T.C.
DİCLE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YARI RİJİT DOLGU DUVARLARDAN OLUŞAN DÜZLEMSEL ÇERÇEVELERİN ANALİZİ

Sultan ERDEMLİ GÜNASLAN

DOKTORA TEZİ

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

DİYARBAKIR
Ocak 2019

T.C.
DİCLE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YARI RİJİT DOLGU DUVARLARDAN OLUŞAN DÜZLEMSEL ÇERÇEVELERİN ANALİZİ

Sultan ERDEMLİ GÜNASLAN

DOKTORA TEZİ

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

DİYARBAKIR
Ocak 2019

T.C

DİCLE ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ MÜDÜRLÜĞÜ

DİYARBAKIR

Sultan ERDEMLİ GÜNASLAN tarafından yapılan "Yarı Rijit Dolgu Duvarlardan Oluşan Düzlemsel Çerçevelerin Analizi" konulu bu çalışma, jürimiz tarafından İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalında DOKTORA tezi olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyesinin

Ünvanı	Adı Soyadı
Başkan (Tez Danışmanı)	:Doç. Dr. A. Halim KARAŞİN.....
Üye	: Doç. Dr. Halil GÖRGÜN.....
Üye	: Doç. Dr. Sedat BİNGÖL.....
Üye	: Doç. Dr. Muhammet KARATON.....
Üye	: Doç. Dr. Mehmet KARATAŞ.....

Tez Savunma Sınavı Tarihi: 28/01/2019

Yukarıdaki bilgilerin doğruluğunu onaylarım.

.../...../201..

Prof. Dr. Sevtap SÜMER EKER

ENSTİTÜ MÜDÜR V.

(MÜHÜR)

TEŞEKKÜR

Doktora çalışmam boyunca bilgi ve birikimlerini paylaşarak bana yol gösteren, desteğini esirgemeyen kıymetli danışman hocam Sn. Doç. Dr. Halim KARAŞİN'e, verdiği tavsiyeler ile motivasyonumu arttıran çok değerli hocam Sn. Doç. Dr. Halil GÖRGÜN'e, tez çalışmamda test cihazlarını kullandığım Utest Malzeme Test Cihazları Anonim Şirketine ve özellikle teknik, envanter ve her türlü konuda ciddi desteği olan teknik personellerden Mecnun AYTEMİR'e, deneylerimizi gerçekleştirdiğimiz bölgemizin ilk yapı malzemeleri kalite kontrol ve beton laboratuvarı olan 'Ultra Yapı Malzemeleri Kalite Kontrol ve Beton Laboratuvarı San. ve Tic. Ltd. Şti' ve Şirket ve Laboratuvar Müdürü Hacı KAN'a, laboratuvar yöneticilerine, desteğini sunan tüm personellere, deney ekipmanları konusunda teknik destek sunan Referans Makine ve Araltek Telekomünikasyon şirket yetkilileri Ali İhsan ÖZDOĞAN ve Anıl Oktay ÇELİK'e, doktora sürecinde Erasmus hareketliliği çerçevesinde staj yapmama olanak sağlayan, yurt dışı deneyimi sunan ve bakış açımı değiştiren Gobito Bilişim Teknolojileri yetkililerine ve teknik personellerine, doktora süresi boyunca her türlü desteği sunmaktan kaçınmayan Dicle Üniversitesi Mühendislik Fakültesi akademik personellerinden, Gökmen ÖZTÜRKMEN ve Felat DURSUN'a ve bu süreçte desteklerini sunan tüm arkadaşlarıma teşekkürü bir borç bilirim.

Tez çalışmamın her aşamasında benimle birlikte emek veren, her koşulda sabırlı davranan, başarılı olmam için her zaman yanımda olan sevgili eşim Yunus GÜNASLAN'a, Gaziantep'te deney sürecinde tüm yükümüzü çeken kıymetli GÜNASLAN ailemize, akademik kariyerim için her türlü desteği sunan, motivasyon sağlayan her düştüğümde beni kaldıran değerli babam ve annem Özer ERDEMLİ ve Esma ERDEMLi'ye, doktora sürecince inancımı kaybetmememem için beni her zaman motive eden, moral veren uzakta olsalar da manevi desteklerini esirgemeyen, benim güzel aileme sonsuz teşekkür ederim.

Sultan ERDEMLİ GÜNASLAN

2019- Diyarbakır

İÇİNDEKİLER

		Sayfa
TEŞEKKÜR …….....		I
İÇİNDEKİLER……..…..		II
ÖZET…….....		VII
ABSTRACT…….....		VIII
ÇİZELGE LİSTESİ…….....		IX
ŞEKİL LİSTESİ……		XII
KISALTMA VE SİMGELER…….		XVIII
1.	**GİRİŞ……...**	1
1.1.	Çalışmanın Amacı ve Kapsamı……	6
2.	**ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR……..**	9
2.1.	Dolgu Duvar Davranışının Yapı Analizlerinde Modellemeye Yansıtılması....	19
2.1.1.	Mikro modelleme…….	19
2.1.1.1.	Sonlu Elamanlar Modeli……...	20
2.1.2.	Makro Modelleme…….....	20
2.1.2.1.	Eşdeğer Sanal Çubuk Modeli……...	21
2.1.3.	Meso Modelleme.....	24
2.2.	Dolgu Duvar Davranışının Yönetmeliklere Göre Modelleme Esasları……	24
2.2.1.	DBYBHY 2007'ye Göre Dolgu DuvarModelleme Esasları……..…..	25
2.2.2.	Fema 306'ye Göre Dolgulu Duvar Modelleme Esasları…….....……	26
2.2.2.1.	Rijitlik……...……	26
2.2.2.2.	Dayanım……...….	27
	- Kayma–Kesme Göçmesi.....……..	27
	- Basınç Göçmesi …….....……	28
	- Panelin Diyagonal Çekme Göçmesi …….....…….....…….....….	28
	- Panelin Kesme Göçmesi ….....…….....…….....…….....……..	28
2.2.2.3.	Dolgu Panelde Donatı Etkisi .....…….....	29
2.2.2.4.	Boşluksuz Dolgu- Panel Bileşenlerin Deformasyon Kapasitesi…….....……..	29

2.2.2.5. Duvar Göçme Biçimlerine Göre Kapasite Hesapları……...…… 30

- Yatay Derz Kayması ……...……. 30
- Devrilme ……..…… 31
- Digonal Çekme …….…….....……. 32
- Topuk Ezilmesi ……..…....…….. 32

2.3. Dolgulu Çerçeve Duvar Bileşenleri ve Davranış Modelleri…...…….. 33

2.3.1. Fema 306'ya Göre Boşluksuz Dolgu Duvarlı Sistemlerde Hasar Biçimleri.... 34

2.3.1.1. Yatay Derz Kayması……...…….. 34

2.3.1.2. Diyagonal Çatlaklar……..…… 34

2.3.1.3. Köşe Ezilmesi..…… 35

2.3.1.4. Düzlem Dışı Göçmeler……..…… 35

2.3.2. Araştırmacıların Yaptıkları Çalışmalara Göre Göçme Modları…....…….. 35

2.4. Dolgu Duvarların Betonarme Yapıların Sismik Davranışına Etkisi…… 39

2.4.1. Rijitliğe Etkisi……..……. 39

2.4.2. Sünekliğe Etkisi…… 41

2.4.3. Enerji Yutma Kapasitesine Etkisi…….....…….. 41

2.4.4. Yatay Yük Taşıma Kapasitesine Etkisi……..…….. 44

2.4.5. Yapı Periyotlarına Etkisi……..…… 45

2.5. Dolgulu Çerçeve Elemanları…… 45

2.5.1. Dolgu Duvarlar (Panelleri)……...…… 47

2.5.1.1. Dolgulu Duvarlarda Dolgu Amaçlı Kullanılan Malzemeler ……...… 47

- Tuğla Malzeme…… 47
- Beton Bloklar …….. 49
- Perde Duvarlar…….……. 49

2.5.1.2. Dolgu Duvarlarda Geometri……...…….. 50

2.5.2. Çerçeve Bileşenleri…….…….. 52

2.5.2.1. Çelik Çerçeveler……..……. 52

2.5.2.2. Beton (Betonarme) Çerçeveler……...…….. 53

2.6. Duvar Dayanımına Etki Eden Faktörler……...…… 54

2.6.1. Derz Kalınlığı……... 54
2.6.2. Tuğla Basınç Dayanımı……... 55
2.6.3. Harç Dayanımı……..... 56
3. MATERYAL VE METOT ……... 59
3.1. Deney Materyalleri ve Malzemelerin Ön Deneyleri. ……..... 59
3.1.1. Agrega Deneyleri ve Özellikleri……..... 59
3.1.1.1. Elek Analizi Deneyi……..... 61
3.1.1.2. Çok İnce Malzemenin Muhtevası Deneyi……..... 62
3.1.1.3. Agregaların Tane Büyüklüğü Dağılımı……..... 63
3.1.1.4. İri Agregaların Yassılık ve Şekil İndeksi……..... 63
3.1.1.5. İnce Tanelerin Tayini - Metilen Mavisi Deneyi……..... 65
3.1.1.6. Agregalarda Birim Ağırlık, Özgül ağırlık ve Su Emme Tayini Deneyleri..... 65
3.1.1.7. İri Agregaların Parçalanma Direnci Deneyi……..... 68
3.1.1.8. İri Agregaların Donma/Çözülme Etkisine Karşı Direnci Deneyi..... 69
3.1.1.9. Hacim Kararlılığı - Kuruma Büzülmesi Deneyleri……..... 69
3.1.2. Tuğla Özellikleri ve Deneyleri……..... 70
3.1.2.1. Boyut ve Tolerans Analizi…….....…… 70
3.1.2.2. Konfigürasyon ve Görünüş Analizi……..... 71
3.1.2.3. Birim Hacim Ağırlık Analizi……..... 72
3.1.2.4. Mekanik (Basınç) Dayanım Analizi ……..... 74
3.1.2.5. Dayanıklılık Analizi ……..... 74
3.1.2.6. Kapiler Etkisiyle Su Emme Katsayısı Analizi ve Su Emme Analizi..... 75
3.1.2.7. Su Buharı Geçirgenliği ve Isıl Davranış Özellikleri ……..... 76
3.1.3. Donatı Özellikleri ve Deneyleri ……..... 77
3.1.3.1. Donatı Çekme Deneyleri ……..... 79
3.1.4. Beton Özellikleri ve Deneyleri ……..... 81
3.1.4.1. Deney Kapsamında Üretilen C25 Betondan Numune Alımı..... 83
3.1.4.2. Çökme Deneyi (Slump Test)...….... ……..... 84
3.2. Deney Hazırlık Kısmı.....…..…….. 85

3.2.1. Donatı Boylarının Belirlenmesi ve Kesilmesi……..... 85
3.2.2. Etriyelerin Boyutlandırılması, Kesilmesi ve Yapımı ……..... 87
3.2.3. Yarı Rijit Eleman Numunelerinin Oluşturulması ……..... 90
3.2.3.1. Yarı Rijit Elemanların Adlandırılması ……..... 93
3.2.3.2. Yarı Rijit Elemanların Bakımı ve Korunması ...……. 95
3.2.4. Deney Öncesi Gerekli Koşulların Oluşturulması …….....…… 96
3.2.4.1. Numune Yüzeylerinin Düzeltilmesi …….....…..…… 96
3.2.4.2. Press Makinasının İki Yüzeyine Plaka Uygulaması ……...……...… 97
3.2.4.3. Yarı Rijit Elemanların İçindeki Betonarme Elemanlar …….....….. 98
3.2.5. Deney Düzeneğinin Oluşturulması……...… 99
3.2.5.1. Deneyde Kullanılan LVDT'ler.....……...… 99
3.2.5.2. Deneyde Kullanılan Veri Toplama Sistemi ve Yazılımı……..... 100
3.2.5.3. Deneylerde Kullanılan Manyetik Ayaklar……..... 101
3.2.5.4. Deneylerde Kullanılan Press Cihazı……..... 102
3.2.5.5. Deneyde Kullanılan Çerçeveler……...… 104
3.2.6. Faydalı Modellerin Oluşturulması……..... 104
3.2.6.1. ASTM C 469 Standardına Göre Test Metotları ve Düzenekleri…… 105
- Kompresometre…..……..... 105
- Ekstensometre……..……. 106
3.2.6.2. Standarda Uygun Üretilen Kombine Kompresometre –Ekstensometreler 107
3.3. Deneyler……..... 109
3.3.1. Beton Çekme Dayanımlarının Belirlenmesi..... 109
3.3.2. Elemanların Elastisite Modüllerinin Belirlenmesi..... 110
3.3.2.1. Başlangıç Modülü……..... 111
3.3.2.2. Teğet Modülü…….....……..... 111
3.3.2.3. Sekant Modülü…….....……..... 112
3.3.3. Beton Basınç Deneyleri……..…….. 116
3.3.4. Boş Tuğla Deneyleri……..……..... 119
3.3.5. Yarı Rijit Eleman Deneyleri.……..... 121

3.3.6.	Yarı Rijit Eleman İçindeki Betonarme Eleman Deneyleri……..	123
4.	**ARAŞTIRMA BULGULARI……..**	125
4.1.	Malzemelerin Ön Deney Sonuçları.....	125
4.1.1.	Agrega Deney Sonuçları.....	125
4.1.1.1.	Bazalt ve Dere Malzeme Elek Analizi Sonuçları.....	126
4.1.1.2.	Çok İnce Malzemenin Muhtevası Deney Sonuçları.....	128
4.1.1.3.	Agregaların Tane Büyüklüğü Dağılımı Sonuçları.....	129
4.1.1.4.	İri Agregaların Yassılık ve Şekil İndeksi Sonuçları.....	129
4.1.1.5.	İnce Tanelerin Tayini - Metilen Mavisi Deneyi Sonuçları.....	130
4.1.1.6.	Agregalarda Birim Ağırlık, Özgül ağırlık ve Su Emme Tayini Deney Sonuçları	130
4.1.1.7.	İri Agregaların Parçalanma Direnci Deney Sonuçları.....	131
4.1.1.8.	İri Agregaların Donma/Çözülme Etkisine Karşı Direnci Deney Sonuçları.....	132
4.1.1.9.	Hacim Kararlılığı - Kuruma Büzülmesi Deney Sonuçları.....	132
4.1.2.	Tuğla Deney Sonuçları.....……	132
4.1.3.	Donatı Deney Sonuçları..…….....	134
4.1.4.	Beton Deney Sonuçları.…….....	136
4.1.4.1.	Beton Çökme (Slump Test) Deneyi Sonuçları.....	137
4.2.	Deneyler.....	137
4.2.1.	Sertleşmiş Beton Deney Sonuçları.....	138
4.2.2.	Boş Tuğla Deney Sonuçları.....	146
4.2.3.	Yarı Rijit Elemanların Deney Sonuçları.....	148
4.2.4	Yarı Rijit Elemanların İçindeki Betonarme Elemanların Deney Sonuçları.....	159
5.	**SONUÇLAR VE ÖNERİLER ……**	165
5.1.	Sonuçlar....……...……	165
5.2.	Öneriler ……	167
6.	**KAYNAKLAR……**	169

ÖZET

YARI RİJİT DOLGU DUVARLARDAN OLUŞAN DÜZLEMSEL ÇERÇEVELERİN ANALİZİ

DOKTORA TEZİ

Sultan ERDEMLİ GÜNASLAN

DİCLE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

2019

Yapıların büyük çoğunluğunda mekânları birbirinden ayırmak, kullanım alanlarını dış ortamdan izole etmek ve yalıtım amacıyla dolgu duvarlar tercih edilmektedir. Dolgu duvar uygulamalarında farklı yöntemler kullanılmaktadır. Yaygın olarak kullanılmasına rağmen, malzemelerdeki çeşitliklere bağlı olarak homojen olmayan, kısmi boşluklu, tam dolu gibi farklı şekillerde uygulanabilen dolgu duvarların hesap modelinin oluşturulması, birçok değişkeni içerdiğinden dolayı karmaşıklaşmaktadır. Bu nedenle, dolgu duvarlar genellikle yapısal analizlerde yalnızca düşey yük olarak dikkate alınmakta ve hesap modeline yansıtılmamaktadırlar. Dolgu duvar amaçlı kullanılan perde duvarlar ise sistemde kütle merkezi ile rijitlik merkezini birbirinden uzaklaştırabilmekte, çoğu zamanda yapıyı fazla rijit hale getirmektedir. Çalışma kapsamında yapılarda dolgu duvar amaçlı kullanılmak üzere yarı rijit olarak adlandırılan bir yöntem önerilmiştir. Yarı rijit eleman olarak tanımlanan beton dolgulu ve donatılı/etriyeli tuğlaların davranışı bu kapsamda incelenmiştir. Kalıp amaçlı kullanılan tuğlaların iç kısmında oluşturulan betonarme koloncuklarla oluşturulan yarı rijit elemanların boş tuğla dolgulu sisteme göre daha iyi davranış sergilediği görülmüştür. Dayanım ve elastisite modülü açısında karşılaştırıldıklarında boş tuğlaya göre daha yüksek, betona ve betonarmeye göre daha düşük sonuçlar elde edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Beton, Tuğla, Donatılı Beton, Deneysel Çalışma, Dolgu Duvar, Yarı Rijit Eleman

ABSTRACT

ANALYSIS OF PLANE FRAMES OF SEMI-RIGID INFILL WALLS

PhD THESIS

Sultan ERDEMLİ GÜNASLAN

DICLE UNIVERSITY
INSTITUTE OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES
DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING

2019

In the majority of buildings, the walls are preferred to isolate the spaces, isolate their usage areas from the external environment and infill walls for insulation purposes. Different methods are used in infill wall applications. Although widely used, the computational model of infill walls that can be applied in different ways, such as non-homogeneous, partial hollow, fully filled depending on the varieties in the materials, is complicated by the fact that it contains many variables. Therefore, infill walls are generally considered only as vertical loads in structural analyzes and are not reflected in the calculation model. The shear walls used for the infill wall can remove the center of mass and the stiffness center from each other, making the structure more rigid in most of the time. In the scope of the study, a semi-rigid method has been proposed for the purpose of infill walls.The behavior of concrete filled and reinforcement / stirrup bricks, which are defined as semi-rigid elements, have been investigated in this context. It has been observed that semi-rigid elements formed by reinforced concrete smallcolumn formed in the interior of the bricks used for formwork purposes exhibit better behaviors than hollow brick infilled system. In comparison with the strength and elasticity module, compared to hollow brick, compared to concrete and reinforced concrete, the results were lower.

Keywords: Concete, Brick, Reinforced Concrete, Experimental Work, İnfill Wall, Semi-Rigid Element,

ÇİZELGE LİSTESİ

Çizelge No		Sayfa
Çizelge 2.1.	Fema 306'ya Göre Dolgu Tipine Göre Ötelenme Oranları	29
Çizelge 2.2.	Dolgulu Çerçeve Elemanlarının Bileşenleri	46
Çizelge 2.3.	Tuğla ve Duvar Basınç Dayanımı Arasındaki İlişki (Bayülke 2013)	57
Çizelge 3.1.	Çok İnce Malzeme Muhtevasının En Yüksek Değerlerine Göre Belirlenmiş Kategoriler (TS EN 933-1)	62
Çizelge 3.2.	En Büyük Yassılık ve Şekil İndeks Değerlerine Göre Kategoriler (TS EN 933, 2012)	64
Çizelge 3.3.	En büyük Los Angeles Katsayısı Değerlerine Göre Kategoriler	68
Çizelge 3.4.	Magnezyum Sülfat Kullanılarak Elde Edilen En Yüksek Don Dayanıklılığı Değerlerine Göre Kategoriler	69
Çizelge 3.5.	Normal Tuğlalar İçin Boyut ve Tolerans Analizi	71
Çizelge 3.6.	Baca Tuğlalar İçin Boyut ve Tolerans Analizi	71
Çizelge 3.7.	Normal ve Baca Tuğlalar İçin Konfigürasyon ve Görünüş Analizi	72
Çizelge 3.8.	Normal Tuğla Birim Hacim Ağırlık Analizi	73
Çizelge 3.9.	Baca Tuğla Birim Hacim Ağırlık Analizi	73
Çizelge 3.10.	Normal Tuğla İçin Basınç Dayanımları	74
Çizelge 3.11.	Baca Tuğla İçin Basınç Dayanımları	74
Çizelge 3.12.	Normal Tuğla için Dayanıklılık Analizi	75
Çizelge 3.13.	Baca Tuğla için Dayanıklılık Analizi	75
Çizelge 3.14.	Normal Tuğla ve Baca Tuğla İçin Kapiler Etkisiyle Su Emme Katsayısı Analizleri	76
Çizelge 3.15.	Normal Tuğla ve Baca Tuğla İçin Su Emme Analizi	76
Çizelge 3.16.	TS 4559'a göre 6mm Çaplı Hasır Çeliğin Özellikleri	80
Çizelge 3.17.	Deneylerde Kullanılan PL 42,5 Çimentosunun Mekanik Özellikleri	81
Çizelge 3.18.	Deney Tuğlalarının İçine Yerleştirilecek Donatıların Fiziksel Özellikleri	86
Çizelge 3.19.	Deney Tuğlalarının İçine Yerleştirilecek Etriyelerin Fiziksel Özellikleri	87
Çizelge 3.20.	Deney Değişken Konfigürasyonu	94

Çizelge 3.21.	Üretimde Kullanılan Betonun Çekme Dayanımı	110
Çizelge 3.22.	Elastisite Modülü Hesaplarında Kullanılan Formüller	119
Çizelge 3.23.	Normal Tuğla Numunesine Ait Yatayda ve Düşeyde Alınan Deplasman Verileri	121
Çizelge 4.1.	Beton Dizaynında Kullanılan Diyarbakır Bazaltı İçin Elek Analizi Sonuçları	126
Çizelge 4.2.	Beton Dizaynında Kullanılan Diyarbakır Dere Malzemesi İçin Elek Analizi Sonuçları	127
Çizelge 4.3	Çok İnce Malzemenin Muhtevası Deneyi	128
Çizelge 4.4	Bazalt ve Dere Malzeme için Tane Büyüklüğü Dağılımı	129
Çizelge 4.5.	İri Agregaların Yassılık İndeksi	129
Çizelge 4.6.	İri Agregaların Şekil İndeksi	130
Çizelge 4.7.	Metilen Mavisi Deneyi	130
Çizelge 4.8.	Beton Dizaynında Kullanılan Diyarbakır Bazalt Malzeme Agregaların Fiziksel Özellikleri	131
Çizelge 4.9.	Beton Dizaynında Kullanılan Diyarbakır Dere Malzeme Agregaların Fiziksel Özellikleri	131
Çizelge 4.10.	İri Agregaların Parçalanma Direnci	131
Çizelge 4.11.	İri Agregaların Donma/Çözülme Etkisine Karşı Direnci	132
Çizelge 4.12.	Hacim Kararlılığı Kuruma Büzülmesi	132
Çizelge 4.13.	Çalışmada Kullanılan Tuğlaların Fiziksel ve Mekanik Özellikleri	134
Çizelge 4.14	S420 Çelik Sınıfına Ait Ø12'lik Donatıların Mekanik Özellikleri (TS708-2010)	135
Çizelge 4.15.	Deney Numunelerinde Kullanılan Ø6'lık Donatının Karakteristik Özellikleri	136
Çizelge 4.16.	Numune Üretimde Kullanılan Donatı Çeliklerinin Karakteristik Özellikleri	136
Çizelge 4.17.	C25 Beton Dizaynı İçin Bazalt ve Dere Malzeme Karışım Oranları	137
Çizelge 4.18.	Bazalt ve Dere Malzeme için 7.28.90 ve 120 gün Beton Basınç Deney Sonuçları (13kN/sn)	138
Çizelge 4.19	Bazalt ve Dere Malzeme için Sertleşmiş Beton Basınç Deney Sonuçları (0.6 kN/sn)	139
Çizelge 4.20	Bazalt Malzeme ile Üretilen C25 Betona Ait Elastisite Modülü Değerleri	142

Çizelge 4.21	Bazalt Malzeme ile Üretilen C25 Betona Ait Ortalama Elastisite Modülü Değerleri ve Deneysel Sonuçlarla Karşılaştırılması	143
Çizelge 4.22.	Bazalt Malzeme ile Üretilen C25 Betona Ait Yönetmelik ve Bağıntılar ile Bulunan Elastisite Modülleri (Ort.) ile Deneysel (Ort.) Elastisite Modüllerinin Karşılaştırılması	143
Çizelge 4.23.	Dere Malzeme ile Üretilen C25 Betona Ait Elastisite Modülü Değerleri	144
Çizelge 4.24.	Dere Malzeme ile Üretilen C25 Betona Ait Ortalama Elastisite Modülü Değerleri ve Deneysel Sonuçlarla Karşılaştırılması	145
Çizelge 4.25.	Dere Malzeme ile Üretilen C25 Betona Ait Yönetmelik ve Bağıntılar ile Bulunan Elastisite Modülleri (Ort.) ile Deneysel (Ort.) Elastisite Modüllerinin Karşılaştırılması	145
Çizelge 4.26.	Boş Baca ve Normal Tuğla Basınç Dayanımları	146
Çizelge 4.27.	Baca Tuğla İle Oluşturulan Yarı Rijit Elemanların Dayanım Sonuçları	148
Çizelge 4.28.	Baca Tuğla İle Oluşturulan Yarı Rijit Elemanların Ortalama Elastisite Modül Sonuçları	152
Çizelge 4.29.	Normal Tuğla İle Oluşturulan Yarı Rijit Elemanların Dayanım Sonuçları	153
Çizelge 4.30.	Normal Tuğla İle Oluşturulan Yarı Rijit Elemanların Ortalama Elastisite Modül Sonuçları	158
Çizelge 4.31.	Yarı Rijit Elemanlara Ait Ortalama Elastisite Modülü Değerleri	158
Çizelge 4.32.	Boş Tuğla ve Oluşturulan Yarı Rijit Elemanlara Ait Dayanım ve Elastisite Modül Değerleri	159
Çizelge 4.33.	Baca ve Normal Tuğlaların İçindeki Betonarme Elemanların Ortalama Basınç Dayanımları	159
Çizelge 4.34.	Baca Tuğlaların İçindeki Betonarme Elemanların Ortalama Elastisite Modül Değerleri (MPa)	162
Çizelge 4.35.	Baca Tuğla, Baca Tuğla ile Oluşturulan Yarı Rijit Elemanların ve Baca Tuğla İçindeki Betonarme Elemanların 28 Günlük Basınç Dayanımı ve Elastisite Modül Değerlerinin Kıyaslanması	163

ŞEKİL LİSTESİ

Şekil No		Sayfa
Şekil 1.1.	Türkiye Deprem Tehlike Haritası (AFAD-2018)	1
Şekil 1.2.	Tarihi Napoli Depremi, İtalya 1805 (Kozak ve Thompson 1991)	2
Şekil 1.3.	Deprem Sonrası Hasarlar (a: Gölcük-Körfez Yukarı Mahalle. 1999 Kocaeli Depremi; b: Olive View Hastanesi, San Fernando. 1971 Kaliforniya Depremi)(Tezcan ve ark. 2007)	3
Şekil 1.4.	Zayıf- Yumaşak Kat Hasarları - 2011 Simav Depremi (a: Yumuşak Kat Düzensizliği, zemin katında yaklaşık % 2.5 oranında kalıcı ötelenme var. b: Zemin katta bölme duvarları yok zayıf kat düzensizliği var (Kocaman ve ark.2011)	4
Şekil 1.5.	Ani Rijitlik Değişimimden Kaynaklı Depremde Zemin Katta Oluşan Yumuşak Kat Hasarları	4
Şekil 1.6.	Depremlerde Meydana Gelen Dolgu Duvar Hasarları(a: Dolgu Duvar Etkisi-1998 Adana-Ceyhan Depremi (Bayülke, 2003); b: Dolgu duvarda düzlem dışı hasarlar Van Depremi-2011	5
Şekil 1.7.	Dolgu Duvar Hasarları - 2011 Simav Depremi (a: Çok küçük bir çıkmaya oturan ve Çerçeve içinde olmayan dolgu duvar hasarı; b: Küçük konsola oturan ve çerçeve düzlemi dışındaki dolgu duvar hasarı. Sandviç dolgu duvarlar arasında strafor olup düzlem dışına kolayca devrilmektedi (Kocaman ve Ark. 2011)	5
Şekil 2.1.	Diyagonal Olarak Yüklenmiş Duvarların Etkin Genişliği	11
Şekil 2.2.	Dolgu Duvarın Modele Yansıtılması a)Eşdeğer Çubuk, b) Sonlu Eleman (Sivri ve ark.2006)	19
Şekil 2.3.	Eşdeğer Çubuk Genişliğinin Değerlendirilmesi İçin Temel GeometrikParametreler (Fiore ve ark. 2012)	21
Şekil 2.4.	Dolgu Duvarlı Çerçevenin Çapraz Eşdeğer Sanal Çubukla Temsil Edilmesi	22
Şekil 2.5.	Çerçeve Sistem (a: Yanal yüklü dolgulu çerçeve; b: Eşdeğer çerçeve (Smith ve Carter 1969)	23
Şekil 2.6.	Meso Modelleme (Doğan 2016)	24
Şekil 2.7.	Kayma Göçmesi	30
Şekil 2.8.	Uzantılı Göçmeler, Rutherford ve Chekene,1990 (FEMA)	31
Şekil 2.9.	Yatay Yükler Altında Çerçeve-Dolgu Duvar Davranışı	33

Şekil 2.10.	Boşluksuz Dolgu Duvarlı Çerçevelerde Göçme Biçimleri (Asteris ve ark. 2011)	37
Şekil 2.11.	Dolgulu Çerçeve Göçme Mekanizmaları (Mehrabi ve ark. 2002)	38
Şekil 2.12.	Dolgulu Çerçeve Göçme Mekanizmaları (Shing ve Mehrabi 2002)	38
Şekil 2.13.	Dolgu Duvarlı Çerçeve Rijitlik Değişimi (Zarnic ve ark. 1986)	40
Şekil 2.14.	Çerçeve Deneyleri a-Boş Çerçeve,b- Sürekli Dolgulu Çerçeve, c-Yumuşak Katlı Çerçeve (Negro ve Verzeletti 1996)	42
Şekil 2.15.	Zamana Bağlı Toplam Enerji Yutma Miktarları (Negro ve Verzeletti 1996)	43
Şekil 2.16.	Deney Numunelerinin Enerji Tüketme Kapasitesi, (Anil ve Altın 2007)	44
Şekil 2.17.	Piyasada Kullanılan Tuğla (Delta Tuğla, 2019)	48
Şekil 2.18.	Boşluklu Perde Duvar Dolgulu Çerçeve Deneyleri, (Anıl ve Altın 2007)	50
Şekil 2.19.	Çelik Çerçeve Düzeneği (Kaltakçı ve ark. 2006)	52
Şekil 2.20.	Betonarme Çerçeve Deney Düzeneği (Demirel ve ark. 2015)	54
Şekil 2.21.	Derz Kalınlığının Duvar Dayanımına Etkisi (Bayülke,2013)	55
Şekil 2.22.	Tuğla Dayanımı ve Duvar Basınç Dayanımı İlişkisi (Bayülke, 2013)	55
Şekil 2.23.	Harç ve Tuğla Basınç Dayanımının Duvar Basınç Dayanımına Etksisi (Bayülke,2013)	56
Şekil 2.24.	Tuğla, Harç, Duvar Basınç Dayanımları Arasındaki BoyutsuzİlişKi (Bayülke,2003)	57
Şekil 3.1.	Ön Deneyler Kapsamında Gerçekleştirilen Agrega Deneyleri	60
Şekil 3.2.	TS EN 993-1. (2012) Standartlarına Uygun Olarak Yapılan Elek Analizi	61
Şekil 3.3.	Çok İnce Malzemenin Muhtevası Deneyi	62
Şekil 3.4.	Agregaların Tane Büyüklüğü Dağılımının Belirlenmesi	63
Şekil 3.5.	Yassılık İndeksi Elek Seti	64
Şekil 3.6.	Metilen Mavisi Deney Seti	65
Şekil 3.7.	Agregaların Fiziksel Özelliklerinin Belirlenmesi İçin Yapılan Deneyler	67
Şekil 3.8.	Los Angeles Aşındırma Cihazı	68
Şekil 3.9.	Deneylerde Kullanılan Fabrika Tuğlaları ve Ölçüleri	70
Şekil 3.10.	Deneylerde Kullanılan Baca ve Normal Tuğlalar	77

Şekil 3.11. Hidrolik Üniversal Çelik Çekme Deney Cihazı 79

Şekil 3.12. Hidrolik Üniversal Çelik Çekme Deney Cihazı 80

Şekil 3.13. Ø6'lik Hasır Donatıların Çekme Deneyleri 80

Şekil 3.14. Deneylerde Kullanılan Çimento ve Katkı Maddesi 81

Şekil 3.15. Bazalt ve Dere Malzemeden Üretilen C25 Betonun Üretim Aşaması 82

Şekil 3.16. 15x15 cm Ebatlı Taze Beton Numune Kalıpları ve Yağlanması 83

Şekil 3.17. Taze Betonlardan Numune Alımı 83

Şekil 3.18. Kür Havuzundaki Taze Beton Numuneleri 84

Şekil 3.19. Slump Test Deneyleri 85

Şekil 3.20. Deneyde Kullanılan Donatı Çubuklarının Kesimi 86

Şekil 3.21. Tuğlalar İçin Uygun Boylarda Etriyelerin Oluşturulması 88

Şekil 3.22. Baca Tuğlarda Kullanılan Dairesel Kesitli Etriyelerin Hazırlanması 88

Şekil 3.23. Normal Tuğlarda Kullanılan Dikdörtgen Kesitli Etriyelerin Hazırlanması 89

Şekil 3.24. Etriyeli (Sargılı) Donatıların Oluşturulması 90

Şekil 3.25. Donatılı ve/veya Etriyeli Tuğlalara Beton Dökümü 91

Şekil 3.26. Betonun Donatılı ve/veya Etriyeli Tuğlalara Yerleştirilmesi 92

Şekil 3.27. Betonu Dökülen Yarı Rijit Elemanların Yüzeylerinin Düzeltilmesi 92

Şekil 3.28. Dört Basamakta Adlandırılan Yarı Rijit Numuneler 93

Şekil 3.29. Yarı Rijit Elemanlar, a: Bazalt Malzeme İle Üretilen b: Dere Malzeme İle Üretilen 95

Şekil 3.30. Yarı Rijit Elemanların Kürü 96

Şekil 3.31. Yarı Rijit Elemanların Yüzeylerinin Pürüzsüzleştirilmesi 97

Şekil 3.32. Sac plaka (a: 250x330x10 mm ebatlarındaki plaka b: Her iki yüzey için kullanılan(altlı üstlü) plakalar c: Plakaların merkez ölçüsünün alınması d: Plakaların düzeneğe yerleştirilmesi) 98

Şekil 3.33. Yarı Rijit Numunelerin İçindeki Betonarme Elemanlar 99

Şekil 3.34. Deneyde Kullanılan LVDT'ler 100

Şekil 3.35. Deneylerde Kullanılan Veri Toplama Sistemi (8 Kanallı Datalogger) 100

Şekil 3.36.	Veri Toplama Sistemindeki Yazılımının Arayüzü	101
Şekil 3.37.	Deney Düzeneğinde Kullanılan Manyetik Ayaklar	102
Şekil 3.38.	Numune Tiplerinin Basınç Dayanım Presi ile Deneylerinin Gerçekleştirilmesi	103
Şekil 3.39.	Deneylerde Kullanılan Çerçeveler (a: Silindir Çerçeve; b: Dikdörtgen Çerçeve)	104
Şekil 3.40.	Kompresometre (C469)	106
Şekil 3.41.	Uygun Kombine Kompresometre–Ekstensometre (C469)	107
Şekil 3.42.	Standartlara Uygun Üretilen Kombine Dikdörtgen Kompresometre-Ekstensometre	108
Şekil 3.43.	Standartlara Uygun Üretilen Kombine Silindir Kompresometre-Ekstensometre	108
Şekil 3.44.	Başlangıç Modulu Gerilme-Şekil Değiştirme Diyagramı	111
Şekil 3.45.	Teğet Modülü Gerilme-Şekil Değiştirme Diyagramı	111
Şekil 3.46.	Sekant Modülü Gerilme-Şekil Değiştirme Diyagramı	112
Şekil 3.47.	Otomotik Basınç Deney Presi	116
Şekil 3.48.	Taze Beton Numunelerinin İlgili Gününde Düzenekte Kırılması	117
Şekil 3.49.	Kırılan Sertleşmiş Beton Numuneleri	118
Şekil 3.50.	Çerçeveli Tuğla Deneyleri	119
Şekil 3.51.	Çerçevesiz Boş Tuğla Deneyleri, a: Baca Tuğla, b: Normal Tuğla	120
Şekil 3.52.	Yarı Rijit Elaman Deneyleri	122
Şekil 3.53.	Yarı Rijit Eleman Numunelerindeki Betonarme Elemanlar a: Baca Tuğla ile Oluşturulan Yarı Rijit Numune, b: Normal Tuğla İle Oluşturulan Yarı Rijit Numune, c: Yarı Rijit Numunelerin İçindeki Betonarme Elemanlar	123
Şekil 3.54.	Yarı Rijit Elemanın İçindeki Betonarme Eleman Deneyleri	124
Şekil 4.1.	Bazalt Agregaların Tane Boyut Dağılımı Grafiği	127
Şekil 4.2.	Dere Agregaların Tane Boyut Dağılımı Grafiği	128
Şekil 4.3.	Deneyde Kullanılan Normal ve Baca Tuğlalar	133
Şekil 4.4.	Ø12 Donatı Çubuğuna Ait Kuvvet-Birim Uzama Eğrisi	135

Şekil 4.5.	Bazalt Malzeme ile Üretilen 1 No'lu Beton Numuneye Ait Gerilme-Şekil Değiştirme Grafiği	140
Şekil 4.6.	Bazalt Malzeme ile Üretilen 2 No'lu Beton Numuneye Ait Gerilme-Şekil Değiştirme Grafiği	140
Şekil 4.7.	Dere Malzeme ile Üretilen 1 No'lu Beton Numuneye Ait Gerilme-Şekil Değiştirme Grafiği	141
Şekil 4.8.	Dere Malzeme ile Üretilen 2 No'lu Beton Numuneye Ait Gerilme-Şekil Değiştirme Grafiği	141
Şekil 4.9.	Baca Tuğla 1 No'lu Numuneye (Çerçeveli) Ait Gerilme-Şekil Değiştirme Grafiği	146
Şekil 4.10.	Baca Tuğla 1 No'lu Numuneye (Çerçevesiz) Ait Gerilme-Şekil Değiştirme Grafiği	147
Şekil 4.11.	Normal Tuğla 1 No'lu Numuneye Ait Gerilme-Şekil Değiştirme Grafiği	147
Şekil 4.12.	Baca Bazalt Donatılı (BBD) 1 No'lu Elemanına Ait Gerilme-Şekil Değiştirme Grafiği	148
Şekil 4.13.	Baca Bazalt Donatılı (BBD) 2 No'lu Elemanına Ait Gerilme-Şekil Değiştirme Grafiği	149
Şekil 4.14.	Baca Bazalt Etriyeli (BBE) 1 No'lu Elemanına Ait Gerilme-Şekil Değiştirme Grafiği	149
Şekil 4.15.	Baca Bazalt Etriyeli (BBE) 2 No'lu Elemanına Ait Gerilme-Şekil Değiştirme Grafiği	150
Şekil 4.16.	Baca Dere Donatılı (BDD) 1 No'lu Elemanına Ait Gerilme-Şekil Değiştirme Grafiği	150
Şekil 4.17.	Baca Dere Donatılı (BDD) 2 No'lu Elemanına Ait Gerilme-Şekil Değiştirme Grafiği	151
Şekil 4.18.	Baca Dere Etriyeli (BDE) 1 No'lu Elemanına Ait Gerilme-Şekil Değiştirme Grafiği	151
Şekil 4.19.	Baca Dere Etriyeli (BDE) 2 No'lu Elemanına Ait Gerilme-Şekil Değiştirme Grafiği	152
Şekil 4.20.	Normal Bazalt Donatılı (NBD) 1 No'lu Elemanına Ait Gerilme-Şekil Değiştirme Grafiği	153
Şekil 4.21.	Normal Bazalt Donatılı (NBD) 2 No'lu Elemanına Ait Gerilme-Şekil Değiştirme Grafiği	154
Şekil 4.22.	Normal Bazalt Etriyeli (NBE) 1 No'lu Elemanına Ait Gerilme-Şekil Değiştirme Grafiği	154

Şekil 4.23. Normal Bazalt Etriyeli (NBE) 2 No'lu Elemanına Ait Gerilme-Şekil Değiştirme Grafiği 155

Şekil 4.24. Normal Dere Donatılı (NDD) 1 No'lu Elemanına Ait Gerilme-Şekil Değiştirme Grafiği 155

Şekil 4.25. Normal Dere Donatılı (NDD) 2 No'lu Elemanına Ait Gerilme-Şekil Değiştirme Grafiği 156

Şekil 4.26. Normal Dere Etriyeli (NDE) 1 No'lu Elemanına Ait Gerilme-Şekil Değiştirme Grafiği 156

Şekil 4.27. Normal Dere Etriyeli (NDE) 2 No'lu Elemanına Ait Gerilme-Şekil Değiştirme Grafiği 157

Şekil 4.28. Bazalt Donatılı Çerçeve İle Ölçülen 12x190 mm'lik Betonarme Elemanına Ait 28 Günlük Gerilme-Şekil Değiştirme Grafiği 160

Şekil 4.29. Bazalt Etriyeli Çerçeve İle Ölçülen 120x190 mm'lik Betonarme Elemanına Ait 28 Günlük Gerilme-Şekil Değiştirme Grafiği 160

Şekil 4.30. Dere Donatılı Çerçeve İle Ölçülen 120x190 mm'lik Betonarme Elemanına Ait 28 Günlük Gerilme-Şekil Değiştirme Grafiği 161

Şekil 4.31. Dere Etriyeli Çerçeve İle Ölçülen 120x190 mm'lik Betonarme Elemanına Ait 28 Günlük Gerilme-Şekil Değiştirme Grafiği 161

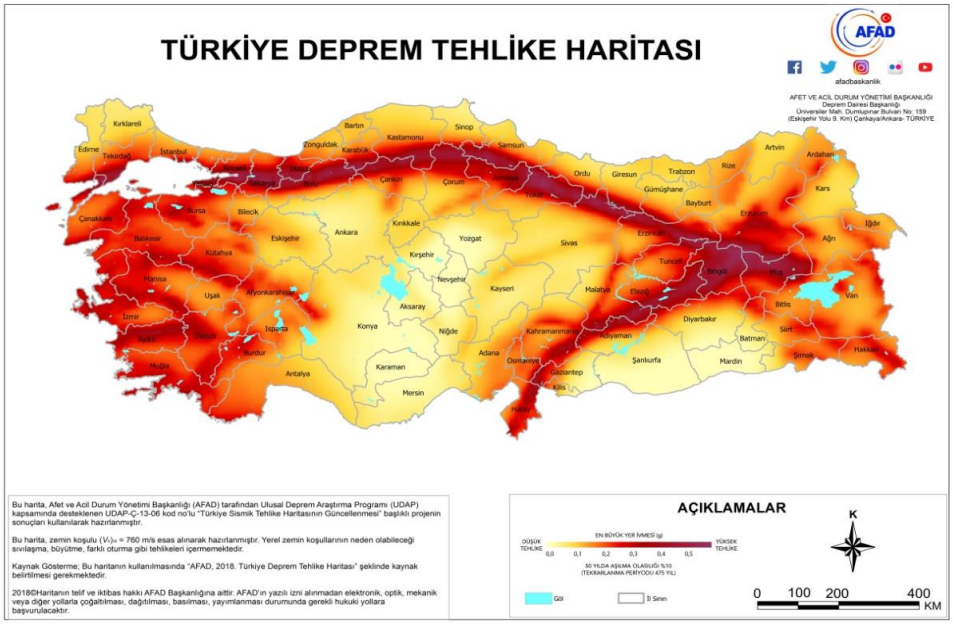
KISALTMA VE SİMGELER

A_c	Kolon Kesit Alanı
A_{st}	Kolon Boyuna Donatı Brüt Alanı
ACI	American Concrete Institute (Amerikan Beton Enstitüsü),
BBD	Baca Tuğla Bazalt Malzemeli Donatılı
BBE	Baca Tuğla Bazalt Malzemeli Etriyeli
BDD	Baca Tuğla Dere Malzemeli Donatılı
BDE	Baca Tuğla Dere Malzemeli Etriyeli
BSI	British Standards Institute (İngiliz Standart Enstitüsü)
CEB- FIP	Comité Euro-International du Béton (Euro Uluslararası Beton Komitesi) Fédération Internationale de la Précontrainte
d	Dolgu Duvar Diyagonal Uzunluğu
DBYBHY	Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik
E	Herhangi Bir Malzemenin Elastisite Modülü
Es	Donatının Elastisite Modülü (MPa)
FEMA	Federal Emergency Management Agency
F_{yk}	Donatının Akma Dayanımı (MPa)
F_{yu}	Donatının Kopma Dayanımı (MPa)
h	Dolgu Duvar Yüksekliği
l	Dolgu Duvar Açıklığı
NBD	Normal Tuğla Bazalt Malzemeli Donatılı
NBE	Normal Tuğla Bazalt Malzemeli Etriyeli
NDD	Normal Tuğla Dere Malzemeli Donatılı
NDE	Normal Tuğla Dere Malzemeli Etriyeli
R_e	Çelik Akma Dayanımı (MPa)
R_m	Çelik Çekme Dayanımı (MPa)
R_m / R_e	Çelik Çekme Dayanımı/Akma Dayanımı Oranı
$Re,_{act.}/Re,_{nom}$	Çeliğin Gerçek Akma Dayanımı Değeri / Belirtilmiş Akma Dayanımı Değeri Oranı
TS	Türk Standartları
TSE	Türk Standartları Enstitüsü
w	Eşdeğer Basınç Çubuğunun Genişliği

σ	Malzemenin Dayanımı (MPa)
ε	Deformasyon
αi	Yatay Rijitlik
P_H	Uygulanan Yatay Yük
δ_H	Yatay Deplasman
μ	Süneklik
Δu	Toplam Yer Değiştirme
Δy	Elastik Sınırdaki Yer Değiştirme
ρt	Kolon Donatı Oranı

1. GİRİŞ

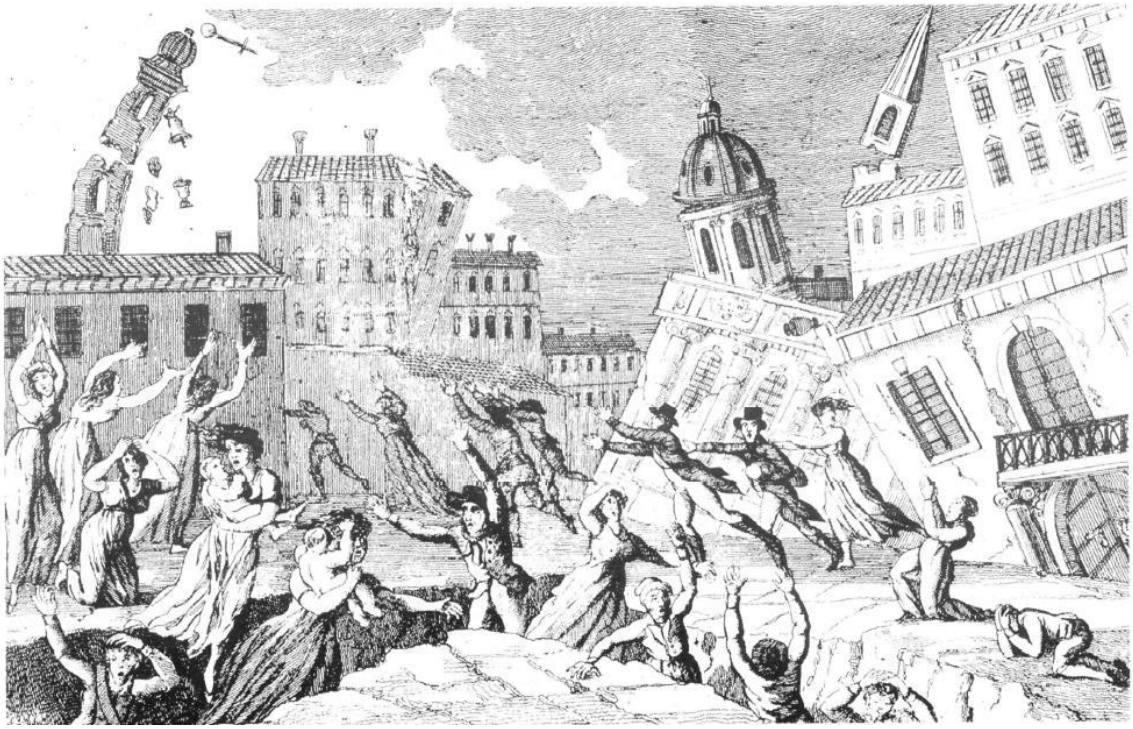
Ülkemizin büyük bir kısmının deprem etkisi altında olduğu bilinmektedir. Daha önce deprem bölgesi olarak ele alınan kavram, AFAD tarafından "en büyük yer ivmesi değerleri" şeklinde değiştirilerek "deprem bölgesi" tanımlaması kullanımdan kaldırılmıştır. 1996 yılında yürürlüğe giren Türkiye Deprem Bölgeleri Haritası, AFAD Deprem Dairesi Başkanlığı tarafından yakın zamanda yenilenmiştir. "Türkiye Deprem Tehlike Haritası" olarak 18 Mart 2018 tarih ve 30364 sayı ile yayımlanmıştır (Şekil 1.1)



Şekil 1.1. Türkiye Deprem Tehlike Haritası (AFAD, 2018)

Son yıllarda ulusal ölçekte meydana gelen depremlerde Kocaeli, 1999 (7.5); Elazığ- Kovancılar, 2010 (6.1); Van-Erciş Ekim, 2011 (7.2); Van-Edremit, Kasım 2011 (5.6); Kütahya- Simav, 2011 (5.9) yine uluslararası ölçekte Haiti, 2010 (7.7); Japonya, 2011 (8.9); Pakistan, 2013 (7.7); Nepal, 2015 (7.8); Afganistan, 2015 (7.5); Ekvador, 2016 (7.8); Meksika, 2017 (7.1); Irak-İran Sınırı, Süleymaniye, 2017 (7.3) yapıların büyük bir kısmı ağır hasar görmüş, göçükler oluşmuş ve ciddi can ve mal kayıplarına neden olmuştur. Depremin yapılar ve insanlar üzerindeki etkisi şüphesiz ki çok travmatiktir. Tarih boyunca da yaşanan depremler bunu göz önüne sermiştir. Şekil 1.2'de deprem gerçekliliğinin düşündürücü ve etkileyici hali resmedilmiştir. Ülkemizde

deprem hasarları ve nedenleri incelendiğinde, mevcut betonarme binalarının büyük bir çoğunluğunda, sistem, malzeme ve donatı düzenlenmesi ile ilgili birçok kusur olduğu saptanmıştır (Ersoy, 2007).



Şekil 1.2. Tarihi Napoli Depremi, İtalya 1805 (Kozak ve Thompson 1991)

Depremde hasar gören yapılar ya da güçlendirmeye ihtiyaç duyulan yapılar incelendiğinde hasar nedenlerinin hatalı proje hesaplamaları ve uygulamaları, standartlara uygun olmayan malzeme kullanımı, düşük kaliteli beton, yetersiz donatı, ilave katlar, zayıf işçilik, yapı kullanım amacının değişmesi, yetersiz rijitlik ve dayanım, çevresel faktörler, yumuşak kat vb. olarak sıralamak mümkündür (Günaslan ve ark. 2016). Bilindiği üzere ülkemizde yaygın olarak betonarme yapılar kullanılmaktadır. Betonarme yapılarda taşıyıcı elaman olmayan dolgu duvar uygulamalarına da sıklıkla karşılaşılmaktadır. Genel olarak, yapısal modellemelerde dolgu duvarlar, taşıyıcı sistemin bir parçası olarak görülmeyip ihmal edilmekte, sadece yük olarak ele alınmaktadır. Ancak dolgu duvarlar, deprem esnasında çerçeveye ek bir rijitlik kazandırarak çoğunlukla yapının periyodunu küçültmede ve yapıdaki kuvvet dağılımında etkili olurlar. Dolgu duvarlar, sisteme kazandırdığı rijitliğin yanı sıra

deprem esnasında kalıcı deformasyonları (dolgu duvar hasarları) sayesinde de yatay yüklere direnç göstererek aslında deprem enerjisinin bir bölümünü sönümlemektedirler (Celep ve Kumbasar 2000, Sayın ve ark. 2005, Yakut ve ark. 2013).

Dolgu duvarlar, dinamik etkiler altında olumlu davranışlar sergilerken, sismik yükler altında olumsuz davranışlar da sergileyebilmektedirler. Bu istenmeyen etkileri aşağıdaki gibi sıralayabiliriz:

- Yumuşak kat
- Burulma (dolgunun planda simetrik olarak yerleşmemesinden),
- Düzlem dışı göçme
- Kısa kolon

Sonuç olarak dolgu duvarlardan dolayı yapının davranışının değişmesi depremde oluşan hasarların beklenenden daha büyük olmasına neden olduğu görülmektedir. Dolgu duvarların çok etkili olduğu hem deneysel çalışmalardaki sonuçlardan hem de deprem sonrası hasar şekilleri incelendiğinde net bir şekilde anlaşılmaktadır.

Yine deprem sonrası hasar biçimlerine bakıldığında, yumuşak kat, kısa kolon oluşması, deprem kuvvetinin binadaki taşıyıcı elemanlarına dağılımı, yapı rijitlik merkezi, bina doğal periyodu ve deprem kuvvetinin miktarı gibi faktörler üzerinde duvarların etkili olduğu görülmektedir (Şekil 1.3).



Şekil 1.3. Deprem Sonrası Hasarlar (a: Gölcük-Körfez Yukarı Mahalle. 1999 Kocaeli Depremi; b: Olive View Hastanesi, San Fernando. 1971 Kaliforniya Depremi) (Tezcan ve ark. 2007)

Taşıyıcı sistem elemanı olarak görülmeyen dolgu duvarlar, yapı tasarımlarında genellikle sadece yük olarak alınmaktadırlar. Fakat dolgu duvarların katlar arasındaki

ani değişimleri (eklenmesi, kaldırılması vs.) kat rijitliklerini de değiştirmektedir. Betonarme yapı sistemlerinde oluşan rijitlik değişimleri, yumuşak kat düzensizliğini oluşturmaktadır. Şekil 1.4 ve 1.5'te görüldüğü gibi, deprem hasarlarına bakıldığında yumuşak katın oluştuğu yapılarda ciddi hasarlar görülmektedir. Bu bakımdan dolgu duvarların hesaba katılması daha gerçekçi bir yaklaşım olacaktır.



Şekil 1.4. Zayıf- Yumuşak Kat Hasarları - 2011 Simav Depremi (a: Yumuşak Kat Düzensizliği, zemin katında yaklaşık % 2.5 oranında kalıcı ötelenme var. b: Zemin katta bölme duvarları yok zayıf kat düzensizliği var (Kocaman ve ark. 2011)



Şekil 1.5. Ani Rijitlik Değişiminden Kaynaklı Depremde Zemin Katta Oluşan Yumuşak Kat Hasarları

Betonarme yapının çerçeve sistemindeki boşluklar dolgu duvarla doldurulur. Genellikle de bu duvarlar pişmiş topraktan, tuğladan yapılır. Dolgu duvarın, yapının

deprem ve düşey yükler altında davranışına, rijitlik, taşıma gücü, periyot ve sönüm gibi dinamik özelliklerine önemli katkıları vardır (Bayülke, 2003). Şekil 1.6'da görüldüğü üzere, 1998 Adana-Ceyhan Depreminde yapının zemin katında dolgu duvarsız kısmın yıkılmasına karşın dolgu duvarlı kısmı ayakta kalmıştır. Şekil 1.6, depremlerde meydana gelen dolgu duvar hasarlarını gözler önüne sermektedir.



Şekil 1.6. Depremlerde Meydana Gelen Dolgu Duvar Hasarları (a: Dolgu duvar etkisi-1998 Adana-Ceyhan Depremi (Bayülke, 2003); b: Dolgu duvarda düzlem dışı hasarlar-Van Depremi)



Şekil 1.7. Dolgu Duvar Hasarları-2011 Simav Depremi (a: Çok küçük bir çıkmaya oturan ve Çerçeve içinde olmayan dolgu duvar hasarı; b: Küçük konsola oturan ve çerçeve düzlemi dışındaki dolgu duvar hasarı. Sandviç dolgu duvarlar arasında strafor olup düzlem dışına kolayca devrilmektedir (Kocaman Ve Ark. 2011)

Karancı ve ark. (2011) tarafından hazırlanan Van Depremi raporuna göre, dolgu duvarların çerçeve sistemden ayrılmaması ve düzlem dışı stabilitelerinin bozulmaması şartıyla yanal yükler altında sisteme yanal rijitlik kazandırdıkları ve göçen binalar ile karşılaştırıldıklarında binanın ayakta kalmasında dahi etkili olduğu görülmüştür. Düzlem içinde kalan dolgu duvarlar yapı elamanlarının ötelenmelerini sınırlayarak yapıların göçmelerine engel olmuşlardır. Rapor sonuçlarına göre dolgu duvar hasar nedenleri aşağıdaki gibi sıralanabilir:

- Dolgu duvarların binanın taşıyıcı elamanlarına iyi sabitlenmemiş olması,
- Tesisat uygulamaları sırasında dolgu duvara uygulanan müdahaleler,
- Yapıda yumuşak kat oluşmasına sebep olan dolgu duvarsız katlar,
- Düzlem dışı dolgu duvar göçmeleri,
- Yapı giriş katlarında fonksiyon değişikliği amaçlı dolgu duvarların kaldırılması,
- Kolon uç bölgelerinde görülen plastik mafsallaşma sonucu ortaya çıkan dolgu duvar hasarları,
- Yapısal olmayan dolgu duvarlar salt yapının kendisine hasar vermeyip çevresi içinde ciddi tehlike yaratan hasarlar

Sonuç olarak dolgu duvarlarının etkisini dikkate alan güvenilir bir metodun olmaması ve bu etkiyi modele yansıtacak hesap yöntemlerinin zor ve karmaşık oluşu gibi nedenlerden dolayı, dolgu duvarlar hesaplarda göz ardı edilmektedir. Penelis ve Kappos, 1999'da çerçeve sistemlerindeki dolgulu kısmın yapı modellenmesinde hesaba katılmayışını ve deprem davranışının incelenmemesini; dolgu çerçeve etkileşimine, deprem esnasındaki hasarların düzensizliğine, dayanım ve şekil değiştirmelerin (malzeme özeliklerinin farklı olması) farklı olmasına bağlamışlardır. (Sivri ve ark. 2006).

1.1. Çalışmanın Amacı ve Kapsamı

Betonarme yapılarda düşük rijitliğe sahip taşıyıcı olmayan dolgu duvarlar statik tasarım esnasında göz ardı edilmektedir. Ancak deprem esnasında yapıdaki bütün duvarlar, ezilme veya çatlaklar başlamadan önce perde duvar davranışı sergilerler. Bu alanda yürütülen çalışmalar incelendiğinde, dolgu duvarların yapının dinamik karakterlerini önemli oranda etkilediği tespit edilmiştir. Bu çalışmada duvarda

kullanılan yerel dolgu malzemelerinin nasıl bir performans göstereceği araştırılmıştır. Bu çalışma kapsamında klasik tuğla sistemleri ile, yarı rijit olarak tanımlanan elemanların sismik davranışları karşılaştırılmıştır. Bu elamanlarda dinamik karakterlerin salt teorik hesapları değil, doğru analitik modelinin oluşturabilmesi için deneysel ispatının yapılması da hedeflenmiştir. Bu yarı rijit dolgu duvarlar, deprem hasarlarını azaltacağı için, gerek ülke ekonomisine gerekse halkın bütçesine katkı sağlayacak ve olası depremler karşısında can kayıplarını ve yaralanmaları azaltabilecektir.

Bu çalışmada tuğla içerisine doldurulan donatılı betonun (yarı rijit olarak adlandırılan yeni elemanların) boş tuğla ile kıyaslanması, önerilen yarı rijit sistemin dayanıma ve deformasyona katkısının karşılaştırılması, kompozit bir malzeme olan yarı rijit elamanın elastisite modülünün tespit edilmesi amaçlanmıştır. Çalışma kapsamında yeni tip betonarme çubuklar ile güçlendirilmiş yarı rijit dolgu duvarın gerilme-şekil değiştirme eğrileri çizilip karşılaştırılmıştır. Bu kapsamda tüm elemanların ön deneyleri gerçekleştirilmiştir. Bunlar agrega, tuğla, donatı, beton olmak üzere dört bolümde incelenmiştir. Daha sonra deneyler kısmında oluşturulan bu yarı rijit elemanların basınç dayanımları, eş zamanlı olarak deplasman ölçerlerle veri toplama sistemine aktarılmıştır. Oluşturulan yarı rijit elemana dair mekanik özellikler verilmiştir. Bu yarı rijit elemanın özellikleri boş tuğla ve beton elamanlarla kıyaslanmıştır.

Çalışma toplam beş bölümden oluşmaktadır. İlk bölümde çalışma konusuna yönelik tartışmalar yapılmış ve çalışmanın amacı ortaya konmuştur. İkinci bölümde önceki çalışmalar detaylı olarak tartışılmıştır. Üçüncü bölüm, çalışmanın materyal ve metot kısmını oluşturmaktadır. Bu bölümde çalışma kapsamında yapılan deneyler ve deney tekniği, program ve yararlanılan faydalı modellere değinilmiştir. Dördüncü bölümde araştırma bulguları verilmiş ve son bölümünde, yapılan deneyler ve analizlere bağlı olarak elde edilen sonuçlar yorumlanmış ve öneriler geliştirilmiştir.

2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

Literatürde dolgu duvarlı çerçevelerle ilgili birçok araştırmacı tarafından uzun yıllardır deneysel, analitik ve nümerik olmak üzere çok fazla çalışma yapılmıştır. Çalışmalarda değişken olarak; çerçeve sistemi (çelik veya betonarme), kat ve açıklık, dolgu sistemi (güçlendirme, tuğla dolgulu, perde duvarlı, beton briketli vs.), dolgu duvar h/l (yükseklik / açıklık) oranı, tuğla dolgu duvar uygulama şekli (sıvalı veya sıvasız), yükleme sistemi (tekrarlı tersinir, yanal, eksenel) gibi özellikler dikkate alınarak sistem davranışları incelenmiştir. Genel olarak da bu dolgulu sistemleri boş çerçevelerle kıyaslamışlardır. Birçok araştırmacı yaptıkları deneysel çalışmaları analitik veya nümerik çalışmalarla karşılaştırmışlardır. Bu kısımda literatürdeki betonarme ya da çelik çerçeveli; tuğla veya beton dolgulu duvarlar, dolgu duvarların çelik donatılarla, plaklarla, panellerle lif vb. yöntemlerle güçlendirilmesi, farklı tuğla tiplerinin kullanılması ile oluşturulan dolgulu çerçevelerle ilgili çalışmalar derlenmiştir.

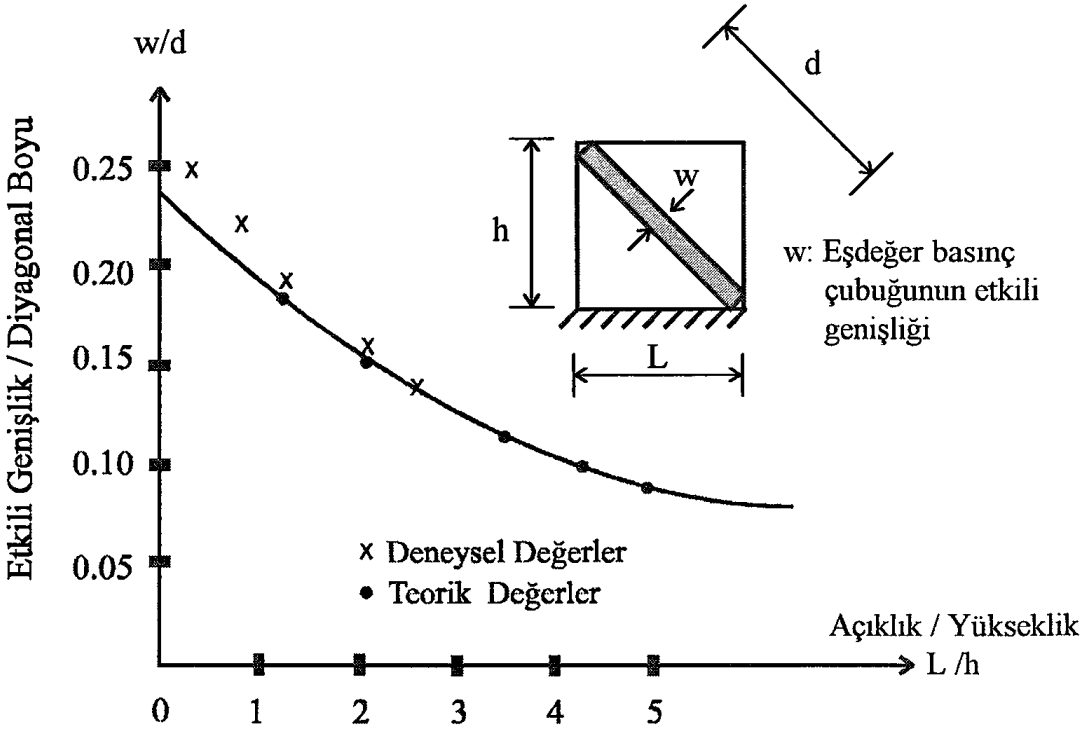
Benjamin ve Williams (1957), çalışmalarında tek katlı tek açıklıklı iç kısmı betonarme dolgulu betonarme çerçeve sistemlerin yatay yükler altındaki davranışlarını deneysel olarak incelemişlerdir. Çalışmalarını malzeme özellikleri, dolgu donatısı ve kalınlığı, dolgu duvarın geometrisi ve kolanların donatı alanları gibi değişkenler çerçevesinde yürüten araştırmacılar, elde ettikleri grafiklerde dolgunun davranışını 3 bölgede toplamışlardır. Bunları elastik, çatlama ve kırılma öncesi bölgeler olarak belirlemişlerdir. Elde ettikleri yük-deformasyon eğrilerini 3 doğru ile ifade etmişlerdir.

Benjamin ve Williams (1958), tuğla yığma duvarların yatay yükler altında davranışını incelemek için çalışmalar yapmışlardır. Çalışmada monotonik yükleme yapılmış olup eksenel yükleme yapılmamıştır. Yaptıkları çalışmada duvar genişliğinin / duvar yüksekliğine oranlarının değişkenlik gösterdiği deney elemanlarını inceleyen yazarlar, bu oranların fazla olduğu elemanlarda dayanımın daha fazla olduğunu ve işçiliğin nihai davranış üzerinde etkili olduğunu gözlemişlerdir. Araştırmacılar, duvar donatı alanlarının artmasının, elemanların daha sünek davranış göstermesine ve yatay yük taşıma kapasitesinde artışa sebep olduğunu belirtmişlerdir. Yazarlar son olarak, kolonlardaki donatı oranlarının değiştirilmesinin, çatlama sınırı dışında rijitlik üzerinde etkisinin olmadığı sonucuna varmışlardır.

Holmes (1961, 1963), beton veya tuğla dolgulu çelik çerçevelerin küçük ölçekli, tek açıklıklı ve tek katlı numuneleri kullanarak davranışlarını incelemiştir. Çalışma kapsamında, nihai yükten ve savrulmadan kaynaklı sapmaları hesaplamak için sayısal veriler, deney sonuçlarıyla kıyaslanmıştır. Çalışmada, dolgu duvarının, basınç doğrultusuna yerleştirilmiş bir basınç çubuğu olduğu kabulüne varılmıştır. Duvar panellerini modellemek için eşdeğer diyagonal çubuk modelini kullanan araştırmacılar, eşdeğer çubuğun genişliğinin "w", diyagonal uzunluğun "d" olarak tanımlandığı ve bu değerlerin, $w = \frac{d}{3}$ şeklinde alınmasını önerdikleri bir bağıntı geliştirmişlerdir. Bu basınç çubuğunun enkesit alanı ise dolgu duvarının kalınlığına (t) bağlı olarak (t) x (d)/3 olarak öngörmüşlerdir. Holmes, daha sonra 1963'de yaptığı çalışmada daha önce önerdiği formülleri revize ederek, yanal ve düşey yüklemelerin dolgulu çerçeveler üzerindeki etkisini deneysel ve analitik olarak incelemiştir. Yanal yüke ilaveten düşey yükün varlığı çerçevenin yatay yük taşıma kapasitesini azalttığı, betondaki yüksek basınç dayanımı, beton dolgulu çelik çerçevenin nihai yükünün tuğla dolgulu çelik çerçeveninkinden yüksek olduğunu göstermiştir.

Smith (1962, 1966, 1967, 1968), yaptığı çalışmalarında dolgulu çerçevelerin yatay rijitliğini araştırmak için dolgu duvarı, yükün geliş yönüne (yüklü köşelere) göre "eşdeğer basınç çubuğu" olarak ele almıştır. Dolgu duvarlı çerçeve sistemlerin yatay yükler altında davranışını belirlemek amacıyla deneysel ve analitik çalışmalar yapan araştırmacı, dolgu türü ve dolgu ile çerçeve arasındaki bağlantı şekline bağlı olarak sonuçlar elde etmiştir. Diyagonal basınç yüklemesi altında farklı açıklık (l) /yükseklik (h) (1, 1.5, 2) oranlarına sahip çerçeveleri, çerçevelerin rijitliğini ve köşegen boyunca gerilme dağılımını hesaplamak için teste tabi tutmuştur. Holmes'tan bir yıl sonra Smith, w: çerçevenin eşdeğer basınç çubuğu genişliğinin (mm), l/h oranına bağlı olarak d: diyagonal uzunluğun (mm) 0.1 ile 0.25 arasında değiştiği sonucuna varmıştır.

($\frac{w}{d} = 0.1 \sim 0.25$) (1962). Çalışmalarında deneysel ve teorik sonuçlarını karşılaştıran yazar, özelikle çerçevenin merkezinde teorik ve deneysel sonuçlardaki uyumluluğu vurgulamıştır. Dolgu duvarının eşdeğeri basınç diyagonalinin tahmini için önerdiği grafik şekil 2.1' de verilmiştir.



Şekil 2.1. Diyagonal Olarak Yüklenmiş Duvarların Etkin Genişliği

Smith tarafından yürütülen çalışmalarda, dolgulu çerçevelerde diyagonal doğrultudaki yüklemeler üzerinde de deneyler yapılmıştır. Daha sonraki çalışmalarında etkin genişliğin sadece dolgunun l/h oranına bağlı olmadığını belirten Smith, çerçeve ile dolgunun rijitlik oranına bağlı olan temas uzunluğu ile olan bağlantısını açıklanmıştır. Buna göre, çerçeve ile dolgu arasındaki temas uzunluğunun, çerçevenin yatay yük taşıma kapasitesi üzerinde etkili olduğu sonucuna varılmıştır. Bu sonuçlardan hareketle, süneklilikle ilgili bir denklem (relatif rijitlik) elde etmiştir (1967). Daha sonraki çalışmalarında Smith, çok katlı kare dolgulu farklı kolon ve kiriş kesitlerine sahip dolgulu çerçevelerin (elaman bağlantıları rijit olan) yanal yükleme altındaki davranışlarını incelemiştir (1966). Çalışma sonucunda yanal rijitliğin ve nihai dayanımın, kirişin rijitliğinden bağımsız olarak kolonun ve dolgunun relatif rijitliğine bağlı olduğu sonucuna varmıştır.

Ersoy ve Uzsoy (1971), betonarme çerçeve sistemli yerinde betonarme panel dolgulu, deneysel ve analitik bir çalışma yapmışlardır. Farklı özelliklere sahip 1/2 ölçekli 9 adet tek katlı tek açıklıklı çerçeveyi, monotonik yükler altında test eden

araştırmacılar, çalışmada dolgunun çerçevenin yatay yük taşıma kapasitesini yaklaşık %700 artırdığı ve göçmedeki yanal deplasmanı %65 düşürdüğünü ortaya koymuşlardır. Çalışmada yazarlar, dolgu ve çerçeve bağlantısının monotonik yükleme altında çok önemli olmadığı sonucuna varmışlardır. Deney sonuçlarını kullanarak Smith'in yaklaşımından yola çıkarak denklem geliştiren araştırmacılar, dolgunun çerçeve içerisinde çapraz bir basınç çubuğu olarak çalıştığı sonucuna varmışlardır.

Klingner ve Bertero (1978), farklı dolgu malzemeli betonarme çerçeve sistemli çalışmalarını yatay yükler altında, deneysel ve analitik olmak üzere iki fazda gerçekleştirmişlerdir. Deneysel çalışmada 11 katlı 3 açıklıklı bir binanın alt 3 katını 1/3 geometrik ölçekli olarak yarı statik (guastatic) tekrarlı yükler altında 2 farklı dolgu malzemesi kullanarak incelemişlerdir. Araştırma kapsamında, yüksek sünekliğe ve dayanıma sahip çerçeve elemanları üretmişlerdir. Betonarme dolgu duvarların yatay ve düşey donatılarının eşit şekilde ve eşit aralıklarla bağlandığı çalışmada, yük ve deplasman kontrollü yükleme tipleri kullanılmış ve bunlar, yatay yükleme çerçeve sistemin en üst kısmından yapılmıştır. Yükleme tersinir tekrarlanan yükler altında yapılırken, kolonlara eksenel yükleme yapılmıştır. Çalışma sonucunda, çerçeve ve dolgu arasında ayrılmalar olduğu fakat bu ayrılmaların köşelerde oluşmadığı ve bu noktalarda diagonal çubuk şeklini aldığı gözlenmiştir. Ayrıca çalışmada dolgulu çerçevenin, sistemin yanal deplasmanını azalttığı, yanal dayanımını boş çerçeveye göre arttırdığı görülmüştür. Yine dolgulu sistemin göreli kat ötelemelerini azaltıp enerji yutma kapasitesini arttırdığı bu çalışma kapsamında gözlenen sonuçlardandır. Eşdeğer basınç çubuğu modelinden yararlanılarak matematiksel model geliştiren yazarlar, çalışmanın analitik kısmını basit, makroskopik matematiksel modellerin geliştirilmesiyle ortaya koymuşlardır. Araştırmacılar, çalışmadaki deneysel sonuçları, daha sonra makro modellemeden elde edilen sayısal değerlerle karşılaştırmışlardır.

Altın ve ark. (1992), 14 adet 2 katlı tek açıklıklı çerçeve sistemi tersinir tekrarlı yükler altında incelemişlerdir. Çalışma kapsamında dolguların yerleştirildiği çerçeveler hasar görmemiş, yönetmeliğe uygun detaylandırılmış ve düzgün bir şekilde inşa edilmiştir. Ana değişken olarak dolgu panellerin donatı tipini ve dolgu ile çerçeve arsındaki bağlantı tipini baz alan araştırmacılar, kolonların eksenel yük miktarı, eğilme kapasitelerini ve çerçevenin beton dayanımını diğer değişkenler olarak ele almışlardır. Kolon eğilme kapasitesinin ve eksenel yükün artması davranışın ve deney elemanlarının

dayanımının artmasına sebep olduğu gözlenmiştir. Deney sonuçları, dolguların çerçeveye uygun şekilde bağlanması şartıyla yanal yükler altında dolguların dayanımı ve rijitliği artırdığını tespit etmişlerdir. Sonuç olarak betonarme dolgu duvar kullanımının uygulanabilir olduğu sonucuna varmışlardır. Ayrıca yaptıkları analitik çalışmada yazarlar, monotonik yüklemeler için geliştirilmiş modelleri, tersinir yükleme durumuna uyarlayarak, dolgulu çerçeve sistemlerinin dayanım ve rijitliklerini yönetmeliklerin önerdiği şekilde hesaplanmışlardır.

Gülkan ve Wasti (1993), sonlu elemanlar yöntemiyle mohr-coulomb göçme kriterlerine göre kabul edilen farklı yüksekliklerdeki dolgu malzemeli olan, tek katlı tek açıklıklı betonarme çerçevenin doğrusal olmayan davranışlarını incelemişlerdir. Çerçeveler, elastik kolon-kiriş elemanları ile modellenirken dolgu duvarlar iki boyutlu izoparametrik elemanlarla modellenmiştir. Sonuçlar, dolgu duvar yüksekliğinin, çerçevenin iç yüksekliğinin %50-60'ından fazla olduğu durumlarda, çerçeve davranışını etkilemeye başladığını göstermiştir. Dolgu duvar yüksekliğinin arttığı durumlarda (%80'lere çıkması durumunda) kolon kesme kuvveti boş çerçeveye gelen yükten 1.5 kat daha fazla olmaktadır. Bu da kısa kolon etkisi yaratmaktadır. Çalışmada yazarlar, kolon kesme kuvvetini, boş çerçeve sonuçlarına göre 4 veya 5 kat fazla olduğu ve son olarak, tam dolu çerçeve davranışının kısmi dolgulu çerçeve davranışından farklı olduğunu belirtmişlerdir.

Mehrabi ve ark. (1996), **y**aptıkları çalışmada dönemin mevcut yönetmeliklerine uygun olarak tasarlanan tuğla (boşluklu ve dolu) dolgulu betonarme çerçeve elemanlarının sismik performanslarını araştırmışlardır. Çerçeveler rüzgâr yükleri (zayıf çerçeve) ve kuvvetli deprem yükleri (güçlü çerçeve) olmak üzere iki tip olarak tasarlanmıştır. Biri boş olmak üzere 12 adet, 1/2 ölçekli, tek katlı, tek açıklıklı çerçeveler üretilmiştir. Kolon donatıları süreklidir. Düşey yüklerin dağılımı, yükleme geçmişi (tekrarlı yüklerin yük ya da deplasman kontrollü olması), genişlik-boy (h/l) oranı, çerçeve tipi ve dolgu tipi gibi değişkenlerin yer aldığı çalışmanın deneysel sonuçları, dolgunun betonarme çerçevelerinin performansını önemli ölçüde artırabildiğini göstermektedir. Buna karşın, kuvvetli çerçevelere ve güçlü panellere sahip numunelerin, yük direnci ve enerji yayılımı yeteneği açısından zayıf çerçeveli ve zayıf panellere sahip olanlardan daha iyi bir performans sergilediği gözlenmiştir. Çalışmada, dolgulu çerçeve numuneleri tarafından geliştirilen yanal yük taşıma

kapasitesinin her zaman boş çerçeveden daha yüksek olduğu tespit edilmiştir. Boşluksuz tuğlalı çerçevelerin, boşluklu tuğlalara nazaran yük taşıma kapasitelerinde %25 oranında arttığı gözlenen çalışmada hem zayıf hem de güçlü çerçevelerde, boşluksuz dolgulu çerçevelerin boşluklu dolgulu çerçevelere göre histeretik enerji dağıtma kapasitesinin daha yüksek olduğu görülmüştür.

Mehrabi ve Shing (1997), deneysel ve analitik çalışmalarında yatay yükler etkisi altında dolgulu betonarme çerçevelerin performanslarını incelemişlerdir. Çalışmada, duvarın harç derzlerinin ve çimentolu ara yüzlerinin modellenmesi için esas teşkil edecek bir model oluşturulmuştur. Betonarme çerçevelerde ve duvar elemanlarında betonun davranışını modellemek için sonlu eleman modeli kullanan yazarların ürettiği bu model, dolgulu çerçeve tarafından, betonarme çerçevenin ve duvar panellerin kırılma ve çatlama, harç derzlerinin kayma ve ayrışmasını içeren hatalı mekanizmalarını simüle etme kabiliyetine sahiptir.

Murty ve Jain (2000), çalışmalarında 11 adet tek katlı tek açıklıklı 1:2.7 ölçekli betonarme çerçeveyi tekrarlı tersinir yükler altında incelemişlerdir. Çalışmalarında tuğla ebatlarını, çerçevelerin boş ve dolgulu olması, dolguların betonarme çerçeveye ankrajlı (6 mm ve 3,5 mm değişken çaplı çelik donatılarla) veya ankrajsız olacak şekilde yerleştirilmesi gibi parametreleri dikkate almışlardır. Çalışma sonucunda tuğla ebatı küçük olan dolgu duvarlı çerçevelerin yanal rijitliğinin tam ölçeklilere kıyasla azaldığını, enerji dağılımının donatısız çerçevelerde donatılılara oranla %22 daha az olduğu, ankraj donatılı çerçevelerin dayanımının ve sünekliğinin ankrajsızlara oranla dada fazla arttırdığı görülmüştür. Zayıf çerçeve güçlü dolgulu sistemlere diyagonal çatlak ve kolonlarda plastik mafsal kusurları olurken, çalışmada güçlü çerçeve zayıf dolgulu sistemlerde dolguda yatay kayma göçmelerinin oluştuğu gözlenmiştir. Genel olarak dolgu duvarın yapının yanal rijitlik, dayanım, görünen süneklik ve enerji dağıtma kapasitesi üzerinde kayda değer etkileri olduğu tespit edilmiştir.

Sonuvar (2001**)**, çalışmasında uygulamada görünen eksiklikler doğrultusunda zayıf tasarlanmış 5 adet tek açıklıklı iki katlı 1/3 ölçekli betonarme çerçeveler inşa etmiştir. Çerçevelerin dolgu uygulanmasından önce tersinir tekrarlı yükler altında ağır hasarlı olana kadar test edildiği çalışmada, hasar gören betonarme çerçevelere yerinde betonarme dolgu duvarlarla ve lokal güçlendirme teknikleriyle onarılmıştır. Daha sonra

onarılan çerçeveler tekrar tersinir tekrarlı yükler altında yeniden incelenmiştir. Sonuç olarak onarımda kullanılan dübellerin performansının büyük ölçüde işçiliğe bağlı olduğu ve dübellerin, ankrajlarının çerçeve elamanlarının beton kalitesinden etkilendiği sonucuna varılmıştır. Yine çalışmada kolonların donatı miktarının dolgulu çerçevenin dayanımı üzerinde önemli bir etkiye sahip olduğu görülmüştür. Betonarme dolguların kullanıldığı çerçevelerin enerji dağıtma kapasitelerinde önemli ölçüde artışa sebep olduğu, yine bu çalışma kapsamında elde edilen sonuçlar arasında yer almaktadır.

Marjani ve Ersoy (2002), yaptıkları çalışmada tuğla dolgulu çerçevelerin deprem yükü altındaki davranışlarını incelemek için 6 adet tek açıklıklı, 2 katlı 1/3 ölçekli betonarme tuğla dolgulu çerçeveleri tersinir tekrarlı yükler altında test etmişlerdir. Tuğla dolgulu çerçevelerin davranışını boş çerçeveler ile karşılaştırıldığı çalışmada asıl olarak, boşluklu kil tuğla ile doldurulan betonarme çerçevenin davranışı ve dayanımı incelenmiştir. Çalışmada sıva ve beton kalitesini değişken olarak ele alınmıştır. Tüm testlerde kolonlara eksenel yük, çerçeveye de 2. kat seviyesinde yanal yük verilmiştir. Analitik çalışma tüm davranışı tahmin etmek için makroskopik, malzemenin mekanik özeliklerini tahmin etmek için de mikroskopik olmak üzere iki gruba ayrılmıştır. Sonuç olarak tuğla dolgunun dayanımı ve rijitliği arttırdığı, boş çerçeve ile dolgulu çerçeve kıyaslandığında, sıvasız %240 iken sıvalı %300'lere çıktığı ve rijitliğin %50lerden %80'lere ulaştığı gözlenmiştir. Ayrıca çalışmada sıvanın sünekliliğe önemli ölçüde katkısı olduğu tespit edilmiştir.

Canbay ve ark. (2003), yaptıkları deneysel çalışmada duvarların yatay yükler altında davranışını incelemek için, iki katlı, 3 açıklıklı yaklaşık 1/3 ölçekli ülkemizde sıklıkla karşılaşılan kusurların olduğu çerçeve üretmişlerdir. Çerçeve hasar görünceye kadar tersinir tekrarlı yükler altında yükleme yapılmıştır. Daha sonra çerçevenin orta kısmını betonarme duvarla doldurmuşlardır (dolgu) ve aynı yüklere tabi tutmuşlardır. Sonuç olarak çerçevenin başlangıç rijitliğinin boş çerçeveye göre 15 kat, yanal yük taşıma kapasitesinin de yaklaşık olarak 4 kat artış gösterdiği sonuçlarına varmışlardır. Yine enerji yutma kapasitesinde artışlar olduğu gözlenmiştir. Çalışma kapsamında, kolonların tabanındaki moment, eksenel ve kesme kuvvetlerini ölçmek için kuvvet ölçerler geliştirilmiştir. Analitik çalışmada yazarlar, sistemi limit analizi yaparak çözmüş ve programla modellemişlerdir. Hesaplanan değerler çalışma sonunda deneysel verilerle karşılaştırılmıştır.

Acun ve Sucuoğlu (2005), 1/3 ölçekli, tek açıklıklı, iki katlı betonarme çerçeve elemanlarında yaygın olarak kullanılmakta olan güçlendirme tekniklerine ek olarak kullanılabilecek tuğla dolgu duvarlı betonarme çerçevelerde hasır donatı uygulaması ile güçlendirme deneyleri gerçekleştirmişlerdir. Sonuç olarak; güçlendirme yönteminin, ekonomiklik ve uygulanabilirlik kriterlerinin yanı sıra elemanların yatay yük taşıma kapasitelerinde ve rijitliklerinde önemli artışlar sağladığı tespit edilmiştir.

Taşkın ve Hasgür (2007), çalışmalarında depremde orta hasar görmüş, dört ve altı katlı iki adet betonarme çerçeveli, düşük beton dayanımlı bina, dolgu duvarların performanslarını karşılaştırmalı olarak doğrusal olmayan dinamik çözümleme ile irdelemişlerdir. Depremden sonra çerçevelere betonarme perde eklenmiş ve güçlendirme sonrasında performansları incelenmiştir. Kocaeli ve Düzce depremlerinde kaydedilmiş, farklı frekans içeriklerine sahip, toplam 7 kayıttan oluşan deprem ivmelerinin yapıya uygulandığı çalışmalarında çeşitli sonuçlara varmışlardır. Çalışma sonucunda sisteme eklenen perdelerin etkisiyle yer değiştirme istemlerinin oldukça azaldığı, dolgu duvarların taşıyıcı sistemle birlikte modellenmesi sonucunda yapının rijitliği arttırdığı ve her iki yapıda da yer değiştirme sünekliği istemleri iki farklı kabul doğrultusunda duvar katkısı ile artışa sebep olduğu sonuçlarına varmışlardır.

Sevil ve ark. (2010), çalışmalarını tek açıklıklı, 2 katlı, 1/3 ölçekli, düşük beton dayanımlı, yetersiz bindirme boylu ve yetersiz sargı donatılı, zayıf kolon, güçlü kiriş birleşimli, elemanları düz donatılı betonarme çerçevelerden oluşturmuşlardır. Betonarme çerçeveler, sıvanmış (çimento+kireç karışımı) ve sıvanmamış boşluklu tuğlalar ile dolgu yapılarak tekrarlı tersinir ve düşey yükler altında deneye tabi tutularak dayanım ve davranışa olan etkilerini incelemişlerdir. Yapılan teorik çalışmalar ile deneysel sonuçlar karşılaştırıldığı çalışmada, dolgu duvarlı çerçevelerin yapının dayanımı ile yanal rijitliğini arttırdığı ve davranışını iyileştirdiği görülmüştür. Yapılan çalışmada çerçevenin yanal yük taşıma kapasitesi 3.5 kat arttırdığı ve dolgu duvarın sıvalı olması durumunda ise 4.5 kat arttırdığı tespit edilmiştir.

Yılmaz ve ark. (2010), çalışmalarında iki katlı, iki açıklıklı, 1/3 ölçekli yapım kusurları olan 8 adet betonarme çerçevenin, 4 adedi güçlendirilmeden, 4 adedi ise betonarme dış perde duvar uygulaması ile güçlendirilerek, deprem yüklerini benzeştiren tersinir-tekrarlanır yatay yük etkisi altında incelemişlerdir. Çalışmada, deney

elemanlarının kolonlarına uygulanan normal kuvvet seviyeleri kolonlarda çekme ve basınç kırılması oluşturacak şekilde iki ayrı biçimde düzenlenmiştir. Dış perde duvar ile dıştan ve tek taraftan güçlendirilmesi ile oluşan karma sistem, mevcut zayıf sistemin yatay yük dayanımını ve rijitliğini 3.04 ile 4.04 kat arasında artırdığı ve çoğunluğu iç perde duvar (betonarme dolgu duvar) için çıkarılmış olan analitik yaklaşımların deneysel sonuçlarla yakın olduğu tespit edilmiştir.

Kamanlı ve ark. (2011), yaptıkları çalışmada 1/3 ölçekli, tek katlı tek açıklıklı betonarme çerçeveler üretmişlerdir. Çalışmada kullanılan numuneler 40x35 cm pencere boşluğuna sahip tuğla duvarla örülmüştür. Tuğla dolgulu çerçeveler pencere boşlukları dikkate alınarak dıştan perde duvar, çelik levha ve çelik çaprazlarla güçlendirilmiş ve çerçeveler tersinir-tekrarlanır yatay yük etkisi altında incelenmiştir. Sonuç olarak uygulanan güçlendirme yöntemlerinin, betonarme çerçeve sistemin yatay yük taşıma kapasitesi, rijitlik ve enerji tüketme kapasitelerinde artış sağladığı tespit edilmiştir.

Uğurlu (2011), yaptığı çalışmada tek katlı, tek açıklıklı ½ ölçekli, 3 adet standart tuğla dolgulu, 3 adet kilitli tuğla dolgulu ve 1 adet dolgusuz betonarme çerçeve sistemlerini qua-statik (ters çevirimli statik) yükler altında deneysel ve analitik olarak incelemiş ve sonuçları birbiriyle karşılaştırmıştır. Gerinim pulu, kadranlı gösterge ve LVDT kullanarak yer değiştirmelerin bulunduğu çalışmada dayanım, rijitlik, toplam hasar, enerji yutma kapasitesi ve süneklik açısından aşağıdaki sonuçlara erişilmiştir:

- Toplam enerji yutma kapasitesinde her iki tuğla tipi içinde boş çerçeveye göre artış sağlanmıştır;
- Boş çerçevenin yanal yük taşıma kapasitesini standart tuğla dolgulu çerçeveler harç etkisinden dolayı yaklaşık %15 arttırırken, kilitli tuğla dolgulu çerçevelerde ise daha düşük artışlara sebep olduğu gözlendiği tespit edilmiştir;
- Süneklik açısından tüm deney elemanlarında, benzer şekilde kesme değerleri %2'lik ötelenme oranının ötesinde gözlenmiştir;
- Kilitli tuğla dolgu duvarlarının, yapının ilk yanal rijitliğini standart dolgu duvarlarından çok daha az değiştirdiği, bu özelliği ile yapılarda yanal ve düşey rijitlik düzensizliklerinin olumsuz etkilerini azaltmada etkili olabileceği gözlenmiştir;
- Kilitli tuğla dolgu duvarları, bütünlüklerini çok yüksek ötelenme seviyelerine (yani %3 ve ötesine) kadar koruduğu tespit edilmiştir;

- Kilitli tuğla dolgu duvarların, deney sonuna kadar düzlem içi stabilitelerini koruduğu; kilitli dolgu duvarlarının standart olanlarla kıyaslandığında düzlem dışı stabilite için tercih edilebileceği gözlenmiştir.

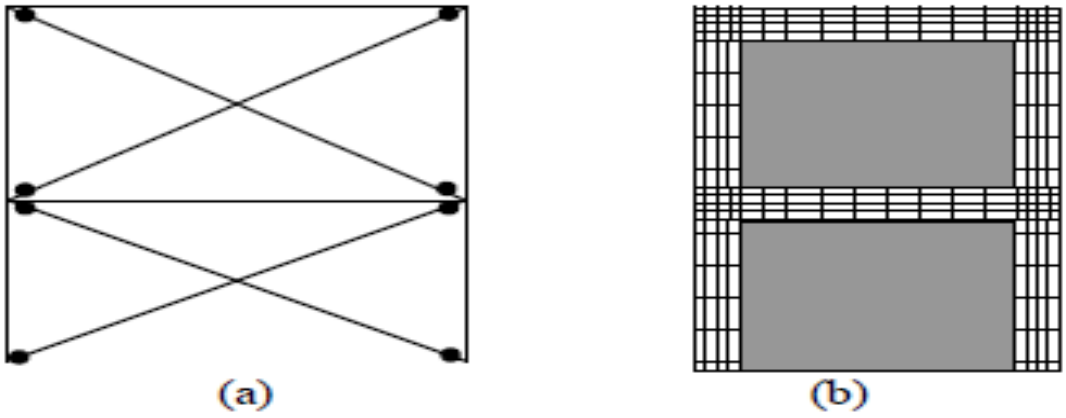
Baran ve ark. (2014), çalışmalarında 120 cm-150 cm boyutlarındaki sıvanmış (kireç+çimento+kum) delikli tuğla dolgulu duvar elemanlarını dıştan fayans yapıştırıcı kullanılarak ve Ø6'lık bulonlarla sabitleyerek, 7 adet dolgu duvarın biri referans numunesi olmak üzere diğerlerini beton panellerle güçlendirmişlerdir. Duvarların betonarme dolgu duvara dönüştürüldüğü çalışmada, deney elemanları dört köşeden mafsallı çelik çerçeveye yerleştirilip, depremi benzeştiren tersinir tekrarlanır yatay yükler altında deneye tabi tutulmuştur. Sonuç olarak sünekliğin %45 oranında arttığı, rijitlikte ve enerji dağıtma kapasitelerinde artışın oluştuğunu, panellerle güçlendirilmiş deney elemanlarının yatay yük taşıma kapasitesinde ise 1.34-2.49 kat arasında artış olduğu tespit edilmiştir.

Dolgu duvarların dayanıma olan etkilerini anlamak için birçok araştırmacı güçlendirme metotlarını da kullanmışlardır. Erdem ve ark. (2006), Altin ve ark. (2008), Yuksel ve ark. (2010), Ozkaynak ve ark. (2011), Anil ve ark. (2012), yaptıkları çalışmalarda tuğla dolgu duvarlı betonarme çerçevelerin davranışlarını incelemek için karbon lifli kumaşlar kullanarak güçlendirme yapmışlardır. Bunun dışında betonarme çerçeve içindeki dolgu duvarları farklı polimer malzemeler kullanarak da güçlendirme çalışmaları yapılmıştır. Koutromanos ve ark. (2013) cam elyaf polimer kaplama yaparak, Kyriakides ve ark. (2014) bazı elamanlara çelik çivileri epoksi ile ankrajlayıp çimento esaslı kompozit püskürterek, Papanicolaou ve ark. (2011) karbon, cam vb. polimer lifli hasırlarla güçlendirerek, Altin ve ark. (2010) hasır çelik ve sıva ile Özbek ve ark. (2012), köşeleri çelik profillerle tuğla dolgu duvarlı çerçeve sistemlerde güçlendirme uygulamaları yapmışlardır. Araştırmacılar yaptıkları çalışmalarda güçlendirme öncesi ya da referans numunelere göre tuğla dolgulu betonarme çerçevelerin dayanımında önemli artışlar olduğu sonucuna varmışlardır. Fiorato ve ark. (1970), Klingner ve Bertero (1976), Bertero ve Broken (1983) yaptıkları deneysel çalışmaların sonucunda dolgu panellerin betonarme çerçeve sistemin yanal dayanımında kayda değer etkilerinin olduğu sonuçlarına varmışlardır.

Sonuç olarak yapılan çalışmalarda çerçevelerin dolgulu olması (tuğla, beton, çelik levha, çelik şerit, betonarme perde, vs.) dolgusuz çerçeve sistemine göre yapı davranışı üzerinde olumlu etkilerinin olduğu sonuçlarına varılmıştır.

2.1. Dolgu Duvar Davranışının Yapı Analizlerinde Modellemeye Yansıtılması

Dolgu duvarların sistem üzerindeki etkisi hesaplarda göz ardı edilip sadece yük olarak ele alındığı duvar elemanlarının yapının taşıyıcı sistem analiz modellerinde temsil edilmesi gerektiği farklı araştırmacılar tarafından dile getirilmiştir. Dolgu duvarların davranışlarının analizlerinde farklı yaklaşımlar geliştirilmiştir. Analizlerde mikro, makro ve meso olmak üzere üç farklı modelleme yöntemine gidilmiştir. Modellemelerde dolgu duvarın çerçeve sistemine etkisinin doğru bir şekilde yansıtılabilmesi için uygulamada çerçeve sistem ile dolgu duvar bağlantısının iyi yapılması gerekmektedir ve dolgu duvar malzemesi olan tuğla elemanlar birbirlerine harç ile kenetlenmelidir (Fiore ve ark. 2012). Dolgu duvarlı yapıların analizlerinde duvar, modellemede eşdeğer çubuk ya da sonlu eleman olarak tanımlanır (Şekil 2.2.).



Şekil 2.2. Dolgu Duvarın Modelemeye Yansıtılması (a: Eşdeğer Çubuk; b: Sonlu Eleman (Sivri ve ark. 2006)

2.1.1. Mikro Modelleme

Mikro modeller, çok sayıda elamanı olan modellerde kısmi (lokal) davranışı çok detaylı bir şekilde analiz etmek ve yeniden oluşturmak için kullanılan bir modelleme şeklidir. Mikro modelleme uzun hesaplama süresi gerektirir. Sonlu Elamanlar

yöntemine dayanan bu modellemede çerçeveler düzlem ya da kiriş elemanı, dolgular düzlem elemanı ve ara yüzler ise tek boyutlu lineer eleman olarak modellenir.

2.1.1.1. Sonlu Elamanlar Modeli

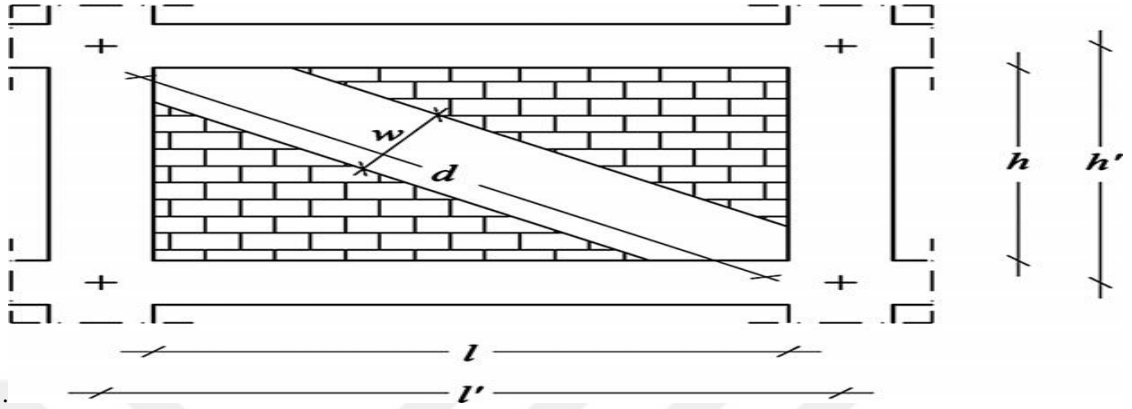
Her bir duvar elemanı sonlu eleman ağı ile temsil edilir. Fiore ve ark. (2012) aktardığına göre:

Mallick ve ark. (1967), (1971) yaptıkları çalışmalarda çerçeve ile panel arasındaki kaymayı hesaba katabilen ara yüz elemanlarını düzgün bir şekilde yeniden oluşturmaya çalıştırdıkları sonlu elemanlar metodunu önermişlerdir. Asteris (2008) yaptığı çalışmalarda çözümün ayrılmaz parametreleri olan temas uzunluğu ve ara yüz gerilmeleri için adım-adım analiz yapmış ve yeni bir ölçüt önermiştir. Çalışma sonucunda dolgu panelinin çerçeve ile örtüşemeyeceği önerisi ortaya konulmuştur. Dolgulu sonlu elemanların, dolgu maddesinin sıkıştırılmış köşegen uçlarına karşılık gelen çerçeveye bağlandığı varsayılmaktadır. Daha sonra düğüm kuvvetleri, yer değiştirmeler ve ana elamanların gerilmeleri hesaplanır. Dolgu panel noktalarının çerçeve ile çakışıp çakışmadığı kontrol edilir. Çakışma varsa çerçeve ile dolgu arasına yeni bağlantılar eklenir ve prosedür tekrarlanır. Şekli değişen yeni konfigürasyonun kabul edilebilir olması çerçeve panel ara yüzündeki bağlantılarda çekme gerilmelerinin olmaması koşuluna bağlıdır. Aksi taktirde prosedür tekrarlanır. Liauw ve Kwan (1984) yaptıkları çalışmada ara yüzü yeniden oluşturmak için basit çubuk tipi elemanlar kullanmışlardır. Kayma ve ayırımı hesaba katmak için dolgu panelleri çatlamadan önce izotropik çatlamadan sonra anizotropik olarak varsaymışlardır.

2.1.2. Makro Modelleme

Makro-modeller, yapısal bir elemanın geniş çaplı (global) davranışını yeniden oluşturmak için kullanılan bir modelleme şeklidir. Rijitlik ve dayanım açısından sonuçlar veren bir modellemedir. Dolgu duvarın bir bütün olarak hesaba yansıtıldığı bir bu modellemede, duvar paneli taşıyıcılık özelliği olan eleman olarak temsil edilir. Makro modellemede duvar panelleri genellikle diyagonal çubuk olarak temsil edilmektedir. Fiore ve ark. 2012'de makro modelleme yaptıkları çalışmalarında

diyagonal çubuk olarak modelledikleri duvarın genişliğinin değerlendirilmesi için parametreler kullanmışlardır (Şekil 2.3).

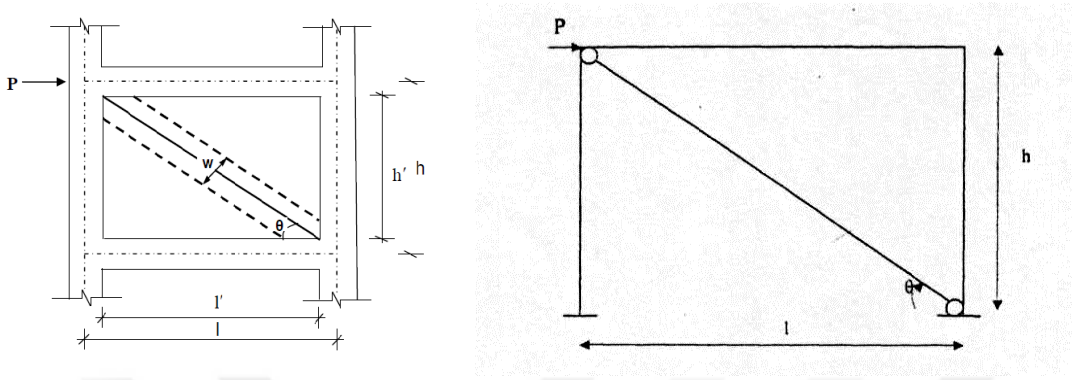


Şekil 2.3. Eşdeğer Çubuk Genişliğinin Değerlendirilmesi İçin Temel Geometrik Parametreler (Fiore ve ark. 2012)

2.1.2.1. Eşdeğer Sanal Çubuk Modeli

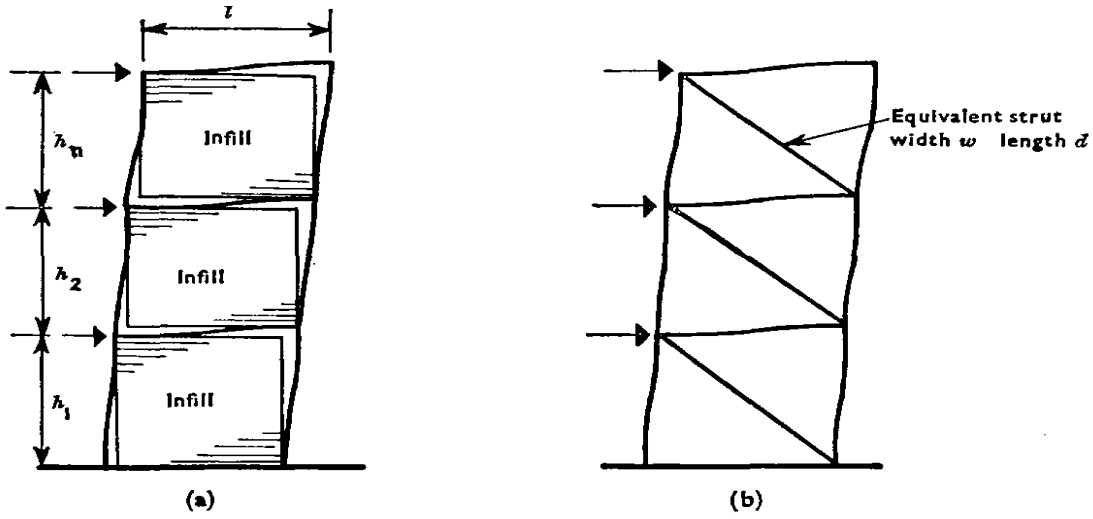
Dolgu duvarlı çerçeve sistemlerde başlangıçta betonarme çerçeve ve dolgu duvar perde duvar gibi birlikte hareket edeceklerdir fakat artan yatay yükler altında deformasyonlar artacak ve çerçeve eğilmeye çalışırken dolgu duvar engel olacaktır. Dolgu duvar – çerçeve birleşim bölgelerinde; çekme çaprazlarındaki karşılıklı iki köşe boyunca çatlaklar ve ayrılmalar oluşmakta ve artan yükle beraber büyümektedir. Dolgu duvarda köşelerde basınç kuvvetlerinin oluşturduğu çapraz basınç bölgesinin oluştuğu gözlenmiştir. Şekil 2.4'de dolgu duvarlı çerçevelerin, iki köşeden mafsallı eşdeğer çubukla (eşdeğer basınç çubuğu) temsil edilişi verilmiştir. Fema 356'da dolgu duvar basınç çubuğu olarak ele alınmaktadır. Dolgu duvarların eşdeğer basınç çubuğu olarak modellenip çeşitli yapısal parametrelere ve yapı davranışına etkisinin incelendiği çalışmalar oldukça fazladır. Eşdeğer çapraz çubuğun kesit alanı ilk kez Holmes 1961 tarafından önerilmiştir. Daha sonra Smith (1962), (1966), Holmes (1963), Smith ve Carter (1969), Mainstone (1971), Klingner ve Bertero (1978), Zarnic ve Tomazevic (1985), Sobaih ve Abdin (1988), Liauw (1979), Mehrabi (1994); Zarnic (1994); Reinborn ve ark. (1995), Saneinejad ve Hobbs (1995), Crisafulli (1997), Madan ve ark. (1997), Al-Chaar (1998), Kappos ve diğ. (1998), Combescure (2006), Sivri ve ark. (2006), Kaushik ve ark. (2008), Köse (2009), Kaymak ve ark. (2011), Akpınar ve ark.

(2013), Liu ve ark. (2014) çalışmalarında eşdeğer basınç çubuğunu kullanmışlardır; ayrıca bu yaklaşımı Fema 306 ve deprem yönetmeliği de ele almıştır.



Şekil 2.4. Dolgu Duvarlı Çerçevenin Çapraz Eşdeğer Sanal Çubukla Temsil Edilmesi

Smith ve Carter (1969) yaptıkları çalışmada; dolgu duvar davranışını incelediklerinde çerçeve ile dolgu duvarın başlangıçta birlikte inşa edilmediği ve birbirlerine bağlı olmadıklarını varsaymışlardır. Yük uygulandığında dolgu ve çerçeve, her bir tarafın uzunluğunun büyük bir bölümünden ayrılır. Daha sonra temas sadece sıkıştırma köşelerinin uçlarındaki köşelere bitişik kalır (Şekil 2.5.-a). Aslında dolgular Şekil 2.5. -b'de görüldüğü gibi çapraz dikmeler ve benzer yapı gibi davrandıklarından eşdeğer çubuk olarak kabul edilmiştir (şekil 2.5.). Çalışmalarında temas uzunluğu; α çerçeve dolgusunun relatif rijitliğine dayalı olarak oluşturulan denklem 2.1'de verilmiştir. λh burada dolgulu çerçevede relatif rijitliği temsil eden boyutsuz bir parametredir. Dolgu ile çerçevenin rijitlik parametresi λ'yı denklem 2.2. 'deki gibi ele almışlardır ve Θ açısı 2.3'deki gibi hesaplanmıştır. Dolgu duvar genişliği (w) araştırmacılar tarafından farklı olarak ele alınmıştır. (Denklem 2.4, 2.5, 2.6, 2.7, 2.8, ve 2.9)



Şekil 2.5. Çerçeve Sistem (a: Yanal yüklü dolgulu çerçeve; b) Eşdeğer çerçeve (Smith ve Carter 1969))

$$\frac{\alpha}{h} = \frac{\pi}{2\lambda h} \qquad 2.1$$

$$\lambda = \sqrt[4]{\left|\frac{[E_I\ t \sin 2\Theta]}{4E\ I\ h^1}\right|} \qquad 2.2$$

$$\Theta = \tan^{-1} h^1/l^1 \qquad 2.3$$

$$w = 0.175(\lambda h)^{-0.4}\sqrt{(h^1 + l^1} \qquad 2.4$$

Holmes 1961; $w = \frac{d_m}{3}$ 2.5

Daha sonra Smith (1962), l/h oranına bağlı olarak diyagonal uzunluğun (d) 0.1 ile 0.25 arasında değiştiği sonucuna varmıştır:

$$\frac{w}{d} = 0.1 \sim 0.25 \qquad 2.6$$

Paulay ve Prestley (1992), $w = 0.25.\ d_m$ 2.7

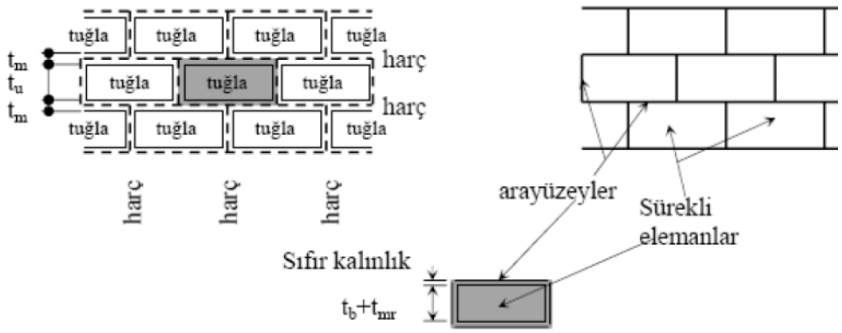
Mainstone (1971), $w = 0.16\ \lambda^{-0.3}{}_h\ d_m$ 2.8

Liauw ve Kwan (1984), $w = \frac{0.95\ h_w \cos\theta}{\sqrt{\lambda_h}}$ 2.9

Burada, h, $E_ı$, t, Ɵ, E, I, hı, $l^ı$ sırasıyla kat yüksekliği (mm), eşdeğer sanal basınç çubuğu elastisite modülü (MPa), dolgu duvar kalınlığı (mm), eşdeğer sanal basınç çubuğun yatayla yaptığı açı, çerçevenin elastisite modülü (MPa), kolonun atalet momenti (mm^4), dolgu duvar yüksekliği (mm) ve dolgu duvar genişliğini (mm) ifade etmektedir.

2.1.3. Meso Modelleme

Basitleştirilmiş mikro modelleme olarak da bilinen bu modelleme yöntemi yığma yapıların lineer olmayan analizlerinde kullanılmaktadır. Modellemede rijit elemanlar ara yüzey sonlu elemanlar ile birbirlerine bağlanmaktadırlar. Zaman açısından dezavantajlı bir modelleme şeklidir çünkü çok sayıda ara yüzey elemanı kullanılmaktadır. Mikro modellemeye kıyasla daha az düğüm noktası ve elemana ihtiyaç duyulan bir modelleme yöntemidir. Meso modellemede çatlakların ara yüzeylerde, rijit elemanlardaki çatlakların ise elemanın orta bölgesinde oluştuğu kabul edilmektedir (Şekil 2.6).



Şekil 2.6. Meso Modelleme (Doğan 2016)

2.2. Dolgu Duvar Davranışının Yönetmeliklere Göre Modelleme Esasları

Dolgu duvar davranışı yönetmelikler açısından da ele alınmıştır. Çalışmanın bu kısmında 'Deprem bölgelerinde yapılacak binalar hakkında yönetmelik' (DBYBHY 2007) ve 'Fema 306'nın dolgu duvar modelleme esasları ve dolgu duvarlarla ilgili yaklaşımları hakkında detaylar verilmiştir.

2.2.1. DBYBHY 2007'ye Göre Dolgu Duvar Modelleme Esasları

DBYBHY 2007'de "Boşluklu beton briket, hafif agregalı beton kâgir birimler, TS-2510 ve TS–705 (TS EN 771-1)'de taşıyıcı duvar malzemesi olarak izin verilen en büyük boşluk oranlarının üzerinde olan tuğlalar ve bloklu tuğlalar TS–4377 (TS EN 771-1)'e göre dolgu duvarları için üretilmiş diğer tuğlalar ve benzeri biçim verilmiş bloklar taşıyıcı duvar malzemesi olarak kullanılamaz" denmektedir. DBYBHY-2007, dolgu duvarlı sistemlerde, yapıyı duvarsız olarak ele almakta ve dolgu duvar nedeniyle oluşan rijitlik değişimlerini hesaba katmamaktadır.

Yine yönetmelik hasır çelik donatı ile güçlendirilen dolgu duvarların yapı modelinde temsil edilmesi için kullanılacak olan rijitlik ve dayanım özellikleri ile modelleme esaslarını aşağıdaki gibi tanımlamaktadır:

'Yapı modelinde betonarme çerçeve içinde düzenlenmiş ve köşegen uzunluğunun kalınlığa oranı 30'dan küçük olan dolgu duvarlar göz önüne alınmıştır. Duvar yüzey alanına oranı %10'u geçmeyen boşlukların bulunduğu duvarların yapı modeline katılmasına, boşlukların konumu köşegen basınç çubuğu oluşumunu engellememesi koşuluyla izin verilebilir' denmektedir. Eşdeğer basınç çubuğunun kalınlığı, güçlendirilmiş basınç çubuğunun kalınlığına eşittir. Genişlik, eşdeğer basınç çubuğu katsayısı ve köşegen basınç çubuk elemanının eksenel rijitliği, denklem 2.10, 2.11 ve 2.12'deki gösterildiği gibi hesaplanmaktadır.

α_{duvar} = çubuk genişliği (mm), λ_{duvar} = eşdeğer basınç çubuğu katsayısı, h_k = kolon boyu (mm), r_{duvar} = dolgu duvarı köşegen uzunluğu (mm), olmak üzere;

$$\alpha_{duvar} = 0.175\,(\lambda_{duvar}\, h_k)^{-0.4}\; r_{duvar} \qquad 2.10$$

$$\lambda_{duvar} = \left[\frac{E_{duvar}\, t_{duvar}\, \sin 2\theta}{4\, E_C\, I_k\, h_{duvar}}\right]^{\frac{1}{4}} \qquad 2.11$$

Θ =köşegenin yatay ile olan açısı;

E_{duvar} = dolgu duvar elastisite modülü (MPa);

t_{duvar} = güçlendirilmiş duvarın kalınlığı (mm);

E_c = çerçeve betonunun elastisite modülü (MPa);

I_k = kolonun atalet momenti (mm^4);

h_{duvar} = güçlendirilmiş duvarın yüksekliği (mm);

$$k_{duvar} = \frac{\alpha_{duvar}\, t_{duvar}\, E_{duvar}}{r_{duvar}} \qquad 2.12$$

k_{duvar} = Köşegen basınç çubuk elemanının eksenel rijitliğini ifade etmektedir.

2.2.2. Fema 306'ya Göre Dolgulu Duvar Modelleme Esasları

Yatay yükler altında dolgu duvarın, betonarme çerçeve taşıyıcı elemanlarından ayrılmaya başlayacağı, buna karşın çerçeve ile karşılıklı iki köşe doğrultusunda temasın söz konusu olduğunu ve bu iki köşe doğrultusunda makro modellememede sanal bir basınç çubuğu olarak ele alındığından bahsedilmiştir. Dolgu duvarların basınç çubuğu olarak modellenmesinde ve boşluksuz dolgulu panellerin dayanım, rijitlik ve deformasyon kapasitesi için dolgulu çerçeve hesaplama prosedürleri kapsamında Fema-306'nın önerdiği boşluksuz dolgulu çerçeve için hesaplama esasları aşağıda verilmiştir.

$$E_C = 57000\sqrt{f^I_{ce}} \qquad 2.13$$

Denklem 2.13'de E_c, ve f'_{ce} sırası ile betonun elastisite modülü (MPa) ve dayanımı (MPa) ifade etmektedir. Dolgu panellerin elastisite modülü ve dayanımı duvar malzemeleri cinsinden verilmektedir. Duvar için E_m ve f'_{ce} değerleri kullanılmaktadır. FEMA, dolgu duvarları basınç çubuğu olarak modellemekte ve rijitliğini yapısal analizde hesaba katmaktadır.

2.2.2.1. Rijitlik

Eşdeğer çubuk; çerçeve ile temas halinde olan dolgu kalınlığı ve dolgu duvar diyagonal çubuğun uzunluğu ve genişliği ile ifade edilir. Denklem 2.14'de α; eşdeğer basınç çubuğunun efektif genişliği,

$$\alpha = 0.175\,(\lambda_l\, h_{col})^{-0.4}\; r_{inf} \qquad 2.14$$

olmak üzere rijitlik, λ_d denklem 2.15 de gösterildiği şekilde hesaplanır.

$$\lambda_d = \left[\frac{E_{me}\, t_{inf}\, \sin 2\Theta}{4\, E_{fe}\, I_{col}\, h_{inf}}\right]^{\frac{1}{4}} \quad 2.15$$

Burada ;

h_{col} = Kolonun kiriş merkezleri arasındaki yüksekliğini (mm);

h_{inf} = Dolgu yüksekliğini (mm);

E_{fe} = Çerçeve malzemenin elastisite modülünü (MPa);

E_{me} = Dolgunun elastisite modülünü (MPa);

I_{col} = Kolonun atalet momentini (mm^4) ;

r_{inf} = Dolgu duvar köşegen uzunluğunu (mm);

t_{inf} = Eşdeğer basınç çubuğu kalınlığı ve dolgu duvar kalınlığını (mm);

Θ = Tanjant açısı, dolgunun yüksekliğinin uzunluğuna oranı olan açıyı, (denklem 2.16)

l^1 = Dolgu yüksekliğini (mm) ifade etmektedir.

$$\Theta = \tan^{-1} h^1/l^1 \quad 2.16$$

2.2.2.2. Dayanım

Dolgunun dayanma kapasitesinin karışık olmasından dolayı birçok göçme mekanizması analizi üzerinden potansiyel çatlak ve hasar modelleri belirtilmiştir. Fema 306 dolgulu duvarda, dört şekilde ele aldığı göçme mekanizmasını aşağıdaki şekilde vermektedir:

Kayma-Kesme Göçmesi

Mohr-coulomb göçme kriterleri, dolgunun başlangıç kayma-kesme kapasitesini değerlendirmek için kullanılmıştır. **μ**; yatay derzler arasındaki kayma sürtünme katsayısı; Θ, duvarla derzler arası kayma sürtünme açısı; E_m, duvarın elastisite modülü (MPa) olmak üzere, denklem 2.17'deki gibi hesaplanmaktadır.

$$V^{i}_{slide} = \mu \cdot L_{inf} \cdot t_{inf} \cdot E_{m} \cdot \Theta^{2} \quad 2.17$$

Basınç Göçmesi

Basınç göçmesi eşdeğer çapraz dikme, Stafford-Smith ve Carter (1969) tarafından önerilen yöntemin değiştirilmiş bir versiyonu olarak kullanılmaktadır. α yukarıda belirtildiği gibi eşdeğer çubuk genişliği (mm), f'_{m90} = duvarın yatay yöndeki dayanımı (MPa), (prizma dayanımının; (f'_{me}) %50 si alınabilinir) olmak üzere (denklem 2.18) :

$$V_{c} = \alpha \cdot t_{inf} \cdot f'_{m90} \cdot \cos\Theta \quad 2.18$$

Panelin Diyagonal Çekme Göçmesi

Saneinejad ve Hobbs (1995) tarafından önerilen dolgunun çatlak kesmesini Fema 306, denklem 2.19'daki şekilde vermiştir. $\sigma_{cr,}$ duvarın çatlama kapasitesi olmak üzere:

$$V_{cr} = \frac{2\sqrt{2} \cdot t_{inf} \cdot \sigma_{cr}}{\left(\frac{L_{inf}}{h_{inf}} + \frac{h_{inf}}{L_{inf}}\right)} \quad 2.19$$

Test sonuçlarının olmaması durumunda çatlak dayanımı; $\delta_{cr} = \frac{f'_{me90}}{20}$ olarak ya da $\sigma cr \approx v_{me}$ olarak alınabilinir. v_{me}, duvar derzlerindeki kohezyon dayanımı (MPa) ve f'_{me}, duvar basınç dayanımını (MPa) olmak üzere denklem 2.20'deki şekliyle ifade edilmektedir.

$$v_{me} = 20\sqrt{f'_{me}} \quad 2.20$$

Panelin Kesme Göçmesi

Paulay ve Priestley (1992) önerdikleri şekilde dolgu tarafından başlangıç ve final kesme katkılarını aşağıda belirtilen şekilde verilmiştir (Denklem 2.21 ve 2.22).

$$v_{mi} = A_{vh}\, 2\sqrt{f'_{me}} \quad 2.21$$

$$V_{mf} = 0.3\, V_{mi} \quad 2.22$$

Burada; v_{mi}, monotonik yükleme altında mevcut ilk kesme kapasitesini; V_{mf}, döngüsel (cylic) yükleme sonucu final kesme kapasitesini, $A_{vh,}$ dolgulu panelin net yatay kesme alanını ifade etmektedir.

2.2.2.3. Dolgu Panelde Donatı Etkisi

Eğer duvar ya da beton, dolgu panelleri ile güçlendirilir ise donatı panelin kesme dayanımı artırılmalıdır. Donatıdan kaynaklı oluşan kesme talebi ACI 318-95 verildiği şekilde alınmıştır (Denklem 2.23). Burada ρw, dolgu panelin donatı oranı, f_{ye}, dolgu duvar içindeki gövde donatısının akma dayanımı (MPa) olmak üzere:

$$v_s = \rho_w f_{ye} A_{vh} \qquad 2.23$$

2.2.2.4. Boşluksuz Dolgu-Panel Bileşenlerin Deformasyon Kapasitesi

Dolgulu panel bileşenleri için dört davranış modelinin de her biri için deformasyon kapasiteleri açısından net deneysel sonuçlar ve uygun analitik modeller bulunmamaktadır. Deneyler gösteriyor ki diyagonal çatlaklar (köşe) doğrusal olmayan davranış başlangıcında göreli kat ötelenmesini %0.25 ile başlatmakta ve panelde yaklaşık %0.5 (köşeden köşeye) oranında tamamlamaktadır. Köşe çatlamaları da aynı aşamada başlamakla birlikte kapsamı, sürdürülen döngüsel yük miktarına bağlıdır. Bir dolgu panelinin kayma kesmelerinde deforme olma kabiliyeti esas olarak sınırsızdır (Diğer davranış modları etkilidir.). Böylece, genel kesme davranışı modu tarafından uygulanan sınırlar, dolgu panellerinin yer değiştirme kapasitesini belirler. Deneysel kanıtlar, farklı duvar dolgu panelleri için göreli kat ötelenmesi sınırını aşağıdaki gibi vermektedir; Fema 306'ya göre dolgu tipine göre ötelenme çizelge 2.1'de verilmiştir.

Çizelge 2.1. Fema 306'ya Göre Dolgu Tipine Göre Ötelenme Oranları

Duvar Tipi	**Göreli Kat Ötelenmesi**
Tuğla Duvar :	%1.5
Harç Dolgulu Beton blok duvar	% 2
Harç Dolgusuz Beton blok duvar:	% 2.5

2.2.2.5. Duvar Göçme Biçimlerine Göre Kapasite Hesapları

Fema 306'nın duvar göçme biçimlerine göre kapasite hesapları aşağıda verilmiştir:

Yatay Derz Kayması

Kayma sonucu oluşan göçme mekanizmasıdır (Şekil 2.7). Dolgu duvarda kullanılan harç malzemesi bir süre direnç gösterip duvarın kaymasına engel olacaktır. Daha sonra dayanımını kaybedip, derzler boyunca kesilecek ve kayma göçmesi gerçekleşecektir.



Şekil 2.7. Kayma Göçmesi

Yapışkanlık etkisi ile sürtünme direncinin toplam kapasitesi, V_{bjs1} (MPa), için; A_n, derzin (varsa ara dolgunun) kesilen yüzey alanını (mm^2) temsil etmektedir. Harcın tutma kapasitesinin kaybolması ile kayma direnci olarak sürtünme direnci kalır. Fema 306 tarafından geliştirilen duvarın kayma kapasitesi hesabı aşağıda belirtilen şekilde hesaplanmaktadır (Denklem 2.24 ve 2.25) :

$$V_{bjs1} = v_{me} \cdot A_n \qquad 2.24$$

$$V_{bjs2} = V_{friction} A_n = 0.75 \cdot \frac{P_{CE}/A_n}{1.5} \cdot A_n = 0.5\, P_{CE} \qquad 2.25$$

Devrilme (Rocking)

Sallanma modu; tipik olarak malzeme kesme kapasitesi yüksek olduğunda, iskeleler ince ve sıkıştırma gerilmesi düşük olduğunda ortaya çıkar. Çatlak sonrası deformasyonlar, birçok döngü için büyük ve nispeten stabil olabilir. Nihai limit durumu ve meydana geldiği sapma, bu alanda yürütülen çalışmalarda ayrıntılı olarak tanımlanmamıştır, Sallanmanın duvarın uç (topuk) kısımlarında çatlak oluşturduğunu gösteren parametrelerin hesaplanması için analitik çalışmaya izin verebilecek testler yetersizdir. Çalışmalarda dönmeye neden olan davranışın tespit edilmeyişinin sebebi çatlakların sallanmanın bitmesine yakın oluşmasıdır. Bununla birlikte payandaların alt ve üst kısımlarında harç yayılmalarının işaret ettiği yatay çatlaklar oluşmaktadır (Şekil 2.8).



Şekil 2.8. Uzantılı Göçmeler, Rutherford ve Chekene,1990 (FEMA)

Devrilmeye karşı kapasite hesabı; V_r (kN) aşağıdaki gibi hesaplanmaktadır (Denklem 2.26). Burada α, katsayı olmak üzere, serbest konsol duvar ve konsol payanda için sırasıyla 0.5 ve 1 alınır. P_{CE} (kN); her bir yük kombinasyonu için eksenel basınç yükü, L(m), duvar uzunluğu h_{eff} (m) , yükseklik (yatay kuvvete olan mesafe) olmak üzere;

$$V_r = 0.9 \,.\, \alpha \,.\, P_{CE} . \left[\frac{L}{h_{eff}}\right] \qquad 2.26$$

Diyagonal Çekme

Bu davranış modunda, önemli bir sünek tepkisi olmaksızın bir diyagonal gerilim çatlağı oluşur. Tipik diyagonal çekme çatlakları, kuvvetli harç, zayıf birimler ve yüksek basınç gerilmelerinden kaynaklanan gerilmeler sonucu oluşur ve birim boyunca yayılan diyagonal çatlaklar ("X" çatlakları) olarak tanımlanır. Çoğu durumda, çatlama aniden ve kırılgan olur ve düşey yük taşıma kapasitesi hızla düşer. Çatlaklar daha sonra tabana kadar uzanabilir ve çatlakların üstündeki ve altındaki üçgenler birbirinden ayrılabilir. Birkaç durumda yük düşüşü her döngüde (çatlakların boyut ve ölçüleri arttıkça) daha kademeli olabilir. İkincil diyagonal çatlaklar zayıf harç, kuvvetli üniteler ve düşük basınç gerilmesi ile çatlaklar baş ve yatak derzlerinde basamaklı olarak yayıldığında oluşur. Diyagonal çekme çatlakları için verilen kapasite denklemi aşağıda belirtilmiştir. Burada f_{dt}, diyagonal çekme mukavemetini (MPa), β, sabit katsayıyı ifade eder, (L/h_{elf}) oranına göre bu katsayı tespit edilir ($(L/h_{elf}) < 0{,}67$ ise $\beta = 0.67$; $(L/h_{elf}) \geq 0{,}67$ ise $\beta = 1$ alınır).

$$V_{dt} = f'_{dt} \cdot A_n \cdot (\beta) \cdot \left[\left(1 + {f_{ae}}/{f'_{dt}}\right)\right]^{\frac{1}{2}} \qquad 2.27$$

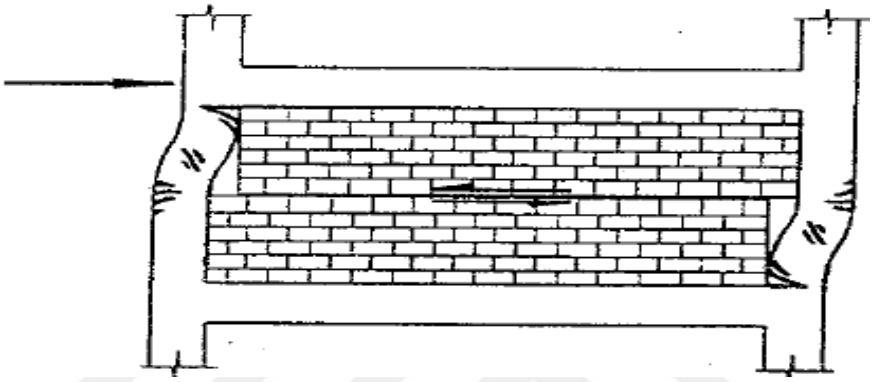
Topuk Ezilmesi

Bu hasar formunda, devrilmede olduğu gibi tabandaki basınçtan dolayı önemli sünek tepkiler olmaksızın ezilmeler ortaya çıkmaktadır. Bu davranış biçiminin deneysel gözlemleri rapor edilmemiştir. Topuk ezilmesi kapasitesi mukavemetini (V_{tc}) de yine Fema 306 aşağıdaki gibi vermiştir (denklem 2.28). Burada f_{ae}, eksenel düşey yük gerilmesi, f_{me} duvar basınç mukavemeti (MPa) olmak üzere aşağıdaki şekilde ifade edilmiştir

$$V_{tc} = \alpha \cdot P_{CE} \cdot \left({L}/{h_{eff}}\right)\left(1 - {f_{ae}}/{0.7\, f'_{me}}\right) \qquad 2.28$$

2.3. Dolgulu Çerçeve Duvar Bileşenleri ve Davranış Modelleri

Dolgu duvarlı çerçeve sistemlerde başlangıçta betonarme çerçeve ve dolgu duvarın, perde duvar gibi birlikte hareket edeceklerini; fakat artan yatay yükler altında deformasyonlar artarken çerçevenin eğilme davranışı göstereceğini, dolgu duvarın da buna engel olacağı ve kayma davranışı göstereceğine daha önceki bölümlerde değinilmiştir.



Şekil 2.9. Yatay Yükler Altında Çerçeve-Dolgu Duvar Davranışı

Şekil 2.9'de yatay yükler altında dolgulu çerçevenin davranışı görülmektedir. Shing ve Mehrabi (2002) dolgu duvarların düzlem içi ve düzlem dışı göçme mekanizmaları ile ilgili yaptıkları çalışma, göçme davranışlarının tamamen dolgunun ve betonarmenin dayanımına bağlı olduğunu göstermiştir.

Fema 306 'ya göre; dolgu bileşeninin rijitliği kontrol ettiği durumlarda, kuvvet deformasyon eğrisinin şeklini tanımlayan olaylar yatay derz kayması, çapraz basınç, köşe kırılması, kesme göçmeleri ve düzlem dışı göçmeler olarak tanımlanmıştır. Küçük deformasyonlar altında rijitlik ve davranışta panel rijitliği etkili ve baskındır. Deformasyon arttıkça panel özellikleri, eleman özelliklerinin bir fonksiyonu olacaktır.

Duvar, harca göre kuvvetli olduğunda, diyagonal (çapraz) çekme baş ve yatay derzler boyunca oluşan bir çatlak deseni ile sonuçlanacaktır. Harç (nadiren) daha kuvvetli olduğunda, harçların yanı sıra harç yoluyla da çatlaklar gelişir ve ana stres yönüne normal bir çizgi izler. Basamaklı çatlaklarla birlikte, kesme, çatlamadan sonra,

yatay derzlerde normal bir basınç baskısı ile direnç göstermeye devam edebilir ve basınç çubuğu olarak karakterize olur.

Eğer harç az bir şekilde duvara yakın ise dolgu panel diyagonal (çapraz) boyunca çatlamak yerine yatay derzler boyunca çatlama davranışı sergileyebilir. Bu durumda çerçevenin deformasyona uğramış şekline uyum sağlaması için birim kayma olarak birkaç yatay derz boyunca yatay çatlaklar oluşabilir. Bu çatlama modu, daha düşük kesme kuvvetlerinde ortaya çıkabilse de genel çerçeve dolgusu, daha büyük bir inelastik deformasyon kapasitesine sahip olacaktır, çünkü bu davranışa çerçeve hareketi hâkim olacaktır. Dolgu paneli, kesmede yeterince güçlü olduğunda, köşelerdeki basınç gerilmesi kırılmada başarısız olur. Bu mod en güçlü ve en rijit mod özelliğinde olacaktır, ancak kırılma ani olacağından aynı zamanda sınırlı deformasyon kapasitesine sahip olacaktır.

2.3.1. Fema 306'ya Göre Boşluksuz Dolgu Duvarlı Sistemlerde Hasar Biçimleri

Fema 306'ya göre boşluksuz dolgu duvarlı panel bileşimlerindeki davranış biçimleri,-hasar tipleri ve özellikleri aşağıdaki gibi tanımlanmaktadır:

2.3.1.1. Yatay Derz Kayması

Bu mekanizma genellikle diğer göçme biçimleriyle birlikte, güçlü ve sünek çerçevelerden oluşan tuğla duvarlı sistemlerde oluşur. Eğer harç altlıkları (mortar bed) duvara kıyasla zayıf ise, dolgu panelinin orta yüksekliği seviyesine yakın noktada bir zayıflık düzlemi oluşur. Hasar küçük kırma şeklini alır ve bu davranış modunda yer değiştirme kapasitesinde sınır yoktur.

2.3.1.2. Diyagonal Çatlaklar

Çerçeve sistemlerin dolgulu olması ve yanal düzlem içi yüklemelere maruz kalması durumunda dolgunun köşegeni boyunca yüksek basınç gerilmeleri oluşmaktadır. Bu basınç gerilmeleri ve gerinimleri çekme gerinimlerine (dayanım) dönüşür. Çekme dayanımları çatlama dayanımlarını aştığında diyagonal çatlaklar

oluşur. Bu çatlaklar, dolgunun merkezinde başlar ve basınç köşelerine doğru devam eder. Göreli kat ötelenmeleri artması ile diyagonal çatlaklar bir köşeden çapraz olarak karşıt köşeye kadar yayılma eğilimi göstermektedir.

2.3.1.3. Köşe Ezilmesi

Yanal yüklere maruz kalan çerçeve sistemlerde, basınç diyagonallerinin her bir köşesinde yüksek gerilme yığılmaları oluşmaktadır. Güçlü ve/veya rijit kolon ve kirişlerde köşe ezilmesi küçük bir bölgede oluşurken daha zayıf çerçevelerde daha kapsamlıdır ve beton çerçevenin kendisine kadar uzanabilmektedir. Oluşan ezilme hasarına rağmen kısmen sünek göçme modudur. Göreli kat ötelemeleri arttıkça, köşe ezilmeleri daha belirgin hale gelir. Köşedeki duvar elemanları tamamen düşebilir. Ezilme kirişin ve/veya sütunun merkezine doğru ilerler.

2.3.1.4. Düzlem Dışı Göçmeler

Sünekliğin düşük olduğu sistemlerde, yer sarsıntısı duvarın düzlemini düzlem dışı göçme moduna dönüştürebilir. Genellikle yüksek katlı yapıların üst kısımlarında düzlem dışı göçmeler meydana gelebilir. Burada zemin ivmeleri temel olarak belirgin sinüzoidal yer hareketi girişinin rezonans amplifikasyonlarıdır. Alt katlarda yüksek düzlem içi kat kesmeleri ile birleştiğinde dolgu panelleri, her bir yükleme çevriminde çerçeve kuşatmasını kademeli olarak "terk etme" eğilimindedir.

2.3.2. Araştırmacıların Yaptıkları Çalışmalara Göre Göçme Modları

Yukarıda Fema 306 'ya göre göçme biçimleri verilmiş olsa da Asteris ve ark. (2011) yaptıkları çalışmada, farklı göçme modlarını çerçeve ile dolgu arasındaki rölatif yanal dayanıma bağlı olarak sistemin Wood (1978) tarafından (Denklem 2.29) formülize edildiğini belirtmişlerdir. Burada, rölatif yanal dayanım ölçüsü m parametresi ile ifade edilmektedir. Mp, çerçeve köşesindeki plastik moment kapasitesini ve fw dolgunun basınç dayanımını (MPa) ifade etmek üzere aşağıdaki şekilde tanımlanır.

$$m = \frac{8M_p}{f^1_w \ t_w \ L^2_w} \qquad 2.29$$

Asteris ve ark. (2011) çalışmalarında, dolgu duvarlı boşluksuz çerçevelerin davranış şekillerini Wood (1998) ve diğer araştırmacıların çalışmaları doğrultusunda Fema 306'dan çok da farklı olamamak üzere 5 modda toplamışlardır. Bunlar:

Köşe Ezilmesi Modu : Bu kırılma, isminden de anlaşılacağı gibi en az bir köşede oluşan ezilmelerin oluşturduğu dolgu duvarlı sitemlerdeki göçme şeklidir. Duvar dolgusunun zayıf olduğu fakat güçlü çerçeve elemanlarının zayıf bağlantı ile oluştuğu dolgulu çerçeveli sitemlerde meydana gelen göçme biçimidir.

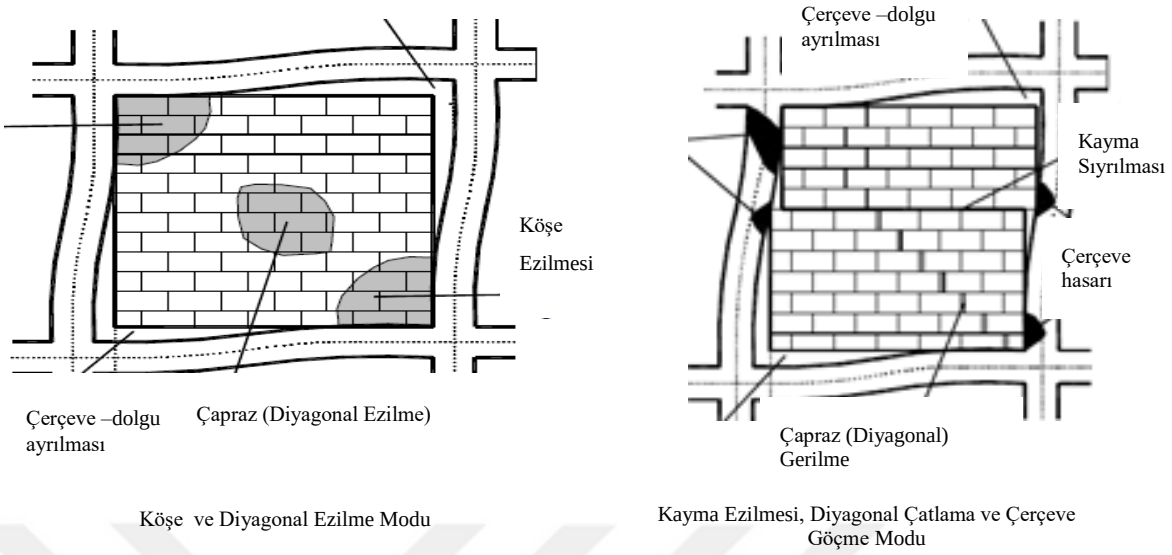
Diyagonal Ezilme Modu : Çapraz kırılma şeklinde de tanımlanan bu kırılma, dolgu malzemesinin kendi merkezinde ezilmesi temsil eder. Dolgunun relatif olarak zayıf olmasından ve düzlem dışı burkulmadan kaynaklı bir göçme biçimidir.

Kesme Kayma Modu : Dolgulu duvarın yatay derzleri boyunca yatay kayma kesme göçmesini temsil eder. Zayıf harç bağlantılı güçlü çerçevelerde harç tabakasının kaymaya karşı dayanım kaybetmesi sonucu oluşan göçme biçimidir.

Diyagonal Çatlama Modu : Dolgu panellerde/duvarlarda sıkıştırılmış çapraz bir çatlak şeklinde ve çoğu zaman kayma ezilmesi ile eş zamanlı oluşabilen çatlamalardır. Genellikle zayıf çerçeve ya da zayıf bağlantılı çerçeve ve güçlü elemanlarla dolgulandırılmış güçlü dolgulu çerçeve sistemlerde oluşan göçme şeklinde ortaya çıkar.

Çerçeve Göçmesi Modu : Kolon ya da kolon-kiriş bağlantı noktalarında oluşan plastik mafsallar şeklinde ortaya çıkar. Zayıf ya da zayıf bağlantılı çerçevelerde, güçlü dolgulu sistemlerde oluşan göçme biçimidir.

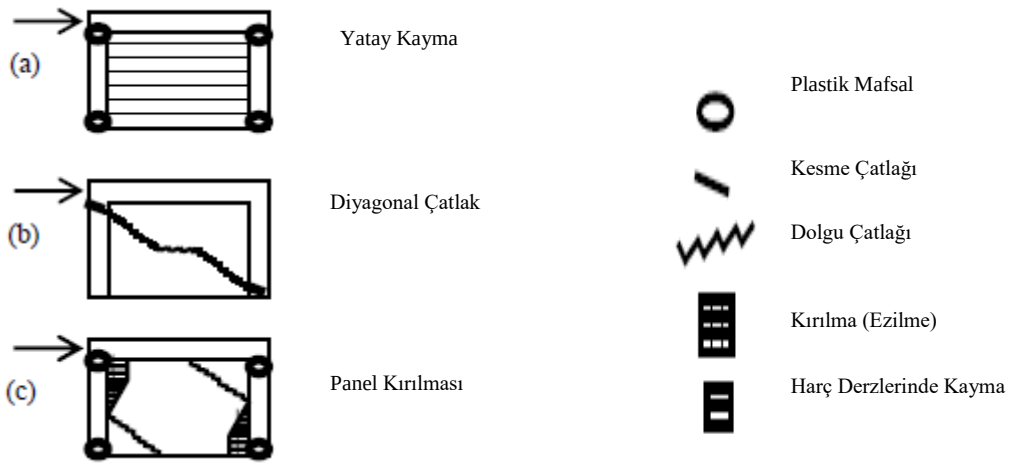
Wood'un relatif yanal dayanım parametresi m 1'den küçük olduğu zaman 1,2,4,5 modlarında belirtilen göçmeler oluşur, 3. Mod yani kayma kırılması oluştuğunda m parametresi ≥ 1, (Ghosh ve Amde 2002) Kısacası $m < 1$ için 1,2,4,5 modları ve $m \geq 1$ için 3.moddaki göçme oluşur. Bu beş göçme modu Şekil 2.9'da belirtilmiştir.



Şekil 2.10. Boşluksuz Dolgu Duvarlı Çerçevelerde Göçme Biçimleri (Asteris ve ark. 2011)

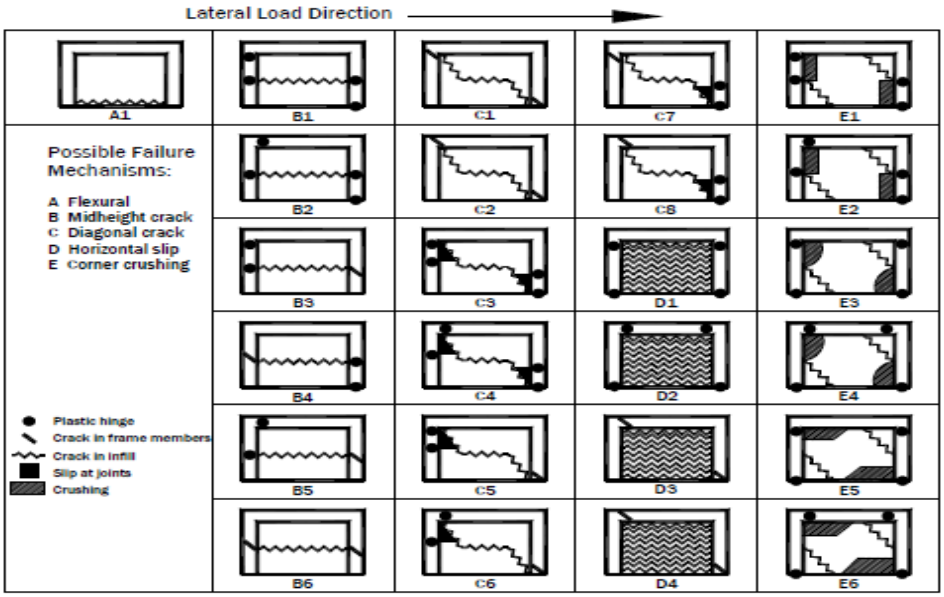
Mehrabi ve ark. (1994) yaptıkları çalışmada, 14 adet tek katlı betonarme çerçeve üzerinde yaptıkları zayıf (boşluklu beton bloklar) ve güçlü dolgulu (boşluksuz beton tuğla) yapılar üzerinde yaptıkları deneylerde, dolgunun iki durumda da dayanım ve rijitliği artırdığı sonucuna varmışlardır.

Çalışmalarında 3 göçme mekanizmasının oluştuğunu belirten araştırmacılar (Şekil 2.11.), birinci mekanizmada zayıf dolgu panelli sünek davranış sergileyen çerçevede kat yüksekliği boyunca duvarın yatay derzlerinde kayma davranışı sergilediğini gözlemlemişlerdir. Şekil 2.11-a'da gösterildiği gibi bazen kolonda kesme çatlakları ya da eğilme mukavemetine ve basınç köşelerinde duvar çatlaklarına neden olabilmektedir. Güçlü dolgulu ve nispeten güçlü ve sünek çerçeveli sistemlerde de bu durum oluşmaktadır. Yazarların değindiği ikinci durum (Şekil 2.11-b), dolguda rüzgâr yönünün üst köşesine yakın başlayarak, yan kolonun kesme kopmasına sebep olan diyagonal çatlak ile karakterize edilmektedir. Bu mekanizma güçlü dolgulu sünek olmayan çerçevelerde oluşmaktadır. Bu davranış, gevreklik ve yük taşıma kapasitesinin düşüşü ile ilişiklidir. Araştırmacıların değindiği 3. mekanizma ise, güçlü çerçeve ve dolgu durumunda, Şekil 2.11-c'de görüldüğü gibi köşe kırılmasının oluştuğu rapor edilmiştir. Bu göçme şekillerinden de anlaşılacağı gibi çerçeve ile dolgu etkileşiminin yapı sistemi üzerinde önemli etkileri vardır.



Şekil 2.11. Dolgu Duvarda Göçme Mekanizmaları (Mehrabi ve ark.1994)

Shing ve Mehrabi, (2002) yaptıkları çalışmada, göçme mekanizmalarını a) eğilme, b) orta yükseklikte çatlama, c) diyagonal çatlama, d) yatay kayma ve e) köşe kırılması olmak üzere 5 aşamada tanımlayıp, bu mekanizmaları Şekil 2.12'deki gibi göstermişlerdir. Görüldüğü üzere dolgulu çerçeveli sistemlerde, göçme mekanizmaları benzer şekilde oluşmuşlardır.



Şekil 2.12. Dolgulu Çerçeve Göçme Mekanizmaları (Shing ve Mehrabi 2002)

2.4. Dolgu Duvarların Betonarme Yapıların Sismik Davranışına Etkisi

Bu kısımda dolgu duvarların betonarme çerçeve sistem davranışına etkileri irdelenecektir. Daha önceki çalışmalardan da anlaşıldığı gibi dolgu duvarın yapının sismik davranışı üzerinde ciddi etkileri vardır. Dolgu duvarların özelikle yük taşıma ve enerji yutma kapasitelerinde, rijitlik, süneklik gibi taşıyıcı sistem davranışlarının yanı sıra yapını doğal titreşim periyotlarının (düşürerek) üzerinde de etkilerinin olduğu görülmektedir.

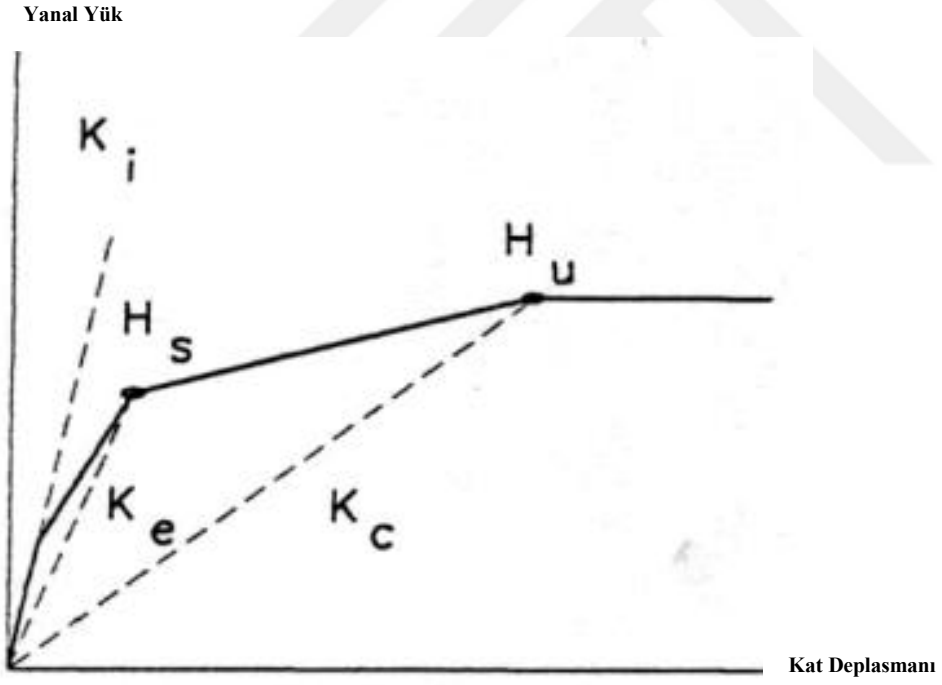
Dolgu duvarlar yatay yüklerin bir kısmını taşıdıkları için taşıyıcı elemanların yük taşıma kapasitelerine katkı sağlayıp sistemin yükünü azaltırlar. Sistemin enerji yutma kapasitesinde artışa sebep olurlar. Yapı rijitliğini artırdığı için yapı periyodunda düşüşe, taban kesme kuvvetlerinde de artışa sebep olurlar. Yapıda var olan dolgu duvarların hesaba katılmaması, yapının yanal rijitlik dağılımını da etkilemektedir. Buna bağlı olarak da duvarın eklenmesi, kaldırılması, katlar arası ani değişimler vs. gibi etkenler, yapıda burulma ve/veya yumuşak oluşumuna sebep olabilmektedir.

2.4.1. Rijitliğe Etkisi

Dolgu duvarların yapı analizlerinde ihmal edilmesi yapıda aslında var olan rijitliğin de göz ardı edilmesi anlamına gelmektedir. Betonarme çerçeveli yapılarda kolonlar arasındaki tuğla dolgu duvarların sınırlı da olsa yatay yük taşıma gücü vardır. Herhangi bir betonarme yapıdaki duvarların hepsi deprem yükleri karşısında perde duvar kabul edilebilir ve bütün perde duvarlar gibi taşıma güçlerine ulaşana kadar yatay yük taşırlar. Fema-178'e göre bu sınırın altındaki yük düzeylerinde tuğla dolgu duvar önemli kabul edilen bir rijitliği olan perde duvar sayılır (Bayülke, 2003). Kısacası deprem esnasında yapıdaki bütün duvarlarda ezilme veya çatlaklar başlamadan önce perde duvar davranışı sergilerler ve taşıma gücüne ulaşana kadar yatay yükü taşımaya devam ederler. Dolgu duvarların katlar arasındaki ani değişimleri, eklenmesi veya kaldırılması kat rijitliklerini de değiştirmektedir. Betonarme yapı sistemlerinde oluşan rijitlik değişimleri, yumuşak kat düzensizliğini oluşturmaktadır. Deprem sonrası yapılar incelendiğinde yumuşak katın oluştuğu yapı sistemlerinde ciddi hasarların olduğu görülmüştür.

Negro ve Verzeletti (1996) çalışmalarında dolgunun çerçevenin davranışına olan etkisini incelemişler ve sistemdeki toplam maksimum yer değiştirmelerin boş çerçeve ve yumuşak katlı ve sürekli dolgulu olanların sırasıyla 210, 180 ve 80 mm olduğunu belirtmişlerdir. Sonuçlardan da anlaşılacağı gibi dolgu duvarın sistemdeki yer değiştirmeleri azalttığı dolayısı ile rijitliğini de arttırdığı görülmüştür.

Zarnic ve ark. (1986) yaptıkları çalışmada dolgu duvarlı çerçevenin doğrusal olmayan davranışını incelemiş ve yeni bir yatay rijitlik tanımlamışlardır. Dolgu duvarlı çerçevenin efektif rijitligi olan K_e'nin modellemesini de perde duvar gibi yapmışlardır. K_i, K_c, H_s ve H_u sırası ile dolgu duvarlı çerçevenin başlangıç rijitliği, kayma dayanımına ulaştığı andaki rijitliği, çatlama anındaki kesme dayanımı ve kayma dayanımı olmak üzere riijitlik değişimlerini idealleştirilmiş bir zarfla Şekil 2.13'deki gibi ifade etmişlerdir.



Şekil 2.13. Dolgu Duvarlı Çerçeve Rijitlik Değişimi (Zarnic ve ark. 1986)

Yine Govindan ve ark (1986) ve Zarnic ve Tomasevic (1995) yaptıkları deneysel çalışmalarda dolgu duvarlı çerçevelerin boş çerçeveye göre sistemin rijitliğini arttırdığı sonucuna varmışlardır.

Karaduman (2005), dolgu duvarların çerçeve sisteminin yatay rijitliğini önemli ölçüde artırdığını, lineer elastik davranış bölgesinde yatay rijitlik (α_i), uygulanan yatay yükün (P_H), yatay deplasmana (δ_H) oranı olarak tanımlanabilecek bir denklem (2.30) kullanmıştır.

$$\alpha i = P_H / \delta_H \qquad 2.30$$

2.4.2. Sünekliğe Etkisi

Yapılan çalışmalarda dolgulu çerçeveli sistemlerin boş çerçeve sistemlerine göre yapının sünekliliğinde önemli artışa sebep olduğu görülmektedir. "Süneklik bir malzemenin, kesitin, yapının ya da elemanın taşıma gücünde önemli bir azalma olmadan deformasyon yapabilme ve tekrarlı yükler etkisi altında enerji tüketebilme yeteneği" olarak tanımlanmıştır. (Doğangün 2014) Yazar, bunu Denklem 2.31 deki gibi ifade etmiştir:

$$\mu = \Delta u / \Delta y \qquad 2.31$$

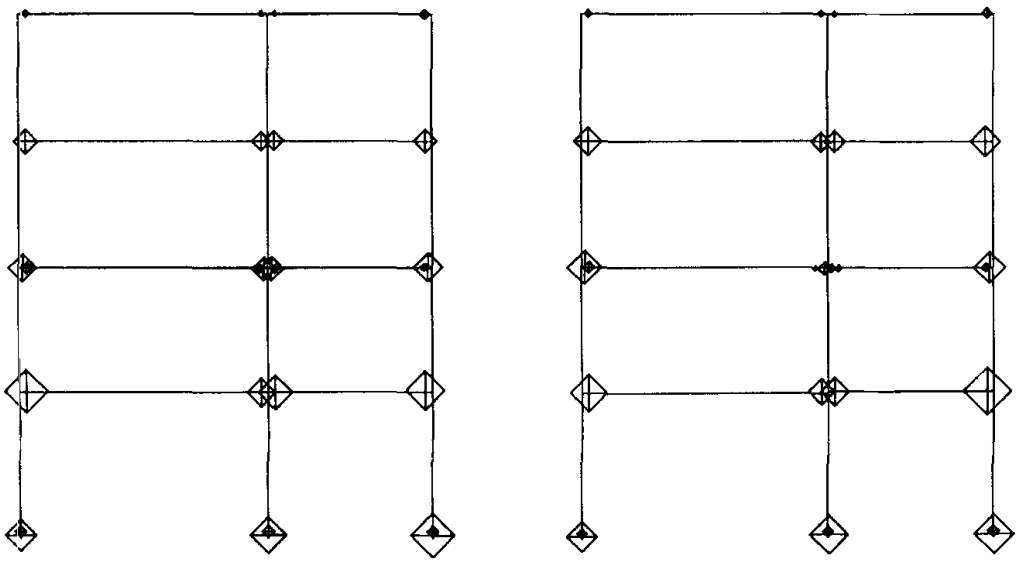
Δu: toplam yer değiştirmeyi, Δy elastik sınırdaki yer değiştirmeyi ifade etmektedir.

Yapının çeşitli yükler altında, büyük deplasmanlar oluşmasına rağmen taşıyıcı sistemin yatay yük dayanımını koruması ve göçmenin önlenmesi süneklik sayesinde olmaktadır. Dolgulu çerçeve ile boş çerçeve karşılaştırıldığında, dolgulu çerçevenin / boş çerçeve sünekliliğinin 3.47 katına kadar çıkabildiği gözlenmektedir (Karaduman 2005).

2.4.3. Enerji Yutma Kapasitesine Etkisi

Enerji tüketme kapasitesi, yükler altında sistemde meydana gelen yük-yer değiştirme eğrisinin altında kalan alan olarak ifade edilmektedir. Negro ve Verzeletti (1996) yaptıkları deneysel çalışmada, tam ölçekli, 4 katlı betonarme yapıyı Eurocad 2 ve 8'e göre tasarlayıp, dinamik testlerini yapmışlardır. Çalışmada boşluklu tuğla dolgulu panellerin, çerçevenin global davranışı üzerindeki etkisini incelemişlerdir. Dolgu duvar davranışını incelerken çerçevelerin boş, dolgu duvarların katlar arası düzenli olduğu ve ilk katın boş olma durumuna göre yani yumuşak kat oluşturacak şekilde deneye tabi tutmuşlardır (Şekil 2.14). Deney sonucunda enerji talepleri sırasıyla boş çerçeve,

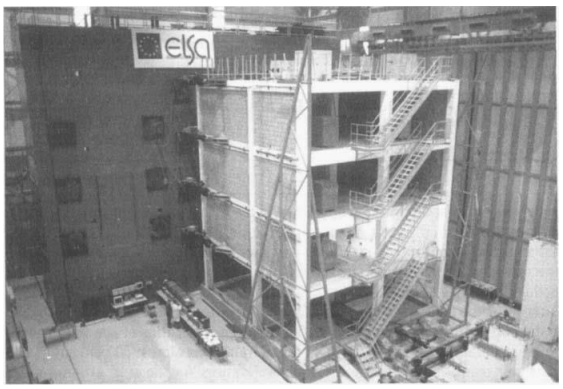
dolgulu çerçeve ve yumuşak kat için sırasıyla 169, 41 ve 264 kJ olarak hesaplanmıştır. Tüm katları dolgu duvarlı olan binanın daha fazla enerji yuttuğu görülmüştür. Enerji yutma miktarlarına bakıldığında yumuşak katın boş çerçeveden daha fazla, boş çerçevenin de dolgulu çerçeveden daha fazla enerji yuttuğu görülmektedir (Şekil 2.15).



a- Boş Çerçeve

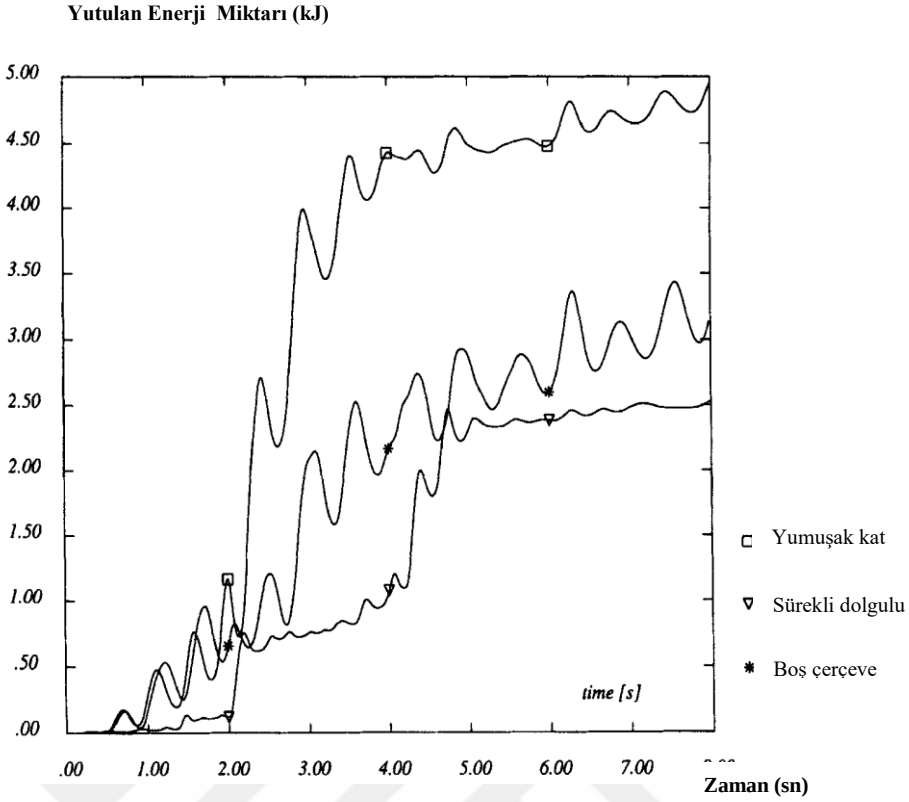


b- Tamamı Duvar Dolgulu Çerçeve



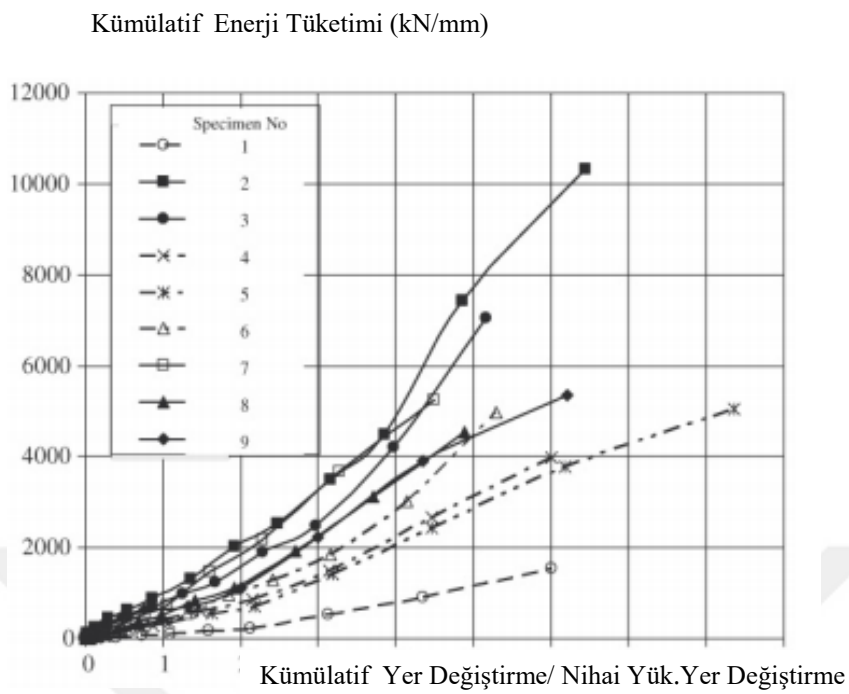
c- Zemin Kat Duvarsız Çerçeve (yumuşak katlı)

Şekil 2.14. Çerçeve Deneyleri **(**a: Boş Çerçeve; b:Sürekli Dolgulu Çerçeve; c: Yumuşak Katlı Çerçeve (Negro ve Verzeletti 1996)



Şekil 2.15. Zamana Bağlı Toplam Enerji Yutma Miktarları (Negro ve Verzeletti 1996)

Anil ve Altın (2007) kısmi dolgulu betonarme çerçevelerle 9 adet numune ile yaptıkları çalışmada enerji yutma kapasitesinin sonradan eklenen boşluksuz dolgu duvarda en yüksek olduğunu, fakat yerinde çerçeve ile birlikte oluşturulan (monolitik) perde dolgulu numunenin enerji yutma kapasitesinden de %38 daha az olduğunu belirtmişlerdir. Genel olarak dolgulu numuneler boş çerçeveye göre daha fazla enerji sönümlemişlerdir. Monolitik olarak üretilen numunenin enerji dağıtma kapasitesi boş çerçeveye göre 7 kat daha fazladır. Dolgu duvar boyunun uzunluğuna oranı'nın (lw/hw) en az olduğu çerçeve durumunda, daha düşük enerji yayma kapasitesi gözlemlenmiştir (Şekil 2.16.)



Şekil 2.16. Deney Numunelerinin Enerji Tüketme Kapasitesi, (Anil ve Altın 2007)

2.4.4. Yatay Yük Taşıma Kapasitesine Etkisi

Dolgu duvarlı çerçevelerin boş çerçeveye göre yapının yük taşıma kapasitesine etkisi, hem deneysel hem de analitik çalışmalarda incelenmiştir. Govindan ve ark (1986) yaptıkları deneysel çalışmada, 7 katlı tuğla dolgulu betonarme çerçevenin tekrarlı yanal çevrimsel yükler altında davranışını dayanım, süneklik ve enerji yutma kapasitesi açısından incelemişlerdir. Dolgu duvarın yatay yük taşıma kapasitesinin boş çerçeveninkine göre yaklaşık iki kat arttığı sonucuna varmışlardır.

Yine Kaltakçı ve ark (2006) tek açıklıklı boş çerçeve, tuğla dolgulu çerçeve ve tuğla ve sıva dolgulu çelik çerçevelerle yatay yükler altında yaptıkları deneylerle sistemi 3 değişkende incelemişlerdir. Değişkenler, açıklık/yükseklik oranlarına göre yapılmış olup; sırasıyla 1, 2 ve 1/ 2 şeklinde ele alınmıştır. 1. durum (l/h=1) için sırasıyla boş çerçeve, tuğla dolgulu çerçeve ve tuğla ve sıva dolgulu çerçevelerin en büyük yatay yükleri 32.37, 41.42 ve 56.92 kN olarak ölçülmüştür. 2. durumda (l/h=2) sırasıyla 27.15, 45.50, 65.23 kN olarak ölçülürken, 3. durumda yatay yükler (l/h=1/2) için 12.97, 23.64, 28.60 şeklinde ölçülmüştür. Sonuçlardan da anlaşılacağı gibi, tuğla dolgulu,

sıvalı olanların daha fazla olmak üzere yatay yük taşıma kapasitesini artırmada çok etkili olduğu görülmüştür.

2.4.5. Yapı Periyotlarına Etkisi

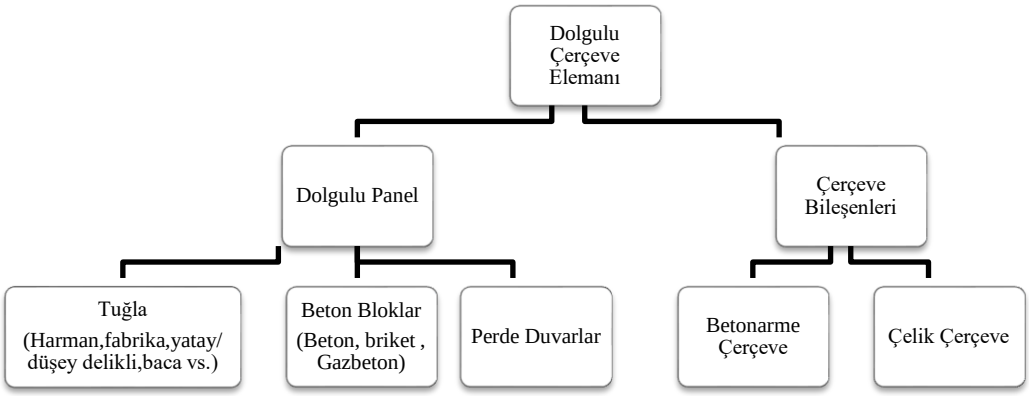
Dolgu duvarların deprem esnasında çerçeveye ek bir rijitlik kazandırarak, çoğunlukla yapının periyodunu küçülttükleri ve yapıdaki kuvvet dağılımında etkili olduğu bilinmektedir. Dolgu duvarlar yapıların yatay taşıma kuvvetleri üzerinde etkilidir; dolayısı ile dolgu duvarların hesaba katılması yapıdaki yatay kuvvetlerin gerçek değerini belirleyecektir. Yapıya (binaya) gelen yatay kuvvet-deprem yük miktarı yapı periyoduna bağlıdır. Çalışmalarda dolgu duvarların hesaba katıldığı yapılarda boş çerçeveye göre binanın doğal periyodunun azaldığı görülmektedir (Kaplan 2008).

Gülkan ve Wasti (1993), yapıların doğal periyotlarının hesaplanmasında, duvarlar içerisindeki dolgu duvarların etkisinin göz ardı edilmesinin hatalı olabileceği sonucuna varmışlardır.

2.5. Dolgulu Çerçeve Elemanları

Yapıların çerçeve sistemlerindeki boşluklarının doldurulması ile duvarlar oluşturulur. Duvarlar, çerçeve sistemin çeşitli malzemelerle ile doldurulması ile oluşturulan sistemler olup, genellikle yapı içindeki bölümleri birbirinden ayırmak, izolasyon, estetik kaygılar, dış cephe gibi amaçlarla kullanılmaktadır. Duvarlarda dolgu malzemesi olarak genellikle tuğla, beton bloklar, perde duvarlar vs. kullanılmaktadır. Dolgulu çerçeve elemanları, dolgulu panel ve çerçeve bileşenlerinden oluşur (Çizelge 2.2).

Çizelge 2.2. Dolgulu Çerçeve Elemanlarının Bileşenleri



Yüksek katlı yapılarda, çerçeveler genellikle günümüzün bilgisine göre yeterli bir şekilde tasarlanmışlardır, dolgu paneller ise "yapısal olmayan elemanlar" olarak kabul edilmiştir. Polyakov, (1956)'ya göre 1950'li yıllara kadar, dolgu panelleri ve binaların çerçeveleri arasındaki etkileşimler üzerine araştırmalar başlatılmamıştır (Fema 306).

Anil ve Altın (2007) deneysel çalışmalarında çerçeve ile dolgu arasındaki bağlantının dolgulu çerçevelerin davranışını etkilediği sonuçlarına varmışlardır. Kısmi dolgulu çerçeve elemanlarından hem kolona hem de kirişe bağlı olanların daha iyi davranış sergilediğini ifade etmişlerdir.

Bu çalışmada, dolgu malzemesi olarak tuğla malzemesi kullanılmış fakat boşluklu kısmına Ø12'li tek donatılı ve 4Ø6 etriye donatılı demir kullanılarak C25 beton malzemeyle doldurulup yarı rijit elemanlar oluşturulmuştur. Çizelge 2.2'de görülen tüm dolgu paneli elamanların her birinin özelliklerini taşıyacak şekilde tasarlanmış bu yüzdende yarı rijit dediğimiz elemanlar oluşturulmuştur. Tuğlanın içine donatının yerleştirilmesi ve beton malzeme ile doldurulmasından dolayı kullanılan elemanları, kompozit malzeme olarak da tanımlayabiliriz. Çalışmanın amacına yakın olması sebebiyle, temel bileşenlerden dolgu malzemesi olarak tuğla ve çerçeve bileşeni olarak da betonarme çerçeveli sitemlerle ilgili detaylar üzerinde daha çok durulmuştur. Bu bileşenlerle ilgili genel özellikleri aşağıdaki gibi özetlenmiştir:

2.5.1. Dolgu Duvarlar (Paneller)

Çerçeve sistemlerin arasının doldurulması yapılarda perde duvar, tuğla ya da beton dolgulu duvarlar olarak karşımıza çıkmaktadır. Duvarlarda dolgu paneli olarak kullanılan tuğla, beton briket (bloklar) harç kullanımı, yine perde duvarlarda donatı, etriye, vs. kullanımı, duvar özeliklerini homojenlikten uzaklaştırmaktadır. Çalışmalarda dolgu duvarın sadece yük olarak ele alındığından daha önce bahsedilmişti. Bayülke, (2013)'e göre "dolgu panellerinde kullanılan malzeme ve harcın birlikte davranışının mekanik özelliklerinden yola çıkılarak matematik modeli geliştirilmiştir.'' Dolgulu duvarlar öncelikle malzeme ve geometrik konfigürasyona göre kategorize edilir. Dolgu duvarlarla ilgili özellikler Fema 306'ya göre aşağıda açıklanmıştır.

2.5.1.1. Dolgulu Duvarlarda Dolgu Amaçlı Kullanılan Malzemeler

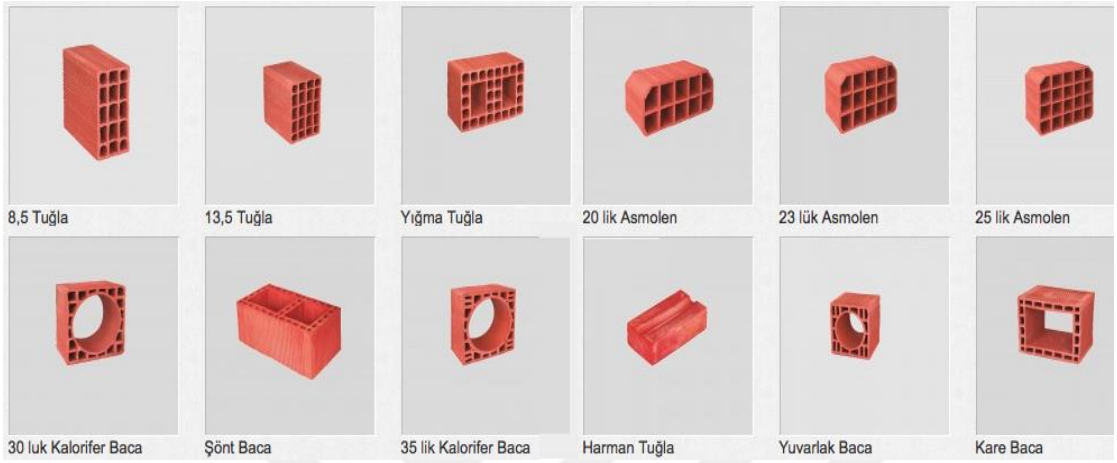
Tuğla Malzeme

Tuğla malzemeler, yapısında hiçbir kimyasal ve katkı maddesi bulunmayan farklı iklim şartlarına karşı dayanıklılık gösterebilen kilden (toprak) üretilmiş en eski ve en doğal yapı malzemelerindendir. Tuğla çeşidi olarak tuğlalar; blok tuğlalar, yatay delikli, düşey delikli yığma tuğlalar, dolu harman tuğlası**,** gazbeton, hafif beton briket-cüruf briket**,** izolasyon tuğlaları, asmolen tuğlalar ve baca tuğlaları gösterilebilir (Şekil 2.17).

Tuğlalar, dolu veya boşluklu tuğlalar olarak üretilmektedir. Tuğla malzemeler yığma duvar ve bölme duvar malzemesi olarak kullanılmaktadır. Tuğla malzemenin öncelikli tercih edilmesinin sebepleri aşağıdaki gibi sıralanabilir:

- Mekanik etkilere karşı yüksek mukavemet göstermesi,
- Hafif olması,
- İyi bir yalıtım malzemesi olması,
- Dış etkilere karşı dayanıklı olması,
- Kolay temin edilebiliyor olması,
- Nefes alma özelliği ile mekânlardaki ısı ve nem dengesini ayarlayabiliyor olması,
- Doğal olması,

- Geri dönüşümlü olması,
- İnsan ve çevre sağlığı açısından uygun olması
- Ekonomik olması (Delta Tuğla, 2019)



Şekil 2.17. Piyasada Kullanılan Tuğla (Delta Tuğla, 2019)

Kil tuğla (harman tuğlası), en çok kullanılan dolgu malzemesi türlerindendir. Bu geleneksel yapı malzemesinin dolgu amaçlı kullanımı, yüksek katlı yapılarda ilk olarak çelik veya demir çerçevelerin kullanıldığı 1800'lü yıllara dayanmaktadır Genellikle iki veya çok kollu tuğlalar kullanılmaktadır, ancak dış cepheler için boşluk duvarları gibi başka formlar da vardır. Daha modern binaların duvarlarında, güçlendirilmiş, oyuklu ve harç dolgulu olanlarına rastlanmaktadır.

İçi boş kil kiremitler, betonarme olmayan duvar dolgu yapılarının modern formu olarak karşımıza çıkmaktadır. Genellikle bina cephelerinde bulunurlar. Çelik çerçevelerle birlikte kil kiremitler estetik ve yangından korunma amacıyla çerçevelerin etrafına yerleştirilebilir. Çerçeveli binalarda iç bölümler için yaygın olarak kullanılan bu malzemeler, çok kırılgan bir yapıya sahiptirler.

Yatay delikli tuğlalar, boşluk oranlarının fazla olması ve boşluk yönlerine dik şekilde yerleştirilmelerinden dolayı dayanımları düşüktür. Bu tuğlalar yük taşımadıkları için, düşey derzlerde neredeyse hiç kullanılmamaktadırlar.

Delikli ve blok olarak üretilen fabrika tuğlalar, taşınmasının kolay oluşu ve yapıya uygulanma aşamasındaki işçiliğin daha az sıkıntılı olması gibi nedenlerden

dolayı harman tuğlaların yerini almışlardır. Piyasada üretilen fabrika tuğlaları düşey/yatay delikli, blok, dolu, baca vb. şekillerde üretilmektedirler. Standartta taşıyıcı olarak kullanılan düşey delikli tuğlaların delik oranı %35 geçmemesi gerekirken piyasada bu oran, %45'lere kadar çıkmaktadır. Delik oranının artmasına bağlı olarak duvar dayanımı da azalmaktadır (Bayülke, 2011).

Beton Bloklar

Dolgu duvar malzemesi olarak beton tercih edilmesi durumunda hafif beton briket, cürüf briket ya da gazbeton (hava boşluklu hafif beton blok) kullanılmaktadır. Beton duvarlar yapılarda genellikle harçla örülmüş ve içi boş beton bloklar kullanılarak oluşturulan dolgu malzemesi olarak karşımıza çıkmaktadır. Kısmen ya da tamamen boşluklu veya harç ile doldurulabilinirler. Yine eğer harçlıysa, çelik takviye mevcut olabilir veya olmayabilir. Dolgunun dayanımı ve sünekliliği donatı ve harcın derecesine bağlıdır. Harçsız dolgular nispeten daha zayıftır. Bunun nedeni, düzlem içi kuvvetler büyüdüğü zaman, duvar yüzeyindeki kabuklarda basınç oluşturarak ayrılmaların oluşması ile birlikte duvarda tam bir güç kaybının gerçekleşmesidir. Ayrıca kayma-kesme direnci yatay derzlerdeki harca dayanmaktadır. Harçlı (derzli) beton dolgu duvarlar normal açıklıklı ölçülerde oldukça güçlü olabilir.

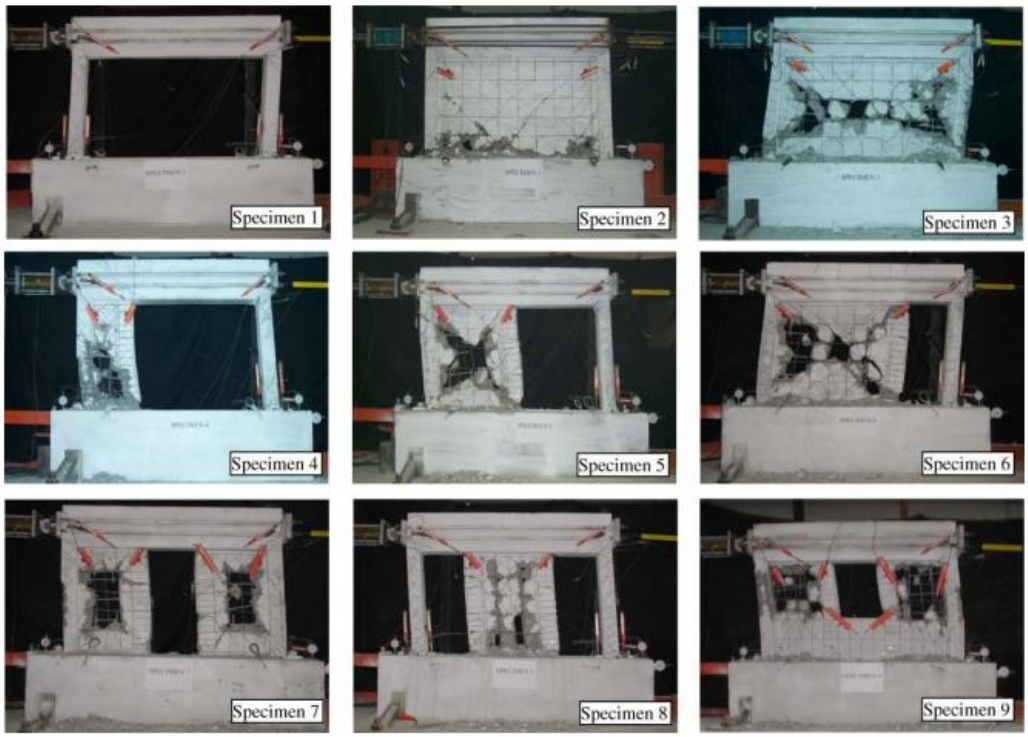
Hafif beton briket, cüruf briket malzemeden oluşan beton bloklar, genellikle boşluklu olup, basınç dayanımları çok düşüktür. Dayanımları genellikle 15-25 kg/cm^2 arasındadır. Hafif olması sistemin ağırlığına olumlu katkı sunmasına rağmen bu malzemelerle yapılmış duvarların dayanıma ve rijitliğe katkısı sınırlıdır (Bayülke,2003).

Perde Duvarlar

Perde duvarlı yapılar performans açısından perdesiz sisteme oranla daha rijit ve sünek davrandığı, perdeli sistemin deprem performansının (deprem yüklerine karşı koyma) perdesiz sisteme oranla daha iyi olduğu, enerji sönümleme kapasitesinin daha fazla olduğu, yapılan çalışmalardan ve deprem sonrası hasar tespitlerinden net bir şekilde bilinmektedir.

Anıl ve Altın (2007) tek katlı tek açıklıklı 1/3 ölçekli betonarme çerçeveleri yanal çevrimsel (cyclic) yükler altında deneye tabi tutmuşlardır. Kısmi dolgu ile

(betonarme veya dolgulu) yaptıkları güçlendirme deneylerinde 9 adet numune (1. ve 2. numuneler referans numune olmak üzere; 1.si boş çerçeve 2.si boşluksuz dolgulu ve dolgulu çerçeve) ile çalışmışlardır. Diğer numuneler kısmi boşluklu perde duvar olarak üretilmişlerdir. Perde duvar dolgulu fakat kısmi boşluklu dolgu elemanlarında yatay ve düşey doğrultuda 6 mm çaplı donatı, 0.009 ($\rho h = \rho v$) donatı oranlı ve dolgu duvarın iki yüzeyine yerleştirilen donatı kullanılmıştır (Şekil 2.18). Deney sonucunda kısmen dolgulu çerçevelerin dayanım ve rijitliklikleri boş çerçeveye göre artmıştır.



Şekil 2.18. Boşluklu Perde Duvar Dolgulu Çerçeve Deneyleri, (Anıl ve Altın 2007)

2.5.1.2. Dolgu Duvarlarda Geometri

Dolgu duvarlı çerçeveler ve binalar üzerinde yapılan deneysel çalışmalarda, özellikle dolgu duvarlar üzerinde yer alan kapı, pencere türü boşluklarının dolgu duvar etkisini azalttığı görülmüştür (Zarnic ve Tomazevic 1995, Anil ve ark. 2006). Dolgu çok çeşitli geometrik konfigürasyonlara sahip olabilir. En boy oranları dolgulu paneller için yaklaşık 1: 1 ile 3: 1 arasında değişir; bu değerler en çok 1.5: 1 ile 2.5: 1 arasında değişir. Dolgular, bölümlendirme ve / veya cephe gereksinimlerine uyacak şekilde

birçok biçimde yapılandırılabilir. Çerçeve bileşenlerinin eksenine eksantrik olarak yerleştirilmiş dolguların bulunması nadir değildir. Kapı ve pencere boşlukları en yaygın açıklık şekilleridir. Pencere ve kapı boşluklarının dolgunun merkezinde olma durumunda zayıf dolgu davranışı sergilenir. Buna rağmen kısmi yükseklikteki (açıklığın üst kısmını kapsayan pencereler) dolgular nispeten daha güçlü olabilir (Fema 306).

Anıl ve Altın (2007), dolgu duvar boyunun uzunluğuna oranı (lw/hw) en az olan numunede boş çerçeveye göre dayanımın 3.73 kat arttığı, genel olarak dayanımların boş çerçeveye göre 3.73 - 7.37 kat arasında kat arttığı belirtmişlerdi. lw/hw oranının artması ile dayanımında ve rijitliğinde artış, yer değiştirme kapasitelerinde ise azalış olmuştur. Sonuç olarak boşluk oranının en az olduğu numunede boş çerçeveye göre dayanım ve rijitlikte artışın en fazla olduğu sonuçlarına varmışlardır.

Shing ve Mehrabi (2002) dolgu duvarların açıklık oranlarını araştırmış ve artan açıklık oranlarına bağlı olarak dayanımda düşüşler olduğu sonuçlarına varmışlardır. Bununla birlikte açıklığın artmasına bağlı olarak yapı rijitiğinde azalma olmasına rağmen daha büyük açıklıklarda daha sünek davranış gösterdiği sonucuna varmışlardır.

Kaltakçı ve ark. (2006) çalışmalarında, dolgu duvarının açıklık/yükseklik oranının (l/h)>1 olması, yatay yük taşıma kapasitesini artırırken; (l/h)<1 olması durumunu ise taşıma yük kapasitesini önemli ölçüde azalttığı sonucuna varmışlardır.

Kakaletsis ve Karayannis (2007) çalışmalarda tek açıklıklı ve katlı betonarme çerçevelerin dolgu duvar boşluklarını eksantrik olarak test etmişlerdir. Açıklık yerinin çok etkili olmadığı, yalnızca merkezde olması durumunda max. yük kapasitesinde düşüşe neden olduğu ve açıklık lokasyonunun enerji yutma kapasitesi üzerinde dayanıma göre daha etkili olduğu sonucuna varmışlardır. Aynı zamanda açıklıkların kolona çok yakın olması durumunda diğer durumlara göre daha fazla enerji dağıttığı tespit edilmiştir.

Dolgu duvarda pencere ve kapı boşluklarının olduğu çalışmada boşluklu dolgulu çerçevelerin max. deformasyonunun boş çerçeveye göre 1.06–1.27 kat daha fazla olduğu ve bu durumun pencerede kapı boşluğuna göre daha fazla olduğu sonucuna varmışlardır. Benjamin ve Williams (1958), Mallick ve Garg (1971); Liauw, (1979); Dawe ve Young (1985) gibi birçok araştırmacı tarafından dolgu duvardaki boşlukların etkisi ile ilgili deneysel çalışmalar yapılmıştır (Kakaletsis ve Karayannis 2008).

2.5.2. Çerçeve Bileşenleri

Dolgulu çerçeveli sismik elemanların çerçeve bileşenleri öncelikli olarak materyal olarak kategorize edilir. Bunlar çelik ve betondur.

2.5.2.1. Çelik Çerçeveler

Özellikle eski yapılar için çelik çerçeveler yaygındır. Çelik çerçeveler, modern yüksek katlı binalar ve düşük katlı, hafif, ticari bina inşaatı için de popülerdir. Kolon ve kiriş bileşenleri çoğunlukla I kesitleri (daha eski) veya geniş flanş (daha yeni) kesitleridir. Eski çelik çerçevelerde, kiriş ve kolon bileşenleri tipik olarak yarı rijit perçinli bağlantılar ile birleştirilmiştir. Daha modern çelik çerçevelerde genellikle cıvatalı veya kaynaklı veya her iki yarı rijit bağlantı kullanır. Çelik çerçeve sistemlerin çoğu yangından korunmak için beton ile çevrelenir, kirişler zemin sisteminin ve kolonların bir parçası gibi çevrelenir.

Kaltakçı ve ark. (2006) tek açıklıklı, değişken çerçeve açıklık/yükseklik oranı (1,1/2,2) tuğla duvar ve tuğla duvar ve sıva dolgulu ile boş çelik çerçeve sistemlerini yatay yükler altında test etmişlerdir (Şekil 2.19.). Çalışma sonucunda toplam 9 adet numunenin dayanım zarfları, rijitlik azalım ve enerji tüketme grafikleri elde edilmiş ve birbirleriyle kıyaslanmıştır. Farklı özellikteki dolgu duvarların yatay yükleme altındaki çelik çerçeve sisteminin yatay yük taşıma kapasitesini, başlangıç rijitliklerini ve enerji tüketme kapasitesini önemli ölçüde arttırdığı sonuçlarına varmışlardır.



Şekil 2.19. Çelik Çerçeve Düzeneği (Kaltakçı ve ark. 2006)

2.5.2.2. Beton (Betonarme) Çerçeveler

Yapı sistemlerinde yaygın olarak kullanılan beton çerçeveler, genellikle betonarme formda karşımıza çıkmaktadır. Sismik davranışları açısından sünek ve sünek olmayan olarak sınıflandırılırlar ve performansları donatı detaylarına dayanır. Çağdaş yapısal tasarım elemanların sünek olması gerekmektedir. Sünek detaylandırma, kirişlerde, kolonlarda ve bağlantılarda birbirine aralıklı enine halkalar gerektirir. Bu elemanlar zayıf dolgu panellerini kuşatırsa, yanal yükler altında nispeten daha az ciddi hasar görürler.

Demirel ve ark. (2015) çevrimsel yük etkisi altındaki betonarme çerçevelerde dolgu duvarın deprem davranışına olan etkilerini deneysel olarak incelemişlerdir. Bu amaçla 3 adet tek açıklıklı, tek katlı, yarım ölçekli betonarme çerçeve, boş çerçeve (BÇ) ve dolgu duvarlı sıvasız çerçeve (DÇ) ve dolgu duvarın karşılıklı olarak hasır çelik telle tutturulduğu sıvalı çerçeve (HÇ) incelenmiştir (Şekil 2.20). 'BÇ sünek davranış sergilemiş ve %4 ötelenme seviyesine gelindiğinde kolon alt uçlarında donatı akması, betonda çatlaklar ve ezilmeler, donatıda burkulma gözlemlenmiştir. DÇ göçme durumuna dolgu duvarda kaymadan dolayı göçme, dolgu duvarın kiriş ile temas ettiği bölgelerde kirişin eğilmesinden oluşan baskı ile tuğlaların dökülmesi ve kolon-kiriş uçlarında eğilme mafsallarıyla ulaşmıştır. HÇ göçme durumuna dolgu duvar-çerçeve ara yüzünde ayrışmalar ve basınç çubuğu uçlarında ezilmeler ile ulaşsa da duvar bütünlüğü korunmuş, duvar hasarı kısıtlı seviyede kalmıştır. Dolgu duvarda uç ezilmeleri gözlense de hasır çelik uygulaması tuğla ayrışmasını engellemiştir. Dolgu duvarın çerçeve taban kesme kuvvetini %43 oranında artırdığı fakat ilerleyen ötelenme seviyelerinde hızlı bir şekilde sönümlenerek boş çerçeve davranışına yakınsadığı görülmektedir. Karşılıklı hasır çelik tel üstüne sıva uygulanan çerçeve ise taban kesme kuvvetini %220, çerçeve yanal rijitliğini %850 oranlarında artırdığı sonuçlarına varmışlardır.



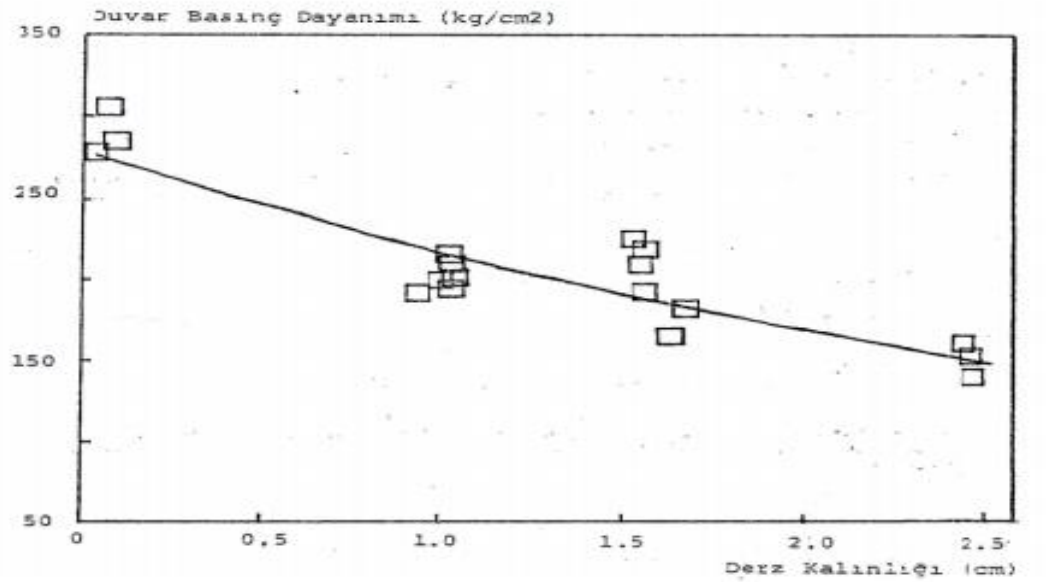
Şekil 2.20. Betonarme Çerçeve Deney Düzeneği (Demirel ve ark. 2015)

2.6. Duvar Dayanımına Etki Eden Faktörler

Bayülke (2013) duvar dayanımına etki eden faktörleri aşağıdaki şekilde sıralamış ve açıklamıştır:

2.6.1. Derz Kalınlığı

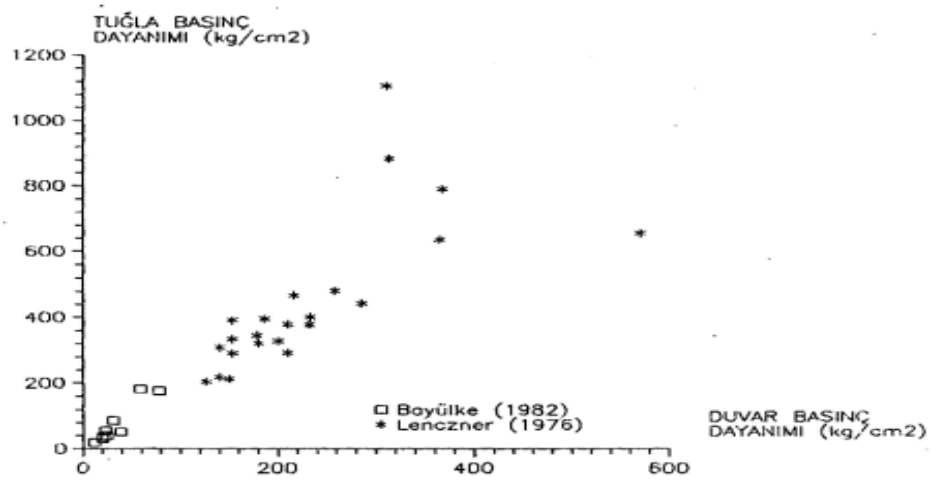
Derz kalınlığı ve tuğla yüksekliği /derz kalınlığı oranı tuğla duvar dayanımını etkilemektedir. Derz kalınlığı düşürülmesi ile yapılan deneylerde basınç dayanımında artışlar olmaktadır. Derz kalınlığına göre tuğla /briket derinliğinin yüksek olması, duvar basınç dayanımını arttırmaktadır. Şekil 2.21'de derz kalınlığının yarıya indirilmesi sonucu tuğla duvar dayanımının yaklaşık 1.5 katına çıktığı görülmektedir.



Şekil 2.21. Derz Kalınlığının Duvar Dayanımına Etkisi (Bayülke,2013)

2.6.2. Tuğla Basınç Dayanımı

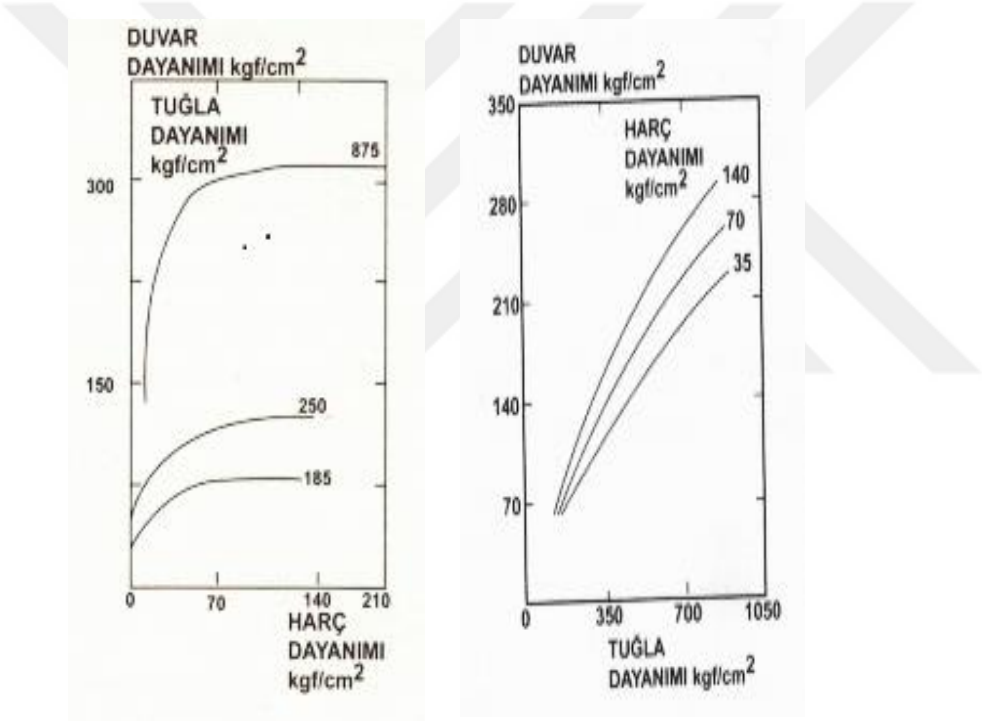
Yüksek basınç dayanımlı tuğlaların kullanılması duvar basınç dayanımını artıracaktır. Duvar basınç dayanımı tuğla basınç dayanımının %25 ile %50'si arasında değişmektedir. Şekil 2.22'de tuğla ile duvar basınç dayanımı arasındaki ilişki gösterilmektedir.



Şekil 2.22. Tuğla Dayanımı ve Duvar Basınç Dayanımı İlişkisi (Bayülke, 2013)

2.6.3. Harç Dayanımı

Yüksek basınç dayanımlı tuğlaların kullanılması ve yine bu tuğlalara uygun dayanımlı harcın kullanılması ile duvar basınç dayanımı artacaktır. Kaltakçı ve ark. (2006) çalışmalarında, özellikle tuğla duvarlarda sıva kullanımının, dolgulu çerçeve sisteminin yatay göçme yükünü, yatay rijitliğini ve enerji tüketme kapasitesini önemli ölçüde artırdığı sonuçlarına varmışlardır. Uygulamalarda sıva yapılmasına önem verilmesinin uygun olacağı önerisinde bulunmuşlardır. Şekil 2.23'de tuğla ve harç basınç dayanımının duvar basınç dayanımına etkisi verilmiştir.



Şekil 2.23. Harç ve Tuğla Basınç Dayanımının Duvar Basınç Dayanımına Etkisi (Bayülke, 2013)

Aynı dayanıma ait tuğlaların yüksek dayanımlı harç kullanılması halinde duvar dayanımına ciddi katkısı olmamaktadır. Harç olarak genellikle kireç ve çimento harçları kullanılmaktadır.

- **Kireç Harcı:** Belirli oranlarda kum+sönmüş kireç ve suyun karışımı ile oluşturulur. Çok sık kullanılmaz. Nem almayan yerlerde ve iç bölme duvarlarda tercih edilebilmektedir. Yani dış duvarlarda ve ıslak alanlar dışında kullanılabilir.

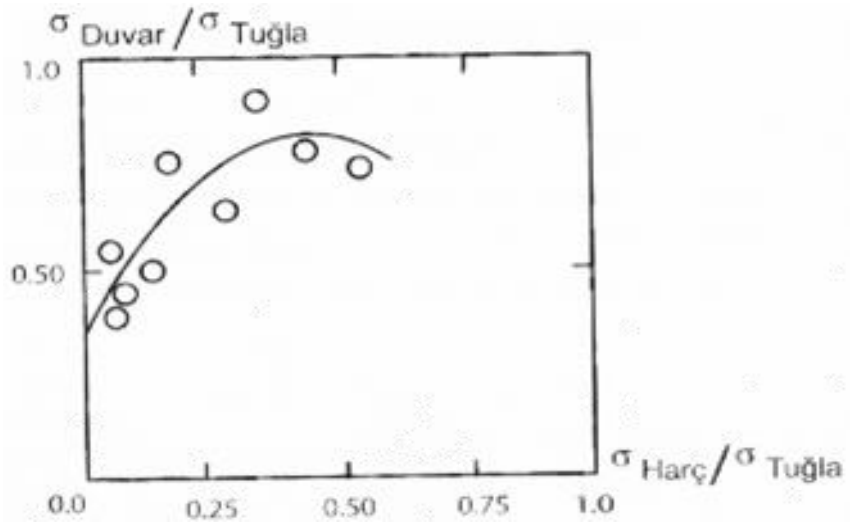
- **Çimento Harcı:** Belirli oranlarda kum+çimento ve suyun karışımı ile oluşur aderans ve basınç dayanımı yüksek olduğundan tercih edilmektedir.

Bayülke (2013) , Tolunay (1966)'da yapmış olduğu tuğla basınç dayanımı (f_T) ile duvar basınç dayanımı (f_D) arasındaki ilişkiyi aşağıdaki şekilde vermiştir (Çizelge 2.3).

Çizelge 2.3. Tuğla ve Duvar Basınç Dayanımı Arasındaki İlişki (Bayülke 2013)

Tuğla Tipi	Harç Tipi	Duvar Basınç Dayanımı (fd)
Harman Tuğlası	1:3 Kireç Harç	$f_D = 0.27\ f_T$
	1:2:8 Melez Harç	$f_D = 0.27\ f_T$
Fabrika Tuğlası	1:3 Kireç Harç	$f_D = 0.27\ f_T$
	1:2:8 Melez Harç	$f_D = 0.22\ f_T$

Daha sonra Bayülke (1982), tuğla/tuğla duvar basınç dayanımı ile tuğla /kullanılan harcın basınç dayanımına bağlı olarak boyutsuz şekilde incelemiştir (Şekil 2.24).



Şekil 2.24. Tuğla, Harç, Duvar Basınç Dayanımları Arasındaki Boyutsuz İlişki (Bayülke,2003)

Karaduman (2016) yaptığı gazbeton dolgulu ve dolgusuz duvarlarda alçı kalınlığının yanal rijitlik üzerine etkisinin parametre olarak alındığı deneysel çalışmasında, dolgu duvarlarda sıva kullanımının çatlama yükünü önemli ölçüde arttırdığı sonucuna varmıştır. Çalışmada l/h oranlarının sırası ile 0.9, 1.2 ve 1.4 olan numunelerden gazbeton dolgu duvarlı +sıvalı numunelerin sıvasız gaz beton dolgulu numunelere göre sırası ile 2.31, 1.13 ve 1.19 kat çatlama yüküne sahip olduğu sonuçlarına varmıştır.

3. MATERYAL VE METOT

Bu bölümde çalışma kapsamında yapılan deneyler ile çalışmanın materyal ve metot kısmı tartışılmıştır. Çalışmanın bu kısmı ön deneyler, deney hazırlık kısmı ve deneyler olmak üzere 3 aşamada irdelenmiştir. İlk kısım olan ön deneyler kapsamında; agrega deneyleri, tuğla deneyleri, donatı ve beton deneyleri gerçekleştirilmiştir. Deney hazırlık kısmında deney düzeneğinde kullanılan ekipmanların tanıtımı, özelliklerinin verilmesi, deney düzeneklerinin oluşturulması, deney numunelerinin testleri, faydalı modelin oluşturulması, dair bilgiler aktarılmıştır. Deneyler kısmında ise iki farklı malzeme ile üretilen (Diyarbakır bazaltı ve dere malzemesi) beton numunelerinin, yarı rijit elemanların, yarı rijit elemanların içindeki betonarme elemanın 7, 28 ve 90. günlerdeki basınç yüklemesi altındaki deneyleri gerçekleştirilmiştir. Basınç yüklemesi altında çerçeveli ya da çerçevesiz olmak üzere lvtd'ler yardımı ile deformasyonlar alınmıştır ve veri toplama sistemi ile bilgisayara aktarılmışlardır. Eş zamanlı olarak gerilmeye denk gelen deformasyonlar belirlenmiştir. Bu veriler veri toplama sistemi ile bilgisayara aktarılmıştır ve numunelerin gerilme-şekil değiştirme grafiklerinin oluşturulmasında ve elastisite modüllerinin belirlenmesinde kullanılmıştır.

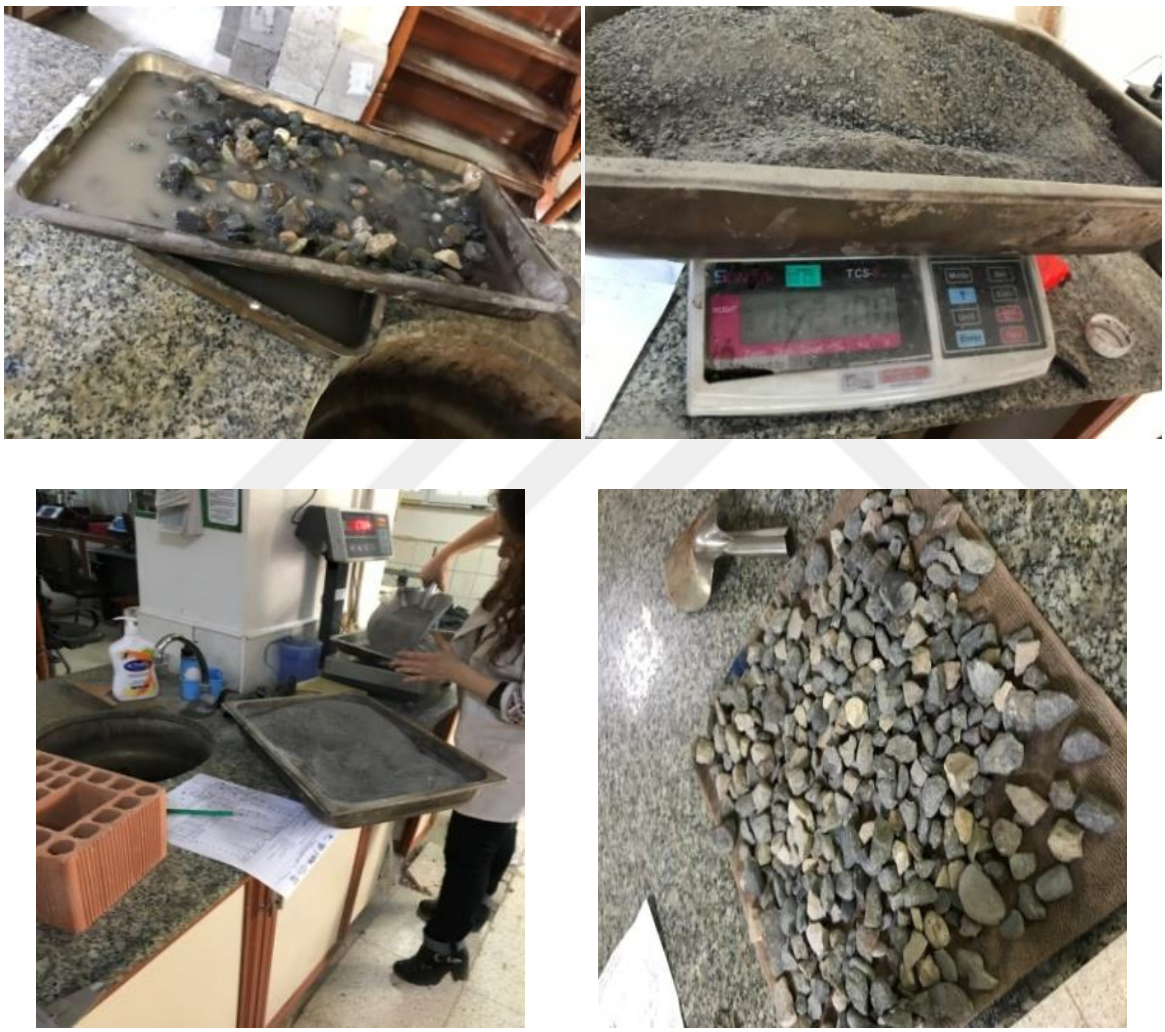
3.1. Deney Materyalleri ve Malzemelerin Ön Deneyleri

Çalışmanın bu kısmında yarı rijit elemanlar oluşturulmadan önce malzemelerin üzerinde yapılan ön deneyler irdelenmiştir. Bu kapsamda, beton yapımında kullanılan agregaların deneyleri, yarı rijit elemanlarda kullanılan donatıların deneyleri, baca ve normal tuğla malzemelerin ön deneyleri, C25 beton üretimi ve sertleşmiş beton deneyleri gerçekleştirilmiştir.

3.1.1. Agrega Deneyleri ve Özellikleri

Agregalar beton hacminin önemli bir kısmını oluşturmaktadırlar. Bu sebeple betonda kullanılacak agregaların nitelik açısından değerlendirilmesi ve iyi olması gerekmektedir. Agregaların 4 mm'den büyük boyutlu olanları iri agrega, 4 mm'den küçük boyutlu olanları ise ince agrega olarak sınıflandırılmıştır. Ayrıca 0.063 mm. açıklıklı elekten geçen agrega tane sınıfı ise çok ince agrega olarak tanımlanmaktadır. Çalışma kapsamında agrega malzemesi olarak yerel malzeme olan Diyarbakır bazaltı ve normal dere malzemesi kullanılmıştır. Betonda kullanılan agregalar TS 706 EN 12620+A1. (2009) standardından belirtilen şartları sağlamaktadır.

Agregaların tane büyüklüğü dağılım (granülometri) analizleri TS EN 993-1. (2012) standartlarına uygun eleklerle yapılmıştır. Agrega olarak kullanılan kum, kırmataş ve çakıl için özgül ağırlık deneyleri TS EN 1097-6. (2013) ve birim ağırlık deneyleri TS EN 1097-3. (1999) standartlarına uygun olarak yapılmıştır. Agrega için yapılan tüm deneyler, belirtilen standartlara uygun olarak Ultra Yapı Malzemeleri Laboratuvarlarında gerçekleştirilmiştir (Şekil 3.1).



Şekil 3.1. Ön Deneyler Kapsamında Gerçekleştirilen Agrega Deneyleri

3.1.1.1. Elek Analizi Deneyi

Elek analizi deneyinin amacı; agregaların boyut dağılımlarının belirlenmesidir. TS EN 993-1. (2012) standartlarına uygun olarak yapılan elek analizinde numuneler, yaklaşık 110^{o}C sabit sıcaklığa gelinceye kadar kurutulmuştur. Elek seti, en büyük elek üstte olacak şekilde dizilmiş bir şekilde konulmuştur. Deney numunelerine birinci elek serisinde en üstteki elekte gözle görülebilir bir eksilme oluncaya kadar sarsma işlemi uygulanmıştır (Şekil 3.2). Eleme işlemi bittikten sonra her elek üzerinde kalan malzemeler tartılmış ve çizelgeye yazılmıştır.



Şekil 3.2. TS EN 993-1. (2012) Standartlarına Uygun Olarak Yapılan Elek Analizi

3.1.1.2. Çok İnce Malzemenin Muhtevası Deneyi

Bu deneyinin amacı agreganın içinde bulunan ve tane büyüklüğü 0.063 mm'den küçük olan ince maddelerin oranının belirlenmesidir. Çok ince malzemenin muhtevası için uygun kategoriler TS EN 933-1. (2012) standardına uygun olarak beyan edilir. (Çizelge 3.1) Şekil 3.3 de çok ince malzemenin (0.063 mm göz açıklı elekten geçen malzeme) muhtevasının belirlenmesi için yıkama ve kuru eleme gerçekleştirilmiştir.

Çizelge 3.1. Çok İnce Malzeme Muhtevasının En Yüksek Değerlerine Göre Belirlenmiş Kategoriler (TS EN 933-1)

Agrega	0,063 mm göz açıklıklı elekten geçen kütlece yüzde	Kategori f
İri agregalar	≤ 1,5	$f_{1,5}$
	≤ 4	f_4
	> 4	f_{beyan}
	Serbest	f_{NR}
Doğal olarak sınıflandırılmış 0/8 mm'lik agregalar	≤ 3	f_3
	≤ 10	f_{10}
	≤ 16	f_{16}
	> 16	f_{beyan}
	Serbest	f_{NR}
Karışık agregalar	≤ 3	f_3
	≤ 11	f_{11}
	> 11	f_{beyan}
	Serbest	f_{NR}
İnce agregalar	≤ 3	f_3
	≤ 10	f_{10}
	≤ 16	f_{16}
	≤ 22	f_{22}
	> 22	f_{beyan}
	Serbest	f_{NR}



Şekil. 3.3. Çok İnce Malzemenin Muhtevası Deneyi

3.1.1.3. Agregaların Tane Büyüklüğü Dağılımı

Yüksek dayanımlı beton elde etmek için agrega boyutlarının standartlarına uygun şekilde dağılım göstermesi gerekmektedir. Elek analizi yöntemi ile bir seri eleme işleminden geçirilen agregaların elek üzerinde kalan kısmı tartılır ve kalan malzemelerin %'leri bulunarak tane büyüklük dağılımları belirlenir.(şekil k). TS 3530 EN 933-1 (2012) standardına uygun şekilde gerçekleştirilen deneyin amacı agrega tane dağılım oranlarının belirlenmesidir.



Şekil 3.4. Agregaların Tane Büyüklüğü Dağılımının Belirlenmesi

3.1.1.4. İri Agregaların Yassılık ve Şekil İndeksi

İri agregaların yassılık ve şekil indeksi için yapılan deneyler agregaların geometrik özelliklerinin belirlenmesi için yapılan deneylerdir. Yassılık indeksi deneyinin amacı TS EN 933-3 (2012) standardına göre agrega yığını içindeki yassı tane miktarının kabul edilebilir sınırlarda olup olmadığının belirlenmesidir. En küçük agrega tane boyutu, ait olduğu tane sınıfı aralığına ait elek göz açıklıkları ortalamasının 0.6 katından daha az ise, ölçüm yapılan agrega tanesi, yassı olarak kabul edilir. 7 adet yassılık indeksi elek seti ile yapılan yassılık indeksi deneyinde bazalt ve dere agrega numuneleri 6.3-63 mm arası değişen 7 farklı tane sınıfına ayrılarak ayrı ayrı yapılmıştır. (Şekil 3.5.) .



Şekil 3.5. Yassılık İndeksi Elek Seti

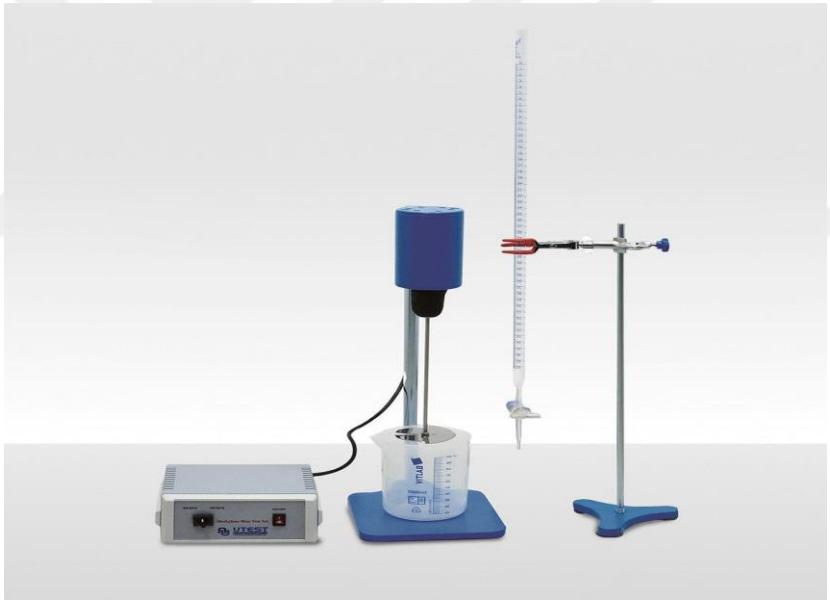
Çizelge 3.2 de TS EN 933-3 ve 933-4 (2012) standardında istenen en büyük yassılık en büyük şekil indeks değerlerine göre kategoriler verilmiştir sonuçlar bu kategorilere göre belirlenmiştir.

Çizelge 3.2. En Büyük Yassılık ve Şekil İndeks Değerlerine Göre Kategoriler (TS EN 933, 2012)

Yassılık İndeksi	Kategori FI	Şekil İndeksi	Kategori SI
≤15	FI 15	≤15	SI 15
≤20	FI 20	≤20	SI 20
≤35	FI 35	≤40	SI 40
≤50	FI 50	≤55	SI 55
>50	FI Beyan	>55	SI Beyan
Serbest	Fl NR	Serbest	SI NR

3.1.1.5. İnce Tanelerin Tayini - Metilen Mavisi Deneyi

Agregada her türlü yabancı madde betonun dayanımını ve yapışma oranını etkilemektedir Dolgu agregaları da dâhil ince agregalardaki çok ince malzemenin kalitesinin değerlendirilmesi ve zararlı olup olmadığına karar verilmesi önemlidir. Şekil 3.6'da görülen metilen mavisi deney seti ile gerçekleştirilen deneyi, ince maddelerin miktarını belirlemek, başka bir deyişle agreganın kirlilik oranını belirlemek için yapılmıştır. İnce agreganın içinde bulunan çok ince malzeme muhtevasının %3'den az olması durumunda ince malzeme zararsız kabul edilmekte (TS 706 EN 12620 (2009)), çok ince malzemenin %3'ün üzerinde olması durumunda ise metilen mavisi deneyi (TS EN 933-9) veya kum eşdeğerliği deney sonuçlarının belirlenen sınır değerlerini sağlaması gerekmektedir.



Şekil 3.6. Metilen Mavisi Deney Seti

3.1.1.6. Agregalarda Birim Ağırlık, Özgül ağırlık ve Su Emme Tayini Deneyleri

Birim ağırlık; yığın halindeki agreganın taneleri arasındaki boşluklar da dâhil birim hacmin ağırlığıdır. Agrega birim ağırlık deneyi TS 3529, TS EN 1097-3 standartlarına uygun olarak betonda kullanılabilecek agreganın gevşek ve sıkışık birim

ağırlığının tespiti için yapılan deneydir. Birim ağırlık yığın yoğunluğu olarak da kullanılmaktadır. Deneyin amacı agreganın gevşek ve sıkışık kapladığı hacmin saptanmasıdır. Agrega birim ağırlıklarında; agreganın yerleşme şekli, özgül ağırlığı, granülometrisi, agrega tanelerinin yuvarlak ya da köşeli olması, ince agreganın su içeriği, kusurlu malzeme yüzdesi gibi parametreler oldukça etkilidir. Agrega taneleri arasında kusurlu tanelerin fazla miktarda olması, boşluğu arttırdığından dolayı birim ağırlığı düşürür. Birim ağırlığı yüksek olan agrega ile üretilen betonun dayanımı, dayanıklılığı ve taşıma gücü fazladır.

Birim ağırlık; β (kğ/m^3); agreganın ölçü kabı içerisindeki net ağırlığının hacmine (kabın hacmine) bölünmesi ile bulunur (Denklem 3.1) Po; kuru ağırlık (kğ), $P_{1;}$ 48 saat suda bekletilerek doygun hale getirilen agreganın ağırlığı, P2, suya doygun haldeki numunenin su içindeki ağırlığı olmak üzere : (P_1-P_2 = görünen hacim (Arşimet prensibine göre agrega ile yer değiştiren suyun ağırlığı,)

$$\beta = \frac{P_0}{P_1 - P_2} \qquad 3.1$$

Özgül ağırlık; agrega tanelerinin işgal ettiği mutlak birim hacim ağırlığıdır. Tane yoğunluğu olarak da geçmektedir. Agreganın özgül ağırlığı bulunmak istendiğinde malzeme önce kuru yüzeyi doygun hale getirilerek tartılır. Doygun ve yüzeyi kuru olan deney numunesi, bir tepsiye aktarılır ve tartılır (M1). Agrega taneleri sabit kütleye (M4) kadar kurutulur. Karışım hesaplarında varsayılan agreganın nemlilik durumu, beton üretiminde yer alan agreganın nemlilik durumu ile genelde aynı olmayabilmektedir. Betonun üretileceği gün, agrega hava kurusu veya ıslak olabilmektedir.

M1: Doygun ve havada yüzeyi kurutulmuş agreganın kütlesi (gr), M2: Doygun agrega numunesini ihtiva eden piknometrenin kütlesi (gr), M3: Sadece su ile doldurulmuş piknometrenin kütlesi(gr), M4: Etüvde kurutulmuş deney numunesi kısmının kütlesi (gr).

ρ_a: Görünür tane yoğunluğu (özgül ağırlık), ρ_{rd}: Etüvde kurutulmuş esasta tane yoğunluğu (özgül ağırlık), ρ_{ssd}: Doygun ve yüzeyi kurutulmuş esasta tane yoğunluğu (özgül ağırlık), olmak üzere sırası ile denklem 3.2, 3.3 ve 3.4'de verilmiştir.

$$\rho_a : \frac{M4}{M4-(M2-M3)} \qquad 3.2$$

$$\rho_{rd} : \frac{M4}{M1-(M2-M3)} \quad 3.3$$

$$\rho_{ssd} : \frac{M1}{M1-(M2-M3)} \quad 3.4$$

Su emme oranı (W_{a24}), 24 saatlik daldırmadan sonra, kuru kütlenin bir yüzdesi olarak, denklem 3.5'deki gibi hesaplanmıştır:

$$W_{a24} : \frac{100x(M1-M4)}{M4} \quad 3.5$$

Şekil 3.7'de EN 1097-3 (1999) deney standartlarına uygun olarak yapılan tasarımda kullanılan Diyarbakır bazalt malzeme ve dere malzeme agregalarının fiziksel özelliklerinin belirlenmesi için (birim ağırlık, özgül ağırlık ve su emme tayini) gerçekleştirilen deneylerin sonuçları bir sonraki bölümde verilmiştir



Şekil 3.7. Agregaların Fiziksel Özelliklerinin Belirlenmesi İçin Yapılan Deneyler

3.1.1.7. İri Agregaların Parçalanma Direnci Deneyi

Los Angeles deney metodu parçalanmaya karşı direncin tayininde referans deney metodu olarak kullanılmaktadır. Bu çalışmada agreganın parçalanmaya karşı direncin tayinini belirlemek için EN 1097-2. (1998) standardı takip edilmiştir. Şekil 3.8'de gösterilen bilyeli tambur ile iri agregalar aşınmaya maruz bırakılmışlardır. Tambur 31-33 devir/dakika hızla önce 100 defa sonra 400 defa olmak üzere toplam 500 defa döndürülmüştür. Daha sonra tamburdan çıkarılarak 1.4 mm açıklıklı eleklerde elenen agregaların ağırlıkları ilk ağırlıklarına göre oranları tespit edilmiştir. Los Angeles deney cihazı ile yapılan bazalt ve dere malzemeleri için agregaların parçalanma direnci deneyi sonuçları, standardında belirtilen çizelge 3.3 gösterildiği gibi en büyük Los Angeles katsayısı değerlerine göre kategorize edilmiştir.



Şekil 3.8. Los Angeles Aşındırma Cihazı

Çizelge 3.3. En büyük Los Angeles Katsayısı Değerlerine Göre Kategoriler

Los Angeles katsayısı	Kategori, LA
≤ 15	LA_{15}
≤ 20	LA_{20}
≤ 25	LA_{25}
≤ 30	LA_{30}
≤ 35	LA_{35}
≤ 40	LA_{40}
≤ 50	LA_{50}
> 50	LA_{beyan}
Serbest	LA_{NR}

3.1.1.8. İri Agregaların Donma/Çözülme Etkisine Karşı Direnci Deneyi

Donma-çözünme etkisinde kalan agregalarda hacimsel değişimler oluşabilmektedir. İri agregaların donma/çözülme etkisine karşı direnci deneyi; donma-çözünme gibi fiziksel etkiler altında agreganın göstereceği dayanıklılık/direnci ifade etmektedir. Bazalt ve dere agregaların dona dayanıklılıklarının belirlenmesi için yapılan deneyde, agregalar magnezyum sülfat çözeltisi içerisinde yaklaşık 18-20 saat bekletilmişlerdir. Daha sonra kurutulan agregalar için bu işlem birkaç kez tekrarlanmıştır. Magnezyum sülfat çözeltisine maruz kalan agregaların ağırlıklarında azalmalar meydana gelmiştir. Oluşan kütle kaybına göre belirlenen kategoriler çizelge 3.4'e göre belirlenmiştir. TS EN 1367 standardında donma ve çözülmeye maruz kalan bir ortamda kullanılacak betonlar için donmaya dirençli agregaya ihtiyaç duyulması durumunda, çizelge 3.4'de belirtildiği şekilde kategorize edilmesi gerektiği belirtilmektedir.

Çizelge 3.4. Magnezyum Sülfat Kullanılarak Elde Edilen En Yüksek Don Dayanıklılığı Değerlerine Göre Kategoriler

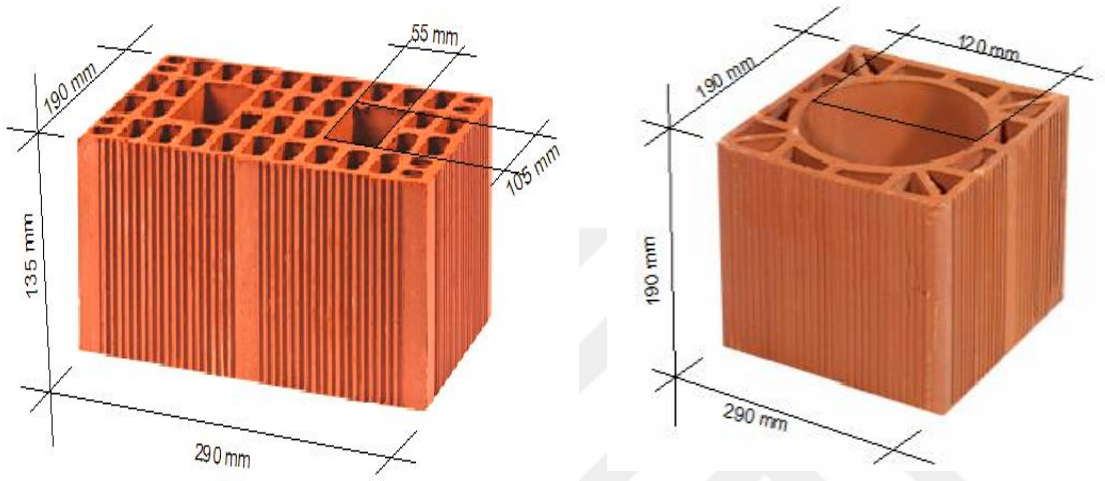
Magnezyum sülfat değeri (Kütlece yüzde kaybı)	Kategori MS
≤ 18	MS_{18}
≤ 25	MS_{25}
≤ 35	MS_{35}
> 35	MS_{beyan}
Serbest	MS_{NR}

3.1.1.9. Hacim Kararlılığı - Kuruma Büzülmesi Deneyleri

Agrega özellikleri sebebiyle betonda hasara yol açan büzülme çatlakları oluşması halinde, yapı betonunda kullanılacak agregaların kuruma büzülmesi, TS EN 1367-4'e uygun olarak deneye tabi tutulup, kuruma büzülmesinin %0.075'i aşmadığı tespit edilmelidir. Bu özellik, kurumanın hiç meydana gelmediği yerlere, hava sürüklenmiş beton ile kaplanmış kütle betonuna veya simetrik veya yoğun donatılı ve açık havaya maruz kalmayan yapı elemanlarına uygulanmaz.

3.1.2. Tuğla Özellikleri ve Deneyleri

Çalışmada kalıp amaçlı kullanılan tuğlalar, Diyarbakır'da yerel bir fabrikadan temin edilmişlerdir. Düşey delikli yığma tuğlalar (normal tuğla) ve baca tuğlalar ait ölçü detayları şekil 3.9 da verilmiştir.



Düşey Delikli Yığma Tuğla
290x190x135 mm

Baca Tuğla
190x190x190 mm

Şekil 3.9. Deneylerde Kullanılan Fabrika Tuğlaları ve Ölçüleri

Kullanılan tuğlaların taşıyıcı özellikleri olmayıp, taşıyıcı olmayan tuğlalar olarak temin edilmiştir. TSEN 771-1 standartlarına uygun olan tuğlaların deneyleri TS EN 771-1 ve772-16'ya uygun olarak yapılmıştır. Her bir tuğla elemanından (baca ve normal tuğla) 10'ar adet (sadece tuğla ön deneyleri için) olmak üzere toplamda 20 adet tuğla üzerinde aşağıdaki analizler gerçekleştirilmiştir;

3.1.2.1. Boyut ve Tolerans Analizi

Standartlara uygun olarak yapılan boyut ve tolerans analizlerinde 6'şar adet normal tuğla ve baca tuğlanın hassas ölçümleri yapılmış standartta belirtilen tolerans (sapma) koşulunu sağlayan sonuçlar çizelge 3.5 ve 3.6'da verilmiştir.

Çizelge 3.5. Normal Tuğlalar İçin Boyut ve Tolerans Analizi

Numune No	**Normal Tuğla (290x190x135mm) Boyutlar**		
	Uzunluk (mm)	**Genişlik (mm)**	**Yükseklik (mm)**
1	284	185	133
2	284	185	133
3	284	185	133
4	284	185	134
5	284	185	134
6	284	185	134
Ort.	**284.0**	**185.0**	**133.5**

Çizelge 3.6. Baca Tuğlalar İçin Boyut ve Tolerans Analizi

Numune No	**Baca Tuğla (190x190x190mm) Boyutlar**		
	Uzunluk (mm)	**Genişlik (mm)**	**Yükseklik (mm)**
1	192	189	189
2	**193**	**189**	**189**
3	192	191	190
4	**193**	**189**	**189**
5	193	189	189
6	**193**	**189**	**189**
Ort.	192.67	189.33	189.17

3.1.2.2. Konfigürasyon ve Görünüş Analizi

Dikdörtgen prizmatik şekilli boşluklu formlu 6'şar adet olmak üzere toplam 12 adet normal tuğla ve baca tuğlanın TS EN 771-1,772-2 ve 772-16'ya uygun olarak yapılan deney analizlerinin sonuçları Çizelge 3.7'de verilmiştir. Kagir birimin brüt hacmi = uzunluk x genişlik x yükseklik olmak üzere ve birim yüzey alanı = uzunluk x genişlik olmak üzere konfigürasyon ve görünüş analizleri aşağıda verilmiştir.

Çizelge 3.7. Normal ve Baca Tuğlalar İçin Konfigürasyon ve Görünüş Analizi

Özellik	Normal Tuğla (290x190x135mm) Numune						Ort.	Baca Tuğla (190x190x190mm) Numune						Ort
	1	2	3	4	5	6		1	2	3	4	5	6	
Tasarlanarak oluşturulmuş bütün boşlukların toplam hacminin, kâgir biriminin brüt hacmine yüzdece oranı, (%)	69.41	68.56	69.07	69.66	69.66	68.94	69.22	58.51	59.51	58.22	58.54	58.44	58.54	58.63
Tasarlanarak oluşturulmuş bütün boşlukların en büyüğünün hacminin, kâgir biriminin brüt hacmine yüzdece oranı, %	1.74	1.71	1.72	1.73	1.73	1.71	1.72	38.37	38.17	37.97	38.17	38.17	38.17	38.17
Kavrama yuvalarının toplam hacminin kâgir biriminin brüt hacmine yüzdece oranı, (%	25.00	24.36	25.12	25.24	25.24	25.00	24.99	-	-	-	-	-	-	-
İç cidarların kalınlığı, (mm)	6.50	6.50	6.33	6.67	6.67	6.67	6.56	7.50	7.83	7.67	7.67	7.50	7.83	7.67
Dış cidarların kalınlıkları (enine), (mm)	6.67	6.50	6.50	6.67	6.67	6.67	6.61	10.00	9.50	9.00	9.75	9.75	9.75	9.63
Dış cidarların kalınlıkları (boyuna), mm	6.67	6.67	6.67	6.50	6.67	6.50	6.61	9.00	9.83	9.50	9.83	9.67	9.83	9.61
Dış ve iç cidarların yanaktan yanağa birleşik kalınlığı, (%)	14.29	14.29	14.29	14.29	14.75	14.84	14.46	21.16	21.16	21.47	21.69	21.69	21.69	21.48
Dış ve iç cidarların alından alına birleşik kalınlığı, (%)	13.83	14.29	14.23	14.13	14.29	14.23	14.17	25.51	24.24	25.25	25.89	24.75	24.75	25.07
Bir döşeme yüzündeki boşluk alanlarının birimin yüzey alanına yüzdece oranı, (%)	69.41	68.56	69.07	69.66	69.66	68.94	69.22	58.51	59.51	58.22	58.54	58.44	58.54	58.63
Çukurların toplam hacmi, kagir birimin brüt hacminin yüzdece oranı, (%)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	

3.1.2.3. Birim Hacim Ağırlık Analizi

TS EN 771-1 ve TS EN772-13 standartlarına göre yapılan 6'şar adet olmak üzere toplam 12 adet normal tuğla ve baca tuğlanın analiz sonuçları aşağıdaki Çizelge 3.8 ve 3.9'da verilmiştir.

Çizelge 3.8. Normal Tuğla Birim Hacim Ağırlık Analizi

Normal Tuğla (290x190x135mm) Numune

Numune No	Uzunluk (mm)	Genişlik (mm)	Yükseklik (mm)	Kuru Ağırlık (M_{kuru}) (gr)	Toplam Boşluk Hacmi (mm^3)	Net Hacim Vn,u (mm^3)	Net Kuru birim Hacim kütle (Pn,u) (kg/m^3)	Brüt Hacim (Vg,u)	Brüt Kuru Birim Hacim Kütle (Pg,u) (kg/m^3)
1	284	185	133	3971	4850510	2137310	1858	6987820	568
2	284	185	133	4024	4790660	2197160	1831	6987820	576
3	284	185	133	3962	4826750	2161250	1833	6987820	567
4	284	185	134	3857	4904400	2135960	1806	7040360	548
5	284	185	134	3894	4904400	2135960	1823	7040360	553
6	284	185	134	4008	4817260	2170560	1847	6987820	574
Ort.	**284.0**	**185.0**	**133.5**	**3953**	**4848967**	**2156367**	**1833**	**7005333**	**564**

Çizelge 3.9. Baca Tuğla Birim Hacim Ağırlık Analizi

Baca Tuğla (190x190x190mm) Numune

Numune No	Uzunluk (mm)	Genişlik (mm)	Yükseklik (mm)	Kuru Ağırlık (M_{kuru}) (gr)	Toplam Boşluk Hacmi (mm^3)	Net Hacim Vn,u (mm^3)	Net Kuru birim Hacim kütle (Pn,u) (kg/m^3)	Brüt Hacim (Vg,u)	Brüt Kuru Birim Hacim Kütle (Pg,u) (kg/m^3)
1	192	189	189	3835	4012848	2845584	1343	6858432	559
2	193	189	189	3912	4102812	2791341	1401	6894153	567
3	192	191	190	3979	4056880	2910800	1367	6967680	571
4	193	189	189	3806	4035528	2858625	1331	6894153	552
5	193	189	189	3921	4007408	2850268	1376	6857676	572
6	193	189	189	4014	4035528	2858625	1404	6894153	582
Ort.	**192.67**	**189.33**	**189.17**	**3911**	**4041834**	**2852541**	**1371**	**6894375**	**567**

3.1.2.4. Mekanik (Basınç) Dayanım Analizi

TS EN771-1 ve TS EN772-1 standartlarına göre yapılan basınç dayanım sonuçları aşağıda verilmiştir. Basınç dayanımı için her tuğla tipinden, standardın istediği şekilde 3'er adet kullanılmıştır. Normal tuğla ve baca tuğla için ortalama basınç dayanım değerleri çizelge 3.10 ve 3.11'de verilmiştir.

Çizelge 3.10. Normal Tuğla İçin Basınç Dayanımları

Normal Tuğla	**Uzunluk, (mm)**	**Genişlik, (mm)**	**Deneye Tabi Yüzey Alanı, (mm^2)**	**Kırılma Yükü (KN)**	**Basınç Dayanımı (N/mm^2)**
1	284	185	52540	238.16	4.53
2	284	185	52540	235.43	4.48
3	284	185	52540	250.27	4.76
Ort.	**284.00**	**185.00**	**52540**	**241.29**	**4.59**

Çizelge 3.11. Baca Tuğla İçin Basınç Dayanımları

Baca Tuğla	Uzunluk, (mm)	Genişlik, (mm)	Deneye Tabi Yüzey Alanı, (mm^2)	Kırılma Yükü (KN)	Basınç Dayanımı (N/mm^2)
1	193	189	36477	139.71	3.83
2	193	189	36477	143.04	3.92
3	193	189	36477	136.42	3.74
Ort.	**193**	**189**	**36477**	**139.72**	**3.83**

3.1.2.5. Dayanıklılık Analizi

Dayanıklılık analizlerinde ortam sıcaklığı -25^{o}C 25 çevrimle yapılmıştır. Her bir tuğla tipi için rastgele seçilen 3'er adet toplam 6 tuğla üzerinde yapılan dayanıklılık analiz sonuçları çizelge 3.12 ve 3.13'de verilmiştir.

Çizelge 3.12. Normal Tuğla için Dayanıklılık Analizi

Deney	**Normal Tuğla (290x190x135mm) Numune**			
	1	**2**	**3**	**Ort**
Başlangıç Kuru Ağırlık (g)	3971	4024	3962	**3986**
Deney Sonu Kuru Ağırlık (g)	3864	3896	3821	**3860**
Döküntü ve Çatlak Muayenesi	Bozulma yok	Bozulma yok	Bozulma yok	Bozulma yok
Kütle Kaybı (%)	2.6945	3.1809	3.5588	**3.1447**
Deney Sonu Basınç Dayanımı (N/mm^2)	4.41	4.40	4.38	**4.40**
Don Sonrası Dayanım Azalması (%)	3.9216	4.1394	4.5752	**4.2121**

Çizelge 3.13. Baca Tuğla için Dayanıklılık Analizi

Deney	**Baca Tuğla (190x190x190mm) Numune**			
	1	**2**	**3**	**Ort**
Başlangıç Kuru Ağırlık (g)	3806	3912	3979	**3899**
Deney Sonu Kuru Ağırlık (g)	3731	3803	3865	**3800**
Döküntü ve Çatlak Muayenesi	Bozulma yok	Bozulma yok	Bozulma yok	Bozulma yok
Kütle Kaybı (%)	2.7119	2.7863	2.8650	**2.7877**
Deney Sonu Basınç Dayanımı (N/mm^2)	3.74	3.69	3.71	**3.71**
Don Sonrası Dayanım Azalması (%)	2.3499	3.6554	3.1332	**3.0462**

3.1.2.6. Kapiler Etkisiyle Su Emme Katsayısı Analizi ve Su Emme Analizi

Bu deneyin amacı tuğla malzemenin birim ağırlık veya hacminin emmiş olduğu su miktarının belirlenmesidir. TS EN771-1 ve TS EN 772-11 standartlarına göre her birinden 3êr adet olmak üzere toplam 6 adet tuğla numunenin analiz deneyleri gerçekleştirilmiştir. Tuğla malzemenin kapiler özelliğini saptamak için numunelerin önce kuru ağırlıkları tartılmıştır daha sonra suyla temas edecek şekilde kaba yerleştirilmişlerdir. Tuğlalar 10 dakika su ile temas halinde bekletilmişlerdir. Belirli aralıklarla yapılan ağırlık ölçümleri sonucu tuğlalar tarafından emilen su miktarları bulunmuştur. İki tuğla malzeme türü içinde deney analizleri aşağıda verilmiştir (Çizelge 3.14 ve 3.15)

Çizelge 3.14. Normal Tuğla ve Baca Tuğla İçin Kapiler Etkisiyle Su Emme Katsayısı Analizleri

Deney	Normal Tuğla (290x190x135mm) Numune				Baca Tuğla (190x190x190mm) Numune			
	1	**2**	**3**	**Ort**	**1**	**2**	**3**	**Ort**
Başlangıç Kuru Ağırlık Mkuru,s (g)	3971	4024	3962	**3986**	3835	3912	3979	**3909**
Su Teması Sonrası Nemli Ağırlık Mso, (g)	4085	4150	4096	**4110**	3674	3741	3796	**3737**
Suyla Temas eden brüt yüzey Alanı, As (mm^2)	52540	52540	52540	**52540**	36288	36477	36672	**36479**
Suyla Temas Süresi, t_o (dk)	10	10	10	**10**	10	10	10	**10**
Kapiler Su Emme Cw,s ($g/m^2\ sn^{0.5}$)	88.60	97.92	104.14	**96.89**	181.16	191.43	203.76	**192.12**
Kapiler Su Emme Cw,s ($g/m^2\ sn$)	3.62	3.99	4.25	**3.95**	7.39	7.81	8.32	**7.84**

Çizelge 3.15. Normal Tuğla ve Baca Tuğla İçin Su Emme Analizi

Deney	Normal Tuğla (290x190x135mm) Numune				Baca Tuğla (190x190x190mm) Numune			
	1	**2**	**3**	**Ort.**	**1**	**2**	**3**	**Ort.**
Başlangıç Kuru Ağırlık (g)	3971	4024	3962	**3986**	3835	3912	3979	**3909**
24 Saat Sonra Doygun Ağırlık (g)	4349	4436	4397	**4394**	4543	4623	4673	**4613**
48 Saat Sonra Doygun Ağırlık (g)	4392	4469	4434	**4432**	4578	4651	4708	**4646**
Suya Doygun Halde Ağırlık (g)	4428	4506	4469	**4468**	4614	4687	4739	**4680**
Su Emme Oranı (%)	11.51	11.98	12.80	**12.10**	20.31	19.81	19.10	**19.74**

3.1.2.7. Su Buharı Geçirgenliği ve Isıl Davranış Özellikleri

Deneyde kullandığımız normal tuğla ve baca tuğlalar için su buharı geçirgenliği EN 1745'e göre su buharı difüzyon katsayısı (**μ**) ; net yoğunluğu 1371 kg/m^3 olan normal tuğla (290x190x135mm) için ve net yoğunluğu 1833 kg/m^3 olan baca tuğla (190x190x190mm) için :**μ** = 5/10 bulunmuştur.

Yine TS EN 1745'e göre kil kagir birimlerin ve ısı yalıtım gereklerine tabi elemanlarda kullanılacak birimlerin ısıl davranışıyla ilgili ortalama $\lambda_{10,\ kuru\ birim}$ değerleri normal tuğla ve baca tuğla için sırasıyla : 0.49 ve 0.34 W/m.K 'dır.

TS EN 771-3 yangın direnç standardında göre, kütle veya hacim olarak (hangisi daha yüksek ise) en fazla %1 düzgün dağıtılmış organik madde ihtiva eden kagir

birimler için, deneye ihtiyaç duyulmaksızın yangın sınıfı A1 beyan edilebilir denmektedir. Normal tuğla ve baca tuğlaların yangın sınıfı A1 alınmıştır. (Şekil 3.10).



Şekil 3.10. Deneylerde Kullanılan Baca ve Normal Tuğlalar

3.1.3. Donatı Özellikleri ve Deneyleri

Bu çalışma kapsamında çapları 12 ve 6 mm olan S420 çelik sınıfına ait iki tip donatı kullanılmıştır. Hem baca tuğla için hem de düşey delikli yığma tuğla için tek donatılı elemanlarda 1 adet Ø12'lik donatı, etriye ile sargılanan elemanlarda ise 4 adet Ø6'lık donatı kullanılmıştır. Çalışmada tek donatılı beton ile aynı donatı alanını karşılayacak etriye sargılı donatı kullanılarak yarı rijit elemanda sargı etkisi incelenmiştir. Denklem 3.6 ve 3.7'de hesaplandığı gibi her iki donatı koşulunda da donatı alanları eşittir.

Donatı Alanları

$$A_{st} = \frac{1}{4}\pi D^2 = \frac{1}{4}\pi 12^2 = 113{,}09\text{mm}^2,\ 1Ø12'\text{lik tek donatılı} \qquad 3.6$$

$$A_{st} = \frac{1}{4}\pi D^2 = \frac{1}{4}\pi 6^2 \text{ x } 4 = 113{,}09\text{mm}^2,\ 4Ø6'\text{lık etriyeli donatılı} \qquad 3.7$$

Yarı rijit eleman olarak adlandırılan betonarme dolgulu tuğla numunelerinin donatılı beton olan iç kısımları koloncuklar gibi düşünülmüştür. DBYBHY 2007'ye göre kolonlarda boyuna donatı brüt alanı kolon kesitinin %1'inden az, %4'ünden fazla

olmamalıdır. (3.5) Bindirmeli eklerde sınır, 0.06'dır. TS500 (2000) 'e göre minimum donatı oranı 0.005'e inebilir. Tuğla elemanların içinde oluşturulan betonarme kısımları küçük koloncuklar olarak varsayılmıştır ve donatı koşulları ona göre hesaplanmıştır (Denklem 3.8).

$$\rho_t = \frac{A_{st}}{A_{cc}}, \quad \text{min 0.01 ve max.: 0.04} \qquad 3.8$$

Betonarme Kolon (koloncuk) Alanları

Baca Tuğla için; baca tuğlanın içindeki 120 mm'lik dairesel kısmı dairesel koloncuğun çapı olarak düşündüğümüzde: D=120 mm için; $A_{cb,}$ baca tuğladaki koloncuğun alanı olmak üzere denklem 3.9'daki gibi hesaplanmıştır. Donatı koşullarıda denklem 3.10 ve 3.11'e göre belirlenmiştir.

$$A_{cb} = \frac{1}{4}\pi D^2 = \frac{1}{4}\pi 120^2 = 11309{,}70 \text{ mm}^2 \qquad 3.9$$

$\rho_t = \frac{A_{st}}{A_{cc}}$ olmak üzere: 3.10

$$\rho_t = \frac{113{,}09}{11309{,}70} = 0.01 = \%1 \text{ donatı koşulunu sağlıyor} \qquad 3.11$$

Düşey delikli yığma tuğla için; bu tuğlanın 2 adet boşluklu kısmı vardır. 55x105 mm ebatlarında iki eşit boşluklu kısımları baca tuğlada olduğu gibi 1Ø12'lik tek donatıyla ve 4Ø6'lık etriyeli donatıyla beton doldurulmuştur. Dikdörtgen 55x105 (bxh) mm ebatlarındaki betonarme elemanlar da küçük koloncuklar gibi hesaplanmıştır; $A_{cn,}$ düşey delikli yığma tuğla (normal tuğla) koloncuğunun alanı olmak üzere denklem 3.12'deki gibi hesaplanmıştır denklem 3.13 ve 3.14'deki koşullara göre değerlendirilmiştir.

$$A_{cn} = 55\text{x}105 = 5775 \text{ mm}^2 \qquad 3.12$$

$\rho_t = \frac{A_{st}}{A_{cc}}$ olmak üzere: 3.13

$\rho_t = \frac{113{,}09}{5775} = 0.0195;$ % 1,95 koşulu sağlanmaktadır 3.14

3.1.3.1. Donatı Çekme Deneyleri

Çelik çubuk çekme deneyinin amacı, çelik çubukların çekme dayanımını, gerilme deformasyon ilişkisinin ve elastisite modülünün belirlenmesidir. Betonarme yapılarda kullanılacak çelik çubukların TS 708 (2010) standartlarına uygun olması gerekmektedir. TS-708 (2010) koşullarına göre oluşturulan 3 adet numune seti UTM-4000 hidrolik üniversal deney cihazı ile çekme deneyine tabi tutulmuşlardır (Şekil 3.11).



Şekil 3.11. Hidrolik Üniversal Çelik Çekme Deney Cihazı

Şekil 3.12'de donatı çekme deneyleri yapılan 12 mm (Ø12) donatı çapına sahip çelik çubuklar gösterilmiştir. Bu donatılara ait kuvvet-birim uzama eğrisi, çekme dayanımları, akma dayanımları ve deneysel akma dayanımı / karakteristik akma dayanımı belirlenmiştir. Sonuçlar 4. bölümde verilmiştir.



Şekil 3.12. S420 Çelik Sınıfına Ait Ø12'Lik Donatıların Çekme Deneyleri

Çizelge 3.16'de TS 4559 (2010) standartlarına göre 6 mm (Ø6) donatı çapına sahip hasır çeliğin özelikleri verilmiştir. Bu donatıların çelik çekme deneyleri ise şekil 3.13'de verilmiştir.

Çizelge 3.16. TS 4559'a göre 6mm Çaplı Hasır Çeliğin Özellikleri

	Çubuk		**Hasır Çelik**	**Hasır Çubuklar**			
Çapı (mm)	Ağırlığı (kg/m)	Kesit Alanı (cm^2)	Tipi Q	Aralık (mm)		Çap (mm)	
				Boy	En	Boy	En
6	0.222	0.283	Q 188/188	150	150	6	6



Şekil 3.13. Ø6'lik Hasır Donatıların Çekme Deneyleri

3.1.4. Beton Özellikleri ve Deneyleri

Günümüzde konut türü yapılarda ve yapı stoklarında yaygın olarak C25 beton sınıfı tercih edilmektedir. Bu amaçla çalışma kapsamında bazalt ve dere olmak üzere iki farklı agrega tipi kullanılarak C25 beton üretilmiştir. Çalışma kapsamında beton yapımında kullanılan çimento, katkı maddesi ve karışım suyuna ait özellikler aşağıda belirtilmiştir. Şekil 3.14'de uygulamada kullanılan çimento ve katkı maddeleri gösterilmiştir.



Şekil 3.14. Deneylerde Kullanılan Çimento ve Katkı Maddesi

Çalışmada kullanılan çimentoya ait mekanik özellikler çizelge 3.17'de belirtilmiştir. Çimento olarak; TS EN-197-1 (2012) standartlarına uygun CEM II/A-M(P-L) 42,5 R çimento kullanılmıştır. Bu çimento grubunun işlenebilirliği, portland çimentodan yüksektir ve içerdiği ince dolgu malzemeleri, beton içindeki mikro gözenekleri sıkılaştırıp, geçirimsizliğini artırır. Ayrıca kendi sınıfı içinde erken ve nihai dayanımı yüksek olan çimento grubundadır.

Çizelge 3.17. Deneylerde Kullanılan PL 42,5 Çimentosunun Mekanik Özellikleri

Mekanik Özellikler	
Basınç Dayanımı 2 Gün, (Mpa)	≥ 20
Basınç Dayanımı 7 Gün, (Mpa)	-
Basınç Dayanımı 28 Gün, (Mpa)	≥ 42,5 ve ≤ 62,5

Çalışmada TS 13515 ve TS 3542 (1988) standartlarına uygun katkı kullanılmıştır. Katkı maddesi olarak Yapkim, Yapı Kimya Sanayi AŞ'den temin edilen YAPRHEO HYPERSDC 515 S kullanılmıştır. C25/30 - C40/50 beton sınıfları arasında kullanımı uygundur ve standartlara uygun beton üretilmesini sağlar.

Karışım suyu olarak şebeke suyu kullanılmıştır. TS 802 (2016) standardına uygun karışım oranlarına sahip iki ayrı malzeme için (bazalt ve dere) laboratuvarda beton üretilmiştir (Şekil 3.15). Laboratuvarda üretilen betonun mikserde karıştırılması TS 13515 (2014) standardına uygun şekilde yapılmıştır. (Katkı maddesi ana karıştırma işlemi esnasında dökülmüş, karıştırma süresi her 1 m^3 beton için en az 1 dakika olacak şekilde yapılmıştır.



Şekil 3.15. Bazalt ve Dere Malzemeden Üretilen C25 Betonun Üretim Aşaması

3.1.4.1. Deney Kapsamında Üretilen C25 Betondan Numune Alımı

TS EN 206 (2017) standartlarına uygun olan (Şekil 3.16) yağlanmış küp numune kaplarına (15cm x 15 cm) taze betonlar iki tabaka halinde ve her tabakada 25 defa yaklaşık Ø16 mm çaplı düz demir çubukla şişlenerek sıkıştırılacak şekilde (Şekil 3.17) dökülmüştür. Şişlemeden kaynaklı boşluklar doluncaya kadar tokmakla vurulmuş ve kalıbın üstüne taşan fazla numune mala ile alınarak beton yüzeyi pürüzsüz hale getirilmiştir.



Şekil 3.16. 15x15 cm Ebatlı Taze Beton Numune Kalıpları ve Yağlanması



Şekil 3.17. Taze Betonlardan Numune Alımı

21- 25 derece arasında üstü ıslak bezle kapatılan numuneler 24 saat bekletildikten sonra kalıptan çıkarılmıştır. Numuneler 7, 28, 90 ve 120. günlerde kırılmak üzere deney yapılacakları güne kadar 20 ± 2 derece sıcaklıktaki termostatlı kür havuzunda (Şekil 3.18) bekletilmişlerdir. Yapılan işlemler TS EN 12390-1 (2013) ve TS EN 12390-2 (2010) standartlarına uygun olarak gerçekleştirilmiştir.



Şekil 3.18. Kür Havuzundaki Taze Beton Numuneleri

3.1.4.2. Çökme Deneyi (Slump Test)

Deneysel çalışma için üretilen taze betonun işlenebilme özelliğinin ölçülmesi amacıyla ilgili standarda TS EN 12250-2 (2010) uygun çökme deneyi yapılmıştır. Deneyde şekil 3.19'da görüldüğü gibi üst çapı 10cm alt çapı 20cm, yüksekliği 30cm olan kesik koni şeklindeki çökme hunisine üç tabaka şeklinde eşit yükseklikte üretilen taze betonla doldurulup her tabaka 25 kez çelik çubukla şişlenmiştir. Huni tamamen doldurulup üstü mala ile düzeltildikten sonra doldurulan beton sarsılmadan, huni yukarı çekilip çökme miktarı kesik koninin üst yüzeyi ile çöken beton yığınının tepe noktasındaki seviye farkı olarak yazılmıştır.



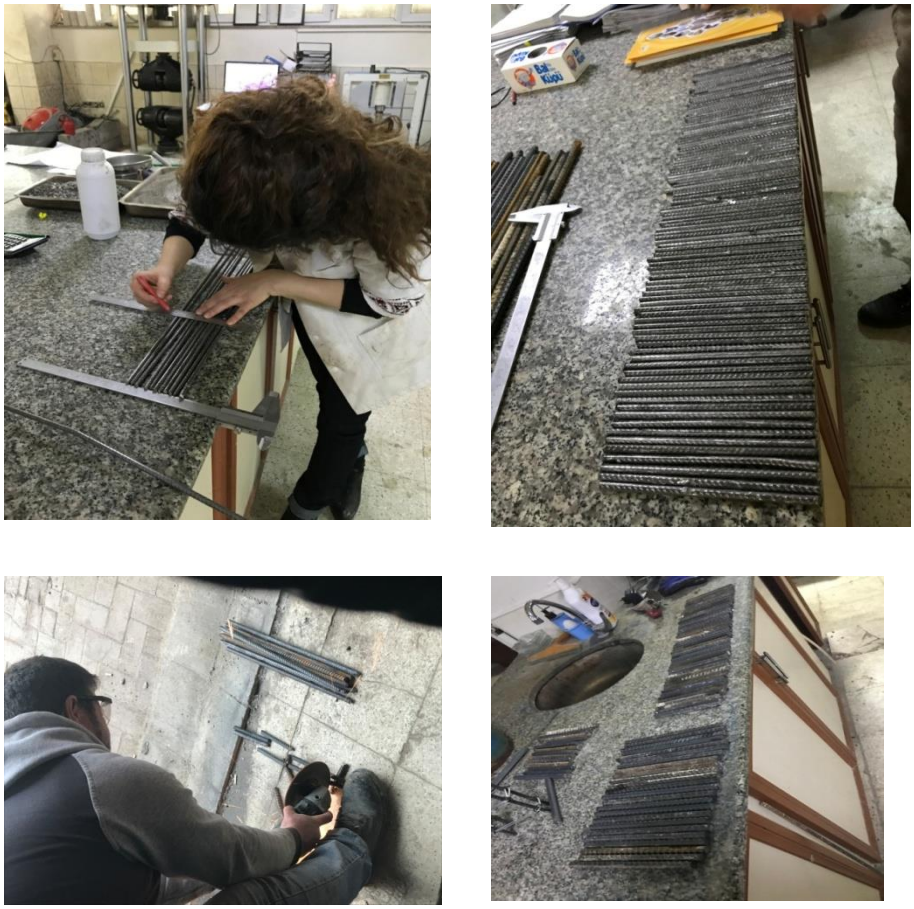
Şekil 3.19. Slump Test Deneyleri

3.2. Deney Hazırlık Kısmı

Çalışmanın bu kısmında öncelikli olarak deney hazırlık safhaları; yarı rijit elemanlarda kullanılacak olan Ø12 ve Ø6 çaplı demir donatıların iki farklı tuğla tipi için ayrı ayrı boyutlandırılması, kesilmeleri, etriyelerin oluşturulması ve etriyeli olanların tellerle donatılara sargılanması işlemleri gerçekleştirilmiştir. Ø12 ve Ø6'lık donatıların baca ve normal tuğlalar (düşey delikli yığma tuğla) için boylarının ayarlanması ve kesilme işlemleri yapılmıştır. Daha sonra yarı rijit elemanların oluşturulması, yarı rijit elemanların bakımı ve korunması ile ilgili detaylar verilmiştir.

3.2.1. Donatı Boylarının Belirlenmesi ve Kesilmesi

Bir önceki kısımda mekanik özellikleri belirtilen donatıların ihtiyaç duyulan boylardaki kesilme işlemi açıklanmıştır. Çekme deneyleri yapılan ve standartlara uygun olan Ø12 ve Ø6 çaplı donatı çelikleri kullanılmıştır. Çalışmada yarı rijit elemanlar oluşturmak üzere iki tip tuğla kullanılmıştır. Normal tuğla (boyu 135 mm) ve baca tuğla (boyu 190 mm), bu tuğlaların içinde kullanılacak donatı boyları tuğla yüksekliklerinden 5'er mm kısa olacak şekilde kumpasla ölçülerek kesilmişlerdir. Toplam 36 adet Ø12mm çaplı, 144 adet Ø6mm çaplı donatı çeliği iki farklı boyda (bacalar için 185mm, normal tuğlalar için 130mm) elektrikli metal kesme cihazı ile kesilmiştir (Şekil 3.20).



Şekli 3.20. Deneyde Kullanılan Donatı Çubuklarının Kesimi

Çizelge 3.18'de deneyde kullanılacak olan Ø12 donatı çeliği ile etriyeli elemanlarda kullanılacak olan Ø6 donatı çeliklerine ait bilgiler verilmiştir.

Çizelge 3.18. Deney Tuğlalarının İçine Yerleştirilecek Donatıların Fiziksel Özellikleri

Donatı Çapı (mm)	Donatı Tipi	Tuğla Tipi	Tuğla Boşluk Adeti	Tuğla Donatı Adeti	Tuğla Adeti	Donatı Boyu (mm)	Toplam Donatı Adeti
12	Tek Donatılı	Baca Tuğla	Tek	1	24	185	24*1 = 24
	Tek Donatılı	Normal Tuğla	Çift	2	24	130	24*2 = 48
6	Sargılı Donatılı (Etriyeli)	Baca Tuğla	Tek	4	24	185	24*4 = 96
	Sargılı Donatılı (Etriyeli)	Normal Tuğla	Çift	8	24	130	24*8 = 192
							Σ = 360 Donatı

Donatı çeliklerinin tuğla boyundan 5 mm kısa kesilmesinin nedeni, donatıların yarı rijit elemanlar yapıldıktan sonra kesilmelerinin zor olması, yükleme yapılacak cihaza zarar vermemesini sağlamak ve yüklemenin daha düz bir yüzeyde yapılmasını sağlamak içindir.

3.2.2. Etriyelerin Boyutlandırılması, Kesilmesi ve Yapımı

Çalışmanın devamında, etriye yapımında 2 mm çaplı etriye olarak kullanılan teller gerekli boylarda kesilmiş ve aşağıda belirtilen yöntemlerle etriyeler oluşturulmuştur. İki tuğla tipi için de kesilen etriye boyları yapılan toplam etriye sayısı ve etriye şekli çizelge 3.19'da verilmiştir.

Çizelge 3.19. Deney Tuğlalarının İçine Yerleştirilecek Etriyelerin Fiziksel Özellikleri

Tuğla Tipi	Etriye Şekli	Tuğla Adeti	Tuğla Başına Gerekli Etriye Adedi	Toplam Tuğla Etriye Adeti	Etriye Çapı/ Ölçüleri (mm)/(mm)	Toplam Etriye Boyu (L) (mm)
Baca	Dairesel	24	2	48	110	350
Baca	Dairesel	24	2	48	110	350
Normal Tuğla	Dikdörtgen	24	4	96	45x95	300
Normal Tuğla	Dikdörtgen	24	4	96	45x95	300
Σ : 288 Etriye						

Baca tuğlalar ve normal tuğlalar için yapılan etriyelerin boyu her iki tuğla içinde etriye çevre uzunluklarından fazla kesilmiştir. Denklem 3.15 ve 3.16'da baca ve normal tuğlaların etriye çevreleri hesaplanmıştır.

Baca etriye çevresi= $2\pi r = 2*\pi* (110/2) =345$ mm 3.15

Normal tuğla etriye çevresi $=2(b+h)=2*(45+95) = 280$mm 3.16

Şekil 3.21'de görülebileceği üzere, baca tuğla için 350 mm, normal tuğla için 300 mm boyunda etriyeler kesilmiş ve kesilen etriyeler çekiçle düzeltilmişlerdir.



Şekil 3.21. Tuğlalar İçin Uygun Boylarda Etriyelerin Oluşturulması

Gerekli boylarda kesilen etriye donatılarından dairesel etriye yapmak için (L:350mm) yaklaşık 110 mm çaplı ağaç kütüğünden faydalanılmıştır. Ağaç kütüğünün yan tarafına etriye donatısı girecek şekilde delik açılmıştır. Deliğin içine sokulan etriye donatısı dairesel kütük etrafında 360^{o} çevrildikten sonra çekiçle sıkıştırılıp başlangıçta yerleştirilen delikten çıkartılarak hazırlanmıştır (Şekil 3.22). Baca tuğlalarda kullanılmak üzere toplam 96 adet dairesel etriye hazırlanmıştır.



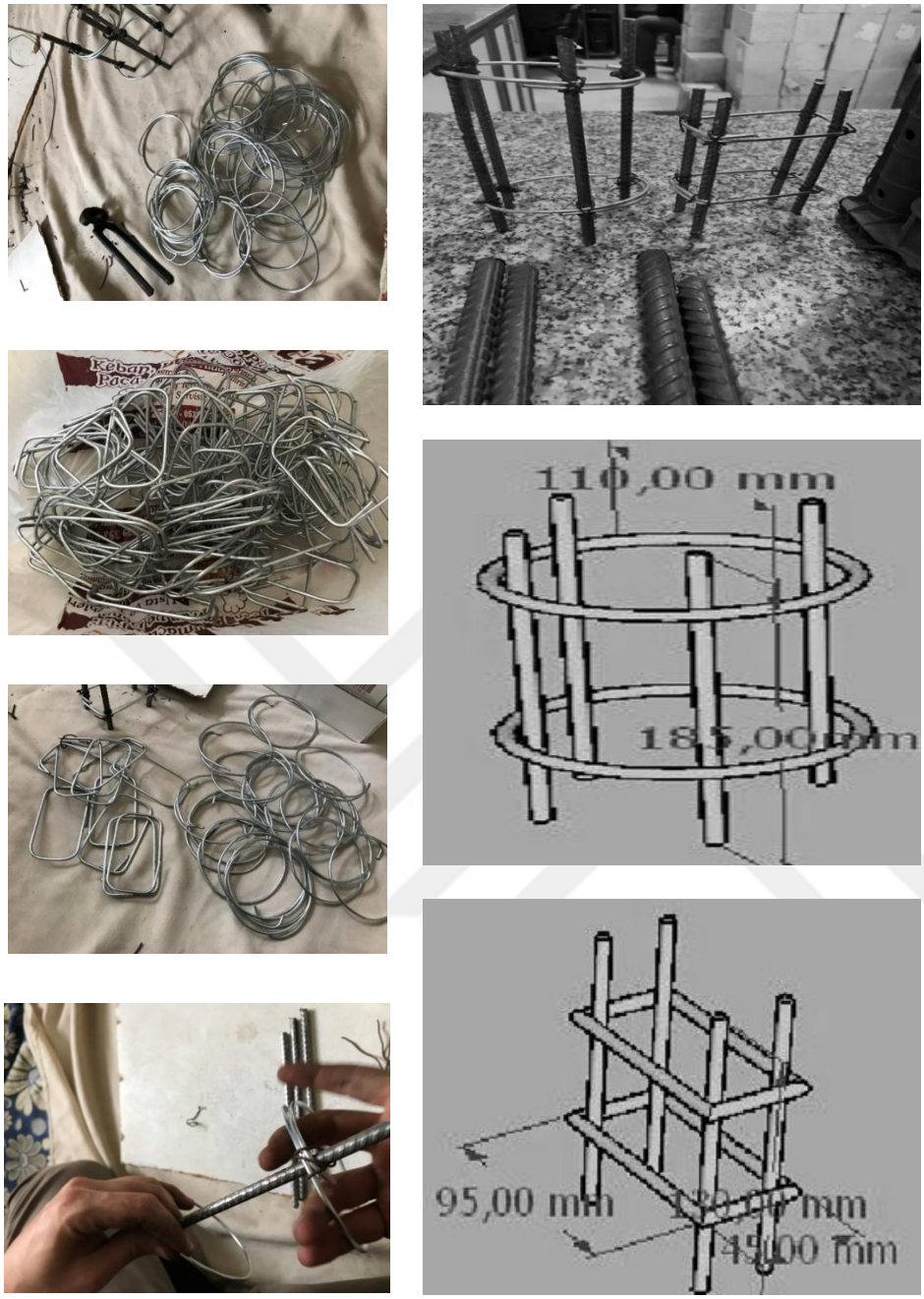
Şekil 3.22. Baca Tuğlarda Kullanılan Dairesel Kesitli Etriyelerin Hazırlanması

Normal tuğlalar için 300 mm boyunda etriye donatısı olarak kullanılan telden 192 adet kesilmiştir. Dikdörtgen bir ahşap levha üzerine çiviler etriye yapılacak en ve boy mesafelerinde çakılmış ve içi boş demir boru yardımıyla yaklaşık 135^{o} 'ye denk gelecek şekilde çevrilerek dikdörtgen etriyeler oluşturulmuştur (Şekil 3.23).



Şekil 3.23. Normal Tuğlarda Kullanılan Dikdörtgen Kesitli Etriyelerin Hazırlanması

Baca tuğlalar için hazırlanan dairesel kesitli etriyeler ve normal tuğlalar için hazırlanan dikdörtgen kesitli etriyeler Ø6 mm çapındaki 4 adet donatı etriyelerin köşelerine gelecek şekilde, etriye boyunun altından ve üstünden mesafeler bırakılarak ince tellerle bağlanmıştır. Koloncuk orta bölgesi oluşturulması açısından orta bölge yani iki etriye arası en az 100 mm olacak şekilde etriyelerle donatılar, teller yardımıyla şekil 3.24'deki gibi bağlanmıştır.



Şekil 3.24. Etriyeli (Sargılı) Donatıların Oluşturulması

3.2.3. Yarı Rijit Eleman Numunelerinin Oluşturulması

Diyarbakır yerel tuğla fabrikasından temin edilen (standartlara uygun olarak üretilmiş) boş düşey delikli yığma tuğla (normal tuğla) ve baca tuğlalar ile gerçekleştirilen donatılı/etriyeli ve beton malzemeli yarı rijit elemanların yapım süreci adlandırılması ile ilgili detaylar aşağıda verilmiştir.

Çimentoya kum, çakıl ve su karıştırılarak elde edilen betonun çekme ve basınç dayanımlarının düşük olduğu sonucuna varılmış ve bu malzemelerin demir çubuklarla bir araya getirilerek daha güçlü hale getirilmesi sağlanmıştır. Betonun demir çubuklarla güçlendirmesi 'betonarme' olarak adlandırılmış ve patenti 1855 Coignet ve 1857 Monier tarafından alınmıştır (Ersoy ve Özcebe 2012). Bu çalışmada da boşluklu tuğlaların içleri donatılı ya da etriyeli donatılı olacak şekilde betonla doldurup yarı rijit eleman olarak adlandırılan bir çeşit kompozit malzeme oluşturulmuştur. Laboratuvarda bazalt malzeme ve dere malzeme ile üretilen C25 reçeteli betonun donatılı ve/veya etriyeli normal tuğlalara ve baca tuğlalara -karıştırılmasın diye isimlendirilerek beton dökümü gerçekleştirilmiştir.

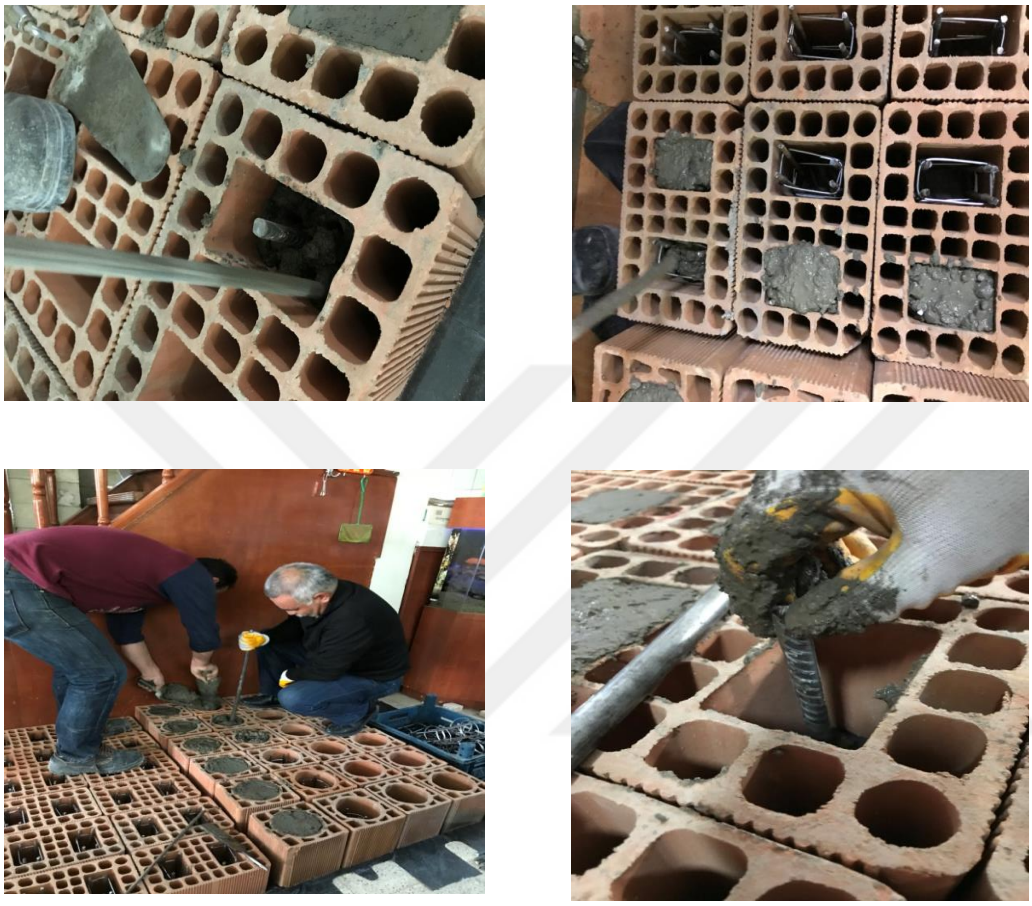
Hazırlanan reçetelere uygun laboratuvarda üretilen Diyarbakır bazaltı ve dere malzemesi ile yapılan taze betonlar, numunelere her biri ayrı ayrı donatılı ya da etriyeli, normal ve baca tuğlalara yarı rijit elemanlar oluşturulmak üzere şişlenerek yerleştirilmiştir (Şekil 3.25).



Şekil 3.25. Donatılı ve/veya Etriyeli Tuğlalara Beton Dökümü

Numuneler elle döküldüğü için döküm esnasında çok hızlı davranılmış, donatı ve /veya etriyeli elemanlar boşlukların merkezine gelecek şekilde dik tutulmuş ve beton dökümü esnasında her bir numune için boşluğun tamamı betonla dolana kadar şişleme

işlemi yapılmıştır (Şekil 3.26). Daha sonra beton doldurulan numunelerin yüzeyleri mala ile düzeltilmiştir (Şekil 3.27).



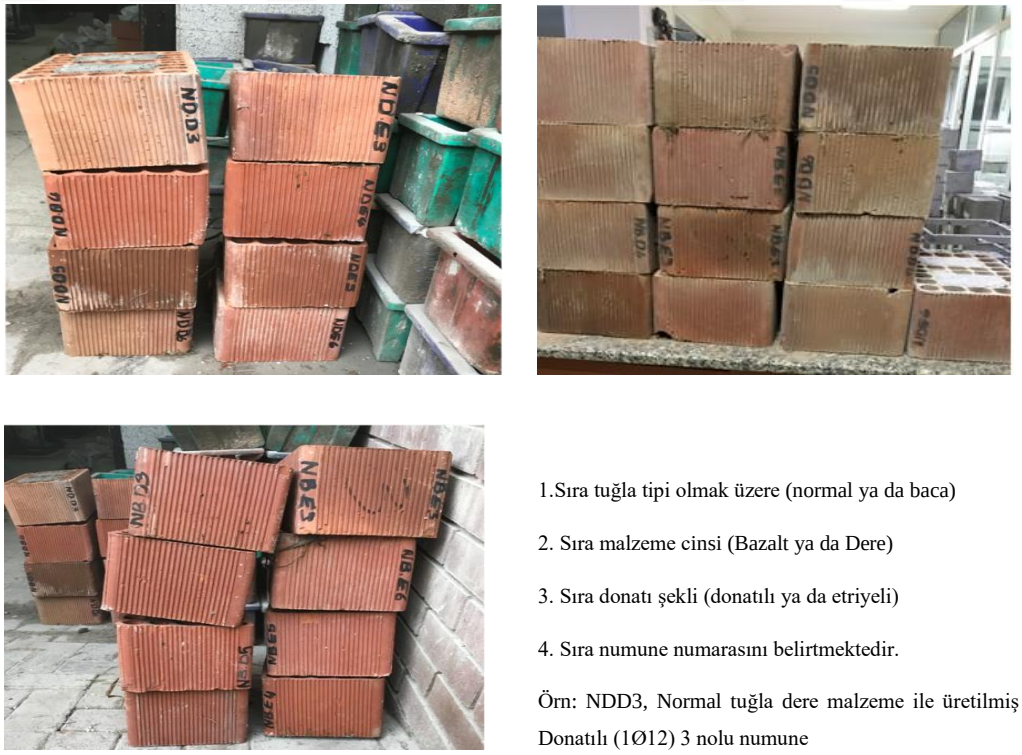
Şekil 3.26. Betonun Donatılı ve/veya Etriyeli Tuğlalara Yerleştirilmesi



Şekil 3.27. Betonu Dökülen Yarı Rijit Elemanların Yüzeylerinin Düzeltilmesi

3.2.3.1.Yarı Rijit Elemanların Adlandırılması

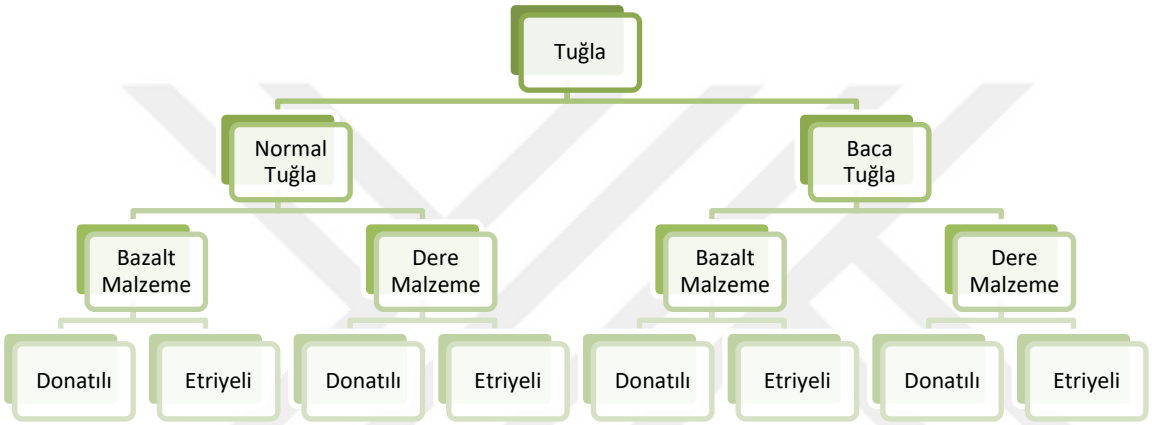
Çalışmada değişken olarak tuğla tipi (düşey delikli yığma tuğla, baca tuğla), beton malzeme cinsi (Diyarbakır bazaltı ve dere malzemesi ile üretilen beton), donatı ebatları ve donatılandırma şekli (1Ø12 ve 4Ø6 etriyeli), deney numunelerinin sayısı ebatları vs ile ilgili bilgiler yukarıda detaylı olarak verilmiştir. Deney numuneleri oluşturulurken tuğla malzeme baz alınarak, yani birinci sırada olmak üzere 4 basamakta kısaltma yapılarak adlandırma yapılmıştır. Çalışmada birinci sırada düşey delikli tuğla normal tuğla 'N', baca tuğla "B" diye adlandırılmıştır. İkinci sırada beton malzemede kullanılan agrega tipi baz alınmıştır. Bazalt malzeme için 'B', dere malzeme için 'D' kullanılmıştır. Üçüncü sırada donatı tipi baz alınmıştır. Tek donatılı (1Ø12) elemanlar için donatılı 'D' ve etriyeli (4Ø6 sargılı beton) için 'E' kullanılmıştır. Dördüncü sıra ise numune numarasını temsil etmektedir. Örneğin, NBD1, BDE2, NDE3, BBD4 sırasıyla normal tuğla bazalt malzemeli donatılı 1 nolu numune, baca tuğla dere malzemeli etriyeli 2 nolu numune, normal tuğla dere malzemeli etriyeli 3 nolu numune, baca tuğla bazalt malzemeli donatılı 4 no'lu numune (Şekil 3.28).



Şekil 3.28. Dört Basamakta Adlandırılan Yarı Rijit Numuneler

Numuneler çizelge 3.20'de görüldüğü sıra baz alınmıştır. Örn: NBD1., NBE1, NDD1, NDE1, BBD1, BBE1, BDD1, BDE1. Normal tuğla için dört parametre çalışılmıştır: Bazalt malzeme donatılı; bazalt malzemeli etriyeli; dere malzemeli donatılı; dere malzemeli etriyeli. Baca Tuğla için de aynı parametreler geçerli olup toplam 8 değişkenle çalışılmıştır.

Çizelge 3.20. Deney Değişken Konfigürasyonu



Her bir parametre için 12 adet numune üretilmiş olup, 48 adet normal tuğla için yarı rıjit elaman üretilmiştir (Şekil 3.29-a). Yine baca malzeme için aynı parametreler geçerli olup onlardan da 48 adet numune (Şekil 3.29-b) üretilmiş olup toplamda 96 adet yarı rijit eleman numunesi yapılmıştır (Şekil 3.29).

a: Bazalt Malzeme ile Üretilen 48 Adet Yarı Rijit Eleman



b: Dere Malzemeden Üretilen 48 Adet Yarı Rijit Eleman



Şekil 3.29. Yarı Rijit Elemanlar (a: Bazalt Malzeme İle Üretilen; b: Dere Malzeme İle Üretilen)

3.2.3.2. Yarı Rijit Elemanların Bakımı ve Korunması

Laboratuvar koşullarında üretilen 96 adet yarı rijit eleman, doğal koşullarında olması hedeflendiğinden deney yapılacakları güne kadar dış ortama bırakılmıştır. Beton dökümleri yapıldıktan sonra 24 saat hareket ettirilmeyen numuneler 24 saat sonunda bahçede isimlendirme olmasına rağmen ikı ayrı sıra halinde bazalt malzemeler bir tarafta dere malzeme ile üretilenler diğer tarafta olacak şekilde dizilmişlerdir. Yar rijit eleman numunelerinin özellikle beton kısımlarına gelecek şekilde düzenli bir şekilde hemen her gün sulanmışlardır (Şekil 3.30). Yağmurlu günlerde sulama yapılmamış olup deney yapılacak günden bir gün öncesinde ilgili numunelerde sulama kesilmiş, özellikle tuğla açısından içeriye alınarak kurumaya bırakılmışlardır. Numunelere tamamen betonarme eleman gibi davranılmasa da birçok koşulda beton muamelesi yapılmıştır. Çünkü çalışmanın başından beri aslında tuğlanın sadece kalıp görevi görmesi

hedeflenmiştir. Her ne kadar tuğlanın kalıp görevi görmesi hedeflense de dayanıma katkısı da değerlendirilmiştir. Kısacası numunelerin kürlenmesi betondan feyz alınarak yapılmıştır. Fakat tuğlanın da özellikleri göz ardı edilmemiştir.



Şekil 3.30. Yarı Rijit Elemanların Kürü

3.2.4. Deney Öncesi Gerekli Koşulların Oluşturulması

Bu kısımda deney gerçekleştirilmeden önce yapılan son aşamalar verilmiştir. Bu kapsamda, numune yüzeyleri deneye tabi tutulmadan önce düzeltilmiştir. Basınç deneylerinin yapılacağı deney cihazının iki yüzeyine yerleştirilmek üzere plakalar yapılmıştır. Oluşturulan yarı rijit elemanların tuğlaları kırılarak iç kısımlarındaki betonarme elemanlar deneye tabi tutulmak üzere hazırlanmışlardır.

3.2.4.1. Numune Yüzeylerinin Düzeltilmesi

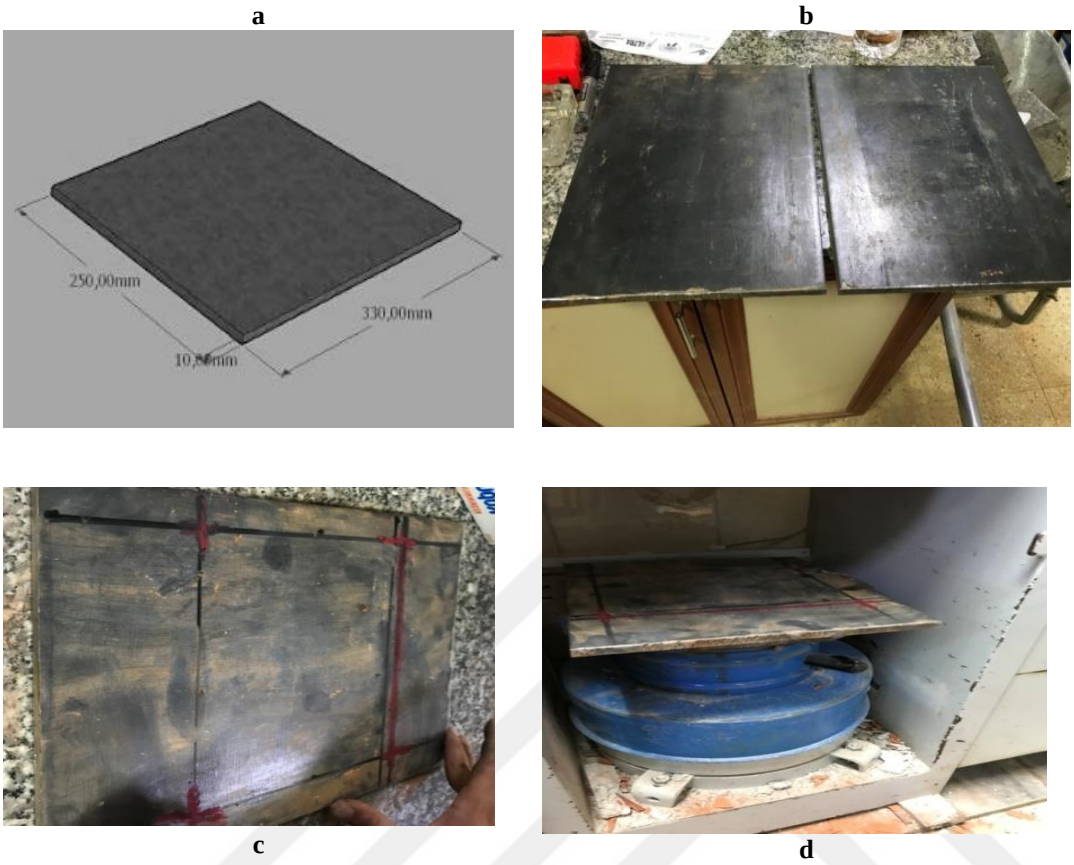
Deney öncesinde yüzeylerinde sıkıntı olan numunelerden, donatılı veya etriyeli yarı rijit ve içindeki betonarme elamanların yüzeyleri zımpara taşı veya hassas zımpara makinesi kullanılarak pürüzsüzleştirilmiştir (Şekil 3.31). Amaç, sürtünmesiz bir yüzey oluşturmak, yükün eşit şekilde yayılmasını sağlamak ve press makinasında meydana gelebilecek olası zararları önlemektir.



Şekil 3.31. Yarı Rijit Elemanların Yüzeylerinin Pürüzsüzleştirilmesi

3.2.4.2. Press Makinasının İki Yüzeyine Plaka Uygulaması

Sürtünmesiz düz yüzey oluşturmak ve yükü eşit bir şekilde dağılmasını sağlamak için 1cm kalınlığında 25x33cm ebatlarında 2 adet sac plaka yükleme deneylerinde alta ve üste konmak üzere yaptırılmıştır (Şekil 3.32-a). Aslında plakanın öncelikle yapılma sebebi tuğla ebatlarının değişken olması sebebi ile pres makinası ile tuğla elamanın arasında boşluk kalmasıdır. Pres makinasının ara mesafe parçaları bazı numuneler için (tuğla) yetersiz kalmasından dolayı plakalar üretilmiştir. Bütün elemanların koşullarının eşit şartlarda olması gerektiğinden, deneyi gerçekleştirilen tüm elemanların/numunelerin yüklemelerinde aynı plakalar kullanılmıştır. Kullanılan sac plakaların kendi içinde ayrı ayrı her bir tuğla tipi için (normal tuğla ve baca tuğla) ve beton malzeme için merkezleri alınmış ve numuneler plakları ortalayacak şekilde yerleştirilmiştir (Şekil 3.32-b,c,d).



Şekil 3.32. Sac plaka (a: 250x330x10mm ebatlarındaki plaka; b: Her iki yüzey için kullanılan (altlı üstlü) plakalar; c: Plakaların merkez ölçüsünün alınması,; d: Plakaların düzeneğe yerleştirilmesi)

3.2.4.3. Yarı Rijit Elemanların İçindeki Betonarme Elemanlar

Oluşturulan yarı rijit elemanların içindeki betonarme kısımların deneyi için tuğlalar kırma işleminden geçirilmiştir. Hem baca hem normal tuğla için 28. gün deneylerinde her bir parametre için 3'er eleman (12 adet numunenin 3 tanesi) tuğlanın içinden çıkarılmış yüzeylerinde sıkıntı olan elamanların yüzeyleri düzeltilerek deneyleri yapılmak üzere bırakılmıştır (Şekil 3.33).



Şekil 3.33. Yarı Rijit Numunelerin İçindeki Betonarme Elemanlar

3.2.5. Deney Düzeneğinin Oluşturulması

Çalışmanın bu kısmında deney düzeneğinin oluşturulmasına dair detaylar verilmiştir. Deneyde kullanılan ekipmanlar, araç gereçler v.s ile ilgili detaylar aşağıda verilmiştir.

3.2.5.1. Deneyde Kullanılan LVDT'ler

Deneylerde ölçüm almak için 3 adet 10 mm'lik, U Test firmasından temin edilen UTGM-0060, Lineer Potansiyometrik Boy Değişimi Ölçüm Sensoru (LVDT), 10 mm kullanılmıştır (Şekil 3.34). LVDT'lerin 2 tanesi düşeyde, 1 tanesi de yatayda deplasman almak üzere düzeneklere yerleştirilmişlerdir.



Şekil 3.34. Deneyde Kullanılan LVDT'ler

3.2.5.2. Deneyde Kullanılan Veri Toplama Sistemi ve Yazılımı

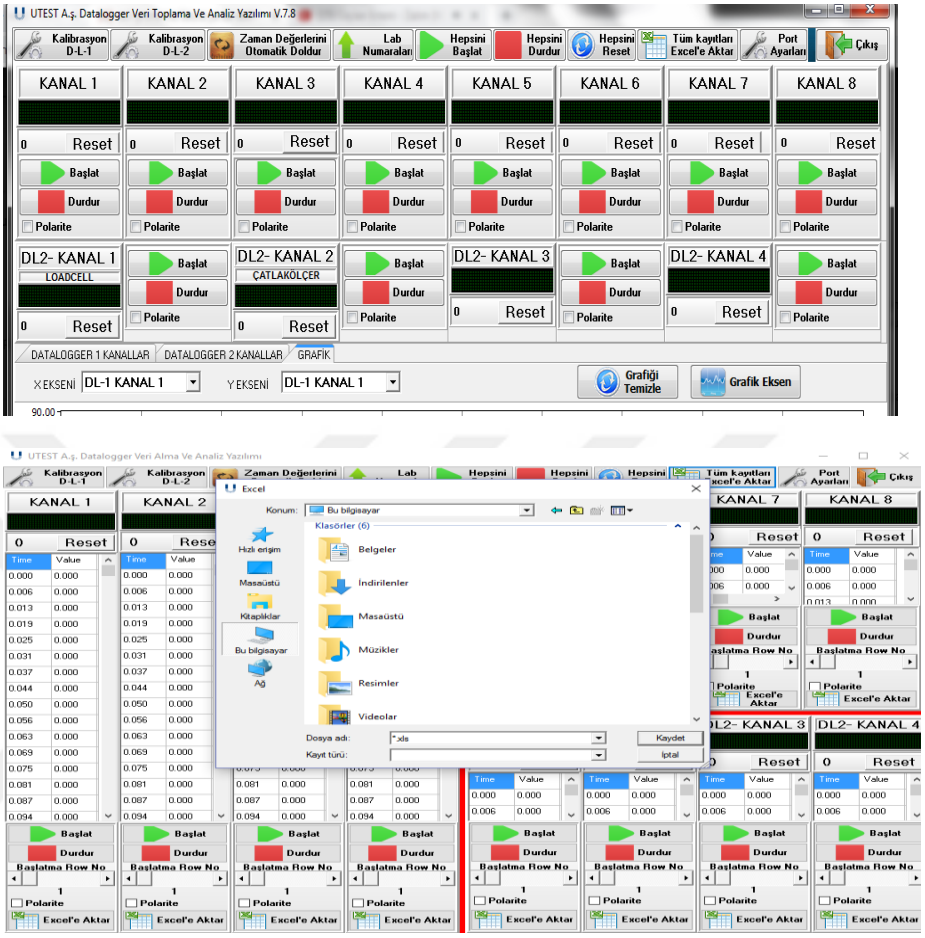
Deneylerde veri toplama sistemi olarak şekil 3.35'de görülen U Test firmasına ait 8 kanallı (UTG-0325) Statik Unilogger Veri Okuma Ünitesi kullanılmıştır. Çalışmada sadece 3 kanaldan veri alınmıştır. Verilerin bilgisayara aktarılması için U Test A.Ş. Genel Datalogger Yazılımı versiyon 7.8 kullanılmıştır. Numunelere yerleştirilen LVDT'lerden 2 adet düşey 1 adet yatayda olmak üzere belirli saniye aralıklarında alınan deplasmanlar, veri toplama cihazının (datalogger) ilgili kanalına takılıp bilgisayara aktarılmıştır.



Şekil 3.35. Deneylerde Kullanılan Veri Toplama Sistemi (8 Kanallı Datalogger)

Datalogger'dan veri almak için hazırlanmış datalogger yazılımının arayüzü ve ara yüzdeki parametrelerle ilgili gerekli açıklamalar aşağıda verilmiştir. Program tarafından belirli zaman aralıklarıyla alınan veriler otomatik olarak alt alta

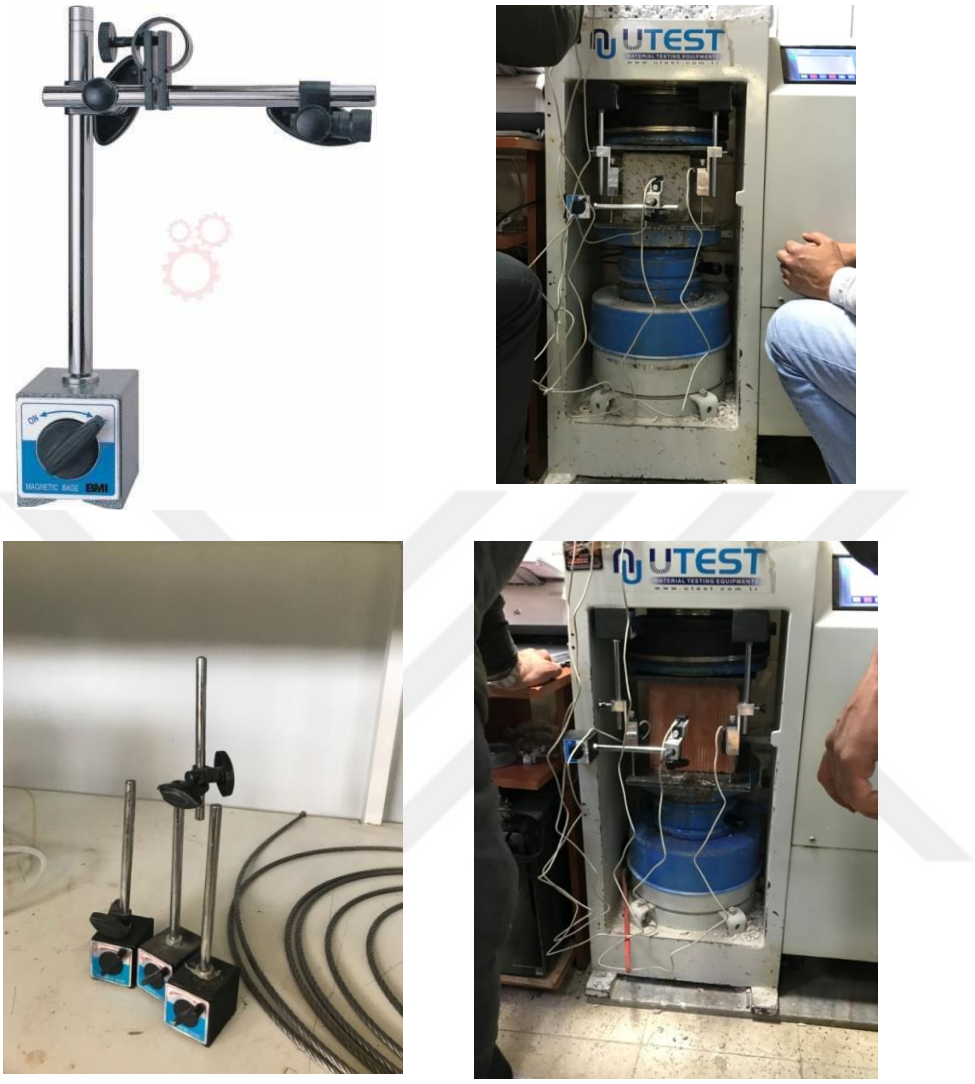
kaydedilmiştir. Deney sonunda veriler excel ortamına aktarılmış olup kayıt altına alınmıştır (Şekil 3.36).



Şekil 3.36. Veri Toplama Sistemindeki Yazılımının Arayüzü

3.2.5.3. Deneylerde Kullanılan Manyetik Ayaklar

Deney numunelerinde yükleme altında çerçevesiz ölçüm alınacak numuneler için 3 adet mıknatıs kullanılmıştır. Deney numunelerinin merkezleri plakaların merkezine çakıştırılacak şekilde yerleştirilmiştir. Numune merkezine eşit uzaklıkta düşey ve yatayda deplasman almak için numunenin ön yüzeyinin merkezine yerleşecek şekilde LVDT'lerin sabitlendiği mıknatıslar press makinasına konumlandırılmışlardır. Manyetik ayaklar press makinasının çelik kısmına yatayda bir ölçüm (LVDT ile) düşeyde 2 ölçüm alacak şekilde Şekil 3.37'deki gibi yerleştirilmişlerdir.



Şekil 3.37. Deney Düzeneğinde Kullanılan Manyetik Ayaklar

3.2.5.4. Deneylerde Kullanılan Press Cihazı

Yarı Rijit numunelerin basınç dayanımı U Test firmasına ait UTC-4231, 2000kN Otomatik Basınç Dayanım Deney Presi TS EN, 220-240 V 50-60 Hz ile yapılmıştır (Şekil 3.38). Koşullar eşit olsun diye boş tuğla, taze beton, çerçeveli ve çerçevesisz sistemli tüm yarı rijit elemanların kırımı 0.6 kN/sn hızla gerçekleştirilmiştir.

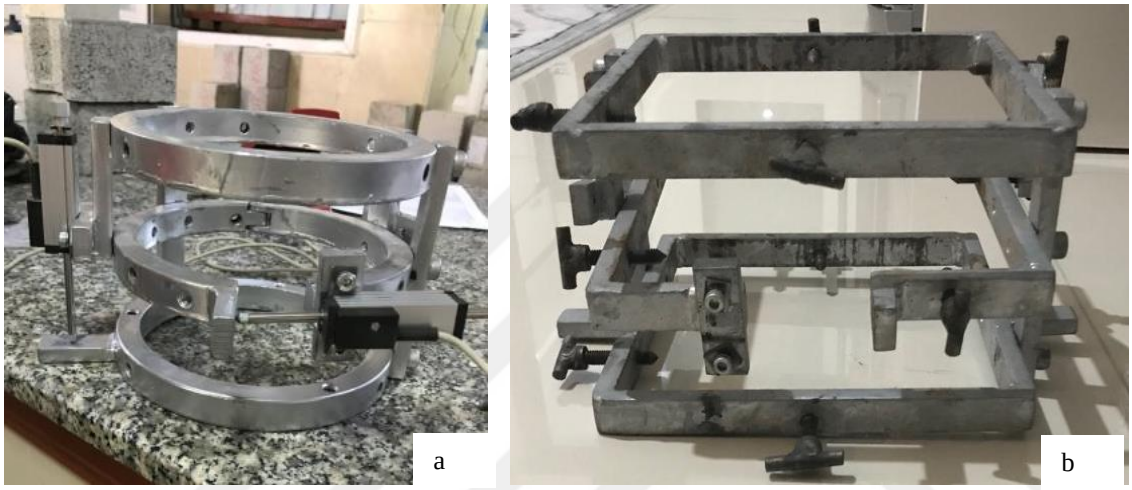


Şekil 3.38. Numune Tiplerinin Basınç Dayanım Presi ile Deneylerinin Gerçekleştirilmesi

Şekil değiştirme değerleri veri toplama sistemi ile bilgisayara aktarılmıştır ve yine eş zamanlı olarak yer değiştirmeye (deplasmana) denk gelen yük değerleri alınmıştır. Yükleme altında kuvvet-alan ilişkisine göre bulunan dayanımlara bağlı olarak, dayanım (σ), ve yine şekil değiştirmelere bağlı olarak birim şekil değiştirme (ϵ) değerleri bulunmuştur. Bu değerler doğrultusunda numunelerin gerilme (σ)- birim şekil değiştirme (ϵ) diyagramları çizilmiştir.

3.2.5.5. Deneyde Kullanılan Çerçeveler

Deneylerde kullanılmak üzere Şekil 3.39'da gösterilen biri silindir, biri dikdörtgen olmak üzere iki adet çerçeve yaptırılmıştır. Çerçeveler C 469 standartlarına uygun olarak üretilmiş olup faydalı model olarak bundan sonraki çalışmalara katkı sunacağı düşünülmektedir. Çerçevelerinin ikisi de kompressormetre ve ekstensometre özelliğine sahip olup ilgili standarda uygun olarak üretilmiştir,



Şekil 3.39. Deneylerde Kullanılan Çerçeveler (a: Silindir Çerçeve; b: Dikdörtgen Çerçeve)

3.2.6. Faydalı Modellerin Oluşturulması

C 469 standartlarına uygun üretilen dikdörtgen çerçeve ile boş baca tuğla testleri yapılmıştır. Üretilen silindir çerçeve ile de baca tuğlanın içindeki silindirik betonarme elaman test edilmiştir. Diğer elemanlar çerçevesiz test edilmiştir; çünkü eleman boyutları C 469 standardına göre çerçeve yapma koşullarını sağlamadığından diğer yöntemle ölçülmüştür. Tüm elemanlara yerleştirilen 2 düşey (kompresormetre) bir yatay (ekstansometre) LVDT'lerden alınan deplasmanlar veri toplama sistemi ile bilgisayara aktarılmışlardır.

3.2.6.1 ASTM C 469 Standardına Göre Test Metotları ve Düzenekleri

Bu test metodu sertleşmiş betonun herhangi bir yaşta ve kür koşullarında, gerilme şekil değiştirme oranı (elastisite modülü) değerlerini ve şekil değiştirmenin yanalın düşeye oranı (poisson oranı) olan değerlerinin belirlenmesini sağlar. Elastisite modülü E, poisson oranı v olmak üzere denklem 3.17 ve 3.18'deki gibi ifade edilmektedirler.

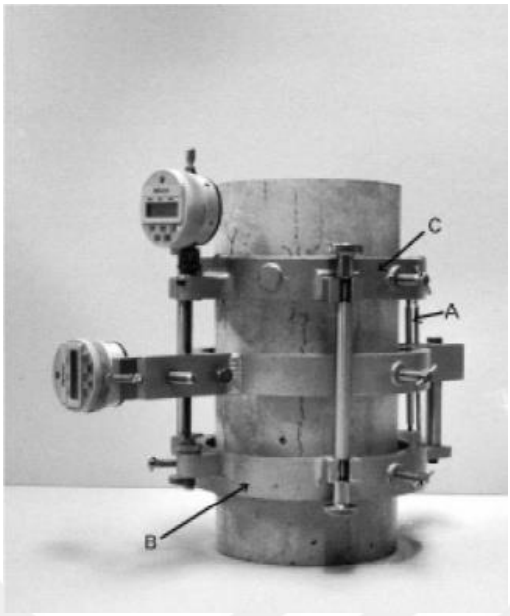
$$E = \frac{\sigma}{\epsilon} \qquad 3.17$$

$$v = -\frac{\epsilon_{enine}}{\epsilon_{eksenel}} \text{ şeklinde ifade edilir.} \qquad 3.18$$

ASTM C 469 standartlarına göre basınç altında elastisite modülü ve poisson oranı standart test metotları için kullanılacak kompresometre ve ekstensometre aşağıdaki kriterlere uygun olarak gerçekleştirilmelidir:

Kompresometre

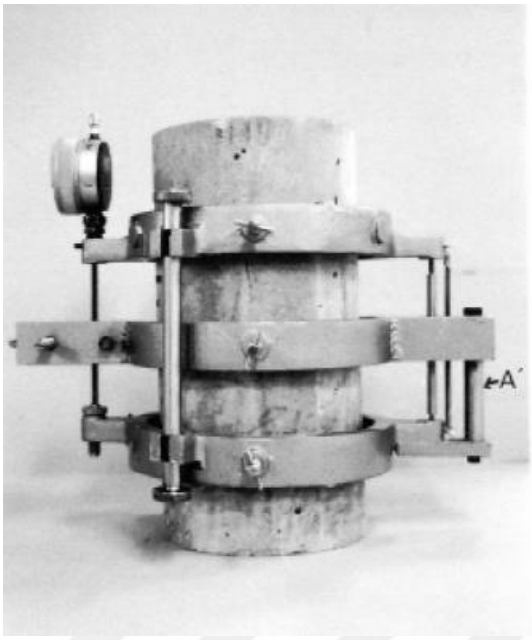
Elastisite modülünün belirlenmesi için bağlı veya bağlanmamış bir algılama cihazı kullanır. Cihaz iki çapsal karşıt ölçüm hattının ortalama deformasyonunu ölçer. Her biri eksene paraleldir ve her biri numunenin orta kısmını ortalar. Her bir ölçü hattının etkin uzunluğu, betondaki agreganın maksimum büyüklüğünün üç katı veya numunenin yüksekliğinin üçte ikisinden daha az olmamalıdır. Ölçü çizgisinin tercih edilen uzunluğu, numunenin yüksekliğinin yarısı kadar olmalıdır. Numuneye gömülmüş veya çimentolanmış ölçü noktaları kullanılır ve iki çizginin bağımsız olarak deformasyonu okunur. İki kelepçeden oluşan kompresometre kullanılır (Şekil 3.40). Bunlardan bir tanesi şekil 3.40'daki B noktasındaki gibi numuneye rijit bir şekilde bağlı olmalıdır. Diğeri çapraz noktalardan bağlı olmalıdır ki dönmeye karşı serbest olsun Şekil 3.40 C noktası. Dönen kelepçenin çemberi üzerindeki bir noktada, iki destek noktası arasında orta bölgede, iki kelepçe arasında sabit bir mesafeyi korumak için şekil 3.40 A noktasındaki gibi bir eksen çubuğu kullanılır (ASTM C469).



Şekil 3.40. Kompresometre (C469)

Ekstensometre

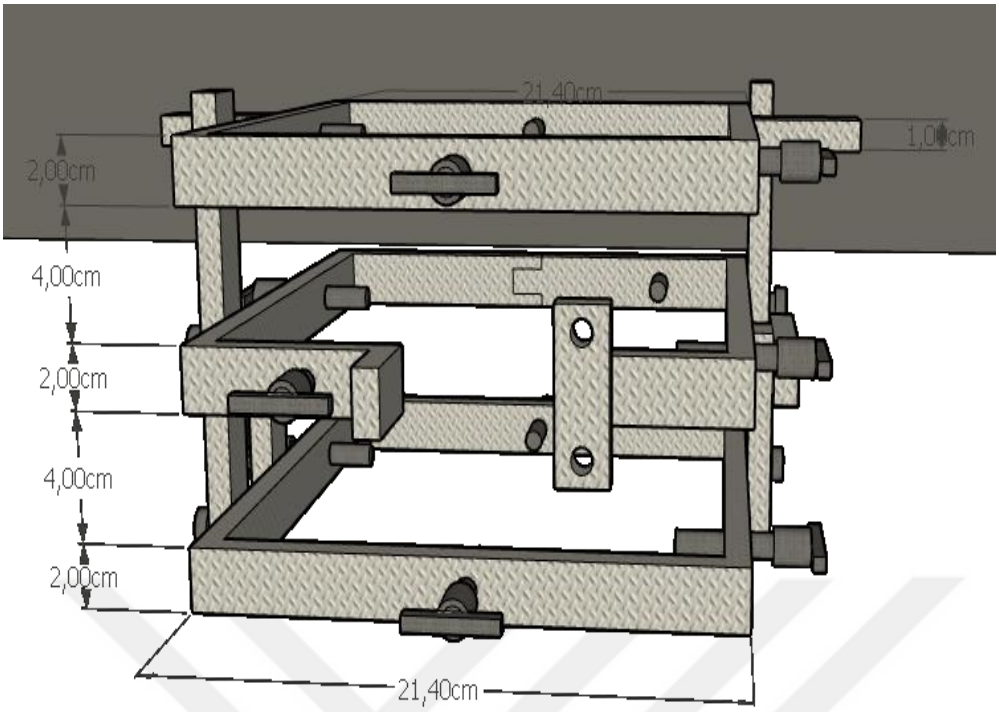
Poisson oranı istenirse, enine gerinim ölçüm yapabilen bağlanmamış bir ekstansometre kullanılmalıdır. Numunenin orta yüksekliğindeki çaptaki değişim veya numunenin orta yüksekliğinde çapsal olarak zıt noktalarda çevresel olarak monte edilmiş ve çevresel gerilimi en yakın 5 milyonuncu değeri ölçebilen iki bağlı gerinim ölçerle belirlenmelidir. Uygun kombine kompresometre ve ekstansometre bağlanmamış bir cihazdır (Şekil 3.41.). Bu aparat iki kompresometre boyunduruğunun arasına (orta kısmına) yerleştirilmiş ve numuneye çapraz noktalardan bağlanmış üçüncü boyunduruğu (iki eşit parçadan oluşan) içermelidir. Bu noktalar arasına (orta kısmına) alt ve orta boyunduruklar arasında sabit bir mesafe sağlamak için uzun pivot çubuğuna bitişik kısa bir pivot çubuk kullanılır (Şekil 3.41 A^1 noktası). Yatay düzlemde boyunduruğunun iki parçasının dönüşüne izin vermek için orta boyunduruğun pivot noktasına mafsal yapılmalıdır (ASTM C469)



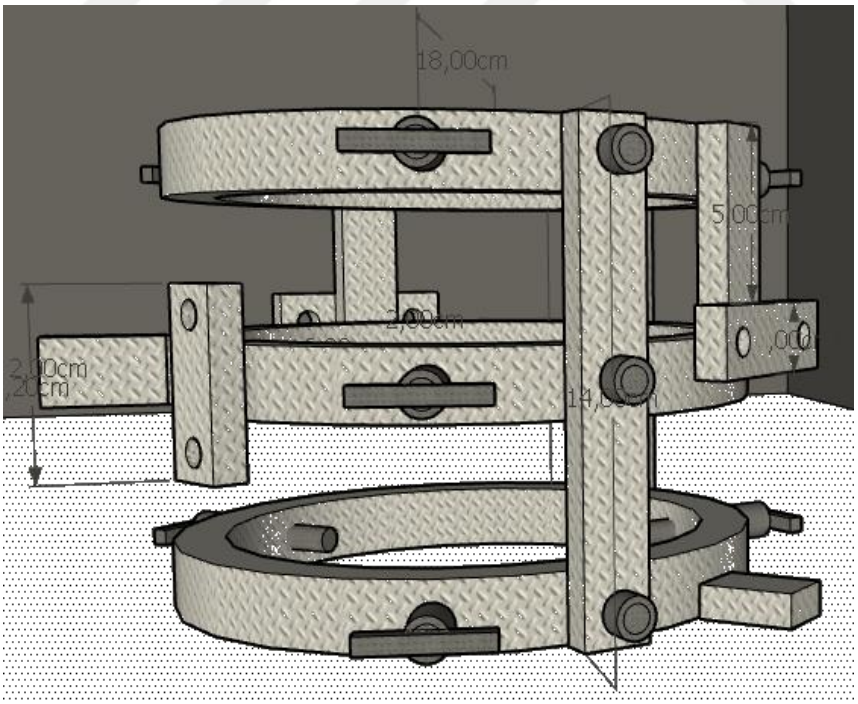
Şekil 3.41. Uygun Kombine Kompresometre–
Ekstensometre (C469)

3.2.6.2. Standarda Uygun Üretilen Kombine Kompresometre–Ekstensometreler

Çalışma kapsamında silindir ve dikdörtgen olmak üzere iki adet çerçeve eleman yapılmıştır. Çerçeve sistemler ASTM C 469 standartlarına uygun kombine kompresometre–ekstensometre olarak üretilmişlerdir (Şekil 3.42 ve 3.43). Normal tuğla yüksekliğinin (135 mm) az olmasından dolayı, standart koşullarını da sağlamak adına çok küçük yapılması gerektiğinden, ölçüm alınacak aralığın çok aza düşeceği ve bu şekilde bir çerçeve sistem oluşturulamadığından normal tuğla için yapılamamıştır. Normal tuğla için ölçümler press cihazına manyetik ayaklarla konumlandırılan LVDT'ler yardımı ile düşeyde iki yatayda tek olmak üzere ölçümler alınarak yapılmıştır.



Şekil 3.42. Standartlara Uygun Üretilen Kombine Dikdörtgen Kompresometre-Ekstensometre



Şekil 3.43. Standartlara Uygun Üretilen Kombine Silindir Kompresometre-Ekstensometre

3.3. Deneyler

Çalışmanın bu kısmında yapılanan deneyler, bu deneylere ait materyal ve metotlar detaylı olarak verilmiştir. Diyarbakır bazalt ve dere malzemeleriyle üretilen C25 betonlardan alınan numunelerin 7, 28, 90 ve 128. günlerdeki basınç altında kırılma deneyleri gerçekleştirilmiştir. Deplasmanlar (yatay ve düşey) düzenek kurularak LVDT'ler kullanılarak veri toplama cihazı ile bilgisayara aktarılmıştır. Daha sonra aynı yöntemle boş normal tuğla, donatılı /etriyeli beton dolgulu normal tuğla, normal tuğla ve baca tuğla donatılı /etriyeli beton dolgulu deneyleri gerçekleştirilmiştir. Boş baca tuğla ve baca tuğla içindeki silindir yapıdaki betonarme elemanların (betonarme koloncuk) çerçeve elemanlarla deneye tabii tutulmuştur. Deney koşulları tüm deney numuneleri için aynı tutulmuştur. Aynı pres makinesinde, aynı hızda, eşit zaman aralıklı deplasman okumaları alınarak ve her numunenin altına ve üstüne sac plaka bırakılarak yapılmıştır.

3.3.1. Beton Çekme Dayanımlarının Belirlenmesi

Betonda oluşan çekme kuvvetlerini beton karşılayamaz, çekme kuvvetlerini karşılamak ve çatlakları sınırlamak için çekme bölgelerine çelik donatılar yerleştirilir. Betonun çekme dayanımı, betonda şekil değiştirmelere ve kırılmalara karşı betonun gösterdiği direnç olarak kabul edilmektedir. Bu şekil değiştirme ve kırılmaya çekme etkisindeki kuvvetler sebep olmaktadır. Genellikle betona gelen basınç ve eğilme kuvvetleri betonda çekme kuvvetlerini açığa çıkarmaktadır. Yönetmeliklerdeki amprik formüller aşağıdaki gibidir. Betonun çekme dayanımı için aşağıdaki bağıntı kullanılmıştır. fc' ve fc ile ft've f_{ctf} sırası ile betonun basınç ve çekme dayanımlarını ifade etmektedirler (Denklem 3.19 ve 3.20). f_{ctk} betonun karakteristik çekme dayanımı olmak üzere, f_{ck} karakteristik silindir basınç dayanımına bağlı olarak denklem 3.21'de verilmiştir.

$$f_{t'} = 1/3*\sqrt{fc'} \quad \text{ACI 318} \quad (1996) \qquad 3.19$$

$$f_{ctf} = 0.63\ \sqrt{fc} \quad \text{ACI 318} \quad (1996) \quad \text{(Eğilme Çekme Dayanımı)} \qquad 3.20$$

$$f_{ctk} = 0.35\sqrt{f_{ck}} \quad \text{TS 500} \quad (2000) \quad \text{(Eksenel Çekme)} \qquad 3.21$$

Betonun karakteristik çekme dayanımı, eksenel çekme elemanı deneylerinden elde edilecek dayanımın, bu değerden az olma olasılığı belirli bir oran olan (genellikle

%10) dayanım değeridir. Üretilen C25 beton için beton çekme dayanımları çizelge 3.21'de verilmiştir.

Çizelge 3.21. Üretimde Kullanılan Betonun Çekme Dayanımı

Yönetmelik	C25 Beton Numunelerinin Beton Çekme Dayanımları (MPa)
ACI318-99	1.65
ACI318-95 (Eğilme Çekme Dayanımı)	3.15
TS500 (Eksenel Çekme)	1.75

3.3.2. Elemanların Elastisite Modüllerinin Belirlenmesi

Çalışmada tuğla malzemenin, beton numunelerin, betonarme elemanların ve yarı rijit elemanların elastisite modülü tayinleri deneysel olarak yük-deformasyon eğrisinden faydalanılarak bulunmuştur. Malzemelerin karakteristik özelliği olarak bilinen elastisite modülü şekil değiştirmeye karşı direnç olarak tanımlanabilir. Elastisite modülü arttıkça malzemelerin rijitliği artmakta, şekil değiştirebilme kabiliyetleri azalmaktadır. Kısacası elastisite modülü, malzemeye uygulanan kuvvet sonucu ortaya çıkan şekil değiştirme arasındaki bağıntıdır. Malzemelerin gerilme-şekil değiştirme diyagramları elastik bölgede lineer bir davranış göstermektedir. Malzemenin gösterdiği bu davranış ilk kez İngiliz bilim adamı Robert Hooke tarafından yaylar kullanılarak bulunmuştur. Lineer elastik malzemelerde ve kompozit malzemelerin elastik bölgelerinde Hooke kanunları geçerli olup denklem 3.22 kullanılmaktadır. E, elastisite modülü (MPa) lineer kısmın eğimidir. Popovic 1992'de elastisite modülünü, gerilmenin kendisine karşılık gelen deformasyona oranı olarak ifade etmiştir.

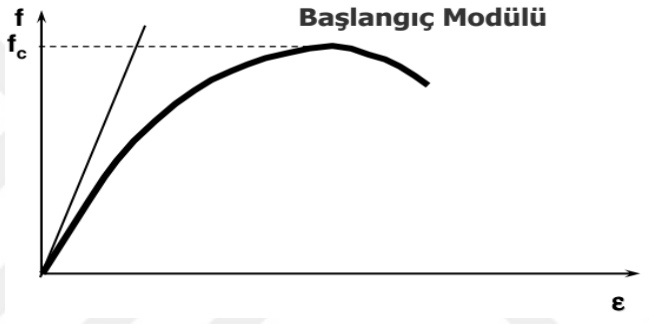
$$\sigma = E\,\varepsilon\ ; \qquad \text{Hooke Yasası} \qquad 3.22$$

Elastisite modülünün bulunması 3 yöntemle yapılabilmektedir: malzemenin gerilme–deformasyon eğrisi kullanılarak, rezonans frekansı veya ultra ses frekansı yöntemleriyle. Beton için en çok kullanılan elastik sabit elastisite modülüdür. Bu

çalışmada malzemelerin elastisite modülü hesap tahminleri, gerilme-birim şekil değiştirme eğrisinden faydalanılarak bulunmuştur. Betonun elastisite modülü tayini için gerilme- birim şekil değiştirme diyagramındaki elastisite modülleri tanımlanmaktadır. Elastisite modülü başlangıç, teğet ve sekant modülleri olmak üzere 3 yöntemle tanımlanmıştır.

3.3.2.1. Başlangıç Modülü

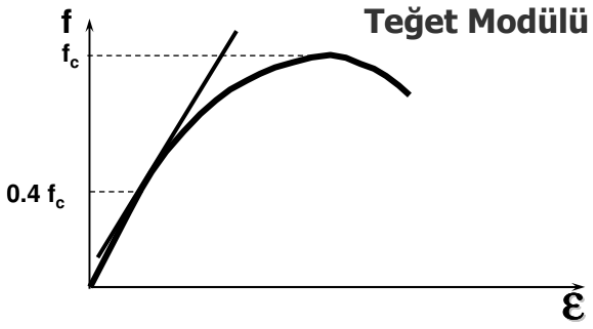
Dinamik modül olarak da bilinmektedir. Gerilme– birim şekil değiştirme diyagramının başlangıç noktasına çizilen teğetin eğimidir. Bu modül genellikle düşük gerimeler altında kullanılmaktadır. Bu modüle ait diyagram şekil 3.44'de verilmiştir.



Şekil 3.44. Başlangıç Modulu Gerilme-Şekil Değiştirme Diyagramı

3.3.2.2. Teğet Modülü

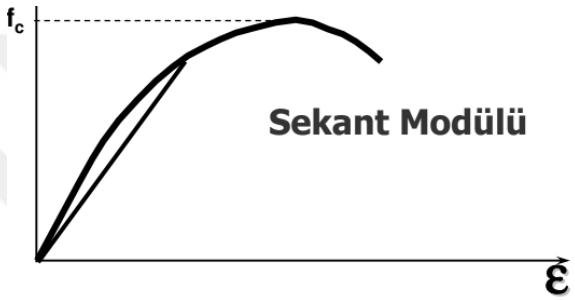
Gerilme- birim şekil değiştirme diyagramının herhangi bir noktasına çizilen teğetin eğimi olarak kabul edilmektedir (Şekil 3.45). Genellikle teğet gerilmenin 0,4'üne denk gelecek şekilde çizilir.



Şekil 3.45. Teğet Modülü Gerilme-Şekil Değiştirme Diyagramı

3.3.2.3. Sekant Modülü

Gerilme- birim şekil değiştirme diyagramında başlangıç noktası ile herhangi bir gerilmeye denk gelen noktaya çizilen doğrunun eğimi olarak kabul edilir (Şekil3.46). Bu modül betonun dayanımına yakın gerilmelere maruz kaldığı durumlarda kullanıldığından çalışmada sekant modülü kullanılarak elastisite modülü bulunacaktır. Sekant modülünün hesaplandığı gerilme değeri, dayanımın belirli bir değeri olarak ele alınmalıdır. Örneğin Amerikan Standartlarında dayanımın % 40'ı olarak ele alınmaktadır



Şekil 3.46. Sekant Modülü Gerilme-Şekil Değiştirme Diyagramı

Fakat malzemelerdeki gerilme-birim şekil değiştirme eğrilerinin doğrusal olmamasından kaynaklı, elastisite modulünün hesaplanmasında sıkıntı yaşanmaktadır. Bu sebeple elastisite modülünün hesaplanmasında farklı yaklaşımlar geliştirilmiştir ve birçok çalışma yapılmıştır. Bunlardan en belirginleri Voellmy (denklem 3.23 ve 3.24) ve Smith ve Young (denklem 3.25 ve 3.26) bağıntılarıdır. σ–ε eğrisi için, fonksiyonların ε'ya göre türevi ε = 0 için betonun elastisite modulünü verir.

Voellmy Bağıntısı $$f = f_c \frac{\varepsilon}{\varepsilon_0}\left(2 - \frac{\varepsilon}{\varepsilon_0}\right) \quad 3.23$$

$$E = 2\frac{f_c}{\varepsilon_0} \quad 3.24$$

Smith ve Young Bağıntısı : $f = f_c \frac{\varepsilon}{\varepsilon_0} e^{\left(1-\frac{\varepsilon}{\varepsilon 0}\right)}$ 3.25

$$E = e \frac{f_C}{\varepsilon_0} \quad 3.26$$

Çalışmada elamanların dayanım-birim şekil değiştirme diyagramlarını 'Voellmy ya da Smith ve Young parabolleri' ile simgelersek Voellmy ve Smith ve Young bağıntılarının ε'ya göre türevleri alınıp ε= 0 için yukarıdaki (3.24 ve 3.26) denklemleri kullanılarak elastisite modulu değerleri hesaplanabilmektedir. f_c, max dayanımı (MPa) ifade ederken; ε_0 tepe noktasına denk gelen birim şekil değiştirme, e ise emniyet katsayısını ifade etmektedir. Çalışmamızda 2.5 alınmıştır.

Nevile (1995) çalışmasında Desayi ve Krishnan tarafından önerilen 3.27'deki denklemi en verimli denklem olarak kullanmıştır. Denklemde; ε, birim şekil değiştirme, ε_0; maximum dayanımdaki birim şekil değiştirmedir. E (elastisite modulus) ise ilk tanjant modulus olarak ifade edilmek üzere denklem 3.28'deki gibi verilmiştir.

Desayi ve Krishnan : $\sigma = \frac{E.\varepsilon}{1+(\frac{\varepsilon}{\varepsilon_0}^2)}$ 3.27

$$E = \frac{2\sigma_{max}}{\varepsilon_0} \quad 3.28$$

Demirel ve Şimşek (2014) yaptıkları çalışmada betonun elastisite modülünün deneysel ve teorik olarak incelemişlerdir. Çalışmalarında çerçeve eleman ile ölçtükleri betonarme silindir elemanların elastisite modülünü 3.29'deki denklemi kullanarak bulmuşlardır. Çalışmada σ_1'i 0.00005 mm'ye denk gelen gerilme olarak almışlardır. σ_2 yi ise maksimum yükün % 40'ına denk gelen gerilme (MPa) olarak hesaplamışlardır. Teorik hesaplamalarda yönetmeliklerdeki formülleri kullanmış ve deneysel sonuçlarla kıyaslamışlardır.

$$E = \frac{\sigma_2-\sigma_1}{\varepsilon_2-\varepsilon_1} \quad 3.29$$

Bilir (2016), çalışmasında referans çalışmadan elde edilen serilerin elastisite modulu tahminlerini yapmıştır. Çalışmada deneysel sonuçları ve amprik formülleri kullanarak elastisite modellerini karşılaştırmış, elastisite modülünün tahminine en yakın modeli belirlemiştir. Çalışmada elastisite modulu hesabı için birçok model (Voigt,

Reuss, Hirsch-Dougill, Popovics v.b Modeli), standart (Eurocode2, TS500 vb.), yönetmelik (ACI v.b) ve uluslararası komite (CEB- FIB) verilerini kullanmıştır.

Çalışmada kullanılan beton için yönetmeliklere göre elastisite modül hesaplamaları denklem 3.30, 3.31, 3.32, 3.33 ve 3.34'de verilmiştir. TS500'e göre f_{ckj} (N/mm^2): betonun j. gündeki karakteristik basınç dayanımı, E_{cj} ise j gündeki elastisite modülünü ifade etmektedir.

$E_{cj} = 3250\sqrt{f_{ckj}} + 14000$ TS 500 (2000) 3.30

$Es = 3320\ \sqrt{f_c} + 6900$ ACI 363 (1994) 3.31

$Ec = 4700\ \sqrt{f_{cc}}$ ACI 318-08 (2008) 3.32

$E = 22000\ \left(\frac{f_{cm}}{10}\right)^{0,3}$ Eurocode 2 (2004) 3.33

$E = 9100\ \sqrt[3]{fc};$ BSI (1972) 3.34

Çalışma kapsamında tanımlanan yarı rijit elemanların tuğla malzeme ve donatılı betondan oluşması sebebi ile daha öncede değinildiği üzere kompozit olarak değerlendirilmiştir. Denklem 3.35'de kompozit malzemenin elastisite modulu hesabı verilmiştir.

$$E_{kompozit} = \frac{E_{tuğla} x A_{tuğla} + E_{donatı} x A_{donatı} + E_{beton} x A_{beton}}{Atoplam} \quad 3.35$$

Denklem 3.35'deki $E_{tuğla}$ için; çalışma kapsamında çerçevesiz deney sonuçlarından alınan ortalama veriler doğrultusunda normal ve baca tuğlalar için sırası ile 3394 ve 3234ve MPa kullanılmıştır. $A_{tuğla}$ ise normal tuğla (290x190 mm) ve baca tuğlalar (190x190 mm) için sırası ile 55100 mm^2 ve 36100 mm^2 olan alanlarından beton ve donatı ile dolan alanların çıkarılması ile 43550 ve 24791 mm2 bulunmuşlardır. $E_{donatı}$ her iki donatı içinde (12 mm ve 6 mm donatı çapına sahip çelik çubuklar) 200000 N/mm^2 alınmıştır. $A_{donatı}$ ise yine aynı donatı alanına sahip olmaları sebebi ile iki tuğla ve donatı tipi içinde eşit olmak üzere daha önce hesaplandığı şekliyle 113,09 mm^2 alınmıştır. E_{beton} T500'e (2000) göre C25 beton için 30000 MPa olan değeri alınmıştır. A_{beton} hesaplanırken ise tuğlaların betonarme kısmının olduğu alandan donatı alanı

çıkarılarak hesaplanmıştır. Şöyle ki normal tuğla her bir boşluk için betonarme alanı 5775 mm^2 olduğu (bknz denk. 3.12) baca tuğla için 11309,7 mm^2 (bknz denk. 3.9) daha önce hesaplanmıştır. A_{beton}, donatı alanları çıkarılması ile normal tuğlada herbir boşluk için beton alanı 5661 mm^2 baca tuğla için ise 11196 mm^2 bulunmuştur. A_{toplam} ise normal tuğla için ($A_{normaltuğla}$+ $A_{donatı}$+$A_{normaltuğlabeton}$) 55100 mm^2 ve baca tuğla için ($A_{bacatuğla}$+ $A_{donatı}$+$A_{bacatuğlabeton}$) ise 36100 mm^2 alınmıştır. Normal tuğla için denklem 3.36'ya göre hesaplanan $E_{komp.normaltuğla}$ (normal tuğla ile oluşturulan kompozit malzemenin elastisite modülü, MPa) değeri denklem 3.37'de verilmiştir. E_{NT}; Normal tuğla elastisite modülü (MPa), A_{NT}; Normal tuğla alanı (mm^2), E_D; Donatının Elastisite modülü (MPa), A_{NTKD}; Normal tuğla ile oluşturulan kompozitin donatı alanı (mm^2), E_B; Betonun Elastisite modülü (MPa), A_{NTKB}; Normal tuğla ile oluşturulan kompozitin beton alanı (mm^2) olmak üzere:

$$E_{komp.normal\ tuğla=} = \frac{E_{NT}xA_{NT}+E_DxA_{NTKD}+E_BxA_{NTKB}}{\Sigma A_{NTK}} \qquad 3.36$$

$$E_{komp.normaltuğla} = \frac{3394x43550 + 200000x(113,09x2) + 30000x11323,82}{55100}$$

$$= 9669MPa \qquad 3.37$$

Baca tuğla için $E_{komp.bacatuğla}$; Baca tuğla ile oluşturulan kompozit malzemenin elastisite modülü (MPa), E_{BT}; Baca tuğla elastisite modülü (MPa), A_{BT}; Baca tuğla alanı (mm^2), E_D; Donatının Elastisite modülü (MPa), A_{BTKD}; Baca tuğla ile oluşturulan kompozitin donatı alanı (mm^2), E_B; Betonun Elastisite modülü (MPa), A_{BTKB}; Baca tuğla ile oluşturulan kompozitin beton alanı (mm^2) olmak üzere denklem 3.38'e göre hesaplanan sonuçlar denklem 3.39'da verilmiştir.

$$E_{komp.baca\ tuğla=} = \frac{E_{BT}xA_{BT}+E_DxA_{BTKD}+E_BxA_{BTKB}}{\Sigma A_{BTK}} \qquad 3.38$$

$$E_{komp.baca\ tuğla} = \frac{3234x24791 + 200000x113,09 + 30000x11196,96}{36100} =$$

$$= 12151{,}58\ \text{MPa} \qquad 3.39$$

Kompozit malzeme olarak ele aldığımız yarı rijit malzemenin elastisite modülüne ($E_{kompozit}$) dair sonuçlar deney sonuçları ile karşılaştırmalı olarak bir sonraki bölümde verilmiştir.

3.3.3. Beton Basınç Deneyleri

Sertleşmiş beton ve diğer elemanların (tuğla, yarı rijit, betonarme elemanlar) numene deneylerinde, TS EN 12390-3, 12390-4, BS 1881 ve ASTM C39 standardına uygun olan UTEST 2000 kN otomatik basınç deney presi UTC-4231 kullanılmıştır (Şekil 3.47). TS500'e göre 'Gerektiğinde basınç dayanımı, küp deneylerinden de elde edilebilir. Böyle durumlarda, karakteristik basınç dayanımı fck, geçerliliği deneylerle kanıtlanmış katsayılarla dönüştürülür. Bu amaçla, C25 beton sınıfına ait boyutları 200 mm olan küp için basınç dayanımı 30 MPa için, karakteristik basınç dayanımı fck: 25 MPa kabul edilmektedir. Boyutları 150 mm olan küp için bu değerler yaklaşık olarak %5 artırılır' demektedir. Bu sebeple araştırma bulguları bölümünde verilen beton basınç dayanımı sonuç çizelgesinde C25 betonun karakteristik basınç dayanımını küp basınç dayanımının 0.80 alınmış şekliyle de verilmiştir.



Şekil 3.47. Otomotik Basınç Deney Presi

Beton numunelerin merkezleri belirlenerek oluşturduğumuz sistemle düşeyde iki yatayda bir ölçü alacak şekilde yerleştirilen LVDT'lerden alınan deplasman ölçümleri veri toplama sistemi yardımı ile bilgisayara aktarılmıştır. Diyarbakır bazalt malzeme ve dere malzemeden alınan her bir gün için 3'er adet olmak üzere 12 tane, toplam 24 adet taze beton numuneleri 7, 28, 90 günlerde 0.6 kN/sn hızla düşey ve yatayda ölçüm alınarak kırılmışlardır (Şekil 3.48 ve 3.49).



Şekil 3.48. Taze Beton Numunelerinin İlgili Gününde Düzenekte Kırılması



Şekil 3.49. Kırılan Sertleşmiş Beton Numuneleri

Bazalt ve dere malzeme ile oluşturulmuş sertleşmiş beton numunelerinin 28 günlük beton basınç dayanım sonuçlarına göre elastisite modülleri %40 sekant modülüne göre elde edilmiştir. Daha sonra sekant modülü sonuçları çizelge 3.22'de görülen elastisite modülü amprik formülleri ile kıyaslanmışlardır.

Çizelge 3.22. Elastisite Modulü Hesaplarında Kullanılan Formüller

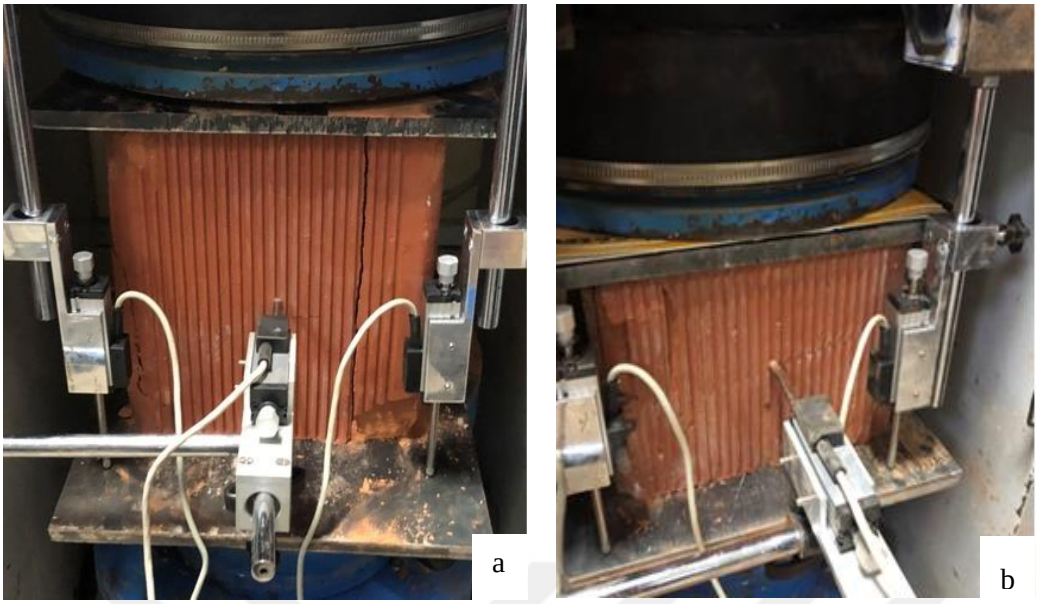
Yöntem	Formül
TS 5OO	$E_{cj}=3250\sqrt{f_{ckj}}+14000$
ACI 363	$Es=3320\sqrt{f_c}+6900$
ACI 318	$E=4700\sqrt{f_c{}^{t}}$
Eurocode 2	$E=22000\ (\frac{f_{cm}}{10})^{0,3}$
BSI 72	$E=9100\sqrt[3]{fc}$
Voellmy Bağıntısı	$E=2\frac{f_c}{\varepsilon_0}$
Smith ve Young Bağıntısı	$E=e\frac{f_C}{\varepsilon_0}$
Desayi ve Krishnan	$E=\frac{2\sigma_{max}}{\varepsilon_0}$

3.3.4. Boş Tuğla Deneyleri

Çalışmanın bu kısmında boş tuğla deneyleri gerçekleştirilmiştir. Baca tuğlalar için hem çerçeveli hem de çerçevesiz deneyler yapılırken (şekil 3.50) normal tuğlarda şekil 3.51'de görüldüğü şekilde çerçevesiz deneyler gerçekleştirilmiştir.



Şekil 3.50. Çerçeveli Tuğla Deneyleri



Şekil 3.51. Çerçevesiz Boş Tuğla Deneyleri, (a: Baca Tuğla; b: Normal Tuğla)

Baca ve normal tuğlalar için yapılmış olan her iki eksenel yükleme sisteminde de düşeyde iki yatayda bir noktadan ölçümler alınmıştır. Lineer Potansiyometrik Boy Değişimi Ölçüm Sensorleri (LVDT) ile alınan deplasmanların kayıtları veri toplama cihazı ile (datalogger) bilgisayara aktarılmıştır. Çizelge 4.3.'de örnek teşkil etmesi bakımından normal tuğla için yapılan deformasyon ölçümleri verilmiştir. Deneyler sonucunda düşeyde alınan 2 deformasyon ve yatayda alınan deformasyon sonuçları. k_1 yatay (x yönünde) deplasmanı gösterirken, düşeyde alınan ıkı deformasyonu sırası ile k_2 ve k_3 ifade etmektedir. K_{ort} düşeyde alınan ıkı deplasmanın (k_2 ve k_3 'ün) ortalamasını temsil etmektedir. Denklem 3.40'da Δl çizelge 3.23'de belirtilen k (LVDT'ler ile alınan deplasmanlar) değerlerini temsil etmektedir. l (mm), numunenin ilk boyunu ifade etmektedir. Denklem 3.40 kullanılarak ε (gerinim) değerleri bulunmuş ve o değerlere denk gelen dayanımlar ile gerilme-şekil değiştirme grafikleri çizilmiştir. Boş tuğlalara ait sonuçlar ve gerilme–birim şekil değiştirme diyagramları bir sonraki bölümde verilmiştir.

$$\varepsilon = \frac{\Delta l}{lo} \qquad 3.40$$

Çizelge 3.23. Normal Tuğla Numunesine Ait Yatayda ve Düşeyde Alınan Deplasman Verileri

Boş Normal Tuğla Numune		Yükleme Hızı : 0.6 KN/sn			
Yük /KN)	**Zaman (Sn)**	**k1**	**k2**	**k3**	**kort**
0	0	0	0	0	0
23	0.09	0,00032	1,764553	1,514359	1,639456
40	0.45	0,014638	2,083671	1,832269	1,95797
80	1dk21	0,014628	2,371076	2,095307	2,233191
100	1dk54	0,041301	2,463271	2,221191	2,342231
120	2dk36	0,078189	2,583703	2,315383	2,449543
140	3dk18	0,100153	2,690903	2,408821	2,549862
160	4dk03	0,111686	2,788183	2,518594	2,653389
180	4dk24	0,112253	2,835762	2,551892	2,693827
200	4dk45	0,11227	2,870899	2,603635	2,737267
207	5dk27	0,122197	2,979483	2,763766	2,871624

3.3.5. Yarı Rijit Eleman Deneyleri

Çalışmanın bu kısmında yarı rijit eleman olarak üretilen numunelere ait deneyler gerçekleştirilmiştir. Baca tuğla ile oluşturulan yarı rijit elemanlar baca bazalt donatılı (BBD), baca bazalt etriyeli (BBE), baca dere donatılı (BDD), bace dere etriyeli (BDE) olmak üzere; her numune türünden 4'er adet 7, 28 ve 90. günlerde deneyleri gerçekleştirilmiştir. Yine normal tuğla için oluşturulan yarı rijit elemanlar normal tuğla bazalt donatılı (NBD), normal tuğla bazalt etriyeli (NBE), normal tuğla dere donatılı (NDD), normal tuğla dere etriyeli (NDE) olmak üzere aynı şekilde deneyleri gerçekleştirilmiştir. Her bir tuğla tipi için oluşturulan numunelere ait deney sonuçları ve oluşturulan gerilme-şekil değiştirme grafikleri, ortalama dayanım ve elastisite modülü değerleri bir sonraki bölümde verilmiştir. Yarı rijit elemanlara ait gerilme- birim şekil değiştirme grafikleri ve elastisite modülü hesapları için her bir numune tipinden 2'şer adet olmak üzere numunelere ait veriler verilmiştir. Sonuç olarak çalışmanın bu kısmında iki farklı tuğla için dört değişken olmak üzere toplam 8 farklı (BBD, BBE, BDD, BDE, NBD,NBE, NDD, NDE) yarı rijit eleman tipi için deneyler gerçekleştirilmiştir.

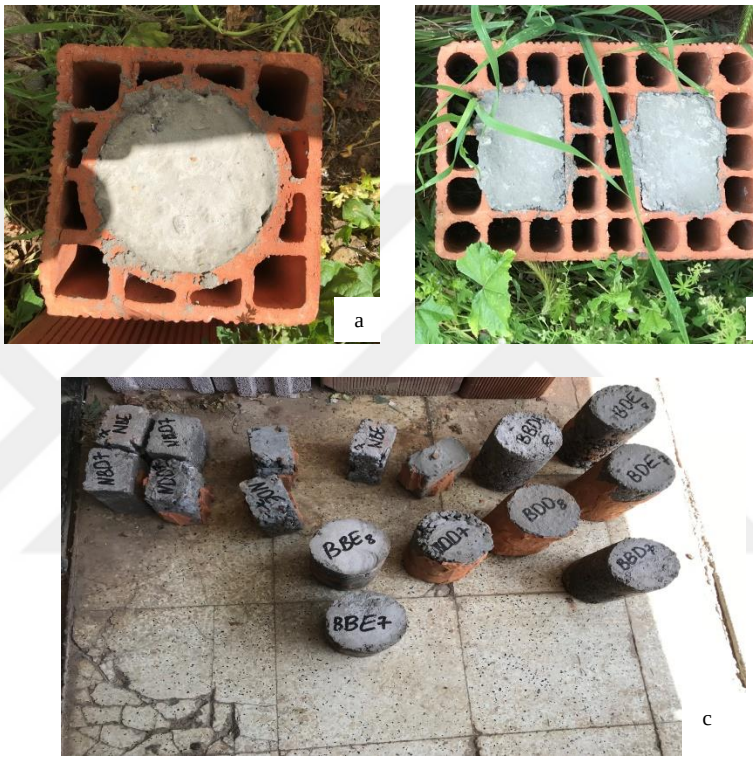
Yarı rijit elemanlan olarak adlandırdığımız numunelerin; tuğla, donatı ve betondan oluşturulmasından kaynaklı bu elemanlar kompozit malzeme olarak düşünülmüştür. Şekil 3.52'de yarı rijit eleman deneyleri gerçekleştirilirken tüm deney günlerinde (7, 28 ve 90 gün) bütün numuneler kırıldıktan sonra düzenekten çıkarılan yarı rijit elemanların iç kısmındaki betonarme elemanlar kontrol edilmiştir. Deneyleri gerçekleştirilen tüm yarı rijit elemanların, eksenel yük altındaki kırılmaları sonrasında iç kısımlarındaki betonarme elemanların da kırıldığı görülmüştür. Betonarme elemanın ve tuğlanın birlikte hareket etmesinden dolayı elemanın kompozit malzeme olarak ele alınmasın doğru olacağı kanaatine varılmıştır. Bu doğrultuda yarı rijit elemanların elastisite modülü hesapları, $E_{kompozit}$ formülü kullanılarak bir önceki kısımda da bahsedildiği şekliyle de bulunmuştur. Sekant modülü ile bulunan elastisite modülleri ile $E_{kompozit}$ formülü kullanılarak bulunan elastisite modülü sonuçları bir sonraki bölümde verilmiştir.



Şekil 3.52. Yarı Rijit Elaman Deneyleri

3.3.6. Yarı Rijit Eleman İçindeki Betonarme Elemanların Deneyleri

Çalışmanın bu kısmında yarı rijit elemanların içindeki betonarme numunelerin deneyleri yapılmıştır. Baca tuğla (şekil 3.53-a) ve normal tuğlaların (şekil 3.53-b) içinde yer alan betonarme elemanlar (şekil 3.53-c) tuğlaların hassas bir şekilde kırılması ile oluşturulmuşlardır (Şekil 3.53).



Şekil 3.53. Yarı Rijit Eleman Numunelerindeki Betonarme Elemanla (a: Baca Tuğla ile Oluşturulan Yarı Rijit Numune, b: Normal Tuğla İle Oluşturulan Yarı Rijit Numune, c: Yarı Rijit Numunelerin İçindeki Betonarme Elemanlar)

Normal tuğlada iki küçük açıklıktaki elamanlar (55x105mm) manyetik ayaklarla press makinesine sabitlenen LVDT'ler ile düşeyde iki yatayda tek ölçüm alınarak eksenel basınç yüklemesi altında deneye tabi tutulmuşlardır. Fakat baca tuğla içersinde yer alan 120 mm çaplı 190 mm yüksekliğe sahip silindir betonarme elemanlar C 469 standartlarına uygun olarak üretilen kompresormetre ve ekstansometre özellikli silindir çerçeve ile şekil 3.54'deki gibi deneye tabi tutulmuşlardır. Betonarme elemanlara dair sonuç verileri bir sonraki bölümde verilmiştir



Şekil. 3.54. Yarı Rijit Elemanın İçindeki Betonarme Eleman Deneyleri

4. ARAŞTIRMA BULGULARI

Bu kısımda tez kapsamında gerçekleştirilen deneylerin (malzemelerin ön deneyleri ve diğer deneyler) bulguları verilmiştir. Materyal ve metot kısmında detaylı olarak açıklanan deneylere ait sonuçlar çalışmanın bu kısmında tablo grafik vs şeklinde detaylı olarak verilmiştir. Boş tuğların (normal ve baca tuğla), iki farklı malzeme ile üretilen (bazaltı ve dere malzemesi) beton numunelerinin, yarı rijit elemanların, yarı rijit eleman içerisindeki betonarme elemanların basınç dayanımınave elastisite modülüne ait bulgular verilmiştir. LVDT'ler ile ölçülen ve dayanıma denk gelen deformasyon değerleri veri toplama sistemi ile bilgisayara aktarılmıştır. Basınç yüklemesi altında (çerçeveli ya da çerçevesiz) dayanımlara denk gelen deformasyonlara ait grafikler verilmiştir. Sekant modulü ile bulunan beton elastisite modülleri sonuçları; yönetmelik, bağıntı v.s'lerle karşılaştırılmıştır. Yine yarı rijit elemanların sekant modülü ile bulunan elastisite modülü sonuçları, 3. Bölümde denklemi verilen $E_{kompozit}$ sonuçları ile karşılaştırılmıştır. Baca tuğlanın boşluklu kısmında oluşturulan 120x190 mm'lik silindir şeklindeki donatılı (1Ø12) ve etriyeli donatılı (4Ø6) betonarme elemanların basınç dayanımları ve elastisite modül değerleri bulunmuştur. Silindir şeklindeki çerçeve ile deneyleri gerçekleştirilen betonarme elemanların 28 günlük basınç ve eleastisite modül değerleri, boş baca tuğlalar, 28 günlük sertleşmiş beton ve 28 günlük baca tuğla ile oluşturulan yarı rijit elemanlarla karşılaştırması yapılmıştır.

4.1. Malzemelerin Ön Deney Sonuçları

Bu kapsamda, beton yapımında kullanılan agregaların, yarı rijit elemanlarda kullanılan donatıların, baca ve normal tuğla malzemelerin deney sonuçları verilmiştir. Yine bu kısımda iki farlı malzeme ile üretilen (Diyarbakır bazaltı ve dere malzeme) C25 betona ait beton reçete, slump test ve diğer deneylere ait sonuçları verilmiştir.

4.1.1. Agrega Deney Sonuçları

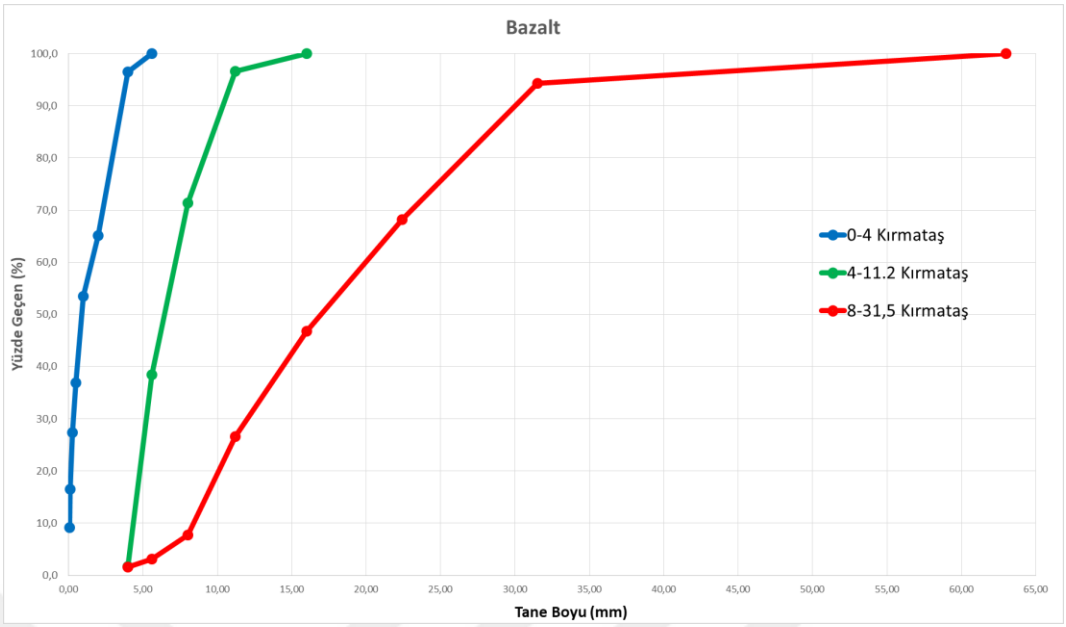
1'er çuval 3 sınıf bazalt ve dere malzemesi için ayrı ayrı beton agrega deneyleri yapılmıştır. Çalışma kapsamında bazalt ve dere malzemeleri için gerçekleştirilen agrega deney sonuçları aşağıda detaylı olarak verilmiştir.

4.1.1.1. Bazalt ve Dere Malzeme Elek Analizi Sonuçları

Agrega tane dağılımını ve miktarını belirlemek amacı ile malzemelerin (bazalt ve dere) elek analizleri gerçekleştirilmiştir. Çizelge 4.1 ve 4.2'de beton dizaynında kullanılan Diyarbakır bazaltı ve dere malzemelerinin elek analizi sonuçları verilmiştir. Şekil 4.1 ve 4.2'de sırası ile bazalt malzeme ve dere malzemelerin agrega tane boyut dağılımı grafikleri gösterilmiştir.

Çizelge 4.1. Beton Dizaynında Kullanılan Diyarbakır Bazaltı İçin Elek Analizi Sonuçları

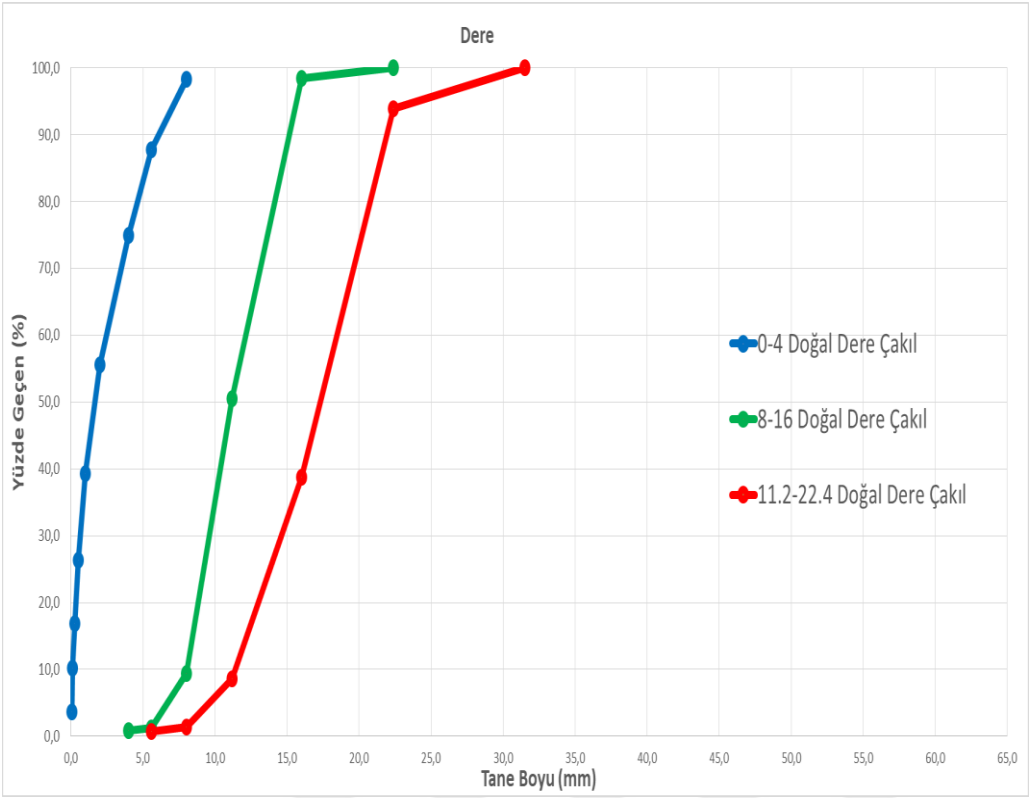
İNCE AGREGA ELEK ANALİZİ (0/4) Kırmataş Kumu			**KABA AGREGA ELEK ANALİZİ (4/11.2) Kırmataş 1**		**KABA AGREGA ELEK ANALİZİ (8/31.5) Kırmataş 2**	
Numunenin Kuru Ağırlığı (gr)		1250 gr.	Numunenin Kuru Ağırlığı (gr)	3000gr	Numunenin Kuru Ağırlığı (gr)	3000 gr.
Elek Çapı (mm)	İnce Elek Üstünde Kalan (gr.)	Elekten Geçen Malz. (%)	İnce Elek Üstünde Kalan (gr.)	Elekten Geçen Malz. (%)	İnce Elek Üstünde Kalan (gr.)	Elekten Geçen Malz. (%)
63		100		100		100
31.5		100		100	170	94.33
22.4		100		100	783	68.23
16		100		100	442	46.83
11.2		100	102	96.60	608	26.57
8		100	758	71.33	564	7.77
5.6		100	986	38.47	140	3.10
4	44	96.48	1102	1.73	44	1.63
2	392	65.12				
1	144	53.44				
0.50	207	36.88				
0.25	119	27.36				
0.125	136	16.48				
0.063	92	9.12				



Şekil 4.1. Bazalt Agregaların Tane Boyut Dağılımı Grafiği

Çizelge 4.2. Beton Dizaynında Kullanılan Diyarbakır Dere Malzemesi Elek Analizi Sonuçları

	İNCE AGREGA ELEK ANALİZİ(0/8) Kum		**KABA AGREGA ELEK ANALİZİ (8/16) Çakıl1**		**KABA AGREGA ELEK ANALİZİ (11,2/22,4) Çakıl2**	
Numunenin Kuru Ağırlığı (gr)		1250 gr.	Numunenin Kuru Ağırlığı (gr)	3000 gr.	Numunenin Kuru Ağırlığı (gr.)	3000 gr.
Elek Çapı (mm)	İnce Elek Üstünde Kalan (gr)	Elekten Geçen Malz. (%)	İnce Elek Üstünde Kalan (gr.)	Elekten Geçen Malz. (%)	İnce Elek Üstünde Kalan (gr.)	Elekten Geçen Malz. (%)
63						
31.5						100
22.4				100	184	93.87
16			47	98.43	1654	38.73
11.2		100	1437	50.53	905	8.57
8	21	98.32	1234	9.40	214	1.43
5.6	132	87.76	216	1.20	20	0.77
4	169	74.88	40	0.87		
2	242	55.52				
1	203	39.28				
0.50	162	26.32				
0.25	118	16.88				
0.125	83	10.24				
0.063	82	3.68				



Şekil 4.2. Dere Agregaların Tane Boyut Dağılımı Grafiği

4.1.1.2. Çok İnce Malzemenin Muhtevası Deney Sonuçları

Çok ince malzemenin muhtevasının belirlenmesi için bazalt ve dere malzemesi ile gerçekleştirilen deney sonuçları aşağıda verilmiştir (Çizelge 4.3). Çizelgede belirtilen kategoriler çizelge 3.5 de belirtilen TS EN 933-1 standardına göre belirlenmiştir. TS 706 EN 12620 standardında çok ince malzemenin muhtevasının değerlerin belirlenmesi için gerçekleştirilen deney sonuçlarına göre değerlerin %3 sınırının altında olması durumunda zararsız kabul edilmektedir. Bu sınırı aşması durumunda ise metilen mavisi deneyinin gerçekleştirilmesini önermektedir.

Çizelge 4.3. Çok İnce Malzemenin Muhtevası Deneyi

Agrega Tipi	Agrega Sınıfı (mm)	0.063 mm Göz Açıklı Elekten Geçen Kütlece Yüzde (%)	Kategori
Bazalt	0/ 4	9.12	f 10
	4/11.2	1.73	f 4
	8/31.5	1.63	f 4
Dere	0/ 8	3.68	f 10
	8/16	0.87	$f_{1,5}$
	11.2/22.4	0.77	f 1,5

4.1.1.3. Agregaların Tane Büyüklüğü Dağılımı Sonuçları

Tane büyüklüğü dağılımı agregaların geometrik özellikleri ile ilgili yapılan bir deneydir. TS 3530 EN 933-1 standardında bütün iri agregalar, d/D tane sınıfı gösterilişine ve bu standartta istenen kategorilere ve genel tane büyüklüğü dağılımı özelliklerine uygun olması gerekmektedir. Çizelge 4.4'de bazalt ve dere malzemeler için elekten geçen kütle yüzdeleri ve agrega tane sınıflarının kategorileri belirtilmiştir.

Çizelge 4.4. Bazalt ve Dere Malzeme için Tane Büyüklüğü Dağılımı

AGREGA TANE SINIFLARI							
Malzeme	**Elekten geçen kütlece yüzde (%)**						**Kategori**
	Elek Açıklığı (mm)	2D	1.4D	D	d	d/2	
Bazalt	0/4	100	100	96.48	-	-	GF 85
	4/11.2	100	100	96.60	1.73	-	GC 80/20
	8/31.5	100	100	94.33	7.77	1.63	GC 90/15
Dere	0/ 8	100	100	98.32	-	-	GNG 90
	8/16	100	100	98.43	9.40	0.87	GC 85/20
	11.2/22.4	100	100	93.87	8.57	0.77	GC 85/20

4.1.1.4. İri Agregaların Yassılık ve Şekil İndeksi Sonuçları

Agregaların geometrik özelliklerinin belirlenmesi için yapılan iri agregaların yassılık ve şekil indeksi deneyleri TS EN 933 standartlarına göre gerçekleştirmiştir. Çizelge 4.5 ve 4.6 da verilen yassılık indeksi ve sınıfı, şekil indeksi ve sınıfına ait kategoriler materyal ve metot bölümündeki çizelge 3.2'ye göre kategorize edilmiştir. Bu kategori kapsamında yassılık indeksi 'FI' şekil indeksi de 'SI' olarak gösterilmektedir.

Çizelge 4.5. İri Agregaların Yassılık İndeksi

Malzeme	**Elek Açıklığı (mm)**	**Yassılık İndeksi F1=(M/M1) x 100 (%)**	**Yassılık İndeksi Sınıfı**
Bazalt	4/11.2	16.24	Fl20
	8/31.5	16.57	Fl20
Dere	8/16	13.34	Fl15
	11.2/22.4	13.76	Fl15

Çizelge 4.6. İri Agregaların Şekil İndeksi

Malzeme	Elek Açıklığı (mm)	Şekil İndeksi S1=(M2/ M1) x 100 (%)	Şekil İndeksi Sınıfı
Bazalt	4/11.2	13.68	SI_{15}
	8/31.5	13.22	SI_{15}
Dere	8/16	10.27	SI_{15}
	11.2/22.4	10.52	SI_{15}

4.1.1.5. İnce Tanelerin Tayini - Metilen Mavisi Deneyi Sonuçları

TS 706 EN 12620 standardında 0.63 mm göz açıklı elekten geçen kütlece yüzde (%) değerlerin (ince malzeme) %3 sınırını aşmasından dolayı metilen mavisi deneyi gerçekleştirilmiştir. TS EN 933-9 standardına uygun olarak gerçekleştirilen, metilen mavisi (MB) değerlerinin sonuçları bazalt ve dere malzeme için çizelge 4.7'de verilmiştir.

Çizelge 4.7. Metilen Mavisi Deneyi

METİLEN MAVİSİ DENEYİ	
Malzeme Cinsi	**Değer**
Bazalt (0/4)	1.50 g/kg
Dere (0/8)	0.5 g/kg

4.1.1.6. Agregalarda Birim Ağırlık, Özgül ağırlık ve Su Emme Tayini Deney Sonuçları

Yarı rijit elemanların beton yapımında kullanılmak üzere Diyarbakır bazalt malzeme ve dere malzeme agregalarının fiziksel özelliklerinin belirlenmesi için gerçekleştirilen; birim ağırlık, özgül ağırlık ve su emme tayini deneylerinin sonuçları çizelge 4.8 ve 4.9'da detaylı olarak verilmiştir.

Çizelge 4.8. Beton Dizaynında Kullanılan Diyarbakır Bazalt Malzeme Agregaların Fiziksel Özellikleri

Agrega tipi	Görünen Özgül Ağırlık, (ρ_a) (gr/cm^3)	Kuru Özgül Ağırlık (ρ_{rd}) (gr/cm^3)	Doygun Yüzey Kuru Özgül Ağırlık, (ρ_{ssd}) (gr/cm^3)	Su Emme Oranı, $(W)_a$ (%)	Birim Ağırlık (gr/cm^3)
Kırmataş Kumu (0-4)	2,82	2,64	2,70	2,46	1.674
Kırmataş 1 (4-11,2)	2,75	2,68	2,71	0,86	1.449
Kırmataş 2 (8-31,5)	2,75	2,69	2,71	0,81	1.386

Çizelge 4.9. Beton Dizaynında Kullanılan Diyarbakır Dere Malzeme Agregaların Fiziksel Özellikleri

Agrega tipi	Görünen Özgül Ağırlık, (ρ_a) (gr/cm^3)	Kuru Özgül Ağırlık (ρ_{rd}) (gr/cm^3)	Doygun Yüzey Kuru Özgül Ağırlık, (ρ_{ssd}) (gr/cm^3)	Su Emme Oranı, $(W)_a$ (%)	Birim Ağırlık (gr/cm^3)
Dere Kumu (0-8)	2.77	2.63	2.69	1.83	1.648
Çakıl 1 (8-16)	2.73	2.67	2.69	0.86	1.474
Çakıl 2 (11.2-22.4)	2.73	2.67	2.70	0.81	1.362

4.1.1.7. İri Agregaların Parçalanma Direnci Deney Sonuçları

İri agregaların aşınmaya/parçalanmaya karşı dayanıklılığının belirlenmesi için gerçekleştirilen deney sonuçlarına göre bazalt ve dere malzemelerin Los Angeles katsayıları sırası ile 21.10 ve 18.73 bulunmuştur. EN 1097-2 (1998) standardına göre bazalt ve dere malzemeler için Los Angeles kat sayıları ve kategorileri çizelge 4.10'da verilmiştir.

Çizelge 4.10. İri Agregaların Parçalanma Direnci

İRİ AGERGALARIN PARÇALANMA DİRENCİ		
Malzeme Cinsi	**Los Angeles Katsayısı**	**Los Angeles Kategorisi**
Bazalt	21.10	LA_{25}
Dere	18.73	LA_{20}

4.1.1.8. İri Agregaların Donma/Çözülme Etkisine Karşı Direnci Deneyi Sonuçları

Magnezyum sülfat kullanılarak elde edilen en yüksek don dayanıklılığı değerlerine göre yapılan deney sonuçları TS EN 1367 standardına göre kategorize edilmiştir. Donma çözünme etkisine karşı kütlece kayıp bazalt malzeme ve dere malzeme için sırası ile % 4.25 ve % 4.10'dur. Her iki malzeme türü de aynı kategori sınıfında temsil edilmektedirler (Çizelge 4.11).

Çizelge 4.11. İri Agregaların Donma/Çözülme Etkisine Karşı Direnci

İRİ AGREGALARIN DONMA/ÇÖZÜLME ETKİSİNE KARŞI DİRENCİ

Malzeme Cinsi	Donma- Çözülme (Kütlece % Kaybı)	Kategori
Bazalt	4.25	MS_{18}
Dere	4.10	MS_{18}

4.1.1.9. Hacim Kararlılığı - Kuruma Büzülmesi Deney Sonuçları

TS EN 1367-4'e uygun olarak deneye tabi tutulan yapı betonunda kullanılacak agregaların kuruma büzülmeleri %0.075'i aşmadığı tespit edilmiştir. Çizelge 4.12'de bazalt ve dere malzemesi için kuruma büzülmelerinin sırası ile yüzdece 0.0029 ve 0.0026 olduğu görülmektedir.

Çizelge 4.12. Hacim Kararlılığı Kuruma Büzülmesi

HACİM KARARLILIĞI KURUMA BÜZÜLMESİ

Malzeme Cinsi	%
Bazalt	0.029
Dere	0.026

4.1.2. Tuğla Deney Sonuçları

Çalışma kapsamında kullanılan malzemelerin hali hazırda piyasa kullanılan türde olması çalışmanın gerçeğe yakın davranış sergilemesi bakımından önem arz etmekteydi. Bu sebeple Diyarbakır'da yerel bir fabrikadan temin edilen önceliği kalıp

amaçlı olarak kullanılan; düşey delikli yığma tuğlalar (normal tuğla), 290x190x135 mm ve baca tuğlalar; 190x190x190 mm ebatlara sahip tuğlalar kullanılmıştır (Şekil 4.3.).



Şekil 4.3. Deneyde Kullanılan Normal ve Baca Tuğlalar

Kullanılan tuğlaların taşıyıcı özellikleri olmayıp, taşıyıcı olmayan tuğlalar olarak temin edilmiştir. TSEN 771-1 standartlarına uygun olan tuğlaların deneyleri TS EN 771-1 ve 772-16'ya uygun olarak yapılmıştır. Tuğla elemanlarından 10'ar adet olmak üzere toplamda 20 adet tuğla üzerinde analizler gerçekleştirilmiştir. Bu analizler: Boyut ve tolerans, konfigürasyon ve görünüş, birim hacim ağırlık, mekanik (basınç) dayanım, dayanıklılık, kapiler etkisiyle su emme katsayısı ve su emme analizleri ile su buharı geçirgenliği ve ısıl davranış özellikleri ile ilgili analizlerdir. Normal tuğla ve baca tuğlaların fiziksel ve mekanik özelliklerine yönelik deneysel bulgular çizelge 4.13'de verilmiştir.

Çizelge 4.13. Çalışmada Kullanılan Tuğlaların Fiziksel ve Mekanik Özellikleri

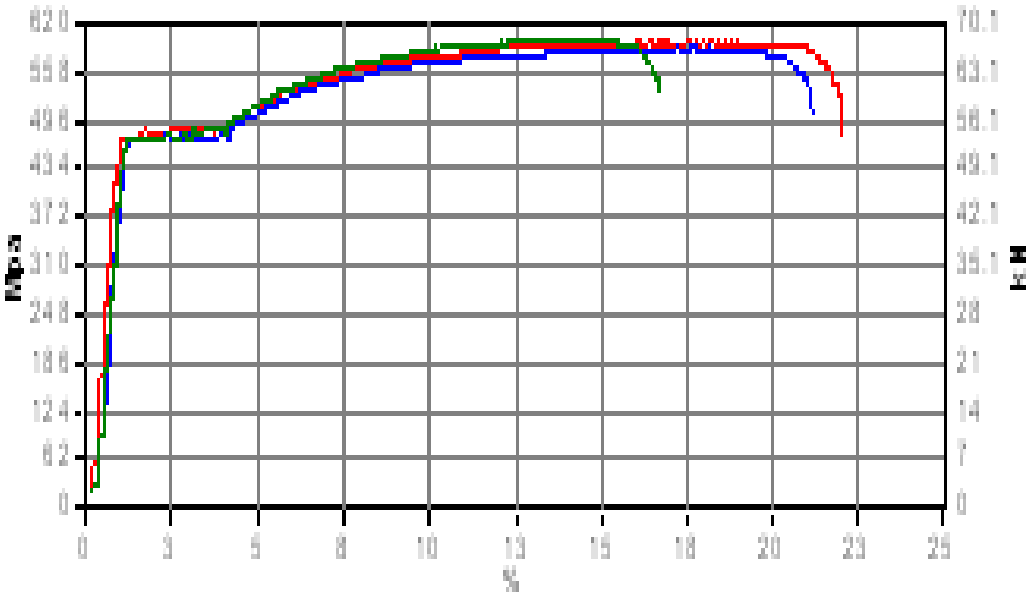
	TUĞLA TİPİ	
Özellik	**Normal Tuğla (290x190x135)**	**Baca Tuğla (190x190x190mm)**
Ebat (mm) (uzunluk/genişlik/yükseklik)	284x184x133.5	192.67x189.33x189.17
Kuru Ağırlık, M_{kuru} (gr)	3953	3911
Net Kuru birim Hacim Ağırlığı, Pn,u (g/cm3)	1.833	1.371
Brüt Kuru Birim Hacim Ağırlığı, Pg,u (g/cm^3)	0.564	0.567
Ağırlıkca Su Emme (%)	12.10	19.74
Basınç Dayanımı (N/mm^2)	4.59	3.83

4.1.3. Donatı Deney Sonuçları

Bu çalışma kapsamında çapları 12mm ve 6mm olan S420 çelik sınıfına ait iki tip donatı kullanılmıştır. Çalışma kapsamında gerçekleştirilen yarı rijit elemanlar oluşturulurken hem baca tuğla için hem de düşey delikli yığma tuğla için tek donatılı elemanlarda 1 adet Ø12'lik donatı, etriye ile sargılanan elemanlarda ise 4 adet Ø6'lık donatı kullanılmıştır. Çizelge 4.14'de yarı rijit elemanlarda kullanılan 12mm donatı çapına sahip çelik çubuklara ait TS708 (2010) standartları çerçevesinde gerçekleştirilen çelik çekme deney sonuçları verilmiştir. Deney sonuçlarına göre**.** Ø12 donatı çubuğuna ait kuvvet-birim uzama eğrisi ise şekil 4.4.'de verilmiştir.

Çizelge 4.14. S420 Çelik Sınıfına Ait Ø12'lik Donatıların Mekanik Özellikleri (TS708-2010)

VERİLER	TS708 STANDART SINIR DEĞERLER	SONUÇLAR			
		Numune No			
		1	2	3	ORT.
Çelik Sınıfı	S420	S420	S420	S420	S420
D (mm)	12	12	12	12	12
Kütle (Kg/m)	Min. : 0.848 Max: 0.928	0.890	0.890	0.890	0.890
Akma Dayanımı (min.) Re, (MPa)	420	482	473	475	476.6
Çekme Dayanımı (min) Rm, MPa	500	598	590	601	596.3
Çekme /Akma Dayanımı (min) (Rm/Re)	1.15	1.24	1.25	1.27	1.253
Deneysel / Karakteristik Akma Dayanımı (max) React/Renom	1.30	1.15	1.13	1.13	1.136
Kopma Uz. (min) (%)	10	22.0	21.2	16.7	19.96



Şekil 4.4. Ø12 Donatı Çubuğuna Ait Kuvvet-Birim Uzama Eğrisi

Çizelge 4.15'de yarı rijit elemanlarda kullanılan ve TS 4559 standartlarına uygun olan Ø6 (6mm) donatı çapına sahip hasır donatıların çekme deneyi sonuçları verilmiştir.

Çizelge 4.15. Deney Numunelerinde Kullanılan Ø6'lık Donatının Karakteristik Özellikleri

No	D(mm)	Kütle (Kg/m)	Akma (Re) (MPa)	Çekme (Rm) (MPa)	Kopma Uz.(%)
1	6	0.230	604	640	7.6
2	6	0.230	665	708	6.7

Çizelge 4.16'de yarı rijit eleman yapımında kullanılan 12 mm (Ø12) ve 6 mm (Ø6) çaplı donatı çeliklerine ait mekanik özellikler özetlenmiştir.

Çizelge 4.16. Numune Üretimde Kullanılan Donatı Çeliklerinin Karakteristik Özellikleri

Numune Çapı	Numune Adeti	Akma Dayanımı (fyk) (MPa)	Kopma Dayanımı(fyu) (MPa)	Elastisite Modülü(Es) (N/mm^2)
Ø6	2	634.5	674	200000
Ø12	3	476.6	596.3	200000

4.1.4. Beton Deneyleri Sonuçları

1 m^3 C25 beton elde etmek için; TS706 EN 1260- Beton Agregaları Standardına göre yapılan dizaynlar aşağıda verilmiştir. TS 500. (2000) ve TS 802. (2016) standardına uygun şekilde hesaplanan C25 beton dizaynı için bazalt ve dere malzeme karışım oranları çizelge 4.17'de verilmiştir. Bu karışım oranları hem agregaların kalite kontrolleri hem de C25 beton sınıfı için tespit edilmişlerdir.

Çizelge 4.17. C25 Beton Dizaynı İçin Bazalt ve Dere Malzeme Karışım Oranları

BAZALT MALZEME KARIŞIM ORANLARI C25 BETONU İÇİN DİZAYN		**DERE MALZEME KARIŞIM ORANLARI C25 BETONU İÇİN DİZAYN**	
Malzemenin Cinsi	**Miktarı (kg)**	**Malzemenin Cinsi**	**Miktarı (kg)**
Çimento (Ç) (Çimko 42,5 R/CEM II /A) (kg/m³)	325	Çimento(Ç) (Çimko 42,5 R/CEM II /A) (kg/m³)	325
Su (S) kg/m³	195	Su (S) kg/m³	175
Katkı Süper Akışkanlaştırıcı (kg/m³)	3.25 (Çimento ağırlığının % 1'i kadar)	Katkı Süper Akışkanlaştırıcı (kg/m³)	3.25 (Çimento ağırlığının % 1'i kadar)
Kırma Taş Kumu (0/4), (kg/m³)	1000	Kum (0/8), (kg/m³)	1040
Kırma Taş (4/11.2), (kg/m³)	280	Çakıl1 (8/16), (kg/m³)	300
Kırma Taş (8/31.5), (kg/m³)	575	Çakıl2 (11.2/22.4), kg/m³	550
Slump (cm)	8	Slump (cm)	10
S/Ç	0.60	S/Ç	0.54

4.1.4.1. Beton Çökme (Slump Test) Deneyi Sonuçları

TS EN 12250-2 (2010) uygun çökme deneyi yapılmıştır. Çökme (slump) sonuçları daha önce belirtildiği (çizelge 4.17) şekilde bazalt malzemeden üretilen beton için 8 cm iken dere malzeme için 10 cm bulunmuştur.

4.2. Deneyler

Çalışma kapsamında gerçekleştirilen deneylere ait bulgular bu kısmında detaylı olarak verilmiştir. Diyarbakır bazalt malzemesi ve dere malzemesiyle üretilen C25 betonlardan alınan taze beton numunelerinin 7, 28, 90. gün deneyleri LVDT'ler yardımıyla deplasmanları (yatay ve düşey) düzenek kurularak alınmış ve basınç altında kırılma deneyleri gerçekleştirilmiştir. Daha sonra aynı yöntemle boş normal tuğla, donatılı /etriyeli beton dolgulu normal tuğla, normal tuğla içindeki betonarme elemanların ve boş baca tuğla, donatılı /etriyeli beton dolgulu baca tuğla deneyleri

gerçekleştirilmiştir. Boş baca tuğla ve baca tuğla içindeki silindir yapıdaki betonarme eleman (betonarme koluncuk) çerçeve sistemle oluşturulan düzenekle deneye tabii tutulmuştur. Deney koşulları tüm deney numuneleri için aynı tutulmuştur. Aynı pres makinesinde, aynı hızda (0.6 kN/sn), düşey ve yatayda ölçüm alınarak, eşit zaman aralıklı deplasman okumaları alınarak ve her numunenin altına ve üstüne sac plaka bırakılarak yapılmıştır.

4.2.1. Sertleşmiş Beton Deney Sonuçları

TS 3114'e uygun şekilde gerçekleştirilen deneyde, yüklemeye sabit bir hızla, darbe tesiri olmayacak şekilde ve numune kırılana kadar devam edilmiştir. Çalışmada hem bazalt hem de dere malzemelerle ile oluşturulan betondan alınan numuneler 7, 28, 90 ve 128. günlerde 13 kN/sn hızla da kırılmışlardır (Çizelge 4.18). Bu numunelerin kırımı esnasında ölçüm alınmamış olup sadece beton basınç dayanımları belirlenmiştir.

Çizelge 4.18. Bazalt ve Dere Malzeme için 7.28.90 ve 120. Gün Beton Basınç Deney Sonuçları (13kN/sn)

	Bazalt Malzeme Basınç Deneyleri				**Dere Malzeme Basınç Deneyleri**		
Numune Sayısı	**Deney Günü**	**Ortalama Küp Basınç Dayanımı (MPa)**	**Karakteristik Basınç Dayanımı fck, MPa**	**Numune Sayısı**	**Deney Günü**	**Ortalama Basınç Dayanımı (MPa)**	**Karakteristik Basınç Dayanımı fck, MPa**
3	7 Günlük	24.4	19.52	3	7 Günlük	31.9	25.52
3	28 Günlük	33.6	26.88	3	28 Günlük	39.8	31.84
3	90 Günlük	36.1	28.88	3	90 Günlük	41.2	32.96
3	120 Günlük	36.9	29.52	3	120 Günlük	41.7	33.36
Σ12				**Σ12**			

Yine aynı numunelerden alınan diğer seride ve diğer tüm elemanlarda (tuğla yarı rijit, betonarme) numuneler 0.6 kN/sn'de ve ölçüm alınarak kırılmışlardır. Tuğla malzemenin gevrek olması ve çabuk kırılmasından dolayı yükleme hızı tuğla dikkate alınarak ayarlanmıştır (0.6 kN/sn). Her iki hızla da kırılan numunelere ait basınç dayanım sonuçları sırası ile çizelge 4.18 ve 4.19'da verilmiştir. Felekoğlu ve Türkel

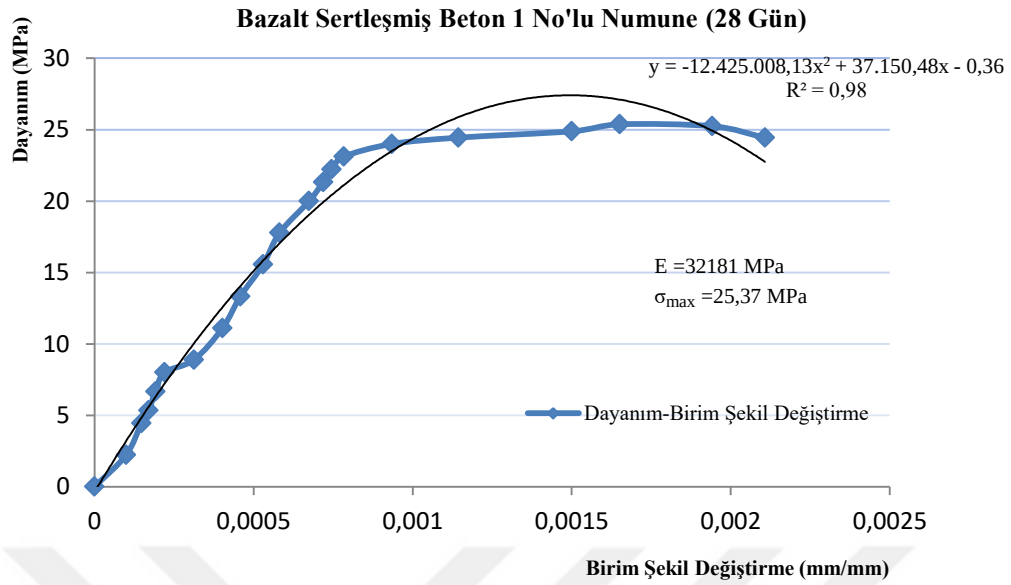
(2004) yaptıkları çalışmada yükleme hızının basınç dayanımını arttırdığı düşük yükleme hızının ise basınç dayanımlarını düşürdüğü sonuçlarına varmışlardır. Yavaş yükleme dayanımının hızlı yükleme altındakine oranla bir miktar daha az dayanıma sahip olduğu belirtmişlerdir.

Çizelge 4.19. Bazalt ve Dere Malzeme için Sertleşmiş Beton Basınç Deney Sonuçları (0.6 kN/sn)

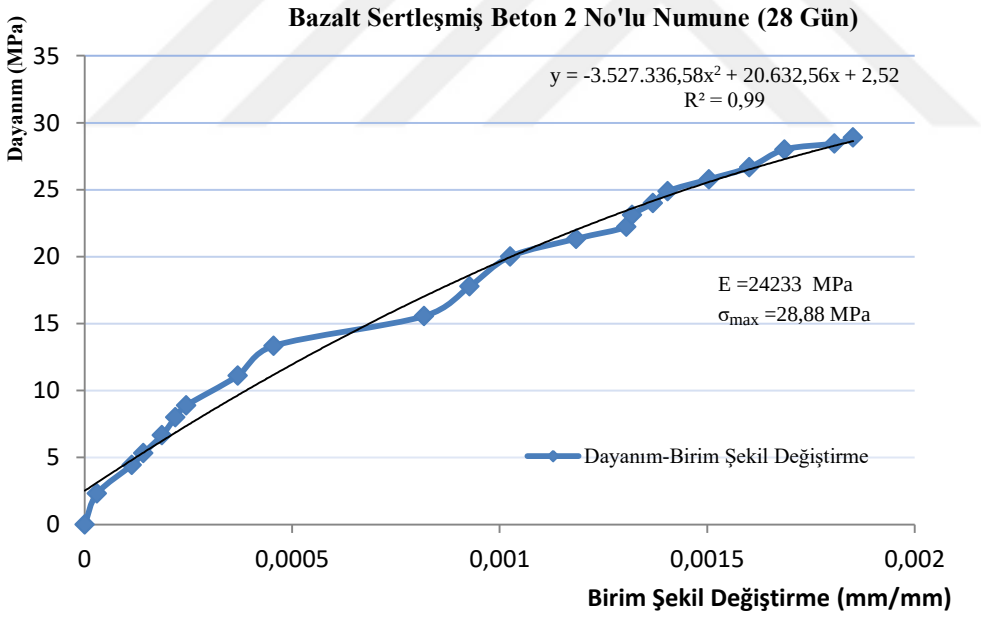
Numune	**TAZE BETON NUMUNELERİ (Küp Numune) (0.6 KN/sn)**					
	Bazalt MALZEME DAYANIMLARI			**DERE MALZEME DAYANIMLARI**		
	7	**28**	**90**	**7**	**28**	**90**
ORT	24.35	27.10	34.34	31.11	32.32	40.42
Ort silindir (0.8*küp)	**19.48**	**21.68**	**27.472**	**24.88**	**25.86**	**32.34**

Özbebek ve Açık (2011) değişken w/c oranında (çimento dozajı ve katkı miktarı =sabit, karışım suyu=değişken) yaptıkları çalışmalarının sonucunda; kumda kirlilik arttıkça betonun su ihtiyaçları arttığı aynı hedef kıvam için betona ihtiyacı olan su verildiğinde w/c oranları artıp beton dayanımların düştüğünü gözlemlemişlerdir. 28 günlük beton numuneleri üzerinde yapılan basınç altında su işleme derinliğinin tayini TS EN 12390-8 deney sonuçlarına göre, kirlik arttıkça artan w/c oranları ile birlikte betonda su geçirimliliği değerlerinin arttığı sonuçlarına varmışlardır. Çalışmamamızda bazalt malzeme ile üretilen betonların basınç yüklemesi altındaki dayanımlarının dere malzemeye göre daha düşük çıkmasının nedeni; bazalt malzeme ile üretilen C25 betonda w/c oranı 0.6 iken dere malzemede bu oran 0,54 çıkmıştır. Yine metilen mavisi deneyi sonuçlarına bakıldığında bazalt malzeme için 1,5 g/kğ iken dere malzemede bu oran kğ başına 0,5 gr çıkmıştır (0,5 g/kğ).

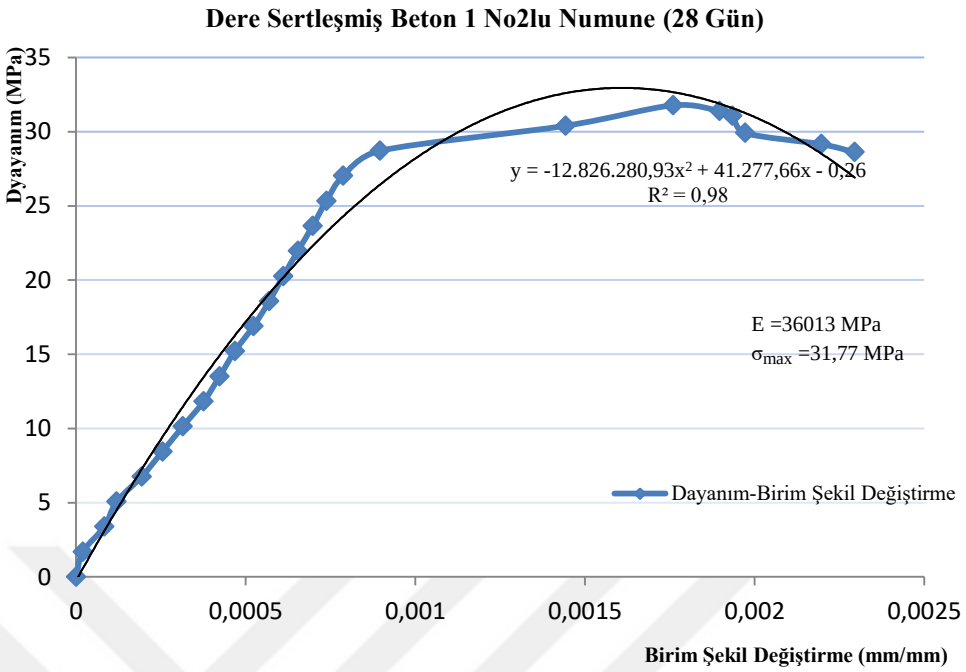
Deneyler, eksenel yükleme altında deplasman kontrollü olarak gerçekleştirilmiştir. Şekil 4.5, 4.6, 4.7 ve 4.8'de bazalt ve dere malzemelerle üretilen betonlara ait 2'şer adet numuneye ait gerilme-birim şekil değiştirme grafikleri verilmiştir. Grafikler, dayanımlarla eş zamanlı olarak alınan deformasyonların veri toplama sistemi ile bilgisayara aktarılması ile alınan sonuçlar doğrultusunda çizilmişlerdir. Elastisite modülleri sekant modülüne göre elde edilmiştir.



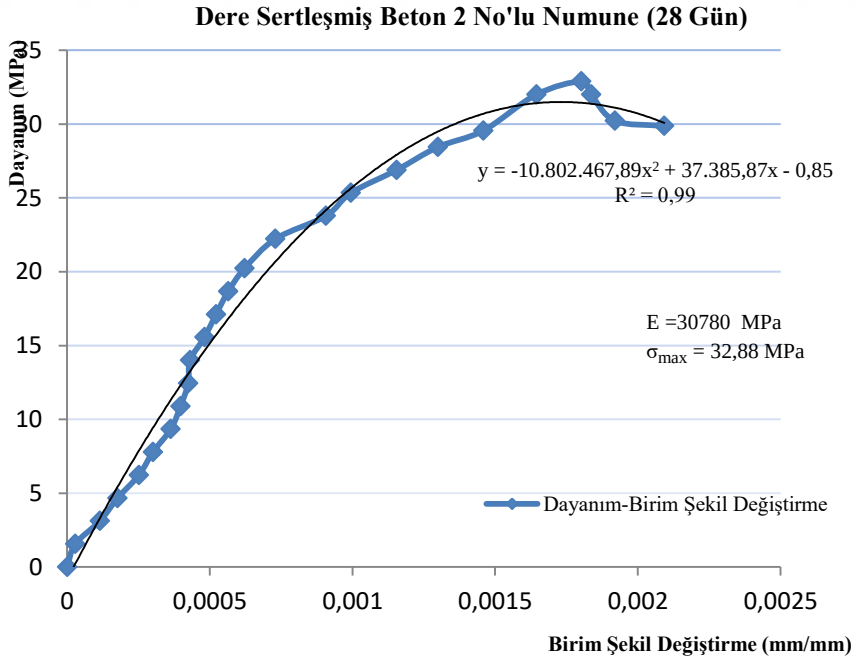
Şekil 4.5. Bazalt Malzeme ile Üretilen 1 No'lu Beton Numuneye Ait Gerilme-Şekil Değiştirme Grafiği



Şekil 4.6. Bazalt Malzeme İle Üretilen 2 No'lu Beton Numuneye Ait Gerilme-Şekil Değiştirme Grafiği



Şekil 4.7. Dere Malzeme ile Üretilen 1 No'lu Beton Numuneye Ait Gerilme-Şekil Değiştirme Grafiği



Şekil 4.8. Dere Malzeme ile Üretilen 2 No'lu Beton Numuneye Ait Gerilme-Şekil Değiştirme Grafiği

Çizelge 4.20'de bazalt malzemelerin 28 günlük basınç dayanımı sonuçları ile hesaplanan sekant modülü, yönetmelikler ve bağıntılardan elde edilen formüllerle hesaplanan elastisite modülleri (2'şer numune için) sonuçları ve bu sonuçların kıyaslanması yapılmıştır.

Çizelge 4.20. Bazalt Malzeme ile Üretilen C25 Betona Ait Elastisite Modulü Değerleri

Bazalt Numune No	TS 5OO (MPa)	ACI 363 (MPa)	ACI 318 (MPa)	Eurocode 2 (MPa)	BSI 72 (MPa)	Voellmy Bağıntısı (MPa)	Smith ve Young Bağıntısı (MPa)	Desayi ve Krishnan (MPa)	Deneysel Bulgular (MPa)
1	30370	23622	23673	29088	26739	30726	32262	30726	**32181**
2	31466	24742	25258	30241	27919	31189	32748	31188	**24233**

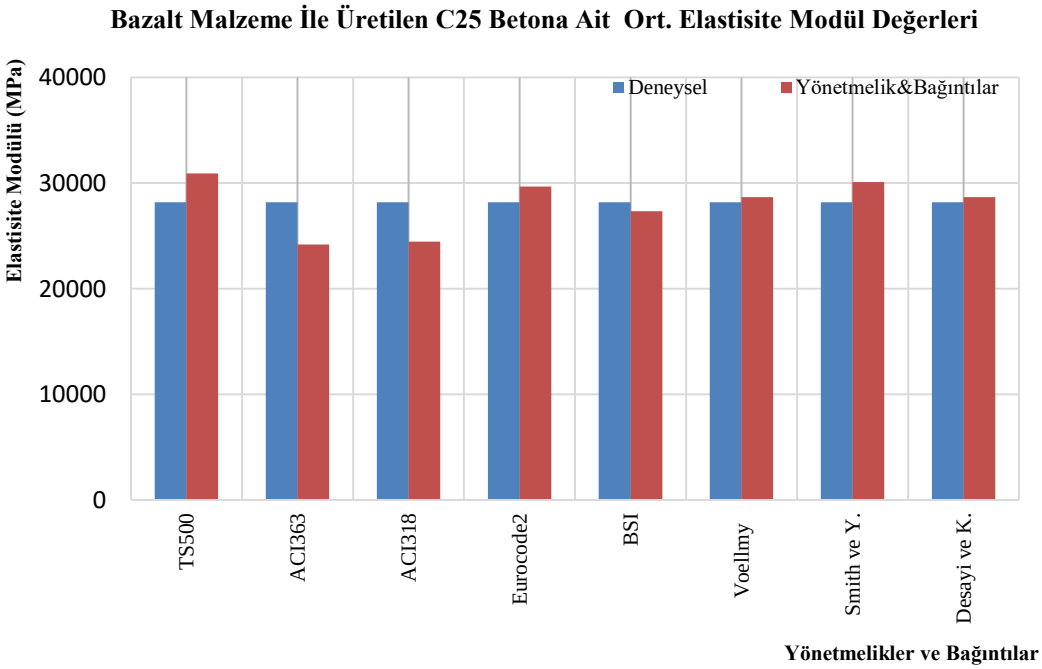
Bu numunelere ait elastisite modül değerleri karşılaştırıldığında; deneysel sonuçların 1 nolu numune için Smith ve Young iki no'lu numune için ise ACI 363'ün daha yakın olduğu görülmektedir. Bazalt malzeme ile üretilen C25 betona ait tüm numunelerin 28 günlük ortalama basınç dayanımları ve maksimum dayanımlarına denk gelen deformasyonlarının ortalamaları ile hesaplanan elastisite modül değerleri çizelge 4.21'de verilmiştir. Yine bazalt malzeme ile üretilen tüm numunelere ait sekant modulü ile hesaplanan deneysel ortalama değerlerin yönetmelik ve bağıntılar ile hesaplanan sonuçlara oranı aynı tabloda verilmiştir. Deneysel hesaplanan ortalama elastisite modül verileri yönetmelik bağıntı vs ile hesaplanan elastisite modülü değerleriyle kıyaslandığında Desayi ve Krishnan ve Voellmy bağıntısına (%98) yakın olduğu görülmüştür.

Çizelge 4.21. Bazalt Malzeme ile Üretilen C25 Betona Ait Ortalama Elastisite Modulü Değerleri ve Deneysel Sonuçlarla Karşılaştırılması

Bazalt Malzeme İle Üretilen C25 Betona Ait 28 Günlük Ortalama Elastisite Modülü (MPa)

Elastisite Modül Hesaplama Yöntemi	Ortalama Elastisite Modülü (MPa)	Deneysel Elastisite Modül / Hesaplanan Elastisite Modül (Sekant modülle bulunan /Yönetmelik,bağıntı vs ile bulunan)
TS5OO (MPa)	30918	0,91
ACI363 (MPa)	24183	1,16
ACI318 (MPa)	24467	1,15
Eurocode2 (MPa)	29669	0,95
BSI72 (MPa)	27333	1,03
Voellmy (MPa)	28677	0,98
Smith ve Young (MPa)	30111	0,93
Desayi ve Krishnan (MPa	28677	0,98
Deneysel (MPa)	28200	1

Çizelge 4.22. Bazalt Malzeme ile Üretilen C25 Betona Ait Yönetmelik ve Bağıntılar İle Bulunan Elastisite Modülleri (Ort.) ile Deneysel (Ort.) Elastisite Modüllerinin Karşılaştırılması



Aynı şekilde; çizelge 4.23'de C25 beton ile üretilen dere malzemelerin 28 günlük basınç dayanımı sonuçları ile hesaplanan sekant modülü, yönetmelikler, bağıntılar ile elde edilen elastisite modülleri (2'şer numune için) sonuçları ve bu sonuçların karşılaştırılmaları yapılmıştır. Dere malzeme ile üretilen C25 betona ait ikişer adet numune için elastisite modül karşılaştırılması yapıldığında ise deneysel sonuçların; 1'nolu numune için Voellmy ve Desayi ve Krishnan bağıntılarına çok yakın değerler çıktığı 2 no'lu numune için ise Eurocode 2 ile hesaplanan değerlere yakın çıktığı görülmüştür.

Çizelge 4.23. Dere Malzeme ile Üretilen C25 Betona Ait Elastisite Modülü Değerleri

Dere Numune No	TS 5OO	ACI 363	ACI 318	Eurocode 2	BSI 72	Voellmy Bağıntısı	Smith ve Young Bağıntısı	Desayi ve Krishnan	Deneysel Bulgular
1	32318	25613	26491	31119	28821	36102	37908	36102	36013
2	32635	25937	26950	31441	29153	36496	38321	36496	30780

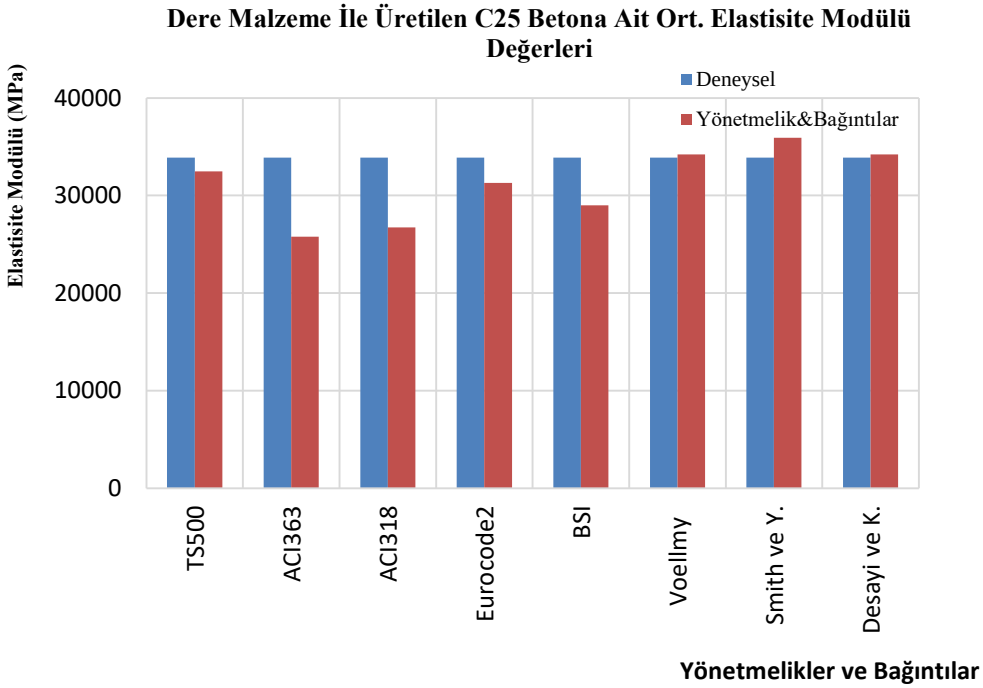
Çizelge 4.24'de ise dere malzeme ile üretilen tüm numunelere ait ortalama elastisite modül değerlerinin karşılaştırılması yapılmıştır. Nevile (1995) çalışmasında Desayi ve Krishnan tarafından önerilen denklemi en verimli denklem olarak kullandığı bir önceki bölümde belirtilmiştir. Yönetmelik ve bağıntılar ile hesaplanan ortalama elastisite modülleri deneysel ortalama elastisite modülleri ile kıyaslandığında Voellmy ve Desayi ve Krishnan bağıntılarına deneysel sonuçların çok daha yakın olduğu görülmüştür. Bu bağıntılarda sadece maksimum dayanımlar dikkate alınmayıp maksimum dayanıma denk gelen deplasmanlar da dikkate alınmasından dolayı daha gerçekçi sonuçlar verdiği düşünülmektedir. Sonuç olarak hem dere malzeme hem de bazalt malzeme ile üretilen C25 betona ait ortalama elastisite modülleri karşılaştırıldığında her iki numune ile üretilen betonlar için de deneysel ve Voellmy ve Desayi ve Krishnan bağıntılarından elde edilen sonuçlar birbirine daha yakın sonuçlar verdiği görülmüştür. Çizelge 4.25'de ise dere malzeme ile üretilen C25 betona ait yönetmelik ve bağıntılar ile bulunan elastisite modülleri (ort.) ile deneysel (ort.) elastisite modüllerinin karşılaştırılması yapılmıştır.

Çizelge 4.24. Dere Malzeme ile Üretilen C25 Betona Ait Ortalama Elastisite Modulü Değerleri ve Deneysel Sonuçlarla Karşılaştırılması

Dere Malzeme İle Üretilen C25 Betona Ait 28 Günlük Ortalama Elastisite Modülleri (MPa)

Elastisite Modül Hesaplama Yöntemi	Ortalama Elastisite Modülü (MPa)	Deneysel Elastisite Modül / Hesaplanan Elastisite Modül (Sekant modülle bulunan /Yönetmelik,bağıntı vs ile bulunan)
TS5OO (MPa)	32476	0,96
ACI363 (MPa)	25774	0,76
ACI318 (MPa)	26720	0,79
Eurocode2 (MPa)	31280	0,92
BSI72 (MPa)	28987	0,86
Voellmy (MPa)	34201	1,01
Smith ve Young (MPa)	35911	1,06
Desayi ve Krishnan (MPa	34201	1,01
Deneysel (MPa)	33890	1,00

Çizelge 4.25. Dere Malzeme ile Üretilen C25 Betona Ait Yönetmelik ve Bağıntılar ile Bulunan Elastisite Modülleri (Ort.) ile Deneysel (Ort.) Elastisite Modüllerinin Karşılaştırılması

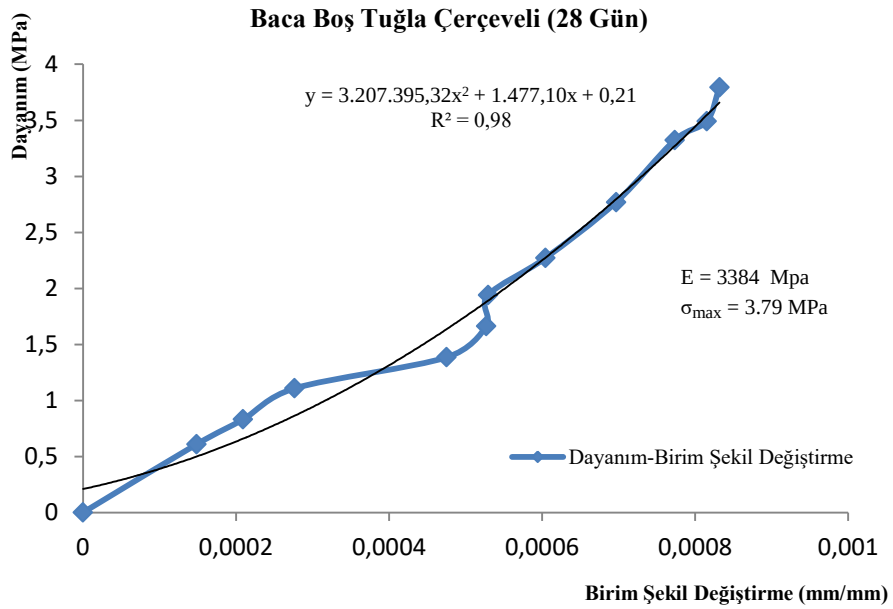


4.2.2. Boş Tuğla Deney Sonuçları

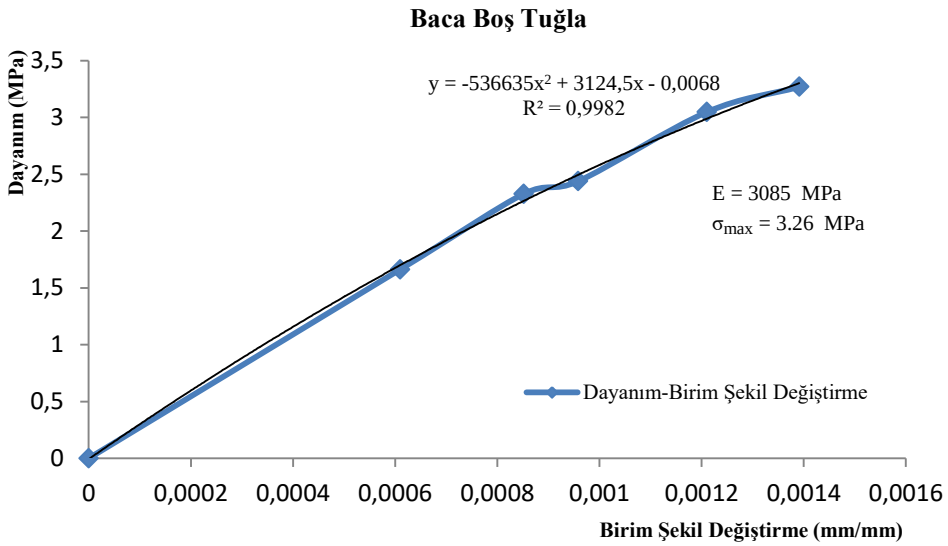
Baca ve normal tuğlalar için yük kontrollü olarak gerçekleştirilen deneylerin ortalama basınç dayanım sonuçları çizelge 4.26'da verilmiştir. Normal tuğla ve baca tuğlalara (çerçeveli ve çerçevesiz) ait birer numune için gerilme-şekil değiştirme diyagramları ve sekant modülü ile belirlenen elastisite modüller ise sırası ile şekil 4.9, 4.10 ve 4.11'de verilmiştir.

Çizelge 4.26. Boş Baca ve Normal Tuğla Basınç Dayanımları

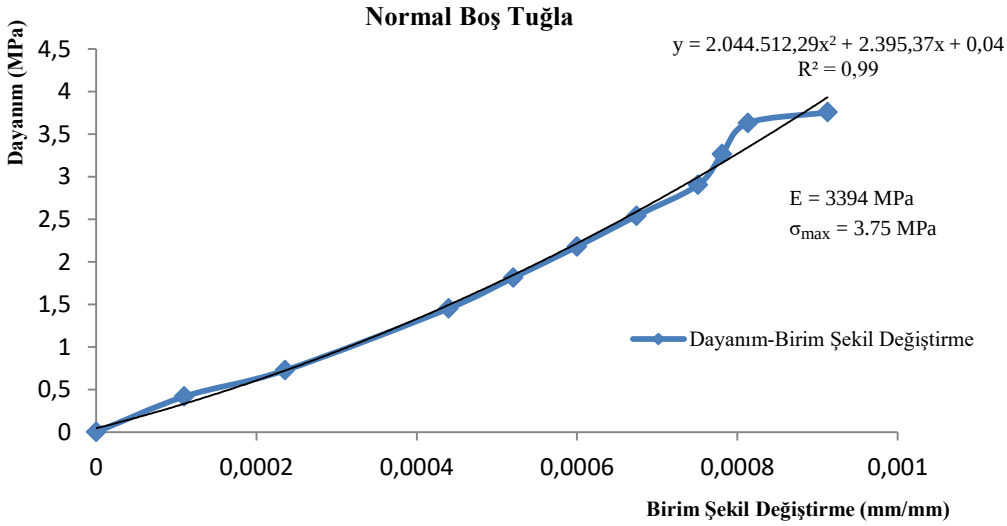
Numune No	Baca Tuğla (çerçeveli) Dayanımlar (MPa)	Baca Tuğla Dayanımlar (MPa)	Normal Tuğla Dayanımlar (MPa)
Ort.	3.42	3.26	3.75



Şekil 4.9. Baca Tuğla 1 No'lu Numuneye (Çerçeveli) Ait Gerilme-Şekil Değiştirme Grafikleri



Şekil 4.10. Baca Tuğla 1 No'lu Numuneye (Çerçevesiz) Ait Gerilme-Şekil Değiştirme Grafiği



Şekil 4.11. Normal Tuğla 1 No'lu Numuneye Ait Gerilme-Şekil Değiştirme Grafiği

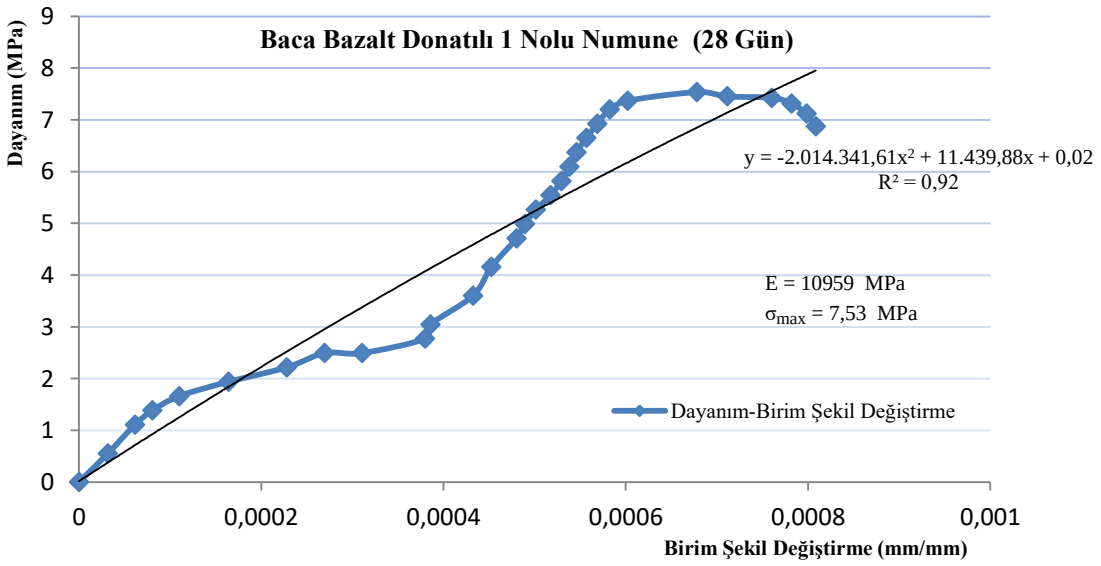
Boş tuğlalar için yapılan deneylerde baca boş tuğla ortalama basınç dayanım değerleri 3.34 MPa çıkarken normal tuğla basınç dayanımları 3.75 MPa çıkmıştır. Ortalama elastisite modül değerleri ise baca ve normal tuğla için sırası ile 3234 MPa ve 3394 MPa çıkmıştır.

4.2.3. Yarı Rijit Elemanların Deney Sonuçları

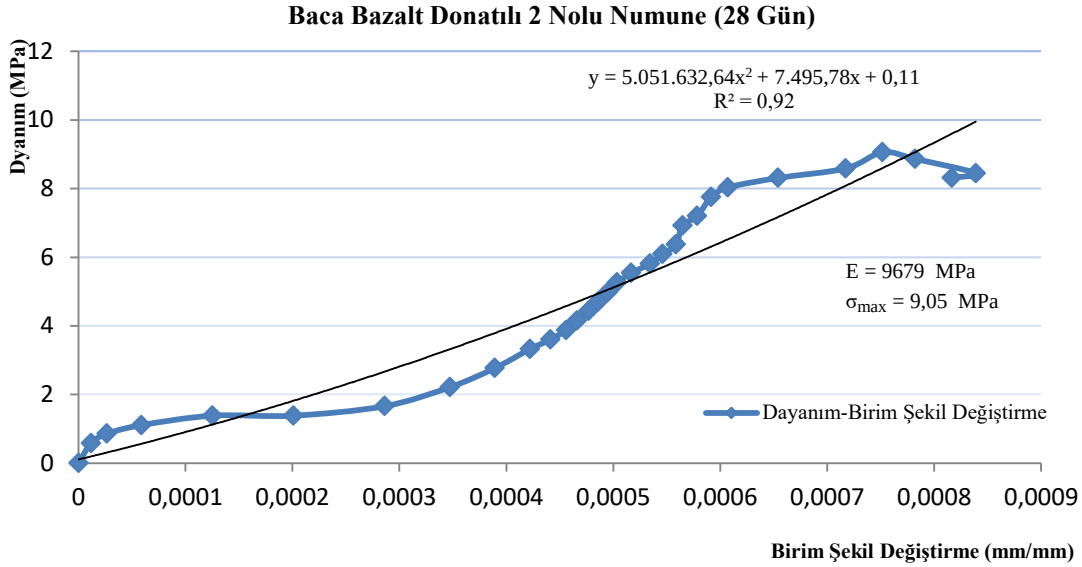
Deneyleri gerçekleştirilen yarı rijit elemanların; iki farklı tuğla için dört değişken olmak üzere toplam 8 farklı (BBD, BBE, BDD, BDE, NBD, NBE, NDD, NDE) numune tipine ait sonuçlar çalışmanın bu kısmında verilmiştir. Çizelge 4.27'de baca tuğla ile oluşturulmuş yarı rijit elemanlara ait ortalama dayanım sonuçları verilmiştir. Baca tuğla ile oluşturulan yarı rijit elemanların 28 günlük basınç dayanımları boş baca tuğlaya göre 2,27-3.49 kat daha fazla olduğu görülmüştür. Ayrıca şekil 4.12, 4.13, 4.14, 4.15, 4.16, 4.17, 4.18 ve 4.19'da baca tuğlalar ile oluşturulan 2'şer adet yarı rijit elemanlara ait gerilme-şekil değiştirme grafikleri verilmiştir.

Çizelge 4.27. Baca Tuğla İle Oluşturulan Yarı Rijit Elemanların Dayanım Sonuçları

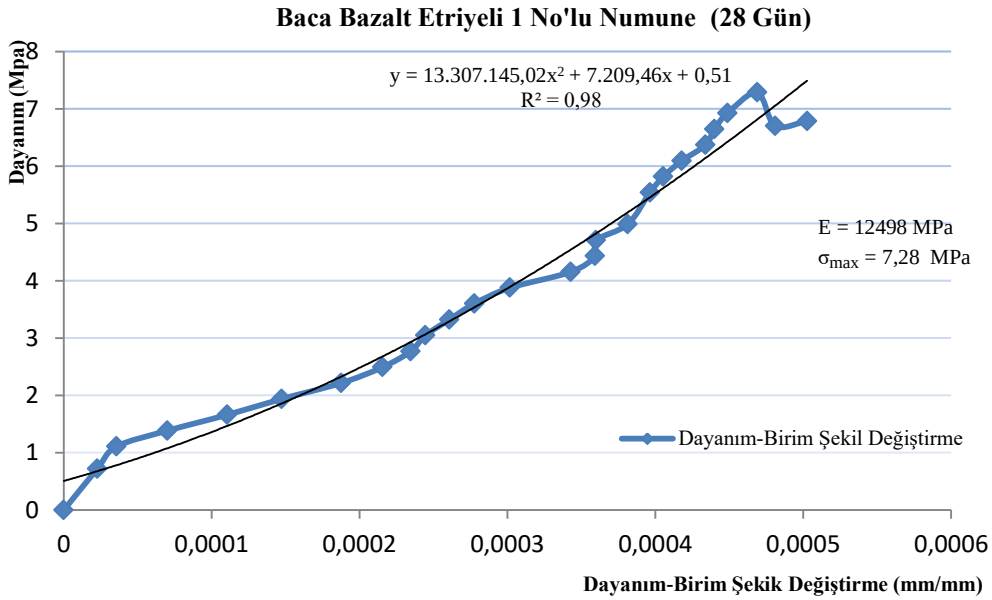
Numune	**Yarı Rijit Elemanların Ortalama Basınç Dayanım Sonuçları (MPa)**		
	7. Gün	**28. Gün**	**90. Gün**
Baca Bazalt Donatılı (BDD)	7.75	9.28	9.44
Baca Bazalt Etriyeli (BDE)	6.17	7.57	10.10
Baca Dere Donatılı (BDD)	8.69	11.65	14.85
Baca Dere Etriyeli (BDE)	8.07	11.09	13.15



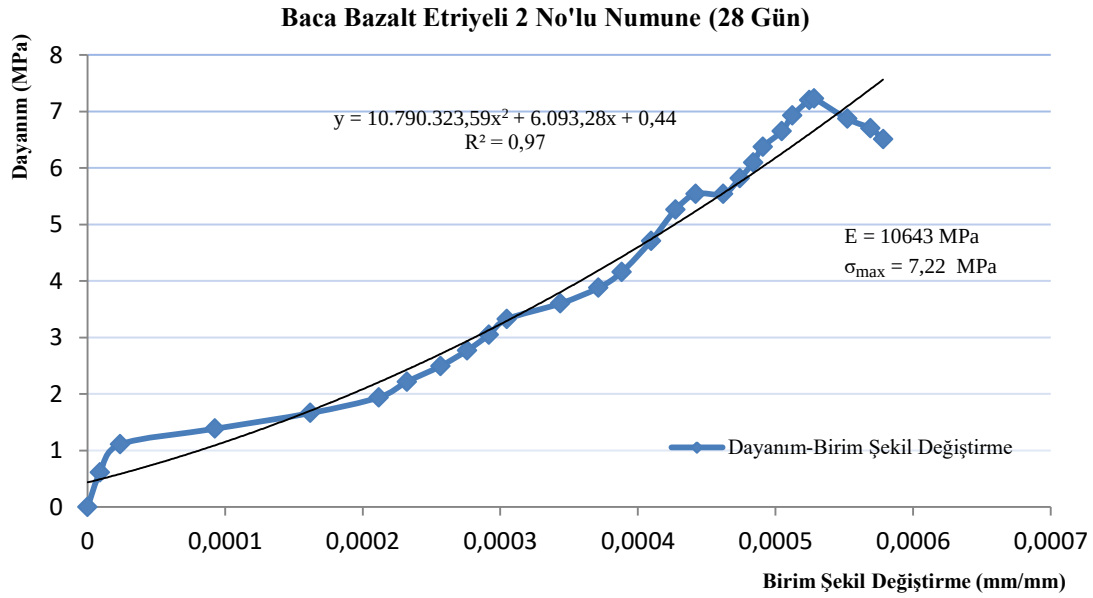
Şekil 4.12. Baca Bazalt Donatılı (BBD) 1 No'lu Elemanına Ait Gerilme-Şekil Değiştirme Grafiği



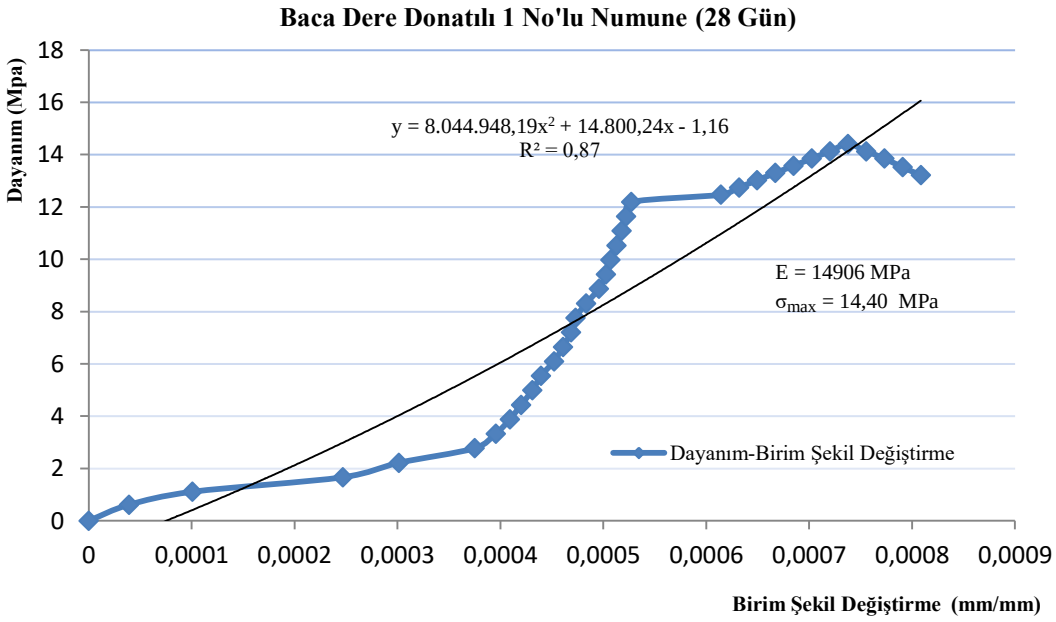
Şekil 4.13. Baca Bazalt Donatılı (BBD) 2 No'lu Elemanına Ait Gerilme-Şekil Değiştirme Grafiği



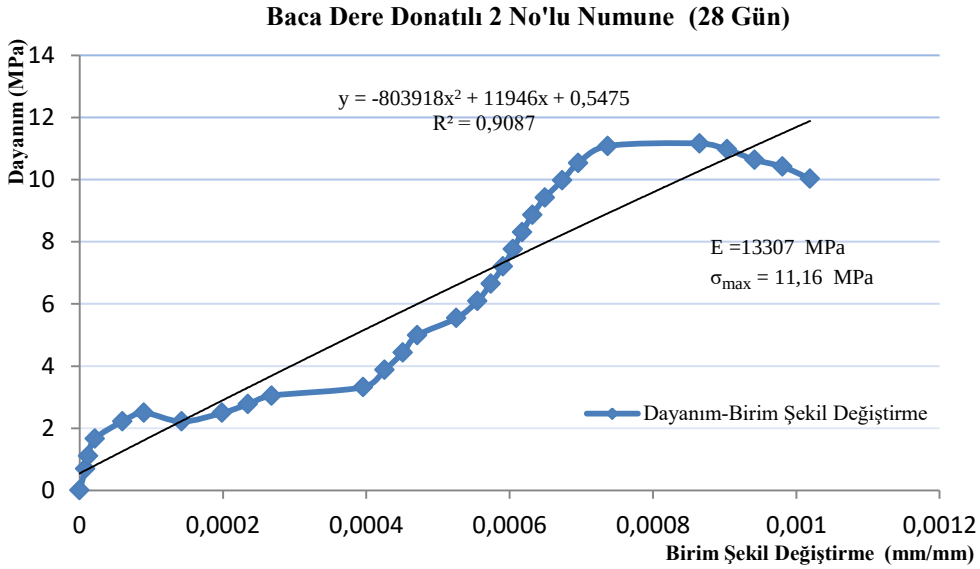
Şekil 4.14. Baca Bazalt Etriyeli (BBE) 1 No'lu Elemanına Ait Gerilme-Şekil Değiştirme Grafiği



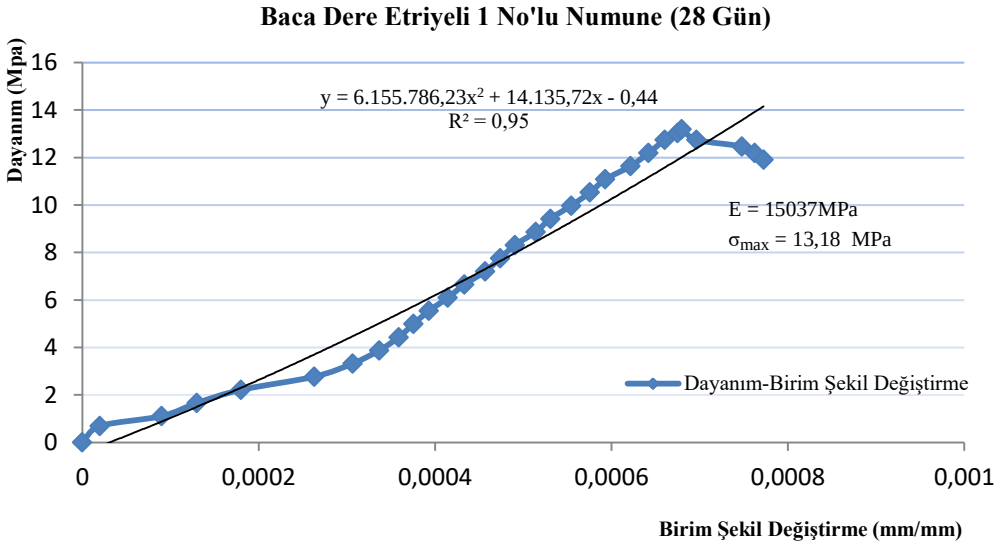
Şekil 4.15. Baca Bazalt Etriyeli (BBE) 2 No'lu Elemanına Ait Gerilme-Şekil Değiştirme Grafiği



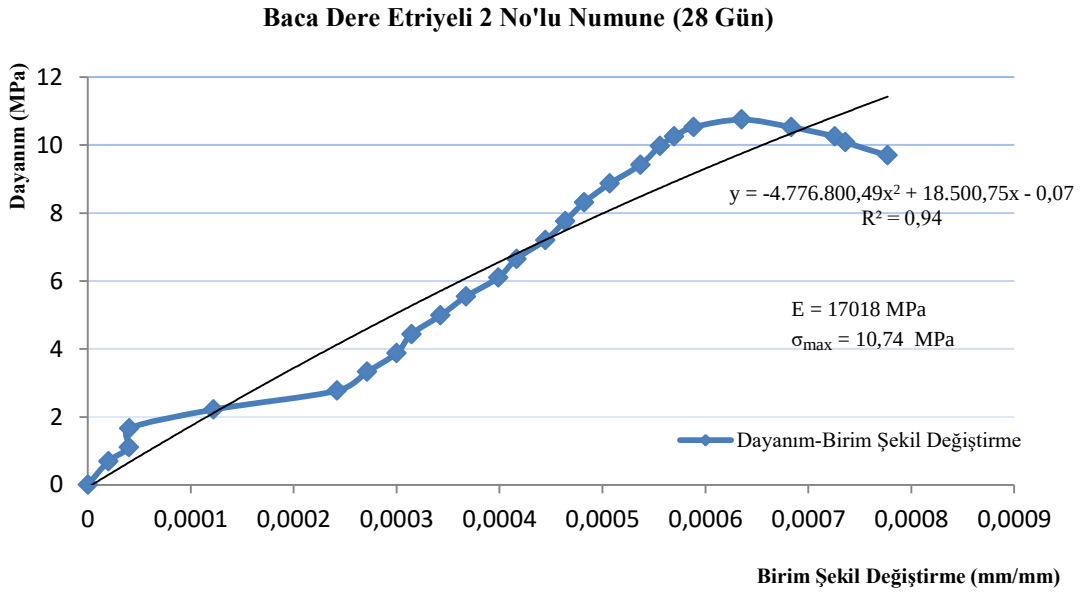
Şekil 4.16. Baca Dere Donatılı (BDD) 1 No'lu Elemanına Ait Gerilme-Şekil Değiştirme Grafiği



Şekil 4.17. Baca Dere Donatılı (BDD) 2 No'lu Elemanına Ait Gerilme-Şekil Değiştirme Grafiği



Şekil 4.18. Baca Dere Etriyeli (BDE) 1 No'lu Elemanına Ait Gerilme-Şekil Değiştirme Grafiği



Şekil 4.19. Baca Dere Etriyeli (BDE) 2 No'lu Elemanına Ait Gerilme-Şekil Değiştirme Grafiği

Çizelge 4.28'de baca tuğla ile ile üretilen tüm yarı rijit elemanların ortalama elastisite modül sonuçları verilmiştir. Sonuç olarak baca tuğla ile üretilen tüm yarı rijit elemanların ortalama elastisite modülü 12766 MPa çıkmıştır. Baca tuğla ile üretilen yarı rijit elemanların ortalama elastisite modüllerinde boş baca tuğlaya göre 3-4,83 kat arasında artış olduğu görülmüştür. Yarı rijit elemanlar donatılı ya da etriyeli olma durumuna göre değerlendirildiğinde ise etriyenın tek donatılıya göre bazalt malzeme ile üretilen yarı rijit elemanın elastisite modülde 1.24 kat artışa sebep olduğu görülmüştür. Baca tuğlada dere malzeme ile üretilen C25 beton kullanılması durumunda ise etriye donatıya göre ortalama elastisite modülde yaklaşık 1,16 kat artışa sebep olmuştur.

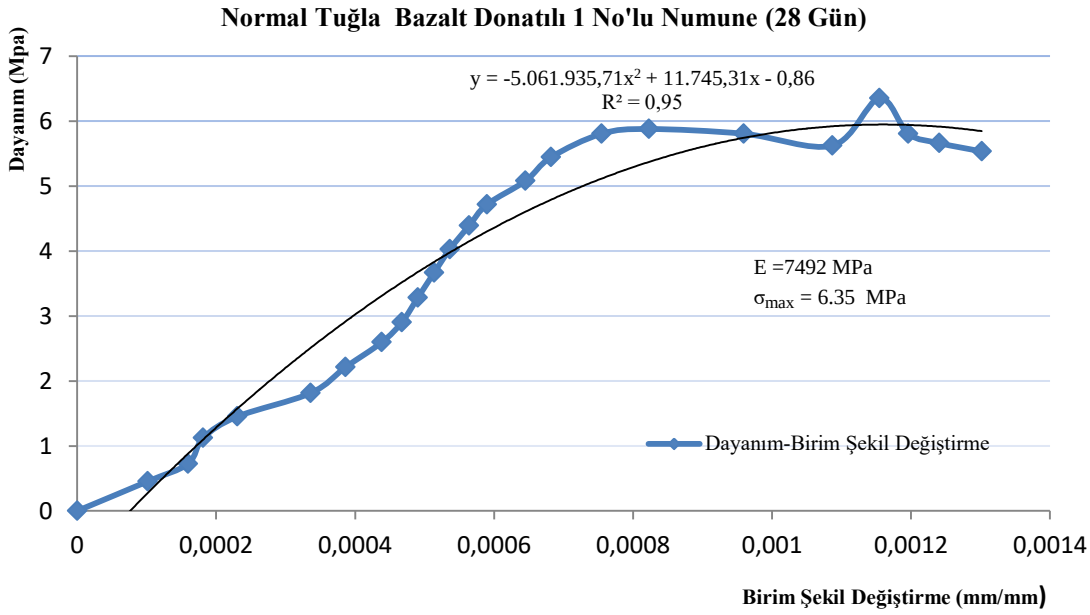
Çizelge 4.28. Baca Tuğla İle Oluşturulan Yarı Rijit Elemanların Ortalama Elastisite Modul Sonuçları

Numune Adı	Ortalama Elastisite Modulü (MPa)
BBD	9819
BBE	12200
BDD	13421
BDE	15625
Ortalama	12766

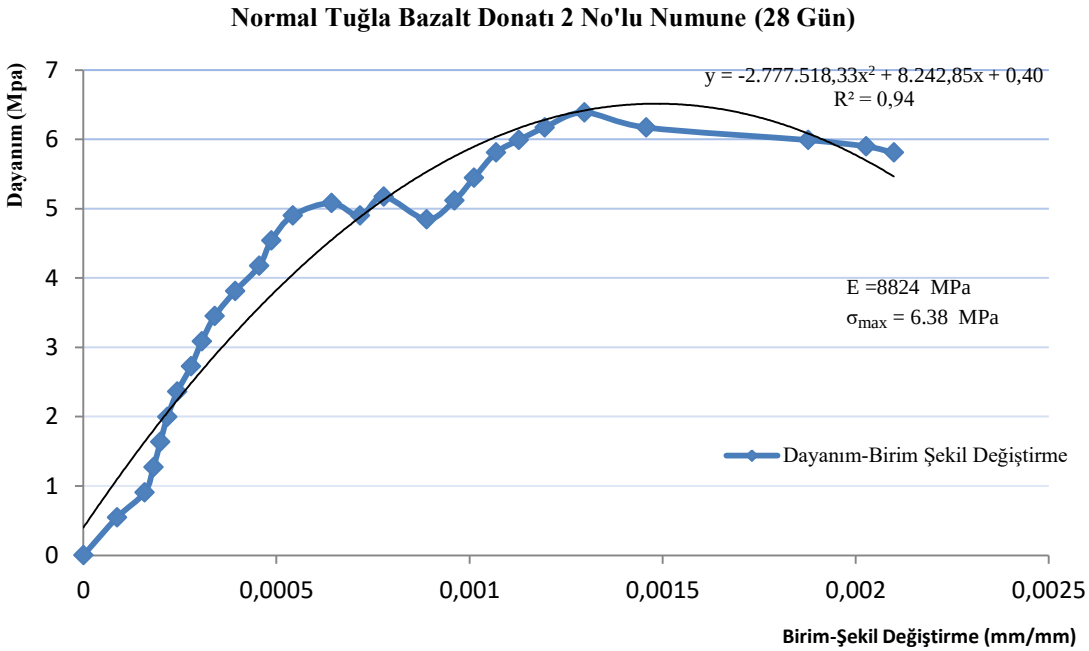
Normal tuğla ile gerçekleştirilen yarı rijit elemanların 28 günlük ortalama basınç dayanımlarına ait sonuçlar çizelge 4.29'da özetlenmiştir. Normal tuğla ile oluşturulan yarı rijit elemanların 28 günlük ortalama basınç dayanımları normal boş tuğlaya göre 1,71 ile 2,55 kat arasında artışa sebep olduğu görülmüştür. Yine bu tuğlalara ait gerilme–şekil değiştirme grafikleri 2'şer adet numune için şekil 4.20, 4.21, 4.22, 4.23, 4.24, 4.25, 4.26 ve 4.27'de verilmiştir.

Çizelge 4.29. Normal Tuğla İle Oluşturulan Yarı Rijit Elemanların Dayanım Sonuçları

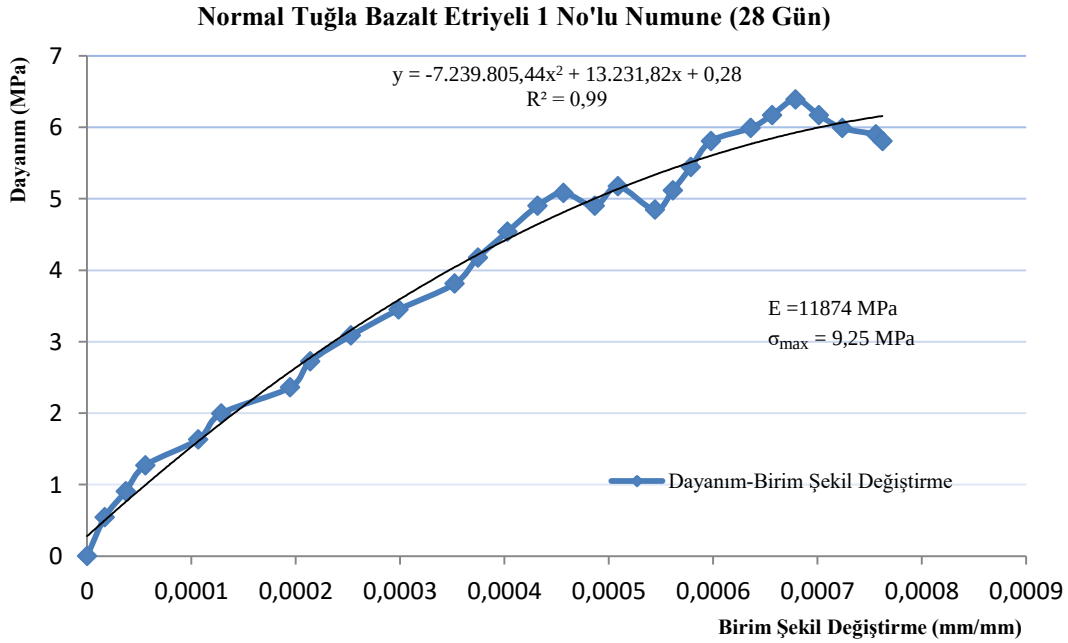
Numune	Yarı Rijit Elemanların Ortalama Basınç Dayanım Sonuçları (MPa)		
	7. Gün	28. Gün	90. Gün
Normal Bazalt Donatılı (NBD)	5.93	6.43	9.91
Normal Bazalt Etriyeli (NDE)	7.31	8.10	9.94
Normal Dere Donatılı (NDD)	7.32	8.32	9.83
Normal Dere Etriyeli (NDE)	8.80	9.55	10.24



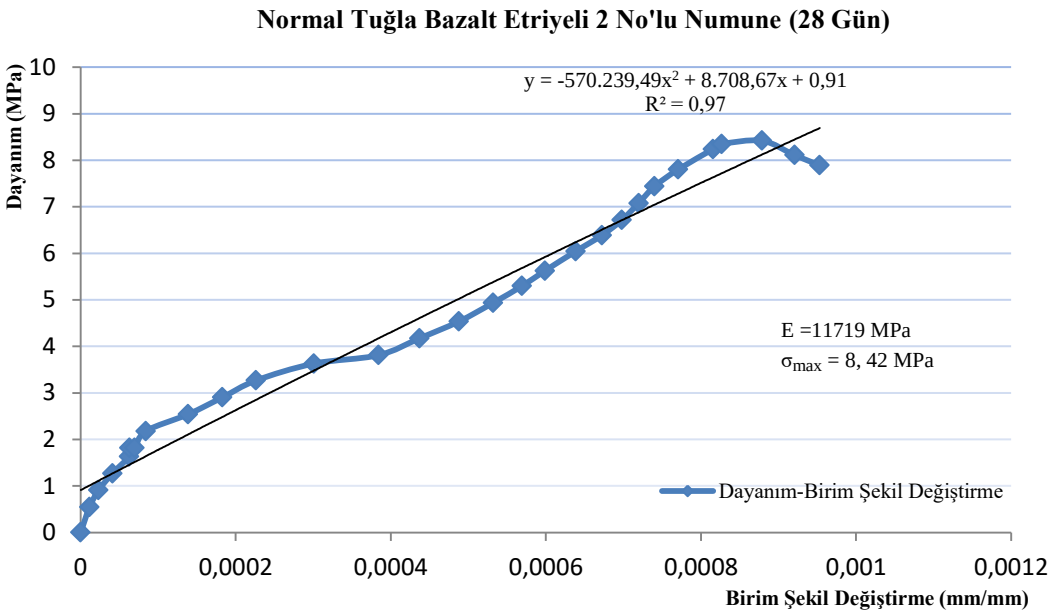
Şekil 4.20. Normal Bazalt Donatılı (NBD) 1 No'lu Elemanına Ait Gerilme-Şekil Değiştirme Grafiği



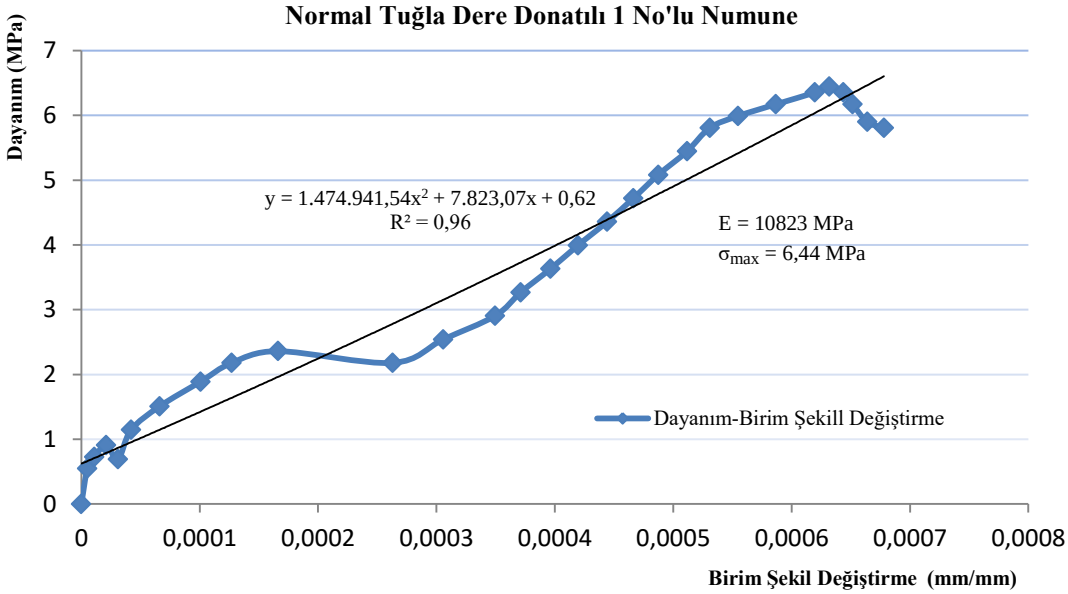
Şekil 4.21. Normal Bazalt Donatılı (NBD) 2 No'lu Elemanına Ait Gerilme-Şekil Değiştirme Grafiği



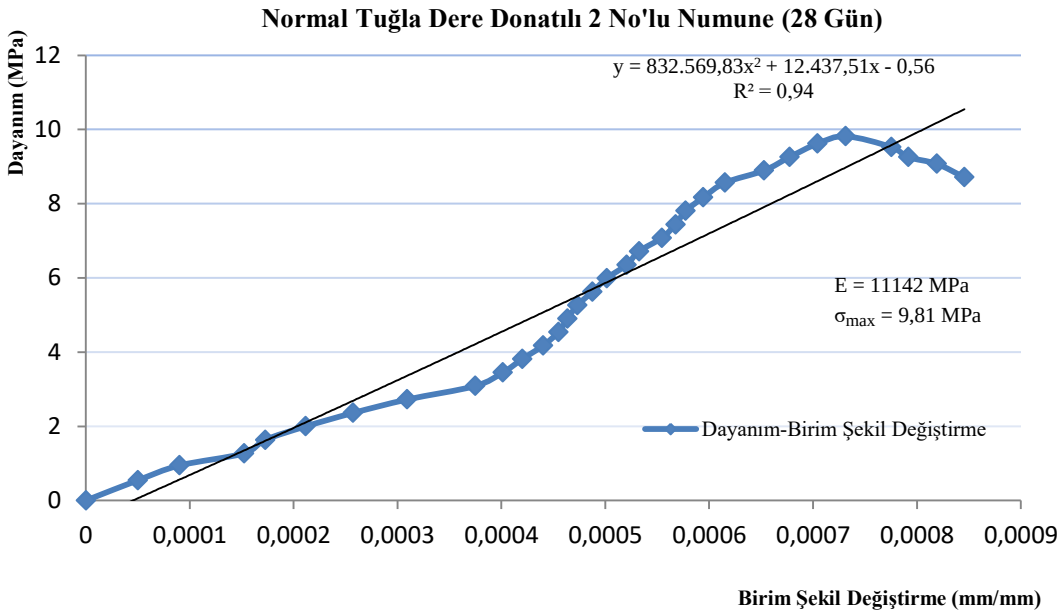
Şekil 4.22. Normal Bazalt Etriyeli (NBE) 1 No'lu Elemanına Ait Gerilme-Şekil Değiştirme Grafiği



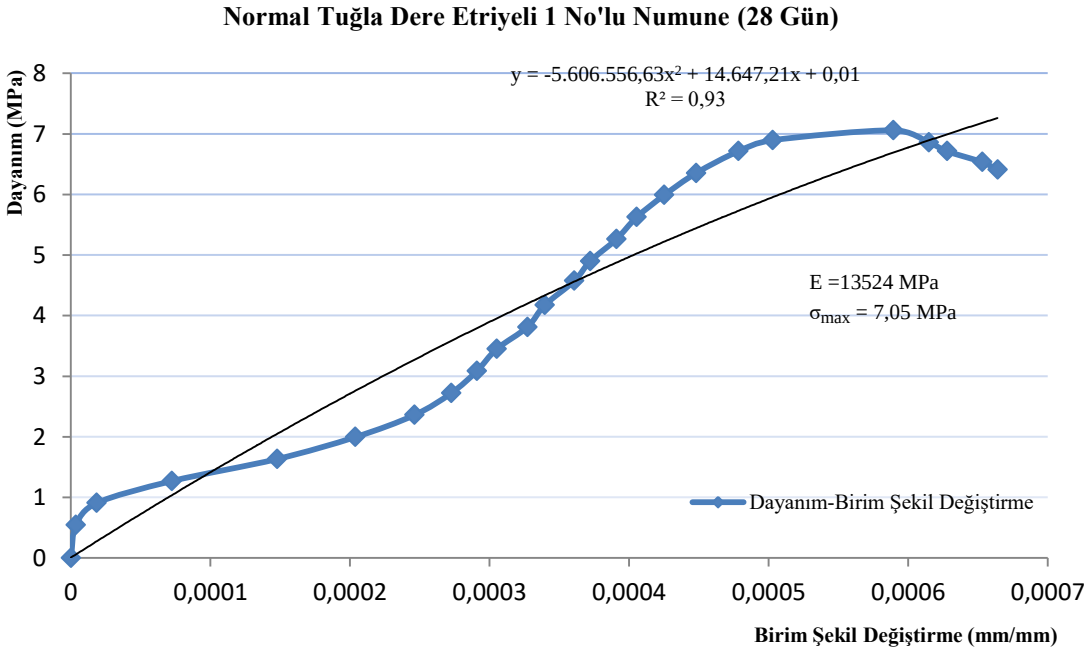
Şekil 4.23. Normal Bazalt Etriyeli (NBE) 2 No'lu Elemanına Ait Gerilme-Şekil Değiştirme Grafiği



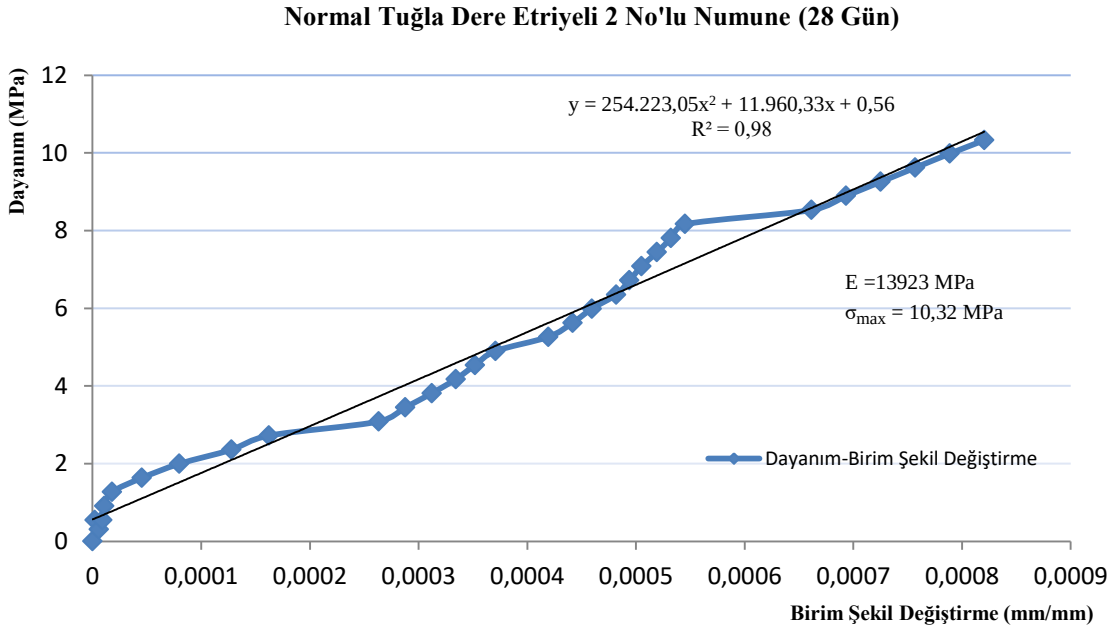
Şekil 4.24. Normal Dere Donatılı (NDD) 1 No'lu Elemanına Ait Gerilme-Şekil Değiştirme Grafiği



Şekil 4.25. Normal Dere Donatılı (NDD) 2 No'lu Elemanına Ait Gerilme-Şekil Değiştirme Grafiği



Şekil 4.26. Normal Dere Etriyeli (NDE) 1 No'lu Elemanına Ait Gerilme-Şekil Değiştirme Grafiği



Şekil 4.27. Normal Dere Etriyeli (NDE) 2 No'lu Elemanına Ait Gerilme-Şekil Değiştirme Grafiği

Çizelge 4.30'da normal tuğla ile üretilen yarı rijit elemanların ortalama elastisite modül sonuçları verilmiştir. Normal tuğla ile oluşturulan yarı rijit elemanın elastisite modülü boş normal tuğlaya göre 2,56 - 4 kat arasında artmıştır. Çalışmada deneyleri gerçekleştirilen normal boş tuğla yerine bu tuğla ile üretilmiş yarı rijit eleman kullanılması durumunda elastisite modülde ortalama 3,31 kat artış sağlanacaktır. Sonuç olarak normal tuğla elastisite modülü 3394 MPa iken bu tuğla ile üretilen tüm yarı rijit elemanların ortalama elastisite modülü 11245 MPa çıkmıştır. Yarı rijit elemanlar donatılı ya da etriyeli olma durumuna göre değerlendirildiğinde ise etriyenın tek donatılıya göre bazalt malzeme ile üretilen yarı rijit elemanın elastisite modülde 1.35 kat artışa sebep olduğu görülmüştür. Normal tuğlada dere malzeme ile üretilen C25 beton kullanılması durumunda ise etriye donatıya göre ortalama elastisite modulde yaklaşık 1,27 kat artışa sebep olmuştur.

Çizelge 4.30. Normal Tuğla İle Oluşturulan Yarı Rijit Elemanların Ortalama Elastisite Modul Sonuçları

Numune Adı	Ortalama Elastisite Modulü (MPa)
NBD	8696
NBE	11750
NDD	10810
NDE	13725
Ortalama	11245

Baca ve normal tuğlalar ile oluşturulan yarı rijit elemanların elastisite modüllerinin sekant modülü yöntemiyle bulunduğu daha önce açıklanmıştı. Yine bu tuğlalar ile oluşturulan yarı rijit elemanların kompozit olarak kabul edildiği de aktarılmıştır. Bu kapsamda $E_{kompozit}$ değerleri bulunmuştur. Çalışmada değişken olarak tuğla tipi, (baca, normal tuğla), C25 beton üretiminde kullanılan malzeme tipi (bazalt,dere), donatı tipi (tek donatılı, etriyeli donatılı) dikkate alınarak yarı rijit elemanlar oluşturulmuştur. $E_{kompozit}$ değerleri hesaplanırken kompozit malzemenin betonunu her iki malzeme ile üretilen numuneler için TS 500 (2000)'de yer alan C25 beton için 30000 MPa alındığından bir önceki bölümde bahsedilmişti. Yine donatı alanlarının sabit olmasından kaynaklı değişken olarak yalnızca tuğla tipinin kullanılmasından dolayı yarı rijit elemanlarda için hesaplanan $E_{kompozit}$ değerleri çizelge 4.31'de tuğla tiplerine göre verilmiştir, Aynı çizelgede sekant modülü ve kompozit malzeme için kullanılan formül ile bulunan ortalama elastisite modüllerine ait sonuçlar verilmiştir. Her iki tuğla tipi için de oluşturulan yarı rijit elemanlara ait deneysel sonuçlar ile hesaplanan kompozit malzeme değerleri çizelge 4.32'de verilmiştir. Aynı çizelgede herbirinden 4'er adet olmak üzere deneyleri gerçekleştitilen boş tuğlalar ve yarı rijit elemanlara ait 28 günlük ortalama dayanım ve elastisite modülü sonuçları verilmiştir.

Çizelge 4.31. Yarı Rijit Elemanlara Ait Ortalama Elastisite Modulü Değerleri

Tuğla Tipi	Yarı Rijit Malzemenin Ort. Elastisite Modülü (MPa)	Kompozit Malzeme Elastisite Modülü (MPa)
Baca Tuğla	12766	12151
Normal Tuğla	11245	9669

Çizelge 4.32. Boş Tuğla ve Oluşturulan Yarı Rijit Elemanlara Ait Dayanım ve Elastisite Modül Değerleri

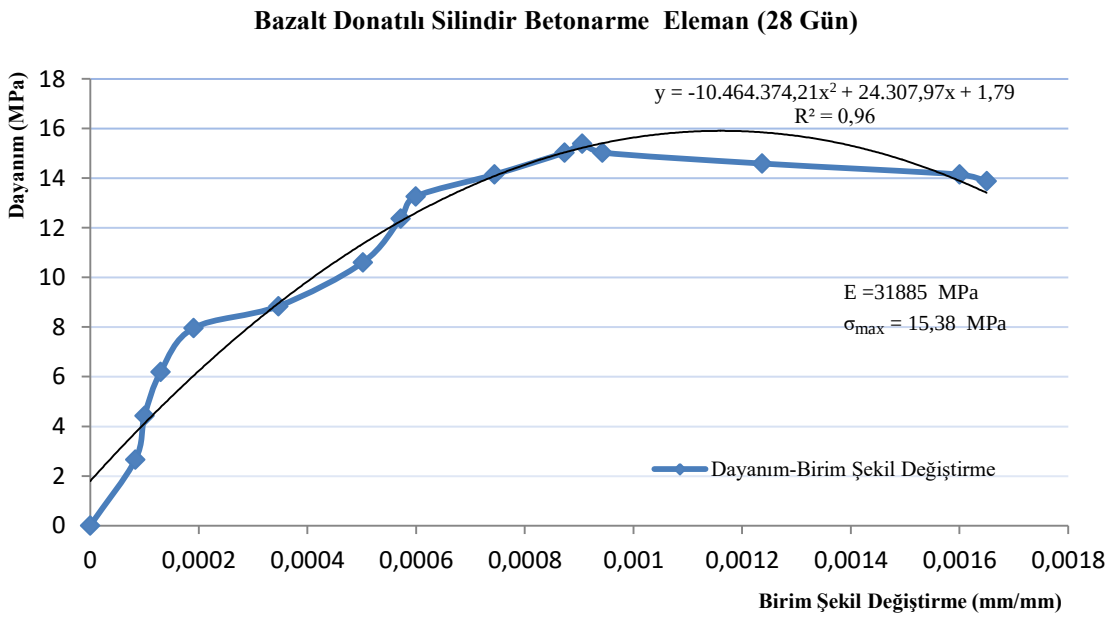
Elaman Türü	Sekant Modulü İle Bulunan 28 Günlük Ortalama Dayanım (MPa)	Sekant Modulü İle Bulunan 28 Günlük Ortalama Elastisite Modülleri (MPa)	Kompozit Malzemenin Elastisite Modülü $E_{komp.}$ (MPa)
Boş Baca Tuğla	3,34	3234	-
BBD	9.28	9819	12151
BBE	7.57	12200	12151
BDD	11.65	13421	12151
BDE	11.09	15625	12151
Boş Normal Tuğla	3,75	3394	-
NBD	6.43	8696	9667
NBE	8.10	11750	9667
NDD	8.32	10810	9667
NDE	9.55	13725	9667

4.2.4. Yarı Rijit Elemanların İçindeki Betonarme Elemanların Deney Sonuçları

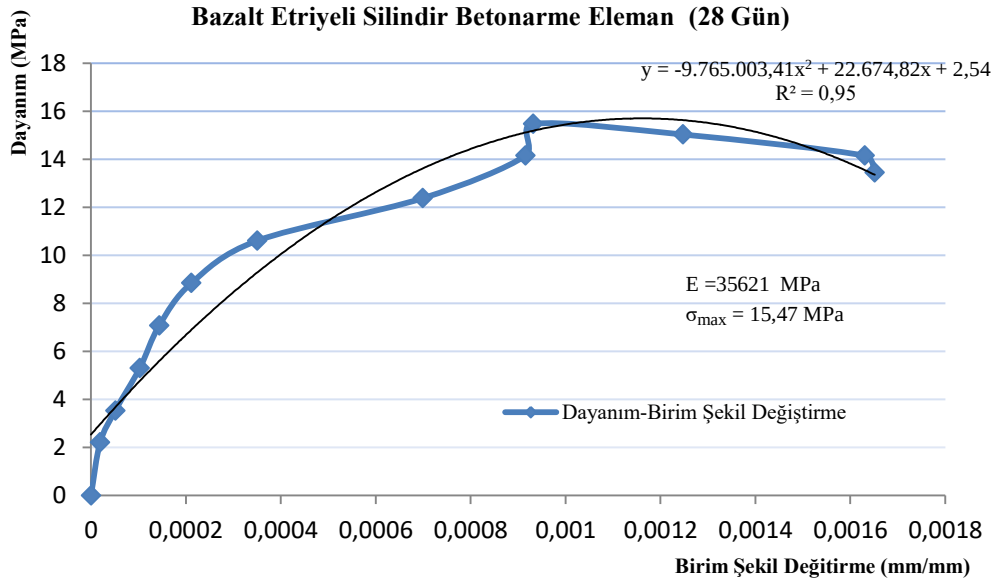
Baca tuğla ile oluşturulan yarı rijit elemanların içindeki 120 mm çaplı ve 190 mm yüksekliğe sahip silindir elemanlar ile normal tuğlanın içindeki 55x105 mm ebatlarındaki dikdörgen kesitli betonarme elemanlara ait 28 günlük basınç dayanımına ait deney sonuçları çizelge 4.33'de verilmiştir. Şekil 4.28, 4.29, 4.30 ve 4.31'de 1'er adet 120 mm çaplı 190 mm yüksekliğindeki baca tuğlanın içindeki silindir şeklindeki betonarme elemanların gerilme şekil değiştirme grafikleri verilmiştir. Bazalt ve dere malzemeden üretilen donatılı ve etriyeli şekilde olmak üzere toplam 4 adet numune türüne ait sekant modülü ile hesaplanan elastisite modüller ve maksimum basınç dayanımları aynı grafiklerde verilmiştir.

Çizelge 4.33. Baca ve Normal Tuğlaların İçindeki Betonarme Elemanların Ortalama Basınç Dayanımları

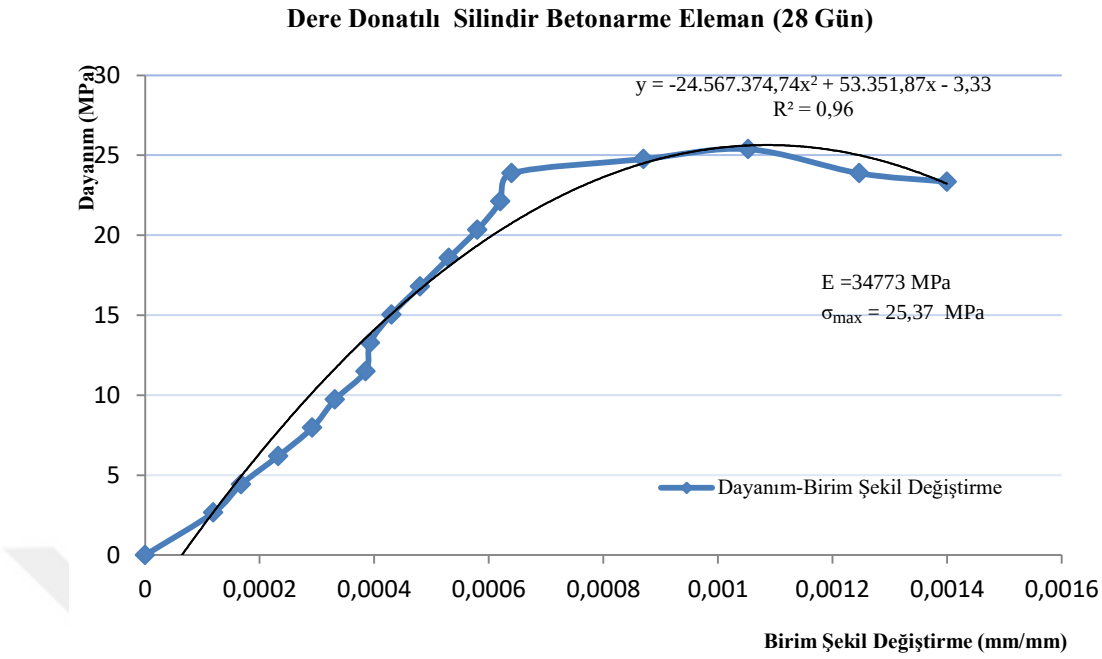
Donatı Şekli	Baca Tuğla İle Üretilen Betonarme Elemanın 28 Günlük Ortalama Basınç Dayanımı (MPa); (120mm Çaplı Betonarme Silindir)		Normal Tuğla İle Üretilen Betonarme Elemanın 28 Günlük Ortalama Basınç Dayanımı (MPa); (55x105mm Dikdörtgen Numune)	
	Bazalt	Dere	Bazalt	Dere
Donatılı	18,70	23,78	21,12	33,24
Etriyeli	15,6	27,53	23,46	29,17



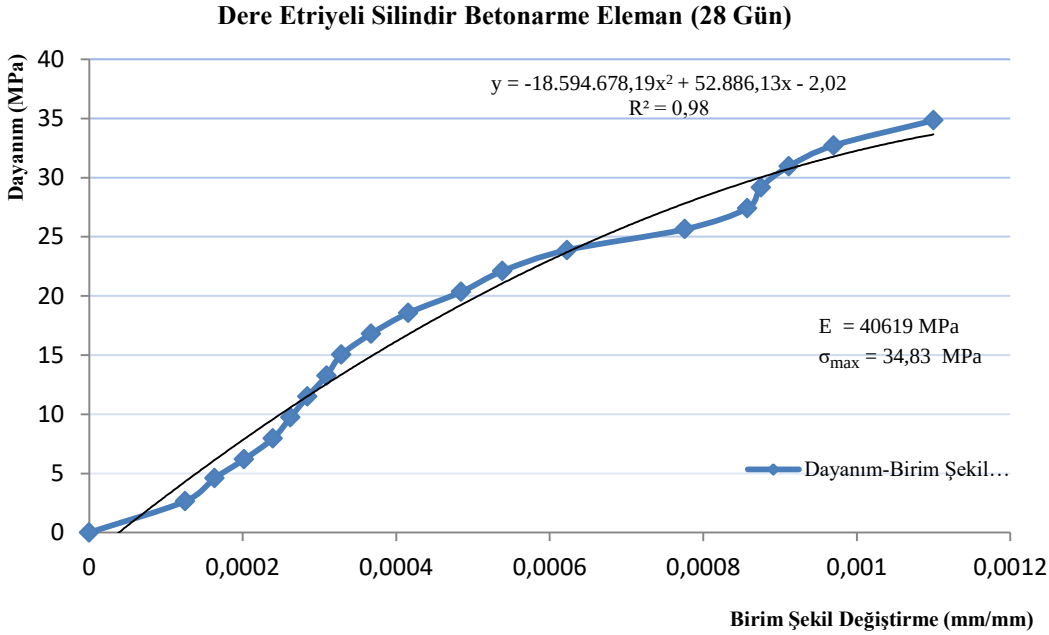
Şekil 4.28. Bazalt Donatılı Çerçeve İle Ölçülen 12x190 mm'lik Betonarme Elemanına Ait 28 Günlük Gerilme-Şekil Değiştirme Grafiği



Şekil 4.29. Bazalt Etriyeli Çerçeve İle Ölçülen 120x190 mm'lik Betonarme Elemanına Ait 28 Günlük Gerilme-Şekil Değiştirme Grafiği



Şekil 4.30. Dere Donatılı Çerçeve İle Ölçülen 120x190 mm'lik Betonarme Elemanına Ait 28 Günlük Gerilme-Şekil Değiştirme Grafiği



Şekil 4.31. Dere Etriyeli Çerçeve İle Ölçülen 120x190 mm'lik Betonarme Elemanına Ait 28 Günlük Gerilme-Şekil Değiştirme Grafiği

Çizelge 4.34'de silindir çerçeve ile deneyleri gerçekleştirilen betonarme elemanların sekant modülü ile hesaplanan 28 günlük ortalama elastisite modül değerleri verilmiştir. Çizelge 4.35'de silindir çerçeve ile deneyleri gerçekleştirilen betonarme elemanların; baca tuğla, baca tuğla ile oluşturulan yarı rijit elemanların, kompozit elemanların ve sertleşmiş beton numunelerinin ortalama basınç dayanımı ve elastisite modül değerlerinin kıyaslanması yapılmıştır. Sonuçlardanda görüldüğü gibi oluşturulan yarı rijit elemanların basınç dayanımları boş tuğlaya göre artış göstermiştir. Bazalt malzeme ile üretilen 28 günlük sertleşmiş betonun elastisite modülü 28200 MPa iken betonarme elemanın elastisite modülü donatılı ve etriyeli olarak sırası ile 31750 MPa ve 35540 MPa çıkmıştır. Bazalt malzeme ile üretilen yarı rijit elemanın donatılı ve etriyeli olma durumunda ise ortalama elastisite modülleri sırası ile 9819 ve 12200 MPa olmuştur. Aynı şekilde dere malzeme ile üretilen 28 günlük sertleşmiş betonun elastisite modülü 33890 MPa iken betonarme elmanın ortalama elastisite modülü 34780 MPa ve 40620 MPa sırası ile donatılı ve etriyeliler için çıkmıştır. Dere malzeme ile üretilen yarı rijit elemanın donatılı ve etriyeli olma durumunda ise ortalama elastisite modülleri sırası ile 13421 ve 15625 MPa olmuştur. Sonuçlardanda anlaşıldığı gibi oluşturulan yarı rijit eleman kullanımının boş tuğla ile betonarme eleman arasında bir davranış sergilediği görülmektedir.

Çizelge 4.34. Baca Tuğlaların İçindeki Betonarme Elemanların Ortalama Elastisite Modül Değerleri (MPa)

Donatı Şekli	**Baca Tuğla İle Üretilen Betonarme Elemanın 28 Günlük Ortalama Elastisite Modülleri (MPa); (120mm Çaplı Betonarme Silindir)**	
	Bazalt	Dere
Donatılı	31750	34780
Etriyeli	35540	40620

Çizelge 4.35. Baca Tuğla, Baca Tuğla ile Oluşturulan Yarı Rijit Elemanların ve Baca Tuğla İçindeki Betonarme Elemanların 28 Günlük Basınç Dayanımı ve Elastisite Modül Değerlerinin Kıyaslanması

Elaman Türü	28 Günlük Ortalama Basınç Dayanım (MPa)	Sekant Modulü İle Bulunan 28 Günlük Ortalama Elastisite Modülleri (MPa)	Kompozit Malzemenin Elastisite Modülü $E_{komp.}$ (MPa)
Boş Baca Tuğla	3,34	3234	-
Bazalt Malz. Üretilen Sertleşmiş Beton	21,68	28200	-
Bazalt Donatılı Betonarme Eleman	18,70	31750	-
Bazalt Donatılı Yarı Rijit Eleman	9.28	9819	12151
Bazalt Etriyeli Betonarme Eleman	15,6	35540	-
Bazalt Etriyeli Yarı Rijit Eleman	7.57	12200	12151
Dere Malz. Üretilen Sertleşmiş Beton	25,86	33890	-
Dere Donatılı Betonarme Eleman	23,78	34780	-
Dere Donatılı Yarı Rijit Eleman	11.65	13421	12151
Dere Etriyeli Betonarme Eleman	27,53	40620	-
Dere Etriyeli Yarı Rijit Eleman	11.09	15625	12151

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

5.1. Sonuçlar

Bazalt ve dere malzeme ile üretilen C25 beton basınç dayanımları arasında farklar oluşmuştur. Dere malzeme ile üretilen betonların dayanımlarının yüksek olması bazalt malzemenin su/çimento oranının ve metilen mavisi sonuçlarının fazla olmasından kaynaklandığı,

Bazalt ve dere malzeme ile üretilen beton numunelerinin 28 günlük sertleşmiş beton basınç deneylerinde yükleme hızının düşük olduğu serilerde basınç dayanımının bir miktar daha az çıktığı,

Baca tuğlaların ortalama basınç dayanımları yarı rijit elemana göre kıyaslandığında hem etriyeli hem donatılı yarı rijit elemanların ortalama basınç dayanımlarında ciddi artışlar olduğu görülmüştür. 28 günlük ortalama basınç dayanımları ile kıyaslandıklarında 2,77 ile 3,48 kat arasında değişen artışların olduğu,

Normal tuğlaların ortalama basınç dayanımları yarı rijit elemana göre kıyaslandığında hem etriyeli hem donatılı yarı rijit elemanların dayanımlarında ciddi artışlar olduğu görülmüştür. 28 günlük basınç dayanımları açısından boş tuğla ile kıyaslandıklarında 1,71 kat ile 2,55 kat arası dayanım artışına sebep olduğu,

Beton elastisite modülü hesabı için sertleşmiş beton numunelerinde kullanılan yönetmelik, bağıntı vs formülleri ile elde edilen sonuçların; sekant modülü hesabı ile gerilme-şekil değiştirme grafiklerinden elde edilen deneysel sonuçlarla kıyaslandığında yakın değerlerin çıkması uygulanan yöntemin doğruluğu açısından güven vermektedir,

Bazalt ve dere malzeme ile üretilen 28 günlük sertleşmiş beton numunelerinin sekant modülü ile hesaplanan ortalama basınç dayanımları Voellmy ve Desayi ve Krishnan bağıntılarından elde edilen değerlere daha yakın çıktığı;

Yarı rijit elemanlarda; etriye kullanımının tek donatılı elemanlara göre dayanımda birçok numunede artış gösterirken, elastisite modülleri açısından kıyaslandığında tüm numunelerde artışa sebep olmaktadır. Etriye kullanımının elastisite modülünde artışa sebep olduğu,

Çalışmada hedef, yarı rijit olarak oluşturulan elemanların boş tuğlaya göre dayanım artışı sağlaması ve kompozit malzeme gibi davranması idi hemen hemen tüm numunelerde tuğla ve betonun birlikte hareket ettiği görülmüştür. Deneyler gerçekleştirilirken yarı rijit elemanların kırıldıktan sonra tum numunelerin içindeki betonarme elemanların da kırıldığı yani sonuç olarak kompozit malzeme gibi birlikte hareket ettikleri,

Yarı rijit elemanların sekant modülü ile bulunan elastisite modülleri kompozit malzeme için önerilen elastisite modülü hesaplarıyla yakın sonuçlar verdiği,

Normal tuğla ile oluşturulan yarı rijit elemanın elastisite modülü boş normal tuğlaya göre 2,56 - 4 kat arasında artmıştır. Çalışmada deneyleri gerçekleştirilen normal boş tuğla yerine bu tuğla ile üretilmiş yarı rijit eleman kullanılması durumunda elastisite modülde ortalama 3,31 kat artış sağlanacaktır. Sonuç olarak normal tuğla elastisite modülü 3394 MPa iken bu tuğla ile üretilen tüm yarı rijit elemanların ortalama elastisite modülü 11245 MPa çıkmıştır. Normal tuğla ile oluşturulan yarı rijit elemanlar donatılı ya da etriyeli olma durumuna göre değerlendirildiğinde ise etriyenın tek donatılıya göre bazalt malzeme ile üretilen yarı rijit elemanın elastisite modülünde 1.35 kat artışa sebep olduğu görülmüştür. Normal tuğlada dere malzeme ile üretilen C25 beton kullanılması durumunda ise etriye donatıya göre ortalama elastisite modulde yaklaşık 1,27 kat artışa sebep olmuştur.

Baca tuğla elastisite modülü 3234 MPa iken; baca tuğla ile üretilen tüm yarı rijit elemanların ortalama elastisite modülü 12766 MPa çıkmıştır. Baca tuğla ile üretilen yarı rijit elemanların ortalama elastisite modüllerinde boş baca tuğlaya göre 3 - 4,83 kat arasında artış olduğu görülmüştür. Baca tuğla ile oluşturulan yarı rijit elemanlar donatılı ya da etriyeli olma durumuna göre değerlendirildiğinde ise etriyenın tek donatılıya göre bazalt malzeme ile üretilen yarı rijit elemanın elastisite modülde 1.24 kat artışa sebep olduğu görülmüştür. Baca tuğlada dere malzeme ile üretilen C25 beton kullanılması durumunda ise etriye donatıya göre ortalama elastisite modülde yaklaşık 1,16 kat artışa sebep olmuştur.

Bazalt malzeme ile üretilen 28 günlük sertleşmiş betonun elastisite modülü 28200 MPa iken betonarme elemanın donatılı ve etriyeli olarak sırası ile elastisite modülü 31750 MPa ve 35540 MPa çıkmıştır. Bazalt malzeme ile üretilen yarı rijit elemanın donatılı ve etriyeli olma durumunda ise ortalama elastisite modülleri sırası ile

9819 ve 12200 MPa olmuştur. Aynı şekilde dere malzeme ile üretilen 28 günlük sertleşmiş betonun elastisite modülü 33890 MPa iken betonarme elemanın ortalama elastisite modülü 34780 MPa ve 40620 MPa sırası ile donatılı ve etriyeliler için çıkmıştır. Bazalt malzeme ile üretilen yarı rijit elemanın donatılı ve etriyeli olma durumunda ise ortalama elastisite modülleri sırası ile 13421 ve 15625 MPa olmuştur. Sonuçlardan da anlaşıldığı gibi oluşturulan yarı rijit eleman kullanımının boş tuğla ile betonarme eleman arasında bir davranış sergilediği,

Son olarak yarı rijit olarak adlandırdığımız ve eleman bazında deneyleri gerçekleştirilen numunelerin dayanımlarının boş tuğlaya göre artış gösterdiği, C25 beton numunelerine göre daha düşük dayanım gösterdiği, elastisite modülleri açısından kıyaslandıklarında ise yarı rijit elemanların elastisite modül değerlerinin tuğla malzeme ile betonarme arasında bir değer aldığı sonuçlarına varılmıştır.

5.2. Öneriler

Yarı rijit elemanlar kullanılarak oluşturulacak olan dolgu duvarların sistemin dayanımı üzerinde olumlu etkilerinin olacağı düşünüldüğünden tercih edile bilinir.

Bu elemanlarla oluşturulacak dolgu duvarların boş tuğlaya göre daha rijit bir sistem oluşturacağı kesindir bu sebeple değerlendirile bilinir.

Perde kullanımının sıkıntılı olduğu yapılarda alternatif bir yöntem olarak düşünüle bilinir.

Yarı rijit eleman dolgulu çerçeve sistemlerle daha kapsamlı deneyler gerçekleştirilerek daha iyi sonuçlar alına bilinir.

Yarı rijit eleman doğulu çerçeve sistemlerin analitik modellemeleri yapılarak boş çerçeve, farklı dolgu sistemli çerçeveler ile kıyaslana bilinir

Çalışma kapsamında üretilen faydalı modelin –özellikle diktörtgen olanın piyasada bulunmaması ve tez kapsamında yapılmış olması bundan sonraki çalışmalarda kullanılması açısından faydalı bir öneri olduğu kanaatine varılmıştır. Bu faydalı modelin geliştirilmesinden yola çıkarak başka numunelerde kullanılabilir olması ve /veya geliştirilmesi daha sonraki bilimsel çalışmalara katkı sunacağı kesindir.

6. KAYNAKLAR

ACI 318-95. 1996. Building Code Requirements of Structural Concrete. Use of Concrete in Buildings-Design, Specifications and Related Topics, ACI Manual of Concrete Practice Part 3, Detroit,Michigan

ACI 318M-08. 2008. Building code requirements for structural concrete and commentary, American Concrete Institute, USA,

ACI 363R-92. 1994. Materials and General Properties of Concrete. State of The Art Report on High Strength Concrete, ACI Manual of Concrete Practice Part 1, Detroit, Michigan

Acun, B. ve Sucuoğlu, H. 2005. Tuğla Dolgu Duvarlı Çerçevelerin Hasır Donatı İle Güçlendirilmesi. Deprem Sempozyumu, Kocaeli.

AFAD Deprem Dairesi Başkanlığı. 2018. https://www.afad.gov.tr/.

Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik, Bayındırlık ve İskân Bakanlığı, 2007.

Al-Chaar, G.K. and Mehrabi, A.B. 2008. Constitutive Models for Nonlinear Finite Element Analysis of Masonry Prisms and InfillWalls. ERDC/CERL TR-08-19, Engineer Research and Development Center, Construction Engineering Research Laboratory.

Altin, S., Anil, Ö., Kopraman, Y. ve Belgin, Ç. 2010. Strengthening Masonary Infill Walls With Reinforced Plaster'. Proceedings of the Institution of Civil Engineering Structures and Buildings, 163(5): 331-342.

Altın, S., U., Ersoy, T., Tankut. 1992. Hysteretic Response of Reinforced-Concrete Infilled Frames, ***Journal of Structural Engineering***, 118: 2133-2150.

Anil, Ö.ve Altin, S. 2007. An Experimental Study on Reinforced Concrete Partially İnfilled Frames. ***Engineering Structures***, 449–460

Akpınar U, Binici B. 2013. The Effect of Infill Wall Collapse on the Deformation Estimations of Reinforced Concrete Frames. ***Journal of Civil Engineering and Science***, 2(3): 171-177.

Anıl Ö, Altın S. 2006. An Experimental Study on RC Partially-Infilled Frames. ***Engineering Structures***, 1(8)

Asteris, P.G., Kakaletsis, D.J., Chrysostomou,C.Z., Smyrou, E.E. 2011. Failure Modes of In-filled Frames.***Electronic Journal of Structural Engineering*** 11(1)

ASTM - C 469 – 02. 2002. Standard Test Method for Static Modulus of Elasticity and Poisson's Ratio of Concrete in Compression. ASTM Standards

Baran, M., Aktaş, M. ve Aykaç, S. 2014. Sıvanmış Tuğla Dolgu Duvarların Şerit Beton/Betonarme Panellerle Güçlendirilmesi**.** ***Journal of the Faculty of Engineeringand Architecture of Gazi University***, 29(1): 23-33

Bayındırlık ve İskan Bakanlığı Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik. 2007. Ankara.

Bayülke, N. 2003/4. Betonarme Yapının Dolgu Duvarı. TMH 'Türkiye Mühendislik Haberleri, sayı 426, syf, 85-98

Bayülke, N. 2011.Yığma Yapıların Deprem Davranışı ve Güvenliği. 1. Türkiye Deprem Mühendisliği ve Sismoloji Konferansı, Odtü – Ankara

Bayülke, N. 2013.Yığma Yapılar (Taş ve Tuğla). TMMOB, İnşaat Mühendisleri Odası, 3.Baskı, Ankara

Benjamin,J.R. ve Williams, H.A. 1957. The Behaviour of One-Storey Reinforced Concrete Shear Walls. ***ASCE, Journal of Structural Division***, 83(ST3): 1254.

Benjamin,J.R. ve Williams, H.A. 1958. The Behaviour of One-Storey Brick Shear Walls. ***ASCE, Journal of Structural Division***, 84(ST4): 1723.

Bertero, V.V. & Brokken, S. 1983. Infills in Seismic Resistant Building. ***Journal of Structural Engineering, ASCE***, 109(6): 1337-1361.

Bilir, T. 2016. Pomza Agregalı Betonların Elastisite Modüllerinin Tahmininde Bazı Ampirik Ve Kompozit Modellerin Performanslarının İncelenmesi. ***Niğde Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi***, 5(2): 195-207

British Standards Institute (BSI). 1972. Code Of Practice For The Structural Use Of Concrete , CP110, Part 1, 26. London,

Canbay, E., Ersoy,U. ve Ozcebe,G. 2003. Contribution of Reinforced Concrete Infills to Seismic Behavior of Structural Systems', ***Structural Journal***,100(5): 637-643

Celep, Z., Kumbasar, N. 2000. Deprem Mühendisliğine Giriş ve Depreme Dayanıklı Yapı Tasarımı. İstanbul.

Combescure, D. 2006. Some contributions of physical and numerical modelling to the assessment of existing masonry infilled RC frames under extreme loading", The First European Conference on Earthquake Engineering and Seismology, Geneva,Switzerland, September. 3: 457–464

Crisafulli, F.J. 1997. Seismic Behaviour of Reinforced Concrete Structures with Masonry Infills, PhD Thesis, University of Canterbury, New Zealand.

Delta Tuğla. (2019). E-Katalog. https://www.deltatoprak.com.tr/delta-tugla-katalog-1.pdf

Demirel, İ.O., Yakut,A. , Barış Binici, B.Canbay, E. 2015 . Betonarme Çerçevelerde Dolgu Duvar Etkisinin İncelenmesi Üzerine Deneysel Çalışma. 3. Türkiye Deprem Mühendisliği ve Sismoloji Konferansı. – DEÜ – İzmir

Demirel, C. Şimşek, O. 2014. Geri Dönüşüm Agregalı Betonlarda Elastisite Modülünün Deneysel Ve Teorik Olarak İncelenmesi. ***S.Ü. Müh. Bilim ve Tekn. Derg.*** 2(3): 13-24

Doğan A, H.N. Yığma Duvarların Mikro ve Makro Modelleme Teknikleri İle Lineer Olmayan Analizi. 2016. Yüksek Lisans Tezi. Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ

Doğangün, A. 2014. Betonarme Yapıların Hesap ve Tasarımı. Birsen Yayınevi. İstanbul. Sertifika no:17341. 11. Baskı

Ersoy, U. 2007. Betonarme Yapıların Onarımı ve Güçlendirilmesi Uygulama ve Araştırmalar. Altıncı Ulusal Deprem Mühendisliği Konferansı, 16-20 Ekim 2007, İstanbul

Ersoy, U., Uzsoy, S. 1971. The Behavior and Strength of Infilled Frames. Tübitak Proje No.MAG-205 (in Turkish), Ankara, Türkiye

Ersoy,U. ve Özcebe , G. 2012. Betonarme.3. Baskı. Evrim Yayınları, 1

Eurocode 2. 2004. Design of concrete structures-Part 1:General rules and rules for buildings, European Committee Standardization, Brussels

Felekoğlu, B.Türkel, S. 2004.Yükleme Hızının Beton Basınç Dayanımına ve Elastisite Modülüne Etkisi. ***DEÜ Mühendislik Fakültesi Fen ve Mühendislik Dergisi***, 6(1):65-75

FEMA-178. 1989. A Handbook for Seismic Evaluation of Existing Buildings (Preliminary) . Earthquake Hazards Reduction Series 47.

Fema-306. 1998. Evaluatıon Of Earthquake Damaged Concrete And Masonry Wall Buıldıngs. Applied Technology Council (ATC-43 Project)

FEMA 356. 2000. Prestandard and Commentary for the Seismic Rehabilitation of Buildings., Federal Emergency Management Agency (FEMA), Washington, D.C.

Fiorato, A.E, Sozen, M.A., & Gamble, W.L. 1970 . An Investigation of the Interaction of Reinforced Concrete Frames with Masonry Filler Walls." Report No. UILU-ENG 70-100, University of Illinois, Urbana-Champaign, IL.

Fiore, A. Netti, A. Monaco, P. 2012. The İnfluence of Masonry İnfill on The Seismic Behaviour of RC Frame Buildings. ***Engineering Structures*** 44: 133–145

Govindan,P. Lakshmipathy, M. Santhakumar, A.R. Ductility of lnfilled Frames. 1986. ***Journal Proceedings, ACI,*** 83(4): 567-576

Gunaslan E,S.,Uğurlu,M,A.,Karaşin, A,H. 2016 . Strengthening Concrete Sections by FRP Materials'***International Journal of Theoretical and Applied Mechanics*** , 1(2367): 8984

Gülkan, P. and Wasti, S.T. (1993), "Frame-Infill Interaction: A Non-linear investigation." 12th Technical Congress in Civil Engineering

Holmes, M. 1961. Steel Frames with Brickwork and Concrete Infilling. ***Institution of Civil Engineers (ICE)***, 19: 473-478.

Holmes, M. 1963, Combined Loading on Infilled Frames, ***Proceedings of the Institute of Civil Engineers,*** 25: 31-38.

Liauw, T.C., (1979), "Tests on Multistory Infilled Frames Subjected to Dynamic Lateral Loading", ***ACI Journal***, 551-563

Liauw, T.C. Kwan, K.H. 1984. Nonlinear Behaviour of Non-İntegral İnfilled Frames. Computers&Structures, vol18, no3, pp 551-560

Liu L, Wu Z, Sun H. 2014. The Influence of Infill Walls on RC Frames under Seismic Excitation, ***Architectural Engineering***, 2(4): 68-72

Madan A, Reinhorn A.M., Mander J.B.,Valles R.E. 1997. Modelling of Masonry Infill Panels for Structural Analysis, ***Journal of Structural Engineering***, 123,(10): 1295-1307

Mainstone, R.J. 1971. On the stiffness and strengths of infilled frames. Proceedings of the Institution of Civil Engineers, pp. 57-90.

Marjani, F., Ersoy,U. 2002. Behavior of Brick Infilled Reinforced Concrete FramesUnder Reversed Cyclic Loading. ECAS2002 International Symposium on Structural and Earthquake Engineering, Middle East Technical University, Ankara, Turkey

Mehrabi, A.B. 1994. Behavior of Masonry-Infilled Reinforced Concrete Frames Subjected to Lateral Loadings, PhD Thesis, University of Colorado, Colorado, USA.

Mehrabi A. B., Shing P. B. Schuller M. P. and Noland J. L. 1996. Experimental Evaluation of Masonry-Infilled RC Frames. ***Journal of structural Engineering***. 122(3): 228-237.

Mehrabi, A.B. and P.B. Shing. 1997. 'Finite Element Modeling of Masonry-Infilled RCFrames', ***ASCE Journal of Structural Engineering***, 123(5): 604-613.

Mehrabi, A.B., P.B. Shing, M.P. Schuller, and J.L. Noland. 1994. Performance of masonry-infilled R/C frames under in-plane lateral loads." Report No. CU/SR-94/6, University of Colorado at Boulder.

Murty C.V.R. & Jain S.K. 2000. Beneficial influence of masonry infill walls on seismic performance of RC frame buildings. Proceedings 12th World Conference on Earthquake Engineering, Auckland, New Zealand.

Negro, P. Ve Verzelettı , G. 1996. Effect Of Infılls On The Global Behavıour Of R/C Frames: Energy Consıderatıons From Pseudodynamıc Test. Earthquake Engıneerıng and Structural Dynamıcs, Vol. 25, 753-773

Neville, A. M. 1995. Properties of Concrete. Fourth and Final Adition. England

Özbebek, H., Açık, H. 2012,. İnce Agregalarda Yapılan Metilen Mavisi ve Kum Eşdeğerliği Deney Sonuçlarının Beton Özelliklerine ve Maliyetine Etkisi, ***Hazır Beton Dergisi,*** 84-92.

Özbek, E. ve Can, H. 2012. Dolgu Tuğla Duvarların Çelik Profillerle Güçlendirilmesi. ***Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University***, 27(4): 921-929.

Papanicolaou, C., Triantafillou, T. ve Lekka M. 2011. Externally bonded grids as strengthening and seismic retrofitting materials of masonry panels. Construction and Building Materials, 25: 504–514.

Paulay, T., Priestley, M. J. N. 1992. Seismic Design of Reinforced Concrete and Masonry Buildings, John Wiley & Sons Inc. 744p

Kaltakcı, M.Y., Köken, A. Korkmaz, H.H., Kamanlı, M. 2006. Dolgu Duvarlı Çelik Çerçevelerin Tersinir-Tekrarlanır Yükleme Altındaki Davranışı Üzerine Deneysel Bir Çalışma. ***S.Ü. Müh.-Mim. Fak. Dergisi***, 21: 1-2

Kamanlı M. ,Korkmaz H.H. ,Balık F.S. , Bahadır F.‘ Sünek Olmayan B/A Çerçevelerin, Çelik Çaprazlarla, B/A Dolgu Duvarlarla Ve Çelik Levhalar İle Güçlendirilmesi’ , 1. Türkiye Deprem Mühendisliği Ve Sismoloji Konferansı 11-14 Ekim 2011 – Odtü – Ankara

Kakaletsis, D., Karayannis, C., 2007. Experimental Investigation of Infilled R/C Frames With Eccentric Openings. ***Structural Engineering and Mechanics***, 26(3):231-250

Kakaletsis, D., Karayannis, C., 2008 Influence of Masonry Strength and Openings on Infilled R/C Frames Under Cycling Loading. Journal of Earthquake Engineering, 12:2, 197-221

Kaplan, A.S. 2008. Dolgu Duvarların Betonarme Taşıyıcı Sistem Performansına Etkisi. ***TMH-Türkiye Mühendislik Haberleri***, 452: 49-52

Kappos, A.J., Stylianidis, K.C. and Michailidis, C.N. 1998. Analytical models for brick masonry infilled R/C frames under lateral loading. ***Journal of Earthquake Engineering***, 2(1): 59 – 87

Karaduman, A. 2005. Dolgu Duvarlı Çerçevelerin Yatay Yükler Altındaki Davranısları Üzerine Deneysel Bir Çalısma, Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Fakültesi, ***Mühendislik Bilimleri Dergisi***, 11(3): 345-349

Karaduman, A. 2016. The Behavior of Infilled Steel Frames under Horizontal Loading. ***J. Int. Environmental Application & Science***,11(1): 55-59

Karancı, A.N., Kalaycıoğlu,S., Erkan Başbuğ, B. B.,Özden,T.A., Çalışkan,İ., Özakşehir,G. 2011. Van Depremleri İnceleme Raporları. Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Afet Yönetimi Uygulama ve Araştırma Merkezi

Kaushik HB, Rai DC, Jain SK. 2008. A Rational Approach to Analytical Modelling of Masonry Infills in Reinforced Concrete Frames Buildings, The 14th World Conference on Earthquake Engineering, Beijing, China

Kaymak F., Tuna M.E. 2011, Kısmi ve Tam Dolgu Duvarlı Çelik Çerçevelerin Yatay Yükler Altındaki Davranışının Elasto-Plastik Analiz Yöntemi ile İncelenmesi, ***Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi,***26(2): 435-445

Klingner, R.E. & Bertero, V.V. 1976. İnfilled Frames in Earthquake-Resistant Construction. Report No. EERC/76-32, University of California, Berkeley, CA

Klingner, R.E., Bertero, V.V. 1978. Earthquake Resistance of Infilled Frames. ASCE Journal of the Structural Division, Volume: 104, No. ST6, page: 973-989

Kocaman, C.; Bayülke, N.; Doğan, A.; Duran, A. 2011. 19 Mayıs 2011 Simav depremi ve yapı hasarı raporu, ***Türk Mühendis. Haberleri***, 465–466: 24–40

Koutromanos, I., Kyriakides, M., Stavridis, A., Billington, S., ve Shing, P. 2013. Shake-Table Tests of a 3-Story Masonry-Infilled RC Frame Retrofitted with Composite Materials. ***J. Struct. Eng,*** 139: 1340–1351

Kozak, J. and Thompson, M. C. 1991. Historical Earthquakes in Europe. Swiss Reinsurance, Zurich

Köse MM., 2009. Parameters Affecting the Fundamental Period of RC Buildings with Infill Walls. ***Engineering Structures***, 31(1): 93-102

Kyriakides, M. ve Billington, S. 2014. Cyclic Response of Nonductile Reinforced Concrete Frames with Unreinforced Masonry Infills Retrofitted with Engineered Cementitious Composites. ***J. Struct. Eng***, 140(2): 04013046

Popovics S. 1992. Concrete Materials, Properties, Specifications and Testing, Second Edition, Nayes Publications, USA

Reinborn, A.M., Madan, A., Valles, R.E., Reichman, Y. And Mander, J.B. 1995. Modelling of Masonry Infill Panels for Structural Analysis. National Center of Earthquake Engineering Research, State Univiversity of New York, Buffalo, USA

Saneinejad, A. and Hobbs, B. 1995. Inelastic design of infilled frames**.** ***Journal of Structural Engineering, ASCE,*** 121(4): 634–650

Sayın B, Kaplan, SA. 2005. Deprem Etkisi Altındaki Betonarme Yapılarda Dolgu Duvarların Modelleme Teknikleri, Deprem Sempozyumu, Kocaeli, s.474-480.

Sevil, T., Baran,M. ve Canbay,E. 2010. Tuğla Dolgu Duvarların B/A Çerçeveli Yapıların Davranışına Etkilerinin İncelenmesi; Deneysel Ve Kuramsal Çalışmalar, ***International Journal of Engineering Research and Development***, 2(2): 35-42

Sivri M, Demir F, Kuyucular A. 2006. Dolgu Duvarlarının Çerçeve Yapının Deprem Davranışına ve Göçme Mekanizmasına Etkisi, ***Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi,***10(1): 109-115.

Smith, B.S. 1962. Lateral Stiffness of Infilled Frames, ***ASCE Journal of Structural Division,*** 88(ST6): 183-199.

Smith, B. S. 1966. Behaviour of Square Infilled Frames, ***Journal of the Structural Division, Proceedings of ASCE, Building Science***,91: 381-403.

Smith, B. S. 1967. Methods for Predicting the Lateral Stiffness and Strength of Multi-Storey Infilled Frames. ***Building Science***, 2: 247-257

Smith, B. S. 1968. Model Test Results of Vertical and Horizontal Loading of Infilled Specimens, ***ACI Journal***, 618-624

Smith, S.B. ve Carter, C. 1969.A Method of Analysis for Infilled Frames.***Institution of Civil Engineers (ICE)***, 44: 31-48.

Sobaih, M. and Abdin, M.M. 1988. Seismic analysis of infilled reinforced concrete frames. ***Computers & Structures***, 30(3):457-464

Sonuvar, M.O.2001, Hysteretic Response of Reinforced Concrete Frames Repaired by means of Reinforced Concrete Infills, Ph.D. Thesis, Middle East Technical University, Ankara, Turkey.

Taşkın, B. ve Hasgür, Z. 2007. Ba Binaların Depreme Karşı Nicelik Gösteriminde Dolgu Duvar Etkisinin İncelenmesi. Altıncı Ulusal Deprem Mühendisliği Konferansı, İstanbul

Tezcan, S., Yazıcı, A., Özdemir Z., Erkal, A. 2007. Zayıf Kat-Yumuşak Kat Düzensizliği. Altıncı Ulusal Deprem Mühendisliği Konferansı, İstanbul, 339-349.

TS EN 206: 2013+A. 2017. Beton- Bölüm 1: Özellik, Performans, İmalat ve Uygunluk, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.

TS 500. 2000. Betonarme Yapıların Tasarım ve Yapım Kuralları, Türk Standartları Enstitüsü, 79 s, Ankara,

TS 706 EN 12620+A1. 2009. Beton Agregaları, Türk Standartları Enstitüsü 35 s, Ankara.

TS 708, Türk Standardı 708. 2010. Çelik - Betonarme için Donatı Çeliği, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, ICS 77.140.60

TS EN 771-1. 2011. Kagir Birimler–Özellikler–Bölüm 1: Kil Kagir Birimler Türk Standartları Enstitüsü, Ankara

TS EN 772-2. 2000. Kagir Birimler Bölüm 2: Beton Kagir Birimlerin Boşluk Alanının Yüzdesinin Tayini, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara

TS EN 993-1. 2012. Agregaların Geometrik Özellikleri İçin Deneyler Bölüm 1:Tane Büyüklüğü Dağılım Tayini-Eleme Metodu, Türk Standartları Enstitüsü, 18 s, Ankara

TS EN 1097-3. 1999. Agregaların Fiziksel ve Mekanik Özellikleri İçin Deneyler- Bölüm:3: Gevşek Yığın Yoğunluğunun ve Boşluk Hacminin Tayini, Türk Standartları Enstitüsü, 20s, Ankara.

TS EN 1097-6. 2013. Agregaların Mekanik ve Fiziksel Özellikleri için Deneyler – Bölüm 6: Tane Yoğunluğunun ve Su Emme Oranının Tayini

TS EN 1745. 2012. Kagir ve Kagir Mamuller. Isıl Özelliklerin Tayini Yöntemleri Türk Standartları Enstitüsü, Ankara

TS 3114, Türk Standardı.1998.'Beton-Deney Numunelerinin Basınç Dayanımı Tayini'.Türk Standartları Enstitüsü, Ankara,

TS 3452. 1988. Beton Kimyasal Katkı Maddeleri, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara

TS 4559, Türk Standardı 4559. 2010. Beton Çelik Hasırları, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, Ics:77.140.60 Çelik Çubuklar ve Rodlar.

TS EN 12250-2. 2010. Beton-Taze Beton Deneyleri-Bölüm 2: Çökme (Slump) Deneyi

TS EN 12390-1. 2013. Beton-Sertleşmiş Beton Deneyleri –Bölüm1: Deney Numunesi ve Kalıplarının Şekli, Boyut ve Diğer Özellikleri, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.

TS EN 12390-2. 2010. Beton-Sertleşmiş Beton Deneyleri –Dayanım Deneylerinde Kullanılacak Deney Numunelerinin Hazırlanması ve Küre Tabi Tutulması, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.

TS EN 12390-3. 2010. Beton-Sertleşmiş Beton Deneyleri –Bölüm 3: Deney Numunelerinde basınç dayanımı tayini, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.

TS 13515. 2014. TS EN 206'nın Uygulamasına Yönelik Tamamlayıcı Standart. Türk Standartları Enstitüsü, 68 s, Ankara.

Ugurlu, M.A. 2011. Cyclic Characterization Of Locked And Standard Brick İnfilled Reinforced Concrete Frames Under Quasi-Static Loading Conditions: Experimental And Analytical Work. MSc. Thesis, Graduate School of Natural and Applied Sciences, Dokuz Eylul University, Izmir, Turkey

Yakut A, Binici B, Demirel İO, Özcebe G., 2013, 'Dolgu Duvarların Deprem Davranışına Etkisi', 2. Türkiye Deprem Mühendisliği ve Sismoloji Konferansı, Hatay.

Yılmaz, Ü. S., Arslan, M.H., Kaltakcı, M.Y. 2010. Betonarme Dış Perde Duvarla Güçlendirilmiş Çerçevelerin Dayanım Parametrelerinin Deneysel ve Analitik Yöntemlerle İrdelenmesi. ***Tübav Bilim Dergisi*****.** 3(1): 11-22

Zarnic, R. and Tomazevic, M. 1985. Study of the behaviour of masonry infilled reinforced concrete frames subjected to seismic loading. The Seventh International Brick and Masonry Conference, Melbourne, Australia: 1315–1325.

Zarnic, R. 1994. Experimentally based inelastic models of masonry infilled RC frames. The Fifth U.S. National Conference on Earthquake Engineering, Chicago, Illinois, USA,pp. 161–170.

Zarnic, R., Tomazevic, M. 1995. Modelling of Response of Masonry Infilled Frame,10th European Conference on Earthquake Engineering, Balkema,Rotterdam

ÖZGEÇMİŞ

Sultan ERDEMLİ GÜNASLAN 1982'de Diyarbakır'da doğdu. İlkokulu Diyarbakır Ali Emiri İlkokulunda tamamladıktan sonra ortaokul ve lise eğitimini Diyarbakır Anadolu Lisesinde tamamladı. Gaziantep Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümünden 2008 yılında mezun oldu. 2010 yılında Şırnak Üniversitesi Mühendislik Fakültesinde Araştırma görevlisi olarak göreve başladı. 2012 yılında Dicle Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalında Yüksek Lisans eğitimini tamamladı ve aynı yıl Dicle Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalında doktora eğitimine başladı. 2013 yılında Dicle Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü'nde Araştırma Görevlisi olarak göreve başladı. 2018 yılında Şırnak Üniversitesine geri döndü. Evlidir. Halen Şırnak Üniversitesi Mühendislik Fakültesinde Araştırma görevlisi olarak çalışmaktadır.

DİCLE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
TEZ İNTİHAL FORMU

ÖĞRENCİ BİLGİLERİ	
ADI VE SOYADI	Sultan ERDEMLİ GÜNASLAN
ÖĞRENCİ NO	12806511
EĞİTİM – ÖĞRETİM YILI	2018-2019
YARIYIL	☐ Güz ☒ Bahar
ANABİLİM DALI	İnşaat Mühendisliği
PROGRAM	Doktora
TEZ KONUSU	Yarı Rijit Dolgu Duvarlardan Oluşan Düzlemsel Çerçevelerin Analizi
İNTİHAL RAPORU BİLGİLERİ	
RAPOR TÜRÜ	Tez Savunma Sınavı Sonrası
SAYFA SAYISI	198
BENZERLİK ORANI	%15
RAPORLAMA TARİHİ	28/03/ 2019

Yukarıda başlığı/konusu gösterilen tez çalışmamın kapak sayfası, giriş, ana bölümler, sonuç ve tartışma kısımlarından oluşan toplam 198 sayfalık kısmına ilişkin, 28/03/2019 tarihinde şahsım/tez danışmanım tarafından *Turnitin* adlı intihal tespit programından aşağıda belirtilen filtrelemeler uygulanarak alınmış olan intihal raporuna göre, tezimin benzerlik oranı % 15 'tir.

Uygulanan filtrelemeler:

☐ Kabul/Onay sayfaları hariç,
☐ Kaynakça hariç
☐ Alıntılar hariç/dâhil
☐ Diğer

Dicle Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Lisansüstü Programlarda Tez Çalışması İntihal Raporu Uygulama Esasları'nı inceledim ve bu Uygulama Esasları'nda belirtilen azami benzerlik oranlarına göre tez çalışmamın herhangi bir intihal içermediğini; aksinin tespit edilmesi durumunda doğabilecek her türlü hukuki sorumluluğu kabul ettiğimi ve vermiş olduğum bilgilerin doğru olduğunu beyan ederim.

Gereğini saygılarımla arz ederim.

(Öğrencinin Adı Soyadı)
Sultan ERDEMLİ GÜNASLAN

(İMZA/TARİH) 28.03.2019

Doç. Dr. A. Halim KARAŞİN
Tez Danışmanı
(İMZA/TARİH) 28.03.2019

Prof. Dr. Z. Fuat TOPRAK
Anabilim Dalı Başkanı
(İMZA/TARİH)

Formdaki bilgiler bilgisayar ortamında doldurulmalıdır. El yazısı ile doldurulan formlar geçersiz sayılmaktadır.