

KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**YIĞMA DUVARLARIN ÇEVİRİMSSEL YÜKLER ALTINDA
DAVRANIŞLARININ DENEYSSEL VE SONLU ELEMAN YÖNTEMİYLE
BELİRLENMESİ VE FRP MALZEMESİYLE GÜÇLENDİRİLMESİ**

DOKTORA TEZİ

İnş. Yük. Müh. Adamou MAROU SEYNI SAMBEROU

HAZİRAN 2021
TRABZON



**KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**YIĞMA DUVARLARIN ÇEVİRİMSSEL YÜKLER ALTINDA
DAVRANIŞLARININ DENEYSEL VE SONLU ELEMAN YÖNTEMİYLE
BELİRLENMESİ VE FRP MALZEMESİYLE GÜÇLENDİRİLMESİ**

İnş. Yük. Müh. Adamou MAROU SEYNI SAMBEROU

**Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsünde
“DOKTOR (İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ)”
Unvanı Verilmesi İçin Kabul Edilen Tezdir.**

**Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 08/06/2021
Tezin Savunma Tarihi : 28/06/2021**

Tez Danışmanı : Prof. Dr. Şevket ATEŞ

ÖNSÖZ

Bu çalışma Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı'nda Doktora Tezi olarak hazırlanmıştır.

“Yığma Duvarların Çevrimsel Yükler Altında Davranışlarının Deneysel ve Sonlu Eleman Yöntemiyle Belirlenmesi ve FRP Malzemesiyle Güçlendirilmesi” isimli tez çalışmasını bana öneren ve her aşamasında gerek bilgi ve tecrübelerini gerekse manevi desteğini benden esirgemeyen danışmanım Sayın Prof. Dr. Şevket ATEŞ'e en içten teşekkürlerimi sunarım. Ayrıca ülkesinden uzakta yabancı bir öğrenci olarak, her türlü muazzam desteği ve özellikle bana olan sabrı için değerli danışmanıma içten takdirlerimi ve minnettarlığımı sunmak isterim.

Tez izleme komitesinde yer alan ve tez süresi boyunca ilgi ve desteklerini esirgemeyen değerli hocalarım Prof. Dr. Metin HÜSEM'e ve Dr. Öğr. Üyesi Ali Erden BABACAN'a saygılarımı sunarım.

Gündüz başlayan ve çoğu zaman gece geç saatlerde sona eren deneysel çalışmalar için laboratuvarında benimle birlikte çalıştıkları ve yardım ettikleri için Doç. Dr. Seraht DEMİR'e, Arş. Gör. Olguhan Şevket KARAHASAN'a ve Ömer GEBİÇ'e şükranlarımı sunarım.

Tez çalışmamın her aşamasında yanımda olan ve yardımlarıyla bu çalışmanın başarıya ulaşmasında büyük katkıları olan Prof. Dr. Süleyman ADANUR'a, Doç. Dr. Murat GÜNAYDIN'a, DR. Öğr. Üyesi Barbaros ATMACA'ya Arş. Gör. ALİ Fuat GENÇ'e, Arş. Gör. Yunus Emrahan AKBULUT'a, Arş. Gör. Fatih Yesevi OKUR'a ve doktora öğrencisi arkadaşlarım Abdoumagid IDRİSS ABDİLLAHI'ye, Mahamat MOUSSA ALI'ye, Alhassane DIALLO'ya ve Mohammed Mahyoub Abdo SAIF'e teşekkür ederim.

Türk bursları aracılığıyla bana bu fırsatı sunan Türkiye ile Nijer arasındaki ikili program yetkililerine teşekkür ediyorum.

Son olarak bu tezi, beni doğup büyüdüğümü gören, beni her zaman destekleyen ve cesaretlendiren aileme, özellikle de, babam Marou, annem Fati, kız kardeşim Amina, kardeşlerim Hassane ve Boubacar'a ithaf ederim.

Adamou MAROU SEYNI SAMBEROU
Trabzon, 2021

TEZ ETİK BEYANNAMESİ

Doktora Tezi olarak sunduğum “Yığma Duvarların evrimsel Yükler Altında Davranışlarının Deneysel ve Sonlu Eleman Yntemyle Belirlenmesi ve FRP Malzemesiyle Güçlendirilmesi” başlıklı bu çalışmayı baştan sona kadar danışmanım Prof. Dr. şevket ATEş’in sorumluluğunda tamamladığımı, verileri kendim topladığımı, deneyleri ilgili laboratuvar da yaptığımı, başka kaynaklardan aldığım bilgileri metinde ve kaynakçada eksiksiz olarak gösterdiğimi, çalışma sürecinde bilimsel araştırma ve etik kurallara uygun olarak davrandığımı ve aksinin ortaya çıkması durumunda her türlü yasal sonucu kabul ettiğimi beyan ederim. 28/06/2021

Adamou MAROU SEYNI SAMBEROU

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa No</u>
ÖNSÖZ.....	III
TEZ ETİK BEYANNAMESİ.....	IV
İÇİNDEKİLER.....	V
ÖZET	IX
SUMMARY	X
ŞEKİLLER DİZİNİ	XI
TABLolar DİZİNİ.....	XV
SEMBOLLER DİZİNİ	XVI
1. GENEL BİLGİLER.....	1
1.1. Giriş	1
1.2. Yığma Yapıların Avantajları ve Dezavantajları	4
1.3. Yığma Yapılarda FRP Kullanımı	5
1.4. Deneysel Modal Analiz Yönteminde Kullanılan Ölçüm Sistemi.....	7
1.4.1. Titreştiriciler	7
1.4.2. İvmeölçerler.....	8
1.4.3. Veri Toplama Sistemi ve Sinyal İşleme	10
1.5. Deneysel Modal Analiz Yöntemi ile İlgili Genel Kurallar.....	13
1.6. Deneysel Modal Analiz Yöntemine Ait Denklemler	15
1.6.1. Çevresel Titreşim Yöntemi.....	15
1.6.1.1. Geliştirilmiş Frekans Ortamında Ayırıştırma (GFOA) Yöntemi.....	16
1.6.1.2. Stokastik Altalan Belirleme (SAB) Yöntemi	18
1.6.2. Zorlanmış Titreşim Yöntemi	21
1.7. Analitik Dinamik Karakteristiklerin Belirlenmesi.....	22
1.8. Kapsam	25
1.9. Tezin Amacı ve İçeriği	28
1.10. Yığma Duvarlarda Kullanımla Genel Yapılmış Çalışmalar	29
1.11. Yığma Duvarlarda FRP Kullanımı İlgili Daha Önce Yapılmış Çalışmaları.....	65
1.12. Yığma Yapıda Temel Kavramlar ve Teoriler.....	71
1.12.1. Yığma Duvarların Modellenmesinde Dikkate Alınacak Parametreler ve Diğer Hususlar	72
1.12.2. Makro Modelleme	74

1.12.3.	Mikro Modelleme	75
1.12.4.	Eklemde Plastisite Teorisi	77
1.12.5.	Beton Hasar Plastisite (BHP veya CDP) Teorisi	80
1.12.6.	Çekme Gerilme-Şekil Değişirme İlişkisi.....	81
1.12.7.	Gerilme-Şekil Değişirme İlişkisi	82
1.12.8.	Birleşim Yüzeylerinde Plastisite Teorisi	83
1.12.9.	Arayüzün Sonlu Eleman Yöntemiyle Modellemesi	85
1.12.10.	Yumuşatma Arayüz Davranışı.....	86
1.12.11.	Çekme Davranışı / Mod I	87
1.11.12.	Kesme Davranışı / Mod II	88
1.12.13.	Tek eksenli Çekme Yığıma Davranışı	89
1.12.14.	Çift Eksenli Davranış.....	89
1.13.	Tuğla Düzenlemesine Göre Duvarların Sınıflandırılması	90
2.	YAPILAN ÇALIŞMALAR.....	93
2.2.	Analitik Prosedürler.....	94
2.3.	Mikro Modellemede Kullanılan Eleman ve Yordamlar	94
2.3.1.	Kohezif Elemanı	95
2.3.2.	Yüzey Etkileşimi	97
2.3.3.	Açık Analiz.....	99
2.3.4.	Açık ve Örtük Arasındaki Fark.....	100
2.3.5.	Açık Yöntemin Avantajları.....	100
2.3.6.	Doğrusal Olmayan Analiz Kavramı	101
2.3.7.	Malzeme Doğrusal Olmama	101
2.3.8.	Üç Boyutlu Modellerin İskeleti	103
2.3.10.	Geometrik Doğrusal Olmama.....	105
2.3.11.	Mesh Tanımı ve Dağıtımı	107
2.3.12.	Belirli Standartlara ve Çalışmalara Göre Malzeme Özellikleri.....	108
2.3.13.	Basitleştirilmiş Modelleme İçin Ayrıklaştırma Yöntemi	109
2.3.13.	Modellemede Döngüsel Kuvvet	112
2.4.	Modal Analiz	113
2.4.1.	Spektral Modal Süperpozisyon Yöntemi.....	113
2.4.1.	Zaman Tanım Alanı Yöntemi.....	115
2.4.2.	Modal Analiz İçin Malzeme Özellikleri	116
2.5.	DeneySEL Çalışmalar	117

2.5.1.	Duvarların İnşası ve Deneysel Çalışmalar.....	117
2.5.2.	Harcın Hazırlanması	118
2.5.3.	Çimento.....	118
2.5.4.	Kum	119
2.5.5.	Su	120
2.5.6.	Beton Karıştırıcısında Karıştırma	120
2.5.6.	Delikli Tuğla Duvar Yapımı.....	121
2.5.7.	Harman Tuğla Duvar Yapımı	124
2.5.8.	Tekrarlı Yük Etkisinin Uygulanması.....	124
2.5.9.	Operasyonel Modal Analiz (OMA)	125
2.5.8.	Çevrimsel Yükler Uygulanması	131
2.5.9.	Karbon Fiber Takviyeli Polimerlerin (CFRP) Kurulumu.....	133
3.	BULGULAR VE İRDELEMELER	136
3.1.	Analitik Bulgular İncelenmesi	136
3.1.1.	Mikro Modelleme Analiz İncelenmesi	136
3.1.1.1.	Delikli Tuğlanın Mikro Modelleme Analiz İncelenmesi.....	136
3.1.1.2.	Harman Tuğlanın Mikro Modelleme Analiz İncelenmesi.....	137
3.1.2.	Hasarsız Modal Analiz	138
3.1.2.1.	Hasarsız Modal Analiz Delikli Duvar İçin	138
3.1.2.2.	Hasarsız Modal Analiz Harman Tuğla Duvarı İçin	140
3.2.	Deneysel Bulgular İncelenmesi	142
3.2.1.	Test Sonuçlarının Çıkarılması Modal Analiz İçin	142
3.2.1.1.	Hasarsız Modal Analiz Deneysel Delikli Tuğla Duvarı İçin.....	144
3.2.1.2.	Hasarlı Modal Analizi Deneysel Delikli Tuğla Duvarı İçin.....	145
3.2.1.3.	FRP ile Deneysel Hasarsız Delikli Tuğla Duvarın Modal Analizi.....	146
3.2.1.4.	Deneysel Hasarsız Harman Tuğla Duvarın Modal Analizi	147
3.2.1.5.	Deneysel Hasarlı Harman Tuğla Duvarın Modal Analizi	148
3.2.1.6.	Modal Analizlerin Sonuçlarının Karşılaştırılması	148
3.2.1.6.1.	Analitik ve Deneysel Sonuçlarının Karşılaştırılması Hasarsız Duvarlar İçin	149
3.2.1.6.2.	Deneysel Sonuçlarının Karşılaştırılması Hasarsız, Hasarlı ve FRP Duvarlar İçin.....	150
3.2.2.	Deneysel Çevrimsel Yük İncelenmesi	151
3.2.2.1.	Deneysel Döngüsel Yük İncelenmesi Delikli Tuğla Duvar İçin	151

3.2.2.2.	FRP ile Kaplanmış Delikli Tuğla Duvar Üzerinde Deneysel Döngüsel Yükleme İncelemesi	153
3.2.2.3.	Deneysel Döngüsel Yük İncelenmesi Harman Tuğla Duvar İçin	154
3.2.2.	Zarf Eğrisi Karşılaştırması.....	156
4.	SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	157
4.1.	Sonuçlar	157
4.2.	Öneriler	158
5.	KAYNAKLAR	160
ÖZGEÇMİŞ		



Doktora Tezi

ÖZET

YIĞMA DUVARLARIN ÇEVİRİMSEL YÜKLER ALTINDA DAVRANIŞLARININ
DENEYSEL VE SONLU ELEMAN YÖNTEMİYLE BELİRLENMESİ VE FRP
MALZEMESİYLE GÜÇLENDİRİLMESİ

Adamou MAROU SEYNI SAMBEROU

Karadeniz Teknik Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı
Danışman: Prof. Dr. Şevket ATEŞ
2021, 171 Sayfa

Bu tezin genel amacı, tekrarlı yükler altında yapısal yığma duvarların davranışlarını belirlemek ve bu etkilere karşı nasıl daha dayanıklı hale getirileceğini incelemektir. Bu amaca ulaşmak için, çalışma önce analitik ve sonra da deneysel çalışmalara dayandırılmıştır. Bu çalışma için İnşaat Mühendisliği Bölümü Yapı ve Malzeme Laboratuvarında beş adet yığma duvar imal edilmiştir. Delikli tuğlalardan oluşan dört adet ve harman tuğlalardan oluşan bir adet duvar yapılmıştır. Sayısal çalışmalar da, düzlem yığma duvarlara yanal tekrarlı yüklerin uygulanabildiği ABAQUS yazılımı kullanılmıştır. Her bir duvar için basitleştirilmiş mikro model dikkate alınmıştır. Tekrarlı yüklerin uygulanmasıyla, yığma duvar modellerinde hasarlar meydana gelmiştir. Bu çatlakların karakteristik özellikleri ve hangi yük seviyelerinde oluştukları belirlenmiştir. Ayrıca bu çatlaklar laboratuvar modelleri üzerinde de işaretlenerek çeşitli fikirlerin tartışılmasına olanak vermiştir. Bu yığma duvarların her birinin içinde sonlu eleman modelleri oluşturulmuştur ve tekrarlı yüklere maruz bırakılmıştır. Elde edilen bu sayısal sonuçlar deneysel sonuçlarla karşılaştırılmıştır. Sonlu eleman analizleri sonucunda, gerilmeler, frekanslar ve mod şekilleri elde edilmiştir. Deneysel çalışmada, yığma duvarların imalatı ile başlamıştır. Üzerlerine yerleştirilen ivme ölçerler yardımıyla tekrarlı frekansları ve mod şekilleri kaydedilmiştir. Duvarlar üzerinde gerçekleştirilen bu çalışma duvarın hasarlı ve hasarsız durumları için belirlenmiştir. Hasarlı yığma duvarlar daha sonra, çatlakları epoksi reçineleriyle doldurulduktan sonra FRP malzemeleriyle güçlendirilmiştir. Yaklaşık bir haftalık beklemin sonrasında tekrar frekansları ve mod şekillerindeki değişimler ivme ölçerler yardımıyla kayıt altına alındıktan sonra tekrarlı yüklemeye maruz bırakılmıştır. Hasar alan yığma duvarlar için tekrar ölçümler tekrarlanmıştır. Tüm sonuçlar sonlu elemanlar yöntemiyle elde edilerek karşılaştırılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Yığma duvar, Basitleştirilmiş mikro modelleme, Modal analiz, Tekrarlı yükler, FRP ile güçlendirme, Epoksi reçinesi, Sonlu elemanlar yöntemi

PhD. Thesis

SUMMARY

MASONRY WALLS BEHAVIOR DETERMINATION UNDER CYCLIC LOADS BY
EXPERIMENTAL AND FINITE ELEMENT METHOD AND STRENGTHENING WITH FRP
MATERIAL

Adamou MAROU SEYNI SAMBEROU

Karadeniz Technical University
The Graduate School of Natural and Applied Sciences
Civil Engineering Graduate Program
Supervisor: Prof. Dr. Şevket ATEŞ
2021, 171 Page

The overall objective of this thesis is to study the behavior of structural unreinforced masonry under seismic effects and how to make it more resistant to these effects. To achieve this goal, the work was based first on analytical studies then experimental during which analyzes and tests were carried out. Five walls had been taken into account for this work: four walls formed of perforated bricks and one wall of threshing bricks. The numerical studies had started with the simplified micro-modelling of each wall using the ABAQUS software, through which lateral cyclic loads are applied to the walls in the plane. This application of force had generated damage characterized by cracks. In these numerical analyzes, it was also considered to take the frequency and the shape mode of the walls (modal analysis) to be able to compare them with the experimental results later. As for the experimental part, it begins with the construction of the walls, follows the recording of frequencies through receivers placed on them, then are applied Depending on the walls, this process had been reversed, that is to say that the recording of frequencies was made either before the damage, or even after the reinforcement of the wall. This reinforcement to fill the cracks is made using layers of CFRP with epoxy resin. Finally, all these results of the analyzes and laboratory tests are compiled and compared in order to evaluate the seismic effects and the solutions that the CFRP brought in the reinforcement of the walls.

Key Words: Unreinforced masonry, Simplified micro-modelling, Modal analysis Cyclic loads, CFRP, Epoxy-resin, Finite element method

ŞEKİLLER DİZİNİ

	<u>Sayfa No</u>
Şekil 1.1. Keops piramidi (Mısır).....	2
Şekil 1.2. Parthenon Tapınağı (Yunanistan).....	2
Şekil 1.3. Su kemerleri (Türkiye).....	3
Şekil 1.4. Agadez Camii (Nijer).....	3
Şekil 1.5. B&K 8210 tipi darbe çekici.....	8
Şekil 1.6. Piezoelektrik tipi ivmeölçerin iç mekanizması.....	9
Şekil 1.7. a) B&K 8340 ve b) B&K 4507 tipi tek eksenli ivmeölçerler.....	10
Şekil 1.8. B&K 3560 C tipi 17 kanallı veri toplama ünitesi.....	11
Şekil 1.9. ÇTY'ye dayalı bazı dinamik karakteristik belirleme yöntemleri.....	15
Şekil 1.10. ÇTY'ye göre yapıların dinamik karakteristiklerinin belirlenmesi.....	16
Şekil 1.11. Zorlanmış Titreşim Yöntemi'nin (a) şematik gösterimi, (b) frekans davranış fonksiyonunun belirlenmesi.....	21
Şekil 1.12. Bir duvarın çift eksenli sıkıştırma kırığı.....	33
Şekil 1.13. Lotfi ve Shing dağınmık Çatlak Modeli.....	36
Şekil 1.14. Kapalı Yapısal Duvar Sistemi (cm biriminde).....	38
Şekil 1.15. Yığma duvar kırılma mekanizması, (a) Çekme etkisinde birleşimlerin çatlama; (b) Bağlantı noktalarının kayması; (c) Bloğun çatlama; (d) Çapraz çekiş ile bloğun çatlama; (e) Duvarın ezilmesi.....	72
Şekil 1.16. Kullanılan farklı tuğla türleri.....	73
Şekil 1.17. Makro Modelleme Stratejisi.....	75
Şekil 1.18. Farklı mikro modelleme türleri, (a) Duvar normal halinde, (b) Detaylı mikro modelleme, (c) basitleştirilmiş mikro modelleme.....	76
Şekil 1.19. Lourenço ve Rots tarafından önerilen modelleme stratejileri.....	77
Şekil 1.20. Gerilimdeki tek eksenli yüklemenin yanıtı.....	81
Şekil 1.21. Tek eksenli yükleme gerilme-şekil değiştirme eğrisi.....	83
Şekil 1.22. Kohezif arayüzlerde dönüşüm.....	86
Şekil 1.23. Bir test parçasının (solda) ve bir duvarın (sağda) net çekme yapışma yüzeyi.....	87
Şekil 1.24. Yatay eklemlere paralel yığma çekme dayanımı için test düzeneği.....	89
Şekil 1.25. Masif tuğla duvarcılık ve çift eksenli gerilim durumları için mukavemet zarfları.....	90
Şekil 1.26. Akıcı bağlantı hizalaması.....	91
Şekil 1.27. Başlık bağlantısı hizalaması.....	91

Şekil 1.28.	İngiliz bağlantı hizalaması	92
Şekil 1.29.	Flemen bağlantı hizalaması	92
Şekil 2.1.	Tuğlasız çerçeve tasarımı	93
Şekil 2.2.	Çerçeveye tuğla yerleştirme işlemi	94
Şekil 2.3.	Düğümlü tuğla eleman C3D8.....	95
Şekil 2.4.	Abaqus programında modellenen tuğla elemanı	95
Şekil 2.5.	Kohezif açıklayıcı diyagramı	96
Şekil 2.6.	Tuğla üzeyler üzerindeki kohezif eleman	96
Şekil 2.7.	Tuğla Eleman türü seçimi	97
Şekil 2.8.	Ana düğümlerin köle yüzeyine girmesi	98
Şekil 2.9.	Dengeli usta-köle teması	98
Şekil 2.10.	Duvarların şeffaf üç boyutlu modeli	104
Şekil 2.11.	Sınır koşulları kullanımı ve yanal döngüsel kuvvetlerin uygulanması	105
Şekil 2.12.	Basit bir sütunun sapması.....	106
Şekil 2.13.	Doğrusal olmayan geometri seçimini gösteren pencere.....	106
Şekil 2.14.	Farklı duvarlarda mesh kullanımı	108
Şekil 2.15.	Abaqus'ta modal analiz seçimi ve mod sayısı	114
Şekil 2.16.	Laboratuvarda deney aşamaları.....	118
Şekil 2.17.	Kullanılan çimento torbaları.....	119
Şekil 2.18.	Harç için kullanılan kum	119
Şekil 2.19.	Karıştırmadan önce farklı malzemelerin tartılması	120
Şekil 2.20.	Harç üretimi için karıştırma işlemi.....	121
Şekil 2.21.	Delikli tuğla duvarı yapımı inşaat süreci.....	122
Şekil 2.22.	Sıva koymadan önce delikli tuğla duvar	123
Şekil 2.23.	Sıvalı delikli tuğla duvarı	123
Şekil 2.24.	Harman tuğla duvarı yapımı inşaat süreci.....	124
Şekil 2.25.	Harman tuğla duvarı yapımı inşaat süreci.....	125
Şekil 2.26.	Frekans ve mod kayıt cihazları (kontrol bilgisayarı ve sinyal analiz cihazı).....	126
Şekil 2.27.	Sensörlerin sıvalı delikli tuğla duvarına yerleştirilmesi (sensörlerde bir zoom ile).....	127
Şekil 2.28.	Modal analiz için sensörlerin kurulumuna hazır hasarlı duvar	128
Şekil 2.29.	Sensörlerin FRP ile güçlendirilmiş duvarına yerleştirilmesi (üçüncü duvar)	128
Şekil 2.30.	Sensörlerin hasarsız harman duvarına yerleştirilmesi	129

Şekil 2.31.	Sensörlerin hasarlı harman duvarına yerleştirilmesi (sensörlere yakınlaştırma ile).....	129
Şekil 2.32.	OMA (operasyonel modal analiz) kayıt kontrolü	130
Şekil 2.33.	Delikli duvar için çekiçle uyarma	130
Şekil 2.34.	Harman duvar için çekiçle uyarma.....	131
Şekil 2.35.	Pistonun döngüsel yüklerinin etkisiyle duvar hasar görmeye başlar	131
Şekil 2.36.	FRP malzeme ile güçlendirilmiş döngüsel yükler altında duvar.....	132
Şekil 2.37.	Harman tuğla duvarı çevrimsel yükler altında	132
Şekil 2.38.	Epoksi reçine karışımının hazırlanması	133
Şekil 2.39.	Malzemenin kesilmesi.....	134
Şekil 2.40.	Epoksi reçine karışımının duvara uygulanması	134
Şekil 2.41.	Duvara karbon levhaların uygulanması.....	135
Şekil 3.1.	Döngüsel yük altında mikro modelleme duvarının analitik analizi delikli tuğla için.....	136
Şekil 3.2.	Döngüsel yük altında mikro modelleme duvarının analitik analizi harman tuğla için.....	137
Şekil 3.3.	Analitik hasarsız delikli tuğla duvarı 1. modu	138
Şekil 3.4.	Analitik hasarsız delikli tuğla duvarı 2. modu	139
Şekil 3.5.	Analitik hasarsız delikli tuğla duvarı 3. modu	140
Şekil 3.6.	Analitik hasarsız harman tuğla duvarı 1. modu.....	141
Şekil 3.7.	Analitik hasarsız harman tuğla duvarı 2. modu.....	141
Şekil 3.8.	Analitik hasarsız harman tuğla duvarı 3. modu.....	142
Şekil 3.9.	Spektral ortalama yoğunluklar hasarsız delikli tuğla duvar için	143
Şekil 3.10.	Frekans alanı ayrıştırma grafiği hasarsız delikli tuğla duvar için	143
Şekil 3.11.	Spektral ortalama yoğunluklar hasarsız harman tuğla	144
Şekil 3.12.	Frekans alanı ayrıştırma grafiği hasarsız delikli tuğla duvar için	144
Şekil 3.13.	Deneysel hasarsız delikli tuğla duvarın mod şekilleri.....	145
Şekil 3.14.	Deneysel hasarlı delikli tuğla duvarın mod şekilleri.....	146
Şekil 3.15.	Mod Şekilleri (mod 1,2,3) FRP ile deneysel hasarsız delikli tuğla duvar için.....	146
Şekil 3.16.	Mod şekilleri (mod 1,2,3) deneysel hasarsız harman tuğla duvar için.....	147
Şekil 3.17.	Mod şekilleri (mod 1,2,3) FRP ile deneysel hasarlı harman tuğla duvar için.....	148
Şekil 3.18.	Hasarlı delikli tuğla duvar için histerezis eğrisi	151
Şekil 3.19.	Hasarlı delikli tuğla duvarıya ait dayanım zarf eğrisi	152
Şekil 3.20.	Hasarlı delikli tuğla duvar üst üste grafikler	152

Şekil 3.21.	FRP kaplı hasarlı duvar için histerezis eğrisi	153
Şekil 3.22.	FRP kaplı tuğla duvarıya ait dayanım zarf eğrisi	154
Şekil 3.23.	FRP kaplı tuğla duvar üst üste grafikler	154
Şekil 3.24.	Harman duvarın histerezis eğrisi	155
Şekil 3.25.	Harman tuğla duvarıya ait dayanım zarf eğrisi	155
Şekil 3.26.	Harman tuğla duvar üst üste grafikler	156
Şekil 3.27.	Zarf eğrisi karşılaştırması.....	156



TABLULAR DİZİNİ

	<u>Sayfa No</u>
Tablo 1.1. B&K 8210 tipi darbe çekicisine ait bazı özellikler	8
Tablo 1.2. B&K 4507 B 005 ve 8340 tipi tek eksenli ivmeölçerlere ait bazı özellikler	10
Tablo 1.3. Harman tuğlalarının boyutları (TS EN 771-1)	74
Tablo 1.4. Şekil ve basınç dayanımlarına göre harman tuğlası (TS EN 771-1)	74
Tablo 2.1. Malzeme özelliklerinin karşılaştırılması dekili tuğla için	108
Tablo 2.2. Malzeme özelliklerinin karşılaştırılması harman tuğla için	108
Tablo 2.3. Malzeme özelliklerinin karşılaştırılması harç için	109
Tablo 2.4. Çelik özellikleri	110
Tablo 2.5. Mikro modelleme için delikli tuğla elastik özellikler	110
Tablo 2.6. Mikro modelleme için harman tuğla elastik özellikler	110
Tablo 2.7. Delikli tuğla arayüz elemanının özellikleri	111
Tablo 2.8. Harman tuğla arayüz elemanının özellikleri	111
Tablo 2.9. Delikli tuğla için hasar parametresi	112
Tablo 2.10. Harman tuğla için hasar parametresi	112
Tablo 2. 11. Malzeme özellikleri	117
Tablo 3.1. Analitik hasarsız delikli tuğla duvarın frekans ve sönüm oranı değerleri	140
Tablo 3.2. Analitik hasarsız harman tuğla duvarın frekans ve sönüm oranı değerleri	142
Tablo 3.3. Deneysel hasarsız delikli tuğla duvarın frekansalar	145
Tablo 3.4. Deneysel hasarlı delikli tuğla duvarın frekansalar	146
Tablo 3.5. FRP ile deneysel hasarsız delikli tuğla duvarın frekansalar	147
Tablo 3.6. Deneysel hasarsız harman tuğla duvarın frekansaları	148
Tablo 3.7. Deneysel hasarlı harman tuğla duvarın frekansaları	148
Tablo 3.8. Hasarsız delikli tuğla duvarı karşılaştırma	149
Tablo 3.9. Hasarsız harman tuğla duvarı karşılaştırma	149

SEMBOLLER DİZİNİ

α	: Temas uzunluğu
h	: Çerçevenin yüksekliği
λ	: Karakteristik sertlik parametrisi
λ_h	: Çerçevenin dolguya göre rijitliği
\tilde{n}	: Sürtünme katsayısı
DAK	: Duvar Analiz Kodunda
TDS	: Tek Serbeslik Derecesi
$\bar{\sigma}$: Akma gerilmesi
f_b	: Blokların basınç dayanımı
f_{mr}	: Harcın basınç dayanımı
C_b	: Blokların kohezyon değeri
C_{mr}	: Harcın kohezyon değeri
τ_n	: Kayma gerilmesi
h_m	: Harç Kalınlığı
h_u	: Duvar biriminin yüksekliği
λ_i	: Plastik çarpan oranı
$\dot{\epsilon}^e$: Elastik bir tersenir kısımdaki gerinim vektörü
$\dot{\epsilon}^p$: Plastik bir geri çevrilemez gerginlik
$\dot{\epsilon}$: Toplam gerginlik
D	: Elastik matrisi
$\dot{\epsilon}^{eps}$: Eşdeğer plastik gerinim
$\bar{\sigma}$: Akma gerilmesi
Δu_n	: Normal çekme için arayüzde yer değiştirme farkı
Δu_s	: Kesme çekme için arayüzde yer değiştirme farkı

k_n	: Normal yönünde rijitlik ampirik biçimi
k_s	: Kesme yönünde rijitlik ampirik biçim
σ_t	: Çekme gerilmesi
$\tilde{\epsilon}_t^{ck}$: Çatlama şekil değıştirmesi
d_t	: Çekme hasar parametre değeri
ϵ_{ot}^{el}	: Hasarsız elastik şekil değıştirmesi
$\tilde{\epsilon}_t^{pl}$: Çekme plastik şekil değıştirmesi
σ_c	: Basınç gerilmesi
$\tilde{\epsilon}_c^{in}$: Basınç için elastik olmayan şekil değıştirmesi
d_c	: Basınç hasar parametre değeri
ϵ_c	: Toplam basınç şekil değıştirmesi
$\tilde{\epsilon}_c^{pl}$: Basınç plastik şekil değıştirmesi
K_{nn}	: Normal yöndeki duvar derzinin rijitliğı
K_{ss}	: İlk kesme yönünde duvar derzinin rijitliğı
K_{tt}	: İkinci kesme yönünde duvar derzinin rijitliğı
Gf_I	: Mod I için kırılma enerjisi
Gf_{II}	: Mod II için kırılma enerjisi
ψ	: Genişleme açısı
E_u	: Birimlerin elastik modülü
E_m	: Harcın elastik modülü
f_{b0} / f_{c0}	: İki eksenli durumdaki kuvvet oranı
δ	: Ayırma vektörü
G_u	: Birimlerin kayma modülü
G_m	: Harcın kayma modülü
\ddot{u}	: Düşüm ivmeleri
P	: Dış uygulamalı kuvvetler

I	: İç eleman kuvvetleri
σ_x	: Yatay yönde asal gerilme
σ_y	: Dikey yönde asal gerilme
τ_{xy}	: Kayma gerilmesi
E_0	: Young elastisite modülü
γ_{xy}	: Kayma açısı
ε_x	: Yatay yönde şekil değiştirme
ε_y	: Dikey yönde şekil değiştirme
ν	: Poisson oranı
ξ	: Sönüm oranı
f	: Sistemin doğal frekansı
ω	: Doğal açısal frekans
$[M]$: Kütle matrisi
$[K]$: Rijitlik matrisi
$[C]$: Sönüm matrisi
$\{x(t)\}$: Yer değiştirme vektörü
$\{\dot{x}(t)\}$: Hız vektörü
$\{\ddot{x}(t)\}$: İvme vektörü
$\{r\}$: Etki vektörü
$\{\ddot{u}_g\}$: Deprem yer ivme
$\{\phi_i\}$: Özvektörler
δ_{ij}	: Kronecker sembolü
y_i	: Mod i'nin yer değiştirmesinin modal koordinatı
\dot{y}_i	: Mod i hızının modal koordinatı
\ddot{y}_i	: Mod i vmesinin modal koordinatı

- ω_i : i. mod doğal açısal frekansı
 T_i : i. mod doğal titreşim periyodu
 L_i : i. mod modal katılım faktörü
 β_i : i. mod sönüm oranı



1. GENEL BİLGİLER

1.1. Giriş

Yığma yapılar, taş veya tuğla gibi elemanların yapıştırıcı görevi gören harç malzemesiyle birbirine bağlanmasıyla oluşturulmaktadır. Antik dönemde ise harçlar çamur veya kil malzemesinden oluşmaktadır. Günümüz yığma yapıları, dünya genelinde insanlık tarihi boyunca somut izlerin bırakıldığı köklere sahiptir. Tarih boyunca insanlar kendilerini iklimden ve vahşi hayvanlardan korumak için her zaman barınak aramışlardır. Böylece yıllar içinde yaşam alanları mağaradan saman kulübesine veya taş gibi doğal çevre araçlarından diğer yapılara dönüşmüştür. Gün geçtikçe daha dayanıklı ve kullanışlı malzemelerle yapılan bu çalışmalar, insanlık tarihinde büyük izler bırakmıştır. Eski Mısır medeniyeti (M.Ö. 3050), inşaattan etkilenen antik uygarlığı ve piramitleri inşa etmeye neden olan teknikler geliştirmiştir. Bu anıtlar aslında aralarında birkaç iyi düzenlenmiş bloğun bir araya getirilmesinden ibarettir. Örneğin, Keops veya Giza piramitlerini oluşturan taş blokların sayısının 2,3 milyon olduğu tahmin edilmektedir (Şekil 1). Bu piramitler, 137m yüksekliğe sahip olup ve her biri yaklaşık iki ton ağırlığındaki kireçtaşı bloklardan oluşmaktadır. Antik dünyanın yedi harikası listesinde bir ilktir ve binlerce yıldır dünyanın en uzun ve en büyük yapısı olarak kalmıştır.

Asya'da Çin İmparatorluğu dış saldırılara karşı Çin Seddini inşa etmişlerdir. Yığma taş duvar olarak yapılan bu Çin Seddi, iyi kesilmiş taş bloklardan oluşmaktadır. Yapımı M. Ö. 770 yılında başlayıp 1644 yılında sona ermiştir. Ayrıca Antik çağda Greko-Romen toplumu bilgi birikimini başta bilim olmak üzere birçok alanda göstererek çok gelişmiştir. Bugün bildiğimiz gibi klasik mimarinin temelini oluşturan Anıtsal yapılar oldukça basit taşıyıcı sistemlere sahiptir. Kısacası, kolon ve kiriş prensibine dayanmaktadır. Mermer ve kireçtaşı kullanılmıştır. Yunan mimarisinin en güzel tarihi eserlerinden biri olan ve sütunları 14 metre yüksekliğinde olan Parthenon Tapınağı, yığma yapı örneklerinden biridir ve MÖ 577 yılında inşa edilmiştir (Şekil 2). Türkiye'de özellikle Antalya ve Ege Bölgesinde 'de bu tür antik yapılar ve kalıntılar bulunmaktadır. Örneğin Şekil 3'de verilen su kemeri bunlardan biridir. Pişmiş toprak ve kireç gibi malzemeler kullanılmıştır. Bunun yanında kiriş yerine kemerler, tonozlar ve kubbeler kullanılmıştır. Kirecin bir yapı malzemesi olarak ilk kullanımı M. Ö. 4000 yıllarına dayanmaktadır. Mısırlılar bu tekniği piramitleri sıvamak için kullanmışlardır

(Boyton, 2001). Daha sonra Osmanlı İmparatorluğu döneminde yığma taş duvar teknikleri geliştirilerek cami ve minarelerin yapımında kâgir kullanılmıştır. Bu teknik tüm dünyaya yayılmıştır. 1515 yılında Nijer’de inşa edilen Agadez camisi tamamen kil malzemesi kullanılmış ve güçlendirme amacıyla da ahşap elemanlar tercih edilmiştir (Şekil 4).

1820-1824 yılları arasında Portland çimentosunun icadı ile beton teknoloji ile yapım teknikleri gelişmeye başlamıştır. Fakat günümüze kadar da yığma yapılarda da gelişmeler olmaya devam etmiştir. Günümüz de yığma yapı malzemelerinde ve tekniklerinde gelişmelerin devam etmesiyle birlikte yaygın olarak yığma yapılar inşa edilmektedir. Pek çok ülke yönetmeliklerinde de yığma yapılara yer verilmiştir. Yapım sırasında uyulması gereken kurallar ve hesap yöntemleri ortaya koyulmuştur.



Şekil 1.1. Keops piramidi (Mısır)



Şekil 1.2. Parthenon Tapınağı (Yunanistan)



Şekil 1.3. Su kemerleri (Türkiye)



Şekil 1.4. Agadez Camii (Nijer)

Yapı ve deprem mühendisliği alanlarındaki gelişmeler yapıların hesap ve tasarımında daha doğru ve daha güvenli sonuçlara ulaşılmasını sağlamıştır. Bu amaçla doğrusal hesap yöntemlerinin yanı sıra doğrusal olmayan hesap yöntemleri de ortaya koyulmuştur (Priestley vd., 2007). Priestley vd. (2007) çalışmalarında, doğrusal elastik yöntemlerin tasarım için yeterli olmadığını, bu nedenle doğrusal olmayan bir hesap yöntemi önermişlerdir. Bu bağlamda, yapı davranışının daha iyi anlaşıldığını belirtmişlerdir. Çünkü genel olarak hem doğrusal hem de doğrusal olmayan analiz için genellikle yeterli doğrulukta olan elemanlar kullanılmıştır. Ancak, yığma yapılarının birçok nedenden dolayı analizi çok daha karmaşıktır. Yığma yapı elemanları en eski yapı malzemelerinden olmalarına rağmen davranışlarında birçok belirsizlikler söz konusudur. Davranışları hakkında yeterli bilginin

bulunmamasının ana nedenlerinden bazıları; mekanik davranışlarının karmaşıklığı, dikkate alınan değişken sayısının çok olması ve malzeme özellikleri, yapım kalitesi gibi belirsizliklerden söz etmek mümkündür. Diğer taraftan çerçeve sistem yapılarda, kullanılan dolgu duvar ile çerçeve arasındaki temas koşulları veya harç ve tuğlalar arasındaki uyum belirsizlikleri de söz konusudur. Bu belirsizliklerin bazılarının kontrol edilmesi ve nitelendirilmesi oldukça zor olmaktadır.

19. yüzyılın ilk çeyreğinde Portland çimentosunun geliştirilmesiyle modern yığma yapı zirveye ulaşmıştır. Nitekim 1824 yılında İngiliz Joseph Aspdin, patentini aldığı Portland çimentosunu üretmiştir. Bu keşifin yığma yapı üzerinde önemli bir etkileri olmuştur. Yığma yapıların, donatılı ve donatısız olarak iki bölüme ayrılarak zaman içerisinde geliştirilmesine izin verilmiştir.

Yığma yapılar; dayanıklı olmasının yanı sıra, ısı, ses yalıtımı ve mükemmel bir yangın dayanımına sahiptir. Hem taşıyıcı ve hemde mimari eleman olma özelliğiyle yaygın olarak kullanılmaktadır. İçeriğinde yer alan malzemelere bağlı olarak donatılı ve donatısız yığma yapılar olarak da iki sınıfa ayrılmaktadır. Donatılı duvar, duvar veya harç içine gömülü çelik takviye içeren tuğla duvardan oluşmaktadır. Bu şekilde, yapının özellikle eğilme ve kayma gerilmelerine karşı direnmesini sağlamaktadır. Tuğlalar ve çelikler birbirini tamamlayarak mükemmel bir yapısal malzeme oluşturmaktadır. Donatısız yığma yapı ise duvarların taşıyıcı olduğu ve çelik takviye edilmediği bir yapı türüdür. Bu tür donatısız yapı, özellikle kırsal kesimlerdeki yapılarda yaygın olarak kullanılmaktadır.

1.2. Yığma Yapıların Avantajları ve Dezavantajları

• Avantajları

Uygun tasarım ve yapım koşulları altında, yığma duvar sistemi ekonomik ve kullanım avantajları sunmaktadır:

- ✓ Duvar malzemesi ve yüzey kaplama ihtiyacını azaltarak doğrudan duvarlara sıva veya boya uygulanmasına izin vermektedir.
- ✓ Cepheelerde, yapısal ve mimari işlevi sağlayan taşıyıcı elemanlardır.
- ✓ Düşey delikler; elektrik, sıhhi tesisat ve telekomünikasyon kanalları olarak da kullanılmaktadır.
- ✓ Kalıp kullanımına ihtiyaç azalması nedeniyle daha düşük maliyetler sağlar.

- ✓ Yapı tek bir yığma malzemesiyle inşa edilebilir. Bu sayede iş kalemlerinin sayısı azalmaktadır.
- ✓ Özel işçilik ve modüler birimler kullanılarak, duvarların yapımında büyük bir hız ve verimlilik kazandırılmaktadır. Bu nedenle çoğu durumda daha az faaliyet ve işçilik ile maliyetler azalır.
- ✓ Bir yapım sistemi olarak, sismik risk durumunda yüksek performansla kullanılabilir.
- ✓ Yapısal bir sistem olarak, bir veya iki katlı düşük maliyetli binalardan, çok katlı ve maliyeti yüksek binalara kadar ekonomik olarak faydalı bir şekilde yararlanılmaktadır.
- ✓ Beton duvarın yapısal ve mimari özellikleri birleştiğinde dayanıklı, az bakım gerektiren ve güzel görünümlü yapılar elde edilebilir.
- ✓ Yığma elemanlarının brüt alanlarında delikler olduğundan, her termal hemde akustik için yalıtkan hava odaları sağladığından yalıtım için tasarım yapılmasına olanak tanır.
- ✓ Beton duvar, sadece bir yapı sistemi olarak değil, mimari ve yapısal tasarımının yönetimine bağlı olarak bir yenilik, güvenlik ve dayanım sağlamak ve yansıtmak için de kullanılabilir.
- ✓ Yığma elemanlar sürekli gelişmekte olduğundan yeni ürünler bulunmaktadır.
- ✓ Potansiyel olarak, güvenlik ve dayanıklılığın temel unsurlarından ödün vermeden, büyük sosyal ve ekonomik potansiyele sahip yerlerde basit teknoloji ile üretim ve inşaat koşullarına uyarlanabilen bir sistemdir.
- Dezavantajları
 - ✓ Farklı bir taşıyıcı sistem olduğundan, malzemelerinin, tuğlalarının, harçlarının taşınmasında ve özelliklerini belirlemek önemlidir.
 - ✓ Bina sistemleri için uygulanan sıkı ve sistematik kalite kontrolleri gerektirir.
 - ✓ Yığma duvarların yerinin değiştirilmesi mümkün olmamaktadır.

1.3. Yığma Yapılarda FRP Kullanımı

Mühendislik yapıları ile ilgili en önemli gereksinim, dayanım ve emniyetin sağlanmasıdır. Bu gereksinimler yalnızca uygulama sürecinde değil, aynı zamanda bir yapının tüm yaşam döngüsü boyunca karşılanmalıdır.

FRP gibi gelişmiş kompozit malzemelerin kullanılması, geleneksel güçlendirme malzemeleriyle ilişkili tipik bozulma sorunlarının çözülmesine yardımcı olmaktadır. Gelişmiş kompozit malzemeler geleneksel malzemelerle karşılaştırıldığında en önemli avantajı, bir duvar yapısının hizmet ömrünü artırma ve aşındırıcı maddeler, eskime ve bozulma gibi şiddetli çevresel koşullara karşı sağlam bir direnç sağlama yetenekleridir.

FRP malzemesi, yüksek mukavemet ve ağırlık oranı sunduğundan ve proje gereksinimlerine göre özelleştirilebildiğinden, yapı mühendislerinin bir projeyi büyük bir kolaylıkla tamamlamasını sağlamaktadır.

Aşağıda, FRP malzemelerinin bazı avantajları ve özellikleri yer almaktadır:

a. Tasarım özellikleri:

- Yüksek yük taşıma kapasitesi
- Ölçüsel durağanlık
- Yapısal ihtiyaçları karşılamaya yardımcı olacak esnek tasarım
- Düşük ısı genleşme katsayısı
- Estetik olanaklar
- Manyetik olmayan ve özelleştirilebilir
- Pirolyze (termolize) karşı daha yüksek direnç

b. Mekanik özellikler

- Yüksek çekme dayanımı
- Daha iyi sismik direnç
- Atmosferik bozulmaya ve hava koşullarına karşı direnç
- Donma-çözülme döngülerine karşı mükemmel direnç
- Rijitlik ve ağırlık oranı
- Buz çözücü tuzlara dayanıklı

c. Maliyet

- Düşük bakım maliyeti
- Hızlı proje tamamlama nedeniyle tasarruf
- Daha düşük yapım maliyeti

d. Yapım aşaması

- Kurulum kolaylığı
- Malzemeyi işlemek için gereken düşük maliyetli ekipman
- Daha düşük nakliye ve montaj maliyeti

- Kurulum sürecinde daha az işçilik
- Daha uzun hizmet ömrü

Bununla birlikte, FRP malzemeleri birkaç dezavantajından da söz etmek mümkündür.

Bunlar,

- Liflere dik yönde FRP malzemesinin mukavemeti, liflerin uzunluğu boyunca mukavemete kıyasla son derece düşüktür (% 5'e kadar)
- FRP malzemesi bileşenlerin tasarımı karmaşıktır
- FRP malzemesinin bileşenlerinin tasarımı karmaşıktır ve bu da yapısal analiz yazılımında modellenmesini son derece zorlaştırır
- FRP malzeme bileşenlerinin üretimi ve testi uzmanlık gerektirmektedir.

Bir yapıyı güçlendirmek için öncelikle yapısal davranışını anlamak önemlidir. Yapıların davranışına ilişkin bu bilgi, yapı dinamiği bazı kavramlarını bilmek gereklidir ve dinamik karakteristiklerini hesaba katılmasını gerektirmektedir.

1.4. Deneysel Modal Analiz Yönteminde Kullanılan Ölçüm Sistemi

1.4.1. Titreştiriciler

Deneysel Modal Analiz (DMA) yönteminde, yapıları titreştirmek için çevresel ve yapay etkilerden faydalanılmaktadır. Çevresel etkiler olarak deprem, rüzgâr, yaya ve araç hareketlerinin sağladığı titreşimlerden; yapay titreştiriciler olarak sarsıcılar, sarsma tablaları ve darbe çekiçlerinin sağladığı titreşimlerden faydalanılmaktadır. Büyük ve rijit yapıları özel sarsıcı cihazlar ile titreştirmek mümkün olamayacağından, bu yapıların deneysel ölçümlerinde genellikle çevresel titreşimlerden yararlanılmaktadır. Titreştiriciler ise orta ölçekli mühendislik yapılarını veya laboratuvar modellerini titreştirmek için kullanılabilir. Bu çalışma kapsamında, deneysel ölçümler sırasında Brüel&Kjaer (B&K) 8210 tipi darbe çekici (Şekil 1.5) kullanılmıştır. Bu tip darbe çekici ile, genliği ve zamanla değişimi hesap edilebilen büyüklükteki titreşimler ve bu büyüklüklerin bilinmediği rastgele titreşimler üretmek mümkündür. Yapıya verilen titreşimlerin genliği, çekicinin baş kısmında bulunan kuvvetölçer ile ölçülebilmektedir. Farklı sertliğe sahip (yumuşak, orta sert ve sert) kauçuk çekiç başlıkları ile yapılara farklı genlikte titreşimler verilebilmektedir.

Dolayısıyla, ölçülecek yapı boyutlarına ve malzeme özelliğine bağlı olarak darbe çekici ve başlığı belirlenmelidir. Darbe çekicine ait genel özellikler Tablo 1.1’de verilmektedir.



Şekil 1.5. B&K 8210 tipi darbe çekici

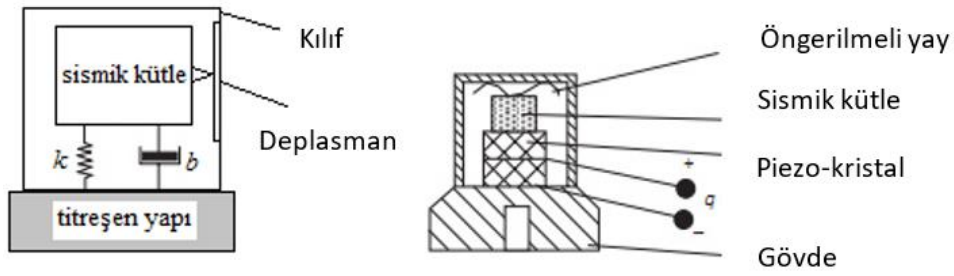
Tablo 1.1. B&K 8210 tipi darbe çekicine ait bazı özellikler

Model	B&K 8210
Hassasiyet	0.225 mV/N
Maksimum Kuvvet	22200 N
Çalışma Sıcaklığı	-73 ile +60 °C arası
Toplam Uzunluk	0.90 m
Toplam Kütle	5.44 kg

1.4.2. İvmeölçerler

İvmeölçerler DMA yönteminde kullanılan en önemli elemanlardan biridir. İvmeölçerler yerleştirildikleri yapılardaki titreşimleri ölçmek için kullanılmaktadır. Farklı tipte ivmeölçerler mevcut olup, yapısal titreşimlerin ölçülmesinde genellikle piezoelektrik ivmeölçerler kullanılmaktadır. Şekil 1.6’da görüldüğü gibi bu tip ivmeölçerler, yay-kütle-sönümleyici sisteminden meydana gelmektedir. (Ramos, 2007). İvmeölçerlerin aktif kısmı ise kuartz veya seramik kristallerden yapılmaktadır. Kuartz ya da seramik kristaller bir kuvvet altında kaldığında picocoulomb ($2.78E-12$ Amper saat) seviyesinde elektrik yükü üretmektedirler. Bu elektrik yükünün kristal üzerindeki değişimi yer çekimi ivmesinin değişimi ile doğru orantılıdır. İvmeölçerlerdeki sismik kütlenin ivme altında maruz kaldığı atalet kuvveti piezoelektrik kristale etkimekte ve ivme ile doğru orantılı bir elektrik sinyali çıkışı vermektedir. Bu ivmeölçerlerin içinde sinyali taşınabilir voltaj sinyaline çeviren bir

sinyal koşullayıcı devre bulunmaktadır. Bu şekilde üretilen sinyal veri toplama ünitesine aktarılmaktadır (Altunışık, 2010; Sevim, 2010). İvmeölçer seçimi DMA yönteminde elde edilen sonuçların hassaslığında doğrudan etkilidir. İvmeölçerin eksen sayısı, hassasiyeti ve bant genişliği (frekans aralığı) gibi özellikleri yapı tipine göre özenle seçilmelidir.



Şekil 1.6. Piezoelektrik tipi ivmeölçerin iç mekanizması (Günaydın, 2016)

Yapı tipine göre özenle seçilmeyen ivmeölçerler ile gerçekleştirilen deneysel ölçümlerden kaliteli sinyaller alınması mümkün değildir. Bu nedenle aşağıda kısaca açıklanan ivmeölçer özellikleri dikkate alınmalıdır. Bu özelliklerin bilinmesi ölçümler sırasında doğru ivmeölçer seçimini kolaylaştıracaktır.

- **Frekans Aralığı:** İvmeölçerin ölçebileceği maksimum ve minimum frekans aralığını belirtmektedir.
- **Hassasiyet:** İvmeölçerin yerçekimi ivmesiyle orantılı üretebileceği elektrik gücünü belirtmektedir. Birimi genellikle mV/g cinsindedir. Yapının frekans değerine göre düşük veya yüksek hassasiyetli ivmeölçerler tercih edilebilir. Yüksek hassasiyetli ivmeölçerler titreşimdeki küçük değişimlerde bile büyük tepkiler verebilir. Düşük frekansa sahip yapılarda yüksek hassasiyetli ivmeölçerler, yüksek frekansa sahip yapılarda ise düşük hassasiyetli ivmeölçerler seçilmelidir.
- **Maksimum İvme Değeri:** İvmeölçerin elektrik sinyali bozulmadan veya kaybolmadan ölçebileceği en büyük ivme genliği değerini belirtmektedir. Birimi g'dir.
- **Çalışma Sıcaklığı:** İvmeölçerin sağlıklı sinyal üretebileceği maksimum ve minimum ortam sıcaklığını belirtmektedir.

Tez kapsamında deneysel ölçümlerde, B&K 4507 B 005 ve B&K 8340 tipi tek eksenli ivmeölçerler (Şekil 1.7) kullanılmıştır. Bu ivmeölçerlere ait genel özellikler Tablo 1.2'de verilmektedir.



Şekil 1.7. a) B&K 8340 ve b) B&K 4507 tipi tek eksenli ivmeölçerler

Tablo 1.2. B&K 4507 B 005 ve 8340 tipi tek eksenli ivmeölçerlere ait bazı özellikler

Model	B&K 4507 B 005	B&K 8340
Hassasiyet	1 V/g	10 V/g
Frekans Aralığı	0.4-6000 Hz	0.1-1500 Hz
Maksimum İvme	± 7 g	± 0.5 g
Çalışma Sıcaklığı	-54 ile +100 °C arası	-51 ile +74 °C arası
Boyutlar	10 x 10 x 10 mm	50.3 x 50.3 x 91.9 mm
Toplam Kütle	4.8 gram	775 gram

1.4.3. Veri Toplama Sistemi ve Sinyal İşleme

Veri toplama sistemi, veri toplama ünitesi (data logger) ve bilgisayardan meydana gelmektedir. Veri toplama ünitesi, ivmeölçerlerden gelen sinyalleri toplamak ve ilgili bilgisayar yazılımına iletmek için kullanılmaktadır. Bilgisayar yazılımı ise, sinyallerin işlenmesi için gerekli arayüzü sağlamaktadır.

İvmeölçerler yapıdan aldıkları elektrik sinyallerini doğrudan ya da çeşitli sinyal koşullama ünitelerinden geçirdikten sonra veri toplama ünitesine aktarmaktadırlar. Elektrik sinyalleri uygun hızda ve çözünürlükte örneklendikten (sayısal forma dönüştürüldükten) sonra bilgisayar yazılımında işlenmekte ve depolanmaktadır.

İvmeölçerlerden veri toplama ünitesine aktarılan sinyaller yapı titreşimlerini ve ortamdaki gürültüleri içermektedir. Yani depolanan sinyaller hamdır. Bu ham sinyalleri kullanarak dinamik karakteristiklerin istenilen doğrulukta elde edilmesi güçleşmektedir. Bu

bağlamda veri toplama sisteminin en önemli işlevlerinden biri de sinyal koşullama işlemidir. Sinyal koşullama, ham sinyalleri istenen özelliklere getirme işlemidir. Bu işlem genellikle düşük seviyeli bir sinyalin kalitesini artırmak, gürültü sinyallerinin etkisini azaltmak, istenmeyen sinyalleri filtrelemek, gerekli durumlarda ivmeölçerlerdeki elektrik gücünü ayarlamak için gerçekleştirilmektedir. Veri toplama ünitesi içerisinde bulunan sinyal koşullandırıcılar bu işlemleri gerçekleştirmektedir. Bu işlemlerin en önemli adımı istenmeyen sinyallerin filtrelenmesidir. İstenmeyen sinyaller, seçilen frekans ölçüm aralığı dışında kalan yüksek frekans sinyalleridir. Bu bakımdan deneysel ölçümler sırasında gereksinim duyulan frekans aralığının belirlenmesi önem arz etmektedir. Bu konu için daha detaylı bilgi Heylen vd. (2007) ve Ramos'dan (2007) elde edilebilir.

Çalışma kapsamında gerçekleştirilen deneysel ölçümlerde veri toplama ünitesi olarak B&K 3560 C tipi 17 kanallı cihaz kullanılmıştır (Şekil 1.8). 17 kanallı veri toplama ünitesi bir adet beşlik, bir adet on ikilik olmak üzere iki adet ivmeölçer giriş devresine ve darbe çekiciden gelen etki sinyallerini ölçebilmek için bir adet kuvvet sensörü girişine sahiptir. Çalışma kapsamında kullanılan veri toplama ünitesi referanslı ölçüm yapabilme imkânında sağlamaktadır.



Şekil 1.8. B&K 3560 C tipi 17 kanallı veri toplama ünitesi (Günaydın, 2016)

Yapıların dinamik karakteristiklerinin belirlenebilmesi için veri toplama ünitesinde depolanan sinyallerin işlenmesi gerekmektedir. Bu adıma sinyal işleme ismi verilmektedir. Bu adım, filtrelenen sinyallerin sinyal koşullama işlemlerinden sonra bilgisayar ortamına gönderilmesiyle başlar. Sinyal işleme bilgisayarda geliştirilen özel yazılımlar kullanılarak gerçekleştirilmektedir. Sinyaller bilgisayara zaman ortamında aktarılmaktadır. Fakat

hesaplama kolaylığı ve hesaplama gereksinimlerinden dolayı sinyallerin frekans ortamında işlenmesi tercih edilmektedir. Zaman ortamındaki sinyallerin frekans ortamına aktarılmasında Fourier serilerinden yararlanılmaktadır (Altunışık, 2010; Sevim, 2010). $x(t)$ ile ifade edilen periyodik bir sinyal sonsuz Fourier serisine açıldığında,

$$x(t) = \frac{a_0}{2} + \sum_{n=1}^{\infty} \left[a_n \cos\left(\frac{2\pi n}{T} t\right) + b_n \sin\left(\frac{2\pi n}{T} t\right) \right] \quad (1.1)$$

şeklinde ifade edilmektedir (Ramos, 2007). Burada, a_0 , a_n , b_n sırasıyla aşağıdaki gibidir.

$$\left. \begin{aligned} a_0 &= \frac{2}{T} \int_0^T x(t) dt \\ a_n &= \frac{2}{T} \int_0^T x(t) \cos\left(\frac{2\pi n}{T} t\right) dt \\ b_n &= \frac{2}{T} \int_0^T x(t) \sin\left(\frac{2\pi n}{T} t\right) dt \end{aligned} \right\} \quad (1.2)$$

Sonsuz Fourier serisine açılan sinyal, t_k ($k=1,2,3,\dots,N$) gibi sonlu bir zamana karşılık gelmektedir. Bu durumda sonlu sinyal Fourier serisine açıldığında,

$$x_k = x(t_k) = \frac{a_0}{2} + \sum_{n=1}^{N/2} \left[a_n \cos\left(\frac{2\pi k}{N} n\right) + b_n \sin\left(\frac{2\pi k}{N} n\right) \right], \quad k=1,2,\dots,N \quad (1.3)$$

şeklinde ifade edilmektedir. Burada, a_0 , a_n , b_n sırasıyla aşağıdaki gibidir:

$$\left. \begin{aligned} a_0 &= \frac{2}{N} \sum_{k=1}^N x_k \\ a_n &= \frac{1}{N} \sum_{k=1}^N x_k \cos \frac{2\pi nk}{N} \\ b_n &= \frac{1}{N} \sum_{k=1}^N x_k \sin \frac{2\pi nk}{N} \end{aligned} \right\} \quad (1.4)$$

Sinyal işleme sırasında bazı problemlerle karşılaşmaktadır. Bu problemlerin en önemlisi sızıntı hatasıdır. Sızıntı hatası, sinyal periyodunun tam katlı olmamasından yani sinyalin periyodik olmamasından kaynaklanmaktadır. Bu hatayı azaltmak için ölçüm süresi uzun tutulmalıdır. Diğer bir çözüm ise pencereleme yöntemlerini kullanmaktır. Pencereleme yöntemleri sinyal periyodunu tam katlı hale getirerek sızıntı problemini ortadan kaldırmaktadır. Bu konuda daha fazla bilgi literatürden elde edilebilir (Heylen vd., 2007; Ramos, 2007; Şahin, 2009; Altunışık, 2010; Sevim, 2010).

Çalışma kapsamında yapılan deneysel çalışmalarda; ivmeölçerlerin veri toplama ünitesine tanıtılmasında, ivmeölçerlerden sinyallerin alınarak veri toplama ünitesinde depolanmasında, depolanan sinyallerin sinyal koşullandırma işlemlerinin tamamlanmasında ve bilgisayara dayalı sinyal işleme programına aktarılmasında Brüel&Kjaer Firması tarafından geliştirilen PULSE (2006) yazılımı kullanılmıştır. Titreşim testlerinden alınan sinyallerin işlenmesinde ve dinamik karakteristiklerin belirlenmesinde Operational Modal Analysis (OMA, 2006) yazılımı kullanılmıştır.

1.5. Deneysel Modal Analiz Yöntemi ile İlgili Genel Kurallar

Deneysel Modal Analiz (DMA) yönteminin geçmişi 1940'lı yıllara kadar uzanmaktadır. Bu yıllarda DMA yöntemiyle ilgili ilk çalışmalar uzay ve havacılık bilimlerinde, makine ve otomotiv sektörlerinde gerçekleştirilmiştir. DMA yönteminin inşaat mühendisliği yapıları üzerindeki ilk kullanımı 1980'li yıllarda gerçekleşmiştir (Chuntavan, 1993; Womack ve Halling, 1999; Ewins, 2000; Zhao ve DeWolf, 2002; Bayraktar vd., 2007; Ramos, 2007; Bayraktar vd., 2008; Bayraktar vd., 2009). DMA yöntemi genel olarak;

- ✓ Sonlu eleman model iyileştirilmesinde,
- ✓ Yapıların mevcut ve hasar görmüş durumlarının değerlendirilmesinde,
- ✓ Deneysel dinamik karakteristiklerin elde edilmesinde,
- ✓ Periyodik olarak yapı sağlığının takip edilmesinde kullanılmaktadır.

DMA yönteminde, deneysel ölçümler sırasında sıcaklık, nem gibi etkiler altında yapının malzeme özelliklerinde ve sınır şartlarında herhangi bir değişim olmadığı kabul edilir. Ayrıca yapıda oluşan titreşimlerin küçük olduğu ve yapının bu titreşimler altında doğrusal davranış gösterdiği; yapının bir noktasında elde edilen davranışın bütün yapıyı yansıttığı kabul edilmektedir.

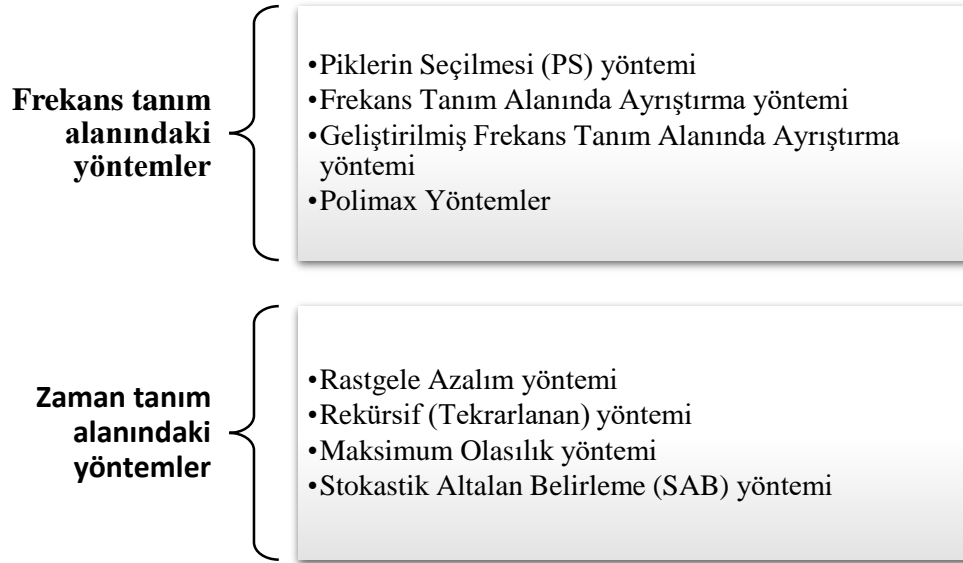
Kaliteli bir ölçümde uygulamacının bazı noktalara dikkat etmesi gerekmektedir. Bunlardan bazıları aşağıdaki gibi sıralanabilir:

- Yapının dinamik karakteristikleri hakkında ön bilgiye sahip olunmalıdır. Yapının davranışını yansıtacak yeterli sayıda mod sayısı, modları içeren frekans aralığı ve mod şekilleri bilinmelidir. Bu bilgilere yapının sonlu eleman analizi ile yaklaşık olarak ulaşılabilir.
- Zorlanmış Titreşim Yöntemi ve Çevresel Titreşim Yöntemi'nden hangisinin yapı için uygun olduğuna karar verilmelidir.
- Ölçümlerde kullanılacak ivmeölçer tipi seçilmeli ve hangi noktalara ivmeölçer yerleştirileceği belirlenmelidir. İvmeölçerler sadece yerleştirildikleri noktadaki sinyalleri algıladıklarından yapının mod şekillerini elde edecek şekilde, uygun bir sıklıkta yapıya yerleştirilmelidir. Ayrıca ölçümler sırasında ivmeölçerlerin yapıyla tam bağlı olması yani yapı ile ivmeölçer arasında gevşeklik olmaması ve ivmeölçerlerin yağmurdan, manyetik alandan ve darbelerden korunması gerekmektedir.
- Yapı üzerine yerleştirilen ivmeölçerler veri toplama ünitesine tanıtılmalıdır. İvmeölçerlerden veri toplama sistemine çekilen sinyal aktarım kablolarının planlanan kanala yerleştirilip yerleştirilmediği kontrol edilmeli ve ölçümlere başlanmadan önce, yapı üzerine yerleştirilen ivmeölçerlerden veri toplama ünitesine sinyal gelip gelmediği kontrol edilmelidir.
- Sinyaller toplanmaya başlamadan önce frekans aralığı ve ölçüm hassasiyeti, ölçüm süresi gibi ayarlar yapılmalıdır. Ölçüm süresinin belirlenmesi için çeşitli çalışmalar yapılmıştır. Bendat ve Piersol'a (1986) göre minimum 17 dk, Caetano'ya (2000) göre, yapının en büyük periyodunun 240-1280 katı kadar ölçüm alınmalıdır. Rodrigues'e (2004) göre, yapının en büyük periyodunun 2000 katı kadar ölçüm alınmalıdır. Ramos'a (2007) göre, her testte 10 dk'den az olmamak kaydıyla, yapının en büyük periyodunun 1000 katı kadar ölçüm alınmalıdır (Altunışık, 2010; Sevim, 2010).

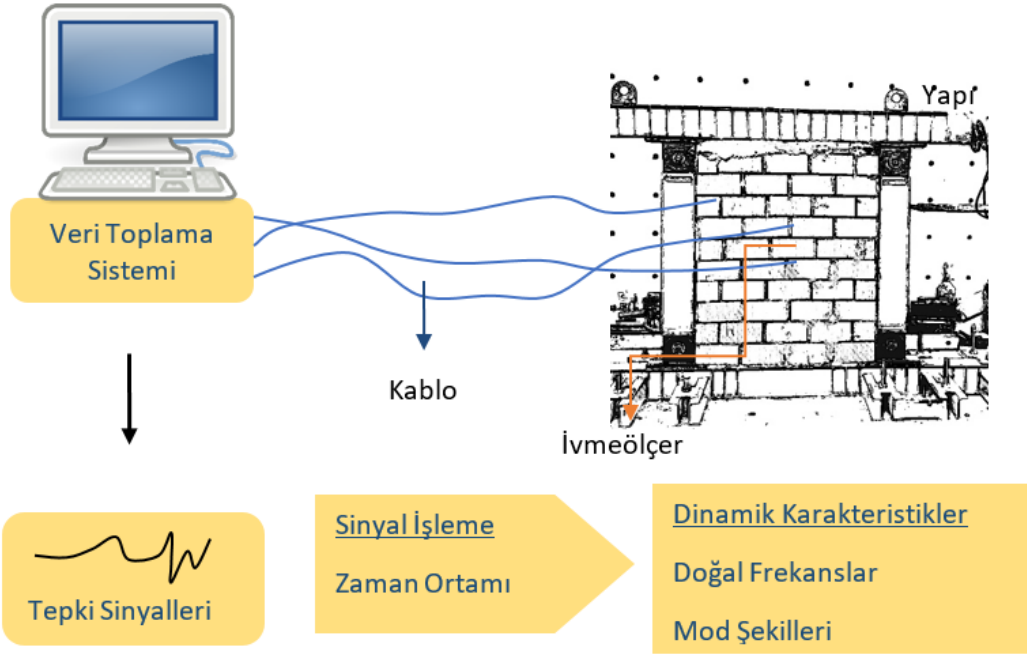
1.6. Deneysel Modal Analiz Yöntemine Ait Denklemler

1.6.1. Çevresel Titreşim Yöntemi

Çevresel Titreşim Yöntemi (ÇTY) yapılarda rüzgâr, deprem, taşıt yükleri, yaya hareketleri ve darbe etkileri gibi çevresel etkilerden meydana gelen titreşimleri dikkate alarak yapıların dinamik karakteristiklerinin deneysel olarak belirlenmesinde kullanılan bir yöntemdir. Yapılara etkiyen titreşimlerin genliği ve zamanla değişimi bu yöntem için bilinmemektedir. Dolayısıyla Etki Davranış Fonksiyonu belirlenemez. Bu nedenle bu yöntem literatürde Sadece Tepki Modal Analizi veya Operasyonel Modal Analiz gibi isimlerle adlandırılmaktadır (Zhang vd., 2002; Brincker vd., 2003). Dinamik karakteristikler, titreşimlerin yapı üzerinde oluşturdukları tepki verilerinin zaman veya frekans tanım alanlarında işlenmesi sonucu elde edilen Tepki Davranış Fonksiyonu ile belirlenmektedir. Davranış Fonksiyonunun belirlenmesinde zaman veya frekans ortamında gerçekleştirilen işlemlerin birbirlerine göre bir üstünlüğü bulunmayıp her iki ortama dayalı yöntemler dinamik karakteristiklerin elde edilmesinde kullanılabilir. Zaman ve frekans ortamına dayalı pek çok yöntem literatürde bulunmaktadır. Bu yöntemlerin bazıları Şekil 1.9'da özetlenmektedir. ÇTY'ye göre yapıların dinamik karakteristiklerinin nasıl belirlendiğini gösteren temsili akış şeması Şekil 1.9'da verilmektedir.



Şekil 1.9. ÇTY'ye dayalı bazı dinamik karakteristik belirleme yöntemleri



Şekil 1.10. ÇTY'ye göre yapıların dinamik karakteristiklerinin belirlenmesi

1.6.1.1. Geliştirilmiş Frekans Ortamında Ayrıştırma (GFOA) Yöntemi

Frekans Ortamında Ayrıştırma (FOA) yönteminin genişletilmiş hali olan Geliştirilmiş Frekans Ortamında Ayrıştırma (GFOA) yöntemi, dinamik karakteristiklerin elde edilmesi için sıklıkla tercih edilen bir yöntemdir. Bu yöntemde dinamik karakteristikler, sinyal işleme aşamasından sonra elde edilen spektral yoğunluk fonksiyonundan hesaplanan tekil değer ayrıştırma grafiğindeki piklerin seçilmesiyle elde edilmektedir. FOA yöntemi, Hızlı Fourier Dönüşümü'nde (HFD) tek bir frekans hattının kullanımına dayalı olduğundan, belirlenen doğal frekansın kesinliği HFD'nin çözünürlüğüne bağlıdır. FOA yönteminde yapının sönüm oranları belirlenemez. Diğer taraftan GFOA yönteminde belirlenen doğal frekansların ve mod şekillerinin kesinliği artırılmakta ayrıca sönüm oranları da elde edilebilmektedir (Jacobsen vd., 2006; Altunışık, 2010; Sevim, 2010).

GFOA yönteminde, bir titreşim pikinin etrafında tanımlanan tek serbestlik dereceli Güç Spektral Yoğunluk fonksiyonu (GSY), Ters Ayırık Fourier Dönüşümü kullanılarak zaman ortamına geri dönüştürülebilmektedir. Doğal frekans, zamana bağlı sıfır geçiş sayısının belirlenmesiyle; sönüm ise tek serbestlik dereceli normalize edilmiş oto korelasyon fonksiyonunun logaritmik azalışıyla elde edilmektedir (Jacobsen vd., 2006; Altunışık, 2010;

Sevim, 2010). GFOA yönteminde ölçülmeyen etki kuvveti ve ölçülen davranış fonksiyonu arasındaki ilişki;

$$G_{yy}(j\omega) = H(j\omega)^* G_{xx}(j\omega)H(j\omega)^T \quad (1.5)$$

şeklinde ifade edilmektedir (Bendat ve Piersol, 2004). Denklem 1.5'te; $G_{xx}(j\omega)$ etki sinyalinin Güç Spektral Yoğunluk (GSY) fonksiyonunu, $G_{yy}(j\omega)$ tepki sinyalinin Güç Spektral Yoğunluk fonksiyonunu ve $H(j\omega)$ frekans davranış fonksiyonunu göstermektedir. Denklem (1.5)'deki * ve T sırasıyla ifadelerin kompleks eşleniğini ve transpozisini göstermektedir. Matematiksel düzenlemelerden sonra tepki sinyaline ait GSY fonksiyonu tek kutuplu artık değer fonksiyonu formunda,

$$H(j\omega) = \sum_{k=1}^n \frac{R_k}{j\omega - \lambda_k} + \frac{R_k^*}{j\omega - \lambda_k^*} \quad (1.6)$$

şeklinde elde edilmektedir. Burada; n mod sayısını, λ_k kutup fonksiyonunu ve R_k artık değer fonksiyonunu göstermektedir. Gerekli düzenlemeler yapıldıktan sonra denklem (1.5),

$$G_{yy}(j\omega) = \sum_{k=1}^n \sum_{s=1}^n \left[\frac{R_k}{j\omega - \lambda_k} + \frac{R_k^*}{j\omega - \lambda_k^*} \right] G_{xx}(j\omega) \left[\frac{R_s}{j\omega - \lambda_s} + \frac{R_s^*}{j\omega - \lambda_s^*} \right]^{\bar{H}} \quad (1.7)$$

şeklinde elde edilmektedir (Brincker vd., 2000). Burada; s tekil değerleri, \bar{H} kompleks eşleniği ve transpozeyi ifade etmektedir. Matematiksel ifadeler sadeleştirildiğinde tepki sinyaline ait GSY fonksiyonu tek kutuplu artık değer fonksiyonu formunda,

$$G_{yy}(j\omega) = \sum_{k=1}^n \frac{A_k}{j\omega - \lambda_k} + \frac{A_k^*}{j\omega - \lambda_k^*} + \frac{B_k}{-j\omega - \lambda_k} + \frac{B_k^*}{-j\omega - \lambda_k^*} \quad (1.8)$$

şeklinde elde edilmektedir (Brincker vd., 2000). Burada; A_k tepki sinyalinin GSY fonksiyonuna ait k. artık değer matrisini göstermektedir. GFOA yönteminde ilk adım GSY matrisini belirlemektir. Ayırık frekanslarda tepki sinyalinin GSY'sinin tahmini $w = w_i$

olarak bilinmekte ve sonra tekil değer ayırışım matrisi alınarak ayrıştırılmaktadır (Brincker vd., 2000). Buna göre denklem (1.9),

$$G_{yy}(j\omega_i) = U_i S_i U_i^H \quad (1.9)$$

şeklinde ifade edilmektedir. Burada; u_{ij} tekil vektörleri, $U_i = [u_{i1}, u_{i2}, \dots, u_{im}]$ tekil vektörleri içeren bütün matrisi, s_{ij} skaler tekil değerleri ve $S_i = [s_{i1}, s_{i2}, \dots, s_{im}]$ skaler tekil değerleri içeren diyagonal matrisi göstermektedir. Denklem (1.9)'da verilen GSY fonksiyonunda, pik değer yapan noktalar doğal frekanslara karşılık gelmektedir. Pik noktaları oluşturan tekil vektörler (u_{ij}) ise doğal mod şekillerine karşılık gelmektedir (Brincker vd., 2000).

Pik etrafındaki GSY fonksiyonundan elde edilen tek serbestlik dereceli tekil değer yoğunluk fonksiyonu kullanılarak doğal frekans ve sönüm elde edilmektedir. Bu işlem ters HFD yapılarak zaman ortamında doğal frekans ve sönüm belirlenebilmektedir (Brincker vd., 2000). İki modun belirgin olması durumunda, birinci tekil vektör her zaman için iyi bir mod şekli ortaya koyacaktır. Bununla birlikte, iki mod ortogonal olması durumunda, bu modlara ait tekil vektörler ilgili mod şekil vektörlerini göstermektedir (Brincker vd., 2000; Altunışık, 2010; Sevim, 2010).

1.6.1.2. Stokastik Altalan Belirleme (SAB) Yöntemi

Stokastik Altalan Belirleme (SAB) yöntemi korelasyon veya spektruma ihtiyaç duymadan doğrudan zaman verileriyle çalışan, zaman ortamına dayalı bir yöntemdir. Bu yöntem dinamik karakteristiklerin belirlenmesi için çok uygundur (Overschee ve Moor, 1996; Peeters ve Roeck, 2000; Peeters, 2000). Bu yöntemde yapı sisteminin dinamik davranışı lineer, sabit katsayılı ikinci derece diferansiyel denklem olarak,

$$M\ddot{U}(t) + C\dot{U}(t) + KU(t) = R(t) = Bu(t) \quad (1.10)$$

şeklinde ifade edilmektedir. Burada; M , C , K sırasıyla sistemin kütle, sönüm ve rijitlik matrisleridir. $R(t)$ titreşim kuvvetini; $U(t)$, $\dot{U}(t)$, $\ddot{U}(t)$ ise zamana bağlı yerdeğiştirme, hız ve ivme vektörlerini göstermektedir. Burada $R(t)$ kuvvet vektörü, ortamdaki verileri

simgeleyen B matrisi ve $u(t)$ vektörü cinsinden ifade edilebilmektedir. Dinamik denge denklemi (1.10), titreşen yapının davranışını temsil etmesine rağmen bu şekliyle SAB yöntemine uygun değildir. Bu yüzden, denklem (1.11) daha uygun bir form olan ayrık-zaman stokastik durum-uzayı modeline dönüştürülmektedir. Durum-Uzay modeli kontrol teorisinden üretilmekte, fakat bu model inşaat mühendisliğinde viskoz sönüme sahip yapıların dinamik karakteristiklerini hesaplamak için kullanılmaktadır. Aşağıdaki tanımlamalar kullanılarak (1.11) denklemi,

$$\left. \begin{aligned} \mathbf{x}(t) &= \begin{pmatrix} \mathbf{U}(t) \\ \dot{\mathbf{U}}(t) \end{pmatrix} \\ \mathbf{A}_* &= \begin{pmatrix} 0 & \mathbf{I}_{n_2} \\ -\mathbf{M}^{-1}\mathbf{K} & -\mathbf{M}^{-1}\mathbf{C} \end{pmatrix} \\ \mathbf{B}_* &= \begin{pmatrix} 0 \\ \mathbf{M}^{-1}\mathbf{B} \end{pmatrix} \end{aligned} \right\} \quad (1.11)$$

$$\dot{\mathbf{x}}(t) = \mathbf{A}_*\mathbf{x}(t) + \mathbf{B}_*u(t) \quad (1.12)$$

şeklinde ifade edilebilmektedir. Burada; \mathbf{A}_* durum matrisini, \mathbf{B}_* veri matrisini ve $\mathbf{x}(t)$ durum vektörünü göstermektedir. Çevresel titreşim testlerinde, yapının bütün serbestliklerini ölçmek pek mümkün olmamaktadır. Dolayısıyla durum-uzay vektörünün eleman sayısı, sistemin durumunu tanımlayan bağımsız değişken sayısına eşittir ve gözlem denklemi,

$$y(t) = \mathbf{C}_*\mathbf{x}(t) + \mathbf{D}_*u(t) \quad (1.13)$$

şeklinde ifade edilmektedir. Burada; \mathbf{C}_* sistem davranış matrisini, \mathbf{D}_* doğrudan iletim matrisini göstermektedir. Denklem (1.13) ve (1.14) sürekli-zaman belirli durum-uzayı modelini oluşturmaktadır. Burada, “Sürekli Zaman” ile ifadelerin herhangi bir $t \in \mathbb{N}$ anında değerlendirilebileceği ifade edilmektedir. Fakat ölçümler $k\Delta t$ ($k \in \mathbb{N}$) gibi ayrık zamanlarda gerçekleştirilmektedir. Örnekleme süresi ve ortamdaki gürültü sinyal verilerini her zaman için etkilemektedir. Örneklemeden sonra durum-uzay modeli,

$$\left. \begin{aligned} \mathbf{x}_{k+1} &= \mathbf{A}_* \mathbf{x}_k + \mathbf{B}_* \mathbf{u}_k \\ \mathbf{y}_k &= \mathbf{C}_* \mathbf{x}_k + \mathbf{D}_* \mathbf{u}_k \end{aligned} \right\} \quad (1.14)$$

şeklinde ifade edilmektedir. Burada; $\mathbf{x}_k = \mathbf{x}(k\Delta t)$ ayrık-zaman durum vektörünü, \mathbf{u}_k belirgin etki sinyal vektörünü göstermektedir. Gerçek operasyonel koşullarda yapılan ölçümler, yapıya ve dış ortamdaki gürültüye ait sinyalleri içermektedir. Dolayısıyla denklem (1.14)'e stokastik gürültü bileşenleri eklendiğinde belirli-stokastik durum-uzayı modeli,

$$\left. \begin{aligned} \mathbf{x}_{k+1} &= \mathbf{A}_* \mathbf{x}_k + \mathbf{B}_* \mathbf{u}_k + \mathbf{w}_k \\ \mathbf{y}_k &= \mathbf{C}_* \mathbf{x}_k + \mathbf{D}_* \mathbf{u}_k + \mathbf{v}_k \end{aligned} \right\} \quad (1.15)$$

şeklinde ifade edilmektedir. Burada; \mathbf{w}_k , modeldeki belirsizlikler ve kusurlar nedeniyle işlenen gürültü sinyallerini, \mathbf{v}_k ise ivmeölçer kusurlarından dolayı işlenen gürültü sinyalini göstermektedir. Her iki vektörde değeri ölçülemeyen sinyallerden oluşmaktadır. Etkisi olmayan beyaz gürültü ve kovaryans matrisleri,

$$\mathbf{E}_* \left[\begin{pmatrix} \mathbf{w}_p \\ \mathbf{v}_p \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \mathbf{w}_q^T & \mathbf{v}_q^T \end{pmatrix} \right] = \begin{pmatrix} \mathbf{Q} & \mathbf{S} \\ \mathbf{S}^T & \mathbf{R} \end{pmatrix} \delta_{pq} \quad (1.16)$$

şeklinde ifade edilmektedir. Burada; \mathbf{E}_* beklenen değer operatörünü, δ_{pq} ise Kronecker delmayı göstermektedir. Kronecker delta iki değişkenli bir fonksiyondur ve aşağıdaki gibi ifade edilmektedir.

$$\delta_{pq} = \begin{cases} 1, & \text{eğer } p = q \\ 0, & \text{eğer } p \neq q \end{cases} \quad (1.17)$$

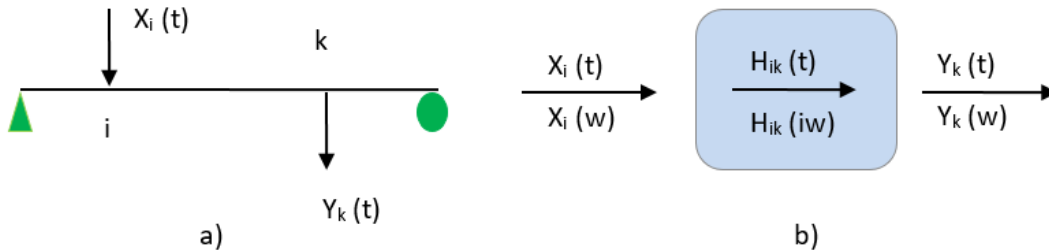
SAB yönteminde yapı sisteminin davranışı, normal operasyon koşullarında değeri ölçülemeyen sinyallerle titreştirilerek belirlenmektedir. Bu veri eksikliğinden dolayı, denklem (1.15)'te gösterilen belirgin sinyal verisi \mathbf{u}_k 'yi, gürültü terimleri olan \mathbf{w}_k ve \mathbf{v}_k 'den ayırt etmek mümkün değildir. Bu durumda, \mathbf{u}_k gürültü terimleri \mathbf{w}_k ve \mathbf{v}_k cinsinden yazılırsa yapının ayrık-zaman stokastik durum-uzay modeli,

$$\left. \begin{aligned} x_{k+1} &= A_* x_k + w_k \\ y_k &= C_* x_k + v_k \end{aligned} \right\} \quad (1.18)$$

şeklinde ifade edilmektedir. Denklem (1.18), çevresel titreşimlerden dinamik karakteristiklerin belirlenmesinde zaman alanının temelini oluşturmaktadır (Altunışık, 2010; Sevim, 2010).

1.6.2. Zorlanmış Titreşim Yöntemi

Yapıların dinamik karakteristikleri olarak adlandırılan doğal frekans, mod şekli ve sönüm oranlarının deneysel ölçüm yöntemlerine bağlı olarak belirlenmesinde yaygın olarak kullanılan yöntemlerden bir diğeri de Zorlanmış Titreşim Yöntemidir (ZTY). ZTY’de yapı, bilinen ve ölçülebilen bir kuvvet ile uyarılmakta ve yapının bu kuvvete karşı verdiği tepki ölçülmektedir. ZTY’de yapı $X_i(t)$ gibi yapay bir kuvvetle i noktasından titreştirilmekte ve yapının bu etkiye göstermiş olduğu tepki- $Y_k(t)$, yapay kuvvet sinyali- $X_i(t)$ ile birlikte ölçülmektedir (Şekil 1.7a). Yapının uyarılması amacıyla genellikle elektrodinamik sarsıcılar, sarsma tablaları ve darbe çekiçleri kullanılarak yapay titreşimler üretilir. Elde edilen titreşim verileri ivmeölçerler vasıtası ile toplanarak sinyal analizörlerinde işlenmektedir. Zaman ortamında ölçülen titreşim sinyalleri frekans ortamına Fourier serileri kullanılarak dönüştürüldüğünde, etki-tepki zaman sinyalleri arasındaki ilişkiyi gösteren FDF- H_{ik} yerini Transfer Matrisi- $H_{ik}(i\omega)$ olarak adlandırılan FDF matrisine bırakmaktadır (Şekil 1.11b) (Schwarz ve Richardson, 1999).



Zorlanmış Titreşim Yöntemi'nde, etki-tepki sinyalleri arasındaki ilişki,

$$H_{i,k}(iw) = \frac{Y_k(w)}{X_i(w)} \quad (1.19)$$

şeklinde ifade edilmektedir. Burada; $H_{ik}(iw)$ Frekans Davranış Fonksiyonu'nu, $X_i(w)$ frekans ortamındaki etki fonksiyonunu ve $Y_k(w)$ frekans ortamındaki tepki fonksiyonunu göstermektedir. Elde edilen Frekans Davranış Fonksiyonu $H_{ik}(iw)$ çeşitli sayısal teknikler kullanılarak ayrıştırılmakta ve yapıya ait doğal frekanslar, mod şekilleri ve sönüm oranları elde edilmektedir. ZTY'ye göre bir yapının dinamik karakteristiklerinin nasıl belirlendiğini gösteren akış şeması. Uygulanan bu kuvvet altında, yapı sınır koşullarına ve malzeme özelliklerine bağlı olarak bir titreşim hareketi yapar. Yapının bu etkiye gösterdiği tepki ise yapıya bağlanan ivmeölçerle benzer şekilde zaman ortamında ölçülür. Hızlı Fourier dönüşümü (HFD) kullanılarak etki ve tepki fonksiyonları zaman ortamından frekans ortamına dönüştürülür. Yapıya ait frekans davranış fonksiyonu (FDF), Fourier dönüşümleri yapılmış tepki fonksiyonunun etki fonksiyonuna bölünmesiyle elde edilir (Reynold, 2000).

1.7. Analitik Dinamik Karakteristiklerin Belirlenmesi

Yapı sistemlerinin dinamik davranışlarının hesaplanmasında kullanılan hareket denklemi veya dinamik denge denklemi,

$$M\ddot{U} + C\dot{U} + KU = R \quad (1.20)$$

şeklinde ifade edilebilmektedir. Burada M , C ve K sistemin sırasıyla kütle, sönüm ve rijitlik matrislerini, U , \dot{U} ve \ddot{U} ise aynı sistemin rölatif yerdeğiştirme, hız ve ivme vektörlerini göstermektedir. R ise sisteme etkiyen dış yük vektörüdür.

Eğer bir sistem mesnet hareketi ya da dış bir etki altında olmadan sadece başlangıç şartları nedeniyle titreşiyorsa, bu tür titreşim serbest titreşim olarak bilinir. Serbest olması titreşim esnasında zamana bağlı herhangi bir dış etkinin olmadığına işaret eder (Celep, 2011).

Herhangi bir yapı sistemine ait doğal frekanslar ve mod şekilleri, o sisteme ait sönümsüz serbest titreşim hareket denkleminin çözümünden elde edilmektedir. Bu durumda

denklem (1.20)'da sönümün ve dış kuvvetin olmadığı kabul edilirse, sistemin zamana bağlı sönümsüz serbest titreşim (modal) hareket denklemi,

$$M\ddot{U} + KU = 0 \quad (1.21)$$

şeklinde ifade edilebilmektedir (Chopra, 2006).

Serbest titreşim hareketi harmonik bir harekettir ve yerdeğiştirmeler denklem (1.21) yardımıyla elde edilebilir.

$$U = A \cos(\omega_n t) + B \sin(\omega_n t) \quad (1.22)$$

Burada A ve B başlangıç şartlarından elde edilir. Bununla birlikte, α faz açısı; ω_n doğal açısal frekans ve ϕ hareketin genlik vektörü olmak üzere, sönümsüz bir sistemin serbest titreşimi için çözüm,

$$U = \phi \cos(\omega_n t - \alpha) \quad (1.23)$$

şeklinde yazılabilir. (1.22) denkleminde,

$$\ddot{U} = -\omega_n^2 \phi \cos(\omega_n t - \alpha) \quad (1.24)$$

elde edilir. (1.22) ve (1.23) denklemleri (1.20)'de yerine yazılırsa,

$$-\omega_n^2 M \phi \cos(\omega_n t - \alpha) + K \phi \cos(\omega_n t - \alpha) = 0 \quad (1.25)$$

elde edilir. Bu denklem düzenlenirse,

$$(K - \omega_n^2 M) \phi = 0 \quad (1.26)$$

bir özdeğer denklemi elde edilir. Bu denklemden titreşim elde edilebilmesi için ϕ 'nin sıfırdan farklı olması gerekir. Sıfırdan farklı bir matris ile bir vektörün çarpımlarının sıfır

olmasının tek yolu, matrisin tersinin bulunamaması yani bunun tekil bir matris olmasıdır. Bir matrisin tekil olabilmesi için ise, determinantının sıfır olması gerekmektedir. Buna göre;

$$|\mathbf{K} - \omega_n^2 \mathbf{M}| = 0 \quad (1.27)$$

olmalıdır. Burada $\omega_n^2 = \lambda$ alınırsa (1.26) denklemi,

$$|\mathbf{K} - \lambda \mathbf{M}| = 0 \quad (1.28)$$

şeklinde elde edilir. (1.27) denklemi “Özdeğer Denklemi” veya “Frekans Denklemi” olarak adlandırılmaktadır. (1.27)’deki determinant alınırsa λ ’ya bağlı n. dereceden bir polinom elde edilir.

$$A_n \lambda^n + A_{n-1} \lambda^{n-1} + \dots + A_1 \lambda^1 + A_0 = 0 \quad (1.29)$$

(1.29) denkleminde n yapısal sistemin serbestlik derecesini göstermektedir. Bu denklemin çözümünden n tane λ elde edilir. Her bir λ , bir ω^2 ’ye tekabül eder. Yani,

$$\begin{aligned} \lambda_1 &= \omega_1^2 \\ \lambda_2 &= \omega_2^2 \\ &\vdots \\ \lambda_n &= \omega_n^2 \end{aligned}$$

şeklindedir. Bu değerlere “Özdeğer”, “Karakteristik Değer” veya “Normal Değer” adı verilir. Demek ki n serbestlik dereceli bir sistemin n tane doğal titreşim frekansına ($\omega_1, \omega_2, \omega_3 \dots \omega_n$) tekabül eden n tane bağımsız ϕ vektörü vardır. Bu vektörler, “Doğal Titreşim Modları” veya “Doğal Titreşim Mod Şekilleri” olarak adlandırılmaktadır. Bu vektörler, ayrıca “Öz Vektörler”, “Karakteristik Vektörler” veya Normal Modlar” olarak bilinmektedir.

(1.29) denkleminin kökleri gerçek pozitifdir. Sistemin doğal frekanslarının en küçüğü “Temel Frekans” ve bu frekansa karşılık gelen mod şekli “Temel Mod Şekli” olarak adlandırılır.

1.8. Kapsam

Son yıllarda, deprem mühendisliği alanında, binalara daha fazla doğruluk ve güvenlik sağlamak ve analiz ve tasarım yöntemleri arasındaki tutarlılığı artırmak için doğrusal olmayan yapısal analizler yapmaya çalışan yeni bir araştırma tanımlanmıştır (Priestley vd., 2007). Doğrusal elastik analiz yöntemleri tasarım için yeterli bilgi sağlamaz, bu yüzden bunlar doğrusal olmayan analiz teknikleri ve programları ile değiştirilmelidir. Bu anlamda, katkıda bulunan yapıların davranışının diğer yapısal sistemlerden daha iyi anlaşıldığı söylenebilir, çünkü genel olarak hem doğrusal hem de doğrusal olmayan aralıklar için analiz için genellikle yeterince doğru olan çubuk elemanlar kullanılır. Ancak, yığma yapılarının birçok nedenden dolayı analizi çok daha karmaşıktır ve bugün yığma en eski yapı malzemelerinden biri olmasına rağmen birçok belirsizlik sunmaktadır. Davranışlarının bilgisinin bulunmamasının ana nedenlerinden bahsedilebilir: mekanik davranışlarının karmaşıklığı; çalışması için dikkate alınması gereken çok sayıda değişken; ve malzemelerin özellikleri, işgücünün kalitesi, duvar ile çerçeve arasındaki temas koşulları veya harç ve tuğlalar arasındaki uyum gibi bazılarının kontrol edilmesi ve / veya nicelendirilmesi çok zordur.

Duvar yapılarının mekanik davranışının analizinin karmaşıklığı, en az iki açıdan özetlenebilir: materyal, doğrusal olmayan bir davranış sergiler, böylece doğrusal elastik analiz yeterli olmaz ve diğer yandan yapısal şemalar bulunur. Yığmanın yapısal analizi için kabul edilebilecek olan yapı, betonarme yapılara (beton veya çelik) uygulananlardan daha karmaşıktır, çünkü yığma yapı iki veya üç boyutlu elemanlar kullanılarak modellenmelidir. Yukarıdakilerin bir sonucu olarak, yığma yapıların davranışı ve analizi halen İnşaat Mühendisliği alanındaki en önemli araştırma alanlarından birini temsil etmektedir.

Ek olarak, betonarme çerçeveler kullanan yapıların çoğu genellikle yığma duvarlarla doldurulur. Ortaya çıkan sistem, düzlemde yüksek sertliğe ve dirence sahip olan dolgu çerçeveler olarak bilinir. Düşük yanal yük seviyelerinde sütunlu giriş ve dolgu duvar bir bütün olarak birlikte hareket eder. Bununla birlikte, yanal kuvvetler arttığında, çerçeve bir eğilme modunda deforme olmaya çalışırken, dolgu bir kesme modunda deforme olmaya çalışır. Çerçeve ve dolgu paneli arasındaki etkileşim, dolgu sütunlu girişin yanal sertliğini önemli ölçüde artırır ve yapının beklenen dinamik tepkisini önemli ölçüde değiştirir. Yukarıdakilere rağmen, dolgu duvar panellerinin etkisi, sistemin yanal sertliği, mukavemeti

ve sünekliği tahmininde önemli yanlışlıklara yol açabilecek bir durum olan analizde sıklıkla ihmal edilmektedir (Tasnimi ve Mohebkah, 2011; Montserrat, 2011). Günümüzde bile bina tasarımında duvarların katkısını ihmal etmek yaygın bir gelenektir. Çerçevenin, faydalı ömrü boyunca maruz kalacağı yanal etkilere dayanacak şekilde tasarlanması durumunda, duvarların varlığının bir direnç rezervi olduğu tartışılmaktadır. Bununla birlikte, daha önce belirtildiği gibi, duvarların varlığı, çerçevelerin yanal yük altındaki davranışını, yokluklarında gözlemlenecek olanlara göre büyük ölçüde değiştirir. Duvarlar, çerçevelerin rijitliğini önemli ölçüde artırır, bu da doğal titreşim dönemlerini azaltır ve bu nedenle, maruz kalacağı sismik eylemlerde bir değişiklik olmaktadır. Ek olarak, duvar ve çerçeve arasındaki etkileşim hem kendi davranışıyla hem de bütünüün davranışıyla ilgili olabilir. Bununla birlikte, bu yön ayrıntılı olarak incelenmemiştir, araştırmaların çoğu bu tür yapının küresel davranışına odaklanmıştır. Çerçeve-duvar etkileşimi sorunu hâlâ çözülmekten uzaktır. İlginç bir çalışma alternatifi, simülasyona izin veren, daha sonra deneyler gerçekleştiren ve bunlara dayalı olarak yapısal mühendisliğin günlük uygulamalarında kullanılmak üzere daha az ayrıntılı analiz modelleri öneren sayısal prosedürlerin geliştirilmesidir. Bu modeller, malzemelerin mekanik özelliklerine göre ihtiyaçlarına uygun deneysel bilgilerle beslenmeli ve tam modellerde deneysel sonuçlarla doğrulanmalıdır. Son yıllarda sayısal yöntemlerin ve hesaplamaların sahip olduğu gelişme, Sonlu Elemanlar Yöntemi'nin (FEM) karmaşık şekil ve davranış yapılarının analizine uygulanmasına izin vermiştir. Bu çalışmalar, etkilerinin yapının genel davranışına dahil edilmesine izin vermelerine rağmen, doğrusal aralıkta bile yerel davranışlarının bilinmesine izin vermeyen duvarlara eşdeğer yapısal elemanların (dikmeler veya çaprazlar) ortaya çıkmasını sağlamıştır.

Özetle, özellikle yatay eylemler karşısında, yığma yapıya sahip binaların davranışlarının incelenmesinde ortaya çıkan ana zorluklardan birinin, bileşenlerinin kırılma doğası göz önüne alındığında, modelleme ve analitik işlemlerde yattığı sonucuna varılabilir. Betonarme, öngerilmeli beton ve çelik yapıların boyutlandırılması ve doğrulanmasının yanı sıra, birçok durumda doğrusal elastik analizden elde edilen gerilme zarflarından başlamak mümkündür, yığma yapılarda bu tür analizler yalnızca bir kalitatif bakış açısı, bunların gerçek direnç mekanizmalarını ve sonuç olarak taşıma kapasitelerini belirlemek için genel olarak uygunsuz veya yetersiz kalmasıyla sonuçlanır.

Gerçekte, duvar yapılarının analizi karmaşık bir iştir, çünkü malzeme, esas olarak homojenlik ve standardizasyon eksikliğinden kaynaklanan çok özel bir mekanik davranış

sergiler. Böyle bir kompozit malzemenin yapısal tepkisi, üniteler ve harç ek yerleri arasındaki karmaşık etkileşimden kaynaklanmaktadır.

Geleneksel basitleştirilmiş analiz yöntemleri, çatlak açılması, sıkıştırma arızası ve kayma kayması gibi duvarda bulunan tüm karmaşık olayları ele alamaz. Gözlemlenen gerçek yapısal davranış ile geleneksel analiz yöntemlerinden türetilen tahminler arasındaki uyumsuzluklar, sofistike ve gelişmiş hesaplama stratejilerine olan ihtiyacı doğurdu. Sayısal yaklaşım, özellikle son zamanlarda böylesine karmaşık bir problem karşısında etkili bir olasılıktır. Duvarın yapısal mekanik davranışının değerlendirilmesi için çeşitli hesaplama yöntemleri ve araçları mevcuttur. Sayısal yaklaşım, özellikle son zamanlarda böylesine karmaşık bir problem karşısında etkili bir olasılıktır. Duvarın yapısal mekanik davranışının değerlendirilmesi için çeşitli hesaplama yöntemleri ve araçları mevcuttur. yaklaşımlar farklı teoriler kullanır, bu da farklı karmaşıklık seviyelerine ve hesaplama maliyetine neden olur. Bazı analiz stratejileri hala çalışma aşamasındadır, bu nedenle sorun açık kalır. Bu günlerde, sismik eylemler de dahil olmak üzere farklı eylemler altında yığma yapıların yapısal kapasitesini belirlemek ve elde ettiği hasar seviyelerini belirlemek için başarıyla kullanılacak hesaplamalı analiz modelleri geliştirmek için önemli bir çaba var. Bu özel durumda, kapasite belirleme, normalde son durumda yığma yapılarda görülen yerel ve küresel hasarın gelişimini doğru bir şekilde dikkate almalıdır. Çatlama olgusunun analizi, tarihi yapılardaki mevcut ve görünür çatlakların nedenlerini anlamak için de yararlıdır.

Yığma belirli özellikleri nedeniyle, diğer araştırma alanlarından (beton, kaya ve kompozit malzemelerin mekaniği) gelen mevcut sayısal araçların benimsenmesi veya uyarlanmasında çok sayıda zorluk ortaya çıkar. Yukarıda bahsedilen tüm faktörler, yığma yapıların analizi için yeterli ve spesifik araçların geliştirilmesi gereğine yol açmıştır.

Son yıllarda, bilimsel topluluk her ülkede sıklıkla temeline dayanan pratik kuralların ve ampirik formüllerin kullanımına ilişkin yaygın geleneğin aksine, yığma yapıların analizi için gelişmiş sayısal araçların geliştirilmesine büyük ilgi göstermiştir. Bu düzenlemeler tuğla duvar davranış mekanizmalarını basitleştirmeye çalışın, hangi yapının bir aşırı boyutlandırma ile sonuçlanır. Bu tür hesaplama kurallarının kullanılmasının bir diğer sonucu da yapısal değerlendirme prosedürlerinin basitleştirilmesiyle öngörülme mekanizmaların ve çatlakların oluşmasıdır.

Bu konuda yapılan çok sayıda araştırma, geçmişte sayısal yönlere verilen önemin çok az olduğunu vurgulayarak, yığma yapıların yapısal analizi için çeşitli sayısal modeller önermektedir. Bu tür modeller, farklı teorik temeller ve ayrıntı seviyeleri ile karakterize

edilir. Bu farklılıkların nedeni, üzerinde çalışılabilecek çok çeşitli yönlerdir, bu da tek bir mutlak uygulama modeli elde etmeye çalışmayı ve genel geçerliliği gerçekçi kılar. Çeşitli analiz biçimleri uygulanabilir olabilir ve analistin seçimi aradığı bilgilere (hasar, çökme, arıza mekanizmaları, vb.), gerekli hassasiyet düzeyine (yapının yerel veya küresel davranışı), gerekli giriş verilerine (malzemenin özellikleri hakkında ayrıntılı veya yaklaşık bilgi) ve maliyetlere (esas olarak analiz için izin verilen süre) bağlıdır (Pelá , 2009).

1.9. Tezin Amacı ve İçeriği

Bu tezin ilk bölümü, yığma yapı hakkında genel bilgilerle, aynı zamanda birkaç yıl boyunca literatür taraması yoluyla gerçekleştirilen çeşitli analitik veya deneysel çalışmalarla ilgilidir. Bu literatür taramasında, gittikçe daha fazla kullanılan bu yöntem olduğu için FRP yoluyla güçlendirme temasına da değinilmiştir. Diğer araştırmacıların çalışmalarına dayanarak, bu bölüm diğer bölümlerde geliştirilecek çalışma alanını sınırlandırmayı ve tanımlamayı amaçlamaktadır.

Tezin ikinci kısmı, iki tür tuğla (düşey delikli tuğla ve harman tuğla) ile yapılan tüm çalışmalarla ilgilirdir. Bu çalışma önce analitik, sonra deneyseldir. Aslında, analiz, hem mikro modelleme hem de modal analizler için iyi bir modelleme bilgisi ve onunla birlikte gelen tüm parametreler gerektirir. Bu şekilde, döngüsel kuvvetlerin etkisi altında bir mikro modelleme analizi ve bir modal analiz, her iki tuğla türü için de yapılmıştır. Bu nedenle, ABAQUS yazılımını yöneten yasalar, kavramlar ve formüller hakkında derinlemesine bilgi gereklidir. Aslında, bu kavramların ve yığma yapı verilerinin yanlış kullanımı ABAQUS arızasına veya deneysel sonuçlardan çok farklı sonuçlara yol açabilir.

Deneye gelince, öncelikle farklı duvarları içeren çelik çerçeve üzerine çevrimsel kuvvetlerin uygulanmasına dayanmaktadır. Bu kuvvetler duvarlara zarar vermiş ve frekansları ve şekil modları kaydedilmiştir. Hasar bir kez ortaya çıktığında, duvarları mevcut takviye teknolojisi olan FRP ile güçlendirmek gerekir. Bundan dolayı, yığma yapıların güçlendirilmesi, onlara zarar verebilecek veya zayıflatabilecek hasarlı telafi etmek için gereğinden fazladır.

Yığma yapı bu sıralar zamanın zorluklarına, iklimsel tehlikelere ve özellikle deprem gibi doğal afetlere cevap vermelidir. Bu, TS EN 771-1 standardının, yığma yapıda ve inşaat mühendisliği alanındaki diğer yapılarda kullanılan farklı tip tuğlaların elemanlarının, iç kaplamalar ve bölmeler dahil performans özelliklerini ve performans gereksinimlerini

belirlediği Türkiye durumudur. FRP gibi yeni tekniklerle daha uygulanabilir ve güçlendirilmesi için uygun çözümler bulması da gerekir. Bu amaçla, yığma alanında neler yapıldığını belirlemek için literatür bir inceleme gereklidir.

1.10. Yığma Duvarlarda Kullanımla Genel Yapılmış Çalışmalar

Rusya'da, Polyakov (1960), yığma duvarlarında deneysel bir çalışmayı doğal ölçekte gerçekleştirmekte ve bu duvarların nasıl modelleneceği ilk fikrini sıfır gerilme mukavemetli bir sıkıştırma takviyesi kullanarak yükseltmektedir.

Sachanski (1960) beton bir çerçeve ile bir yığma duvar dolgusu arasındaki etkileşimi araştırmıştır. Her iki malzemenin de iki elastik homojen malzemedendiği varsayılmıştır ve problem düzlemsel gerilimlerden biri olarak değerlendirilmiştir. Arayüz sınırında sınırlı sayıda temas derzi verilerek, bu derzlerdeki bilinmeyen normal ve kesme kuvvetleri, yer değiştirme uyumluluğu koşulları ile oluşturulan eşzamanlı denklemlerden çözülmüştür. Eklemdaki bu kuvvetler bilindikten sonra, duvardaki gerilmeler sonlu farklar yöntemi ile belirlenmiştir. Duvarın yük taşıma kapasitesi, duvarda ilk çatlak ortaya çıktığında, maksimum asal çekme gerilmesi kriterine dayanmaktadır. Görünüşe göre, çerçeve ve dolgular arasındaki ayrım ihmal edilmiş ve duvar ve ilk çatlak kriteri için elastik homojen malzeme varsayımı gerçekçi değildi ve test sonuçları ile büyük tutarsızlıklar kaydedilmiştir.

Holmes (1961), duvar gergisi duvarının deformasyonunu ve sertliğini, sıkıştırma takviyesi kavramını tekrar alarak hesaplamak için bir yöntem önermektedir. Bahsedilen dikme, duvarın aynı kalınlık ve elastikiyet modülüne sahip olurken, ana diyagonal uzunluğunun üçte biri genişliğiyle değerlendirilecektir. Bu araştırmacı, dolgu duvarının yanal sapmasının, sadece çerçeveye kıyasla daha küçük olduğu sonucuna varmıştır. Birkaç yıl sonra, deneysel çalışmalara dayanan Holmes (Holmes, 1963), dikey ve yatay yüklere maruz kalan dolgu elemanlarıyla çerçevelerin davranışını tahmin etmek için yarı deneysel yöntemler önermektedir.

Stafford-Smith (1962), duvarın davranışını tanımlayan ve sadece en boy oranına bağlı olduğu sonucuna varılan dikmenin etkili genişliği kavramını ortaya koymaktadır. Hem uzunluğu hem de duvar kalınlığı ile ilgili hipotez korunur. Daha sonra, Stafford-Smith (1966), etkili genişlik kavramını günceller ve duvar ile çerçeve arasındaki bağıl sağlamlığı dikkate alan boyutsuz bir parametre (λh) önerir. Teorik etkin genişliğe göre elde edilen

sonuçlar, doğrusal olmayan ve aşırı direnç etkilerine atfedilen bir durum olan deneysel sonuçlardan daha küçüktür.

Ritchie ve Davidson (1963), tuğla ve harçların özelliklerinin sızıntı ve bağ mukavemeti üzerindeki etkisini sundu. Tuğla duvarın nem penetrasyonuna direnci ve tuğla ile harç arasındaki bağın gücü, öncelikle kullanılan malzemelerin özelliklerine ve tuğla ve harcın duvarda bir araya getirilme şekline bağlıdır. Sızıntı, geçirgenliğine bağlı olarak tuğla boyunca gerçekleşti, ancak daha sıklıkla tuğla harcı arayüzündeki kanallardan gerçekleşir. Harcın durumunu etkileyen faktörler, harcın yayıldığı tuğlaların su emme oranını, taze harcın nem kaybına karşı doğal direnci (su tutma değeri), taze harçtaki su miktarını, harç kalınlığı, harç içine bir tuğla yerleştirilmeden önce geçen süre ve bir tuğlayı yatırmak için kullanılan enerji. Tuğla ve harç arasındaki bağın gücü, ikisi arasındaki bağın doğasına da bağlıdır. Bununla birlikte, belirli bir tuğla ve harç kombinasyonu, arayüzde tam bir bağa sahip olabilir ve nispeten düşük bir bağlanma mukavemetine sahip olabilirken, başka bir kombinasyon, daha fazla mukavemetli yamalı veya eksik bir bağ büyüklüğüne sahip olabilir. Harcın gerilme mukavemeti bağ mukavemetini etkilemiştir. Bu etkilerin kapsamını değerlendirmek faktörler birbirine bağımlı olduğu için zordur.

Mallick ve Severn (1967), arayüzlerin davranışını dikkate alan ilk modeli önerdi. Dolgu paneli çevreleyen çerçevenin kapalı olduğu bölgelerde ilave temas kuvvetlerinin getirildiği sonlu elemanlar modelini kullanarak bir arayüz şeması uyguladılar.

Meli vd. (1968), ana değişkenlerin iç dikey donatı, çevrimlerdeki deformasyon genliği ve dikey yük olduğu iç duvar donatı ile içi boş duvar ve çamur duvarları üzerinde testler gerçekleştirmiştir. Daha sonra Meli ve Salgado (1969), yığma duvarlarını farklı malzemeler için monotonik veya alternatif yüke karşı doğal ölçekte test eder (beton bloklar, önceden sıkıştırılmış oyuk bölme ve tavlınmış çamur bölme), farklı dikey yükler ve iç takviye miktarları için.

Stafford-Smith ve Carter (1969) araştırma çalışmalarına devam ediyor ve bu sefer dikdörtgen duvarlar içeriyor. Etkili genişliği etkileyen ana faktörlerin şunlar olduğunu gözlemladiler: duvar ile çerçeve arasındaki bağıl sağlamlık, duvarın boy oranı, duvarı oluşturan malzemelerin gerilme oranı ve duvardaki çapraz yükün büyüklüğü üç olası duvar arızası modu tanımlanmıştır. Daha sonra α , dolgu ve çerçeve arasındaki temas uzunluğunu aşağıdaki gibi hesaplamıştır:

$$\frac{\alpha}{h} = \frac{\pi}{2\lambda h} \quad (1.30)$$

Burada α temas uzunluğu (mm), h çerçevenin yüksekliği (mm) ve λ karakteristik sertlik parametresidir (mm^{-1}). λh , çerçevenin dolguya göreli rijitliği için boyutsuz bir ifadedir.

Hilsdorf (1969), taş ve harçtaki muti aksenal gerilme koşullarına dayanarak duvarın sıkıştırma mukavemetinin tahmini için bir model geliştirmiştir. Model bu nedenle bazı teorik düşünceleri içeriyordu. Genel olarak, model harcın düşük Young modülünün duvarda bulunan taşın deformasyonunu kısıtladığını varsayar. Bu sınırlamalar taşın içine zorlanmış enine gerilmeye ve harç içinde enine sıkıştırma kuvvetine neden olmuştur. İlk olarak, Hilsdorf sadece harç ve taş arasında mükemmel bir bağ olduğunu varsaydı, ancak daha sonra bu varsayımı reddetmiştir. Model öncelikle tuğla duvar için geliştirildi, ancak daha sonra asimetri faktörü ile doğal taş duvarına kabul edilmiştir.

Thomas (1971) tuğlaların yük taşıma kapasitesini hesaplamış, belirtilen malzemelerin temel gereksinimlerini ve bunların mukavemet üzerindeki etkilerini tartışmıştır. Deneyimi sırasında, dikey ve yanal yükleme altında tuğla kırılma mekanizmasını anladı. Mukavemeti etkileyen faktörler araştırmasında tartışılmış ve beton kirişlerle kompozit hareketi ve ayrıca kalite kontrolü hakkında bilgi verilmiştir.

Kadir ve Hendry (1975), çekme yükü altında model tuğla dolgularına sahip çelik çerçeveleri test etmişler. Testler, çerçeveler ve sıkıştırma diyagonal destekleri olarak işlev gören dolgular arasındaki arayüzlerin ayrılmasını doğruladı. Bununla birlikte, yüksek yapışma gücüne sahip bir harç kullanıldığında, panellerin davranışının, çerçeve ile bütünleşik olarak inşa edilmiş betonarme dolgularinkine benzer olduğu ve çok daha yüksek mukavemet ve rijitlik ürettiği gözlemlenmiştir.

Sinha (1978), düşük gerilme mukavemetine sahip ortotropik tuğla panellere uygulanabilen bir kırık hattı modeli önermiştir. Araştırmaları, düzlem içi aksenal yükleri test edilen Donatısız Yığma paneller için deneysel sonuçlarla mükemmel korelasyon gösterdi.

Livesley (1978), duvar kemerlerinin kırılma yükünü belirlemek için çalışmalarını limit analizi teorisine dayandırmıştır. Yapı, gerilme durumunun tahmin edildiği unsurlara bölünmüştür. Her eleman için denge denklemleri blokların arayüzlerine etki eden kısıtlamalara göre yazılır. Bununla birlikte, varsayımları diğer yazarlarınkinden biraz

farklıdır, çünkü arayüzdeki kesme arızasının bir Coulomb sürtünme yasası ile sınırlı olduğunu düşünmektedir.

Page (1978), basitleştirilmiş mikro modelleme yaratmaya çalışan ilk kişi oldu. Duvarın başarısızlık analizinde elastik sürekli elemanlar (genişletilmiş duvar birimlerini temsil eden) arasındaki arayüz elemanlarının kullanımını tanıtmıştır. Modeli, yığma tuğla ve harcı temsil eden iki fazlı bir malzeme olarak kabul etmiştir.

Tuğlalar durumunda, bunlar, düğüm başına sekiz düğüm ve dört serbestlik derecesine sahip düzlem gerilimi dörtgen sonlu elemanlarla temsil edilir. Elemanın izotropik elastik özelliklere sahip olduğu varsayılmaktadır. Elemanlar dörtlü olarak seçilir, çünkü duvarın tipik geometrisine kolayca sığarlar. Bu elemanların mekanik özellikleri (esneklik modülü ve Poisson oranı) tuğla üzerindeki laboratuvar testlerinden elde edilir ve duvar kalınlığını hesaba katmak için dönüştürülür.

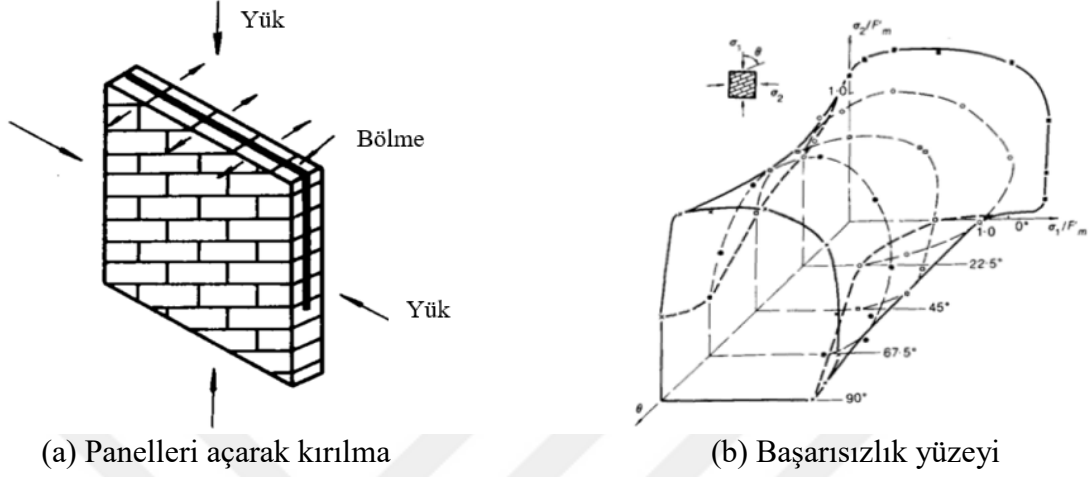
Harç derzleri bağlantı elemanları ile temsil edilir. Bu eleman sadece normal ve kesme yönlerinde deforme olabilir. Bu elemanların rijitliği, eleman yer değiştirmeleri ile ilgili potansiyel enerjiyi en aza indirerek belirlenir. Derz elemanları için başarısızlık kriterlerinin belirlenmesi için laboratuvar testleri sonuçları kullanılır. Genel olarak, bu tip elemanlar aynı anda etkili sıkıştırmaya bağlı olarak düşük bir gerilme kapasitesine, yüksek bir sıkıştırma mukavemetine ve değişken kesme kapasitesine sahiptir.

Sonlu elemanlar modelinin sonuçları, duvar derin kirişindeki eğilme deneyleri ile karşılaştırılarak doğrulanmıştır ve duvarın doğrusal olmayan davranışı, gerilim / kırılma ve sertleşmede kırılma bir başarısızlık içeren yapısal bir modelle modellenen arayüz davranışı ile simüle edilmiştir. Ancak, sıkıştırma (ezilme) hatası arabirim öğelerine dahil edilmez

Bu model, geliştirildiği dönemde önemli bir gelişmeydi, çünkü izotropik elastik davranışa dayanan analize kıyasla daha gerçekçi bir alternatif önerdi. Ayrıca, herhangi bir geometri ve malzeme özelliğine uygulanabilen ve uyarlanabilen çok yönlüdür.

Page (1981), özellikle takviye duvarlarında ezilme arızasını tahmin etmek için önemli olan, duvarın çift eksenli sıkıştırma kırılması üzerinde çalışma yürütmüştür. Ana gerilmelere göre yatay derzlerin yönünün bir fonksiyonu olarak elde edilen kırılma yüzeyi. Ana gerilmelerin çoğu oranında, panelin serbest yüzeyine paralel düzlemde ve yatay eklemin oryantasyonuna bağlı olmaksızın kalınlığın yarısında açılarak kopma ani bir şekilde ortaya çıkar (Şekil 1.12). Bu nedenle, harç türünün ve harç / tuğla bağının bu tür kırılmayı etkilemediğini düşünmek mantıklı görünmektedir. Bununla birlikte, ana gerilmelerden biri baskın hale geldiğinde, kopma daha çok eklemin kopması ile yanal açıklığı birleştiren bir

mekanizma tarafından yapılır. Harcın özellikleri ve tuğla / harç ara yüzünün kalitesi bu durumda bu durumda bir rol oynayacaktır.



(a) Panelleri açarak kırılma

(b) Başarısızlık yüzeyi

Şekil 1.12. Bir duvarın çift eksenli sıkıştırma kırığı (Page, 1981)

Mann ve Müller (1982) yığma davranışlarıyla ilgili bazı basitleştirmelerde bulunmuştur. Bunlardan ilki, dikey harç derzlerinin panelin direncinde işbirliği yapmadığını varsaymaktı. Bu nedenle, panelin direncini öngörürken sadece dikey bağlantıların toplam direncini değil, duvarda meydana gelen yatay ve dikey gerilmeler arasındaki ilişkiyi de dikkate almıştır. Bu sadeleştirme, genel olarak bu dikey derzlerin, panelin yapıldığı sırada iyi dolmaması ve ayrıca havanın geri çekilme etkisinden dolayı, derz ile duvar arasında tam temas olmadığına dayanmaktadır.

Mann ve Müller ayrıca, güçlendirilmemiş tuğla perde duvarının görünür kayma mukavemeti için sürtünme katsayısı η 'nin, aynı tuğla ve harçtan yapılmış küçük bir numune test edilerek elde edilen η_H katsayısından daha küçük olduğunu göstermişlerdir. Öncekiler göz önüne alındığında, ACI-530 / ASCE-5'de değiştirilmesi önerilmektedir. Görünür kayma mukavemeti tahmin edilirken 0.4 sürtünme katsayısı η için tercih edilen bir değer ise, izin verilen kayma gerilmeleri için sürtünme katsayısı η bu miktardan tanımlanmalıdır.

Sucuoğlu vd. (1982,1986), duvarın sismik davranışını analiz ederken, harç, tuğla, katman desenleri ve diğer ayırt edici özellikleri ile heterojen doğasını göz önünde bulundurarak yapıcı düzlemsel model üzerinde çalışmalar yapmıştır. İleri karışım modellerinin maliyetli olmadığı ve izotropik simetrik bir modelin önerildiği sonucuna varmışlardır. Gözlenen doğrusal olmayan davranışı yakalamak için histeretik bir model

geliştirmek yerine, Mengi ve McNiven değişken sekant kesme modülü ve sekant sönümleme katsayısı yoluyla doğrusal olmayan etkiyi açıklayan eşdeğer bir doğrusal önerdiler.

Rivero ve Walker (1984), doldurulmuş çerçevelerin deprem hareketine tepkisini simüle etmek için doğrusal olmayan bir yöntem geliştirmiştir. Dolgu panelleri, birkaç tuğla ve harcı temsil eden homojen, izotropik, doğrusal elastik kurucu ilişkiler ile karakterize edilen üçgen elemanlar ile modellenmiştir. Çerçevenin esnek olmayan davranışı ile olası doğrusal olmama durumları göz önünde bulundurulmuştur.

Benedetti ve Benzoni (1984) elde edilen kayma gerilme-yerdeğiştirme eğrilerini deneysel olarak tekrarlamıştır. Üst üste bindirilmiş üç doğrusal histeretikten yapılmıştır. Bu fenomenolojik histeretik muhafazayı şekillendiren parametreler, mevcut deneysel sonuçtan kalibre edilmiştir. Bu model taş duvar testlerinden türetilmiştir. Sadece genel Donatısız Yığma yapıya uygulanabilirliği anlaşılmaktadır.

El-Refai vd. (1984) sırasıyla bilgisayar programlarından ve deneysel testlerden elde edilen teorik değerler ile ölçülen değerler arasındaki uyum derecesini araştırmaya çalışmışlardır. Teorik analizler, tuğla ve harç arasındaki yanal etkileşime dayandırılmış ve tuğladan daha yumuşak olan harçla, tuğla yüksekliği arttıkça duvarın basınç dayanımının arttığı sonucuna varılmıştır. Harç rijitliği tuğlalara göre daha fazla arttıkça, tuğlaların uçlarına yanal sınırlamalar getirmiş ve sonuç olarak duvar mukavemeti artmıştır. Yumuşak harç kullanılırken, duvar mukavemeti birincil endişe olduğu için yatay derz kalınlığının minimumda tutulduğu sonucuna varılmıştır.

Priestley (1985), ani yanal yüklere maruz kalan duvar için birincil kaygının dinamik kararlılık olduğunu ileri sürmüştür. Çatlak duvarın, malzeme gerilme seviyelerinden ziyade uygulanan yanal yükler, kendi ağırlığı ve atalet yüklerin etkisi altında dengesi inceledi. Yan sismik yüklerin etkisi altında tek yönlü güçlendirilmemiş duvarının davranışını inceledi. Metodoloji daha sonra 1986'da (Priestley ve Robinson, 1986) 1992'de nihai bir yayımla düzeltildi (Paulay ve Priestley, 1992).

Dhanasekar vd. (1985), tuğla duvar panellerinde çok sayıda çift eksenli testten elde edilen gerçekçi malzeme özelliklerini içeren sonlu elemanlar modelinde de çalışmıştır. Bu metodları, gerilme-şekil değiştirme makroskopik bir süreklilik modelinden ve tuğla duvarcılığının başarısızlık özelliklerinden faydalanmıştır.

Dhanasekar ve Page (1986), bu yazarlar tarafından 180 panelde yapılan testlerle kalibre edilmiş dış etkenlere göre yatay derzlerin eğimini dikkate alan bir duvar fay yüzeyi önermiştir. Yığma duvar tuğla ve harç ayrı ayrı düşünülerek modellenmiştir. Bu nedenle,

duvar ve çerçeve arasındaki harç farklı olmadığı için herhangi bir özel arayüz elemanı geliştirmeye gerek yoktur. Doğrusal olmayan altı düğümlü elemanlara uygun kriterler uygulanarak çatlak oluşumu, derz ayrımı, harç, sıkıştırma başarısızlığı ve farklı türde tuğla başarısızlığı tahmin edilmiştir. Onlara göre, panellerin arıza mekanizmaları, özellikle eklemlerde çekme gerilmeleri mevcut olduğunda, çoğunlukla eklemlerin arızalanmasını içerdiğinden, eklemlerin düzlemlerine göre gerilmeler cinsinden ifade edilen bir başarısızlık alanı daha mantıklıdır. Bu formülasyon bu nedenle duvar örgüsünün sonlu eleman teknikleriyle modellenmesi için daha uygun olacaktır.

Priestley ve Robinson (1986), yanal yükler altında güçlendirilmemiş duvar için direnç fonksiyonları geliştirmiştir. Yaklaşım, üst ve alt arayüzlerindeki rijit sınırlar arasında kalan tek yönlü eylem duvarları için kemerli olarak kabul edilmiştir. Sonuçlar, bu tür duvarların yanal yüklere karşı direncinde önemli bir artış gösterdi.

Hamid ve Drysdale (1988), yığma yapıların kırılmasını sonlu elemanlar yaklaşımı kullanarak incelemiştir. Bu araştırma, hem gerilim-kesme hem de sıkıştırma-kesme bölgelerinde birleşik normal ve kesme gerilmeleri altında kırığın başlamasını ve yayılmasını simüle edebilen yapısal modellerle sonuçlanmıştır. Modeller, yığma montajların yük taşıma kapasitesini tahmin etmiş ve arıza modu, süneklik ve çatlak modelleri hakkında ayrıntılı bilgi sağlamıştır.

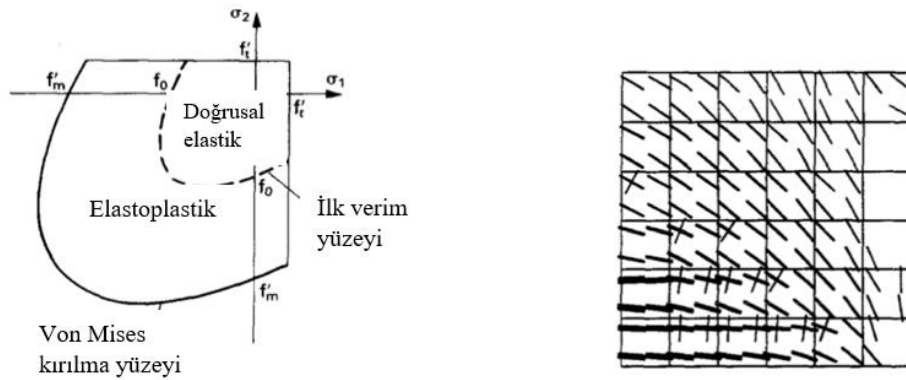
Konig vd. (1988), sismik olarak indüklenen düzlemsel kesme kuvvetlerine maruz kalan Donatısız Yığma (DY) duvarlarının aksiyel yükleri ve sünekliği üzerindeki eksenel yüklerin etkisini anlamak için Donatısız Yığma (DY) perde duvarının çatlama sonrası dinamik döngüsel davranışını araştırmıştır. Bu yazarlar, düşük eksenel yük altında, duvar boyunca çapraz pürüzlü desendeki eklemlerden çatlak geçişlerini birbiri üzerinden kayabilir, bu da büyük deformasyonlara ve başarısızlıktan önce az mukavemet bozulmasına neden olabilir. Daha yüksek eksenel yükler altında, yatak derzlerinin sürtünme direnci orantılı olarak artar ve esas gerilimler yerel olarak ünitelerin gerilme mukavemetini aşarsa, yığma tuğlalar yoluyla çatlama meydana gelir. Bu nedenle, duvarların ayrılmış kısmı, daha az sünekliği olan daha düzenli diyagonal çatlaklar boyunca aşağı doğru kayma eğilimindedir.

Tvergaard (1990), sürtünmenin yalnızca tuğlalar arasındaki uyum eksikliği tamamlandığında gerçekleştiğini düşünmüştür. Yığma yapılarında, ara yüzün kısmi yırtılması, mikro çatlamanın çekirdekleşmesinin bir sonucudur. Uyum eksikliği, mikro çatlakların yayılmasının sonucudur. Genellikle makro çatlama olarak da adlandırılan tam bir kopma ile sonuçlanır.

Atkinson ve Yan (1990), eğri uydurma yaklaşımları boyunca doğrusal davranış ile duvarcılık üzerine araştırmalar yapmışlar. Statik verilere dayanan ve ölçülen sıkıştırma modülü ile tepe duvar kuvveti arasındaki ilişkiyi tanımlayan bir güç tahmini yaklaşımı tanımlamışlar. Bu yazarlar tarafından derlenen statik bir veritabanı, Amerika Birleşik Devletleri'nde laboratuvarlar tarafından yapılan neraly 1000 duvar prizma testlerinin karakteristik sonuçlarını listelemiştir. Katı kil tuğlası için, 96 testten alınan tanımlayıcı statik veri tabanına dahil edilmiştir. Bu veriler ortalama sekant modülünün yığılma dayanımının yüzde 33'ü olduğunu göstermiştir.

Dialer (1990), harç bağlantılarının toplam işbirliğini göz önüne alarak, Mann ve Müller (1982) teorisini değiştirdi. Bu nedenle, panelin direncini tahmin ederken sadece dikey bağlantıların toplam direncini değil, aynı zamanda duvarda meydana gelen yatay ve dikey gerilmeler arasındaki ilişkiyi de dikkate almıştır.

Lotfi vd. (1991), ayrıca sonlu elemanlar modelinde uygulanan dağınık çatlak modelini kullandı ve plastiklik teorisinden kaynaklanan bir başarısızlık kriteri eklemiştir. Yaptıkları çalışmada malzemenin homojen ve çatlama öncesi izotropik olduğu varsayılmıştır. Kırılma yüzeyi, gerilimde Rankine kriteri ve sıkıştırmada Von Mises kriterinden oluşmuştur (Şekil.1.13a). Rankine'in kriterine göre çekme gerilmesine ulaşıldığında bir çatlak başlatılır. Malzeme daha sonra ortotropik olarak kabul edilir ve malzemenin gerilmede artan hasarı haline gelmek için yarı kırılğan tipte bir yumuşama davranışı gerçekleşir (Şekil 1.13b).



(a) Von Mises kırılma şekli

(b) Çatlak duvar

Şekil 1.13. Lotfi ve Shing dağınık Çatlak Modeli (Lotfi vd., 1991)

Rots (1991), arayüz elemanlarına yumuşatma davranışı eklemiştir. Sonlu eleman modeli, tuğlaları sürekli doğrusal elastik elemanlar olarak ve eklemleri potansiyel çatlaklar

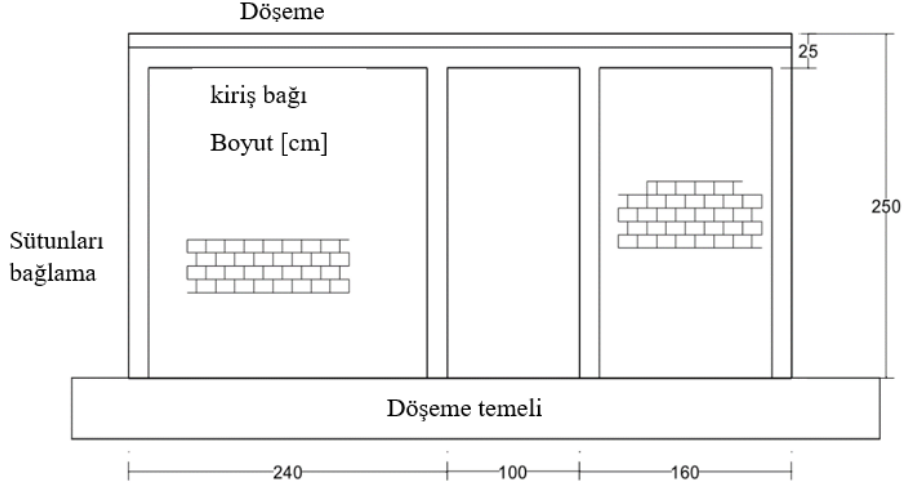
olarak hizmet eden doğrusal olmayan arayüz elemanları olarak temsil eder. Arayüz elemanları, elastik fazdaki eklemi temsil etmek için normal bir rijitliğe ve teğetsel bir rijitliğe sahiptir. Çekme mukavemetine ulaşırsa, çatlak açılır. Sertlik daha sonra doğrusal bir yumuşatma modeline göre gelişir ve çatlama sonrası hiçbir kayma gerilimi aktarımı dikkate alınmaz. Yumuşatma modeli üç parametre ile kontrol edilir: çekme gerilimi, yumuşatma parçasının şekli ve kırılma enerjisi. Simülasyonlar sırasında, arayüz elemanları yatay ve dikey derzlerle ve ayrıca her tuğlanın ortasına yerleştirilir. Model, kuvvet-yer değiştirme eğrisine ani bir dönüşle işaretlenen çok kırılmalı bir davranış sergiliyor. Bununla beraber, sıkıştırmada yüklenen duvarın göçme davranışı deneysel sonuçlarla uyumludur.

Paulay ve Priestley (1992), duvarla doldurulmuş çerçevenin deprem davranışı ve doldurulmuş çerçeveler için bir tasarım yöntemi hakkında bir teori önermişlerdir. Bu araştırmacılara göre, duvar dolgusu genel yanal yük kapasitesini artırabilmesine rağmen, yapısal tepkinin değiştirilmesine ve asimetrik düzenlemeyle farklı yapı parçalarına kuvvet çekilmesine neden olabilir. Bu, duvar dolgusunun yapısal depremi etkileyebileceği anlamına gelir.

Vermeltfoort ve Raijmakers (1993) ortasında "içi boş duvar" ile belirtilen tam bir panel veya "katı duvar" ile gösterilen, ortasında bir açıklık olan iki duvar tipini test etti. Bu testler, oldukça kapsamlı deneysel veriler kaydedildiği için model performansının değerlendirilmesi için özellikle uygundur. Ayrıca, malzeme modelini karakterize etmek için gerekli parametreler eşlik eden mikro deneylerden elde edilebilir.

Alcocer vd. (1993), 2.5 m yükseklikteki iki kapalı yığma duvardan inşa edilen üç sistemi test etti. Yerinde dökülen bir üst sistem kiriş-beton levha duvarları birbirine bağladı ve bir kapının alanını oluşturdu, Şekil 1.14. İkili yatay derzlerde farklı takviyeler sistemler yerleştirildi ve üçüncü güçlendirilmemiş sistem kontrol 0.50 MPa'ya eşit bir sıkıştırma gerilmesi, yerçekimi yükünü simüle etti ve döngüsel yanal yükler uygulandı. Tüm sistemler X'de çatlaklar gösterdi. Ayrıca, diyagonal duvarın üstündeki kenar duvarı, maksimum yük için bağ kolonlarının her iki ucunda çatlama oluşturarak alt kenar duvara göre yer değiştirmiştir. Daha sonra, enine kesitte normal deformasyonların doğrusal bir duvar uzunluğu yasasına uymadığını doğrulayan ölçümler gerçekleştirilmiştir, yani, Bernoulli'nin, deformasyondan önce düz bölümlerin, deformasyon tamamlanmadıktan sonra düz kalması şeklindeki kinematik hipotezi, çünkü kayma deformasyonları ağırlıklı olarak duvarların davranışına hakimdir. Bununla birlikte, farklı kodlarda eğilme sıkışma mukavemetinin

hesaplanması için ifadeler, Bernoulli hipotezine (EUROCODE 6, 1995) dayalı olarak elde edilmiştir.



Şekil 1.14. Kapalı Yapısal Duvar Sistemi (cm biriminde) (Alcocer vd.,1993)

Lotfi ve Shing (1994), montajlarının davranışını, harcın kırılma kriterini ekleyerek incelemiştir. Yığma eklemlerin çatlak başlangıcı ve evrimi, hem gerilim-kesme hem de sıkıştırma-kesme işleminde birleşik normal ve kesme gerilmeleri altında başarıyla simüle edilmiştir.

Mehrabi vd. (1994), duvar yapılarının analizi için, Lofti ve Shing (1994) tarafından önerilen beton için geliştirilen dağıtılmış bir çatlak modeliyle birleştirilen yeni bir arayüz modeli önermiştir.

Álvarez ve Alcocer (1994) duvarların en-boy oranındaki artışla birlikte Eğik çatlaktaki azalmanın Meksika, Peru, Kolombiya, Şili gibi ve Arjantin Latin Amerika ülkelerinde yürürlükte olan düzenlemeler kapsamında olmayan bir konu olduğuna dikkat çekmiştir. Ayrıca, özellikle bölümün ($Moment / kesme * L$) bir değer üzerinde değerler alabildiği ve bu nedenle eğimli çatlama karşı direnç gösterebildiği çok seviyeli binaların zemin kat duvarlarında hesaplanandan daha az olabileceğinin önemini altını çizmişler.

Anthoine (1995), yapı içi duvarların homojenleştirme teorisi üzerinde, kurucu malzemelerin (tuğla ve harç) davranışı ile ilgili araştırma yapmıştır. Bu prosedür titiz bir şekilde, yani bir adımda ve duvarın gerçek geometrisinde (sonlu kalınlık ve gerçek bağ deseni) uygulanır. Sayısal uygulamalar yapılmış ve sonuçlar mevcut basitleştirilmiş yaklaşımlara dayalı tahminlerle karşılaştırılmıştır. Yukarıda belirtilen tüm yaklaşımlar,

duvarın düzlemsel elastik özelliklerini hafifçe etkilemektedir, ancak doğrusal olmayan aralıkta (plastisite veya hasar), aynı yaklaşımların kantitatif ve niteliksel olarak hatalı sonuçlara yol açması beklenmektedir.

Mendola vd. (1995), sismik enine kuvvetlere maruz kalan yığma duvarın stabilite koşullarını incelemiştir. Sorun, maksimum atalet eşdeğer statik yatay kuvvetlere maruz kalan sabit serbest uçlu prizmatik kolonun analizine çevrilmiştir.

Andreaus (1996), küçük paneller ve homojen harç derzleri gibi belirli uygulama sınırları içinde yeni bir başarısızlık teorisi önermiştir. Aynı zamanda, panelin farklı çatlak tipleri arasında uzun bir ayırım yapmıştır, böylece ara arıza kriterleri ortaya koymaktadır

Lourenço (1996) doktora araştırmasında, yığma duvarın doğrusal olmayan davranışını tanımlamak için iki model önermiştir. Bu modellerden biri mikro model, diğeri ise makro modeldir. Bu katkının amaçları arasında iki farklı stratejinin uygulanabilirliğini karşılaştırmaktadır.

Mikro model, duvarın elastik olmayan davranışını yoğunlaştıran eklemlerle tanımlanır. Eklemlerin plastiklik modeli üç farklı tipte başarısızlık mekanizması üretebilir: gerilim kesme, Coulomb sürtünme modeli ve sıkıştırma (eliptik bir başlık dikkate alınarak) ve birleşik kesme-sıkıştırma hatası. Aynı yazar, model tarafından verilen sonuçların laboratuvar testleri ile iyi bir anlaşmaya sahip olduğu sonucuna varmaktadır. Bir dezavantaj olarak, bu tür modeller büyük miktarda zaman ve hafıza gerektirir ve bu nedenle küçük yapıların ve yapısal detayların incelenmesi için önerilir.

Lourenço daha sonra büyük yapılarda kullanıma yönelik ikinci bir model önerdi. Bu model, gerilme başarısızlığı (çatlama) için Rankine tipi bir verim kriteri ve sıkıştırma başarısızlığı (Ezme) için Hill tipi bir verim kriteri dikkate alınarak, yığma için ortotropik bir süreklilik modeli dikkate alınarak tanımlanır. Bu model, farklı yönlerde ve kırık enerjisinde (ayrıca gerginlik ve sıkıştırmada) gerilim ve sıkıştırma testleri ile ilgili birçok giriş parametresi gerektirir.

Martini (1996a) statik yüke maruz bırakılmamış yığma duvarların tek yönlü, düzlem dışı başarısızlığı için sonlu eleman modelinin oluşturulduğu bir çalışmayı rapor etmiştir. Bu çalışma iki yönlü eylem duvarları için araştırmacı bir yaklaşım olarak yürütülmüştür. Birimlere sekiz düğümlü elastik sürekli ortam elemanlarını içeren ayrı bir çatlak ve eklemleri modellemek için sekiz düğümlü yüzey temas elemanı kullanılmıştır. Analiz dengesi kararsız hale gelene kadar düzgün basınç uygulandı. Yük-deplasman grafikleri daha sonra modelin uygunluğunu doğrulamak için literatürle karşılaştırılmıştır.

Martini (1996b) başka bir çalışmada, yanlarda ve altta desteklenen iki yönlü bir duvar duvar paneli geliştirdi. Güçlendirilmemiş yığma duvarlar için, yatay ve dikey yönler için çatlama sonrası moment aktarım mekanizmaları dikkate alınarak modifiye verim çizgisi teorisi kullanılmıştır. Duvar modelleri analiz edildi. Modifiye edilmiş teori, sonlu elemanlar sonuçlarından daha düşük başarısızlık yüklerini, ancak yakından eşleşen başarısızlık kalıplarını öngördü.

Sánchez vd. (1996), enine kesite normal deformasyonların duvar uzunluğunda doğrusal bir yasaya uymadığını doğrulayan ölçümler gerçekleştirmiştir; yani, Bernoulli'nin deformasyondan önceki düz bölümlerin deformasyon yerine getirilmedikten sonra düz kaldığı kinematik hipotezi duvarların davranışlarına büyük ölçüde kayma deformasyonları baskın olduğu için bu beklenmelidir. Bununla birlikte, farklı kodlarda yer alan bükülme kompresyon direncinin hesaplanması için ifadeler Bernoulli hipotezine dayanılarak elde edilmiştir (EUROCODE 6, 1995).

Alcocer (1997), harç direnci ne kadar düşük olursa, harcın sıkıştırma mukavemeti düşük olduğu için örgü takviyesinin katkısının o kadar düşük olduğunu açıklamıştır. Duvarın bileşik bir bölüm olarak davranışını iptal edecek düşük bozulma seviyelerinde ezilecek ve ayrılacaktır. Daha sonra, betonarme betondaki eşdeğer gerilim bloğunu boyutlandırmak için kullanılan parametrelerin beton ve kil duvarlara uygulanabileceği ve bu formüllerle elde edilen sonuçların, gerçek deformasyon dağılımı doğrusal değildir.

Totoev ve Nichols (1997), yedi farklı tuğla tipinden üç adet yüksek istifli duvar prizması inşa etmişlerdir. Prizmalar hacimce 1: 1: 6 (çimento: kireç: kum) olarak aşağıdaki özelliklere sahip bir harç kullanılarak yapıldı. Su çimento oranı 1.9 ile 1.96 aralığında tutulmuştur. Deneylerde kullanılan duvar panelleri kare panellerdir. Bu paneller her iki tarafta 1200 milimetredir. Nihai test programı, 230 x 110 x 75 mm olan standart, ticari olarak temin edilebilen katı preslenmiş bir tuğla kullanılarak gerçekleştirildi. Panel inşaat, yüksek kaliteli araştırma sınıfı harç kullanmıştır. Hasar değişkeninin ölçümü, Newcastle Üniversitesi'nde geliştirilen kesme teçhizatı ile mümkün görünüyordu. Panel 246-c'den elde edilen ilk sonuçlar, test koşulları altında birinci ana gerilim düzlemi boyunca gerilme ayrıldığı için başarısızlığın yavaş bir şekilde bozunmasını önerdi. Değişen genlik ve frekansta 30 saniyelik bir sinüzoidal test paterninin kullanılması kabul edilebilir sonuçlar vermiştir.

Crisafulli, (1997), Mann ve Müller tarafından geliştirilen mevcut hata teorisinde bir değişiklik önerdi. Teorisinde, başlangıçta göz önünde bulundurulmuş sabit dağılımın değil,

gerginliğin gerçeklere göre dağılımını dikkate aldı. Bununla birlikte, basit bir uygulama teorisi olmasına ve rasyonel ölçütlere dayanmasına rağmen, dikey harç derzlerinin işbirliğini hesaba katmaz.

Deodhar vd (1997), harç malzemesi ve tuğla malzemenin kalınlığının, tuğla duvar prizmalarının sıkıştırmada mukavemetini etkileyen çok önemli faktörler olduğunu ortaya koymuştur. Tuğla duvarda, harç kalınlığına göre daha fazla tuğla malzeme kalınlığı, duvarın mukavemeti daha fazladır. 5 mm ila 10 mm arasındaki derz kalınlığı, metrik tuğlalar ve geleneksel tuğlalar için idealdir ve 10 mm derz kalınlığının ötesinde tuğla duvarın mukavemetinde önemli bir azalma vardır. Tuğla duvarın gerilme-uzama eğrisi betonunkine benzerdir. Maksimum gerilime karşılık gelen gerinim her zaman daha yüksekti ve tuğla mukavemeti, maksimum gerilime karşılık gelen tuğla işinin genel gerilimini etkilememiştir.

Alfaiate vd. (1997), beton ve duvarda karışık modda çatlak yayılımını incelemek için sonlu elemanlar yöntemini kullanmıştır. Ayırık bir yaklaşım benimsendi: çatlakların gelişmesine izin hayali çatlaklar adı verilen süreksizlik yüzeyleri verilmiştir. Bu süreksizlikler aşağıdakiler kullanılarak modellenmiştir: i) arayüz elemanları, bu durumda remesh ihtiyacından kaçınan sayısal bir algoritma benimsenmiştir ve ii) kesikli güçlü gömülü süreksizlik yaklaşımına göre süreksizliklerin gömülmesi. Süreksizlik yüzeylerinde gelişen kayma gerilmelerinin etkisi analiz edilmiştir. Süreksizlikte mevcut olan kesme gerilimi miktarının, hem betonun hem de duvarın en önemli yapısal davranışını etkileyen faktör olduğu bulunmuştur. Analiz edilen tüm testlerden, süreksizliklerde mevcut olan kesme gerilimi miktarının, hem beton hem de duvarda karışık mod kırılmasında en önemli faktör olduğu doğrulanmıştır. Betonda, daha büyük kesme gerilmelerinin hem tepe sonrası tepkinin daha sert olmasına hem de yumuşatma rejiminin daha iyi bir yaklaşımına yol açtığı bulunmuştur. Aynı zamanda, karışık mod kırığının ya mod-II kırık enerjisine ya da kohezyona önemli ölçüde bağlı olmadığı bulunmuştur. Duvarda, harç arayüzlerindeki kaymanın tam olarak gelişmesine izin verilirse, yüksek sıkıştırma gerilimleri altında kesme gerilmelerinin sınırlanması, daha küçük bir pik yükün yanı sıra deneysel olarak doğrulanan farklı arıza mekanizmalarına yol açmıştır.

Buhan (1997), yeterli büyüklükte yapılar geliştirmiştir, homojenleştirilmiş sürekli model, bir duvarın döngüsel tepkisini sertlik, direnç ve hasar dağılımı açısından iyi tanımlamıştır.

Gambarotta ve Lagomarsino (1997a), ilk önce tuğlanın kırılğan davranışı olan doğrusal bir elastik malzeme olarak tanımlandığı bir model geliştirmiştir. Daha sonra

çalışmalarında harç davranışını (iç değişkenlere bağlı eklemler arasında kayan) ve arayüzde dikkate almıştır. Onların modeli hem harç hasarını hem de açıldığı ve sürtünme kayması aktive edildiğinde ortaya çıkan tuğla harcı ara yüzünün ayrılmasını dikkate alır. Elastik olmayan şekil değiştirme bileşenleri ortalama gerilme ve hasar mekaniği yaklaşımıyla ilgili bir hasar değişkenine doğrusal olarak bağlı olduğu varsayılmaktadır. Ünitelerin kayması, tuğla harcı arayüzünde sürtünme varlığı ile sınırlıdır. Bu model, tuğla duvarlarının sabit dikey yükler ve yatay düzlemsel döngüsel kuvvetler altında analizine uygulanmıştır. Her ne kadar bu yaklaşım, duvarın esnek olmayan davranışını (yani, eklemlerin açılması ve kayması) simüle ettiği bulunmasına rağmen, tam ölçekli duvar duvar panellerinin analizi için hesaplamak için çok pahalıydı.

Gabor (1998) içi boş tuğla duvar panellerinin kayma davranışını inceledi. Paneller yatay yüklemeye ve düzlem dışı başarısızlığa tabi tutulmuş ve diyagonal çekme hatası incelenmiştir. Sonlu elemanlar modellemesi, harç derzlerinin kohezyonunun elasto plastik özellikleri ile yapılmış ve artık sürtünme incelenmiştir. Sonlu eleman modellemesinin, yığma panellerin davranışı, nihai yükler, nihai gerilmeler, plastik gerilme gelişimi ve kırılma modları açısından iyi bir doğrulukla yaklaştığı sonucuna varılmıştır.

Luciano ve Sacco (1998), sınırlı sayıda olası kırılma ile karakterize periyodik bir mikroyapıya sahip duvar malzemesi için bir hasar modeli sundular. Bir hasar modeli, mikromekanik yaklaşımla ve periyodik bir duvar malzemesinin tipik bir birim hücresi dikkate alınarak türetilmiştir. Böylece, duvar için bir hasar yasası uygulanmış ve duvarın olası hasarlı durumlarını analiz etmek için bir model türetilmiştir. Daha sonra, bazı basit yığma yapıların hasar gelişimini analiz etmek için önerilen model kullanılarak sonlu bir eleman kodu geliştirilmiştir. Son olarak, önerilen her modelin bireyselliğine izin veren modelin etkinliğini test etmek için sayısal sonuçlar yapılmıştır. Yükleme yolu, yapıdaki olası kırıkların dağılımı ve yapı desteğinin başarısızlık yükü olmuştur.

Chiou vd. (1998, 1999), artırılmış Süreksiz Deformasyon Analizi (SDA) kullanarak duvarla doldurulmuş Betonarme çerçevelerin statik yanal yük davranışını incelemiştir. Bu çalışmalarda, duvar dolgu duvarı ve Betonarme çerçeve, sırasıyla sonlu gerilim ve harç ve beton malzemelerinin kayma mukavemeti ile sanal derzler ile alt-blok halinde kesilmiştir. SDA sonuçlarının deneysel sonuçlarla uyumlu olduğu bulunmuştur. Bununla birlikte, önerilen modelin bazı dezavantajları vardır: takviyenin bağlı kaymasını göz ardı edilmiştir, harcın karışık gerilim kesme başarısızlığını göz ardı edilmiştir,

Van der Pluijm (1999) tez çalışmasında harç ve tuğla arasındaki ilişkiyi arayüz düzeyinde incelemiştir. Özellikle, eklemlerdeki kesme kuvvetini ileten iki parça L-şekilli çelik arasına yapıştırılmış bir çift üzerinde bir montaj önermiştir. Eklemin ortasında sıfır bir an elde etmiştir. Sıkıştırma testten önce uygulanır ve ardından sabit tutulur. Van der Pluijm, numunelerin gerilme-yerdeğiştirme eğrilerini tepe noktası sonrası elde edebildi ve bir kesme arayüzünün kırılma enerjisini çıkarmıştır. Daha sonra, Mod II'nin kırılma enerjisinin doğrusal olarak normal gerilim seviyesine bağlı olduğunu gözlemlemiştir: Mod II'nin kırılma enerjisi, artan sıkıştırma gerilimi ile artacaktır.

Lopez vd. (1999), daha önce geliştirdikleri homojenize anizotropik elastoplastikliğe dayanan oluşturucu bir model oluşturmuşlardır. Anizotropiğinin etkisi, hayali izotropik gerilme ve yerdeğiştirme uzayları aracılığıyla sokulur. Hayali izotropik uzaylardaki malzeme özellikleri, tutarlı bir dördüncü dereceden tensör vasıtasıyla gerçek anizotropik alana eşlenir. Modelin avantajı, klasik plastisite teorisinin izotropik uzaylardaki doğrusal olmayan davranışı modellemek için kullanılabilmesidir.

Corradi (1999), 1997-1998 depreminde tipik olarak İtalya'nın bu bölümünde vurulan çeşitli binaların yığma tuğla panelinin gücünü denedi. Testler, duvar davranışını tanımlayan doğru parametreleri belirlemek için laboratuvarında ve yerinde iki kısım halinde gerçekleştirilmiştir. Duvarlar diyagonal sıkıştırma ve kesme-sıkıştırma altında test edilmiştir. Bu testler iki farklı boyutta panel kullanımını içermekteydi: diyagonal sıkıştırma testleri için $120 \times 120 \text{ cm}^2$ ve kesme-sıkıştırma testleri için $90 \times 180 \text{ cm}^2$. Tüm paneller elmas tel tekniği kullanılarak kesilmiş ve panelleri bozulmadan bırakmak için kalan duvarlardan izole edilmiştir. Katı tuğla paneli ile ilgili olarak, belirli tuğla dokusunun 0.069 MPa 'lık bir nominal kayma mukavemetine neden olduğunu belirtmek önemlidir. Yukarıda bahsi geçen üç bina ile ilgili üç çift sonuçla birlikte, çapraz sıkıştırma testi ve kesme sıkıştırma testinin ortalama oranı 2.06'ya eşittir.

Tomažević (1999), duvarda sismik performans üzerine yaptığı çalışmalarında ince tabaka harç veya hafif harç ile ilgilenmiştir. Genel amaçlı harç, 3,0 veya 4,0 mm'den daha kalın bir derzlerde kullanılan ve içinde sadece yoğun bir agreganın kullanıldığı geleneksel harçtır. İnce tabaka harcı normalde derzler 1.0 ila 3.0 mm kalınlığa sahip olduğunda ve özel gereksinimlerin karşılanması gerektiğinde kullanılır. Hafif harçlar ayrıca duvarın özel gereksinimlerini karşılamak için tasarlanmıştır ve özel hafif malzemeler kullanılarak yapılır.

Mustafa vd. (2000), güçlendirilmemiş duvarları ve kısmen güçlendirilmiş duvarları güçlendirmek için alınan iyileştirme önlemlerini tarif etmişlerdir. Çapraz ve dikey şeritlerin

çelik şerit sistemli güçlendirilmiş duvarlar, içinden kalın cıvatalarla tutturuldu. Çelik şeritleri temele ve üst yükleme kirişine bağlamak için sert çelik açılar ve ankraj cıvataları kullanılmıştır. Tüm duvarlar, birleşik sabit yerçekimi yükü altında ve kademeli olarak artan düzlem içi yanal deformasyon ters çevrimleri altında test edilmiştir. Hafifçe güçlendirilmiş beton duvarlar da sadece dikey şeritler kullanılarak onarıldı ve tekrar test edilmiştir. Bu testler, tüm çelik şerit sisteminin etkili olduğunu ve düşük katlı güçlendirilmemiş ve kısmen güçlendirilmiş yığma duvarların ve hafifçe güçlendirilmiş beton duvarların düzlem içi mukavemetini ve sünekliğini önemli ölçüde artırdığını gösterdi. Takviyesiz yığma duvarlarının yanal yüklere dayanma kabiliyeti, hem duvar birimlerinin hem de yatak derz harcının gücü ile sınırlıdır. Kesme hataları ağır yatay takviye ve nispeten daha hafif dikey takviye kullanılarak ortadan kaldırılabilir, böylece eğilme davranışı teşvik edilmiştir.

Baggio ve Trovalusci (2000), doğrusal olmayan programlama kullanarak üç boyutlu tuğla blok sistemlerinin çöküş davranışını incelemiştir. Gerilimsiz ve sürtünme ara yüzü rijit tuğla blok sistemlerinin sınır analizine doğrusal olmayan kısıtlanmış programlamanın uygulanması için iki aşamalı bir prosedür uygulanır ve çeşitli duvar yapılarına uygulanır. İlk adımda, gerilim analizinin üst sınır limit teoremini gerilimsiz ve dilatant arayüzler ile etkileşen blok sistemlerine uygulayarak elde edilen doğrusal bir programlama problemi çözülmüştür. İkinci adımda, bu doğrusal programın çözümü daha sonra doğrusal olmayan ve dışbükey olmayan bir programlama problemi için ilk varsayım olarak kullanılır ve gerilimsiz aynı blok sistemine hem "mekanizma" hem de "denge" yaklaşımları uygulanarak ve sürtünme arayüzleri elde edilir.

Toumbakari ve Vintzileou (2000), derin yeniden birleşmenin eksenel sıkıştırmaya maruz kalan tuğla duvar işçiliği üzerindeki etkisini araştırmıştır. Yığma prizmaların başlangıç basınç dayanımını belirlemek için, örneklerin üçü oluşturulduğu gibi eksenel sıkıştırmada test edilmiştir. Kalan prizmalarda derin yeniden birleştirme aşağıdaki gibi uygulanmıştır: Harç, numunelerin dört yüzü boyunca yaklaşık 40 mm derinlikte tüm yatay derzlerden kesilmiştir. Böylece toplam harç hacminin neredeyse% 35'i uzaklaştırılmıştır. Gevşek harç parçaları ve toz, basınç altında hava kullanılarak çıkarılmıştır. Daha sonra prizmalar doymuş ve yeniden birleştirme harcı karıştırılmış ve derzlere elle eklenmiştir. Tüm duvar prizmaları eksenel sıkıştırmaya tabi tutulmuştur. Tüm örneklerde, prizmaların uzunluğu ve genişliği boyunca sıkıştırma nedeniyle tipik dikey çatlaklar ortaya çıktı. Bu çatlaklara ek olarak, derin yeniden birleşmenin uygulandığı prizmalarda tuğla parçalanması gözlenmiştir. Tuğlaların dağılması, yeni harç bölgesindeki eskisine göre önemli ölçüde daha

yüksek mukavemete ve esneklik modülüne sahip olan gerilme konsantrasyonuna bağlanmıştır. Böyle bir stres konsantrasyonu, derin birleşmenin hatalı uygulanması durumunda daha belirgindi, bu durumda yatay eklemler kısmen geçersizdir. Derin yeniden birleştirme, yatay derzlerin tamamen doldurulması şartıyla, duvarın basınç dayanımında önemli bir artışa yol açmıştır.

Oliveira vd. (2000), sertlik bozulmasının önemini değerlendirmek için döngüsel yükleme altında prizmalar üzerinde testler gerçekleştirmiştir. Her bir duvar bileşeninden (tuğla ve harç) elde edilen sonuçlar, duvar prizmalarından elde edilen sonuçlarla karşılaştırılmıştır ve örneğin arıza modlarına göre davranışını sunmuştur. Tuğla prizmalarının gerilme-gerinim diyagramları, iki doğrusal bir tepe öncesi davranış gösterdi. Tepe yükünden önce görünür çatlak başlangıcı geldi ve tepe sonrası, kararlı bir davranışla karakterize edildi. Aşırı tuğlalar hafif hasar verirken, orta tuğlalar tüm yüzey boyunca gözle görülür çatlaklarla ve yük yönüyle hizalı olarak çok hasar görmüştür. Yeniden yüklenen dallarda rijitlik bozunması özellikle rijitliğin önemli düşüşler yaşadığı pik sırasında meydana geldi. Gerinim seviyesi ile enerji kaybının arttığı gözlenmiştir. Prizmaların ortalama mukavemet değeri, harç numunelerine kıyasla çok daha yüksek, ancak tek tuğlaların ortalama mukavemetinden daha düşüktü. Harç, prizma deformasyonu üzerinde çok büyük bir etkiye sahiptir. Tepe mukavemetindeki azalma, kararlı tepe sonrası davranışla telafi edildi. Duvarın basınç dayanımı, tuğla ve harçtaki tek bileşenlerin özelliklerinden büyük ölçüde etkilenmiştir.

Guinea vd. (2000) tuğla duvarda mod-I kırığının analizi için mikromekanik bir model sundular. Analiz, hayali (veya yapışkan) çatlak modeli aracılığıyla tuğla ve harç kırığının ayrıntılı bir modellemesine dayanıyordu. Tuğla ve harç için kırılma özellikleri spesifik testlerle ve daha sonra tuğla ve harç derzlerinin ayrı ayrı işlendiği sayısal bir modelle belirlenmiştir. Kompozit kırık modeli, yığma panellerin kırılmasını doğru bir şekilde öngördü. Ortalama 22.9MPa elastik modülü ile kırık çizgisi dışındaki tüm elemanlar için homojen doğrusal elastik davranış varsayılmıştır. Bu değer, çatlama başlamadan önce test kayıtlarının ilk doğrusal kısmının bir uyumundan elde edilmiştir. Paneldeki sonlu elemanlar, arayüz elemanlarına bağlanan bir süper eleman içinde yoğunlaştırılmıştır. Bu yöntem, modelin bir bölümünün doğrusal elastik kaldığı genel doğrusal olmayan bir analizde şiddetle tavsiye edilmiştir. Bir macrocrack geliştiğinde, yapıda dağılmış çatlama veya hasar dikkate alınmadı. Başarısız olan örnekte, harç yatakları ve tuğla birimleri boyunca ters yönde uzanan

tek dominant çatlak gözlenmiştir. Orta veya küçük duvar panelleri için, tuğla ve harç etkileşiminin daha ayrıntılı bir analizi gerekir.

Erol vd. (2001) yüksek basınçlara dayanıklı özel tuğlalar ve bölmeler yapılarak üretilen özel bir harç, davranış belirleme sırasındaki iki eksenli gerilme davranışları ve harç ve donatı katkısını kullanmışlardır. Deneylerinde, ASTM C 1391-81'de tanımlanan test tekniği kullanılarak 40 adet 755 mm x 755 mm x 120 mm boyutunda test edildi Duvar numuneleri göçmeye kadar zorlanmış, doğrusal olmayan bölgede kayma dayanımlarının ve duvar kayma rijitliklerinin değişimleri belirlenmiştir. Deneysel çalışmadan elde edilen veriler taşıma kapasiteleri, kayma gerilmesi-kayma açısı ilişkileri ve göçme biçimleri açısından değerlendirilmiştir.

Emeritus ve Hendry (2001) uygulamaları ile farklı tipteki duvarcılık duvar yapılarını incelemiştir. Yığma malzemeler arasında çok çeşitli birim boyutlarının, formlarının ve renklerinin üretildiği kil, beton ve kalsiyum silikat bulunur. Kil tuğlalar 100 N / mm²'ye kadar olan mukavemetlerde elde edilebilirdi, örneğin daha yüksek mukavemetler, örneğin ev binaları ve daha uzun binalar için kaplama duvarları için 20-40 N / mm². Beton bloklar, 2.8 - 35N / mm² aralığında daha düşük görünür basınç dayanımlarına sahiptir. Yığma birimlerinin gerilme mukavemetinin hem doğrudan hem de bükülme mukavemeti, çeşitli stres koşulları altında duvarın mukavemeti üzerinde bir etkiye sahiptir, ancak tipik olarak 0.05N / mm²'lik bir kopma mukavemeti gereken bölme duvarlarında kullanılan beton bloklar dışında normal olarak belirtilmemiştir. Harç, toplam yığma hacminin % 7'sini oluştursa da, performansı belirtilen orandan çok daha fazla etkiler. Harçlar genellikle işlenebilirliği artırmak için kireç veya bir plastikleştirici ile çimento kumu idi. Son yıllarda, doğru boyutlandırılmış birimlerle kullanım için ince yatak harçları ve geliştirilmiş termal özelliklere sahip harçlar dahil olmak üzere yeni harç türleri geliştirilmiştir. Harç ne kadar güçlü olursa, hareketin yerleşimi o kadar azdır. Yapısal gereklilikleri karşılamak için gerekenden daha güçlü bir karışım kullanılması tavsiye edilmez. Sertleşmiş harç yeterince kuvvetliydi ve ünitelere yeterli yapışma sağlamış ve ayrıca duvarın yağmur suyu penetrasyonuna direncini azaltacak veya hatta ünitelerin çatlamasına neden olacak aşırı büzülme olmaksızın yerleştirilmiştir. Yığma duvar inşaatı, son birkaç on yıl içinde hafif malzemelerin ve yeni tip ünitelerin tanıtımı veya uzun süreli kullanımı ile önemli ölçüde değişime uğramıştır.

Yüksel ve Teymür (2001) deneysel çalışmalarında çıplak çerçeveli bölme duvarı ekleyerek farklı hasar seviyelerine ulaşmıştır. Sonra iki farklı bölme duvarı kullanılmıştır.

Duvarlar tuğla tiplerine ve basınç dayanımlarına göre farklılık gösterir. Eksenel yükler tek tuğlalarda test edilmiştir. Kayan kamalarla hasar görmüş beton çerçevelere eklenen farklı özelliklerde bölme duvarları gözlenmiştir. Sistem dayanımının, duvar inşasında kullanılan harcın dayanımından önemli ölçüde etkilendiği belirlenmiştir.

Agarwal ve Thakkar (2001), şok tablosu hareketine veya yarı statik yüklemeye maruz kalan tuğla duvar modelinin davranışındaki farklılıkları ortaya koymuşlardır. Şok modeli, eşdeğer yanal yer değiştirmelere maruz kalan yarı statik modele kıyasla önemli ölçüde daha yüksek bir başlangıç mukavemeti ve sertliği ile cevap verir. Çatlak yayılımının artması nedeniyle kaasistatik testte hasarın şiddeti daha fazladır. Şok testi, düşük seviyelerde tabanda uyarma, hızlanma, modelin neredeyse elastik davranışı ile çatıda güçlendirilir. Model dinamik olarak değil statik olarak yüklendiğinde hem mukavemet hem de sertlikte belirgin bir azalma gözlenmiştir. Her iki test yöntemi altında elde edilen çatlak paternleri neredeyse benzerdir.

Olivito ve Stump (2001), basınç ve çekme gerilmesi koşullarına maruz kalan özel olarak yapılmış duvar örnekleri üzerinde deneysel testler gerçekleştirmiştir. Özellikle, dört nokta bükme testleri, çekme gerilimine maruz kalan duvarın hem çekme davranışının hem de elastik parametrelerinin karakterizasyonuna izin verdi. Testler ayrıca malzeme dayanıklılığı konusunda da etkili sonuçlar verdi. Duvarda elde edilen sonuçlar düşük çekme gerilimi koşullarını destekledi; yığma kompozitler duvar bileşimi ve dokusu ile ilişkili bimodüler davranış sergilemiştir; yığma, çatlamanın başlaması ve büyümesinden kaynaklanan gerilme yumuşatma davranışı sergiledi. Bu sonuçlar duvarın elastik davranışını kritik koşula kadar dikkate alan ve kırılma tokluğu ile tanımlanan, daha sonra yumuşama davranışını dikkate alan analitik bir model tanımlamak için kullanılmıştır.

Doherty vd. (2002), yığma duvarların düzlem dışı bükülmesi için yer değiştirme tabanlı sismik analiz çalışmalarını yayınladılar. Yaklaşım, basitleştirilmiş yer değiştirme temelli bir prosedürü ve gerçek doğrusal olmayan yer değiştirme kuvvetinin analizde üç yönlü karakterizasyonunu uyarladı. Sismik analizin sonuçları, bu yöntemin kuvvet temelli yöntemden önemli ölçüde daha iyi tahminler verdiğini gösterdi. Duvar Analiz Kodunda (DAK, sürüm 2) Tek Serbestlik Derecesi (TSD) sisteminin uygulanmasıyla benzer yaklaşımlar kullanılmıştır.

Jagadish vd. (2002), yığma yapıların davranışlarını Bhuj, Anjar, Bhachau, Morbi, Samakhlyali ve diğer bazı yerlerde kullanılan duvar türüne göre değerlendirmeye çalışmışlardır. Son zamanlarda Bhuj depremi sırasında çeşitli yığma yapılar hasar gördü.

Geleneksel yığma yapıların bazıları depreme dayanıklı özelliklere sahip değildi ve ciddi hasar gördü. Deprem sonrası yığma binaların davranışları araştırıldı, depreme dayanıklı tasarımdaki yetersizlikleri tespit edebilmek. Yeni Bhuj kasabasında, tuğla / taş ve çimento harcı kullanılan bir veya iki katlı binaların çoğunda daha küçük çatlaklar vardır, bu nedenle binaların bir miktar direnci vardır. Çeşitli binaların çatlama ve kırılma paternleri incelendi. Oldukça iyi performans gösteren çimento harcı ile üç katlı, taştan yapılmış bir taş yapı, yakın çerçeveli bir Betonarme yapı çökmüştür. Yığma binaların kırılma doğası, binaların çöküşü ve can kaybının ana nedeni olduğu için, bu tür binaların yapımında iyileştirici önlemlerin alınmasına ihtiyaç vardır. Yatay bantlar, duvarları bağlantı noktalarında birbirine bağlamakta ve ayrıca dikey çatlakların ve düzlem içi kesme çatlaklarının büyümesini önlemede yardımcı olur. `` Muhafaza takviyesi " kavramı, büyümeden kaynaklanan bükülme gerilme çatlaklarını içerecek şekilde geliştirilmiştir. Bu, süneklik kazandırmaya ve depremler sırasında çok fazla enerjiyi emmeye yardımcı olmuştur.

Lourenço vd (2002), duvarın sayısal bileşen temsilini, münferit bileşenlerin, birimin (tuğla, blok vb.) ve harcın mikro modellemesine veya duvarın bir kompozit olarak makro modellemesine odaklanmak için çalışmışlardır. Doğruluk seviyesine ve istenen basitliğe bağlı olarak, aşağıdaki modelleme stratejilerini kullanmak mümkün oldu. Eklemlerdeki ayrıntılı mikro modelleme - birimler ve harç, sürekli ortam elemanları ile temsil edilirken, birim-harç arayüzü, süreksiz elemanlar ile temsil edilir. Derzler ve birim-harç ara yüzü, kesikli elemanlar halinde toplanmıştır; Makro modelleme - birimler, harç ve birim-harç arayüzü homojen bir süreklilik içinde bulaşmıştır. Temel hücrenin katmanlı yaklaşımlar gibi basitleştirilmiş bölünmeleri doğrusal olmayan aralık için yetersizdi. Sonlu elemanlar analizinde, başarısızlık mekanizmaları ve çökme yükleri, doğrusal olmayan artımlı ve yinelemeli sonlu elemanlar simülasyonlarına dayanan ve doğrusal olmayan simülasyonlarla karşılaştırıldığında daha karmaşık yaklaşımlara benzemektedir. Bununla birlikte, mevcut hasar modellerini, gelişmiş doğrusal olmayan simülasyonları yeniden oluşturmaya çalışırken her zaman önemli dikkat gösterilmiştir.

Moghaddam (2004), duvar dolgu panellerinin kesme dayanımı ve çatlama modelinin değerlendirilmesi için yeni bir analitik yaklaşım üzerinde çalışmıştır. Bu yöntem, arıza yüzeylerine göre güvenlik faktörünü en aza indirmeye dayanıyordu. Bu yaklaşım, tuğla yapı malzemesinin kesme dayanımı parametrelerini ve elastisite modülünü belirlemek için kullanılabilir. Yazar ayrıca onarılan ve güçlendirilmiş tuğla dolgulu çelik çerçeveler üzerindeki deneysel ve analitik araştırmaların sonuçlarını da karşılaştırdı. Köşe

malzemesinin beton ile değiştirildiği veya panele beton bir örtü yerleştirildiği iki ana onarım tekniği incelenmiştir. Hem deney hem de analiz, bu tekniklerin etkinliğini ve yeterliliğini sınırlamıştır.

Pandey ve Meguro (2004), kil tuğla duvar duvarının, düzlem içi yanal yük altında Element simülasyonunu uyguladılar. Duvar, tuğla birimleri karşılık gelen kenarlarında harç derzli küçük elemanlarla temsil edilecek şekilde takdir edilir. Temel gerilim başarısızlığı kriteri birimler için, Mohr-Coulomb'un gerilim kesmeli sürtünme modeli harç dahil olmak üzere model arayüz davranışına uygulanmıştır. Gerilme rejiminde kayma davranışını tanımlamak için kohezyon ve ayrılma kaybı sürecinde yumuşama formülasyonu uygulanır. Mevcut UEY (Uygulamalı Eleman Yöntemi) uygulamasının performansı monotonik yanal yük altında açılan bir duvarın mevcut deneysel sonucu ile değerlendirilir. Deneyde gözlemlenen davranış ile çatlak paterni için sayısal tahmin, evrimi ve yük-yer değiştirme ilişkisi arasında karşılaştırma yapılmıştır.

Jahangir vd (2004) harç derz kalınlığının aksel yüklü tuğla-harç prizmalarının basınç dayanımı karakteristikleri üzerindeki etkisi üzerine deneysel araştırmanın sayısal doğrulamasını sunmuşlardır. Prizmaların üç boyutlu mikro modellemesi iki yaklaşıma dayanıyordu: ilk olarak, modellerin homojen malzemedan yapıldığı varsayılmıştır; ikinci yaklaşım modelleri tuğla ve harçtan yapılmış kompozit malzemeler olarak öngörüyordu. Daha sonraki modelleme yaklaşımı, prizmanın kompozit malzemedan yapıldığını varsaydı, prizmalardaki stres dağılımının daha doğru tahminini verdi. Başarısızlık yük tahminleri, deneysel sonuçlarla iyi uyum içindedir, bu da kompozit malzeme varsayımı ile bu modelleme yaklaşımının homojen malzeme varsayımından daha uygun olduğunu düşündürmektedir. Çalışma, harç elastik modülünün (E_j) elastik tuğla modülünden (E_b) daha az olduğu normal bir durumda, harç kalınlığındaki artışın, duvarın elastik modülünün azalmasına, elastik modüllerinin artmasına neden olduğunu kanıtlamıştır. Harç, duvarın elastik modülünde bir artışa yol açtı. Her iki analizden elde edilen gerilim - gerinim eğrisi, homojenize malzeme durumunda tuğla işçiliğinin maksimum basınç dayanımının kompozit malzemeye göre biraz daha yüksek olduğunu göstermiştir. Homojenleştirilmiş model, modelde yaklaşık 45 derecede yükün dağılımı olan bir malzeme gibi davranır. Tuğla mukavemetinden daha düşük mukavemete sahip harç derzi, duvarın basınç mukavemetinde bir azalmaya neden olmuştur. Gerçek deneysel yöntemle belirlenen yığının basınç dayanımı, sayısal yöntemle elde edilen dayanımdan çok daha yüksektir. Bununla birlikte, gerçekte, tuğla işi tuğla ve harç olmak üzere iki katmanlı malzemedan yapılmıştır, bu nedenle, analiz

için kompozit malzemenin idealizasyonu benimsenmelidir. Homojenleştirilmiş model, kompozit malzeme olarak kabul edilen modele göre yaklaşık % 4 daha yüksek mukavemet göstermiştir.

Lourenço vd. (2004) mikro-beton derzleri ile istif bağlı duvarın kesme davranışını değerlendirmek için üçlü testi gerçekleştirmiştir. Standart yığma bağ, süreksiz dikey eklemlerle sonuçlanan hareketli bağdır. Tipik başarısızlık modları elde edildi ve kesme kuvveti Coulomb sürtünme yasasını yeterince izledi. Bu nedenle, hem yığılmış bir konfigürasyonun kullanımı hem de eklemler için mikro beton kullanımı kabul edilebilir. Eklemlerin arayüzünü karakterize eden mekanik dayanım parametreleri $1.39 \text{ N} / \text{mm}^2$ "c" kohezyonu ve 1.03 'lük sürtünme açısı tanjantıydı. Avrupa yasalarına göre (prEN1052-3 1996), "c" uyumunun karakteristik değeri 1.11 N/mm^2 dir. Aynı zamanda, yığın bağ konfigürasyonundaki duvar mikro-beton derzlerinin standart duvarlara benzer olduğu bulunmuştur.

Elgawady vd. (2004), dinamik ve statik döngüsel testlerin test sonuçları arasında ön karşılaştırmalar sunmuşlardır. Test örnekleri, yarım ölçekli oyuk kil kâgir birimler ve zayıf harç kullanılarak oluşturulan yarım ölçekli örneklerdir. Örnekler, öncesi ve sonrası sonradan takma, bir dizi sentetik deprem veya statik döngüsel test çalışmasına tabi tutulur. Testler, kompozitlerin, uyarlanmış numunenin çatlamasını ve nihai yükünü, sırasıyla 3 ve 2.6 faktör arttırdığını göstermiştir. Statik döngüsel testlerde ölçülen referans numunenin yanal direnci, dinamik testte ölçülen benzer referans numunenin yanal direncinin 1.2 katıdır. Nispeten zayıf harca rağmen numune sürtünme katsayısı 1.0 'ı aştı. Bununla birlikte, ağır hasar ve yaklaşık % 2'lik bir sapmadan sonra örnek sürtünme katsayısı 0.7 'ye düşürüldü. Referans ve sonradan takılan örnekler için başlangıç rijitiliği, statik döngüsel ve dinamik testlerde yaklaşık olarak aynıydı. Statik döngüsel testteki referans numunenin yanal direnci, dinamik testteki yanal dirence göre yaklaşık % 20 daha yüksektir.

Köksal vd. (2004, 2005), gerçekleştirdiği çalışmalarda sıvalı beton Prizmaların ve yığma prizmaların basınç dayanımlarına dair hesaplamaları izotropik hasar modeli ve elasto-plastik yaklaşım dikkate alarak yapmışlardır. Drucker-Prager kırılma kriteri için gerekli olan kohezyon ve sürtünme açısı değerleriyle ilgili bir bağıntıyı bu çalışmada önermişlerdir.

Buna göre, blok ve harcın kohezyon değerleri aşağıdaki formüllerde hesaplanmıştır.

$$C_b = \frac{f_b}{4} \quad (1.31)$$

$$C_{mr} = 0.129f_{mr} + 1.85 \quad (1.32)$$

Burada f_b ve f_{mr} sırasıyla blokların ve harcın basınç dayanımlarını ifade etmektedir. Ayrıca harca ait sürtünme açısı değerleri de aşağıdaki gibi hesaplanmaktadır. Buna rağmen blokların sürtünme açısı değerleri hakkında herhangi bir formülasyon vermemişlerdir.

Bryan ve Mervyn (2004), sınırlandırılmamış ve sınırlandırılmış kil tuğla duvarların gerilme-şekil değiştirme özelliklerini yakaladılar. Hapsetme plakaları, kil tuğla duvarların basınç dayanımını önemli ölçüde artırdı. Plakalar, nihai mukavemeti % 40'a kadar artırmıştır. Harç yatağı derzlerine yerleştirilen hapsetme plakalarının, derzin yanıl genişlemesini ve kil tuğla birimi ile derz arasındaki farklı genişlemeyi sınırlandırdığı kaydedilmiştir.

Casolo (2004), düzenli dokulardan yapılmış duvar duvarlarının düzlem içi davranışının belirli bir basitleştirilmiş modeli için sert elemanlar önerdi. Elemanlar düzlemsel, dörtgen ve her iki tarafta iki normal yay ve bir kesme yayı ile bağlanmıştır. Bu bağlantıların mekanik karakteristikleri, harcın mekanik bozulması nedeniyle ortaya çıkan doku etkileri dikkate alınarak tanımlanmaktadır. Mevcut yaklaşım, temel doku bilgilerinin mikro ölçekte makro ölçekte taşınması. Özellikle, blokların lokal dönüşü, makas yaylarına yönlerine göre farklı sertlik atanmasıyla elde edilirken, düzlemsel bükülme sertliği iki normal yayın uygun şekilde yerleştirilmesiyle yeniden üretilmiştir. Dokuların geometrisine bağlı olarak, yığma duvarlar ağır sismik yüklemeye maruz kaldığı için, bileşenlerin elastik modülünde büyük farklılıklar olması durumunda bu yönler önemlidir. Sayısal simülasyonlar, doğrusal olmayan dinamik için umut verici olan azaltılmış bir hesaplama çabasıyla bu yönlerle başa çıktığını kanıtlamıştır. Analiz uygulamaları kapsamlı bir sayısal araştırma, mikro yapı etkilerinin, bileşenlerin elastik modülleri arasındaki yüksek oranlar için özellikle uygun hale geldiğini kanıtlamıştır. Doku, ek sertlik ve güç kaynakları sağlayan önemli bir rol oynamıştır

Maria Rosa vd. (2005), yatak bağlantılarına çelik çubukların sokulmasına dayanan bir güçlendirme tekniği önermişlerdir. Yüksek sıkıştırma yükleri nedeniyle kritik bir çatlak deseni gösteren normal tuğla duvarlar için özellikle uygundur. Deneysel testler ve sayısal analizler, çubukların mevcudiyetinin, yapıyı istenen güvenlik koşullarında tutarak çatlama olayının kontrolüne izin verdiğini göstermiştir. Hem deneysel hem de sayısal analizler, en önemli sonucun tuğlalardaki çekme gerilmelerinin ve duvarın dilatanitesinin azaltılması ile ilgili olduğunu göstermiştir.

Mojsilović (2005), duvar özelliklerini sıkıştırma testlerinden türetmiş ve gerilme-şekil değiştirme ilişkisini ve ortotropik elastikiyetin duvarda uygulanabilirliğini incelemiştir. Duvarın, özellikle çalışma yükleri için doğrusal-elastik bir malzeme olarak az çok davrandığı sonucuna varılmıştır (arıza yükünün % 30'una kadar yükler). Daha yüksek yükler için beton ve kalsiyum-silikat blok duvarcılık doğrusal olmayan davranış sergilerken, kil tuğla yığma bozulana kadar doğrusal elastik kalmıştır. Aynı zamanda, beton blok yığma yapı izotropik, kalsiyum-silikat blok ve kil tuğla duvarcılık ortotropik malzeme olarak kabul edilmiştir.

Tin-Loi (2005) betonda kırığın sayısal simülasyonunu uygulamıştır. Bu modelde, bir duvar duvar bir dizi yığma birim olarak modellenmiştir. Ayrıca, her bir yığma birimi üçgen sonlu eleman birimlerine bölünür ve kırığı simüle etmek için üçgen sonlu eleman birimlerinin kenarları boyunca sınır düğümlerinde yapısal bir yumuşatma-kırılma yasası dikkate alınır. Bu formülasyonun avantajı, etkileşen ve / veya dallanan çatlakların izlenmesine, yeniden düzenlemeden izin verilmesidir.

Milani vd. (2006), bir düzlem dışı yüke maruz kalan duvarın analizi için bir homojenizasyon tekniğinin kullanılmasını tercih etmişlerdir. Çalışmalarında, birkaç donanım parametresiyle karakterize edilen, sayısal olarak ucuz ve çok kararlı bir model önerdiler. Tuğla ve harç derzlerinin tamamen plastik sert olduğu ve ilgili bir akış kuralına uyduğu varsayılır. Yığma yapı konfigürasyonunun (düzenleniş) etkisini hesaba katmak için, bir limit analizi yaklaşımı kullanılarak düzlem dışı anizotropik duvar kırılma yüzeyleri elde edilmiştir. Bu gösterimde, tuğlalar, kalınlık boyunca sabit sayıda alt alanlara ve katmanlara bölünmüştür. Daha sonra mikro-stres tensörü her bir alt alan içinde kullanılmış ve hem normal bir nokta ızgarası üzerindeki gerilim tensörünün kabul edilebilirliğini hem de arayüzlerde gerilim vektörünün sürekliliğini sağlamıştır. Modelde tuğla-harç arayüzlerinin sınırlı direnci (gerilimin kopmasıyla sürtünme kopması) da hesaba katılmış, böylece elemanlar ve eklemler arasındaki bağlantının olası yetersiz direnci nedeniyle arızaların yeniden üretilmesine izin verilmiştir.

Mohamad vd. (2005), sıkıştırmaya maruz kalan duvarın tepkisini belirlemek için duvar prizmaları üzerinde deneysel testler gerçekleştirmişler. Gerilme-yerdeğiştirme diyagramları, beton bloklardan yapılmış prizmalar ve çok çeşitli harç dayanımları ile elde edilmiştir. Çimento, yeterli harcı elde etmek için hacim olarak farklı kum oranları ile karıştırılmıştır. Bu karışım, ilk gerilim için makul bir uyum gösterdi, ancak yalnızca nihai gerilime yakın

orta düzeyde bir uyum gösterdi. Duvarın göçme mekanizması, birim ve harç arasındaki elastisite modülü farkına bağlıdır. Harç, duvarın doğrusal olmayan davranışını yönetir.

Chaimoon vd. (2005) Van der Pluijm testini, yapıştırmak zorunda kalmamak için L şeklindeki parçalar ile test parçaları arasına metal şimler ekleyerek tekrarlamışlar. Yükleme, zirveye kadar hızlanarak sürekli olarak uygulanır, daha sonra bazı numuneler için gerinim kontrollü yükleme-boşaltma döngüleri manuel olarak uygulanır. Bu döngülerin sertliklerinin başlangıçtaki sertliğe yakın olduğunu gözlemlemiştir.

Abdou vd. (2006), derz harçlarında kesme işleminde yığma duvarların kırılma modunu daha iyi anlamak için deneysel bir çalışma gerçekleştirmişlerdir. Bu setin genel davranışı, tuğla ve harç özellikleri, tuğla boyutu ve en boy oranı, derz kalınlığı, derz oryantasyonu, baş ve yatak derzlerinin göreceli pozisyonu, ünite / harç bağı ve işçilik özellikleri gibi çeşitli faktörlerden etkilenmiştir. derz harcının kesme davranışının tipini değerlendirmek için (derz kalitesi) yük / boşaltma makaslama testleri yapılmıştır. Daha sonra kohezyon ve iç sürtünme açısı Mohr-coulomb kriteri varsayılırken lineer regresyondan türetilmiştir. Özellikle, deliklerin derz davranışı üzerindeki etkisi, hem katı hem de içi boş tuğlalarla elde edilen sonuçlar karşılaştırılarak incelenmiştir. Her iki durumda da deneysel sonuçlar yumuşatma rejiminde bile sertlik bozulması olmadığını göstermiştir. Aslında, kesme modülü sabit kaldı. Bu nedenle, eklem davranışının, tuğla tipinden bağımsız olarak elasto-plastik olduğu düşünülmüştür. Deliklerin varlığı sertliği arttırdı, ancak derz harcının iç sürtünme açısını etkilemedi. Deliklerin harçla doldurulması, uygulama sırasında bir dayanak oluşturur. Kesme işlemi ve sonuç olarak içi boş numunelerin kesme modülünü arttırmıştır. İçi boş tuğla için tepe sonrası davranış, artık mukavemet ile karakterize edilmiştir. Değeri basınç gerilme seviyesi ile ilişkiliydi ve $\tau_n = 0.3N/mm^2$ olduğunda nihai kayma mukavemetinin yaklaşık % 50'si olarak tahmin edilmiştir. Kalan rejim için, beyitin başarısızlığı Mohr-coulomb kriteri ile tanımlanmıştır. İçi boş tuğlalar için artık kohezyonun, nihai kohezyonun yaklaşık % 35'ine eşit olduğu bulunmuştur.

Magenes (2006) sismik tasarıma ve yığma binaların değerlendirilmesine ilişkin seçilmiş bazı konuları tartışmıştır. Takviyeli olmayan duvarlar için bir ila üç kattan ve güçlendirilmiş duvarcılık için iki ila dört kattan oluşan binalar, oldukça basit bir plan konfigürasyonu ve toplam döşeme alanının % 3.5 ile % 7.5'i arasında değişen toplam perde duvarları ile yükseklikteki düzenlilik ile karakterize edilmiştir. her ana yönde. Testler, ortak İtalyan mevcut tipolojilerini temsil eden, üç katlı, 1: 2 ile 1: 1 ölçekli güçlendirilmemiş taş ve tuğla duvar binaları veya duvarları üzerinde gerçekleştirilmiştir. Sismik kuvvet, birincil

elemanlar için $q_a = 3$ olarak kabul edilen duvar elemanının davranış faktörü ile azaltılırken, yapısal olmayan duvarlar için $q_a = 2$ kullanılacaktır. Kuvvet temelli yaklaşım tutarlı sonuçlar üretemeyebileceğinden, yeni sistemlerin spesifik sismik performans gereksinimine uygunluğunu değerlendirmek için spesifik deneysel prosedürlerin ve kriterlerin geliştirilmesi ve kodlanması önerilmektedir. Yığma yapıyı diğerlerine göre tercih eden elemanlar teknikler inşaat kolaylığı, dayanıklılık, iyi yalıtım özellikleri, yangına dayanıklılık, sürdürülebilirlik ve bazen estetikdir. Öte yandan, yapısal duvar kullanımı, yapısal ve mimari tasarım arasında güçlü bir bağlantı kurarken, çerçeve yapıları iç mekanın dağılımında daha fazla özgürlük sağlar. Genellikle, yapı diyaframlarının birleşik etkisi ve yapısal duvarların düzlem içi tepkisi ile binanın yatay eylemlere direnci sağlandığında, yapının küresel bir modeline ihtiyaç duyulmuştur.

Shambu (2006), deprem direnci sağlamak üzere güçlendirilmiş bir yüzeye duvarların dış veya iç yüzeyine 76 mm kalınlığında bir püskürtme beton tabakası uygulayarak en yaygın güçlendirme tekniğini araştırmıştır. Püskürtme beton, güçlendirilmemiş tuğla panellerin mukavemetini büyük ölçüde arttırdı. Kaynaklı tel kumaş ile güçlendirilmiş paneller, ilk çatlama ve büyük elastik olmayan sapma kapasitesinden sonra mukavemette önemli bir artış gösterdi. Püskürtme beton artı takviye, panellerin elastik olarak sapmasına ve tam ters çevrimli yükten sonra bile bozulmadan kalmasına izin verdi. Püskürtme beton ve tuğlalar arasındaki bağ mukavemeti, sertlik özellikleri de dahil olmak üzere yapısal panellerin güçlendirilmesini doğrudan etkilemiştir.

Gilbert vd. (2006), limit analizi üzerinde çalışmışlardır ve bu tür bir çalışmanın yığma yerçekimi yapılarının stabilitesini analiz etmek için değerli bir araç olduğu bulunmuştur, ilişkisel olmayan Coulomb kayma sürtünmesini modellemek sorunlu olabilir. yinelemeli prosedür, doğrusal programlama alt problemlerinin ardışık çözümünü içerir. Prosedür kullanılarak, her kontak arayüzünde özel olarak modifiye edilmiş bir Mohr-Coulomb arıza yüzeyi benimsenir, tüm arıza yüzeyleri her bir yinelemede birleştirilmiş bir çözelti elde edilene kadar güncellenir. Prosedür, duvarcılıkla ilgili problemlere ve ayrıca yeni, çok daha büyük kıyaslama sorunlarına uygulanır.

Balasubramanian vd. (2006), anıtsal yapıların kesme kapasitesini tahmin etmek için bazı popüler modellerin özelliklerini gözden geçirmiştir (saha araştırmalarından elde edilen yerinde özellikleri kullanarak). Takviye modeli, güçlendirilmemiş duvar duvarlarının düzlem içi kesme kapasitesini belirlemek için kullanıldı. Güçlendirilmemiş duvar duvarının, her katta bir tane olmak üzere, nispeten sert eklem bölgeleri ile ayrılmış birkaç iskeleden

oluştugu düşünölmüştür. Takviye edilmemiş tuğla duvardan yapılan anıtsal bir yapının bir duvarının dikme modeli kullanılarak düzlem içi yüklemeye karşı olasılık kapasitesi değeriendirilmesi sunulmuştur. Elde edilen sonuçlardan, duvarın kesme kapasitesinin, düşünölen rastgele değışkenlerdeki değışikliklerden nispeten bağımsız olduğu kaydedilmiştir. Uygun teorik modelleri benimseyerek lateral direnci değeriendirmek için girişimlerde bulunulmuştur. Düzlem içi yanal direnç için Magenes ve Calvi tarafından önerilen formüllerin Eurocode'da verilenlere göre geliştirildiği ve rasyonel olduğu kaydedildi. Hindistan yasa hükümleri kapsamlıydı ve çeşitli başarısızlık modlarına göre değıştirilmiştir. Sismik güvenlik değeriendirmesi için limit analizi yöntemini dinamik analizle bütünleştiren bir yaklaşım önerilmiştir.

Cultrone vd. (2007), fiziksel-mekanik özelliklerinin incelenmesine odaklanarak, seçilmiş temsili yapı malzemeleri setinin (tuğla ve kalkarenit) ve kireç esaslı koruma harçlarının (hidrolik ve / veya hidrolik olmayan) uyumluluğunu değeriendirmiştir. Farklı restorasyon harçlarına sahip tuğla veya kalkarenit kombinasyonlarının incelenmesi, tarihi binalara zarar veren süreçleri ve faktörleri anlamak için önemli bir katkı olmuştur. Su gibi binaların belirli alanlarında suyun birikmesine neden olabileceğinden farklı malzemelerden aynı hızda akamaz ve bu da daha çabuk bozulmalarına neden olur. Tuğlalarda, iki malzeme arasındaki temas alanı herhangi bir harç türü için dikey bir pozisyondaysa test numuneleri tarafından emilen su kaybı biraz daha hızlı olmuştur. Bu, test numuneleri alanındaki gözeneklerin daha iyi bağlandığı sonucuna yol açtı (kılcal damarlar birleşiyor) gözenekler dikkate değeri büyüklüktedir) veya iki farklı malzeme tipi (tuğla veya harçlı taş) arasındaki temas alanları sürekli değildi ve bu nedenle su bu yollarda dolaşmayı tercih ediyor. Tuğla + harç (veya kalkarenit + harç) temas alanında gözenek boyutu önemli ölçüde düştü, çünkü kılcallık nedeniyle bu alanda daha büyük bir bağlayıcı konsantrasyonu vardı. Bu yüzey, kompozit malzeme sistemi içindeki suyun hareketini yavaşlatan bir bariyer görevi görür. Harçlarda farklı katkı maddelerinin kullanılmasının, bu temas alanındaki dokuyu değıştirmedeği gözlenmiştir. Her iki sistem de hasar görür, ancak kalkarenit kireç harçlarına daha güçlü ve sürekli bir yapışma derecesi oluşturur.

Sharif vd. (2007) çalışmalarını, diyaframlara yeterli ankraj ile Güçlendirilmemiş Yığma Duvar duvarlarında (GYD) yaptılar, uçaktan yer hareketlerine maruz kaldıklarında orta yükseklikte çatlayacaklar. Bu çalışma, rijit diyaframlara bağlı GYD duvarları için düzlem dışı yanıtın çeşitli en-boy oranlarına (h / t) duyarlılığını incelemektedir. ASCE 41, Sismik Rehabilitasyon Standardı, düzlem dışı GYD duvarları için izin verilen h/t oranları

için yönergeler sağlar. Bu limitleri değerlendirmek için, büyük ölçekli titreşim tablosu testleri için kalibre edilmiş sert bir gövde sayısal modeli kullanılmıştır. Analizin amacı, depremlere maruz kaldığında duvarın çökmesine neden olacak minimum h/t oranını tanımlamaktır. Analiz 80 giridi hareketi için gerçekleştirildi ve çatlakların yerinin değişkenliği dikkate alındı. Çalışmanın sonuçları çökme olasılığının alan sınıfına bağlı olduğunu ve ASCE 41'de aşırı yük ve h/t sınırlarını karşılayan duvarların çok düşük çökme olasılığına sahip olduğunu göstermektedir.

Giancarlo vd (2007), büyük ölçüde Güney İtalya'da ve özellikle toprakları ilgili bir sismik risk sergileyen campania bölgesinde kullanılan belirli bir duvarcılık türünü (Tuff yığma yapıları) ele almıştır. Tuff, külden küçük çakıl büyüklüğüne kadar değişen, birleştirilmiş durumda sıkıştırılmış veya çimentolanmış volkanik parçacıklardan oluşan bir kayadır. Yığma birimler üzerinde tek eksenli sıkıştırma testi İtalyan standartlarına göre yapılmıştır. Ortalama basınç mukavemeti $f_c = 2.1$ MPa ve % 10 varyasyon katsayısı elde edilmiştir. Kesme yüküne maruz kalan tuf kâgir panellerin monotonik tepkisine odaklanan deneysel bir program araştırılmıştır. Paneller, içleri harç ve sarı tuf bloklarından çiplerle dolu iki katmanlı duvarlardan oluşuyordu. Test edilen panellerin toplam boyutları, 1570 mm yüksekliğinde, 1480 mm genişliğinde ve 530 mm kalınlığındaydı ve en boy-genişlik oranı 1.06'ya eşitti. Arıza durumunda, harç ve tuf birimlerinin farklı deforme olabilmesinin neden olduğu tipik bir tuğla ve dikey derzlerden kopma modu bulunmuştur. Aslında, net enine kesit alanı üzerinde 1.4 MPa'ya eşit ortalama bir basınç mukavemeti ölçülmüştür. Panellerin deneysel elastik modülü yaklaşık 630 MPa idi. Kesme-sıkıştırma testleri iki farklı aşamada gerçekleştirilmiştir. İlk olarak, duvarın üst kısmına 400 kN'lık dikey bir yük uygulandı ve test sırasında sabit tutuldu. Böyle bir değer, tipik olarak geleneksel tuf yığma yapıların en alt katında görev yapan hizmet yerçekimi yüklerini temsil eder. Daha sonra monotonik yer değiştirme kontrolü altında 2 mm / s' lik bir yükleme hızında başarısızlığa kadar yatay bir yük uygulandı. Panel yanal yük bozulması zirvenin yaklaşık % 25'i kadar bir sınıra ulaştığından kesme testlerinin durduğu kabul edilmiştir. Test düzeneği, kesme tipi yapılarda bulunan panellerin statik ve kinematik sınır koşullarını yeniden üretmek için tasarlandı ve hem yapılı hem de güçlendirilmiş paneller için çeşitli performans alanlarında mukavemet, çatlama deseni ve deformasyon özellikleri gibi temel davranış parametrelerini sağlamıştır. Parametrik analiz, sonlu elemanın tipini ve ilgili mekanik parametreleri, proposedanizotropik modelin hassasiyetini ve sismik değerlendirme prosedürleri için güvenilirliğini gösterdi. Sayısal verilerin gözden geçirilmesi, makro modelleme stratejisi

uygulandığında, duvar panolarının genel tepkisinin, çökme yükü değerleri ve yeterince doğru arıza mekanizmaları açısından iyi tahmin edildiğini fark etmeye yol açmıştır. Pratik amaçlar için, sonuçların pik yük ve başarısızlık mekanizmaları açısından "mesh" duyarlı olmadığı düşünülmüştür. Çökme yükü ile ilgili iyi bir anlaşma da bulunmuştur ve bu da ortalama deneysel değerinde sadece % 16'sından daha düşüktür. Tepe sonrası davranışın kesin bir şekilde çoğaltılması burada ana mesele olmasa da, hem sayısal hem de deneysel grafiklerde aynı eğilim gözlemlenebildiğinden, genel olarak iyi bir anlaşma bulunmuştur. Özellikle, yaklaşık 8 mm'lik bir yer değiştirmeden, sayısal ve deneysel yük-yer değiştirme eğrileri benzer bir tepe-sonrası tepki sergilemiştir.

Kaushik vd. (2007b) laboratuvar testleri, monotonik tek eksenli kompresyondaki gerilim-şekil değiştirme davranışı ve güçlendirilmemiş duvar ve bileşenlerinin diğer özellikleri, yani tuğlalar ve katı kil harcı ile çalışmıştır.

Kapsamlı deneysel çalışmanın sonuçlarına ve gözlemlerine dayanarak, tuğlalar, harç ve duvarlar için doğrusal olmayan gerilim-gerinim eğrileri elde edilmiş ve duvarın gerilim-gerinim eğrilerinde de kullanılabilen altı "kontrol noktası" tanımlanmıştır. Yığma malzeme veya elemanın performans sınır durumlarını tanımlamak. Doğrusal regresyon analizi kullanılarak, duvarcılık için analiz ve tasarım prosedürlerinde kullanılacak gerilim-gerinim eğrilerinin elde edilmesi için basit bir analitik model önerilmiştir. Model, deneysel olarak kolayca elde edilebilen ve genellikle kodlarda bulunan giriş verileri olarak sadece tuğla ve harcın basınç dayanımlarını gerektirir. Tuğlaların, harç ve duvarların esneklik modüllerini karşılık gelen basınç kuvvetlerinden elde etmek için basit ilişkiler tanımlanmıştır. Güçlü ve sert tuğlalar ve daha az fakat karşılaştırılabilir mukavemet ve sertlik harcı için, duvarın gerilim-gerinim eğrilerinin tuğla ve harç arasında olması gerekmediği gözlenmiştir.

Gumaste vd. (2007), Hindistan'da masa kalıplı tuğlalar ve tel örgülü tuğlalar kullanarak çeşitli harçlarla tuğla duvarlarının özelliklerini incelemeye çalışmışlardır. Sıkıştırma altında tuğla duvarların mukavemet ve elastik modülü, güçlü tuğla yumuşak harç ve yumuşak tuğla güçlü harç kombinasyonları için değerlendirildi. Boyut etkisini ve farklı bağlanma düzenlemelerini incelemek için çeşitli boyutlarda prizmalar test edildi. Masa kalıplı tuğla için yığma, duvar örneklerinin yağsız harç kullanarak başarısız olması, öncelikle tuğla ve harç arasındaki bağ kaybından kaynaklanmıştır. 1: 6 çimento-kum harcı durumunda, örnekler tuğlaların ayrılması nedeniyle başarısızlık gösterdi. Duvar verimliliği prizmalar için % 17.7 ile % 31 aralığında ve cüzdaneler için % 20-27 aralığındaydı. Tuğla mukavemeti için

büyük bir varyasyon katsayısı (% 40) nedeniyle, numunedeki en zayıf tuğlanın ezilmesi, tuğla ve harç arasındaki etkileşimden ziyade yığma mukavemetini belirledi ve harç mukavemeti, yığma mukavemeti etkilemiştir. Prizmaların sekant modülü (nihai stresin% 25'inde) 345-467MPa aralığında gözlenmiştir. Örneklerde 260–735MPa aralığında daha büyük bir dağılım gözlenmiştir. Mukavemet modelindeki zayıf korelasyon ve tuğla mukavemetindeki büyük varyasyon katsayısına atfedilen masa kalıplı tuğla numunelerinin modül değerlerindeki dağılım tel kesme tuğla duvarın, harç mukavemeti ile duvar mukavemeti arasında daha iyi bir korelasyon sergilediği sonucuna varılmıştır. Yığın bağlı prizmalar ve İngiliz bağlı prizmalar % 21-43 aralığında duvar verimliliği gösterirken, sedye bağlı numunelerin % 35-53 arasında verimliliği vardı. Tel kesim tuğla duvar, masa kalıplı tuğla duvar örneklerine kıyasla mukavemet değerlerinde daha az saçılma göstermiştir. Bu örneklerde 2393-5232 MPa aralığında nispeten daha yüksek sekant modülü değerleri gözlenmiştir. 1: 6 çimento harcı olan numuneler 1: 1: 6 çimento-toprak harçları tuğla ve harç arasındaki bağ kaybı nedeniyle başarısız olurken, 1: ½: 4 çimento-kireç harcı içeren örnekler çapraz kesme başarısızlığı ve tuğlaların ayrılması nedeniyle başarısız olmuştur. Sonuçlar, Hindistan gibi gelişmekte olan bir ülkede, düşük / orta mukavemetli tuğlaların yaygın olduğu tuğla duvarlarının tasarımı için bir rehber sağlamıştır.

Bayraktar vd. (2007b), yığma bina ile bağlantılı sismik davranışlar üzerine analitik modeller üzerinde araştırmalar yapmıştır. Bu çalışmada, yarım bodrum, zemin kat ve çatı katına sahip olan yığma bir binanın döşemesi kaldırıp binanın analitik modeli oluşturulmuştur. Bu model kullanılarak gerçekleştirilen analitik modal analiz sonucunda, binanın mod şekilleri ve yaklaşık frekans aralığı belirlenmiştir. Ardından, yığma bina üzerinde Operasyonel Modal Analiz yöntemi kullanılarak ölçümler yapılmış ve binanın modal sönüm oranları ile doğal frekansları deneysel olarak bulunularak, sonlu elemanlar düzenlemesi yapılmıştır. Düzenlenmiş ve düzenlenmemiş analitik modellerin, 1992 Erzincan depremi ivme kaydı kullanılarak deprem analizleri gerçekleştirilmiştir. Analitik model iyileştirmenin yığma binanın deprem davranışı üzerine etkisi belirlenmiştir. Yapılan dinamik analizlerden, düzenlenmiş model üzerinde belirlenen yer değiştirmelerin düzenlenmemiş modele göre yaklaşık dört kat, gerilmelerin ise yaklaşık iki kat arttığı tespit edilmiştir. Sonucunda, yapının şuanki haliyle bölgede oluşabilecek depremlerden tahmin edilenden daha fazla zarar görebileceği belirlenmiştir.

Chaimoon ve Attard (2007), iki duvar bileşeninin tuğla ve harç derzleri ayrı ayrı modellenmiş olduğu basitleştirilmiş bir mikro modelleme yaklaşımı kullanmıştır. Zayıflık

düzlemi olan harç derzi, sıfır kalınlıkta arayüz düğümleri ile temsil edilmiştir. Duvar modellemesi için basitleştirilmiş bir mikro modelleme yaklaşımı önerilmiştir. Harç kalınlığı ve tuğla harcı arayüzleri sıfır kalınlıkta bir ara yüze toplanırken, tuğla birimlerinin boyutları, bir yığma yapının geometrisini değiştirmeden tutmak için genişletilmiştir. Bir yığma yapı bu nedenle bir dizi yığma birim olarak modellenmiştir. Her bir duvar birimi ayrıca, harç arayüzlerini veya iç tuğla arayüzlerini temsil eden sınırları olan iç tuğla elemanlarına ayrılmıştır. Kesme sıkıştırması durumunda önerilen modelin performansı ile gerçekleştirilen perde duvar testleri. Vermelfort numunelerinin genişliği / yükseklik oranı 0.99 (990×1000 mm) idi. Duvarlar 18 kursla inşa edildi (16 kurs aktif ve 2 kurs çelik kirişlere kenetlendi). Tuğlalar katı kil tuğlalardı (boyutlar $204 \times 98 \times 50$ mm) ve 10 mm kalınlığında bir harç derzi kullanılmıştır. Duvarlar, birimler arasındaki arayüzler boyunca sınır düğümlerine bağlanan üçgen birimler vasıtasıyla bir 2D temsil kullanılarak modellenmiştir. Üçgen birimler, tuğla birimlerini ve harç derzlerini taklit eden dikdörtgen bölgelere ayrılmıştır. Harç-tuğla arayüzü sıfır kalınlıkta arayüz olarak modellenmiştir. Harç arayüzleri için elastik olmayan başarısızlık yüzeyi, bir gerilim kesmesi ve doğrusal bir sıkıştırma kapağı olan bir Mohr-coulomb başarısızlık yüzeyi kullanılarak modellenmiştir. Kırılma, arayüz sınır düğümlerinde oluşturucu bir yumuşatma-kırılma yasası ile modellenmiştir. Kurucu kanun tek bir şube yumuşatma yasasıydı. Formülasyonun, ön sıkıştırma ve kesme altındaki yığma perde duvarları üzerindeki deneysel sonuçlarla karşılaştırılması makul bir uyum gösterdi. Formülasyon, pik öncesi ve pik sonrası yanıtı ve çatlama özelliklerini makul şekilde yakalayabilmiştir.

Hemant vd (2007), esneklik modülünü tahmin etmek ve duvarcılık için gerilme-gerinim eğrilerini çizmek için deneysel verilerin regresyon analizi ile basit bir analitik denklem geliştirdiler. Duvar prizmalarının yapımında elle kalıplanmış yanmış kil katı tuğlalar kullanılmıştır. Çalışmada kullanılan farklı harç dereceleri (çimento: kireç: hacimce kum): 1: 0: 6 (zayıf), 1: 0: 3 (güçlü) ve 1: ½: 4½ (orta) idi. Sıkıştırma testi, Hindistan duvarcılık kodunda (IS: 1905–1987) verilenlere oldukça benzer olan ASTM spesifikasyonlarına göre gerçekleştirilmiştir. Yük ve yer değiştirme ölçümleri, bilgisayar tabanlı bir veri toplama sistemi kullanılarak gerçek zamanlı olarak kaydedildi. Deneysel testlerden elde edilen gerilme-uzama eğrileri prizma mukavemeti (f_m), göçme gerinimi ve duvarın elastisite modülü (E_m) dahil olmak üzere özetlenmiştir. Kireç içerikli orta harçlı yığma performansı, diğer iki harç dereceli duvarcılıktan çok daha iyiydi. Ara harçlı duvarın prizma mukavemeti, güçlü harçtan sadece yaklaşık % 13 daha azdı, gerilme hatası ise

yaklaşık % 50 daha fazlaydı. Basınç mukavemetinde kayda değer bir azalma olmaksızın havanda kireç bulunması nedeniyle duvarın sünekliğinde önemli bir gelişme gözlenmiştir. Bu, harçtaki kirecin farklı yapısal avantajlar sunduğunu gösterdi. Tuğla ve harcın basınç dayanımı ile duvarın basınç dayanımının arttığı bulunmuştur. Daha zayıf harçla yapılan yığma durumunda eğilim daha belirgindi. Bu nedenle, gerekenden daha yüksek mukavemetli bir harç derecesi kullanmak her zaman yüksek mukavemetli duvarcılık üretmeyebilir. Kireç harcı ile duvarın, kireçsiz harç kullanılarak inşa edilenden yaklaşık % 50 daha fazla sıkıştırılmış biçimlendirmeye maruz kaldığı, kireç harcı kullanıldığında basınç mukavemetindeki azalma sadece % 13 olduğu bulunmuştur. Bu nedenle, harca kireç eklenmesi, duvar yapımında önerilen bir uygulamadır. Diğer bölgelerde bulunan tuğlalar ve farklı sınıflardaki harç için bu sonuçların uzatılması için deneysel doğrulama gerekliydi.

Basoenondo (2008), monoton, tekrarlı ve döngüsel yükleme için yüzey harcı olmayan, yüzey harcı ve farklı yüzey harcı ile eklenen tuğla duvar duvarının davranışını araştırmıştır. Periyodik yükler altında duvar kapasitesinin, tekdüze ve tekrarlanan yanal düzlem içi yüklerle göre % 50 daha az olduğu sonucuna varılmıştır. Gevrek kırılma mekanizması nedeniyle tüm duvarlar süneklik olmadan çökmüştür. Duvar hapsi sistemi olarak yüzey harcı sıvasının varlığının duvarın sertliğini artırdığı ancak duvar sünekliğinin gelişimini etkilemediği de kaydedilmiştir.

Bal vd. (2008), bir yığma binanın kırılma potansiyelini farklı sınır durumlarında ilişkilendirerek ve bunu yapının titreşimi sırasında aşırı sönümlü bir yer değiştirme yanıtı spektrumundan gelen yer değiştirme talebi ile karşılaştırarak tanımlayan basitleştirilmiş doğrusal olmayan bir yöntemi tarif etmişlerdir. Bu bina türlerinin geometrik özellikleri (yani kat yüksekliği ve iskele yüksekliği değerleri) ile birlikte Kuzey Marmara Bölgesi'ndeki yığma binalar için yer değiştirme tabanlı deprem kaybı değerlendirmesi için bir prosedür açıklanmıştır. 0.02g ile 0.51g arasında değişen Tepe Yer İvmesi (T. Y. İ) değerlerine sahip rastgele seçilmiş 20 ivme kaydı ile bölgedeki binaların 28 farklı vaka çalışması üzerinde doğrusal olmayan zaman geçişi analizleri yapılmıştır. Ahşap ve betonarme döşeme yapıları için dönem-yükseklik ilişkileri ve sapma sınır durumları bu analizlerin sonuçlarından çıkarılmıştır.

Lawrence vd. (2008), ticari olarak temin edilebilen bir dizi ateşlenmemiş kil tuğlalar ile çeşitli harçların bağlanma özelliklerini incelemiştir. Ticari tuğla üreticileri, ateşlenmemiş kil duvarın seri üretimi için mevcut malzemeleri ve üretim tesislerini kullanmayı tercih edeceğinden, ateşlenmemiş yığma için kullanılan malzemeler büyük ölçüde ateşlenmiş kil

tuğlalar için kullanılanlarla aynıdır. Yazarlara göre pişmiş kil, belirli tasarım kriterleri nedeniyle yük kapasitesinde önemli bir azalma olmadan 100 mm'lik ince duvarda kullanılamaz. 100 mm kalınlığında bir duvar için yandan yükleme altında benzer bir yapısal kapasite üretmek için, yapışma kuvveti 0.20 N/mm^2 'ye çıkarılmıştır. Sodyum silikat harçları dışındaki tüm derzler, bağlayıcı ajan kullanılmadığında arayüz hatası sergilemiştir.

Basoenondo (2008), tuğla harç duvarının yüzey harcı içermeyen, yüzey harcı ile olan davranışını araştırmış ve monotonik, tekrarlanan ve döngüsel yükleme için farklı yüzey harcı sıva ile eklenmiştir. Duvarın döngüsel yükler altındaki kapasitesinin monotonik ve tekrarlanan yanal düzlem içi yüklere göre % 50 daha az olduğu sonucuna varılmıştır. Süneklik olmadan kırılma başarısızlık mekanizması nedeniyle tüm duvarlar çöktü. Ayrıca, duvar hapsetme sistemi olarak yüzey harçlı sıvanın mevcudiyetinin, duvarın sertliğini arttırdığı, ancak duvar sünekliğinin gelişmesini etkilemediği kaydedilmiştir. Endonezya'daki farklı sismik bölgeler için çeşitli duvar örtüleri önerilmiştir.

Dilrukshi ve Dias (2008) bütün bir binayı analiz etmek yerine etkili döşeme alanına bağlı tipik bir duvarın analizini önermiştir. Çatlakların davranışı, oluşan çatlakların metodolojisi olan bina araştırmalarına dayanılarak tahmin edilmiştir. Ayrıca, tipik yapısal düzenlemeler, ara yüzleri modellemek için duvar ve beton elemanlar arasındaki bağlantı elemanları ile 3D tuğla sonlu eleman modelleri kullanılarak matematiksel olarak modellenmiştir. Konumlar ve çatlamanın meydana gelebileceği yönler, sonlu elemanlar modelinde geliştirilen temel gerilmeler ve modifiye Von-Mises teorisine dayanan bir başarısızlık kriteri kullanılarak tanımlandı. Ayrıca, bu sayısal modeller kullanılarak, duvar uzunluğunun ve duvarın yapısal biçiminin (yani yük taşıyıcı duvarlar ve betonarme çerçeveli duvarlar) bu çatlakların oluşumu üzerindeki etkisi incelenmiştir. Bu sonuçlar anketten elde edilen bilgilerle karşılaştırılmıştır. Sonlu elemanlar yöntemi bağlamında, sıfır kalınlık \parallel arayüz elemanı ve ince tabaka \parallel arayüz elemanları olarak bilinen iki ana arayüz elemanı / modeli grubu vardı. Sayısal modelleme, duvar duvarlarının üstteki bir levhanın termal hareketlerine maruz kaldığı binalarda gözlenen fenomenleri yeniden üretebildi. Çatlama türü ve yeri, duvarın yük taşıma ya da betonarme elemanlarla çerçevelenmesine önemli ölçüde bağlıdır. Her iki düzenleme türü de, çatlak yönünün yük taşıyıcı duvarlara dik olmasına rağmen, duvarların uçlarına yakın köşegen çatlaklar verdi. Anket ayrıca, binanın uzunlamasına yönüne yönelik duvarlarda daha fazla çatlak oluştuğunu göstermiştir.

Berto vd. (2008) standart homojenizasyon yöntemine ve doğrudan tanımlama yöntemine dayanan iki tanımlama prosedürü önermişlerdir. Özellikle, benimsenen

homojenizasyon yöntemi, sıfır kalınlıktaki arayüzler olarak modellenen harç derzi hipotezi altında analitik bir yaklaşıma dayanmaktadır. Öte yandan, doğrudan tanımlama yöntemi, homojen deformasyon durumuna maruz kalan periyodik bir duvar deseninin sonlu bir eleman mikro modellemesine dayanmaktadır. Yapısal bir bakış açısından, yığma binalar için iki temel sınıf: tuğla veya taş blokların düzenli olarak şekillendirildiği ve ünitelerin yatay çizgiler boyunca yerleştirilmesi ile karakterize edilen düzenli dokuya sahip düzenli ve düzensiz yığma duvar. Diğer iki alt sınıf tanımlanmıştır: periyodik ve yarı-periyodik yığma duvar, temsili bir hacim hücrelerini,

bütün tekrarlama ile. Düzensiz taşlardan oluşan duvarlar, değişken boyutlarda düzensiz şekilli ve düzensiz olarak yerleştirilmiş taşların varlığı ile karakterize edildi.

Ural ve Doğangün (2009), desteklenmeyen duvar uzunluğunun etkisi ile ilgili çalışmalar yapmışlardır ve Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik (DBYBHY) kriterlerini esas almışlardır. Duvarın uzunluğunun kayma davranışını etkileyen önemli bir faktör olduğunu, daha sonra yapıyı doğrusal olmayan bir model olarak varsayarak duvarların mikro modellemesine geçtiler. Analiz sonucunda, DBYBHY'ye göre tasarlanan sargılı kagir duvarların yatay yük dayanımı masif gövde duvarı ile 1.5m ile 1.8m arasındadır.

Vasconcelos ve Lourenço (2009) araştırmalarını birleştirmek için harç ekledikleri granit çiftleri üzerinde yürüttüler. Farklı ön sıkıştırma seviyeleri için granit bloklar arasındaki kuru derzlerin ve kireç harcı derzlerinin kesme dayanımı parametrelerini belirlemişlerdir. Ayrıca elastik faz, kohezyondaki azalmaya karşılık gelen yumuşama ve ardından kuru sürtünme değerine karşılık gelen plato dahil numunelerden tam yanıt elde etmişler. Bu stabilizasyonu, büyük plastik deformasyonların gelişimi takip eder. Düşük ila orta ön sıkıştırma seviyelerinde, blok / harç arayüzünde arızanın meydana geldiğini fark etmişlerdir.

Mosalam vd. (2009), kil, sıkıştırılmış toprak, taş veya betondan yapılmış tuğla birimlerinin harçla bir arada tutulduğu heterojen bir kompozit olan duvarın mekanik özelliklerini araştırmışlardır. Kireç harcı veya çeşitli oranlarda çimento, kireç, kum ve su karışımı kullanılmıştır. Sonuç olarak, yığma özellikleri kullanılan tuğla birimlerinin tipine ve harca bağlı olarak bir yapıdan diğerine değişir. Her bir tuğla birimi ve harcı için özellikleri, bileşenlerin özelliklerine ve bileşimine bağlıdır. Harç ve birim arasındaki arayüz, minimum gerilme bağ mukavemetine sahip sistemdeki zayıf bağlantı olarak biliniyordu, bu nedenle duvarcılık sınırlı gerilme mukavemetine sahipti ve genellikle ihmal edilmiştir. Tek eksenli sıkıştırma altında, bir duvar prizmasındaki tuğladaki gerilme durumu sıkıştırma

gerginliği idi; daha yumuşak harç derzi üç eksenli sıkıştırma altındadır. Gerilim altında, duvarcılık doğrusal elastik malzemeydi; gerilme yetmezliği, arayüz boyunca bölünerek karakterize edilmiştir. Yığma, çift eksenli yükleme altında doğrusal olmama göstermiştir. Mohr-Coulomb modeli eklemdeki kayma davranışının modellenmesi için uygundur. Devirli yükleme, duvarın basınç dayanımını prizma % 30 oranında azalmıştır. Duvarın kayma davranışı normal strese bağlıdır, yüksek normal gerilme altında, dilatanlık önemsizdir.

Fouchal vd (2009) malzemelerin (tuğla ve harç) ve tuğla / harç ara yüzünün deneysel karakterizasyonunu tartışmıştır. Duvarcılık kompozit bir yapı olduğundan, bu yapıların başarısızlığı, malzemelerin özelliklerine (harç, tuğla vb.) ve ayrıca çeşitli bileşenler arasındaki bağlanma özelliklerine bağlıdır. Böylece harç ile birlikte arayüz boyunca meydana gelen kırılma sürecinin modellenmesi mümkün olmuştur. İki yapışma özelliği kullanılarak modellenmiş içi boş tuğlalardan oluşan yapılar. Özellikle model, üç boşluklu tuğladan oluşan küçük bir yapının arayüzü boyunca meydana gelen kırılma sürecini incelemek için kullanıldı. Yapılarda harcı geçen kırık süreçleri üzerinde daha fazla çalışmaya ihtiyaç duyulmuştur. Sonuçlar, modelin yapıların davranışını doğru bir şekilde tanımladığını gösterdi. Özellikle, harcın küçük bir duvar yapısında çatlaması model tarafından doğru bir şekilde belirtilmiştir.

Badarloo vd. (2009), tam ölçekli harçla donatılmamış donatısız tuğla duvar kare paneller üzerinde bir dizi tek eksenli ve çift eksenli test gerçekleştirmiştir. Başlıca basınç gerilmeleri 0'a yönlendirilmiş bir arıza kriteri ve yatak eklemlerine 90 derece elde edildi. Yatayın düşey yüke oranının kil tuğla ve içi boş kil tuğla tabakalarının kırılma modu üzerinde önemli etkisi olduğu, harç tabakasının kırılma modu üzerinde çok az etkisi olduğu sonucuna varılmıştır. Yükleme oranına karşılık gelen tüm numunelerin temel başarısızlık modu, harç tabakasının katı kil tuğladan (C-tuğla) veya F-tuğla tabakasından ayrılmasıydı. Sonuçlar, harçsız beton tuğla duvar panellerinin davranışının izotropik olduğunu ve yatak eklemi oryantasyonu başarısızlık ölçütünde önemli bir rol oynamamıştır. Test sonuçları, eşit iki eksenli sıkıştırma altındaki yığma mukavemetinin, tek eksenli sıkıştırma altındakinden ortalama olarak yaklaşık % 36 daha yüksek olduğunu göstermiştir; eklem yöneliminin etkisi bu modeller için çok önemsiz ve ihmal edilebilir düzeydedir. Deneysel başarısızlık ile Hill kriterleri arasındaki karşılaştırma makul bir uyum sergilemiştir.

Korkmaz (2009) Pakistan bölgesindeki bina envanterine egemen olan donatısız yığma binaların sismik güvenliğini birçok yaklaşımla araştırmıştır. Bölgedeki yapı yığınının göstermek için dört farklı temsilci bina modellenmiştir. Temsili binalarda doğrusal olmayan

zaman öyküsü analizi ve olasılık tabanlı sismik değerlendirme analizi yapılmıştır. Analiz, güçlendirilmemiş yığma düşük katlı binaların daha fazla yer değiştirme gösterdiğini gösterdi; kesme kuvvetleri ve hasar olasılığı doğrudan hasar veya çökme ile ilişkiliydi. Doğrusal olmayan zaman öyküsü analizi, yığma binaların daha yüksek yer değiştirmelerle sismik hasara karşı duyarlı olduğunu göstermiştir. Bölgedeki tüm güçlendirilmemiş duvarcılık düşük katlı bina türleri için ayrıntılı bir sismik güvenlik değerlendirmesi vurgulanmıştır.

Ural (2009) tez çalışmasında, sonlu elemanlar yöntemi ile yığma yapıların doğrusal ve doğrusal olmayan analizi için Matlab programını kullanmıştır. Programda iki boyutlu bir duvarın doğrusal analizi FEMMAS-L adıyla tanımlanırken, iki boyutlu bir duvarın ve üç boyutlu bir yayın doğrusal olmayan analizi FEMMAS-NL olarak adlandırılır. Doğrusal olmayan analizde, esnek olmayan davranışı tanımlamak için Drucker-Prager başarısızlık kriteri kullanılmıştır. Bu çalışmada, harç ve tuğlanın dayanımının duvarın eksenel basınç altındaki davranışına etkileri, duvar şekillerinin duvarın kesme davranışına etkileri, düşey ve yatay kirişlerin etkileri, daha iyi sonuçlar elde etmek için de dikkate alınır.

Brasile vd.(2010) yığma duvarların doğrusal olmayan düzlem içi analizi bağlamında yazarlar tarafından yapılan önceki gelişmeler üzerinde çalışmıştır. Yapısal davranış, ince ölçeklerde modellenmesi gereken gerilme lokalizasyonu, hasar ve sürtünme gibi fenomenlerle karakterizedir. İnce ölçekli modelleme, hesaplamalı pahalılığı ve zor yönetilebilirliği nedeniyle sayısal simülasyonlar açısından önemli bir zorluktur. Genel olarak, 2007 yılında aynı yazarlar tarafından önerildiği gibi yapısal analiz ve tasarım için mühendislik yazılımlarında zahmetsizce kullanılamayan çok ızgaralı teknikler gibi karmaşık çözüm stratejileri gerektirir.

Bu zorlukların üstesinden gelmek için, ilişkili olmayan plastisite bağlamında varsayılan bir stres Sonlu Elemanlar formülasyonuna dayanan standart yol takip tekniklerinde kullanılacak kaba ölçekli bir model önerdiler. sürtünme tepkisinin meydana gelebileceği Element üzerinde gerilme ve sıkıştırma sınır gerilimi ile birlikte bir dizi düzlem varsayarak doğrusal olmayan davranışı elde etmişlerdir. Bu yolla, geçmişte geliştirilen daha rafine edilmiş modellerde tarif edildiği gibi, doğrusal olmayan davranışın temel özelliklerini, elasto-plastisitede yaygın olarak kabul edilen algoritmalarından faydalandılar ve bu nedenle tam ölçekli duvar yapılarının analizinde pratik kullanım için uygun olmuştur.

1.11. Yığma Duvarlarda FRP Kullanımı İlgili Daha Önce Yapılmış Çalışmaları

2000'li yılların başında ve birkaç yıl önce, bazı araştırmacılar duvar yapısı güçlendirme araçları alanına ilgi duymaya başlamışlar. Bu konuya çeşitli derecelerde aşağıdaki gibi yaklaştılar.

Abrams (1997), yığma duvar ve iskele bileşenlerinin güçlendirme işlemi yoluyla hem mukavemet hem de deformasyon kapasitesini arttırmak için mevcut duvar binalarının değerlendirilmesi ve güçlendirilmesine vurgu yapan yeni önerilen mühendislik kılavuzlarına genel bir bakış verdi. Her ne kadar kılavuzların çoğu sistematik rehabilitasyonda kullanılan analitik prosedürlere odaklanmış olsa da, harç ve epoksi enjeksiyonları, yüzey kaplamaları, yapıştırılmış kumaşlar, püskürtme beton bindirmeleri, güçlendirilmiş çekirdekler, öngerilmeli duvarcılık, dolgulu açıklıklar, büyütülmüş gibi bazı rehabilitasyon yöntemleri vardı. Duvar geliştirme yöntemlerinin çoğu, bir bileşenin düzlem içi yanal mukavemetinin artırılması için araştırılmıştır. Harç ve epoksi enjeksiyonlarının, güçlendirilmemiş tuğlanın kayma direncini arttırmak için yararlı olduğu kanıtlanmıştır. Yüzey kaplamaları ve püskürtme beton kaplamalar veya yapıştırılmış kumaşın, güçlendirilmemiş duvar bileşenlerinin yanı sıra düzlem içi ve düzlem dışı eğilme mukavemetinin kayma direncini arttırdığı bulunmuştur. Güçlendirilmiş çekirdekler ve öngerilmeli, güçlendirilmemiş tuğla duvarların ve iskelelerin eğilme mukavemetini arttırdığı bilinmektedir. Dikey takviye eklemek eğilme dayanımını arttırdı, böylece kesme kritik hale geldi. İlave takviye için harç göbekleri, sağlanan dübel tipi hareket nedeniyle yatak-eklem sürgülü kesme mekanizmalarını engeller. Bu durumda, mevcut bir deformasyon kontrollü bileşen kuvvet kontrollü hale geldi ve kabul edilebilirlik kriterleri daha katı hale geldi. Eklem kayma mekanizmaları, artan sürtünme kuvvetleri ile geliştirilecektir. Çekirdekler harçla doldurulursa, yatak-eklemi kayması, harçla doldurulmuş çekirdekler ve kesme için yönetilen diyagonal gerginlik tarafından sağlanan anahtarlama eylemi ile sınırlandırılacaktır. Güçlendirilmemiş bir yığma perde duvarın düzlemine paralel çelik takviyenin eklenmesi, mukavemet ve süneklik veya başka bir şekilde kırılğan bir bileşenin eklenmesi, duvar kesme mukavemetini sağladı ve çapraz gerginlik ile yönetilmiştir.

Triantafillou (1998), düzlem dışı bükme, düzlem içi bükme ve düzlem içi kesme altında harici olarak bağlanmış fiber takviyeli polimer (FRP) laminatlarla güçlendirilmiş duvar duvarlarının kısa vadeli mukavemeti için sistematik bir sayısal analiz prosedürü sunmuştur. Dıştan bağlanmış FRP laminatlarla duvarların güçlendirilmesinin, güçlendirme

için etkili bir yöntem olduğunu gösteren analizi doğrulamak için 12 küçük duvar numunesi üzerinde deneysel bir program gerçekleştirilmiştir. Ayrıca, düzlem dışı bükülme tepkisinin baskın olduğu durumlarda, bükme kapasitesindeki artışın oldukça yüksek olduğu da kaydedilmiştir.

Velazques-Dimas ve Ehsani (2000), yarı ölçekli URM (Unreinforced Masonry) duvarlarının düzlem dışı döngüsel yükleme altında test edildiğini bildirmişlerdir. Duvarlardan ikisi, her iki yüzünde GFRP (Glass fiber Reinforced Polymer) şeritlerle güçlendirilmiştir. Mukavemet ve deformasyon kabiliyetinde önemli artışlar sağlanmıştır. Sonradan güçlendirilmiş duvarlar, duvar ağırlığının 24 katına kadar basınçlara karşı koydu ve duvar yüksekliğinin % 5'i kadar eğilmiştir. Çok sert davranışlardan kaçınmak ve histerik yanıtı iyileştirmek için yazarlar, takviye oranının dengeli koşulun iki katı ile sınırlandırılmasını önermişler. Kırılğan URM duvarları, doğrusal elastik bir malzeme ile güçlendirilmiş olmasına rağmen, kombinasyon, sistemin doğrusal olmayışını temsil eden bir miktar enerjiyi dağıtabilen bir sistemle sonuçlanmıştır.

Hamilton ve Dolan (2001), farklı kompozit malzemelerle güçlendirilmiş küçük ölçekli URM duvarların eğilme davranışını araştırmışlardır. CFRP ve AFRP (Aramid Fiber Reinforced Polymer, dikey elyaf yönlendirmeli) gibi yüksek mukavemetli kompozit malzeme ile güçlendirme, duvarda laminasyon ve kesme gibi arıza moduna yol açmıştır. Kompozit malzemeyi daha verimli kullanmak için iki alternatif önerilmiştir. Bu daha verimli alternatifler dört modla sonuçlandı: bağ açma, laminat kopması, duvar kesme ve yüzey kabuğu çıkması. Kagir alt tabakadan ayrılmanın test numunelerinin çoğunun arızalanmasına neden olduğunu bildirmişlerdir.

Hamoush vd. (2001) düzlem dışı statik yüklere direnmek için mevcut güçlendirilmemiş duvar duvarlarını güçlendirmek için elyaf takviyeli kompozit kaplamaların kullanılmasının etkililiğinin bir araştırmasını sunar. Toplam on beş duvar paneli (1.200 mm × 1.800 mm × 200 mm) test edilmiştir. Gerilim tarafına bağlanan elyaf güçlendirme sistemleri ile on iki panel birleştirildi ve kalan üç kontrol duvarı herhangi bir dış donatı olmadan bırakılmıştır.

Valluzzi (2002), duvar tuğla panellerinin kesme davranışını FRP laminatları kullanarak incelemek için deneyler yapmış ve çapraz sıkıştırma tekniği ile kesme dayanımı için test etmiştir. Sonlu eleman modellemesi, duvar panelleri üzerinde çalışıldı ve sınırlı bir etkinlik sundu. Köşegen konfigürasyon, kesme kapasitesi açısından ızgara kurulumundan

daha etki göstermiştir. Bununla birlikte, ikincisi, çatlak yayılmasına ve daha az kırılğan bir başarısızlığa neden olan daha iyi bir gerilim yeniden dağılımı sunmuştur.

Badoux vd (2002), takviyesiz yığma duvarların düzlem içi dinamik davranışını araştırdılar. Yarım ölçekli oyuk kil duvar duvarları, cam ve karbon fiber takviyeli plastiklerle iyileştirilmeden önce ve sonra bir deprem simülatörü üzerinde bir dizi simüle edilmiş ve sismik harekete tabi tutulmuştur. Duvar yaklaşık 27 kN'lik bir yanal yük altında sallanmaya başlamıştır. Normal kuvvet ikiye katlandıkça bu yanal kuvvet başarısızlık halinde ikiye katlandı. Genel olarak, GFRP (Glass Fiber Reinforced Polimer) sisteminin varlığı, duvar panelinde çatlak oluşumunu önlemiştir. Yani duvar alt köşelerde ezilene kadar gözle görülür bir hasar yokmuştur. Cam elyaf takviyeli polimerin duvar tabanında kırılması, duvar duvarının ezilmesiyle eşzamanlıydı. Bu bağlamda, yükseltilmiş duvar takviyesi dengelenmiştir. Başarısızlıktaki yanal kayma yaklaşık % 1 idi. Elasto-plastik malzeme gerilme deformasyon yasasına (gerilme bloğu yaklaşımı) sahip klasik bir eğilme kiriş modelinin kullanılması, duvar duvarının sallanma kırılmasında yanal direncinin iyi bir tahminini vermiştir. Beklendiği gibi, duvar yalnızca bir tarafta güçlendirilmesine rağmen önemli bir asimetri veya düzlem dışı davranış gözlemlenmemiştir. Histeretik kuvvet yer değiştirme ilişkisi doğrusaldı ve döngüler küçük enerji kaybını göstermiştir. Bir deprem simülatöründe üç adet yarım ölçekli güçlendirilmemiş kagir duvar, bir dizi simüle edilmiş deprem hareketine tabi tutulmuştur. İlk duvar, yükseltme yapılmayan bir referans numuneydi, sonraki ikisi cam elyaf sargı ve karbon elyaf laminatlarla yükseltilmiştir. Test, duvar sallanmasının, ince, güçlendirilmemiş duvar duvarlarında kararlı doğrusal olmayan bir tepki olduğunu ve önemli yanal deformasyon kapasitesi sağladığını doğrulamıştır. Nispeten zayıf harca rağmen, duvar sürtünme katsayısı 0.55'i aşmıştır. Duvarda tek taraflı cam elyaf sargının varlığı, yanal direnci yaklaşık iki kat artırmıştır.

Hall vd. (2002), yığma yapıların çelik ve FRP kullanılarak güçlendirilmesi üzerine çalışmalar yapmışlardır. Bu tip sistem hibrit güçlendirme olarak adlandırılmıştır. Çelik ve FRP, duvarlardaki kritik noktalara yerleştirilmiştir. Bu takviye kombinasyonu, duvarın direncini ve aynı zamanda enerji dağılımını arttırmıştır. Bu yazarlara göre, yapısal sistemler sünek kırılma sağlamıştır. Bununla birlikte, FRP takviyeli duvarlar, takviye sisteminin doğası gereği doğal olarak kırılğan kırılma modlarına sahiptir.

Hamid ve diğerleri (2005), FRP laminatlarla güçlendirilmiş cephe kabuğu harç tabakalı takviyesiz duvar (URM) duvar montajlarının düzlem içi davranışını incelemek için araştırma yapmışlardır. Kırk iki URM topluluğu, duvar kesme ve dolgu duvarlarında

bulunan farklı gerilme koşulları altında test edilmiştir. Testler, farklı yatak ek yerlerine göre sıkıştırılarak yüklenmiş prizmaları, diyagonal gerilim örneklerini ve eklem kesme altında yüklenen örnekleri içermektedir.

Haroun vd. (2005) fiber takviyeli polimer kompozit laminatlar ile dışarıdan takviye edilmiş duvar duvarlarının düzlem içi kesme davranışını değerlendirmiştir. Duvar numuneleri, düzlem içi yükleme altında kayma baskın davranışını desteklemek için yükseklik: uzunluk en boy oranı 1: 1 ile oluşturulmuştur. İnşa edilmiş kontrol duvarı periyodik olarak arızaya karşı test edildi ve saf bir kesme modu gösterdi. Numunenin başarısızlığı, diyagonal kesme çatlakları ile başlatılmış ve duvar kenarı sınırlarının ezilmesine neden olan diyagonal bir dikme hareketi geliştirmiştir. Diğer örnek, döngüsel olarak önceden çatlatıldı ve daha sonra onarıldı ve tekrar test edildi. Önceden çatlamış duvar örneğinde, iki büyük lokalize hasar ortaya çıktı: duvar boyunca çapraz kayma çatlakları ve bir tarafta duvar parmağının lokal sıkıştırma hatası. Onarılan duvarın performansı, yapılı duvarın performansı ile karşılaştırıldı. Bundan, onarım tekniğinin duvarın mukavemetini ve enerji dağılımını geliştirdiği anlaşıldı. Sadece orijinal duvarın kapasitesini geri kazanmayı başarmakla kalmadı, aynı zamanda orijinal duvar kapasitesinin % 120'sine çıkardı. Onarılan numune için gözlenen enerji dağılımı da kontrol duvarının % 167'sine yükseltildi. Karbon / epoksi onarılmış numunenin sünekliği, yapılı numunenin 1.7 katıdır. Sonradan takılan örnekler için, süneklikteki artış, çift taraflı karbon / epoksi güçlendirmesi durumunda mevcut olanın 3.4 katı ile önceden kürlenmiş karbon / epoksi şeritleri durumunda 6 kat arasında değişmektedir. Yığma duvarda lokal sıkıştırma başarısızlığının neden olduğu erken başarısızlığa rağmen duvar ayak parmakları, mukavemet, sertlik ve süneklik bakımından dikkate değer kazanımlar, elyaf takviyeli polimer (FRP) laminatların duvarların bir veya iki yanına tatbik edilmesiyle elde edilmiştir.

Theofanis ve Thanasis (2005), duvarın aksenal kapasitesini hapsetme yoluyla arttırmanın bir yolu olarak fiber takviyeli polimer (FRP) uygulamasını araştırdı. Toplamda dört seri tek eksenli sıkıştırma testi bu değişkenlerle model duvar kolonlarında gerçekleştirilmiştir: tabaka sayısı, köşelerde yarıçap, kesit en boy oranı ve elyaf tipi. Dört serideki yığma kolon örnekleri, 55 mm genişlik, 40 mm yükseklik ve 115 mm uzunluktaki kil tuğlalar kullanılarak, su: çimento: kireç: kum oranı eşit olarak çimento ve kireç içeren bir harçla ağırlıkça 0.9: 1: 3: 7.5. birleştirilmiştir. Tüm numunelerin köşeleri, birinci, üçüncü ve dördüncü serilerde 10 mm yarıçapında ve ikinci seride 20 mm yarıçapında bir taşlama makinesi kullanılarak yuvarlanmıştır. Her seri içinde örnekler bir tane ile sarıldı; iki parçalı

epoksi yapıştırıcı kullanılarak uygulanan iki veya üç kat tek yönlü karbon fiber takviyeli polimer levha veya beş kat tek yönlü cam elyaf takviyeli polimer levha. Köşe yarıçapı 10'dan 20 mm'ye çıkarıldığında, karbon fiber takviyeli polimer ceketlerle mukavemet yaklaşık % 25 - 40 arttı ve çok kalın cam elyaf takviyeli polimer ceketler ile yaklaşık % 12 oranında. Böylece köşe yarıçapını artırmanın olumlu etkisi doğrulanmıştır. Elyaf takviyeli polimer ile kaplanmış duvarın, elyaf takviyeli polimer ile kaplanmış beton gibi davrandığı sonucuna varılmıştır. Sınırlama, hem yük taşıma kapasitesini hem de duvarın deforme edilebilirliğini ortalama sınırlama stresiyle neredeyse doğrusal olarak artırmıştır. Tek eksenli kompresyon testi sonuçları, elyaf takviyeli polimer kaplı duvarın mukavemeti ve nihai gerilmesi için basit bir hapsedme modelinin geliştirilmesini sağlamıştır.

Shrive (2006), uçak ve uzay yapısından kaynaklanan ve duvar rehabilitasyonu ve güçlendirmesini önemli ölçüde değiştirme potansiyeline sahip gelişmiş bir kompozit ile GFRP üzerinde çalışmıştır. Püskürtülmüş Cam FRP (GFRP) durumunda mukavemeti, tokluğu, yük deformasyon yanıtını önemli ölçüde değiştirebileceğini gösterir. Kesişen duvarlar arasında konektör olarak GFRP'nin kullanılması, yığma kabiliyetinin geliştirilmesini ve sismik yük altında parçalanmanın önlenmesini sağlamıştır.

Turco vd. (2006) deneysel bir programın sonuçları üzerinde üç aşamada çalıştı. İlk aşamada kullanılan malzemelerin mekanik özellikleri belirlenmiştir. Ardından, düzlem dışı kuvvetlere (ikinci aşama) ve düzlem içi kuvvetlere (üçüncü aşama) direnmek için takviyesiz duvar duvarlarını güçlendirmek için FRP tekniği kullanılmıştır. Temel olarak, takviye olarak dikdörtgen ve dairesel bir kesite sahip, pürüzsüz veya bükülmüş kum kaplı bir yüzeye sahip cam ve karbon FRP çubuklar kullanılmıştır. Dikey veya yatay olarak iki farklı gömme malzemesine monte edilmiştir: lateks modifiye çimentolu macun ve epoksi bazlı macun. Kil ve beton kagir birimlerle inşa edilen iki tür duvar tipi de dikkate alınmıştır. Duvarlar, aşağıdaki arıza modlarını sergilemiştir: (1) elyaf takviyeli polimer takviyesinin bağlarının çözülmesi ve (2) desteğin yakınındaki duvarda kayma arızası. Numuneler çapraz olarak yüklenmiş ve kapalı döngü modunda test edilmiştir. Kuvvet, üst köşeye yerleştirilen çelik ile duvara uygulandı ve yüksek mukavemetli çelik çubuklar vasıtasıyla alt köşedeki benzer pabuçlara iletilmiştir. Doğrusal değişken yer değiştirme transdüserleri, deformasyonları izlemek için duvar boyunca çapraz olarak yerleştirildi. Kontrol duvarının kırılması kırıldı, duvar birimleri ve harç arasındaki bağla kontrol edilmiştir. Nihai yüke ulaşıktan sonra bazı malzemeler gevşemiştir. GFRP, düşük elastik modülüne rağmen, duvarın

güçlendirilmesi için iyi bir malzeme olduğunu kanıtlamıştı: performanslar genellikle karbon elyaf takviyeli polimer kullanılarak elde edilenlerden daha iyidir.

Wang vd. (2006), tuğla duvar yapılarının sismik kesme kapasitesini incelemek için, cam elyaf takviyeli polimer ile güçlendirilmiş pilasterlerle sekiz tuğla duvar duvar üzerinde deneyler gerçekleştirmiştir. İlk olarak pilaster ψ etkileşim katsayısı, modifiye katsayısı δ_{gfi} , istatistik katsayısı β ve etkin katılım katsayısı δ belirlenmiştir. Daha sonra, tuğla yığma duvarların arıza modeli ve elyaf takviyeli polimerin kafes modeline dayanarak, fiber takviyeli polimer ile güçlendirilmiş pilaster ile tuğla duvar duvarın sismik kesme kapasitesi formülleri oluşturulmuş ve deneysel sonuçlarla mükemmel bir örtüşme olmuştur. Son olarak, basitleştirilmiş tasarım formülü, elyaf takviyeli polimer ile güçlendirilmiş tuğla duvar duvarının sismik kesme kapasitesini incelemek için önerilmiştir. Deneysel programın sonuçlarına göre, duvar güçlendirme malzemesi olarak şerit elyaf takviyeli polimer uygulanmış ve düzlem içi kesme yüküne maruz kalan duvarların yük taşıma kapasitesini artırmıştır. Verilerden istatistiksel bir β katsayısı geri çekildi ve ardından temel çekme gerilmesi teorisine dayalı olarak duvar yapıları için bir kesme sıkıştırması elde edilmiştir. Pilaster ψ etkileşim katsayısı kavramı önerilmiş ve beton duvarın perde alanını pilaster ile hesaplamının zor problemini çözen eşdeğer rijitlik teorisine dayalı olarak somut hesaplama ifadesi elde edilmiştir. Etkili çalışma katsayısı ξ sadece alan güçlendirme oranına göre düzeltilmekle kalmadı, aynı zamanda güçlendirme moduna da düzeltilmiştir.

Almusallam ve Al-Salloum (2007), düzlem içi sismik veya döngüsel yüklemeye maruz kalan betonarme çerçevelerdeki URM dolgu duvarlarının güçlendirilmesinde ve / veya onarımında FRP'nin uygunluğunu ve etkinliğini araştırmıştır. Bu amaçla ayrıntılı bir deneysel program yürütülmüştür. Numunenin geometrisi, test kurulumu, enstrümantasyonu ve deprem yüklerini simüle eden bir yükleme prosedürü, FRP'lerin kullanımının ayrıntılı bir mekanizmasında sunulmuştur.

Sayari ve arkadaşları (2010), düzlem dışı yükleme durumunda duvar duvarlarının tepkisini tahmin etmek için geliştirilen analitik sonlu elemanlar modeli üzerinde çalışmışlardır. Kil tuğladan yapılmış duvar panelleri araştırılmış ve güçlendirme için kullanılan farklı tipteki FRP elemanlarının etkinliği analiz edilmiştir. Düzlem dışı yüke maruz kalan FRP ile güçlendirilmiş yığma duvarların davranışı incelenmiş ve daha sonra bu konu alanında yayınlanan sonuçlarla karşılaştırılmıştır.

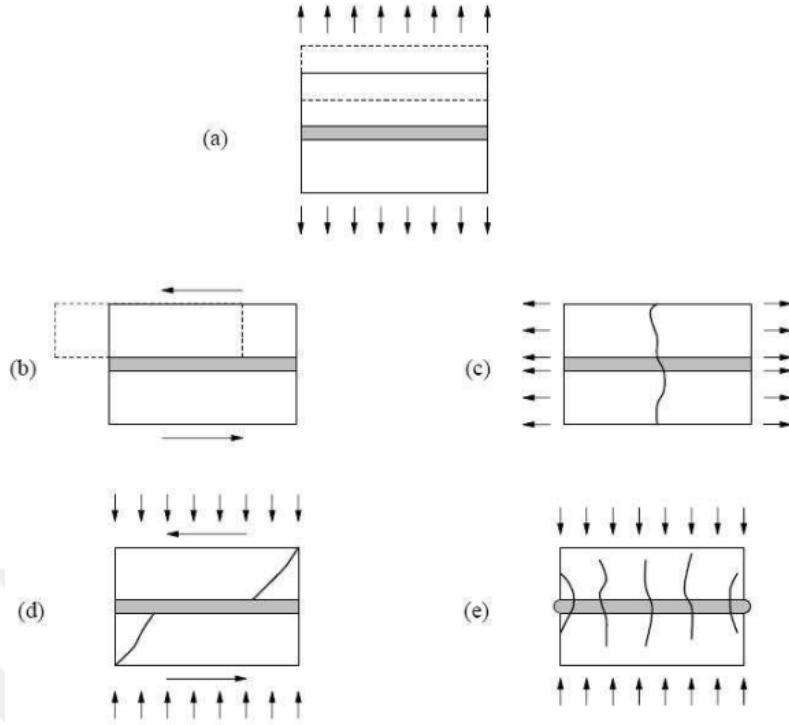
1.12. Yığma Yapıda Temel Kavramlar ve Teoriler

Yığma yapının zayıf bir düzleminden oluşan harç eklemi nedeniyle çeşitli özellikler sergiler. "Yığma yapılar" terimi, özellikle mekanik davranış açısından geniş bir malzeme kategorisini kapsamaktadır ve bu, esas olarak bileşenlerin çeşitliliği ve düzenlenmesinden kaynaklanmaktadır.

Yığma yapıların modellenmesi, blokların boyutu, anizotropi, derzlerin kalınlığı ve blokların düzenlenmesi nedeniyle zor olabilir. Genel olarak, yığma yapılar anizotropik ve esnek olmayan bir montajdır.

Lourenço (1996), bir yığma duvarı modelin karakterize etmek için zorunlu olarak beş tür temel mekanizma içermesi gerektiğini göstermiştir:

- Birleşimlerin çekme kuvveti altında çatlaması
- En düşük normal gerilme değerleri için bir oturma noktası veya bir üst bağlantı boyuna kayma
- Direkt çekiş ile duvar elemanının
- Derzlerde sürtünmeyi geliştirmeye yetecek normal gerilme değerleri için duvar elemanlarının çapraz çekme çatlaması
- Harcın normal gerilmenin büyük değerleri için uzunluktan kaynaklanan çekme elemanlarının kesilmesi



Şekil 1.15. Yığma duvar kırılma mekanizması, (a) Çekme etkisinde birleşimlerin çatlaması; (b) Bağlantı noktalarının kayması; (c) Bloğun çatlaması; (d) Çapraz çekiş ile bloğun çatlaması; (e) Duvarın ezilmesi (Lourenço, 1996)

Yığma modellerini karakterize etmek için iki ana sınıf vardır: sürekli modeller ve ayırık modeller.

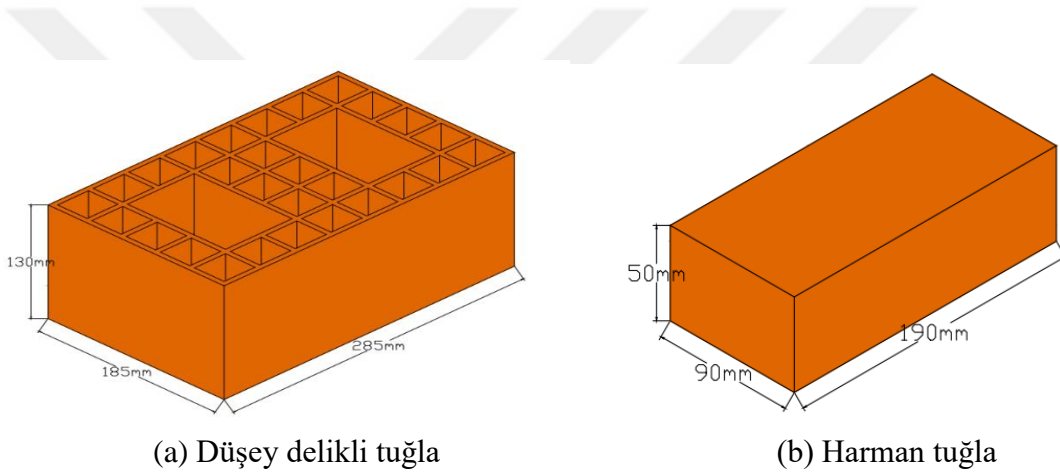
- Bloklardan (tuğla veya taş) ve bir harç derzinden oluşan yığma durumunda sürekli modeller kullanılır. Sürekli modellerin kurucu yasası, bir veya iki fazlı modelden türetilen bir kısıtlama / gerinim yasası ile tanımlanır (Beskos, 1993)
- Büyük bir yapının tuğla dizilişinde incelenmesi için ayırık modeller uygundur (Acary, 2001). Bu durumda, blokların sert veya deforme olabileceği varsayılır ve temas yüzeyi genellikle tek taraflı bir sürtünme temas yasası tarafından yönetilir.

1.12.1. Yığma Duvarların Modellenmesinde Dikkate Alınacak Parametreler ve Diğer Hususlar

Tüm mühendislik çalışmaları gibi, modelleme de analitik çalışmada temel bir adımdır. Bu modelleme, sürecinde materyallerin özellik yasalarını, formülasyonları ve teoremleri içerdiğinden daha karmaşıktır. Çeşitli bilim adamlarının her biri, gerçeğe yakın tatmin edici

sonuçlar elde etmeye yardımcı olabilecek yolları iyileştirmede rol oynadılar. Bunlar, yazarlara ve çalışmalarına atıfta bulunularak bu bölümde tartışılacak yönlerdir. Tuğlalar ve harçlar arasındaki arayüzleri modellemenin karmaşıklığını göz önünde bulundurarak, bu alanı ilgilendiren her Őeye odaklandı. Bu yöntemleri ve araçları bilmek, analiz sırasında Abaqus yazılımı için faydalı olacak çeşitli parametrelerin daha iyi anlaşılmasına olanak sağlayacaktır.

Bu çalışmanın 2 tip tuğla, yani delikli tuğla ve harman tuğla ile ilgili olduğuna dikkat edilmelidir (bkz. Şekil 1.16). Kriter olarak sonradan ifade edilecek her Şey bu iki tip tuğla için geçerli olacaktır.



Şekil 1.16. Kullanılan farklı tuğla türleri

TS EN 771-1'e göre harman tuğlaları, tuğla hamurunun kalıplarda ilkel yöntemlerle Őekillendirilmesi, doğal yöntemlerle kurutulması ve harman yerindeki fırınlarda 600-800 C de pişirilmesi ile elde edilir. Bu tür tuğlalar genellikle ev dekorasyonunda özellikle salonlarda kullanılmaktadır. Genelde tam gövdeli deliksiz veya dikey delikli olarak üretilirler ve standartta belirtilen ölçüler 5x9x19 cm'dir. Bu standartların diğer özellikleri aşağıdaki tablolarda belirtilmiştir.

Tablo 1.3. Harman tuğlalarının boyutları (TS EN 771-1)

Boyutlar		Tolerans (mm)
Uzunluk (mm)	190	+6/-13
Genişlik (mm)	90	+4
Yükseklik (mm)	50	-5/+3

Tablo 1.4. Şekil ve basınç dayanımlarına göre harman tuğlası (TS EN 771-1)

Sınıflar	Tuğla Sembolü	Hacim Ağırlığı (min.) t/m ³	Ortalama Basınç Dayanımı (min.) MPa	Basınç Dayanımı (min.) MPa	
Dolu Harman Tuğlası	Orta Dayanımlı	DOHT/50	Sınırlanmamış	5	4
	Az Dayanımlı	DOHT/30	Sınırlanmamış	3	2.5
Delikli Harman Tuğlası	Orta Dayanımlı	DEHT/50	1.40	5	4
	Az Dayanımlı	DEHT/30	1.40	3	2.5

İstenen hassasiyet ve basitleştirme düzeyine bağlı olarak, modelleme stratejilerini iki tür yaklaşımla kullanmak mümkündür:

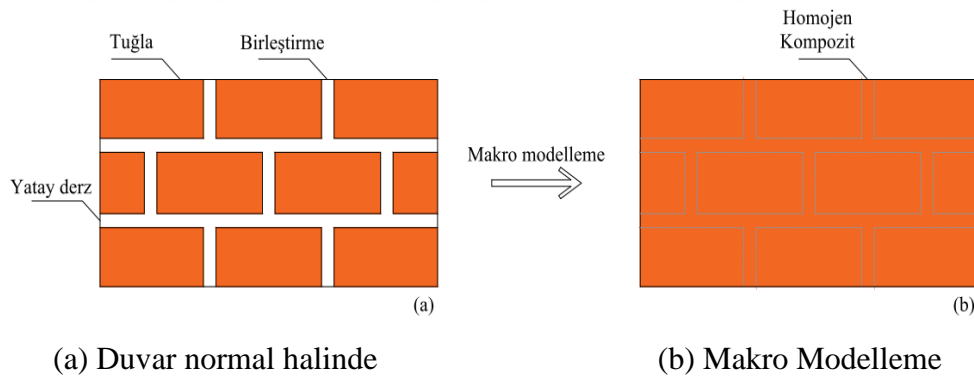
- Makro modelleme yaklaşımı: Büyük yapılar için kullanılır ve yapıyı homojen ve sürekli olarak kabul eder. Homojen bir kurucu yasa, gerilmeleri ve makroskopik deformasyonları birbirine bağlayan onunla ilişkilidir.
- Başka bir mikro modelleme türü yaklaşım: Sürekli ortamdan bahsetmek zorlaşır, duvarcılık hem kaotik hem de rastgele bir mikro yapı ile karakterize edilen güçlü bir heterojenlik sunar. Bu modelleme, her bir bileşenin davranışını içermelidir: bloklar, harç ek yerleri ve blok / harç arayüzü. Bu yaklaşım, küçük cihaz yapıları için çok uygundur.

1.12.2. Makro Modelleme

Yığma yapıları tek bir malzeme olarak modellenmiştir. Makro modelleme stratejisi, yığmanın homojen, izotropik ve süreklilik olduğunu düşünür. Makro model, yalnızca temel tasarım için yaklaşık bir yanıt sağlayabilir. Makro yaklaşımda, yığma kompozit bir malzeme olarak kabul edilir ve bu tür bir model, yapının genel tepkisini incelemek için kullanılır. Bunu modellenmesi daha kolaydır çünkü yüksek bilgisayar belleği ve işlemciye ihtiyaç

duymaz. Makro eleman kullanarak kesme duvar gibi bir sistemi modellemek için kullanılan metodolojilerden biri, yapısal elemanlar yerine farklı tipte yaylar kullanmaktır (Chen SY vd., 2008). Modellemeyi basitleştirmek için, bazı araştırmacılar harcı ve ortalama mekanik özelliklere sahip birimleri sunmak için homojen yaklaşımı değerlendirmişlerdir.. Bu yöntem, harç derzlerinin ve birimlerinin tek bir izotropik veya anizotropik malzemeye bulaşacağı şekilde büyük ölçekli modeller için kullanılmıştır. Bununla birlikte, duvar homojen olmadığından, bu tür bir model duvar montajının yerel davranışını doğru bir şekilde tahmin edemeyecektir. Bu yaklaşım, malzeme parametrelerinin homojen altında ani boyutta duvar testlerinden elde edilebileceği anlamına gelir. Eksiksiz bir makro model, malzeme eksenleri boyunca farklı gerilme ve basınç dayanımlarına sahip ortotropik bir malzemeyi ve her malzeme eksenini için farklı elastik olmayan davranışları yeniden üretmelidir.

Anthoine (1992) ve Lourenço (1996), yığma yapıya özgü daha az sayıda ortotropik malzeme modeli önermiştir ve ortotropik davranışla karmaşıklıkları nedeniyle yalnızca birkaç makro model uygulanmıştır. Bununla birlikte, önerilen bu modeller, dayanıklı algoritma formüle etmenin ve esnek olmayan davranışı tatmin edici bir şekilde temsil etmenin zorlukları nedeniyle geniş çapta kabul edilmemiştir.

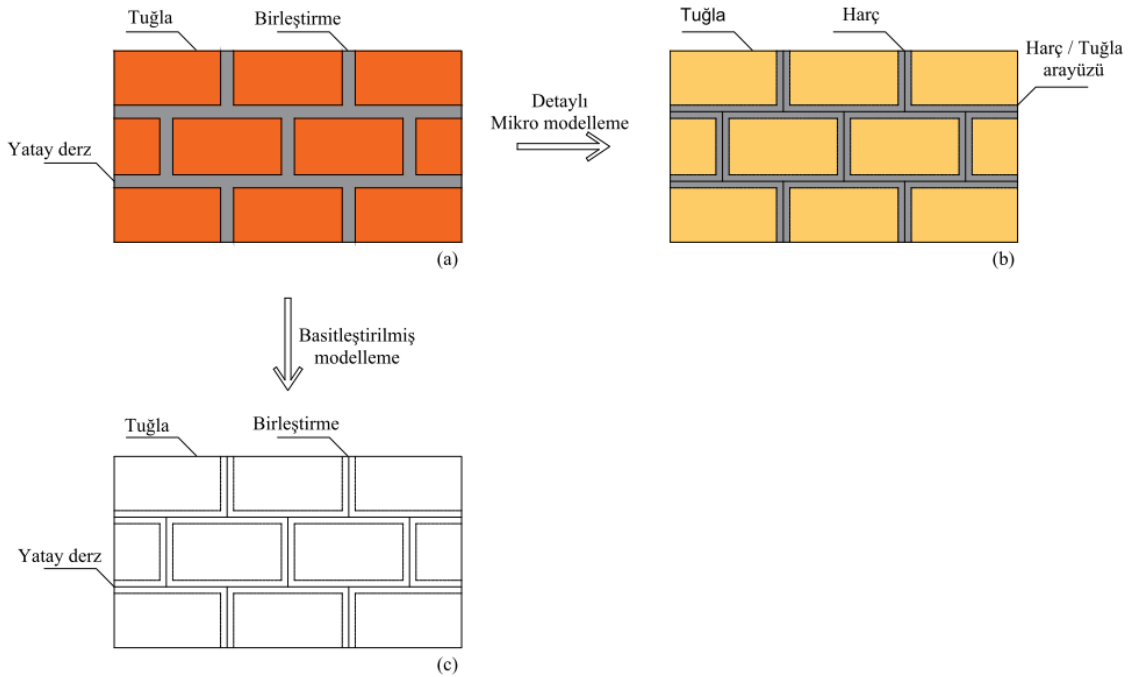


Şekil 1.17. Makro Modelleme Stratejisi

1.12.3. Mikro Modelleme

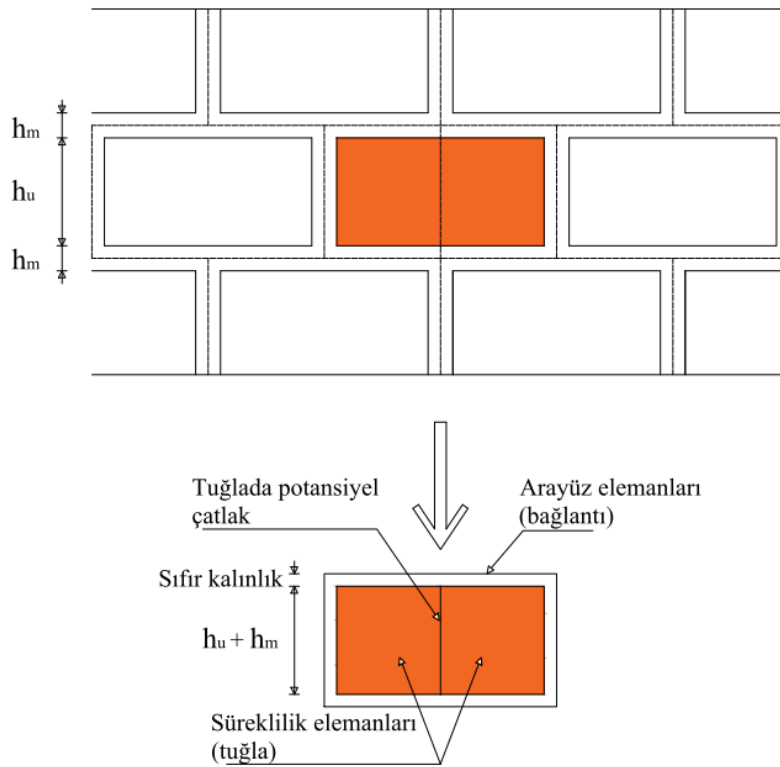
Mikro modelleme, küçük yapılar üzerinde daha doğru yanıtlara ulaşmak ve yerel davranışlarının daha iyi anlaşılmasını sağlamak için kullanılır. Bu tür modelleme, duvar, tuğla, beton ve kireçtaşı veya kaya blokları gibi modern binaların belirli kısımlarına uygulanır. Bu tip modelleme iki kategoriye ayrılır: detaylı mikro modelleme ve

basitleştirilmiş mikro modelleme. Detaylı mikro modellemede, birimler, harç ve birim / harç arayüzleri sırasıyla sürekli ve süreksiz elemanlarla temsil edilir (bkz. şek. 1.18.b). Bu yaklaşımda, Poisson oranı, Young modülü ve elastik olmayan özellikler gibi hem birimlerin hem de harcın farklı özellikleri bu yaklaşımda dikkate alınmıştır. Bu yaklaşım daha gerçekçi olmasına ve yığmanın yerel davranışını öngörmesine rağmen, duvarcılık bileşeninin tüm davranışları dikkate alınarak modelleme karmaşık bir soru haline gelir ve bu da heterojen yaklaşımı ekonomik olmayan ve zaman açısından etkisiz hale getirir. Bu yöntem için, çok iyi performansa sahip bir bilgisayar lazım, özellikle çok hızlı bir işlemci kullanmak çok önemlidir. Bu tezde bu sorunun üstesinden gelmek için, duvar modelleme üzerine yapılan çalışmaların çoğu gibi basitleştirilmiş mikro modelleme kurulmuştur. Zaten geçmişte Berto (Berto vd, 2004), Milani (Milani, 2008), Shing (Shing ve diğerleri 2010) ve La Mendola (La Mendola ve diğerleri 2014) gibi bilim adamları bu modelleme tekniğini daha az karmaşık olduğu ve tatmin edici sonuçlar verdiği için kullanmıştır. Bu yaklaşımda, harç derzleri tuğla / harç ara yüzüne kesintili bir eleman olarak kenetlenir (bkz. şek. 1.18.c). Düşey ve yatay yönlere harç kalınlığının yarısına kadar genişletilmiş birimler sürekli elemanlara simüle edilmiştir.



Şekil 1.18. Farklı mikro modelleme türleri, (a) Duvar normal halinde, (b) Detaylı mikro modelleme, (c) basitleştirilmiş mikro modelleme

Kesin bir duvar davranışına sahip olmak için, hassas bir şekilde basitleştirilmiş bir mikro model, daha önce listelenen tüm temel arıza mekanizmalarını (eklemlerin çatlaması, baş veya yatak boyunca kayma, çapraz gerilim çatlaması, duvarın ezilmesi vb.) içermelidir. Basitleştirilmiş mikro modelleme denemeleri için arayüz stratejisi, tüm hasarı nispeten zayıf derzlerde ve her tuğlanın ortasına dikey olarak yerleştirilmiş tuğlalardaki potansiyel saf gerilim çatlaklarında yoğunlaştırmaktır. (Lourenço ve Riots, 1997) (bkz. şek. 1.19).



Şekil 1.19. Lourenço ve Riots tarafından önerilen modelleme stratejileri (Lourenço ve Riots, 1997)

1.12.4. Eklemden Plastisite Teorisi

Herhangi bir kurucu model veya teori, gerçekliğin basitleştirilmiş bir temsilidir, çünkü belirli bir malzemenin tüm etkileşim mekanizmalarını tam olarak içeren kurucu modelleri formüle etmeye çalışmak gerçekçi değildir. Başarısızlık yüküne yakın birleşik bir çözümlenmeyen sonuçlanmayan oldukça sofistike malzeme modeli veya teorisi ile modellemekten ziyade bir yapının tüm tepkisinin izlenmesiyle daha fazla kavrayış elde edilebileceği bilinmektedir. Plastisite teorisi iyi oluşturulmuştur ve üç eksenli sıkıştırma ve kesme-sıkıştırma

problemlerinde yüklenen yarı kırılğan malzemeler için kullanılabilir. Teorinin, esas olarak gerilime maruz kalan yarı kırılğan malzemelerin elastik rijitlik bozunmasını yeniden üretememesi döngüsel yükleme olarak kabul edilemez (Lourenço, 1996). Bu çalışmada CDP (Concrete Damage Plasticity = Beton Hasar Plastisitesi) yönteminin seçilmesinin nedeni budur. Bununla birlikte, Abaqus yazılımını yöneten çoklu yüzeyle ilgili farklı plastiklik yasalarını bilmek önemlidir.

Aslında, plastiklik teorisindeki temel kavram, elastik alanı sınırlayan bir verim fonksiyonunun varlığıdır. Akma ancak gerilmeler genel akma kriterini karşılıyorsa meydana gelebilir:

$$f(\sigma, \bar{\sigma}(\kappa)) = 0 \quad (1.33)$$

Akma gerilmesi değeri $\bar{\sigma}$, skaler κ 'nin yaygın olarak adlandırılan sertleştirme yasası olan bir fonksiyondur. T, sertleşme veya yumuşama miktarı için bir ölçü olarak sunulur. Genel olarak, malzeme davranışını benzersiz bir akma yüzeyi ile uygun bir şekilde tanımlamak son derece karmaşıktır ve çok yüzeyle plastiklik teorisine bağlı kalınmalıdır. Bu durumda elastik alan, bileşik bir akma yüzeyini tanımlayan bir sayı $f_i < 0$ fonksiyonu ile tanımlanır. Yükleme / boşaltma, aşağıdaki koşullar aracılığıyla uygun bir şekilde kurulabilir:

$$\dot{\lambda}_i; f_i = 0; \dot{\lambda}_i; f_i = 0 \quad (1.34)$$

$\dot{\lambda}_i$ plastik çarpan oranıdır. Plastik davranış, yük kaldırmada geri döndürülemez gerilmelerin varlığıyla benzersiz olmayan bir gerilme-gerinim ilişkisi ile karakterize edilir. Bu, $\dot{\epsilon}$ gerinim vektörünün elastik bir tersinir kısım $\dot{\epsilon}^e$ ve plastik bir geri çevrilemez kısım $\dot{\epsilon}^p$ 'de ayrılmasıyla elde edilir.

$$\dot{\epsilon} = \dot{\epsilon}^e + \dot{\epsilon}^p \quad (1.35)$$

Elastik gerinim oranının elastik matris D tarafından gerilme oranı ile ilişkili olduğu durumlarda:

$$\dot{\sigma} = D\dot{\epsilon}^e \quad (1.36)$$

Tek yüzeyle plasisite için, ilişkili bir akış kuralı varsayımı şunları sağlar:

$$\dot{\epsilon}^p = \dot{\lambda} \frac{\partial f}{\partial \sigma} \quad (1.37)$$

İlişkili olmayan bir akış kuralı için:

$$\dot{\epsilon}^p = \dot{\lambda} \frac{\partial g}{\partial \sigma} \quad (1.38)$$

Burada g plastik potansiyeldir ve gerinim sertleştirme skaler $\dot{\kappa}$ şu şekilde verilir:

$$\dot{\kappa} = \dot{\epsilon}^{\text{eps}} \quad (1.39)$$

Eşdeğer plastik türü $\dot{\epsilon}^{\text{eps}}$ her zaman pozitif olmalı ve artıyor olmalıdır. Bu denklemin en basit kombinasyonu:

$$\dot{\kappa} = \dot{\epsilon}^{\text{eps}} = \sqrt{(\dot{\epsilon}^p)^T \dot{\epsilon}^p} \quad (1.40)$$

Diğer bir olasılık, hacim birimi başına plastik işten eşdeğer plastik gerilme oranını tanımlamaktır.

$$W^p = \bar{\sigma} \dot{\epsilon}^{\text{eps}} = \sigma^T \dot{\epsilon}^p \quad (1.41)$$

Bu verir:

$$\dot{\kappa} = \dot{\epsilon}^{\text{eps}} = \frac{1}{\bar{\sigma}} \sigma^T \dot{\epsilon}^p \quad (1.42)$$

Çoklu yüzey yerleşimi için, farklı akma yüzeylerinin kesişimi köşeleri tanımlar. Genellik olmaksızın, kompozit akma yüzeyinin iki akma yüzeyi tarafından tanımlandığı

varsayılır. Koiter kanununa (Koiter, 1953) göre köşedeki plastik yerdeğiştirmenin oranı, iki akma yüzeyinin plastik yerdeğiştirme oranının doğrusal birleşiminden elde edilir.

$$\dot{\varepsilon}^p = \dot{\varepsilon}_1^p + \dot{\varepsilon}_2^p = \dot{\lambda}_1 \frac{\partial g^1}{\partial \sigma} + \dot{\lambda}_2 \frac{\partial g^2}{\partial \sigma} \quad (1.43)$$

Ortak arayüz verim kriteri, tuğlanın tek eksenli gerilme çatlaması dışındaki tüm arıza mekanizmalarını içerir. Basınç / kesme gerilimi kombinasyonlarını sınırlandırarak kuşların çapraz gerilim çatlaması modele dahil edilebilir.

Arayüz elemanları yer değiştirme alanındaki süreksizliklere izin verir ve davranışları, arayüz boyunca çekimler t ve görelî yer değiştirmeler Δu arasındaki bir ilişki olarak tanımlanır. Bu genelleştirilmiş gerilmeler ve Şekil değiştirmeler arasındaki doğrusal elastik ilişki aşağıdaki gibi standart biçimde yazılabilir:

$$\sigma = D\varepsilon \quad (1.44)$$

D elastik rijitlik matrisidir ve duvar bileşenlerinin (tuğla ve harç) özelliklerinden elde edilebilir. Bu formüllerin ampirik biçimleri Őunlardır: $\sigma = \{\sigma, \tau\}^T$, $D = \text{diag} \{k_n, k_s\}$ ve $\varepsilon = \{\Delta u_n, \Delta u_s\}^T$ n ve s sırasıyla normal ve kesme bileşenlerini gösterir. Gelişmiş ve çağdaş formdaki bu formüller, eklemlerin elastisite bölümünde detaylandırılmıştır.

1.12.5. Beton Hasar Plastisite (BHP veya CDP) Teorisi

Betonun doğrusal olmayan davranışı, hasar ve plastisite sürecine atanır. Hasar süreci, elemanlarının mikro çatlamasına, birleşmesine ve ayrılmasına bağlanabilir. Plastisite davranışı, gerinim yumuşaması, aşamalı bozulma ve hacimsel genişleme gibi çeşitli fenomenlerle karakterize edilebilir. Bu modelleme için Abaqus'un sečilmesinin nedeni budur, çünkü farklı özelliklerle ilgili tüm yönleri kapsar. ABAQUS yazılımı, beton elemanlar için üç çatlak modelinden birini kullanarak hasarı simüle etme yeteneğini sağlar: (1) Bulaşmış Çatlak Beton modeli, (2) Gevrek Çatlak Beton modeli ve (3) Beton Hasarlı Plastisite modeli. Bu üç beton çatlak modelinden, bu çalışmada beton hasarlı plastisite modeli sečilmiřtir, çünkü bu teknik, hem gerilim hem de sıkıştırma özellikleri dahil olmak

üzere betonun tam elastik olmayan davranışını temsil etme potansiyeline sahiptir. Beton Hasarlı Plastisite modeli, betondaki iki ana arıza mekanizmasının gerilme çatlama ve basınçlı kırma olduğunu varsayar. Bu modelde, tek eksenli gerilme ve sıkıştırma davranışı hasarlı plastisite ile karakterizedir.

1.12.6. Çekme Gerilme-Şekil Değiştirme İlişkisi

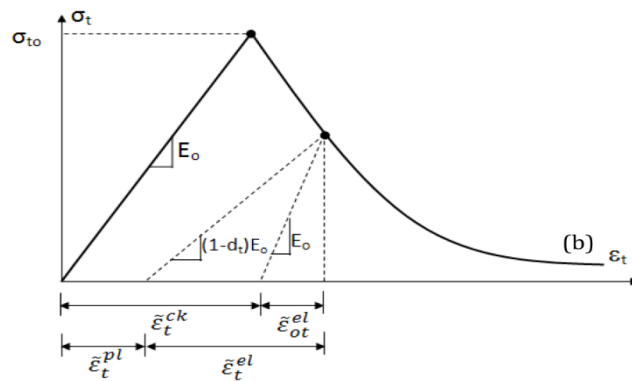
Herhangi bir modellemeden önce, tuğlaların özelliklerinde bazı değişikliklerle beton gibi belirli bir şekilde davrandığına dikkat edilmelidir.

Betonun ABAQUS'ta tam gerilme davranışını simüle etmek amacıyla, gerilmeye maruz kalan betonda bir arızasız gerilme-yerdeğiştirme ilişkisi kullanılmış olup, bu da yerdeğiştirme sertleştirilmesi, gerilme-yumuşatma ve betonla takviye etkileşiminin hesaba katıldığı bir yöntemdir. Bu modeli geliştirmek için, kullanıcının Young modülünü girmesi gerekir (E_0), çekme gerilme (σ_t), çatlama şekil değiştirme ($\tilde{\varepsilon}_t^{ck}$) ilgili beton sınıfı için değerler ve hasar parametre değerleri (d_t). Çatlama şekil değiştirme ($\tilde{\varepsilon}_t^{ck}$), aşağıdaki (1.45) kullanılarak toplam suştan hesaplanmalıdır:

$$\tilde{\varepsilon}_t^{ck} = \varepsilon_t - \varepsilon_{ot}^{el} \quad (1.45)$$

$$\varepsilon_{ot}^{el} = \frac{\sigma_t}{E_0} \text{ olduğunda, hasarsız malzemeye karşılık gelen Elastik şekil değiştirme, } \varepsilon_t =$$

toplam çekme şekil değiştirme.



Şekil 1.20. Gerilimdeki tek eksenli yüklemenin yanıtı (Abaqus, 2014)

ABAQUS, aşağıda (1.46) 'te hesaplanan plastik şekil değiştirme değerlerini $\tilde{\varepsilon}_t^{pl}$ kullanarak hasar eğrisinin kesinliğini kontrol eder. Negatif ve / veya azalan gerilme plastik gerilme değerleri, analiz yapılmadan önce hata mesajı oluşturmaya yol açabilecek yanlış hasar eğrilerinin göstergesidir (Abaqus, 2014).

$$\tilde{\varepsilon}_t^{pl} = \tilde{\varepsilon}_t^{ck} - \frac{d_t}{(1-d_t)} \frac{\sigma_t}{E_0} \quad (1.46)$$

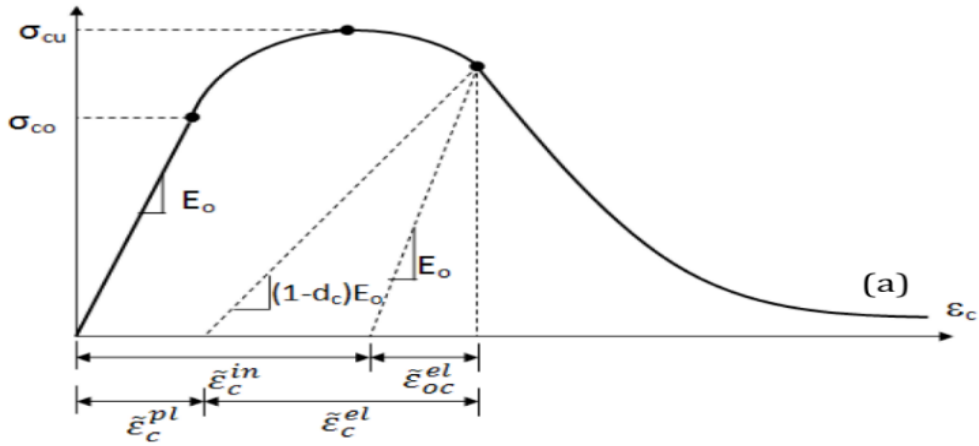
1.12.7. Gerilme-Şekil Değiştirme İlişkisi

Betonun gerilme- Şekil değiştirme ilişkisini tanımlamak için, gerilmeleri (σ_c), elastik olmayan şekil değiştirmeleri ($\tilde{\varepsilon}_c^{in}$), gerilme değerlerine ve hasar özelliklerine (d_c) karşılık olarak girmemiz gerekir. Bu nedenle, toplam gerilme değerleri (18) kullanılarak elastik olmayan şekil değiştirmelere dönüştürülmelidir:

$$\tilde{\varepsilon}_c^{in} = \varepsilon_c - \varepsilon_{oc}^{el} \quad (1.47)$$

$\varepsilon_{oc}^{el} = \frac{\sigma_c}{E_0}$ olduğunda, ε_{oc}^{el} hasarsız malzemeye karşılık gelen elastik olmayan şekil değiştirme, ve ε_c toplam gerilme gerilmesidir. ayrıca, (1.48) kullanılarak hesaplanan plastik şekil değiştirme değerlerinin ($\tilde{\varepsilon}_c^{pl}$) ne negatif, ne de artan gerilmelerle azalmasının sağlanması için düzeltici önlemler alınmalıdır (Abaqus, 2014).

$$\tilde{\varepsilon}_c^{pl} = \tilde{\varepsilon}_c^{in} - \frac{d_c}{(1-d_c)} \frac{\sigma_c}{E_0} \quad (1.48)$$



Şekil 1.21. Tek eksenli yükleme gerilme-şekil değiştirme eğrisi

Gerilme-yerdeğiştirme eğrisinin gerinim yumuşatma dalındaki elastik rijitliğin bozulması, sıfırdan bire kadar değerler alabilen iki hasar değişkeni d_t ve d_c ile karakterize edilir. Sıfır, hasarsız malzemeyi temsil eder ve biri, toplam güç kaybını temsil eder (Abaqus Simulia, 2014). E_0 malzemenin ilk (hasarsız) elastik rijitliğidir ve (σ_{cu}) en son basınç dayanımı tanımlar.

Tuğlalar ile harç arasındaki arayüz davranışı, tuğlalar boyunca çatlaklar boyunca yük transferini simüle etmek için harç modellemesinde gerilim takviyesi uygulanarak modellenmiştir. Gerginlik pekiştirme ayrıca çatlama duvar için gerilme yumuşatma davranışını modellemeye izin verir. Bu nedenle BHP modelinde Gerilim sertleştirilmesinin tanımlanması gerekir. ABAQUS, Gerginlik Güçlendirmesini, başarısızlık sonrası gerilme-gerinim ilişkisine göre veya bir kırılma enerjisi çatlama kriteri uygulayarak belirlemeye izin verir (Abaqus, 2014).

1.12.8. Birleşim Yüzeylerinde Plastisite Teorisi

Bağlantı arayüzlerinin ilk prensibi, hasardan önce doğrusal bir çekme ayırma ilişkisine dayanmaktadır. Genel doğrusal davranış, elastik rijitlik matrisi şeklinde yazılır. Eklem arayüzlerinin elastik sertlik matrisi K , nominal çekme vektörü t ve karşılık gelen ayırma vektörü δ arasındaki ilişki aşağıdaki denklemde ifade edilir:

$$\mathbf{t} = \begin{Bmatrix} t_n \\ t_s \\ t_t \end{Bmatrix} = \begin{pmatrix} k_{nn} & 0 & 0 \\ 0 & k_{ss} & 0 \\ 0 & 0 & k_{tt} \end{pmatrix} \begin{Bmatrix} \delta_n \\ \delta_s \\ \delta_t \end{Bmatrix} = \mathbf{K}\delta \quad (1.49)$$

Basitleştirilmiş bir mikro modeldeki (genişletilmiş duvar birimleri arasındaki arayüzler) bağlantı arayüzleri için sertlik matrisi \mathbf{K} 'nin bileşenleri, aynı sınır koşulları altındaki orijinal duvar derz arayüzlerinin (tuğla ve harç) rijitliğine eşdeğer olmalıdır. Dolayısıyla, eklem arayüzleri için eşdeğer rijitlik, harcın ve birimin elastisite modülünün ve harcın kalınlığının bir fonksiyonu olarak ifade edilir.

$$K_{nn} = \frac{E_u E_m}{h_m (E_u - E_m)} \quad (1.50)$$

$$K_{ss} = K_{tt} = \frac{G_u G_m}{h_m (G_u - G_m)} \quad (1.51)$$

Genel olarak plastik analiz veya limit analizi, bir yapının taşıyabileceği maksimum yükün (limit yük) değerlendirilmesiyle ilgilidir. Plastik davranış varsayımı, bir yandan maksimum yükün başarısızlık durumunda elde edildiğini ve diğer yandan malzeme sünek bir davranışa sahip olmalıdır. Görünüşe göre, bu son gereklilik, plastik deformasyonlar yığmanın sünekliğini aşabileceğinden, gerçekleştirilemez görünüyor. Bununla birlikte, sıkıştırmadaki sınırlı süneklik, kolonlar haricinde, çökmeler genellikle düşük gerilme mukavemeti ile ilişkili olduğundan ilgili bir rol oynamaz (Croci, 1998). Böylece, sıfır gerilme mukavemeti varsayımı, plastik analiz yöntemini duvar yapılarının analizi için yeterli hale getirir.

Plastik analiz ya alt sınır (statik) yöntemine ya da üst sınır (kinematik) yöntemine dayanmaktadır. Her iki yöntemin de amacı, yapı üzerinde arızaya yol açan önceden belirlenmiş bir yük dağılımının çarpanını belirlemektir. Statik yöntem denge denklemlerini kullanır ve çarpan (denge koşulları ile hesaplanır) limit yük için bir alt sınır oluşturur. Kinematik yöntemde plastik menteşeler veya akma hatları eklenerek yapı bir mekanizmaya dönüştürülür. Ardından, sanal yer değiştirmeler ilkesini uygulayarak, her mekanizma bir yük çarpanıyla ilişkilendirilir. Bu çarpan, limit yük için bir üst sınır oluşturur.

Limit analizi teoremleri, yapı ve malzemeleri karakterize eden azaltılmış sayıda parametre aracılığıyla, çalışılan yapı tarafından katlanılabilir yükleri tanımlamayı amaçlamaktadır. Tonoz kemerlerinin davranışını inceleyen Heyman (Heyman,1966), üç hipotez oluşturarak 1960'larda duvarın modern limit analizinin temellerini atar:

1. Yığmanın çekme dayanımı yoktur. Bu varsayım, kuru derzlerle veya düşük kaliteli harçla birleştirilmiş kemer gibi yapılar için geçerlidir. Diğer durumlarda bu varsayım, hesaplamayı güvenli tarafa koyacaktır.
2. Yığmanın sonsuz basınç dayanımı vardır
3. Tuğlalar arasında kayma gerçekleşemez.

Bu varsayımlar kısıtlayıcı görünebilir, ancak sadece sıkıştırmada çalışan yapılar olan kemerlerin, uçan payandaların ve tonozların incelenmesi için formüle edilmiş oldukları unutulmamalıdır. Bu tür bir yapıda, çekişin bloklar arasında hızlı bir şekilde açıklıklar oluşturduğu ve gerilmelerin yeniden dağıtılmasının sınırlı olasılıkları olduğu doğrudur. Bu varsayımlardan yola çıkarak, yapının stabilitesi bir malzeme mukavemeti probleminden ziyade bir geometri problemi haline gelebilir. Antik tasarım kuralları bu geometrik konsepte dayanıyordu. Heyman, yapının geometrisine ve harici yüklemeye dayalı olarak aksenal yüklemeye maruz kalan yaylar için bir arıza kriteri önermektedir. Coulomb'a göre, eklemler oluşturarak kopma modu, olası tek kopma modudur. Yığma daha sonra plastisite sınır teoremlerinin uygulanabileceği bir malzeme olarak değerlendirilebilir. Nitekim bu teorem, arayüzlerdeki basınç dayanımını ve aynı zamanda Coulomb yasası tarafından kontrol edilen kayma kırılmasını hesaba katacak şekilde geliştirilmiştir (Orduña vd, 2003).

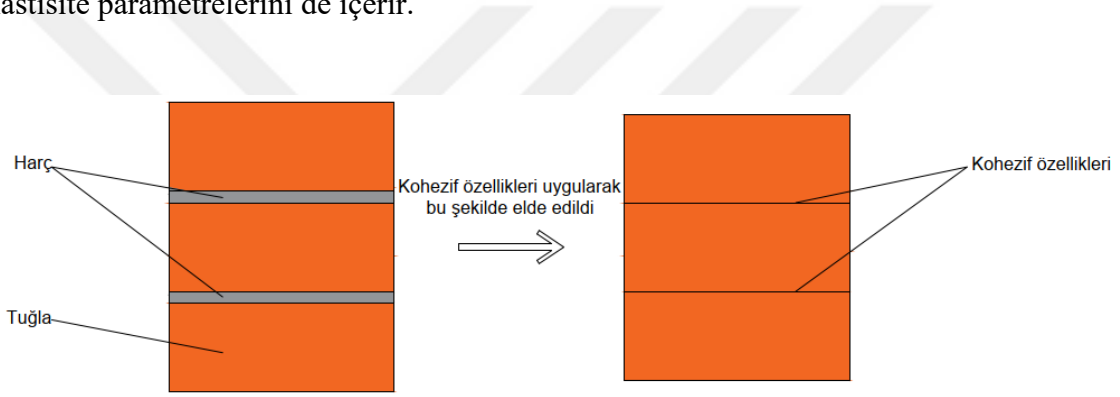
1.12.9. Arayüzün Sonlu Eleman Yöntemiyle Modellemesi

Arayüz, gövde elemanı ile harç eklemi arasındaki bağlantıdır ve genellikle bir duvar yapısındaki en zayıf unsurdur. Standartlarda, sertleştirilmiş harcın özellikleri ile ilişkilendirilen gövde elemanları ile harç arasındaki yapışma (kaymada) hesaplanarak arayüzün direnci dikkate alınır. Arayüzlerin davranışı, eklemlerin doğrusal olmayan tepkisini kontrol eder ve bu nedenle bir yapının genel davranışında belirleyici olabilir.

Harç eklemine bir arayüz olarak düşünüldüğünde davranışı genellikle çiftler veya üçlüler gibi temel montajlar üzerinde incelenir. Bununla birlikte, tüm bu testlerde, harç eklemine indüklenen stres durumu genellikle heterojendir ve sonuçların yorumlanmasını

zorlaştırır (Anthoine, 1992). Ek olarak, arayüz deneysel olarak anlaşılması zor olabilen bir yumuşatma davranışı sergiler.

Sonlu Elemanlar Analizi (SEA) paketi ABAQUS 6.14, tuğladan harç katmanlarının bağ etkileşimini ve aynı zamanda arızalarını modellemek için kullanılır ve bu daha sonra deneysel testle doğrulanır. Bağlı arayüzlerin başarısızlığı, önceki çalışmalardan alınan mevcut parametreler tarafından yönetilen sıfır kalınlık arayüz elemanı ile Kohezif Bölge Modeli (KBM) yaklaşımı ile modellenmiştir. Modelleme sırasında kullanılan parametreler, KBM yaklaşımı için arayüz kesme dayanımı, kırılma enerjisi ve elastik kayma rijitliğini içerir. Bu modelleme, aynı zamanda, kohezyon, arayüz sürtünme açısı, kapak eksantrikliği, ilk kapak akma yüzeyi konumu, akış gerilimi oranı ve arayüzde akma gerilmesi gibi diğer plastisite parametrelerini de içerir.



Şekil 1.22. Kohezif arayüzlerde dönüşüm

1.12.10. Yumuşatma Arayüz Davranışı

Beton, seramik, tuğla ve harç gibi malzemeler neredeyse kırılğan olarak tanımlanmaktadır. Diğer bir deyişle, mikroskobik ölçekte kırılma davranışları özünde kırılğan ise (bölünmeyle mikro çatlama), mikro çatlamadan kaynaklanan hasarın süreksiz ve yaygın yapısı, malzemeye makroskopik ölçekte bir yumuşama davranışı verir. Tuğlalar ve harç arasındaki arayüzün davranışı benzer bir davranış sergiler. Aslında, yarı kırılğan malzemelerin kırılmasını doğru bir şekilde almak ve ilerleyen hasarlarını tanımlamak için, yumuşama fenomenini hesaba katmak gerekir. Genel olarak, aşağıda incelediğimiz tuğla / harç arayüzü düzeyinde iki temel hata modunu düşünebiliriz:

- Mod I: çatlak açma modu, bağlantıya dik etki eden gerilmelerle ilişkili ve arayüzün ayrılmasına yol açan (çekme gerilme hatası).

- Mod II: bir blok kayma mekanizmasına veya harç eklemine kesme arızasına karşılık gelen düzlem kayma modu.

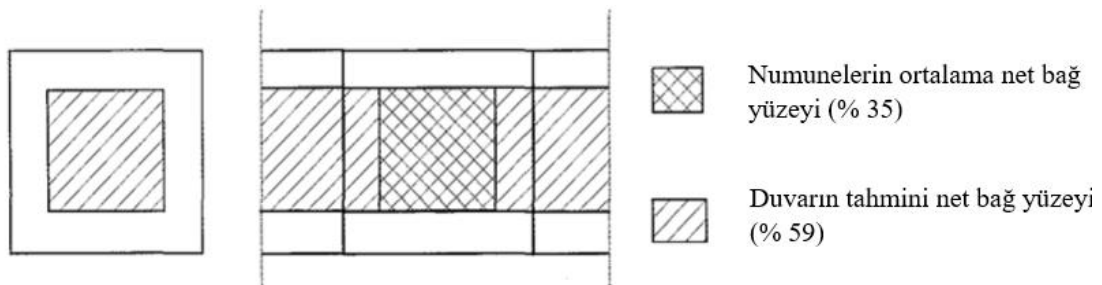
Sıkıştırma hatası, herhangi bir belirli kinematik mod ile ilişkili değildir. Gerçek yapılarda bu tür bir yırtılmanın nadiren görüldüğü unutulmamalıdır.

1.12.11. Çekme Davranışı / Mod I

Gerilimdeki bir eklemi nitelemenin iki yolu vardır: doğrudan çekme gerilimde veya eğilimde. Jukes ve vd. (Jukes vd. 1998), bu iki test aynı sonuçları vermez ve bunun birkaç nedeni olabilir:

- Doğrudan çekme testleri, tek tip olmayan bir gerilim alanı oluşturma eğilimindedir.
- Farklı yöntemler eklemde farklı yerlerde başarısızlığı başlatır. Bununla birlikte, ek yerlerinin uygulanması kenarlarda daha zayıf bir yapışmaya neden olabilir ve bu nedenle kopmanın başladığı yere bağlı olarak yapışkan gücünün değerini etkiler.
- Önemli bir yumuşama varsa fleksiyon testlerini direkt çekme testlerinden daha fazla etkileyecektir.

Aslında, birçok araştırmacı, testlerle, arayüzdeki gerilim dağılımının tek tip olmadığını, ancak bir sonlu eleman analizi ile belirlenebileceğini göstermiştir. Böylelikle tuğlalardaki deliklerin konumunun arayüzün direncini etkileyebileceği gösterilmiştir (Jukes vd., 1998). Bu nedenle Van der Pluijm (Van der Pluijm,1999), arayüz üzerine yaptığı araştırmada, çekme yüklerine maruz kalan deliksiz tuğlalar önermektedir, tuğlaların net yapışma yüzeyinin yaklaşık % 35 olduğunu ve bunun harcin hazırlanmasının kötü koşullarından kaynaklandığını gösterir. Ona göre yapışma yüzeyinin daha yüksek olduğu duvarlara uygulama için tuğlalarıyla belirlenen değerler artırılmalıdır (Şekil 1.23).



Şekil 1.23. Bir test parçasının (solda) ve bir duvarın (sağda) net çekme yapışma yüzeyi (Van der Pluijm, 1999)

1.11.12. Kesme Davranışı / Mod II

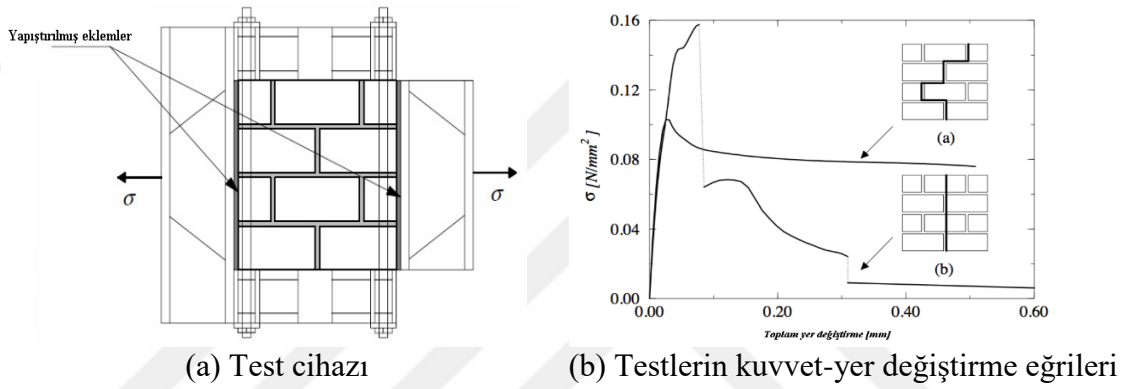
Harç derzlerinin kesme dayanımını belirlemek için birçok yöntem kullanılmıştır. Testler, kullanılan düzenlemelerde ve yük uygulamasında (derzlerde normal yük ile veya olmadan) ve aynı zamanda tuğla sayısı ve şekli değişen numunelerde farklılık gösterir.

Önceki yazarların çekme testlerinde olduğu gibi, asıl mesele, harç eklemi boyunca normal ve teğet gerilmelerin düzgün bir dağılımını uygulamaktır. Çeşitli düzenlemeler, yüklemenin neden olduğu eğilme momentini ve ayrıca eklem (ler) boyunca gerilme gerilimlerini azaltmaya çalışır. Bununla beraber, duvarda derzlerin kayma direncini belirlemek için, derzlerin normal ön sıkıştırmaya maruz kaldığı testlerin yapılması önemlidir (Hamid vd., 1979). Bu araştırmacılar, kesme dayanımının sadece harcın mukavemeti ile ilişkili olmadığını, aynı zamanda ön basınç gerilmesiyle arttığını göstermişler. Daha sonra, kayma mukavemetini eklem üzerindeki basınç gerilimi ile ilişkilendiren doğrusal bir ilişki önerdiler. Bununla birlikte, montajlarında uygulanan yükün eksantrikliği tuğlalarda bir moment oluşturur ve harç derzleri boyunca normal gerilmenin muntazam olmayan bir dağılımını oluşturur. Bu homojen olmayan dağılım, numunenin uçlarına eklemler eklenerek düzeltilbilir, pik yükleme sırasında numunenin sadece bir tarafında bir çatlak başlatılır (Hordijk, 1991). Ona göre Ortalama gerinimdeki artışla birlikte, çatlak açıklığının karşısındaki conta kısmında basınç gerilimleri oluşabilir.

Duvar derzlerinin kesme tepkisi, testin kurulmasında bazı zorluklar yaratabilir. Aslında, testin belirlenmesinde önemli bir husus, eklemden tek tip bir gerilim durumu oluşturabilmektir. Bu amaca ulaşmak zordur çünkü denge durumları yüzey düzensizliklerinden dolayı tek tip olmayan normal gerilimler sunar. (Sinha ve Hendry, 1978). Bu zorluğu çözmek için, yatay eklemler üzerindeki normal gerilim sabit tutulmalıdır (Hofmann et Stockl, 1986). Van der Pluijm (Van der Pluijm, 1993) için bu normal gerilim, modellerde kohezyonda bir azalmaya yol açarken, kopma modu II'nin G_f'' adı verilen kayma sürtünmesi nedeniyle bir enerji açığa çıkarır. Değerleri 0.1 ile 0.25 Nmm / mm² arasında değişir ve hapsedme gerilimine göre değişebilir.

1.12.13. Tek eksenli Çekme Yığılma Davranışı

Harç derzlerine dik çekme yükleri için çökme, harç-tuğla arabiriminde çekme mukavemetinin kaybolmasından kaynaklanır (Lourenço vd., 1999). Genellikle, duvar çekme mukavemeti arayüzü tarafından yönetilir ve sadece çok nadir durumlarda tuğla gücü harç daha azdır. Tipik bir deneysel test Backes (Backes, 1985) tarafından açıklanmıştır: test numunesi dört kat tuğladan oluşur ve numunenin üst ve alt uçları çelik kirişlere sıkıca tutturulmuştur (bkz. Şekil 2.24).



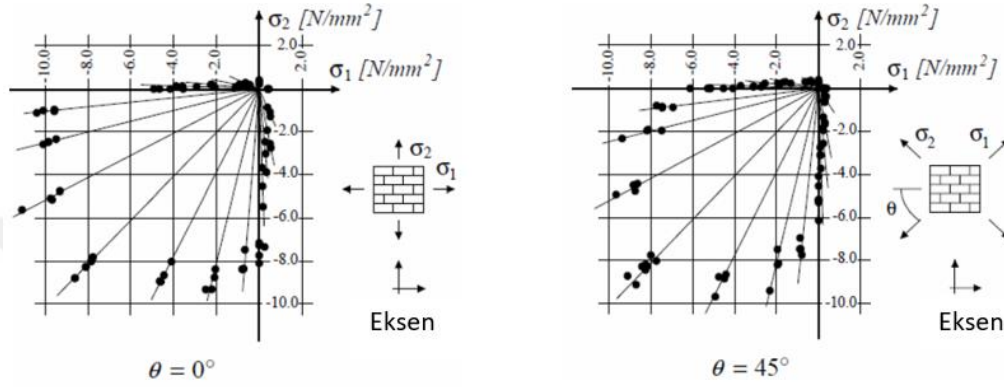
Şekil 1.24. Yatay eklemlere paralel yığılma çekme dayanımı için test düzeneği (Backes, 1985)

Tuğlaların gerilme mukavemeti, derzlerin ve ara yüzün gerilme mukavemetinden daha büyük olduğunda, kırılma, yatay ve düşey derzler boyunca kademeli bir çatlaktır. Karşılık gelen kuvvet-yer değiştirme eğrisi daha sonra kısmen pik sonrası bir plato gösterir. Gözlenen ikinci göçme modunda, tuğlaların gerilme mukavemeti düşük olduğunda, kırılma bloklardan ve dikey derzlerden geçen neredeyse dikey bir çatlaktan kaynaklanır. Bu durumda, kuvvet-yer değiştirme eğrisi, kırılma başlangıcını ve ardından sıfır gerilime yumuşama gösterir.

1.12.14. Çift Eksenli Davranış

Yığılmanın çift eksenli gerilme durumları altındaki davranışı, tek eksenli yükleme koşulları altında yapısal bir yasa ile tam olarak tanımlanamayabilir. İki eksenli gerilme durumlarının etkisi, yığılma yapı anizotropik bir malzeme olduğu için sadece ana gerilmeler

ile tanımlanamayan direnç davranışını bilmek için önemlidir. Bu nedenle, onun çift eksenli gerilme zarfı, eksenlerin malzemeye ve ana gerilmelere göre oryantasyonu açısından tanımlanabilir, burada θ , ana gerilmeler ve malzemenin eksenleri tarafından oluşturulan açıdır. Page (Page,1981, 1983) tarafından duvarlarda yapılan testlere dayanarak duvarın çift eksenli yükler altındaki davranışına ilişkin eksiksiz bir rapor elde edilmiştir (bkz.Şekil 1.25).



Şekil 1.25. Masif tuğla duvarcılık ve çift eksenli gerilim durumları için mukavemet zarfları (Page, 1981 ve 1983)

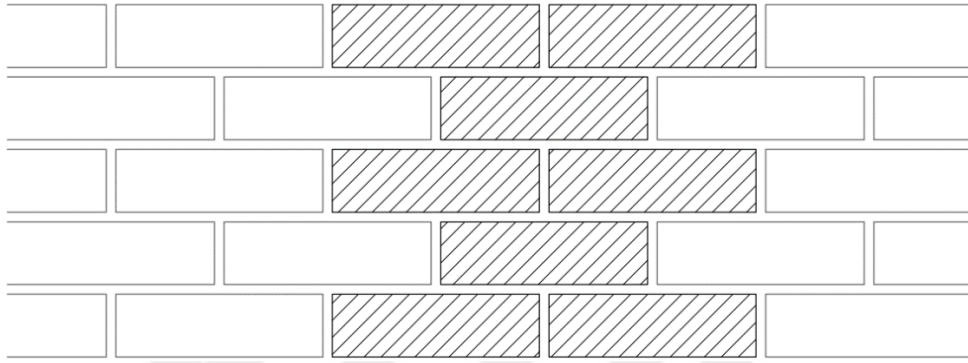
Ancak, uygulanan gerilme durumu ile ilişkili olarak yığma yapılar için makroskopik arıza yüzeylerini belirlemek için birkaç yıl sonra kapsamlı bir deneysel karakterizasyon gerçekleştirilmiştir (Dhanasekar vd., 1985). Tek eksenli çekiş için, söz konusu çatlakların birleştirilmesiyle oluşturulan hatta bazı tuğlaların diğerlerine göre çatlaması ve kayması nedeniyle arıza meydana gelir. Yanal gerilimin toplam gerilme mukavemeti üzerindeki etkisi bilinmemektedir çünkü deneysel testler bulunmamaktadır.

1.13. Tuğla Düzenlemesine Göre Duvarların Sınıflandırılması

Bağlantı, duvardaki her bir tuğlanın, tek tek tuğlaların üst üste binmesi ve sağlam bir kütle oluşturması için yerleştirildiği yöntem olarak tanımlanabilir. Tuğla duvardaki bağlar, tuğla katmanları arasında ve tuğlalar birbirine bitişik olarak ve duvarlarda katmanlar halinde döşendiğinde oluklardaki harç dolgusu ile geliştirilir. Yığma duvar yapımında bağ türleri, tuğlaların duvarlara döşenmesi ve yapıştırılma şekline göre sınıflandırılır. Bu bağlantı, İngilizce'de genellikle "bond" adı altında bilinir. Aralarında çeşitli bağlantılar vardır: "İngiliz bağlantısı", "akıcı bağlantı", "başlık bağlantısı" ve "Flamen bağlantısı".

a) Akıcı bağlantı

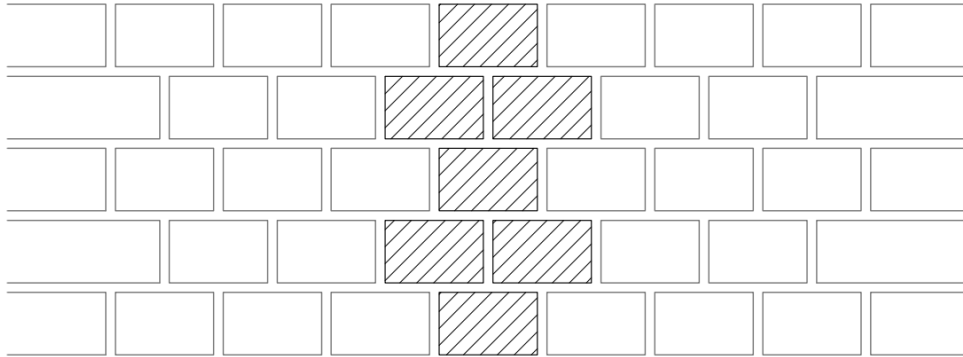
Akıcı bağlantı, tuğlalar sadece sedyeleri görünecek şekilde, alttaki ve üstteki tuğlaların sıralarının ortasında üst üste binecek şekilde döşendiğinde oluşturulur (Şekil 2.26). Bu tip tuğla düzenlemesi dünyadaki en yaygın olanıdır, tasarım gerektirdiğinde nadiren yarım tuğlalarla ilişkilendirilir. Delikli tuğla çalışması da bu model üzerinden yapılacaktır. Modern yapıda, duvarın görünümünü güzelleştirmek için kaplama olarak kullanılır.



Şekil 1.26. Akıcı bağlantı hizalaması

b) Başlık bağı

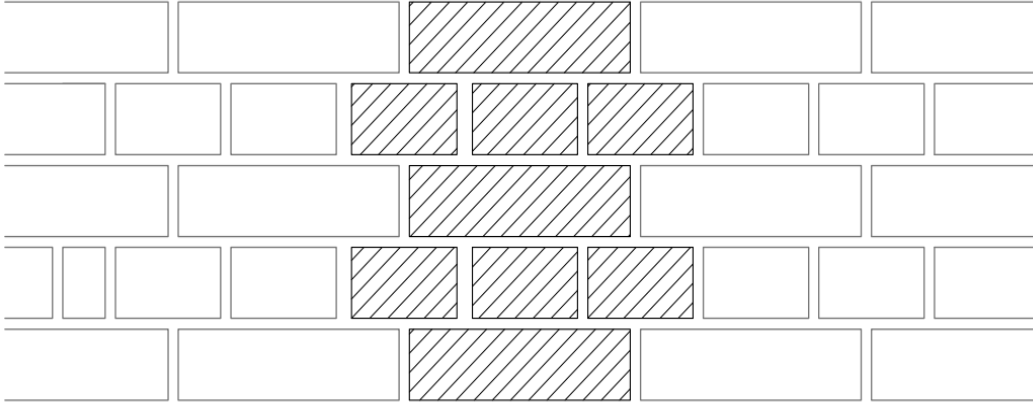
Bu normalde dairesel tuğlalar için kullanılır, yani kavisli duvar kaplaması, hem içbükey hem de dışbükey yüzeyler minimum kesme miktarı ile yeterli şekilde elde edilebilir. Tur miktarı, her alternatif rotada durdurulan uçta veya dönüşte üç çeyreklik yarasa kullanılarak elde edilen çeyrek tuğladır (Bailey vd., 1990) (Şekil 1.27).



Şekil 1.27. Başlık bağlantısı hizalaması

c) İngiliz bağlantısı

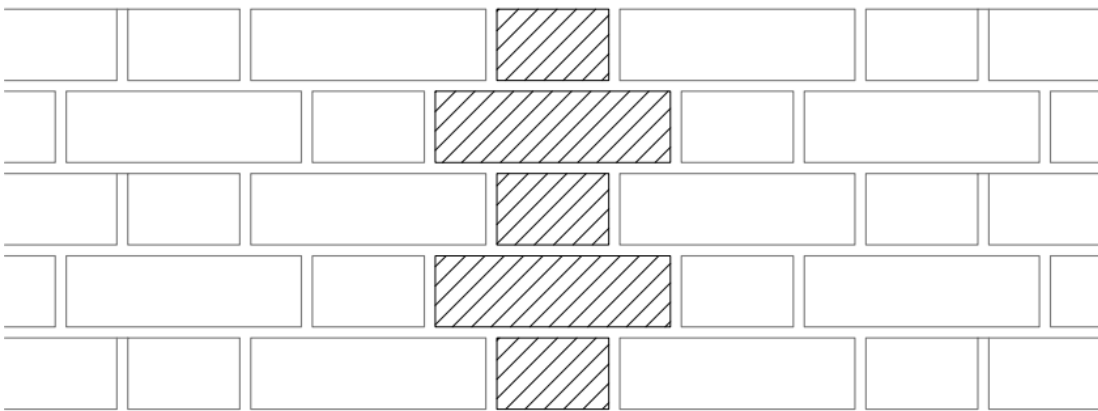
İngiliz bağlantısı, bir tuğla hizalamasının tamamen Header'den oluştuğu ve sonraki rota tamamen Stretcher'den oluştuğu bir bağ biçimidir. Başlık ve akıcı bağlantı hizalaması duvar boyunca değişir. Başlık ve akıcı bağlantıdan oluşan alternatif sıralar; sedyeler arasındaki eklemlerin başlıkların ortalanacağı şekilde döşenir (Şekil 1.28).



Şekil 1.28. İngiliz bağlantı hizalaması

d) Flemen bağlantısı

Her sırada dönüşümlü olarak başlıklar ve sedyelerden oluşan bir hizalamadır. Sıradaki başlıklar, diğer sıradaki sedyelerin üstünde ve altında ortalanır. Her bir başlık, sedyelerin ortasına, yukarı ve aşağı sıralarda yerleştirilerek, her zamanki gibi eklemleri kırarak şekilde döşenmiştir (Şekil 1.29).



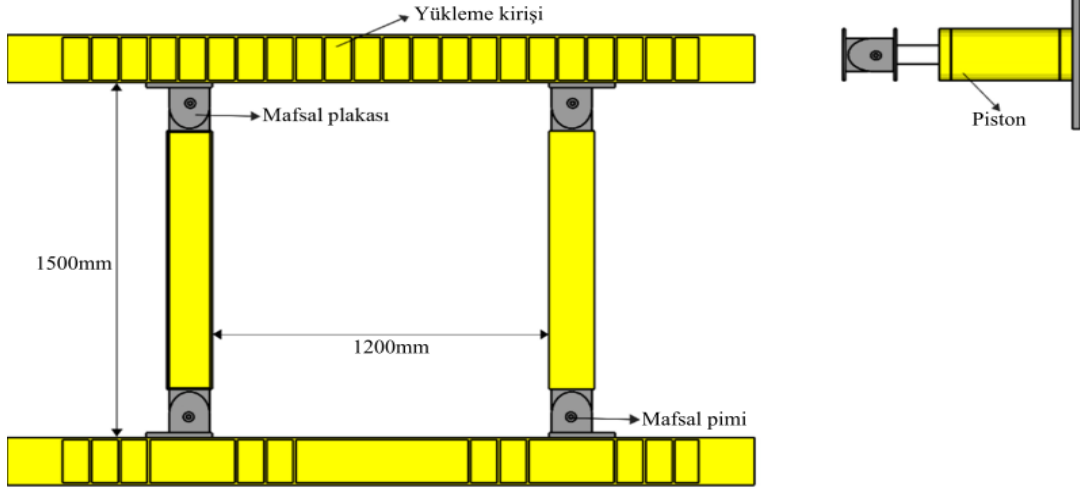
Şekil 1.29. Flemen bağlantı hizalaması

2. YAPILAN ÇALIŞMALAR

2.1. Çelik Çerçeve İçinde Kapalı Yığma Duvarı

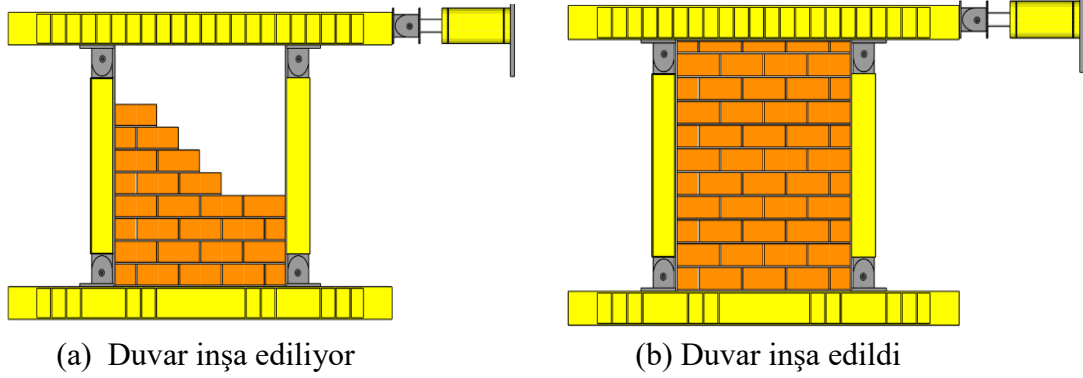
Sınırlı yığma duvar, yapısal yığma duvarların dört tarafının betonarme veya çelik gibi diğer yapısal elemanlarla sınırlandırıldığı bir yapı sistemidir (Tomazevic, 2000). Bu tür inşaatlar, yığma ile doldurulmuş betonarme çerçeveden farklıdır. Aslında, dikey çevreleme elemanları ve yatay bağlantı kiriş elemanları ile zeminler ilk adımda yerine yerleştirilir. Daha sonra yapısal kagir duvarlar inşa edilir. Bu çalışmada ilk olarak çelik çerçevenin geliştirilmesiyle başlayarak izlenen yoldur (bkz. aşağıdaki şekil 2.1). Böylece tüm duvarların inşası bu çerçevede yapının sınırlı bir yığma özelliğine sahip olması için gerçekleştirilmiştir.

Şekil 2.1. Deneysel çalışmalar için tasarlanmış deney düzeneği.



Şekil 2.1. Tuğlasız çerçeve tasarımı

Daha sonra bu çerçeve, pistonun üzerinde hareket edeceği tek bir düzeneğe sahip olmak için iç kısmından üst seviyesine kadar tuğlalarla doldurulur (bkz. Şekil 2.2). Bu süreç, tuğlaların farklı boyutları dışında farklı modeller arasında tekrarlı ve benzerdir.



Şekil 2.2. Çerçeveye tuğla yerleştirme işlemi

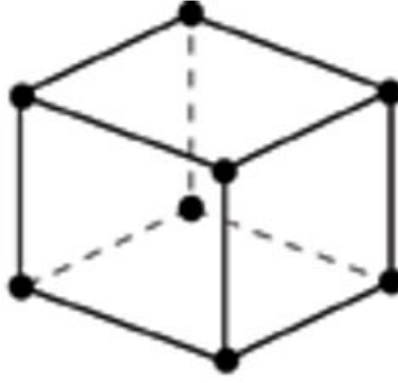
2.2. Analitik Prosedürler

Yığma yapılara analitik bir yaklaşım, bu alandaki problematiği daha iyi tanımlamayı, özellikle de duvarcılığın çeşitli stresler altındaki tepkisini anlamayı mümkün kılar. Bu, malzemelerin geometrisini ve yapısını ve uygulanan kuvvetleri (kuvvetlerin uygulandığı durumda) dikkate almayı gerektirir. Bu yaklaşım, yazılım kullanımı yoluyla duvarın davranışını modellemeyi ve tahmin etmeyi de mümkün kılar.

Bununla birlikte, analizin zamanı ve maliyeti de analitik yöntemlerin geliştirilmesinde önemli faktörlerdir, çünkü bu hesaplama yöntemlerini geliştirmenin nihai amacı, mühendisler tarafından fiili uygulamaya uygulanacak. Dolayısıyla analizler için çalışılacak yöntemler mikro modellemenin analizi ve modal analizdir.

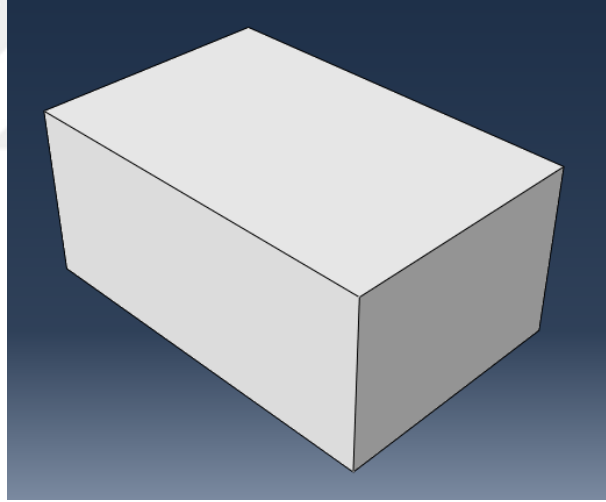
2.3. Mikro Modellemede Kullanılan Eleman ve Yordamlar

Tuğlalar ABAQUS programında 3 boyutlu katılar olarak tanımlanabilir. Bu katılar veya elemanlar, Şekil 2.3'de gösterilen 8 düğümlü tuğla gibi yalnızca köşelerinde düğümlere sahiptir, her yönde doğrusal enterpolasyon kullanır ve genellikle doğrusal elemanlar veya birinci dereceden elemanlar olarak adlandırılır (Abaqus, 2014). Bu tür eleman yazılımında C3D8 olarak bilinir.



Şekil 2.3. Düğümlü tuğla eleman C3D8 (Abaqus, 2014)

Bu, farklı tuğlaların yazılımda, elemanı oluşturan malzemelere göre daha sonra özelliklerin ekleneceği bir katı formunda modellenmesidir. Şekil 2.4, ABAQUS'un yardımıyla modellenen tipik bir tuğla elemanını göstermektedir.



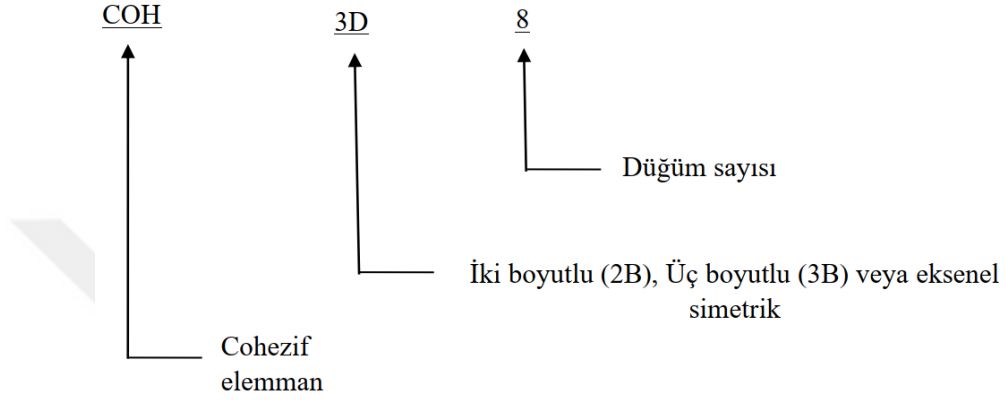
Şekil 2.4. Abaqus programında modellenen tuğla elemanı

2.3.1. Kohezif Elemanı

Bu teknik, kohezif bölgenin ABAQUS geleneksel malzeme modelleri kullanılarak modellenebilen sonlu kalınlıkta bir malzeme içerdiğini varsayan sürekli bir yaklaşım kullanarak kohezif elemanların modellenmesine izin verir. Yapışkan bölge çok ince olduğundan (10 mm) ve tüm pratik amaçlar için ABAQUS, bu durumda sıfır kalınlığın

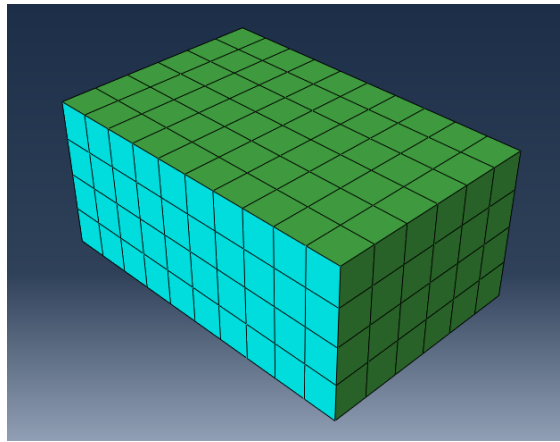
benimsenmesini önerir. Bu birleşik bölge, çekiş-ayırma yasası olarak adlandırılan yasaya tabidir.

Her tuğla yüzeyine uyumlu bir tabaka atanır ve bu katman daha sonra tartışılacak temas özellikleriyle de ilişkilidir. Bu katman yazılım belgelerinde COH3D8 olarak bilinir ve aşağıdaki Şekil 2.5 ile gösterilmiştir.

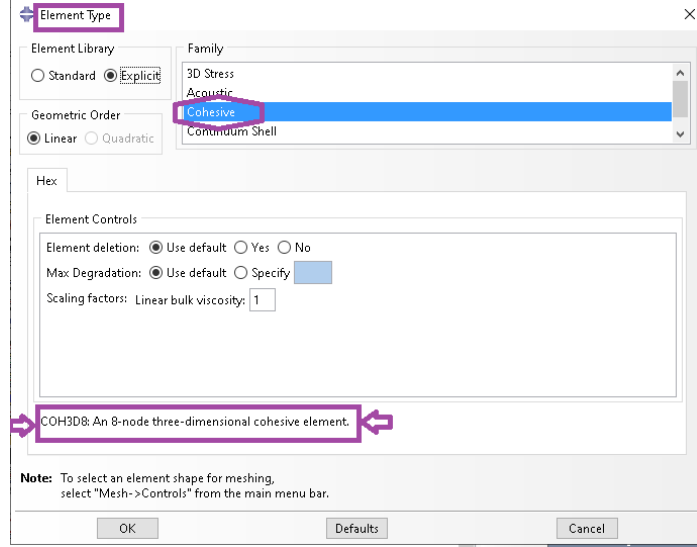


Şekil 2.5. Kohezif açıklayıcı diyagramı

Tüm modeller bir süreç dayanmaktadır gibi "basitleştirilmiş mikro modelleme" zaten önceki bölümde yaklaşılmıştır. Böylece, programda bir "offset solid layer" oluşturmak için belirli temas yüzeylerinde kohezif bir katman (tuğla üzerinde yeşil katman, bkz. Şekil 2.6'de yerleştirilmiştir).



Şekil 2.6. Tuğla üzeyler üzerindeki kohezif eleman



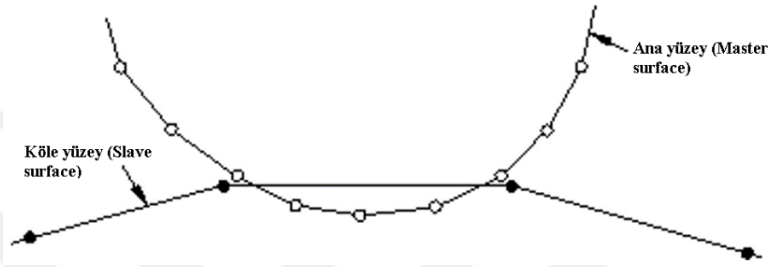
Şekil 2.7. Tuğla Eleman türü seçimi

Tuğlanın altı yüzünün dördü için "offset solid layer" oluşturulması gerçekleştirilmiştir. Bu dört yüz, tuğlalar birbirine yapıştırıldığında muadilleriyle temas edecek olan yüzlerdir. Bununla birlikte, dikkate alınması gereken başka bir modelleme parametresi vardır, yani yüzeyler arasındaki bağlantı, genellikle yüzey etkileşimi (surface interaction) olarak adlandırılır.

2.3.2. Yüzey Etkileşimi

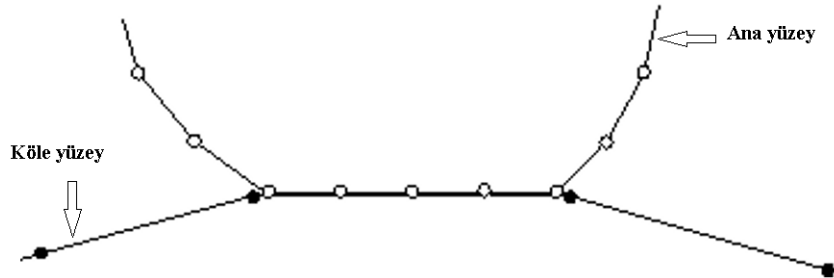
Temas eden yüzeyler arasındaki etkileşim iki bileşenden oluşur: biri yüzeylere normal ve diğeri yüzeylere teğet. Teğetsel bileşen, yüzeylerin görelî hareketinden (kayma) ve muhtemelen sürtünme kayma gerilmelerinden oluşur. Her bir temas etkileşimi, temas eden yüzeyler arasındaki etkileşim için bir model belirleyen bir temas özelliğine başvurabilir. Ardından iki yüzey arasındaki mesafe sıfır olduğunda Abaqus'ta temas kısıtlaması uygulanır. Yüzeyler arasında iletilebilecek temas basıncının büyüklüğünde bir sınır yoktur. Yüzeyler, aralarındaki temas basıncı sıfır veya negatif olduğunda ayrılır ve kısıtlama kaldırılır. Yüzeyler temas halinde olduğunda, arayüzleri boyunca genellikle kesme kuvvetinin yanı sıra normal kuvvetleri de iletirler. Bu nedenle, analizin, yüzeylerin görelî kaymasına direnen sürtünme parametrelerini hesaba katması gerekebilir. Model, bir sürtünme katsayısı kullanarak yüzeyler arasındaki sürtünme davranışını karakterize eder.

Ek olarak, yüzeyler arasında bir üstünlük vardır ve bunları "master surface" ve "slave surface" olarak sınıflandırır. Ana yüzey (master surface), etki eden yüzeydir, köle yüzey (slave surface) ise bir dış kuvvetin etkisine maruz kalan yüzeydir. İki cisim birbirine temas ettiğinde, delip geçmeler tespit edilir ve temas kısıtlamaları, kısıt uygulama yöntemine (kinematik veya ceza) göre uygulanır. Master-slave ağırlıklandırma, sadece slave nodların master taraflar girmesine direnir. Slave yüzeyindeki mesh yeterince artırılmış sürece, Şekil 2.8'de gösterildiği gibi, master nodların slave yüzeyine girmeleri tespit edilemeyebilir.



Şekil 2.8. Ana düğümlerin köle yüzeyine girmesi (Abaqus, 2014)

Ancak, dengeli bir ana-köle teması sadece ikinci geçişte yüzeyleri tersine çevirerek, iki kez ana-köle yaklaşımı uygular. Temas kısıtlamaları bir dizi köle olarak yüzey 1 ile elde edilir ve kısıtlamalar başka bir dizi köle olarak yüzey 2 ile elde edilir. Hızlanma düzeltmeleri veya kuvvetler, iki hesaplamanın ağırlıklı ortalaması alınarak elde edilir. Kinematik dengeli ana-köle temas için ikinci bir düzeltme kalan penetrasyonları çözmek için yapılır. Dengeli ana-köle temas kısıtlaması aşağıdaki Şekil 2.9 'de gösterilmiştir.



Şekil 2.9. Dengeli usta-köle teması

Bununla birlikte, temas çifti algoritması için ABAQUS / Explicit, ilgili iki yüzeyin yapısına ve kullanılan kısıt uygulama yöntemine bağlı olarak belirli bir temas çifti için hangi

tip ağırlıklandırmanın kullanılacağına otomatik olarak karar verecektir. ABAQUS / Explicit, mevcut yapılandırmada düğümünden yüze ve uçtan kenara geçişleri arayan bir ceza temas yöntemi kullanarak temas kısıtlamalarını uygular. Temas kuvveti ile penetrasyon mesafesini ilişkilendiren ceza sertliği, ABAQUS / Explicit tarafından otomatik olarak seçilir, böylece zaman artışı üzerindeki etki minimumdur, ancak delip geçme önemli değildir. Oysaki temas çiftleri için normal temas kısıtlaması isteğe bağlı olarak kinematik yöntemin yapamayacağı bazı temas türlerini modelleyebilen ceza temas yöntemiyle uygulanabilir.

2.3.3. Açık Analiz

Yazılım, çeşitli analiz türleri sunar. Dynamic Explicit, prosedüründeki bazı avantajları nedeniyle ABAQUS hesaplama analizi adımı olarak benimsenmiştir. Herhangi bir mekanik sistemin davranışı için geçerli olan ve tüm doğrusal olmayanlıkları (büyük deformasyonlar, doğrusal olmayan malzemenin tepkisi, temas) içeren dinamik denge denklemlerine dayanmaktadır. iç eleman kuvvetleri (I) diğer dış kuvvetlerden (P) izole edilmiştir. Topaklanmış kütle matrisi M, programın düğüm ivmelerini aşağıdaki denklemleri kullanarak herhangi bir zamanda kolayca hesaplamasına izin verir:

$$M\ddot{u} = P - I \quad (2.1)$$

$$\ddot{u} \Big|_{t(t)} = M^{-1} * (P - I) \Big|_{t(t)} \quad (2.2)$$

M: kütle matrisi anlamına gelir,

ü: düğüm ivmeleri;

P: dış uygulamalı kuvvetler;

I: iç eleman kuvvetleri

Açık (explicit) prosedür her zaman köşegen veya toplu bir kütle matrisi kullandığından, ivmeleri çözmek önemsizdir; Çözülecek eşzamanlı denklem yoktur. Herhangi bir düğümün ivmesi tamamen kütle ve ona etki eden net kuvvet tarafından belirlenir, bu da düğüm hesaplamalarını çok ucuz hale getirir. İvmeler, ivmenin sabit olduğunu varsayarak hızdaki değişikliği hesaplayan merkezi fark kuralı kullanılarak zaman

boyunca entegre edilir. Hızdaki bu değişiklik, mevcut artışın ortasındaki hızları belirlemek için önceki artışın ortasından itibaren hıza eklenir (Abaqus, 2014).

Aslında artımın başındaki dinamik denge ivmeleri sağlar. İvmeleri bilmek, hızlar ve yer değiştirmeler zaman içinde "açıkça" iletir. "Açık" terimi, artımın sonundaki durumun yalnızca artışın başlangıcındaki yer değiştirmelere, hızlara ve ivmelere dayandığı gerçeğini ifade eder. Bu yöntem, sabit ivmeleri tam olarak bütünleştirir. Yöntemin doğru sonuçlar üretmesi için, zaman artışlarının oldukça küçük olması gerekir, böylece bir artış sırasında ivmeler neredeyse sabittir. Zaman artışlarının küçük olması gerektiğinden, analizler tipik olarak binlerce artış gerektirir. Neyse ki, her bir artış ucuzdur çünkü çözülecek eşzamanlı denklemler yoktur. Hesaplama maliyetinin çoğu, düğümler üzerinde hareket eden elemanların iç kuvvetlerini belirlemek için eleman hesaplamalarında yatmaktadır. Eleman hesaplamaları, eleman gerilimlerini belirlemeyi ve eleman gerilimlerini ve dolayısıyla iç kuvvetleri belirlemek için malzeme kurucu ilişkileri (eleman sertliği) uygulamayı içerir.

2.3.4. Açık ve Örtük Arasındaki Fark

Örtük ve açık prosedürler için denge, daha önce belirtilen formül (2.2) 'e göre tanımlanır (yani dış uygulamalı kuvvetler, iç eleman kuvvetleri ve düğüm ivmeleri). Her iki prosedür de düğüm ivmelerini çözer ve iç eleman kuvvetlerini belirlemek için aynı eleman hesaplamalarını kullanır. İki prosedür arasındaki en büyük fark, düğüm ivmelerinin hesaplanma biçiminde yatmaktadır. Örtük prosedürde, bir dizi doğrusal denklem, bir doğrudan çözüm yöntemi ile çözülür. Bu denklem setini çözenin hesaplama maliyeti, açık yöntemle nodal hesaplamaların nispeten düşük maliyetiyle karşılaştırıldığında yüksektir.

2.3.5. Açık Yöntemin Avantajları

Açık yöntem, özellikle yüksek çözünürlüklü bir çözüm elde etmek için çok sayıda küçük artış gerektiren yüksek hızlı dinamik olayları çözmek için çok uygundur. Olayın süresi kısaysa çözüm verimli bir şekilde elde edilebilir. Temas koşulları ve diğer son derece kesintili olaylar, açık yöntemde kolayca formüle edilir ve yineleme olmadan düğümden düğüme esasına göre zorlanabilir. Düğüm ivmeleri, temas sırasında dış ve iç kuvvetleri dengelemek için ayarlanabilir. Açık yöntemin en çarpıcı özelliği, örtük yöntemlerde gerekli

olan global bir teġet sertlik matrisinin olmamasıdır. Modelin durumu açıkça ilerletildiğinden, yinelemeler ve toleranslar gerekli değıldir.

2.3.6. Doğrusal Olmayan Analiz Kavramı

Doğrusal olmayan analiz, elastik aralıktan bir yapının tam yapısal tepkisini çatlama ve ezilme yoluyla kırılmaya kadar izleyebilen bir analizdir. Öte yandan, genellikle bir duvar montajında en zayıf halka olan ve belirgin doğrusal olmayan davranışla karakterize edilen harç veya kuru derzlerin varlığı, orta dereceli yükler için bile, duvar yapıları üzerinde doğrusal olmayan bir tepkiye neden olur. Bu nedenle, sayısal analizin en eksiksiz yöntemi olan doğrusal olmayan davranış, yığma yapıların sayısal simülasyonlarında kullanılacak en uygun yaklaşım olarak karşımıza çıkmaktadır. Ancak daha önce de belirtildiği gibi kullanımı, analizden hangi hedeflerin gerekli olduğuna bağlıdır. Aranılan bilgiye daha basit bir yöntem kullanılarak ulaşılabilirse, ki bu daha ucuz veya analistin uzmanlığıyla daha uyumlu bir şekilde sonuçlanıyorsa, o zaman kullanımı tavsiye edilir.

Yapısal mekanik simülasyonlarında üç doğrusal olmama kaynağı vardır:

- Malzeme doğrusal olmaması.
- Sınır doğrusal olmama.
- Geometrik doğrusal olmama.

Bir malzemenin doğrusal davranışı, aşağıda Hooke'un formülüyle gösterilen, mükemmel şekilde tersine çevrilebilir bir gerilimi tanımlar.

$$\sigma = E\varepsilon \quad (2.3)$$

σ : gerilme;

E: Young modülü;

ε : şekil yer değıştirme

2.3.7. Malzeme Doğrusal Olmama

Yapılardaki davranışın gerçekçi bir şekilde, özellikle de kırılmaya yakın bir şekilde simülasyonu, beton çatlaması ve donatı akması gibi etkilerin varlığından dolayı malzeme

doğrusal olmayışının dikkate alınmasını gerektirir. Yığıma yapı gelince, doğrusal olmama durumu, gerilme ve yerdeğiştirme arasındaki ilişki artık doğrusal olmadığında ortaya çıkar. Basit doğrusal elastik durumda olduğu gibi, gerilme ve yerdeğiştirmenin doğrudan orantılılığı artık varsayılmaz. Doğrusal olmayan malzeme modelleri, malzeme içerisindeki mikro-mekanik etkilerle de ilgili olduğundan, malzemenin gerçek davranışına yaklaşırlar. Ancak, malzemenin doğrusal olmayan etkileri, yüklemenin büyüklüğüne ve süresine ve bazen de çevresel koşullara bağlı olarak önemli olabilir veya olmayabilir. Malzeme doğrusal olmama durumu, gerilim dışındaki faktörlerle ilişkili olabilir. Gerilme oranına bağlı malzeme verileri ve malzeme arızası, malzeme doğrusal olmama biçimidir. Malzeme özellikleri ayrıca sıcaklık ve diğer önceden tanımlanmış alanların bir işlevi olabilir. Matris formunda, Hooke'un izotropik malzemeler için kanunu aşağıdaki gibi yazılabilir:

$$\{\sigma\} = [D]\{\varepsilon\} \quad (2.4)$$

[D] bir matris biçiminde olduğunda

Bu matris denklemi, düzlem şekil değiştirme veya düzlem gerilme formunda olabilir.

✓ Düzlem şekil

Düzlem şekil değiştirme elemanları, yüklü bir cisim veya alandaki gerilmelerin tek başına düzlemsel koordinatların fonksiyonları olduğu ve düzlem dışı normal ve kayma gerinimlerinin sıfıra eşit olduğu varsayılabilir (bu, Z yönünde sıfır gerinim anlamına gelir). Düzlem şekil değiştirme yöntemi, Z boyutunun X ve Y boyutlarından çok daha büyük olduğu tünel, baraj gibi bileşenler için geçerlidir.

Düzlem şekil değiştirme koşullarında, $\varepsilon_z = \gamma_{xz} = \gamma_{yz} = 0$. Bu durumda Hooke kanunu aşağıdaki şekilde olur:

$$\begin{Bmatrix} \sigma_x \\ \sigma_y \\ \tau_{xy} \end{Bmatrix} = \frac{E}{(1+\nu)(1-2\nu)} \begin{pmatrix} 1-\nu & \nu & 0 \\ \nu & 1-\nu & 0 \\ 0 & 0 & \frac{1-2\nu}{2} \end{pmatrix} \begin{Bmatrix} \varepsilon_x \\ \varepsilon_y \\ \gamma_{xy} \end{Bmatrix} \quad (2.5)$$

✓ Düzlem gerilme

Düzlem gerilme elemanları, bir gövdenin veya alanın kalınlığı yanal (düzlem içi) boyutlarına göre küçük olduğunda, yani bileşen Z boyutu X ve Y boyutlarından daha küçük olduğunda kullanılabilir. Gerilmeler, tek başına düzlemsel koordinatların işlevleridir ve düzlem dışı normal ve kayma gerilmeleri sıfıra eşittir. Bu modelleme yöntemi genellikle, düzlem içi yüklemeli duvar, levha gibi ince yapılar için geçerlidir.

Düzlem gerilme koşulları altında, σ_z , τ_{xz} ve τ_{yz} sıfırdır. Bu durumda Hooke kanunu aşağıdaki şekli alır:

$$\begin{Bmatrix} \sigma_x \\ \sigma_y \\ \tau_{xy} \end{Bmatrix} = \frac{E}{1-\nu^2} \begin{pmatrix} 1 & \nu & 0 \\ \nu & 1 & 0 \\ 0 & 0 & \frac{1-\nu}{2} \end{pmatrix} \begin{Bmatrix} \varepsilon_x \\ \varepsilon_y \\ \gamma_{xy} \end{Bmatrix} \quad (2.6)$$

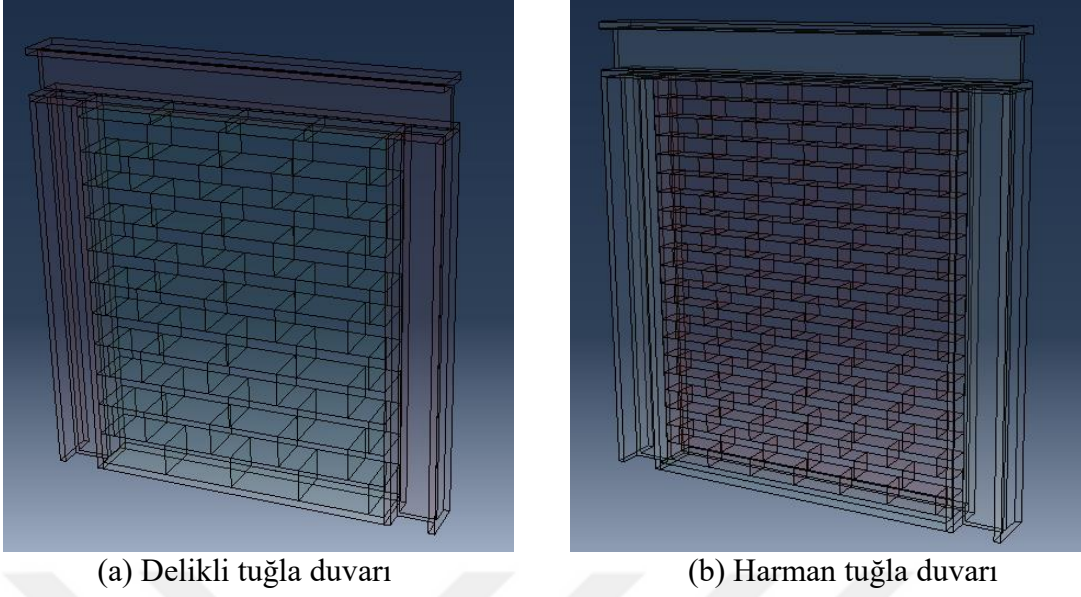
Bu denklemlerden, malzemelerin özellikleri olan elastisite modülü E ve Poisson ν oranına bağlı olduğunu görüyoruz

Tüm gerçek yapılar üç boyutlu olduğu için, burada sunulan teoriler açıklama amaçlıdır, çünkü ABAQUS'un bu versiyonu, yapının boyutlandırılmasına göre problem tipini (düzlem gerinimi veya düzlem gerilimi) otomatik olarak seçmekten sorumludur. Duvar kalınlığı (185cm) göz önüne alındığında bu tür problemler düzlemsel gerilme olarak kabul edilir.

2.3.8. Üç Boyutlu Modellerin İskeleti

Delikli tuğla ile oluşturulmuş bir duvarı modellemek için tuğlaların dizilişinde benimsenen teknik "gergi bağı" tekniğidir. Daha önce de belirtildiği gibi bu teknik en yaygın olanıdır. Harman tuğlasının oluşturduğu duvara gelince, bu tuğlaların bazen şekillerinde kusurlar içerdiği dikkate alınarak, bu durumda farklı bir düzenleme benimsenmiştir.

Şekil 2.10.'da, bu yapıları oluşturan elemanların şeffaf düzenlemesini gösteren resimler gösterilmektedir.

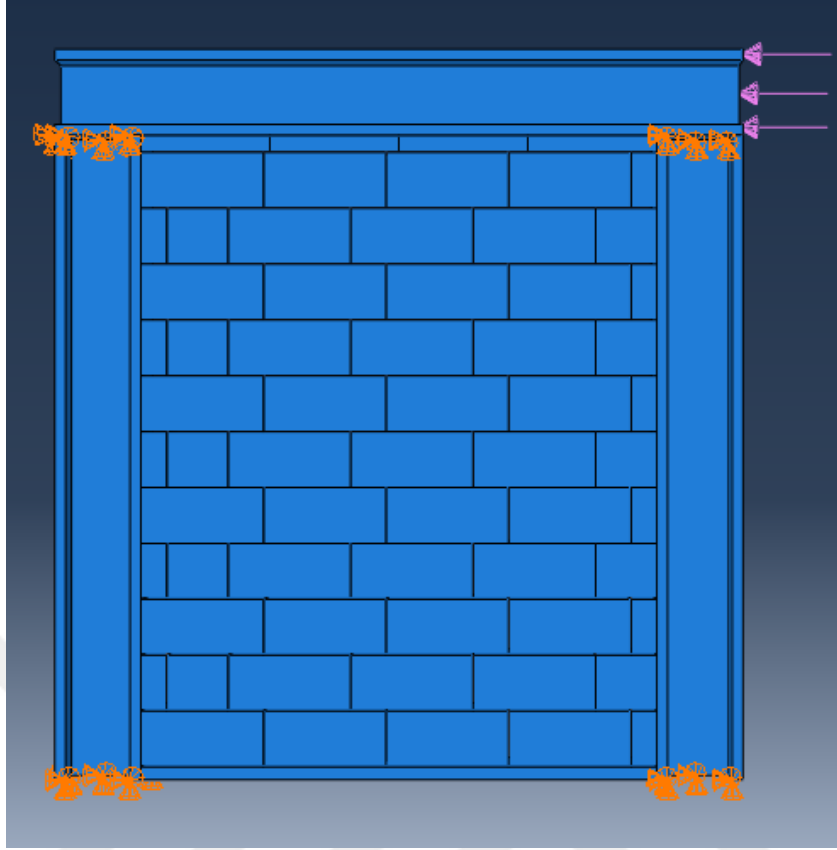


Şekil 2.10. Duvarların şeffaf üç boyutlu modeli

2.3.9. Sınır Doğrusal Olmama

Analiz sırasında sınır koşulları değişirse sınır doğrusal olmama oluşur. Bir simülasyon sırasında temas oluştuğunda sınır doğrusal olmayan son derece süreksizdir, yapının tepkisinde büyük ve anlık bir değişiklik olur. Gerçekte, herhangi bir yapısal elemana sonuç olarak bir yük uygulanırsa, elemanın ucundaki sınır koşulunda ani bir değişiklik olur. Bu, daha fazla sapmayı önler ve bu nedenle, elemanın tepkisi artık doğrusal değildir.

ABAQUS'ta pimli mafsallar, sınır koşulları araçlarına göre kullanılır. Bu mafsallar aşağıdaki şekilde turuncu renkte gösterilmiştir.



Şekil 2.11. Sınır koşulları kullanımı ve yanal döngüsel kuvvetlerin uygulanması

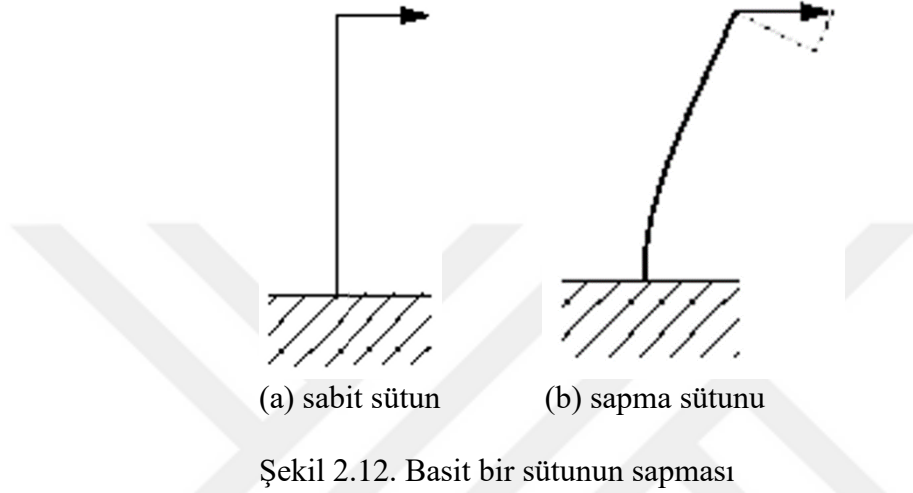
2.3.10. Geometrik Doğrusal Olmama

Bu tip doğrusal olmama, analiz sırasında yapının geometrisindeki değişikliklerle ilgilidir. Yapının deforme şekli, yer değiştirmeleri büyütmeden orijinal geometriden farklı görünüyorsa etkileri önemli olmalıdır. Geometrik doğrusal olmayan etkiler yapının boyutları ve sınır koşulları ile ilgili olduğundan, büyük yer değiştirmeler için belirgin bir sınır yoktur. Geometrik doğrusal olmayanlık, yer değiştirmelerin büyüklüğü yapının tepkisini etkilediğinde ortaya çıkar. Bunun nedeni şunlar olabilir:

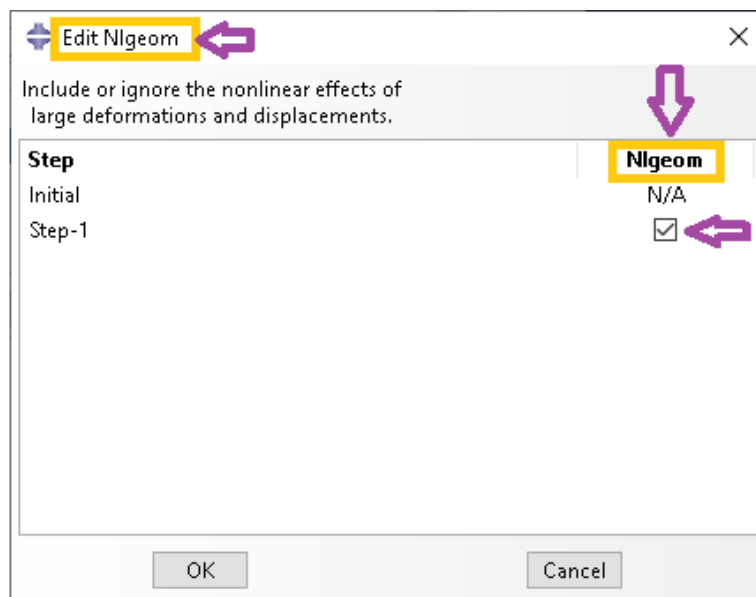
- Büyük sapmalar veya rotasyonlar.
- İlk gerilmeler veya yük pekişme.

Örneğin, yanal bir kuvvetin uygulandığı zeminde sabit desteği olan bir sütun gibi basit bir eleman varsayarsak. Uç sapması küçükse, analiz yaklaşık olarak doğrusal olarak düşünülebilir. Bununla birlikte, uç sapmaları büyükse, yapının şekli ve dolayısıyla sertliği değişir. Ayrıca yük kolona dik kalmazsa, yükün yapı üzerindeki etkisi önemli ölçüde değişir. Sütun saparken, yük, sütuna dik bir bileşene ve sütunun uzunluğu boyunca hareket eden bir

bileşene ayrılabilir. Bu etkilerin her ikisi de elemanın doğrusal olmayan tepkisine katkıda bulunur (yani, taşıdığı yük arttıkça kolonun sertliğinin değişmesi). Yapıların yük taşıma şekli üzerinde büyük sapmaların ve dönüşlerin önemli bir etkisi olması beklenebilir. Bununla birlikte, geometrik doğrusal olmamanın önemli olması için yer değiştirmelerin yapının boyutlarına göre büyük olması gerekmez.



Geometrik doğrusal olmayan Abaqus'ta çok önemlidir, istenen modele göre onu etkinleştirmek veya devre dışı bırakmak için tam bir pencere vardır. Şekil 2.13'te gösterildiği gibi "Nlgeom" adını alır.



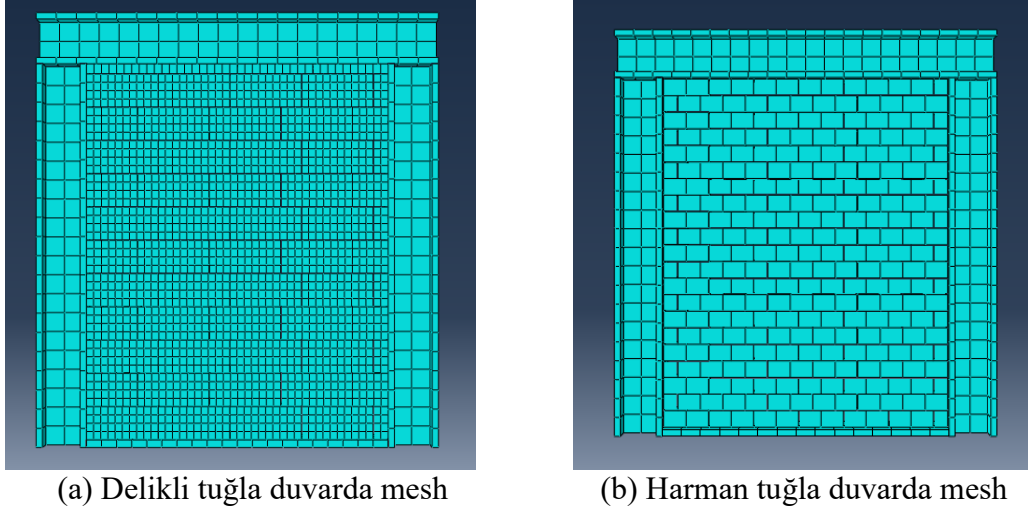
Şekil 2.13. Doğrusal olmayan geometri seçimini gösteren pencere

Diğer doğrusal olmayan durumlar, doğası gereği sınır koşullarına veya malzemelerin özelliklerine bağlıdır.

2.3.11. Mesh Tanımı ve Dağıtımı

Mesh, hücrelerden ve noktalardan oluşan bir ağıdır. Her boyutta hemen hemen her şekle sahip olabilir ve Kısmi Diferansiyel Denklemleri çözmek için kullanılır. Mesh'in her hücresi, tüm ağ için birleştirildiğinde tüm ağ için bir çözümle sonuçlanan bağımsız bir denklem çözümünü temsil eder. Nesnenin içindeki karmaşıklık nedeniyle tüm nesneyi daha küçük parçalara bölmeden çözmek imkansız olabilir. Delikler, köşeler ve açılar çözücülerin bir çözüm elde etmesini son derece zorlaştırabilir. Öte yandan, küçük hücrelerin çözülmesi nispeten kolaydır ve bu nedenle tercih edilen stratejidir. Yaygın olarak ızgaralar olarak da adlandırılan yapılandırılmış Meshler, yapısı ve oluşumu, komşu hücrelerin ve noktaların kolay tanımlanmasına izin veren ağlardır. Bu özellik, yapılandırılmış ağların analitik koordinat sistemleri (dikdörtgen, eliptik, küresel vb.) üzerine uygulandığı ve düzenli bir ızgara oluşturduğu gerçeğinden kaynaklanmaktadır.

elikli tuğlalar, iç gözeneklilikleri göz önüne alındığında, daha ince bir mesh (yaklaşık 2.9 mm) yapılmasına karar verilmiştir. Harman tuğlalar için yüksek sayılar göz önüne alındığında düğümler arasında çok daha fazla temas anlamına gelirken, 10 mm'lik bir ağ yapılması tercih edilmiştir. Öte yandan çelik çerçeve, malzemenin aynı olmaması nedeniyle farklı bir mesh'e sahiptir, analizi kolaylaştırmak için çeliğin biraz daha büyük birbirine geçmesi tercih edilmiştir. Farklı elemanlar arasındaki temas sayısı yüksek olduğundan, düğümlerin oluşturulması da bundan daha ince bir Mesh oluşturmak mümkün olmadığı için yazılım işletim hataları veriyor.



Şekil 2.14. Farklı duvarlarda mesh kullanımı

2.3.12. Belirli Standartlara ve Çalışmalara Göre Malzeme Özellikleri

Tuğlalar çeşitlidir ve özellikleri de ülkeye ve kullanılan standarda göre değişir. Özelliklerdeki farklılık, onu oluşturan kimyasalların içeriğine de bağlıdır.

Tablo 2.1. Malzeme özelliklerinin karşılaştırılması dekili tuğla için

Standartlar veya önceki çalışmalar	Elastisite modülü (MPa)	Poisson oranı	Basınç dayanımı (MPa)
ASTM C270	3500-15000	0.20-0.213	2.35-10.1
Zengin vd. (2017)	1427	vermemiş	6.38
Bakhteri vd. (2004)	3750	0.2	5.8

Tablo 2.2. Malzeme özelliklerinin karşılaştırılması harman tuğla için

Standartlar veya önceki çalışmalar	Elastisite modülü (MPa)	Poisson oranı	Basınç dayanımı (MPa)
ASTM C270	5000-37500	0.21-0.29	15-120
Zengin vd. (2017)	vermemiş	vermemiş	vermemiş
Bakhteri vd. (2004)	6183.94	0.21	14.27

Tablo 2.3. Malzeme özelliklerinin karşılaştırılması harç için

Standartlar veya önceki çalışmalar	Elastisite modülü (MPa)	Poisson oranı	Basınç dayanımı (MPa)
ASTM C270	3500-17000	0.211-0.213	2.8-7.89
Zengin vd. (2017)	16723	vermemiş	12.5
Bakhteri vd. (2004)	3328.8	0.25	7.25

2.3.13. Basitleştirilmiş Modelleme İçin Ayrıklaştırma Yöntemi

Basitleştirilmiş modellemeyi simüle etmek için ayrık eleman yöntemi kullanılmıştır. İlk olarak, ayrık elemanlar teorisi, bir sistemi oluşturan elemanların dinamik kuvvetlerin etkisi altında deforme olabilir veya değiştirilebilir olduğunu varsayar. Aslında, farklı elemanlar yöntemi olarak da adlandırılan Ayrık Elemanlar Yöntemi (AEY), çok sayıda küçük parçacığın hareketini ve etkisini hesaplamaya izin veren sayısal yöntemler ailesinin bir parçasıdır. AEY, dinamiklerle çok yakından ilişkili olsa da, yöntem genellikle dönme serbestlik derecelerinin yanı sıra durum bilgisi olan temas ve genellikle karmaşık geometrilerin dahil edilmesiyle ayırt edilir. AEY'lerin etkileşen nesnelere koleksiyonlarını temsil etme yeteneği, yığma yapının süresiz doğasını hesaba katmayı mümkün kılar. Yapının açıklaması, kurumlar arasındaki etkileşimleri tanımlayan temas yasaları tanımlanarak yerel ölçekte yapılır. Küresel davranış daha sonra yerel davranıştan çıkarılır.

Bu çalışmada, ABAQUS yazılımının modellemesini basitleştirmek ve hesaplama ve analiz sürelerini kısaltmak amacıyla harç derz ve tuğla / harç arayüzleri tek bir arayüzde bir araya getirilmiştir. Ayrıca, modelde uygulanan temas yasası, bu nedenle, eklem ve tuğla / harç arayüzlerinin davranışını temsil edecek şekilde bloklar arasındaki arayüzün davranışını yansıtmalıdır.

Genel olarak, AEY'ler birkaç ilkeye dayanmaktadır (Dubois vd, 2007):

- Etkileşimler ikilidir, yani yalnızca temas halindeki iki öğenin özelliklerine bağlıdır. Bu nedenle bir nesnenin kinematiği, onun yüklerine ve diğer öğelerle etkileşimlerine bağlıdır.
- Temas bölgesi, elemanın boyutuna göre küçüktür: temas noktası olarak kabul edilebilir.
- Deformasyon, temasın yakınında sınırlı kalır. Bedenler daha sonra katı olarak kabul edilebilir.

- Etkileşimler birbirinden bağımsızdır, böylece temas kuvveti, kontakların çevresindeki deformasyondan belirlenebilir.

Öte yandan, bir mikro modelleme, yani özellikleri yönlere göre farklı olan birçok malzemeyi içeren bir dizi heterojen eleman olduğundan, modellenen duvarlar yazılımda anizotropik olarak kabul edilir.

Malzemelerin özellikleri, hem ulusal hem de uluslararası, çeşitli araştırmalardan geliyor. Bu özelliklerin bazıları birçok akademik ders kitabında bulunan standartlar haline gelmiştir. Bu, 2.10^5 MPa 'lık bir elastisite modülü olan ASTM A36'nın yapısal çeliği, bir Poisson'un 0.3 oranını ve $7.7 \cdot 10^{-9}$ t / mm³ yoğunluğuna sahip olmasıdır.

Tablo 2.4'teki değerler Lourenço'nun deneysel çalışmasından alınmıştır (Lourenço, 1998).

Tablo 2.4. Çelik özellikleri

Çelik		
Yoğunluk d_1 (t/mm ³)	Young Modülü E_1 (MPa)	Poisson oranı ν
7.7E-09	2E+05	0.30

Tablo 2.5. Mikro modelleme için delikli tuğla elastik özellikler

Delikli Tuğla							
Yoğunluk d_2 (t/mm ³)	Young Modülü E_2 (MPa)	Poisson oranı ν	Hasar plastisite özellikleri				
			Genişleme açısı ψ (°)	Eksantriklik	f_{b0}/f_{c0}	K	Viskozite
1.6E-09	16700	0.20	30	0.1	1.16	0.67	0.002

Tablo 2.6. Mikro modelleme için harman tuğla elastik özellikler

Delikli Tuğla							
Yoğunluk d_2 (t/mm ³)	Young Modülü E_2 (MPa)	Poisson oranı ν	Hasar plastisite özellikleri				
			Genişleme açısı ψ (°)	Eksantriklik	f_{b0}/f_{c0}	K	Viskozite
1.6E-09	18350	0.21	18	0.1	1.16	0.67	0.002

Delikli Tuğla'nın özelliklerine gelince, arayüz elemanları için tanımlanan normal rijitlik (K_{nn}) ve teğetsel rijitliğin (K_{ss}, K_{tt}) değerleri, diğer yandan Lourenço (Lourenço,

1998) çalışmalarında belirlendi. Diğer taraftan, bu çalışma Dolatshahi (Dolatshahi vd, 2014) tarafından onaylanmıştır. Daha sonra, Li, Masia ve diğerleri (Li, Masia vd, 2019) tarafından yürütülen diğer son araştırmalar, Mod I ve II (Gf_I ve Gf_{II}) için enerji kırılma değerlerinin aralıklarını sınırlandırmıştır. Bu değerler, Gf_{II} için $0.5 \text{ Nmm} / \text{mm}^2$ Gf_I ve $0.025 \text{ Nmm} / \text{mm}^2$ arasında değişmektedir. Kırılma enerjisi, tuğla ünitesinin, hattın başarısızlığını etkilediği için çok önemli bir özelliktir, bu da tepe yükünün ve arıza modunun tuğla ünitelerinin başarısızlığına hakim olduğu anlamına gelir. Tuğla ünitesinin kırılma enerjisi, analiz sırasında daha önemli bir rol oynar, çünkü tuğlaların yatay bükülmesine etki eder. İki eksenli durumdaki direnç oranına gelince, ABAQUS belgeleri bu parametre için varsayılan 1.16 değerini gösterir.

Tablo 2.7. Delikli tuğla arayüz elemanının özellikleri

Kohezif davranış			Temas özellikleri			
K_{mn}	K_{ss}	K_{tt}	Teğetsel davranış	Hasar		
			Sürtünme katsayısı	Normal	Kayma-1	Kayma-2
70	40	40	0.7	0.23	0.15	0.15

Tablo 2.8. Harman tuğla arayüz elemanının özellikleri

Kohezif davranış			Temas özellikleri			
K_{mn}	K_{ss}	K_{tt}	Teğetsel davranış	Hasar		
			Sürtünme katsayısı	Normal	Kayma-1	Kayma-2
86	50	50	0.8	0.5	0.33	0.33

Ayrıca Beton Hasarı Plastisite yaklaşımı da dikkate alınır, bu durumda betonun elastik olmayan özellikleri yerine kullanılan tuğlalardır, çünkü daha önce bahsedilen kırılma enerjileri ile bağlantılı olan budur. Lee ve Fenves (Lee ve Fenves, 1998) yaptıkları testlerde iki ana kırılma mekanizmasının malzemenin gerilmeyle çatlaması ve sıkıştırarak ezilmesi olduğunu bulmuşlardır. Laboratuvar modelleri, duvar başarısızlığının tek eksenli gerilme, tek eksenli sıkıştırma ve plastiklik özellikleri kullanılarak etkili bir şekilde modellenebileceğini varsayar. Kullanılan hasar değerleri araştırma çalışmalarından gelir ve aşağıdaki tablolarda yer almaktadır.

Tablo 2.9. Delikli tuğla için hasar parametresi

Basınç davranışı			Çekme davranışı		
Akma dayanımı (MPa)	Inelastik Şekil değiştirme (mm)	Hasar parametresi	Akma dayanımı (MPa)	Inelastik Şekil değiştirme (mm)	Hasar parametresi
15.32	0	0	12.16	0	0
22.7	1.25E-04	2.85E-02	10.75	4.02E-05	3.85E-01
38.25	3.43E-03	4.53E-01	7.01	2.96E-04	9.00E-01
42.1	7.55E-03	8.89E-01	4.33	8.07E-04	9.96E-01

Tablo 2.10. Harman tuğla için hasar parametresi

Basınç davranışı			Çekme davranışı		
Akma dayanımı (MPa)	Inelastik Şekil değiştirme (mm)	Hasar parametresi	Akma dayanımı (MPa)	Inelastik Şekil değiştirme (mm)	Hasar parametresi
23.71	0	0	17.01	0	0
39.28	1.44E-04	2.85E-02	13.21	6.05E-05	4.42E-01
46.85	3.43E-03	6.1E-01	9.09	4.73E-04	8.19E-01
58.12	8.10E-03	7.29E-01	6.42	1.02E-03	9.66E-01

2.3.13. Modellemede Döngüsel Kuvvet

ABAQUS'taki döngüsel kuvvetleri simüle etmek için, bir zaman aralığı ve kuvvetler almak gerekir. Alınan toplam süre 0 ile 0.5 saniye arasında değişmektedir. Simülasyon son derece zor olduğundan, yalnızca bu 0.5 saniyelik değer, süre boyunca maksimum değer olarak muhafaza edildi. Ancak uygulanan kuvvet aralığı duvar tipine göre değişir.

b) Delikli tuğla duvar üzerinde

Delikli tuğla duvarlarında kullanılan devirli kuvvetler -100 ile 100 KN arasında değişmektedir. İlk çatlaklar, 47 KN'lık bir sıkıştırma kuvveti için $t = 0.096$ saniyede ortaya çıkar, bu nedenle çok düşük yer değiştirme oluşturur.

Yükler uygulandığında, en fazla hasara neden olan nihai yük, gerilim -100'e eşit olduğunda gözlenir. Yük kapasitesine Şekil 3.12'de gösterildiği gibi 0.14 saniyede ulaşılır.

Bu mikro modelleme (delikli tuğla duvarı için) sonucu bilgisayarın koşturmasını yaptığı dört gün sonra elde edilmiştir.

b) Harman tuğla duvar üzerinde

Bu tip tuğla için 100 KN'luk kuvvetler duvarın görünümü üzerinde çok az etkiye sahipti. Simülasyon aralığı daha sonra değiştirilerek 186 ve -186 KN'ye çıkarılmıştır. Bu maksimum kuvvetle, en büyük kopmalar ve yer değiştirmeler 0.35 saniye sonra meydana geldi ve bulgular bir sonraki bölümde olacaktır.

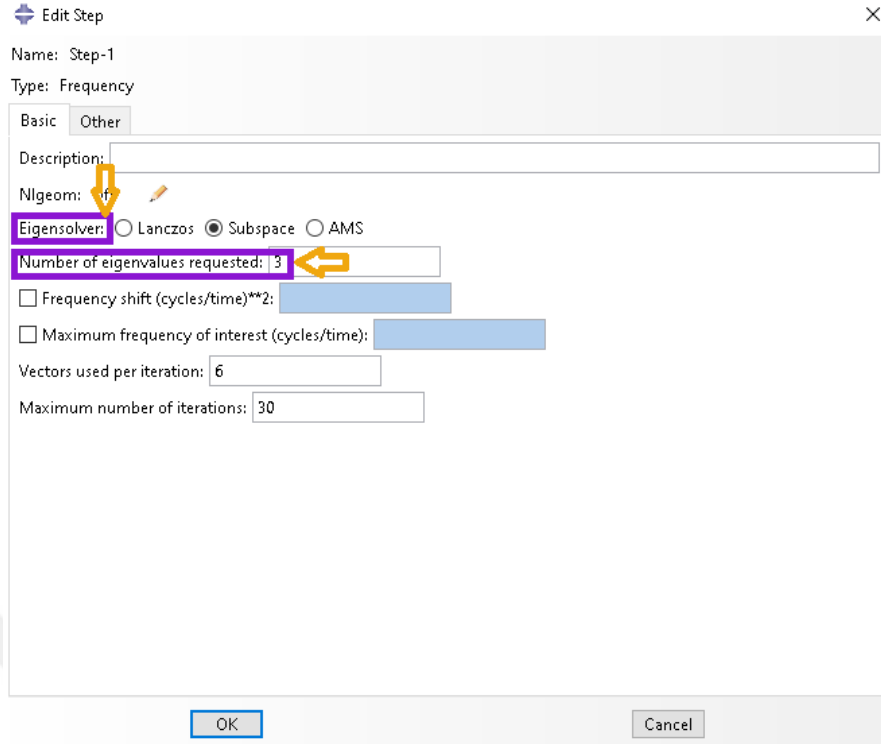
Harman tuğla duvar işleminin zamanına gelince, bu tip duvarların sonuçlarının alınması beş gün sürmüştür.

Ayrıca iki çeşit tuğla (delikli ve harman), biri gözenekli, o zaman daha az dayanıklı, diğeri gözeneksiz dolayısıyla dayanıklıdır. Bu fark bir yandan analiz sürelerindeki farklılığı etkiler. Öte yandan farklı özelliklere sahip olmaları nedeniyle bilgisayarın koşturma süresinin uzamasına da sebep olur.

2.4. Modal Analiz

2.4.1. Spektral Modal Süperpozisyon Yöntemi

Modal analiz, aynı sistemin doğal frekanslarını ve mod şekillerini elde etmeyi mümkün kılan bir sistemin dinamik özelliklerinin incelenmesidir. Frekansları hesaplamak ve Şekil modlarını bulmak için ABAQUS programı, yapının ilgili özmodlarının modal süperpozisyon ilkesine dayanmaktadır. Aşağıdaki şekilde, problem çözme türünün yanı sıra "Eigensolver" seçilmiştir. "Subspace", mod şekilleri ve frekansları nispeten kısa bir sürede elde etmeye yardımcı olduğu için seçilmiştir.



Şekil 2.15. Abaqus'ta modal analiz seçimi ve mod sayısı

Chopra (Chopra, 2006) bir yapının dinamik dengesini şu şekilde tanımlar:

$$[M]\{\ddot{x}(t)\} + [C]\{\dot{x}(t)\} + [K]\{x(t)\} = -[M]\{r\}\{\ddot{u}_g\} \quad (2.7)$$

Önceki ifade, denklemleri frekanslardan ve modal formlardan ayırabilmek için değiştirilir:

$$x(t) = \sum_{i=1}^N \phi_i y_i(t) \quad \text{ile} \quad (2.8)$$

Yukarıdakileri değiştirerek ve her modal form için denklemini ifade ederek $\{\phi_i\}$:

$$\{\phi_i\}^T [M]\{\phi_i\} \ddot{y}_i(t) + \{\phi_i\}^T [C]\{\phi_i\} \dot{y}_i(t) + \{\phi_i\}^T [K]\{\phi_i\} y_i(t) = -\{\phi_i\}^T [M]\{r\} \ddot{u}_g(t) \quad (2.9)$$

Daha sonra matrislerin çarpımları her bir $i = 1..N$ için aşağıdaki ifadelerle değiştirilir:

$$\mathbf{M}_i = \{\phi_i\}^T [\mathbf{M}] \{\phi_i\} \quad (2.10)$$

$$\begin{cases} \mathbf{K}_i = \{\phi_i\}^T [\mathbf{K}] \{\phi_i\} \\ \mathbf{C}_i = \{\phi_i\}^T [\mathbf{C}] \{\phi_i\} \\ \mathbf{L}_i = \{\phi_i\}^T [\mathbf{M}] \{\mathbf{r}\} \end{cases} \quad (2.11)$$

Sonra bu formülü elde edilmiştir:

$$\mathbf{M}_i \ddot{y}_i(t) + \mathbf{C}_i \dot{y}_i(t) + \mathbf{K}_i y_i(t) = -\mathbf{L}_i \ddot{u}_g(t) \quad (2.12)$$

Modal sönümleme matrisinin kütle ve rijitlik matrislerinden tanımlandığı ve sadece köşegenindeki elemanı şu şekilde ifade ettiği varsayılır:

$$\mathbf{C}_i = 2\mathbf{M}_i \omega_i \beta_i \quad (2.13)$$

Son olarak, dönemin bir fonksiyonu olarak $S_a(T)$ elde etmek için bir ivme spektrumu kullanarak, yapının her serbestlik derecesi için maksimum yer değiştirme, hız ve ivme tepkileri elde edilir:

$$\begin{cases} x_{i\text{Max}} = \{\phi_i\} \frac{\mathbf{L}_i S_a(T_i)}{\mathbf{M}_i \omega_i^2} \\ \dot{x}_{i\text{Max}} = \{\phi_i\} \frac{\mathbf{L}_i S_a(T_i)}{\mathbf{M}_i \omega_i} \\ \ddot{x}_{i\text{Max}} = \{\phi_i\} \frac{\mathbf{L}_i S_a(T_i)}{\mathbf{M}_i} \end{cases} \quad (2.14)$$

2.4.1. Zaman Tanım Alanı Yöntemi

Önceki yöntemde sunulan bir yapının dinamik denge denklemi dikkate alınarak, her mod için $i = 1 \dots N$ elde edilerek aynı prosedür gerçekleştirilir.

(2.12)'denkleminde çözmek için sönümleme matrisi tanımlanmalıdır.

İlk adım, önceki yöntemde varsayıldığı gibi matrisin, kütle ve sertlik matrislerinin bir kombinasyonu ile tanımlandığını varsaymaktır. Bununla şu ifadeye sahip edilmiştir:

$$\ddot{y}_i(t) + 2\omega_i\beta_i\dot{y}_i(t) + \omega_i^2 y_i(t) = \frac{-L_i \ddot{u}_g(t)}{M_i} \quad (2.15)$$

Ardından, doğrusal sistemler için Newmark ortalama ivme yöntemini kullanarak, doğrudan entegrasyonla bu denklemin çözümüne geçerek $y_i(t)$, $\dot{y}_i(t)$, $\ddot{y}_i(t)$ elde edilmiştir.

Sistemin zamanın bir fonksiyonu olarak nihai yanıtı:

$$\begin{cases} \{x(t)\} = \sum y_i(t) \{\phi_i\} \\ \{\dot{x}(t)\} = \sum \dot{y}_i(t) \{\phi_i\} \\ \{\ddot{x}(t)\} = \sum \ddot{y}_i(t) \{\phi_i\} \end{cases} \quad (2.16)$$

İkinci durum, deneysel bilgilerden gerçek bir sönümlenme matrisi kullanmaya karşılık gelir. Analizde ortaya çıkan zorluk, dinamik denge denkleminin artık ayrıştırılamamasıdır, çünkü matris köşegeninin dışındaki öğeleri sunar, bu nedenle doğrudan entegrasyonla tamsayı matrisi ile çözülmesi gerekir ve bu daha fazla hesaplama masrafı ve harcanan zaman anlamına gelir. Bu durum, modelin tepkisi yapının asimetrik dinamik özellikleri ile analiz edildiğinde incelenmiştir.

Newmark'ın ortalama hızlanma yöntemi, yapının tepkisini kontrol eden diferansiyel denklemin çözümüne izin verir. Prosedür, analiz için gereken toplam süreyi küçük adımlarla ayırmaktan oluşur.

2.4.2. Modal Analiz İçin Malzeme Özellikleri

Bu analiz mikro analizden farklı olduğu için kullanılacak malzemelerin yeniden tanımlanması gerekmektedir. Dolayısıyla aşağıdaki tabloda kullanılan değerler Sayari'nin deneylerinden gelmektedir (Sayari, 2012).

Tablo 2. 11. Malzeme özellikleri

Malzeme özellikleri	Delikli tuğla	Harman tuğla	Harç
Elastisite modülü (Mpa)	1427	17000	2870.8
Poisson oranı	0.2	0.15	0.2

2.5. Deneysel Çalışmalar

2.5.1. Duvarların İnşası ve Deneysel Çalışmalar

Bu deneyler farklı zamanlarda yapıldı ve 1 yıl 16 gün sürdü (10 Ekim 2019'dan 26 Ekim 2020'ye kadar). Bu süre genellikle 2020 yılı bağlamında laboratuvar personelinin mevcudiyetiyle bağlantılıdır.

Nitekim delikli tuğla üzerine kuvvetlerin uygulandığı ve / veya frekansların alındığı ve / veya FRP uygulanan üç duvar yapılmasına karar verilmiştir. Aynı işlem harman tuğla duvar için de kullanılmıştır.

* Delikli tuğla

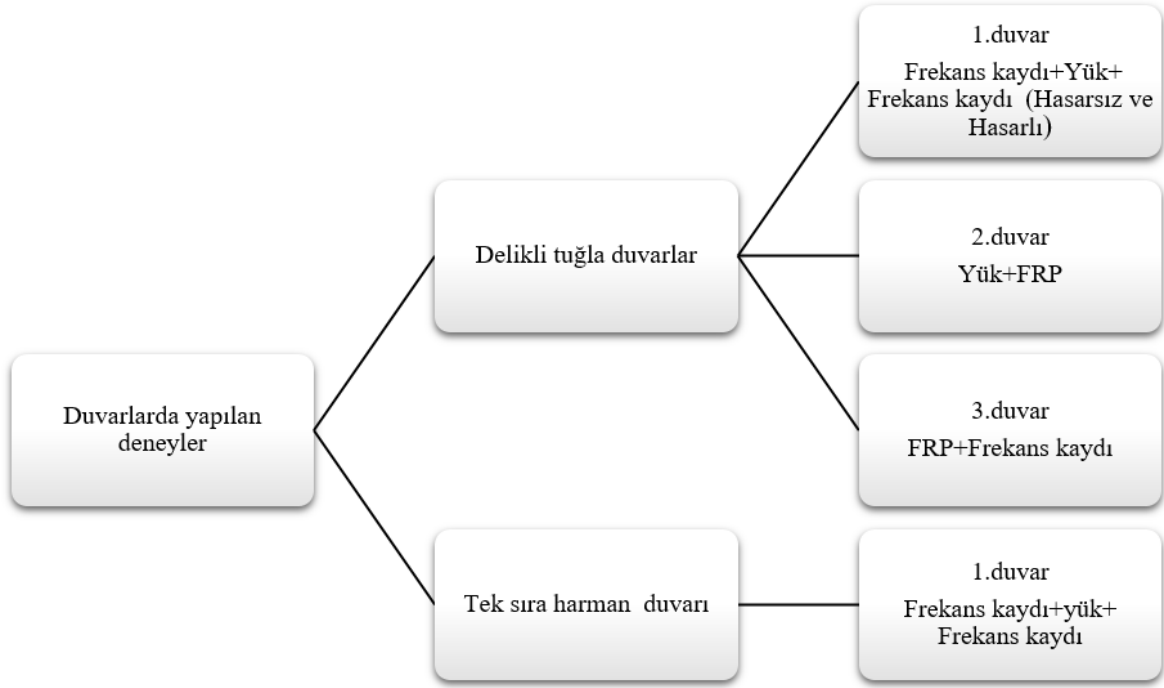
- İlk duvar: frekans kaydı, ardından uygulamayı yükle ve tekrar frekans kaydı.

- İkinci duvar: Bu, FRP'nin uygulanmasını içerir, ikinci aşamada yükler ve üçüncü aşamada frekanslar kaydedilir.

- Üçüncü duvar: FRP uygulanır, sonra da yüklenir.

* Harman tuğla

- Tek sıra duvar: Bu adım frekans kaydı ile başlar, ardından yükleme uygulaması ve son olarak bir frekans kaydı ile biter.



Şekil 2.16. Laboratuvarda deney aşamaları

2.5.2. Harcın Hazırlanması

ASTM C1329'a göre, harç en önemli bileşendir çünkü özellikleri, duvar montajının sağlamlığı ve dayanıklılığı üzerinde güçlü bir etkiye sahiptir. Aynı zamanda, karıştırma ve harmanlamayla ilgili saha sorunlarına en duyarlı bileşendir. Harç işlenebilir olmalı, yeterli dayanıma sahip olmalı ve duvar birimlerine yeterince bağlanmış olmalıdır. En etkili harç, artan dayanıklılık gereksinimi ile artan çimento oranı ile çimento ve iyi derecelendirilmiş bir kumdan oluşur.

2.5.3. Çimento

Çimento, harcın ana bileşenidir. Çimentonun su ve kum ile kimyasal reaksiyonu, karışıma güç ve tutarlılık kazandırır. Ancak Türk standardı TS EN 197-1'e göre sınıflandırılmış çeşitli çimento türleri vardır. En iyi bilinen ve en yaygın olarak kullanılan Portland çimentosu (CEMI), çeşitli formlarda kalsiyum sülfat ilave edilen, esas olarak hidrolik kalsiyum silikatlardan oluşan bir klinkerin tozlanmasıyla elde edilen bir üründür.



Şekil 2.17. Kullanılan çimento torbaları

2.5.4. Kum

Kum, karışımın en hacimli elemanıdır, harç oluşumunda büyük miktarda yer alır. Kum, inşaat sektöründe agrega olarak da adlandırılan, belirli tahlıl sınıflarına ve ezilmiş ve doğal olmak üzere ikiye ayrılan inorganik bir malzemedir. Bu malzemeler beton, harç üretimi, yol dolgu ve kaplama ile inşaat sıvalarında yaygın olarak kullanılmaktadır. TS 706 EN 12620 standardına göre ince agrega (kum) 4 mm veya daha küçük çapa sahip olmalıdır.. Üretilen harçlarda kullanılan kum ince tip kumdur.



Şekil 2.18. Harç için kullanılan kum

2.5.5. Su

Su, hidrolik bağlayıcılara dayalı harç ve beton üretiminde belirleyici bir rol oynar. Sadece çimentoların susuz bileşenleri arasındaki reaksiyonla bu malzemelerin sertleşmesine yol açmakla kalmaz, aynı zamanda onlara taze durumda bazı özelliklerini de verir. İyi bir harç yapmak için, priz süresini değiştirmesi muhtemel herhangi bir organik veya kimyasal madde ve tuz içermeyen su kullanılması tavsiye edilir.

2.5.6. Beton Karıştırıcısında Karıştırma

ASTM C 270'in özellik gereksinimlerine göre, karıştırılmış harç için çimento-kum oranları 0.5: 1'den az veya 1.5: 1'den büyük olmamalıdır. Mümkün olan yerlerde makine karışımı kullanılmalıdır.

Beton karıştırıcımızın hacmine ve daha önce kullanmak zorunda kalanların tecrübelerine dayanarak, yukarıda belirtilen standarda uyarak belirtilen miktarların kullanılmasına karar verildi: 15 kg çimento için 22 kg kum.

Harç için gerekli su miktarına gelince, çoğu standart su / çimento oranının 0.45 ile 0.6 arasında olmasını önermektedir. Bu çalışmada, kullanılan su miktarı 6L'den biraz daha fazladır.

Bu miktarlar daha sonra, kütlelerinin gerekli gereksinimler için yeterli olmasını sağlamak için beton karıştırıcısına girmeden önce bir tartı üzerinde tartılır (aşağıdaki şekle bakınız).



Şekil 2.19. Karıştırmadan önce farklı malzemelerin tartılması

Daha sonra beton karıştırıcı kullanılarak farklı malzemelerin karıştırılmasına geçilmiştir.



Şekil 2.20. Harç üretimi için karıştırma işlemi

2.5.6. Delikli Tuğla Duvar Yapımı

Arayüzlerde kalaslar arasındaki harç miktarı 10 mm olacak şekilde küçük bir tahta çerçeve yapılmıştır.



1. Delikli duvar

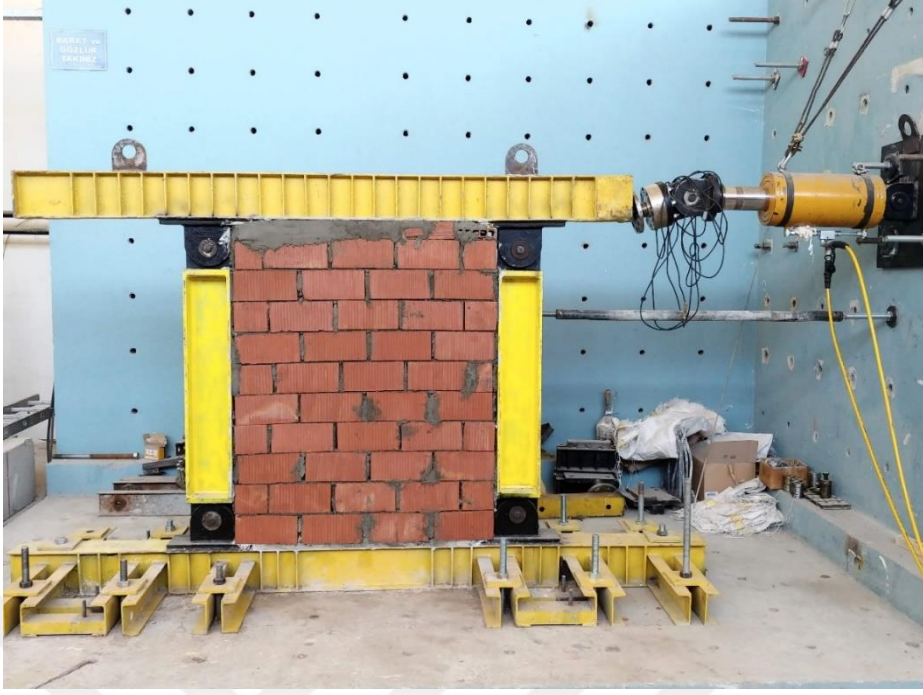
2. Delikli duvar



3. Delikli duvar

Şekil 2.21. Delikli tuğla duvarı yapımı inşaat süreci

Duvar bittikten sonra malzemelerin birbirine daha iyi yapışması için 3 gün sulanır. Böylece aşağıdaki duvarı elde edilmiştir.



Şekil 2.22. Sıva koymadan önce delikli tuğla duvar

Daha sonra yanal döngüsel yükler uygulandığında çatlakları görmek için ince bir sıva tabakası yerleştirilmiştir.



Şekil 2.23. Sıvalı delikli tuğla duvarı

Delikli tuğla'nın üç duvarı arasında ikisi sivali, biri siva'sız ve süreçlerin benzerliği göz önüne alındığında sadece bir işlem koymayı tercih ettik.

2.5.7. Harman Tuğla Duvar Yapımı

Aynı işlem kullanılarak harman tuğla duvarı da yapılır, 3 gün sulanır. Ancak harman duvarı bir siva sürecinden geçmemiştir.

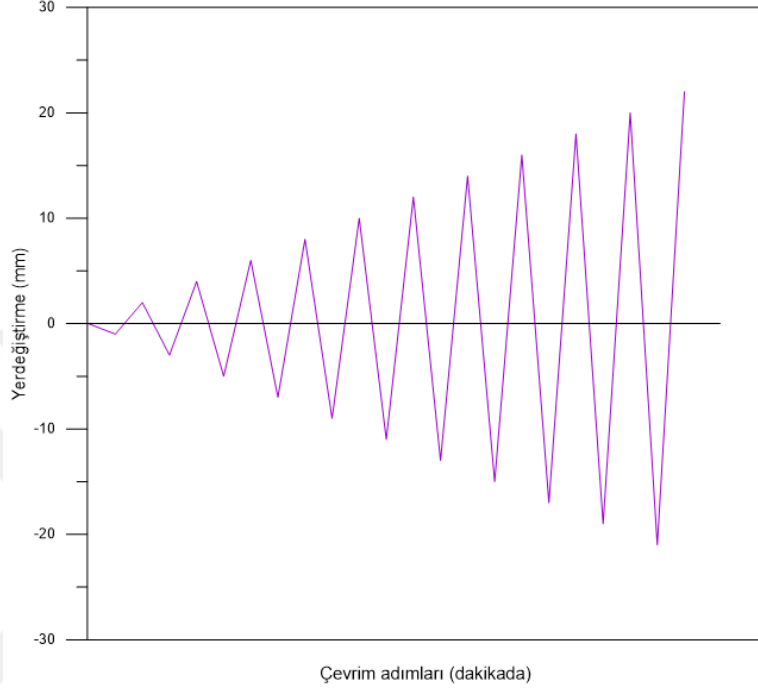


Şekil 2.24. Harman tuğla duvarı yapımı inşaat süreci

2.5.8. Tekrarlı Yük Etkisinin Uygulanması

Tekrarlı yatay yük uygulanması için çerçeve numune elemanlarına, FEMA-461'e göre hazırlanan yükleme protokolü bilgisayar yardımıyla uygulanmıştır. Çerçeve numune elemanları üzerine uygulanan yatay yük protokolü, iki yönlü (itme ve çekme) giderek artan yerdeğiştirme çevrimleri şeklinde verilmektedir. Deney düzeneğindeki bağlantı boşluklarını ortadan kaldırmak için ilk çevrim 1.20 mm olarak kabul edilmiştir. FEMA 461'e göre her bir yükleme adımı iki kez gerçekleştirilmiş ve her adımda yer değiştirme genlikleri 1.4 kat artırılmıştır. Yığma çerçeve üzerinde yapılan bu test verilerin sağlıklı bir şekilde elede edilmesi için, duvarlarda meydana gelen çatlaklar gözlemlenerek, dayanım ölçerler, doğrusal

değişken diferansiyel dönüştürücüler (LPDT'ler) ve basınç sensörlerinden oluşan çok sayıda araç ile takip edilerek, yük ve ölçüm alınan yerdeki yerdeğiştirme değeri veri toplama sistemi ile kayıt altına alınacaktır.



Şekil 2.25. Harman tuğla duvarı yapımı inşaat süreci

2.5.9. Operasyonel Modal Analiz (OMA)

Tek başına yanıtlardan bir bina veya köprü gibi büyük bir yapının modal parametrelerinin belirlenmesi veya Operasyonel Modal Analiz, on yıldan fazla bir süredir önemli bir deneysel teknik haline gelmiştir (Heylen vd., 1994). Aslında, Operasyonel Modal Analiz (OMA), daha sonra bir yapının dinamik özelliklerini (doğal frekanslar, modal sönümler ve mod şekiller) belirlemek için rastgele bir giriş uyarımını, ideal olarak bir gürültüyü dikkate alır.

Frekans yöntemine gelince, elde edilmesi daha kolaydır ve spektral yoğunluk matrislerinin (tüm eşzamanlı kayıtlar arasında geçen spektral güç yoğunlukları) parçalanmasını içerir. Bu ayrıştırma yöntemine Frekans Alanı Ayrıştırma-FAA (Frequency Domain Decomposition-FDD) adı verilir. Bu çalışmada, modal sonuçların OMA aracılığıyla çıkarılmasında kullanılan bu yöntemdir.

Operasyonel modal analiz (OMA), yapı çalışma koşulları altındayken toplanan titreşim verilerine dayalı olarak bir yapının mod özelliklerini tanımlamayı amaçlar, yani ilk büyük uyarma veya bilinen yapay uyarma yok. Nitekim frekans kayıt çalışması kapsamında Çevrimsel Titreşim Yöntemi (ÇTY) uygulanarak duvarların mod özelliklerini elde etmek için Operasyonel Modal Analiz (OMA) yöntemi kullanılmıştır. Her duvarın çevresel titreşim testlerinde (Bruel & Kjaer) B&K 8340 tipi 10 tek eksenli ivmeölçer ve 1 tip B&K 4507, B&K 3560 tipi çok kanallı veri toplama ünitesi, PULSE (2006) ve OMA (2006) yazılımı kullanılmıştır. Çalışma, herhangi bir rüzgar etkisine veya duvarları titreştirebilecek diğer dış gürültülere maruz kalmayan bir laboratuvarında gerçekleştirilir. Bu nedenle, her bir duvarı titreştirmek için bir B&K 8210 tipi darbeleri çekiç kullanılmıştır. Bu darbeleri çekiç, zorlanmış titreşim testlerinde kullanılmasına rağmen veri toplama ünitesine dahil edilmediğinden model üzerindeki etkisi ölçülemez bir doğal etki olarak dikkate alınmıştır. Titreşimler sonucunda duvara sabitlenen ivmeölçerlerden elde edilen sinyaller, B&K tipi kanallar üzerinden bir veri toplama ünitesinde birleştirilerek PULSE yazılımına aktarıldıktan sonra bu sinyaller OMA yazılımına aktararak işleminden geçirilmiştir. Duvarın doğal frekansları, mod şekilleri ve sönüm oranları elde edilmiştir.



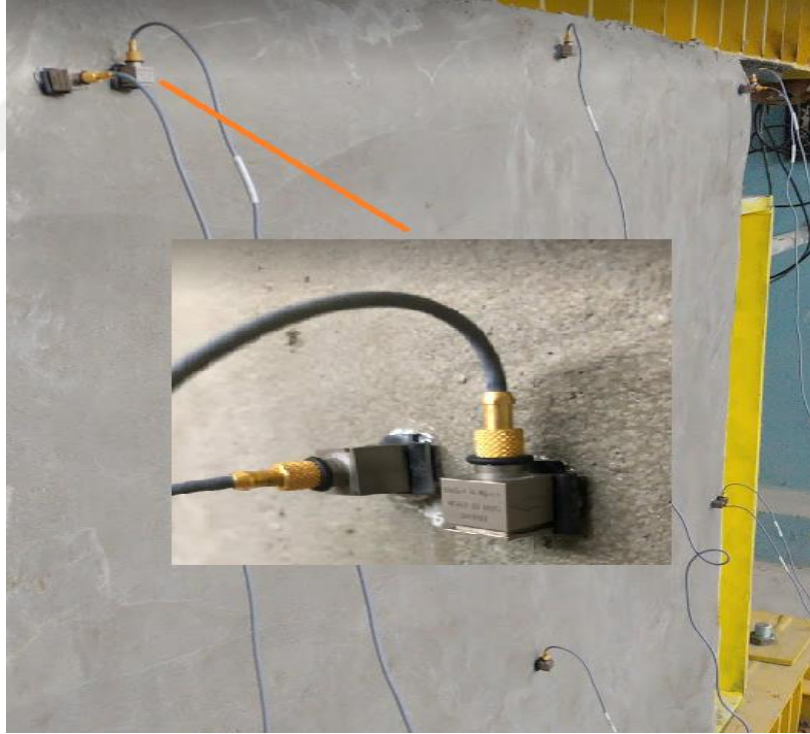
Şekil 2.26. Frekans ve mod kayıt cihazları (kontrol bilgisayarı ve sinyal analiz cihazı)

Sıva duvarları aşadaki şekilde gösterildiği gibi titreşim sensörlerinin yerleştirilmesine tabi tutulmuştur.

Nitekim, delikli tuğla duvarına karşılık gelen ilk duvarda deneysel modal analiz yapılmıştır, yani frekans kayıtları döngüsel kuvvetlerin uygulanmasından önce (Şekil 2.27) ve sonra (Şekil 2.28) yapılmıştır. Daha sonra delikli tuğlanın üçüncü duvarında da FRP tabakalarının kullanılmasından sonra frekanslar kaydedilmiştir (Şekil 2.29).

Harman tuğla duvarına gelince, ilk duvarla aynı tipte modal deneylere, yani kuvvetlerin uygulanmasından önce (Şekil 2.30) ve sonra frekans kaydı yapılmıştır.

Ek olarak, sıva duvarlar aşağıdaki şekilde (Şekil 2.27) gösterildiği gibi titreşim sensörlerinin yerleştirilmesine tutulduğu belirtilmelidir. Sensörlerin daha iyi sabitlenmesi için sıva tabakası kullanılmıştır. Bu katman o kadar inceydi ki deneyler üzerinde hiçbir etkisi yoktur. Deneylerin geri kalanı için, kullanımı deneylerden kaldırılmıştır çünkü sensörler duvarlarda iyi bir yapıştırıcı ile iyi tutunur.



Şekil 2.27. Sensörlerin sıvalı delikli tuğla duvarına yerleştirilmesi (sensörlerde bir zoom ile)

Uygulanan kuvvetlerin ardından, çeşitli hasarlı duvarlara frekanslar ve modlar da kaydedilmiştir.



Şekil 2.28. Modal analiz için sensörlerin kurulumuna hazır hasarlı duvar

Önceki duvarlara sensörler yerleştirildiği gibi, FRP ile güçlendirilmiş duvarda da aynı işlem den geçti. Bu duvar, deneyin üçüncü duvarına karşılık gelir.



Şekil 2.29. Sensörlerin FRP ile güçlendirilmiş duvarına yerleştirilmesi (üçüncü duvar)



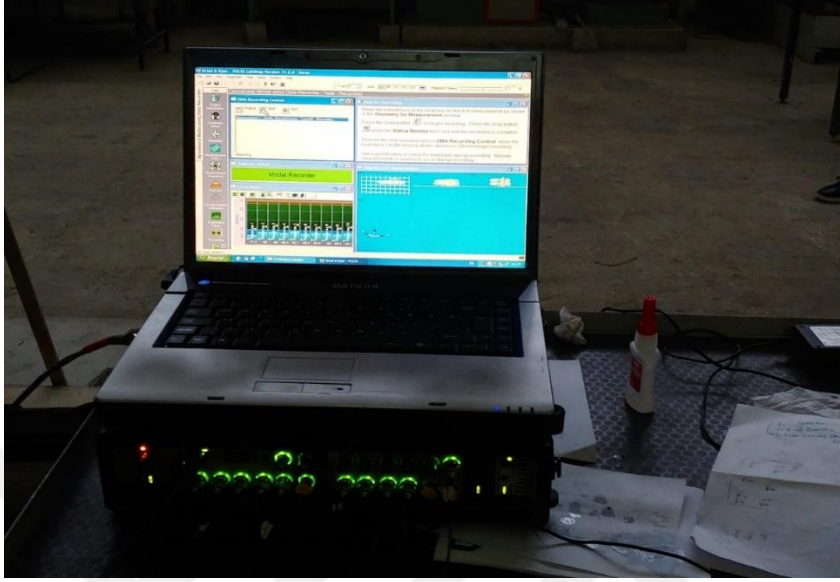
Şekil 2.30. Sensörlerin hasarsız harman duvarına yerleştirilmesi



Şekil 2.31. Sensörlerin hasarlı harman duvarına yerleştirilmesi (sensörlere yakınlaştırma ile)

Yanıt sinyali, koşullandırmadan sonra sinyal işleme için analizöre gönderilir. Yaygın olarak kullanılan bir analizör, hızlı Fourier dönüşümü analizörü olarak adlandırılır. Analizör alıcısı gibi analog voltaj sinyalleri, hesaplamalar için bir sinyal koşullandırma amplifikatörü, filtre ve sayısallaştırıcı oluşturur. Aynı ayrı sinyallerin ayrı frekans spektrumlarını ve ayrıca giriş ve farklı çıkış sinyalleri arasındaki çapraz spektrumları hesaplar. Analiz edilen

sinyaller, doğal frekansları bulmak için kullanılabilir. Ardından aşağıdaki cihazlar kullanılarak frekans kayıtları kaydedilir.



Şekil 2.32. OMA (operasyonel modal analiz) kayıt kontrolü

Aşağıdaki şekillerde gösterildiği gibi, frekansların daha sonra bilgisayara kaydedilmesine izin veren bir uyarım oluşturmak için duvarın yanına küçük bir çekiç darbesi verilir.



Şekil 2.33. Delikli duvar için çekiçle uyarım



Şekil 2.34. Harman duvar için çekiçle uyarma

2.5.8. Çevrimsel Yükler Uygulanması

Hasarı gözlemlemek, yer değiştirmeleri not etmek ve her birinin direnç kapasitelerini görmek için tüm farklı duvarlara döngüsel ileri geri pistonlu yükler uygulanır.

Aşağıdaki şekil 2.35'teki duvar, üzerine döngüsel yükler gönderen bir pistonun hareket ettiği dekili tuğla tarafından oluşturulan ilk duvara karşılık gelir.



Şekil 2.35. Pistonun döngüsel yüklerinin etkisiyle duvar hasar görmeye başlar

Şekil 2.36'da ise devirli yüklerin gönderildiği delikli tuğlanın FRP malzeme ile kaplı duvarını göstermektedir.



Şekil 2.36. FRP malzeme ile güçlendirilmiş döngüsel yükler altında duvar



Şekil 2.37. Harman tuğla duvarı çevrimsel yükler altında

2.5.9. Karbon Fiber Takviyeli Polimerlerin (CFRP) Kurulumu

"Elyaf takviyeli polimer" FRP'ler, polimerik bir form (epoksi, polyester, vb.) emdirilmiş yüksek dirençli elyafları temsil eder. İnşaat mühendisliği takviyesinde kullanılan FRP lifleri, karbon (CFRP), cam (GFRP) ve aramid (AFRP) lifleridir.

CFRP yerleşimini sağlamak için duvar harçla rehabilite edilir. Bunlar kompozit malzemelerdir ve tamamlayıcı özelliklere sahip en az iki karışmaz bileşen içerir. Kompozit malzemeler sürekli bir fazdan (matris veya reçine) ve takviyeden (karbon) oluşur. Matris, yapının kohezyonunu ve mekanik kuvvetlerin donatıya iletilmesini sağlar. Hasar gören duvar, ilk mekanik özelliklerini tamamen veya neredeyse geri kazanacak şekilde güçlendirilir. Karbon lifler sürünme ve yorgunluğa karşı daha az hassastır. Epoksi matris, FRP'nin alt tabakalara yapışmasını iyileştirirken, elyaf oryantasyonunu korur ve ayrıca gerilmelerin alt tabakalardan elyaflara aktarımını iyileştirir.

Karbon lifler, 140 cm uzunluğunda ve 25 cm genişliğinde tabakalar halinde kesildi. Daha önce bazı çatlaklar ortaya çıktığı için bunlar çapraz olarak yapıştırıldı. Daha sonra, 34 cm uzunluğunda ve 25 cm genişliğinde dikdörtgen boyutlarda bir karbon kesimi daha yapıldı. Bir yüzeyin 4 kenarına duvara yerleştirilmişlerdir (aşağıdaki şekillere bakınız)



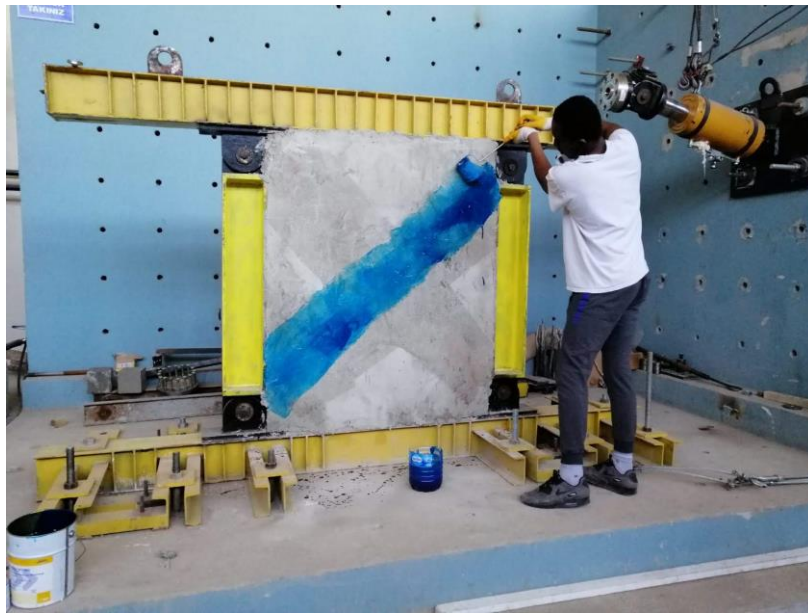
Şekil 2.38. Epoksi reçine karışımının hazırlanması

Daha sonra malzeme aşağıdaki resimde gösterildiğı gibi istenilen kullanıma göre farklı parçalara kesilmiştir.



Şekil 2.39. Malzemenin kesilmesi

Epoksi ve reçine karışımı dikkatlice her duvara çapraz olarak uygulanır. Çatlakların çoğı döngüsel yüklerin uygulanması sırasında bu bölgede ortaya çıktığı için köşegen seçilmiştir (aşağıdaki şekillere bakınız).



Şekil 2.40. Epoksi reçine karışımının duvara uygulanması



Şekil 2.41. Duvara karbon levhaların uygulanması

3. BULGULAR VE İRDELEMELER

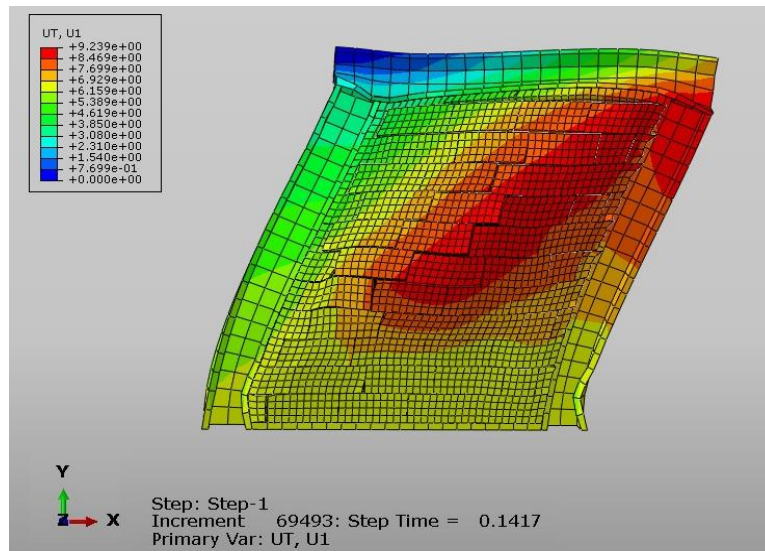
3.1. Analitik Bulgular İncelenmesi

3.1.1. Mikro Modelleme Analiz İncelenmesi

3.1.1.1. Delikli Tuğlanın Mikro Modelleme Analiz İncelenmesi

Mikro modellemenin kullanılması, bir yandan bir yapının hasarı hakkında küresel bir fikre sahip olmasına, diğer yandan farklı yükleme aşamalarında meydana gelen yer değiştirmeleri ve deformasyonları ölçmeye olanak tanır. Ana duvara uygulanan yanıl basıncın bir fonksiyonu olarak duvardaki şekil değiştirme ve yer değiştirmelerinin analizi, perde duvarın göçme mekanizmasının düzgün bir şekilde yakalandığını göstermektedir.

Analitik çalışmalar, duvarın bükülme etkisini oluşturan yanıl döngüsel yüklemenin etkisini tahmin etmek için yapılır. Çekiş-sıkıştırma yüklerine karşılık gelen, hidrolik pistonun ileri ve geri hareketini içeren döngüsel bir kuvvet. Bu alet, tabandan 1.65 m yüksekte bulunur ve kuvveti (KN cinsinden) çekiş için -100'den sıkıştırma için 100'e kademeli olarak artırmayı içerir.

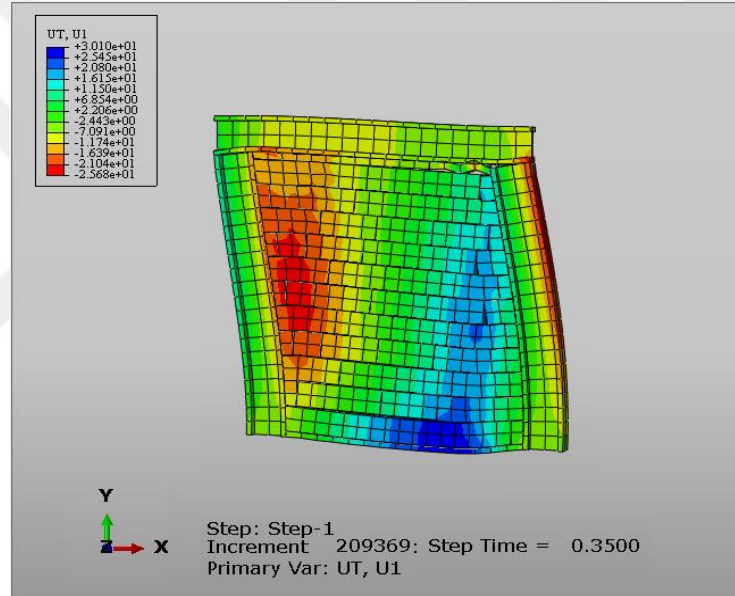


Şekil 3.1. Döngüsel yük altında mikro modelleme duvarının analitik analizi delikli tuğla için

Delikli tuğla duvar örneğinde zikzak çapraz çatlaklar ve 0.7 ile 9.24 mm arasında salınımlı yer değiştirmeler gözlenmiştir. Şekilde döngüsel kuvvetlerin etkisi altında kırmızı ile gösterilen alanlar yazılımla yapılan analiz sırasında en büyük yer değiştirmelerin meydana geldiği kritik alanlardır. Bu görüntü yakalamada, duvar yanal gerilimde iken maksimum değerler elde edilmiştir.

3.1.1.2 Harman Tuğlanın Mikro Modelleme Analiz İncelenmesi

Harman tuğla duvarın duvarındaki döngüsel analiz dağılık çatlaklar verir.



Şekil 3.2. Döngüsel yük altında mikro modelleme duvarının analitik analizi harman tuğla için

Burada duvarın yanlarındaki ve altındaki yer değiştirmeler ve şekil değiştirmeler görülmektedir. Sıkıştırma hasarı, mavi renkte maksimum 30.1 mm değerinde ve kırmızı renkte minimum 25.7 mm değerinde gösterilir.

Ancak bu iki analitik sonuca bakılarak hasarların aynı olmadığı ve duvara aynı şekilde dağılmadığı belirtilmektedir. Kısım 2.3.13'te tartışıldığı gibi, yani Harman tuğla duvarının analizi maksimum yük olarak daha fazla yük (186 KN) gerektiriyordu. ABAQUS'ta koşturma süresi, daha düşük zamansal değerler için bile (0.35 saniye) çok uzundur. Delikli tuğla duvar ise maksimum 100KN yük ile hasar görülmüştür.

Bu iki analiz ve deneysel sonuçlarla birleştirilen, FRP katmanlarını uygularken güçlendirilmesi gereken duvar alanlarına odaklanmaya yardımcı olacaktır.

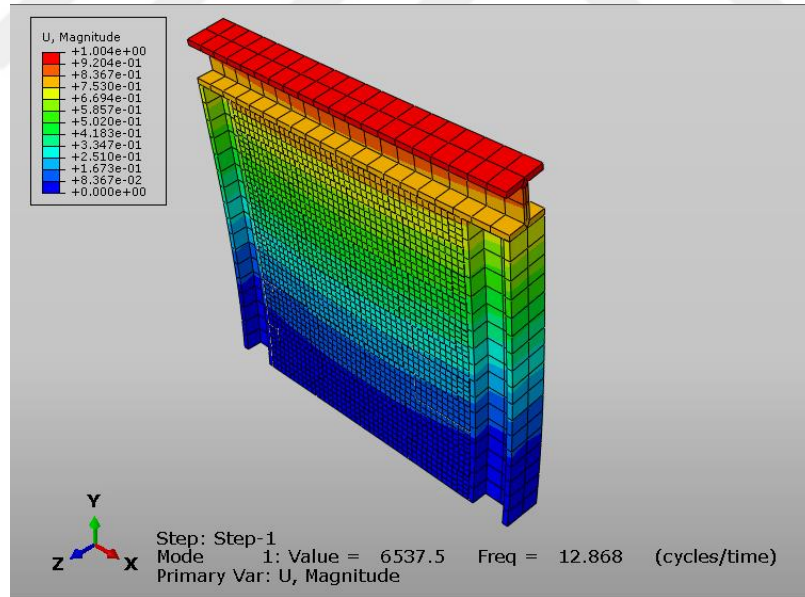
3.1.2 Hasarsız Modal Analiz

ABAQUS, modal analiz aracılığıyla yapının elastik davranışı hakkında birçok bilgi verir ve bir yapının dinamik davranışını incelerken kesinlikle yapılması gereken ilk şeydir.

İki tip duvar, herhangi bir kuvvet uygulanmadan, yani herhangi bir hasar uygulanmadan önce ABAQUS yazılımında modal analizlere tutulmuştur. Ancak hasar sonrası modal analiz bu yazılım ile mümkün değildir.

3.1.2.1. Hasarsız Modal Analiz Delikli Duvar İçin

- Mod 1

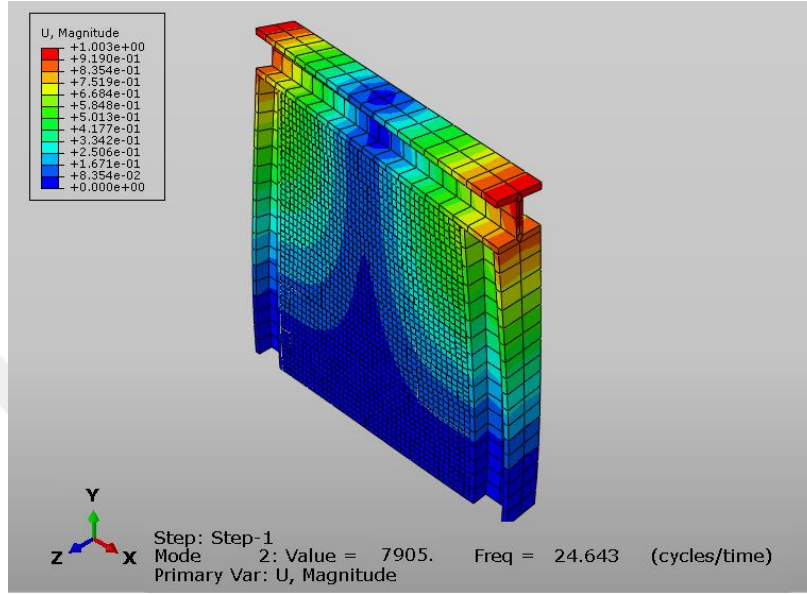


Şekil 3.3. Analitik hasarsız delikli tuğla duvarı 1. modu

Mod 1'i dikkatli bir şekilde gözlemleyerek, modal gerginliğin hareketinin XZ düzleminde gerçekleştirildiğini kaydedilmiştir. Bu nedenle, duvarın üst kısmı X

koordinatlarından Z'ye doğru başlayan tekdüze bir harekettir (yani duvar Z'ye doğru eğilme eğilimindedir).

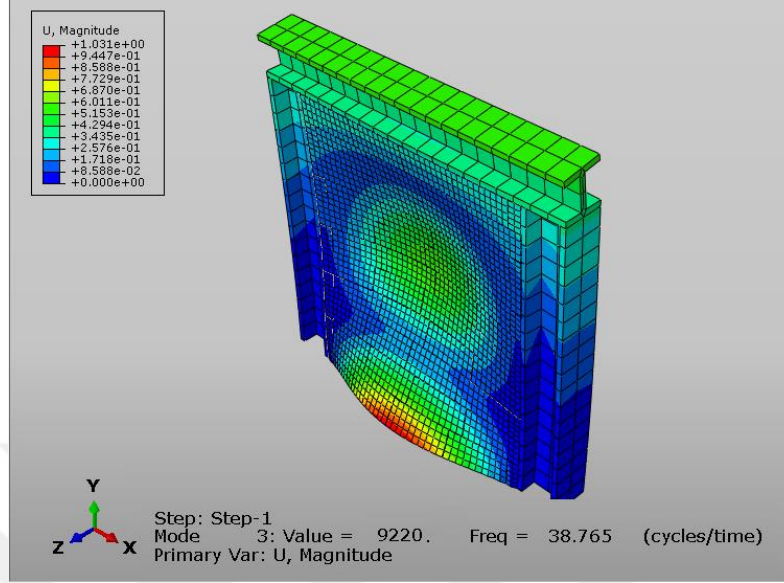
- Mod 2



Şekil 3.4. Analitik hasarsız delikli tuğla duvarı 2. modu

Mod 2 d, XY düzleminde kendi üzerinde bir tür burulma gerçekleştirir. Hareket, yanları dışarı çekerek ve kendi kendine dönmeye çalışarak gerçekleşir. Duvar şekli modu sağdan sola hareket etmeye başlar.

- Mod 3



Şekil 3.5. Analitik hasarsız delikli tuğla duvarı 3. modu

Mod 3, XZ düzleminde esas olarak duvarın merkezine doğru bir içbükey hareket gerçekleştirir.

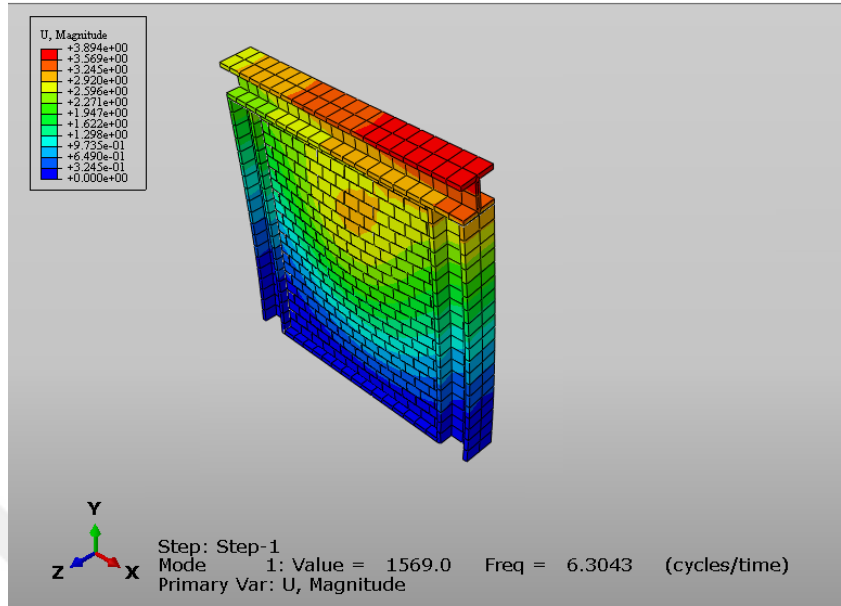
Tablo 3.1. Analitik hasarsız delikli tuğla duvarın frekans ve sönüm oranı değerleri

Modlar	Frekanslar (Hz)	Sönüm oranı (%)
1	12.87	1.358
2	24.64	5.021
3	38.76	0.682

3.1.2.2. Hasarsız Modal Analiz Harman Tuğla Duvarı İçin

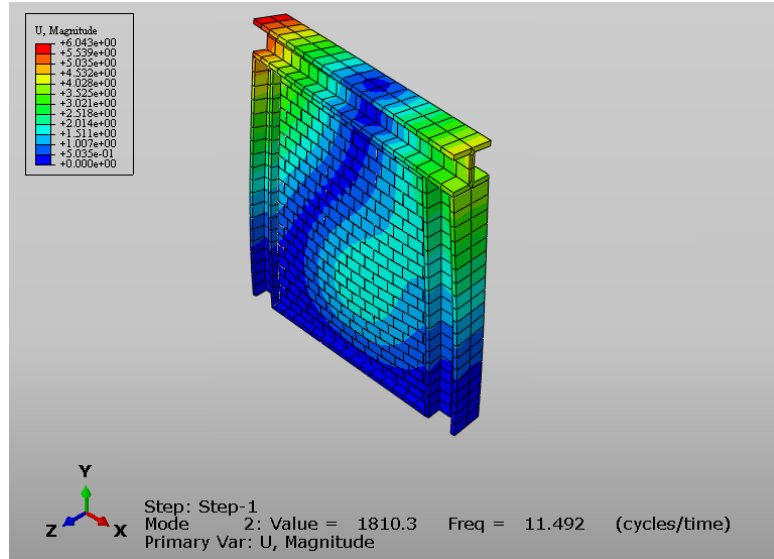
Modların bu analitik çalışmalarında analiz edilmek üzere ilk üç mod seçilmiştir, çünkü bu ilk modların duvar çok büyük olmaması, frekansları ve sönüm oranı bu yapıların dinamik özelliklerini belirlemeye yeterlidir.

- Mod 1



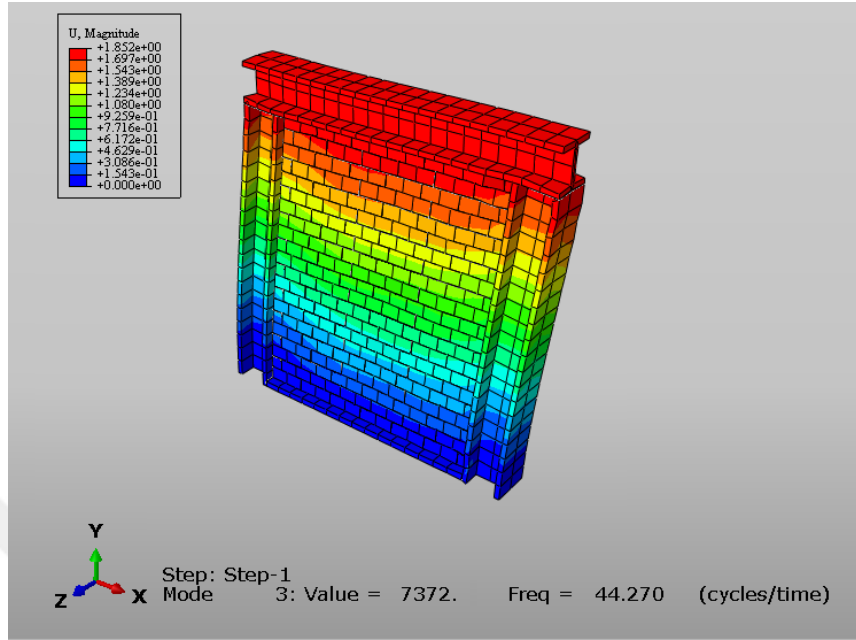
Şekil 3.6. Analitik hasarsız harman tuğla duvarı 1. modu

- Mod 2



Şekil 3.7. Analitik hasarsız harman tuğla duvarı 2. modu

- Mod 3



Şekil 3.8. Analitik hasarsız harman tuğla duvarı 3. modu

Ardından, aşağıdaki tabloda gösterilen ABAQUS programından çıkarılan sonuçlar:

Tablo 3.2. Analitik hasarsız harman tuğla duvarın frekans ve sönüm oranı değerleri

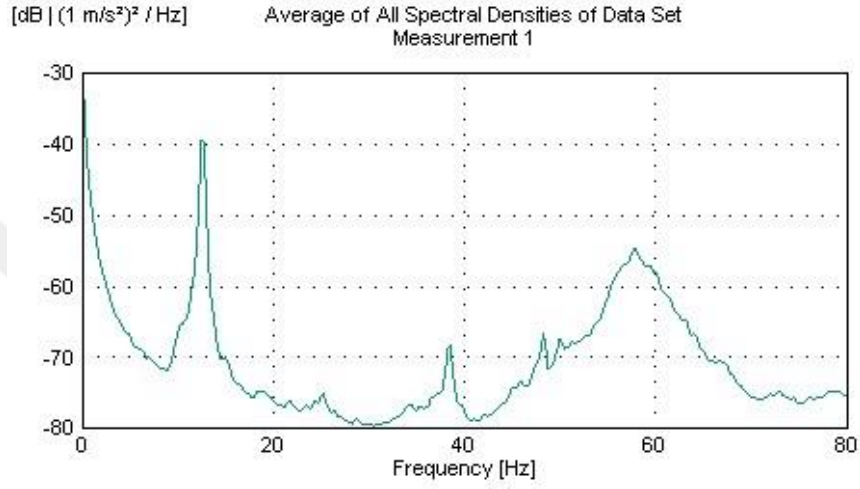
Modlar	Frekanslar (Hz)	Sönüm oranı (%)
1	6.30	2.011
2	11.49	0.919
3	44.27	2.056

3.2. Deneysel Bulgular İncelenmesi

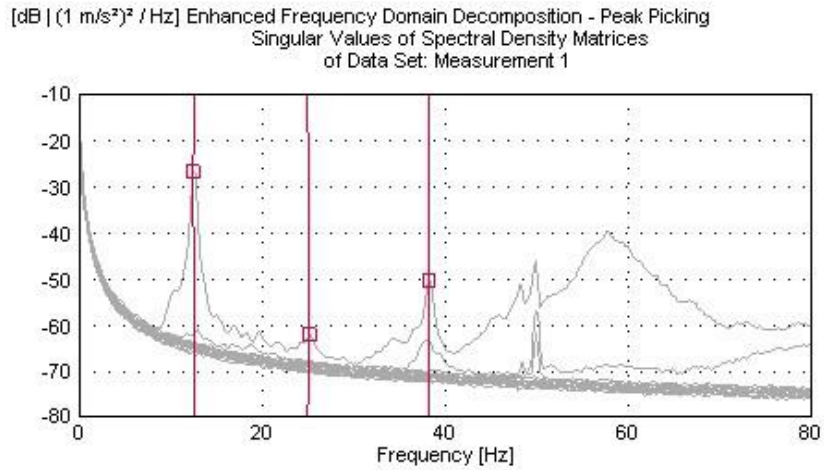
3.2.1. Test Sonuçlarının Çıkarılması Modal Analiz İçin

Bu kısım, her frekans kaydı için sonuçları çıkarmak için izlenen prosedürü göstermeye çalışır, bu nedenle bu adım gereklidir. Ancak modal analizler toplam beş kez yapıldığından, mekanizma aynı ve tekrarlı olduğundan, bu prosedürün sadece iki kayıt için yani delikli tuğla duvarı, diğeri harman tuğla için uygulanmasına karar verilmiştir.

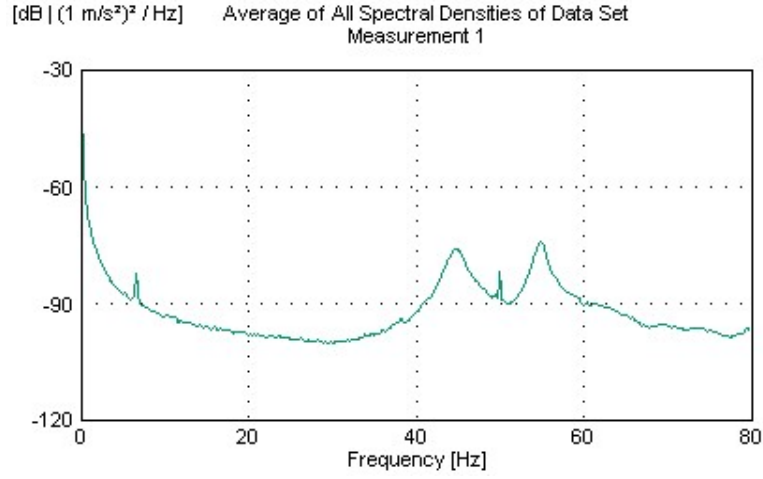
Her şey yerine oturduğunda ve sensörler güvenli bir şekilde duvara tutturulduktan sonra, bu olayın kaydı yaklaşık on beş dakika sürer. Daha sonra duvar ortamında çekiçle vurma sırasında bilgisayara gönderilen sinyallerden, frekans alanında eş zamanlı kayıtlar kullanılarak çapraz güç spektral yoğunlukları elde edilir (şekil 3.9 ve şekil 3.11). Bu, daha sonra, istenen ilk üç mod için aralıklarında çeşitli zirvelere sahip FDD'lerin elde edilmesini mümkün kılar (Şekil 3.10 ve Şekil 3.12).



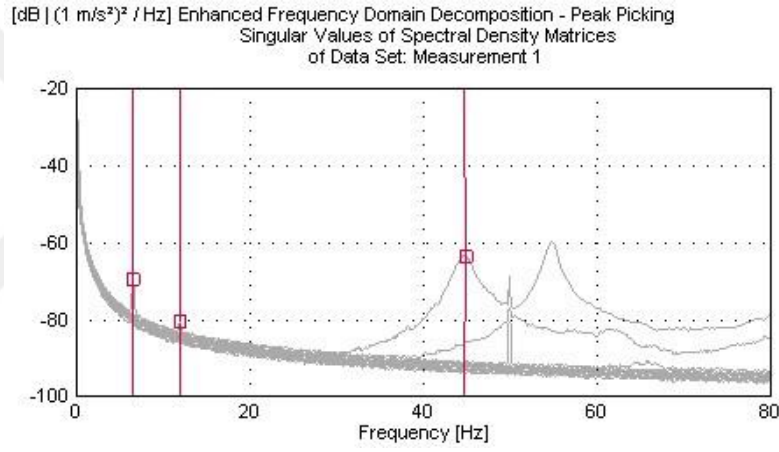
Şekil 3.9. Spektral ortalama yoğunluklar hasarsız delikli tuğla duvar için



Şekil 3.10. Frekans alanı ayrıştırma grafiği hasarsız delikli tuğla duvar için



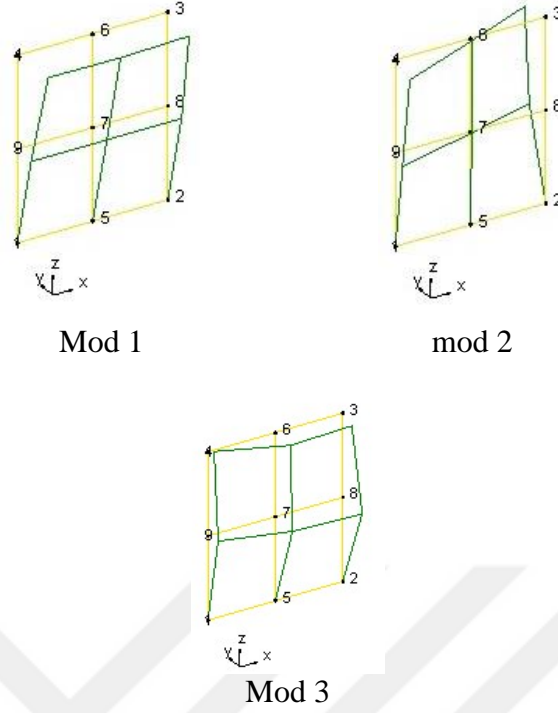
Şekil 3.11. Spektral ortalama yoğunluklar hasarsız harman tuğla



Şekil 3.12. Frekans alanı ayrıştırma grafiği hasarsız delikli tuğla duvar için

3.2.1.1. Hasarsız Modal Analiz Deneysel Delikli Tuğla Duvarı İçin

Bu, delikli tuğlanın herhangi bir kuvvet uygulanmadan önce ilk duvarında yapılan ivme ölçümlerine karşılık gelir.



Şekil 3.13. Deneysel hasarsız delikli tuğla duvarın mod şekilleri

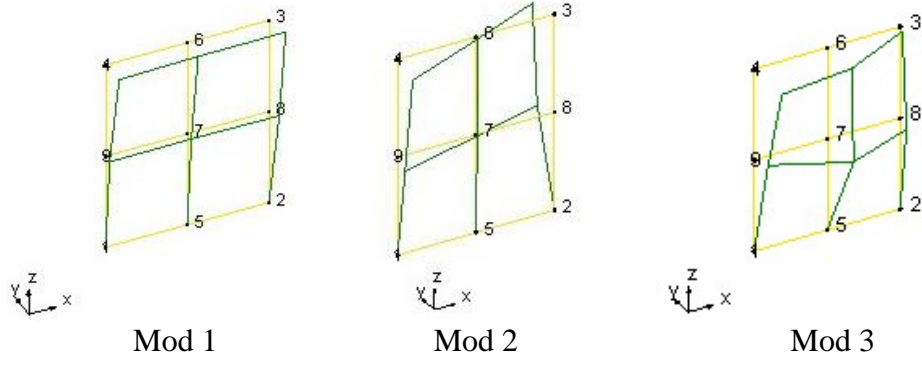
Mod 1, XY düzleminde hareket ederken, mod 2 YZ düzleminde burulma halindedir. Duvarın Mod 3, XZ düzleminde dışbükey bir şekle sahiptir.

Tablo 3.3. Deneysel hasarsız delikli tuğla duvarın frekanslar

Modlar	Frekanslar (Hz)	Sönüm oranı (%)
1	12.62	1.292
2	25.02	4.805
3	38.36	0.7184

3.2.1.2. Hasarlı Modal Analizi Deneysel Delikli Tuğla Duvarı İçin

Bu da delikli tuğlanın ilk duvarında devirli kuvvetlerin uygulanmasından sonra yapılan ivme ölçümlerine karşılık gelmektedir.



Şekil 3.14. Deneysel hasarlı delikli tuğla duvarın mod şekilleri

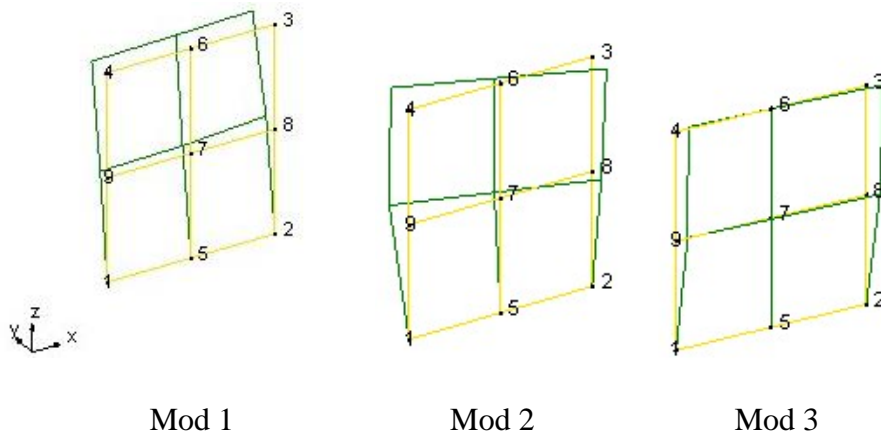
Bu mod şekilleri öncekilere benzer.

Tablo 3.4. Deneysel hasarlı delikli tuğla duvarın frekansalar

Modlar	Frekanslar (Hz)	Sönüm oranı (%)
1	9.84	1.995
2	21.64	1.368
3	36.25	1.229

3.2.1.3. FRP ile Deneysel Hasarsız Delikli Tuğla Duvarın Modal Analizi

Bu, FRP tabakalarının uygulanmasından sonra delikli tuğla üçüncü duvarında yapılan ivme ölçümlerine karşılık gelmektedir.



Şekil 3.15. Mod Şekilleri (mod 1,2,3) FRP ile deneysel hasarsız delikli tuğla duvar için

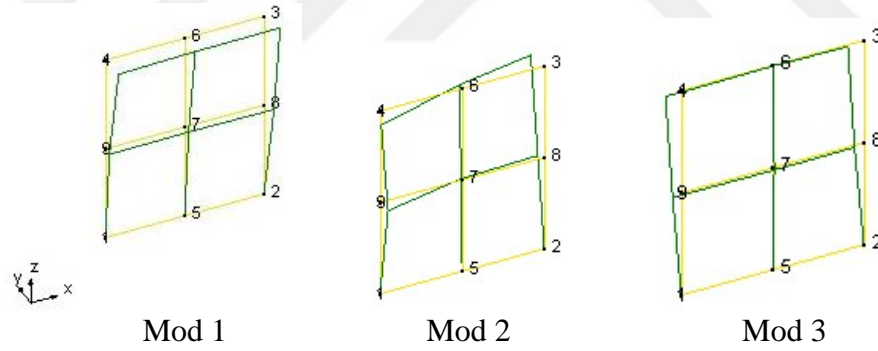
Mod 1, XZ düzleminde burulma şeklindedir, mod 2 ise Y'den X'e doğru başlayan bir hareketle XY düzleminde eğilir. Duvarın mod 3'ü YZ düzleminde -Y'ye doğru dışbükey bir şekle sahiptir.

Tablo 3.5. FRP ile deneysel hasarsız delikli tuğla duvarın frekanslar

Modlar	Frekanslar (Hz)	Sönüm oranı (%)
1	15.37	1.471
2	29.51	0.788
3	41.78	4.339

3.2.1.4. Deneysel Hasarsız Harman Tuğla Duvarın Modal Analizi

Bu, döngüsel kuvvetlerin uygulanmasından önce harman duvarında gerçekleştirilen ivme ölçülerine karşılık gelir.



Şekil 3.16. Mod şekilleri (mod 1,2,3) deneysel hasarsız harman tuğla duvar için

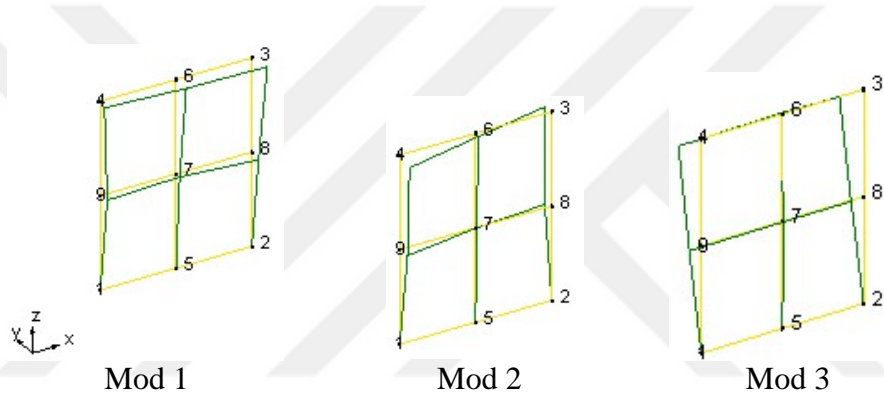
Mod1, XY düzleminde sürgülü hareketine sahiptir, bu nedenle bu düzlemde bir şekil oluşturur. Mod 2, YZ düzleminde burulma şekline sahiptir. Mod 3, XZ düzleminde bu düzlemdeki bir şekle sahip bir bükülme hareketine sahiptir.

Tablo 3.6. Deneysel hasarsız harman tuğla duvarın frekansları

Modlar	Frekanslar (Hz)	Sönüm oranı (%)
1	6.61	1.967
2	11.98	0.886
3	44.89	2.056

3.2.1.5. Deneysel Hasarlı Harman Tuğla Duvarın Modal Analizi

Bu, döngüsel kuvvetlerin uygulandıktan sonra harman duvarında gerçekleştirilen ivme ölçülerine karşılık gelir.



Şekil 3.17. Mod şekilleri (mod 1,2,3) FRP ile deneysel hasarlı harman tuğla duvar için

Tablo 3.7. Deneysel hasarlı harman tuğla duvarın frekansları

Modlar	Frekanslar (Hz)	Sönüm oranı (%)
1	4.63	2.384
2	7.876	1.343
3	22.46	0.355

3.2.1.6. Modal Analizlerin Sonuçlarının Karşılaştırılması

Özellikle analitik ve deneysel olarak yapılabilecek aynı tür analizler için sonuçları karşılaştırmak önemlidir. Diğer karşılaştırmalar, deneylerdeki sonuçların gözlemlenmesi temelinde yapılır.

3.2.1.6.1. Analitik ve Deneysel Sonuçlarının Karşılaştırılması Hasarsız Duvarlar İçin

➤ Hasarsız Delikli Tuğla için

Tablo 3.8. Hasarsız delikli tuğla duvarı karşılaştırma

Modlar	Analitik Hasarsız duvar		Deneysel Hasarsız duvar		Hata Yüzdesi (%)	
	Frekans (Hz)	Sönüm oranı	Frekans (Hz)	Sönüm oranı	Frekans (Hz)	Sönüm oranı
1	12.87	1.358	12.62	1.292	1.94	4.86
2	24.64	5.021	25.02	4.805	1.54	4.30
3	38.76	0.682	38.36	0.7184	1.031	5.33

İki sonucun karşılaştırılması ve hata yüzdelerinin hesaplanmasıyla sonuçların tatmin edici olduğu görülmüştür. Frekanslarda olabilecek hata yüzdeleri % 2'den azdır. Sönüm oranına gelince, hatanın en büyük değeri yaklaşık % 5. Aynı zamanda benzer görünen mod şekillere de sahiptirler.

➤ Hasarsız Harman Tuğla için

Tablo 3.9. Hasarsız harman tuğla duvarı karşılaştırma

Modlar	Analitik Hasarsız duvar		Deneysel Hasarsız duvar		Hata Yüzdesi (%)	
	Frekans (Hz)	Sönüm oranı	Frekans (Hz)	Sönüm oranı	Frekans (Hz)	Sönüm oranı
1	6.30	2.011	6.61	1.967	4.92	2.19
2	11.49	0.919	11.98	0.886	4.26	3.59
3	44.27	1.977	44.89	2.056	1.4	4.00

Burada ilk iki mod için, frekansın hata yüzdesi sırasıyla % 4.92 ve % 4.26'dır. Üçüncü modda % 1.4 hata yüzdesi vardır. Genel olarak frekanslardaki bu hata değerleri delikli tuğla duvarında gözlenen hata oranından biraz daha yüksektir. Bu, gerçekte harman tuğla tuğlalarının mükemmel olmadığı, çoğu zaman kötü biçimlendirildikleri, çünkü bu tuğlaların elle yapıldığı gerçeğiyle açıklanabilir. Ancak sönüm oranının öncekilere göre biraz daha düşük olduğu görülmektedir. Hata yüzdeleri % 2.19 ile % 4 arasında değişmektedir. Hata hesaplaması için her zaman iyi bir sonuçtur.

3.2.1.6.2. Deneysel Sonuçlarının Karşılaştırılması Hasarsız, Hasarlı ve FRP Duvarlar İçin

Burada gerçek bir karşılaştırmadan daha fazlası, özellikle frekanslardaki değerlerin değişiminin ve hasarın etkisi altındaki sönüm hızının gösterilmesi veya FRP üzerinde açıklamalar yapılması meselesidir.

Aslında hasarsız delikli tuğla duvarın modları ile hasarlı delikli tuğla duvarın modlarını kısaca karşılaştırırsak, üç modun frekanslarında bir düşüş olduğu görülüyor. Hasarsız'dan hasarlıya 1.mod 12.62 Hz'den 9.84 Hz'e değişmiştir. Bu, % 22'lik bir düşüşe karşılık gelir. Hasarsız'ın hasarlıya ikinci modu 25.02'den 21.64 Hz'e düştü, bu da % 25.04'lük bir düşüşe karşılık gelir. Üçüncüsü ise 38.36-36.25 Hz ile hasarlıya geçti. Bu, % 5'lik küçük bir düşüşe karşılık gelir.

FRP duvarının frekansları ise hasarlı duvarın frekanslarına göre artmıştır, delikli tuğlanın ilk hasarlı duvar frekansı 9.84 Hz iken, FRP duvarı için bu frekans 15.37 Hz olup bu % 36'lık bir artışa karşılık gelmektedir. Hasarlı duvarın ikinci frekansı 21.64 Hz, FRP duvarının frekansı ise 29.51 Hz idi ki bu da % 26.66 artışa denk gelir. Üçüncü moda gelince, hasarlı duvar frekansı 36.25 Hz, FRP duvarı için frekansı 41.78 Hz, bu da % 12.23'lük bir artışa tekabül etmektedir.

Nitekim delikli tuğla hasarsız duvarı ile FRP duvarı karşılaştırıldığında da frekanslarda artış görülmektedir. Hasarsız duvar için mod 1 frekansı 12.62 Hz iken, FRP duvarının frekansı 15.37 Hz'dir, bu da % 17.89'luk bir artışa karşılık gelir. İkinci frekans hasarsız duvar için 25.02 Hz iken FRP duvarının frekansı 29.51 Hz'dir ki bu da % 15.21'lik bir artışa karşılık gelmektedir. Üçüncü frekansa gelince, karşılaştırmaları (38.36Hz ve 41.78 Hz) % 8.18'lik bir artış gösterir.

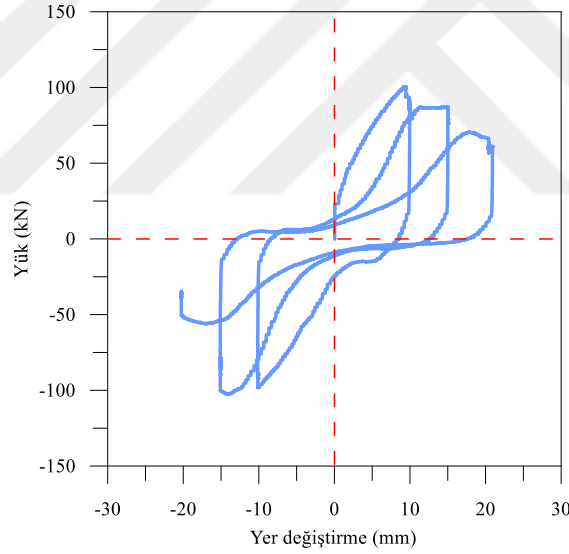
Ayrıca harman tuğla duvarlarında delikli tuğla duvarlarına göre frekanslarda düşüş vardır. Hasarsız ve hasarlı harman tuğla duvar karşılaştırmasında da aynı şekilde gidilerek mod 1 yaklaşık % 30'a karşılık gelen bir frekans düşüşüne sahiptir. Mod 2'deki frekans düşüşü % 34.25'e karşılık gelir. Mod 3'e gelince, frekans düşüşü yaklaşık % 50'ye karşılık gelir.

3.2.2. Deneysel Çevrimsel Yük İncelenmesi

Aşağıdaki histerezis eğrileri, farklı duvarlar üzerinde tekrarlanan yanal kuvvetlerin (döngüsel yükler) uygulamasını açıklamaktadır. Bu, grafiklerde gözlenen yer değiştirmelerle sonuçlanan duvarların direncinde bir bozulma olduğunu gösterir. Bu grafikler, duvarlardaki döngüsel kuvvetlerin denenmesi sırasında toplanan verilerden elde edilmiştir. Bu veriler, her yer değiştirmeyi onu oluşturan kuvvetle ilişkilendiren koordinatlardır.

3.2.2.1. Deneysel Döngüsel Yük İncelenmesi Delikli Tuğla Duvar İçin

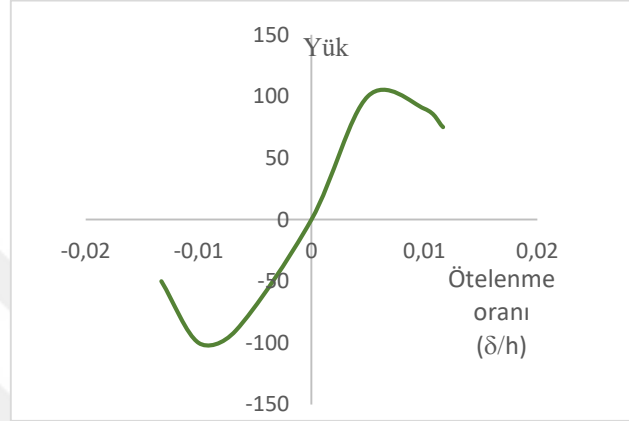
Döngüsel yüklerin uygulanmasından sonra duvar hasarlı görünür ve aşağıdaki grafik elde edilir.



Şekil 3.18. Hasarlı delikli tuğla duvar için histerezis eğrisi

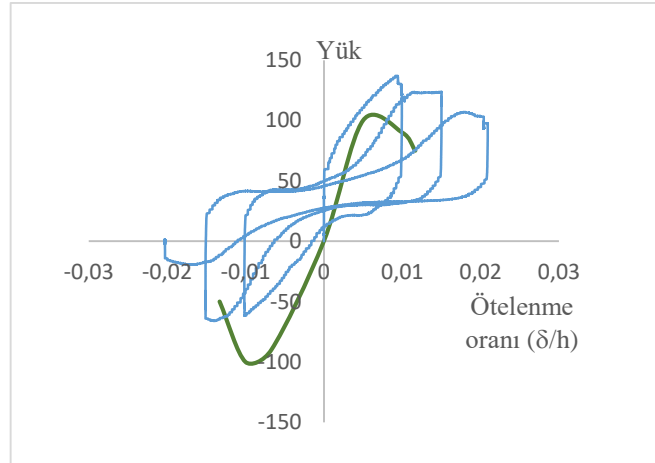
Bu eğri delikli tuğla duvarın analitik sonucuyla karşılaştırılabilir. Grafikte maksimumların 100kN ve -100kN olduğu görülmektedir. İlk zirveye, yer değiştirme yaklaşık 9.5 mm olduğunda ulaşılır. Bu, delikli tuğla duvarının mikro modellemesinin analizi sırasında elde edilen 9.24 mm'lik yer değiştirmeye benzer. Bu % 2.81'lik bir hataya karşılık gelir. Kuvvetler uygulandığında, yük 17 mm'lik bir yer değiştirme için 75 kN'ye eşit olduğunda, son sıkıştırma tepe noktası oluşmuştur. Son gerilme zirvesi, kuvvet yaklaşık olarak 50 kN'ye ve yer değiştirme 20 mm'ye eşit olduğunda meydana gelmiştir.

Deneyden elde edilen yük-yerdeğiştirme grafiklerinin tepe noktaları birleştirilerek elde edilen dayanım zarfı eğrisi Şekil 3.15'te verilmektedir. Söz konusu Őekilden de görüldüğü gibi deney elemanı hasarlı delikli tuğla duvar, itmede ve çekmede yaklaşık aynı davranışı göstermiştir. Deney elemanı en büyük yük taşıma kapasitesine itmede yaklaşık % 0.5 ve çekmede ise 0.7'lik bağıl ötelenmeyle ulaşmıştır.



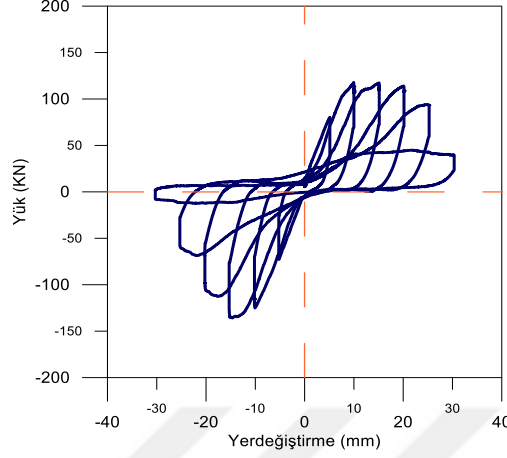
Şekil 3.19. Hasarlı delikli tuğla duvarın dayanım zarfı eğrisi

Daha sonra, aynı evrimi izleyip izlemediklerini görmek için grafikler birleştirilir.



Şekil 3.20. Hasarlı delikli tuğla duvar üst üste grafikler

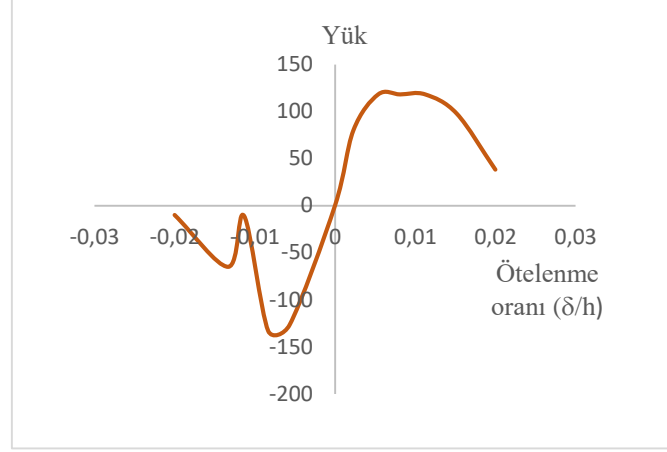
3.2.2.2. FRP ile Kaplanmış Delikli Tuğla Duvar Üzerinde Deneysel Döngüsel Yükleme İncelemesi



Şekil 3.21. FRP kaplı hasarlı duvar için histerezis eğrisi

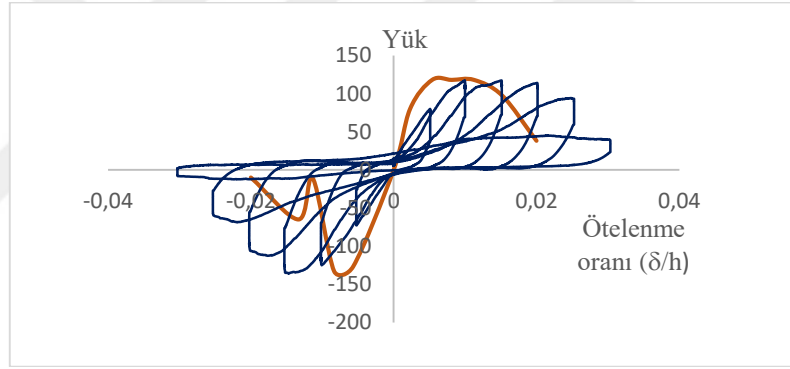
Duvardaki döngüsel bir kuvvetin grafik sonucunu temsil eden yukarıdaki bu şekilde, 9 mm'lik bir yer değiştirmenin yaklaşık 120KN'ye karşılık geldiği belirtilmektedir. Ancak ilk tepeler, sıkıştırmada yaklaşık olarak 140 KN için 15 mm'lik yer değiştirmeler verir. Çekişte, 10 mm'den daha az bir yer değiştirme için ilk tepe elde edilir. Kuvvetlerin emilmesiyle duvar zayıflar ve 30 mm'lik bir yer değiştirme için son tepeler 25 KN'de gözlenir. Çekişe gelince, son zirvesi yaklaşık 28 mm'lik bir yer değiştirmeye 60 KN'de gerçekleşir.

FRP'li duvarın zarf eğrisi ile ilgili olarak, sıkıştırmaya karşı büyük ve aşamalı bir direnç fark edilir, ardından eğri yavaş yavaş azalır. 140KN'ye ulaştıktan sonra çekiş bölgesinde iken, zarf eğri keskin bir şekilde azalır.



Şekil 3.22. FRP kaplı tuğla duvarıya ait dayanım zarf eğrisi

Aşağıdaki şekilde gösterildiği gibi grafiklerin bir kombinasyonu gerçekleştirilmiştir.



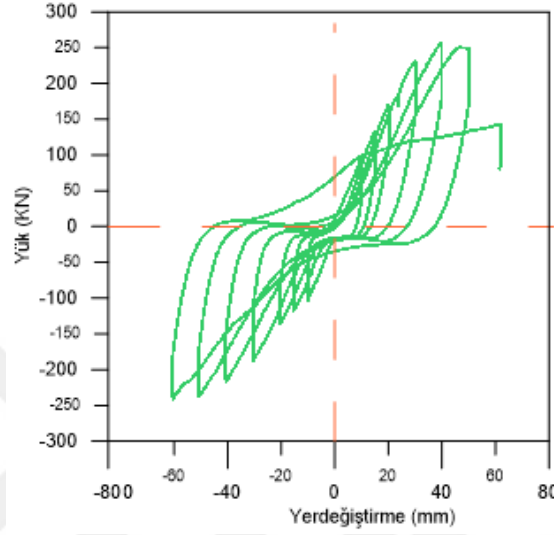
Şekil 3.23. FRP kaplı tuğla duvar üst üste grafikler

3.2.2.3. Deneysel Döngüsel Yük İncelenmesi Harman Tuğla Duvar İçin

Bu egride, yapılan ilk açıklama, eğrinin önceki iki yönün tersi olduğudur. Bu, artık aynı duvar türü olmadığını ve farklı davranışları olduğunu açıkça gösterir. Duvarların ilk grafikleri içi boş tuğlalarla oluşturulmuş, harman tuğla ise masif tuğlalardır. Bu nedenle farklı yoğunluklara ve direnç kapasitelerine sahiptirler. Sıkıştırmada maksimum zirveye, kuvvet 40 mm'lik bir yer değiştirme için yaklaşık 265 KN'ye eşit olduğunda ulaşılır. Çekiş için maksimum zirveye, 60 mm'lik bir yer değiştirme için yaklaşık 248 KN'de ulaşılır. Duvardaki kuvvetlerin birbirini izlemesi ile zayıflar ve direnci azalır. Sıkıştırma için son

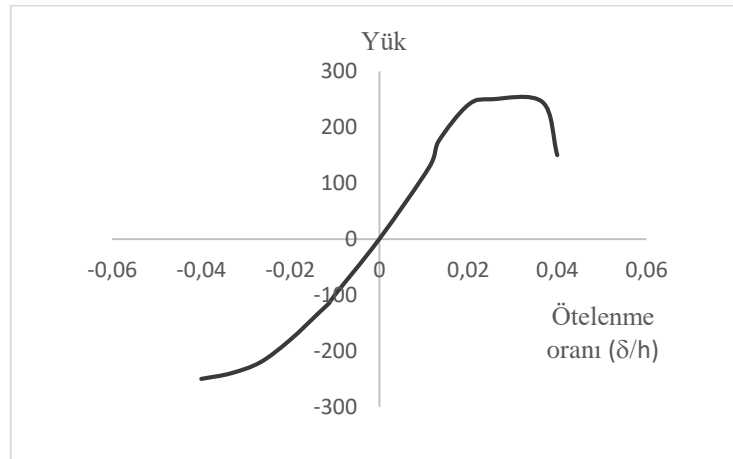
tepe noktası, 60 mm yer değiştirme için yaklaşık 150KN'de elde edilirken, çekiş için son tepe noktası, 15 mm'lik bir yer değiştirme için 100KN'de elde edilir.

Öte yandan, her duvar tipinin dayanım kapasitesini teyit etmek için üç zarf egrisi arasında bir karşılaştırma yapmak gerekir.

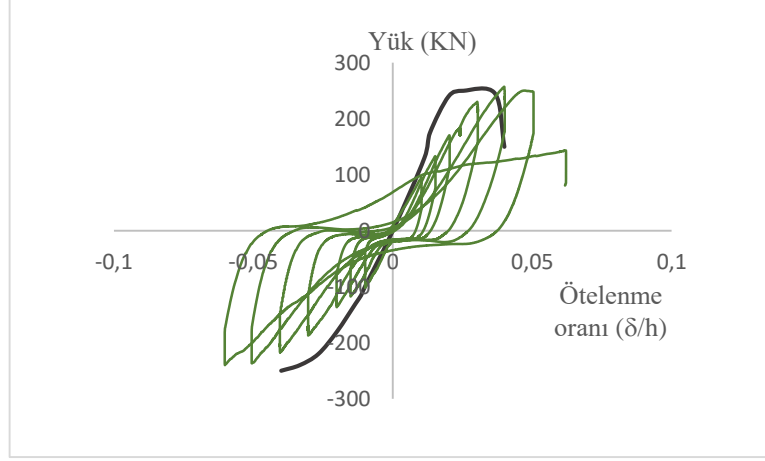


Şekil 3.24. Harman duvarın histerezis eğrisi

Harman tuğla duvara ait dayanım zarfı eğrisinin görüldüğü Şekil 3.10 incelendiğinde itmede ve çekmedeki davranış arasında bir miktar farklılık olduğu görülmektedir. Bu durumun, harman tuğla duvarların ezilerek dayanımını kaybetmesinden kaynaklandığı düşünölmektedir.



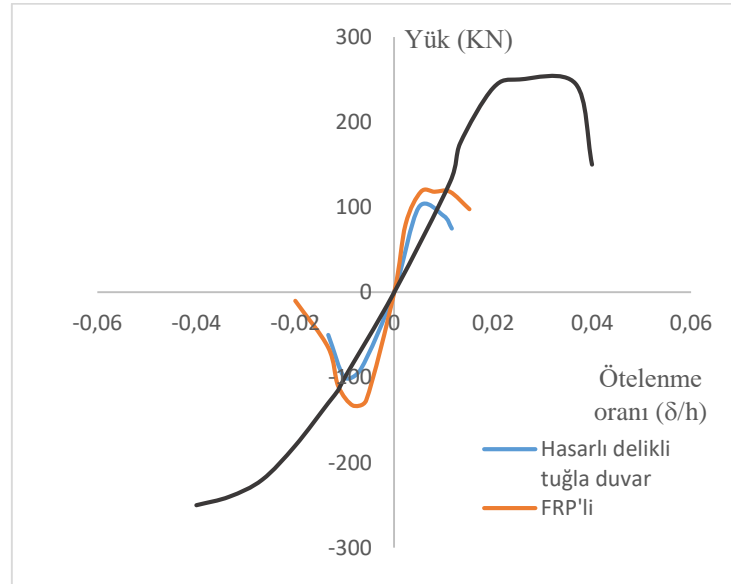
Şekil 3.25. Harman tuğla duvarya ait dayanım zarfı eğrisi



Şekil 3.26. Harman tuğla duvar üst üste grafikler

3.2.2. Zarf Eğrisi Karşılaştırması

Eğriler üst üste bindirilerek FRP eğrisinin delikli tuğla eğrisinin üzerinde geçtiği bulunmuştur. Bununla birlikte, harman tuğlası eğrisinin diğer iki öncekinin üzerinde geçtiği not edilmelidir. Bu, diğer iki eğriye kıyasla daha iyi direnç gösterir.



Şekil 3.27. Zarf egrisi karşılaştırması

4. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

4.1. Sonuçlar

Bu tezin analitik ve deneysel çalışmaları düzleminde gerçekleştirilmiştir.

Mikro modelleme analizleri, döngüsel yüklerin etkisi altında duvarların uğrayabileceği hasar hakkında fikir edinmeyi mümkün kılmıştır. Bu çalışmada, ayırık elemanlar tekniği kullanılarak basitleştirilmiş mikro modelleme uygulanmıştır. Bu yöntemin kullanımı, duvarların duvarlarına etki eden dinamik kuvvetler nedeniyle, ancak çok sayıda temas ve yüzey dikkate alınarak benzerdir. Aralarında etkileşime giren bu çok sayıda eleman, elemanların süreksizliğinden dolayı "açık" bir analizin kullanılmasına işaret eder. Mikro modelleme, aynı zamanda basitleştirilmiş bir mikro modelleme ile ilgili olduğu için kohezif elemanlar yöntemini de içerir. Bu, simülasyon açısından oldukça tatmin edici sonuçlar verir. Her iki duvar türündeki çatlaklar, laboratuvardaki muadillerinde elde edilenlere benzer. Delikli tuğladaki duvarın yatay deplasmanları en iyi sonucu verir.

- Hasar görmemiş duvarlar için analitik ve deneysel sonuçları karşılaştırdığımızda sonuçları benzerdir. Frekanslardaki hata yüzdeleri % 2'den azdır. Ancak hasarsız harman tuğla duvar olduğunda bu sonuç daha da artar (% 5'ten az).
- Hasarlı duvar ile hasarsız duvar delikli tuğla duvar için kıyaslandığında çoğu frekans düşmüştür. % 22 ile % 25 düşüş arasında bulunurlar Aynı düşüşler harman tuğla duvar durumunda da görülmüştür (% 34,25 ile % 50 arasında). Bu, hasarın duvarların frekanslarını düşürdüğünü gösterir. Bir duvar ne kadar çok hasar görürse, sertliğini o kadar çok kaybeder ve frekansı o kadar azalır. Frekans, bu nedenle duvarın rijitliğinin ve kütesinin bir fonksiyonudur.
- Duvarın hasarlı duvara göre FRP ile güçlendirilmesi, frekansların % 26'dan % 36'ya çıkarılmasını mümkün kılmıştır. FRP duvarını hasarsız duvar ile karşılaştırırken frekansın % 15'inden % 17.89'una kadar artış vardır. Bu, FRP'nin direnç özelliklerini geri yüklemeye yardımcı olduğunu gösterir. Kütle aynı olduğundan FRP ile direnç kazanan duvarın rijitliğidir.

- Histerezis eğrisinin ilk grafiği, maksimum tepe değerlerinin (+ veya-) 100 KN olduğunu gösterir. Bu eğrinin en büyük yer değiştirmeleri 15 ile 20 mm arasında salınır. Ancak bu zirvelerden birine 9.5 mm'de ulaşılır.
- Histerezis eğrilerinin olduğu deneylerde, piklerin elde edildiği maksimum yükler 120 KN ile 140KN arasındadır. Bu, FRP'nin duvarın mekanik özelliklerini geliştirdiğini gösterir.
- Son olarak harman tuğla duvarın histerezis eğrisini analiz ederek en çok direnen ve maruz kaldığı devresel ağır yüklere rağmen hasarı minimum olan duvardır. 100KN için ilk eğrileri neredeyse 5 mm'ye eşittir. Maksimum değerleri yaklaşık olarak (+ veya-) 250 KN'ye eşittir ve 40 mm'lik bir yer değiştirmeye karşılık gelir.

4.2. Öneriler

- Gelecekteki araştırmalar için bu aynı temayı, bu tür çalışmaları daha optimal hale getirmek için yeni yollar ve araçları derinleştirilmesi önerilmektedir.
- Mikro modelleme için analiz süresini kolaylaştırmak için PYTHON yazılımının ABAQUS ile birleştirilmesine izin veren yeni yöntemler vardır. Bununla birlikte, çok verimli bir bilgisayara sahip olmak gerekiyor.
- Simülasyon için iyi sonuçlara sahip mükemmel bir yapısal analiz yazılımı olan ABAQUS, ancak örneğin farklı türlerde analizler yapma sınırlarına sahiptir. ABAQUS, mikro analizden sonra moda izin vermez. Bu yazılımda, her bir analiz türü, modellemeye başlamadan önce seçilmesi gereken parametreleriyle farklıdır.
- ABAQUS'ta karşılaşılan diğer bir zorluk, FRP'yi modellemenin karmaşıklığıdır. Bunun için liflerin her yöndeki direnç kapasitelerini gerektirir. Epoksi reçinenin de karışıma müdahale ettiğini bilerek bu verilerin yazılıma girilmesi zordur.

Kesinlikle bu yazılımın son sürümleri karşılaşılan zorlukları kolaylaştırmak için gelecektir.

- Yığma duvar üzerine bu tür bir çalışma, yarı statik alanda olduğu kadar dinamik gerilmeler konusunda da yeni araştırmaların önünü açabilir.
- Eklemler boyunca etkileşimleri daha iyi simüle etmek için arayüz yasalarının varsayımlarının derinleştirilmesi ve aynı zamanda bazı durumlarda, kurucu tuğlalarla ilişkili kurucu yasanın iyileştirilmesi yoluyla sayısal modellerin

iyileştirilmesi de mümkündür. Bu seviyedeki çatlama hasarının yönetimi, bazı durumlarda gözlemlenen bloklardan geçen uzun çatlakları yakalamak için bir artı olacaktır.



5. KAYNAKLAR

- Abdou, L., Ami S. R, Meftah, F., ve Mebarki A, 2006. Experimental investigations of the joint-mortar behaviour, Mechanics Research Communications, 33,3, 370-384.
- Abrams, D.P., 1997. Response of Unreinforced Masonry Buildings, Journal of Earthquake Engineering, 1,1, 257-273.
- Albert, M.L., Elwi, A.E., ve Cheng, J.J.R., 2001. Strengthening of Unreinforced Masonry Walls using FRPs, Journal of Composite for Construction, 5, 2, 76-84.
- Alfaiate, J., Pires,E.B., ve Martins J.A.C., 1997. A finite element analysis of non-prescribed crack propagation in concrete, Computers and Structures, 63,1, 17-26.
- Almusallam, T.H., ve Al-Salloum, A., 2007. Behaviour of FRP Strengthened In-fill Walls under In-plane Seismic Loading, Journal of Composites for Construction, 11,3, 308-318.
- Andreas, U., 1996. Failure criteria for masonry panels under in-plane loading, Journal of Structural Engineering, ASCE, .2,1, 37-46.
- Abrams, D.P., 1997. Response of Unreinforced Masonry Buildings, Journal of Earthquake Engineering, 1,1, 257-273.
- Alcocer, S., 1997. Comportamiento Sísmico de Estructuras de Mampostería: Una Revisión. Memorias, XI Congreso Nacional de Ingeniería Sísmica. México, 164-191.
- Altunışık, A.C., 2010. Karayolu Köprülerinin Yapısal Davranışlarının Analitik ve Deneysel Yöntemleriyle Belirlenmesi, Doktora Tezi, KTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.
- Álvarez, J., ve Alcocer, S., 1994. Influence of Horizontal Reinforcement and Aspect Ratio on Confined Masonry Walls. Memories. IX National Congress of Structural Engineering, Mexico: Mexican Society for Structural Engineering, 815-825.
- Anthoine, A. 1995. Derivation of the in-plane elastic characteristics of masonry through homogenization theory, International Journal of. Solids and Structures, 32,2, 137-163.
- ASTM C270-03b,2004. Standard Specification for Mortar for Unit Masonry, American Society for Testing and Materials:, USA
- Attard, M.M., ve Tin-Loi, F., 2005. Numerical simulation of quasi brittle fracture in concrete, Engineering Fracture Mechanics, 72,3, 387-411. doi:10.01016/j.engfracmech.2004.03.012.

- Atkinson, R.H. ve Yan, G.G. 1990. Results of a statistical study of masonry deformability. The Masonry Society Journal, 9,1 81-94.
- Badarloo, B., Tasnimi, A. A., ve Mohammadi, M. S., 2009. Failure criteria of unreinforced grouted brick masonry based on a biaxial compression test, Scientia Iranica,16, 6, 502-511.
- Backes, H.P., 1985. On the behavior of masonry under tension in the direction of the bed joints (in German), PhD Thesis, Aachen University of Technology, Germany.
- Badoux, M., Elgwady, A.M., ve Lestuzzi, P., 2002. Earthquake Simulator Tests on Unreinforced Masonry Walls Before and After Upgrading with Composites, Proceedings of the 12th European Conference on Earthquake Engineering.
- Bakhteri, J., Makhtar, A., ve Sambasivam, S., 2004. Finite Element Modelling of Structural Clay Brick Masonry Subjected to Axial Compression, Jurnal Teknologi, 41, 57-68.
- Bal, I.E., Crowley, H., ve Pinho, R. 2008. Displacement-Based Earthquake Loss Assessment for an Earthquake Scenario in Istanbul, Journal of Earthquake Engineering, 12,1, 12-22.
- Baggio, C. ve Trovalusci, P., 2000. Collapse behaviour of three-dimensional brick-block systems using non-linear programming, Structural Engineering and Mechanics, 10,2, 181-195.
- Bailey, H. ve Hancock, D.,1990. Brickwork and associated studies 2nd edition, Macmillan Education LTD Houndmills, Basingstoke, Hampshire RG21 2XS and London.
- Basoenondo, E. A., 2008. Lateral load response of Cikarang brick wall structures an experimental study, PhD thesis, Queensland University of Technology, Australia.
- Benedetti, D. ve Benzoni, G.M., 1984. A numerical model for seismic analysis of masonry buildings: Experimental correlations, Earthquake Engineering and Structural Dynamics. 12, 817-832.
- Brincker, R., ve Andersen, P., 2006. Understanding Stochastic Subspace Identification, Proceedings of the 24th International Modal Analysis Conference (IMAC), St.Louis, Missouri.
- Brincker, R., Zhang, L., ve Andersen, P., 2001. Modal identification of output-only systems using Frequency Domain Decomposition, Smart Materials and Structures, 10, 441–445.
- Bryan D. E. ve Mervyn J. K., 2004. Compressive Behaviour of Unconfined and Confined Clay, Journal of Structural Engineering, 4, 650-661.

- Chaimoon, K., ve Attard, M., 2005. Shear fracture in masonry joints. Proceedings of the 12th International Conference on Computational Methods and Experimental Measurements (CMEM), Malta. 31, 57.
- Chaimoon, K., ve Attard, M., 2007. Modeling of unreinforced masonry walls under shear and compression, Engineering Structures, 29,9, 2056-2068.
- Casolo, S. 2004. Modelling in-plane micro-structure of masonry walls by rigid elements, International Journal of Solids and Structures 41,13, 3625–3641
- Celep, Z., 2011. Yapı Dinamiği, Dördüncü Baskı, İstanbul, Beta Dağıtım, Türkiye.
- Chen SY, Moon F., ve Yi T., 2008. A macroelement for the nonlinear analysis of in-plane unreinforced masonry piers, Engineering structures, 30,8 2242-2252.
- Chiou, Y. J., Tzeng, J.C., ve Hwang, S.C., 1998. Discontinous deformation analysis for reinforced concrete frames infilled with masonry walls, Structural Engineering and Mechanics, 6,2, 201-215. doi:10.12989/sem.1998.6.2.201.
- Chiou, Y. J., Tzeng, J.C., ve Liou, Y.W., 1999. Experimental and Analytical Study of Masonry infilled frames, Journal of Structural Engineering, 125,10, 1109-1117. doi:10.1061/(ASCE)0733-9445(1999)125:10(1109).
- Chopra, A.K., 2006. Dynamics of Structures: Theory and Applications to Earthquake Engineering, Third Edition, Prentice Hall, USA.
- Corradi, M., 1999. Stress-strain characteristics of brick masonry under uniaxial cyclic loading, Journal of Structural Engineering, 125, 6, 600-602.
- Crisafulli, F. J. ,1997. Seismic Behaviour of Reinforced Concrete Structures with Masonry Infills. PhD Thesis, Department of Civil Engineering, University of Canterbury.
- Croci, G., 1998. The conservation and structural restoration of the architectural heritage, Computational Mechanics ,8,12, 137-142.
- Deodhar, S. V., ve Patel, A. N., 1997. Strength relationship of brick masonry, brick and cement-mortar, Journal of Structural Engineering, 26, 4, 215.
- Dhanasekar. M., Page, A.W., ve Kleeman, P.W., 1985 The failure of brick masonry under biaxial stresses, Proceedings of the Institution of Civil Engineers, 2,79, 295-313.
- Dhanasekar., M. ve Page, A.W. 1986. The influence of brick masonry infill properties on the behavior of infilled frames, Proceedings of the. Institution of Civil Engineers, 2,81, 593-605.
- Dhanasekar, M., 2011. Shear in Reinforced and Unreinforced Masonry: Response, Design and Construction. Procedia Engineering, 14, 2069-2076.

- Dialer, C. (1990) Failure and deformation behavior of shear stressed masonry panels, biaxial tests in scaled masonry (in German), Dissertation, Munich University of Technology, Munich, Germany.
- Dilrukshi, K.G. ve Dias, W.P. Field survey and numerical modelling of cracking in masonry walls due to thermal movements of an overlying slab. Journal of The National Science Foundation of Sri Lanka, 36,3, 205-213. <http://doi.org/10.4038/jnsfsr.v36i3.156>, 29.09.2008.
- Doherty, K., Griffith, M.C., Lam, N., Wilson, J. Displacement -based seismic analysis for out-of-plane bending of unreinforced masonry walls, Earthquake Engineering and Structural Dynamics, 31,4 833-850. <https://doi.org/10.1002/eqe.126>, 25.01.2002
- Dubois, F., Renouf, M., ve Jean, M., 2007. Extensions d'une méthode par éléments discrets pour la modélisation de milieux divisés complexes, In 8e Colloque National en Calcul des Structures Giens, 63.
- El-Refai, F. E., Salama, A., E ve Morsy, E. H., 1984. Analytical and Experimental investigation of masonry in compression, Proceedings of the first national conference on The Science and Technology of Buildings, Khartoum, Sudan.
- Emeritus, A., ve Hendry W.,2001. Masonry walls: materials and construction, Construction and Building Materials, 15,2, 323-325.
- Ergün, M., 2019. Lifli polimer kompozit malzemeler ile güçlendirilmiş çentikli (hasarlı) çelik kirişlerin yorulma davranışlarındaki ve dinamik karakteristiklerindeki değişimlerin analitik, sayısal ve deneysel yöntemlerle incelenmesi, Doktora Tezi, K.T.Ü., Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Gabor, A., Ferrier E, Jacquelin E., ve Hamelin P.,2006. Analysis and modeling of the in-plane shear behavior of hollow brick masonry panel, Construction and Building materials, 20, 2, 306-308.
- Gambarotta, L. ve Lagomarsimo, S., 1997. Damage models for seismic response of brick masonry shear walls.Part I: The mortar joint model and its applications, Journal of Earthquake and Structural Dynamics, 26,4,423-439.
- Giancarlo, M., Giovanni, F., Gaetano, M. ve Andrea, P., 2007. Experimental and numerical evaluation of tuff masonry panels shear seismic capacity, 10th North American Masonry Conference, St. Louis, Missouri, USA.
- Gilbert, M., Casapulla, C. ve Ahmed, H.M., 2006. Limite analysis of masonry block structures with non-associative frictional joint using linear programming, Computers and Structures, 84,1, 873-887. doi:10.1016/j.compstruc.2006.02.005.
- Guinea, G.V., Hussein G., Elices, M. ve Planas J., 2000. Micromechanical modelling of brick-masonry fracture, Cement and Concrete Research, 30, 731-737.

- Gumaste, K. S., Nanjunda Rao, K. S., Venkatarama Reddy, B.V. ve Jagadish, K. S., 2007. Strength and elasticity of brick masonry prisms and wallettes under compression, Material and Structures, 40,2, 441-453.
- Hall, J. D., Schuman, P. M., ve Hamilton, H. R., 2002. Ductile anchorage for connecting FRP strengthening of under-reinforced masonry buildings, Journal of Composites for Construction, ASCE,6,1, 3–10.
- Hamid, A. A., Heidebrecht, A. C., ve Drysdale, R. G., 1979. Shear strength of concrete masonry joints, Journal of the Structural Division 105, 7 1227-1240.
- Hamid, A.A. ve Drysdale, R.G., 1988. Flexure tensile strength of concrete block masonry, Journal of Structural Engineering ASCE, Structural Division, 114,1, 217-227.
- Hamid, A.A., El-Dakhakhni, W.W., Hakam, Z.H.R. and Elgawdy, M., 2005. Behaviour of Composites Un-reinforced Masonry Fiber-Reinforced Polymer Wall Assemblages under In-Plane Loading, Journal of Composites for Construction, 9, 1, 73 - 83.
- Hamilton III, H.R., ve Dolan, C.W., 2001. Flexural Capacity of Glass FRP Strengthened Concrete Masonry Walls, Journal of Composites for Construction, ASCE, 5,3, 170 –178.
- Hamoush, S.A., McGiney, M.W., Mlakar, P., Scott, D. ve Murray, K., 2001. Out-of-Plane Strengthening of Masonry Walls with Reinforced Composites, Journal of Composites for Construction, 5, 3, 139 –145.
- Haroun, M. A., Mosallam, A. S., ve Allam, K. H., 2005. Cyclic in-plane shear of concrete masonry walls strengthened by FRP Laminar, Proceeding of the Seventh International Symposium on Fiber Reinforced Polymers for Reinforced Concrete Structures, FRPRCS7, Kansas City, USA.
- Heylen, W., Lammens, S., ve Sas, P., 1994. Modal Analysis Theory and Testing. KUL, Leuven, Belgium.
- Heyman, J., 1966. The stone skeleton. International Journal of solids and structures 2, 2, 249–279.
- Hemant B. K., Durgesh C.R., ve Sudhir K. J., 2007. Stress-Strain Characteristics of Clay Brick Masonry under Uniaxial Compression, Journal of Materials in Civil Engineering, 19,9, 266-288.
- Hilsdorf, H. K., 1969. Investigation into the failure mechanism of brick masonry loaded in axial compression, in: Designing, engineering and constructing with masonry products, editions. F.H. Johnson, Gulf Publishing Company, Houston, Texas, USA, 34-41.
- Hoffmann, P., ve Stockl, S., 1986. Tests on the shear-bond behaviour in the bed-joints of masonry, Masonry International, 9, 1-15.

- Holmes, M., Smith, B. S., Mainstone, R. J., Wood, R. H., ve Sachanski, S., 1961. Discussion steel frames with brickwork and concrete infilling, Proceedings of the Institution of Civil Engineers, 23, 93–104.
- Holmes, M., 1963. Combined loading on infilled frames, Proceedings of the Institution of Civil Engineers, 25, 31–38.
- Jagadish, K.S., Raghunath, S., ve Nanjunda R.K.S., 2002. Shock table studies on masonry building model with containment reinforcement, Journal of Structural Engineering 29,9, 379-390.
- Jahangir, B., Ahmad, M. M., ve Shamala, S., 2004. Finite element modeling of structural clay brick masonry subjected to axial compression, Jurnal Teknologi, 41, 57-78.
- Jukes, P., ve Riddington, J. R., 1998. A review of masonry tensile bond strength test methods, Masonry International, 12,2, 27-31.
- Kaushik, H.B., Rai D.C., ve Jain, S.K., 2007. Uniaxial compressive stress-strain model for clay masonry. Current Science, 92,4, 497-501.
- Kadir M. R., ve Hendry A.W., 1975. Behavior of brickwork infilled frames under load. Proceedings of the 5th International Symposium on Load Bearing Brickwork. British. Ceramics Research Association, London, 65-77.
- Koiter, W.T., 1953. Stress-strain relations, uniqueness and variational theorems for elastic-plastic materials with a singular yield surface, Quarterly of Applied Mathematics, 11,3, 350-354.
- Konig, G., Mann, W. ve Otes, A., 1988. Experimental Investigations on the behaviour of unreinforced masonry walls under seismically induced loads and lessons derived, Proceedings 9th World Conference on Earthquake Engineering (WCEE), 8, 1117-1122. Tokyo-Kyoto, Japan.
- Korkmaz, K.A., 2009. Seismic safety assessment of unreinforced masonry low-rise buildings in Pakistan and its neighborhood, Natural Hazards Earth System Science, 9, 1021.
- Lawrence, M., Heath, A. ve Walker P., (2008). Modern innovations with unfired clay masonry. Proceedings 8th International Seminar on Structural Masonry (ISSM 08), Istanbul, Turkey.
- Lee, J., ve Fenves, G.L., 1998. Plastic-damage model for cyclic loading of concrete structures, Journal of Engineering Mechanics, 124,8, 892-900.
- Livesley, R., 1978. Limit analysis of structures formed from rigid blocks. International Journal for Numerical Methods in Engineering 12,12 1853-1871.

- Lofti, H.R. ve Shing, B.P. 1991. An appraisal of smeared crack models for masonry shear wall analysis, Computers and structures,41,3 413-425.
- Lofti, H.R. ve Shing, B.P. 1994. Interface model applied to fracture of masonry structures, Journal of Structural Engineering, 120, 1, 63-80.
- López, J., Oller, S., Oñate, E., ve Lubliner, J., 1999. A Homogenous Constitutive Model for Masonry, International Journal of Numerical Methods in Engineering, 46,10, 1651-1671.
- Lourenço, P.B.,1996. Computational strategies for masonry structures, PhD thesis, TU Delft, Delft University of Technology.
- Lourenço, P.B., Rots, J.G, ve Van Der Pluijm, R., 1999. Understanding the tensile behaviour of masonry parallel to the bed joints: a numerical approach, Masonry International, 12, 3, 96-103.
- Lourenço, P.B. ve Rots, J.G., 1997. Multisurface interface model for analysis of masonry structures, Journal of Engineering Mechanics, 123, 7, 660-668.
- Lourenço, P.B., Barros, J.O., ve Oliveira, J.T, 2004. Shear testing of stack bonded masonry, Construction and Materials, 18,2, 125-132.
- Luciano, R. ve Sacco E, 1998. A damage model for masonry structures, European Journal of Mechanics, 17, 2, 285-292.
- Mallick, D. ve Severn R.,1967. The behaviour of infilled frames under static loading, Proceedings of the Institution of Civil Engineers,39,639-656.
- Magenes, G., 2006. Masonry building design in seismic areas: Recent experiences and prospects from a European standpoint, First European Conference on Earthquake Engineering and Seismology, Geneva, Switzerland.
- Mann, W. ve Müller, H., 1982. Failure of shear-stressed masonry - an enlarged theory, tests and application to shear walls, Proceedings of the British Ceramic Society, 30, 223-235.
- Maurenbrecher, A., 1980. Effect of test procedures on compressive strength of masonry prisms. Precision Second Canadian Masonry Symposium, 119-132, Ottawa.
- Mehrabi, A.B., Benson Shing, P., Schuller, M.P. ve Noland, J.L., 1994. Performance of masonry-infilled R/C frames under in-plane lateral loads: analytical modeling. Report No. CU/SR-94/6, University of Colorado at Boulder.
- Meli, R., Zeevaert, W., ve Esteva, L., 1968. Behaviour of Reinforced Masonry under Alternating Loads, Instituto de Ingeniería, UNAM, Report No. 156.

- Meli, R. ve Salgado, G., 1969. Comportamiento de muros de mampostería sujetos a carga lateral. México: Editorial II-UNAM, 102.
- Mendola, L., Papia, M. ve Zongone, G. 1995. Stability of masonry walls subjected to seismic transverse forces. Journal of Structural Engineering, 121,11, 1581-1587.
- Mengi, Y. ve McNiven, H.D., 1986. A Mathematical model for predicting the non-linear response of unreinforced masonry wall to in-plane earthquake excitations, UCB/ERRC-86/07 Report, University of California. Berkeley, California, USA.
- Milani, G., Lourenco, P. ve Tralli, A. 2006. Homogenization Approach for the Limit Analysis of Out-of-Plane Loaded Masonry Walls, Journal of Structural Engineering, 132, 10, 1650 - 1663.
- Moghaddam, H.A., 2004. Lateral Load Behaviour of Masonry In-filled Steel Frames with Repair and Retrofit, Journal of Structural Engineering, 130,1, 56 - 63.
- Mohamad, G., Lourenço, P. B., ve Roman H. R., 2005. Mechanical behavior assessment of concrete block masonry prisms under compression. proceedings of International Conference on Concrete for Structures (INCOS 05), Coimbra, Portugal 261-263.
- Mojsilović, N., 1995. On the Response of Masonry Subjected to Combined Actions (in German). Ph.D. Thesis. Institute of Structural Engineering, ETH Zurich, Zurich, Switzerland.
- Mosalam, K.M, ve Kadysiewski, S., 2009. Modelling of unreinforced masonry infill walls considering in-plane and out-of-plane interaction. 11th Canadian Masonry Symposium, Toronto, Ontario, Canada.
- Mustafa T, Bruneau M, ve Saatcioglu, M., 2000. Seismic retrofitting of low-rise masonry concrete walls using steel strips, Journal of Structural Engineering, 126,9, 1026-1032.
- Orduña, A., ve Lourenço, P. B., 2003. Cap model for limit analysis and strengthening of masonry structures, Journal of Structural Engineering 129, 10 1367-1375.
- Oliveira, D.V., Lourenço, P.B., ve Roca P., 2000. Experimental characterization of the behaviour of brick masonry subjected to cyclic loading. Proceedings of the 12th International Brick/Block Masonry Conference, Madrid, Spain.
- Olivito, R.S. ve Stumpo, P., 2001. Fracture mechanics in the characterisation of brick masonry structures, Materials and Structures/Materiaux et Constructions, 34,2, 215-217.
- OMA, 2006. Operational Modal Analysis, Release 4.0. Structural Vibration Solution A/S, Denmark.

- Overschee, P.V. ve Moor, B.D., 1996. Subspace Identification for Linear Systems: Theory, Implementation and Applications, Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, Netherlands.
- Page, A.W., 1978. Finite element model for masonry. Journal of the Structural Division., ASCE, 104,8, .1267-1285.
- Palmer, L., ve Hall, J., 1931. Durability and strength of bond between mortar and brick. United States Bureau of Standards Journal of Research 6, 3, 28.
- Paulay, T. ve Priestley, M.J.N., 1992. Seismic Design of Reinforced Concrete and Masonry Buildings, John Wiley and Sons, New York, United States.
- Pelá L., 2009. Continuum Damage Model for Nonlinear Analysis of Masonry Structures. Ph.D. Thesis. Departament de Resistència de Materials i Estructures a l'Enginyeria, Universidad Politècnica de Catalunya, Barcelona, España.
- Peeters, B., 2000. System Identification and Damage Detection in Civil Engineering, Doktora Tezi, K.U, Leuven, Belgium.
- Peeters, B. ve Roeck, G.D., 2000. Reference Based Stochastic Subspace Identification in Civil Engineering, Inverse Problems in Civil Engineering, 8, 47-74.
- Polyakov, S.V., 1960. On the interaction between masonry filler walls and enclosing frame when loading in the plan of the wall. Translation in earthquake engineering, Earthquake Engineering Research Institute (EERI) 36-42.
- Priestley, M.J.N., 1985. Seismic Behavior of Unreinforced Masonry Walls. Bulletin of New Zealand National Society for Earthquake Engineering, .18, 2. 191-205.
- Priestley, M.J.N., 1986 ve Robinson, L.M., 1986. Discussion: Seismic Behavior of Unreinforced Masonry Walls. Bulletin of New Zealand National Society for Earthquake Engineering, .19, 1. 65-75.
- Priestley M.J.N., Calvi, G.M., ve Kowalsky, M.J., 2007. Displacement-Based Seismic Design of Structures, IUSS Press, Pavia, Italy.
- Reynold, P., 2000. The Effects of Raised Access Flooring on The Vibrational Performance of Long-Span Concrete Floors, Doktora Tezi, University of Sheffield, England.
- Ritchie, T. ve Davidson, J.I., 1963. Symposium on Masonry Testing, ASTM STP 320 American Society for Testing and Materials, 16-30.
- Rivero, C.E. ve Walker, W. H., 1984. An analytical study of interaction of Infill Masonry Walls, Proceedings of the 8th World Conference. on Earthquake Engineering. San Francisco, 4, 591-598.

- Rots, J. G., 1988. Computational modeling of concrete fracture, PhD thesis, Technische Hogeschool Delft.
- Sachanski, S., 1960. Analysis of earthquake resistance of frame building taking into consideration the carrying capacity of the filling masonry. Proceedings of the 2nd World Conference on Earthquake Engineering, 14, 3, 27-34.
- Schwarz, B.J. ve Richardson, M.H., 1999. Experimental Modal Analysis, CSI Reliability Week, Orlando, USA.
- Sevim, B., 2010. Kemer Barajların Dinamik Davranışlarının Sonlu Eleman ve Deneysel Modal Analiz Yöntemleriyle Belirlenmesi, Doktora Tezi, KTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.
- Shambu S., 2006. Application of reinforced shotcrete layer to un-reinforced brick masonry, Journal of Structural Engineering, 33, 4, 355-359.
- Sánchez, T., Flores, L., ve Alcocer, S. (1996). Estudio experimental sobre una estructura de Mampostería Confinada Tridimensional Construida a Escala Natural y Sujeta a Cargas Laterales. Memorias, X Congreso Nacional de Ingeniería Estructural. México, 909-918.
- Sayari, A, Donchev, T., Limbachiya, M.C., ve Kew, H.Y., 2010 Outof-Plane behaviour of FRP strengthened masonry walls. In: 8th International Masonry Conference- Innovative Solutions for Sustainable Masonry Construction, Dresden, Germany
- Sinha, B.P., 1978. A simplified ultimate load analysis of laterally loaded model orthotropic brickwork panels of low tensile strength, Structural Engineer, 56B, 81-84.
- Sucuoglu, H., Mengi, Y. ve McNiven, H.D., 1982 A Mathematical model for the response of masonry walls to dynamic excitations, UCB/EERC-82/24 Report, University of California. Berkeley, California, USA.
- Sharif, I., Meisl, C.S., Elwood, K.J., 2007 Assessment of ASCE 41 height-to-thickness ratio limits for URM walls, Earthquake Spectra, 23,4, 893–908.
- Stafford-Smith B., 1962. Lateral stiffness of infilled frames. Proceedings of the American Society of Civil Engineers ASCE, Journal of the Structural Division, 88,6 183–226.
- Shrive N.G., 2006. The use of fibre reinforced polymers to improve seismic resistance of masonry. Construction and Building Materials, 20, 269–277.
- Tasnimi, A. A., ve Mohebkah, A., 2011. Investigation on the behaviour of brick infilled steel frames with openings, experimental and analytical approaches, Engineering Structures, 33,3, 968-980.
- Theofanis, D. K., ve Thanasis, C.T., 2005. Masonry confinement with fiber-reinforced polymers, Journal of Composites for Construction, ASCE, 9,2, 128-135.

- Thomas, K., 1971. Structural Brickwork. materials and performance. The Structural Engineer, 49,10, 441–450.
- Tomažević, M., 1999. Earthquake-resistant design of masonry buildings, Imperial College Press, London.
- Totoev, Z ve Nichols, J.M., 1997. A Comparative experimental study of the modulus of elasticity of bricks and masonry, 11th International Brick and Block Masonry Conference, Shanghai, China.
- Toumbakari E.-E., Vintzileou, E., Pisano F. ve Van Gemert D., 2000. Development of a model wall for the experimental study of three-leaf masonry walls; Proceedings of 12th International Brick and Block Masonry Conference. ,vol.III, Adell J.-M. edition., 1865-1875. Madrid,Spain.
- Triantafillou, T.C., 1998. Strengthening of masonry structures using epoxy bonded FRP laminated, Composite construction, 2, 2, 39-45.
- TS 706 EN 12620 + A1, 2009. Beton Agregaları, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- TS EN 197-1, 2012. Genel Çimentolar Bölüm 1: Genel Çimentolar- Bileşim, Özellikler ve Uygunluk Kriterleri, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- TS EN 771-1, 2011. Kâgir Birimler Özellikleri Bölüm 1: Kil Kâgir Birimler (Tuğlalar). Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- Turco V, Secondin S, Morbin A, Valluzzi M. R., ve Modena C., 2006. Flexural and shear strengthening of un-reinforced masonry with FRP bars, Composites Science and Technology, 66,2, 289-296
- Tvergaard, V., 1990. Effect of fibre debonding in a whisker-reinforced metal, Materials Science and Engineering A.125, 203–213.
- Ural, A. ve Doğangün, A., 2009. Yığma Duvarların Kayma Kapasitelerini Etkileyen Parametreler: Desteksiz Duvar Uzunluğu, E-Journal of New World Sciences Academy. 4, 3, 340-350.
- Ural, A., 2009. Yığma Yapıların Doğrusal Olmayan Elastik Ötesi Davranışlarının İncelenmesi, Doktora Tezi, K.T.Ü., Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.
- Vermeltoort, A.Th. ve Raijmakers, T.M.J., 1993. Deformation controlled tests in masonry shear walls, Part 2 (in Dutch). Report TUE/BKO/93.08, Eindhoven University of Technology, Eindhoven, The Netherlands.
- Valluzzi, M. R., 2002. Shear behavior of masonry panels strengthened by FRP laminates, Construction and Building Materials, 16,3, 409-412.

- Velazquez-Diams, J.I., ve Ehsani, M.R., 2000. Modelling out-of-plane behaviour of URM walls retrofitted with fiber composites, Journal of Composites for Construction,6,4, 27-33.
- Van der Pluijm, R., 1999. Out-of-plane bending of masonry behavior and strength. PhD thesis, Eindhoven University of Technology.
- Wang, Q., Chai, Z., Huang, Y., Yang, Y., ve Zhang, Y., 2006. Seismic shear capacity of brick masonry wall reinforced by GFRP, Asian Journal of Civil Engineering, 7, 6, 563-571.
- Zengin, B., ve Koçak, A., 2017. The Effect of the Bricks used in Masonry Walls on Characteristic Properties, Sigma Journal of Engineering and Natural Sciences, 35,4, 667-677.



ÖZGEÇMİŞ

Küba devlet bursunu kazandı. Aynı yılda İspanyolca bir yıllık kursa geçirdi. Instituto Superior Politécnico José Antonio Echeverría, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü'nde lisans eğitimine başladı. 2010 yılında aynı Instituto Superior Politécnico José Antonio Echeverría, Hidrolik alanda Anabilim Dalı'nda yüksek lisans eğitimine başladı ve "DOHi yazılımı ile istinat duvarının modellenmesi" isimli tezle Yüksek Lisans eğitimini tamamladı. Küba'da eğitimini tamamladıktan sonra bir tasarım ofisinde üç ay çalıştı. Ardından dört ay boyunca bir dil enstitüsünde İspanyolca öğretti. 2013- 2014 döneminde Hidrolik Bakanlığı adına su sektöründe (Water and Sanitation for Africa) çalıştı. Türkiye burslarından burs kazanıp Türkçe öğrenmeye başladı. Eylül 2015'te Karadeniz Teknik Üniversitesi'nde inşaat mühendisliği doktorasına başladı.