İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

BOŞLUKLU TUĞLA DUVARLARIN LİFLİ POLİMER İLE GÜÇLENDİRİLMESİ VE DAVRANIŞTA HARÇ ETKİSİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Berk ÖZSAYIN

Anabilim Dalı : İnşaat Mühendisliği

Programı : Yapı Mühendisliği

ŞUBAT 2010

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

BOŞLUKLU TUĞLA DUVARLARIN LİFLİ POLİMER İLE GÜÇLENDİRİLMESİ VE DAVRANIŞTA HARÇ ETKİSİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ
Berk ÖZSAYIN
(501071136)

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 25 Aralık 2009
Tezin Savunulduğu Tarih : 2 Şubat 2010

Tez Danışmanı : Yrd.Doç.Dr. Ercan YÜKSEL (İTÜ)
Diğer Jüri Üyeleri : Doç. Dr. Alper İLKİ (İTÜ)
Doç.Dr. Cem YALÇIN (Boğaziçi Üniv.)

ŞUBAT 2010

ÖNSÖZ

Tez çalışmamın her aşamasında bilgi ve tecrübesini esirgemeyen hocam Yrd.Doç.Dr. Ercan Yüksel'e en içten teşekkürlerimi sunarım. Birlikte çalıştığım Doç.Dr. Alper İlki'ye, İnş.Yük.Müh. Hasan Özkaynak'a, İnş.Yük.Müh. Medine İspir'e, İnş.Müh. Emre Yılmaz'a, İTÜ İnşaat Fakültesi Yapı ve Deprem Laboratuarı personeline ve aileme destek ve yardımlarından ötürü teşekkür ederim.

Şubat 2010 Berk Özsayın

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ ... **iii**
İÇİNDEKİLER ... **v**
KISALTMALAR ... **ix**
ÇİZELGE LİSTESİ ... **xi**
ŞEKİL LİSTESİ ... **xiii**
SUMMARY ... **xxi**
1. GİRİŞ VE ÇALIŞMANIN AMACI ... **1**
1.1 Önceki Çalışmalar ... 2
1.2 Tezin kapsamı ve amacı ... 5
2. DENEYSEL ÇALIŞMA ... **7**
2.1 Genel ... 7
2.2 Deney Numuneleri ... 7
2.2.1 B grubu numuneleri ... 9
2.2.1.1 B1-1 ve B1-2 numuneleri ... 9
2.2.1.2 B2-1 ve B2-2 numuneleri ... 10
2.2.1.3 B3-1 ve B3-2 numuneleri ... 11
2.2.1.4 B4-2 numunesi ... 12
2.2.1.5 B5-2 numunesi ... 12
2.2.1.6 B6-1 ve B6-2 numuneleri ... 13
2.2.1.7 B7-1 ve B7-2 numuneleri ... 14
2.2.2 C grubu numuneleri ... 15
2.2.2.1 C1-1 ve C1-2 numuneleri ... 15
2.2.2.2 C2-1 ve C2-2 numuneleri ... 16
2.2.2.3 C3-1 ve C3-2 numuneleri ... 16
2.2.2.4 C6-2 numunesi ... 16
2.2.2.5 C7-1 ve C7-2 numuneleri ... 18
2.3 Deney Numunelerinin Üretimi ... 19
2.4 Malzeme Dayanımları ... 23
2.4.1 Çimento ve kireç harcına ait deneyler ... 23
2.4.2 Çimento harcına ait deneyler ... 26
2.4.3 Tek tuğla deneyleri ... 30
2.4.4 Yarma deneyleri ... 33
2.4.5 Eğilme deneyleri ... 35
2.4.6 CFRP malzeme özellikleri ... 37
2.5 Deney Düzeneği ... 37
2.5.1 Instron yükleme düzeneği ... 37
2.5.2 Ölçüm düzeneği ... 38
2.5.3 Ölçümlerin değerlendirilmesi ... 41
3. YALIN DUVAR DENEYLERİNİN SONUÇLARI ... **45**
3.1 B Grubu Deneyleri ... 45

3.1.1 B1-1 numunesi deneyi 45
3.1.2 B1-1 numunesi hasar dağılımı 48
3.1.3 B1-2 numunesi deneyi 50
3.1.4 B1-2 numunesi hasar dağılımı 54
3.1.5 B2-1 numunesi deneyi 57
3.1.6 B2-1 numunesi hasar dağılımı 59
3.1.7 B2-2 numunesi deneyi 61
3.1.8 B2-2 numunesi hasar dağılımı 64
3.1.9 B3-1 numunesi deneyi 66
3.1.10 B3-1 numunesi hasar dağılımı 67
3.1.11 B3-2 numunesi deneyi 69
3.1.12 B3-2 numunesi hasar dağılımı 70
3.2 C Grubu Deneyleri 72
3.2.1 C1-1 numunesi deneyi 72
3.2.2 C1-1 numunesi hasar dağılımı 76
3.2.3 C1-2 numunesi deneyi 78
3.2.4 C1-2 numunesi hasar dağılımı 82
3.2.5 C2-1 numunesi deneyi 84
3.2.6 C2-1 numunesi hasar dağılımı 87
3.2.7 C2-2 numunesi deneyi 89
3.2.8 C2-2 numunesi hasar dağılımı 92
3.2.9 C3-1 numunesi deneyi 93
3.2.10 C3-1 numunesi hasar dağılımı 95
3.2.11 C3-2 numunesi deneyi 97
3.2.12 C3-2 numunesi hasar dağılımı 99
4. GÜÇLENDİRİLMİŞ DUVAR DENEYLERİNİN SONUÇLARI 103
4.1 B Grubu Deneyleri 103
4.1.1 B4-2 numunesi deneyi 103
4.1.2 B4-2 numunesi hasar dağılımı 106
4.1.3 B5-2 numunesi deneyi 107
4.1.4 B5-2 numunesi hasar dağılımı 109
4.1.5 B6-1 numunesi deneyi 110
4.1.6 B6-1 numunesi hasar dağılımı 112
4.1.7 B6-2 numunesi deneyi 113
4.1.8 B6-2 numunesi hasar dağılımı 115
4.1.9 B7-1 numunesi deneyi 116
4.1.10 B7-1 numunesi hasar dağılımı 119
4.1.11 B7-2 numunesi deneyi 120
4.1.12 B7-2 numunesi hasar dağılımı 122
4.2 C Grubu Deneyleri 123
4.2.1 C6-2 numunesi deneyi 123
4.2.2 C6-2 numunesi hasar dağılımı 125
4.2.3 C7-1 numunesi deneyi 126
4.2.4 C7-1 numunesi hasar dağılımı 128
4.2.5 C7-2 numunesi deneyi 129
4.2.6 C7-2 numunesi hasar dağılımı 132
5. DENEYSEL SONUÇLARIN KARŞILAŞTIRMASI 133
5.1 Özdeş Numunelerin Karşılaştırılması 133
5.1.1 B1 grubu numunelerinin karşılaştırılması 133
5.1.2 B2 grubu numunelerinin karşılaştırılması 134

5.1.3 B3 grubu numunelerinin karşılaştırılması.....134
5.1.4 B6 grubu numunelerinin karşılaştırılması.....135
5.1.5 B7 grubu numunelerinin karşılaştırılması.....135
5.1.6 C1 grubu numunelerinin karşılaştırılması.....136
5.1.7 C2 grubu numunelerinin karşılaştırılması.....136
5.1.8 C3 grubu numunelerinin karşılaştırılması.....137
5.1.9 C7 grubu numunelerinin karşılaştırılması.....137
5.2 Harç Değişkeninin Etkisinin İrdelenmesi.....138
5.2.1 Delik doğrultusundaki yükleme durumu için irdeleme.....138
5.2.2 Delik doğrultusuna dik yükleme durumu için irdeleme.....139
5.2.3 Diyagonal yükleme durumu için irdeleme.....140
5.3 Delik Doğrultusu Değişkeninin İrdelenmesi.....141
5.3.1 Çimento harcı durumu için irdeleme.....141
5.3.2 Çimento – kireç harcı durumu için irdeleme.....143
5.4 CFRP İle Güçlendirme Değişkeninin İrdelenmesi.....144
5.4.1 Delik doğrultusunda yükleme durumu için irdeleme.....144
5.4.2 Delik doğrultusuna dik yükleme durumu için irdeleme.....146
5.4.3 Diyagonal doğrultuda yükleme durumu için irdeleme.....147
5.4.3.1 Çimento harcı ile üretilmiş numuneler için irdeleme.....147
5.4.3.2 Çimento – kireç harcı ile üretilmiş numuneler için irdeleme.....149
SONUÇLAR.....151
KAYNAKLAR.....155
ÖZGEÇMİŞ.....157

KISALTMALAR

CFRP **:** Karbon lif takviyeli polimer
LVDT : Yerdeğiştirme ölçer
INS : Instron yükleme ünitesi
FRP : Lifli polimer

ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 2.1 : Amsler marka pres kullanılarak elde edilen silindir basınç dayanımları 24
Çizelge 2.2 : Instron yükleme ünitesi kullanılarak elde edilen numune silindir basınç dayanımları 24
Çizelge 2.3 : Amsler marka pres kullanılarak elde edilen numune küp basınç dayanımları 26
Çizelge 2.4 : Amsler marka pres kullanılarak elde edilen numune silindir basınç dayanımları 27
Çizelge 2.5 : Instron yükleme ünitesi kullanılarak elde edilen numune silindir basınç dayanımları 27
Çizelge 2.6 : Amsler marka pres kullanılarak elde edilen numune küp basınç dayanımları 27
Çizelge 2.7 : Instron yükleme ünitesi kullanılarak elde edilen numune küp basınç dayanımları 28
Çizelge 2.8 : Amsler marka preste *delik doğrultusunda* yapılan basınç deneyi sonuçları 32
Çizelge 2.9 : Amsler marka preste *delik doğrultusuna dik* yapılan basınç deneyi sonuçları 32
Çizelge 2.10 : Instron marka preste *delik doğrultusunda* yapılan basınç deneyi sonuçları 33
Çizelge 2.11 : Instron marka preste *delik doğrultusuna dik* yapılan basınç deneyi sonuçları 33
Çizelge 2.12 : Silindir numune çekme dayanımları 35
Çizelge 2.13 : Prizma numune çekme dayanımları.....36
Çizelge 2.14 : Deneysel çalışmada kullanılan CFRP'nin özellikleri 38
Çizelge 2.15 : Ölçümlerde kullanılan kanal numaraları ve kodları.....42
Çizelge 3.1 : Yük düzeylerine göre numunenin her iki yüzünde oluşan çatlak genişlikleri.....49
Çizelge 3.2 : Yük düzeylerine gore numunenin her iki yüzünde oluşan çatlak genişlikleri.....55
Çizelge 3.3 : Yük düzeylerine göre numunenin her iki yüzünde oluşan çatlak genişlikleri.....59
Çizelge 3.4 : Yük düzeylerine göre numunenin her iki yüzünde oluşan çatlak genişlikleri.....64
Çizelge 3.5 : Yük düzeylerine göre numunenin her iki yüzünde oluşan çatlak genişlikleri.....68
Çizelge 3.6 : Yük düzeylerine göre numunenin her iki yüzünde oluşan çatlak genişlikleri.....71
Çizelge 3.7 : Yük düzeylerine göre numunenin her iki yüzünde oluşan çatlak genişlikleri.....77

Çizelge 3.8 : Yük düzeylerine göre numunenin her iki yüzünde oluşan çatlak genişlikleri 83
Çizelge 3.9 : Yük düzeylerine göre numunenin her iki yüzünde oluşan çatlak genişlikleri 87
Çizelge 3.10 : Yük düzeylerine göre numunenin her iki yüzünde oluşan çatlak genişlikleri..... 92
Çizelge 3.11 : Yük düzeylerine göre numunenin her iki yüzünde oluşan çatlak genişlikleri..... 96
Çizelge 3.12 : Yük düzeylerine göre numunenin her iki yüzünde oluşan çatlak genişlikleri..... 100
Çizelge 5.1 : Harç tipinin etkisine bağlı olarak delik doğrultusunda yükleme durumu için deney numunelerinin mekanik özellikleri..... 139
Çizelge 5.2 : Harç tipinin etkisine bağlı olarak delik doğrultusuna dik yükleme durumu için deney numunelerinin mekanik özellikleri..... 140
Çizelge 5.3 : Harç tipinin etkisine bağlı olarak diyagonal doğrultuda yükleme durumu için deney numunelerinin mekanik özellikleri..... 141
Çizelge 5.4 : Delik yönünün etkisine bağlı olarak deney numunelerinin mekanik özellikleri 143
Çizelge 5.5 : Delik yönünün etkisine bağlı olarak deney numunelerinin mekanik özellikleri 144
Çizelge 5.6 : CFRP etkisine bağlı olarak delik doğrultusunda yükleme durumu için deney numunelerinin mekanik özellikleri..... 146
Çizelge 5.7 : CFRP etkisine bağlı olarak delik doğrultusuna dik yükleme durumu için deney numunelerinin mekanik özellikleri..... 147
Çizelge 5.8 : Şerit CFRP uygulaması durumunda, diyagonal doğrultudaki yüklemede elde edilen duvar mekanik özellikleri..... 148
Çizelge 5.9 : Tüm yüzeyin CFRP ile kaplandığı durumda, diyagonal doğrultudaki yüklemede elde edilen duvar mekanik özellikleri..... 148
Çizelge 5.10 : Şerit CFRP uygulaması durumunda, diyagonal doğrultudaki yüklemede elde edilen duvar mekanik özellikleri..... 150
Çizelge 5.11 : Tüm yüzeyin CFRP ile kaplandığı durumda, diyagonal doğrultudaki yüklemede elde edilen duvar mekanik özellikleri..... 150

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2.1 : Genel deney parametresi matrisi 8
Şekil 2.2 : Deney parametresi matrisi..... 9
Şekil 2.3 : B1-1 ve B1-2 numunelerine ait genel geometri 10
Şekil 2.4 : B2-1 ve B2-2 numunelerine ait genel geometri 11
Şekil 2.5 : B3-1 ve B3-2 numunelerine ait genel geometri 11
Şekil 2.6 : B4-2 numunesine ait genel geometri 12
Şekil 2.7 : B5-2 numunesine ait genel geometri 13
Şekil 2.8 : B6-1 ve B6-2 numunelerine ait genel geometri 14
Şekil 2.9 : B7-1 ve B7-2 numunelerine ait genel geometri 15
Şekil 2.10 : C1-1 ve C1-2 numunelerine ait genel geometri 15
Şekil 2.11 : C2-1 ve C2-2 numunelerine ait genel geometri 16
Şekil 2.12 : C3-1 ve C3-2 numunelerine ait genel geometri 17
Şekil 2.13 : C6-2 numunesine ait genel geometri 18
Şekil 2.14 : C7-1 ve C7-2 numunelerine ait genel geometri 18
Şekil 2.15 : Örme işlemi tamamlanmış duvar numuneleri 19
Şekil 2.16 : Diyagonal numuneleri elde etmek için uygulanan kesim işlemi.....20
Şekil 2.17 : Numunelere tamir harcının uygulanıp kenarlarının düzeltilmesi.....20
Şekil 2.18 : Numunelere epoksi astar uygulanması 21
Şekil 2.19 : Numunelere akışkan epoksi yapıştırıcı (adesivo saturant) uygulanması 21
Şekil 2.20 : Tüm yüzey ve şerit CFRP uygulaması.....21
Şekil 2.21 : Tüm yüzey CFRP uygulamasına ait detaylar.....22
Şekil 2.22 : Diyagonal numunelere ait tüm yüzey CFRP uygulamasına ait detaylar 22
Şekil 2.23 : Diyagonal numunelere ait şerit CFRP uygulamasına ait detaylar.....22
Şekil 2.24 : Deney numunlerine yapılan başlık uygulaması.....23
Şekil 2.25 : Amsler marka preste oluşturulan deney düzeneği.....25
Şekil 2.26 : Instron yükleme ünitesinde oluşturulan deney düzeneği.....25
Şekil 2.27 : Amsler marka preste oluşturulan deney düzeneği.....25
Şekil 2.28 : Harç numunelerinin gerilme – şekildeğiştirme ilişkisi karşılaştırılması.26
Şekil 2.29 : Amsler marka preste oluşturulan deney düzeneği.....28
Şekil 2.30 : Instron yükleme ünitesinde oluşturulan deney düzeneği.....28
Şekil 2.31 : Amsler marka preste oluşturulan deney düzeneği.....29
Şekil 2.32 : Instron yükleme ünitesinde oluşturulan deney düzeneği.....29
Şekil 2.33 : Silindir harç numunesinin gerilme – şekildeğiştirme ilişkisi.....29
Şekil 2.34 : Harç numunelerinin gerilme – şekildeğiştirme ilişkisi karşılaştırılması.30
Şekil 2.35 : Deneyde kullanılan 1/3 ölçekli özel tuğlaların boyutu ve kesiti 30
Şekil 2.36 : Delik doğrultusunda yapılan basınç yüklemesi.....31
Şekil 2.37 : Deliğe dik doğrultuda yapılan basınç yüklemesi.....31
Şekil 2.38 : Delik doğrultusunda yapılan basınç yüklemesi.....31
Şekil 2.39 : Deliğe dik doğrultuda yapılan basınç yüklemesi.....32
Şekil 2.40 : Tuğla delik doğrultusunda yapılan yükleme durumu 34
Şekil 2.41 : Tuğla delik doğrultusuna dik yapılan yükleme durumu 34

Şekil 2.42 : Silindir yarma deneyi uygulama düzeneği.....34
Şekil 2.43 : Çekme dayanımı belirlemeye yönelik kullanılan deney düzeneği.....35
Şekil 2.44 : Eğilme deneyi uygulama düzeneği.....36
Şekil 2.45 : Çekme dayanımı belirlemeye yönelik kullanılan deney düzeneği.....36
Şekil 2.46 : Deney ve yükleme düzeneği.....39
Şekil 2.47 : A ve B yüzü yerdeğiştirme ölçerlerin yerleşimi ve kanal numaraları.....39
Şekil 2.48 : A ve B yüzü yerdeğiştirme ölçerin yerleşimi ve kanal numaraları.....40
Şekil 2.49 : Şekildeğiştirme ölçer yerleşim bölgeleri ve kanal numaraları.....40
Şekil 2.50 : Şekildeğiştirme ölçer yerleşim bölgeleri ve kanal numaraları.....40
Şekil 2.51 : Yatay ve düşey şekildeğiştirme hesabında kullanılan ara mesafeler.....42
Şekil 2.52 : Süneklik tanımı ve elastisite / kayma modülü tanımı.....43
Şekil 3.1 : Gerilme – düşey şekildeğiştirme grafiği.....47
Şekil 3.2 : Gerilme – yatay şekildeğiştirme grafiği.....47
Şekil 3.3 : Gerilme – düşey şekildeğiştirme ve gerilme – yatay şekildeğiştirme grafiklerinin karşılaştırılması.....48
Şekil 3.4 : B1-1 numunesinin çatlak krokisi.....49
Şekil 3.5 : B1-1 numunesinin deney sırasında ve deney sonunda görünümü.....50
Şekil 3.6 : Gerilme – düşey şekildeğiştirme grafiği.....53
Şekil 3.7 : Gerilme – yatay şekildeğiştirme grafiği.....53
Şekil 3.8 : Gerilme – düşey şekildeğiştirme ve gerilme – yatay şekildeğiştirme grafiklerinin kıyaslanması.....54
Şekil 3.9 : B1-2 numunesinin çatlak krokisi.....55
Şekil 3.10 : B1-2 numunesinin deney sırasında ve deney sonunda görünümü.....56
Şekil 3.11 : Gerilme – düşey şekildeğiştirme grafiği.....58
Şekil 3.12 : Gerilme – yatay şekildeğiştirme grafiği.....58
Şekil 3.13 : Gerilme – düşey şekildeğiştirme ve gerilme – yatay şekildeğiştirme grafiklerinin kıyaslanması.....59
Şekil 3.14 : B2-1 numunesinin çatlak krokisi.....60
Şekil 3.15 : B2-1 numunesinin deney sırasında ve deney sonunda görünümü.....61
Şekil 3.16 : Gerilme – düşey şekildeğiştirme grafiği.....62
Şekil 3.17 : Gerilme – yatay şekildeğiştirme grafiği.....63
Şekil 3.18 : Gerilme – düşey şekildeğiştirme ve gerilme – yatay şekildeğiştirme grafiklerinin kıyaslanması.....63
Şekil 3.19 : B2-2 numunesinin çatlak krokisi.....64
Şekil 3.20 : B2-2 numunesinin deney sırasında ve deney sonunda görünümü.....65
Şekil 3.21 : Gerilme – düşey şekildeğiştirme, gerilme – yatay şekildeğiştirme ve gerilme – kayma şekildeğiştirme grafiklerinin kıyaslanması.....67
Şekil 3.22 : B3-1 numunesinin çatlak krokisi.....68
Şekil 3.23 : B3-1 numunesinin deney sırasında ve deney sonunda görünümü.....69
Şekil 3.24 : Gerilme – düşey şekildeğiştirme, gerilme – yatay şekildeğiştirme ve gerilme – kayma şekildeğiştirme grafiklerinin kıyaslanması.....70
Şekil 3.25 : B3-2 numunesinin çatlak krokisi.....71
Şekil 3.26 : B3-2 numunesinin deney sırasında ve deney sonunda görünümü.....72
Şekil 3.27 : Gerilme – düşey şekildeğiştirme grafiği.....75
Şekil 3.28 : Gerilme – yatay şekildeğiştirme grafiği.....75
Şekil 3.29 : Gerilme – düşey şekildeğiştirme ve gerilme – yatay şekildeğiştirme grafiklerinin kıyaslanması.....76
Şekil 3.30 : C1-1 numunesinin çatlak krokisi.....77
Şekil 3.31 : C1-1 numunesinin deney sırasında ve deney sonunda görünümü.....78
Şekil 3.32 : Gerilme – düşey şekildeğiştirme grafiği.....80

Şekil 3.33 : Gerilme – yatay şekildeğiştirme grafiği....81
Şekil 3.34 : Gerilme – düşey şekildeğiştirme ve gerilme – yatay şekildeğiştirme grafiklerinin kıyaslanması....81
Şekil 3.35 : C1-2 numunesinin çatlak krokisi....82
Şekil 3.36 : C1-2 numunesinin deney sırasında ve deney sonunda görünümü....84
Şekil 3.37 : Gerilme – düşey şekildeğiştirme grafiği....86
Şekil 3.38 : Gerilme – yatay şekildeğiştirme....86
Şekil 3.39 : Gerilme – düşey şekildeğiştirme ve gerilme – yatay şekildeğiştirme grafiklerinin kıyaslanması....87
Şekil 3.40 : C2-1 numunesinin çatlak krokisi....88
Şekil 3.41 : C2-1 numunesinin deney sırasında ve deney sonunda görünümü....89
Şekil 3.42 : Gerilme – düşey şekildeğiştirme grafiği....90
Şekil 3.43 : Gerilme – yatay şekildeğiştirme grafiği....91
Şekil 3.44 : Gerilme – düşey şekildeğiştirme ve gerilme – yatay şekildeğiştirme grafiklerinin kıyaslanması....91
Şekil 3.45 : C2-2 numunesinin çatlak krokisi....92
Şekil 3.46 : C2-2 numunesinin deney sırasında ve deney sonunda görünümü....93
Şekil 3.47 : Gerilme – düşey şekildeğiştirme, gerilme – yatay şekildeğiştirme ve gerilme – yatay şekildeğiştirme grafiklerinin kıyaslanması....95
Şekil 3.48 : C3-1 numunesi hasar dağılımı....96
Şekil 3.49 : C3-1 numunesinin deney sırasında ve deney sonunda görünümü....97
Şekil 3.50 : Gerilme – düşey şekildeğiştirme, gerilme – yatay şekildeğiştirme ve gerilme – kayma şekildeğiştirme grafiklerinin kıyaslanması....99
Şekil 3.51 : C3-2 numunesinin çatlak krokisi....100
Şekil 3.52 : C3-2 numunesinin deney sırasında ve deney sonunda görünümü....101
Şekil 4.1 : Gerilme – düşey şekildeğiştirme grafiği....104
Şekil 4.2 : Gerilme – yatay şekildeğiştirme grafiği....104
Şekil 4.3 : A ve B yüzündeki şekildeğiştirme ölçerden alınan gerilme – yatay şekildeğiştirme grafiği....105
Şekil 4.4 : Gerilme – düşey şekildeğiştirme ve gerilme – yatay şekildeğiştirme grafiklerinin kıyaslanması....105
Şekil 4.5 : B4-2 numunesinin deney sırasında ve sonunda görünümü....106
Şekil 4.6 : Gerilme – düşey şekildeğiştirme grafiği....107
Şekil 4.7 : Gerilme – yatay şekildeğiştirme grafiği....108
Şekil 4.8 : Gerilme – düşey şekildeğiştirme ve gerilme – yatay şekildeğiştirme grafiklerinin kıyaslanması....108
Şekil 4.9 : B5-2 numunesinin deney sırasında ve sonunda görünümü....110
Şekil 4.10 : A ve B yüzündeki şekildeğiştirme ölçerden alınan gerilme – yatay şekildeğiştirme grafiği....111
Şekil 4.11 : Gerilme – düşey şekildeğiştirme, gerilme – yatay şekildeğiştirme ve gerilme – kayma gerilmesi grafiklerinin kıyaslanması....112
Şekil 4.12 : B6-1 numunesinin deney sırasında ve deney sonunda görünümü....113
Şekil 4.13 : A ve B yüzündeki şekildeğiştirme ölçerden alınan gerilme – yatay şekildeğiştirme grafiği....114
Şekil 4.14 : Gerilme – düşey şekildeğiştirme, gerilme – yatay şekildeğiştirme ve gerilme – kayma gerilmesi grafiklerinin kıyaslanması....115
Şekil 4.15 : B6-2 numunesinin deney sırasında ve deney sonunda görünümü....116
Şekil 4.16 : A ve B yüzündeki şekildeğiştirme ölçerden alınan gerilme – yatay şekildeğiştirme grafiği....118

Şekil 4.17 : Gerilme – düşey şekildeğiştirme, gerilme – yatay şekildeğiştirme ve gerilme – kayma grafiklerinin kıyaslanması 118
Şekil 4.18 : B7-1 numunesinin deney sırasında ve deney sonunda görünümü 119
Şekil 4.19 : A ve B yüzündeki şekildeğiştirme ölçerlerden alınan gerilme – yatay şekildeğiştirme grafiği 121
Şekil 4.20 : Gerilme – düşey şekildeğiştirme, gerilme – yatay şekildeğiştirme ve gerilme – kayma şekildeğiştirme grafiklerinin kıyaslanması 121
Şekil 4.21 : B7-2 numunesinin deney sırasında ve sonunda görünümü 123
Şekil 4.22 : A ve B yüzündeki şekildeğiştirme ölçerlerden alınan gerilme – yatay şekildeğiştirme grafiği 124
Şekil 4.23 : Gerilme – düşey şekildeğiştirme, gerilme – yatay şekildeğiştirme ve gerilme – kayma şekildeğiştirme grafiklerinin kıyaslanması 125
Şekil 4.24 : C6-2 numunesinin deney sırasında ve sonunda görünümü 126
Şekil 4.25 : A ve B yüzündeki şekildeğiştirme ölçerlerden alınan gerilme – yatay şekildeğiştirme grafiği 127
Şekil 4.26 : Gerilme – düşey şekildeğiştirme, gerilme – yatay şekildeğiştirme ve gerilme – kayma şekildeğiştirme grafiklerinin kıyaslanması 128
Şekil 4.27 : C7-1 numunesinin deney sırasında ve deney sonunda görünümü 129
Şekil 4.28 : A ve B yüzündeki şekildeğiştirme ölçerlerden alınan gerilme – yatay şekildeğiştirme grafiği 131
Şekil 4.29 : Gerilme – düşey şekildeğiştirme, gerilme – yatay şekildeğiştirme ve gerilme – kayma şekildeğiştirme grafiklerinin kıyaslanması 131
Şekil 4.30 : C7-2 numunesinin deney sırasında ve deney sonunda görünümü 132
Şekil 5.1 : B1 grubu numunelerde eksenel gerilme – şekildeğiştirme ilişkisi…….133
Şekil 5.2 : B2 grubu numunelerde eksenel gerilme – şekildeğiştirme ilişkisi..... 134
Şekil 5.3 : B3 grubu numunelerde kayma gerilmesi – şekildeğiştirme ilişkisi 134
Şekil 5.4 : B6 grubu numunelerde kayma gerilmesi – şekildeğiştirme ilişkisi 135
Şekil 5.5 : B7 grubu numunelerde kayma gerilmesi – şekildeğiştirme ilişkisi 135
Şekil 5.6 : C1 grubu numunelerde eksenel gerilme – şekildeğiştirme ilişkisi..... 136
Şekil 5.7 : C2 grubu numunelerde eksenel gerilme – şekildeğiştirme ilişkisi..... 136
Şekil 5.8 : C3 grubu numunelerde kayma gerilmesi – şekildeğiştirme ilişkisi 137
Şekil 5.9 : C7 grubu numunelerde kayma gerilmesi – şekildeğiştirme ilişkisi 137
Şekil 5.10 : Delik doğrultusunda yükleme durumu için harç tipinin etkisi..... 138
Şekil 5.11 : Instron yükleme ünitesinden alınan eksenel gerilme – şekildeğiştirme ilişkisi..... 138
Şekil 5.12 : Delik doğrultusuna dik yükleme durumu için harç tipinin etkisi..... 139
Şekil 5.13 : Instron yükleme ünitesinden alınan eksenel gerilme – şekildeğiştirme ilişkisi..... 140
Şekil 5.14 : Diyagonal yükleme durumunda harç tipinin etkisi 141
Şekil 5.15 : Çimento harcı durumu için yükleme doğrultusunun etkisi..... 142
Şekil 5.16 : Instron yükleme ünitesinden alınan eksenel gerilme – şekildeğiştirme grafiği..... 142
Şekil 5.17 : Çimento – kireç harcı durumu için yükleme doğrultusunun etkisi 143
Şekil 5.18 : Instron yükleme ünitesinden alınan eksenel gerilme – şekildeğiştirme grafiği..... 144
Şekil 5.19 : Delik doğrultusunda yükleme durumu için sürekli CFRP güçlendirmesinin etkisi..... 145
Şekil 5.20 : Instron yükleme ünitesinden alınan eksenel gerilme – şekildeğiştirme grafiği..... 145

Şekil 5.21 : Delik doğrultusuna dik yükleme durumu için sürekli CFRP güçlendirmesinin etkisi 146
Şekil 5.22 : Instron yükleme ünitesinden alınan gerilme – şekildeğiştirme grafiği.147
Şekil 5.23 : Diyagonal doğrultuda yükleme durumu için sürekli ve şerit CFRP güçlendirmesinin etkisi 148
Şekil 5.24 : Diyagonal doğrultuda yükleme durumu için sürekli ve şerit CFRP güçlendirmesinin etkisi 149

BOŞLUKLU TUĞLA DUVARLARIN LİFLİ POLİMER İLE GÜÇLENDİRİLMESİ VE DAVRANIŞTA HARÇ ETKİSİ

Bu tez çalışması kapsamında, boşluklu fabrika tuğlası ile üretilmiş olan duvar numuneleri yalın ve karbon lifli polimer (CFRP) ile güçlendirilmiş halde deneysel olarak incelenmiş, yalın ve güçlendirilmiş duvarlara ait önemli bazı mekanik özellikler belirlenmiştir. Deney numuneleri 1/3 ölçekli olup, 500×500 mm boyutlarındadır. Birinci grup numunelerin oluşturulmasında çimento harcı, ikinci grup numunelerin oluşturulmasında ise çimento ve kireç harcı kullanılmıştır. Özdeş numunelerin bir bölümünde CFRP ile güçlendirme yapılmıştır. Yalın ve güçlendirilmiş numunelerde basınç deneyleri delik ve deliğe dik doğrultu için ayrı ayrı yapılmıştır. Üçüncü grup deneyler ise diyagonal çekme (kayma) deneylerini kapsamaktadır. Tüm deneyler İstanbul Teknik Üniversitesi Yapı Malzemesi Laboratuvarında bulunan 5000 kN kapasteli Instron yükleme ünitesinde 0.2 mm/dak yükleme hızıyla şekildeğiştirme kontrollü olarak gerçekleştirilmiştir.

Her gruptaki numuneler; dayanım, yerdeğiştirme, şekildeğiştirme, elastisite modülü, kayma modülü ve genel hasar durumları bakımlarından birbirleri ile karşılaştırılmıştır. Özdeş numunelerin davranışlarının benzerliği ve farklı değişkenleri temsil eden numunelerin davranışlarındaki farklılıklar ayrıntılı olarak değerlendirilmiştir.

Bu tez çalışmasında elde edilen sonuçlar, paralel olarak yürütülen ve 350×350 mm boyutlarındaki numunelerin incelendiği bir başka çalışmada [16] ulaşılan sonuçlar ile karşılaştırılarak, numune boyutlarının davranış üzerindeki etkisi irdelenebilir.

İki farklı CFRP güçlendirme biçiminin yalın duvar davranışında sağladığı dayanım, rijitlik ve süneklik artışları ayrıntılı olarak değerlendirilmiş ve davranıştaki iyileşmeyi ifade eden bazı oransal büyüklükler verilmiştir.

RETROFITTING OF HOLLOW CLAY BRICK WALLS BY FRP AND EFFECT OF MORTAR ON THE BEHAVIOUR

SUMMARY

Masonary wall specimens fabricated by hollow clay brick were analyzed experimentally as bare and retrofitted with carbon fiber reinforced polymer (CFRP). Some important mechanical properties produced are given. Test specimens are 1/3 scaled and have a dimension of 500×500 mm. The first group of specimens is made of cement mortar, the second group specimens is made of cement – lime mortar. A number of specimens in each group is retrofitted with CFRP. The axial compression tests are conducted in the two main direction's of wall specimens. Third group of specimens are used for the diagonal tension (shear) tests. All the tests were carried out in deformation control mode with 0.2 mm/min loading rate by using Instron compression unit which exists in Istanbul Techical University Construction Material Laboratory.

The specimens in each group are compared with each other in terms of strength, displacement, strain, modulus of elasticity, modulus of shear and the damage distribution. The response similarities of the related specimens are interested as well as the differences in response of specimens representing different variables.

The results obtained in this study should be compared with the results of a parallel study [16], in which 350×350 mm specimen are used, to evaluate the effect of specimen size on the general response.

Two different CFRP retrofitting schemes applied to the walls are assessed in terms of strength, stiffness and ductility improvements in the specimens and some parameters are obtained to represent response enhancement.

1. GİRİŞ VE ÇALIŞMANIN AMACI

Yığma yapılar düşey taşıyıcıları duvarlar olan, düşey ve yatay yüklerin genelde basınç gerilmeleri ile yapı temeline aktarıldığı yapılardır, [1]. Yığma yapılar süneklikleri az, gevrek malzeme ile inşa edilen, yapımlarında işçiliğin önemli rol oynadığı, yangın dayanımı yüksek, yatay deprem yüklerine dayanımı; duvar geometresine ve kullanılan malzeme dayanımına bağlı olan yapılar olarak da tanımlanabilir, [2]. Bu açıdan taşıyıcı duvarların sadece düşey yükler altındaki davranışı ve hem düşey hem yatay yüklerin birlikte etkidiği durumdaki davranışının belirlenmesi önemli olmaktadır.

Taşıyıcı duvarların yapımında genelde tuğla kullanılmaktadır. Tuğla, kil veya killi topraktan, kum veya diğer toz katkı maddeleri katılarak veya katılmaksızın seramik bağ elde etmeye yeterli yüksek sıcaklıkta pişirilmesi ile elde edilir, [3]. Yapımda kullanılan malzeme türüne, dayanımına, geometrik şekline ve boşluk türüne göre çok çeşitli tuğla türleri vardır. Günümüzde özellikle ağırlığı az, dayanımı yüksek boşluklu fabrika tuğlaları taşıyıcı duvar yapımında tercih edilmektedir. Bu açıdan bina ağırlığını azaltan boşluklu tuğlaların ve bu tuğlalar ile yapılan duvarların incelenmesi önemlidir.

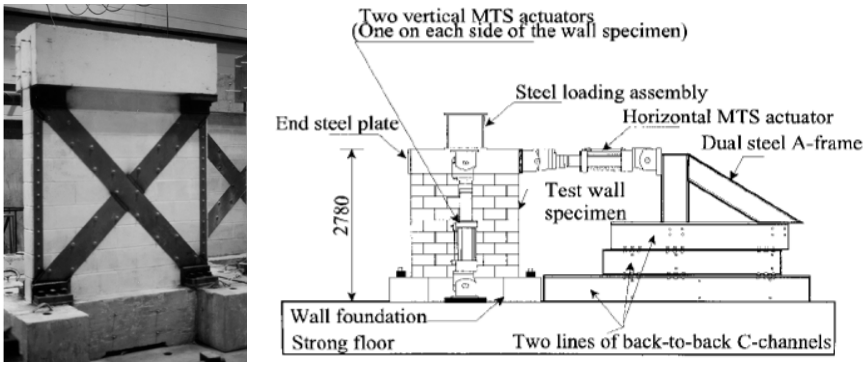
Güçlendirme, hasar olsun veya olmasın, taşıyıcı sistemin tümünün ya da bazı elemanların dayanım ve şekildeğiştirme özelliklerinin iyileştirimesidir, [4]. Sünekliği ve çekme dayanımı az olan yığma yapıların özellikle deprem etkisinde enerji tüketme kapasitelerinin ve çekme ile kesme dayanımlarının arttırılması için güçlendirme önemli olmaktadır. Yığma yapıların güçlendirilmesi konusunda ülkemizde yeterince çalışmanın gerçekleştirilmediği düşünülmektedir.

Yığma yapıların güçlendirilmesinde çeşitli yöntemler kullanılmaktadır. Donatı ağı üzerine püskürtme beton uygulaması ya da çelik elemanlar kullanma ile yapılan güçlendirme bunlara örnek verilebilir. Bunlara ek olarak, FRP (lifli polimer) malzemesi kullanılarak yapılan güçlendirme de son yıllarda yaygınlaşmaya başlamıştır. Bu güçlendirme tekniğinin önemli üstünlükleri, yatay yüklere karşı etkinliğinin fazla olması, uygulama kolaylığı, uygulama süresinin az olması ve

güçlendirmenin binaya ilave bir yük getirmemesi olduğu söylenebilir. FRP sistemlerin en önemli zayıflıkları ise ısıya karşı düşük dayanım ve yangında yüksek ısıya maruz kalan FRP sistemlerin dayanımlarını tamamen yitirmesidir, [5].

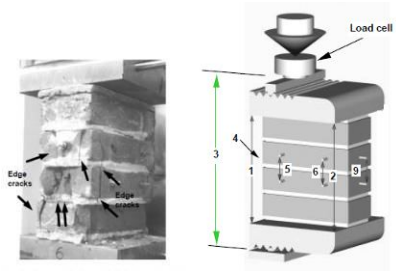
1.1 Önceki Çalışmalar

Taghdi ve diğerleri (2000), dört adet beton blok yığma duvar, iki adet de betonarme perde duvar oluşturulmuştur. Dört yığma duvar elemandan ikisinde donatı kullanılmış diğer ikisinde ise kullanılmamıştır. İki adet betonarme perde duvar elemanda ise minimum donatı kullanılmıştır. Her duvar elemandan biri düşey veya çapraz doğrultuda çelik levhalarla kuşatılmıştır. Ankraj bulonları ve çelik elemanlar temele ve elemanın üst bölümüne bağlantı amacıyla kullanılmıştır. Deney numuneleri sabit düşey yükler ve artan yerdeğiştirme genlikleri kontrolünde tersinir tekrarlı ve statik olarak test edilmiştir. Deney sonuçlarına göre çelik elemanlar ile güçlendirilmiş olan numunelerde genel anlamda dayanım artışı, düktilite artışı ve enerji tüketimi artışı görülmüştür. Taghdi ve diğerleri (2000) deneysel çalışmanın devamında duvar ve güçlendirilmiş duvar elemanlar kafes model yaklaşımı ile tasarımda kullanılabilecek birtakım kuramsal bağıntılar geliştirmişlerdir, [6].



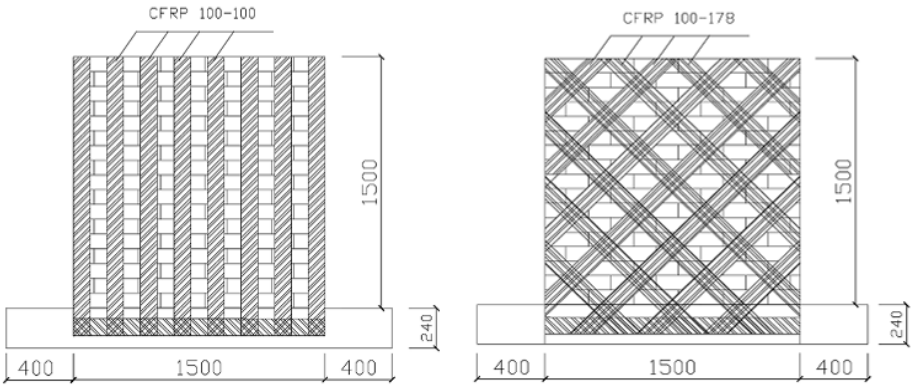
Şekil 1.1 : Taghdi deney numunesi ve düzeneği.

Brencich ve diğerleri, yığma dolgu duvar elemanlarının eksantrik basınç etkileri altındaki davranışlarını deneysel ve analitik olarak incelemişlerdir. Analitik çalışmalar sonlu elemanlar yöntemine dayanmıştır. Deneysel gözlemler ve sonlu eleman modeli sonuçları, dayanım azalmasının uç bölgedeki duvarların ezilmesinden sonra başladığını göstermiştir, [7].



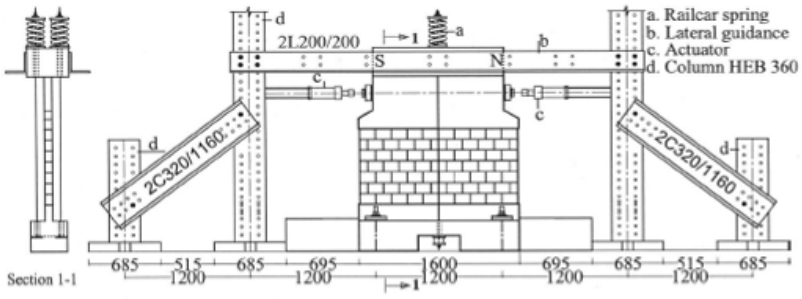
Şekil 1.2 : Deney düzeneği ve uç bölgede duvar ezilmesi.

Chang Wei ve diğerleri, yığma duvarların, düktilitesi ve yatay yük taşıma kapasitesini belirlemek amaçlı olarak bir adet yalın, iki adet de CFRP (karbon lif takviyeli polimer) ile güçlendirilmiş olmak üzere toplam üç adet 1.5×1.5 m boyutlarında yığma duvar elemanı imal etmiş ve sabit düşey yükler ve tersinir statik yükler etkisinde denemişlerdir. Bu deneysel çalışmada sadece iki farklı güçlendirme tekniği üzerinde çalışılmıştır. Kullanılan teknik güçlendirmenin etkinliğini önemli ölçüde etkilemektedir. Genel anlamda yapılmış olan güçlendirme teknikleri duvar elemanların düktilitesini, yatay yük taşıma kapasitesini ve enerji tüketme kapasitesini önemli ölçüde arttırmaktadır, [8].



Şekil 1.3 : Wei deney numunesi.

Elgawady ve diğerleri, yedi adet ½ ölçekli yığma duvarın davranışını FRP ile güçlendirme öncesi ve sonrası, sabit düşey yükler ve artan yatay yerdeğiştirmeler etkisinde incelemiştir. Duvar elemanların yatay yük taşıma kapasitesi, rijitliği ve enerji tüketme kapasitelerinde lifli polimer malzemelerin eksenel rijitliği ve miktarı önemli bir parametre olmaktadır. Çok fazla miktarda FRP kullanımı duvarın çok gevrek davranış göstermesine sebep olmaktadır. Duvar elemanlara ait sönüm oranları tartışılmış ve güçlendirilmiş numunelerin sönüm oranlarının daha yüksek olduğu belirlenmiştir, [9].



Şekil 1.4 : Elgawady deney düzeneği.

El-Dakhakhni ve diğerleri, yalın ve güçlendirilmiş yığma duvar elemanların ve dolgu duvarlı çelik çerçevelerin davranışı belirlemek üzere deneyler gerçekleştirmiştir. İlk deneyler 24 adet olup, basınç ve kayma etkileri altında yapılmıştır. İkinci aşamada 5 adet dolgu duvarlı yalın ve güçlendirilmiş çerçeve test edilmiştir. Güçlendirme için kompozit laminat elemanlar kullanılmıştır. Kompozit laminantlarla yapılan güçlendirmenin rijitlik ve dayanımı bakımından önemli iyileşmeler sağladığı gözlemlenmiştir. Yığma duvarların şekildeğiştirme yeteneğini artırması ve yapı genelinde oluşabilecek büyük hasarları sınırlandırması bakımından kompozit laminantların çok etkin olduğu söylenmiştir, [10].

Farooq ve diğerleri, çelik levhalar ile farklı biçimlerde güçlendirilmiş yığma duvarları iki farklı grup olarak basınç ve kayma etkileri altında test etmiştir. Çelik levhaların düzenlenme aralıkları da araştırmanın bir değişkenidir. Yığma duvar yüzeyine ankre edilen çelik levhalar ile basınç ve kayma dayanımında önemli artışlar sağlanabileceği belirtilmiştir. Deprem bölgelerindeki yığma duvarlı yapıların güçlendirilmesinde etkin bir yöntem olduğu ifade edilmiştir, [11].

Santa Maria ve Alcaino, 16 adet 1/1 ölçekli yığma duvarı kayma etkileri altında test etmişlerdir. Yığma duvarlar CFRP kompozitleri ile farklı biçimlerde güçlendirilmiş olup test sonuçları dayanım, rijitlik, düktilite ve enerji tüketimi kavramları kapsamında değerlendirilmiştir. Test sonuçları güçlendirme sayesinde dayanımın %13–84 arasında artırılabildiği, yerdeğiştirme kabiliyetinin %51–146 oranında artabildiğini göstermiştir. CFRP uygulamasının yığma duvar içerisinde tüketilen enerjiyi de artırdığı deney sonuçlarından belirlenmiştir. Eşdeğer sönüm oranının da belirlendiği bu deneysel çalışmada, tepe yerdeğiştirmesinin %0.3 olduğu aşamada güçlendirilmiş numunelerdeki eşdeğer sönüm ortalama %8 düzeyinde

gerçekleşmiştir. Yapılan çalışmada en büyük kayma dayanımının tahmin edilebilmesi için birtakım bağıntılar da geliştirilmiştir, [12].

1.2 Tezin kapsamı ve amacı

Mevcut yapı sistemlerinin deprem güvenliklerinin arttırılması için uygulanan güçlendirme tekniklerinden biri de yapıda var olan bölme duvarların güçlendirilerek etraflarındaki betonarme elemanlarla bütünleştirilip bir tür perdeye dönüştürülmesidir. Bu tür bir güçlendirmede bölme duvarların mekanik özelliklerinin bilinmesi güvenli bir taşıyıcı sistem hesabı için önemlidir.

Bu tez çalışmasının ana amacı; boşluklu tuğla kullanılarak üretilen duvar numunelerinin yalın ve CFRP ile güçlendirilmiş durumlarda önemli mekanik özelliklerinin belirlenmesidir.

Bu kapsamda 500×500 mm ebatlarında 12 adet çimento harçlı duvar numunesi ile 9 adet çimento – kireç harçlı duvar numunesi deneysel olarak incelenmiş elde edilen sonuçlar karşılaştırılmıştır.

Belirlenen mekanik özellikler; deneyler sonucu numunelerden elde edilen gerilme – şekildeğiştirme grafiklerine bağlı olarak bulunan dayanım, elastisite modülü, kayma modülü, şekildeğiştirme ve süneklik düzeyleridir. Deney numunelerinin mekanik özellikleri birbirleriyle karşılaştırılırken üç farklı değişken esas alınmıştır. Bunlar; tuğla delik yönü, harç ve sıva olarak kullanılan bağlayıcının türü ve CFRP ile güçlendirme parametresidir.

2. DENEYSEL ÇALIŞMA

2.1 Genel

İki adet yüksek lisans tez çalışması olarak planlanmış ve gerçekleştirilmiş olan bu araştırma, toplam 35 adet deney numunesini kapsamaktadır. Deney numuneleri üç gruba ayrılmıştır. Bu gruplar A, B ve C olarak isimlendirilmiştir.

A grubu numuneler çimento ve kireç harcı kullanılarak yapılmıştır. Numune boyutları 350×350 mm dir. Toplam numune sayısı 14 olup, 7 deney grubu oluşturulmuştur.

B grubu numuneler çimento harcı kullanılarak yapılmıştır. Numune boyutları 500×500 mm dir. Toplam 12 adet numune 7 adet deney grubunda denenmiştir.

C grubu numuneler ise çimento ve kireç harcından oluşturulmuştur. Numune boyutları 500×500 mm dir. Beş adet deney grubunda toplam 9 adet numune denenmiştir.

Şekil 2.1 de deney numunelerine ait genel parametre matrisi görülmektedir.

Birinci çalışma, A ve C gruplarını içermektedir, [16]. Bu çalışmada özdeş harç ile oluşturulan numunelerde, numune boyutlarının davranışa olan etkisi irdelenmiştir.

İkinci çalışma bu yüksek lisans tezi olup, B ve C grubu numuneleri içermektedir. Bu çalışmada ise aynı boyutlu numunelerde harç değişkeninin etkisi incelenmiştir. Bu çalışmaya ait ayrıntılı bilgi Bölüm 2.2 de verilmektedir.

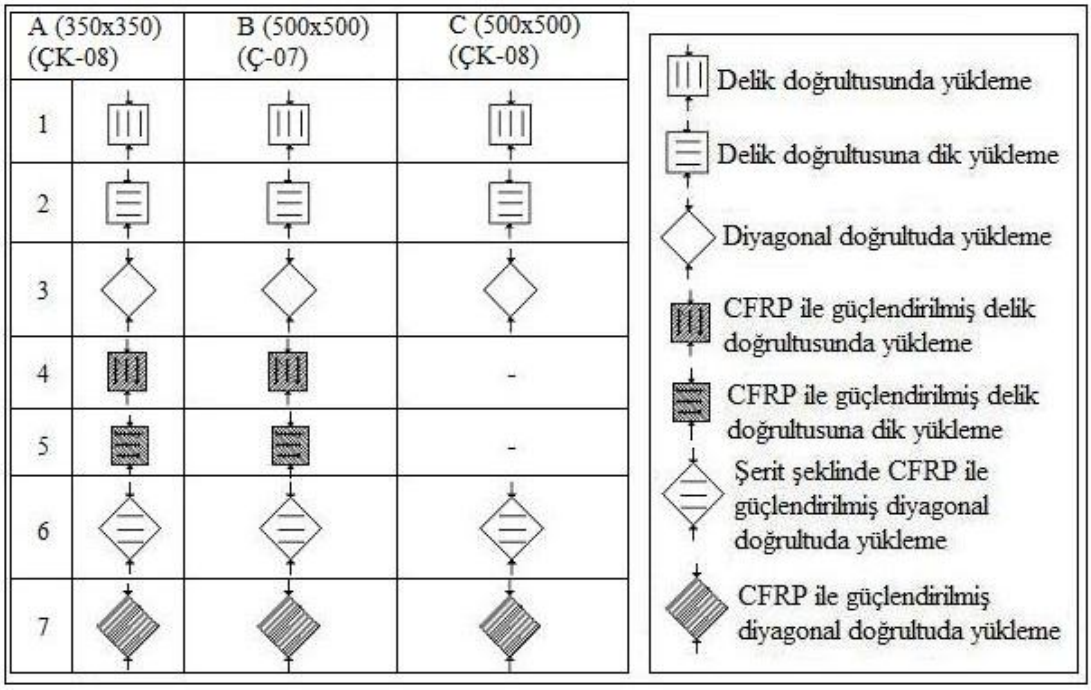
Her iki çalışma grubunda, ana değişkenlerin yanı sıra iki önemli değişken daha bulunmaktadır. Bunlar, tuğla delik yönü ve karbon lifli polimer (CFRP) güçlendirmesinin etkisidir.

2.2 Deney Numuneleri

Harç bakımından özdeş olan iki grup deney numunesi üretilmiştir. İlk grup numuneler B olarak isimlendirilmiş ve **çimento harcı** ile üretilmiştir. İkinci grup

numuneler ise C olarak isimlendirilmiş ve **çimento – kireç harcı** ile üretilmişlerdir. Her iki grup 500×500 mm ebatlı numuneleri kapsamaktadır. B grubu toplam 12 adet deney numunesinden, C grubu ise toplam 9 adet deney numunesinden oluşmaktadır. Şekil 2.2 de deney numunelerine ait parametre matrisi görülmektedir.

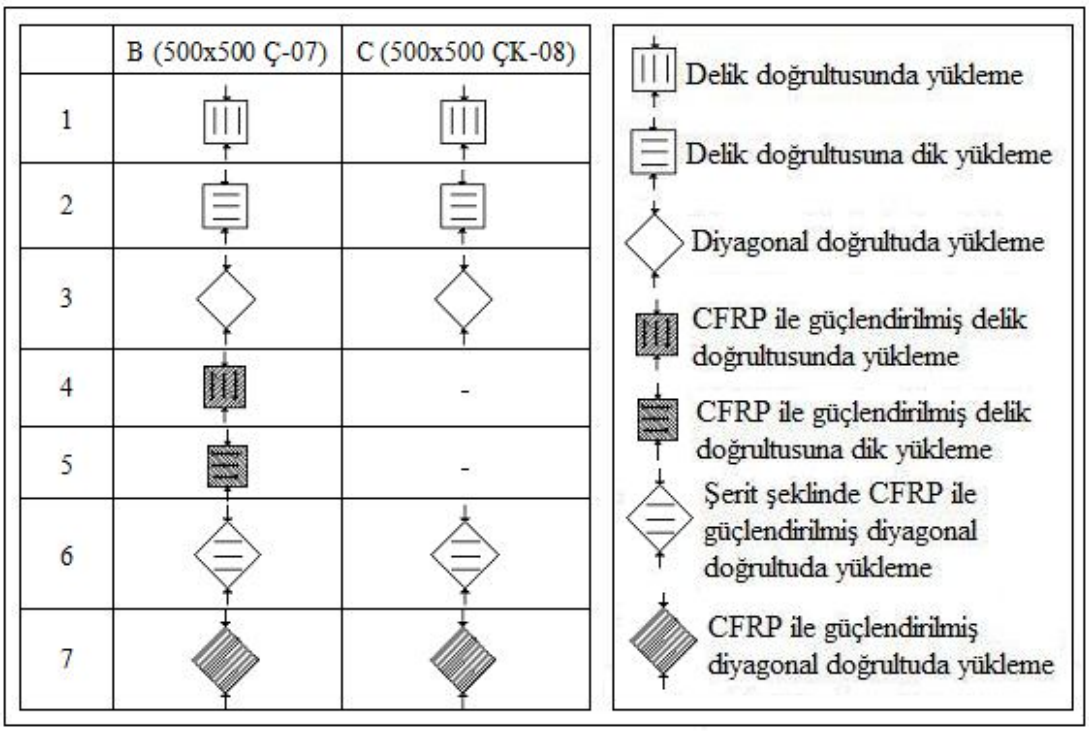
B grubu kendi içinde yedi alt gruptan oluşmaktadır. Bu gruptaki numuneler B1, B2, B3, B4, B5, B6 ve B7 olarak isimlendirilmiştir. C grubu ise kendi içinde beş alt gruptan oluşmaktadır. Bu gruptaki numuneler de C1, C2, C3, C6 ve C7 olarak isimlendirilmiştir. B1, B2, B3, B6 ve B7 alt grupları için ikişer adet numune, B4 ve B5 alt grupları için de birer adet numune denenmiştir. C1, C2, C3 ve C7 alt grupları için ikişer adet numune, C6 alt grubu için de birer adet numune denenmiştir. Deneysel çalışma için üretilen numunelerden ilk üç grup (B1, B2, B3, C1, C2, C3) diğer numunelerle karşılaştırma yapılması amacı ile üretilen kontrol numunelerinin deneylerini, diğer gruplar ise (B4, B5, B6, B7, C6, C7) karbon lifli polimerler (CFRP) ile güçlendirilmiş numunelerin deneylerini kapsamaktadır.



Şekil 2.1 : Genel deney parametresi matrisi.

Güçlendirme amacıyla kullanılan karbon lifli polimer (CFRP), lifler enine doğrultuda yer alacak şekilde uygulanmıştır. Güçlendirilmiş deney numunelerinin davranışları yalın numuneler ile karşılaştırılmıştır. Hem aynı grup içinde yer alan güçlendirilmiş ve güçlendirilmemiş numunelerin birbiriyle karşılaştırılması, hem de harç

parametresine bağlı olarak farklı özelliklere sahip numunelerin karşılaştırılması mümkün olmuştur.



Şekil 2.2 : Deney parametresi matrisi.

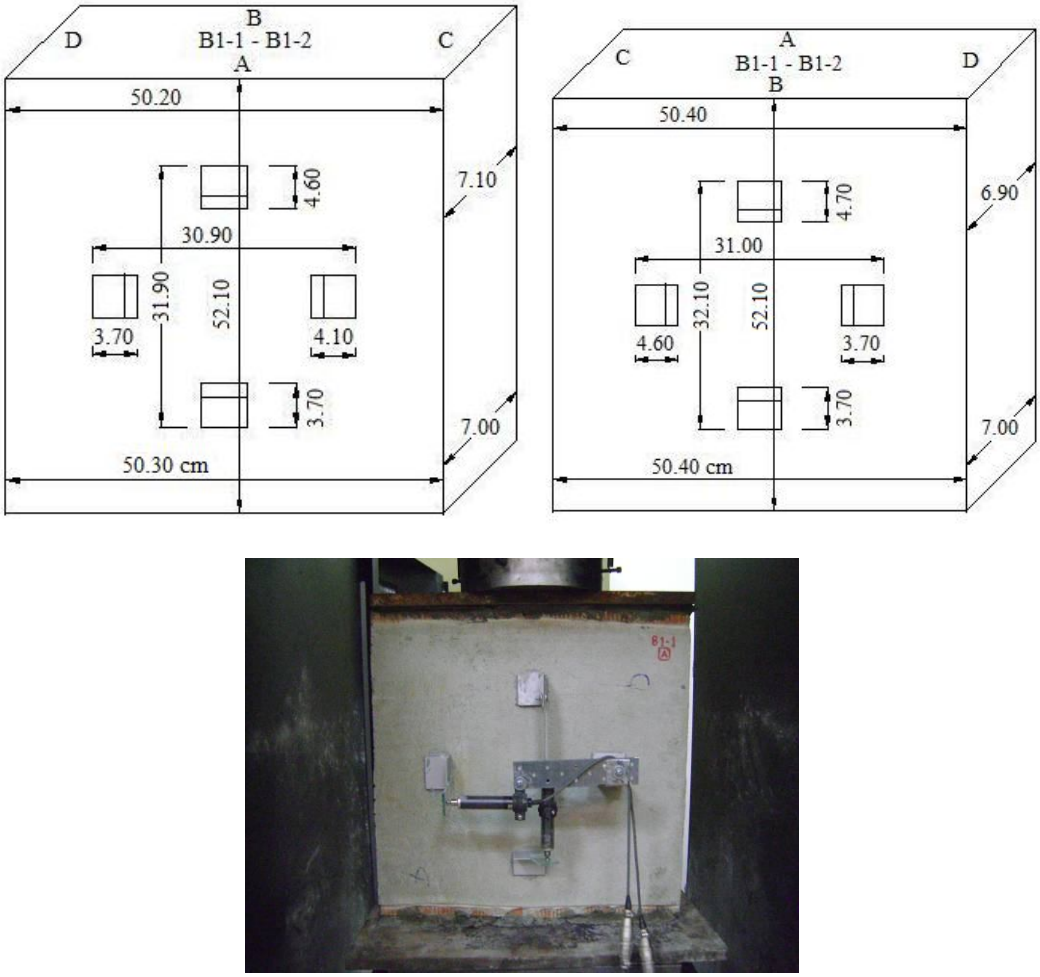
B grubu deney numunelerinde, sıva olarak ortalama basınç dayanımı 16 MPa olan çimento ve C grubu deney numunelerinde ise ortalama basınç dayanımı 7 MPa olan çimento ve kireç harcı kullanılmıştır. Deliklere paralel doğrultudaki derz kalınlıkları 10 mm, dik doğrultudaki derz kalınlıkları ise 5 mm dir. Numunelerin her iki yüzüne uygulanan sıva kalınlığı 10 mm dir.

Tüm duvar numuneleri 1/3 ölçekli boşluklu fabrika tuğlası kullanılarak üretilmiştir. Tuğla boyutları 60×85×85 mm olup, tuğla doluluk oranı %60 dır.

2.2.1 B grubu numuneleri

2.2.1.1 B1-1 ve B1-2 numuneleri

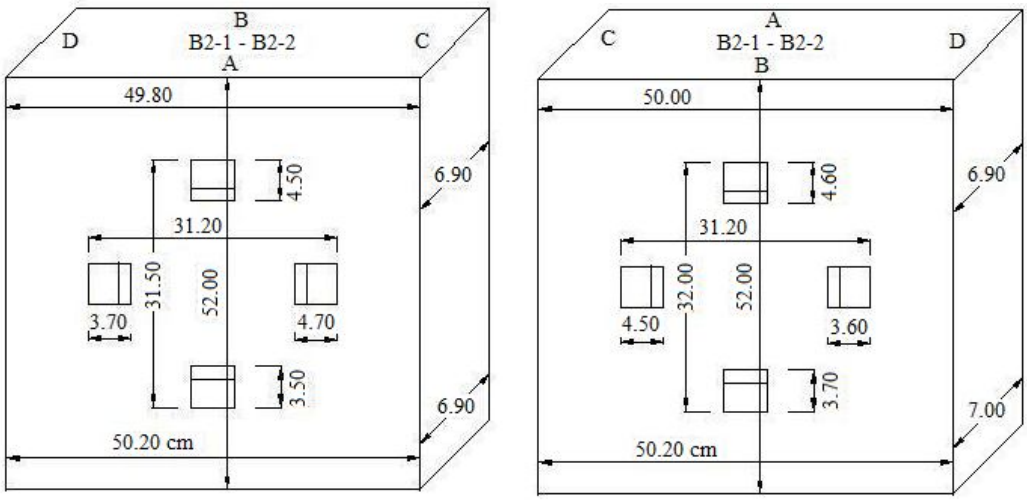
B1-1 ve B1-2, duvarı oluşturan tuğlaların deliklerinin yükleme doğrultusunda konumlandırıldığı özdeş numunelerdir. Bu numunelere ait genel geometri Şekil 2.3 de verilmiştir.



Şekil 2.3 : B1-1 ve B1-2 numunelerine ait genel geometri.

2.2.1.2 B2-1 ve B2-2 numuneleri

B2-1 ve B2-2, duvarı oluşturan tuğlaların deliklerinin yükleme doğrultusuna dik doğrultuda konumlandırıldığı özdeş numunelerdir. Bu numunelere ait genel geometri Şekil 2.4 de verilmiştir.

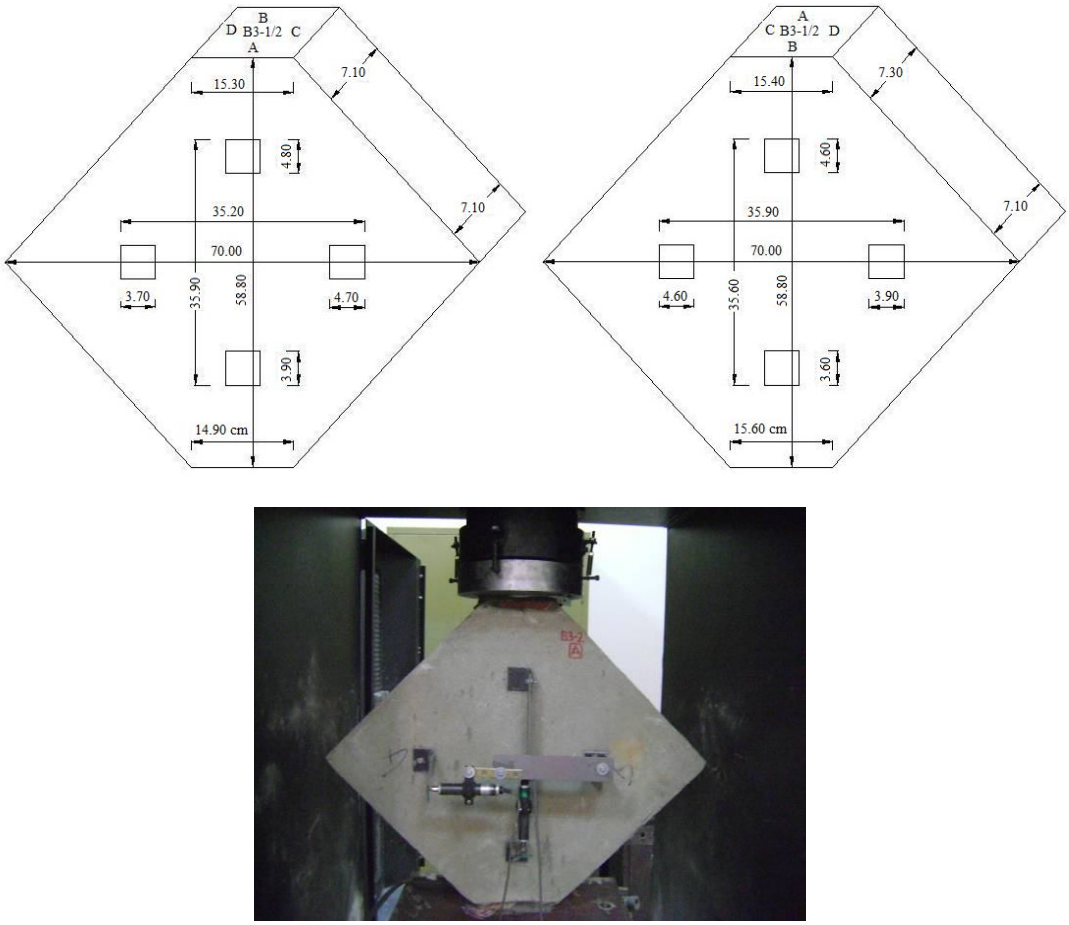




Şekil 2.4 : B2-1 ve B2-2 numunelerine ait genel geometri.

2.2.1.3 B3-1 ve B3-2 numuneleri

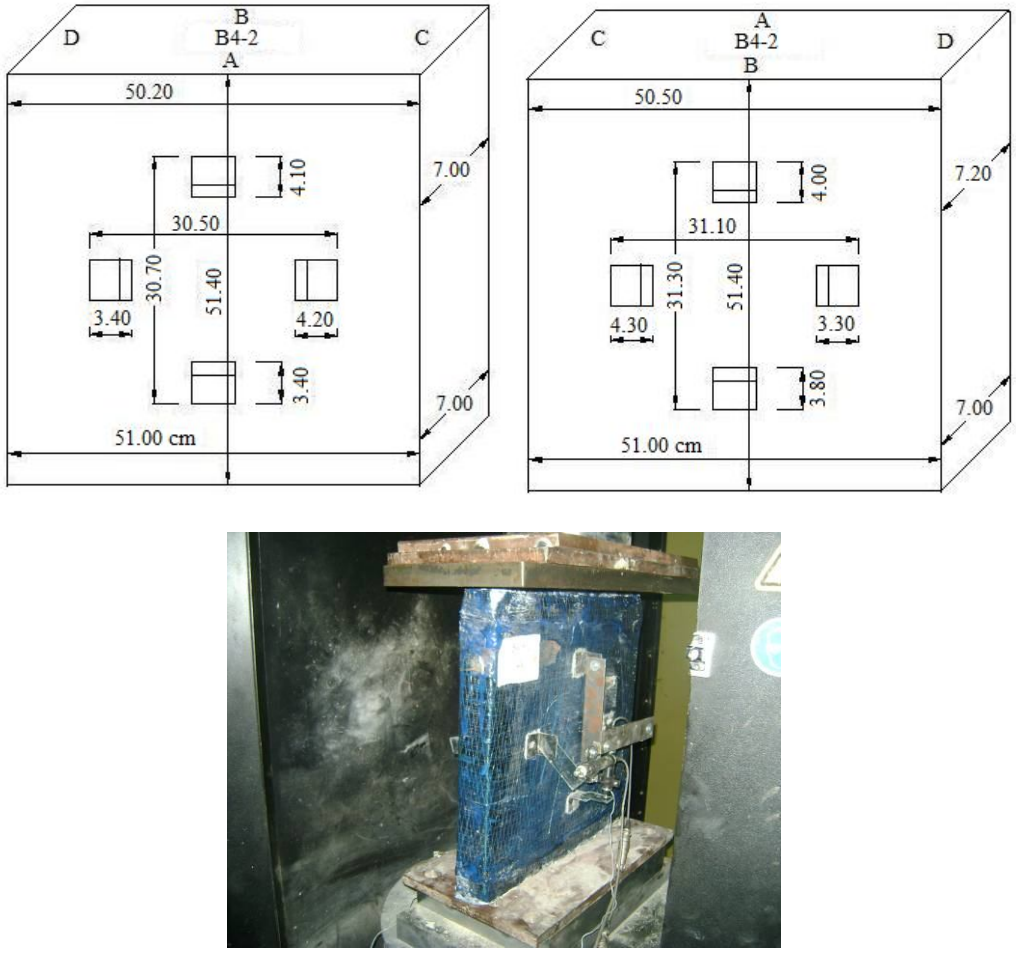
B3-1 ve B3-2, diyagonal özdeş numunelerdir. Bu numunelere ait genel geometri Şekil 2.5 de verilmiştir.



Şekil 2.5 : B3-1 ve B3-2 numunelerine ait genel geometri.

2.2.1.4 B4-2 numunesi

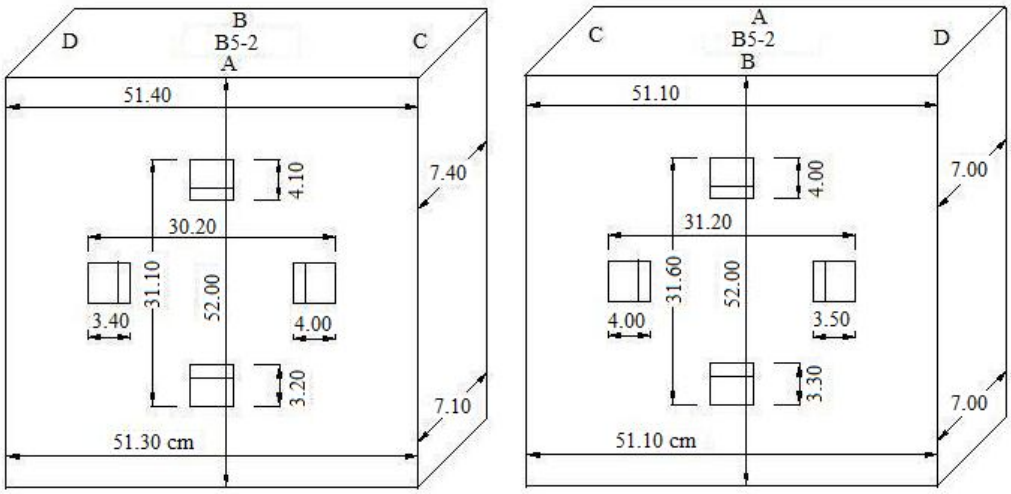
B1-1 ve B1-2 deney numuneleri ile aynı özelliklere sahip olan, karbon lifli polimerin (CFRP) tüm duvar yüzeyine uygulanıp güçlendirilmesiyle elde edilmiş deney numunesidir. Uygulama biçimi Bölüm 2.3 de ayrıntılı olarak anlatılmıştır. Bu numuneye ait genel geometri Şekil 2.6 da verilmiştir.



Şekil 2.6 : B4-2 numunesine ait genel geometri.

2.2.1.5 B5-2 numunesi

B2-1 ve B2-2 deney numuneleri ile aynı özelliklere sahip, karbon lifli polimerin (CFRP) tüm duvar yüzeyine uygulanıp güçlendirilmesiyle elde edilmiş deney numunesidir. Bu numuneye ait genel geometri Şekil 2.7 de verilmiştir.

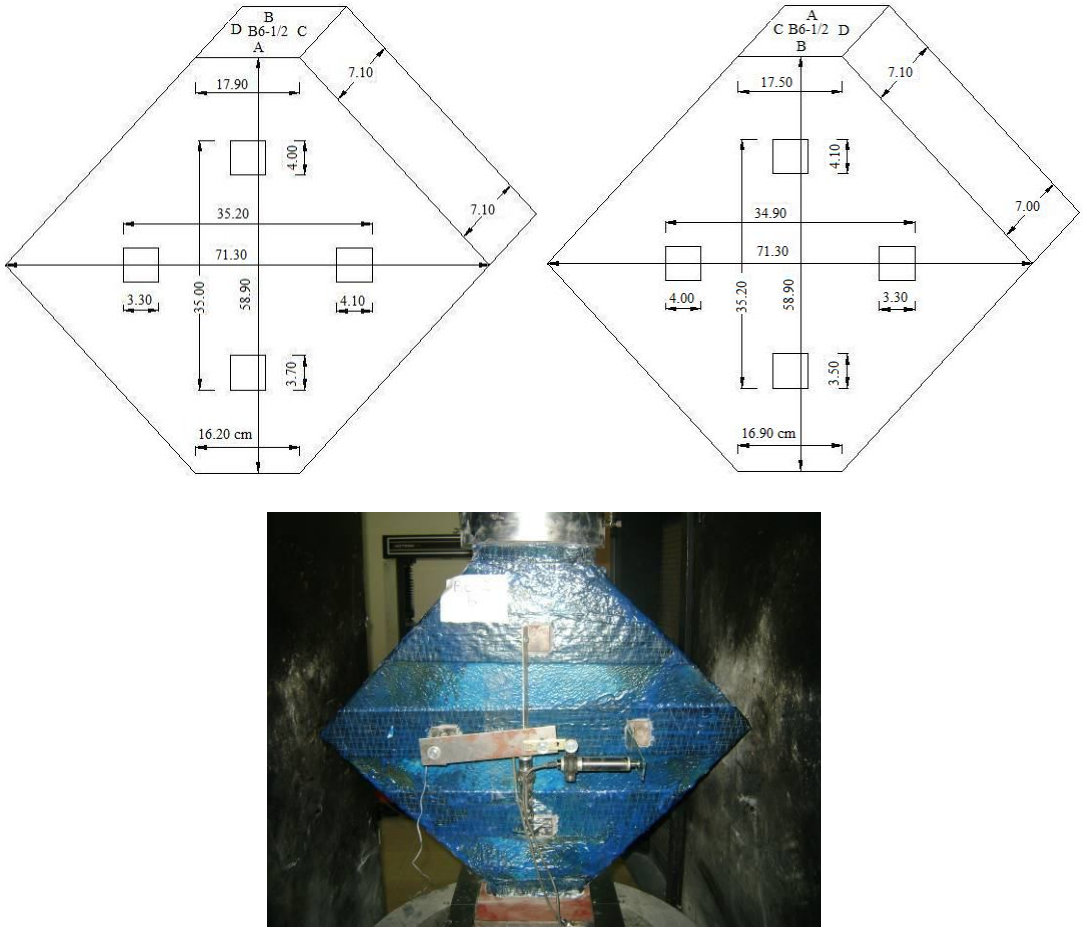




Şekil 2.7 : B5-2 numunesine ait genel geometri.

2.2.1.6 B6-1 ve B6-2 numuneleri

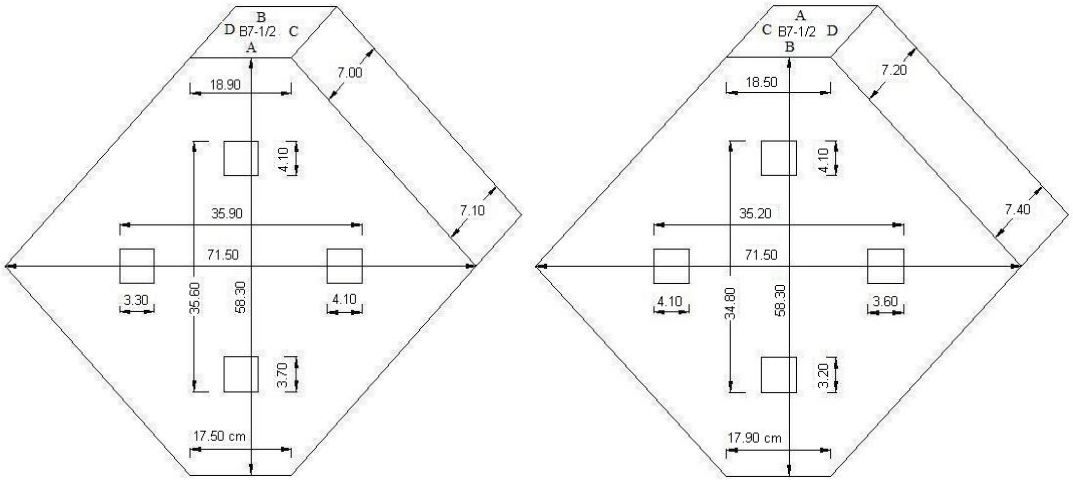
B3-1 ve B3-2 deney numuneleri ile aynı özelliklere sahip olup, karbon lifli polimerin (CFRP) 75 mm genişliğinde üç sıra şerit olarak uygulanması ile elde edilen deney numuneleridir. Bu uygulama biçiminde, numunenin tüm yüzeyi CFRP ile sarılmamış, belirli bölgelere uygulama yapılmıştır. Uygulama biçimi Bölüm 2.3 de ayrıntılı olarak anlatılacaktır. Bu numuneye ait genel geometri Şekil 2.8 de verilmiştir.

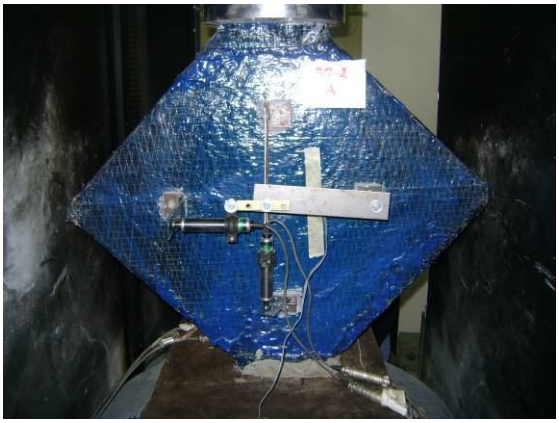


Şekil 2.8 : B6-1 ve B6-2 numunelerine ait genel geometri.

2.2.1.7 B7-1 ve B7-2 numuneleri

B3-1 ve B3-2 deney numuneleri ile aynı özelliklere sahip, karbon lif takviyeli polimer (CFRP) kompozitlerinin tüm yüzeye uygulanıp güçlendirilmesiyle elde edilen deney numuneleridir. Bu numuneye ait genel geometri Şekil 2.9 da verilmiştir.



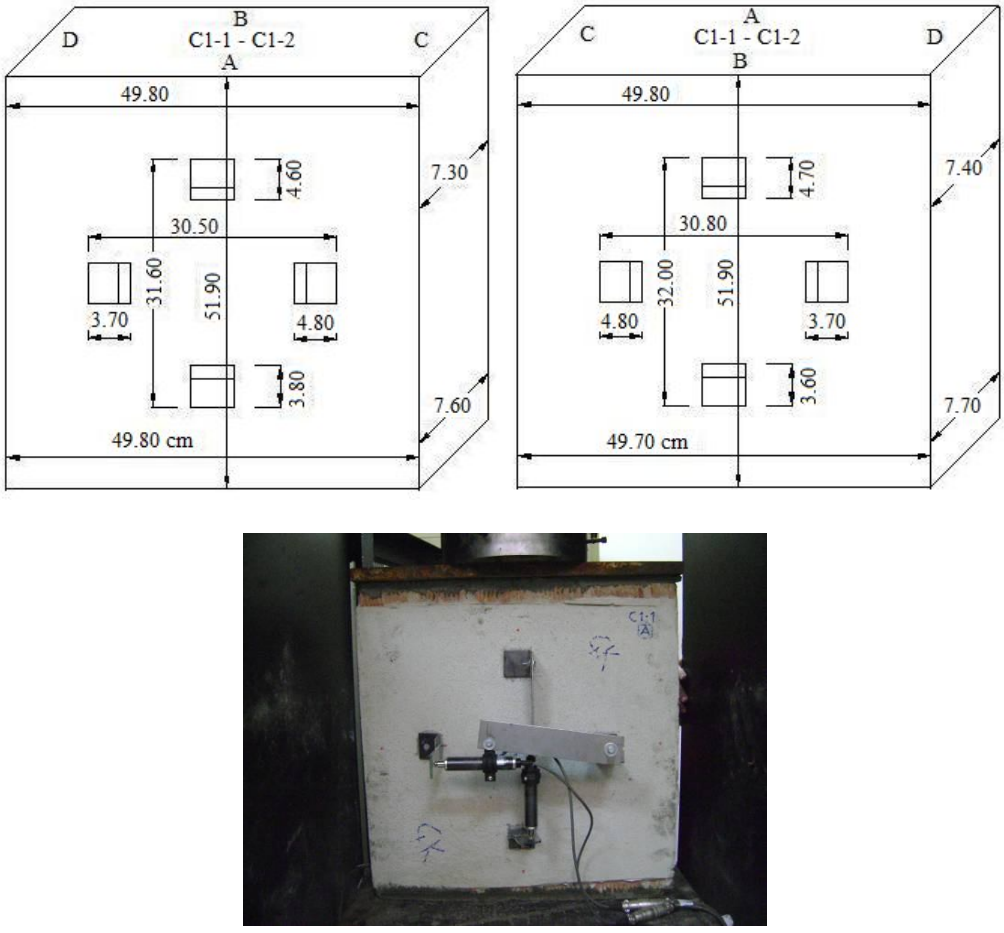


Şekil 2.9 : B7-1 ve B7-2 numunelerine ait genel geometri.

2.2.2 C grubu numuneleri

2.2.2.1 C1-1 ve C1-2 numuneleri

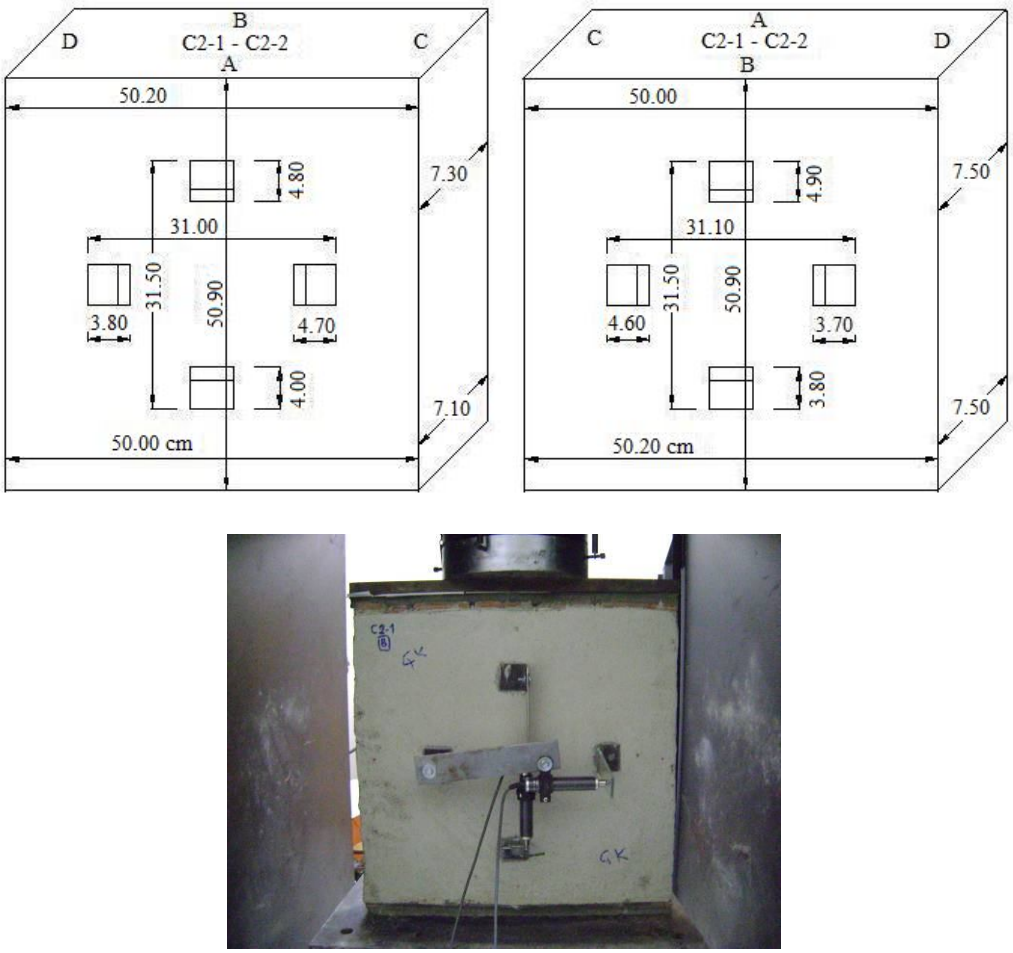
C1-1 ve C1-2, duvarı oluşturan tuğlaların deliklerinin yükleme doğrultusunda konumlandırıldığı özdeş numunelerdir. Bu numunelere ait genel geometri Şekil 2.10 da verilmiştir.



Şekil 2.10 : C1-1 ve C1-2 numunelerine ait genel geometri.

2.2.2.2 C2-1 ve C2-2 numuneleri

C2-1 ve C2-2, duvarı oluşturan tuğlaların deliklerinin yükleme doğrultusuna dik doğrultuda konumlandırıldığı özdeş numunelerdir. Bu numunelere ait genel geometri Şekil 2.11 de verilmiştir.



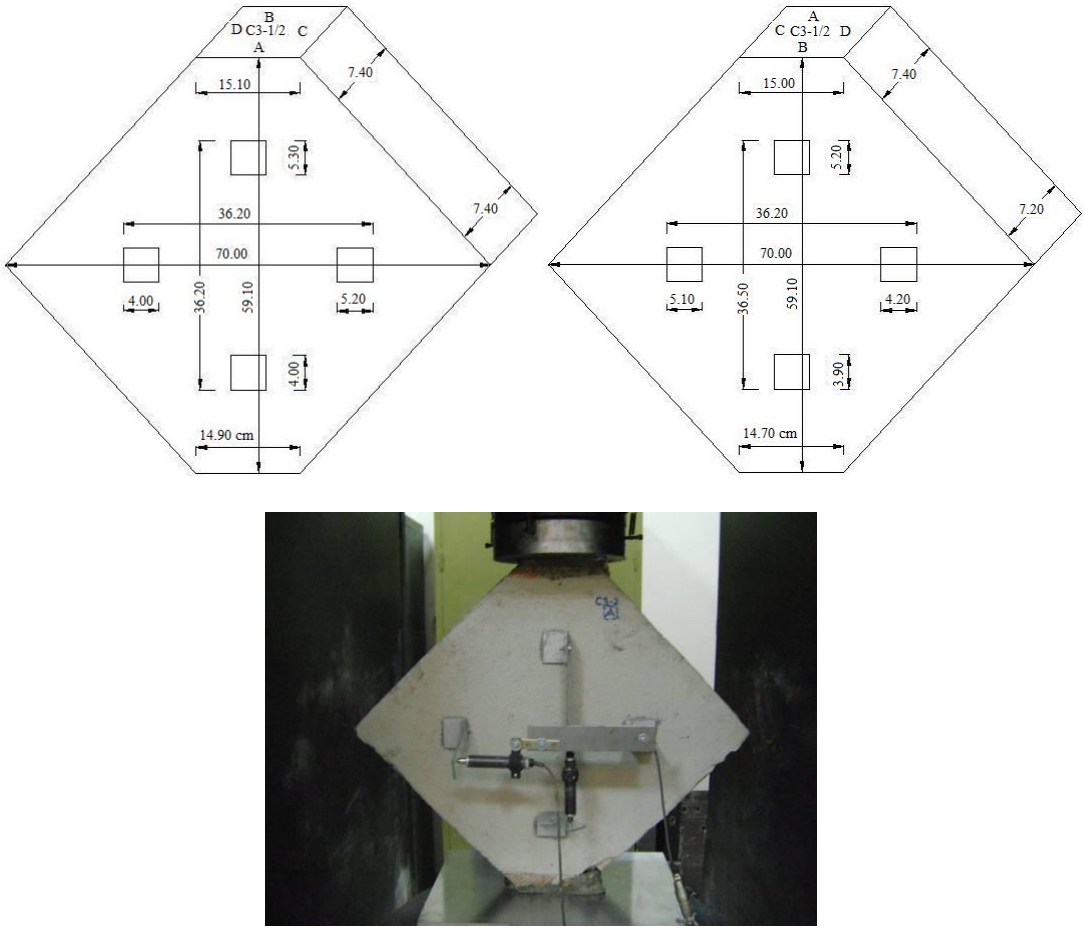
Şekil 2.11 : C2-1 ve C2-2 numunelerine ait genel geometri.

2.2.2.3 C3-1 ve C3-2 numuneleri

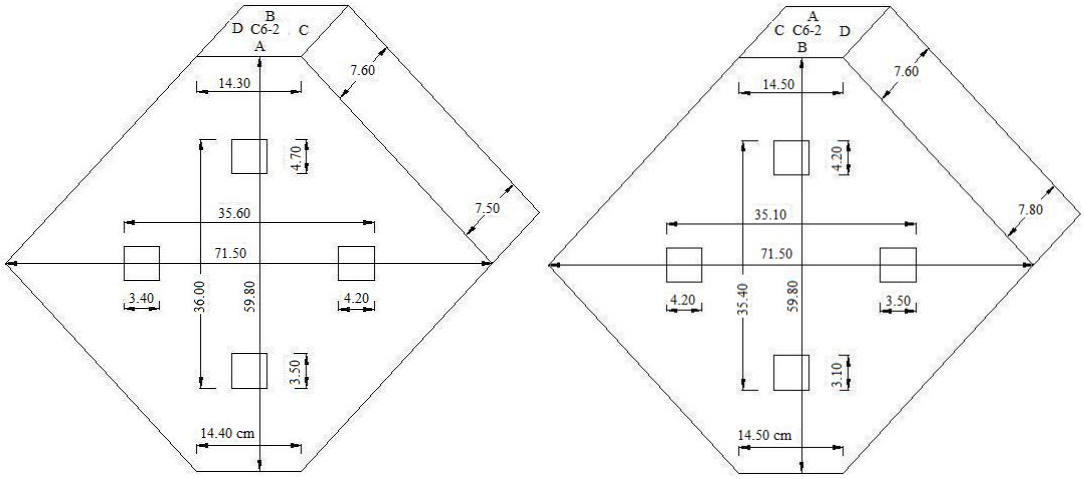
C3-1 ve C3-2, diyagonal özdeş numunelerdir. Bu numunelere ait genel geometri Şekil 2.12 de verilmiştir.

2.2.2.4 C6-2 numunesi

C3-1 ve C3-2 deney numuneleri ile aynı özelliklere sahip, karbon lifli polimerin (CFRP) 75 mm genişliğinde üç sıra şerit şeklinde uygulanıp güçlendirilmesiyle elde edilen deney numuneleridir. Bu uygulama biçiminde, numunenin tüm yüzeyi CFRP ile sarılmamış, belirli bölgelere uygulama yapılmıştır. Bu numuneye ait genel geometri Şekil 2.13 de verilmiştir.



Şekil 2.12 : C3-1 ve C3-2 numunelerine ait genel geometri.

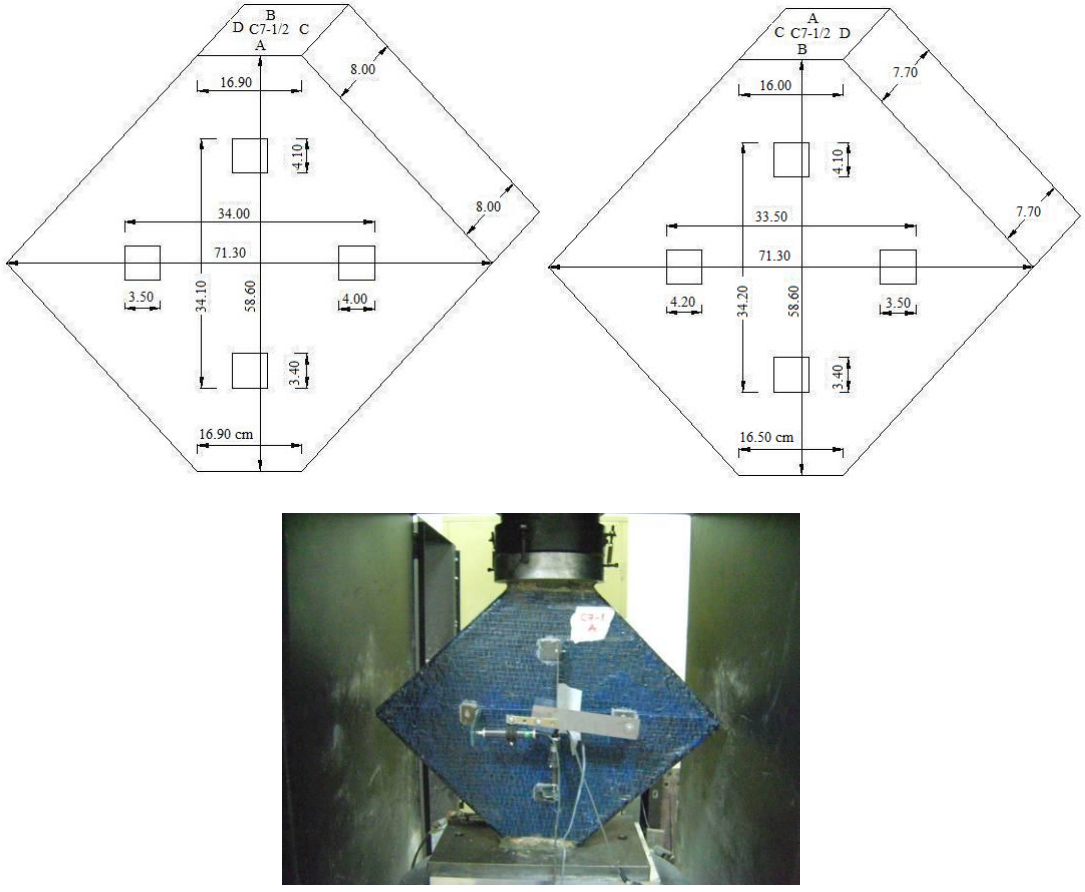




Şekil 2.13 : C6-2 numunesine ait genel geometri.

2.2.2.5 C7-1 ve C7-2 numuneleri

C3-1 ve C3-2 deney numuneleri ile aynı özelliklere sahip, karbon lifli polimerin (CFRP) kompozitlerinin tüm duvar yüzeyine uygulanıp güçlendirilmesiyle elde edilmiş deney numuneleridir. Bu numuneye ait genel geometri Şekil 2.14 de verilmiştir.



Şekil 2.14 : C7-1 ve C7-2 numunelerine ait genel geometri.

2.3 Deney Numunelerinin Üretimi

Deney numunelerinin üretimine duvar örme işlemiyle başlanmıştır. Bunun için 1/3 ölçekli özel tuğla kullanılmıştır. Duvar örme işlemi, tuğla delikleri cepheden bakıldığı zaman paralel ve ara derzler şaşırtmalı olacak şekilde 5½ sıra tuğla kullanılarak yapılmıştır. Yatay ve düşey derzlerde uygulanan harç kalınlığı 10 mm dir. Duvar örme işleminin tamamlanmasının ardından tüm numunelerde sıva işlemi gerçekleştirilmiştir. Uygulanan sıva kalınlığı 10 mm dir. Deney numunelerinin bir kısmında sıva olarak çimento harcı, bir kısmında da çimento – kireç harcı kullanılmıştır. Çimento esaslı harcın karışım oranı 3 hacim kum, 1 hacim çimento ve 2 hacim su şeklindedir. Çimento – kireç esaslı harcın karışım oranı ise 4 hacim kum, 1 hacim çimento, ½ hacim kireç ve 2 hacim su şeklindedir. Her iki harç, uygulamayı yapan kişinin pratik tecrübesi doğrultusunda ve kolay işlenebilirlik esas alınarak oluşturulmuştur. Şekil 2.15 de sıva uygulaması yapılmadan önce örme işlemi tamamlanmış duvar numunelerinin durumu görülmektedir. Sıva işleminin tamamlanmasından sonra, diyagonal numuneler olarak denenecek 11 adet numunenin (B3-1, B3-2, C3-1, C3-2, B6-1, B6-2, B7-1, B7-2, C6-2, C7-1, C7-2) karşılıklı iki köşesi kesilmiştir. Şekil 2.16 da diyagonal numuneleri elde etmek üzere uygulanan kesim işlemi görülmektedir.



Şekil 2.15 : Örme işlemi tamamlanmış duvar numuneleri.



Şekil 2.16 : Diyagonal numuneleri elde etmek için uygulanan kesim işlemi.

Duvarları örülen numunelerden 12 tanesinde (B1-1, B1-2, B2-1, B2-2, B3-1, B3-2, B4-2, B5-2, B6-1, B6-2, B7-1, B7-2) sıva olarak çimento ve 9 tanesinde (C1-1, C1-2, C2-1, C2-2, C3-1, C3-2, C6-2, C7-1, C7-2) sıva olarak çimento – kireç harcı kullanılıp ayrıldıktan sonra 9 numune (B4-2, B5-2, B6-1, B6-2, B7-1, B7-2, C6-2, C7-1, C7-2) CFRP ile güçlendirilmiştir. Güçlendirilmiş tüm numunelerde, öncelikle uygulama yapılacak bölgeler belirlenmiştir. CFRP uygulanmadan önce, numunelerin yüzeyleri pürüzsüz bir yüzey elde etmek üzere, basınçlı hava kullanılarak toz ve sıva parçacıklarından arındırılmıştır. CFRP malzemesinin kenar yüzeylere tam yapışabilmesi için tuğla deliklerinin olduğu bölge mala ile düzeltilmiş ve EMACO S88 C yapısal tamir harcı ile kapatılmıştır. Yapıştırma işleminden önce sıvalı duvar üzerine epoksi astar uygulanmış, pürüzsüz bir yüzey elde edilmiştir. Duvar yüzeyine CFRP'nin tam yapışmasını sağlamak için lifli polimer sistemi için geliştirilmiş akışkan epoksi yapıştırıcı (adesivo saturant) uygulanmış, yapıştırma işleminden sonra da epoksi ile CFRP şeritlerinin duvar elemanlara yapışması sağlanmıştır. Şekil 2.17, Şekil 2.18, Şekil 2.19 ve Şekil 2.20 de uygulamaya ait aşamalar görülmektedir.



Şekil 2.17 : Numunelere tamir harcının uygulanıp kenarlarının düzeltilmesi.



Şekil 2.18 : Numunelere epoksi astar uygulanması.

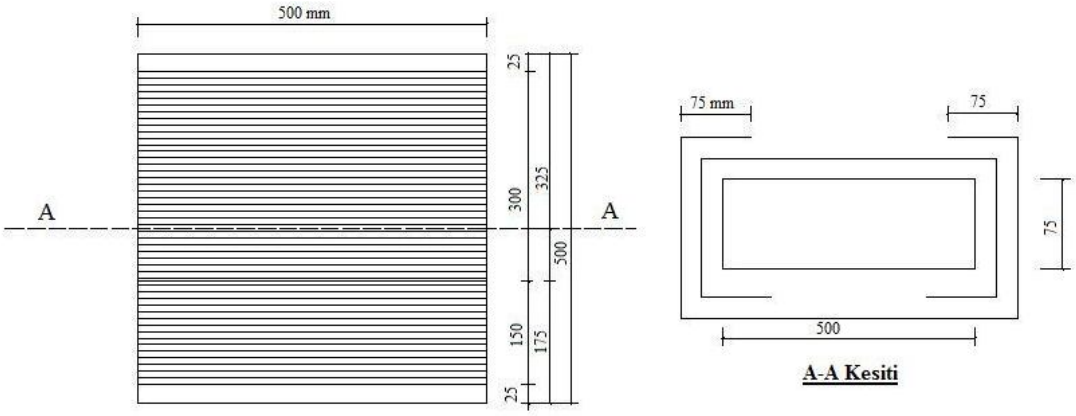


Şekil 2.19 : Numunelere akışkan epoksi yapıştırıcı (adesivo saturant) uygulanması.

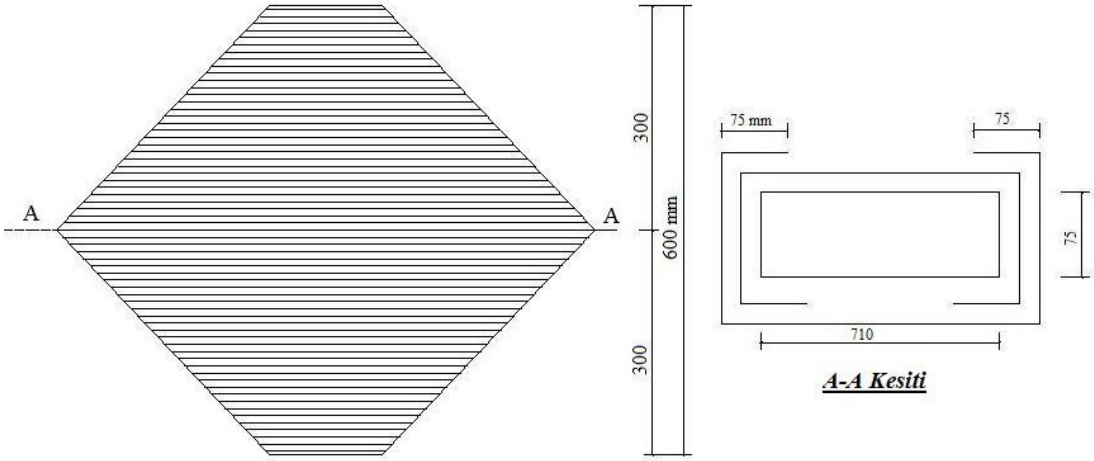


Şekil 2.20 : Tüm yüzey ve şerit CFRP uygulaması.

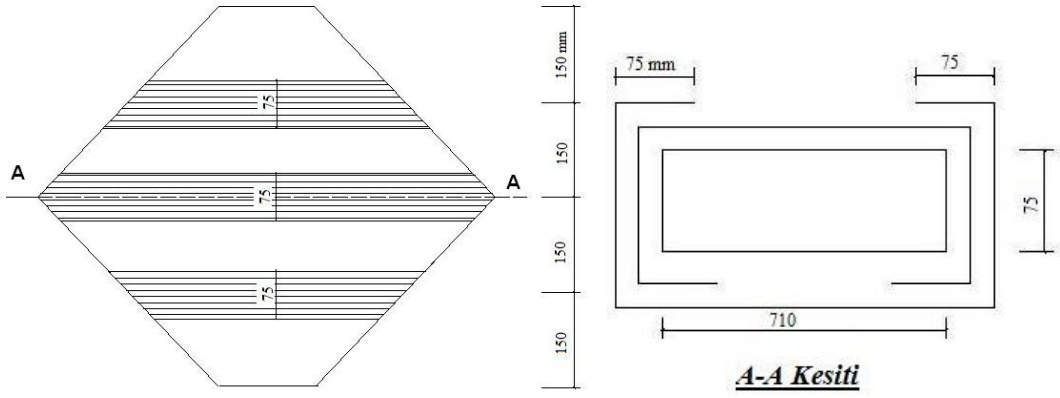
Altı adet duvar numunesinde (B4-2, B5-2, B7-1, B7-2, C7-1, C7-2) tüm yüzeyi kaplayacak şekilde CFRP uygulanmış, 3 adet duvar numunesine ise (B6-1, B6-2, C6-2) şerit şeklinde CFRP uygulaması yapılmıştır. CFRP ait detaylar Şekil 2.21, Şekil 2.22 ve Şekil 2.23 de verilmiştir.



Şekil 2.21 : Tüm yüzey CFRP uygulamasına ait detaylar.



Şekil 2.22 : Diyagonal numunelere ait tüm yüzey CFRP uygulamasına ait detaylar.



Şekil 2.23 : Diyagonal numunelere ait şerit CFRP uygulamasına ait detaylar.

Deney sırasında numunelere uygulanan yükün daha düzgün bir biçimde dağılımını sağlamak üzere tüm numunelerin üst ve alt bölgelerine başlık yapılmıştır, [17]. Şekil 2.24 de uygulamaya ait resimler görülmektedir.



Şekil 2.24 : Deney numunlerine yapılan başlık uygulaması.

2.4 Malzeme Dayanımları

2.4.1 Çimento ve kireç harcına ait deneyler

Çimento ve kireç karışımından oluşan harcın, basınç dayanımının belirlenebilmesi için 13 adet standart silindir (150×300 mm) ve 3 adet standart küp (70×70 mm) numunesi olmak üzere toplam 16 adet numune alınmıştır. Bu deneyler iki grup halinde gerçekleştirilmiştir. İlk grupta 5000 kN kapasiteli Amsler marka pres kullanılarak standart silindir basınç deneyleri ve standart küp deneyleri yapılmıştır. İkinci grupta ise, 5000 kN kapasiteli Instron yükleme ünitesi (Instron 1000 RD) yerdeğiştirme kontrollü olarak 0.2 mm/dak yükleme hızı ile çalıştırılarak basınç deneyleri yapılmıştır. Instron yükleme ünitesinde denenen numunelerin gerilme – şekildeğiştirme ilişkilerinin belirlenebilmesi için TML CM-15 ölçüm çerçevesi (kompresometre) ve şekildeğiştirme ölçerler (strain gauges) kullanılmıştır. Standart

silindirin ölçüm boyundaki (yükseklik boyunca ortadaki 150 mm lik bölüm) kısalmaları ölçmek üzere, ölçüm çerçevesine bağlı biçimde iki adet yerdeğiştirme ölçer (TML CDP-5) kullanılmıştır. Elektronik veri toplayıcı yardımıyla (TML TDS-303) kaydedilen veriler, bilgisayar ortamında değerlendirilmiştir. Şekil 2.25 ve Şekil 2.26 da standart silindir numuneleri için kullanılan deney düzeneği görülmektedir. Şekil 2.27 de ise küp numuneleri için kullanılan deney düzeneği görülmektedir. Deneyden elde edilen silindir basınç dayanımı değerleri Çizelge 2.1 ve Çizelge 2.2 de verilmiştir. Küp basınç dayanımları ise Çizelge 2.3 de verilmiştir.

Çizelge 2.1 : Amsler marka pres kullanılarak elde edilen silindir basınç dayanımları.

Numune No	**h (Yükseklik)**	**d (Çap)**	**P_{max}**	**σ_{max}**
	[mm]	**[mm]**	**[kN]**	**[MPa]**
1	300.0	150.0	165.0	9.34
2			146.0	8.27
3			148.0	8.38
4			93.0	5.27
5			104.0	5.89
6			119.0	6.74
7			100.0	5.66
8			109.0	6.14
9			128.0	7.22

Çizelge 2.2 : Instron yükleme ünitesi kullanılarak elde edilen numune silindir basınç dayanımları.

Numune No	**h (Yükseklik)**	**d (Çap)**	**P_{max}**	**σ_{max}**
	[mm]	**[mm]**	**[kN]**	**[MPa]**
1	300.0	150.0	171.0	9.68
2			97.0	5.49
3			86.0	4.87
4			161.0	9.12

Standart silindir basınç deneylerine göre, Amsler marka pres kullanılarak elde edilen dokuz adet harç numunesi ortalama 123.6 kN luk kuvvete ve 6.99 MPa lık dayanıma ulaştığı görülmektedir. Bu ortalama değerlerin standart sapmaları P_{max} için 24.9 kN ve σ_{max} için 1.41 MPa olarak hesaplanmıştır. Instron yükleme ünitesinden elde edilen dört adet harç numunesi ortalama 128.8 kN luk kuvvete ve 7.29 MPa lık dayanıma ulaştığı görülmektedir. Bu ortalama değerlerin standart sapmaları P_{max} için 43.6 kN ve σ_{max} için 2.46 MPa olarak hesaplanmıştır.



Şekil 2.25 : Amsler marka preste oluşturulan deney düzeneği.

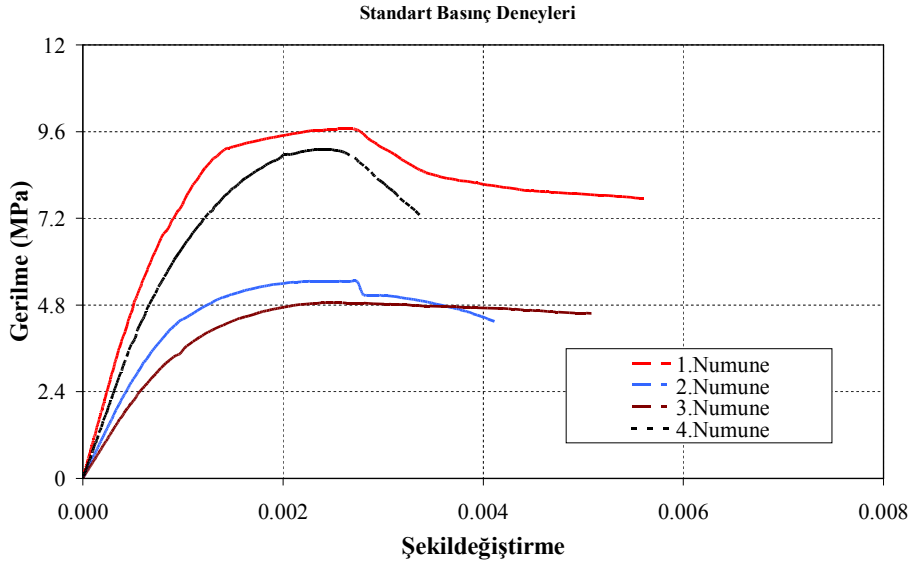


Şekil 2.26 : Instron yükleme ünitesinde oluşturulan deney düzeneği.

Instron yükleme ünitesinde denenen dört adet silindir harç numunesine ait basınç dayanımı – şekildeğiştirme ilişkisinin karşılaştırıldığı grafikler Şekil 2.28 de yer almaktadır.



Şekil 2.27 : Amsler marka preste oluşturulan deney düzeneği.



Şekil 2.28 : Harç numunelerinin gerilme – şekildeğiştirme ilişkisi karşılaştırılması.

Çizelge 2.3 : Amsler marka pres kullanılarak elde edilen numune küp basınç dayanımları.

Numune No	l (Yükseklik)	b (Genişlik)	P_{max}	σ_{max}
	[mm]	[mm]	[kN]	[MPa]
1	70.0	70.0	29.0	5.92
2			35.0	7.14
3			29.5	6.02

Standart küp basınç deneylerine göre, Amsler marka pres kullanılarak elde edilen üç adet harç numunesi ortalama 31.2 kN luk kuvvete ve 6.36 MPa lık dayanıma ulaştığı görülmektedir. Bu ortalama değerlerin standart sapmaları P_{max} için 3.3 kN ve σ_{max} için 0.68 MPa olarak hesaplanmıştır.

2.4.2 Çimento harcına ait deneyler

Kullanılan çimento harcının basınç dayanımının belirlenebilmesi için, 4 adet standart silindir (150×300 mm) ve 9 adet standart küp (70×70 mm) numunesi olmak üzere toplam 13 adet numune alınmıştır. Bu deneyler iki grup halinde gerçekleştirilmiştir. İlk grupta 5000 kN kapasiteli Amsler marka pres kullanılarak standart silindir ve küp basınç deneyleri yapılmıştır. İkinci grupta ise, 5000 kN kapasiteli Instron yükleme ünitesi (Instron 1000 RD) yerdeğiştirme kontrollü olarak 0.2 mm/dak yükleme hızı ile çalıştırılarak basınç deneyleri gerçekleştirilmiştir. Instron yükleme ünitesinde denenen numunelerin gerilme – şekildeğiştirme ilişkilerinin belirlenebilmesi için, TML CM-15 ölçüm çerçevesi (kompresometre) ve şekildeğiştirme ölçerler (strain

gauges) kullanılmıştır. Standart silindirin ölçüm boyundaki (yükseklik boyunca ortadaki 150 mm lik bölüm) kısalmaları ölçmek üzere, ölçüm çerçevesine bağlı biçimde iki adet yerdeğiştirmeölçer (TML CDP-5) kullanılmıştır. Elektronik veri toplayıcı yardımıyla (TML TDS-303) kaydedilen veriler, bilgisayar ortamında değerlendirilmiştir. Şekil 2.29, Şekil 2.30, Şekil 2.31 ve Şekil 2.32 de kullanılan deney düzeneği görülmektedir. Deneyden elde edilen silindir basınç dayanımları Çizelge 2.4 ve 2.5 de, küp basınç dayanımları ise Çizelge 2.6 ve 2.7 de verilmiştir.

Çizelge 2.4 : Amsler marka pres kullanılarak elde edilen numune silindir basınç dayanımları.

Numune No	h (Yükseklik)	d (Çap)	P_{max}	σ_{max}
	[mm]	[mm]	[kN]	[MPa]
1	300.0	150.0	302.0	17.10
2			326.0	18.46
3			221.0	12.51

Çizelge 2.5 : Instron yükleme ünitesi kullanılarak elde edilen numune silindir basınç dayanımları.

Numune No	h (Yükseklik)	d (Çap)	P_{max}	σ_{max}
	[mm]	[mm]	[kN]	[MPa]
1	300.0	150.0	300.0	16.88

Standart silindir basınç deneylerine göre, Amsler marka pres kullanılarak elde edilen üç harç numunesi ortalama 283.0 kN luk kuvvete ve 16.02 MPa lık dayanıma ulaştığı görülmektedir. Bu ortalama değerlerin standart sapmaları P_{max} için 55.0 kN ve σ_{max} için 3.12 MPa olarak hesaplanmıştır.

Çizelge 2.6 : Amsler marka pres kullanılarak elde edilen numune küp basınç dayanımları.

Numune No	l (Yükseklik)	b (Genişlik)	P_{max}	σ_{max}
	[mm]	[mm]	[kN]	[MPa]
1	70.0	70.0	84.0	17.14
2			81.0	16.53
3			82.0	16.73
4			61.0	12.45
5			72.0	14.69
6			66.0	13.37

Çizelge 2.7 : Instron yükleme ünitesi kullanılarak elde edilen numune küp basınç dayanımları.

Numune No	l (Yükseklik)	b (Genişlik)	P_{max}	σ_{max}
	[mm]	[mm]	[kN]	[MPa]
1	70.0	70.0	75.0	15.36
2			76.0	15.53
3			80.0	16.23

Standart küp basınç deneylerine göre, Amsler marka pres kullanılarak elde edilen altı adet harç numunesi ortalama 74.3 kN luk kuvvete ve 15.15 MPa lık dayanıma ulaştığı görülmektedir. Bu ortalama değerlerin standart sapmaları P_{max} için 9.5 kN ve σ_{max} için 1.95 MPa olarak hesaplanmıştır. Instron yükleme ünitesinden elde edilen üç adet harç numunesi ortalama 77.0 kN luk kuvvete ve 15.71 MPa lık dayanıma ulaştığı görülmektedir. Bu ortalama değerlerin standart sapmaları P_{max} için 2.6 kN ve σ_{max} için 0.46 MPa olarak hesaplanmıştır.



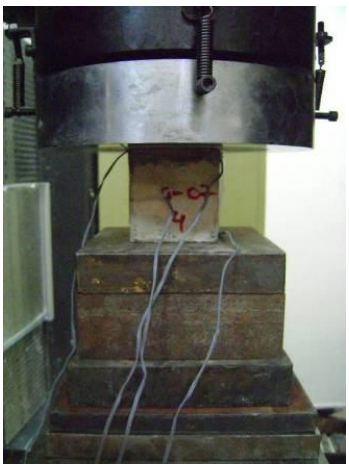
Şekil 2.29 : Amsler marka preste oluşturulan deney düzeneği.



Şekil 2.30 : Instron yükleme ünitesinde oluşturulan deney düzeneği.

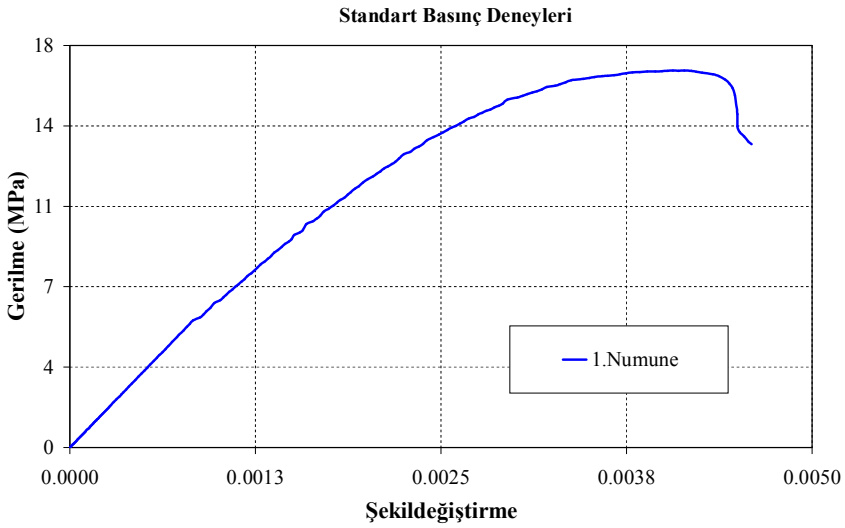


Şekil 2.31 : Amsler marka preste oluşturulan deney düzeneği.

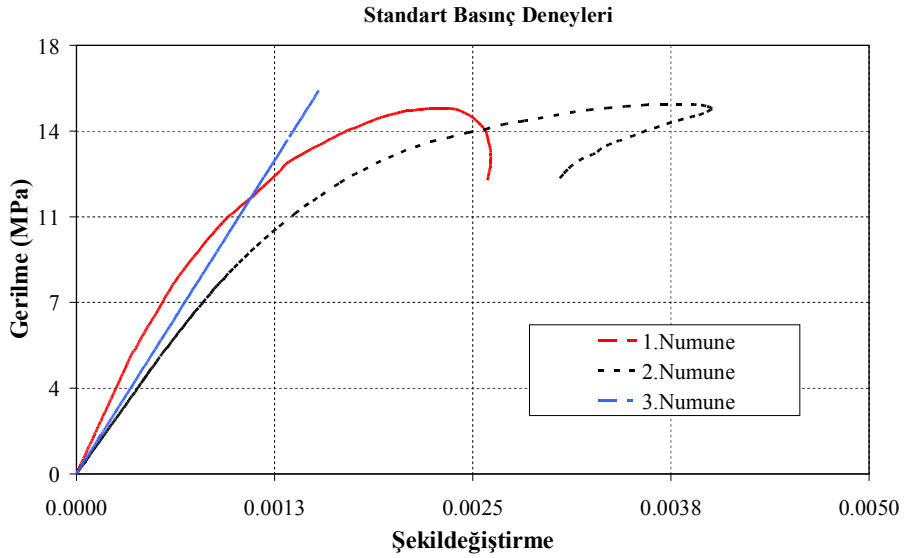


Şekil 2.32 : Instron yükleme ünitesinde oluşturulan deney düzeneği.

Instron yükleme ünitesinde denenen bir adet silindir harç numunesine ait harç basınç dayanımı – şekildeğiştirme grafiği Şekil 2.33 de verilmiştir. Instron yükleme ünitesinde denenen üç adet küp numunesine ait basınç dayanımı – şekildeğiştirme ilişkisinin karşılaştırıldığı grafikler Şekil 2.34 de yer almaktadır.



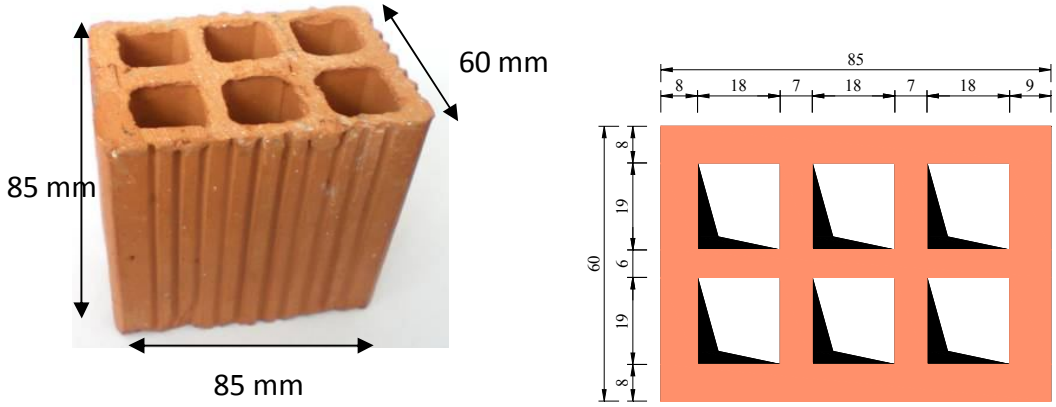
Şekil 2.33 : Silindir harç numunesinin gerilme – şekildeğiştirme ilişkisi.



Şekil 2.34 : Harç numunelerinin gerilme – şekildeğiştirme ilişkisi karşılaştırılması.

2.4.3 Tek tuğla deneyleri

Deney numunelerinin üretiminde 1/3 geometrik ölçekli özel tuğlalar kullanılmıştır. %60 doluluk oranına sahip olan tuğlaların boyutları 60×85×85 mm dir. Kullanılan özel tuğlaların görünüş ve kesiti Şekil 2.35 de verilmiştir. Tuğlanın duvar içindeki kullanım biçimi olarak deliklerin yatayda veya düşeyde olması çalışmanın ana değişkenlerinden biridir.



Şekil 2.35 : Deneyde kullanılan 1/3 ölçekli özel tuğlaların boyutu ve kesiti.

Tuğla numunelerin basınç dayanımının belirlenmesi için 12 adet deney yapılmıştır. Bu deneyler iki gruba ayrılmıştır. İlk grupta, 5000 kN kapasiteli Amsler marka pres kullanılarak, standart basınç deneyleri yapılmıştır. Şekil 2.36 ve Şekil 2.37 de deney düzeneği görülmektedir. İkinci grupta ise 5000 kN kapasiteli şekildeğiştirme kontrollü Instron yükleme ünitesi (1000 RD) ile 0.2 mm/dak yükleme hızı ile basınç deneyleri yapılmıştır. Numunede oluşan düşey kısalmalar Instron yardımıyla, yatay

deformasyonlar ise iki adet yerdeğiştirme ölçer (TML CDP-5) ile ölçülmüştür. Elektronik veri toplayıcı yardımıyla (TML TDS-300) kaydedilen veriler, bilgisayar ortamında değerlendirilmiştir. Şekil 2.38 ve Şekil 2.39 da kullanılan deney düzeneği görülmektedir.



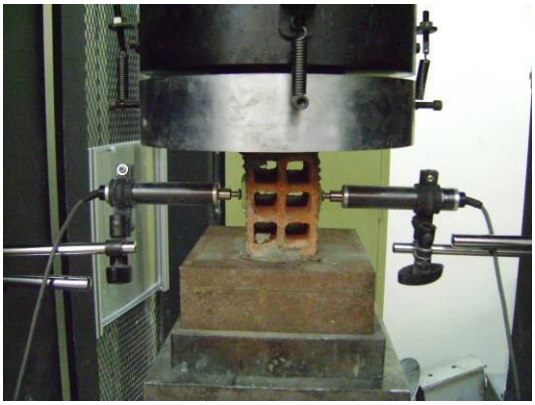
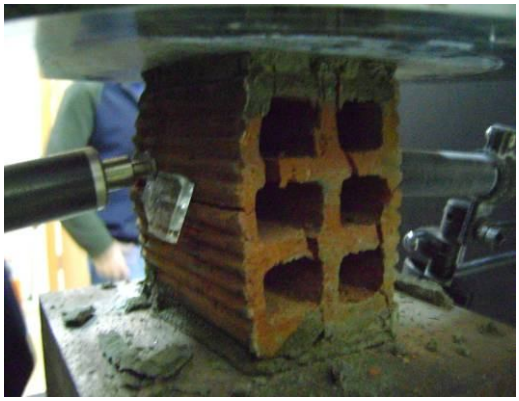
Şekil 2.36 : Delik doğrultusunda yapılan basınç yüklemesi.



Şekil 2.37 : Deliğe dik doğrultuda yapılan basınç yüklemesi.



Şekil 2.38 : Delik doğrultusunda yapılan basınç yüklemesi.

Şekil 2.39 : Deliğe dik doğrultuda yapılan basınç yüklemesi.

Deneyden elde edilen basınç dayanımı değerleri Çizelge 2.8, 2.9, 2.10 ve 2.11 de verilmiştir.

Çizelge 2.8 : Amsler marka preste *delik doğrultusunda* yapılan basınç deneyi sonuçları.

Numune No	**l×b**	**P_{max}**	**σ_{max}**
	[mm]	**[kN]**	**[MPa]**
1	85×60	59.0	11.57
2		61.0	11.96
3		58.0	11.37

Çizelge 2.9 : Amsler marka preste *delik doğrultusuna dik* yapılan basınç deneyi sonuçları.

Numune No	**l×b**	**P_{max}**	**σ_{max}**
	[mm]	**[kN]**	**[MPa]**
1	85×60	20.0	3.92
2		20.0	3.92
3		16.0	3.14

Tuğla basınç deneylerine göre, Amsler marka pres kullanılarak elde edilen delik doğrultusundaki üç tuğla numunesinin ortalama 59.3 kN luk kuvvete ve 11.63 MPa lık dayanıma ulaştığı görülmektedir. Bu ortalama değerlerin standart sapmaları P_{max} için 1.5 kN ve σ_{max} için 0.30 MPa olarak hesaplanmıştır. Deliklere dik doğrultuda yapılan deneylerde, üç numunesinin ortalaması 18.7 kN luk kuvvet ve 3.66 MPa lık dayanım vermiştir. Bu ortalama değerlerin standart sapması P_{max} için 2.3 kN ve σ_{max} için 0.45 MPa olarak hesaplanmıştır.

Çizelge 2.10 : Instron marka preste *delik doğrultusunda* yapılan basınç deneyi sonuçları.

Numune No	l×b	P_{max}	σ_{max}
	[mm]	[kN]	[MPa]
1	85×60	70.4	13.80
2		67.6	13.25
3		81.3	15.94

Çizelge 2.11 : Instron marka preste *delik doğrultusuna dik* yapılan basınç deneyi sonuçları.

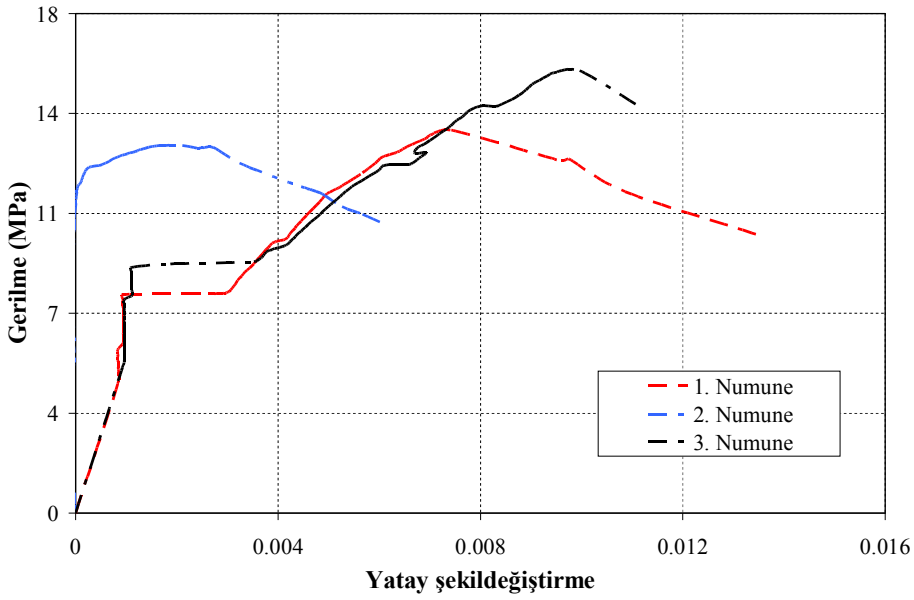
Numune No	l×b	P_{max}	σ_{max}
	[mm]	[kN]	[MPa]
1	85×60	21.1	4.14
2		16.3	3.20
3		20.2	3.96

Tuğla basınç deneylerine göre, Instron yükleme ünitesinden elde edilen delik doğrultusundaki üç tuğla numunesinin ortalaması 73.1 kN luk kuvvet ve 14.33 MPa lık dayanım olmuştur. Bu ortalama değerlerin standart sapmaları P_{max} için 7.2 kN ve σ_{max} için 1.42 MPa olarak hesaplanmıştır. Delik doğrultusuna dik yapılan deneylerde üç tuğla numunesinin ortalaması 19.2 kN luk kuvvet ve 3.77 MPa lık dayanım olmuştur. Bu ortalama değerlerin standart sapması P_{max} için 2.6 kN ve σ_{max} için 0.50 MPa olarak hesaplanmıştır.

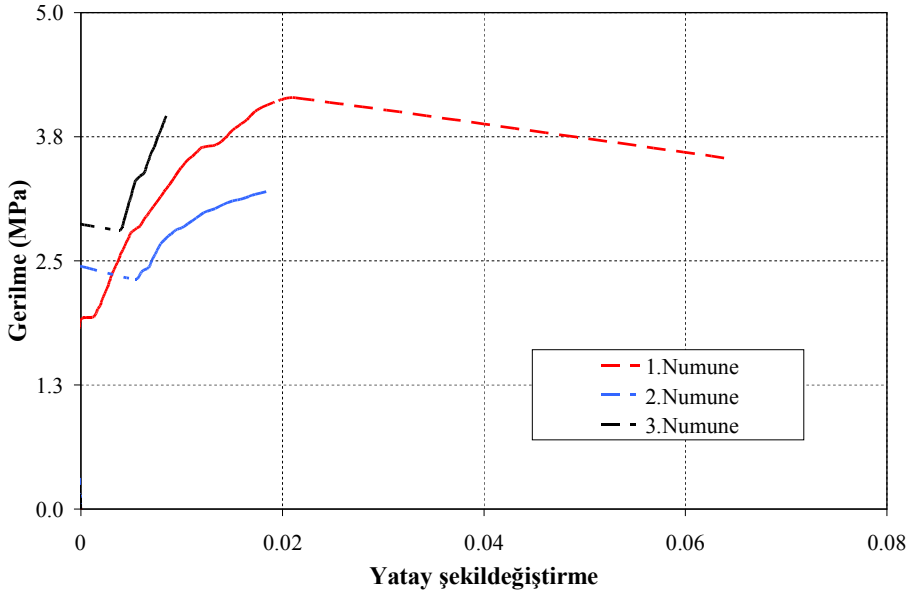
Instron yükleme ünitesinde delik doğrultusunda ve delik doğrultusuna dik denenmiş numunelere ait tuğla basınç dayanımı – yatay şekildeğiştirme karşılaştırma grafikleri Şekil 2.40 ve Şekil 2.41 de verilmiştir.

2.4.4 Yarma deneyleri

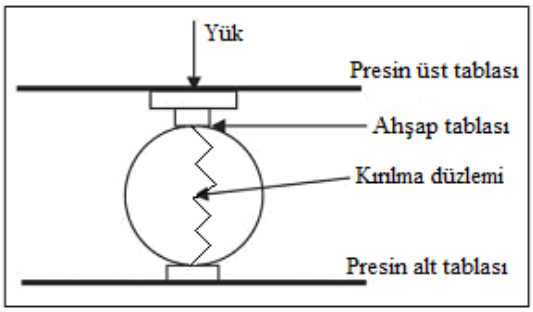
Harç çekme dayanımının belirlenebilmesi için 5000 kN kapasiteli Amsler marka pres kullanılarak silindir yarma deneyleri yapılmıştır. Çimento ve kireçten oluşan harcın üç adet standart silindir (150 mm×300 mm) numunesi denenmiştir. Deney, pres tablasına yatay olarak yerleştirilen standart silindir numunesinin altına ve üstüne yerleştirilen ahşap lamalara dik yönde basınç uygulanarak gerçekleştirilmektedir. Şekil 2.42 de yarma deneyi uygulama düzeneği görülmektedir. Şekil 2.43 de ise kullanılan deney düzeneği görülmektedir.



Şekil 2.40 : Tuğla delik doğrultusunda yapılan yükleme durumu.



Şekil 2.41 : Tuğla delik doğrultusuna dik yapılan yükleme durumu.



Şekil 2.42 : Silindir yarma deneyi uygulama düzeneği.



Şekil 2.43 : Çekme dayanımı belirlemeye yönelik kullanılan deney düzeneği.

Kırılma silindirin yük ekseni boyunca yarılması ile oluşmaktadır. Silindir numunenin kırılma şekli ortadan ikiye yarılarak gerçekleşmektedir. Uygulanan yük etkisinde, yükleme doğrultusunda kısalma, dik doğrultuda ise çekme gerilmeleri oluşmuştur. Numune üzerindeki çekme gerilmesi Denklem **(2.1)** ile hesaplanmıştır. Bu denklemde P, kırılmaya neden olan yük, L silindir numune boyu, D silindir numunenin çapıdır. Deneyden elde edilen silindir çekme dayanımı değerleri Çizelge 2.12 de verilmiştir.

$$\sigma_{çekme} = \frac{2P}{\pi LD} \qquad \textbf{(2.1)}$$

Çizelge 2.12 : Silindir numune çekme dayanımları.

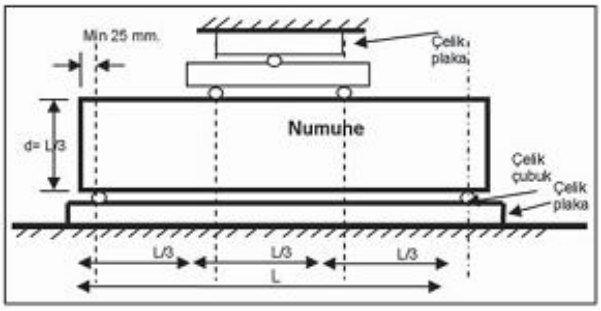
Numune No	L (Boy)	D (Çap)	P_{max}	σ_{max}
	[mm]	[mm]	[kN]	[MPa]
1	300.0	150.0	62.5	0.88
2			76.5	1.08
3			60.0	0.85

Standart silindir yarma deneylerine göre, üç adet deney numunesinin ortalama 66.3 kN luk kuvvete ve 0.93 MPa lık dayanıma ulaştığı görülmektedir. Bu ortalama değerlerin standart sapmaları P_{max} için 8.9 kN ve σ_{max} için 0.13 MPa olarak hesaplanmıştır.

2.4.5 Eğilme deneyleri

Basit eğilme etkisinde çekme dayanımının belirlenebilmesi için 70×70×280 mm lik prizmalar hazırlanmıştır. Üç adet çimento harcından oluşan prizma deney numunesi denenmiştir. Deney, numunenin oturtulduğu mesnetlerden L/3 uzaklıktaki iki

noktadan yüklenmesiyle gerçekleştirilmiştir. Şekil 2.44 ve Şekil 2.45 de kullanılan deney düzeneği görülmektedir.



Şekil 2.44 : Eğilme deneyi uygulama düzeneği.



Şekil 2.45 : Çekme dayanımı belirlemeye yönelik kullanılan deney düzeneği.

Numune üzerindeki en büyük çekme gerilmesi Denklem **(2.2)** ile hesaplanmıştır. Bu denklemde P, kırılmaya neden olan yük, L mesnetler arası boy, d ve b standart küp numunenin boyutlarıdır. Deneyden elde edilen eğilmedeki çekme dayanımı değerleri Çizelge 2.13 de verilmiştir.

$$\sigma_{çekme} = \frac{PL}{bd^2} \qquad \textbf{(2.2)}$$

Çizelge 2.13 : Prizma numune çekme dayanımları.

Numune No	**b**	**d**	**L**	**P_{max}**	**σ_{max}**
	[mm]	**[mm]**	**[mm]**	**[kN]**	**[MPa]**
1	70.0	70.0	240.0	4.8	3.36
2				2.8	1.96
3				4.1	2.87

Eğilme çekme deneylerine göre, üç adet deney numunesinin ortalama 3.9 kN luk kuvvete ve 2.73 MPa lık dayanıma ulaştığı görülmektedir. Bu ortalama değerlerin standart sapmaları P_{max} için 1.0 kN ve σ_{max} için 0.71 MPa olarak hesaplanmıştır.

2.4.6 CFRP malzeme özellikleri

Deneysel çalışmada kullanılan CFRP ye ait teknik bilgi ve karakteristik büyüklükler üretici tarafından verilmiş ve Çizelge 2.14 de özetlenmiştir.

2.5 Deney Düzeneği

2.5.1 Instron yükleme düzeneği

Deneysel çalışma İTÜ İnşaat Fakültesi Yapı Malzemesi Laboratuarında yer alan 5000 kN kapasiteli Instron yükleme ünitesi (1000 RD) içerisinde gerçekleştirilmiştir.

Deney numunelerine, deneye başlamadan önce belirli bir ön yük verilmiş sonra da ön yük boşaltılarak deneye başlanmıştır. Belirlenen ön yük değeri numune tipine göre değişiklik göstermiştir. Duvarı oluşturan tuğlaların deliklerinin yükleme doğrultusunda ve yükleme doğrultusuna dik konumlandığı numunelerde 5 kN, karbon lifli polimer ile (CFRP) güçlendirilmiş numunelerde ise 8 kN luk ön yük verilmiştir. Diyagonal numunelerde 2 kN, karbon lifli polimer ile güçlendirilmiş (CFRP) diyagonal numunelerde 5 kN ön yük verilmiştir.

Deney, hem yerdeğiştirme kontrollü hem de yük kontrollü olarak uygulanmıştır. Yükleme bilgisayar kontrollü 0.2 mm/dak yerdeğiştirme kapasiteli olarak yapılmıştır. Uygulanan yerdeğiştirmeye bağlı olarak oluşan yük değeri Instron yükleme ünitesine bağlı olarak bilgisayar aracılığı ile izlenmiştir. Numunelerin üzerinde yer alan yerdeğiştirme ölçerler ve şekildeğiştirme ölçerler aracılığı ile alınan ölçümler veri toplayıcı (data logger) ile kaydedilmiştir. Deney düzeneğini oluşturan elemanlara ait bir resim Şekil 2.46 da verilmiştir.

Çizelge 2.14 : Deneysel çalışmada kullanılan CFRP nin özellikleri.

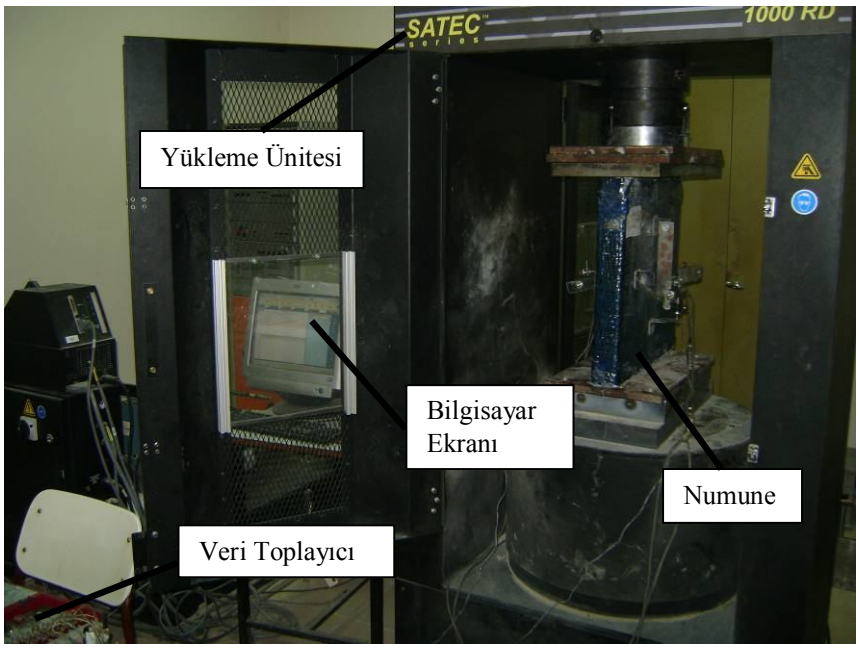
Lif Tipi	Orta dayanımlı karbon lif
Lifin Yapısı	Lif doğrultusu: 0^o (tek doğrultulu) Çözgü Dokuması: Siyah karbon lifler (toplam ağırlığın % 99 u) Atkı Dokuması: Beyaz termoplastik ısıl işleme tabi tutulmuş lifler (toplam ağırlığın % 1 i)
Boyutları	Uzunluk / Kalınlık 1 Rulo ≥50 m / 300 mm
Birim Ağırlık	300 g/m^2 ± 15 g/m^2
Dokuma Tasarım Kalınlığı	0.17 mm (Karbon liflerin toplam alanına göre)
Lif Yoğunluğu	1.80 g/cm^3
Kuru Lif Özellikleri	Çekme Dayanımı : 3900 MPa Çekme Elastisite Modülü : 230000 MPa Kopma Uzaması : % 1.5

2.5.2 Ölçüm düzeneği

Yerdeğiştirme ölçümleri için LVDT (linear variation displacement transducer) tipi yerdeğiştirme ölçerler kullanılmıştır. 5 mm ölçüm kapasiteli CDP-5 yerdeğiştirme ölçerler kullanılmıştır. Yerdeğiştirme ölçerler, hem uzama hem de kısalma verisi alacak şekilde yerleştirilmiştir. Yerdeğiştirme ölçüm düzeneği ve kanal numaraları Şekil 2.47 ve Şekil 2.48 de verilmiştir. Karbon lifli polimer (CFRP) uygulanıp güçlendirilmiş numunelerde ise yerdeğiştirme ölçerlere ek olarak ön ve arka yüzde birer adet olmak üzere toplam 2 adet şekildeğiştirme ölçer kullanılmıştır.

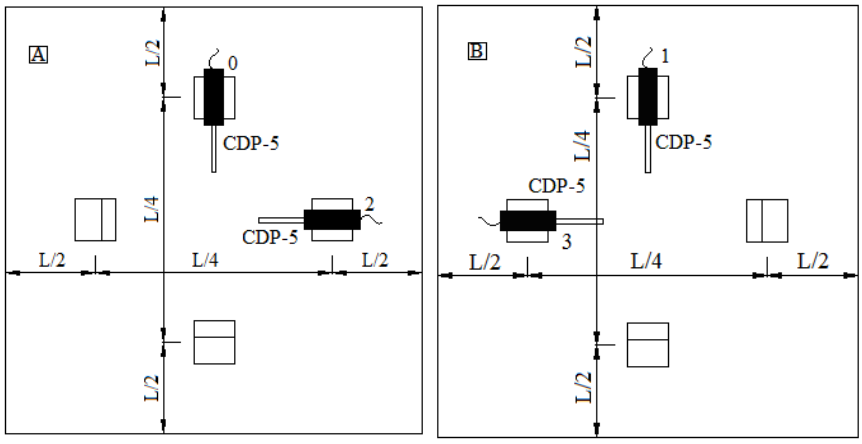
Deney numunelerinin belirlenen bölgelerinde oluşan yerdeğiştirme hareketlerinin ölçülmesi için sistem üzerine toplam 4 adet yerdeğiştirme ölçer yerleştirilmiştir. Yerdeğiştirme ölçerlerin 2 tanesi düşey, diğer 2 tanesi de yatay konumludur. Bu yerdeğiştirme ölçerler, yüzeye sürülen epoksi reçinesinin prizine bağlı olarak 1 – 2 gün beklendikten sonra bağlantı elemanları kullanılarak alüminyum korniyerlere bağlanmıştır. Deney numunelerinin üzerinden toplam 4 noktadan yerdeğiştirme ölçümü alınmıştır. Bu noktalar Şekil 2.47 ve Şekil 2.48 de verilmiştir. Kanal 0 ve Kanal 1 numuneye uygulanan yükleme sonucu oluşan düşey yerdeğiştirmeyi aktarmaktadır. Kanal 2 ve Kanal 3 ise numuneye uygulanan yükleme sonucu oluşan yatay yerdeğiştirmeyi aktarmaktadır. Tüm yerdeğiştirme ölçerler elektronik veri

toplayıcı (TML TDS-303) alete bağlanmış ve deney sonrası EXCEL ortamında değerlendirilmiştir.

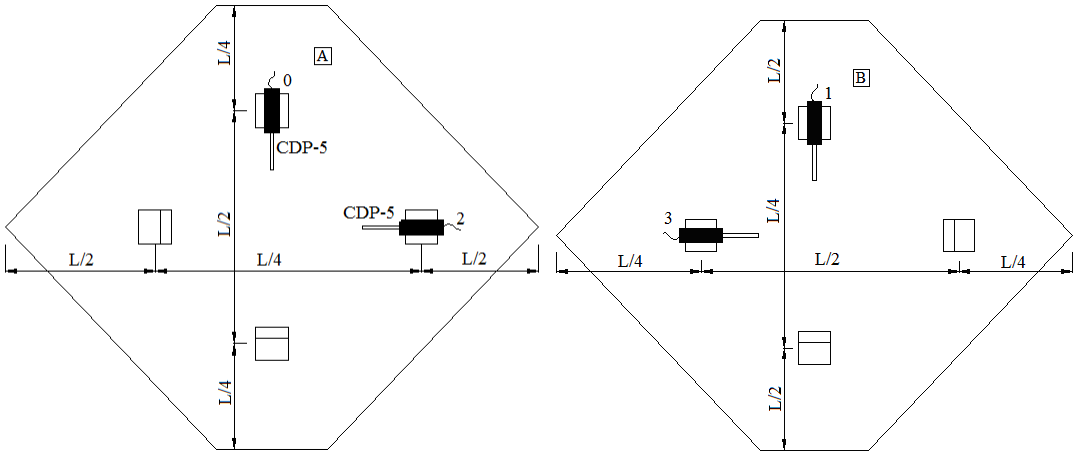


Şekil 2.46 : Deney ve yükleme düzeneği.

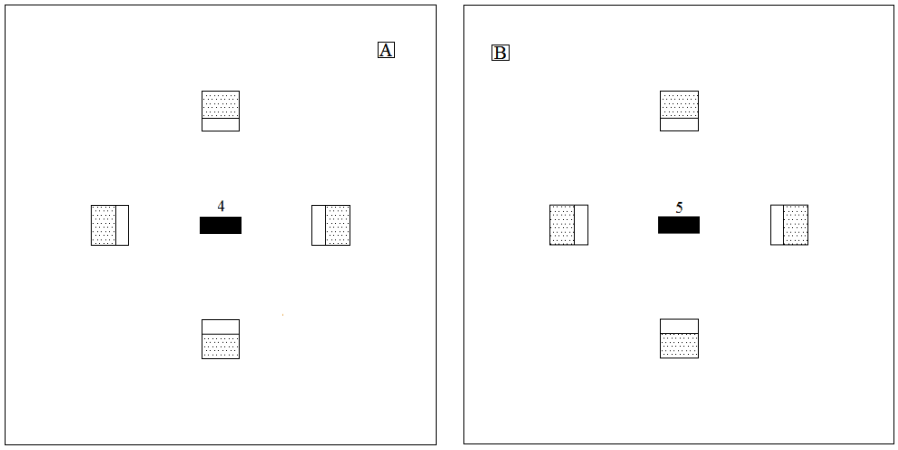
Güçlendirilmiş deney numunelerinde yapılan yerdeğiştirme okumalarına ilave olarak, numune üzerinde her iki yüzde birer adet olmak üzere yerleştirilen toplam 2 adet şekildeğiştirme ölçerin Şekil 2.49 ve Şekil 2.50 de ölçüm noktaları görülmektedir. Tüm şekildeğiştirme ölçerler veri toplayıcıya bağlanarak her deney adımında gerçekleşen şekildeğiştirmeler otomatik olarak kaydedilmiştir. Şekildeğiştirme ölçerlerden alınan değerler microstrain boyutundadır. Ölçümlerde kullanılan kanal numaraları ve kodlarına ait tablo Çizelge 2.15 de verilmektedir.



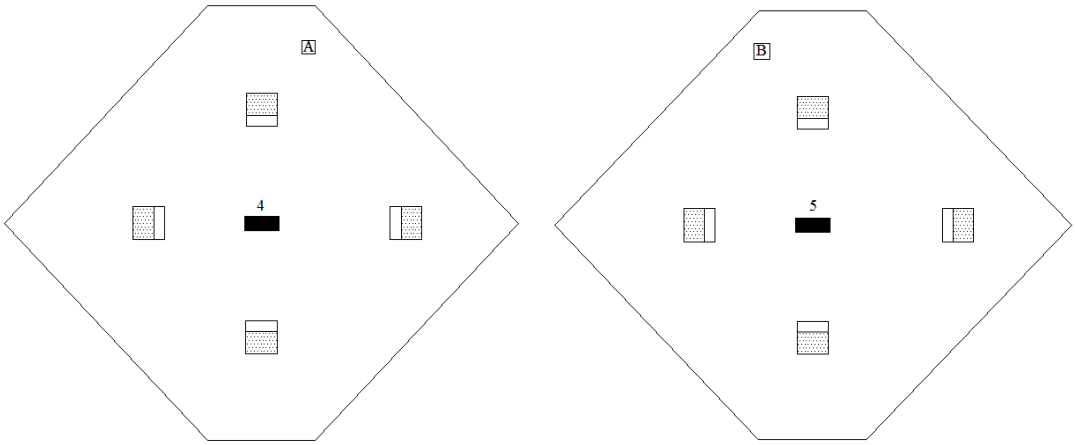
Şekil 2.47 : A ve B yüzü yerdeğiştirme ölçerlerin yerleşimi ve kanal numaraları.



Şekil 2.48 : A ve B yüzü yerdeğiştirme ölçerin yerleşimi ve kanal numaraları.



Şekil 2.49 : Şekildeğiştirme ölçer yerleşim bölgeleri ve kanal numaraları.



Şekil 2.50 : Şekildeğiştirme ölçer yerleşim bölgeleri ve kanal numaraları.

2.5.3 Ölçümlerin değerlendirilmesi

Deney numunelerinde oluşan yük, yerdeğiştirme ve şekildeğiştirme verileri bilgisayar ortamına aktarıldıktan sonra EXCELde geliştirilen bir program yardımıyla işlenmiştir.

Deney sırasında oluşan yük değerleri, aralıklarla elektronik veri toplayıcı (TML TDS-303) yardımıyla, yükleme aletine ait bilgisayar ekranında görülen yük değerleri ise el yordamıyla kaydedilmiştir. Her bir yük değeri için elektronik veri toplayıcı, yerdeğiştirme ölçerler ve şekildeğiştirme ölçerlerde okunan değerleri kaydetmiştir. EXCEL de geliştirilen program sayesinde numunenin her iki yüzünde oluşan yük – yatay yerdeğiştirme ve yük – düşey yerdeğiştirme grafikleri çizilmiştir. Tuğla delik doğrultusunda ve deliğe dik doğrultuda yapılan basınç deneylerinin her bir numunesi için gerilme – düşey şekildeğiştirme grafiği ve gerilme – yatay şekildeğiştirme grafiklerinin yanı sıra diyagonal numuneler için de kayma gerilmesi – kayma şekildeğiştirmesi grafikleri oluşturulmuştur.

Basınç deneyleri için yük değerlerinin gerilmeye dönüştürülmesi Denklem **(2.3)** de verilmiştir. Kayma deneyleri için yük değerlerinin kayma gerilmesi değerlerine dönüştürülmesi ise Denklem **(2.4)** de verilmiştir. (2.3) ve (2.4) de S_c basınç gerilmesini, S_s kayma gerilmesini, P uygulanan yükü, A_n hesaplanan alanı göstermektedir, [15].

$$S_c = \frac{P}{A_n} \tag{2.3}$$

$$S_s = \frac{0.709 \times P}{A_n} \tag{2.4}$$

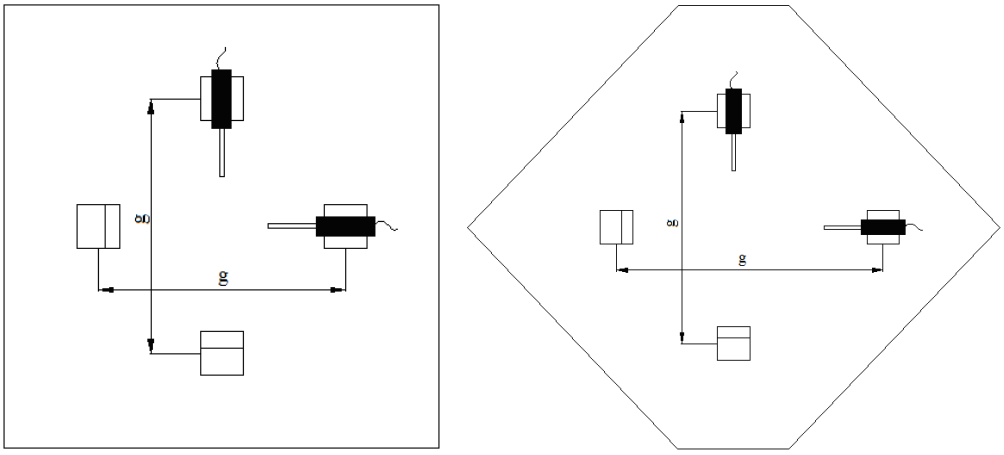
Şekildeğiştirme hesabı yerdeğiştirme ölçerlerden alınan değerlerin ölçüm boyuna bölünmesiyle elde edilmiştir. Düşey yerdeğiştirme ölçerlerden elde edilen yerdeğiştirme değerlerinin düşey şekildeğiştirme değerlerine dönüştürülmesi Denklem **(2.5)** de verilmiştir.. Yatay yerdeğiştirme ölçerlerden elde edilen yerdeğiştirme değerlerinin yatay şekildeğiştirme değerlerine dönüştürülmesi Denklem **(2.6)** da verilmiştir. (2.5) ve (2.6) da ΔV düşey kısalmayı, ΔH yatay uzamayı, g düşey/yatay ölçüm boyunu göstermektedir, [15]. Söz konusu hesaplar için, kullanılan düşey/yatay ölçüm boyları Şekil 2.51 de verilmektedir. Her numunede iki düşey yerdeğiştirme ölçer, iki yatay yerdeğiştirme ölçer için toplam 4

defa bu hesaplar yapılmıştır. Kayma şekildeğiştirmesi, Denklem **(2.7)** yardımıyla hesaplanmıştır. Bu denklemde γ kayma şekildeğiştirmesini göstermektedir. (2.7) ye göre kayma şekildeğiştirmesi, numunenin her iki yüzünden hesaplanan düşey şekildeğiştirme değerlerinin ortalaması ile, her iki yüzden hesaplanan yatay şekildeğiştirme değerlerinin ortalamasının matematiksel olarak toplamıdır, [15].

$$\varepsilon_v = \frac{\Delta V}{g} \tag{2.5}$$

$$\varepsilon_h = \frac{\Delta H}{g} \tag{2.6}$$

$$\gamma = \frac{\Delta V + \Delta H}{g} \tag{2.7}$$



Şekil 2.51 : Yatay ve düşey şekildeğiştirme hesabında kullanılan ara mesafeler.

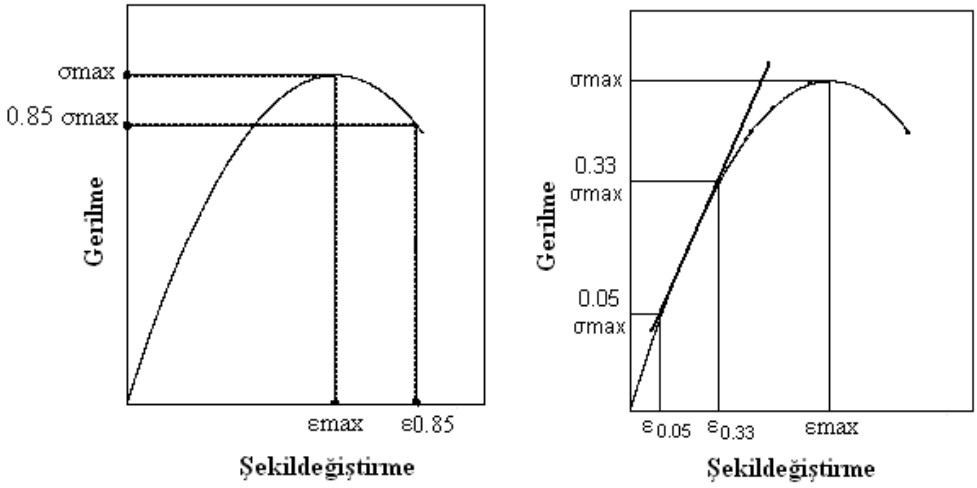
Çizelge 2.15 : Ölçümlerde kullanılan kanal numaraları ve kodları.

Kanal No	Eleman kodu	Açıklama
0	VRTDISP (A)	A Yüzü Düşey Yerdeğiştirmesi
1	VRTDISP (B)	B Yüzü Düşey Yerdeğiştirmesi
2	HRTDISP (A)	A Yüzü Yatay Yerdeğiştirmesi
3	HRTDISP (B)	B Yüzü Yatay Yerdeğiştirmesi
4	HRTSTRAIN (A)	A Yüzü Yatay Şekildeğiştirme Ölçer
5	HRTSTRAIN (B)	B Yüzü Yatay Şekildeğiştirme Ölçer

Basınç deneylerinde iki farklı ölçüm sistemi birlikte kullanılmıştır. Birinci ölçüm sisteminde, numuneler üzerinde seçilen noktalar arasında göreli yerdeğiştirme okumaları yapılmıştır. İkinci ölçüm sisteminde ise yükleme sistemi içindeki yerdeğiştirme ölçer ile numunenin bütünsel kısalmaları ölçülmüştür.

Numune davranışlarının süneklik açısından değerlendirilmesinde ikinci ölçüm sistemi esas alınmıştır. Süneklik (μ), gerilme – şekildeğiştirme ilişkisinde düşen kol üzerinde en büyük dayanımın %85 i düzeyindeki şekildeğiştirmenin en büyük dayanımdaki şekildeğiştirmeye oranı ($\mu = \varepsilon_{0.85}/\varepsilon_{max}$) olarak tanımlanmıştır, Şekil 2.52.

Numune elastisite modülü ve kayma modülü olarak, ilgili gerilme şekildeğiştirme grafiğinde en büyük gerilmenin %5 ve %33 üne karşı gelen noktaları birleştiren doğrunun eğimi alınmıştır, Şekil 2.52, [14].



Şekil 2.52 : Süneklik tanımı ve elastisite / kayma modülü tanımı.

3. YALIN DUVAR DENEYLERİNİN SONUÇLARI

3.1 B Grubu Deneyleri

3.1.1 B1-1 numunesi deneyi

Numunede ilk çatlaklar, 67.21 kN yük değerinde oluşmuştur. 166.50 kN a ulaştıktan sonra dayanım azalmaya başlamış, 68.22 kN a düşüldüğünde deney sonlandırılmıştır.

67.21 kN a karşılık elde edilen gerilme 1.91 MPa olarak kaydedilmiştir. Bu yük değerinde a1 çatlağı oluşmuştur. Bu aşamada numunenin B yüzünde herhangi bir çatlak yoktur.

96.76 kN yüke karşılık gelen gerilme 2.75 MPa dır. b1 çatlağı oluşmuştur. Numunenin A yüzünde yeni bir çatlak oluşmamıştır. 156.00 kN a karşı gelen gerilme 4.43 MPa dır. Bu yük değerinde b2 ve b3 çatlakları oluşmuştur. Numunenin A yüzünde yeni bir çatlak oluşmamıştır.

161.70 kN a karşı gelen gerilme 4.59 MPa dır. Bu yük değerinde b4, a2, a3 ve a4 çatlakları oluşmuştur. 163.70 kN a karşılık gelen gerilme 4.65 MPa olarak kaydedilmiştir. Bu yük değerinde b5, b6 ve b7 çatlakları oluşmuştur. Numunenin A yüzünde yeni bir çatlak oluşmamıştır.

166.50 kN a ulaştıktan sonra dayanımda azalma meydana gelmiştir. En büyük yük değeri olan 166.50 kN değerine ulaştığında gerilme 4.73 MPa olarak kaydedilmiştir. Yük 151.20 kN a düştüğünde daha önceden oluşmuş olan çatlaklar belirginleşmiş, yeni çatlaklar oluşmaya başlamıştır. Bu aşamada b8 ve b9 çatlakları oluşmuştur. Gerilme 4.29 MPa dan 4.22 MPa a kadar düşüş göstermiştir.

106.50 kN yük değerine gelindiğinde a5, a6, a7, a8 ve a9 çatlakları oluşmuş, yük değeri 96.00 kN a kadar düşmüştür. Gerilme değeri 3.02 MPa dan 2.73 MPa a kadar düşüş göstermiştir.

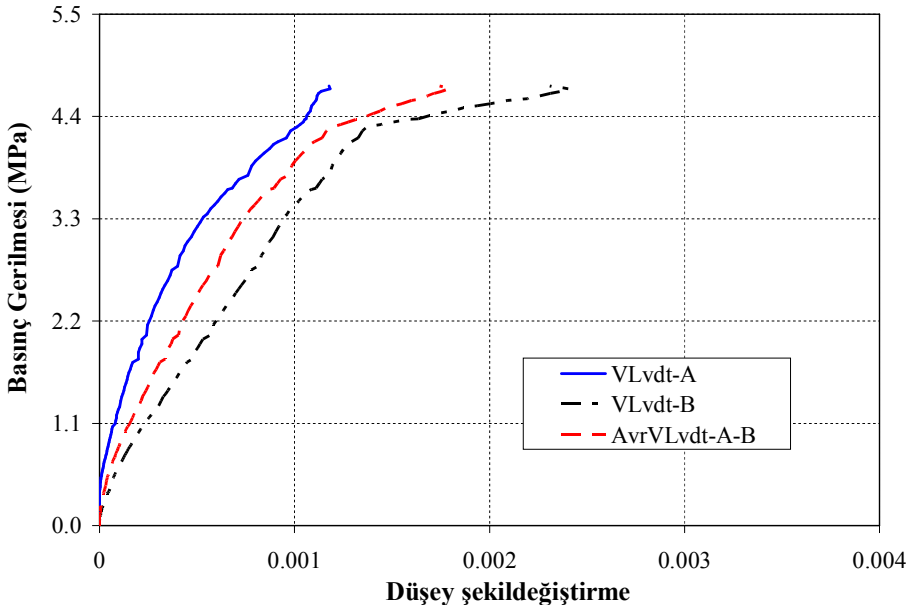
74.53 kN da b6 çatlağı genişlemiş ve B yüzünün ölçülen en büyük çatlak genişliği olan 1.4 mm ye ulaşmıştır. b7 çatlağı da genişleyerek 1.0 mm ye ulaşmıştır. A

yüzünde 1.6 mm lik a10 çatlağı ile a11 ve a12 çatlakları oluşmuştur. Dayanım 2.21 MPa dan 2.12 MPa a kadar düşüş göstermiştir.

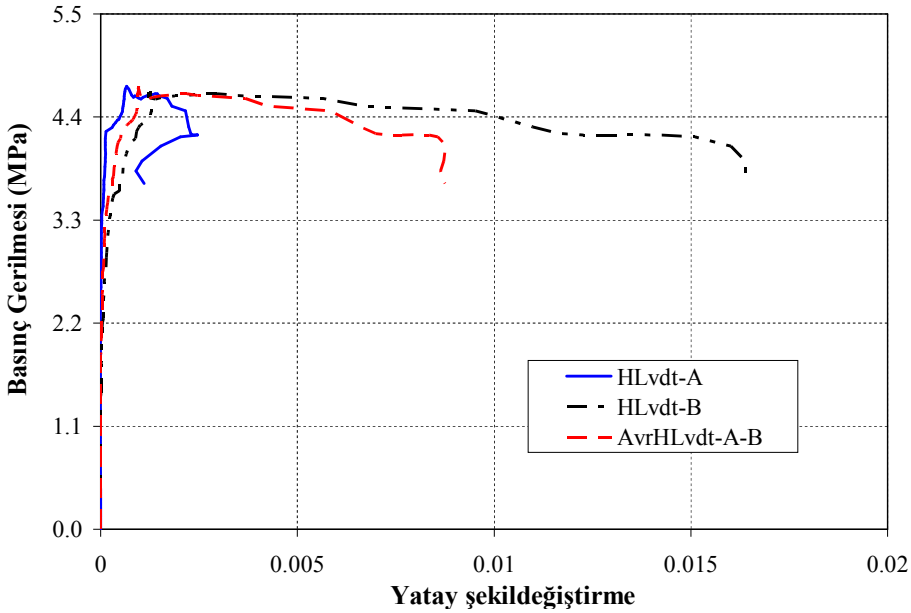
Numunenin her iki yüzünde yer alan yerdeğiştirme ölçerlerin okuduğu değerler incelenmiştir. En büyük yük olan 166.50 kN değerine ulaştığında A yüzünde düşey yerdeğiştirme ölçer 0.33 mm kısalma, B yüzünde ise 0.68 mm kısalma ölçmüştür. Yük değeri 166.50 kN a ulaştığında numunenin A yüzündeki yatay yerdeğiştirme ölçer 0.18 mm uzama yerdeğiştirmesi, B yüzündeki ise 0.34 mm uzama yerdeğiştirmesi ölçmüştür.

Düşeyde yer alan yerdeğiştirme ölçerlerden elde edilen yük – yerdeğiştirme değerleri yardımıyla basınç gerilmesi–düşey şekildeğiştirme grafiklerine geçilmiş ve bu değerler incelenmiştir. Numunenin A yüzünde yer alan düşey yerdeğiştirme ölçer 4.73 MPa gerilme değerine ulaştığında 0.0012 düşey şekildeğiştirme, B yüzünde ise 4.73 MPa gerilme değerine ulaştığında 0.0023 düşey şekildeğiştirme değeri okunmuştur. Her iki yüzden elde edilen grafiklerin ortalaması incelendiğinde 4.73 MPa gerilme değerinde 0.0018 düşey şekildeğiştirme karşı gelmiştir. Şekil 3.1 de numunenin her iki yüzde yer alan düşey yerdeğiştirme ölçerden belirlenen basınç gerilmesi – düşey şekildeğiştirme grafikleri ve bu iki grafiğin ortalaması yer almaktadır. Grafik tepe yük değerine eriştikten sonra sonlandırılmıştır.

Yatayda yer alan yerdeğiştirme ölçerlerden elde edilen yük – yerdeğiştirme değerleri yardımıyla basınç gerilmesi – yatay şekildeğiştirme grafiklerine geçilmiş ve bu değerler incelenmiştir. Numunenin A yüzünde yer alan yerdeğiştirme ölçer 4.73 MPa gerilme değerine ulaştığında 0.0007 yatay şekildeğiştirme, B yüzünde ise 4.73 MPa gerilme değerinde 0.0013 yatay şekildeğiştirme okunmuştur. Her iki yüzden elde edilen değerlerin ortalaması alındığında 4.73 MPa gerilme değerinde 0.0010 yatay şekildeğiştirme değeri elde edilmiştir. Şekil 3.2 de numunenin her iki yüzünde yer alan yatay şekildeğiştirme ölçerlerden belirlenen basınç gerilmesi – yatay şekildeğiştirme grafikleri ve bu iki grafiğin ortalaması yer almaktadır. Grafik, tepe yük değerine ulaştıktan sonra, azalan kolda 0.8 P_{max} değerine gelindiğinde sonlandırılmıştır.

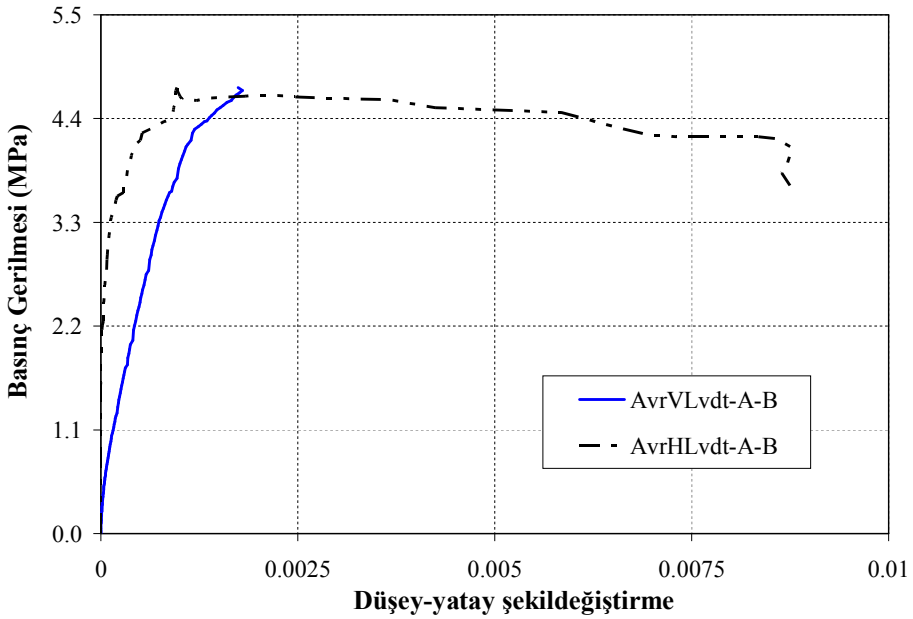


Şekil 3.1 : Gerilme – düşey şekildeğiştirme grafiği.



Şekil 3.2 : Gerilme – yatay şekildeğiştirme grafiği.

Ortalama grafiklere bakıldığında, 4.73 MPa gerilme düzeyinde oluşan şekildeğiştirmeler düşeyde 0.0018, yatayda ise 0.0010 dir. Ortalama yatay ve düşey gerilme – şekildeğiştirme grafikleri Şekil 3.3 de verilmiştir.



Şekil 3.3 : Gerilme – düşey şekildeğiştirme ve gerilme – yatay şekildeğiştirme grafiklerinin karşılaştırılması.

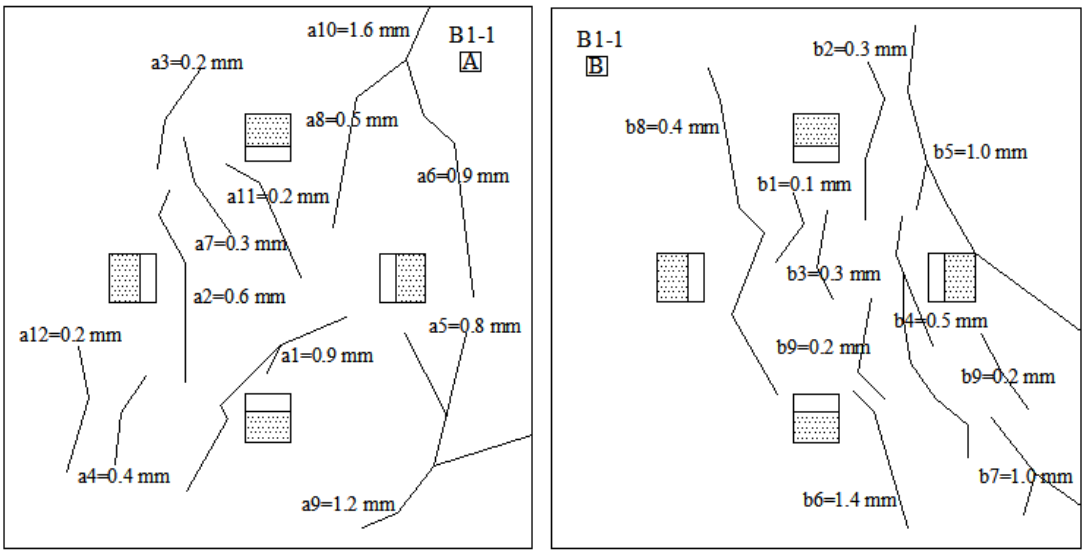
Hesaplar sırasında numunenin elastisite modülü olarak, en büyük gerilmenin %5 ve %33 üne karşılık gelen noktaların doğrusal olarak birleştirilmesi durumundaki doğrunun eğimi alınmıştır. Numunenin elastisite modülü 5071 MPa olarak belirlenmiştir.

3.1.2 B1-1 numunesi hasar dağılımı

Deney sırasında, artan yükler etkisinde oluşan çatlaklar izlenmiştir. Yeni çatlaklar isim verilerek tanımlanmış, genişlikleri ölçülmüş ve numune üzerinde işaretlenmiştir. Numunenin A yüzünde yer alan çatlaklar a1, a2, a3,… gibi harflerle, B yüzünde ise b1, b2, b3,… gibi harflerle isimlendirilerek kaydedilmiştir. Bu şekilde isimlendirilen çatlaklara ait çatlak krokisi Şekil 3.4 de sunulmuştur. Çizelge 3.1 de numunenin A ve B yüzlerinde oluşan çatlak isimleri, karşı gelen yük düzeyleri ve çatlak genişlikleri verilmiştir. Şekil 3.5 de deneyin farklı aşamalarındaki hasarları gösteren fotoğraflar verilmiştir.

Çizelge 3.1 : Yük düzeylerine göre numunenin her iki yüzünde oluşan çatlak genişlikleri.

Çatlak Adı	Yük (P)	Çatlak Genişliği
	[kN]	[mm]
a1	67.2	0.90
b1	96.8	0.10
b2	156.0	0.30
b3	156.0	0.30
b4	161.7	0.50
a2	161.7	0.60
a3	161.7	0.20
a4	161.7	0.40
b5	163.7	1.00
b6	163.7	1.40
b7	163.7	1.00
b8	151.2	0.40
b9	151.2	0.20
a5	106.5	0.80
a6	106.5	0.90
a7	106.5	0.30
a8	106.5	0.50
a9	106.5	1.20
a10	74.5	1.60
a11	74.5	0.20
a12	74.5	0.20



Şekil 3.4 : B1-1 numunesinin çatlak krokisi.



Şekil 3.5 : B1-1 numunesinin deney sırasında ve deney sonunda görünümü.

3.1.3 B1-2 numunesi deneyi

Numunede ilk çatlaklar, 6.00 kN yük değerinde oluşmuştur. Numune 174.60 kN yük değerine ulaştıktan sonra dayanım azalmaya başlamış, 63.67 kN a düşüldüğünde deney sonlandırılmıştır.

6.00 kN yüke karşı elde edilen gerilme 0.17 MPa olarak kaydedilmiştir. Bu yük değerinde a1 çatlağı oluşmuştur. Numunenin B yüzünde herhangi bir çatlak oluşumu gözlenmemiştir.

8.00 kN yük değerine karşılık elde edilen gerilme 0.23 MPa dır. b1 ve b2 çatlakları oluşmuştur. Numunenin A yüzünde yeni bir çatlak oluşumu gözlenmemiştir.

10.13 kN yük değerine karşı gelen gerilme 0.29 MPa olarak kaydedilmiştir. Bu yük değerinde a2 çatlağı oluşmuştur. Numunenin B yüzünde yeni bir çatlak oluşumu gözlenmemiştir.

14.88 kN yük değerine karşılık gelen gerilme 0.42 MPa dır. Bu yük değerinde b3 çatlağı oluşmuştur. A yüzünde yeni bir çatlak oluşumu gözlenmemiştir.

20.89 kN yük değerine karşılık gelen gerilme 0.59 MPa dır. Bu yük değerinde a3 çatlağı oluşmuştur. Numunenin B yüzünde yeni bir çatlak oluşumu gözlenmemiştir. 75.81 kN a karşı gelen gerilme 2.15 MPa dır. Bu yük değerinde a4 çatlağı oluşmuştur. Numunenin B yüzünde yeni bir çatlak oluşumu gözlenmemiş, ancak mevcut b1 çatlağı belirginleşmiştir. 157.20 kN yük değerine karşı gelen gerilme 4.46 MPa dır. Bu yük değerinde a5 çatlağı oluşmuştur. Yük 165.10 kN değerine yükseldiğinde gerilme 4.69 MPa olmuştur. Bu yük değerinde B yüzünde daha önceden var olan b1 çatlağı genişlemiş, b4 çatlağı oluşmuştur.

171.10 kN yük değerine karşı gelen gerilme 4.86 MPa dır. Bu yük değerinde a6 ve a7 çatlakları oluşmuştur. B yüzünde yeni bir çatlak oluşumu gözlenmemiştir.

174.60 kN yük değerinde ulaştıktan sonra dayanım azalmaya başlamıştır. Bu aşamadaki gerilme 4.96 MPa olarak kaydedilmiştir. Yük 165.40 kN değerine düştüğünde daha önceden oluşmuş olan çatlaklar belirginleşmiş, yeni çatlaklar oluşmaya başlamıştır. Bu aşamada b5 ve b6 çatlakları oluşmuştur. Gerilme 4.96 MPa dan 4.70 MPa a kadar düşüş göstermiştir.

159.00 kN yük değerine düşüldüğünde de A yüzünde 3 mm genişlikli a8 çatlağı ve bunun yanı sıra a9, a10 ve a11 çatlakları oluşmuştur. Çatlak oluştuktan sonra yük değeri 130.00 kN a kadar düşmüştür. Gerilme değeri 4.52 MPa dan 3.69 MPa kadar düşüş göstermiştir.

126.00 kN yük değerine gelindiğinde b8, b9, b10, b11 ve b12 çatlakları oluşmuştur. Yük değeri 114.00 kN a kadar düşmüştür. Gerilme değeri 3.58 MPa dan 3.24 MPa

kadar düşüş göstermiştir. b10 çatlağı büyüyerek, duvarı oluşturan sıvanın düzlem dışı ayrılmasına neden olmuştur.

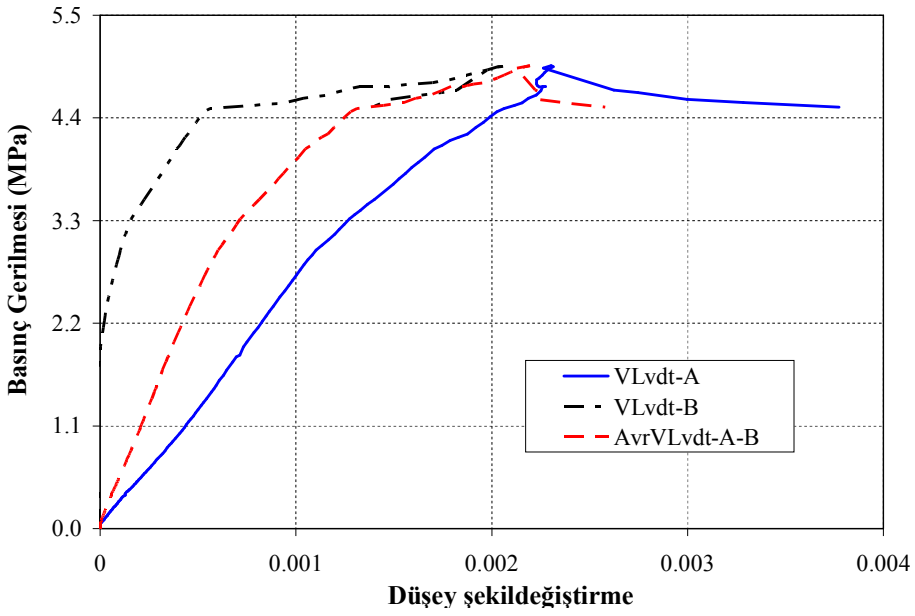
98.69 kN yük değerine düştüğünde a12 ve a13 çatlağı oluşmuştur. a11 çatlağı genişleyerek 1.0 mm genişliğe ulaşmıştır. Yük değeri 90.06 kN a kadar düşmüştür. Gerilme değeri 2.80 MPa dan 2.56 MPa kadar düşüş göstermiştir. Yük değeri 90.06 kN a kadar düşerken numunenin B yüzünde b10 çatlağının uzantısı olarak yeni bir çatlak oluşmuş ve b13 olarak isimlendirilmiştir. Bu çatlak sonucu yük 75.07 kN a kadar düşmüştür. Ayrıca gerilme değeri de 2.56 MPa dan 2.13 MPa a kadar düşmüştür.

Numunenin her iki yüzünde yer alan yerdeğiştirme ölçerlerin okuduğu değerler incelenmiştir. Tepe yük değeri olan 174.60 kN değerinde numunenin A yüzünde, düşey yerdeğiştirme ölçer 0.64 mm kısalma, B yüzünde ise 0.58 mm kısalma ölçmüştür. Aynı yük değerinde numunenin A yüzünde yer alan yatay yerdeğiştirme ölçer 0.37 mm uzama yerdeğiştirmesi, B yüzünde ise 0.60 mm uzama yerdeğiştirmesi ölçmüştür.

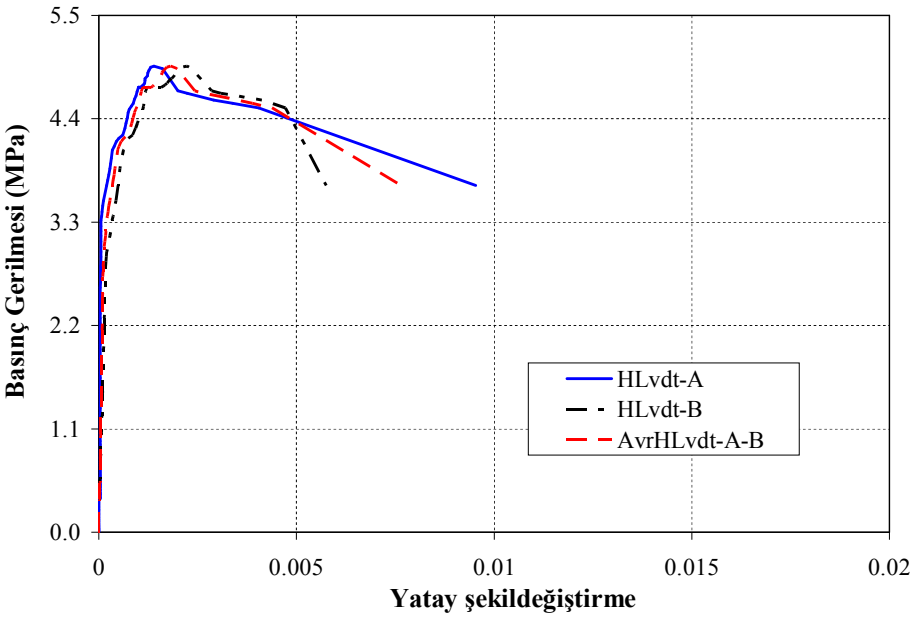
Düşeyde yer alan yerdeğiştirme ölçerlerden elde edilen yük – yerdeğiştirme değerleri yardımıyla basınç gerilmesi – düşey şekildeğiştirme grafiklerine geçilmiş ve bu değerler incelenmiştir. Numunenin A yüzünde yer alan düşey yerdeğiştirme ölçer 4.96 MPa gerilme değerine ulaştığında 0.0023 düşey şekildeğiştirme, B yüzünde ise 4.96 MPa gerilme değerinde 0.0021 düşey şekildeğiştirme değeri okunmuştur. Her iki yüzden elde edilen grafiklerin ortalaması incelendiğinde 4.96 MPa gerilme değerinde 0.0022 düşey şekildeğiştirme olduğu görülmüştür. Şekil 3.6 da numunenin her iki yüzde yer alan düşey yerdeğiştirme ölçerden belirlenen basınç gerilmesi – düşey şekildeğiştirme grafikleri ve bu iki grafiğin ortalaması yer almaktadır. Grafik tepe yük değerine ulaştıktan sonra, azalan kolda 0.8 P_{max} değerine ulaşıldığı anda sonlandırılmıştır.

Yatayda yer alan yerdeğiştirme ölçerlerden elde edilen yük – yerdeğiştirme değerleri yardımıyla basınç gerilmesi – yatay şekildeğiştirme grafiklerine geçilmiş ve bu değerler incelenmiştir. Numunenin A yüzünde yer alan yerdeğiştirme ölçer 4.96 MPa gerilme değerine ulaştığında 0.0014 yatay şekildeğiştirme, B yüzünde ise 4.96 MPa gerilme değerinde 0.0022 yatay şekildeğiştirme değeri okunmuştur. 4.96 MPa gerilme değerinde, ortalama yatay şekildeğiştirme 0.0018 olmuştur. Şekil 3.7 de

numunenin her iki yüzünde yer alan yatay şekildeğiştirme ölçerlerden belirlenen basınç gerilmesi – yatay şekildeğiştirme grafikleri ve bu iki grafiğin ortalaması verilmiştir. Grafik tepe yük değerine ulaştıktan sonra, azalan kolda 0.8 P_{max} değerine ulaştığı anda sonlandırılmıştır.

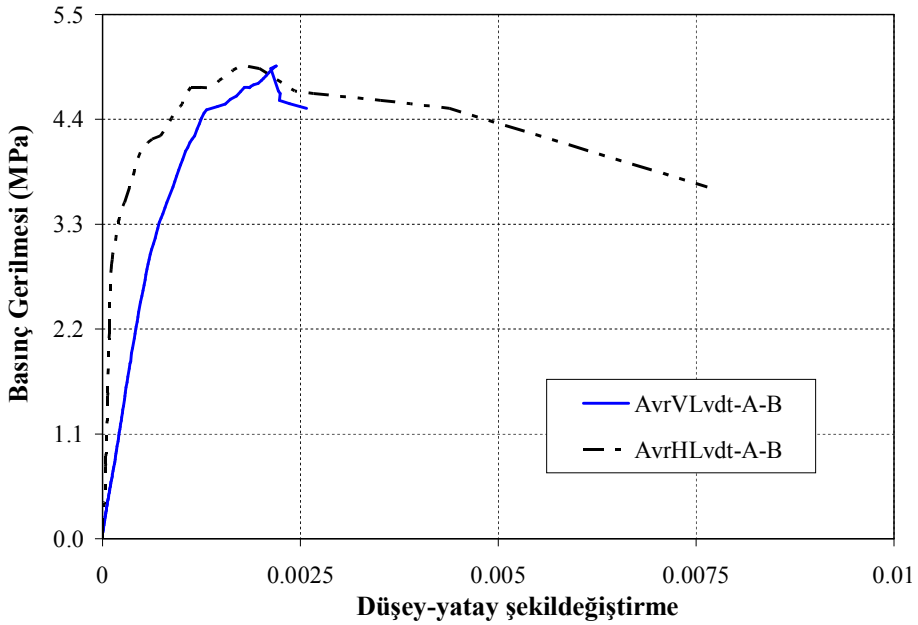


Şekil 3.6 : Gerilme – düşey şekildeğiştirme grafiği.



Şekil 3.7 : Gerilme – yatay şekildeğiştirme grafiği.

Ortalama grafiklere bakıldığında, 4.96 MPa düzeyinde gerçekleşen şekildeğiştirmenin düşey yönde 0.0022, yatay yönde ise 0.0018 olduğu görülmüştür. Ortalama yatay ve düşey gerilme – şekildeğiştirme grafikleri Şekil 3.8 de verilmiştir.

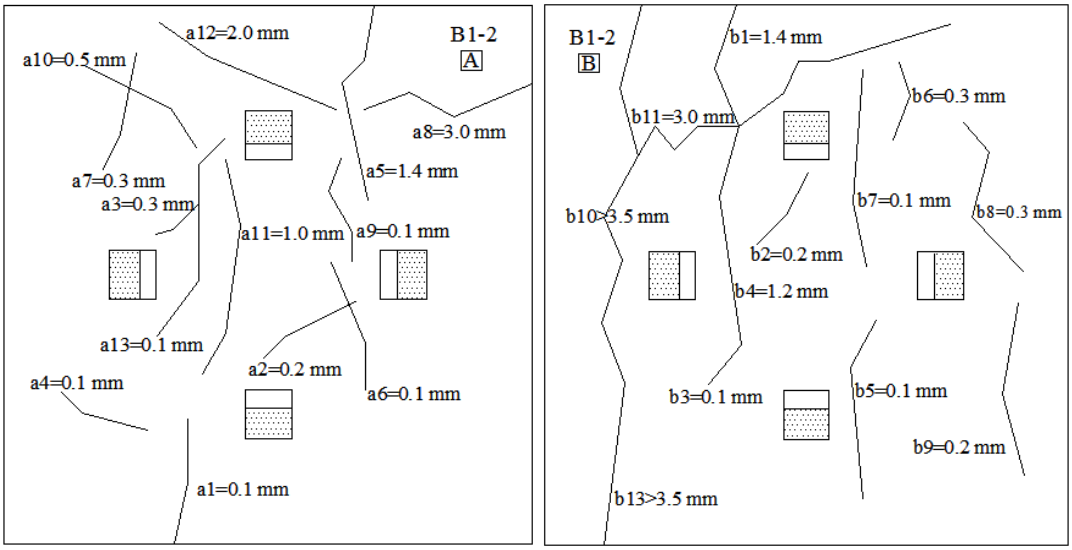


Şekil 3.8 : Gerilme – düşey şekildeğiştirme ve gerilme – yatay şekildeğiştirme grafiklerinin kıyaslanması.

Hesaplar sırasında numunenin elastisite modülü olarak, en büyük gerilmenin %5 ve %33 üne karşılık gelen noktaların doğrusal olarak birleştirilmesi durumundaki doğrunun eğimi alınmıştır. Numunenin elastisite modülü 5024 MPa olarak belirlenmiştir.

3.1.4 B1-2 numunesi hasar dağılımı

Deney sırasında, artan yükler etkisinde oluşan çatlaklar izlenmiştir. Yeni çatlaklar isim verilerek tanımlanmış, genişlikleri ölçülmüş ve numune üzerinde işaretlenmiştir. Numunenin A yüzünde yer alan çatlaklar a1, a2, a3,… gibi harflerle, B yüzünde ise b1, b2, b3,… gibi harflerle isimlendirilerek kaydedilmiştir. Bu şekilde isimlendirilen çatlaklara ait çatlak krokisi Şekil 3.9 da sunulmuştur. Çizelge 3.2 de numunenin A ve B yüzlerinde oluşan çatlak isimleri, karşı gelen yük düzeyleri ve çatlak genişlikleri verilmiştir. Şekil 3.10 da deneyin farklı aşamalarındaki hasarları gösteren fotoğraflar verilmiştir.



Şekil 3.9 : B1-2 numunesinin çatlak krokisi.

Çizelge 3.2 : Yük düzeylerine gore numunenin her iki yüzünde oluşan çatlak genişlikleri.

Çatlak Adı	Yük (P)	Çatlak Genişliği
	[kN]	[mm]
a1	6.0	0.10
b1	8.0	1.40
b2	8.0	0.20
a2	10.1	0.20
b3	14.8	0.10
a4	75.8	0.10
a5	157.2	1.40
b4	157.2	1.20
a6	171.1	0.10
a7	171.1	0.30
b5	165.4	0.10
b6	165.4	0.30
a8	159.0	3.00
a9	159.0	0.10
a10	159.0	0.50
a11	159.0	1.00
b8	126.0	0.30
b9	126.0	0.20
b10	126.0	>3.50
b11	126.0	3.00
b12	126.0	2.50
a12	98.7	2.00
a13	98.7	0.10
b13	90.1	>3.50



Şekil 3.10 : B1-2 numunesinin deney sırasında ve deney sonunda görünümü.

3.1.5 B2-1 numunesi deneyi

Numunede ilk çatlaklar, tepe yük değeri olan 115.60 kN değerine ulaştıktan sonra oluşmuştur. Numune 115.60 kN yük değerine ulaştıktan sonra dayanım azalmaya başlamış, 80.24 kN yük değerine düştüğünde deney sonlandırılmıştır.

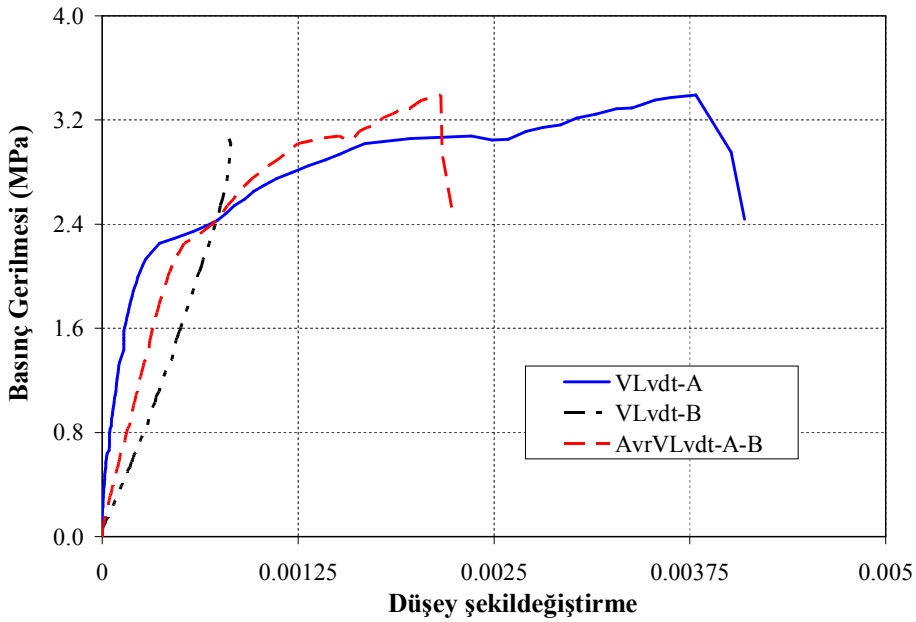
Dayanım 100.60 kN a düştüğünde a1 ve a2 çatlakları oluşmuştur. Daha sonra yük değeri 83.08 kN a kadar düşmüştür. Gerilme değeri 2.95 MPa dan 2.44 MPa kadar düşüş göstermiştir. Bu yük değerinde numunenin B yüzünde bir çatlak oluşumu gözlenmemiştir.

Numunenin her iki yüzünde yer alan yerdeğiştirme ölçerlerin okuduğu değerler incelenmiştir. Tepe yük değeri olan 115.60 kN değerine ulaştığında numunenin A yüzünde düşey yerdeğiştirme ölçer 1.03 mm kısalma, B yüzünde ise 0.15 mm kısalma yerdeğiştirmesi ölçmüştür. Tepe yük değeri olan 115.60 kN değerine ulaştığında numunenin A yüzünde yer alan yatay yerdeğiştirme ölçer 0.02 mm uzama, B yüzünde ise 0.10 mm uzama ölçmüştür.

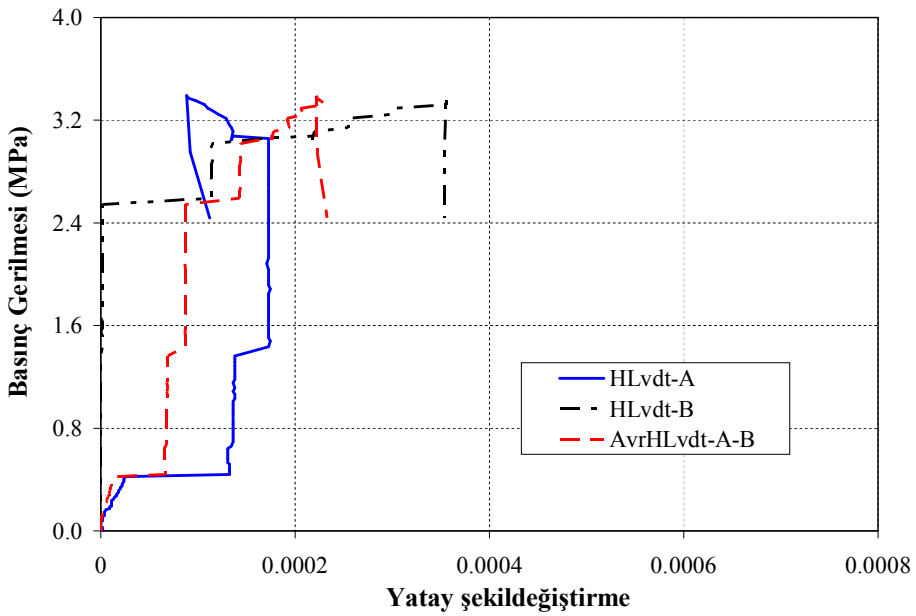
Düşeyde yerdeğiştirme ölçerlerden elde edilen yük – yerdeğiştirme değerleri yardımıyla basınç gerilmesi – düşey şekildeğiştirme grafiklerine geçilmiş ve bu değerler incelenmiştir. Numunenin A yüzünde yer alan düşey yerdeğiştirme ölçer 3.39 MPa gerilme değerine ulaştığında 0.0038 düşey şekildeğiştirme, B yüzünde ise 3.39 MPa gerilme değerinde 0.0005 düşey şekildeğiştirme değeri okunmuştur. Her iki yüzden elde edilen grafiklerin ortalaması incelendiğinde 3.39 MPa gerilme değerinde 0.0022 düşey şekildeğiştirme olduğu görülmüştür. Şekil 3.11 de numunenin her iki yüzünde yer alan düşey yerdeğiştirme ölçerden belirlenen basınç gerilmesi – düşey şekildeğiştirme grafikleri ve bu iki grafiğin ortalaması verilmiştir. Grafik tepe yük değerine ulaştıktan sonra, azalan kolda 0.8 P_{max} değerine ulaşıldığı anda sonlandırılmıştır.

Yatayda yer alan yerdeğiştirme ölçerlerden elde edilen yük – yerdeğiştirme değerleri yardımıyla basınç gerilmesi – yatay şekildeğiştirme grafiklerine geçilmiş ve bu değerler incelenmiştir. Numunenin A yüzünde yer alan yerdeğiştirme ölçer 3.39 MPa gerilme değerine ulaştığında 0.00009 yatay şekildeğiştirme, B yüzünde ise 3.39 MPa gerilme değerinde 0.00036 yatay şekildeğiştirme değeri okunmuştur. Her iki yüzden elde edilen grafiklerin ortalaması 3.39 MPa gerilme değerinde 0.00025 yatay şekildeğiştirme olduğu görülmüştür. Şekil 3.12 de numunenin her iki yüzünde yer

alan yatay şekildeğiştirme ölçerlerden belirlenen basınç gerilmesi – yatay şekildeğiştirme grafikleri ve bu iki grafiğin ortalaması yer almaktadır. Grafik tepe yük değerine ulaştıktan sonra, azalan kolda 0.8 P_{max} değerine ulaştığı anda sonlandırılmıştır.



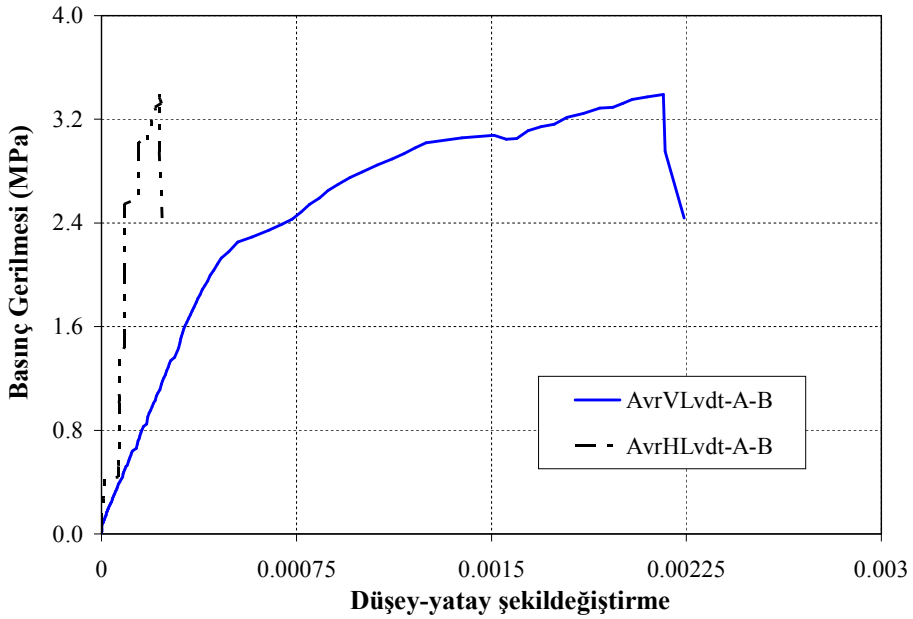
Şekil 3.11 : Gerilme – düşey şekildeğiştirme grafiği.



Şekil 3.12 : Gerilme – yatay şekildeğiştirme grafiği.

Ortalama grafiklerden, 3.39 MPa gerilme düzeyinde gerçekleşen şekildeğiştirmenin düşey yönde 0.0022, yatay yönde ise 0.0003 olduğu görülmüştür. Ortalama yatay ve düşey gerilme – şekildeğiştirme grafikleri Şekil 3.13 de verilmiştir.

Hesaplar sırasında numunenin elastisite modülü olarak, en büyük gerilmenin %5 ve %33 üne karşılık gelen noktaların doğrusal olarak birleştirilmesi durumundaki doğrunun eğimi alınmıştır. Numunenin elastisite modülü 4641 MPa olarak belirlenmiştir.



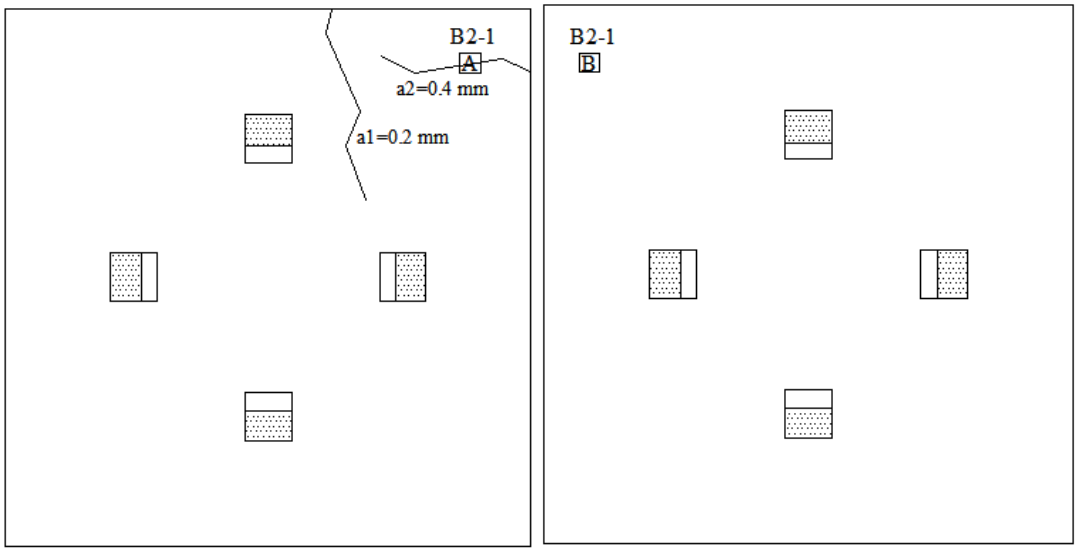
Şekil 3.13 : Gerilme – düşey şekildeğiştirme ve gerilme – yatay şekildeğiştirme grafiklerinin kıyaslanması.

3.1.6 B2-1 numunesi hasar dağılımı

Deney sırasında, artan yükler etkisinde oluşan çatlaklar izlenmiştir. Yeni çatlaklar isim verilerek tanımlanmış, genişlikleri ölçülmüş ve numune üzerinde işaretlenmiştir. Numunenin A yüzünde yer alan çatlaklar a1, a2, a3,… gibi harflerle, B yüzünde ise b1, b2, b3,… gibi harflerle isimlendirilerek kaydedilmiştir. Bu şekilde isimlendirilen çatlaklara ait çatlak krokisi Şekil 3.14 de sunulmuştur. Çizelge 3.3 de numunenin A ve B yüzlerinde oluşan çatlak isimleri, karşı gelen yük düzeyleri ve çatlak genişlikleri verilmiştir. Şekil 3.15 de deneyin farklı aşamalarındaki hasarları gösteren fotoğraflar verilmiştir.

Çizelge 3.3 : Yük düzeylerine göre numunenin her iki yüzünde oluşan çatlak genişlikleri.

Çatlak Adı	Yük (P)	Çatlak Genişliği
	[kN]	[mm]
a1	100.6	0.20
a2	100.6	0.40



Şekil 3.14 : B2-1 numunesinin çatlak krokisi.





Şekil 3.15 : B2-1 numunesinin deney sırasında ve deney sonunda görünümü.

3.1.7 B2-2 numunesi deneyi

Numunede ilk çatlak, 8.25 kN yük değerinde oluşmuştur. Numune 121.30 kN değerine ulaştıktan sonra dayanım azalmaya başlamış, 35.54 kN a düşüldüğünde deney sonlandırılmıştır.

8.25 kN yüke karşı elde edilen gerilme 0.24 MPa olarak kaydedilmiştir. Bu yük değerinde b1 çatlağı oluşmuştur. Numunenin A yüzünde herhangi bir çatlak oluşumu gözlenmemiştir.

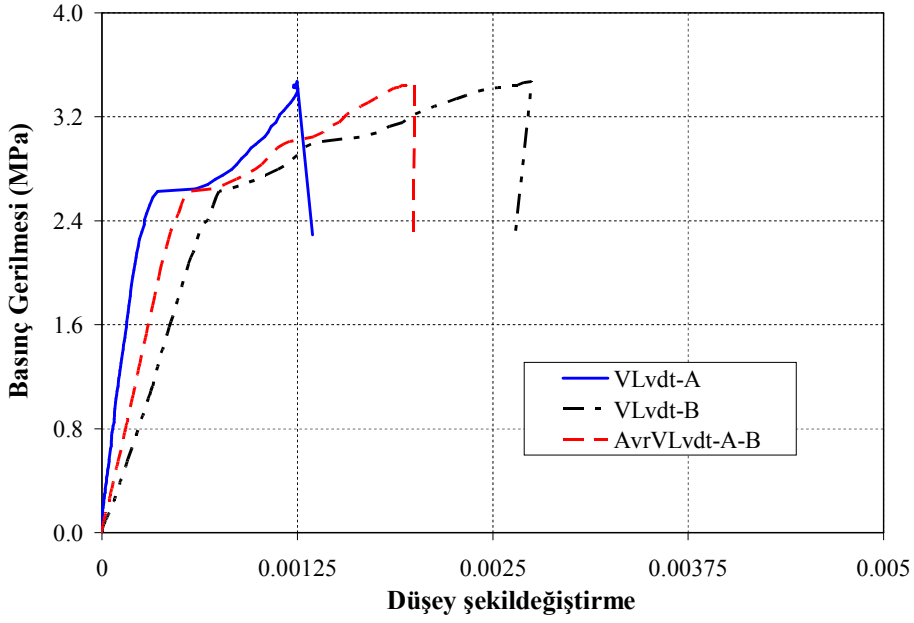
121.30 kN a ulaştıktan sonra dayanımda azalma meydana gelmiştir. En büyük yük değeri olan 121.30 kN değerine ulaştığında gerilme 3.47 MPa olarak kaydedilmiştir. Bu yük değerinde a1 çatlağı oluşmuştur ve yük 80.00 kN a kadar düşmüştür. Gerilme değeri 3.47 MPa dan 2.29 MPa kadar düşüş göstermiştir. Numunenin B yüzünde yeni bir çatlak oluşumu gözlenmemiştir.

Yük 80.00 kN a düştüğünde b2 çatlağı oluşmuştur. Daha sonra yük değeri 37.00 kN a kadar düşmüştür. Bu aşamada numunenin yan kenarlarında çatlakların oluştuğu görülmüştür. Gerilme değeri de 2.29 MPa dan 1.06 MPa a kadar düşüş göstermiştir. Numunenin A yüzünde yeni bir çatlak oluşumu gözlenmemiştir.

Numunenin her iki yüzünde yer alan yerdeğiştirme ölçerin okuduğu değerler incelenmiştir. Tepe yük değeri 121.30 kN değerine ulaştığında numunenin A yüzünde düşey yerdeğiştirme ölçer 0.0012 düşey şekildeğiştirme, B yüzünde ise 0.0027 düşey şekildeğiştirme değeri okunmuştur. Her iki yüzden elde edilen grafiklerin ortalaması incelendiğinde 3.47 MPa gerilme değerinde 0.0020 düşey

şekildeğiştirme olduğu görülmüştür. Şekil 3.16 da numunenin her iki yüzünde yer alan düşey yerdeğiştirme ölçerlerden belirlenen basınç gerilmesi – düşey şekildeğiştirme grafikleri ve bu iki grafiğin ortalaması yer almaktadır. Grafik tepe yük değerine ulaştıktan sonra, azalan kolda 0.8 P_{max} değerine ulaşıldığı anda sonlandırılmıştır.

Düşeyde yerdeğiştirme ölçerlerden elde edilen yük – yerdeğiştirme değerleri yardımıyla basınç gerilmesi – düşey şekildeğiştirme grafiklerine geçilmiş ve bu değerler incelenmiştir. Numunenin A yüzünde yer alan düşey yerdeğiştirme ölçer 0.0012 düşey şekildeğiştirme, B yüzünde ise 0.0027 düşey şekildeğiştirme değeri okunmuştur. Her iki yüzden elde edilen grafiklerin ortalaması incelendiğinde 3.47 MPa gerilme değerinde 0.0020 düşey şekildeğiştirme olduğu görülmüştür. Şekil 3.16 da numunenin her iki yüzünde yer alan düşey yerdeğiştirme ölçerlerden belirlenen basınç gerilmesi – düşey şekildeğiştirme grafikleri ve bu iki grafiğin ortalaması yer almaktadır. Grafik tepe yük değerine ulaştıktan sonra, azalan kolda 0.8 P_{max} değerine ulaşıldığı anda sonlandırılmıştır.

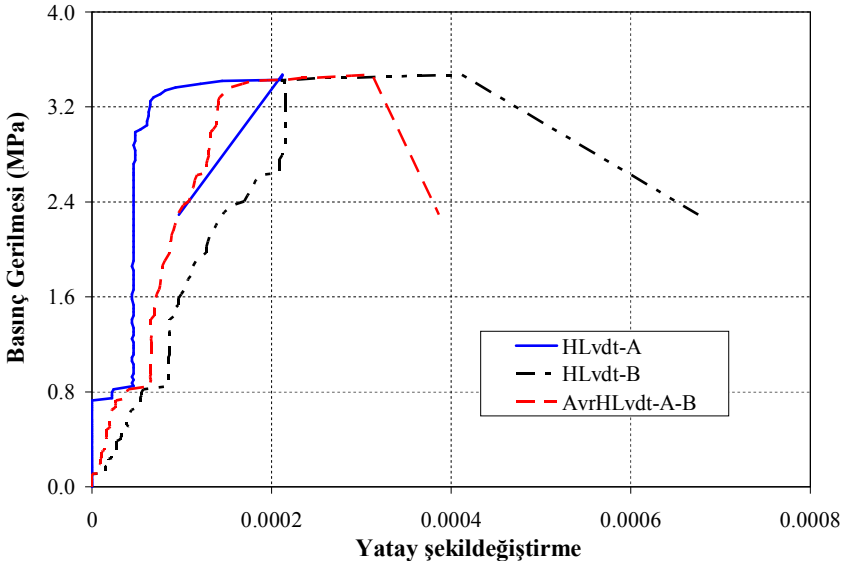


Şekil 3.16 : Gerilme – düşey şekildeğiştirme grafiği.

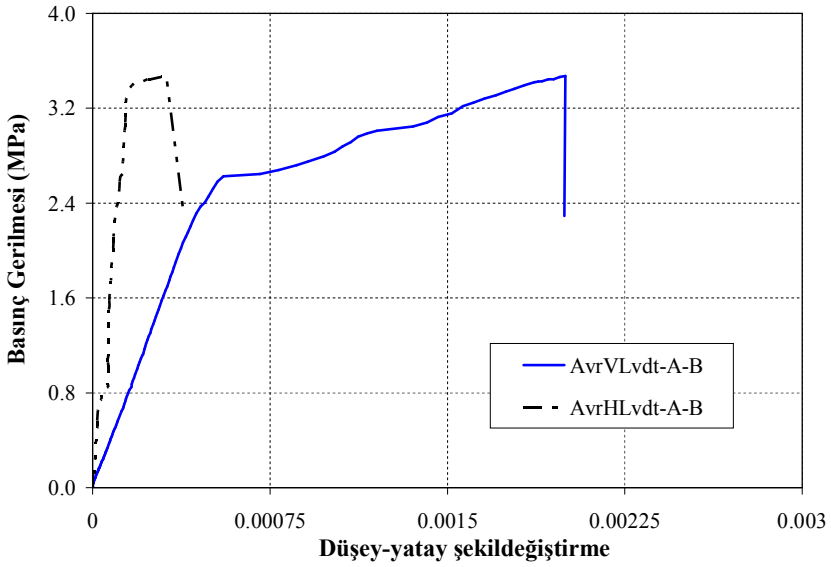
Yatayda yer alan yerdeğiştirme ölçerlerden elde edilen yük – yerdeğiştirme değerleri yardımıyla basınç gerilmesi – yatay şekildeğiştirme grafiklerine geçilmiş ve bu değerler incelenmiştir. Numunenin A yüzünde yer alan yerdeğiştirme ölçer 3.47 MPa gerilme değerine ulaştığında 0.00021 yatay şekildeğiştirme, B yüzünde ise 3.47 MPa gerilme değerinde 0.00041 yatay şekildeğiştirme değeri okunmuştur. Her iki yüzden

elde edilen grafiklerin ortalaması 3.47 MPa gerilme değerinde 0.00033 yatay şekildeğiştirme olduğu görülmüştür. Şekil 3.17 de numunenin her iki yüzünde yer alan yatay şekildeğiştirme ölçerlerden belirlenen basınç gerilmesi – yatay şekildeğiştirme grafikleri ve bu iki grafiğin ortalaması yer almaktadır. Grafik tepe yük değerine ulaştıktan sonra, azalan kolda 0.8 P_{max} değerine ulaştığı anda sonlandırılmıştır.

Ortalama grafiklerden, 3.47 MPa gerilme düzeyinde gerçekleşen şekildeğiştirmenin düşey yönde 0.0020, yatay yönde ise 0.0003 olduğu görülmüştür. Ortalama yatay ve düşey gerilme – şekildeğiştirme grafikleri Şekil 3.18 de verilmiştir.



Şekil 3.17 : Gerilme – yatay şekildeğiştirme grafiği.



Şekil 3.18 : Gerilme – düşey şekildeğiştirme ve gerilme – yatay şekildeğiştirme grafiklerinin kıyaslanması.

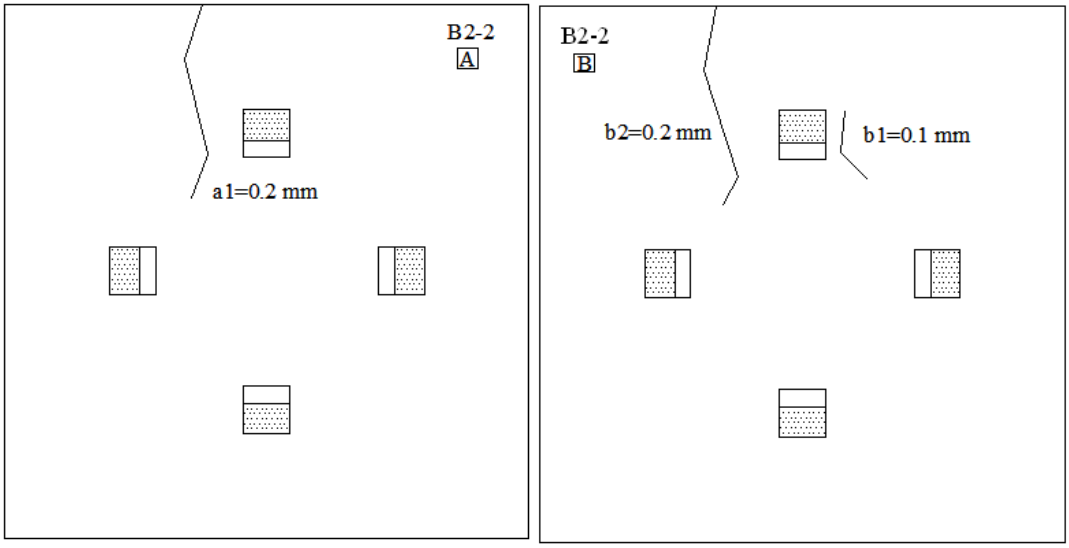
Hesaplar sırasında numunenin elastisite modülü olarak, en büyük gerilmenin %5 ve %33 üne karşılık gelen noktaların doğrusal olarak birleştirilmesi durumundaki doğrunun eğimi alınmıştır. Numunenin elastisite modülü 5227 MPa olarak belirlenmiştir.

3.1.8 B2-2 numunesi hasar dağılımı

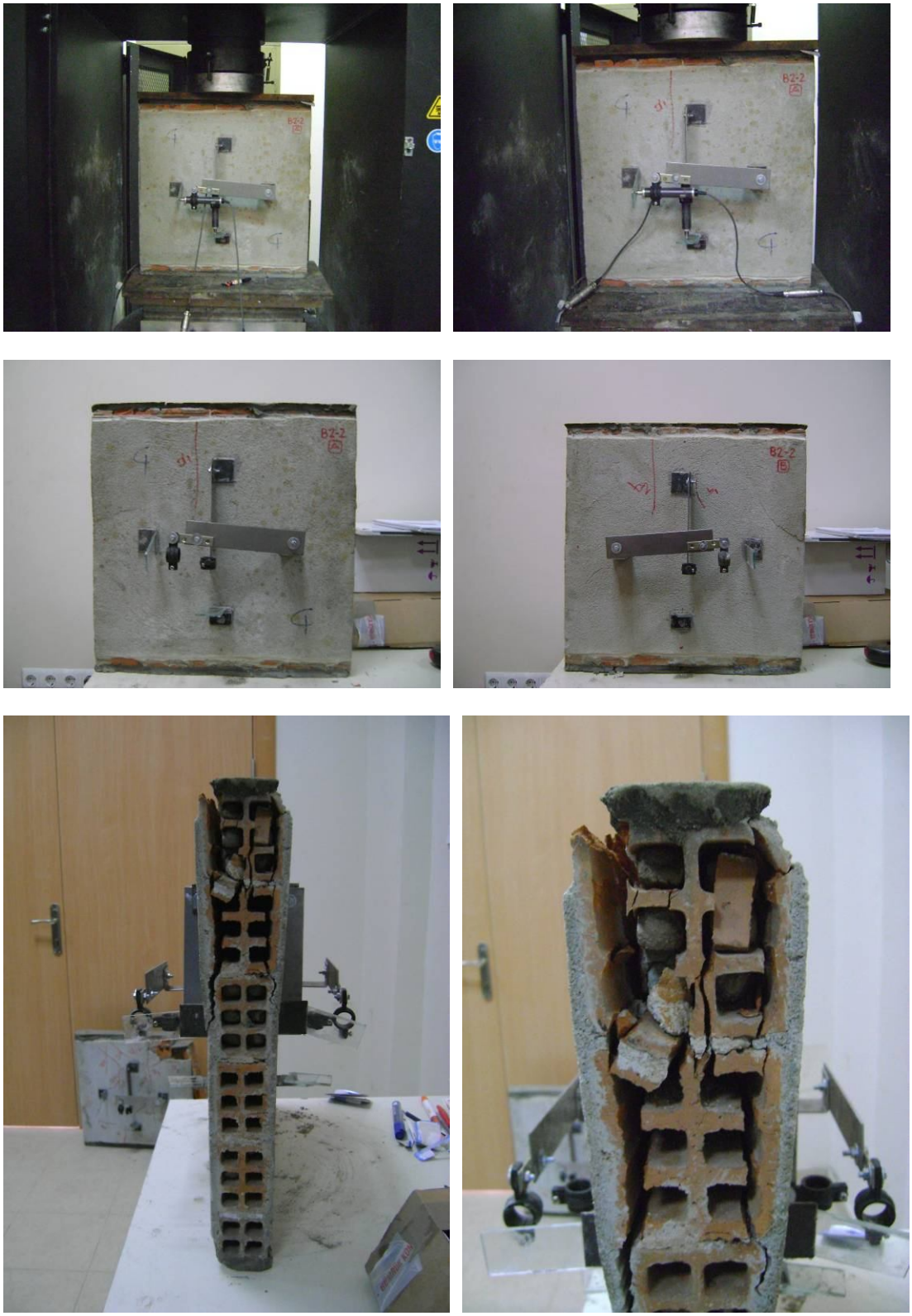
Deney sırasında, artan yükler etkisinde oluşan çatlaklar izlenmiştir. Yeni çatlaklar isim verilerek tanımlanmış, genişlikleri ölçülmüş ve numune üzerinde işaretlenmiştir. Numunenin A yüzünde yer alan çatlaklar a1, a2, a3,… gibi harflerle, B yüzünde ise b1, b2, b3,… gibi harflerle isimlendirilerek kaydedilmiştir. Bu şekilde isimlendirilen çatlaklara ait çatlak krokisi Şekil 3.19 da sunulmuştur. Çizelge 3.4 de numunenin A ve B yüzlerinde oluşan çatlak isimleri, karşı gelen yük düzeyleri ve çatlak genişlikleri verilmiştir. Şekil 3.20 de deneyin farklı aşamalarındaki hasarları gösteren fotoğraflar verilmiştir.

Çizelge 3.4 : Yük düzeylerine göre numunenin her iki yüzünde oluşan çatlak genişlikleri.

Çatlak Adı	Yük (P)	Çatlak Genişliği
	[kN]	[mm]
b1	8.3	0.10
a2	121.3	0.20
b2	80.0	0.20



Şekil 3.19 : B2-2 numunesinin çatlak krokisi.



Şekil 3.20 : B2-2 numunesinin deney sırasında ve deney sonunda görünümü.

3.1.9 B3-1 numunesi deneyi

Numunede ilk çatlaklar, 45.86 kN yük değerinde oluşmuştur. Numune 55.00 kN değerine ulaştıktan sonra dayanım azalmaya başlamış, 16.00 kN yük değerine düştüğünde deney sonlandırılmıştır.

45.86 kN a karşı gelen gerilme 0.78 MPa olarak kaydedilmiştir. b1 ve b2 çatlakları oluşmuştur. Ölçülen en büyük çatlak genişliği 0.3 mm dir. Numunenin A yüzünde herhangi bir çatlak oluşumu gözlenmemiştir. 51.60 kN yük değerine karşılık elde edilen gerilme 0.88 MPa dır. b3 çatlağı oluşmuş 40.80 kN a kadar düşürmüştür. Bu çatlak sonucu gerilme 0.88 MPa dan 0.70 MPa kadar düşüş göstermiştir. Ölçülen çatlak genişliği 0.3 mm dir. Numunenin A yüzünde herhangi bir çatlak oluşumu gözlenmemiştir.

Yük tekrar artışa geçmiş ve 51.30 kN yük değerine karşılık elde edilen gerilme 0.88 MPa olarak kaydedilmiştir. Bu yük değerinde b4 çatlağı oluşmuştur. Ölçülen çatlak genişliği 0.2 mm dir. Numunenin A yüzünde herhangi bir çatlak oluşumu gözlenmemiştir.

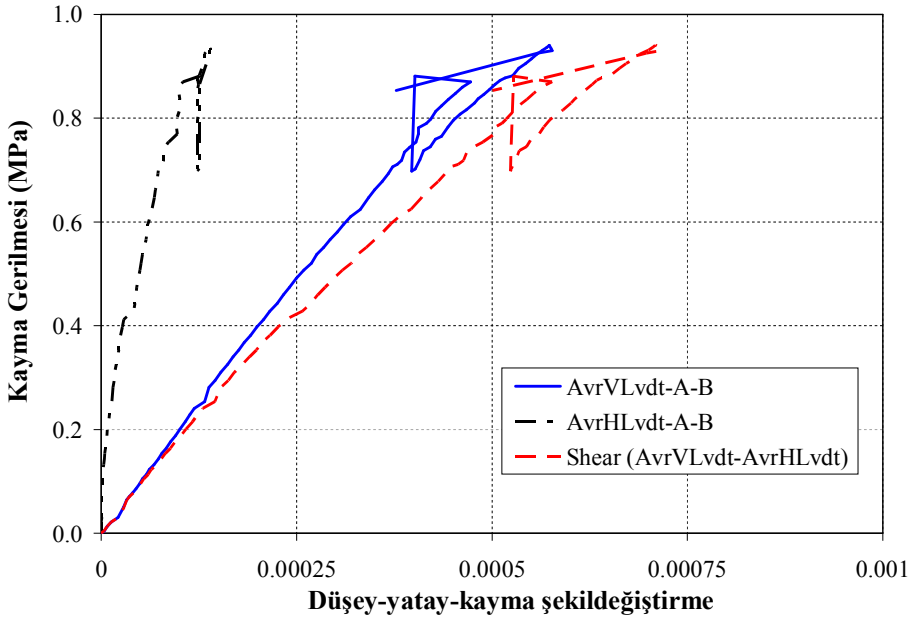
Numunenin her iki yüzünde yer alan yerdeğiştirme ölçerlerin okuduğu değerler incelenmiştir. Tepe yük değeri olan 55.00 kN değerinde numunenin A yüzünde düşey yerdeğiştirme ölçer 0.26 mm kısalma B yüzünde ise 0.11 mm kısalma ölçmüştür. Aynı yük değerinde numunenin A yüzünde yer alan yatay yerdeğiştirme ölçer 0.04 mm uzama yerdeğiştirmesi, B yüzünde ise 0.04 mm uzama yerdeğiştirmesi ölçmüştür.

Düşeyde yer alan yerdeğiştirme ölçerlerden elde edilen yük – yerdeğiştirme değerleri yardımıyla kayma gerilmesi – düşey şekildeğiştirme grafiklerine geçilmiş ve bu değerler incelenmiştir. Numunenin A yüzünde yer alan düşey yerdeğiştirme ölçer 0.94 MPa gerilme değerine ulaştığında 0.0008 düşey şekildeğiştirme, B yüzünde ise 0.94 MPa gerilme değerinde 0.0003 düşey şekildeğiştirme değeri okunmuştur. Her iki yüzden elde edilen grafiklerin ortalaması incelendiğinde 0.94 MPa gerilme değerinde 0.0006 düşey şekildeğiştirme olduğu görülmüştür.

Yatayda yer alan yerdeğiştirme ölçerlerden elde edilen yük – yerdeğiştirme değerleri yardımıyla kayma gerilmesi – yatay şekildeğiştirme grafiklerine geçilmiş ve bu değerler incelenmiştir. Numunenin A yüzünde yer alan yatay yerdeğiştirme ölçer 0.94 MPa gerilme değerine ulaştığında 0.00014 yatay şekildeğiştirme, B yüzünde ise

0.94 MPa ise 0.00012 yatay şekildeğiştirme değeri okunmuştur. Her iki yüzden elde edilen grafiklerin ortalaması 0.94 MPa gerilme değerinde 0.00014 yatay şekildeğiştirme olduğu görülmüştür.

Ortalama değerler incelendiğinde, 0.94 MPa düzeyinde gerçekleşen şekildeğiştirmenin düşey yönde 0.0006, yatay yönde ise 0.00014 olduğu görülmüştür. Bu grafikler kullanılarak kayma gerilmesi – kayma şekildeğiştirmesi grafiği çizilmiştir. 0.94 MPa düzeyinde kayma şekildeğiştirmesinin 0.0007 mertebesinde olduğu görülmüştür. Grafikler tepe yük değerine eriştikten sonra, azalan kolda 0.8 P_{max} değerine ulaşıldığında sonlandırılmıştır. Ortalama yatay ve düşey gerilme – şekildeğiştirme grafikleri ve kayma gerilmesi – kayma şekildeğiştirme ilişkisi Şekil 3.21 de verilmiştir.



Şekil 3.21 : Gerilme – düşey şekildeğiştirme, gerilme – yatay şekildeğiştirme ve gerilme – kayma şekildeğiştirme grafiklerinin kıyaslanması.

Hesaplar sırasında numunenin kayma modülü olarak, en büyük gerilmenin %5 ve %33 üne karşılık gelen noktaların doğrusal olarak birleştirilmesi durumundaki doğrunun eğimi alınmıştır. Numunenin kayma modülü 1788 MPa olarak belirlenmiştir.

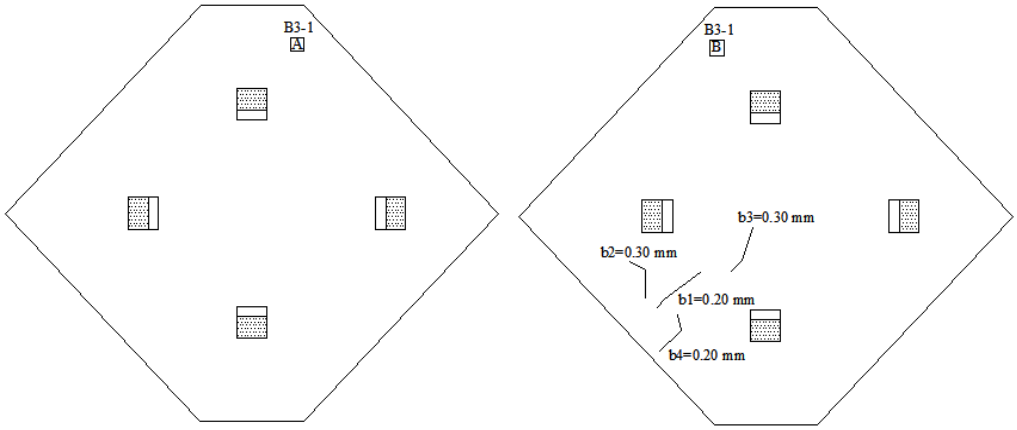
3.1.10 B3-1 numunesi hasar dağılımı

Deney sırasında, artan yükler etkisinde oluşan çatlaklar izlenmiştir. Yeni çatlaklar isim verilerek tanımlanmış, genişlikleri ölçülmüş ve numune üzerinde işaretlenmiştir. Numunenin A yüzünde yer alan a1, a2, a3,… gibi harflerle, B yüzünde ise b1, b2,

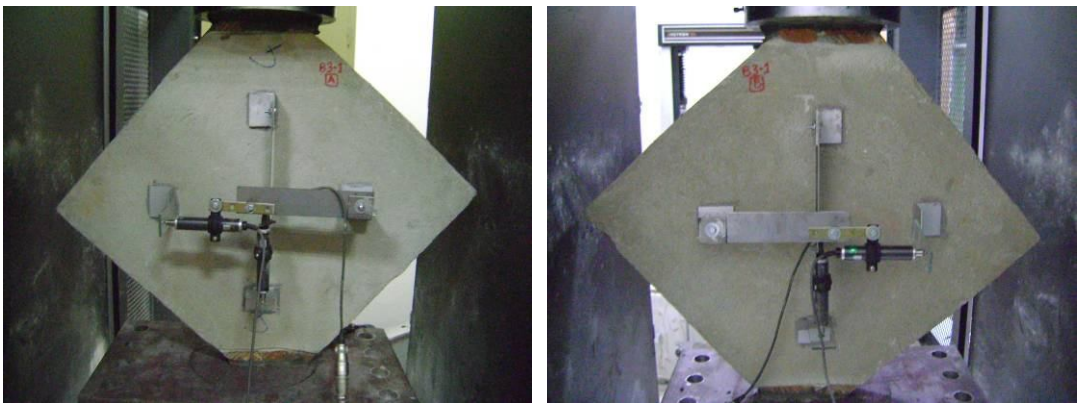
b3,… gibi harflerle isimlendirilerek kaydedilmiştir. Bu şekilde isimlendirilen çatlaklara ait çatlak krokisi Şekil 3.22 de sunulmuştur. Çizelge 3.5 de numunenin A ve B yüzlerinde oluşan çatlak isimleri, karşı gelen yük düzeyleri ve çatlak genişlikleri verilmiştir. Şekil 3.23 de deneyin farklı aşamalarındaki hasarları gösteren fotoğraflar verilmiştir.

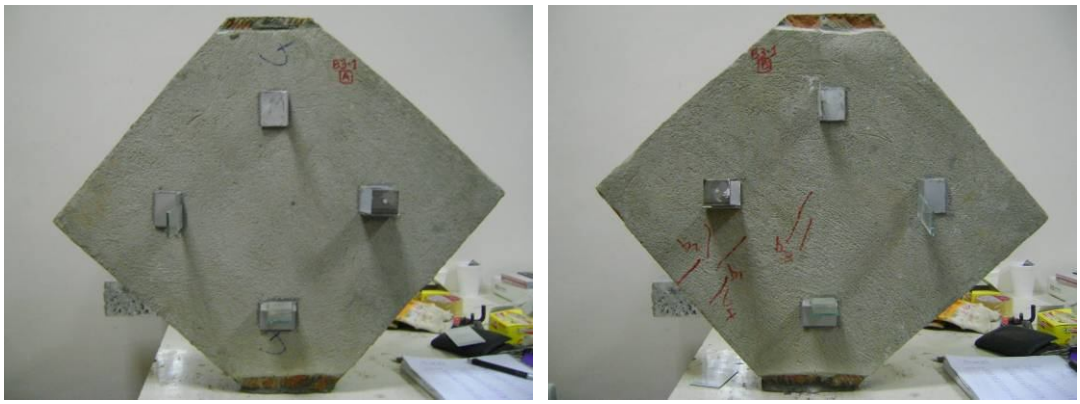
Çizelge 3.5 : Yük düzeylerine göre numunenin her iki yüzünde oluşan çatlak genişlikleri.

Çatlak Adı	Yük (P)	Çatlak Genişliği
	[kN]	[mm]
b1	45.9	0.20
b2	45.9	0.30
b3	51.6	0.30
b4	51.3	0.20



Şekil 3.22 : B3-1 numunesinin çatlak krokisi.





Şekil 3.23 : B3-1 numunesinin deney sırasında ve deney sonunda görünümü.

3.1.11 B3-2 numunesi deneyi

Numunede ilk çatlaklar, 9.21 kN yük değerinde oluşmuştur. Numune 54.66 kN değerine ulaştıktan sonra dayanım azalmaya başlamış, 21.49 kN yük değerine düştüğünde deney sonlandırılmıştır.

9.21 kN a karşı gelen gerilme 0.15 MPa olarak kaydedilmiştir. Bu yük değerinde a1 çatlağı oluşmuştur. Numunenin B yüzünde herhangi bir çatlak oluşumu gözlenmemiştir. Dayanım 29.60 kN a düştüğünde numunenin kenar bölgelerinde çatlaklar oluşmuştur.

Numunenin her iki yüzünde yer alan yerdeğiştirme ölçerlerin okuduğu değerler incelenmiştir. En büyük yük olan 54.66 kN değerinde numunenin A yüzünde düşey yerdeğiştirme ölçer 0.19 mm kısalma, B yüzünde ise 0.22 mm kısalma ölçmüştür. Aynı yük değerinde numunenin A yüzündeki yatay yerdeğiştirme ölçer 0.04 mm uzama, B yüzünde ki ise 0.03 mm uzama ölçmüştür.

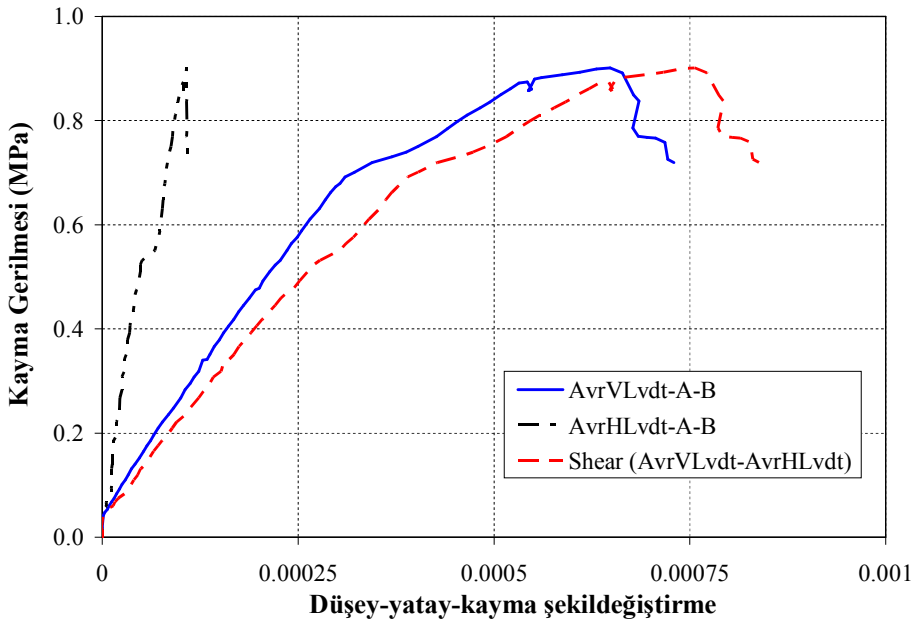
Düşeyde yer alan yerdeğiştirme ölçerlerden elde edilen yük – yerdeğiştirme değerleri kayma gerilmesi – düşey şekildeğiştirme grafiklerine geçilmiş ve bu değerler incelenmiştir. Numunenin A yüzünde yer alan düşey yerdeğiştirme ölçer 0.90 MPa gerilme değerine ulaştığında 0.0006 düşey şekildeğiştirme, B yüzünde ise 0.90 MPa gerilme değerinde 0.0007 düşey şekildeğiştirme değeri okunmuştur. Her iki yüzden elde edilen grafiklerin ortalaması incelendiğinde 0.90 MPa gerilme değerinde 0.0007 düşey şekildeğiştirme olduğu görülmüştür.

Yatayda yer alan yerdeğiştirme ölçerlerden elde edilen yük – yerdeğiştirme değerleri yardımıyla kayma gerilmesi – yatay şekildeğiştirme grafiklerine geçilmiş ve bu değerler incelenmiştir. Numunenin A yüzünde yer alan yerdeğiştirme ölçer 0.90 MPa

gerilme değerine ulaştığında 0.00012 yatay şekildeğiştirme, B yüzünde ise 0.90 MPa gerilme değerinde 0.00009 yatay şekildeğiştirme değeri okunmuştur. Her iki yüzden elde edilen grafiklerin ortalaması 0.90 MPa gerilme değerinde 0.00011 yatay şekildeğiştirme olduğu görülmüştür.

Ortalama değerler incelediğinde, 0.90 MPa düzeyinde gerçekleşen şekildeğiştirmenin düşey yönde 0.0007, yatay yönde ise 0.00011 olduğu görülmüştür. Bu grafikler kullanılarak kayma gerilmesi – kayma şekildeğiştirmesi grafiği çizilmiştir. 0.90 MPa düzeyinde kayma şekildeğiştirmesinin 0.0008 mertebesinde olduğu görülmüştür. Grafikler tepe yük değerine eriştikten sonra, azalan kolda 0.8 P_{max} değerine ulaşıldığında sonlandırılmıştır. Ortalama yatay ve düşey gerilme – şekildeğiştirme grafikleri ve kayma gerilmesi – kayma şekildeğiştirme ilişkisi Şekil 3.24 de verilmiştir.

Hesaplar sırasında numunenin kayma modülü olarak, en büyük gerilmenin %5 ve %33 üne karşılık gelen noktaların doğrusal olarak birleştirilmesi durumundaki doğrunun eğimi alınmıştır. Numunenin kayma modülü 1902 MPa olarak belirlenmiştir.



Şekil 3.24 : Gerilme – düşey şekildeğiştirme, gerilme – yatay şekildeğiştirme ve gerilme – kayma şekildeğiştirme grafiklerinin kıyaslanması.

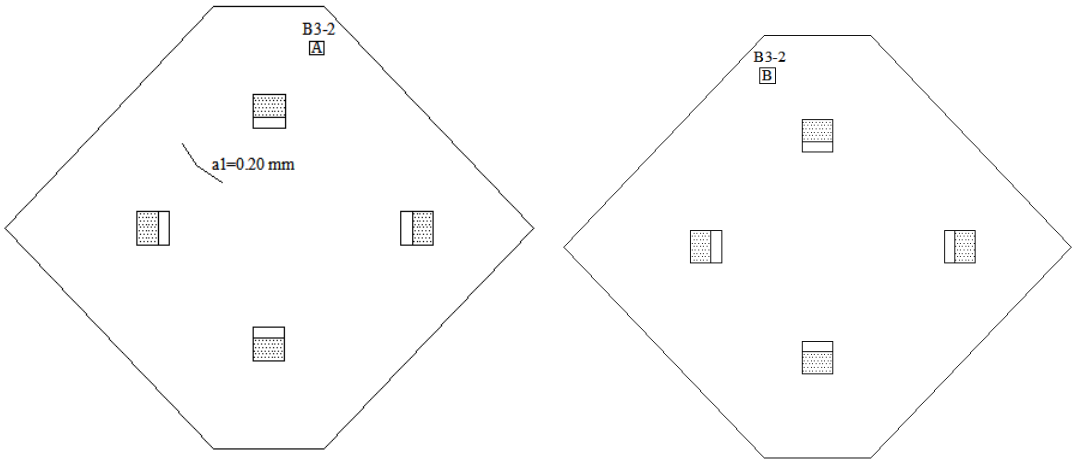
3.1.12 B3-2 numunesi hasar dağılımı

Deney sırasında, artan yükler etkisinde oluşan çatlaklar izlenmiştir. Yeni çatlaklar isim verilerek tanımlanmış, genişlikleri ölçülmüş ve numune üzerinde işaretlenmiştir.

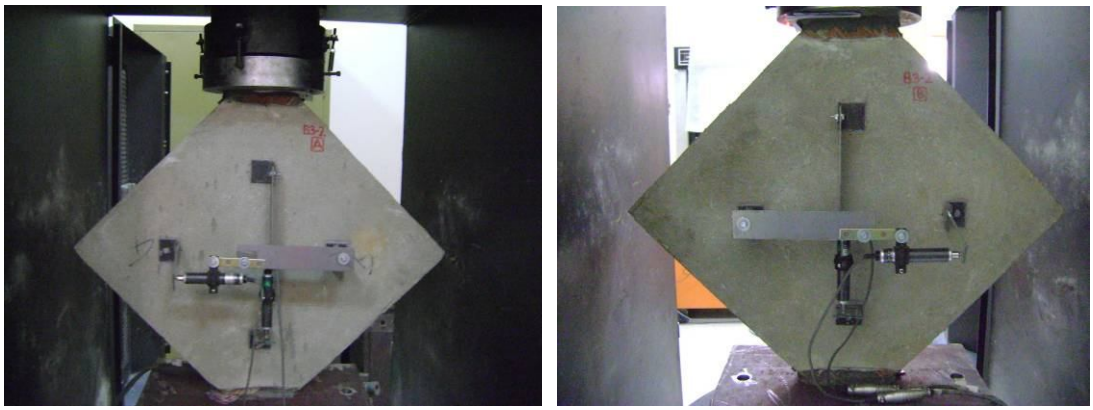
Numunenin A yüzünde yer alan çatlaklar a1, a2, a3,… gibi harflerle, B yüzünde ise b1, b2, b3,… gibi harflerle isimlendirilerek kaydedilmiştir. Bu şekilde isimlendirilen çatlaklara ait çatlak krokisi Şekil 3.25 de sunulmuştur. Çizelge 3.6 da numunenin A ve B yüzlerinde oluşan çatlak isimleri, karşı gelen yük düzeyleri ve çatlak genişlikleri verilmiştir. Şekil 3.26 da deneyin farklı aşamalarındaki hasarları gösteren fotoğraflar verilmiştir.

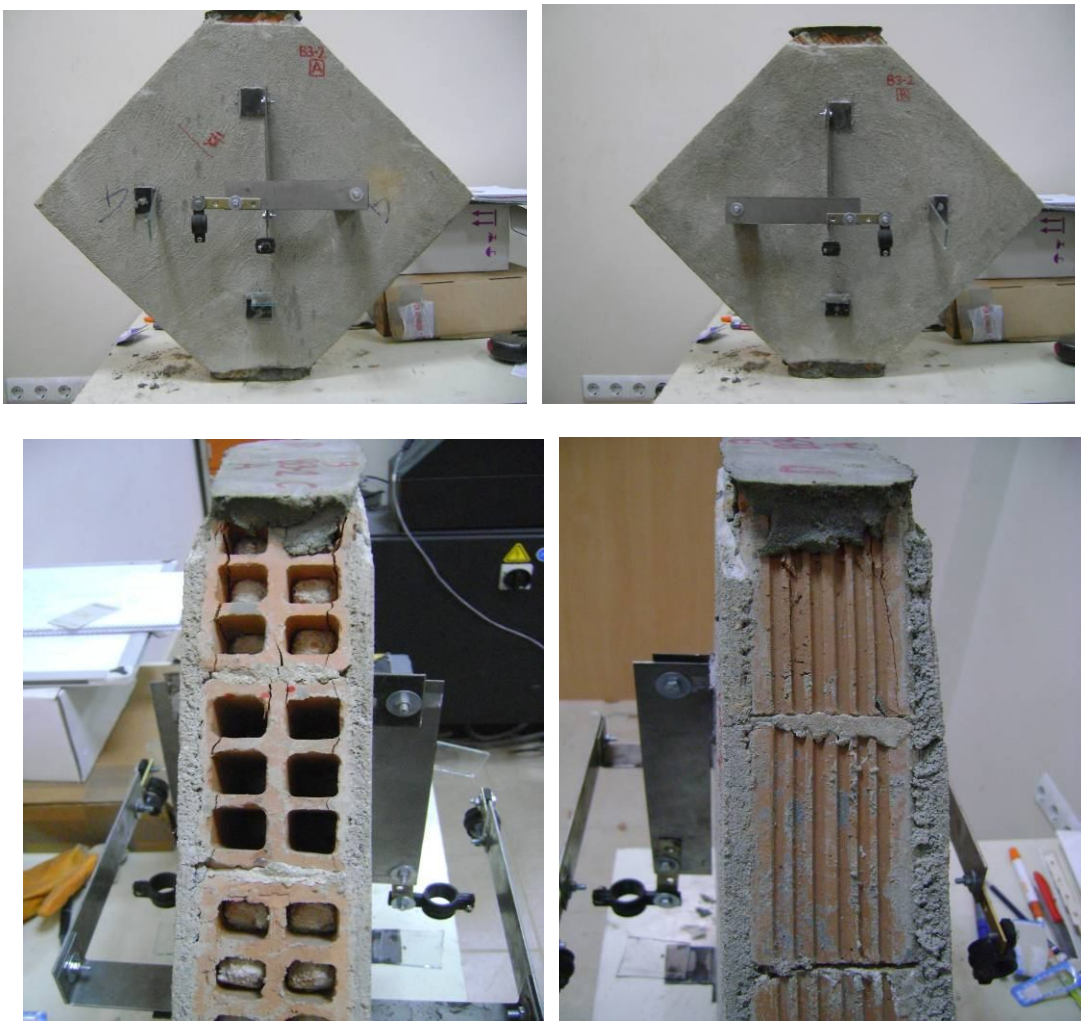
Çizelge 3.6 : Yük düzeylerine göre numunenin her iki yüzünde oluşan çatlak genişlikleri.

Çatlak Adı	Yük (P)	Çatlak Genişliği
	[kN]	[mm]
a1	9.2	0.20



Şekil 3.25 : B3-2 numunesinin çatlak krokisi.





Şekil 3.26 : B3-2 numunesinin deney sırasında ve deney sonunda görünümü.

3.2 C Grubu Deneyleri

3.2.1 C1-1 numunesi deneyi

Numunede ilk çatlaklar, 5.29 kN yük değerinde oluşmuştur. 168.60 kN a ulaştıktan sonra dayanım azalmaya başlamış, 113.30 kN a düşüldüğünde deney sonlandırılmıştır.

5.29 kN a karşılık elde edilen gerilme 0.14 MPa olarak kaydedilmiştir. Bu yük değerinde b1 çatlağı oluşmuştur. Bu aşamada numunenin B yüzünde herhangi bir çatlak yoktur. Dayanım 14.67 kN yükseldiğinde gerilme 0.39 MPa olarak kaydedilmiştir. b2 çatlağı oluşmuştur. Numunenin A yüzünde yeni herhangi bir çatlak oluşumu gözlenmemiştir.

22.53 kN a karşı gelen gerilme 0.60 MPa dır. Bu yük değerinde a1 çatlağı oluşmuştur. Numunenin B yüzünde b3 ve b4 çatlakları oluşmuştur. Dayanım 53.74

kN yükseldiğinde gerilme 1.44 MPa olarak kaydedilmiştir. Bu yük değerinde a2 çatlağı oluşmuştur. Numunenin B yüzünde daha önce oluşan b4 çatlağı belirginleşmiş, b5 çatlağı oluşmuştur.

68.85 kN a karşılık gelen gerilme 1.85 MPa dır. b5 ve b6 çatlakları oluşmuştur. Bu aşamada numunenin A yüzünde yeni herhangi bir çatlak oluşmamıştır. 88.18 kN a karşılık gelen gerilme 2.37 MPa dır. a3 çatlağı oluşmuştur. Numunenin B yüzünde daha önce oluşan b6 çatlağı belirginleşmiştir, yeni çatlak oluşumu olmamıştır.

113.70 kN a karşılık gelen gerilme 3.05 MPa dır. b7 çatlağı oluşmuştur. Bu aşamada numunenin A yüzünde yeni herhangi bir çatlak oluşmamıştır.

126.30 kN a karşılık gelen gerilme 3.39 MPa dır. a4 ve a5 çatlakları oluşmuştur. a1 çatlağı genişlemiş, a2 çatlağı belirginleşmiştir. Bu aşamada numunenin B yüzünde b8 çatlağı oluşmuştur. 144.00 kN a karşılık gelen gerilme 3.86 MPa dır. a6 çatlağı oluşmuştur. Dayanım 152.60 kN a yükseldiğinde gerilme 4.09 MPa olarak kaydedilmiştir. Bu aşamada a7 çatlağı oluşmuştur, numunenin B yüzünde yeni çatlak oluşumu olmamıştır. 159.80 kN a karşılık gelen gerilme 4.29 MPa dır. a8 ve b9 çatlakları oluşmuştur.

168.60 kN a ulaştıktan sonra dayanımda azalma meydana gelmiştir. En büyük yük değeri olan 168.60 kN değerine ulaştığında gerilme 4.52 MPa olarak kaydedilmiştir. Bu aşamada a9 çatlağı oluşmuştur. Gerilme 4.52 MPa dan 4.42 MPa a kadar düşüş göstermiştir.

164.80 kN yük değerine gelindiğinde a10, a11 ve a12 çatlakları oluşmuş, yük değeri 161.40 kN a kadar düşmüştür. Gerilme değeri 4.42 MPa dan 4.33 MPa a kadar düşüş göstermiştir.

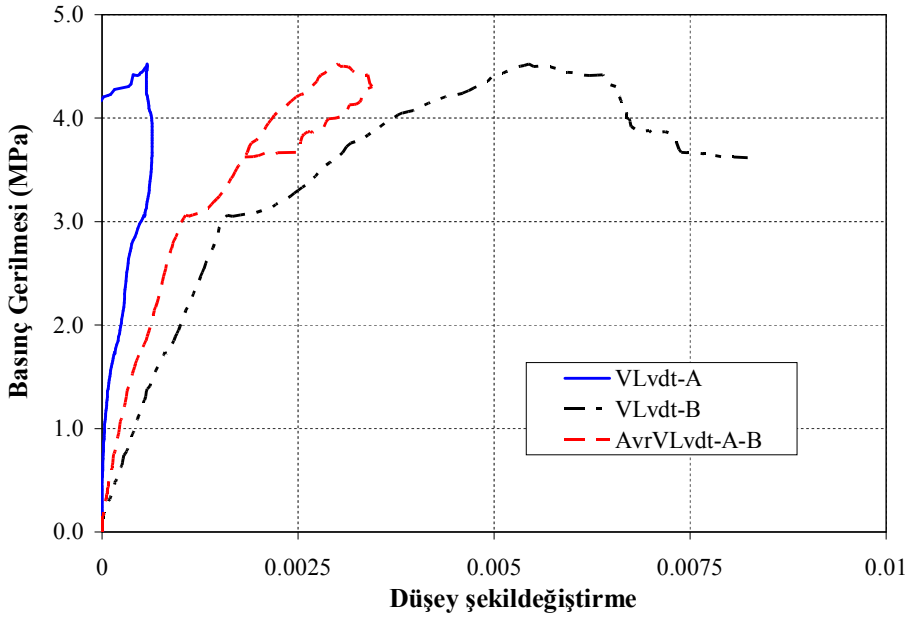
156.70 kN yük değerine gelindiğinde numunenin B yüzünde daha önceden var olan b1 çatlağı, A yüzünde ise a7 çatlağı genişlemiştir. 149.00 kN yük değerine gelindiğinde a2 ve a8 çatlakları genişlemiştir. 136.00 kN yük değerine gelindiğinde ise b1 çatlağı genişlemiş, sıvanın ayrılması gerçekleşmiştir.

Numunenin her iki yüzünde yer alan yerdeğiştirme ölçerlerin okuduğu değerler incelenmiştir. En büyük yük olan 168.60 kN değerine ulaştığında A yüzünde düşey yerdeğiştirme ölçer 0.16 mm kısalma, B yüzünde ise 1.51 mm kısalma ölçülmüştür. Yük değeri olan 168.60 kN a ulaştığında numunenin A yüzünde ki yatay

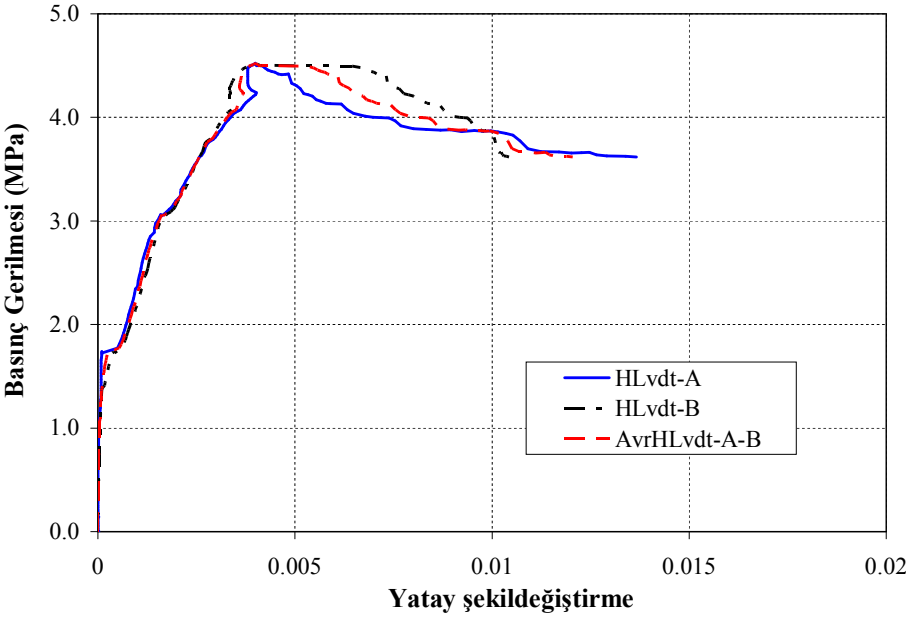
yerdeğiştirme ölçer 1.06 mm uzama yerdeğiştirmesi, B yüzünde ki ise 1.06 mm uzama yerdeğiştirmesi ölçmüştür.

Düşeyde yer alan yerdeğiştirme ölçerlerden elde edilen yük – yerdeğiştirme değerleri yardımıyla basınç gerilmesi – düşey şekildeğiştirme grafiklerine geçilmiş ve bu değerler incelenmiştir. Numunenin A yüzünde yer alan düşey yerdeğiştirme ölçer 4.52 MPa gerilme değerine ulaştığında 0.0006 düşey şekildeğiştirme, B yüzünde ise 4.52 MPa gerilme değerinde 0.0054 düşey şekildeğiştirme değeri okunmuştur. Her iki yüzden elde edilen grafiklerin ortalaması incelendiğinde 4.52 MPa gerilme değerinde 0.0030 düşey şekildeğiştirme olduğu görülmüştür. Şekil 3.27 de numunenin her iki yüzde yer alan düşey yerdeğiştirme ölçerden belirlenen basınç gerilmesi – düşey şekildeğiştirme grafikleri ve bu iki grafiğin ortalaması yer almaktadır. Grafik tepe yük değerine eriştikten sonra, azalan kolda 0.8 P_{max} değerine ulaşıldığında sonlandırılmıştır.

Yatayda yer alan yerdeğiştirme ölçerlerden elde edilen yük – yerdeğiştirme değerleri yardımıyla basınç gerilmesi – yatay şekildeğiştirme grafiklerine geçilmiş ve bu değerler incelenmiştir. Numunenin A yüzünde yer alan yerdeğiştirme ölçer 4.52 MPa gerilme değerine ulaştığında 0.0040 yatay şekildeğiştirme, B yüzünde ise 4.52 MPa gerilme değerinde 0.0040 yatay şekildeğiştirme değeri okunmuştur. Her iki yüzden elde edilen grafiklerin ortalaması 4.52 MPa gerilme değerinde 0.0040 yatay şekildeğiştirme olduğu görülmüştür. Şekil 3.28 de numunenin her iki yüzünde yer alan yatay şekildeğiştirme ölçerlerden belirlenen basınç gerilmesi – yatay şekildeğiştirme grafikleri ve bu iki grafiğin ortalaması yer almaktadır. Grafik tepe yük değerine ulaştıktan sonra, azalan kolda 0.8 P_{max} değerine ulaştığında sonlandırılmıştır.

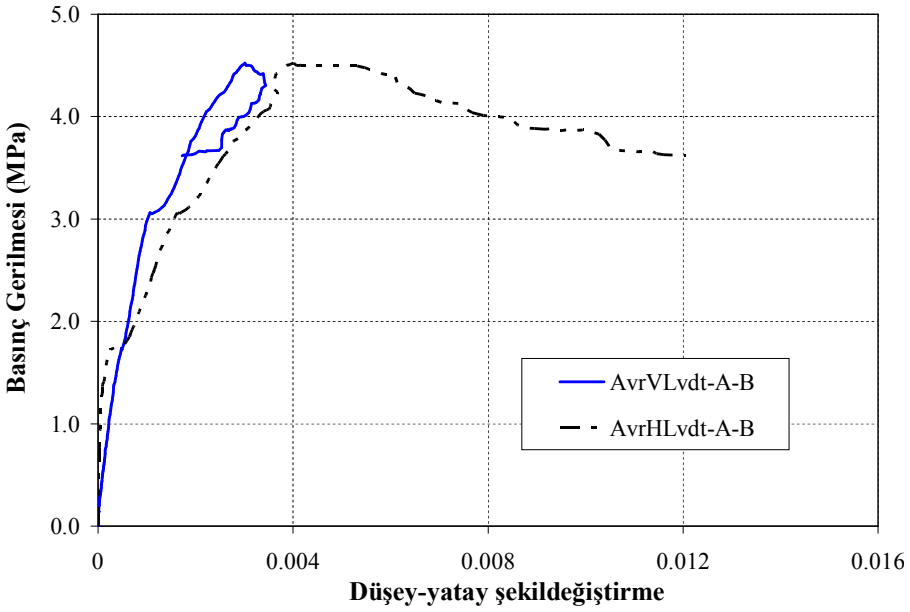


Şekil 3.27 : Gerilme – düşey şekildeğiştirme grafiği.



Şekil 3.28 : Gerilme – yatay şekildeğiştirme grafiği.

Ortalama grafiklere bakıldığında, 4.52 MPa düzeyinde gerçekleşen şekildeğiştirmenin düşey yönde 0.0030, yatay yönde ise 0.0040 olduğu görülmüştür. Ortalama yatay ve düşey gerilme – şekildeğiştirme grafikleri Şekil 3.29 da verilmiştir.

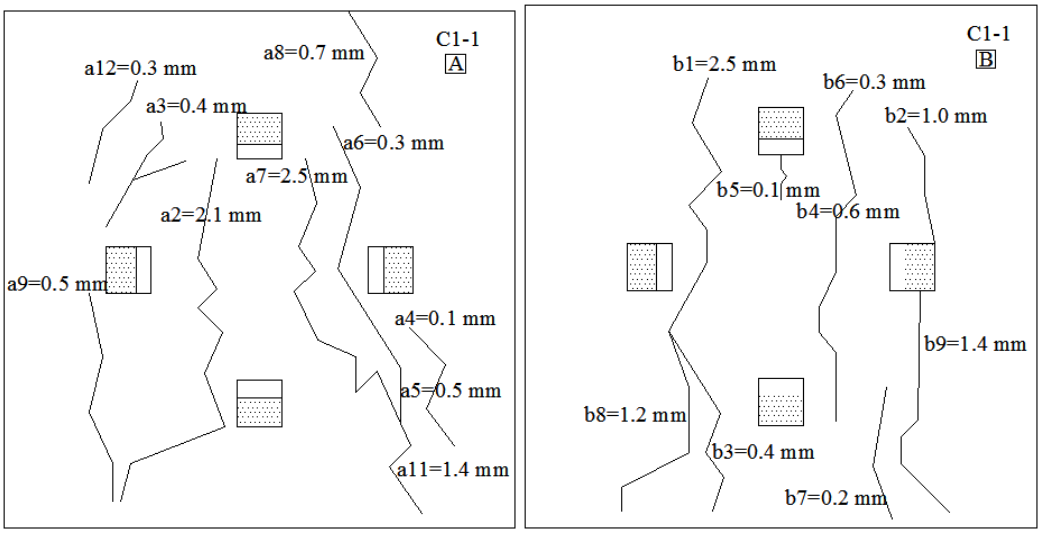


Şekil 3.29 : Gerilme – düşey şekildeğiştirme ve gerilme – yatay şekildeğiştirme grafiklerinin kıyaslanması.

Hesaplar sırasında numunenin elastisite modülü olarak, en büyük gerilmenin %5 ve %33 üne karşılık gelen noktaların doğrusal olarak birleştirilmesi durumundaki doğrunun eğimi alınmıştır. Numunenin elastisite modülü 3744 MPa olarak belirlenmiştir.

3.2.2 C1-1 numunesi hasar dağılımı

Deney sırasında, artan yükler etkisinde oluşan çatlaklar izlenmiştir. Yeni çatlaklar isim verilerek tanımlanmış, genişlikleri ölçülmüş ve numune üzerinde işaretlenmiştir. Numunenin A yüzünde yer alan çatlaklar a1, a2, a3,… gibi harflerle, B yüzünde ise b1, b2, b3,… gibi harflerle isimlendirilerek kaydedilmiştir. Bu şekilde isimlendirilen çatlaklara ait çatlak krokisi Şekil 3.30 da sunulmuştur. Çizelge 3.7 de numunenin A ve B yüzlerinde oluşan çatlak isimleri, karşı gelen yük düzeyleri ve çatlak genişlikleri verilmiştir. Şekil 3.31 de deneyin farklı aşamalarındaki hasarları gösteren fotoğraflar verilmiştir.



Şekil 3.30 : C1-1 numunesinin çatlak krokisi.

Çizelge 3.7 : Yük düzeylerine göre numunenin her iki yüzünde oluşan çatlak genişlikleri.

Çatlak Adı	Yük (P)	Çatlak Genişliği
	[kN]	[mm]
b1	5.3	2.50
b2	14.7	1.00
a1	22.5	>3.50
b3	22.5	0.40
b4	22.5	0.60
a2	53.7	2.10
b5	53.7	0.10
b6	68.9	0.30
a3	88.2	0.40
b7	113.7	0.20
a4	126.3	0.50
a5	126.3	0.50
b8	126.3	1.20
a6	144.0	0.30
a7	152.6	2.50
a8	159.8	0.70
b9	159.8	1.40
a9	168.6	0.50
a10	164.8	>3.50
a11	164.8	1.40
a12	164.8	0.30



Şekil 3.31 : C1-1 numunesinin deney sırasında ve deney sonunda görünümü.

3.2.3 C1-2 numunesi deneyi

Numunede ilk çatlaklar, 2.41 kN yük değerinde oluşmuştur. 179.70 kN a ulaştıktan sonra dayanım azalmaya başlamış, 85.56 kN a düşüldüğünde deney sonlandırılmıştır.

2.41 kN a karşılık elde edilen gerilme 0.06 MPa olarak kaydedilmiştir. Bu yük değerinde b1 çatlağı oluşmuştur. Bu aşamada numunenin A yüzünde herhangi bir çatlak oluşumu olmamıştır. 6.83 kN a karşılık elde edilen gerilme 0.18 MPa dır. Bu aşamada b2 ve a1 çatlakları oluşmuştur, dayanım 6.75 kN a düşmüştür. Bu çatlaktan sonra dayanım değerleri tekrardan artış göstermiştir.

11.07 kN a karşılık elde edilen gerilme 0.29 MPa dır. a2 çatlağı oluşmuştur. B yüzünde yeni herhangi bir çatlak oluşumu olmamıştır. 13.79 kN a karşılık elde edilen gerilme 0.36 MPa dır. Bu aşamada b3 çatlağı oluşmuştur. A yüzünde yeni çatlak oluşumu olmamıştır.

18.88 kN a karşılık elde edilen gerilme 0.50 MPa dır. Bu aşamada a3 çatlağı oluşmuştur. Numunenin B yüzünde yeni çatlak oluşumu olmamıştır. Dayanım 28.62

kN a ulaştığında gerilme 0.76 MPa olarak kaydedilmiş ve bu aşamada a1 çatlağı ilerlemiştir. B yüzünde ise b4 çatlağı oluşmuştur.

53.23 kN a karşılık elde edilen gerilme 1.41 MPa dır. Bu aşamada daha önceden oluşan b3 çatlağı ilerlemiştir. 85.16 kN a karşılık elde edilen gerilme 2.25 MPa dır. a4 çatlağı oluşmuştur. Dayanım 93.73 kN a ulaştığında B yüzünde b5 çatlağı oluşmuştur. A yüzünde daha önceden oluşan çatlaklar belirginleşmiş, yeni çatlak oluşumu olmamıştır.

108.00 kN a karşılık elde edilen gerilme 2.85 MPa dır. Daha önceden oluşan a1 çatlağı ilerlemiştir. B yüzünde ise b3 ve b5 çatlakları ilerlemiştir. Dayanım 126.20 kN a ulaştığında gerilme 3.33 MPa olarak kaydedilmiş ve a5 çatlağı oluşmuştur. 151.80 kN a karşılık elde edilen gerilme 4.01 MPa dır. a6, b6 ve b7 çatlakları oluşmuştur. Dayanım 170.20 kN a ulaştığında gerilme 4.49 MPa olarak kaydedilmiştir. a6, a7, a8 ve b8 çatlakları oluşmuştur.

179.70 kN a ulaştıktan sonra dayanımda azalma meydana gelmiştir. En büyük yük değeri olan 179.70 kN değerine ulaştığında gerilme 4.75 MPa olarak kaydedilmiştir. a9, b9 çatlakları oluşmuş ve dayanım 179.10 kN a düşmüştür. Gerilme 4.75 MPa dan 4.73 MPa kadar düşüş göstermiştir.

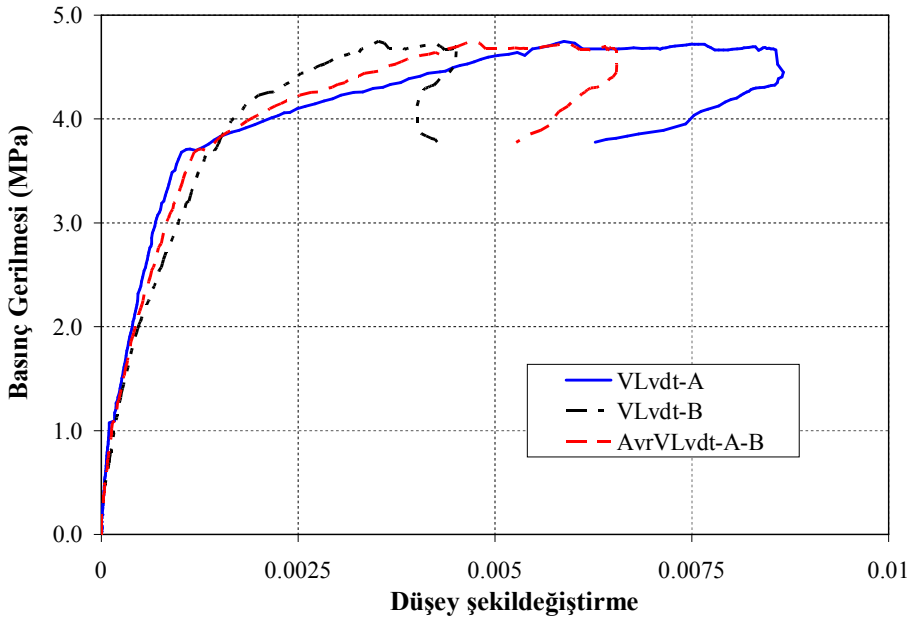
177.70 kN a gelindiğinde a10 çatlağı oluşmuş, a5 çatlağı ise ilerlemiştir. Dayanım 177.30 kN a düştüğünde b10 çatlağı oluşmuş, daha önceden oluşan çatlaklar ilerleyerek birleşmiştir. Aynı yük değerinde a11 çatlağı oluşmuştur. 177.10 kN yük değerine gelindiğinde gerilme 4.33 MPa dır. Bu aşamada a11 çatlağı ilerlemiştir. Dayanım 161.80 kN a düştüğünde a6 ve 10 çatlakları ilerlemiştir. Dayanım 158.50 kN a düştüğünde ise a6 ve a5 çatlakları genişlemiştir.

133.10 kN a gelindiğinde gerilme 3.52 MPa olarak kaydedilmiştir. a13 çatlağı oluşmuş, b9 çatlağı genişleyerek sıvanın ayrılmasına neden olmuştur. Dayanım 117.50 kN a düştüğünde A yüzünün sol alt tarafındaki bölgede sıva numuneden ayrılmıştır. a14 çatlağı oluşmuştur. Dayanım 105.70 kN a düştüğünde yatay a15, a16 ve a17 çatlakları oluşmuştur.

Numunenin her iki yüzünde yer alan yerdeğiştirme ölçerlerin okuduğu değerler incelenmiştir. En büyük yük olan 179.70 kN değerine ulaştığında A yüzünde, düşey yerdeğiştirme ölçer 1.59 mm kısalma, B yüzünde ise 0.99 mm kısalma ölçülmüştür. Yük değeri olan 179.70 kN a ulaştığında numunenin A yüzünde ki yatay

yerdeğiştirme ölçer 0.81 mm uzama yerdeğiştirmesi, B yüzünde ki ise 0.97 mm uzama yerdeğiştirmesi ölçmüştür.

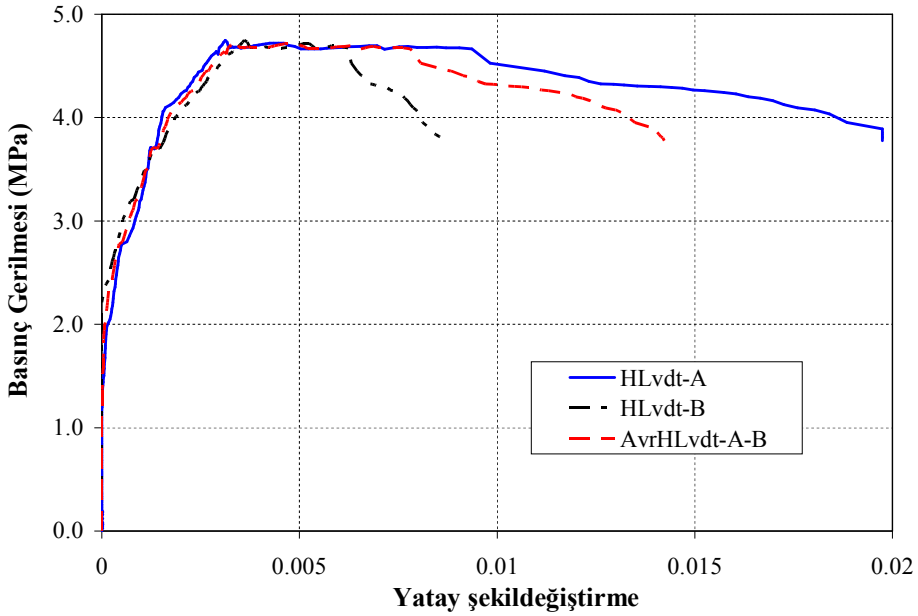
Düşeyde yer alan yerdeğiştirme ölçerlerden elde edilen yük – yerdeğiştirme değerleri yardımıyla basınç gerilmesi – düşey şekildeğiştirme grafiklerine geçilmiş ve bu değerler incelenmiştir. Numunenin A yüzünde yer alan düşey yerdeğiştirme ölçer 4.75 MPa gerilme değerine ulaştığında 0.0059 düşey şekildeğiştirme, B yüzünde ise 4.75 MPa gerilme değerinde 0.0035 düşey şekildeğiştirme değeri okunmuştur. Her iki yüzden elde edilen grafiklerin ortalaması incelendiğinde 4.75 MPa gerilme değerinde 0.0047 düşey şekildeğiştirme olduğu görülmüştür. Şekil 3.32 de numunenin her iki yüzde yer alan düşey yerdeğiştirme ölçerden belirlenen basınç gerilmesi – düşey şekildeğiştirme grafikleri ve bu iki grafiğin ortalaması yer almaktadır. Grafik tepe yük değerine eriştikten sonra, azalan kolda 0.8 P_{max} değerine ulaşıldığında sonlandırılmıştır.



Şekil 3.32 : Gerilme – düşey şekildeğiştirme grafiği.

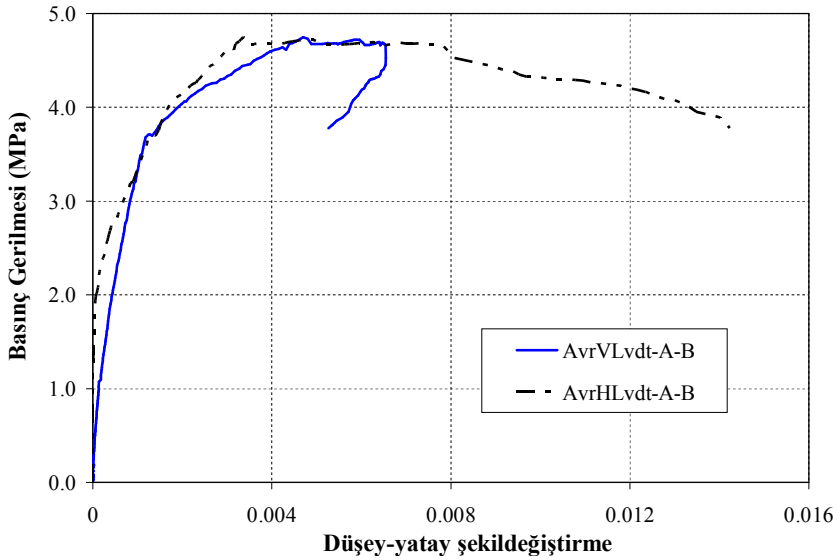
Yatayda yer alan yerdeğiştirme ölçerlerden elde edilen yük – yerdeğiştirme değerleri yardımıyla basınç gerilmesi – yatay şekildeğiştirme grafiklerine geçilmiş ve bu değerler incelenmiştir. Numunenin A yüzünde yer alan yerdeğiştirme ölçer 4.75 MPa gerilme değerine ulaştığında 0.0031 yatay şekildeğiştirme, B yüzünde ise 4.75 MPa gerilme değerinde 0.0036 yatay şekildeğiştirme değeri okunmuştur. Her iki yüzden elde edilen grafiklerin ortalaması 4.75 MPa gerilme değerinde 0.0034 yatay şekildeğiştirme olduğu görülmüştür. Şekil 3.33 de numunenin her iki yüzünde yer

alan yatay şekildeğiştirme ölçerlerden belirlenen basınç gerilmesi – yatay şekildeğiştirme grafikleri ve bu iki grafiğin ortalaması yer almaktadır. Grafik tepe yük değerine ulaştıktan sonra, azalan kolda 0.8 P_{max} değerine ulaştığında sonlandırılmıştır.



Şekil 3.33 : Gerilme – yatay şekildeğiştirme grafiği.

Ortalama grafiklere bakıldığında, 4.75 MPa düzeyinde gerçekleşen şekildeğiştirmenin düşey yönde 0.0047, yatay yönde ise 0.0034 olduğu görülmüştür. Ortalama yatay ve düşey gerilme – şekildeğiştirme grafikleri Şekil 3.34 de verilmiştir.

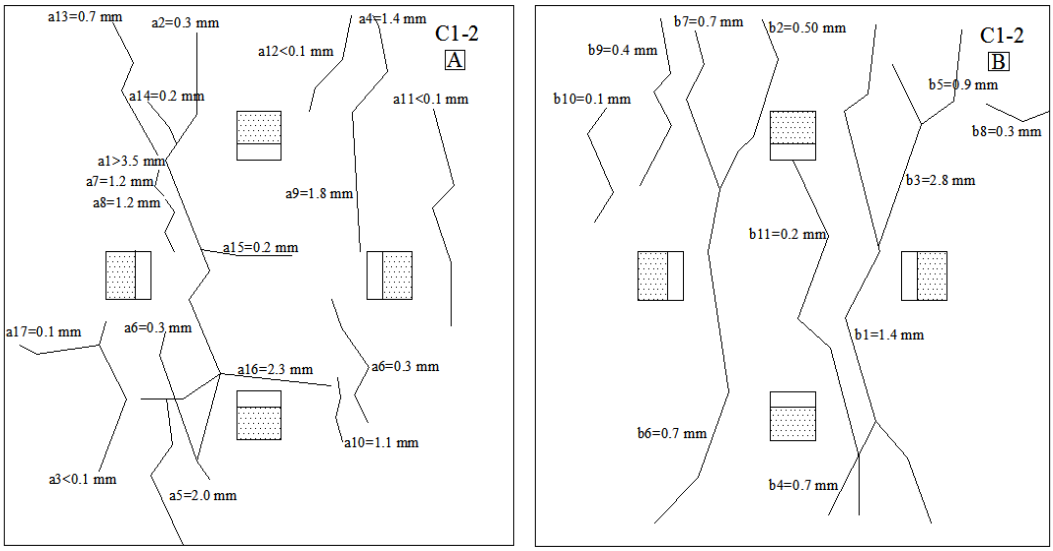


Şekil 3.34 : Gerilme – düşey şekildeğiştirme ve gerilme – yatay şekildeğiştirme grafiklerinin kıyaslanması.

Hesaplar sırasında numunenin elastisite modülü olarak, en büyük gerilmenin %5 ve %33 üne karşılık gelen noktaların doğrusal olarak birleştirilmesi durumundaki doğrunun eğimi alınmıştır. Numunenin elastisite modülü 4687 MPa olarak belirlenmiştir.

3.2.4 C1-2 numunesi hasar dağılımı

Deney sırasında, artan yükler etkisinde oluşan çatlaklar izlenmiştir. Yeni çatlaklar isim verilerek tanımlanmış, genişlikleri ölçülmüş ve numune üzerinde işaretlenmiştir. Numunenin A yüzünde yer alan çatlaklar a1, a2, a3,… gibi harflerle, B yüzünde ise b1, b2, b3,… gibi harflerle isimlendirilerek kaydedilmiştir. Bu şekilde isimlendirilen çatlaklara ait çatlak krokisi Şekil 3.35 de sunulmuştur. Çizelge 3.8 de numunenin A ve B yüzlerinde oluşan çatlak isimleri, karşı gelen yük düzeyleri ve çatlak genişlikleri verilmiştir. Şekil 3.36 da deneyin farklı aşamalarındaki hasarları gösteren fotoğraflar verilmiştir.



Şekil 3.35 : C1-2 numunesinin çatlak krokisi.

Çizelge 3.8 : Yük düzeylerine göre numunenin her iki yüzünde oluşan çatlak genişlikleri.

Çatlak Adı	Yük (P)	Çatlak Genişliği
	[kN]	[mm]
b1	2.4	1.40
a1	6.8	>3.50
b2	6.8	0.50
a2	11.1	0.30
b3	13.8	2.80
a3	18.9	<0.10
b4	28.6	0.70
a4	85.2	1.40
b5	93.7	0.90
a5	126.2	2.00
a6	151.8	0.30
b6	151.8	0.70
b7	151.8	0.70
a7	170.2	1.20
a8	170.2	1.20
b8	170.2	0.30
a9	179.7	1.80
b9	179.7	0.40
a10	177.7	1.10
b10	177.3	<0.10
a11	177.3	<0.10
a12	177.1	<0.10
b11	177.1	0.20
a13	133.1	0.70
a14	117.5	0.20
a15	105.7	0.20
a16	105.7	2.30
a17	105.7	<0.10







Şekil 3.36 : C1-2 numunesinin deney sırasında ve deney sonunda görünümü.

3.2.5 C2-1 numunesi deneyi

Numunede ilk çatlaklar, 2.88 kN yük değerinde oluşmuştur. 94.52 kN a ulaştıktan sonra dayanım azalmaya başlamış, 34.43 kN a düşüldüğünde deney sonlandırılmıştır.

2.88 kN a karşılık elde edilen gerilme 0.08 MPa olarak kaydedilmiştir. Bu yük değerinde b1 ve b2 çatlakları oluşmuştur. Bu aşamada numunenin A yüzünde herhangi bir çatlak yoktur.

Dayanım 5.00 kN yükseldiğinde gerilme 0.14 MPa olarak kaydedilmiştir. b3 çatlağı oluşmuştur. Numunenin A yüzünde herhangi bir çatlak oluşumu gözlenmemiştir. Dayanım 51.54 kN a eriştiğinde gerilme 1.43 MPa olarak kaydedilmiştir. b4 çatlağı oluşmuştur ve daha önceden oluşmuş olan b3 çatlağı ilerlemiştir. Bu aşamada numunenin A yüzünde çatlak oluşumu olmamıştır.

59.98 kN a karşılık gelen gerilme 1.66 MPa dır. Bu aşamada b5 çatlağı oluşmuştur. Dayanım 93.08 kN a eriştiğinde gerilme 2.58 MPa olarak kaydedilmiştir. b6 çatlağı oluşmuştur ve b4 çatlağı ilerlemiştir. Aynı anda numunenin A yüzünde a1 çatlağı oluşmuştur.

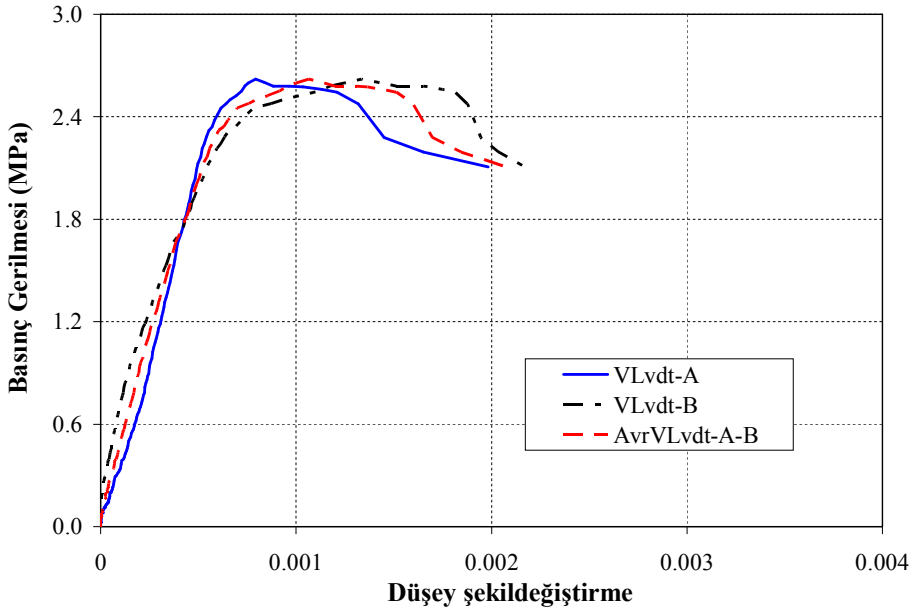
94.52 kN a ulaştıktan sonra dayanımda azalma meydana gelmiştir. En büyük yük değeri olan 94.52 kN değerine ulaştığında gerilme 2.62 MPa olarak kaydedilmiştir. Dayanım 79.12 kN a gelindiğinde b1 çatlağı ilerlemiş, dayanım 76.00 kN a düşmüştür. Gerilme değeri 2.19 MPa dan 2.11 MPa a düşüş göstermiştir. Dayanım 69.58 kN a düştüğünde gerilme 1.93 MPa olarak kaydedilmiştir ve a2 çatlağı oluşmuştur.

Numunenin her iki yüzünde yer alan yerdeğiştirme ölçerlerin okuduğu değerler incelenmiştir. En büyük yük olan 94.52 kN değerine ulaştığında A yüzünde düşey

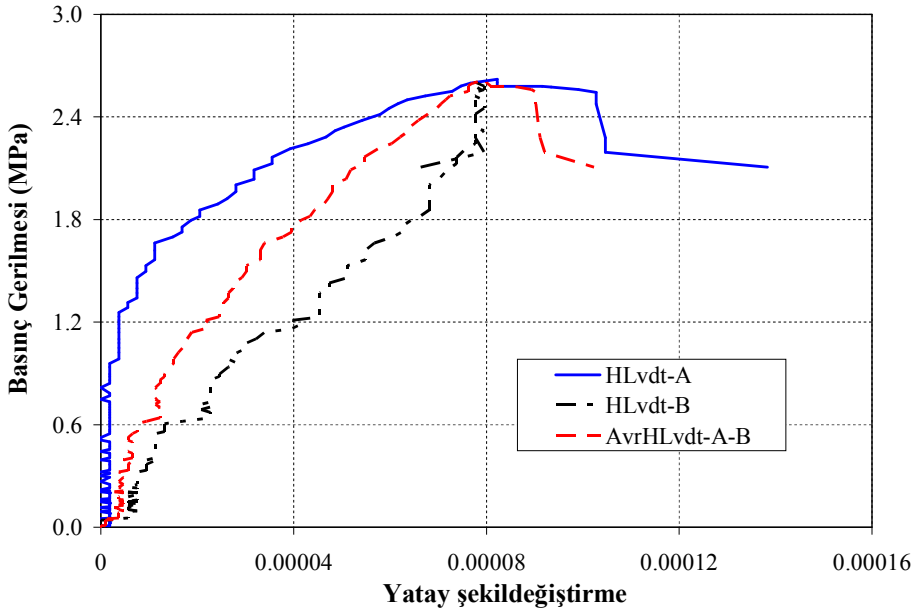
yerdeğiştirme ölçer 0.22 mm kısalma, B yüzünde ise 0.36 mm kısalma ölçülmüştür. Yük değeri olan 94.52 kN a ulaştığında numunenin A yüzünde ki yatay yerdeğiştirme ölçer 0.02 mm uzama yerdeğiştirmesi, B yüzünde ki ise 0.02 mm uzama yerdeğiştirmesi ölçmüştür.

Düşeyde yer alan yerdeğiştirme ölçerlerden elde edilen yük – yerdeğiştirme değerleri yardımıyla basınç gerilmesi – düşey şekildeğiştirme grafiklerine geçilmiş ve bu değerler incelenmiştir. Numunenin A yüzünde yer alan düşey yerdeğiştirme ölçer 2.62 MPa gerilme değerine ulaştığında 0.0008 düşey şekildeğiştirme, B yüzünde ise 2.62 MPa gerilme değerinde 0.0014 düşey şekildeğiştirme değeri okunmuştur. Her iki yüzden elde edilen grafiklerin ortalaması incelendiğinde 2.62 MPa gerilme değerinde 0.0011 düşey şekildeğiştirme olduğu görülmüştür. Şekil 3.37 de numunenin her iki yüzde yer alan düşey yerdeğiştirme ölçerden belirlenen basınç gerilmesi – düşey şekildeğiştirme grafikleri ve bu iki grafiğin ortalaması yer almaktadır. Grafik tepe yük değerine eriştikten sonra, azalan kolda 0.8 P_{max} değerine ulaşıldığında sonlandırılmıştır. Yatayda yer alan yerdeğiştirme ölçerlerden elde edilen yük – yerdeğiştirme değerleri yardımıyla basınç gerilmesi – yatay şekildeğiştirme grafiklerine geçilmiş ve bu değerler incelenmiştir. Numunenin A yüzünde yer alan yerdeğiştirme ölçer 2.62 MPa gerilme değerine ulaştığında 0.00008 yatay şekildeğiştirme, B yüzünde ise 2.62 MPa gerilme değerinde 0.00008 yatay şekildeğiştirme değeri okunmuştur. Her iki yüzden elde edilen grafiklerin ortalaması 2.62 MPa gerilme değerinde 0.00008 yatay şekildeğiştirme olduğu görülmüştür. Şekil 3.38 de numunenin her iki yüzünde yer alan yatay şekildeğiştirme ölçerlerden belirlenen basınç gerilmesi – yatay şekildeğiştirme grafikleri ve bu iki grafiğin ortalaması yer almaktadır. Grafik tepe yük değerine ulaştıktan sonra, azalan kolda 0.8 P_{max} değerine ulaştığında sonlandırılmıştır.

Ortalama grafiklere bakıldığında, 2.62 MPa düzeyinde gerçekleşen şekildeğiştirmenin düşey yönde 0.0011, yatay yönde ise 0.00008 olduğu görülmüştür. Ortalama yatay ve düşey gerilme – şekildeğiştirme grafikleri Şekil 3.39 da verilmiştir.

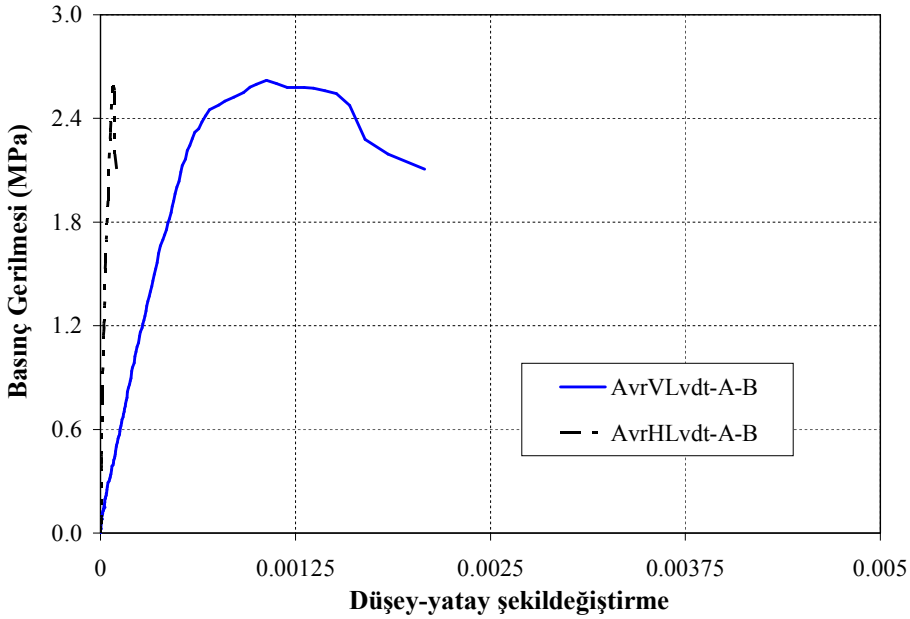


Şekil 3.37 : Gerilme – düşey şekildeğiştirme grafiği.



Şekil 3.38 : Gerilme – yatay şekildeğiştirme grafiği.

Hesaplar sırasında numunenin elastisite modülü olarak, en büyük gerilmenin %5 ve %33 üne karşılık gelen noktaların doğrusal olarak birleştirilmesi durumundaki doğrunun eğimi alınmıştır. Numunenin elastisite modülü 4276 MPa olarak belirlenmiştir.



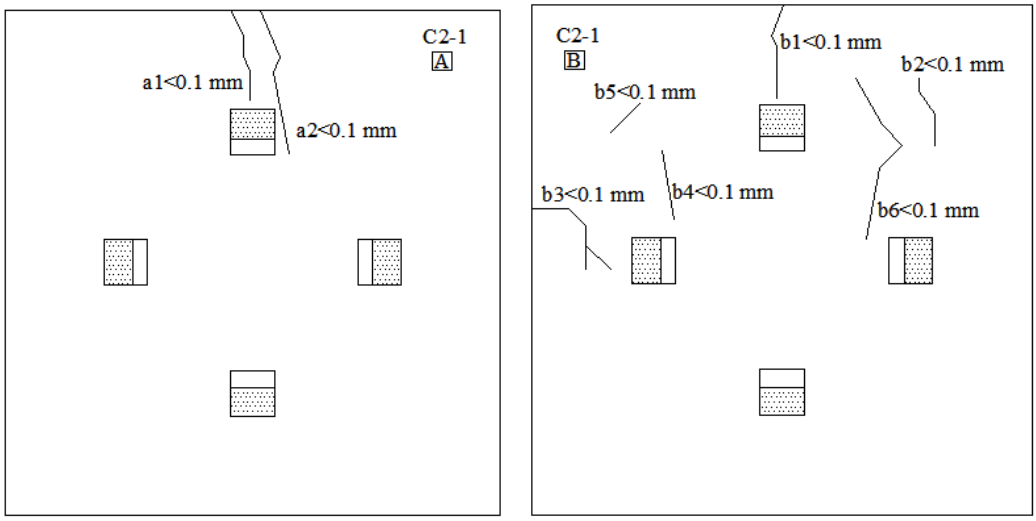
Şekil 3.39 : Gerilme – düşey şekildeğiştirme ve gerilme – yatay şekildeğiştirme grafiklerinin kıyaslanması.

3.2.6 C2-1 numunesi hasar dağılımı

Deney sırasında, artan yükler etkisinde oluşan çatlaklar izlenmiştir. Yeni çatlaklar isim verilerek tanımlanmış, genişlikleri ölçülmüş ve numune üzerinde işaretlenmiştir. Numunenin A yüzünde yer alan çatlaklar a1, a2, a3,… gibi harflerle, B yüzünde ise b1, b2, b3,… gibi harflerle isimlendirilerek kaydedilmiştir. Bu şekilde isimlendirilen çatlaklara ait çatlak krokisi Şekil 3.40 da sunulmuştur. Çizelge 3.9 da numunenin A ve B yüzlerinde oluşan çatlak isimleri, karşı gelen yük düzeyleri ve çatlak genişlikleri verilmiştir. Şekil 3.41 de deneyin farklı aşamalarındaki hasarları gösteren fotoğraflar verilmiştir.

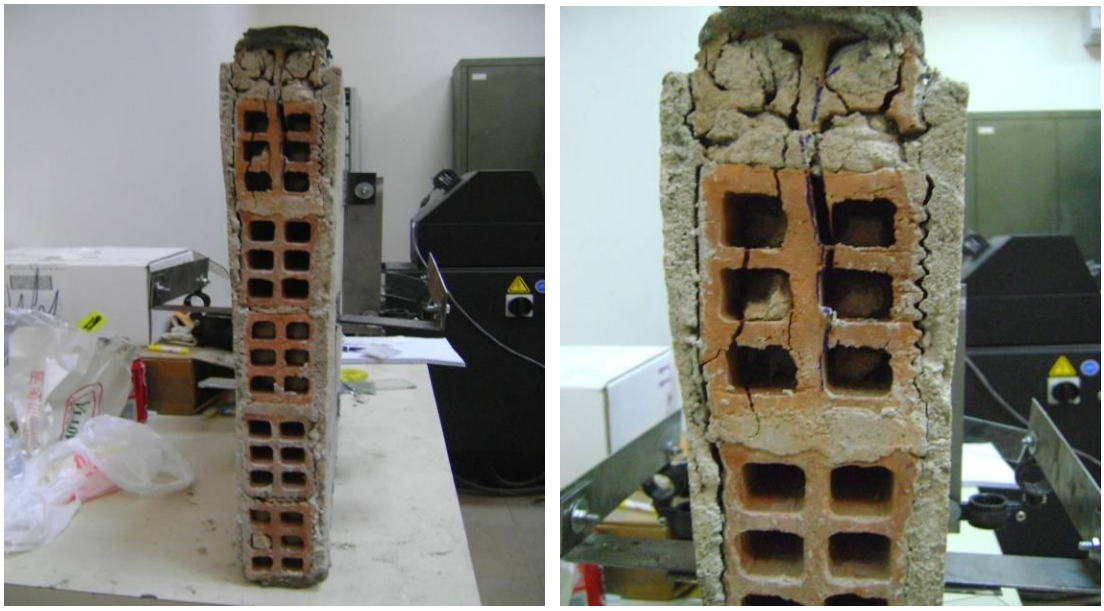
Çizelge 3.9 : Yük düzeylerine göre numunenin her iki yüzünde oluşan çatlak genişlikleri.

Çatlak Adı	Yük (P)	Çatlak Genişliği
	[kN]	[mm]
b1	2.9	<0.10
b2	2.9	<0.10
b3	5.0	<0.10
b4	51.5	<0.10
b5	60.0	<0.10
b6	93.1	<0.10
a1	93.1	<0.10
a2	69.6	<0.10



Şekil 3.40 : C2-1 numunesinin çatlak krokisi.





Şekil 3.41 : C2-1 numunesinin deney sırasında ve deney sonunda görünümü.

3.2.7 C2-2 numunesi deneyi

Numunede ilk çatlaklar, 12.12 kN yük değerinde oluşmuştur. 83.68 kN a ulaştıktan sonra dayanım azalmaya başlamış, 35.79 kN a düşüldüğünde deney sonlandırılmıştır.

12.12 kN a karşılık elde edilen gerilme 0.32 MPa olarak kaydedilmiştir. Bu yük değerinde b1 çatlağı oluşmuştur. Bu aşamada numunenin A yüzünde herhangi bir çatlak oluşumu olmamıştır. 82.15 kN a karşılık gelen gerilme 2.19 MPa dır. Bu aşamada a1 çatlağı oluşmuştur. Numunenin B yüzünde yeni çatlak oluşumu olmamıştır.

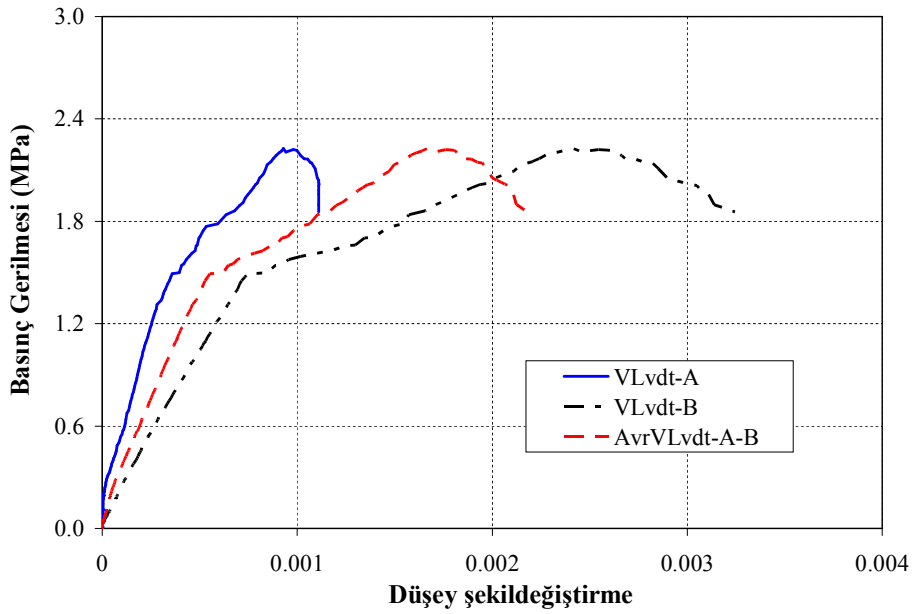
83.68 kN a ulaştıktan sonra dayanımda azalma meydana gelmiştir. En büyük yük değeri olan 83.68 kN değerine ulaştığında gerilme 2.23 MPa olarak kaydedilmiştir. Dayanım 75.77 kN a gelindiğinde b2 çatlağı oluşmuştur. A yüzünde yeni çatlak oluşumu olmamıştır.

Dayanım 64.48 kN a düştüğünde a2 çatlağı oluşmuştur. Numunenin B yüzünde yeni çatlak oluşumu olmamıştır. 51.58 kN a ulaşıldığında ise en büyük çatlak genişliğine sahip b3 çatlağı oluşmuştur.

Numunenin her iki yüzünde yer alan yerdeğiştirme ölçerlerin okuduğu değerler incelenmiştir. En büyük yük olan 83.68 kN değerine ulaştığında A yüzünde düşey yerdeğiştirme ölçer 0.25 mm kısalma, B yüzünde ise 0.65 mm kısalma ölçülmüştür. Yük değeri olan 83.68 kN a ulaştığında numunenin A yüzünde ki yatay

yerdeğiştirme ölçer 0.01 mm uzama yerdeğiştirmesi, B yüzünden ise sağlıklı okuma alınamamıştır.

Düşeyde yer alan yerdeğiştirme ölçerlerden elde edilen yük – yerdeğiştirme değerleri yardımıyla basınç gerilmesi – düşey şekildeğiştirme grafiklerine geçilmiş ve bu değerler incelenmiştir. Numunenin A yüzünde yer alan düşey yerdeğiştirme ölçer 2.23 MPa gerilme değerine ulaştığında 0.0009 düşey şekildeğiştirme, B yüzünde ise 2.23 MPa gerilme değerinde 0.0024 düşey şekildeğiştirme değeri okunmuştur. Her iki yüzden elde edilen grafiklerin ortalaması incelendiğinde 2.23 MPa gerilme değerinde 0.0017 düşey şekildeğiştirme olduğu görülmüştür. Şekil 3.42 de numunenin her iki yüzde yer alan düşey yerdeğiştirme ölçerden belirlenen basınç gerilmesi – düşey şekildeğiştirme grafikleri ve bu iki grafiğin ortalaması yer almaktadır. Grafik tepe yük değerine eriştikten sonra, azalan kolda 0.8 P_{max} değerine ulaşıldığında sonlandırılmıştır.

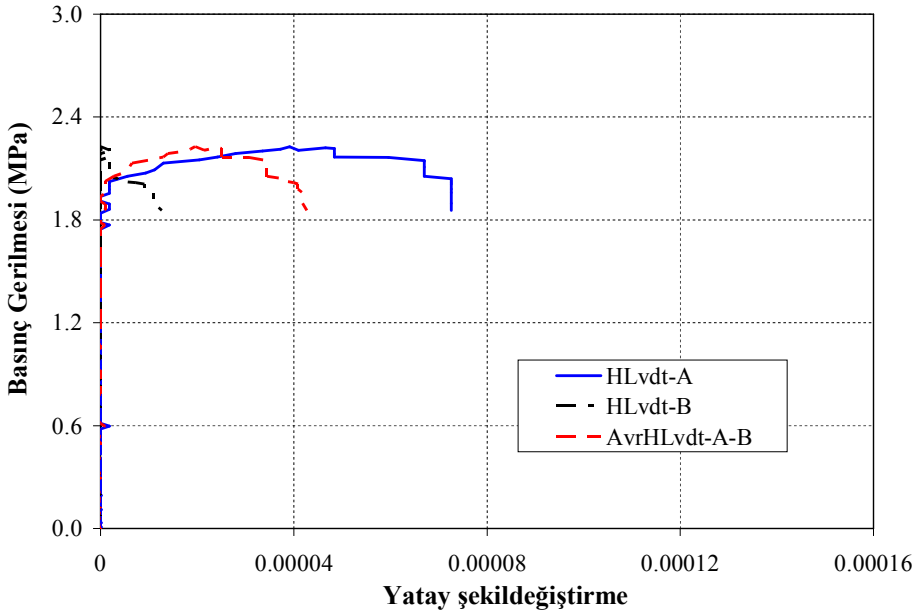


Şekil 3.42 : Gerilme – düşey şekildeğiştirme grafiği.

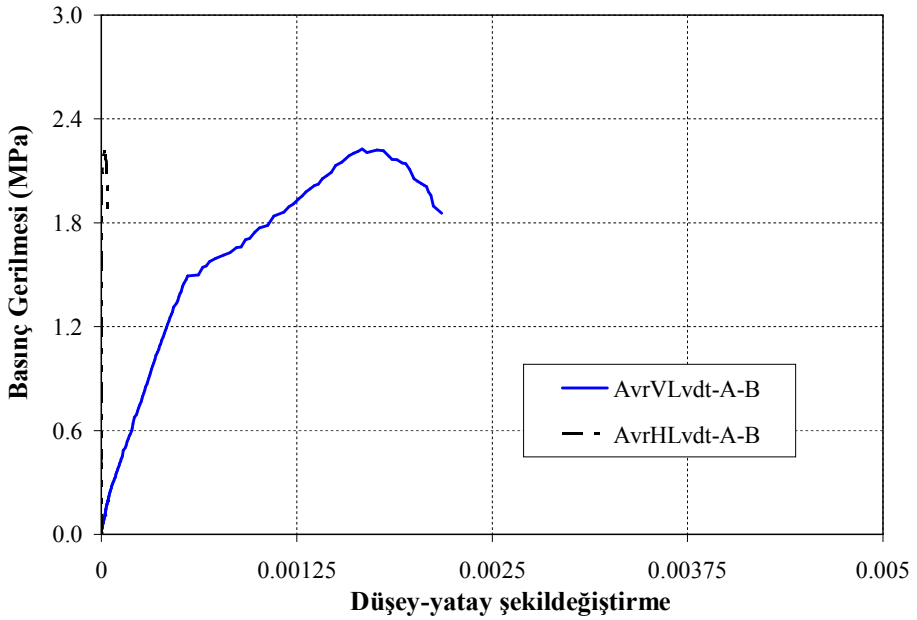
Yatayda yer alan yerdeğiştirme ölçerlerden elde edilen yük – yerdeğiştirme değerleri yardımıyla basınç gerilmesi – yatay şekildeğiştirme grafiklerine geçilmiş ve bu değerler incelenmiştir. Her iki yüzden elde edilen grafiklerin ortalaması 2.23 MPa gerilme değerinde 0.00003 yatay şekildeğiştirme olduğu görülmüştür. Şekil 3.43 de numunenin her iki yüzünde yer alan yatay şekildeğiştirme ölçerlerden belirlenen basınç gerilmesi – yatay şekildeğiştirme grafikleri ve bu iki grafiğin ortalaması yer

almaktadır. Grafik tepe yük değerine ulaştıktan sonra, azalan kolda 0.8 P_{max} değerine ulaştığında sonlandırılmıştır.

Ortalama grafiklere bakıldığında, 2.23 MPa düzeyinde gerçekleşen şekildeğiştirmenin düşey yönde 0.0017, yatay yönde ise 0.00003 olduğu görülmüştür. Ortalama yatay ve düşey gerilme – şekildeğiştirme grafikleri Şekil 3.44 de verilmiştir.



Şekil 3.43 : Gerilme – yatay şekildeğiştirme grafiği.



Şekil 3.44 : Gerilme – düşey şekildeğiştirme ve gerilme – yatay şekildeğiştirme grafiklerinin kıyaslanması.

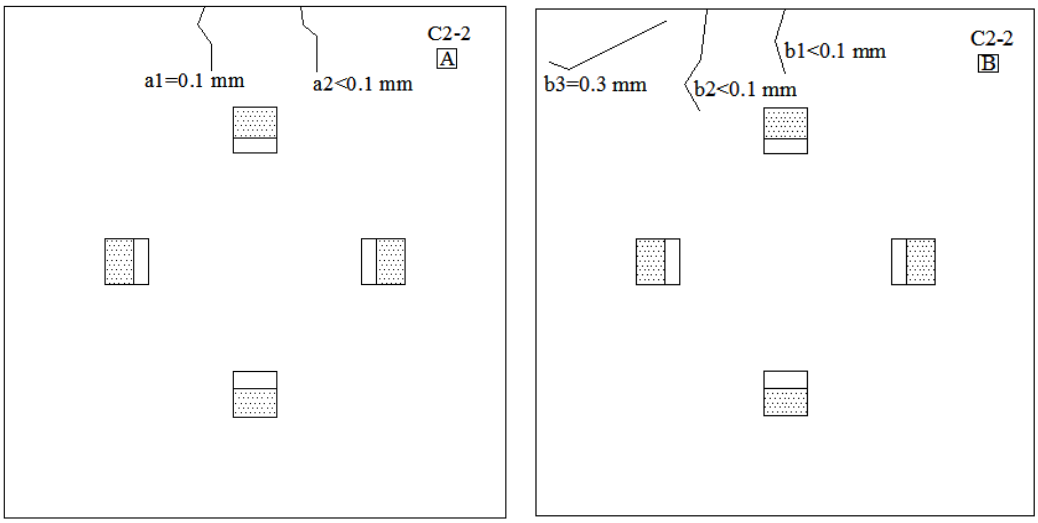
Hesaplar sırasında numunenin elastisite modülü olarak, en büyük gerilmenin %5 ve %33 üne karşılık gelen noktaların doğrusal olarak birleştirilmesi durumundaki doğrunun eğimi alınmıştır. Numunenin elastisite modülü 2781 MPa olarak belirlenmiştir.

3.2.8 C2-2 numunesi hasar dağılımı

Deney sırasında, artan yükler etkisinde oluşan çatlaklar izlenmiştir. Yeni çatlaklar isim verilerek tanımlanmış, genişlikleri ölçülmüş ve numune üzerinde işaretlenmiştir. Numunenin A yüzünde yer alan çatlaklar a1, a2, a3,… gibi harflerle, B yüzünde ise b1, b2, b3,… gibi harflerle isimlendirilerek kaydedilmiştir. Bu şekilde isimlendirilen çatlaklara ait çatlak krokisi Şekil 3.45 de sunulmuştur. Çizelge 3.10 da numunenin A ve B yüzlerinde oluşan çatlak isimleri, karşı gelen yük düzeyleri ve çatlak genişlikleri verilmiştir. Şekil 3.46 da deneyin farklı aşamalarındaki hasarları gösteren fotoğraflar verilmiştir.

Çizelge 3.10 : Yük düzeylerine göre numunenin her iki yüzünde oluşan çatlak genişlikleri.

Çatlak Adı	Yük (P)	Çatlak Genişliği
	[kN]	[mm]
b1	12.1	<0.10
a1	82.2	<0.10
b2	75.8	<0.10
a2	64.7	<0.10
b3	51.6	0.30



Şekil 3.45 : C2-2 numunesinin çatlak krokisi



Şekil 3.46 : C2-2 numunesinin deney sırasında ve deney sonunda görünümü.

3.2.9 C3-1 numunesi deneyi

Numunede ilk çatlaklar, 18.06 kN yük değerinde oluşmuştur. 36.81 kN a ulaştıktan sonra dayanım azalmaya başlamış, 7.20 kN a düşüldüğünde deney sonlandırılmıştır.

18.06 kN a karşı gelen gerilme 0.30 MPa olarak kaydedilmiştir. a1 çatlağı oluşmuştur. Numunenin B yüzünde herhangi bir çatlak yoktur. Dayanım 27.02 kN a ulaştığında gerilme 0.45 MPa dır. a2 çatlağı oluşmuştur. Aynı anda B yüzünde yeni çatlaklar oluşmaya başlamıştır. b1, b2, b3 ve b4 çatlakları oluşmuştur.

Dayanım 36.81 kN a ulaştıktan sonra dayanımda azalma meydana gelmiştir. En büyük yük değeri olan 36.81 kN değerine ulaştığında gerilme 0.61 MPa olarak kaydedilmiştir. Bu aşamada daha önceden oluşmuş olan a2 ve b4 çatlakları genişlemiş, yük değerini 29.81 kN a kadar düşürmüştür. Gerilme değeri de 0.61 MPa dan 0.50 MPa kadar düşüş göstermiştir. Daha sonra dayanım bir miktar daha artış göstermiştir. 30.05 kN a ulaştığında gerilme 0.50 MPa dır. a3 çatlağı oluşmuştur. 31.50 kN a ulaştığında ise b5 ve b6 çatlakları oluşmuştur.

30.00 kN değerine gelindiğinde a4, b7 ve b8 çatlakları oluşmuştur. Daha önceden oluşmuş olan b6 çatlağı ilerlemiştir. 27.60 kN a gelindiğinde ise a5 ve b9 çatlakları oluşmuştur. b7 çatlağı da genişlemiştir.

Numunenin her iki yüzünde yer alan yerdeğiştirme ölçerlerin okuduğu değerler incelenmiştir. Tepe yük değeri olan 36.81 kN değerinde numunenin A yüzünde, düşey yerdeğiştirme ölçer 0.24 mm kısalma B yüzünde ise 0.08 mm kısalma ölçmüştür. Aynı yük değerinde numunenin A yüzünde yer alan yatay yerdeğiştirme ölçer 0.003 mm uzama yerdeğiştirmesi, B yüzünde ise 0.01 mm uzama yerdeğiştirmesi ölçmüştür.

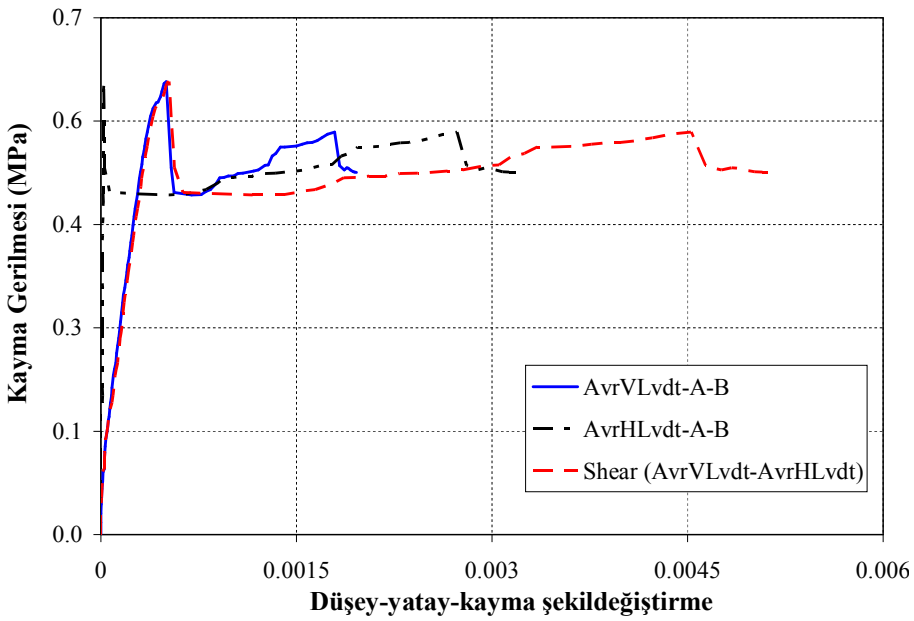
Düşeyde yer alan yerdeğiştirme ölçerlerden elde edilen gerilme yük – yerdeğiştirme değerleri yardımıyla kayma gerilmesi – düşey şekildeğiştirme grafiklerine geçilmiş ve bu değerler incelenmiştir. Numunenin A yüzünde yer alan düşey yerdeğiştirme ölçer 0.61 MPa gerilme değerine ulaştığında 0.0008 düşey şekildeğiştirme, B yüzünde ise 0.61 MPa gerilme değerinde 0.0002 düşey şekildeğiştirme değeri okunmuştur. Her iki yüzden elde edilen grafiklerin ortalaması incelendiğinde 0.61 MPa gerilme değerinde 0.0005 düşey şekildeğiştirme olduğu görülmüştür.

Yatayda yer alan yerdeğiştirme ölçerlerden elde edilen yük – yerdeğiştirme değerleri yardımıyla kayma gerilmesi – yatay şekildeğiştirme grafiklerine geçilmiş ve bu değerler incelenmiştir. Numunenin A yüzünde yer alan yatay yerdeğiştirme ölçer 0.61 MPa gerilme değerine ulaştığında 0.00001 yatay şekildeğiştirme, B yüzünde ise 0.61 MPa ise 0.00003 yatay şekildeğiştirme değeri okunmuştur. Her iki yüzden elde

edilen grafiklerin ortalaması 0.61 MPa gerilme değerinde 0.00002 yatay şekildeğiştirme olduğu görülmüştür.

Ortalama değerler incelendiğinde, 0.61 MPa düzeyinde gerçekleşen şekildeğiştirmenin düşey yönde 0.0005, yatay yönde ise 0.00002 olduğu görülmüştür. Bu grafikler kullanılarak kayma gerilmesi – kayma şekildeğiştirmesi grafiği çizilmiştir. 0.61 MPa düzeyinde kayma şekildeğiştirmesinin 0.0006 mertebesinde olduğu görülmüştür. Grafikler tepe yük değerine eriştikten sonra, azalan kolda 0.8 P_{max} değerine ulaşıldığında sonlandırılmıştır. Ortalama yatay ve düşey gerilme – şekildeğiştirme grafikleri ve kayma gerilmesi – kayma şekildeğiştirme ilişkisi Şekil 3.47 de verilmiştir.

Hesaplar sırasında numunenin kayma modülü olarak, en büyük gerilmenin %5 ve %33 üne karşılık gelen noktaların doğrusal olarak birleştirilmesi durumundaki doğrunun eğimi alınmıştır. Numunenin kayma modülü 1546 MPa olarak belirlenmiştir.



Şekil 3.47 : Gerilme – düşey şekildeğiştirme, gerilme – yatay şekildeğiştirme ve gerilme – yatay şekildeğiştirme grafiklerinin kıyaslanması.

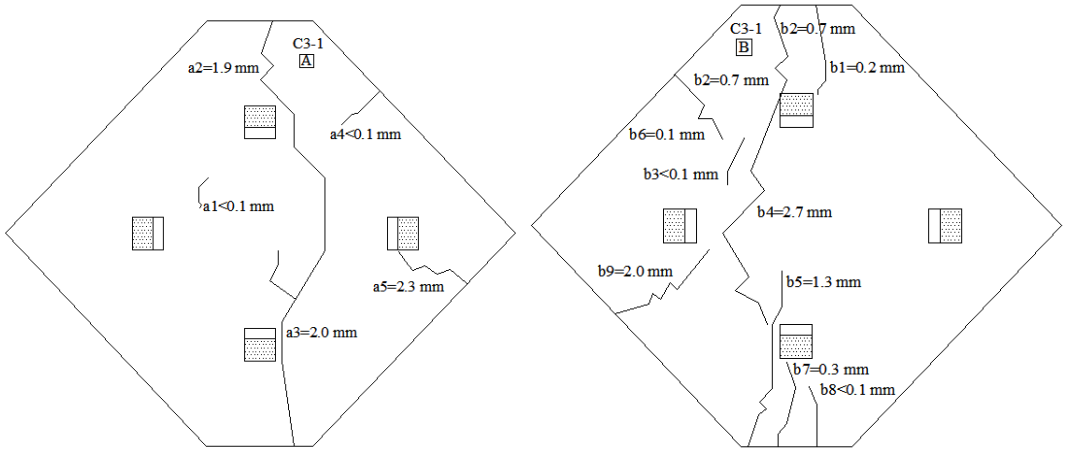
3.2.10 C3-1 numunesi hasar dağılımı

Deney sırasında, artan yükler etkisinde oluşan çatlaklar izlenmiştir. Yeni çatlaklar isim verilerek tanımlanmış, genişlikleri ölçülmüş ve numune üzerinde işaretlenmiştir. Numunenin A yüzünde yer alan çatlaklar a1, a2, a3,… gibi harflerle, B yüzünde ise b1, b2, b3,… gibi harflerle isimlendirilerek kaydedilmiştir. Bu şekilde isimlendirilen

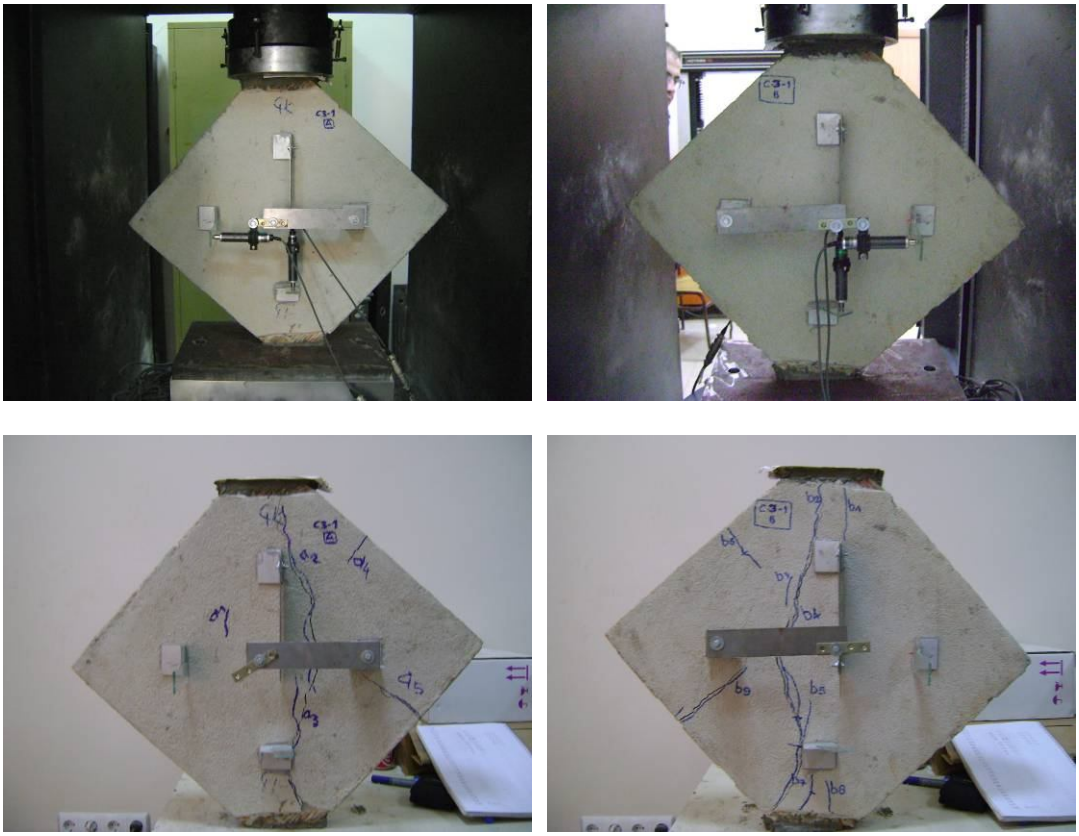
çatlaklara ait çatlak krokisi Şekil 3.48 de sunulmuştur. Çizelge 3.11 de numunenin A ve B yüzlerinde oluşan çatlak isimleri, karşı gelen yük düzeyleri ve çatlak genişlikleri verilmiştir. Şekil 3.49 da deneyin farklı aşamalarındaki hasarları gösteren fotoğraflar verilmiştir.

Çizelge 3.11 : Yük düzeylerine göre numunenin her iki yüzünde oluşan çatlak genişlikleri.

Çatlak Adı	Yük (P)	Çatlak Genişliği
	[kN]	[mm]
a1	18.1	<0.10
a2	27.0	1.90
b1	27.0	0.20
b2	27.0	0.70
b3	27.0	<0.10
b4	27.0	2.70
a3	30.1	2.00
b5	31.5	1.30
b6	31.5	0.10
a4	30.0	<0.10
b7	30.0	0.30
b8	30.0	<0.10
a5	27.6	2.30
b9	27.6	2.00



Şekil 3.48 : C3-1 numunesi hasar dağılımı.



Şekil 3.49 : C3-1 numunesinin deney sırasında ve deney sonunda görünümü.

3.2.11 C3-2 numunesi deneyi

Numunede ilk çatlaklar, 10.66 kN yük değerinde oluşmuştur. 36.47 kN a ulaştıktan sonra dayanım azalmaya başlamış, 12.65 kN a düşüldüğünde deney sonlandırılmıştır.

10.66 kN a karşı gelen gerilme 0.17 MPa olarak kaydedilmiştir. a1 çatlağı oluşmuştur. Numunenin B yüzünde herhangi bir çatlak oluşumu gözlenmemiştir. Dayanım 19.69 kN a ulaştığında gerilme 0.31 MPa dır. a2 çatlağı oluşmuştur. Bu aşamada numunenin B yüzünde herhangi bir çatlak yoktur. Dayanım 35.33 kN a ulaştığında gerilme 0.56 MPa dır. a3 çatlağı oluşmuştur. B yüzünde herhangi bir çatlak yoktur.

Dayanım 36.47 kN a ulaştıktan sonra dayanımda azalma meydana gelmiştir. En büyük yük değeri olan 36.47 kN değerine ulaştığında gerilme 0.58 MPa olarak kaydedilmiştir. 32.96 kN yük değerine gelindiğinde B yüzünde çatlak oluşumu başlamıştır. Bu aşamada b1, b2 ve b3 çatlakları oluşmuştur. A yüzünde ise yeni bir çatlak oluşmamıştır.

27.50 kN a gelindiğinde a4, a5, a6 ve a7 çatlakları oluşmuştur. Numunenin B yüzünde daha önceden oluşmuş olan b3 çatlağı genişlemiştir. Dayanım 22.20 kN a düştüğünde b4, b5 ve b6 çatlakları oluşmuştur.

21.40 kN değerine düştüğünde ise a8 ve a9 çatlakları oluşmuştur. Dayanım 16.99 kN a geldiğinde a10 çatlağı oluşmuştur. 14.19 kN değerinde ise daha önceden oluşan a9 çatlağı genişlemiştir.

Numunenin her iki yüzünde yer alan yerdeğiştirme ölçerlerin okuduğu değerler incelenmiştir. Tepe yük değeri olan 36.47 kN değerinde numunenin A yüzünde, düşey yerdeğiştirme ölçer 0.13 mm kısalma B yüzünde ise 0.25 mm kısalma ölçmüştür. Aynı yük değerinde numunenin A yüzünde yer alan yatay yerdeğiştirme ölçer 0.10 mm uzama yerdeğiştirmesi, B yüzünde ise 0.04 mm uzama yerdeğiştirmesi ölçmüştür.

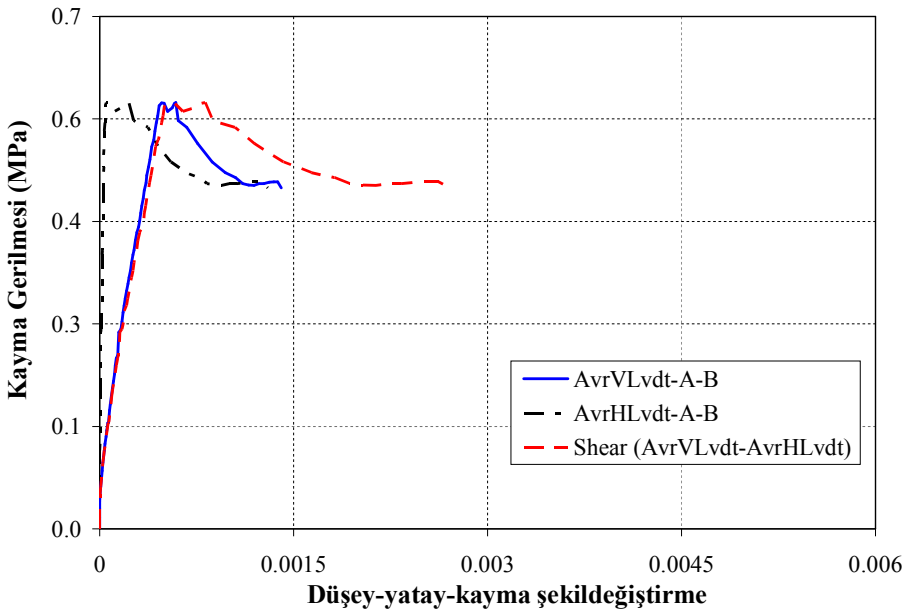
Düşeyde yer alan yerdeğiştirme ölçerlerden elde edilen gerilme yük – yerdeğiştirme değerleri yardımıyla kayma gerilmesi – düşey şekildeğiştirme grafiklerine geçilmiş ve bu değerler incelenmiştir. Numunenin A yüzünde yer alan düşey yerdeğiştirme ölçer 0.58 MPa gerilme değerine ulaştığında 0.0004 düşey şekildeğiştirme, B yüzünde ise 0.58 MPa gerilme değerinde 0.0008 düşey şekildeğiştirme değeri okunmuştur. Her iki yüzden elde edilen grafiklerin ortalaması incelendiğinde 0.58 MPa gerilme değerinde 0.0006 düşey şekildeğiştirme olduğu görülmüştür.

Yatayda yer alan yerdeğiştirme ölçerlerden elde edilen yük – yerdeğiştirme değerleri yardımıyla kayma gerilmesi – yatay şekildeğiştirme grafiklerine geçilmiş ve bu değerler incelenmiştir. Numunenin A yüzünde yer alan yatay yerdeğiştirme ölçer 0.58 MPa gerilme değerine ulaştığında 0.0003 yatay şekildeğiştirme, B yüzünde ise 0.58 MPa ise 0.0001 yatay şekildeğiştirme değeri okunmuştur. Her iki yüzden elde edilen grafiklerin ortalaması 0.58 MPa gerilme değerinde 0.0002 yatay şekildeğiştirme olduğu görülmüştür.

Ortalama değerler incelendiğinde, 0.58 MPa düzeyinde gerçekleşen şekildeğiştirmenin düşey yönde 0.0006, yatay yönde ise 0.0002 olduğu görülmüştür. Bu grafikler kullanılarak kayma gerilmesi – kayma şekildeğiştirmesi grafiği çizilmiştir. 0.58 MPa düzeyinde kayma şekildeğiştirmesinin 0.0008 mertebesinde olduğu görülmüştür. Grafikler tepe yük değerine eriştikten sonra, azalan kolda 0.8 P_{max} değerine ulaşıldığında sonlandırılmıştır. Ortalama yatay ve düşey gerilme –

şekildeğiştirme grafikleri ve kayma gerilmesi – kayma şekildeğiştirme ilişkisi Şekil 3.50 de verilmiştir.

Hesaplar sırasında numunenin kayma modülü olarak, en büyük gerilmenin %5 ve %33 üne karşılık gelen noktaların doğrusal olarak birleştirilmesi durumundaki doğrunun eğimi alınmıştır. Numunenin kayma modülü 1426 MPa olarak belirlenmiştir.



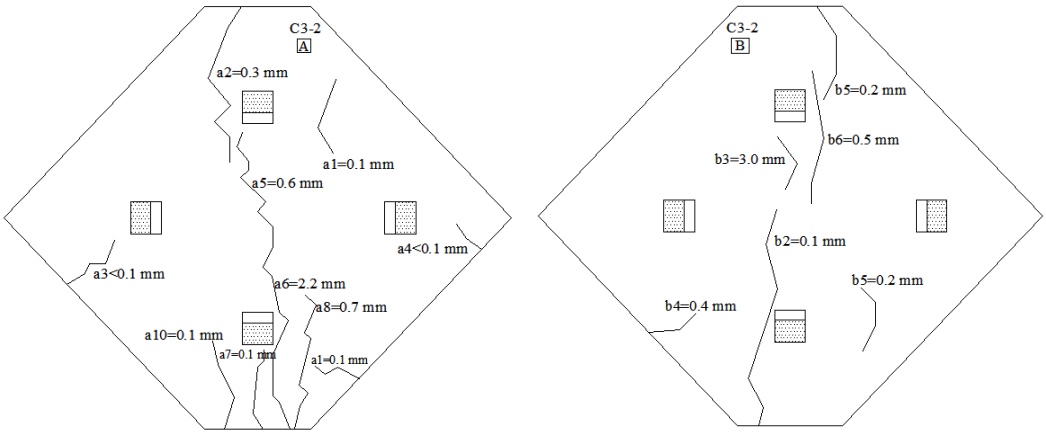
Şekil 3.50 : Gerilme – düşey şekildeğiştirme, gerilme – yatay şekildeğiştirme ve gerilme – kayma şekildeğiştirme grafiklerinin kıyaslanması.

3.2.12 C3-2 numunesi hasar dağılımı

Deney sırasında, artan yükler etkisinde oluşan çatlaklar izlenmiştir. Yeni çatlaklar isim verilerek tanımlanmış, genişlikleri ölçülmüş ve numune üzerinde işaretlenmiştir. Numunenin A yüzünde yer alan çatlaklar a1, a2, a3,… gibi harflerle, B yüzünde ise b1, b2, b3,… gibi harflerle isimlendirilerek kaydedilmiştir. Bu şekilde isimlendirilen çatlaklara ait çatlak krokisi Şekil 3.51 de sunulmuştur. Çizelge 3.12 de numunenin A ve B yüzlerinde oluşan çatlak isimleri, karşı gelen yük düzeyleri ve çatlak genişlikleri verilmiştir. Şekil 3.52 de deneyin farklı aşamalarındaki hasarları gösteren fotoğraflar verilmiştir.

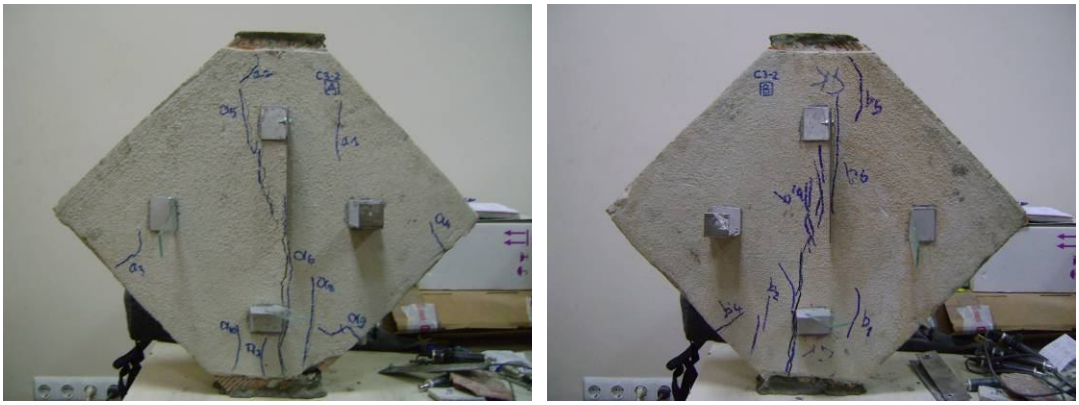
Çizelge 3.12 : Yük düzeylerine göre numunenin her iki yüzünde oluşan çatlak genişlikleri.

Çatlak Adı	Yük (P)	Çatlak Genişliği
	[kN]	[mm]
a1	10.7	0.10
a2	19.7	0.30
a3	35.3	<0.10
b1	33.0	<0.10
b2	33.0	0.10
b3	33.0	3.00
a4	27.0	<0.10
a5	27.0	0.60
a6	27.0	2.20
a7	27.0	0.10
b4	22.2	0.20
b5	22.2	0.50
b6	22.2	0.50
a8	21.4	0.70
a9	21.4	0.50
a10	17.0	0.10



Şekil 3.51 : C3-2 numunesinin çatlak krokisi.





Şekil 3.52 : C3-2 numunesinin deney sırasında ve deney sonunda görünümü.

4. GÜÇLENDİRİLMİŞ DUVAR DENEYLERİNİN SONUÇLARI

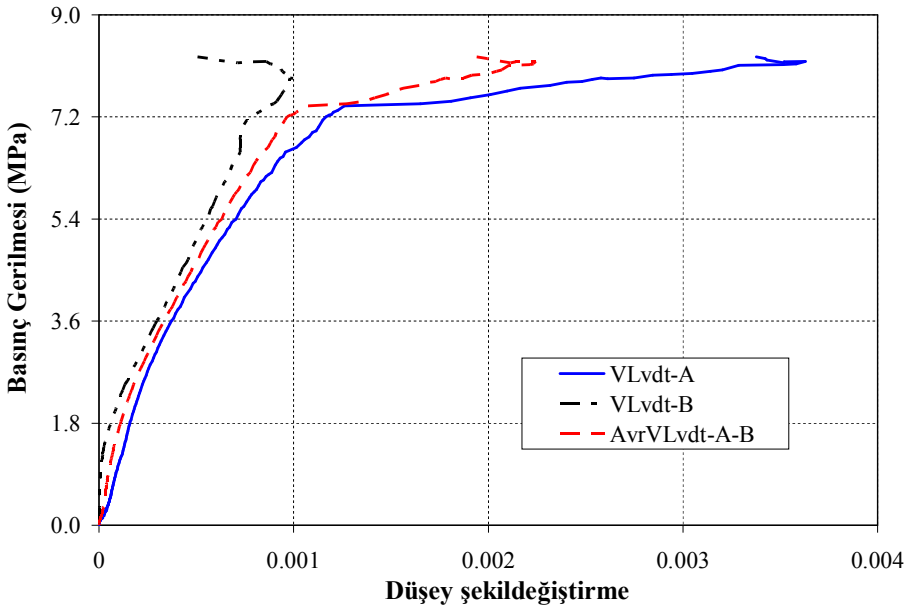
4.1 B Grubu Deneyleri

4.1.1 B4-2 numunesi deneyi

297.30 kN a ulaştıktan sonra dayanım azalmaya başlamış, 98.78 kN a düşüldüğünde deney sonlandırılmıştır.

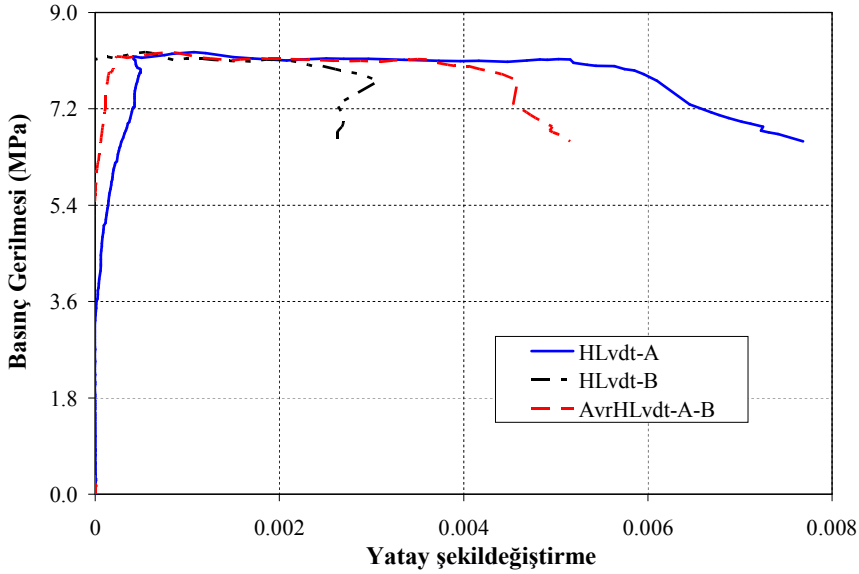
Numunenin her iki yüzünde yer alan yerdeğiştirme ölçerlerin okuduğu değerler incelenmiştir. En büyük yük olan 297.30 kN değerine ulaştığında A yüzünde düşey yerdeğiştirme ölçer 0.91 mm kısalma, B yüzünde ise 0.14 mm kısalma ölçülmüştür. Yük değeri olan 297.30 kN a ulaştığında numunenin A yüzünde ki yatay yerdeğiştirme ölçer 0.29 mm uzama yerdeğiştirmesi, B yüzünde ki ise 0.15 mm uzama yerdeğiştirmesi ölçmüştür.

Düşeyde yer alan yerdeğiştirme ölçerlerden elde edilen yük – yerdeğiştirme değerleri yardımıyla basınç gerilmesi – düşey şekildeğiştirme grafiklerine geçilmiş ve bu değerler incelenmiştir. Numunenin A yüzünde yer alan düşey yerdeğiştirme ölçer 8.26 MPa gerilme değerine ulaştığında 0.0034 düşey şekildeğiştirme, B yüzünde ise 8.26 MPa gerilme değerinde 0.0005 düşey şekildeğiştirme değeri okunmuştur. Her iki yüzden elde edilen grafiklerin ortalaması incelendiğinde 8.26 MPa gerilme değerinde 0.0020 düşey şekildeğiştirme olduğu görülmüştür. Şekil 4.1 de numunenin her iki yüzünde yer alan düşey yerdeğiştirme ölçerlerden belirlenen basınç gerilmesi – düşey şekildeğiştirme grafikleri ve bu iki grafiğin ortalaması yer almaktadır. Grafik tepe yük değerine eriştikten sonra sonlandırılmıştır.

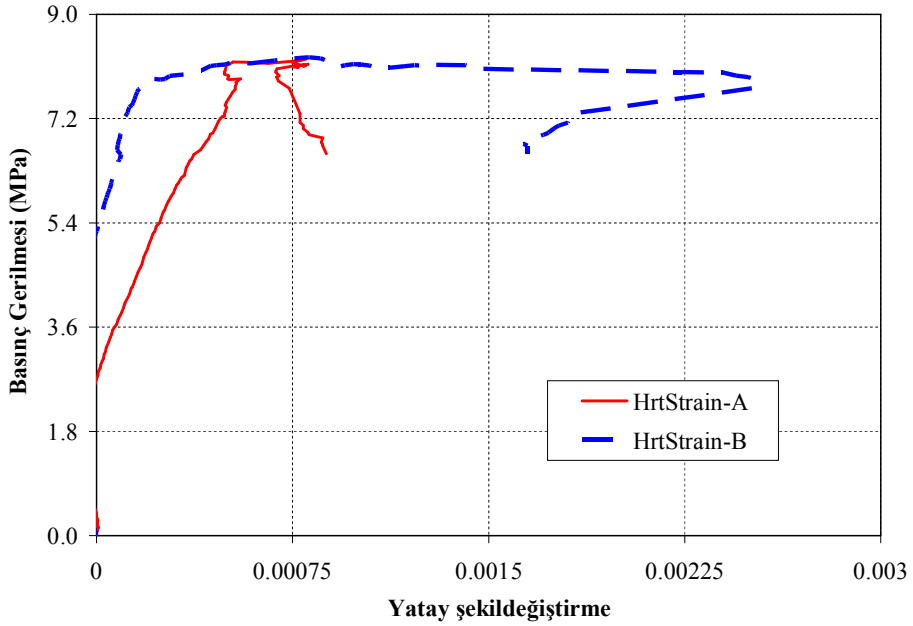


Şekil 4.1 : Gerilme – düşey şekildeğiştirme grafiği.

Numune üzerinde tam orta noktasına gelecek şekilde yerleştirilen ve her iki yüzde yer alan şekildeğiştirme ölçerlerden (straingauges) gerilme – yatay şekildeğiştirme grafikleri incelenmiştir. Numunenin A yüzünde yer alan yatay şekildeğiştirme ölçer 8.26 MPa gerilme değerine ulaştığında 0.0004, B yüzünde ise 8.26 MPa gerilme değerine ulaştığında 0.0008 yatay şekildeğiştirme olduğu görülmüştür. Şekil 4.3 de numunenin her iki yüzünde yer alan yatay şekildeğiştirme ölçerlerden belirlenen basınç gerilmesi – yatay şekildeğiştirme grafikleri yer almaktadır. Grafik tepe yük değerine ulaştıktan sonra, azalan kolda 0.8 P_{max} değerine ulaştığında sonlandırılmıştır.

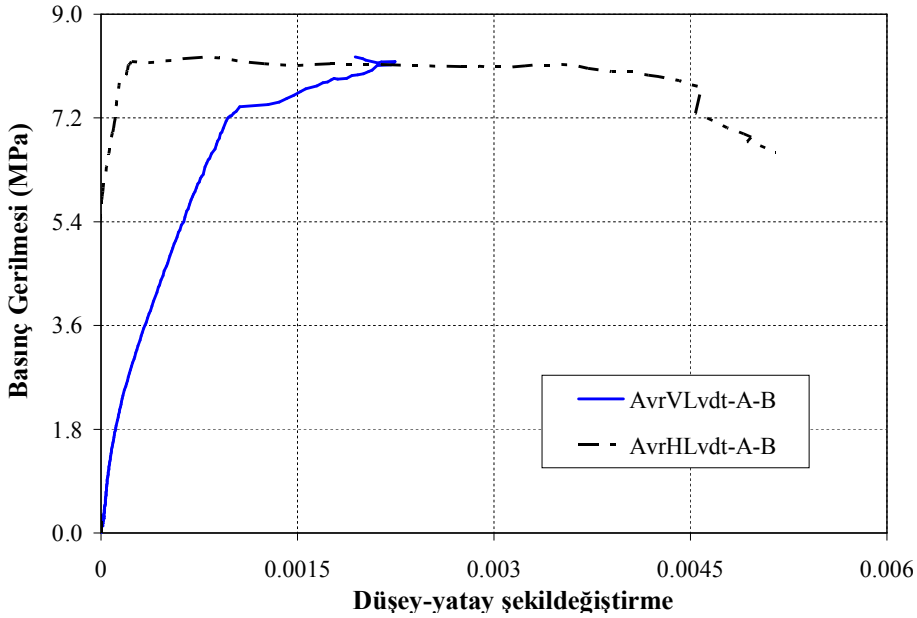


Şekil 4.2 : Gerilme – yatay şekildeğiştirme grafiği.



Şekil 4.3 : A ve B yüzündeki şekildeğiştirme ölçerden alınan gerilme – yatay şekildeğiştirme grafiği.

Ortalama grafiklere bakıldığında, 8.26 MPa düzeyinde gerçekleşen şekildeğiştirmenin düşey yönde 0.002, yatay yönde ise 0.0008 olduğu görülmüştür. Ortalama yatay ve düşey gerilme – şekildeğiştirme grafikleri Şekil 4.4 de verilmiştir.



Şekil 4.4 : Gerilme – düşey şekildeğiştirme ve gerilme – yatay şekildeğiştirme grafiklerinin kıyaslanması.

Hesaplar sırasında numunenin elastisite modülü, en büyük gerilmenin %5 ve %33 üne karşılık gelen noktaların doğrusal olarak birleştirilmesi durumundaki doğrunun eğimi alınmıştır. Numunenin elastisite modülü 13045 MPa olarak belirlenmiştir.

4.1.2 B4-2 numunesi hasar dağılımı

Deney sırasında, artan yükler etkisinde numunenin davranışı incelenmiş, numunenin hangi bölgelerinde hasarlar olduğuna bakılmıştır. Deney sırasında numune incelendiğinde gerilmeler artmaya başladığında başlık bölgelerinde CFRP nin şişme yaptığı gözlenmiştir ve tepe yüke ulaşıp dayanımlar düşerken kenar bölgelerinden CFRP liflerinin attığı görülmüştür. Şekil 4.5 de deneyin farklı aşamalarındaki hasarları gösteren fotoğraflar verilmiştir.



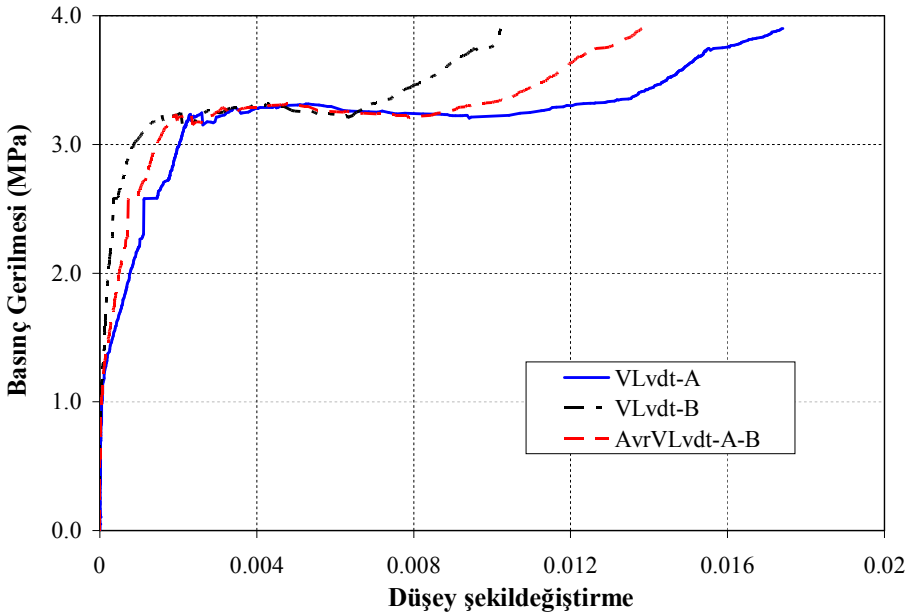
Şekil 4.5 : B4-2 numunesinin deney sırasında ve sonunda görünümü.

4.1.3 B5-2 numunesi deneyi

141.80 kN a ulaştıktan sonra dayanım azalmaya başlamış, 75.17 kN a düşüldüğünde deney sonlandırılmıştır.

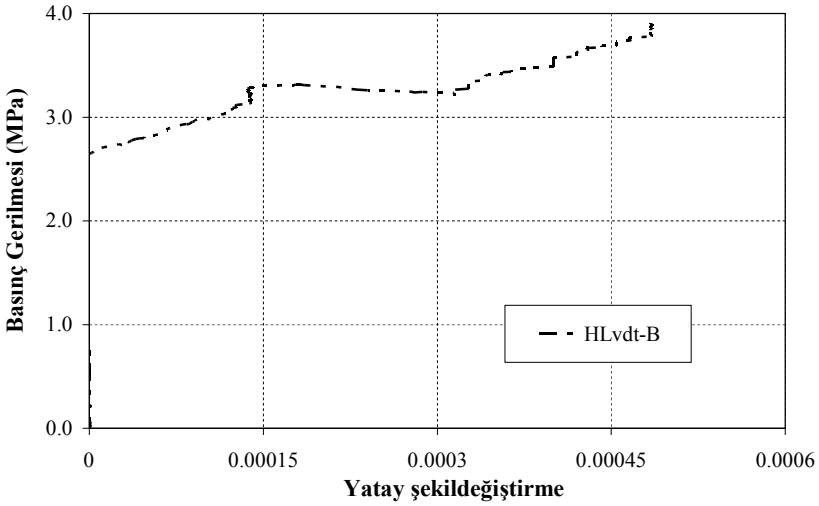
Numunenin her iki yüzünde yer alan yerdeğiştirme ölçerlerin okuduğu değerler incelenmiştir. En büyük yük olan 141.80 kN değerine ulaştığında A yüzünde düşey yerdeğiştirme ölçer 4.78 mm kısalma, B yüzünde ise 2.86 mm kısalma ölçülmüştür. Numunenin A yüzündeki yatay yerdeğiştirme ölçerden anlamlı okuma alınamamış ancak yük 141.80 kN a ulaştığında B yüzündeki yerdeğiştirme ölçer 0.13 mm uzama yerdeğiştirmesi ölçmüştür.

Düşeyde yer alan yerdeğiştirme ölçerlerden elde edilen yük – yerdeğiştirme değerleri yardımıyla basınç gerilmesi – düşey şekildeğiştirme grafiklerine geçilmiş ve bu değerler incelenmiştir. Numunenin A yüzünde yer alan düşey yerdeğiştirme ölçer 3.90 MPa gerilme değerine ulaştığında 0.017 düşey şekildeğiştirme, B yüzünde ise 3.90 MPa gerilme değerinde 0.010 düşey şekildeğiştirme değeri okunmuştur. Her iki yüzden elde edilen grafiklerin ortalaması incelendiğinde 3.90 MPa gerilme değerinde 0.0014 düşey şekildeğiştirme olduğu görülmüştür. Şekil 4.6 da numunenin her iki yüzünde yer alan düşey yerdeğiştirme ölçerlerden belirlenen basınç gerilmesi – düşey şekildeğiştirme grafikleri ve bu iki grafiğin ortalaması yer almaktadır. Grafik tepe yük değerine eriştikten sonra sonlandırılmıştır.



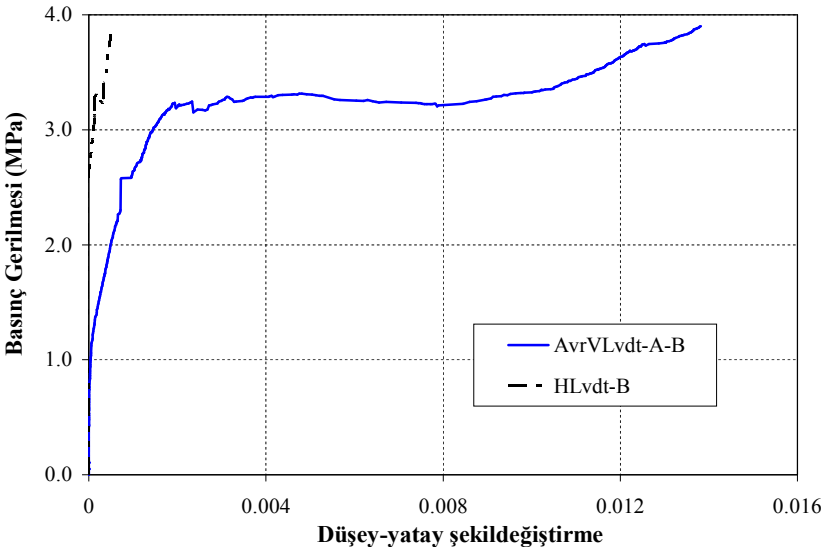
Şekil 4.6 : Gerilme – düşey şekildeğiştirme grafiği.

Yatayda yer alan yerdeğiştirme ölçerlerden elde edilen yük – yerdeğiştirme değerleri yardımıyla basınç gerilmesi – yatay şekildeğiştirme grafiklerine geçilmiş ve bu değerler incelenmiştir. Sadece B yüzündeki yatay yerdeğiştirme ölçerden anlamlı okuma alınabildiği için, 3.90 MPa gerilme değerine ulaştığında B yüzündeki yatay şekildeğiştirme miktarı 0.0005 olmuştur. Şekil 4.7 de numunenin B yüzünde yer alan yatay şekildeğiştirme ölçerlerden belirlenen basınç gerilmesi – yatay şekildeğiştirme grafiği yer almaktadır. Grafik tepe yük değerine eriştikten sonra sonlandırılmıştır.



Şekil 4.7 : Gerilme – yatay şekildeğiştirme grafiği.

Grafiklere bakıldığında, 3.90 MPa düzeyinde gerçekleşen şekildeğiştirmenin düşey yönde ortalama 0.0014, yatay yönde ise 0.0005 olduğu görülmüştür. Yatay ve düşey gerilme – şekildeğiştirme grafikleri Şekil 4.8 de verilmiştir.



Şekil 4.8 : Gerilme – düşey şekildeğiştirme ve gerilme – yatay şekildeğiştirme grafiklerinin kıyaslanması.

Hesaplar sırasında numunenin elastisite modülü, en büyük gerilmenin %5 ve %33 üne karşılık gelen noktaların doğrusal olarak birleştirilmesi durumundaki doğrunun eğimi alınmıştır. Numunenin elastisite modülü 8466 MPa olarak belirlenmiştir.

4.1.4 B5-2 numunesi hasar dağılımı

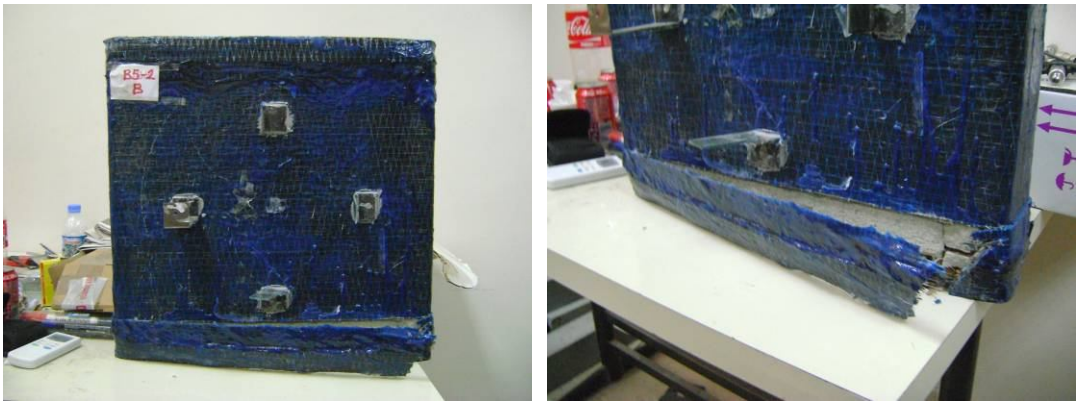
Deney sırasında, artan yükler etkisinde numunenin davranışı incelenmiş, numunenin hangi bölgelerinde hasarlar olduğuna bakılmıştır. Deney sırasında numune incelendiğinde gerilmeler artmaya başladığında alt başlık bölgesinden CFRP'nin yüzeyden ayrıldığı gözlemlenmiştir. Şekil 4.9 da deneyin farklı aşamalarındaki hasarları gösteren fotoğraflar verilmiştir.











Şekil 4.9 : B5-2 numunesinin deney sırasında ve sonunda görünümü.

4.1.5 B6-1 numunesi deneyi

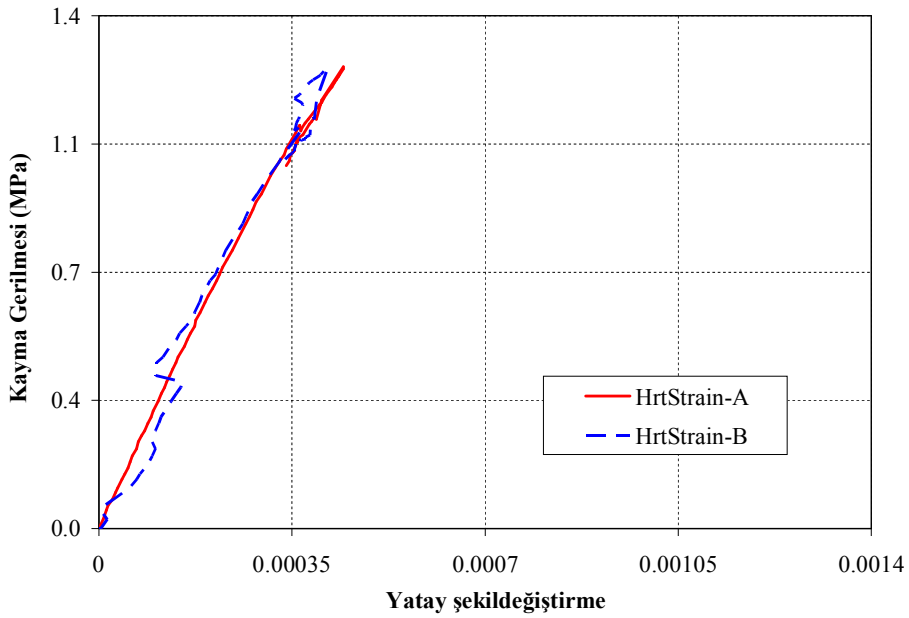
74.49 kN a ulaştıktan sonra dayanım azalmaya başlamış, 41.55 kN a düşüldüğünde deney sonlandırılmıştır.

Numunenin her iki yüzünde yer alan yerdeğiştirme ölçerlerin okuduğu değerler incelenmiştir. En büyük yük olan 74.49 kN değerine ulaştığında A yüzünde, düşey yerdeğiştirme ölçer 0.25 mm kısalma, B yüzünde ise 0.50 mm kısalma ölçülmüştür. Yük değeri olan 74.49 kN a ulaştığında numunenin A yüzünde ki yatay yerdeğiştirme ölçer 0.003 mm uzama yerdeğiştirmesi, B yüzünde ki ise 0.06 mm uzama yerdeğiştirmesi ölçmüştür.

Düşeyde yer alan yerdeğiştirme ölçerlerden elde edilen yük – yerdeğiştirme değerleri yardımıyla kayma gerilmesi – düşey şekildeğiştirme grafiklerine geçilmiş ve bu değerler incelenmiştir. Numunenin A yüzünde yer alan düşey yerdeğiştirme ölçer 1.26 MPa gerilme değerine ulaştığında 0.0008 düşey şekildeğiştirme, B yüzünde ise 1.26 MPa gerilme değerinde 0.0016 düşey şekildeğiştirme değeri okunmuştur. Her iki yüzden elde edilen grafiklerin ortalaması incelendiğinde 1.26 MPa gerilme değerinde 0.0012 düşey şekildeğiştirme olduğu görülmüştür.

Yatayda yer alan yerdeğiştirme ölçerlerden elde edilen yük – yerdeğiştirme değerleri yardımıyla kayma gerilmesi – yatay şekildeğiştirme grafiklerine geçilmiş ve bu değerler incelenmiştir. Numunenin A yüzünde yer alan yerdeğiştirme ölçer 1.26 MPa gerilme değerine ulaştığında 0.00001 yatay şekildeğiştirme, B yüzünde ise 1.26 MPa gerilme değerine ulaştığında 0.0002 yatay şekildeğiştirme değeri okunmuştur. Her iki yüzden elde edilen grafiklerin ortalaması 1.26 MPa gerilme değerinde 0.0001 yatay şekildeğiştirme olduğu görülmüştür.

Numune üzerinde tam orta noktasına gelecek şekilde yerleştirilen ve her iki yüzde yer alan şekildeğiştirme ölçerlerden gerilme – yatay şekildeğiştirme grafikleri incelenmiştir. Numunenin A yüzünde yer alan yatay şekildeğiştirme ölçer 1.26 MPa gerilme değerine ulaştığında 0.0004, B yüzünde ise 1.26 MPa gerilme değerine ulaştığında 0.0004 yatay şekildeğiştirme olduğu görülmüştür. Şekil 4.10 da numunenin her iki yüzünde yer alan yatay şekildeğiştirme ölçerlerden belirlenen kayma gerilmesi – yatay şekildeğiştirme grafikleri yer almaktadır. Grafik tepe yük değerine ulaştıktan sonra, azalan kolda 0.8 P_{max} değerine ulaştığında sonlandırılmıştır.

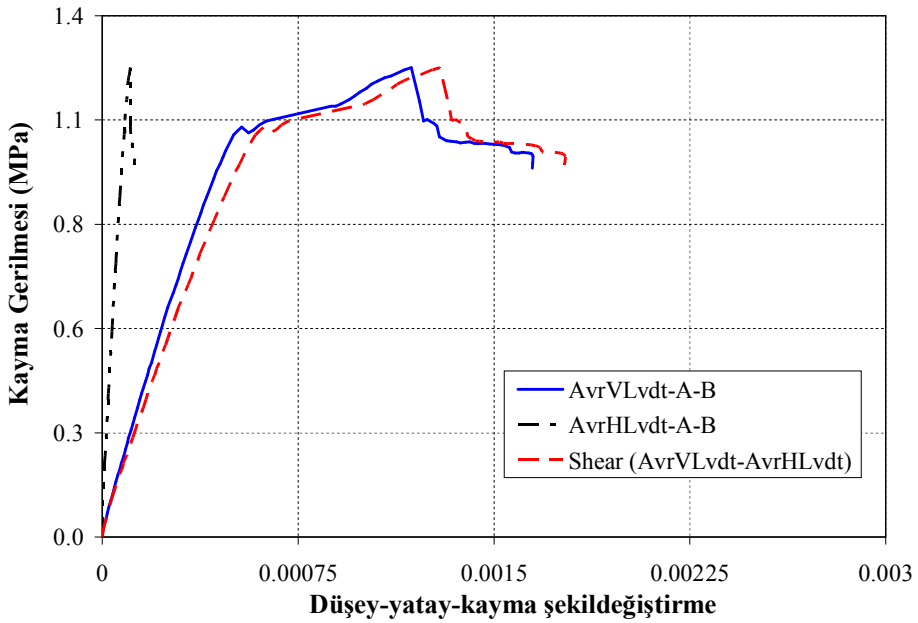


Şekil 4.10 : A ve B yüzündeki şekildeğiştirme ölçerden alınan gerilme – yatay şekildeğiştirme grafiği.

Ortalama değerler incelendiğinde, 1.26 MPa düzeyinde gerçekleşen şekildeğiştirmenin düşey yönde 0.0012, yatay yönde ise 0.0001 olduğu görülmüştür. Bu grafikler kullanılarak kayma gerilmesi – kayma şekildeğiştirmesi grafiği çizilmiştir. 1.26 MPa düzeyinde kayma şekildeğiştirmesinin 0.0013 mertebesinde olduğu görülmüştür. Grafikler tepe yük değerine eriştikten sonra, azalan kolda 0.8 Pmax değerine ulaşıldığında sonlandırılmıştır. Ortalama yatay ve düşey gerilme – şekildeğiştirme grafikleri ve kayma gerilmesi – kayma şekildeğiştirme ilişkisi Şekil 4.11 de verilmiştir.

Hesaplar sırasında numunenin kayma modülü olarak, en büyük gerilmenin %5 ve %33 üne karşılık gelen noktaların doğrusal olarak birleştirilmesi durumundaki

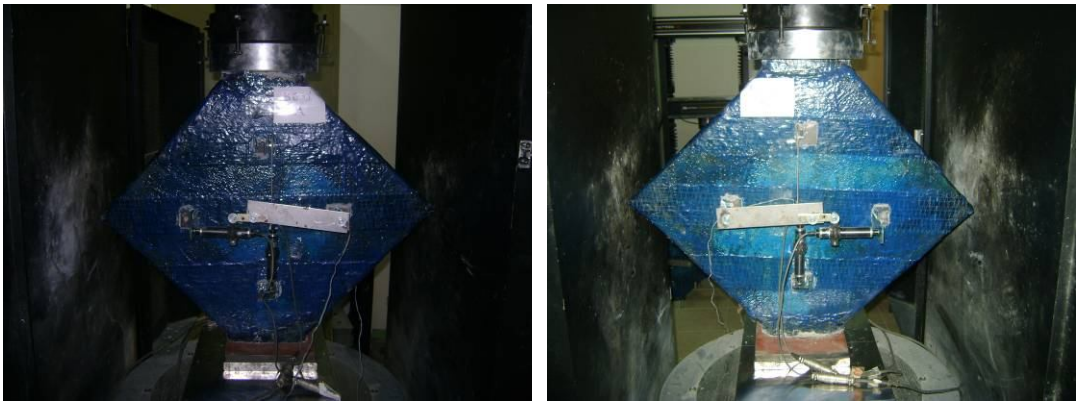
doğrunun eğimi alınmıştır. Numunenin kayma modülü 2042 MPa olarak belirlenmiştir.

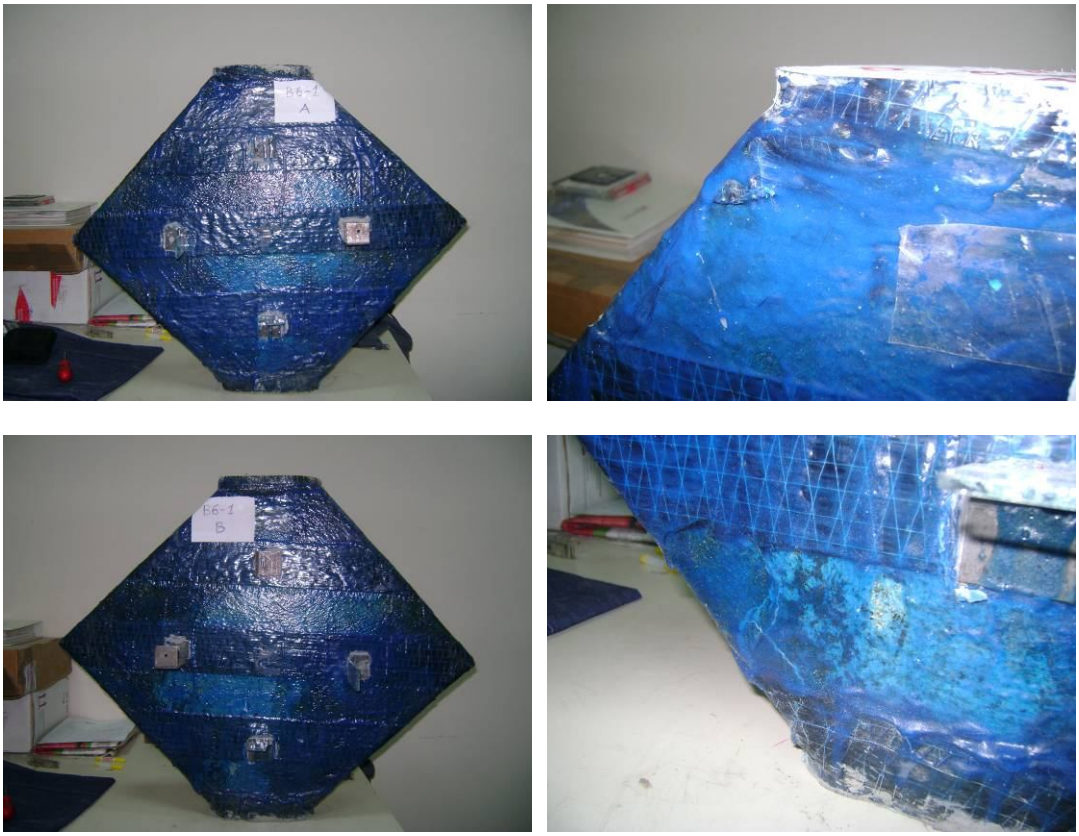


Şekil 4.11 : Gerilme – düşey şekildeğiştirme, gerilme – yatay şekildeğiştirme ve gerilme – kayma gerilmesi grafiklerinin kıyaslanması.

4.1.6 B6-1 numunesi hasar dağılımı

Deney sırasında, artan yükler etkisinde numunenin davranışı incelenmiş, numunenin hangi bölgelerinde hasarlar olduğuna bakılmıştır. Deney sırasında ve sonunda numune incelendiğinde çok fazla hasar oluşumu gözlenmemiş, üst başlık bölgesinde CFRP nin az da olsa şiştiği, alt başlık bölgesinde ise ufak çatlak oluşumu görülmüştür. Şekil 4.12 de deneyin farklı aşamalarındaki hasarları gösteren fotoğraflar verilmiştir.





Şekil 4.12 : B6-1 numunesinin deney sırasında ve deney sonunda görünümü.

4.1.7 B6-2 numunesi deneyi

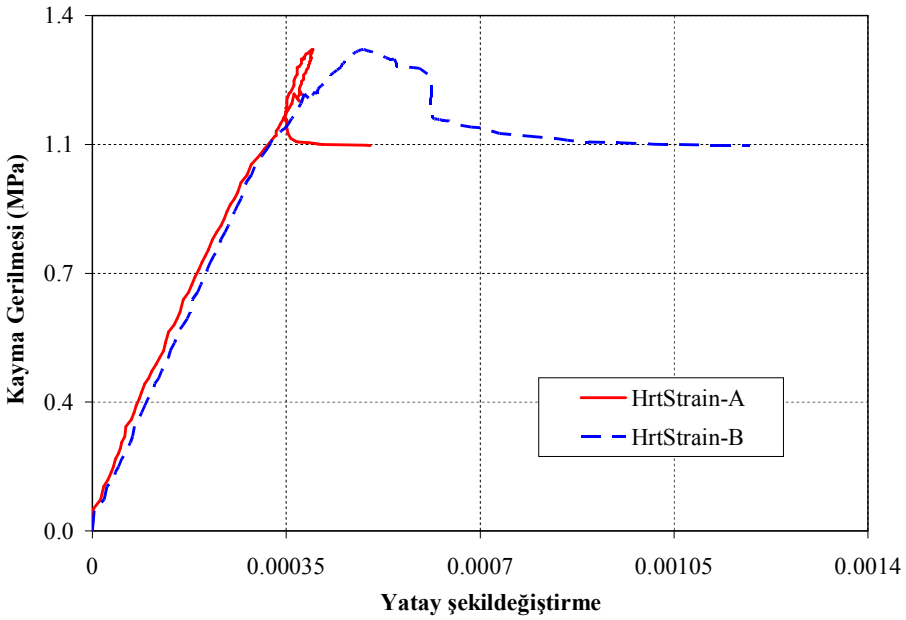
75.94 kN a ulaştıktan sonra dayanım azalmaya başlamış, 33.70 kN a düşüldüğünde deney sonlandırılmıştır.

Numunenin her iki yüzünde yer alan yerdeğiştirme ölçerlerin okuduğu değerler incelenmiştir. En büyük yük olan 75.94 kN değerine ulaştığında A yüzünde düşey yerdeğiştirme ölçer 0.29 mm kısalma, B yüzünde ise 0.36 mm kısalma ölçülmüştür. Yük değeri olan 75.94 kN a ulaştığında numunenin A yüzünde ki yatay yerdeğiştirme ölçer 0.04 mm uzama yerdeğiştirmesi, B yüzünde ki ise 0.07 mm uzama yerdeğiştirmesi ölçmüştür.

Düşeyde yer alan yerdeğiştirme ölçerlerden elde edilen yük – yerdeğiştirme değerleri yardımıyla kayma gerilmesi – düşey şekildeğiştirme grafiklerine geçilmiş ve bu değerler incelenmiştir. Numunenin A yüzünde yer alan düşey yerdeğiştirme ölçer 1.31 MPa gerilme değerine ulaştığında 0.0009 düşey şekildeğiştirme, B yüzünde ise 1.31 MPa gerilme değerinde 0.0012 düşey şekildeğiştirme değeri okunmuştur. Her iki yüzden elde edilen grafiklerin ortalaması incelendiğinde 1.31 MPa gerilme değerinde 0.0011 düşey şekildeğiştirme olduğu görülmüştür.

Yatayda yer alan yerdeğiştirme ölçerlerden elde edilen yük – yerdeğiştirme değerleri yardımıyla kayma gerilmesi – yatay şekildeğiştirme grafiklerine geçilmiş ve bu değerler incelenmiştir. Numunenin A yüzünde yer alan yerdeğiştirme ölçer 1.31 MPa gerilme değerine ulaştığında 0.00012 yatay şekildeğiştirme, B yüzünde ise 1.31 MPa gerilme değerine ulaştığında 0.00021 yatay şekildeğiştirme değeri okunmuştur. Her iki yüzden elde edilen grafiklerin ortalaması 1.31 MPa gerilme değerinde 0.00016 yatay şekildeğiştirme olduğu görülmüştür.

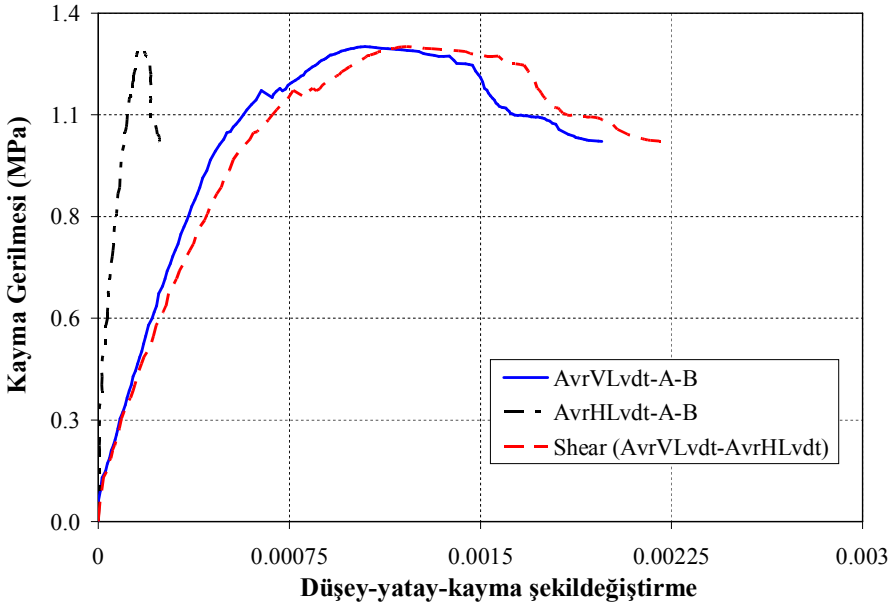
Numune üzerinde tam orta noktasına gelecek şekilde yerleştirilen ve her iki yüzde yer alan şekildeğiştirme ölçerlerden gerilme – yatay şekildeğiştirme grafikleri incelenmiştir. Numunenin A yüzünde yer alan yatay şekildeğiştirme ölçer 1.31 MPa gerilme değerine ulaştığında 0.0004, B yüzünde ise 1.31 MPa gerilme değerine ulaştığında 0.0005 yatay şekildeğiştirme olduğu görülmüştür. Şekil 4.13 de numunenin her iki yüzünde yer alan yatay şekildeğiştirme ölçerlerden belirlenen kayma gerilmesi – yatay şekildeğiştirme grafikleri yer almaktadır. Grafik tepe yük değerine ulaştıktan sonra, azalan kolda 0.8 P_{max} değerine ulaştığında sonlandırılmıştır.



Şekil 4.13 : A ve B yüzündeki şekildeğiştirme ölçerden alınan gerilme – yatay şekildeğiştirme grafiği.

Ortalama değerler incelendiğinde, 1.31 MPa düzeyinde gerçekleşen şekildeğiştirmenin düşey yönde 0.0011, yatay yönde ise 0.00016 olduğu görülmüştür. Bu grafikler kullanılarak kayma gerilmesi – kayma şekildeğiştirmesi

grafiği çizilmiştir. 1.31 MPa düzeyinde kayma şekildeğiştirmesinin 0.0012 mertebesinde olduğu görülmüştür. Grafikler tepe yük değerine eriştikten sonra, azalan kolda 0.8 P_{max} değerine ulaşıldığında sonlandırılmıştır. Ortalama yatay ve düşey gerilme – şekildeğiştirme grafikleri ve kayma gerilmesi – kayma şekildeğiştirme ilişkisi Şekil 4.14 de verilmiştir.



Şekil 4.14 : Gerilme – düşey şekildeğiştirme, gerilme – yatay şekildeğiştirme ve gerilme – kayma gerilmesi grafiklerinin kıyaslanması.

Hesaplar sırasında numunenin kayma modülü olarak, en büyük gerilmenin %5 ve %33 üne karşılık gelen noktaların doğrusal olarak birleştirilmesi durumundaki doğrunun eğimi alınmıştır. Numunenin kayma modülü 2174 MPa olarak belirlenmiştir.

4.1.8 B6-2 numunesi hasar dağılımı

Deney sırasında, artan yükler etkisinde numunenin davranışı incelenmiş, numunenin hangi bölgelerinde hasarlar olduğuna bakılmıştır. Deney sırasında ve sonunda numune incelendiğinde, üst başlık bölgesinde CFRP nin numune yüzeyinden ayrıldığı görülmüştür. Numunenin yan bölgesinden CFRP parçalarının koptuğu gözlemlenmiştir. Şekil 4.15 de deneyin farklı aşamalarındaki hasarları gösteren fotoğraflar verilmiştir.



Şekil 4.15 : B6-2 numunesinin deney sırasında ve deney sonunda görünümü.

4.1.9 B7-1 numunesi deneyi

135.57 kN a ulaştıktan sonra dayanım azalmaya başlamış, 71.21 kN a düşüldüğünde deney sonlandırılmıştır.

Numunenin her iki yüzünde yer alan yerdeğiştirme ölçerlerin okuduğu değerler incelenmiştir. En büyük yük olan 135.57 kN değerine ulaştığında A yüzünde, düşey yerdeğiştirme ölçer 1.18 mm kısalma, B yüzünde ise 0.62 mm kısalma ölçülmüştür. Yük değeri olan 135.57 kN a ulaştığında numunenin A yüzünde ki yatay

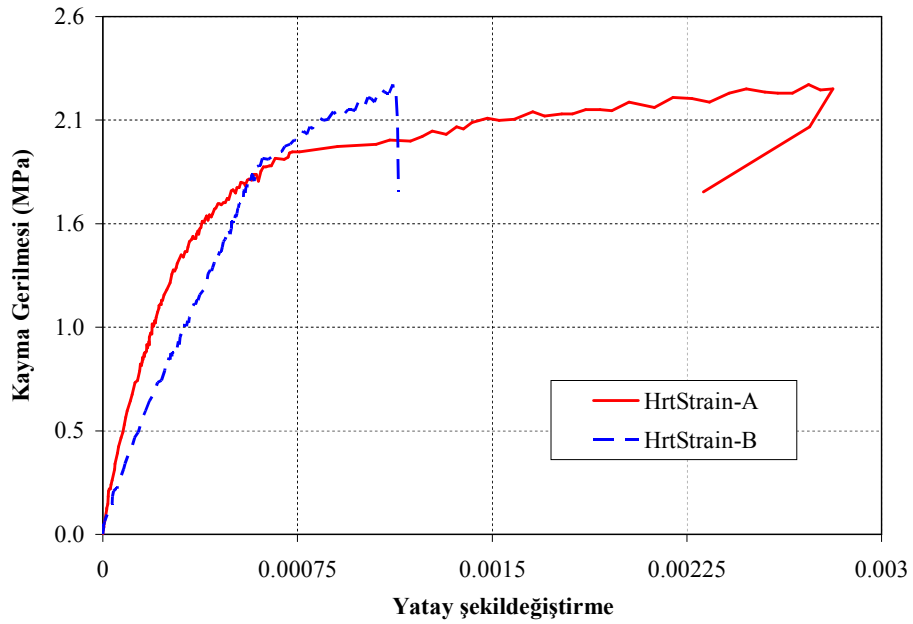
yerdeğiştirme ölçer 0.38 mm uzama yerdeğiştirmesi, B yüzündeki yatay yerdeğiştirme ölçerden anlamlı okuma alınamamıştır.

Düşeyde yer alan yerdeğiştirme ölçerlerden elde edilen yük – yerdeğiştirme değerleri yardımıyla kayma gerilmesi – düşey şekildeğiştirme grafiklerine geçilmiş ve bu değerler incelenmiştir. Numunenin A yüzünde yer alan düşey yerdeğiştirme ölçer 2.26 MPa gerilme değerine ulaştığında 0.004 düşey şekildeğiştirme, B yüzünde ise 2.26 MPa gerilme değerinde 0.002 düşey şekildeğiştirme değeri okunmuştur. Her iki yüzden elde edilen grafiklerin ortalaması incelendiğinde 2.26 MPa gerilme değerinde 0.003 düşey şekildeğiştirme olduğu görülmüştür.

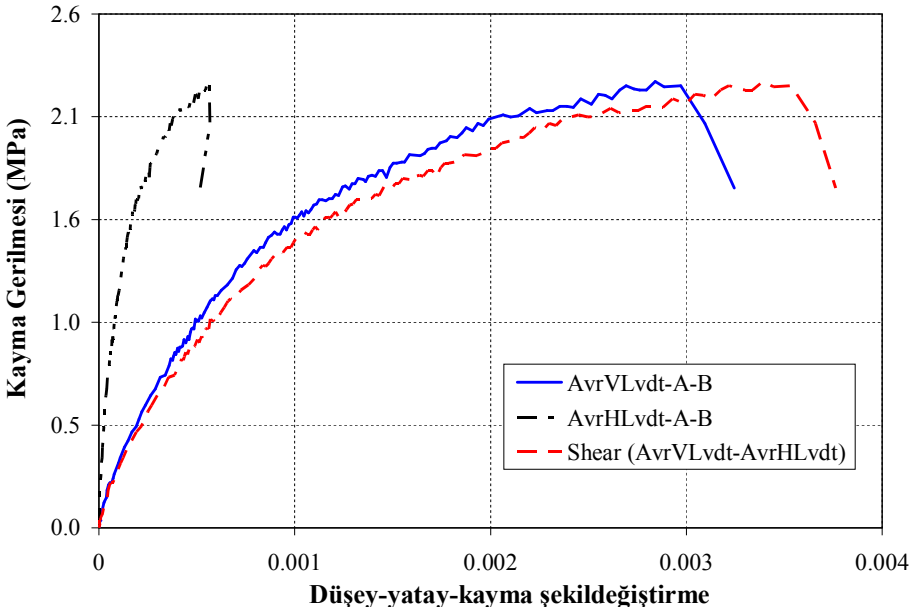
Yatayda yer alan yerdeğiştirme ölçerlerden elde edilen yük – yerdeğiştirme değerleri yardımıyla kayma gerilmesi – yatay şekildeğiştirme grafiklerine geçilmiş ve bu değerler incelenmiştir. Numunenin A yüzünde yer alan yerdeğiştirme ölçer 2.26 MPa gerilme değerine ulaştığında 0.001 yatay şekildeğiştirme olduğu görülmüştür.

Numune üzerinde tam orta noktasına gelecek şekilde yerleştirilen ve her iki yüzde yer alan şekildeğiştirme ölçerlerden gerilme – yatay şekildeğiştirme grafikleri incelenmiştir. Numunenin A yüzünde yer alan yatay şekildeğiştirme ölçer 2.26 MPa gerilme değerine ulaştığında 0.003, B yüzünde ise 2.26 MPa gerilme değerine ulaştığında 0.001 yatay şekildeğiştirme olduğu görülmüştür. Şekil 4.16 da numunenin her iki yüzünde yer alan yatay şekildeğiştirme ölçerlerden belirlenen kayma gerilmesi – yatay şekildeğiştirme grafikleri yer almaktadır. Grafik tepe yük değerine ulaştıktan sonra, azalan kolda 0.8 P_{max} değerine ulaştığında sonlandırılmıştır.

Ortalama değerler incelendiğinde, 2.26 MPa düzeyinde gerçekleşen şekildeğiştirmenin düşey yönde 0.003, yatay yönde ise 0.0006 olduğu görülmüştür. Bu grafikler kullanılarak kayma gerilmesi – kayma şekildeğiştirmesi grafiği çizilmiştir. 2.26 MPa düzeyinde kayma şekildeğiştirmesinin 0.003 mertebesinde olduğu görülmüştür. Grafikler tepe yük değerine eriştikten sonra, azalan kolda 0.8 P_{max} değerine ulaşıldığında sonlandırılmıştır. Ortalama yatay ve düşey gerilme – şekildeğiştirme grafikleri ve kayma gerilmesi – kayma şekildeğiştirme ilişkisi Şekil 4.17 de verilmiştir.



Şekil 4.16 : A ve B yüzündeki şekildeğiştirme ölçerden alınan gerilme – yatay şekildeğiştirme grafiği.

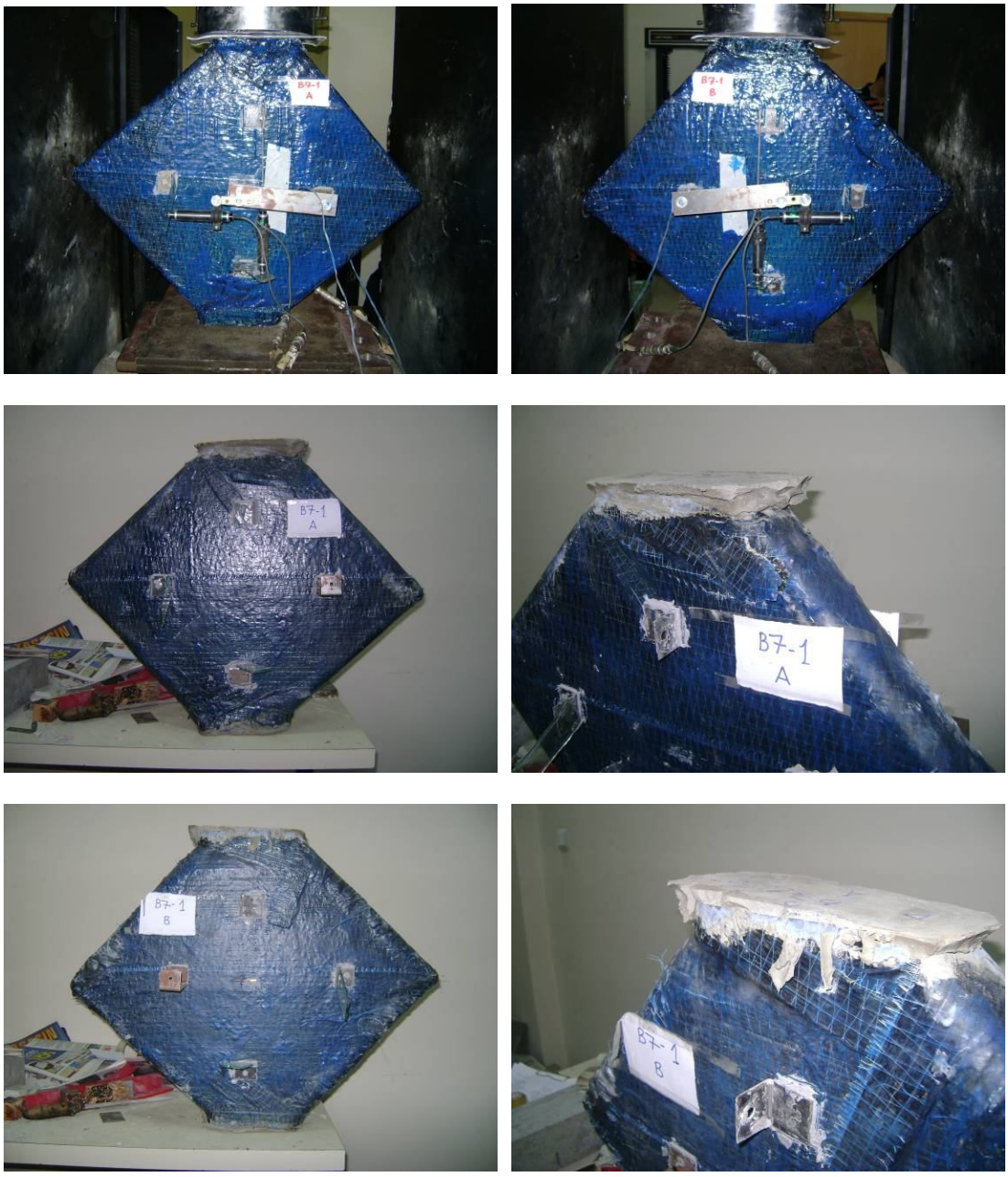


Şekil 4.17 : Gerilme – düşey şekildeğiştirme, gerilme – yatay şekildeğiştirme ve gerilme – kayma grafiklerinin kıyaslanması.

Hesaplar sırasında numunenin kayma modülü olarak, en büyük gerilmenin %5 ve %33 üne karşılık gelen noktaların doğrusal olarak birleştirilmesi durumundaki doğrunun eğimi alınmıştır. Numunenin kayma modülü 1923 MPa olarak belirlenmiştir.

4.1.10 B7-1 numunesi hasar dağılımı

Deney sırasında, artan yükler etkisinde numunenin davranışı incelenmiş, numunenin hangi bölgelerinde hasarlar olduğuna bakılmıştır. Deney sırasında ve sonunda numune incelendiğinde, üst başlık bölgesinde CFRP nin şiştiği ve yüzeyden ayrıldığı görülmüştür. Şekil 4.18 de deneyin farklı aşamalarındaki hasarları gösteren fotoğraflar verilmiştir.



Şekil 4.18 : B7-1 numunesinin deney sırasında ve deney sonunda görünümü.

4.1.11 B7-2 numunesi deneyi

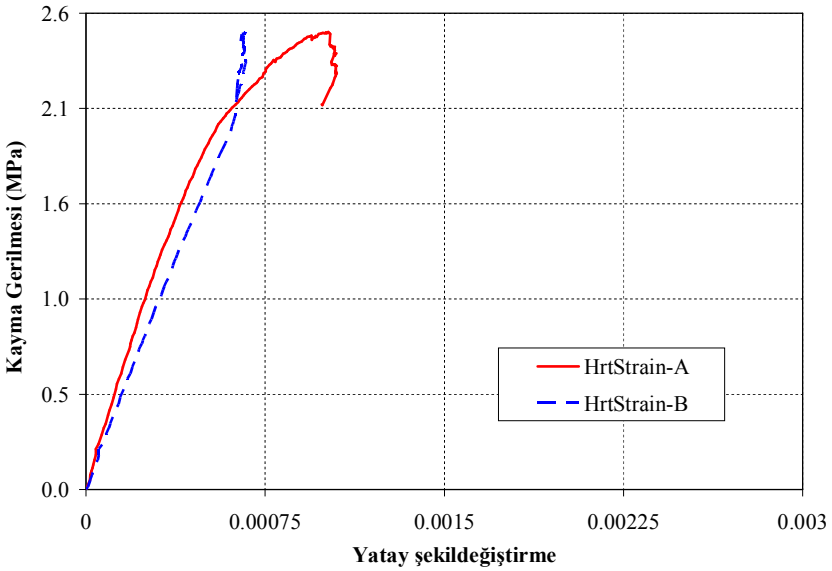
147.60 kN a ulaştıktan sonra dayanım azalmaya başlamış, 71.50 kN a düşüldüğünde deney sonlandırılmıştır.

Numunenin her iki yüzünde yer alan yerdeğiştirme ölçerlerin okuduğu değerler incelenmiştir. En büyük yük olan 147.60 kN değerine ulaştığında A yüzünde düşey yerdeğiştirme ölçer 0.83 mm kısalma, B yüzünde ise 0.80 mm kısalma ölçülmüştür. Yük değeri olan 147.60 kN a ulaştığında numunenin A yüzünde ki yatay yerdeğiştirme ölçer 0.09 mm uzama yerdeğiştirmesi, B yüzünde ki ise 0.08 mm uzama yerdeğiştirmesi ölçmüştür.

Düşeyde yer alan yerdeğiştirme ölçerlerden elde edilen yük – yerdeğiştirme değerleri yardımıyla kayma gerilmesi – düşey şekildeğiştirme grafiklerine geçilmiş ve bu değerler incelenmiştir. Numunenin A yüzünde yer alan düşey yerdeğiştirme ölçer 2.50 MPa gerilme değerine ulaştığında 0.003 düşey şekildeğiştirme, B yüzünde ise 2.50 MPa gerilme değerinde 0.003 düşey şekildeğiştirme değeri okunmuştur. Her iki yüzden elde edilen grafiklerin ortalaması incelendiğinde 2.50 MPa gerilme değerinde 0.003 düşey şekildeğiştirme olduğu görülmüştür.

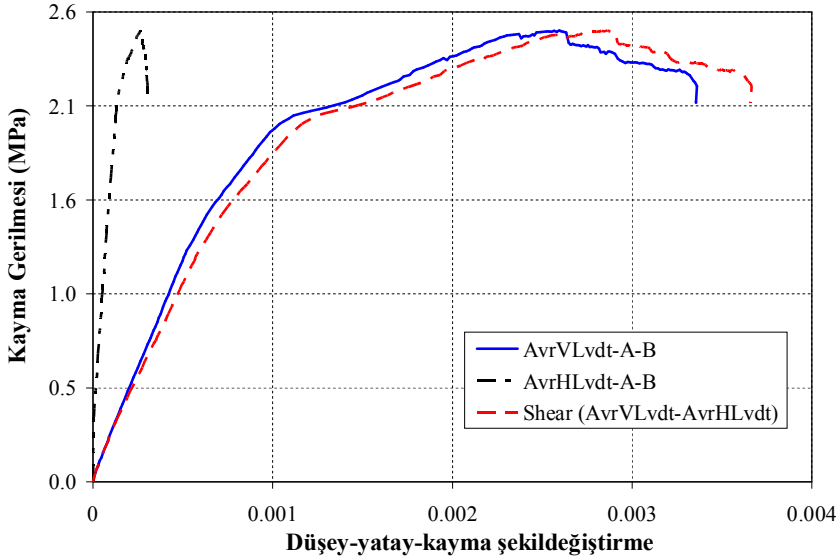
Yatayda yer alan yerdeğiştirme ölçerlerden elde edilen yük – yerdeğiştirme değerleri yardımıyla kayma gerilmesi – yatay şekildeğiştirme grafiklerine geçilmiş ve bu değerler incelenmiştir. Numunenin A yüzünde yer alan yerdeğiştirme ölçer 2.50 MPa gerilme değerine ulaştığında 0.0003 yatay şekildeğiştirme, B yüzünde ise 2.50 MPa gerilme değerine ulaştığında 0.0003 yatay şekildeğiştirme değeri okunmuştur. Her iki yüzden elde edilen grafiklerin ortalaması 2.50 MPa gerilme değerinde 0.0003 yatay şekildeğiştirme olduğu görülmüştür.

Numune üzerinde tam orta noktasına gelecek şekilde yerleştirilen ve her iki yüzde yer alan şekildeğiştirme ölçerlerden gerilme – yatay şekildeğiştirme grafikleri incelenmiştir. Numunenin A yüzünde yer alan yatay şekildeğiştirme ölçer 2.50 MPa gerilme değerine ulaştığında 0.001, B yüzünde ise 2.50 MPa gerilme değerine ulaştığında 0.0007 yatay şekildeğiştirme olduğu görülmüştür. Şekil 4.19 da numunenin her iki yüzünde yer alan yatay şekildeğiştirme ölçerlerden belirlenen kayma gerilmesi – yatay şekildeğiştirme grafikleri yer almaktadır. Grafik tepe yük değerine ulaştıktan sonra, azalan kolda 0.8 P_{max} değerine ulaştığında sonlandırılmıştır.



Şekil 4.19 : A ve B yüzündeki şekildeğiştirme ölçerlerden alınan gerilme – yatay şekildeğiştirme grafiği.

Ortalama değerler incelendiğinde, 2.50 MPa düzeyinde gerçekleşen şekildeğiştirmenin düşey yönde 0.003, yatay yönde ise 0.0003 olduğu görülmüştür. Bu grafikler kullanılarak kayma gerilmesi – kayma şekildeğiştirmesi grafiği çizilmiştir. 2.50 MPa düzeyinde kayma şekildeğiştirmesinin 0.003 mertebesinde olduğu görülmüştür. Grafikler tepe yük değerine eriştikten sonra, azalan kolda 0.8 P_{max} değerine ulaşıldığında sonlandırılmıştır. Ortalama yatay ve düşey gerilme – şekildeğiştirme grafikleri ve kayma gerilmesi – kayma şekildeğiştirme ilişkisi Şekil 4.20 de verilmiştir.

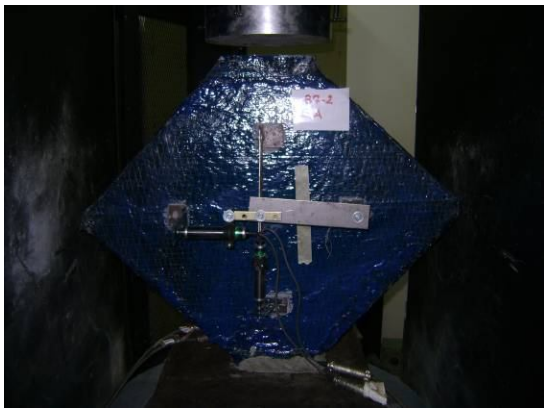


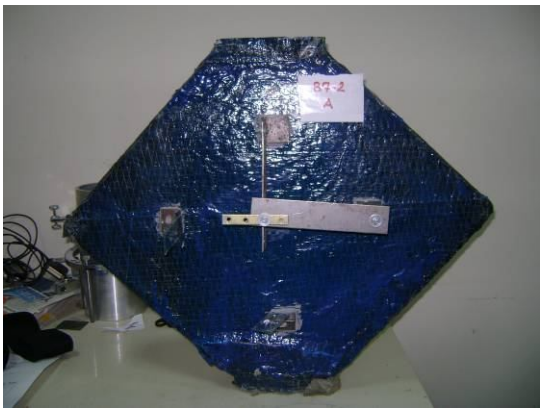
Şekil 4.20 : Gerilme – düşey şekildeğiştirme, gerilme – yatay şekildeğiştirme ve gerilme – kayma şekildeğiştirme grafiklerinin kıyaslanması.

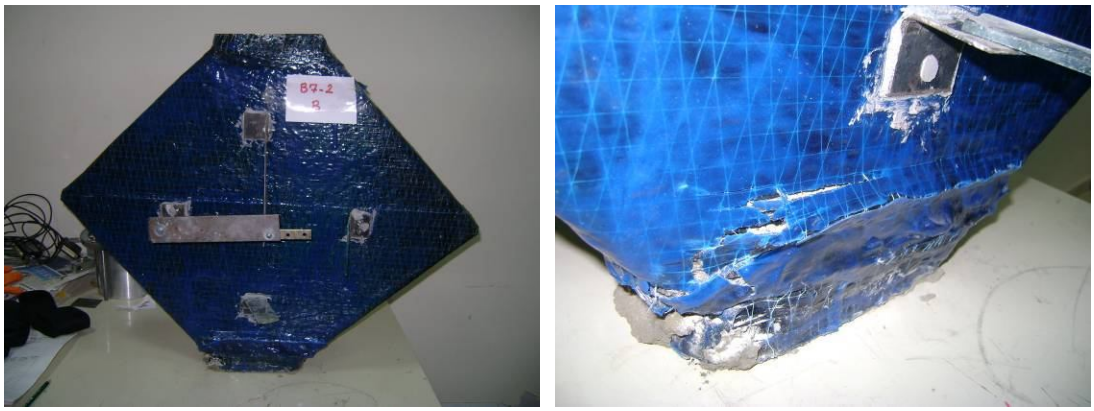
Hesaplar sırasında numunenin kayma modülü olarak, en büyük gerilmenin %5 ve %33 üne karşılık gelen noktaların doğrusal olarak birleştirilmesi durumundaki doğrunun eğimi alınmıştır. Numunenin kayma modülü 2105 MPa olarak belirlenmiştir.

4.1.12 B7-2 numunesi hasar dağılımı

Deney sırasında, artan yükler etkisinde numunenin davranışı incelenmiş, numunenin hangi bölgelerinde hasarlar olduğuna bakılmıştır. Deney sırasında ve sonunda numune incelendiğinde, alt başlık bölgesinde CFRP nin şiştiği ve yüzeyden ayrıldığı görülmüştür. Şekil 4.21 de deneyin farklı aşamalarındaki hasarları gösteren fotoğraflar verilmiştir.





Şekil 4.21 : B7-2 numunesinin deney sırasında ve sonunda görünümü.

4.2 C Grubu Deneyleri

4.2.1 C6-2 numunesi deneyi

50.47 kN a ulaştıktan sonra dayanım azalmaya başlamış, 19.62 kN a düşüldüğünde deney sonlandırılmıştır.

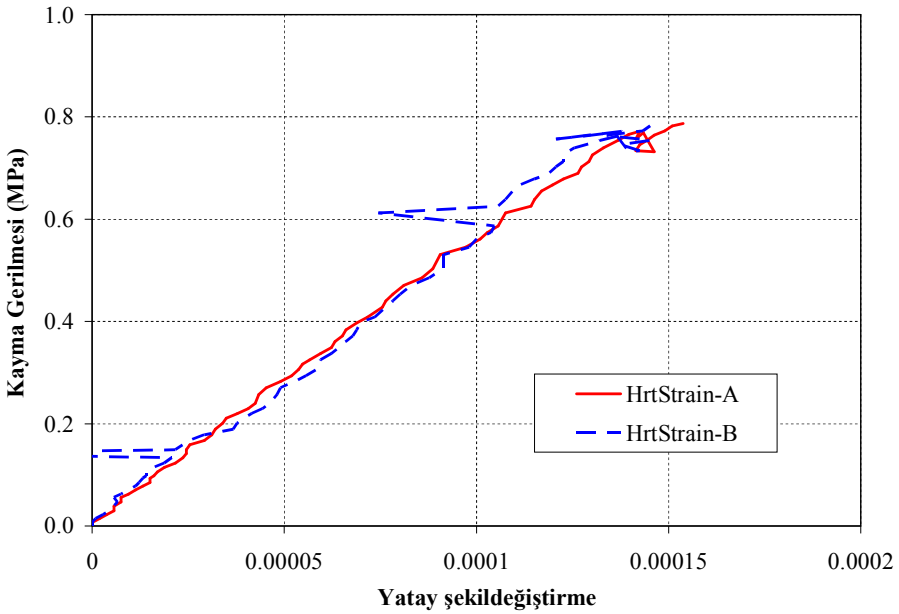
Numunenin her iki yüzünde yer alan yerdeğiştirme ölçerlerin okuduğu değerler incelenmiştir. En büyük yük olan 50.47 kN değerine ulaştığında A yüzünde, düşey yerdeğiştirme ölçer 0.13 mm kısalma, B yüzünde ise 0.15 mm kısalma ölçülmüştür. Yük değeri olan 50.47 kN a ulaştığında numunenin A yüzünde ki yatay yerdeğiştirme ölçer 0.03 mm uzama yerdeğiştirmesi, B yüzünde ki ise 0.02 mm uzama yerdeğiştirmesi ölçmüştür.

Düşeyde yer alan yerdeğiştirme ölçerlerden elde edilen yük – yerdeğiştirme değerleri yardımıyla basınç gerilmesi – düşey şekildeğiştirme grafiklerine geçilmiş ve bu değerler incelenmiştir. Numunenin A yüzünde yer alan düşey yerdeğiştirme ölçer 0.79 MPa gerilme değerine ulaştığında 0.0004 düşey şekildeğiştirme, B yüzünde ise 0.79 MPa gerilme değerinde 0.0005 düşey şekildeğiştirme değeri okunmuştur. Her iki yüzden elde edilen grafiklerin ortalaması incelendiğinde 0.79 MPa değerinde 0.00045 düşey şekildeğiştirme olduğu görülmüştür.

Yatayda yer alan yerdeğiştirme ölçerlerden elde edilen yük – yerdeğiştirme değerleri yardımıyla basınç gerilmesi – yatay şekildeğiştirme grafiklerine geçilmiş ve bu değerler incelenmiştir. Numunenin A yüzünde yer alan yerdeğiştirme ölçer 0.79 MPa gerilme değerine ulaştığında 0.00009 yatay şekildeğiştirme, B yüzünde ise 0.79 MPa gerilme değerine ulaştığında 0.00006 yatay şekildeğiştirme değeri okunmuştur. Her

iki yüzden elde edilen grafiklerin ortalaması 0.79 MPa gerilme değerinde 0.00008 yatay şekildeğiştirme olduğu görülmüştür.

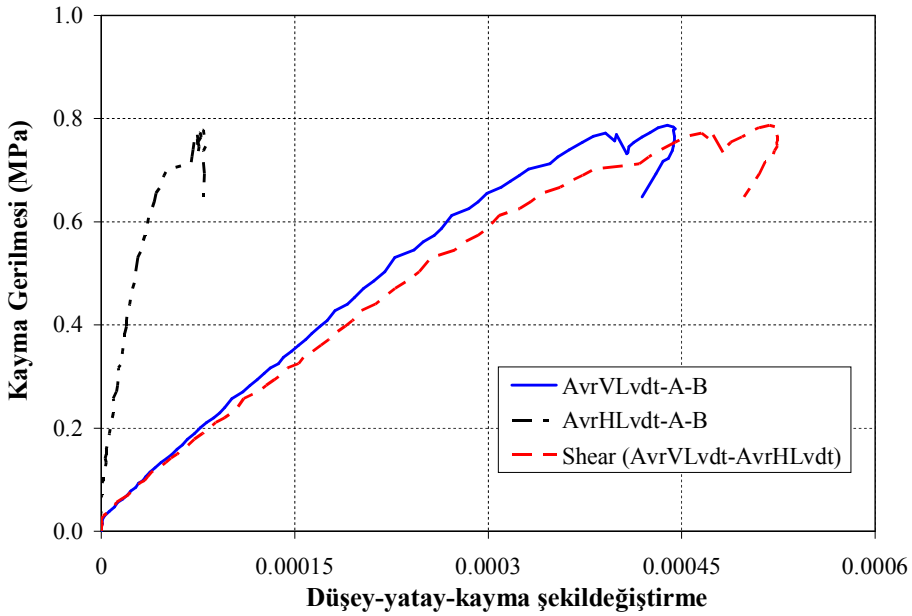
Numune üzerinde tam orta noktasına gelecek şekilde yerleştirilen ve her iki yüzde yer alan şekildeğiştirme ölçerlerden gerilme – yatay şekildeğiştirme grafikleri incelenmiştir. Numunenin A yüzünde yer alan yatay şekildeğiştirme ölçer 0.79 MPa gerilme değerine ulaştığında 0.00015, B yüzünde ise 0.79 MPa gerilme değerine ulaştığında 0.00015 yatay şekildeğiştirme olduğu görülmüştür. Şekil 4.22 de numunenin her iki yüzünde yer alan yatay şekildeğiştirme ölçerlerden belirlenen basınç gerilmesi – yatay şekildeğiştirme grafikleri yer almaktadır. Grafik tepe yük değerine eriştikten sonra sonlandırılmıştır.



Şekil 4.22 : A ve B yüzündeki şekildeğiştirme ölçerlerden alınan gerilme – yatay şekildeğiştirme grafiği.

Ortalama değerler incelendiğinde, 0.79 MPa düzeyinde gerçekleşen şekildeğiştirmenin düşey yönde 0.00045, yatay yönde ise 0.00008 olduğu görülmüştür. Bu grafikler kullanılarak kayma gerilmesi – kayma şekildeğiştirmesi grafiği çizilmiştir. 0.79 MPa düzeyinde kayma şekildeğiştirmesinin 0.0005 mertebesinde olduğu görülmüştür. Grafikler tepe yük değerine eriştikten sonra, azalan kolda 0.8 P_{max} değerine ulaşıldığında sonlandırılmıştır. Ortalama yatay ve düşey gerilme – şekildeğiştirme grafikleri ve kayma gerilmesi – kayma şekildeğiştirme ilişkisi Şekil 4.23 de verilmiştir.

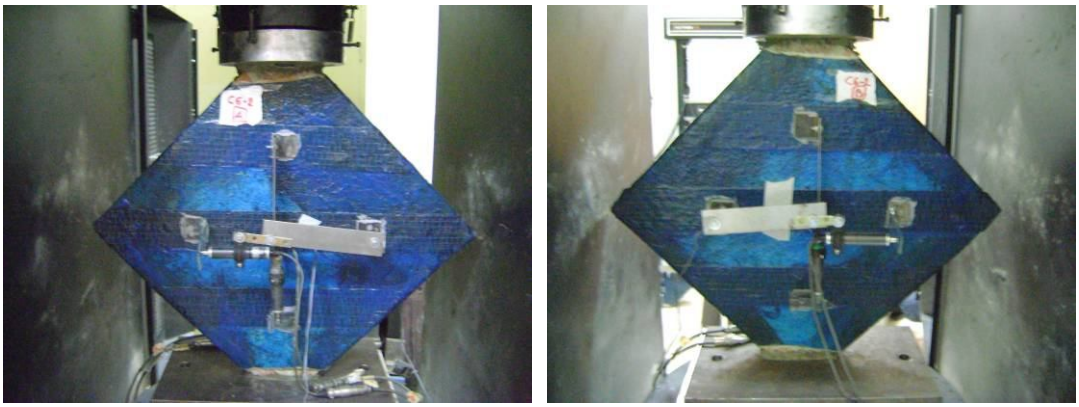
Hesaplar sırasında numunenin kayma modülü olarak, en büyük gerilmenin %5 ve %33 üne karşılık gelen noktaların doğrusal olarak birleştirilmesi durumundaki doğrunun eğimi alınmıştır. Numunenin kayma modülü 1994 MPa olarak belirlenmiştir.

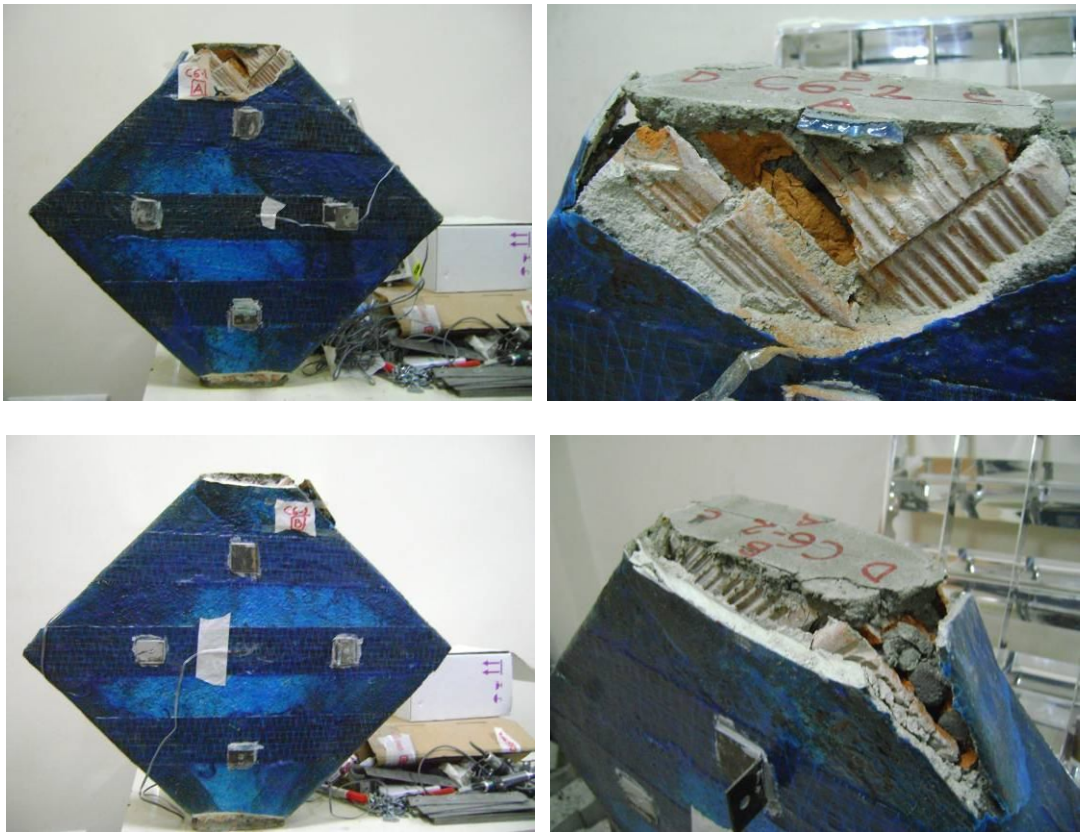


Şekil 4.23 : Gerilme – düşey şekildeğiştirme, gerilme – yatay şekildeğiştirme ve gerilme – kayma şekildeğiştirme grafiklerinin kıyaslanması.

4.2.2 C6-2 numunesi hasar dağılımı

Deney sırasında, artan yükler etkisinde numunenin davranışı incelenmiş, numunenin hangi bölgelerinde hasarlar olduğuna bakılmıştır. Deney sırasında ve sonunda numune incelendiğinde, üst başlık bölgesinde CFRP nin koparak numune yüzeyinden ayrıldığı görülmüştür. Şekil 4.24 de deneyin farklı aşamalarındaki hasarları gösteren fotoğraflar verilmiştir.





Şekil 4.24 : C6-2 numunesinin deney sırasında ve sonunda görünümü.

4.2.3 C7-1 numunesi deneyi

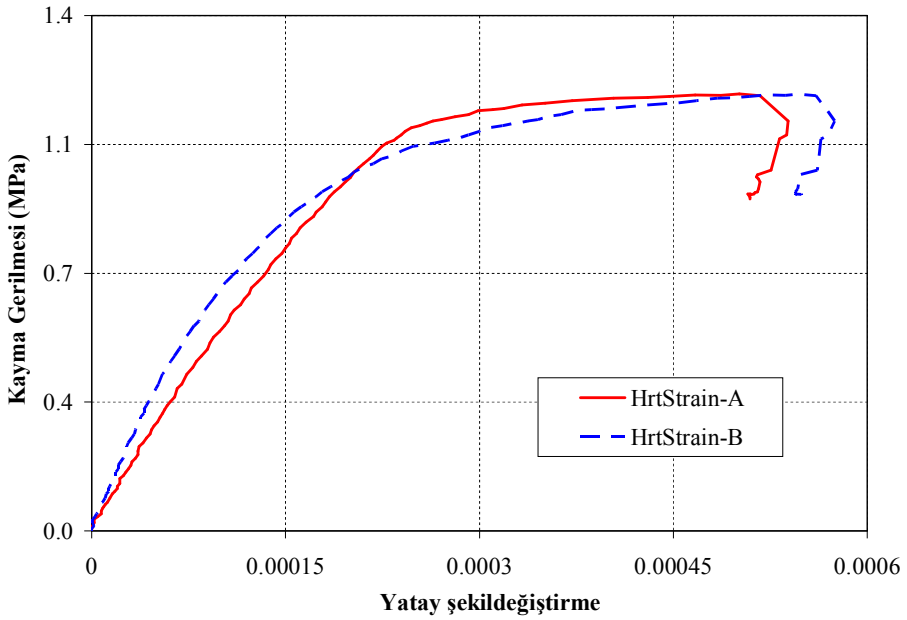
78.88 kN a ulaştıktan sonra dayanım azalmaya başlamış, 35.04 kN a düşüldüğünde deney sonlandırılmıştır.

Numunenin her iki yüzünde yer alan yerdeğiştirme ölçerlerin okuduğu değerler incelenmiştir. En büyük yük olan 78.88 kN değerine ulaştığında A yüzünde, düşey yerdeğiştirme ölçer 0.47 mm kısalma, B yüzünde ise 0.62 mm kısalma ölçülmüştür. Yük değeri olan 78.88 kN a ulaştığında numunenin A yüzünde ki yatay yerdeğiştirme ölçer 0.07 mm uzama yerdeğiştirmesi, B yüzünde ki ise 0.14 mm uzama yerdeğiştirmesi ölçmüştür.

Düşeyde yer alan yerdeğiştirme ölçerlerden elde edilen yük – yerdeğiştirme değerleri yardımıyla basınç gerilmesi – düşey şekildeğiştirme grafiklerine geçilmiş ve bu değerler incelenmiştir. Numunenin A yüzünde yer alan düşey yerdeğiştirme ölçer 1.19 MPa gerilme değerine ulaştığında 0.0015 düşey şekildeğiştirme, B yüzünde ise 1.19 MPa gerilme değerinde 0.0020 düşey şekildeğiştirme değeri okunmuştur. Her iki yüzden elde edilen grafiklerin ortalaması incelendiğinde 1.19 MPa değerinde 0.0018 düşey şekildeğiştirme olduğu görülmüştür.

Yatayda yer alan yerdeğiştirme ölçerlerden elde edilen yük – yerdeğiştirme değerleri yardımıyla basınç gerilmesi – yatay şekildeğiştirme grafiklerine geçilmiş ve bu değerler incelenmiştir. Numunenin A yüzünde yer alan yerdeğiştirme ölçer 1.19 MPa gerilme değerine ulaştığında 0.0002 yatay şekildeğiştirme, B yüzünde ise 1.19 MPa gerilme değerine ulaştığında 0.0005 yatay şekildeğiştirme değeri okunmuştur. Her iki yüzden elde edilen grafiklerin ortalaması 1.19 MPa gerilme değerinde 0.0004 yatay şekildeğiştirme olduğu görülmüştür.

Numune üzerinde tam orta noktasına gelecek şekilde yerleştirilen ve her iki yüzde yer alan şekildeğiştirme ölçerlerden gerilme – yatay şekildeğiştirme grafikleri incelenmiştir. Numunenin A yüzünde yer alan yatay şekildeğiştirme ölçer 1.19 MPa gerilme değerine ulaştığında 0.0005, B yüzünde ise 1.19 MPa gerilme değerine ulaştığında 0.0005 yatay şekildeğiştirme olduğu görülmüştür. Şekil 4.25 de numunenin her iki yüzünde yer alan yatay şekildeğiştirme ölçerlerden belirlenen basınç gerilmesi – yatay şekildeğiştirme grafikleri yer almaktadır. Grafk tepe yük değerine ulaştıktan sonra, azalan kolda 0.8 P_{max} değerine ulaştığında sonlandırılmıştır.

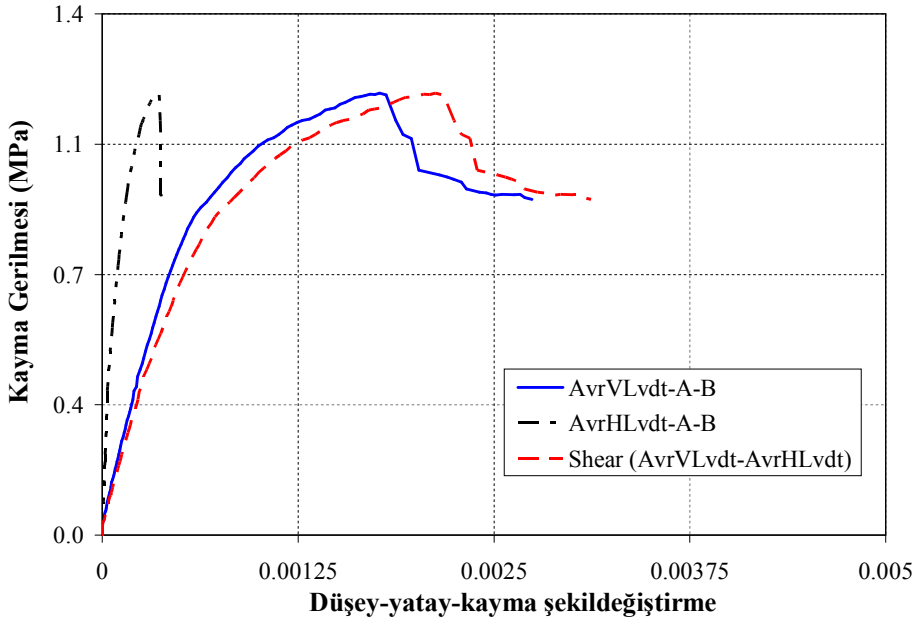


Şekil 4.25 : A ve B yüzündeki şekildeğiştirme ölçerlerden alınan gerilme – yatay şekildeğiştirme grafiği.

Ortalama değerler incelendiğinde, 1.19 MPa düzeyinde gerçekleşen şekildeğiştirmenin düşey yönde 0.0018, yatay yönde ise 0.0004 olduğu görülmüştür. Bu grafikler kullanılarak kayma gerilmesi – kayma şekildeğiştirmesi grafiği

çizilmiştir. 1.19 MPa düzeyinde kayma şekildeğiştirmesinin 0.0021 mertebesinde olduğu görülmüştür. Grafikler tepe yük değerine eriştikten sonra, azalan kolda 0.8 Pmax değerine ulaşıldığında sonlandırılmıştır. Ortalama yatay ve düşey gerilme – şekildeğiştirme grafikleri ve kayma gerilmesi – kayma şekildeğiştirme ilişkisi Şekil 4.26 da verilmiştir.

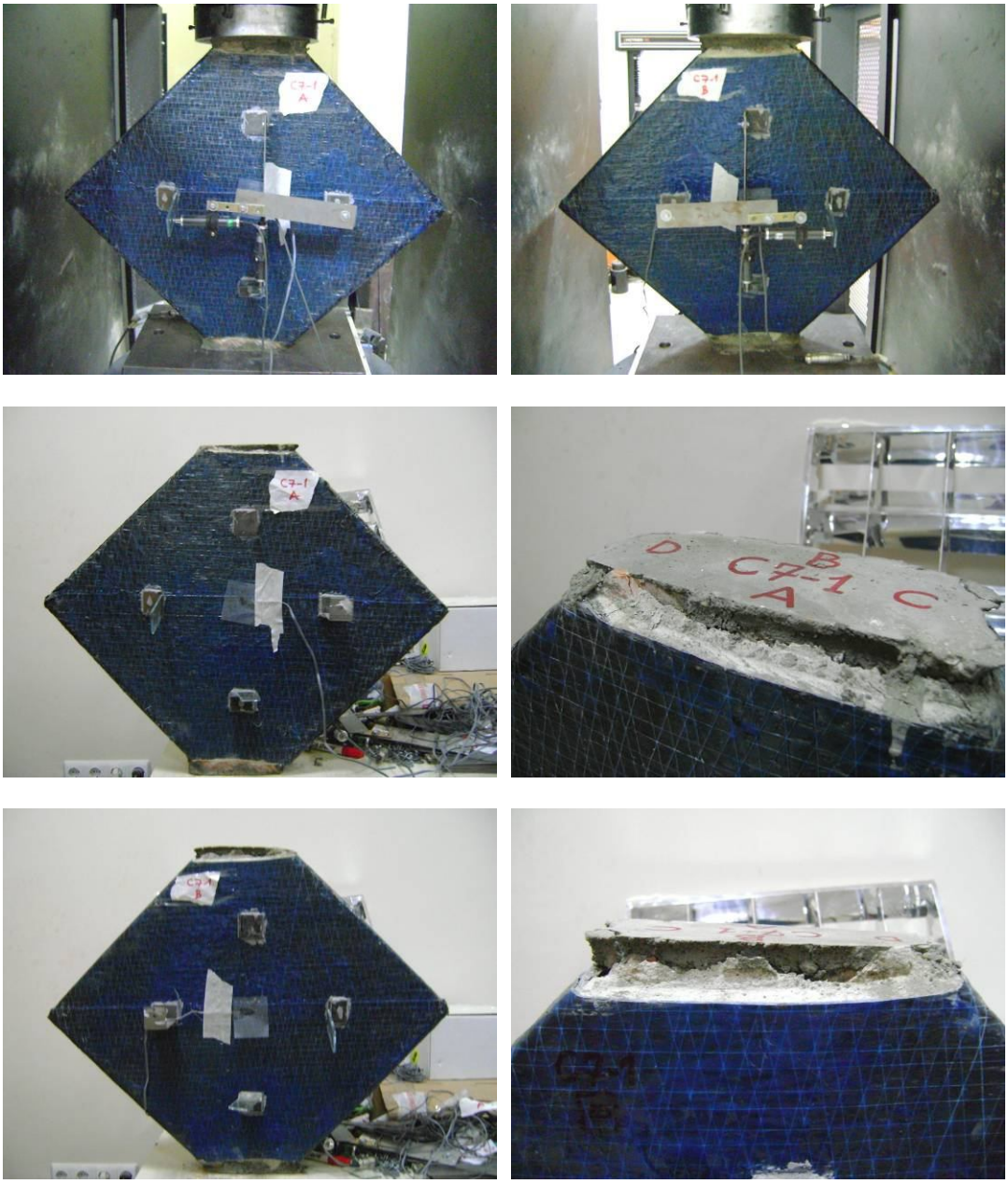
Hesaplar sırasında numunenin kayma modülü olarak, en büyük gerilmenin %5 ve %33 üne karşılık gelen noktaların doğrusal olarak birleştirilmesi durumundaki doğrunun eğimi alınmıştır. Numunenin kayma modülü 1491 MPa olarak belirlenmiştir.



Şekil 4.26 : Gerilme – düşey şekildeğiştirme, gerilme – yatay şekildeğiştirme ve gerilme – kayma şekildeğiştirme grafiklerinin kıyaslanması.

4.2.4 C7-1 numunesi hasar dağılımı

Deney sırasında, artan yükler etkisinde numunenin davranışı incelenmiş, numunenin hangi bölgelerinde hasarlar olduğuna bakılmıştır. Deney sırasında ve sonunda numune incelendiğinde, çok fazla hasar oluşumu gözlenmemiş, üst başlık bölgesindeki mesafenin kapanarak numunenin o bölgede şişme yaptığı görülmüştür. Şekil 4.27 de deneyin farklı aşamalarındaki hasarları gösteren fotoğraflar verilmiştir.



Şekil 4.27 : C7-1 numunesinin deney sırasında ve deney sonunda görünümü.

4.2.5 C7-2 numunesi deneyi

71.21 kN a ulaştıktan sonra dayanım azalmaya başlamış, 28.24 kN a düşüldüğünde deney sonlandırılmıştır.

Numunenin her iki yüzünde yer alan yerdeğiştirme ölçerlerin okuduğu değerler incelenmiştir. En büyük yük olan 71.21 kN değerine ulaştığında A yüzünde düşey yerdeğiştirme ölçer 0.98 mm kısalma, B yüzünde ise 0.73 mm kısalma ölçülmüştür. Yük değeri olan 71.21 kN a ulaştığında numunenin A yüzünde ki yatay

yerdeğiştirme ölçer 0.13 mm uzama yerdeğiştirmesi, B yüzünde ki ise 0.03 mm uzama yerdeğiştirmesi ölçmüştür.

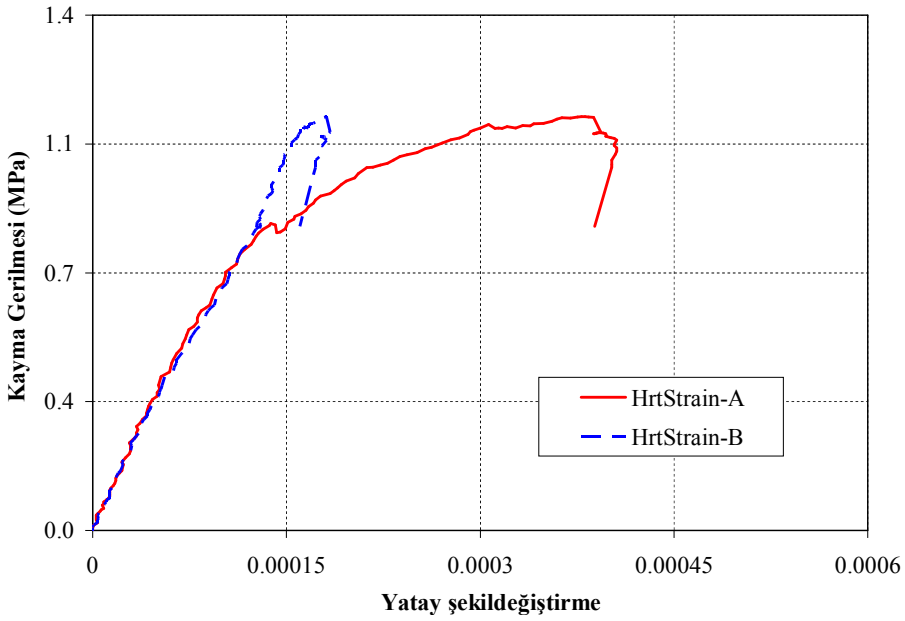
Düşeyde yer alan yerdeğiştirme ölçerlerden elde edilen yük – yerdeğiştirme değerleri yardımıyla basınç gerilmesi – düşey şekildeğiştirme grafiklerine geçilmiş ve bu değerler incelenmiştir. Numunenin A yüzünde yer alan düşey yerdeğiştirme ölçer 1.12 MPa gerilme değerine ulaştığında 0.0033 düşey şekildeğiştirme, B yüzünde ise 1.12 MPa gerilme değerinde 0.0024 düşey şekildeğiştirme değeri okunmuştur. Her iki yüzden elde edilen grafiklerin ortalaması incelendiğinde 1.12 MPa değerinde 0.0028 düşey şekildeğiştirme olduğu görülmüştür.

Yatayda yer alan yerdeğiştirme ölçerlerden elde edilen yük – yerdeğiştirme değerleri yardımıyla basınç gerilmesi – yatay şekildeğiştirme grafiklerine geçilmiş ve bu değerler incelenmiştir. Numunenin A yüzünde yer alan yerdeğiştirme ölçer 1.12 MPa gerilme değerine ulaştığında 0.0004 yatay şekildeğiştirme, B yüzünde ise 1.12 MPa gerilme değerine ulaştığında 0.0001 yatay şekildeğiştirme değeri okunmuştur. Her iki yüzden elde edilen grafiklerin ortalaması 1.12 MPa gerilme değerinde 0.0003 yatay şekildeğiştirme olduğu görülmüştür.

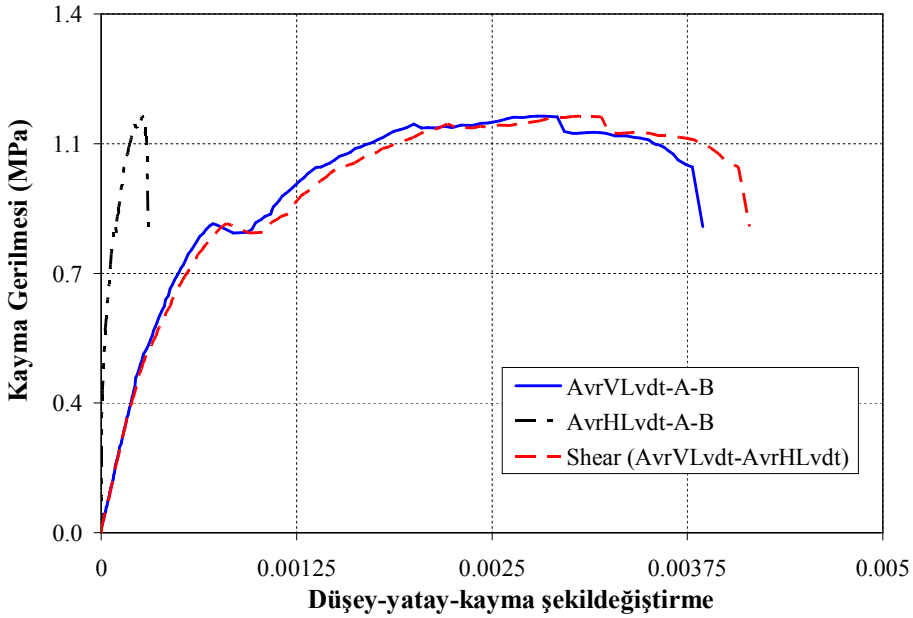
Numune üzerinde tam orta noktasına gelecek şekilde yerleştirilen ve her iki yüzde yer alan şekildeğiştirme ölçerlerden gerilme – yatay şekildeğiştirme grafikleri incelenmiştir. Numunenin A yüzünde yer alan yatay şekildeğiştirme ölçer 1.12 MPa gerilme değerine ulaştığında 0.0004, B yüzünde ise 1.12 MPa gerilme değerine ulaştığında 0.0002 yatay şekildeğiştirme olduğu görülmüştür. Şekil 4.28 de numunenin her iki yüzünde yer alan yatay şekildeğiştirme ölçerlerden belirlenen basınç gerilmesi – yatay şekildeğiştirme grafikleri yer almaktadır. Grafk tepe yük değerine ulaştıktan sonra, azalan kolda 0.8 P_{max} değerine ulaştığında sonlandırılmıştır.

Ortalama değerler incelendiğinde, 1.12 MPa düzeyinde gerçekleşen şekildeğiştirmenin düşey yönde 0.0028, yatay yönde ise 0.0003 olduğu görülmüştür. Bu grafikler kullanılarak kayma gerilmesi – kayma şekildeğiştirmesi grafiği çizilmiştir. 1.12 MPa düzeyinde kayma şekildeğiştirmesinin 0.0031 mertebesinde olduğu görülmüştür. Grafikler tepe yük değerine eriştikten sonra, azalan kolda 0.8 P_{max} değerine ulaşıldığında sonlandırılmıştır. Ortalama yatay ve düşey gerilme –

şekildeğiştirme grafikleri ve kayma gerilmesi – kayma şekildeğiştirme ilişkisi Şekil 4.29 da verilmiştir.



Şekil 4.28 : A ve B yüzündeki şekildeğiştirme ölçerlerden alınan gerilme – yatay şekildeğiştirme grafiği.

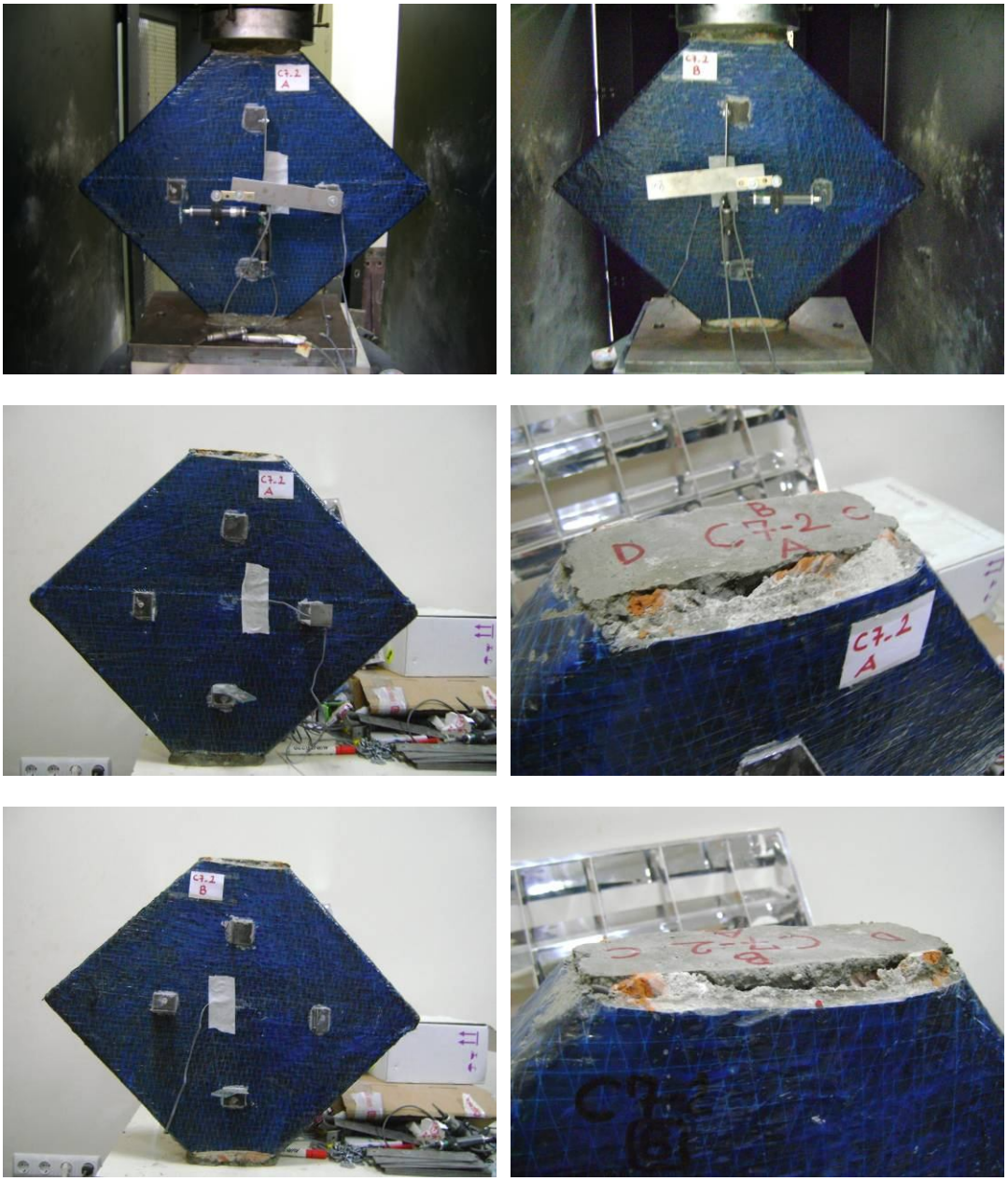


Şekil 4.29 : Gerilme – düşey şekildeğiştirme, gerilme – yatay şekildeğiştirme ve gerilme – kayma şekildeğiştirme grafiklerinin kıyaslanması.

Hesaplar sırasında numunenin kayma modülü olarak, en büyük gerilmenin %5 ve %33 üne karşılık gelen noktaların doğrusal olarak birleştirilmesi durumundaki doğrunun eğimi alınmıştır. Numunenin kayma modülü 1778 MPa olarak belirlenmiştir.

4.2.6 C7-2 numunesi hasar dağılımı

Deney sırasında, artan yükler etkisinde numunenin davranışı incelenmiş, numunenin hangi bölgelerinde hasarlar olduğuna bakılmıştır. Deney sırasında ve sonunda numune incelendiğinde, başlık bölgesinde hasar oluşumu gözlenmiş, üst başlık bölgesindeki mesafenin kapanarak numunenin o bölgenin ayrıldığı görülmüştür. Şekil 4.30 da deneyin farklı aşamalarındaki hasarları gösteren fotoğraflar verilmiştir.



Şekil 4.30 : C7-2 numunesinin deney sırasında ve deney sonunda görünümü.

5. DENEYSEL SONUÇLARIN KARŞILAŞTIRMASI

Bu tez çalışması kapsamında, boşluklu tuğladan üretilmiş toplam 21 adet 500×500 mm boyutlarında yalın ve güçlendirilmiş duvar numunesi artan basınç yükleri etkisinde, eksenel ve diyagonal doğrultuda denenmiştir. Elde edilen sonuçların karşılaştırması bu bölümde yapılacaktır.

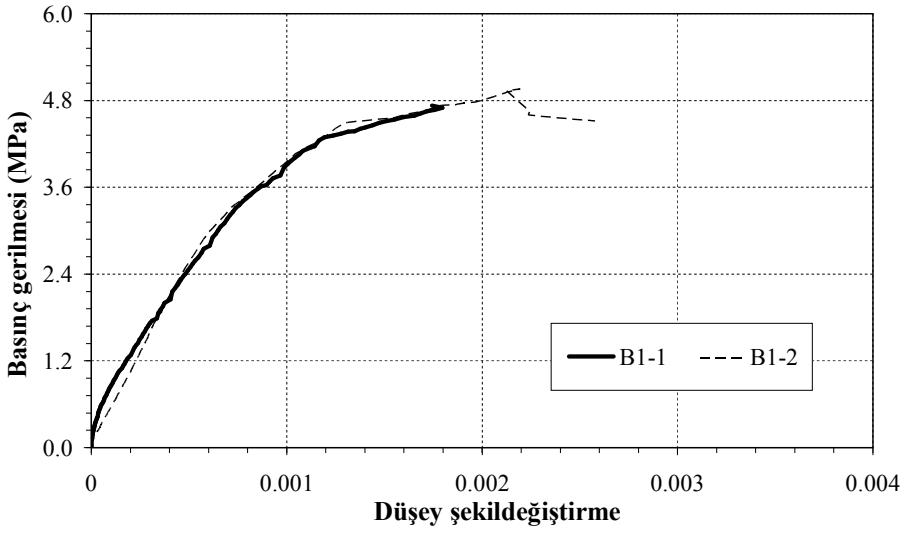
Numunelerin karşılaştırılması aşağıda sıralanan üç ana değişkene göre yapılmıştır.

- Kullanılan harç türü
- Yükleme yönü
- CFRP ile güçlendirme ve uygulama biçimi

5.1 Özdeş Numunelerin Karşılaştırılması

5.1.1 B1 grubu numunelerinin karşılaştırılması

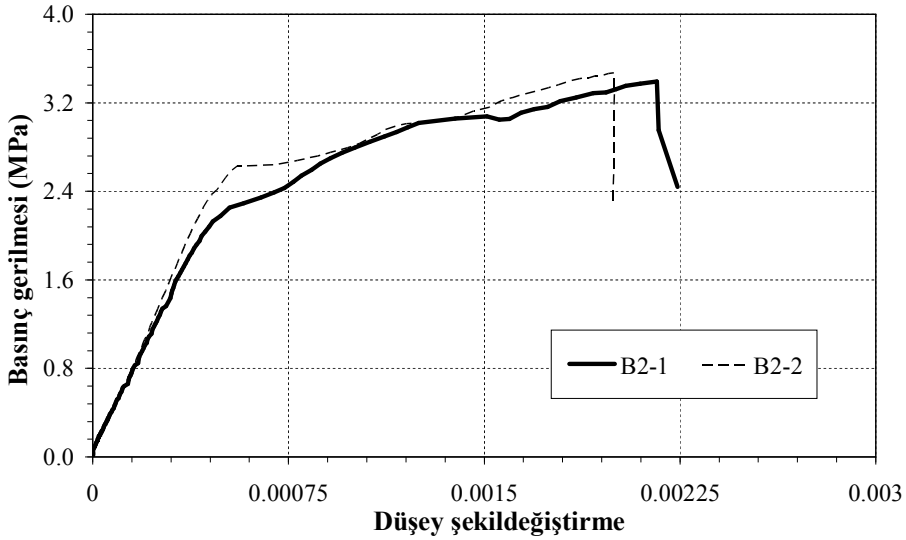
B1 grubunda yer alan iki adet özdeş numuneye ait eksenel gerilme – şekildeğiştirme ilişkisi Şekil 5.1 de karşılaştırılmıştır. Elde edilen en büyük eksenel dayanım 5.0 MPa, karşı gelen en büyük düşey şekildeğiştirme ise 0.002 olmuştur. Bu gruba ait ortalama elastisite modülü 5048 MPa olmuştur.



Şekil 5.1 : B1 grubu numunelerde eksenel gerilme – şekildeğiştirme ilişkisi.

5.1.2 B2 grubu numunelerinin karşılaştırılması

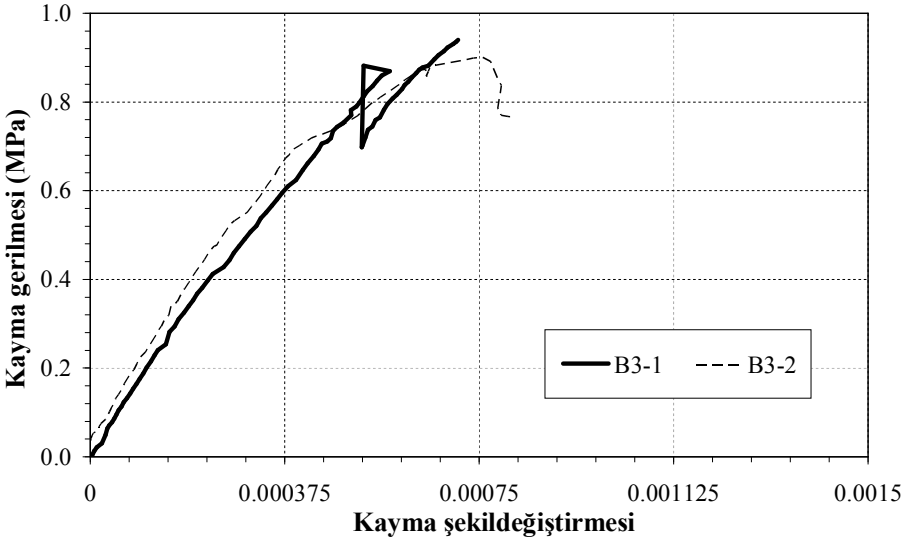
B2 grubunda yer alan iki adet özdeş numuneye ait eksenel gerilme – şekildeğiştirme ilişkisi Şekil 5.2 de karşılaştırılmıştır. Elde edilen en büyük eksenel dayanım 3.5 MPa, karşı gelen en büyük eksenel şekildeğiştirme ise 0.002 olmuştur. Bu gruba ait ortalama elastisite modülü 4934 MPa olmuştur.



Şekil 5.2 : B2 grubu numunelerde eksenel gerilme – şekildeğiştirme ilişkisi.

5.1.3 B3 grubu numunelerinin karşılaştırılması

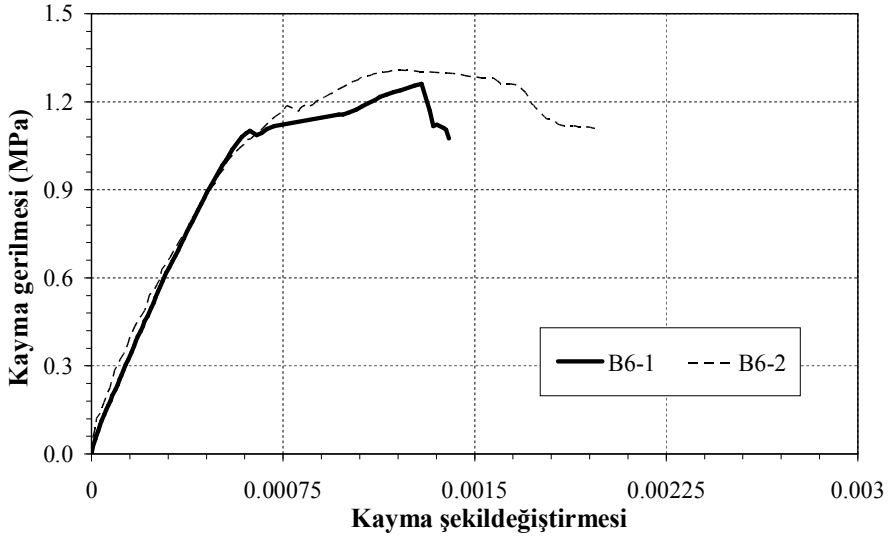
B3 grubunda yer alan özdeş iki adet numuneye ait kayma gerilmesi – şekildeğiştirme ilişkisi Şekil 5.3 de karşılaştırılmıştır. Elde edilen en büyük kayma dayanımı 0.9 MPa, karşı gelen en büyük kayma şekildeğiştirmesi ise 0.0008 olmuştur. Bu gruba ait ortalama kayma modülü 1845 MPa olmuştur.



Şekil 5.3 : B3 grubu numunelerde kayma gerilmesi – şekildeğiştirme ilişkisi.

5.1.4 B6 grubu numunelerinin karşılaştırılması

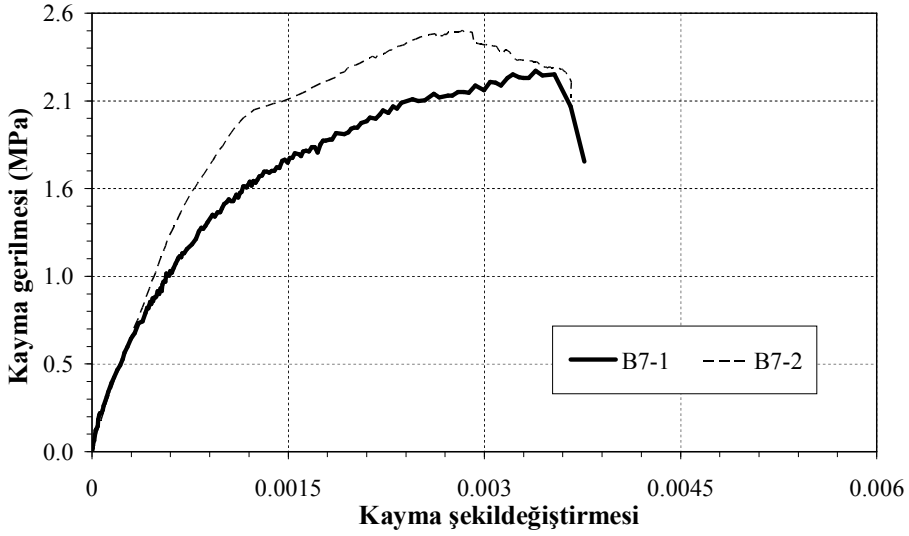
B6 grubunda yer alan özdeş iki adet numuneye ait kayma gerilmesi – şekildeğiştirme ilişkisi Şekil 5.4 de karşılaştırılmıştır. Elde edilen en büyük kayma dayanımı 1.3 MPa, karşı gelen en büyük kayma şekildeğiştirmesi ise 0.0013 olmuştur. Bu gruba ait ortalama kayma modülü ise 2108 MPa olmuştur.



Şekil 5.4 : B6 grubu numunelerde kayma gerilmesi – şekildeğiştirme ilişkisi.

5.1.5 B7 grubu numunelerinin karşılaştırılması

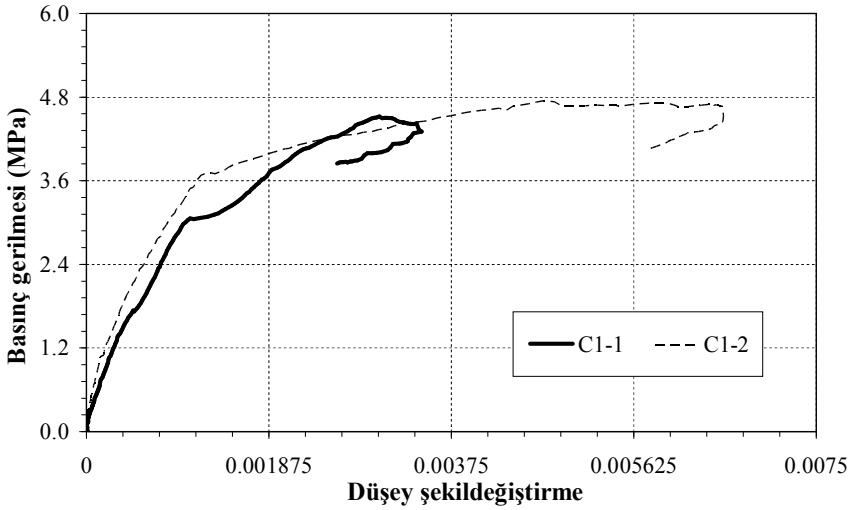
B7 grubunda yer alan özdeş iki adet numuneye ait kayma gerilmesi – şekildeğiştirme ilişkisi Şekil 5.5 de karşılaştırılmıştır. Elde edilen en büyük kayma dayanımı 2.5 MPa, karşı gelen en büyük kayma şekildeğiştirmesi ise 0.003 olmuştur. Bu gruba ait ortalama kayma modülü ise 2014 MPa olmuştur.



Şekil 5.5 : B7 grubu numunelerde kayma gerilmesi – şekildeğiştirme ilişkisi.

5.1.6 C1 grubu numunelerinin karşılaştırılması

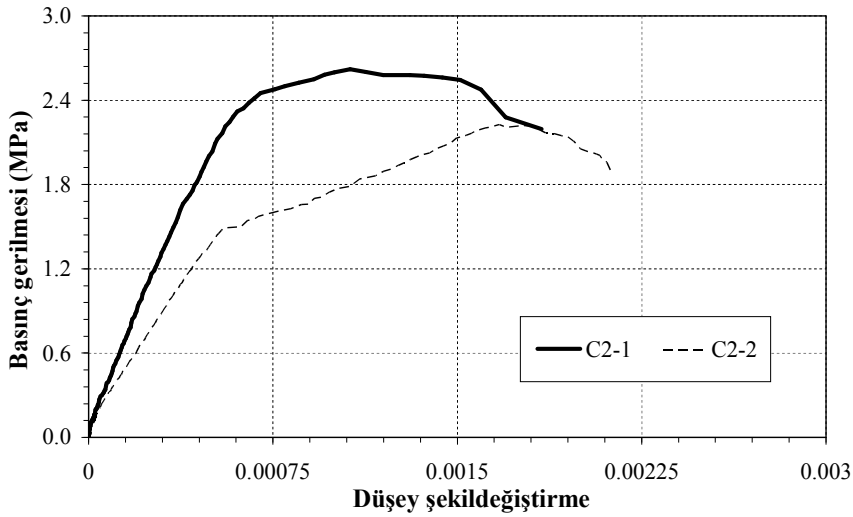
C1 grubunda yer alan özdeş iki adet numuneye ait eksenel gerilme – şekildeğiştirme ilişkisi Şekil 5.6 da karşılaştırılmıştır. Elde edilen en büyük dayanım 4.8 MPa ve ortalama en büyük şekildeğiştirme 0.004 olmuştur. Bu gruba ait ortalama elastisite modülü 4216 MPa olmuştur.



Şekil 5.6 : C1 grubu numunelerde eksenel gerilme – şekildeğiştirme ilişkisi.

5.1.7 C2 grubu numunelerinin karşılaştırılması

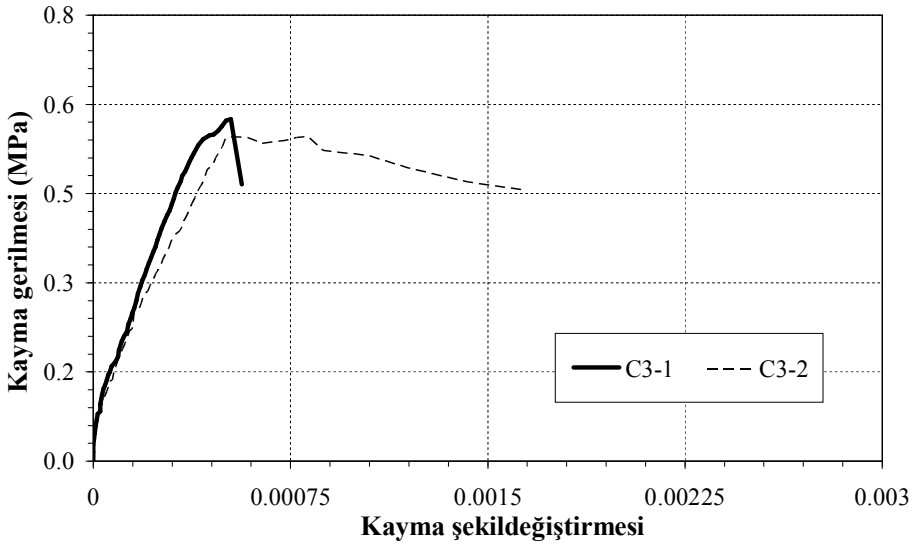
C2 grubunda yer alan özdeş iki adet numunenin davranışı Şekil 5.7 de karşılaştırılmıştır. Birinci numuneden elde edilen en büyük dayanım 2.6 MPa iken, diğer numunede bu değer 2.2 MPa olmuştur. En büyük dayanıma karşı gelen düşey şekildeğiştirmeler ise sırası ile 0.001 ve 0.002 olmuştur. Bu gruba ait ortalama elastisite modülü 3529 MPa olmuştur.



Şekil 5.7 : C2 grubu numunelerde eksenel gerilme – şekildeğiştirme ilişkisi.

5.1.8 C3 grubu numunelerinin karşılaştırılması

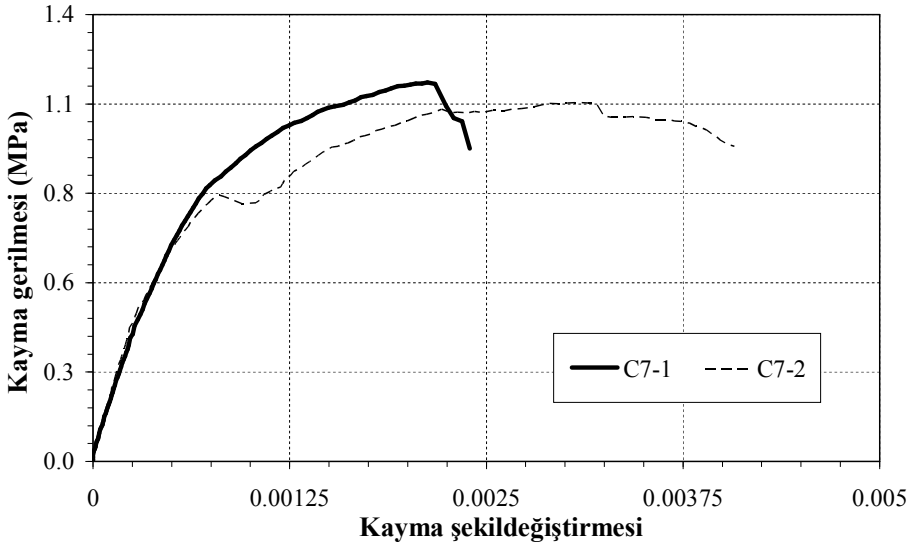
C3 grubunda yer alan numunelerin davranışı Şekil 5.8 de verilmiştir. En büyük kayma dayanımı 0.6 MPa, karşı gelen kayma şekildeğiştirmesi de 0.0007 olmuştur. Bu gruba ait ortalama kayma modülü 1486 MPa olmuştur.



Şekil 5.8 : C3 grubu numunelerde kayma gerilmesi – şekildeğiştirme ilişkisi.

5.1.9 C7 grubu numunelerinin karşılaştırılması

C7 grubunda yer alan özdeş iki adet numunenin davranışı Şekil 5.9 da karşılaştırılmıştır. Ulaşılan en büyük dayanım 1.2 MPa, karşı gelen ortalama kayma şekildeğiştirmesi de 0.0025 olmuştur. Bu gruba ait ortalama kayma modülü 1635 MPa olmuştur.

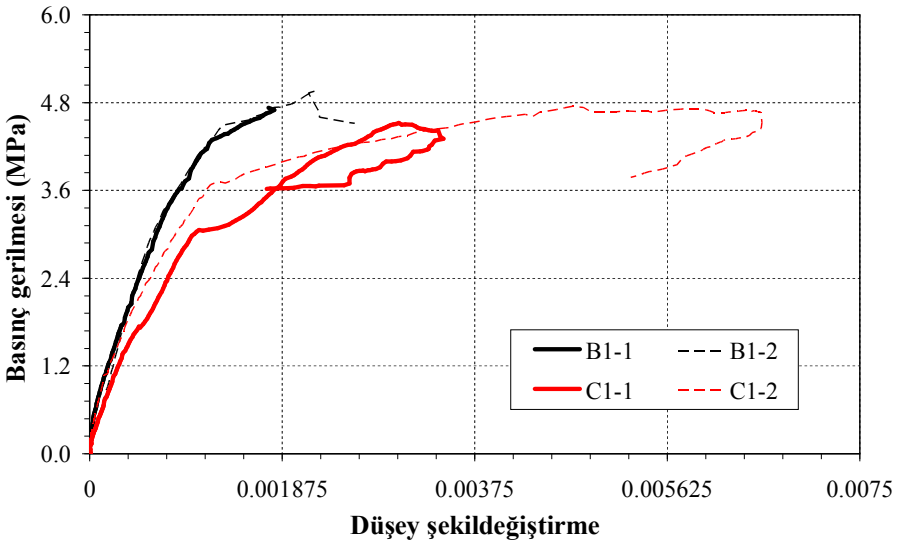


Şekil 5.9 : C7 grubu numunelerde kayma gerilmesi – şekildeğiştirme ilişkisi.

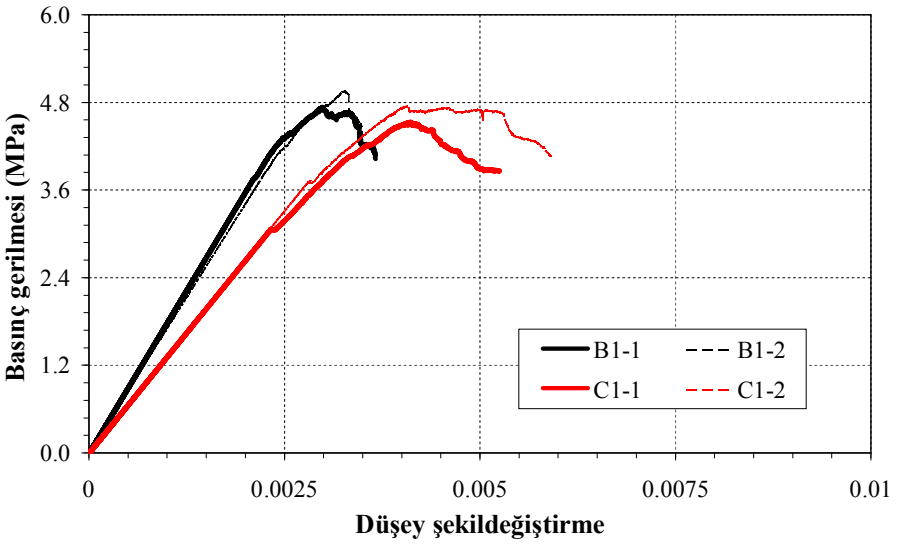
5.2 Harç Değişkeninin Etkisinin İrdelenmesi

5.2.1 Delik doğrultusundaki yükleme durumu için irdeleme

Yalın duvar numunelerinin delik doğrultusunda yüklenmesi durumu için, harç değişkeninin davranış üzerindeki etkisi Şekil 5.10, Şekil 5.11 ve Çizelge 5.1 de gösterilmiştir. Çimento harcı ile üretilen duvar numunelerinde çimento – kireç harcı ile üretilen numunelere göre %5 daha fazla dayanım gerçekleşmiştir. Bunun yanı sıra çimento harcı ile üretilen numunelerde yükleme doğrultusunda gerçekleşen en büyük şekildeğiştirme çimento – kireç harcı ile üretilen numunelerde gerçekleşen değerlerin yarısı mertebesinde olmuştur.



Şekil 5.10 : Delik doğrultusunda yükleme durumu için harç tipinin etkisi.



Şekil 5.11 : Instron yükleme ünitesinden alınan eksenel gerilme – şekildeğiştirme ilişkisi.

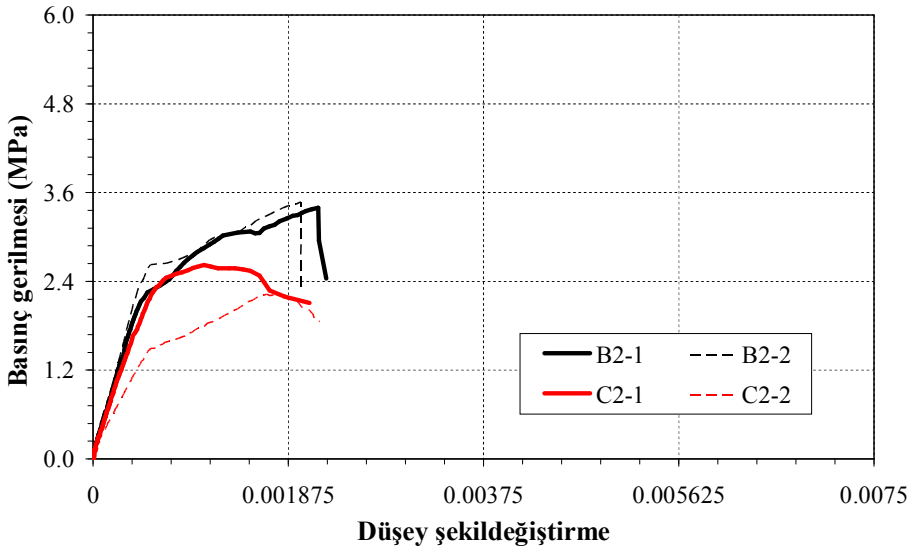
Duvar numunelerinin delik doğrultusunda yüklenmesi durumunda gerçekleşen ortalama elastisite modülü değeri; çimento harcı durumunda çimento – kireç harcına göre %20 daha fazladır.

Çizelge 5.1 : Harç tipinin etkisine bağlı olarak delik doğrultusunda yükleme durumu için deney numunelerinin mekanik özellikleri.

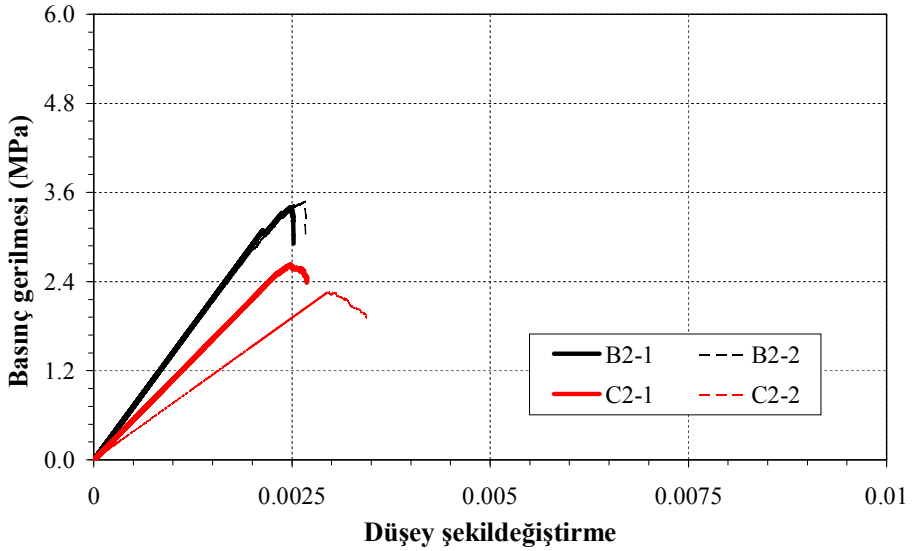
Mekanik Özellik	B1-1	B1-2	C1-1	C1-2
σ (MPa)	4.73	4.96	4.52	4.75
E_{LVDT} (MPa)	5071	5024	3744	4687
ε_{maxINS}	0.0030	0.0033	0.0041	0.0041
$\varepsilon_{0.85INS}$	0.0037	0.0035	0.0052	0.0059
μ	1.23	1.06	1.27	1.44
σ_{ort} (MPa)	4.85		4.64	
$E_{LVDTORT}$ (MPa)	5048		4216	
$\sigma_{B1/C1}$	1.05			
$E_{LVDTB1/C1}$	1.20			

5.2.2 Delik doğrultusuna dik yükleme durumu için irdeleme

Yalın duvar numunelerinin deliğe dik doğrultuda yüklenmesi durumu için, harç değişkeninin davranış üzerindeki etkisi Şekil 5.12, Şekil 5.13 ve Çizelge 5.2 de gösterilmiştir. Çimento harcı ile üretilen duvar numunelerinde çimento – kireç harcı ile üretilen numunelere göre %41 daha fazla dayanım gerçekleşmiştir. Çimento harcı ile üretilen numunelerde gerçekleşen en büyük boyuna şekildeğiştirme ile çimento–kireç harcı ile üretilen numunelerde gerçekleşen değerler arasında %20 düzeyinde fark vardır.



Şekil 5.12 : Delik doğrultusuna dik yükleme durumu için harç tipinin etkisi.



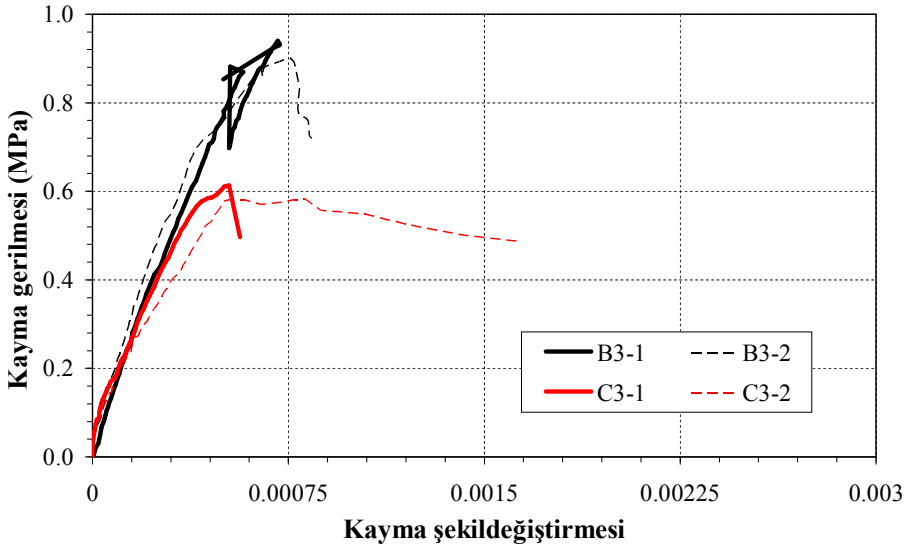
Şekil 5.13 : Instron yükleme ünitesinden alınan eksenel gerilme – şekildeğiştirme ilişkisi.

Çizelge 5.2 : Harç tipinin etkisine bağlı olarak delik doğrultusuna dik yükleme durumu için deney numunelerinin mekanik özellikleri.

Mekanik Özellik	B2-1	B2-2	C2-1	C2-2
σ (MPa)	3.39	3.47	2.62	2.23
E_{LVDT} (MPa)	4641	5227	4276	2781
ε_{maxINS}	0.0025	0.0027	0.0025	0.0030
$\varepsilon_{0.85INS}$	0.0025	0.0027	0.0027	0.0034
μ	1.00	1.00	1.08	1.13
σ_{ort} (MPa)	3.43		2.43	
$E_{LVDTORT}$ (MPa)	4934		3529	
$\sigma_{B2/C2}$	1.41			
$E_{LVDTB2/C2}$	1.40			

5.2.3 Diyagonal yükleme durumu için irdeleme

Yalın duvar numunelerinin diyagonal doğrultuda yüklenmesi durumu için, harç değişkeninin davranış üzerindeki etkisi Şekil 5.14 ve Çizelge 5.3 de gösterilmiştir. Çimento harcının kullanıldığı deneylerde, çimento – kireç harcının kullanıldığı deneylere göre %53 lük dayanım fazlalığı vardır. Çimento harcının kullanıldığı numunelerde gerçekleşen kayma dayanımı 0.9 MPa iken çimento – kireç harcının kullanıldığı numunelerde en büyük kayma dayanımı 0.6 MPa olarak gerçekleşmiştir. Çimento – kireç harcının kullanıldığı numunelerde gerçekleşen şekildeğiştirmeler çimento harcı kullanılan duruma göre %17 daha fazla olmuştur.



Şekil 5.14 : Diyagonal yükleme durumunda harç tipinin etkisi.

Duvar numunelerinin diyagonal doğrultuda yüklenmesi durumunda gerçekleşen ortalama kayma modülü değeri; çimento harcı durumunda çimento – kireç durumuna göre %24 daha fazladır.

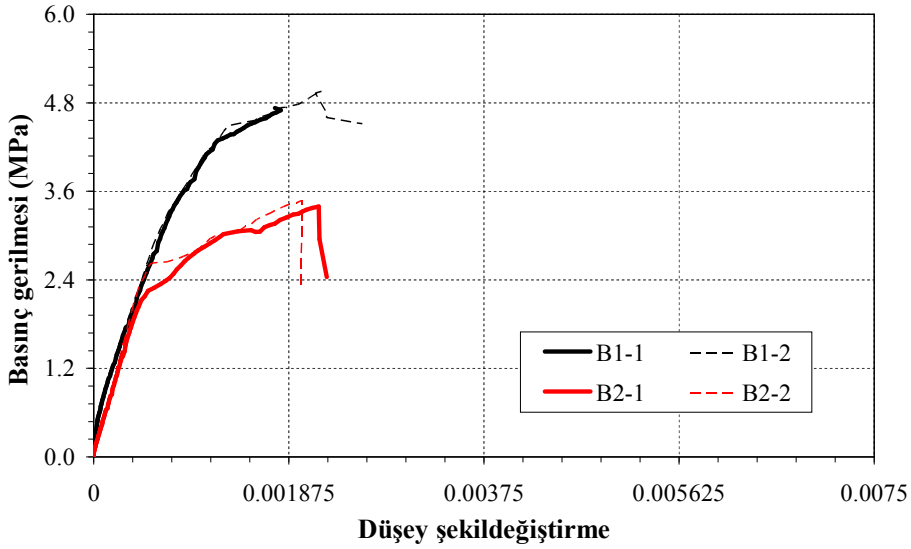
Çizelge 5.3 : Harç tipinin etkisine bağlı olarak diyagonal doğrultuda yükleme durumu için deney numunelerinin mekanik özellikleri.

Mekanik Özellik	B3-1	B3-2	C3-1	C3-2
τ (MPa)	0.94	0.90	0.61	0.58
G_{LVDT} (MPa)	1788	1902	1546	1426
$\gamma_{maxLVDT}$	-	0.0008	0.0006	0.0008
$\gamma_{0.85LVDT}$	-	0.0008	0.0006	0.0017
μ	-	1.00	1.00	2.13
τ_{ort} (MPa)	0.92			0.60
$G_{LVDTORT}$ (MPa)	1845			1486
$\tau_{B3/C3}$			1.53	
$G_{LVDTB3/C3}$			1.24	

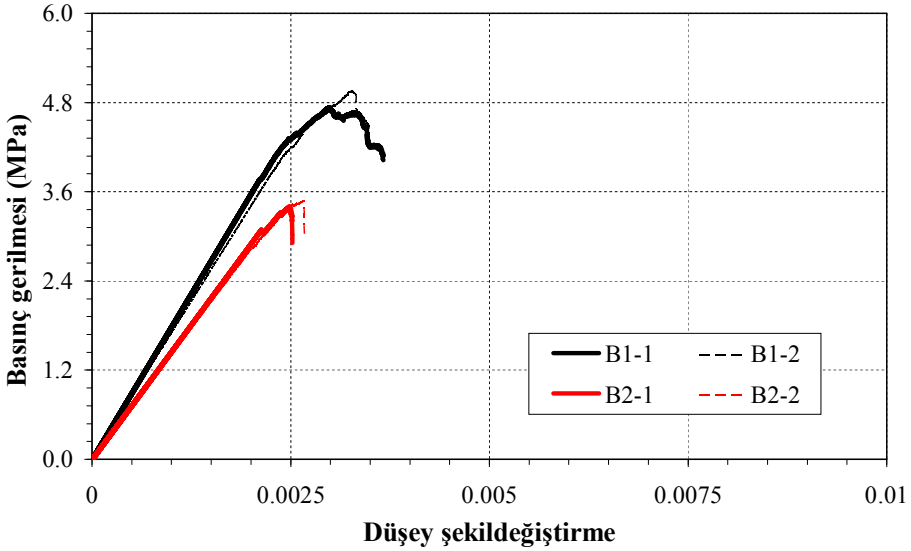
5.3 Delik Doğrultusu Değişkeninin İrdelenmesi

5.3.1 Çimento harcı durumu için irdeleme

Çimento harcı kullanılarak üretilmiş; delik ve deliğe dik doğrultuda yüklenmiş numunelere ait eksenel gerilme – şekildeğiştirme ilişkileri Şekil 5.15, Şekil 5.16 ve Çizelge 5.4 de verilmiştir. Eğriler yaklaşık 2.0 MPa eksenel gerilme düzeyine kadar birlikte gelişmekte daha sonra ayrılmaktadır. Delik doğrultusunda 5.0 MPa, deliğe dik doğrultuda ise 3.5 MPa eksenel dayanım elde edilmektedir. En büyük dayanıma karşı gelen şekildeğiştirme de yaklaşık 0.0020 düzeyindedir.



Şekil 5.15 : Çimento harcı durumu için yükleme doğrultusunun etkisi.



Şekil 5.16 : Instron yükleme ünitesinden alınan eksenel gerilme – şekildeğiştirme grafiği.

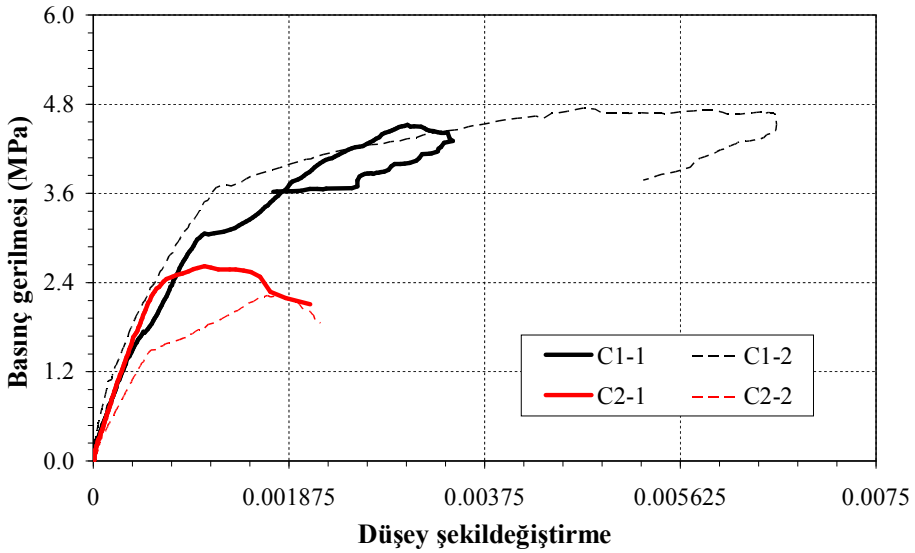
Özdeş harç ile üretilmiş duvar numunelerinin delik doğrultusunda yüklenmesi durumunda gerçekleşen ortalama elastisite modülü, delik doğrultusuna dik yükleme durumunda erişilen değerlerle hemen hemen aynı mertebededir.

Çizelge 5.4 : Delik yönünün etkisine bağlı olarak deney numunelerinin mekanik özellikleri.

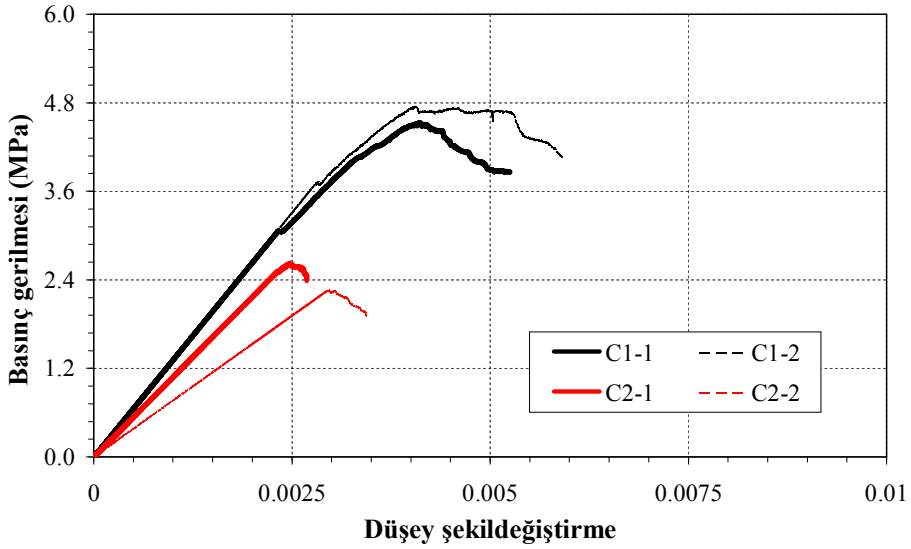
Mekanik Özellik	B1-1	B1-2	B2-1	B2-2
σ (MPa)	4.73	4.96	3.39	3.47
E_{LVDT} (MPa)	5071	5024	4641	5227
ε_{makINS}	0.0030	0.0033	0.0025	0.0027
$\varepsilon_{0.85INS}$	0.0037	0.0035	0.0025	0.0027
μ	1.23	1.06	1.00	1.00
σ_{ort} (MPa)	4.85		3.43	
$E_{LVDTORT}$ (MPa)	5048		4934	
$\sigma_{B1/B2}$	1.41			
$E_{LVDTB1/B2}$	1.02			

5.3.2 Çimento – kireç harcı durumu için irdeleme

Çimento – kireç harcı kullanılarak üretilmiş; delik ve deliğe dik doğrultuda yüklenmiş numunelere ait eksenel gerilme – şekildeğiştirme ilişkileri Şekil 5.17, Şekil 5.18 ve Çizelge 5.5 de verilmiştir. Eğriler yaklaşık 1.5 MPa eksenel gerilme düzeyine kadar birlikte gelişmekte daha sonra ayrılmaktadır. Delik doğrultusunda 4.8 MPa, deliğe dik doğrultuda ise 2.2 – 2.6 MPa eksenel dayanım elde edilmektedir. En büyük dayanıma karşı gelen şekildeğiştirme delik doğrultusundaki yükleme için 0.004, deliğe dik doğrultudaki yüklemede için de 0.0015 olarak belirlenmiştir.



Şekil 5.17 : Çimento – kireç harcı durumu için yükleme doğrultusunun etkisi.



Şekil 5.18 : Instron yükleme ünitesinden alınan eksenel gerilme – şekildeğiştirme grafiği.

Özdeş harç ile üretilmiş duvar numunelerinin delik doğrultusunda yüklenmesi durumunda gerçekleşen ortalama elastisite modülü, delik doğrultusuna dik yüklenme durumuna göre %19 daha fazladır.

Çizelge 5.5 : Delik yönünün etkisine bağlı olarak deney numunelerinin mekanik özellikleri.

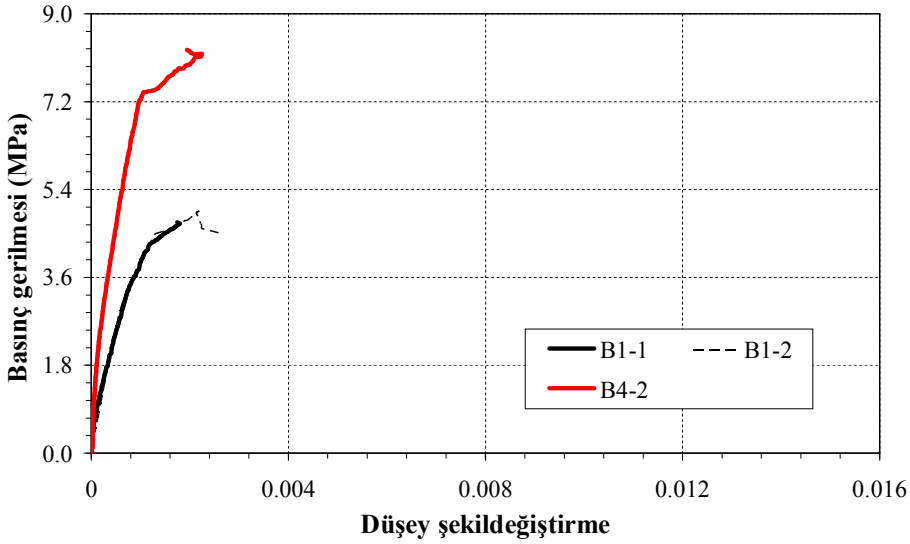
Mekanik Özellik	C1-1	C1-2	C2-1	C2-2
σ (MPa)	4.52	4.75	2.62	2.23
E_{LVDT} (MPa)	3744	4687	4276	2781
ε_{maxINS}	0.0041	0.0041	0.0025	0.0030
$\varepsilon_{0.85INS}$	0.0052	0.0059	0.0027	0.0034
μ	1.27	1.44	1.08	1.13
σ_{ort} (MPa)	4.64		2.43	
$E_{LVDTORT}$ (MPa)	4216		3529	
$\sigma_{C1/C2}$	1.91			
$E_{LVDTC1/C2}$	1.19			

5.4 CFRP İle Güçlendirme Değişkeninin İrdelenmesi

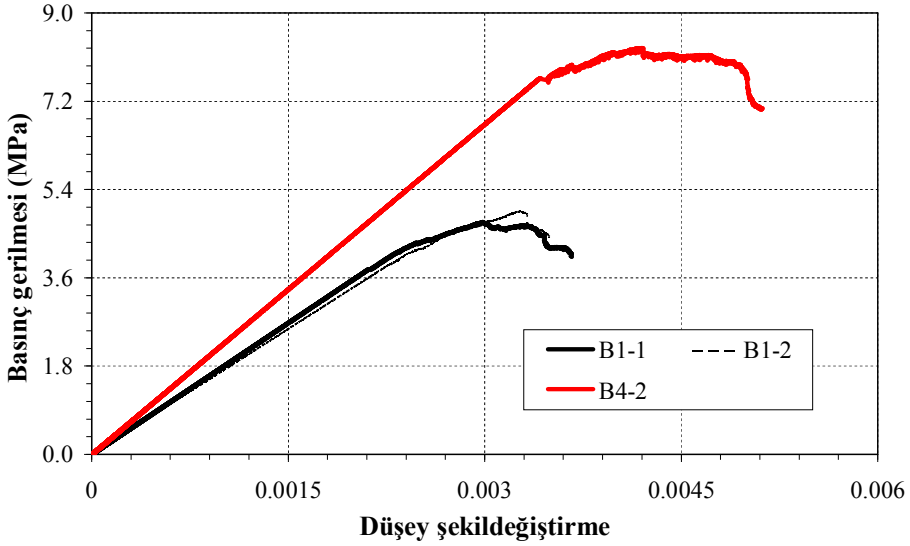
5.4.1 Delik doğrultusunda yükleme durumu için irdeleme

Çimento harcının kullanıldığı numunelerde; CFRP ile güçlendirmenin her iki yüzde sürekli olarak uygulandığı durumda delik doğrultusunda yapılan yükleme ile elde edilen eksenel gerilme – şekildeğiştirme ilişkisi yalın numunelerde elde edilen sonuçlar ile karşılaştırılmış, Şekil 5.19, Şekil 5.20 ve Çizelge 5.6 da verilmiştir.

Yalın numunelerde 5.0 MPa düzeyinde olan eksenel dayanım, CFRP ile güçlendirme durumunda 8.0 MPa düzeyine çıkmıştır.



Şekil 5.19 : Delik doğrultusunda yükleme durumu için sürekli CFRP güçlendirmesinin etkisi.



Şekil 5.20 : Instron yükleme ünitesinden alınan eksenel gerilme – şekildeğiştirme grafiği.

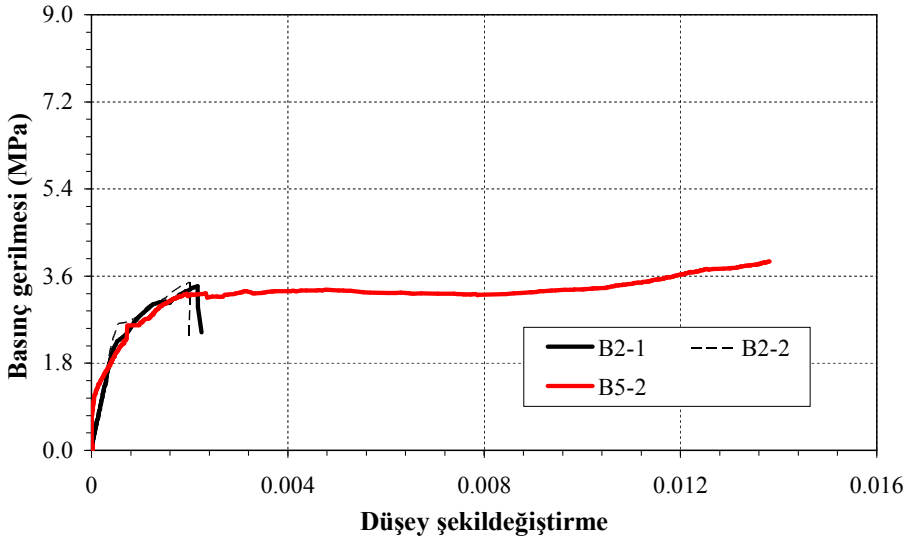
Çimento harcı ile üretilmiş numunelerde, CFRP nin tüm yüzeyde uygulandığı durumda yalın duruma göre %70 dayanım fazlalığı gerçekleşmiştir. Ortalama elastisite modülü değerinde bu farkın 2.5 kat olduğu görülmektedir.

Çizelge 5.6 : CFRP etkisine bağlı olarak delik doğrultusunda yükleme durumu için deney numunelerinin mekanik özellikleri.

Mekanik Özellik	B1-1	B1-2	B4-2
σ (MPa)	4.73	4.96	8.26
E_{LVDT} (MPa)	5071	5024	13045
ε_{maxINS}	0.0030	0.0033	0.0042
$\varepsilon_{0.85INS}$	0.0037	0.0035	0.0051
μ	1.23	1.06	1.21
σ_{ort} (MPa)	4.85		8.26
$E_{LVDTORT}$ (MPa)	5048		13045
$\sigma_{B4/B1}$	1.70		
$E_{LVDTB4/B1}$	2.58		

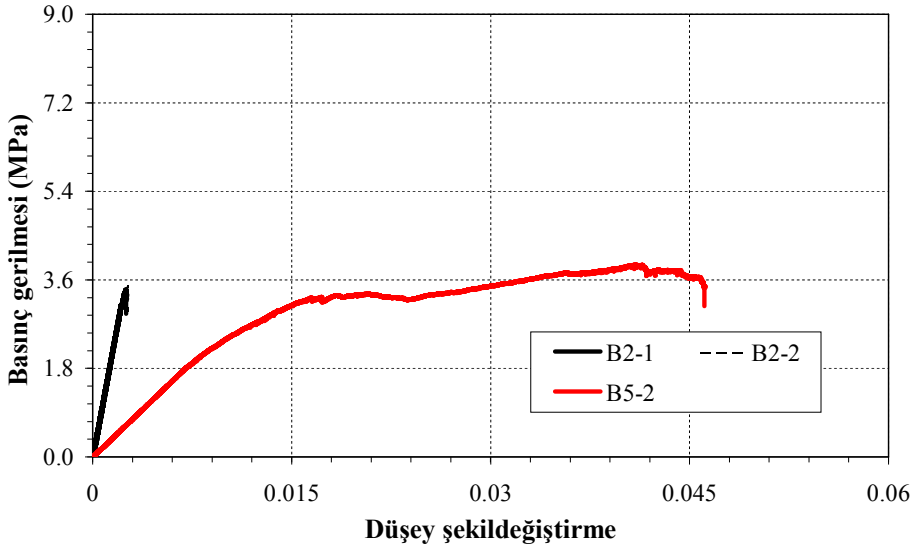
5.4.2 Delik doğrultusuna dik yükleme durumu için irdeleme

Çimento harcının kullanıldığı numunelerde; CFRP ile güçlendirmenin her iki yüzde sürekli olarak uygulandığı durumda, delik doğrultusuna dik olarak yapılan yükleme ile elde edilen eksenel gerilme – şekildeğiştirme ilişkisi, yalın numunelerde elde edilen sonuçlar ile Şekil 5.21, Şekil 5.22 de ve Çizelge 5.7 de karşılaştırılmıştır. Yalın numunelerde 3.5 MPa düzeyinde olan eksenel dayanım, CFRP ile güçlendirme durumunda 3.9 MPa düzeyine çıkmıştır. Güçlendirilmiş numunede gerçekleşen şekildeğiştirmelerin ise oldukça büyüdüğü gözlenmiştir.



Şekil 5.21 : Delik doğrultusuna dik yükleme durumu için sürekli CFRP güçlendirmesinin etkisi.

Çimento harcının kullanıldığı numunelerde, CFRP nin tüm yüzeyde uygulandığı durum yalın duvar durumuna göre %14 daha fazla dayanım vermiştir. Ortalama elastisite modülü değerinde bu fazlalık %72 olmuştur.



Şekil 5.22 : Instron yükleme ünitesinden alınan gerilme – şekildeğiştirme grafiği.

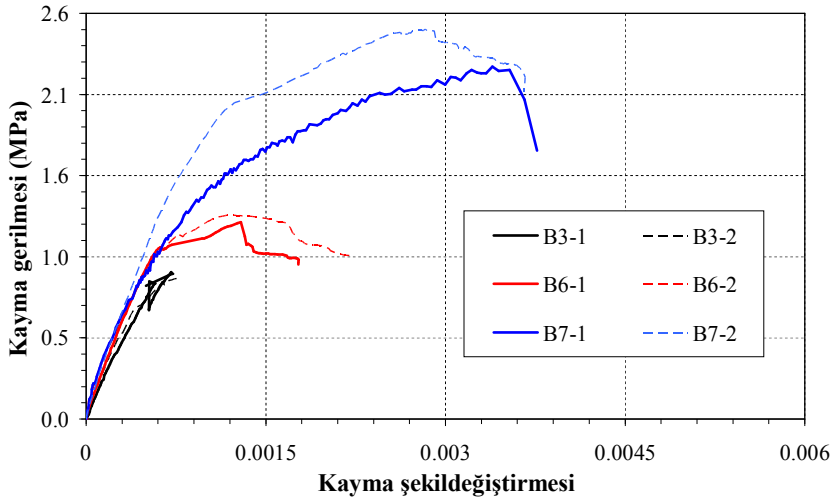
Çizelge 5.7 : CFRP etkisine bağlı olarak delik doğrultusuna dik yükleme durumu için deney numunelerinin mekanik özellikleri.

Mekanik Özellik	B2-1	B2-2	B5-2
σ (MPa)	3.39	3.47	3.90
E_{LVDT} (MPa)	4641	5227	8466
ε_{maxINS}	0.0025	0.0027	0.043
$\varepsilon_{0.85INS}$	0.0025	0.0027	0.048
μ	1.00	1.00	1.12
σ_{ort} (MPa)	3.43		3.90
$E_{LVDTORT}$ (MPa)	4934		8466
$\sigma_{B5/B2}$	1.14		
$E_{LVDTB5/B2}$	1.72		

5.4.3 Diyagonal doğrultuda yükleme durumu için irdeleme

5.4.3.1 Çimento harcı ile üretilmiş numuneler için irdeleme

Çimento harcı ile üretilen numunelerde, diyagonal doğrultuda yapılan yükleme durumunda; CFRP yoğunluğunun kayma gerilmesi – kayma şekildeğiştirmesi ilişkisi üzerindeki etkisi Şekil 5.23, Çizelge 5.8 ve Çizelge 5.9 da gösterilmiştir. Elde edilen en büyük kayma dayanımı, tüm yüzeyin CFRP ile kaplandığı durumda 2.4 MPa, güçlendirmenin şerit biçiminde uygulandığı durumda ise 1.3 MPa olmuştur. Yalın duvar durumuna karşı gelen değer de 0.9 MPa dır. Gerçekleşen en büyük dayanıma karşı gelen şekildeğiştirme, tüm yüzeyin CFRP ile kaplandığı numunelerde 0.0030 düzeyinde, güçlendirmenin şerit biçiminde yapıldığı numunelerde 0.0013, hiç yapılmadığı numunelerde ise 0.0007 düzeyinde olmuştur.



Şekil 5.23 : Diyagonal doğrultuda yükleme durumu için sürekli ve şerit CFRP güçlendirmesinin etkisi.

Çimento harcı ile üretilmiş numunelerde, CFRP'nin tüm yüzeyde uygulandığı deneyler yalın duvar deneylerine göre 2.5 kat, CFRP nin şerit şeklinde uygulandığı deneyler yalın duvar deneylerine göre 1.4 kat daha fazla dayanım vermiştir. Ortalama kayma modülü değerindeki artış %14 ve %9 olarak gerçekleşmiştir.

Çizelge 5.8 : Şerit CFRP uygulaması durumunda, diyagonal doğrultudaki yüklemede elde edilen duvar mekanik özellikleri.

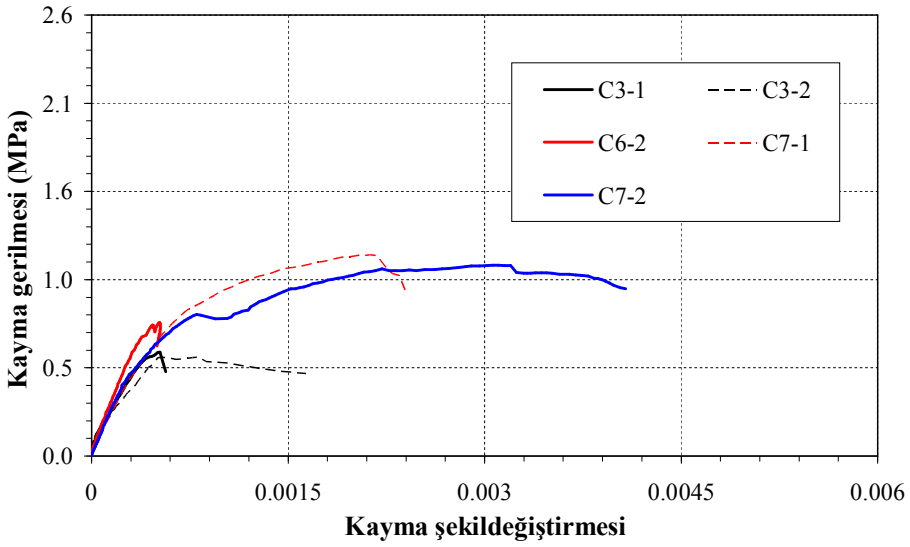
Mekanik Özellik	B3-1	B3-2	B6-1	B6-2
τ (MPa)	0.94	0.90	1.26	1.31
G_{LVDT} (MPa)	1788	1902	2042	2174
$\gamma_{maxLVDT}$	-	0.0008	0.0013	0.0012
$\gamma_{0.85LVDT}$	-	0.0008	0.0014	0.0020
μ	-	1.00	1.08	1.67
τ_{ort} (MPa)	0.92		1.29	
$G_{LVDTORT}$ (MPa)	1845		2108	
$\tau_{B6/B3}$	1.40			
$G_{LVDTB6/B3}$	1.14			

Çizelge 5.9 : Tüm yüzeyin CFRP ile kaplandığı durumda, diyagonal doğrultudaki yüklemede elde edilen duvar mekanik özellikleri.

Mekanik Özellik	B3-1	B3-2	B7-1	B7-2
τ (MPa)	0.94	0.90	2.26	2.50
G_{LVDT} (MPa)	1788	1902	1923	2105
$\gamma_{maxLVDT}$	-	0.0008	0.0034	0.0029
$\gamma_{0.85LVDT}$	-	0.0008	0.0038	0.0037
μ	-	1.00	1.12	1.28
τ_{ort} (MPa)	0.92		2.38	
$G_{LVDTORT}$ (MPa)	1845		2014	
$\tau_{B7/B3}$	2.59			
$G_{LVDTB7/B3}$	1.09			

5.4.3.2 Çimento – kireç harcı ile üretilmiş numuneler için irdeleme

Çimento – kireç harcı ile üretilen numunelerde, diyagonal doğrultuda yapılan yükleme durumunda; CFRP yoğunluğunun kayma gerilmesi – kayma şekildeğiştirmesi ilişkisi üzerindeki etkisi Şekil 5.24, Çizelge 5.10 ve Çizelge 5.11 de gösterilmiştir. Elde edilen en büyük kayma dayanımı, tüm yüzeyin CFRP ile kaplandığı durumda 1.2 MPa, güçlendirmenin şerit biçiminde uygulandığı durumda ise 0.8 MPa olmuştur. Yalın duvar durumunda karşı gelen değer 0.6 MPa dır. Gerçekleşen en büyük dayanıma karşı gelen şekildeğiştirme, tüm yüzeyin CFRP ile kaplandığı numunelerde 0.0025 düzeyinde, güçlendirmenin şerit biçiminde yapıldığı veya hiç yapılmadığı numunelerde ise 0.0007 düzeyinde olmuştur.



Şekil 5.24 : Diyagonal doğrultuda yükleme durumu için sürekli ve şerit CFRP güçlendirmesinin etkisi.

Çimento – kireç harcı ile üretilen numunelerde, CFRP nin tüm yüzeyde uygulandığı deneylerde yalın duvar deneylerine göre %94 lük, CFRP nin şerit şeklinde uygulandığı deneylerde ise yalın duvar deneylerine göre %32 lik dayanım artışları gerçekleşmiştir. Ortalama kayma modülü değerinde bu artışın sırasıyla %10 ve %34 düzeyinde olduğu görülmektedir.

Çizelge 5.10 : Şerit CFRP uygulaması durumunda, diyagonal doğrultudaki yüklemede elde edilen duvar mekanik özellikleri.

Mekanik Özellik	C3-1	C3-2	C6-2
τ (MPa)	0.61	0.58	0.79
G_{LVDT} (MPa)	1546	1426	1994
$\gamma_{maxLVDT}$	0.0006	0.0006	0.0005
$\gamma_{0.85LVDT}$	0.0006	0.0017	0.0005
μ	1.00	2.13	1.00
τ_{ort} (MPa)	0.60		0.79
$G_{LVDTORT}$ (MPa)	1486		1994
$\tau_{C6/C3}$		1.32	
$G_{LVDTC6/C3}$		1.34	

Çizelge 5.11 : Tüm yüzeyin CFRP ile kaplandığı durumda, diyagonal doğrultudaki yüklemede elde edilen duvar mekanik özellikleri.

Mekanik Özellik	C3-1	C3-2	C7-1	C7-2
τ (MPa)	0.61	0.58	1.19	1.12
G_{LVDT} (MPa)	1546	1426	1491	1778
$\gamma_{maxLVDT}$	0.0006	0.0006	0.0021	0.0031
$\gamma_{0.85LVDT}$	0.0006	0.0017	0.0024	0.0041
μ	1.00	2.13	1.14	1.32
τ_{ort} (MPa)	0.60		1.16	
$G_{LVDTORT}$ (MPa)	1486		1635	
$\gamma_{C7/C3}$		1.94		
$G_{LVDTC7/C3}$		1.10		

SONUÇLAR

Boşluklu tuğla ile üretilmiş yalın ve güçlendirilmiş duvar numunelerinin mekanik özellikleri deneysel olarak belirlenmiştir. Güçlendirmede iki farklı yoğunlukta CFRP kullanılmıştır. Yalın ve güçlendirilmiş duvarların kuramsal hesabı için gerekli olan elastisite modülü, kayma modülü, dayanım ve şekildeğiştirme büyüklükleri belirlenmiştir. Seçilen bazı değişkenlerin ilgili büyüklükler üzerindeki etkisi irdelenmiştir. Elde edilen sonuçlar aşağıda sıralanmıştır.

1. Yalın duvar deneylerinde; delik doğrultusundaki yükleme durumu için, harç tipinin gerçekleşen duvar dayanımına etkisinin az olduğu (%5), duvar delik doğrultusuna dik yükleme durumu ile diyagonal yükleme durumlarına olan etkisinin ise sırasıyla %41 ve %53 mertebesinde olduğu gözlenmiştir. Basınç deneylerinde elde edilen elastisite modülünde ve diyagonal yükleme deneylerinde elde edilen kayma modülünde ise iki farklı harç durumunda elde edilen sonuçlar arasında %29 ve %24 mertebesinde farklar olduğu tespit edilmiştir.
2. Çimento harcının kullanıldığı yalın duvar deneylerinde; delik doğrultusu gerçekleşen dayanıma %41 mertebesinde etki ettiği halde, elastisite modülü üzerindeki etkisi %2 mertebesinde kalmıştır. Çimento – kireç harcının kullanıldığı yalın duvar deneylerinde ise hem dayanımda (%91) hem de elastisite modülünde (%19) kayda değer artışlar elde edilmiştir.
3. CFRP ile güçlendirilmiş çimento harçlı duvar numunelerinde; delik doğrultusundaki yüklemede, delik doğrultusuna dik doğrultudaki yükleme durumuna göre hem dayanım hem de elastisite modüllerinde daha büyük artışlar elde edilmiştir.
4. CFRP ile güçlendirilen diyagonal duvar deneylerinde; tüm yüzeyin CFRP ile kaplandığı durum, kısmi CFRP kaplandığı duruma göre her iki harç türün için de daha büyük dayanımlar vermiştir. Kayma modülü açısından

değerlendirildiğinde, kısmi CFRP kaplanan duvar numunelerinde tam CFRP kaplanan numunelere göre daha büyük artışlar gözlenmiştir.

5. Tek tuğla deneylerinden elde edilen ortalama basınç dayanımı delik doğrultusunda 13.0 MPa, deliğe dik doğrultuda 3.8 MPa olmuştur.
6. Duvar deneylerinde elde edilen ortalama basınç dayanımı çimento harcı kullanıldığında delik doğrultusunda 4.85 MPa, deliğe dik doğrultuda 3.43 MPa olmuştur. Çimento – kireç harcı kullanıldığında ise delik doğrultusunda 4.64 MPa, deliğe dik doğrultuda 2.43 MPa olmuştur.
7. Duvar deneylerinden elde edilen ortalama kayma dayanımı çimento harcı için 0.92 MPa, çimento – kireç harcı için de 0.60 MPa dır.
8. Güçlendirilmiş duvarlarda ortalama basınç dayanımı delik doğrultusunda %70, deliğe dik doğrultuda %14 artmıştır.
9. Güçlendirilmiş numunelerde basınç deneylerindeki süneklik delik doğrultusunda 1.21, deliğe dik doğrultuda ise 1.12 olmuştur.
10. Güçlendirilmiş duvarlarda kayma dayanımı tam CFRP sargısı kullanıldığında çimento harçlı numuneler için %259, kısmi CFRP sargısı kullanıldığında %40 artmıştır. Çimento – kireç harcının kullanıldığı numunelerde bu değerler sırasıyla %94 ve %32 olmuştur.
11. Güçlendirilmiş numunelerde kayma deneylerindeki süneklik çimento harçlı numunler için tam CFRP sargısı kullanıldığında 1.2, kısmi CFRP sargısı kullanıldığında 1.4 olmuştur. Çimento – kireç harçlı numuneler için tam CFRP sargısı kullanıldığında 1.2 , kısmi CFRP sargısı kullanıldığında ise 1.0 olmuştur.
12. Çimento harcı ile üretilmiş numunelerde; elastisite modülü, delik doğrultusunda yapılan yükleme durumu için 5048 MPa, deliğe dik doğrultuda yapılan yükleme durumu için 4934 MPa olarak belirlenmiştir. Bu değerler gerçekleşen duvar basınç dayanımlarının 1040 ($E_{delikdoğrultusu}=1040\times\sigma_{basınçduvar}$) ve 1400 ($E_{delikdikdoğrultu}=1400\times\sigma_{basınçduvar}$) katıdır. Bu değerler; tek tuğla deneylerinde elde edilen basınç dayanımlarının delik doğrultusundaki yükleme durumu için 390 ($E_{delikdoğrultusu}=390\times\sigma_{tuğlabasınç}$) ve delik doğrultusuna dik yükleme durumun için de 1300 ($E_{delikdikdoğrultu}=1300\times\sigma_{tuğlabasınç}$) katıdır.

13. Çimento – kireç harcı ile üretilmiş numunelerde; elastisite modülü, delik doğrultusunda yapılan yükleme durumu için 4216 MPa, deliğe dik doğrultuda yapılan yükleme durumu için de 3529 MPa olarak belirlenmiştir. Bu değerler gerçekleşen duvar basınç dayanımlarının 900 ($E_{delikdoğrultusu}=900\times\sigma_{basınçduvar}$) ve 1450 ($E_{delikdikdoğrultu}=1450\times\sigma_{basınçduvar}$) katına karşı gelmektedir. Bu değerler; tek tuğla deneylerinden elde edilen basınç dayanımlarının sırasıyla 325 ($E_{delikdoğrultusu}=325\times\sigma_{tuğlabasınç}$) ve 930 ($E_{delikdikdoğrultu}=930\times\sigma_{tuğlabasınç}$) katıdır.

14. CFRP ile güçlendirilmiş çimento harçlı duvar numunelerinde gerçekleşen elastisite modülü, delik doğrultusunda yapılan yükleme durumu için 13045 MPa, deliğe dik doğrultuda yapılan yükleme durumu için de 8466 MPa olarak belirlenmiştir.

15. Kayma modülü; çimento harcı ile üretilmiş numunelerde ortalama 1845 MPa, çimento – kireç harcı ile üretilmiş numunelerde ise ortalama 1486 MPa olarak elde edilmiştir. Bu değerler sırası ile karşı gelen kayma dayanımının 2050 ($G_{çimento}=2050\times\sigma_{duvarkayma}$) ve 2500 ($G_{çimento\text{-}kireç}=2500\times\sigma_{duvarkayma}$) katına karşı gelmektedir.

16. CFRP ile güçlendirilen numunelerde yalın numunelere göre elastisite modülü artışı; delik doğrultusundaki yükleme durumu için 2.5 kat, delik doğrultusuna dik yükleme durumu için 2 kat olmuştur.

17. Şerit biçimli CFRP ile güçlendirilmiş; çimento harçlı numunelerde ortalama kayma modülü 2108 MPa iken, çimento – kireç harçlı numunede ise bu değer 1994 MPa olarak belirlenmiştir.

18. Diyagonal olarak yüklenen numunelerde; şerit biçimli CFRP güçlendirmesinin, kayma modulünü çimento harçlı numunelerde %14, çimento – kireç harçlı numunelerde ise %34 arttırdığı gözlenmiştir. Tüm yüzeyin kaplandığı CFRP güçlendirmesinin; kayma modulünü, çimento harçlı numunelerde %9, çimento – kireç harçlı numunelerde ise %10 artırdığı gözlenmiştir.

19. Tüm yüzeyin CFRP ile kaplandığı durumda, delik doğrultusunda yapılan yüklemede gerçekleşen basınç dayanımı artışı %70, delik doğrultusuna dik

yapılan yüklemede gerçekleşen basınç dayanımı artışı ise önemsiz düzeyde olmuştur.

20. Yalın duvar numunelerinde; yükün delik doğrultusu ve dik doğrultuda etkimesi durumlarında oluşan hasar biçimleri farklı olmuştur. Birinci durumda sıva yüzeyinde çatlaklar daha belirgindir. İkinci durumda ise sıva yüzeyinde sadece ince çatlaklar gözlenmiştir. Sıva yüzeyinde az çatlak gözlenmesine karşın, numuneye enkesit doğrultusuna bakıldığına tuğla yapıda önemli hasar oluştuğu gözlenmiştir. Delik doğrultusuna dik yükleme durumunda, hasarın numunelerin iç bölümlerinde yoğunlaştığı da görülmüştür.
21. Yalın duvarların diyagonal doğrultuda yüklendiği deneylerde, kullanılan harcın cinsi oluşan hasarı önemli ölçüde etkilemiştir. Aynı kayma gerilmesi düzeylerinde yapılan karşılaştırmalarda, çimento harcı ile üretilen numunelerdeki hasarın daha az olduğu gözlenmiştir.
22. Güçlendirilmiş numunelerde, hasarlar alt ve üst başlık bölgelerinde yoğunlaşmıştır. Bazı numunelerde başlık bölgelerinde CFRP kopması da gözlenmiştir.

KAYNAKLAR

[1] **TS-2510**, 1977. Kâgir Duvarlar Hesap ve Yapım Kuralları, *Türk Standartları Enstitüsü,* Ankara.

[2] **Arub, G.,** 2005: Yığma Yapıların Deprem Güvenliğinin Arttırılması Çalıştayı, ODTÜ, Ankara, 17 Şubat 2005

[3] **TS-EN 771-1**, 2005 : Kagir Birimler-Özellikler-Bölüm 1: Kil Kagir Birimler (tuğlalar), *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara.

[4] **Krevaikas, T.D. and Triantafillou, T.C.,** 2005 : Masonry Confinement with Fiber-Reinforced Polymers, *Journal of Composites for Construction*, Vol. **9**, no. 2, April, pp 128-135.

[5] **Çılı Feridun, Karadoğan H. Faruk, Geçili Gülseren Erol,** 2007 : Karbon Liflerle Güçlendirilmiş Bölme Duvarlı Betonarme Çerçeveler, İstanbul Teknik Üniversitesi Mimarlık Fakültesi, Tübitak Mag Proje 104M562.

[6] **Mustafa Taghdi, Michel Bruneau and Murat Saatçioğlu,** 2000 : Seismic Retrofitting Of Low-Rise Masonry And Concrete Walls Using Steel Strips, Journal Of Engineering, Vol. **126**, no. 9, September 2000, @ASCE, ISSN 0733-9445/00/0009, pp 1017-1025.

[7] **A. Brencich, C. Corradi, L. Gambarotta, G. Mantegazza, E. Sterpi,** Compressive Strength of Solid Clay Brick Masonry under Eccentric Loading, Department of Structural and Geotechnical Engineering, University Of Genoa, Italy Ruredil s:p:a, Milan Italy.

[8] Chang-Qin Wei, Xin-Gang Zhou, Lie-Ping Ye, 2007 : Experimental study of masonry walls strengthened with CFRP, Structural Engineering and Mechanics, Vol. **25**, no. 6, pp 675-690.

[9] **Mohamed A. ElGawady, M. ASCE; Pierino Lestuzzi, and Marc Badoux,** 2007 : Static Cylic Response of Masonry Walls Retrofitted with Fiber-Reinforced Polymers, *Journal of Composites for Construction*, Vol. **11**, no. 1, February 1, 2007, @ASCE, ISSN 1090-0268/2007.

[10**] W.W. El-Dakhakhni, A.A.Hamid, Z.H.R. Hakam, M.Elgaaly,** 2005: Hazard mitigation and strengthening of unreinforced masonary walls using composites. *Journal of composite structures*

[11] **Farooq, M. Ilyas and A. Ghaffar,** 2006: Technique for strengthening of masonry wall panels using steel strips, *Journal of Civil Engineering (Building And Housing)* Vol. **7**, no. 6, pp 621-638.

[12] **Pablo Alcaino and Hernan Santa-Maria**, 2008: Experimental response of externally retrofitted masonry walls subjected to shear loading, *Journal of composites for construction*, **10.1061/ASCE1090-0268**, pp 489-498

[13] **ASTM C270-05a**, Standard Specification for Mortar for Unit Masonry, *An American National Standard*.

[14] **H.H. Knutsson and J. Nielsen,** 1995 : On the modulus of Elasticity for Masonry, Masonry International, Vol. **9**, no. 2.

[15] **ASTM E 519-02**, 2002 : Standart test metod for diagonal tension (shear) in masonry assemblages, *An American National Standard*.

[16] **Yılmaz, E.,** 'Boşluklu Tuğla ile Örülmüş Yığma Duvarların LP Kompozitler ile Güçlendirilmesi ve Davranışta Harç Etkisi', İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Şubat 2010.

[17] **TS EN 772-1**, (2002) : Kagir Birimler – Deney Metodları Bölüm 1: Basınç dayanımının tayini, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara.

ÖZGEÇMİŞ

Ad Soyad: Berk ÖZSAYIN

Doğum Yeri ve Tarihi: Bornova 02/10/1985

Adres:

Lisans Üniversite: Dokuz Eylül Üniversitesi