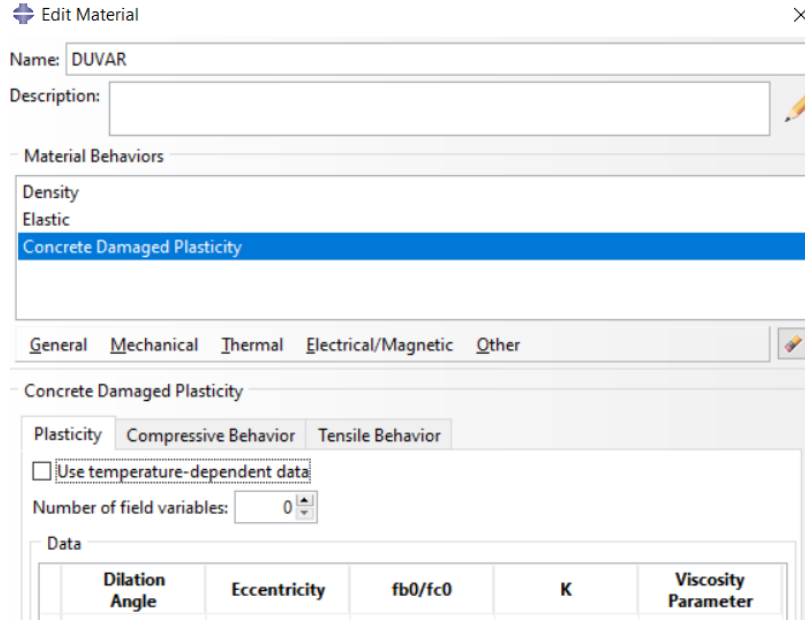
TUĞLA DUVAR		
Malzeme Yoğunluğu (N/mm ³)	Young Modülü (N/mm ²)	Poisson Oranı
1.00E-05	2015.83597	0.2

Şekil 4.42 Tuğla duvarın elastik özelliklerinin tanımlanması

Elastik özelliklerin tanımlanmasının ardından tuğla duvarın plastik özellikleri tanımlanmıştır. Çizelge 4.7'de verilen malzemenin plastik özellikleri **Edit Material** sekmesinde bulunan **Mechanical-Plasticity-Concrete Damaged Plasticity** ile tanımlanmıştır. (Şekil 4.43)

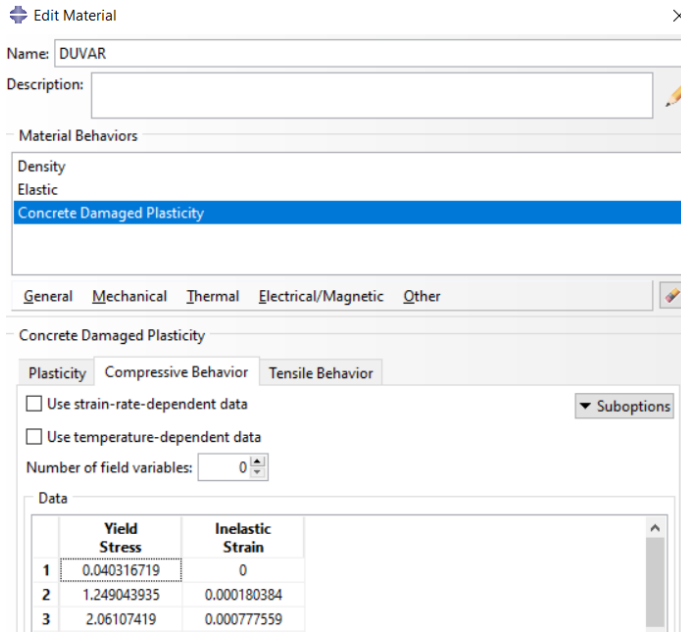
Çizelge 4.7 Tuğla duvarın plastik özellikleri

Genleşme Açısı	Eksantrisite	fb0/fc0	K	Viskosite Parametresi
21	0.2	1.86	1.6	0.21

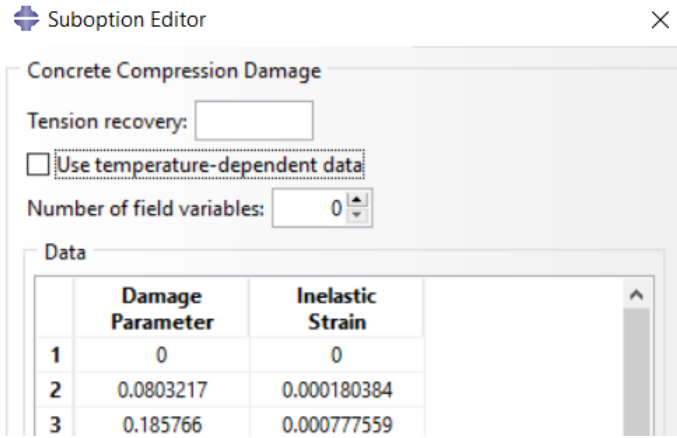


Şekil 4.43 Malzemenin plastik verilerinin girişi

Concrete Damaged Plasticity sekmesinde görülen **Compressive Behavior** butonu ile Çizelge 4.4’de verilen malzemenin basınç davranışındaki σ (gerilme) ve ϵ_c (elastik olmayan gerilme) tanımlanmıştır. (Şekil 4.44) Aynı davranış modeli için Şekil 4.45’deki gibi **Suboptions** seçeneği ile Çizelge 4.4’deki hasar parametreleri de tanımlanmıştır.

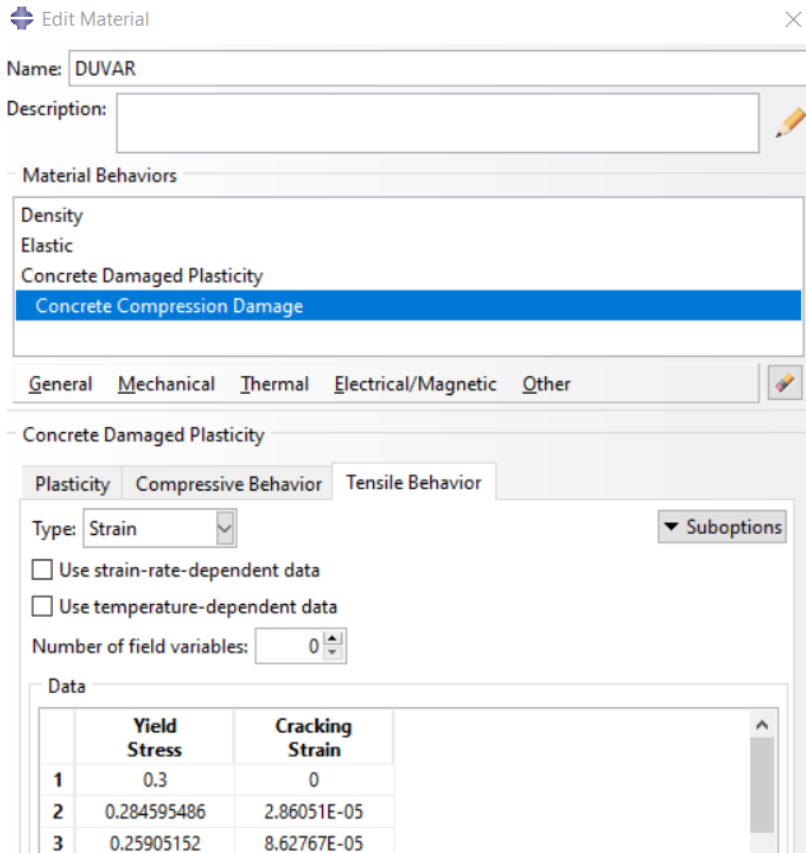


Şekil 4.44 Plastik betonun basınç davranışının tanımlanması

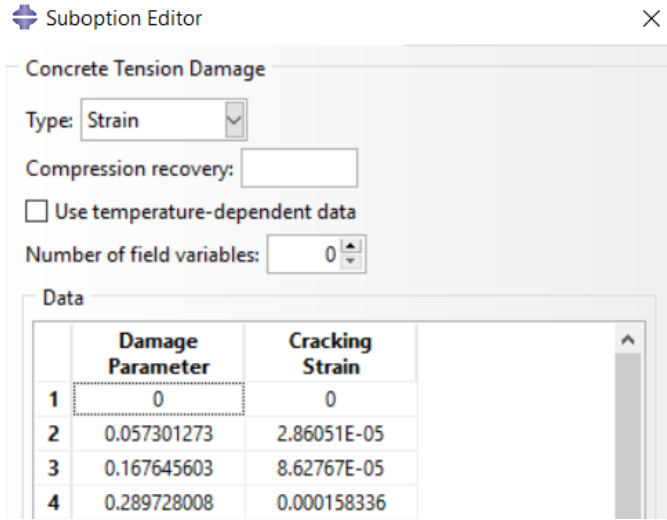


Şekil 4.45 Plastik betonun basınç hasar parametrelerinin tanımlanması

Ara yüzde basınç davranışının yanında çekme davranışının tanımlanması için de buton bulunmaktadır. (Şekil 4.46) Çizelge 4.5'deki σ (gerilme) ve ϵ_t (elastik olmayan gerilme) aynı adımlar tekrarlanıp tanımlandıktan sonra aynı davranış modeli için Çizelge 4.5'deki hasar parametreleri de tanımlanmıştır. (Şekil 4.47)

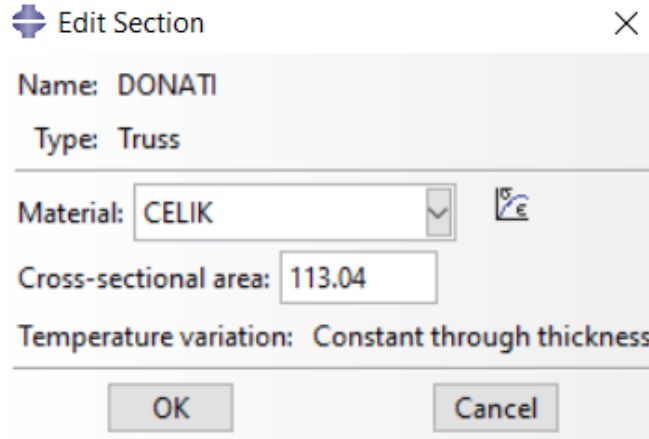


Şekil 4.46 Plastik malzemenin çekme davranışının tanımlanması



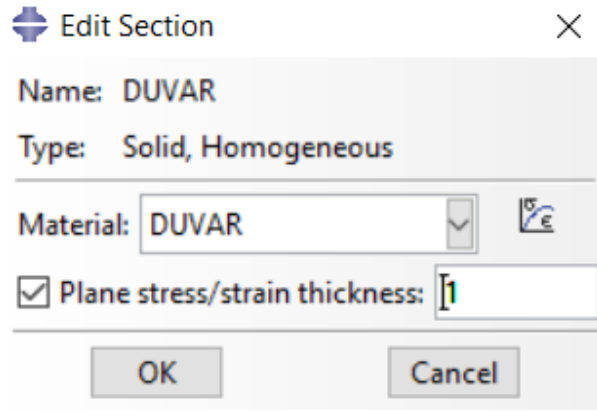
Şekil 4.47 Plastik malzemenin çekme hasar parametrelerinin tanımlanması

Malzeme özelliklerinin tanımlanmasının ardından bu malzeme modellerinin atanacağı kesitler belirlenmiştir. Boyuna donatılar $\Phi 12$ 'lik seçilmiştir. 12 mm çaptaki donatı için daha önce tanımlanan çelik malzemesi kullanılmıştır. **Sections** sekmesinin seçilmesinin ardından donatı **Beam-Truss** olarak oluşturulmuş ve 12 mm'lik bir donatının alanı girilmiştir. (Şekil 4.48)



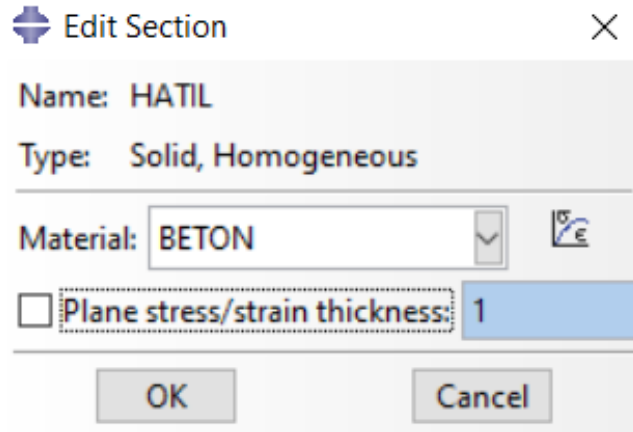
Şekil 4.48 Donatı kesitinin oluşturulması

Duvar elemanı için **Section** sekmesinde **Solid-Homogeneous** modeli seçildikten sonra tasarlanan plastik duvar malzemesi girilmiştir. (Şekil 4.49)



Şekil 4.49 Duvar kesitinin oluşturulması

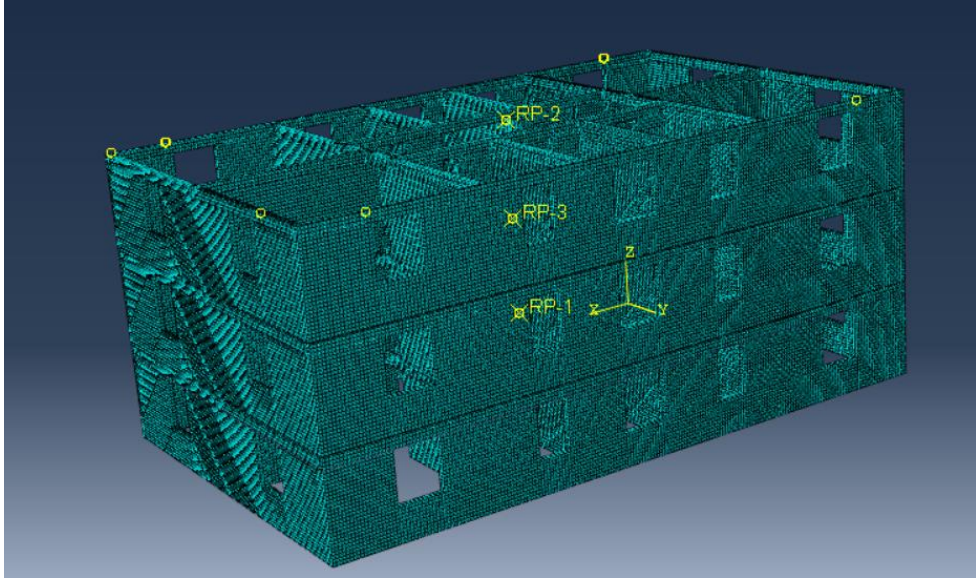
Duvarların üzerindeki hatıl için ise **Section** sekmesinde **Solid-Homogeneous** modeli seçildikten sonra elastik beton malzemesi seçilmiştir. (Şekil 4.50)



Şekil 4.50 Hatıl kesitinin oluşturulması

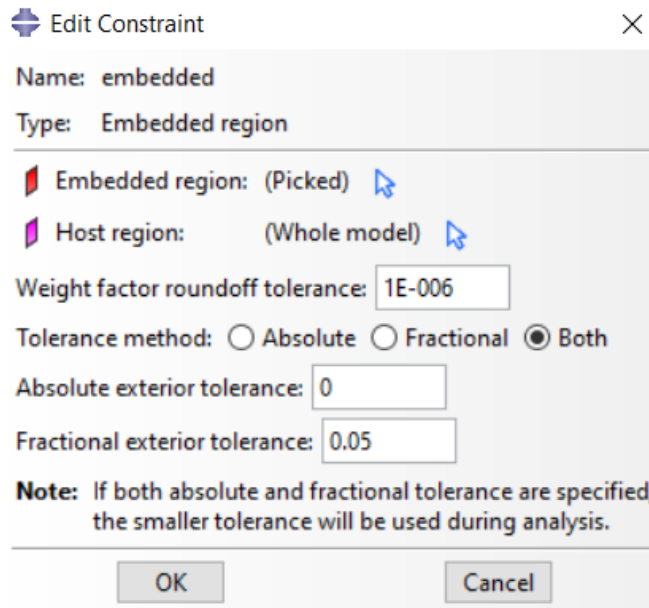
Kesit modelleri, her bir Part sekmesinin altındaki **Section Assignments** ile çizilen part modellerinin tamamı seçilerek atanmıştır.

Tüm sistemin geometrisinin tamamlanmasının ardından programın amacına uygun olarak **Mesh** edilmesi yani küpler halinde düğüm noktalarına bölünmesi sağlanmıştır. Bu aşamada her eleman için mesh ölçülendirmesinin yapılması ile sistem sonlu elemanlar yöntemi kullanılarak çözümlenmiştir. **Seed** sekmesi ile ölçülendirme yapılırken boyuna donatılar 90 mm aralıklarla, etriyeler 50 mm aralıklarla, hatıllar 100 mm aralıklarla ve duvarlar 100 mm aralıklarla bölünmüştür. Bölünmüş sistemin görüntüsü Şekil 4.51'de verilmiştir.

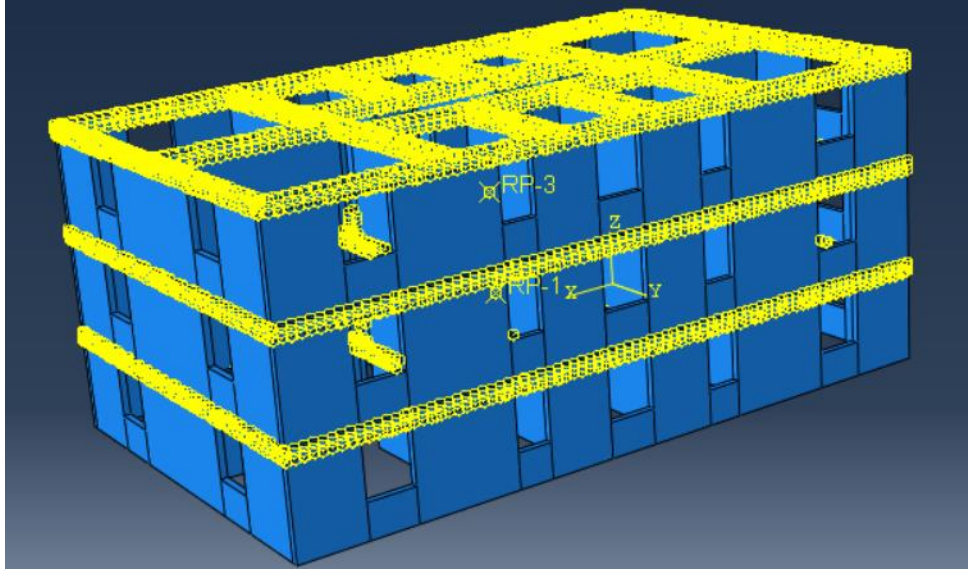


Şekil 4.51 Mesh adımıda sistemin görüntüsü

Tüm elemanların çizilip birleştirilmesi ile gelinen sistemin son halinde elemanların birlikte çalışması sağlanmamıştır. Bu sebeple analiz sırasında birbirleriyle temas edecek veya etkileşime girecek yüzeyler tanımlanarak düğüm noktaları oluşturulmuştur. Öncelikle **Constraints** sekmesinden **Embedded Region** tipi ile tüm etriye ve donatılar seçilip **Whole Model** butonu ile tüm modele donatı ve etriyelerin gömülme işlemi yapılmıştır. (Şekil 4.52) Tüm modele gömülen donatı Şekil 4.53'de gösterilmiştir.

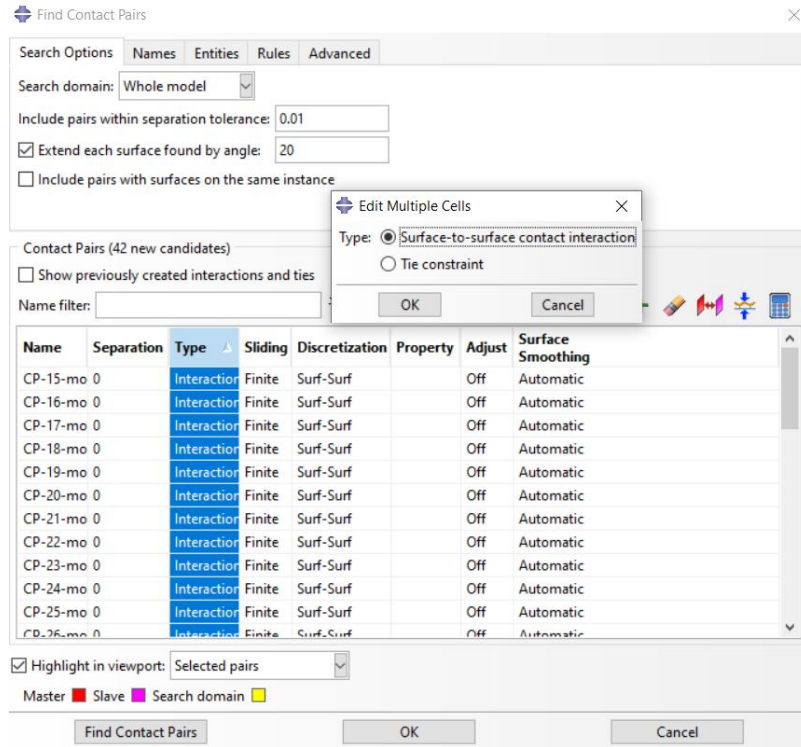


Şekil 4.52 Donatı ve etriyelerin sisteme gömülmesi



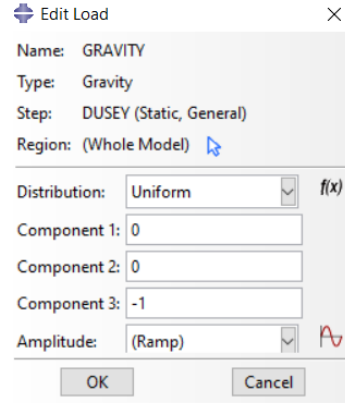
Şekil 4.53 Yüzeylerin etkileşim hali

Sistemdeki diğer etkileşimdeki yüzeylerin tanımlanması için ise önce yüzeyler bulunmuştur. **Constraints** sekmesine sağ tıkladıktan sonra **Find Contact Pair** ara yüzündeki **Find Contact Pair** butonu ile aralarında etkileşim olan yüzeyler bulunup tipi **Type** butonuna 2 kere tıklanarak **Tie Constraint** olarak değiştirilmiştir. Burada amaç düğüm noktalarını bulup birbiriyle bağlantılı çalıştırmaktır. (Şekil 4.54)



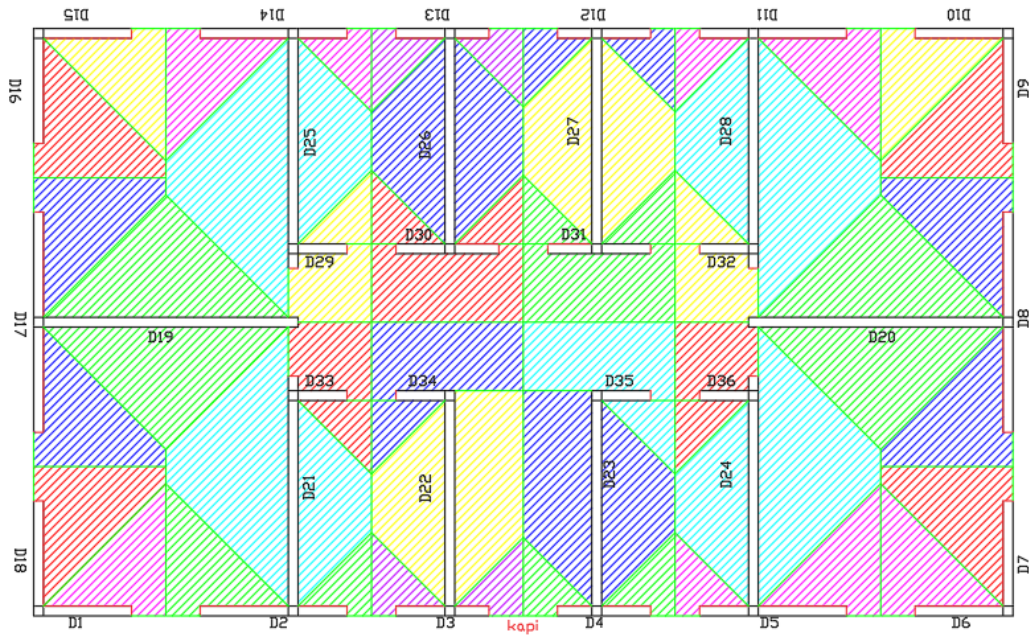
Şekil 4.54 Bağlantı noktaları

Sistemin düşey ve yatay adımları **Steps** sekmesinden tanımlandıktan sonra sisteme yükler girilmiştir. Öncelikle **Loads** sekmesi ile düşey adımdan itibaren yer çekimi kuvveti tanımlanmıştır. Yapının düşey yönüne bağlı kalarak Şekil 4.55'de gösterilen biçimde Z yönünde yer çekimi kuvveti belirtilmiştir.



Şekil 4.55 Yer çekimi kuvvetinin tanımlanması

Sistem geometrisi tanımlanırken döşeme çizilmediği için döşemeye verilecek yük için manuel hesaplamalar yapılmıştır. Döşeme, yükü duvarların üzerine aktaracağı için daha önce yapılmış **Coupling** tanımı bu aşamada işe yaramıştır. Yüklerin hesaplamasından önce Şekil 'de gösterildiği gibi yapının mimari planından döşemelerin duvarlara yükü nasıl aktaracağı çıkarılmıştır. (Şekil 4.56)



Şekil 4.56 Yüklerin aktarılması için çıkarılan plan

Şekil 4.56'da verilen alanlar duvarlara gelen yaylı yükleri göstermektedir. Örneğin D1 duvarına gelecek yükün modeli pembe üçgen ile gösterilen üçgen yaylı yük gibi olacaktır. Bu yaylı yüklerin alanları hesaplanarak bir formülasyon oluşturulmuştur. (Çizelge 4.8)

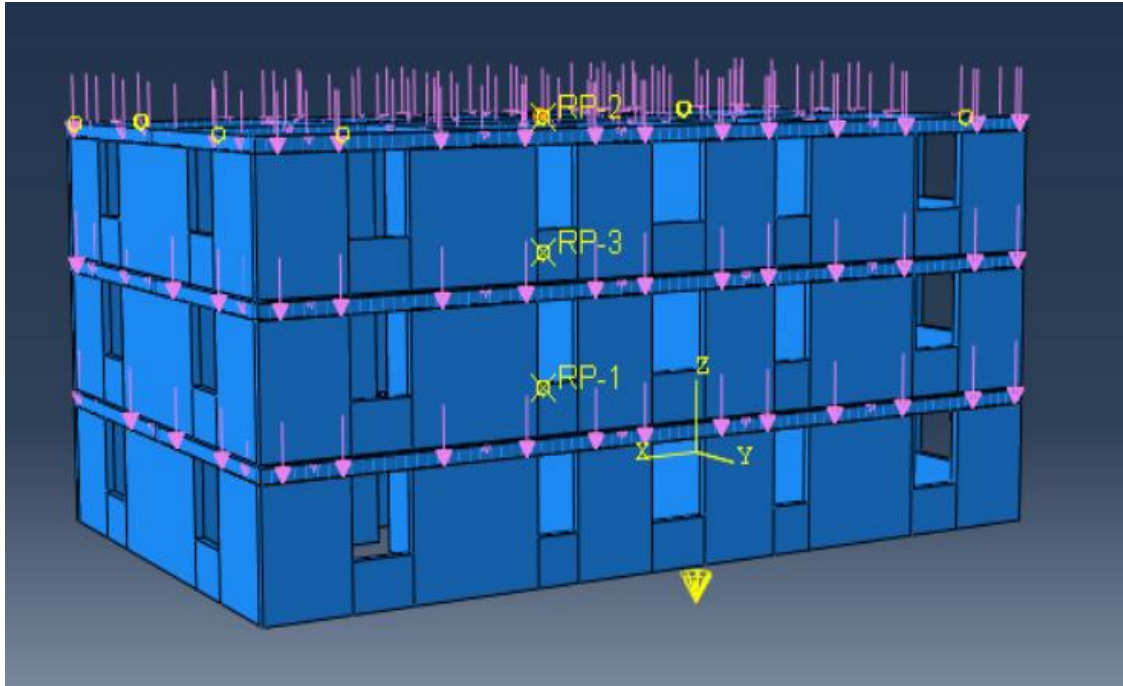
Çizelge 4.8 Duvarlara gelecek yüklerin hesaplanması

Duvarın Numarası	L(mm)	t(mm)	a(mm ²)	y(N/mm ²)	P(N/mm ²)
D1	2000	200	3265000	0.0095	0.07754375
D2	3000	200	4490000	0.0095	0.071091667
D3	1900	200	2345000	0.0095	0.058625
D4	1900	200	2345000	0.0095	0.058625
D5	3000	200	4490000	0.0095	0.071091667
D6	2000	200	3265000	0.0095	0.07754375
D7	2150	200	4140000	0.0095	0.091465116
D8	4500	200	8280000	0.0095	0.0874
D9	2150	200	4140000	0.0095	0.091465116
D10	2000	200	3265000	0.0095	0.07754375
D11	3000	200	4490000	0.0095	0.071091667
D12	1900	200	2345000	0.0095	0.058625
D13	1900	200	2345000	0.0095	0.058625
D14	3000	200	4490000	0.0095	0.071091667
D15	2000	200	3265000	0.0095	0.07754375
D16	2150	200	4140000	0.0095	0.091465116
D17	4500	200	8280000	0.0095	0.0874
D18	2150	200	4140000	0.0095	0.091465116
D19	5200	200	12500000	0.0095	0.114182692
D20	5200	200	12500000	0.0095	0.114182692
D21	4700	200	12050000	0.0095	0.121781915
D22	4200	200	9230000	0.0095	0.104386905
D23	4200	200	9230000	0.0095	0.104386905
D24	4700	200	12050000	0.0095	0.121781915
D25	4700	200	12500000	0.0095	0.126329787
D26	4200	200	7970000	0.0095	0.090136905
D27	4200	200	7970000	0.0095	0.090136905
D28	4700	200	12050000	0.0095	0.121781915
D29	1000	200	3525000	0.0095	0.1674375
D30	2100	200	6645000	0.0095	0.150303571
D31	2100	200	6645000	0.0095	0.150303571
D32	1000	200	3525000	0.0095	0.1674375
D33	1000	200	3525000	0.0095	0.1674375
D34	1000	200	5565000	0.0095	0.2643375
D35	1000	200	5565000	0.0095	0.2643375
D36	1000	200	3525000	0.0095	0.1674375

Çizelge 4.8’de verilen L değeri her bir duvarın uzunluğunu, t değeri her bir duvarın kalınlığını, a değeri ise yayılı yükün AutoCAD ortamında etki ettiği alanı, y ise kuvveti belirtmektedir. Y kuvveti içinse G+Q kuvvetleri ile döşemenin zati ağırlığının toplamı alınmıştır. 12 cm’lik döşeme için hesaplanan zati yük;

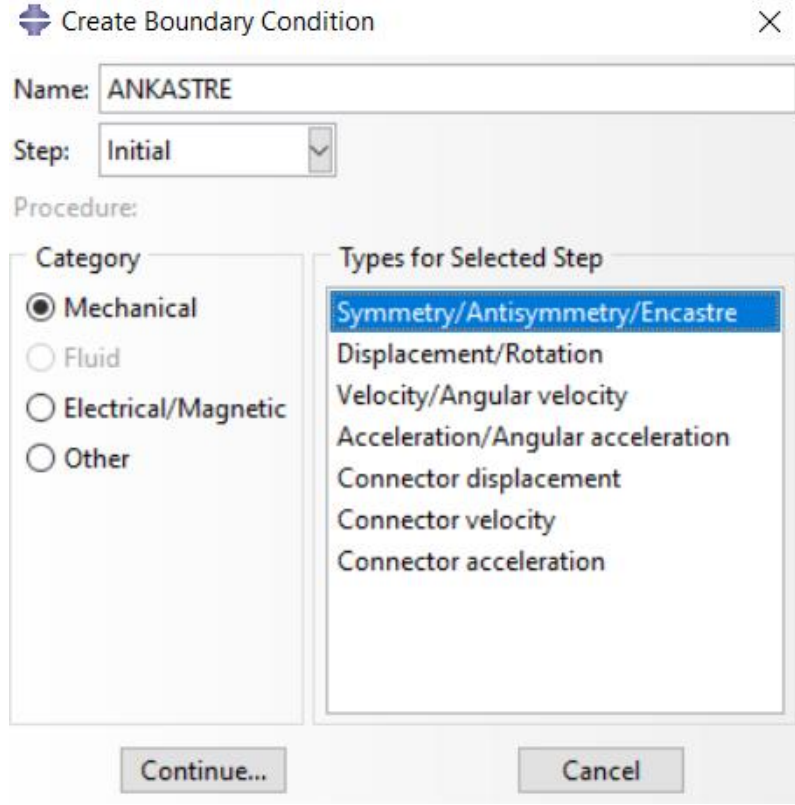
$$\begin{array}{rcl}
 \text{➤ } F & = & 0.12 \text{ cm} * 2,5 \text{ t/m}^3 = 300 \text{ kg/m}^2 \\
 \text{➤ } G & & = 350 \text{ kg/m}^2 \\
 \text{➤ } Q & & = 300 \text{ kg/m}^2
 \end{array}
 \left. \vphantom{\begin{array}{rcl} \text{➤ } F \\ \text{➤ } G \\ \text{➤ } Q \end{array}} \right\} = 950 \text{ kg/m}^2$$

Çizelge 4.8’de P ile verilen yük değerleri ABAQUS programındaki **Loads** komutu ile tanımlanacak değerlerdir. **Loads** komutundaki **Pressure** yük tipi ile her duvar için Çizelgedeki yük verileri girilmiştir. 3 kat için de aynı işlem tekrarlandıktan sonra tüm yüklerin görüntüsü Şekil 4.57’de verilmiştir.

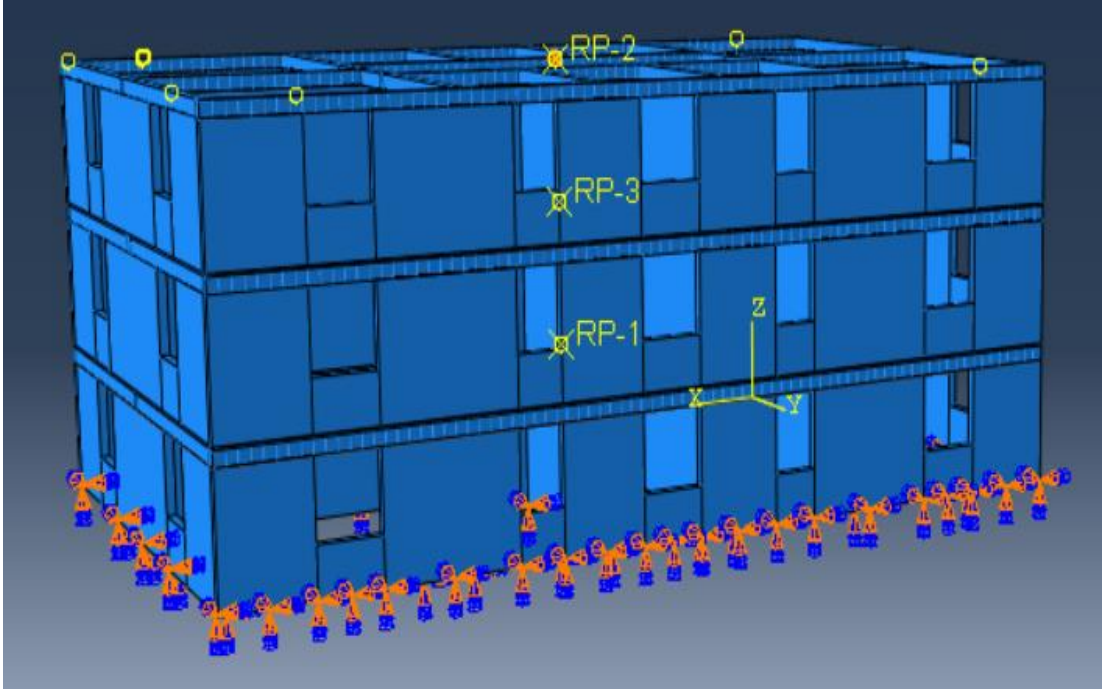


Şekil 4.57 Sistemdeki duvar yüklerinin tanımlanmış hali

Sistemin yükleme işlemi de tamamlandıktan sonra sınır şartları tanımlanmıştır. **Boundary Condition** komutu ile sınır şartının tipi seçilmiştir. (Şekil 4.58) **Symmetry/Ansymmetry/Encastre** tipi seçildikten sonra ankastre mesnet olarak tanımlanacak yüzey seçilmiştir. Yapıda 1. katta bulunan duvarların alt yüzeyleri seçilerek ankastre mesnet sınır şartı oluşturulmuştur. (Şekil 4.59)



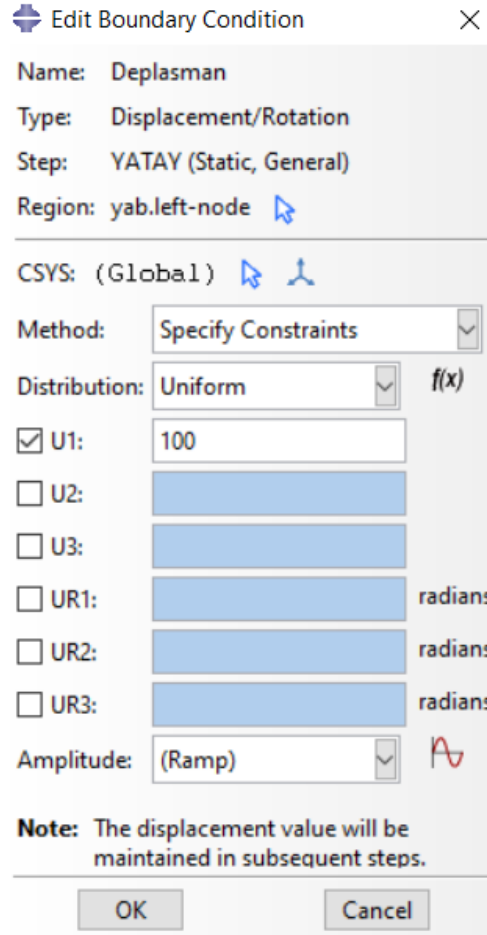
Şekil 4.58 Ankastre sınır şartının tanımlanması



Şekil 4.59 Ankastre mesnet yüzeyleri

Bir diğer sınır şartı olan sisteme deplasman yüklemesinin yapılması için daha önce oluşturulmuş referans noktası kullanılmıştır. 3. Katta bulunan RF2 noktasına uygulanacak

deplasman için **BCs** komutunda yatay adımda uygulanmak üzere **Displacement/Rotation** tipi seçilmiştir. Sisteme X yönünde 100 mm'lik deplasman yüklemesi yapılmıştır. (Şekil 4.60)

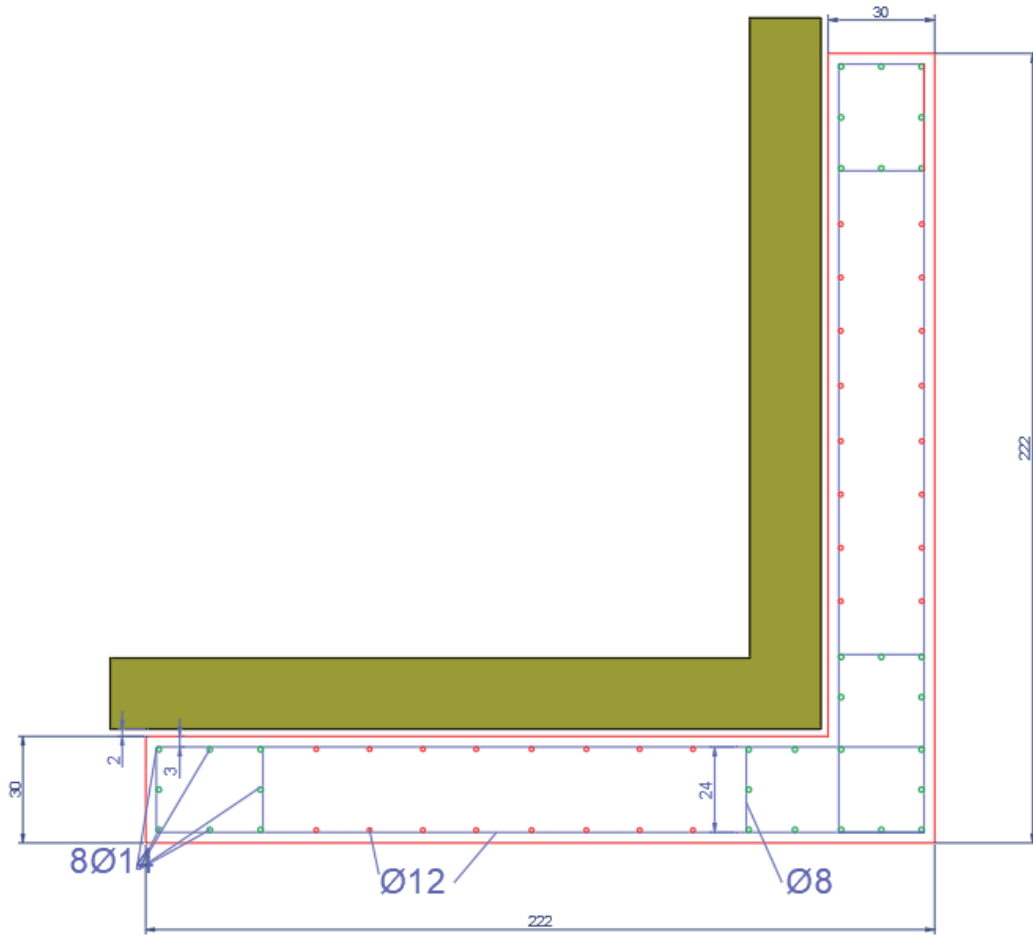


Şekil 4.60 Sisteme deplasman uygulanması

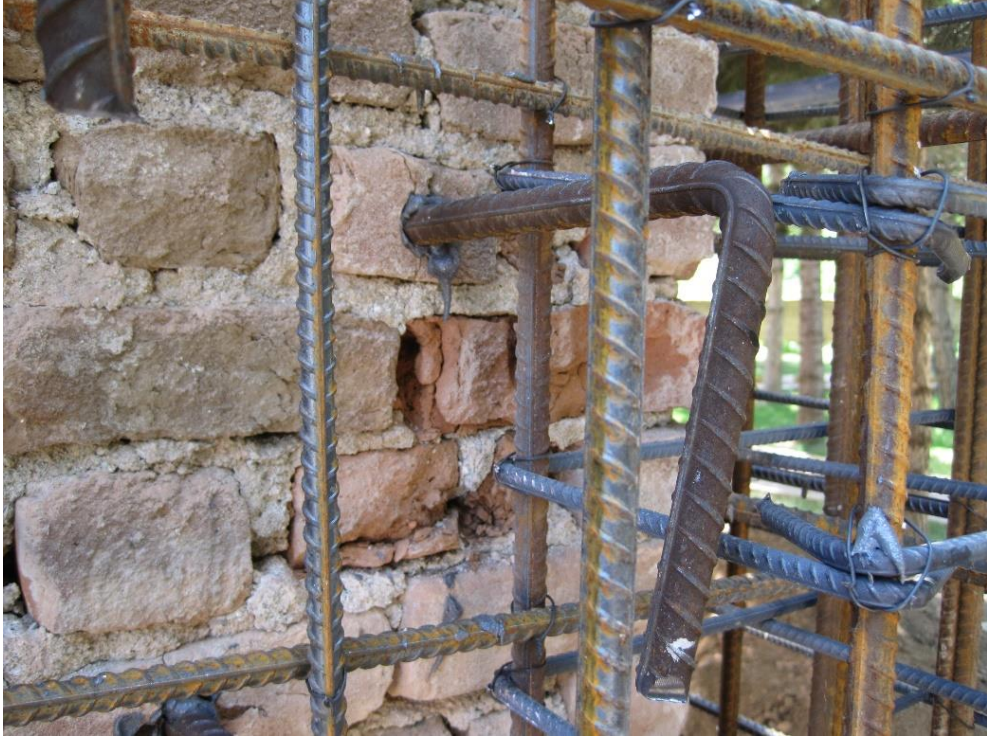
Sisteme yüklenen tüm verilerden sonra analizde istenilecek çıktılar belirlenmiştir. Bu analiz çalışmasında, tüm duvarların maruz kaldığı X ve Z yönündeki kuvvetler, ankastre mesnetteki kuvvetler ve yapının RF2 noktası olarak tanımlanan deplasman uygulanmış noktanın dönmesi istenilmiştir. Bu sebeple **History Output** sekmesinde söz konusu 1. kat duvarlarının alt yüzeyleri, ankastre mesnetin alt yüzeyi ve deplasman için oluşturulmuş setler seçilerek çıktılar tanımlanmıştır. Bunun haricinde **Field Output** sekmesinde de düşey ve yatay adımlar için gerilme, deplasman ve hasar değerleri istenilmiştir. Sonucunda **Job** komutu ile sistemin analizi başlatılmıştır.

4.2.2 Güçlendirilmiş Yapı Modelinin ABAQUS Programında Tasarlanması

Yapının ABAQUS programında çizilen güçlendirilmemiş modeline ek olarak güçlendirilmiş modelinde, simetrik olarak 4 kenara perde duvar tasarlanmıştır. Perde duvarlar ankrajlar yardımı ile yapının duvarı ile beraber çalıştırılmıştır. Şekil 4.61’de tasarlanan perde duvarın AutoCAD ortamındaki görüntüsü verilmiştir. Perde duvar yapının köşesine oturtulmuştur. Perde duvar yapıdan 2 cm uzaklığa koyulmuş olup perde duvarın boyu yapının köşesinden 222 cm olarak ayarlanmış ve duvarların genişliği 30 cm olarak belirlenmiştir. Şekil ‘de gösterildiği gibi perdenin enine donatıları $\Phi 12$, etriyeleri $\Phi 8$, boyuna donatıları ise orta bölgede $\Phi 12$, sarılma bölgesinde $\Phi 14$ olarak tasarlanmıştır. Mevcut perde duvardaki ankrajların görüntüsü Şekil 4.62’de verilmiştir. Şekil 4.63’te güçlendirme için binaya eklenmiş perde duvarın gerçekteki görüntüsü verilmişken 4.64’te bu durum referans alınarak oluşturulmuş modelleme gösterilmiştir.



Şekil 4.61 Perde duvar referans modeli



a) Mevcuttaki ankrajların görüntüsü

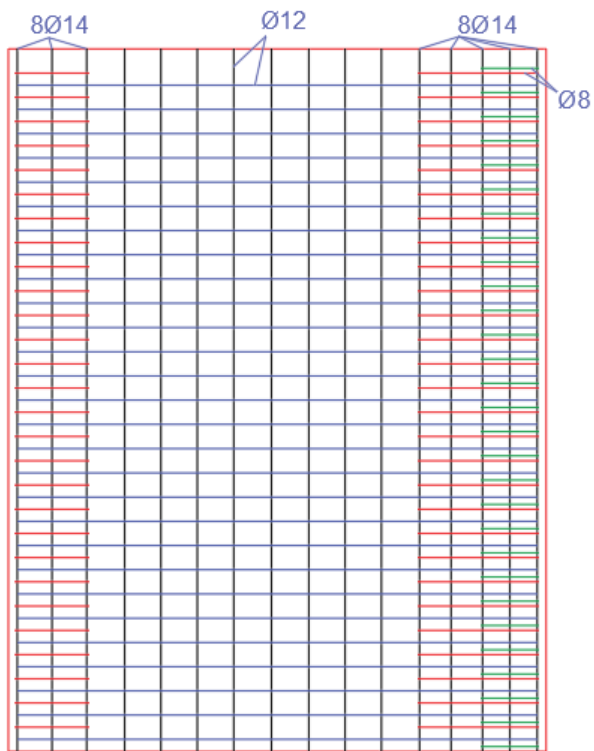


b) Ankraj ve perde duvar bağlantısı

Şekil 4.62 Perde duvar ve ankraj tasarımının mevcut hali

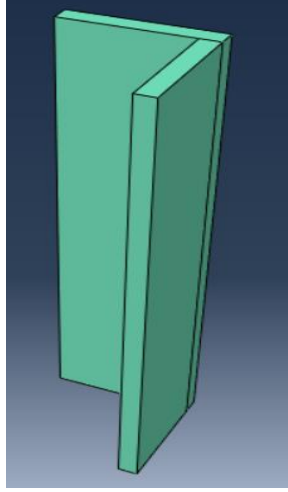


Şekil 4.63 Perde duvarın mevcuttaki durumu

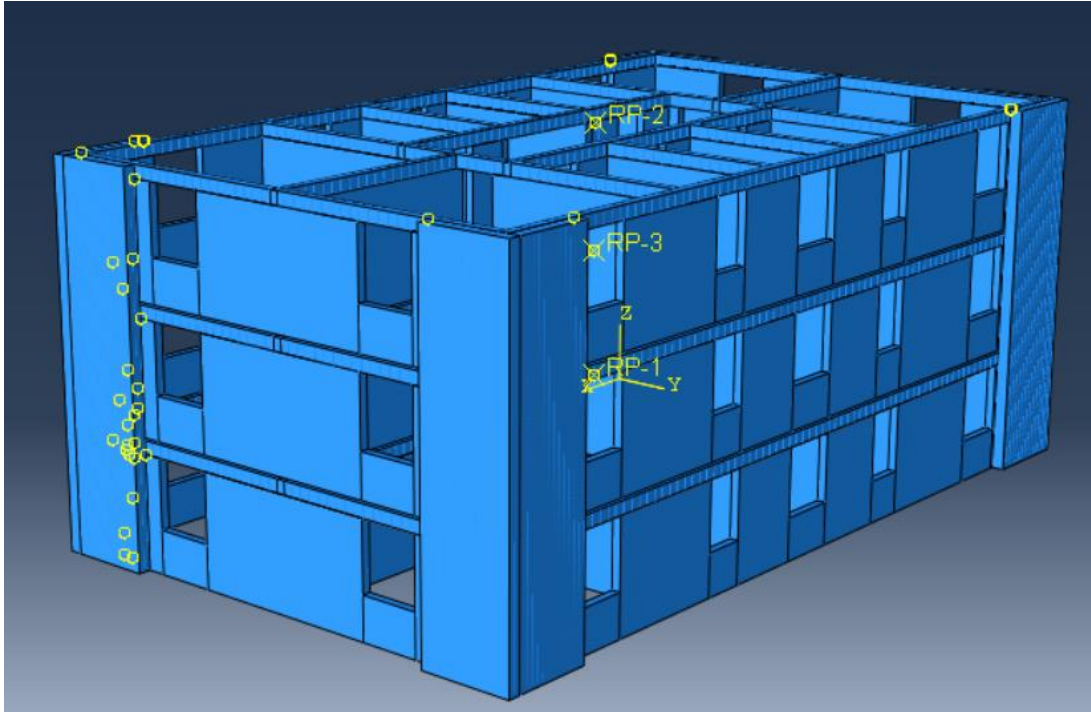


Şekil 4.64 Perde duvar ankraj tasarımı

Hazırlanan referans veriler ışığında ABAQUS yazılımında geometrik sisteme eklemeler yapılmıştır. Öncelikle tüm katları kapsayan 8820 mm yüksekliğinde 2220 *300 ve 1920*300 mm'lik perdeler **Parts** kısmı kullanılarak çizilmiştir. Daha sonra bu 2 perde duvar **Assembly** kısmında birleştirilerek **Merge** seçeneği ile tek bir eleman haline getirilmiştir. (Şekil 4.65) Bu perde duvar yapının köşelerinden 2 cm boşluk bırakılarak sisteme eklenmiştir. (Şekil 4.66)



Şekil 4.65 Perde duvar geometrik sistemi



Şekil 4.66 Sisteme perde duvarın eklenmiş görüntüsü

Perde duvar için kullanılacak malzeme yine plastik olarak Excel ortamında tasarlanmıştır. Çizelge 4.9'da gerilme-birim deformasyonu verilirken Çizelge 4.10'da malzemenin basınç davranışı Çizelge 4.11'de ise çekme davranışı verilmiştir.

Çizelge 4.9 Perde duvar gerilme-birim deformasyon verileri

eps	fc(mpa)
0	0
0.001	15.74511875
0.0017	22.65105505
0.0025	25
0.003	22.98427556
0.004	17.28838799

Çizelge 4.10 Perde duvar basınç davranışı parametreleri

Eps	Sig	$\epsilon_c(\text{in})$ Inelastic Strain	$\epsilon_c(\text{pl})$ Plastic Strain	dc (damage parameter)	$\epsilon_c(\text{in})$ Inelastic Strain
0.001	9.3	0	0	0	0
0.0017	12	0.000209677	0.000147	0.0464839	0.00021
0.0025	14	0.000994624	0.000696	0.165425	0.00095

Çizelge 4.11 Perde duvar çekme davranışı parametreleri

Eps	Sig	$\epsilon_t(\text{in})$ Inelastic Strain	$\epsilon_t(\text{pl})$ Plastic Strain	dt (damage parameter)	$\epsilon_t(\text{in})$ Inelastic Strain
0.00014	1.3	0	0	0	0
0.00017	1.20273	4.05E-05	2.84E-05	0.0858014	4.05E-05
0.000215	1.15033	6.61E-05	4.63E-05	0.1381560	6.61E-05
0.000275	1.09478	9.71E-05	6.8E-05	0.1983140	9.71E-05

Verilen parametreler sonucunda ise formülasyonla hesaplanan young modülü verisi 9300 N/mm^2 çıkmıştır. (Çizelge 4.12)

BETON		
Malzeme Yoğunluğu (N/mm^3)	Young Modülü (N/mm^2)	Poisson Oranı
2.44E-05	56000	0.2

Çizelge 4.12 Perde duvar malzeme özellikleri

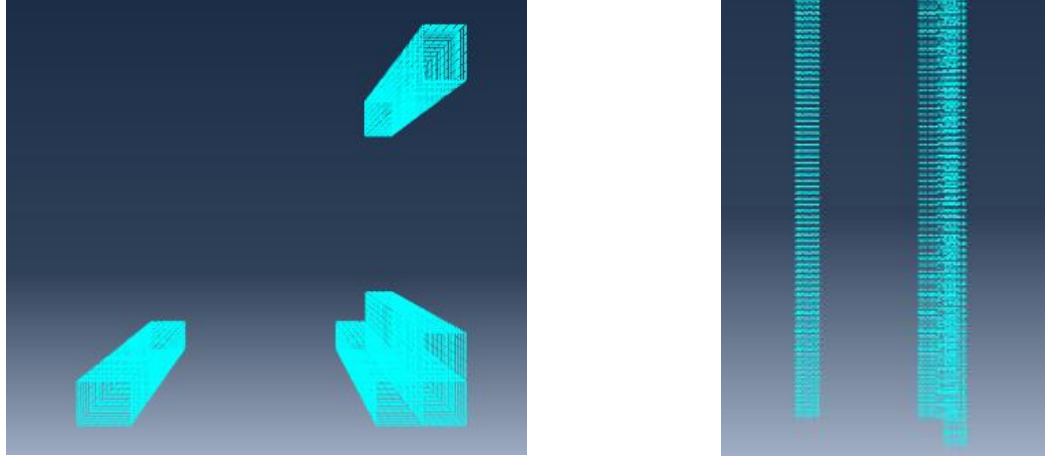
Çizelge 4.13'de ise malzemenin plastik verileri verilmiştir.

Çizelge 4.13 Perde duvar plastik malzeme özellikleri

Genleşme Açısı	Eksantrisite	fb0/fc0	K	Viskosite Parametresi
51	2.1	2.16	1.666	0.21

Malzemenin elastik özellikleri elastik bölümde, plastik özellikleri ve hasar parametreleri ise plastik bölümde tanımlandıktan sonra **Solid** tipi kesit oluşturularak duvara kesitin ve malzemenin atanması yapılmıştır. Perde duvar da yapının diğer elemanları gibi 100 mm'lik küp elemanlara bölünerek Mesh adımı tamamlanmıştır.

Perde duvarın donatı ve etriyeleri de Şekil 4.64'de gösterildiği gibi çizilmiştir. $\Phi 8$ 'lik etriyeler 240*500 mm'lik tasarlanıp ve **Mesh** sekmesinde 50 mm aralıklarla bölünmüştür. Etriye $\Phi 8$ donatının alanı olan 50.24 mm², **Seciton** sekmesinde tanımlanıp malzemesi olarak çelik olarak **Assembly** sekmesinde duvarın 30 mm içine yerleştirildikten sonra **Linear Pattern** komutu ile 100 mm aralıklarla çoğaltılmıştır. (Şekil 4.67)



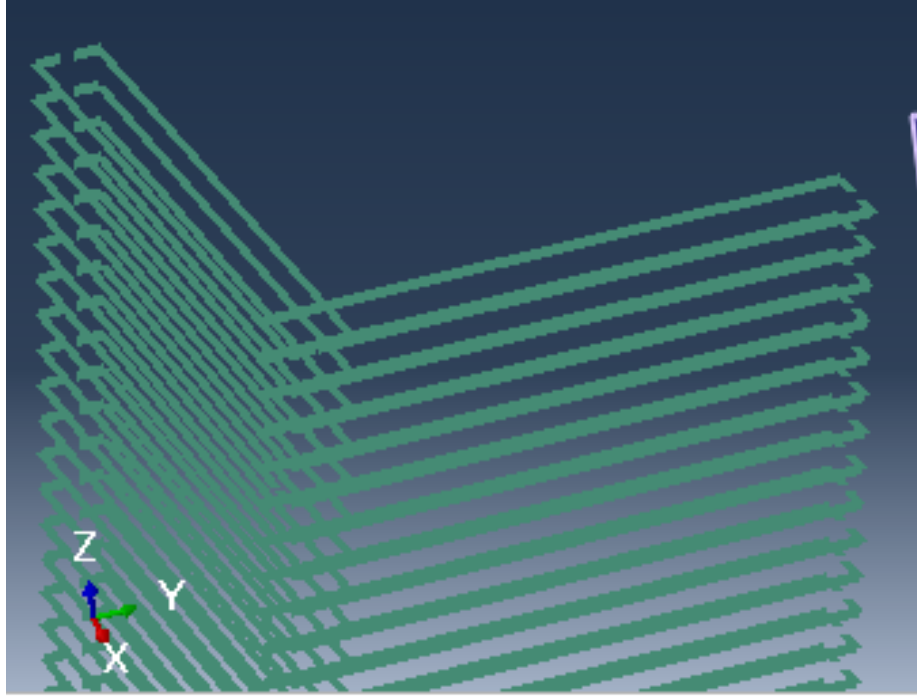
Şekil 4.67 Perde duvardaki etriyelerin oluşturulması

Enine donatılar ise duvarın 3 cm içerisine konulduğu için 2160 mm uzunluğunda çizilip 100 mm sargı boyu bırakılmıştır. (Şekil 4.68) **Mesh** sekmesinde 90 mm aralıklarla bölünmüş olan donatı için $\Phi 12$ 'lik kesit tanımlanıp çelik malzemesi atanmıştır.

Assembly sekmesine **Instance** olarak getirilen enine donatılar karşılıklı olarak duvara yerleştirilip 150 mm aralıklarla çoğaltılmıştır. (Şekil 4.69)

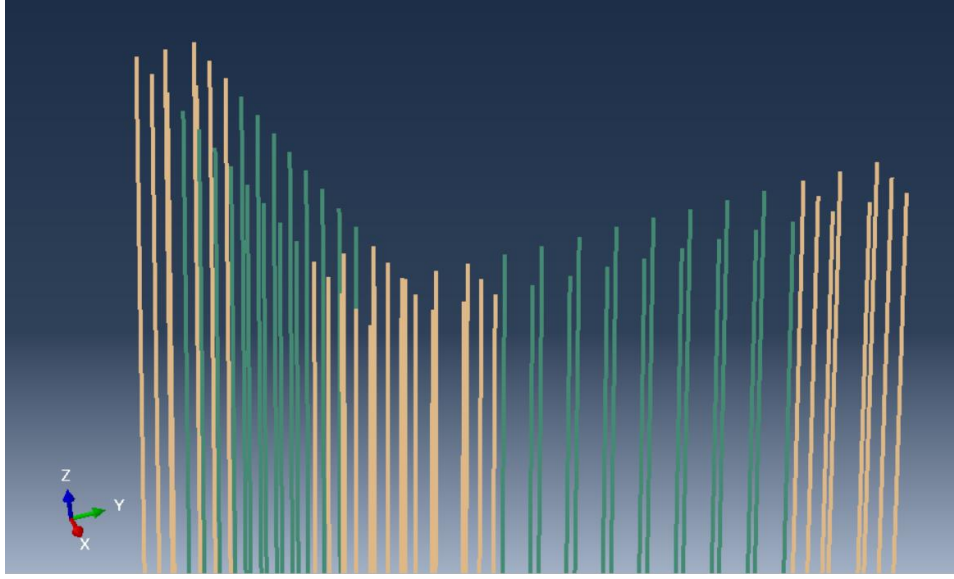


Şekil 4.68 Perde duvar enine donatının çizilmesi

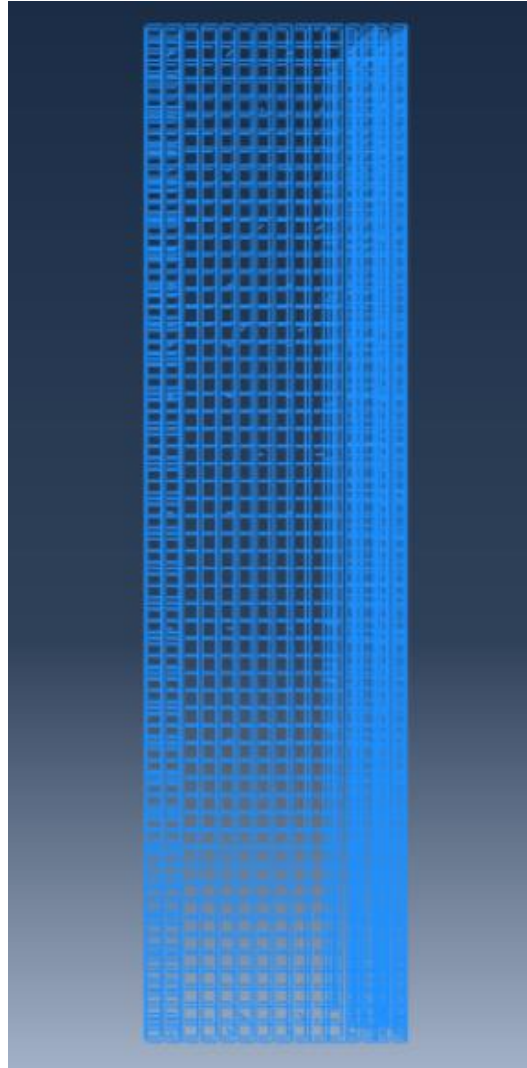


Şekil 4.69 Perde duvara yerleştirilmiş enine donatıların görüntüsü

Boyuna donatılar ise etriye ve enine donatılarla bağlantılı olarak 8700 mm yüksekliğinde çizilmiş ve sarılma bölgesi için $\Phi 14$, orta bölge için $\Phi 12$ 'lik donatı olmak üzere 2 tip tasarlanmıştır. Kesit tiplerinde bu farklılıkları belirtilen donatılar için çelik malzemesi atandıktan sonra **Mesh** sekmesinde 2 donatı da 90 mmm aralıklarla bölünmüştür. Assembly adımına 2 donatının da getirilmesinin ardından sarılma bölgelerine $\Phi 14$ 'lük donatı 150 mm aralıklarla, orta bölgeye $\Phi 12$ 'lik donatı 150 mm aralıklarla karşılıklı çoğaltılarak yerleştirilmiştir.(Şekil 4.70) Perde duvarın donatılarının görüntüsü Şekil 4.71'de gösterilmiştir

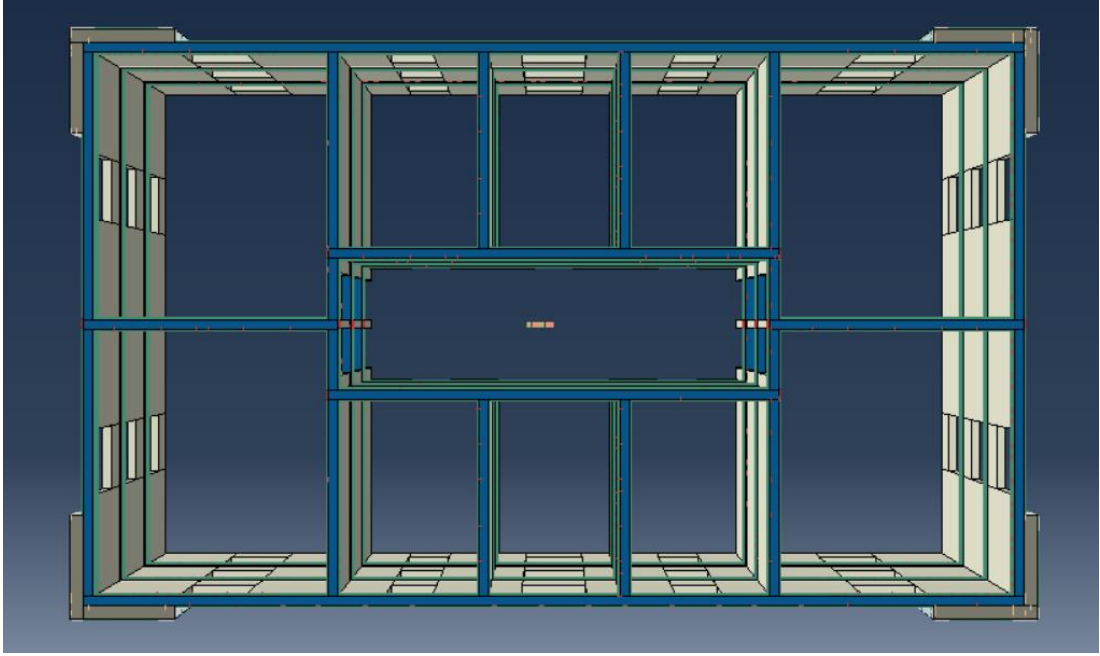


Şekil 4.70 Perde duvara boyuna donatıların yerleştirilmesi



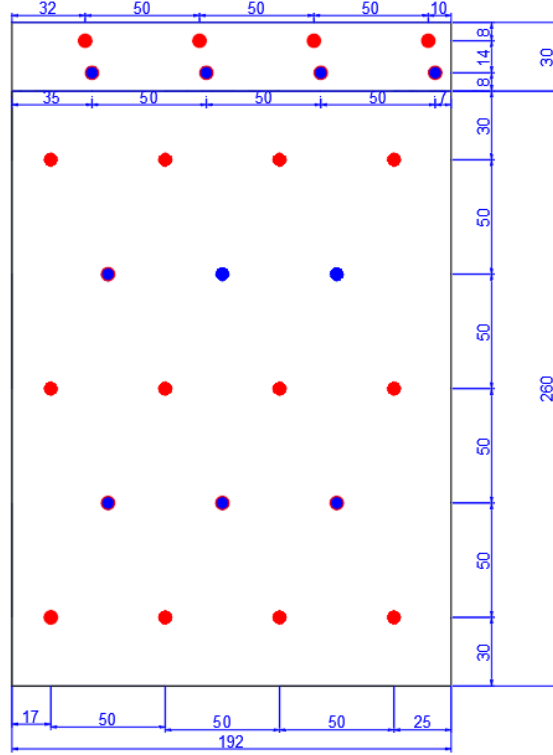
Şekil 4.71 Perde duvardaki donatıların görüntüsü

1 tane perdenin çizimi tamamlandıktan sonra 4 köşe duvar için perde çoğaltılmıştır. Köşe duvara 2 cm uzaklıkta **Linear Pattern** sekmesi ile çoğaltılmış perdelerin görüntüsü Şekil 4.72’de verilmiştir.

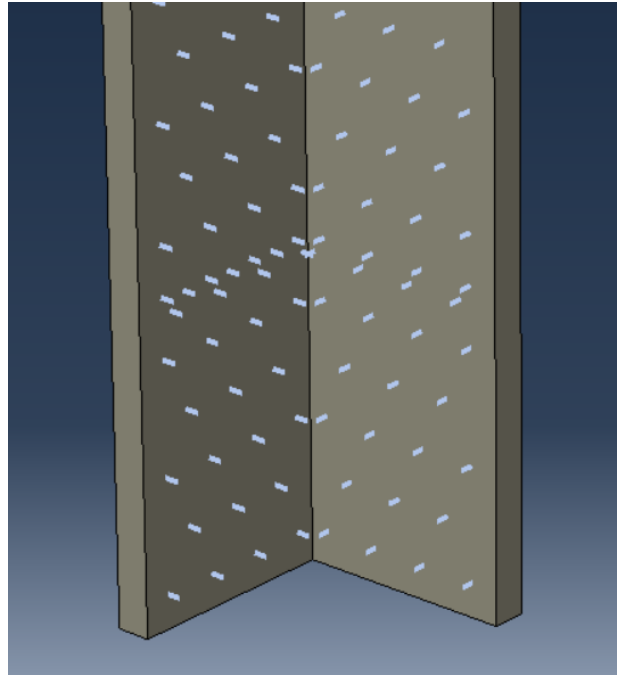


Şekil 4.72 Köşe duvarlara eklenmiş perde duvarların görüntüsü

Perde duvarın tuğla duvar ile birlikte çalışabilmesi için tuğla duvara açılan delikler yardımı ile ankrajlar yerleştirilmiştir. Ankrajlar 10 cm tuğla duvarın içine 25 cm ise perde duvarın içine gömülmüştür. Bu sebeple 2 duvar arasındaki 2 cm’lik boşluk da hesaba katılmış ve 370 mm’lik ankraj tasarlanmıştır. $\Phi 14$ ’lük tasarlanan ankrajlar için çelik malzemesi seçilerek kesit atanmış 30 mm’lik küplere bölünmüştür. Geometrik şekli tasarlanan ankrajlar Şekil 4.73’de gösterilen biçimde ABAQUS ortamında çoğaltılarak duvarların içine yerleştirilmiştir. Sistemin birlikte çalışabilmesi için ankrajlar ve donatılar tüm sisteme **Embedded** komutu ile gömülmüştür. Ankrajların tuğla duvar ve hatıllara yerleştirilmesi ile sistemin güçlendirilmiş versiyonunun tasarımı sonlandırılmıştır. (Şekil 4.74)



Şekil 4.73 Ankrajların yerleştirilmesi

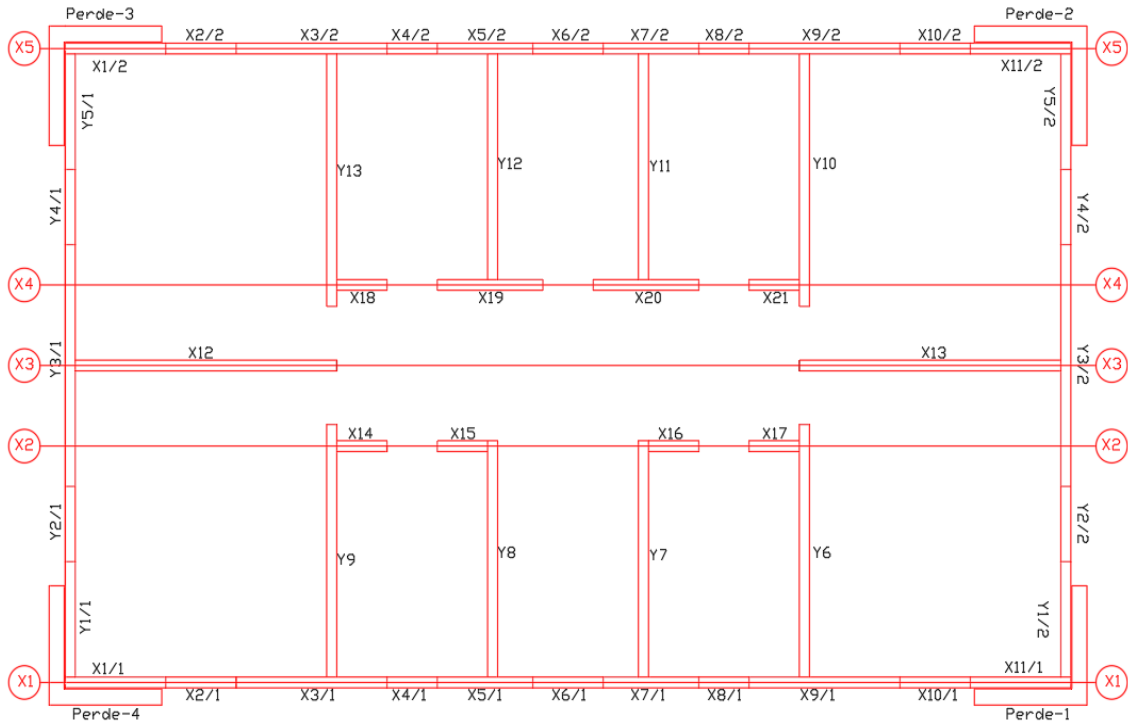


Şekil 4.74 Ankrajların perde duvara yerleştirilmiş hali

Güçlendirilmiş modelde de ankastre mesnetteki kuvvet, zemin katın duvarlarına gelen kuvvetler ve sistemin 3. katındaki deplasman analiz çıktısı olarak istenmiştir.

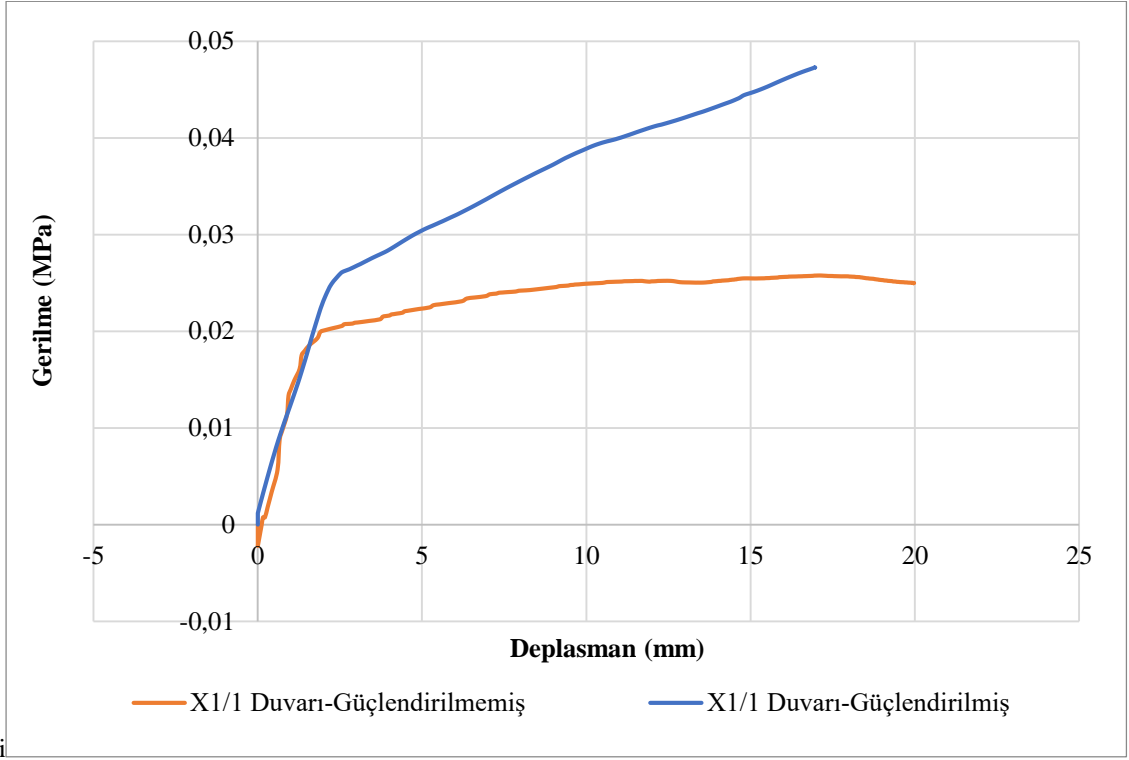
5. DEĞERLENDİRMELER

İki model için de alınan analiz çıktıları sonucunda güçlendirilmemiş ve güçlendirilmiş modellerde tanımlanan her duvar ve sistemdeki ankastre yüzeyin RF1 ve RF3 kuvvetleri Excel ortamına aktarılmıştır. Buna ek olarak her kattaki referans noktalarının deplasmanları Excel ortamına çekilmiştir. Bu veriler doğrultusunda X yönündeki duvarlar için gerilme-deplasman eğrileri oluşturulmuştur. Söz konusu eğriler oluşturulurken ise ABAQUS ortamından getirilen RF kuvvetleri ilgili duvarların alanlarına bölünmüş ve gerilme MPa cinsinden elde edilmiştir. Yatay yükleme altında her bir yükleme adımında duvarlarda oluşan gerilmeler elde edilmiştir. Bu gerilmelerin kat deplasmanına bağlı grafikleri, her duvar için, güçlendirilmemiş ve güçlendirilmiş durumda ki gerilme-deformasyon eğrileri karşılaştırılarak duvarların taşıma kapasiteleri irdelenmiştir. Şekil 5.1’de sistemdeki tüm duvarların isimleri gösterilmektedir. Gösterilen her duvar için Excel ortamında karşılaştırılmalı gerilme-deplasman (kat deplasmanı)eğrileri oluşturulmuştur. (Çizelge 5.1- 32) Ek olarak güçlendirilmiş modelde çizilen perdelerin gerilme-deplasman eğrileri çizilmiş ve daha sonra katkıları irdelenmiştir. (Çizelge 5.33-36)

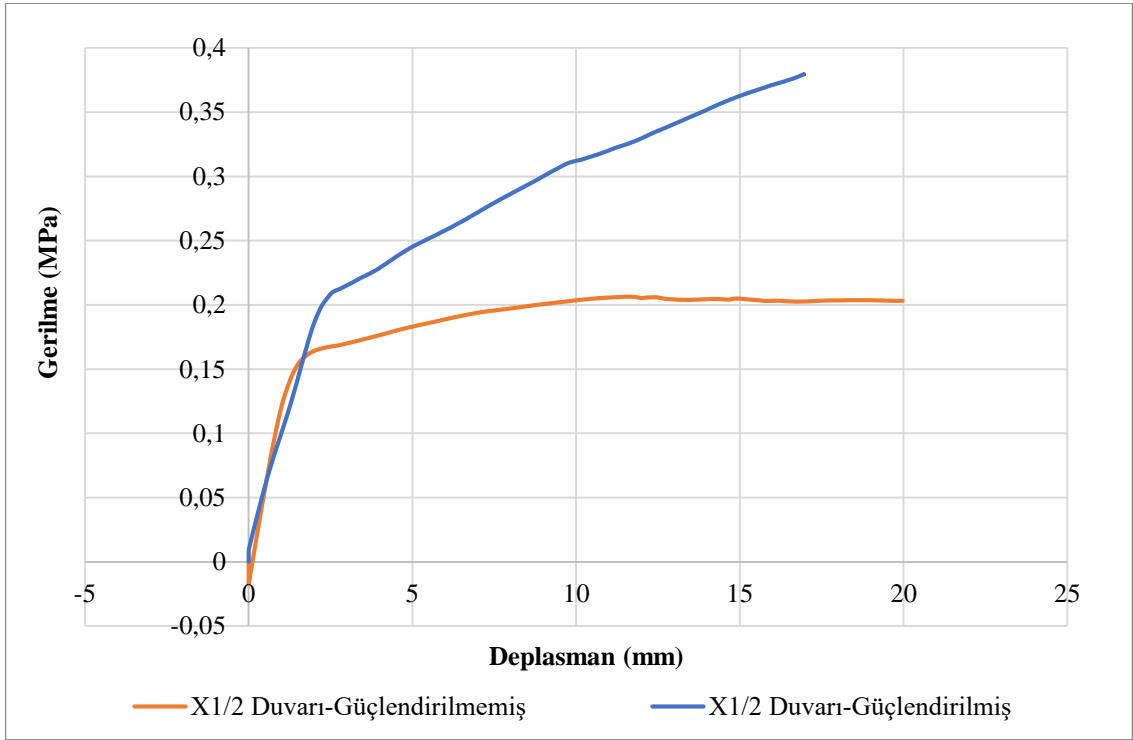


Şekil 5.1 Bina duvarlarının isimlendirilmesi

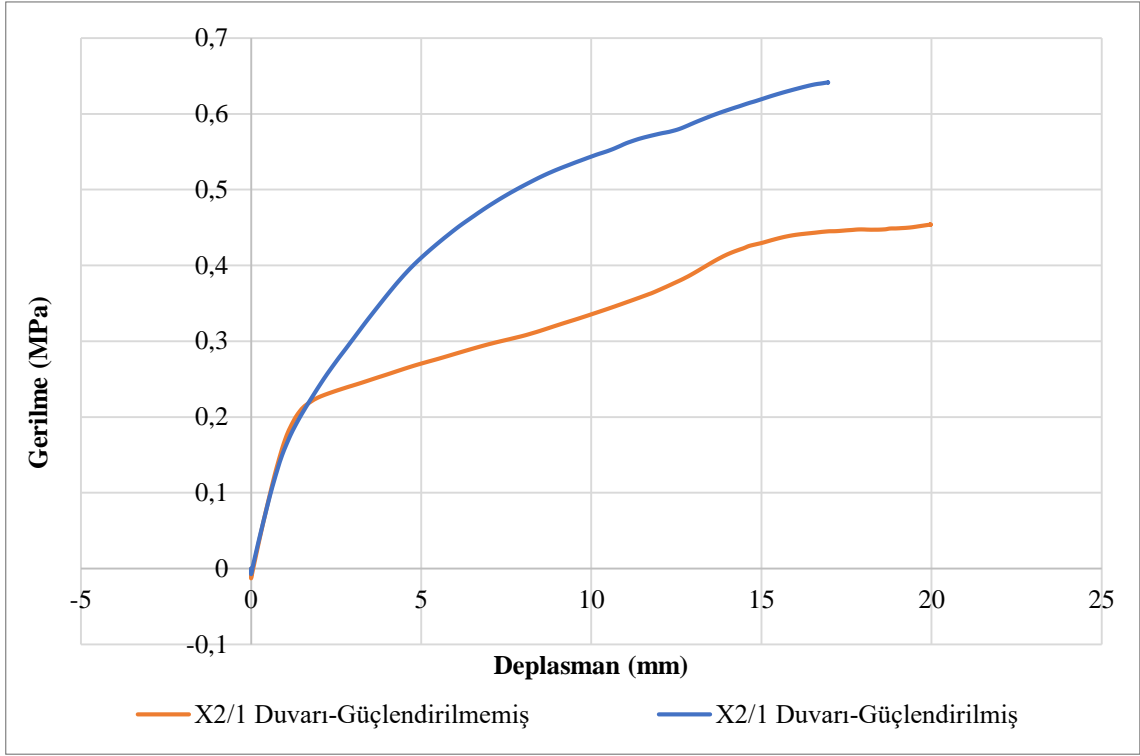
Çizelge 5.1 X1/1 Duvarı Gerilme - Deplasman Eğrisi



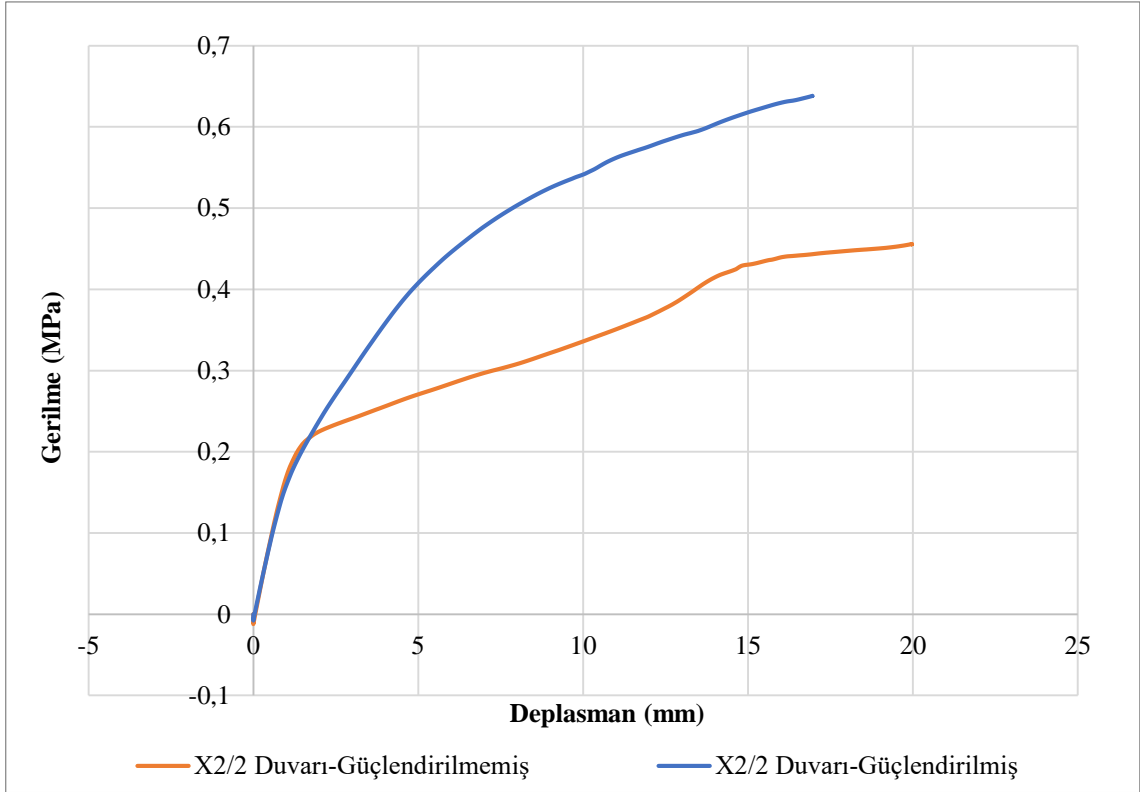
Çizelge 5.2 X1/2 Duvarı Gerilme - Deplasman Eğrisi



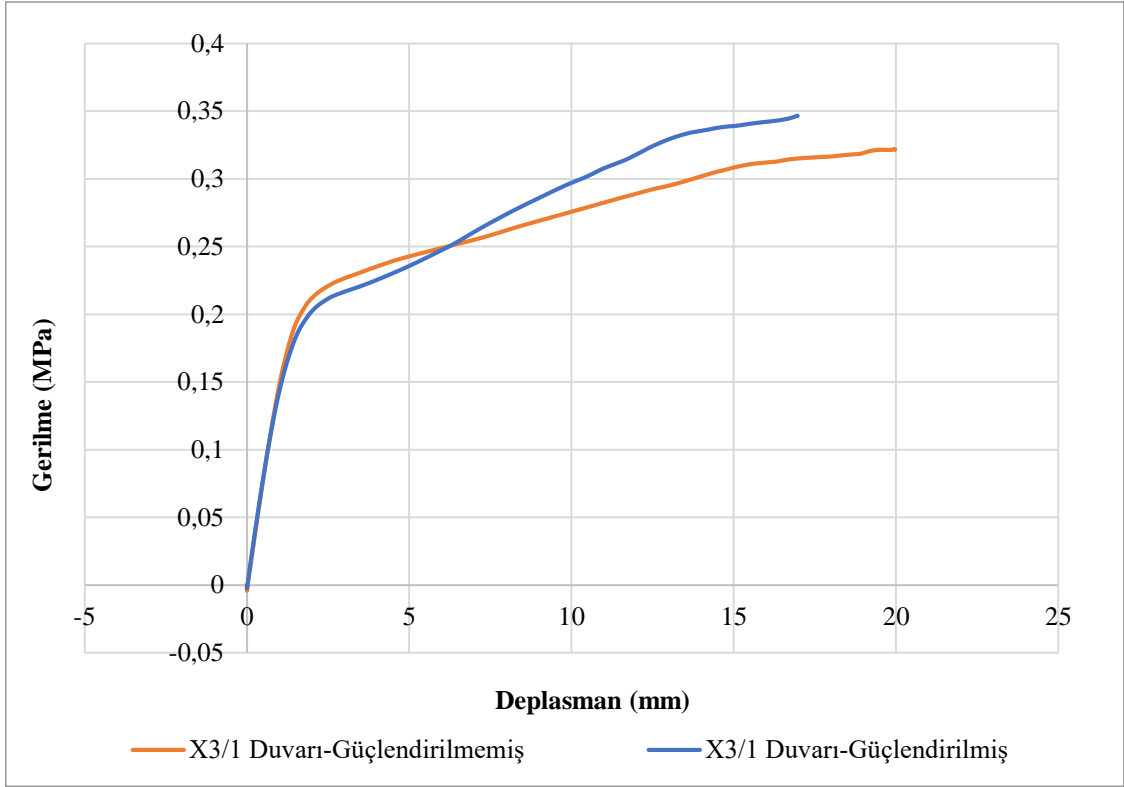
Çizelge 5.3 X2/1 Duvarı Gerilme - Deplasman Eğrisi



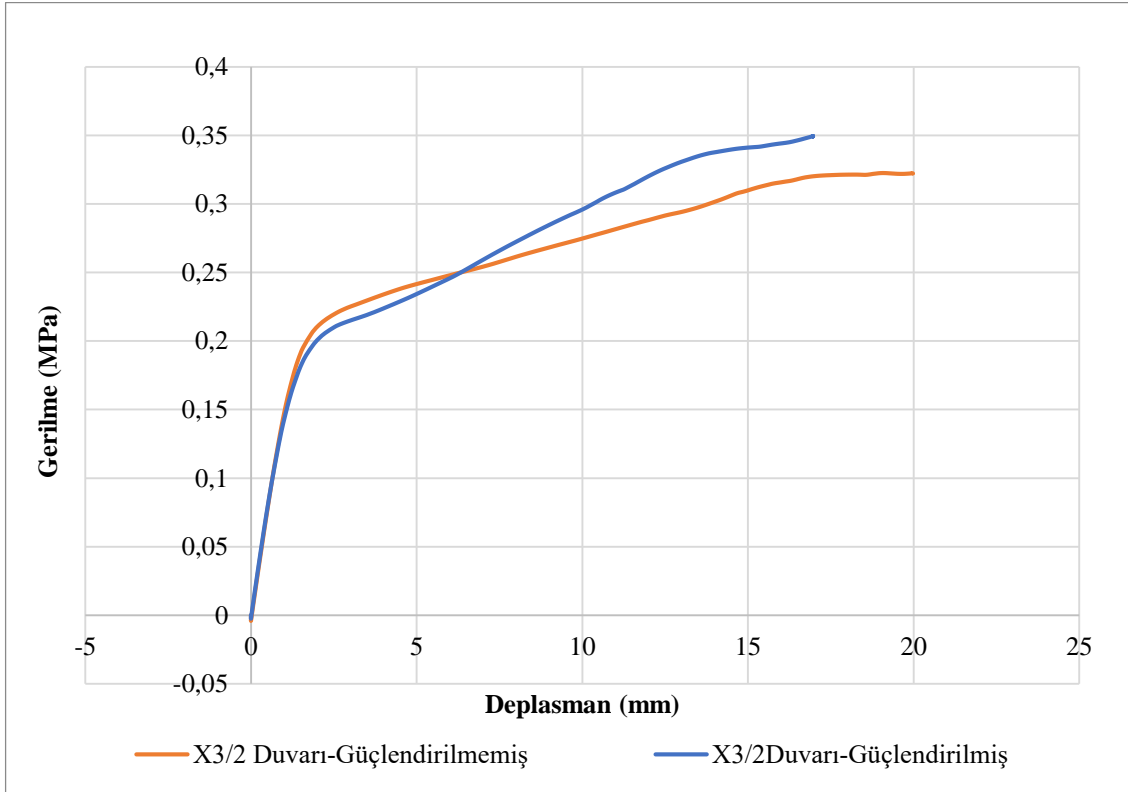
Çizelge 5.4 X2/2 Duvarı Gerilme - Deplasman Eğrisi



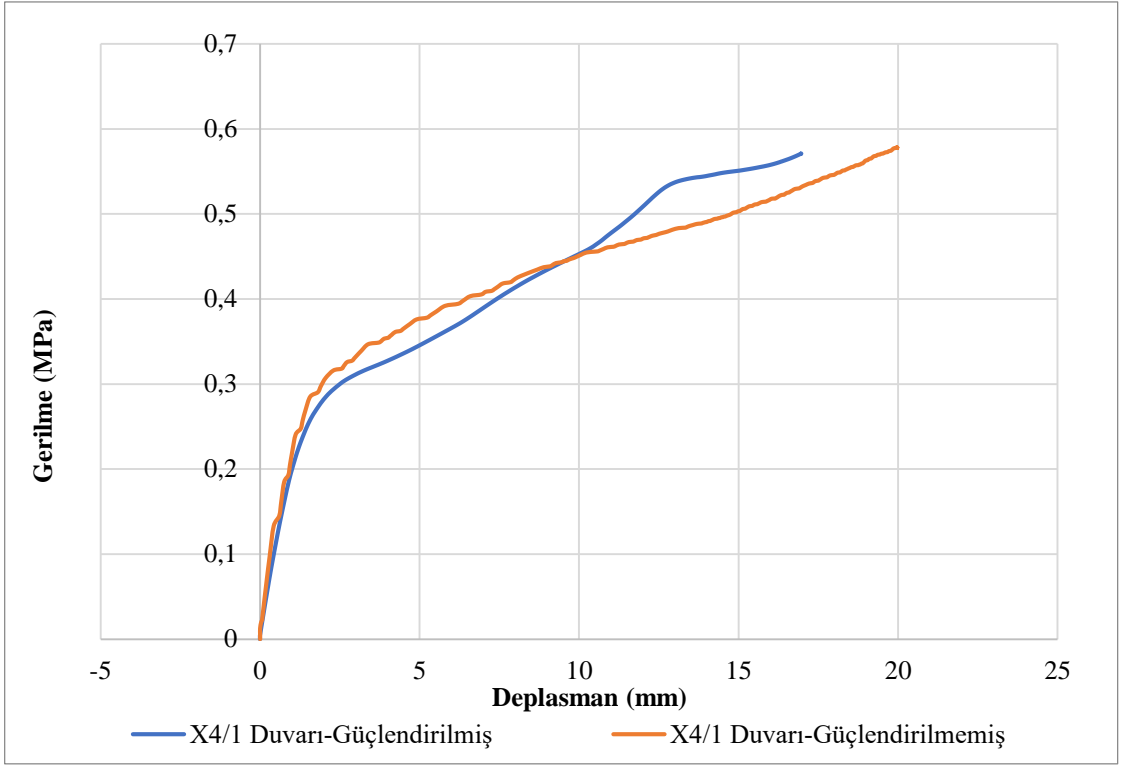
Çizelge 5.5 X3/1 Duvarı Gerilme - Deplasman Eğrisi



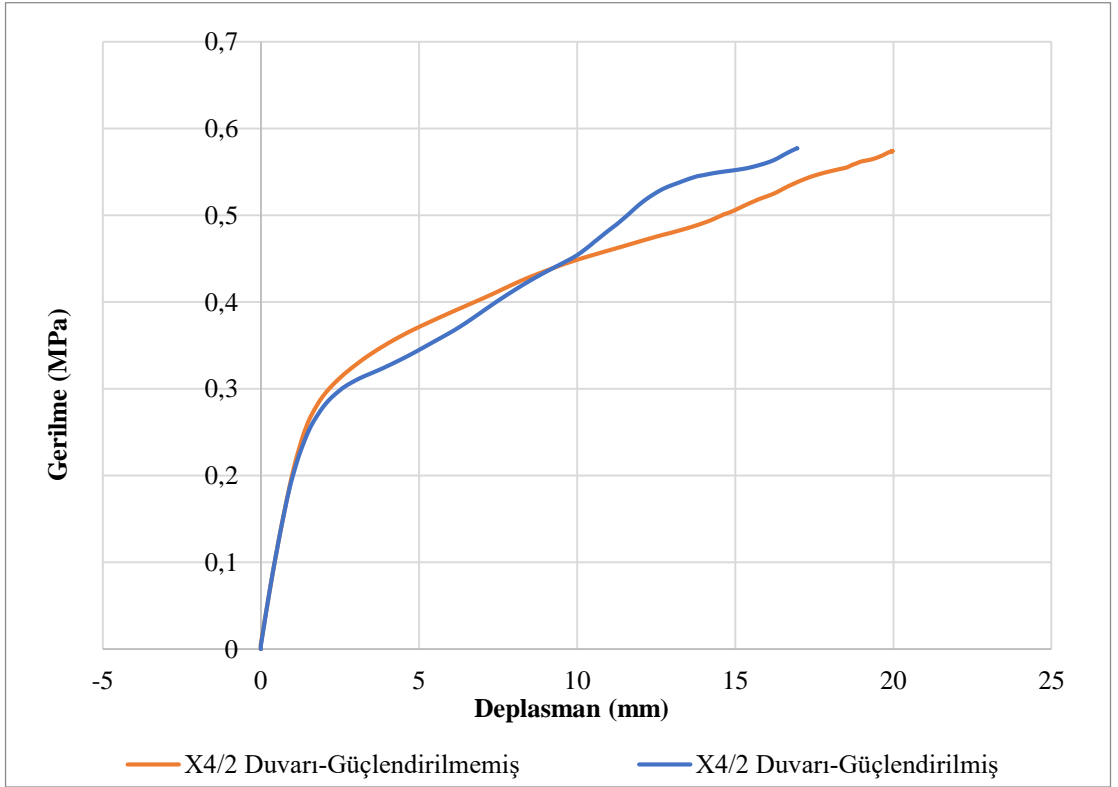
Çizelge 5.6 X3/2 Duvarı Gerilme - Deplasman Eğrisi



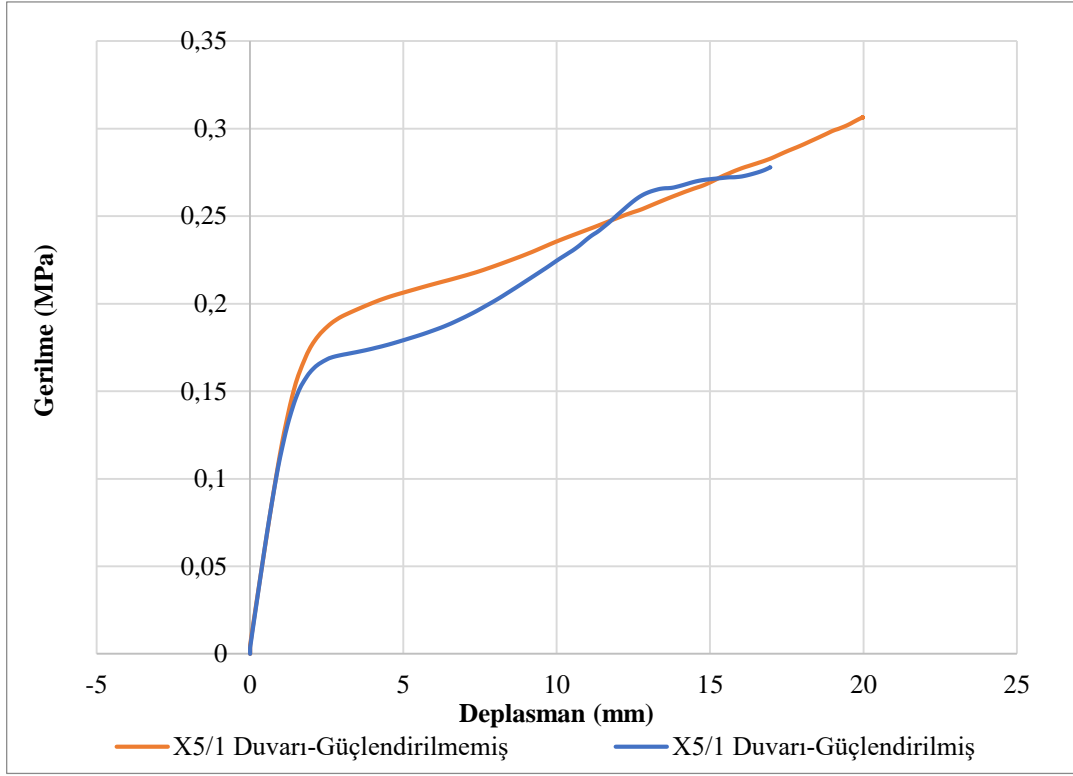
Çizelge 5.7 X4/1 Duvarı Gerilme - Deplasman Eğrisi



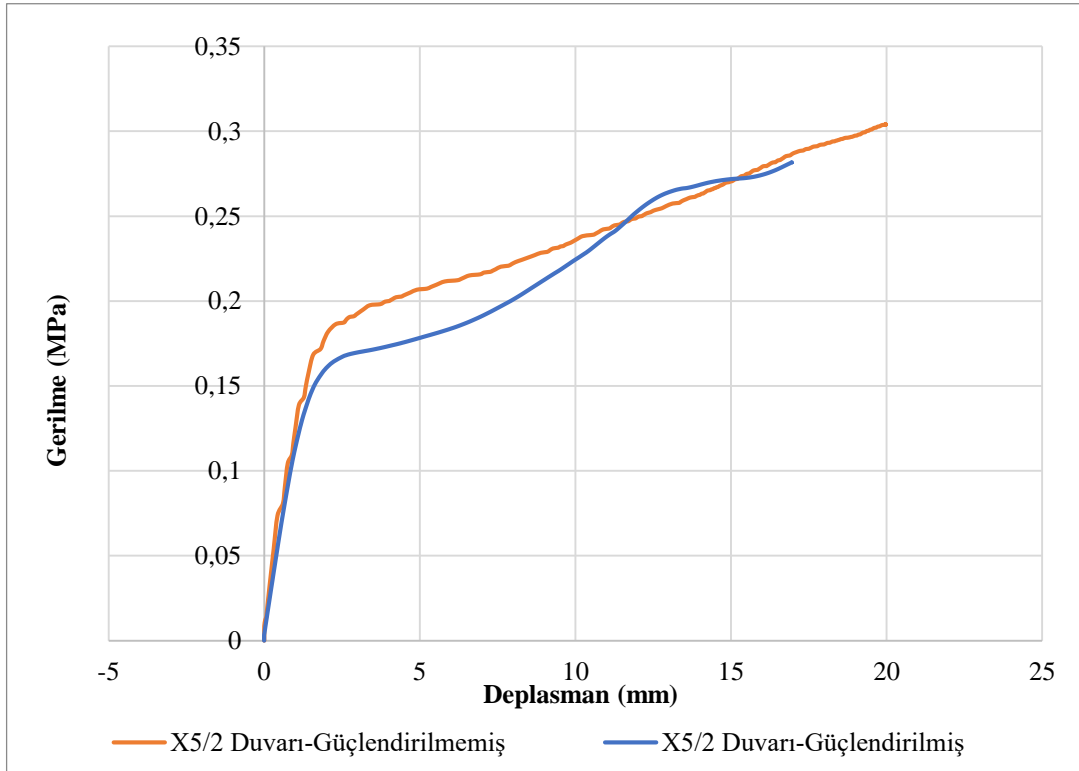
Çizelge 5.8 X4/2 Duvarı Gerilme - Deplasman Eğrisi



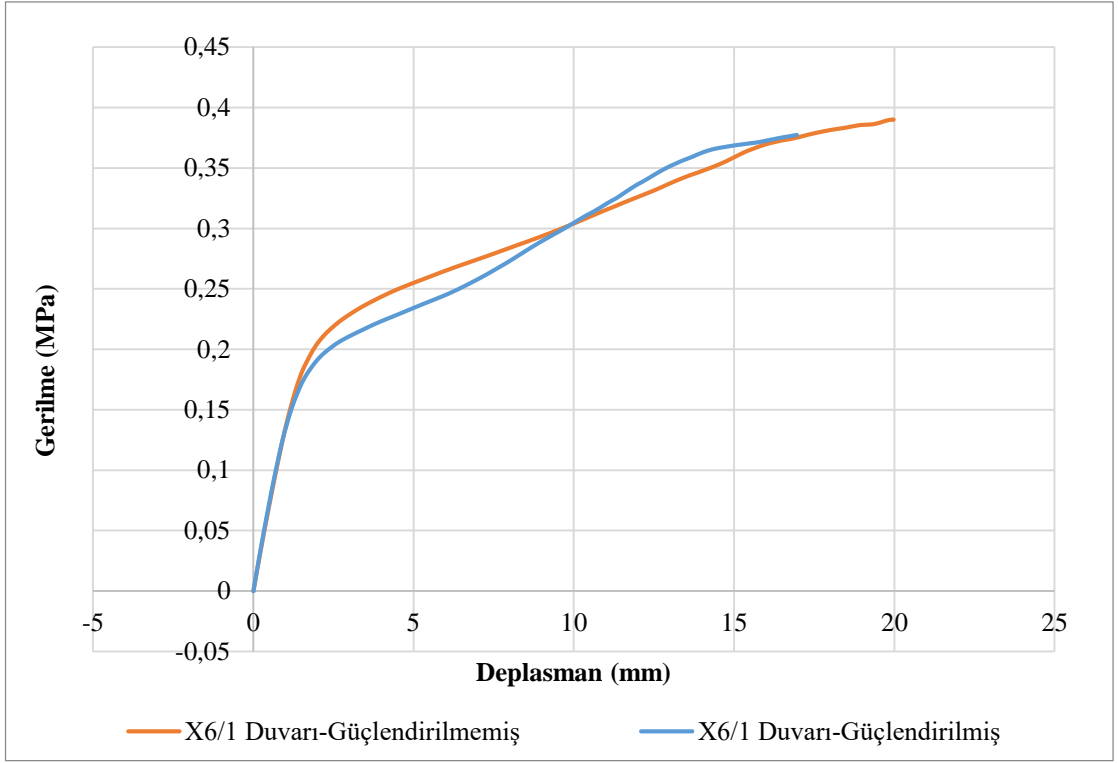
Çizelge 5.9 X5/1 Duvarı Gerilme - Deplasman Eğrisi



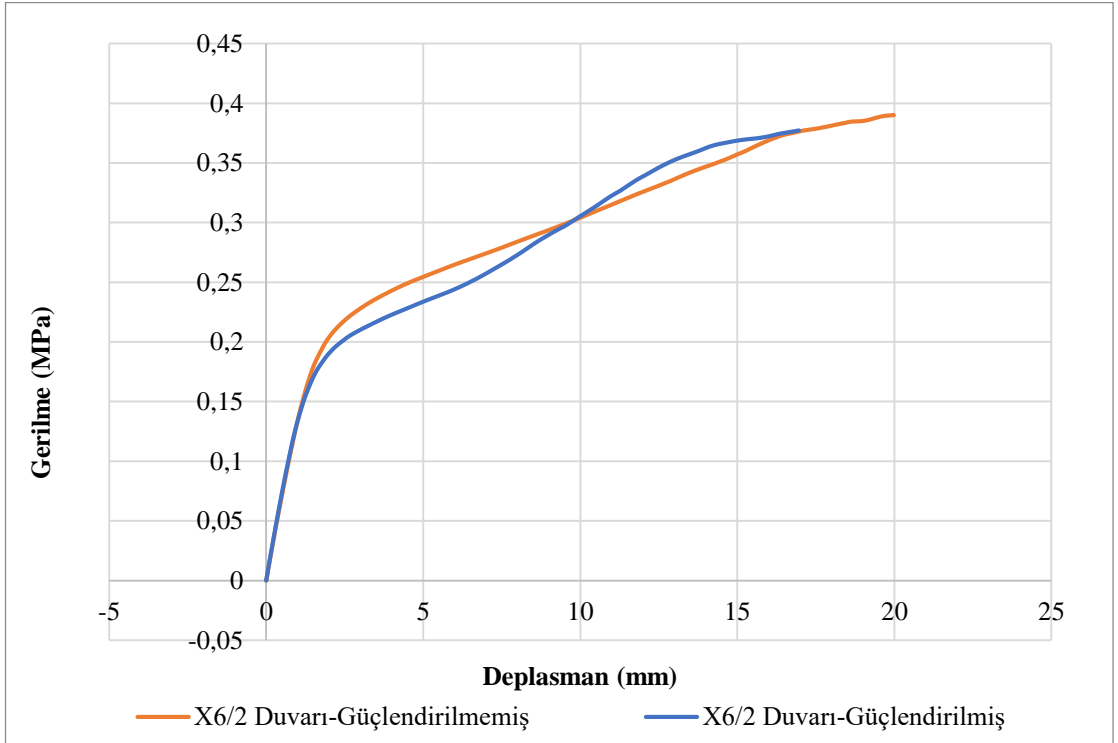
Çizelge 5.10 X5/2 Duvarı Gerilme - Deplasman Eğrisi



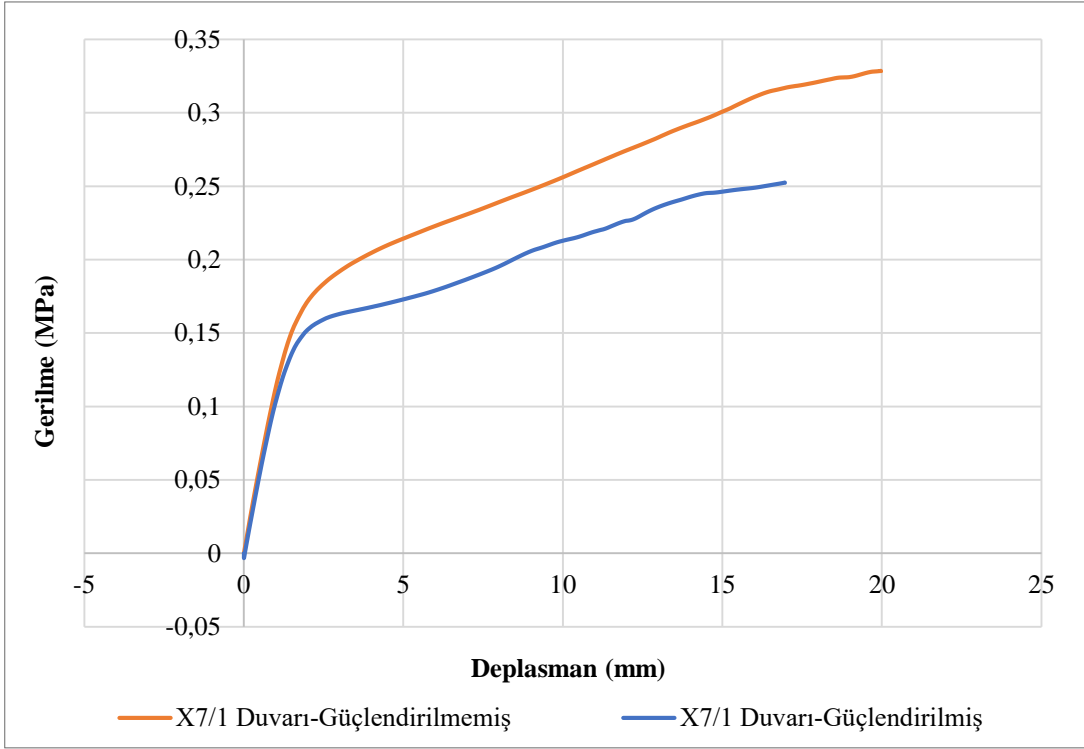
Çizelge 5.11 X6/1 Duvarı Gerilme - Deplasman Eğrisi



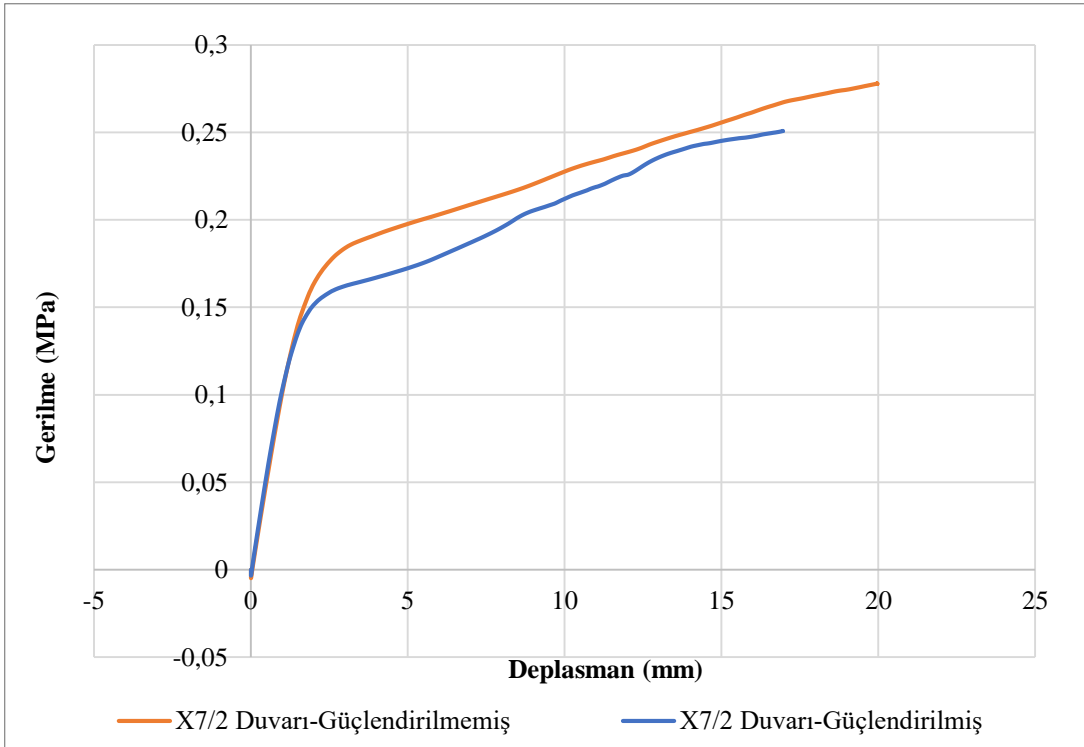
Çizelge 5.12 X6/2 Duvarı Gerilme - Deplasman Eğrisi



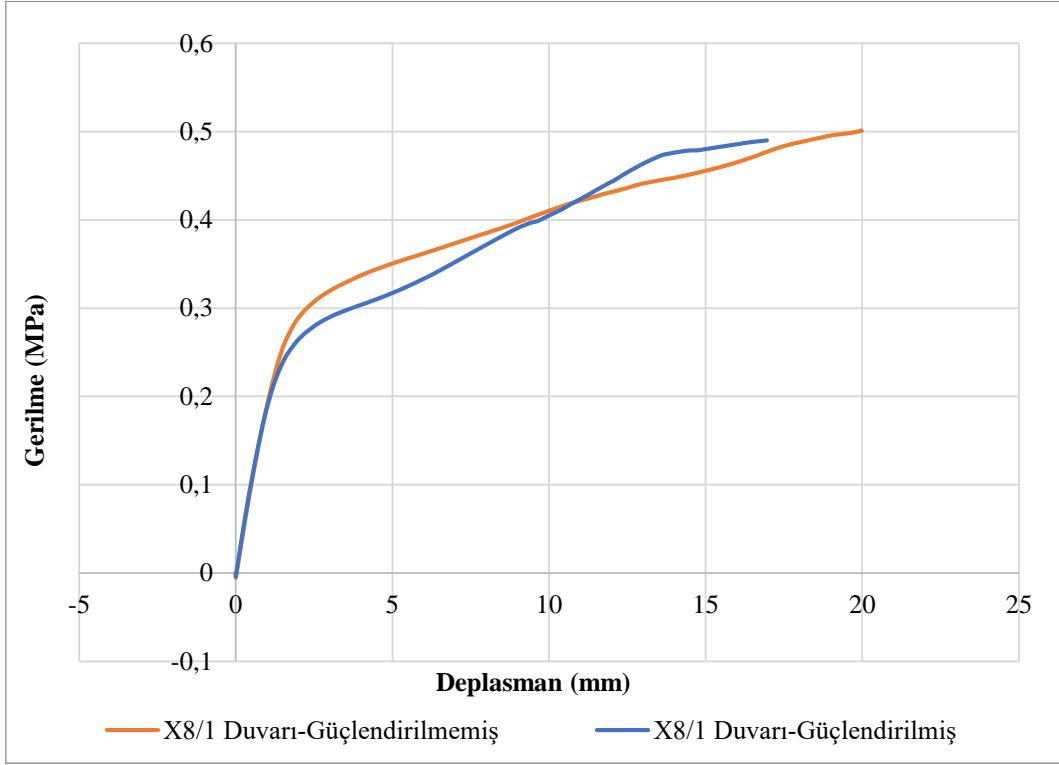
Çizelge 5.13 X7/1 Duvarı Gerilme - Deplasman Eğrisi



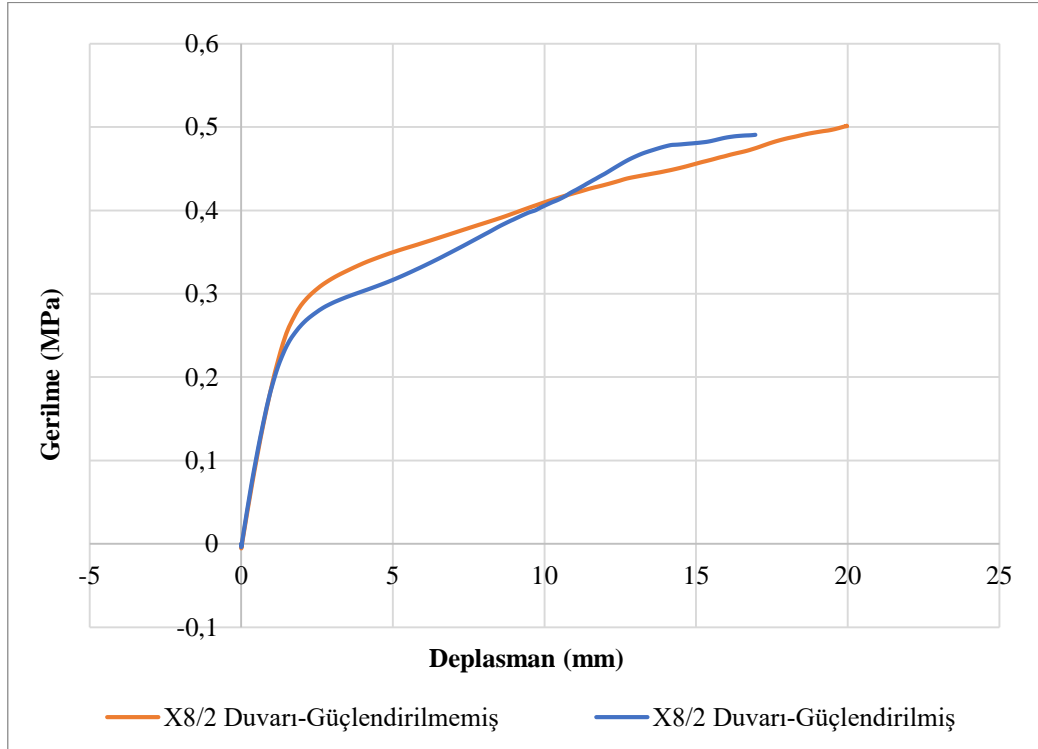
Çizelge 5.14 X7/2 Duvarı Gerilme - Deplasman Eğrisi



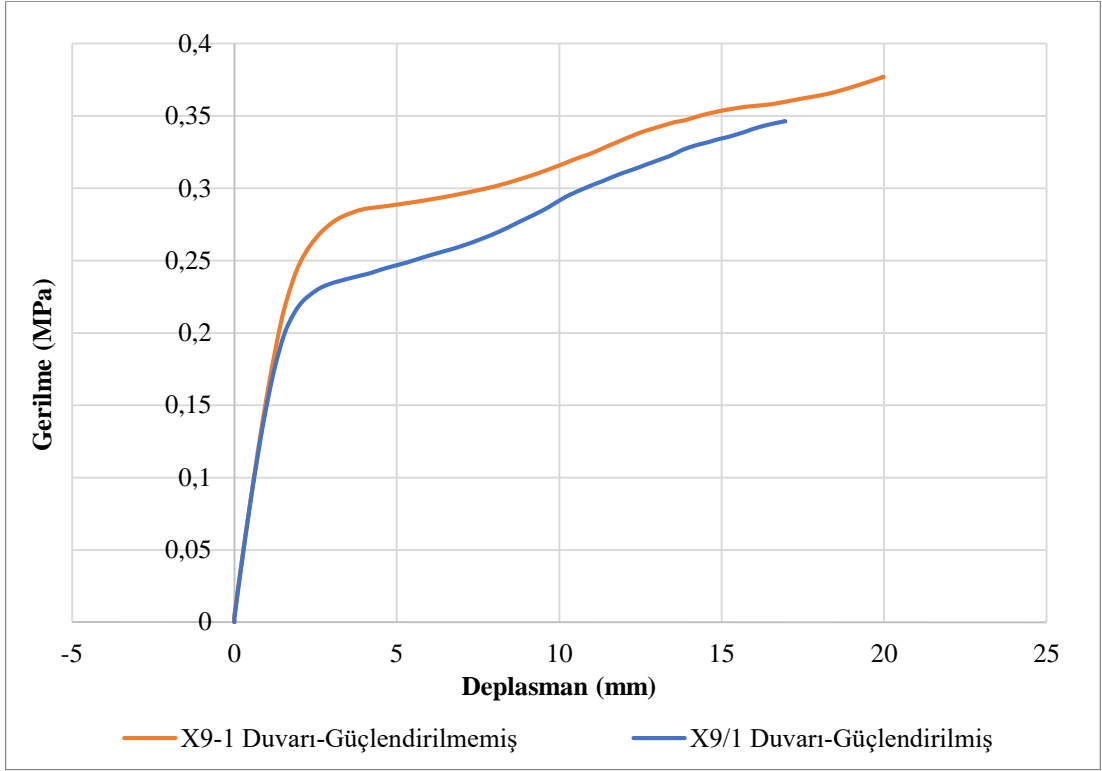
Çizelge 5.15 X8/1 Duvarı Gerilme - Deplasman Eğrisi



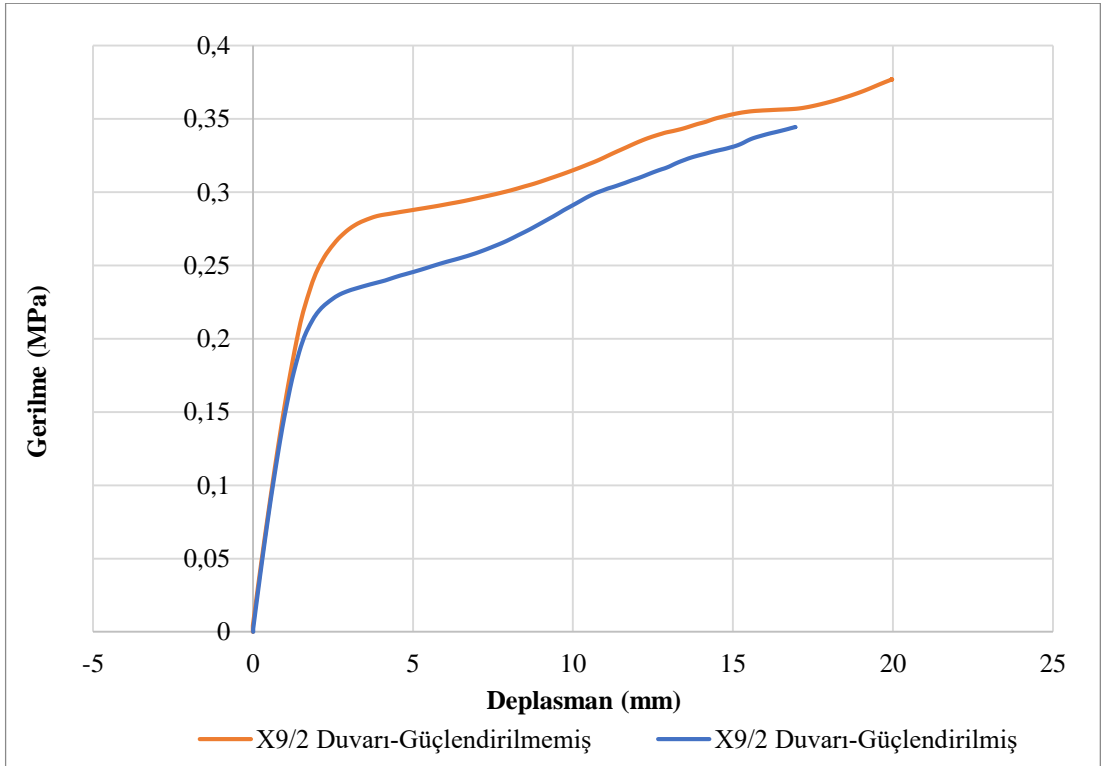
Çizelge 5.16 X8/2 Duvarı Gerilme - Deplasman Eğrisi



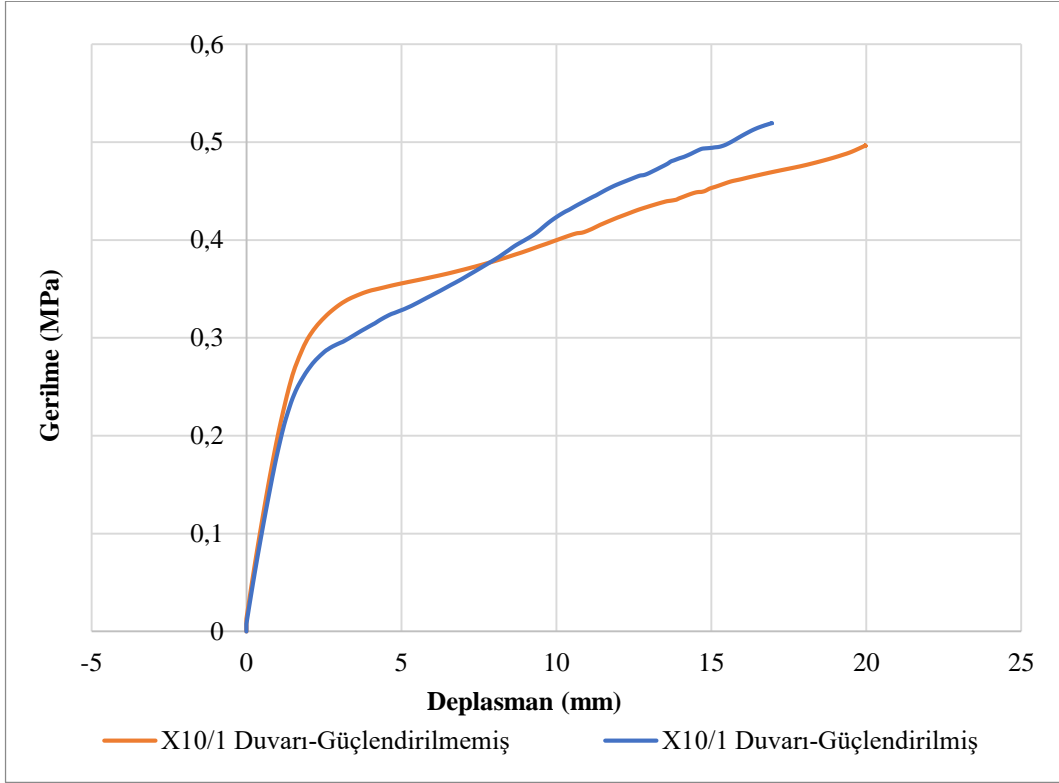
Çizelge 5.17 X9/1 Duvarı Gerilme - Deplasman Eğrisi



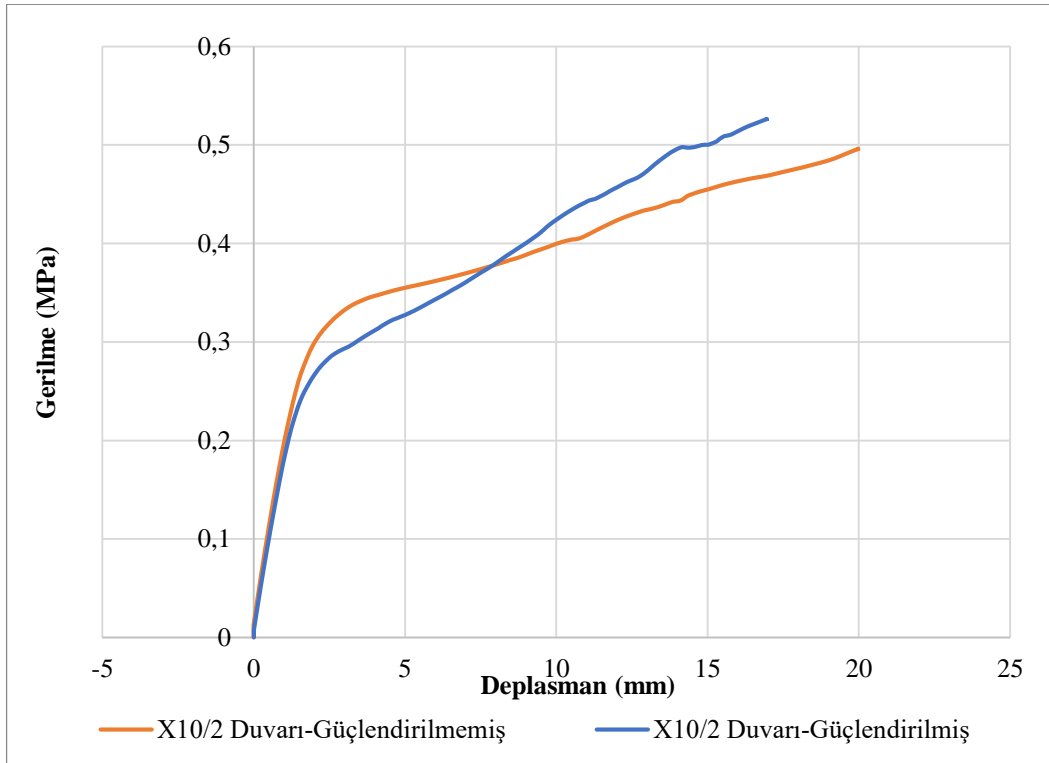
Çizelge 5.18 X9/2 Duvarı Gerilme - Deplasman Eğrisi



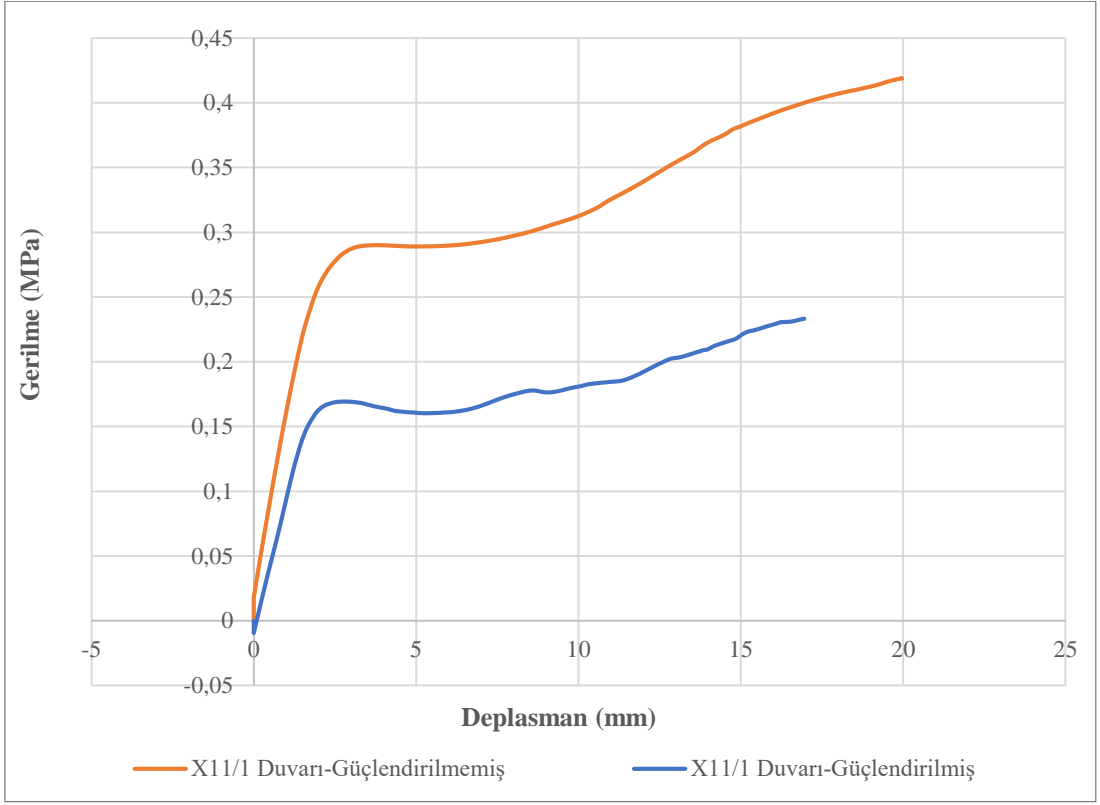
Çizelge 5.19 X10/1 Duvarı Gerilme - Deplasman Eğrisi



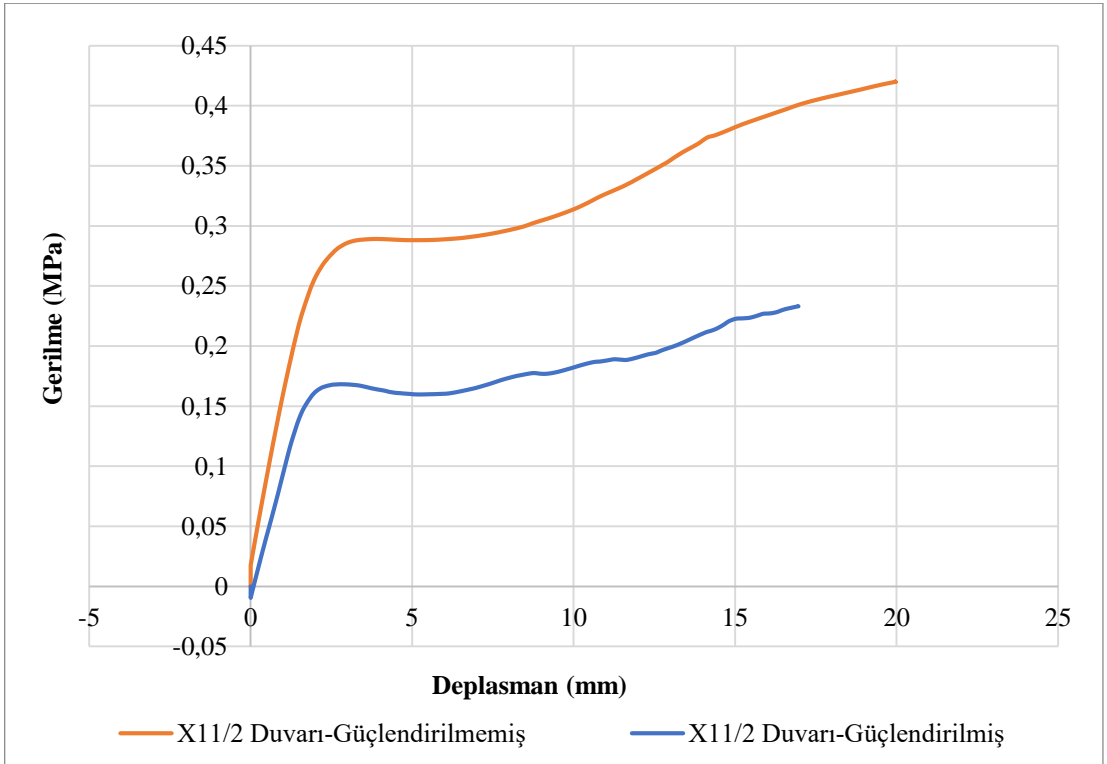
Çizelge 5.20 X10/2 Duvarı Gerilme - Deplasman Eğrisi



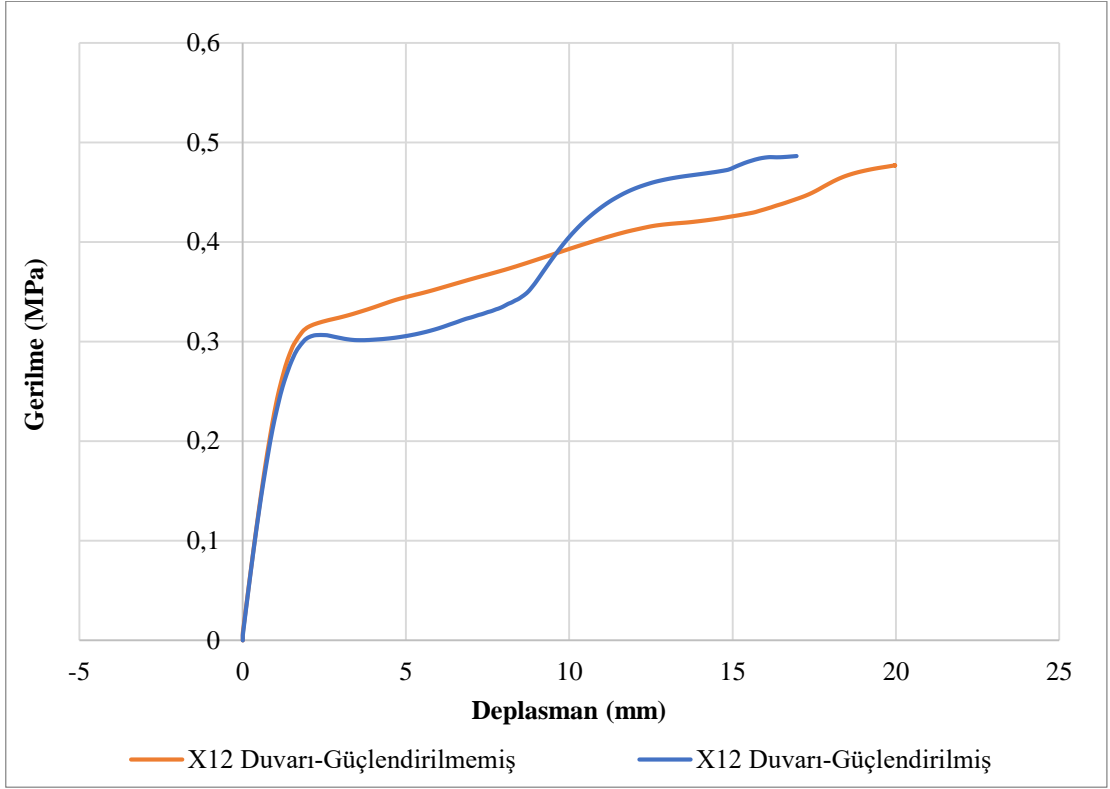
Çizelge 5.21 X11/1 Duvarı Gerilme - Deplasman Eğrisi



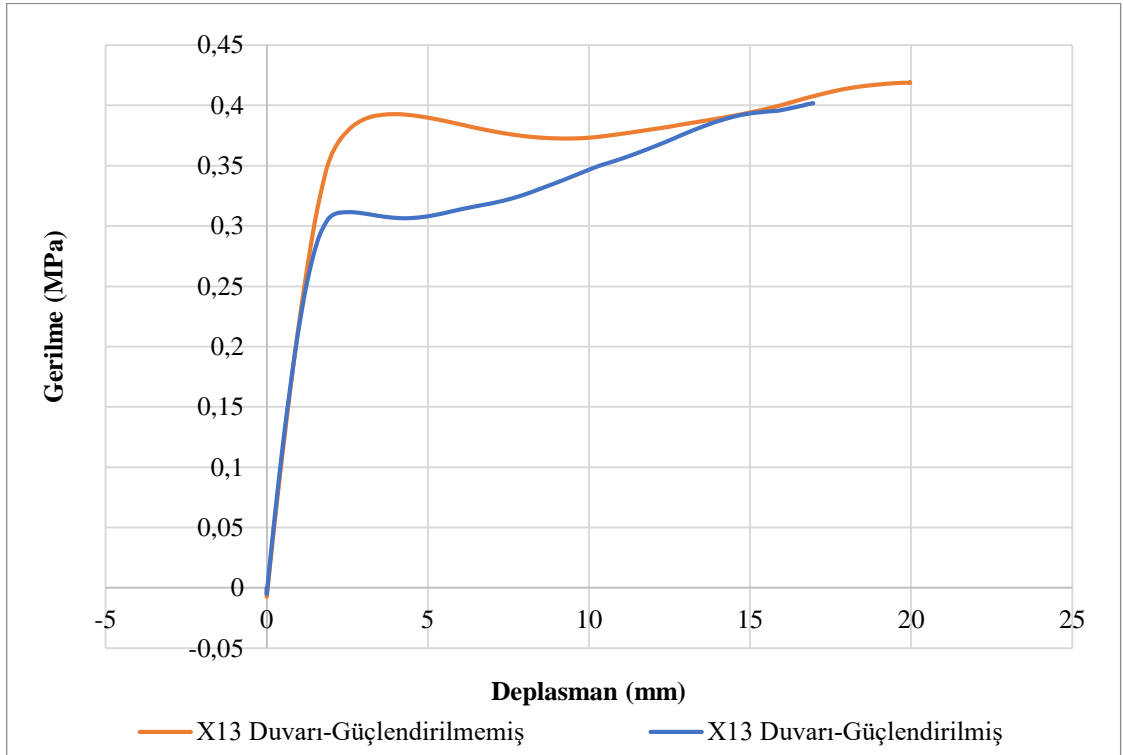
Çizelge 5.22 X11/2 Duvarı Gerilme - Deplasman Eğrisi



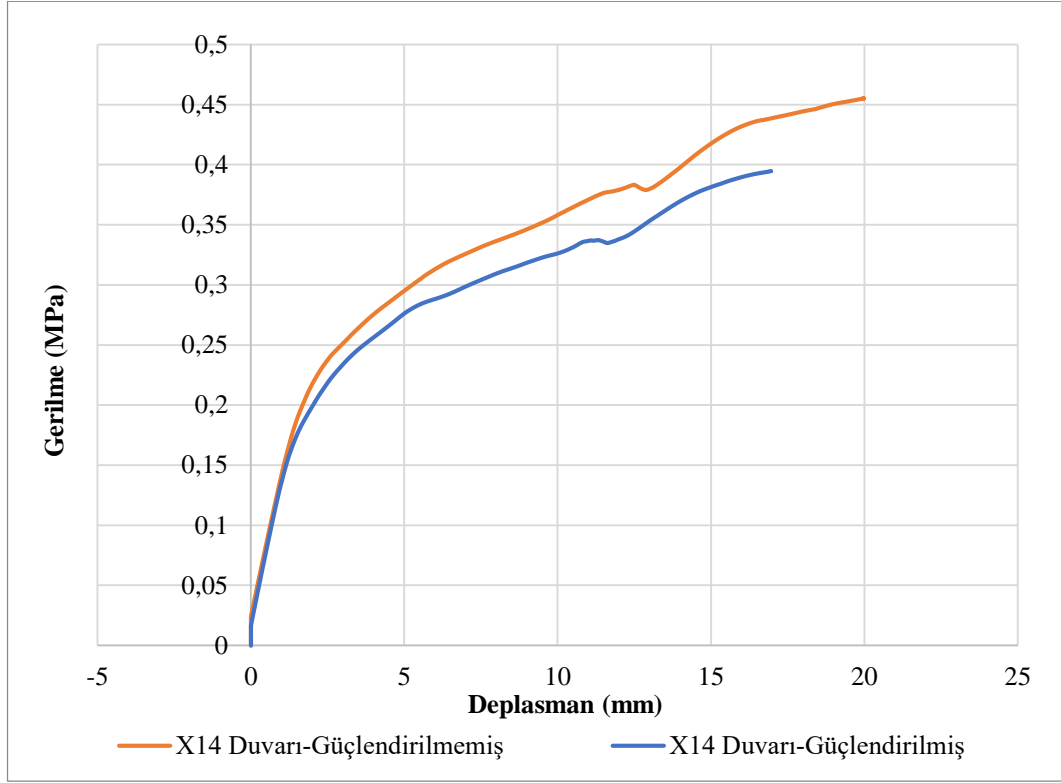
Çizelge 5.23 X12 Duvarı Gerilme - Deplasman Eğrisi



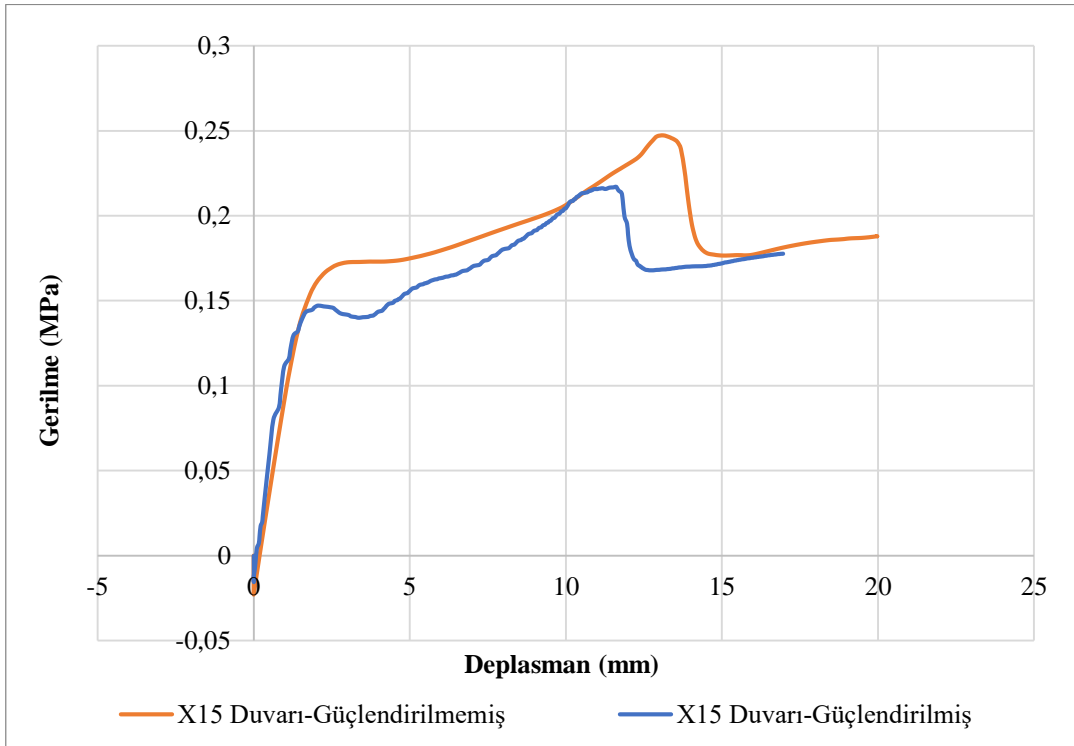
Çizelge 5.24 X13 Duvarı Gerilme - Deplasman Eğrisi



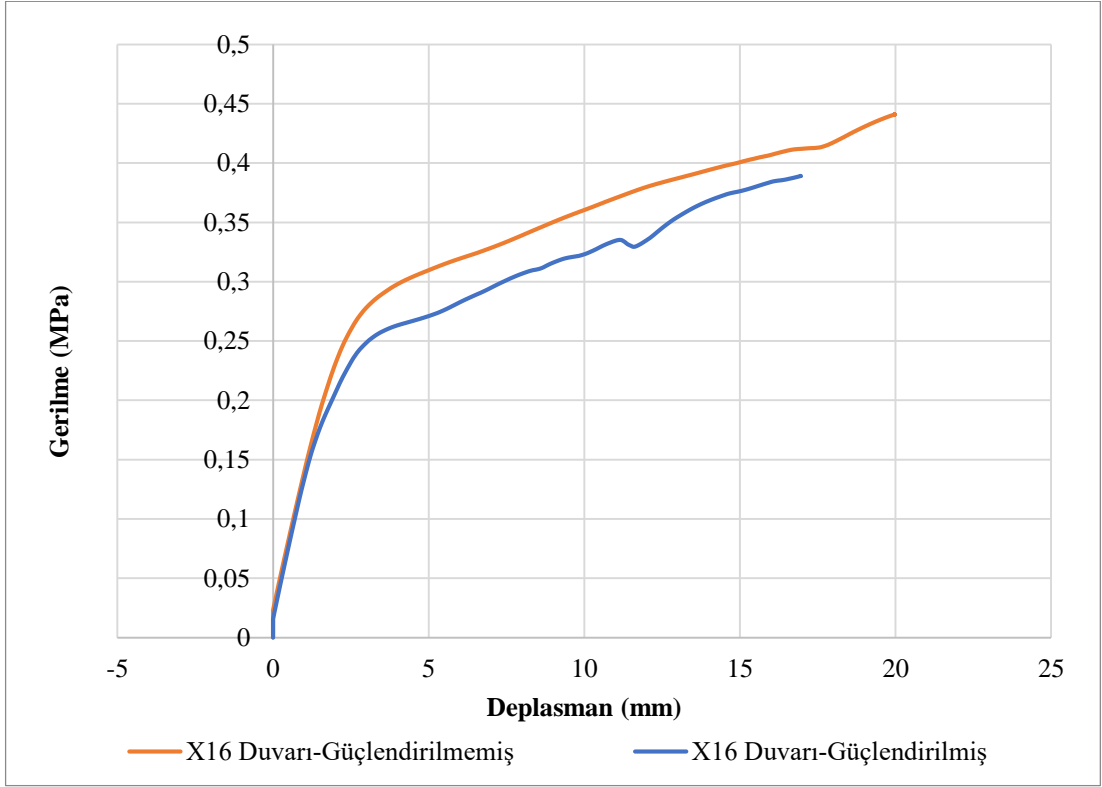
Çizelge 5.25 X14 Duvarı Gerilme - Deplasman Eğrisi



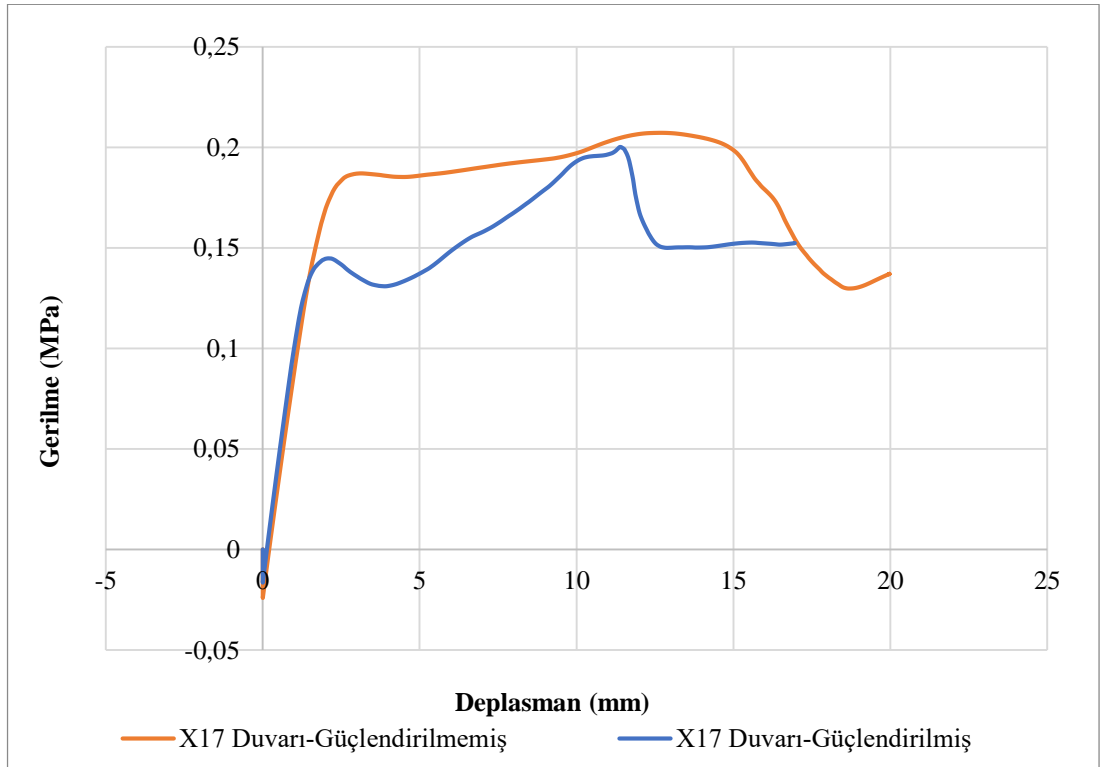
Çizelge 5.26 X15 Duvarı Gerilme - Deplasman Eğrisi



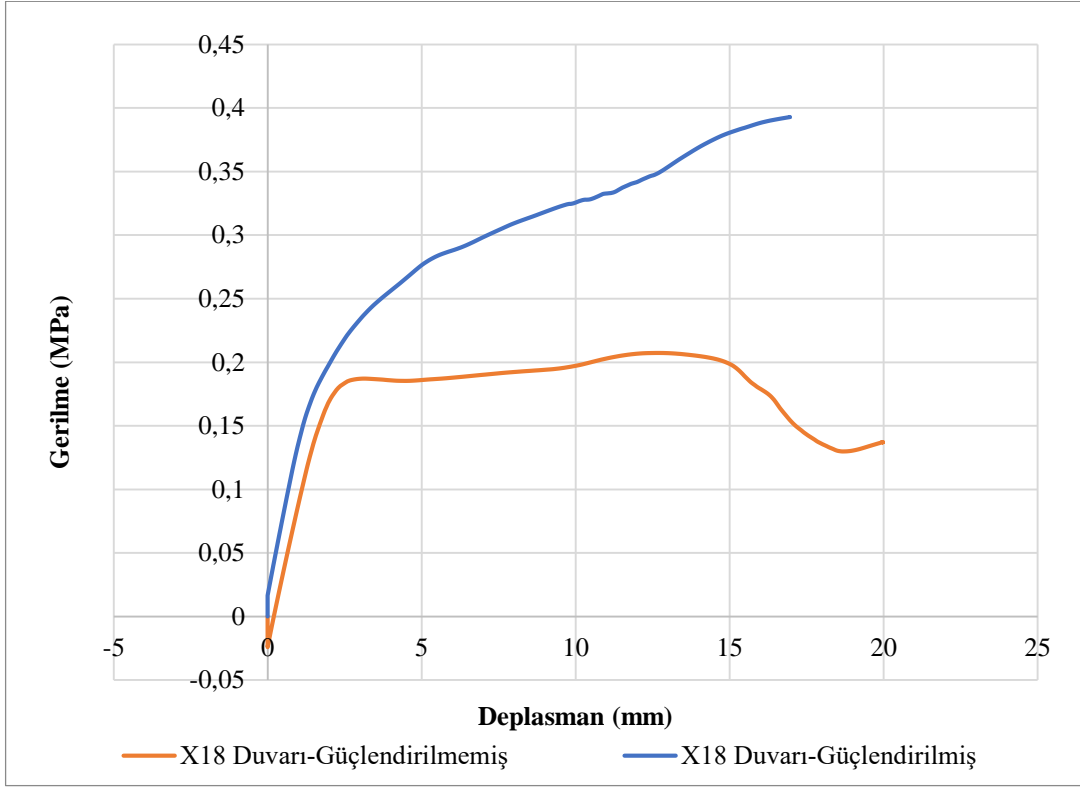
Çizelge 5.27 X16 Duvarı Gerilme - Deplasman Eğrisi



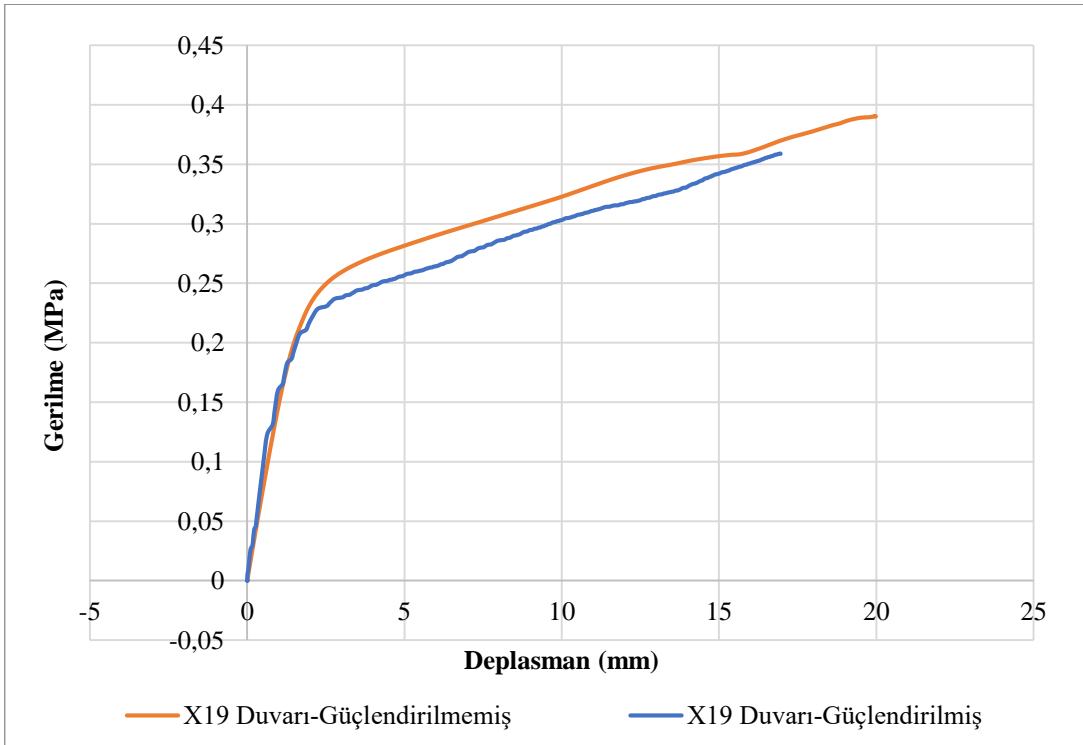
Çizelge 5.28 X17 Duvarı Gerilme - Deplasman Eğrisi



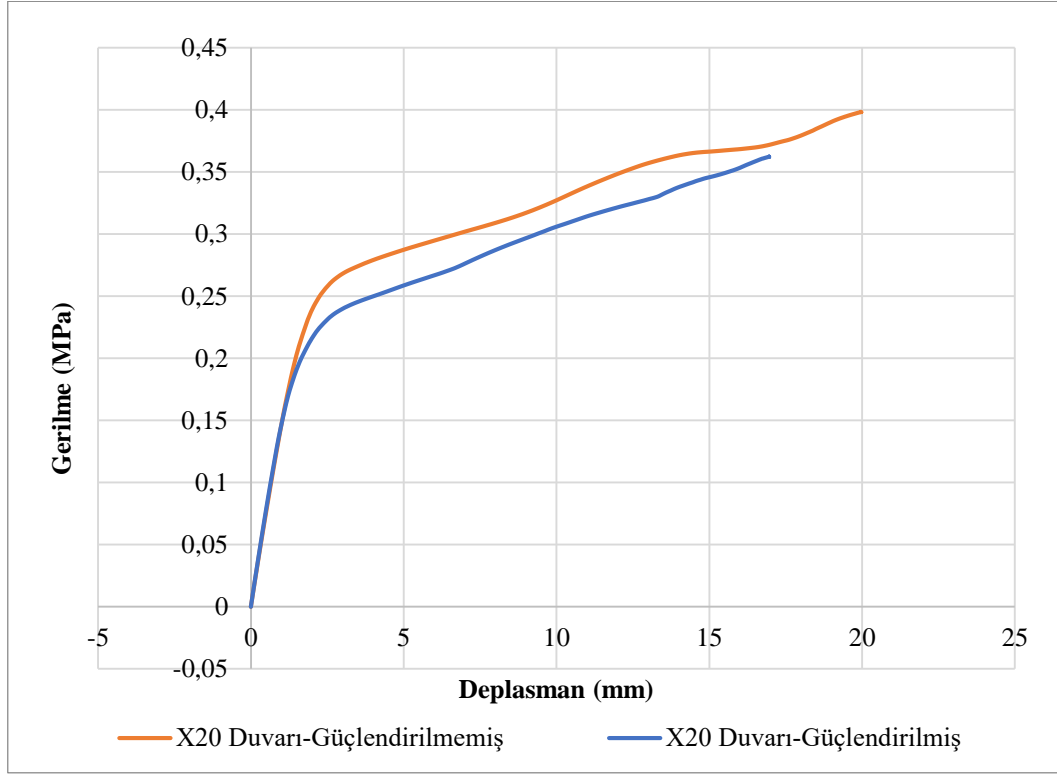
Çizelge 5.29 X18 Duvarı Gerilme - Deplasman Eğrisi



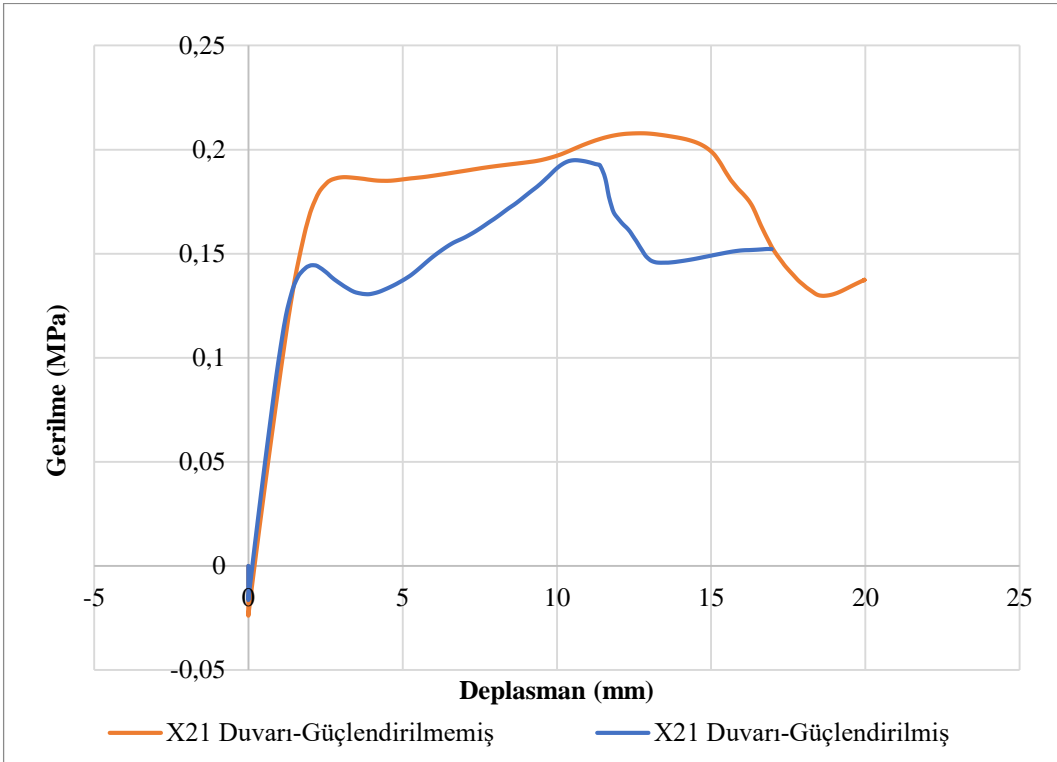
Çizelge 5.30 X19 Duvarı Gerilme - Deplasman Eğrisi



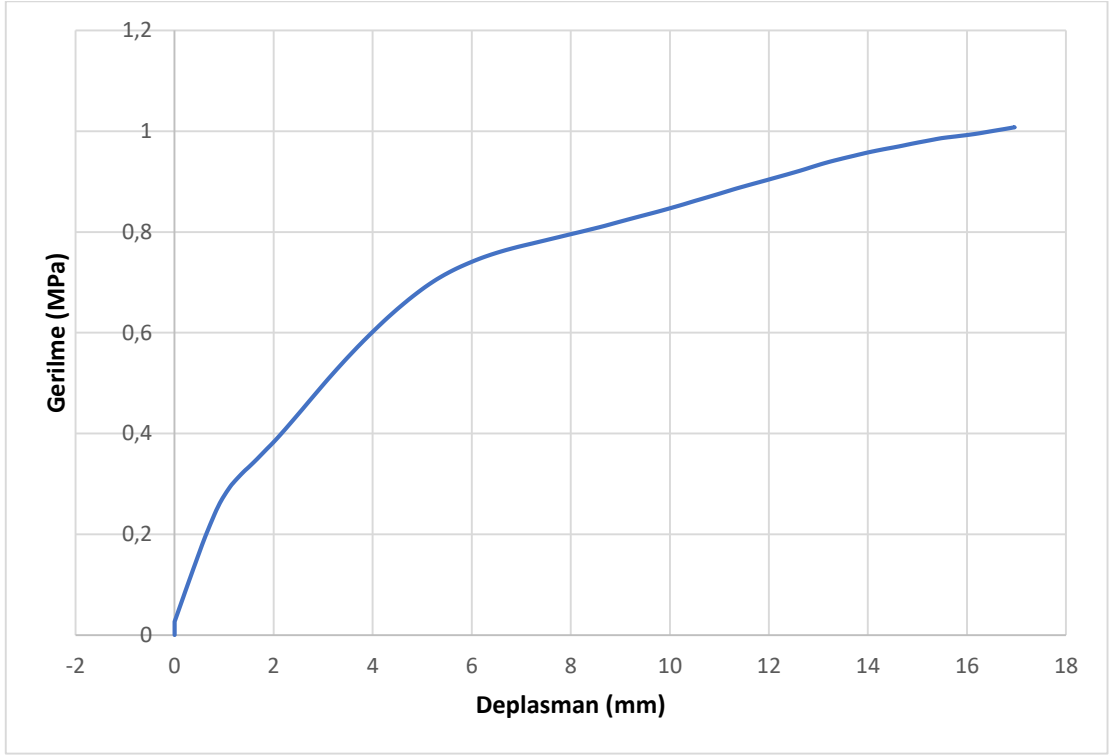
Çizelge 5.31 X20 Duvarı Gerilme - Deplasman Eğrisi



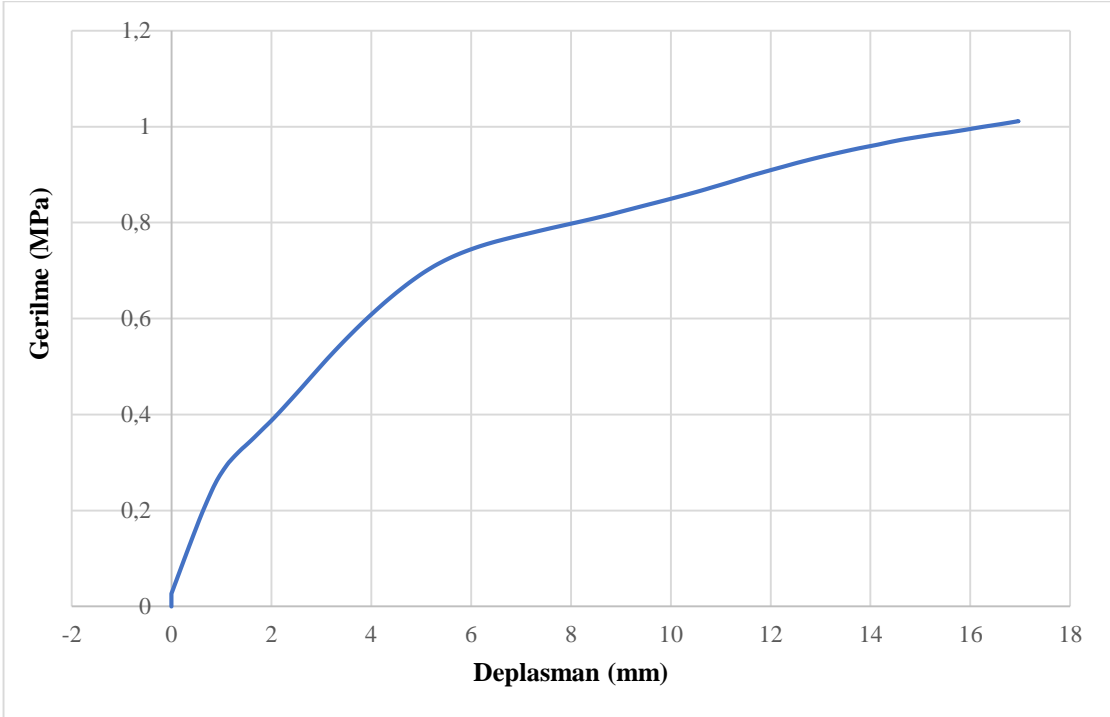
Çizelge 5.32 X21 Duvarı Gerilme - Deplasman Eğrisi



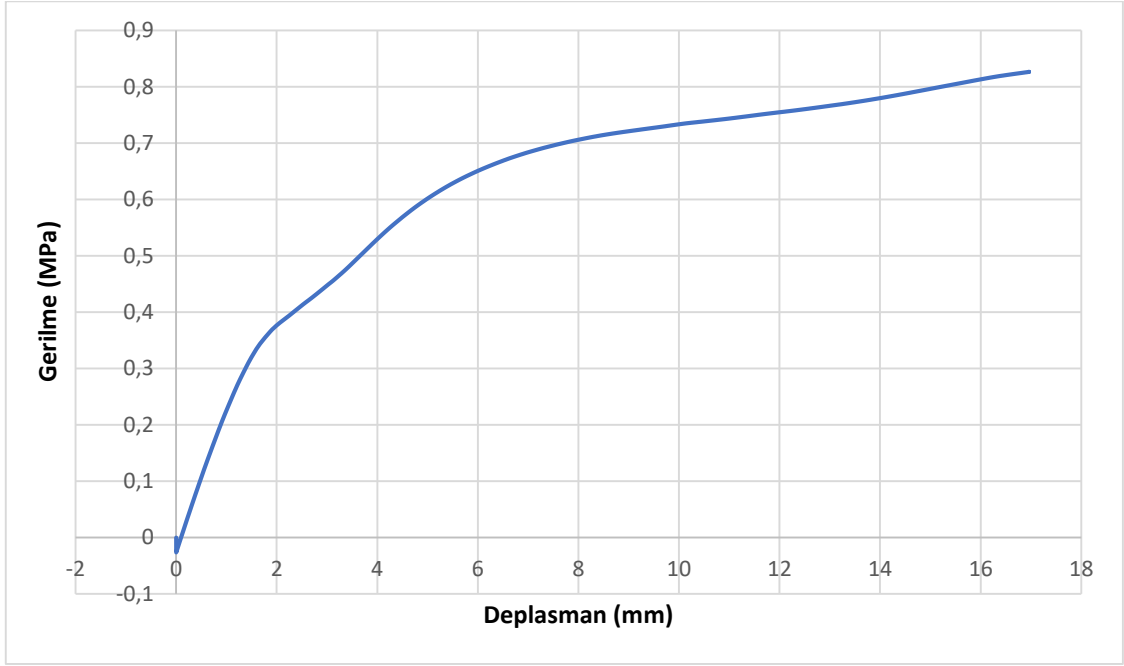
Çizelge 5.33 Perde-1 Gerilme - Deplasman Eğrisi



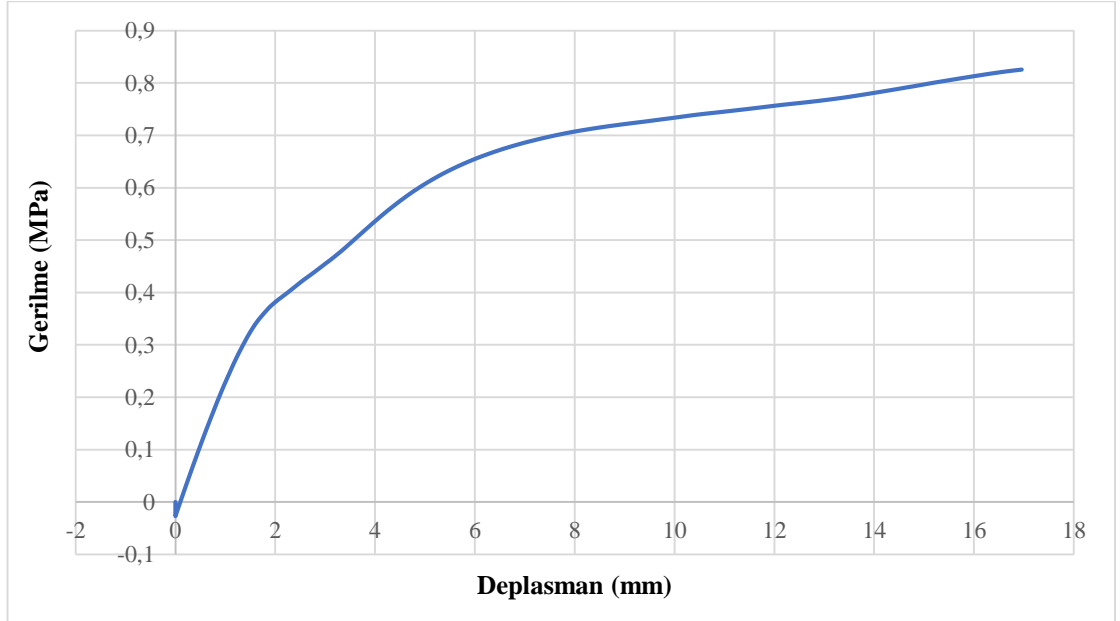
Çizelge 5.34 Perde-2 Gerilme - Deplasman Eğrisi



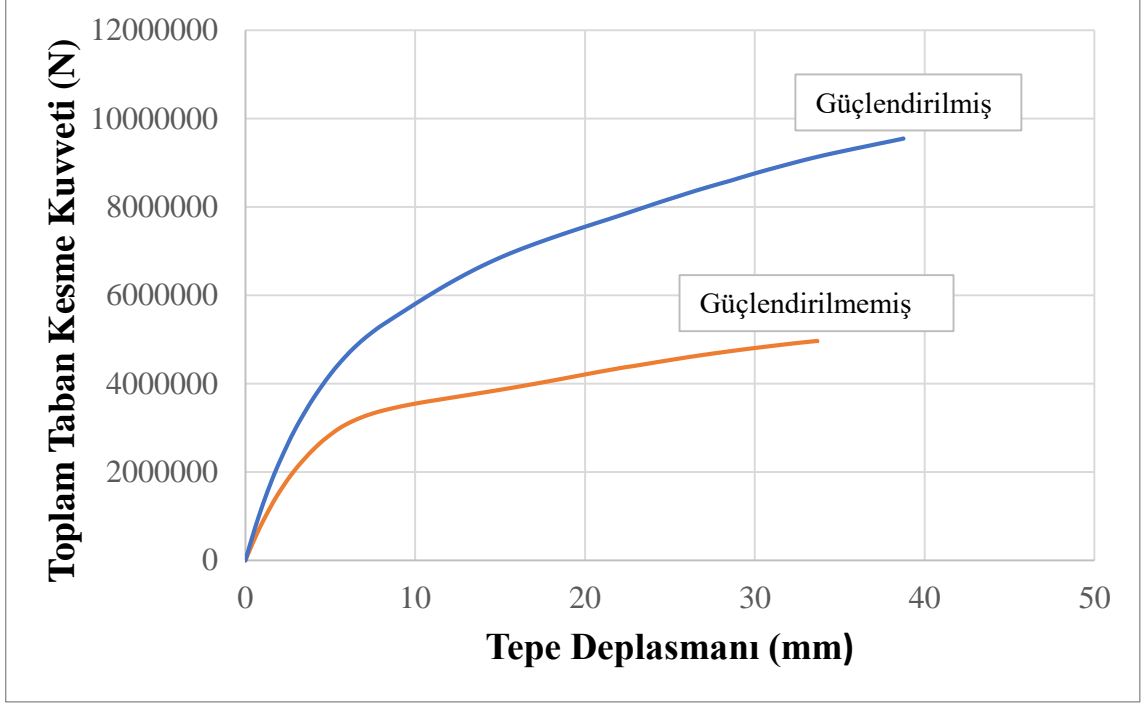
Çizelge 5.35 Perde-3 Gerilme - Deplasman Eğrisi



Çizelge 5.36 Perde-4 Gerilme - Deplasman Eğrisi

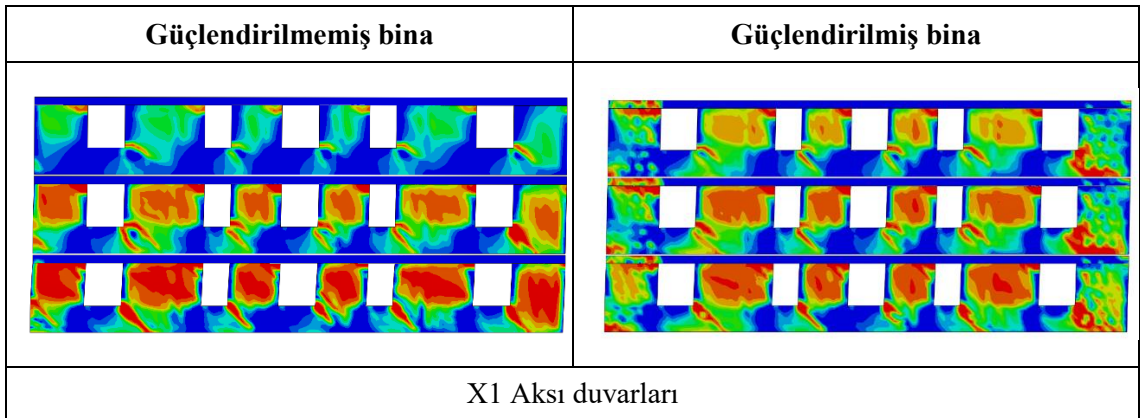


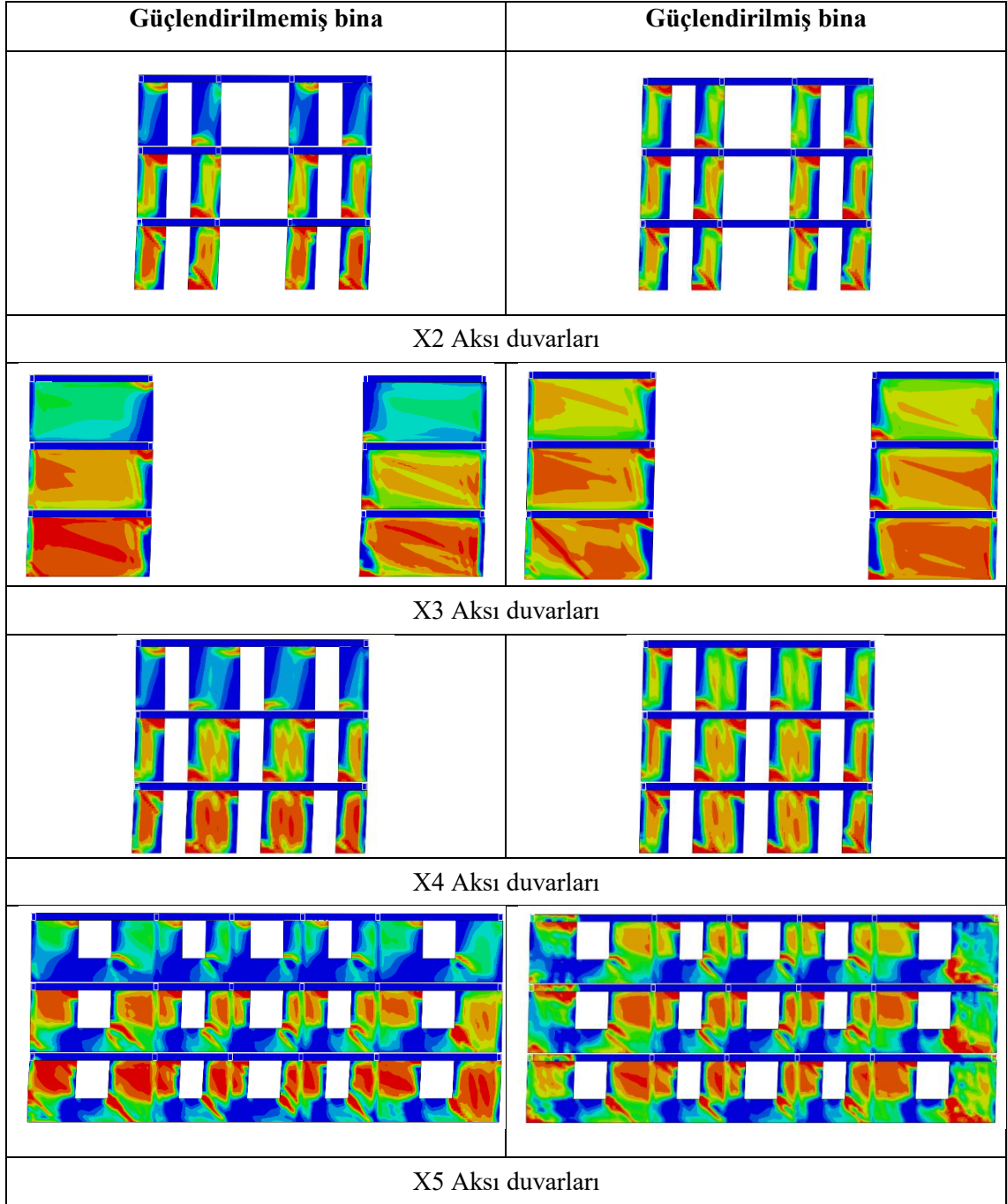
Şekil 5.2’de güçlendirilmiş ve güçlendirilmemiş binalara ait toplam taban kesme kuvvetine karşılık 3. kat deplasmanı olan tepe deplasmanı grafiği verilmiştir. Binada taşıyıcı olan tüm duvarların alt mesnet seviyesinde meydana gelen X yönü (kesme) reaksiyonları toplanarak toplam taban kesme kuvveti elde edilmiştir.



Şekil 5.2 Güçlendirilmiş ve güçlendirilmemiş binalara ait toplam taban kesme kuvveti-tepe deplasmanı grafiği

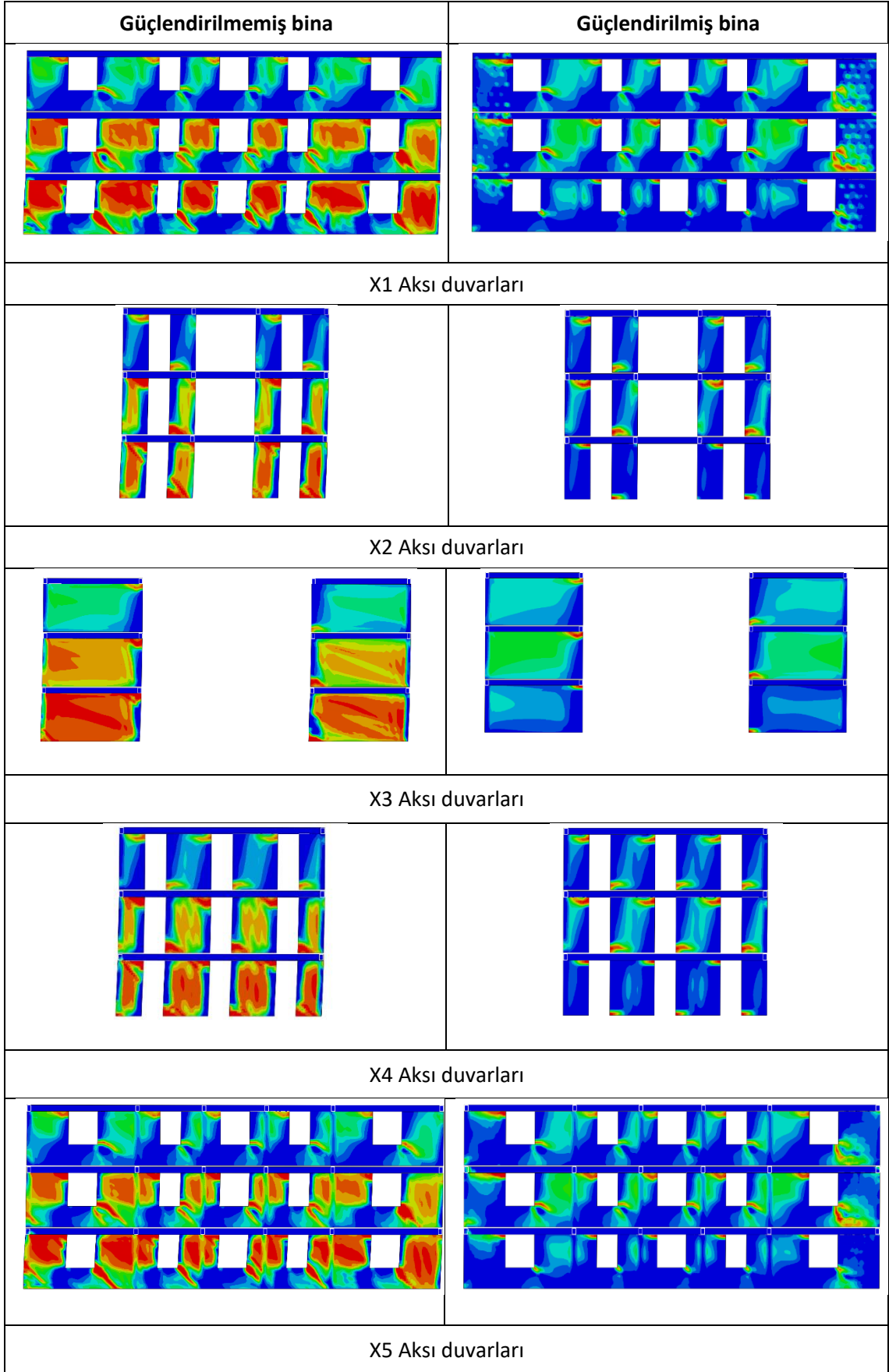
Şekil 5.3’de güçlendirilmiş ve güçlendirilmemiş binaların X yönündeki duvarlarında meydana gelen çekme hasarı dağılımları karşılaştırılmıştır. İlk olarak Şekil 5.2’de, 33mm tepe deplasman (3. kat) seviyesinde meydana gelen hasar durumları karşılaştırılmıştır. Bu deplasman seviyesinde güçlendirilmiş binanın güçlendirilmemiş binaya göre daha fazla yatay yüke maruz kaldığını göz önünde bulundurmak gereklidir.





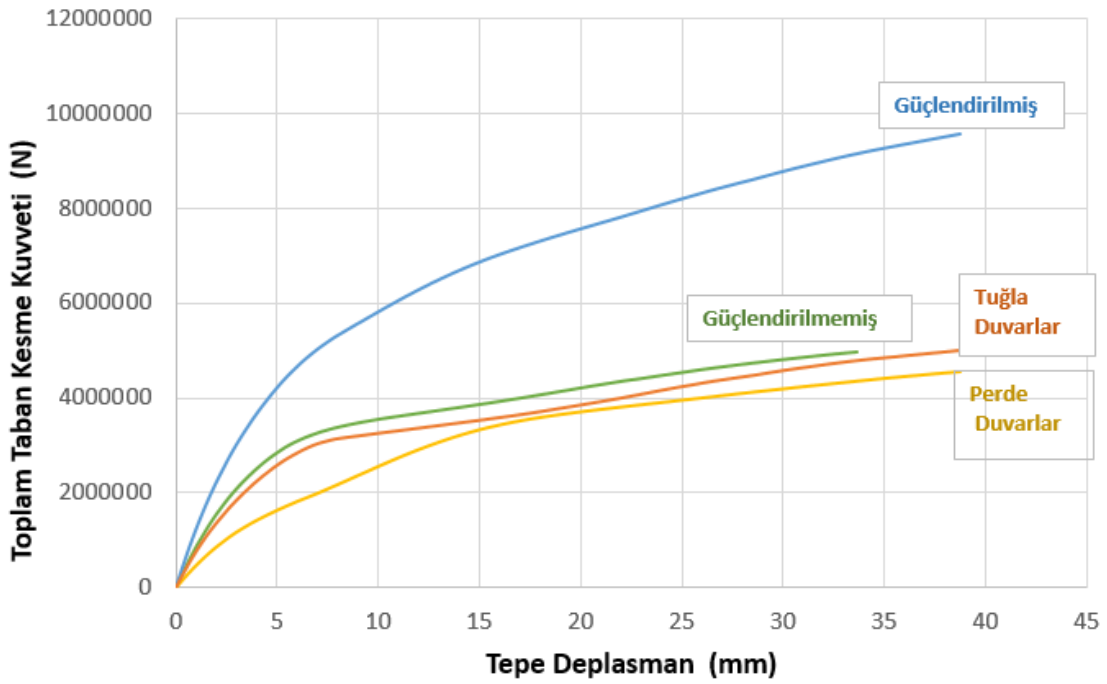
Şekil 5.3 aynı yatay tepe deplasmanı noktasında X yönü duvarlarında meydana gelen çekme hasarlarının karşılaştırılması

Şekil 5.4’de güçlendirilmiş ve güçlendirilmemiş binaların X yönündeki duvarlarında meydana gelen çekme hasarı dağılımları karşılaştırılmıştır. Aynı yatay yük seviyesinde (4969 kN) meydana gelen hasar durumları tespit edilmiştir.



Şekil 5.4 Aynı yatay yük altında X yönü duvarlarında meydana gelen çekme hasarlarının karşılaştırılması

Şekil 5.5'te güçlendirilmiş binada tuğla duvarların ve betonarme perde duvarların, toplam taban kesme kuvvetine yaptığı katkı gösterilmiştir. Tuğla duvarların ve perde duvarların taban kesme kuvvetleri, tepe deplasmanına göre ayrı ayrı verilmiştir. Şekil 5.5'ten de görüleceği gibi güçlendirilmiş bina güçlendirilmemiş binaya göre çok daha fazla yatay kuvvete maruz kalmasına rağmen, tuğla duvarlarda meydana gelen kesme kuvvetlerinin toplamı güçlendirilmemiş binanın tuğla duvarlarında meydana gelen toplam kuvvetten azdır.



Şekil 5.5 Duvarların toplam taban kesme kuvvetine yaptığı katkının grafiği

6. SONUÇLAR

Bu çalışmada; 3 boyutlu yığma bir binanın doğrusal olmayan analizi yapılmıştır. Yapı duvarlarının gerilme-birim deformasyon eğrisinin elde edilmesi için literatürde bulunan bir deneysel çalışma modellenmiş ve önerilen modelin geçerliliği sınanmıştır.

Çalışmanın ikinci aşamasında; 3 katlı gerçek bir bina sonlu elemanlar modeli çizilmiştir Model bina yatay itmeye tabi tutularak toplam taban kesme kuvveti-kat deplasmanı eğrileri elde edilmiştir. Binada her bir duvarda meydana gelen gerilmeler her bir yükleme adımı için hesaplanmıştır.

İkinci modelleme kısmında binanın her dört köşesine “L” şeklinde betonarme dış perde duvarlar yerleştirilmiştir. Betonarme perde duvarlar için ilk olarak temel çukuru kazılmış olup yeni ve eski temeller kaynaştırılmıştır. Perde duvarların bir tarafında kalıp olarak eski yığma duvar kullanılmıştır. Döşeme, yatay hatıl ve yığma duvar tuğlalarına delikler açılarak ankraj kamaları çakılmıştır. Bu sayede eski ve yeni elemanlar arasında kesme kuvveti aktarımı sağlanmıştır. Sonlu elemanlar modelinde; eski binadan yeni perde duvarlara yük aktarımında sadece ankraj kamaları göz önüne alınmıştır.

Yatay yükleme, depremi benzeştirecek şekilde katlara yatay olarak verilmiş ve bina yüksekliği boyunca ters üçgen profilini sağlayacak şekilde modellenmiştir. Bunun için özel bir yükleme sistemi sonlu elemanlar programında modellenmiştir. Yatay yükleme artan yatay deplasmanlar şeklinde uygulanmıştır. Bu sayede yapıda yük taşıma kapasitesinde düşmenin meydana geldiği noktadan sonraki adımlarda da çözüm olanağı elde edilmiştir.

Hem güçlendirilmemiş hem de güçlendirilmiş binada depremi benzeştiren yatay yükleme sonucunda toplam taban kesme kuvvetine karşı kat deplasmanları elde edilmiştir. Güçlendirme işlemi, yatay yük taşıma kapasitesini %83 artırmıştır. Bu artışa rağmen tuğla duvarların taşıdığı toplam taban kesme kuvveti ise azalmıştır.

Her bir duvar parçasında yükleme adımları süresince oluşan gerilmeler karşılaştırıldığında, güçlendirilmiş bina duvarlarında oluşan kesme gerilmeleri, güçlendirilmemiş bina duvarlarına göre azalmıştır.

Bu çalışmada önerilen güçlendirme yöntemi binanın dışından uygulandığı için, güçlendirme uygulaması boyunca binanın boşaltılmasına gerek olmamıştır. Hastane, yurt gibi ticari faaliyetlerin sürdürüldüğü binalarda güçlendirme işlemi boyunca fonksiyon kaybı ek maliyetler getirmektedir. Bu açıdan önerilen güçlendirme, diğer metotlara göre avantajlara sahiptir. Bu çalışmada metot sadece analitik olarak ele alınmıştır. Yığma

yapıya dış betonarme perde duvar eklenmesiyle ilgili deneysel araştırmalara da ihtiyaç vardır.

7. KAYNAKLAR

- Akdeniz, Ö., 2011, Tarihi yapıların lineer olmayan dinamik analizi, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 88s
- Al-Chaar, G.K., and Mehrabi, A., 2008, Constitutive models for nonlinear finite element analysis of masonry prisms and infill walls, US Army Corps of Engineers, 71s.
- Asteris, P.G., and Tzamtzis, A.D., 2003, On the use of regular yield surface for the analysis of unreinforced masonry walls, Electronic Journal of Structural
- Ateş, T., 2013, İçten ve dıştan donatılı püskürtme beton ile güçlendirilen yığma duvarların düzlem dışı tekrarlı yük altındaki davranışı, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 152s.
- Bağbancı, B.M., 2009, Tarihi yapıların sonlu elemanlar yöntemiyle analizinin Bursa Ördekli Hamamı örneğinde incelenmesi, Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Fakültesi, Bursa, 232s.
- Batur, N., 1999, Donatısız yığma binaların yatay yükler altındaki davranışı ve bazı ülkelerin şartnamelerinin incelenmesi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 10-24
- Bayraktar, A., 2005, Tarihi yığma yapıların depreme karşı güçlendirilmesi, Yığma Yapıların Deprem Güvenliğinin Arttırılması Çalıştayı (YDGA2005), Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Ankara
- Bayülke, N., 2001, Yapıların onarım ve güçlendirilmesi, 9. Baskı, İMO İzmir Şubesi
- Bulgur, M., 2018, Tarihi binalarda titreşim ölçümü ve tarihi binaların sonlu elemanlar yöntemi ile modellenmesi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 128s
- Büyükgökmen, D., 2001, Donatılı yığma yapı tasarımı, İstanbul Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 127s.
- Can, Ö. Ve Yıldızoğlu H., 2018, Determination of earthquake performance in masonry buildings(Bayburt Korkut Ata High School Example), <http://dergipark.gov.tr/gumusfenbil>, 373-380
- Carbone, I.V., Fiore, A., Pistone, G., 2001, Çiftlik binaları (Le costruzioni in muratura), Hpepli, Milano
- Chen, X., 2016, Numarical study of the in-plane behaviour of concrete masonry infills bounded by steel frames, Dalhousie University, Nova Scotia, 242s.
- Çakıroğlu, G.M., 2014, Yığma yapıların güçlendirilmesi, Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Üniversitesi, Isparta, 238s.
- Doğan, H.N.A., 2016, Yığma duvarların mikro ve makro modelleme teknikleri ile lineer olmayan analizi , Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ, 71s.

- Demirel, İ.O., 2010, A nonlinear equivalent frame model for displacement based analysis of unreinforced brick masonry buildings, Middle East Technical University, Ankara, 238s.
- Demirel, I.O., Erberik, M.A., Sucuoğlu, H., 2011, Tuğla yığma yapıların performans esaslı değerlendirilmesi için doğrusal olmayan çerçeve modeli, 1. Türkiye Deprem ve Sismoloji Konferansı, 11-14 Ekim 2011, Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Ankara.
- Durak, S., 2008, Ege bölgesinde yaygın olarak kullanılan yığma yapılar ve bu yapıların deprem güvenliği, Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Denizli, 108s.
- Giordino, A., Mele, E., and De Luca, A., 2002, Modelling of historical masonry structures: comparison of different approaches through a case study, Engineering Structures, 24:1057-1069
- Gülkan, P., Sucuoğlu, H., 1988, Kırsal yapılarda deprem hasarlarının tayini, Deprem Araştırma Bülteni, 62, 5-44 Ankara.
- Işık, N., 2017, Geleneksel yığma yapılarda taşıyıcı sistem hasarları ve nedenlerinin tespiti ile güçlendirme ve tamamlayıcı müdahale önerileri; Diyarbakır-Suriçi örneği, Dicle Üniversitesi Fen Bilimleri Fakültesi, Diyarbakır, 521s.
- Kalkan, N., 2008, Düzlem dışı tersinir yüklenen yığma yapıların donatılı püskürtme beton ile güçlendirilmesi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 178s.
- Kaya, Ç., 2010, Yığma duvarların elastik-plastik hesabı, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 68s.
- Korkmaz, S.Z., 2007, Kırsal konutların deprem güvenliğinin artırılması, Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, K
- Kömürcü, S., 2017, Yığma duvarların düzlem içi davranışlarının modellenmesi ve analizi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 144s.
- Kuruşçu, A.O., 2012, Yığma duvar ve temellerde doğrusal olmayan modelleme, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 192s.
- Lopez, J., Oller, S., Oñate, E. And Lubliner, J., 1999, A homogeneous constitutive model for masonry, International Journal for Numerical Methods in Engineering, 46:1651-1671
- Lourenço, P.B., 1996, Computational strategies for masonry structures, University of Minho, Portugal, 221s.
- Idris J., Al Heib M., Verdel, T., 2009, Masonry joints mechanical behavior evolution in built tunnels, Tunneling and Underground Space Technology, Vol. 24, No. 6, pp. 617-626.

- Mohammadi, M., 2019, Betonarme yığma yapıların deprem performansının incelenmesi, Konya Teknik Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Konya, 158s.
- Quinteros, D.R., Oller, S., and Nallim, G.L., 2012, Nonlinear homogenization techniques to solve masonry structures problems, *Composite Structures*, 94:724-730
- Sallio, N., 2005, Mevcut yığma yapıların deprem bakımından incelenmesi ve güçlendirilmesi, Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Denizli, 164s.
- Sayın, E., 2009, Yığma yapıların lineer olmayan statik ve dinamik analizi, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ, 126s.
- Shing, B.P., and Mehrabi, A.B., 2002, Behaviour and analysis of masonry-infilled frames, *Prog. Structural Engineering Materials*, 4:320-331
- Sucuoğlu, H., ve Erberik, A., 1997, Performance evaluation of a three-storey unreinforced masonry building during the 1992 Erzincan earthquake, *Earthquake Engineering & Structural Dynamics*, 319-336
- Şerbetçigil M., 2019, Yığma Duvarların Doğrusal Olmayan Analizi, Necmettin Erbakan Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Semineri, Konya, 99s.
- Oliveira, D.V., 2003, Experimental and numerical analysis of blocky masonry structures under cyclic loading, *Universidade do Minho, Portekiz*, 221s.
- Özsaraç, S., 2009, Yığma yapılarda taşıyıcı tuğla duvarların GFRP ile güçlendirilmesinin deneysel olarak incelenmesi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 153s.
- Öztaş, V., 2009, Yığma yapıların güçlendirilmesi ve bir yığma yapı örneğinde güçlendirme analizi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 74s.
- TS EN 777-1, 2005, Kagir birimler-Özellikler- Bölüm 1: Kil kagir birimler (tuğlalar), Türk Standardları Enstitüsü, Ankara.
- Tomažević, M., 1999, Earthquake resistant design of masonry buildings, Singapore:Imperial College Press, 268 s.
- Ural, A., 2009, Yığma yapıların doğrusal ve doğrusal olmayan davranışlarının incelenmesi, Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon, 251s.
- Web İletisi-1: <http://www.inspedia.net/>
- Web İletisi 2: <https://www.waterproofmag.com/>
- Yalnız, Z., 2020, Anıtsal bir yığma binanın yapısal analizi, Necmettin Erbakan Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya, 205s.

- Yedek, Ç.Y., 2013, Yığma yapıların hasır çelik donatılı kuru karışım püskürtme beton uygulamasıyla güçlendirilmesinin deneysel olarak incelenmesi, Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta, 152s.
- Zhang, S., Mousavi, M.S.T., Richart, N., Molinari, J.F., and Beyer, K., 2017, Micro-mechanical finite element modeling of diagonal compression test for historical stone masonry structure, *International Journal of Solids and Structures*, 112:122-132
- Zhuge, Y., Thambiratnam, D., and Corderoy, J., 1998, Nonlinear dynamic analysis of unreinforced masonry, *Journal of Structural Engineering*, 124:270-277