



**TEKSTİL KATKILI SIVA İLE ZİMBALAMAYA KARŞI
GÜÇLENDİRİLEN FARKLI BOŞLUK KONUMUNA VE BÜYÜKLÜĞÜNE
SAHİP ÇİFT DOĞRULTULU BETONARME DÖŞEMELERİN
DAVRANIŞININ İNCELENMESİ**

Ömer MERCİMEK

**DOKTORA TEZİ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI**

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

MAYIS 2021

ETİK BEYAN

Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tez Yazım Kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada;

- Tez içinde sunduğum verileri, bilgileri ve dokümanları akademik ve etik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- Tüm bilgi, belge, değerlendirme ve sonuçları bilimsel etik ve ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- Tez çalışmada yararlandığım eserlerin tümüne uygun atıfta bulunarak kaynak gösterdiğimi,
- Kullanılan verilerde herhangi bir değişiklik yapmadığımı,
- Bu tezde sunduğum çalışmanın özgün olduğunu,

bildirir, aksi bir durumda aleyhime doğabilecek tüm hak kayıplarını kabullendiğimi beyan ederim.

Ömer MERCİMEK

27/05/2021

TEKSTİL KATKILI SIVA İLE ZİMBALAMAYA KARŞI GÜÇLENDİRİLEN FARKLI
BOŞLUK KONUMUNA VE BÜYÜKLÜĞÜNE SAHİP ÇİFT DOĞRULTULU
BETONARME DÖŞEMELERİN DAVRANIŞININ İNCELENMESİ
(Doktora Tezi)

Ömer MERCİMEK

GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Nisan 2021

ÖZET

Estetik görünümü ve uygulama kolaylığından dolayı kırıksız döşemeler son yıllarda yaygın olarak kullanılsa da bu tür döşemelerde ciddi dayanım problemleri yaşanabilmektedir. 1970’li yıllardan itibaren karşılaşılan vakalar ve yürütülen çalışmalar incelendiğinde döşeme-kolon bağlantısının çevresinin ciddi hasarlara neden olan ve çoğu kez onarılamayan zımbalama göçmesine karşı hassas olduğu tespit edilmiştir. Bu çalışmanın amacı kırıksız döşemelerde sonradan açılan birden fazla boşluk nedeniyle zımbalama dayanımı yetersiz olan kırıksız döşeme-kolon bağlantılarının zımbalama dayanımını arttırmaktır. Bu amaçla $\frac{3}{4}$ ölçekli bir adet boşluksuz, dokuz adet boşluklu referans ve dokuz adet boşluklu güçlendirilmiş olmak üzere toplam on dokuz adet deney elemanı üretilmiş ve test edilmiştir. Güçlendirme işlemi karbon bazlı tekstil ile güçlendirilmiş sıva katmanı (TGSK) ile yapılmış ve fan tipi ankrajlarla desteklenmiştir. Ayrıca boşluk büyüklüğünün ve konumunun güçlendirme yöntemine etkisi de bu çalışma kapsamında incelenmiştir. TGSK ile güçlendirilmiş deney elemanlarının zımbalama dayanımları güçlendirilmemiş referans deney elemanlarına göre ortalama %67 oranında artmıştır. Deney elemanlarının deneysel zımbalama yükü taşıma kapasiteleri TS500, ACI 318-19, Eurocode-2 ve BS8110-97 yönetmeliklerinden faydalanılarak elde edilen zımbalama yükü taşıma kapasiteleri ile karşılaştırılmıştır. Bu karşılaştırmalar sonucunda, TGSK ile güçlendirmenin etkisini daha iyi yansıtabilmeleri için döşemelerin zımbalama dayanımlarını TS500 ve ACI 318-19 göre daha başarılı bir şekilde tahmin eden Eurocode-2 ve BS8110-97’nin sunduğu denklemlere bazı katsayılar önerilmiştir. Ayrıca literatürden bulunabilen 167 adet boşluklu kırıksız betonarme döşemelerin zımbalama kapasiteleri yine aynı yönetmeliklerin önerdiği denklemlerle tahmin edilmiş ve deneysel sonuçlarla karşılaştırılmıştır. Karşılaştırma sonucunda, tahminlerin iyileştirilmesi için TS500, ACI 318-19, Eurocode-2 ve BS8110-97 yönetmeliklerinde bulunan denklemler için bazı önerilerde bulunulmuştur.

Bilim Kodu : 91130

Anahtar Kelimeler : Betonarme kırıksız döşeme, zımbalama, boşluk, güçlendirme, tekstil ile güçlendirilmiş sıva katmanı

Sayfa Adedi : 204

Danışman : Prof. Dr. Özgür ANIL

İkinci Danışman : Doç. Dr. Mehmet BARAN

INVESTIGATION OF BEHAVIOR OF TWO-WAY REINFORCED CONCRETE
SLABS HAVING DIFFERENT OPENING LOCATION AND SIZE STRENGTHENED
WITH TEXTILE REINFORCED MORTAR (TRM) AGAINST PUNCHING LOAD

(Ph. D. Thesis)

Ömer MERCİMEK

GAZİ UNIVERSITY

GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES

April 2021

ABSTRACT

Although flat slabs have been widely used in recent years due to their aesthetic appearance and ease of application, serious strength problems can be experienced in such slabs. When the cases encountered and the studies conducted since the 1970s are examined, it has been determined that the perimeter of the slab-column connection is susceptible to punching collapse, which causes serious damage and often cannot be repaired. The aim of this study is to increase the punching strength of flat slab-column joints in which punching strength is insufficient due to multiple opening opened later. Pursuant to this goal, a total of $\frac{3}{4}$ scaled nineteen experimental elements; one piece with no gap, nine specimens with opening and nine strengthened specimens with opening were produced and tested. The strengthening procedure is carried out with carbon-based textile reinforced mortar (TRM) and supported with fan-type anchors. The effect of the size and location of the opening on the strengthening method was additionally examined within the scope of this study. The punching strength of the test members reinforced with TRM increased by an average of 67% with respect to the unreinforced reference members with openings. The punching load carrying capacities of the experimental members were compared with the ones obtained by using TS500, ACI 318-19, Eurocode-2, and BS8110-97 regulations. As a result of these comparisons, in order to better predict the effect of strengthening with TRM, some coefficients have been proposed to the equations offered by Eurocode-2 and BS8110-97, which predict the punching strength of flat slabs more successfully than TS500 and ACI 318-19. In addition, the punching capacities of 167 flat slab specimens with opening, that can be found in the literature were predicted with the equations suggested by the same regulations and compared with the experimental results. As a result of the comparison, some suggestions are made for the equations in TS500, ACI 318-19, Eurocode-2 and BS8110-97 to improve the estimates.

Science Code : 91130

Key Words : Flat slab, punching, openings, strengthening, textile reinforced mortar

Page Number : 204

Supervisor : Prof. Dr. Özgür ANIL

Co-Supervisor : Assoc. Prof. Dr. Mehmet BARAN

TEŞEKKÜR

Tez çalışmamın her adımında değerli bilgilerini benimle paylaşan, ilgisini hiçbir zaman esirgemeyen ve hayata karşı olumlu bakışıyla bana güç veren danışmanım Prof. Dr. Özgür ANIL’a, deney çalışmalarımın yürütülmesinde verdiği desteklerden dolayı asistanlığını yapmaktan gurur duyduğum, ikinci danışmanım Doç. Dr. Mehmet BARAN’a, tez çalışması boyunca değerli katkı ve önerilerinden dolayı tez izleme komitesi üyeleri Prof. Dr. Kurtuluş Soyluk ve Dr. Öğr. Üyesi Mahmut Cem Yılmaz’a, saygıdeğer jüri üyeleri Prof. Dr. Sinan ALTIN, Doç. Dr. Bahadır ALYAVUZ ve Doç. Dr. Alper ALDEMİR’e, lisansüstü öğrenimim ve deneysel çalışmalarım sırasında verdiği destek ve koşulsuz izinlerden dolayı AYBÜ-İnşaat Mühendisliği Bölüm Başkanı sayın Prof. Dr. Lutfullah TURANLI’ya, AYBÜ-İnşaat Mühendisliği Bölümü’ndeki değerli hocalarıma ve özellikle yıllardır aynı odayı paylaştığım hepsi birbirinden değerli Dr. Öğr. Üyesi Emin ŞENGÜN, Arş. Gör. Mehmet Salih Türker, Arş. Gör. Abdullah TÜRER ve Arş. Gör. Hasanburak YÜCEL’e, laboratuvarındaki çalışma arkadaşlarım Dr. Rahim GHORUBİ, Dr. Anıl ÖZDEMİR ve Sercan T. AKKAYA’ya, deney elemanlarının üretimi sırasında tüm tecrübeleriyle bana destek olan babam Mustafa MERCİMEK’e ve amcam Necati MERCİMEK’e, lisans öğrenimimi tamamladığım Ondokuz Mayıs Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü öğretim üyelerine, akademik konularda sürekli fikir alışverişinde bulunduğum ve bana her zaman yardımcı olan Arş. Gör. Yaşar ERBAŞ’a teşekkür ederim.

Tez çalışmam sırasında çoğu kez kısıtlı vakit ayırabildiğim ancak beni oldukça hoşgörülü ve sabırlı karşılayan, iyi kalpli, değerli eşim Nisanur MERCİMEK’e, deney çalışmamın son kısmında hayatıma giren ve bana bambaşka duygular yaşatan değerli kızım Hafsa MERCİMEK’e sonsuz sevgi ve teşekkürlerimi sunarım. Bu süreçte bize destek olan annem, babam ve kardeşlerim başta olmak üzere Mercimek ve Mühürdaroğlu ailelerine teşekkürlerimi ve saygılarımı bildiririm.

Bu çalışma, “119M985” proje numarası ve “Boşluk Yeri ve Büyüklüğü Değişen Çift Doğrultulu Betonarme Döşemelerin Tekstil ile Güçlendirilmiş Sıva ve Karbon Takviyeli Elyaf Kumaşlar ile Zımbalamaya Karşı Güçlendirilmesi” proje başlığı ile TÜBİTAK-1001-Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Projelerini Destekleme Programı tarafından finanse edilerek desteklenmiştir. Büyük katkısından dolayı TÜBİTAK kurumuna teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET	iv
ABSTRACT.....	v
TEŞEKKÜR.....	vi
İÇİNDEKİLER	vii
ÇİZELGELERİN LİSTESİ.....	x
ŞEKİLLERİN LİSTESİ.....	xii
RESİMLERİN LİSTESİ	xix
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	xxii
1. GİRİŞ.....	1
2. DENEYSEL ÇALIŞMA	23
2.1. Genel	23
2.2. Malzemeler.....	23
2.2.1. Beton karışımı	23
2.2.2. Çelik donatı	24
2.2.3. Karbon tekstil.....	24
2.2.4. Karbon İp	25
2.2.5. Epoksi.....	26
2.2.6. Sıva.....	26
2.3. Deney Elemanları.....	27
2.3.1. Deney elemanlarının tasarımı	27
2.3.2. Referans deney elemanları	29
2.3.3. Güçlendirme yöntemi ve güçlendirilmiş deney elemanları	29
2.3.4. Deney elemanlarının isimlendirilmesi	37

	Sayfa
2.3.5. Deneysel değişkenler	38
2.4. Deney Elemanlarının Üretimi	38
2.4.1. Betonarme üretim.....	38
2.4.2. Deney elemanlarının güçlendirilmesi	40
2.5. Deney ve Ölçüm Düzeneği	48
3. DENEY SONUÇLARI	53
3.1. Deneyler Sırasında Elde Edilen Veriler	53
3.1.1. Sıva ve beton malzemelerinin basınç dayanımı	53
3.1.2. Yük-deplasman eğrileri.....	56
3.1.3. Deney elemanlarının deplasman profilleri	68
3.1.4. Birim deformasyon değerleri	88
3.1.5. Çatlak dağılımı ve göçme modları	89
3.2. Deney Verilerinden Elde Edilen Sonuçlar	109
4. DENEY SONUÇLARININ KARŞILAŞTIRILMASI	111
4.1. Zımbalama Yüğü Taşıma Gücü, En Büyük Yükteki Deplasman ve Başlangıç Rijitliği	116
4.2. Enerji Tüketim Kapasitesi.....	120
4.3. TGSK Şeritlerin Birim Deformasyonu	121
4.4. En Büyük Yük Sonrası Davranış	122
5. ANALİTİK ÇALIŞMA.....	127
5.1. Birinci Gruptaki Şartnamelerin Önerdiği Denklemler	128
5.1.1. Deney elemanlarının zımbalama kapasitelerinin TS 500'e göre hesaplanması	128
5.1.2. Deney elemanlarının zımbalama kapasitelerinin ACI 318-19'a göre hesaplanması	131

Sayfa

5.2. İkinci Gruptaki Şartnamelerin Önerdiği Denklemler.....	133
5.2.1. Deney elemanlarının zımbalama kapasitelerinin Eurocode 2'ye göre hesaplanması	133
5.2.2. Deney elemanlarının zımbalama kapasitelerinin BS8110'a göre hesaplanması	138
6. DENEY SONUÇLARININ ANALİTİK SONUÇLARLA KARŞILAŞTIRILMASI	143
6.1. İkinci Gruptaki Şartnamelerde Bulunan Denklemler İçin Bir Öneri	147
6.2. Literatürde Bulunan Boşluklu Betonarme Döşemelerin Deneysel Zımbalama Kapasitelerinin Yönetmeliklerin Önerdiği Denklemlerle Tahmin Edilerek Karşılaştırılması	153
6.3. Yönetmeliklerde Bulunan Denklemler İçin Bazı Öneriler.....	173
6.3.1. Tüm boşluklu betonarme döşemeler için katsayı önerileri	175
6.3.2. Tek ve birden fazla boşluklu betonarme döşemeler için ayrı ayrı katsayı önerileri	178
6.4. Denklem Önerilerinin Değerlendirilmesi ve Bazı Tavsiyeler.....	184
7. SONUÇ VE ÖNERİLER	187
7.1. Özet	187
7.2. Sonuç.....	187
7.3. Gelecekte Yapılacak Çalışmalar İçin Öneriler.....	189
KAYNAKLAR	191
ÖZGEÇMİŞ	203

ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge	Sayfa
Çizelge 1.1. Boşluklu kirişsiz betonarme döşemelerin zımbalama dayanımları ile ilgili çalışmalar.....	8
Çizelge 2.1. Beton karışım detayları.....	23
Çizelge 2.2. Karbon tekstilin (hasır şeklinde) özellikleri	25
Çizelge 2.3 Ankraj için kullanılacak karbon ipin özellikleri	26
Çizelge 2.4. Ankraj yapımında kullanılan epoksinin özellikleri.....	26
Çizelge 2.5. Tamir harcının özellikleri	27
Çizelge 2.6. Deney elemanlarının detayları.....	39
Çizelge 2.7. Deplasman ölçerlerin isimlendirilmesi	48
Çizelge 3.1. Sıva katmanı basınç dayanımı (küp numune).....	54
Çizelge 3.2. Beton basınç dayanımları	55
Çizelge 3.3. Deney sonuçları	110
Çizelge 5.1. TS 500'e göre zımbalama yükü taşıma kapasiteleri	129
Çizelge 5.2. ACI 318-19'a göre zımbalama yükü taşıma kapasiteleri	133
Çizelge 5.3. Eurocode 2'ye göre zımbalama yükü taşıma kapasiteleri	137
Çizelge 5.4. BS 8110'a göre zımbalama yükü taşıma kapasiteleri.....	141
Çizelge 6.1. Deney sonuçlarının analitik sonuçlarla karşılaştırılması	144
Çizelge 6.2. Eurocode 2'de verilen denklem için paralel boşluk konumuna özel katsayı önerisi	149
Çizelge 6.3. BS8110'da verilen denklem için paralel boşluk konumuna özel katsayı önerisi.....	149
Çizelge 6.4. İkinci grup şartnameler ve önerilen katsayılar aracılığıyla yapılan tahminler	152
Çizelge 6.5. Deneysel verilerin TS500 ile tahmin edilmesi.....	154
Çizelge 6.6. Deneysel verilerin ACI 318-19 ile tahmin edilmesi	156

Çizelge	Sayfa
Çizelge 6.7. Deneysel verilerin Eurocode-2 ile tahmin edilmesi.....	158
Çizelge 6.8. Deneysel verilerin BS8110 ile tahmin edilmesi	160
Çizelge 6.9. Tahmin edilen kapasitelerin karşılaştırılması	162
Çizelge 6.10. Tüm boşluklu deney elemanlarının zımbalama kapasite tahmini için bazı öneriler	175
Çizelge 6.11. Tek boşluklu deney elemanlarının zımbalama kapasite tahmini için bazı öneriler	180
Çizelge 6.12. Birden fazla boşluklu deney elemanlarının zımbalama kapasite tahmini için bazı öneriler	181
Çizelge 6.13. Yönetmeliklerde bulunan denklemler için katsayı önerileri.....	184
Çizelge 6.14. Yönetmeliklerde bulunan denklemler için katsayı önerileri sonrası elde edilen sonuçlar.....	185

ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 1.1. Kirişsiz döşeme sistemleri	1
Şekil 1.2. Kirişsiz döşemelerde oluşan tipik zımbalama göçmesi	5
Şekil 1.3. Donatı oranının zımbalama dayanımı üzerindeki etkisi	6
Şekil 1.4. Liberati ve diğerlerinin (2019) deney elemanları	10
Şekil 1.5. Lourenço ve diğerlerinin (2021) deney elemanları	10
Şekil 1.6. Ha ve diğerlerinin (2015) a) ve b) deney elemanları	11
Şekil 1.7. Bompa ve Onet'in (2010) deney elemanı	11
Şekil 1.8. Abdollahi ve diğerlerinin (2017) deney elemanları	11
Şekil 1.9. Živković ve diğerlerinin (2019) deney elemanları	12
Şekil 1.10. Silva ve diğerlerinin (2017) deney elemanları	12
Şekil 1.11. Pinto ve diğerlerinin (2019) deney elemanları	12
Şekil 1.12. Augustin ve diğerleri (2020) deney elemanları	12
Şekil 1.13. Durucan ve Anıl'ın (2015) deney elemanları	13
Şekil 1.14. Kormosova ve diğerleri (2020) deney elemanları	13
Şekil 1.15. Kormosova ve diğerlerinin (2020) deney elemanları	14
Şekil 1.16. EL-Shafiey ve diğerlerinin (2012) deney elemanları	14
Şekil 1.7. Papanicolaou ve diğerleri (2009) tarafından yürütülen çalışmanın sonuçları	19
Şekil 1.18. Koutas ve Bournas (2017) tarafından yürütülen çalışmanın sonuçları	19
Şekil 1.19. Koutas ve Bournas (2021) tarafından yürütülen çalışmanın sonuçları	20
Şekil 2.1. Prototip bina	28
Şekil 2.2. Ölü yükler altında moment dağılımı	28
Şekil 2.3. Boşluksuz deney elemanının boyutları ve donatı detayı (ölçüler mm'dir)	30
Şekil 2.4. Referans deney elemanlarının boyutları (ölçüler mm'dir)	31

Şekil	Sayfa
Şekil 2.5. U şeklindeki TGSK şeridin uygulama örneği.....	33
Şekil 2.6. Fan tipi ankraj detayı	33
Şekil 2.7. Paralel boşluk konumuna sahip olan deney elemanlarının (a) basınç bölgesi ve (b) çekme bölgesi güçlendirme detayları.....	34
Şekil 2.8. Diyagonal boşluk konumuna sahip olan deney elemanlarının (a) basınç bölgesi ve (b) çekme bölgesi güçlendirme detayları.....	35
Şekil 2.9. Bitişik boşluk konumuna sahip olan deney elemanlarının (a) basınç bölgesi ve (b) çekme bölgesi güçlendirme detayları.....	36
Şekil 2.10. Deney elemanlarının isimlendirilmesi	37
Şekil 2.11. Deney ve ölçüm düzeneği (ölçüler mm’dir).....	50
Şekil 2.12. (a) Paralel boşluk konumu, (b) diyagonal boşluk konumu ve (c) bitişik boşluk konumu için birim deformasyon ölçerlerin konumları	51
Şekil 3.1. Küp-silindir numune beton basınç dayanımı ilişkisi	54
Şekil 3.2. R0 deney elemanın yük-deplasman eğrisi	56
Şekil 3.3. R-P-300 deney elemanın yük-deplasman eğrisi	57
Şekil 3.4. R-D-300 deney elemanın yük-deplasman eğrisi.....	58
Şekil 3.5. R-B-300 deney elemanın yük-deplasman eğrisi.....	58
Şekil 3.6. R-P-500 deney elemanın yük-deplasman eğrisi	59
Şekil 3.7. R-D-500 deney elemanın yük-deplasman eğrisi.....	59
Şekil 3.8. R-B-500 deney elemanın yük-deplasman eğrisi.....	60
Şekil 3.9. R-P-700 deney elemanın yük-deplasman eğrisi	61
Şekil 3.10. R-D-700 deney elemanın yük-deplasman eğrisi.....	61
Şekil 3.11. R-B-700 deney elemanın yük-deplasman eğrisi.....	62
Şekil 3.12. G-P-300 deney elemanın yük-deplasman eğrisi	62
Şekil 3.13. G-D-300 deney elemanın yük-deplasman eğrisi	63
Şekil 3.14. G-B-300 deney elemanın yük-deplasman eğrisi.....	64

Şekil	Sayfa
Şekil 3.15. G-P-500 deney elemanın yük-deplasman eğrisi	64
Şekil 3.16. G-D-500 deney elemanın yük-deplasman eğrisi	65
Şekil 3.17. G-B-500 deney elemanın yük-deplasman eğrisi.....	65
Şekil 3.18. G-P-700 deney elemanın yük-deplasman eğrisi	66
Şekil 3.19. G-D-700 deney elemanın yük-deplasman eğrisi	67
Şekil 3.20. G-B-700 deney elemanın yük-deplasman eğrisi.....	67
Şekil 3.21. R0 deney elemanın (a) paralel ve (b) diyagonal deplasman profilleri.....	69
Şekil 3.22. R-P-300 deney elemanın (a) paralel ve (b) diyagonal deplasman profilleri	70
Şekil 3.23. R-D-300 deney elemanın (a) paralel ve (b) diyagonal deplasman profilleri	71
Şekil 3.24. R-B-300 deney elemanın (a) paralel ve (b) diyagonal deplasman profilleri	72
Şekil 3.25. R-P-500 deney elemanın (a) paralel ve (b) diyagonal deplasman profilleri	73
Şekil 3.26. R-D-500 deney elemanın (a) paralel ve (b) diyagonal deplasman profilleri	74
Şekil 3.27. R-B-500 deney elemanın (a) paralel ve (b) diyagonal deplasman profilleri	75
Şekil 3.28. R-P-700 deney elemanın (a) paralel ve (b) diyagonal deplasman profilleri	76
Şekil 3.29. R-D-700 deney elemanın (a) paralel ve (b) diyagonal deplasman profilleri	77
Şekil 3.30. R-B-700 deney elemanın (a) paralel ve (b) diyagonal deplasman profilleri	78
Şekil 3.31. G-P-300 deney elemanın (a) paralel ve (b) diyagonal deplasman profilleri	79
Şekil 3.32. G-D-300 deney elemanın (a) paralel ve (b) diyagonal deplasman profilleri	80

Şekil	Sayfa
Şekil 3.33. G-B-300 deney elemanın (a) paralel ve (b) diyagonal deplasman profilleri	81
Şekil 3.34. G-P-500 deney elemanın (a) paralel ve (b) diyagonal deplasman profilleri	82
Şekil 3.35. G-D-500 deney elemanın (a) paralel ve (b) diyagonal deplasman profilleri	83
Şekil 3.36. G-B-500 deney elemanın (a) paralel ve (b) diyagonal deplasman profilleri	84
Şekil 3.37. G-B-500 deney elemanın (a) paralel ve (b) diyagonal deplasman profilleri	85
Şekil 3.38. G-D-700 deney elemanın (a) paralel ve (b) diyagonal deplasman profilleri	86
Şekil 3.39. G-B-700 deney elemanın (a) paralel ve (b) diyagonal deplasman profilleri	87
Şekil 3.40. En büyük yükteki birim deformasyon değerleri	88
Şekil 3.41. En büyük birim deformasyon değerleri	88
Şekil 3.42. Başlangıç rijitliği ve enerji tüketim kapasitesinin hesaplanması için kullanılan yaklaşım	109
Şekil 4.1. R0, R-P-300 ve G-P-300'ün yük-deplasman eğrilerinin karşılaştırılması.....	112
Şekil 4.2. R0, R-D-300 ve G-D-300'ün yük-deplasman eğrilerinin karşılaştırılması	112
Şekil 4.3. R0, R-B-300 ve G-B-300'ün yük-deplasman eğrilerinin karşılaştırılması.....	113
Şekil 4.4. R0, R-P-500 ve G-P-500'ün yük-deplasman eğrilerinin karşılaştırılması.....	113
Şekil 4.5. R0, R-D-500 ve G-D-500'ün yük-deplasman eğrilerinin karşılaştırılması	114
Şekil 4.6. R0, R-B-500 ve G-B-500'ün yük-deplasman eğrilerinin karşılaştırılması.....	114
Şekil 4.7. R0, R-P-700 ve G-P-700'ün yük-deplasman eğrilerinin karşılaştırılması.....	115
Şekil 4.8. R0, R-D-700 ve G-D-700'ün yük-deplasman eğrilerinin karşılaştırılması	115
Şekil 4.9. R0, R-B-700 ve G-B-700'ün yük-deplasman eğrilerinin karşılaştırılması.....	116

Şekil	Sayfa
Şekil 4.10. Boşluk konumları düşünülerek R0 deney elemanına göre normalize edilmiş deney sonuçları.....	117
Şekil 4.11. Boşluk büyüklüğü düşünülerek R0 deney elemanına göre normalize edilmiş deney sonuçları.....	118
Şekil 4.12. R0 deney elemanına göre normalize edilmiş ortalama deney sonuçları.....	119
Şekil 4.13. Deney değişkenleri düşünülerek R0 deney elemanına göre normalize edilmiş ortalama enerji tüketim kapasiteleri	120
Şekil 4.14. R0 deney elemanına göre normalize edilmiş ortalama enerji tüketim kapasiteleri	121
Şekil 4.15. Birim deformasyon değerlerinin ortalamaları	122
Şekil 4.16. En büyük yükten hemen sonra zımbalama yükü taşıma kapasiteleri	124
Şekil 4.17. Referans deney elemanlarının zımbalama yükü taşıma kapasiteleri	124
Şekil 4.18. Güçlendirilmiş deney elemanlarının zımbalama yükü taşıma kapasiteleri ..	125
Şekil 5.1. TS 500'ün zımbalama çevresi yaklaşımı	129
Şekil 5.2. TS 500'e göre deney elemanlarının zımbalama çevreleri	130
Şekil 5.3. ACI 318-19'un zımbalama çevresi yaklaşımı	131
Şekil 5.4. ACI 318-19'a göre deney elemanlarının zımbalama çevreleri.....	132
Şekil 5.5. Eurocode 2'nin zımbalama çevresi yaklaşımı	134
Şekil 5.6. Eurocode 2'ye göre referans deney elemanlarının zımbalama çevreleri.....	135
Şekil 5.7. Eurocode 2'ye göre güçlendirilmiş deney elemanlarının zımbalama çevreleri.....	136
Şekil 5.8. BS8110'un zımbalama çevresi yaklaşımı.....	138
Şekil 5.9. BS 8110'a göre referans deney elemanlarının zımbalama çevreleri	139
Şekil 5.10. BS 8110'a göre güçlendirilmiş deney elemanlarının zımbalama çevreleri ..	140
Şekil 6.1. Analitik sonuçlar ile deneysel sonuçların karşılaştırılması (Park ve diğerleri (2011)).....	143
Şekil 6.2. Deney sonuçlarının analitik sonuçlara oranının dağılımı	145

Şekil	Sayfa
Şekil 6.3. Deney sonuçlarının analitik sonuçlara oranının dağılımı (paralel boşluk konumu hariç)	146
Şekil 6.4. İkinci grup şartnameler ile tahmin edilen zımbalama yüklerinin boşluk konumuna göre tutarlılığı.....	148
Şekil 6.5. Paralel boşluk konumu için önerilen katsayının katkısı	150
Şekil 6.6. İkinci grup şartnameler ile tahmin edilen zımbalama yüklerinin boşluk büyüklüğüne göre tutarlılığı.....	151
Şekil 6.7. Deney sonuçların ikinci grup şartnameler ve önerilen katsayılar aracılığıyla yapılan tahminlere oranının dağılımı	153
Şekil 6.8. Deneysel sonuçların TS500'ün önerdiği denklemlerle elde edilen sonuçlara oranının (a) etkili derinlik, (b) basınç dayanımı ve (c) donatı oranı ile ilişkisi.....	169
Şekil 6.9. Deneysel sonuçların ACI318-19'un önerdiği denklemlerle elde edilen sonuçlara oranının (a) etkili derinlik, (b) basınç dayanımı ve (c) donatı oranı ile ilişkisi.....	170
Şekil 6.10. Deneysel sonuçların ACI318-19'un önerdiği denklemlerle elde edilen sonuçlara oranının (a) etkili derinlik, (b) basınç dayanımı ve (c) donatı oranı ile ilişkisi.....	171
Şekil 6.11. Deneysel sonuçların BS8110'un önerdiği denklemlerle elde edilen sonuçlara oranının (a) etkili derinlik, (b) basınç dayanımı ve (c) donatı oranı ile ilişkisi.....	172
Şekil 6.12. T500 ile tahmin edilen zımbalama yüklerinin doğruluk ve tutarlılığı.....	173
Şekil 6.13. ACI318-19 ile tahmin edilen zımbalama yüklerinin doğruluk ve tutarlılığı	174
Şekil 6.14. Eurocode 2 ile tahmin edilen zımbalama yüklerinin doğruluk ve tutarlılığı	174
Şekil 6.15. BS8110 ile tahmin edilen zımbalama yüklerinin doğruluk ve tutarlılığı	175
Şekil 6.16. T500 için yapılan öneri ile tahmin edilen zımbalama yüklerinin doğruluk ve tutarlılığı.....	176
Şekil 6.17. ACI318-19 için yapılan öneri ile tahmin edilen zımbalama yüklerinin doğruluk ve tutarlılığı	176
Şekil 6.18. Eurocode 2 için yapılan öneri ile tahmin edilen zımbalama yüklerinin doğruluk ve tutarlılığı	177

Şekil	Sayfa
Şekil 6.19. BS8110 için yapılan öneri ile tahmin edilen zımbalama yüklerinin doğruluk ve tutarlılığı	177
Şekil 6.20. Yönetmeliklerde bulunan denklemler için yapılan öneriler sonrasında Vdeney/Vtahmin oranının dağılımı	178
Şekil 6.21. TS500 için boşluk sayısına bağlı Vtahmin-Vdeney dağılımı	179
Şekil 6.22. ACI318-19 için boşluk sayısına bağlı Vtahmin-Vdeney dağılımı	179
Şekil 6.23. Eurocode 2 için boşluk sayısına bağlı Vtahmin-Vdeney dağılımı	179
Şekil 6.24. BS8110 için boşluk sayısına bağlı Vtahmin-Vdeney dağılımı.....	180
Şekil 6.25. Boşluk sayısına bağlı olarak önerilen denklemler uygulandıktan sonra elde edilen dağılımlar.....	181
Şekil 6.26. Boşluk sayısına bağlı olarak TS500 için yapılan öneriler uygulandıktan sonra Vdeney/Vtahmin oranlarının dağılımı	182
Şekil 6.27. Boşluk sayısına bağlı olarak ACI318-19 için yapılan öneriler uygulandıktan sonra Vdeney/Vtahmin oranlarının dağılımı.....	182
Şekil 6.28. Boşluk sayısına bağlı olarak Eurocode 2 için yapılan öneriler uygulandıktan sonra Vdeney/Vtahmin oranlarının dağılımı.....	183
Şekil 6.29. Boşluk sayısına bağlı olarak BS8110 için yapılan öneriler uygulandıktan sonra Vdeney/Vtahmin oranlarının dağılımı	183

RESİMLERİN LİSTESİ

Resim	Sayfa
Resim 1.1. Harbor Cay Condominium'un (1981) a) yapımı ve b) göçmesi.....	2
Resim 1.2. Bullock Department Store (1994).....	3
Resim 1.3. Otopark, Gretzenbach (2004)	3
Resim 1.4. Otopark, Tel Aviv (2016)	4
Resim 1.5. Mısır'da (a) bir fabrika binası ve (b) konut inşaatı.....	5
Resim 2.1. Karbon tekstilin (a) kesilmesi ve (b) geometrik özellikleri	25
Resim 2.2. Karbon ip	25
Resim 2.3. CFRP şeritlerin konumu (Casadei ve diğerleri, 2003).....	32
Resim 2.4. Betonarme üretim (a) kalıp, b) donatı, (c) ve d) beton dökümü, (e) ve f) kür işlemi.....	41
Resim 2.5. (a) Kalıp sökümü, (b) küp numunelerin kalıptan çıkarılması, (c) ve (d) deney elemanlarının istiflenmesi	42
Resim 2.6. (a) Tekstilin sıva üzerine yerleştirilmesi, (b) ankraj boşluklarına epoksi enjeksiyonu, (c) ankrajlara epoksi emdirilmesi ve (d) ankraj uygulaması (Tetta ve diğerleri, (2016)).....	43
Resim 2.7. Ankraj detaylarında kullanılan yapıştırıcı malzemeler (a) epoksi ve (b) sıva.....	44
Resim 2.8. Ankrajların üretim aşamaları (a) kök kısmına epoksi emdirilmesi, (b) priz almasının beklenilmesi, (c) bantlı son hali ve (d) bant çıkarıldıktan sonraki hali	45
Resim 2.9. Beton yüzeylerin güçlendirmeye hazır hale getirilmesi (a) şerit yerlerinin işaretlenmesi, (b) ankraj deliklerinin delinmesi, (c) zayıf beton tabakasının uzaklaştırılması ve (d) tozların uzaklaştırılması	46
Resim 2.10. (a) Ankraj alanlarına ve deliklerine epoksi enjeksiyonu, (b) şeritlerin yerleştirilmesi, (c) ankrajların yerleştirilmesi ve (d) fanların açılması.....	46
Resim 2.11. (a) sıvanın şerit altına yerleştirilmesi, (b) sıvanın şerit üzerine taşırılması, (c) sıva tabakasının tesviyesi ve (d) kür işlemi	47
Resim 2.12. Deney ve ölçüm düzeneği.....	49

Resim	Sayfa
Resim 3.1. R0 deney elemanının (a) çekme ve (b) basınç bölgelerinin çatlak dağılımı.	89
Resim 3.2. R-P-300 deney elemanının (a) çekme ve (b) basınç bölgelerinin çatlak dağılımı	90
Resim 3.3. R-D-300 deney elemanının (a) çekme, (b) perspektif ve (c) basınç bölgelerinin çatlak dağılımı	91
Resim 3.4. R-B-300 deney elemanının (a) çekme, (b) perspektif ve (c) basınç bölgelerinin çatlak dağılımı	91
Resim 3.5. R-P-500 deney elemanının (a) çekme, (b) perspektif ve (c) basınç bölgelerinin çatlak dağılımı	92
Resim 3.6. R-D-500 deney elemanının (a) çekme, (b) perspektif ve (c) basınç bölgelerinin çatlak dağılımı	93
Resim 3.7. R-B-500 deney elemanının (a) çekme, (b) perspektif ve (c) basınç bölgelerinin çatlak dağılımı	93
Resim 3.8. R-P-700 deney elemanının (a) çekme, (b) perspektif ve (c) basınç bölgelerinin çatlak dağılımı	94
Resim 3.9. R-D-700 deney elemanının (a) çekme, (b) perspektif ve (c) basınç bölgelerinin çatlak dağılımı	95
Resim 3.10. R-B-700 deney elemanının (a) çekme, (b) perspektif ve (c) basınç bölgelerinin çatlak dağılımı	96
Resim 3.11. G-P-300 deney elemanının (a) çekme, (b) perspektif ve (c) basınç bölgelerinin çatlak dağılımı	97
Resim 3.12. G-D-300 deney elemanının (a) çekme, (b) perspektif ve (c) basınç bölgelerinin çatlak dağılımı	98
Resim 3.13. G-B-300 deney elemanının (a) çekme, (b) perspektif ve (c) basınç bölgelerinin çatlak dağılımı	99
Resim 3.14. G-P-500 deney elemanının (a) çekme, (b) perspektif ve (c) basınç bölgelerinin çatlak dağılımı	100
Resim 3.15. G-D-500 deney elemanının (a) çekme, (b) perspektif ve (c) basınç bölgelerinin çatlak dağılımı	101
Resim 3.16. G-B-500 deney elemanının (a) çekme, (b) perspektif ve (c) basınç bölgelerinin çatlak dağılımı	102

Resim	Sayfa
Resim 3.17. G-P-700 deney elemanının (a) çekme, (b) perspektif ve (c) basınç bölgelerinin çatlak dağılımı	103
Resim 3.18. G-D-700 deney elemanının ((a) çekme, (b) perspektif ve (c) basınç bölgelerinin çatlak dağılımı	104
Resim 3.19. G-B-700 deney elemanının (a) çekme, (b) perspektif ve (c) basınç bölgelerinin çatlak dağılımı	105
Resim 3.20. (a) G-P-300 ve (b) G-P-500 deney elemanında U şekilli TGSK şerit davranışı.....	106
Resim 3.21. G-P-300 deney elemanında TGSK şeritte oluşan kopma	107
Resim 3.22. Diyagonal boşluk konumuna sahip deney elemanlarında TGSK şerit sıyrılması.....	107
Resim 3.23. (a) R-B-300 ile G-B-300, (b) R-B-500 ile G-B-500 (c) R-B-700 ile G-B-700 deney elemanlarında zımbalama çevresi	108

SİMGELER VE KISALTMALAR

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

Simgeler	Açıklamalar
A_s	donatı çeliğinin kesit alanı
A_{tgsK}	TGSK'nin kesit alanı
$C_{rd,c}$	Eurocode 2'de zımbalama dayanımı için bir katsayı
d	döşeme faydalı yüksekliği
d_{eq}	eşdeğer döşeme faydalı yüksekliği
dk	dakika
f_{ck}	betonun karakteristik basınç dayanımı
f_{ctd}	betonun çatlama dayanımı
$f_{c,cube}$	betonun küp numune basınç dayanımı
E_s	donatı çeliğin elastisite modülü
E_{tgsK}	TGSK'nin elastisite modülü
m	metre
mm	milimetre
mV	milivolt
V_C	ACI 318-19'a göre döşemenin zımbalama dayanımı
V_{pr}	TS 500'e göre döşemenin zımbalama dayanımı
u_p	zımbalama çevresi
ρ_{eq}	eşdeğer donatı oranı
ρ_s	çelik donatı oranı
ρ_{tgsK}	TGSK donatı oranı
γ	eğilme etkisi katsayısı
β_c	döşemenin kenarlarının uzunluklarının oranı
α_s	kolonun konumuna göre değişen bir katsayı

Kısaltmalar**Açıklamalar****CFRP**

Karbon lifle takviye edilmiş polimer

FRP

Lifle takviye edilmiş polimer

LVDT

Doğrusal değişken türevsel dönüştürücüler

RC

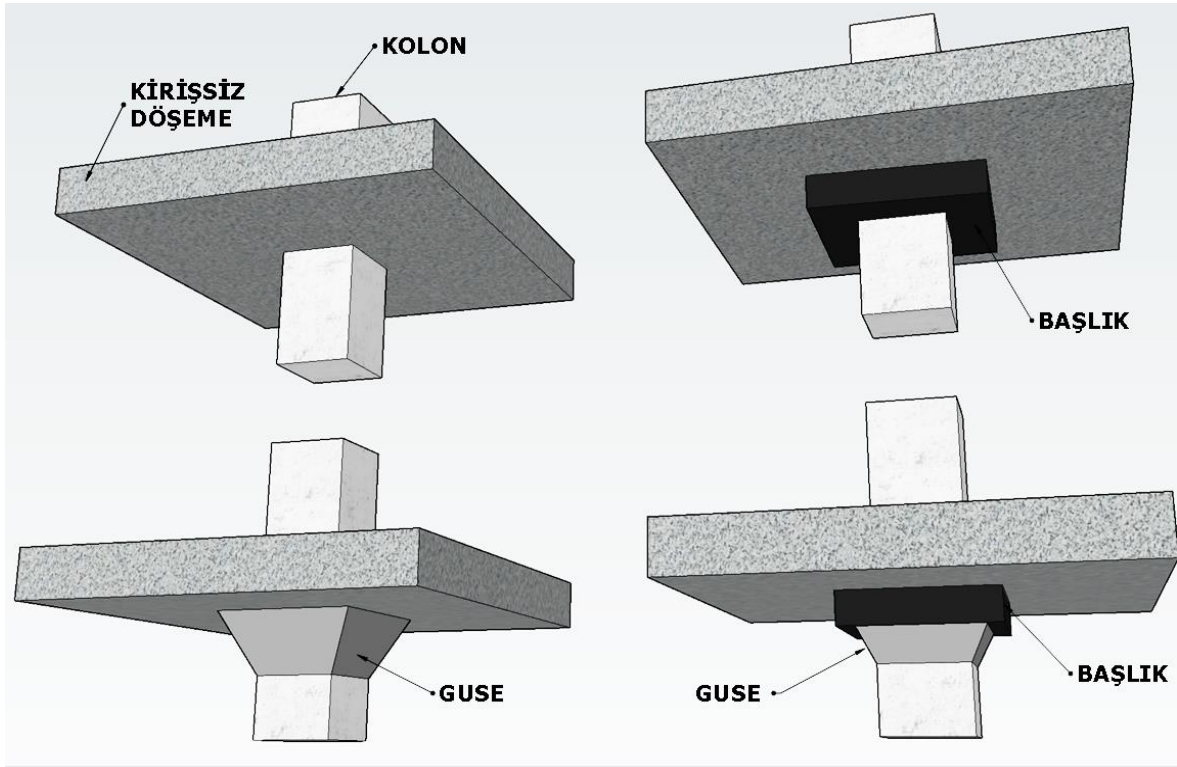
Betonarme

TGSK

Tekstil ile güçlendirilmiş sıva katmanı

1. GİRİŞ

Günümüzde betonarme yapıların tasarımında yapının kullanım amaçları, uygulama avantajları ya da estetik kaygılar gibi çeşitli nedenlerden dolayı kirişsiz döşemeler tercih edilebilmektedir. Kirişsiz döşemeler genellikle, Şekil 1.1’de gösterildiği gibi tablasız ve başlıksız, başlıklı, guseli ve başlıklı-guseli olarak tasarlanmaktadır.



Şekil 1.1. Kirişsiz döşeme sistemleri

Kirişsiz döşemelerin avantajları; kalıp ve donatı işçiliğinin basitleştirilmesine bağlı uygulama kolaylığı, inşaat süresini kısaltma, minimum yapısal yükseklik kullanılarak kat ve bina yüksekliğinde azalma, tavan altında veya döşeme kalınlığı içerisinde mimari, mekanik ve elektrik disiplinleri için esneklik, artan döşeme kalınlığına bağlı kullanım konforu ve performansıdır. Bu tür döşemeler konut, otel, işyerleri ve yüksek bölme duvarlı binalarda tercih edilmektedir. Ancak, kirişsiz döşeme sistemlerinde döşeme ile kolon ya da perde gibi düşey taşıyıcı elemanlar arasındaki yük aktarımı sırasında birleşim bölgelerinde zımbalama etkisi oluşmaktadır. Zımbalama etkisiyle ani gelişen, yapıya ağır hasar veren ve can kaybına neden olan gevrek göçmeler oluşabilmektedir. Bu göçmeleri tetikleyen unsurlar;

- Tasarım yetersizliği (zımbalama etkisinin dikkate alınmaması),
- İşçilik kalitesinin düşük olması,
- Yeterli beton dayanımı oluşmadan yapının erken yüklenmesi,
- Yapının kullanım amacının değiştirilmesi sonucunda ortaya çıkan ek yükler olarak sıralanabilir.

Zımbalama dayanımı yetersiz olan kirişsiz döşemelerden oluşan binaların kısmen veya tamamen yıkılmasıyla ilgili rapor edilen vakalardan bazıları aşağıda özetlenmiştir.

- 16 katlı bir bina, Boston, ABD (1971): Binanın üçte ikisi, çatı katındaki bir döşeme-kolon birleşimindeki zımbalama göçmesi nedeniyle aşamalı olarak çökmüştür. Araştırmacılar, döşeme kalınlığının yeterli olmadığını ve yapısal detaylandırmanın zayıf olduğunu vurgulamıştır (Özden, 1998).
- Harbor Cay Condominium, Cocoa Beach, Florida, ABD (1981): Binanın çökmesi beşinci katın imalatı sırasında gerçekleşmiştir (Resim 1.1). Binanın yıkılmasına ilişkin detaylı incelemeler, yıkılmanın tasarım aşamasında zımbalama etkisinin dikkate alınmamasından kaynaklandığını göstermiştir. Ayrıca inşaat sürecinde döşeme kalınlığının bilinçsiz bir şekilde azaltıldığı tespit edilmiştir (Kaminetzky, 1991). Olay sonrasında 11 kişi hayatını kaybetmiş, 27 kişi ise yaralanmıştır.



(a)



(b)

Resim 1.1. Harbor Cay Condominium'un (1981) a) yapımı ve b) göçmesi

- ASELSAN, Ankara, Türkiye (1981): İkinci katın beton dökümü sırasında zımbalama göçmesi meydana gelmiştir. Binanın çökmesinin ana nedeni, düşük beton kalitesi ve birinci kattaki kalıbın erken sökülmesi olarak bildirilmiştir. (Ersoy ve diğerleri, 1981).

- Baybridge Office Plaza, California, ABD (1989): Deprem kuvvetlerine karşı uygun olmayan zımbalama tasarımı, 1989 Loma Prieta Depremi'nden sonra binanın tamamen çökmesine neden olmuştur (Mitchell ve diğerleri 1990).
- Bullock Department Store California, ABD (1994): Resim 1.2'de gösterilen binanın yetersiz tasarımı, Northridge depreminin neden olduğu yanal yüklemeye karşı koyamamıştır (Mitchell ve diğerleri, 1995).



Resim 1.2. Bullock Department Store (1994)

- Sampoong Department Store Seoul, South Korea (1995): Binanın aşamalı olarak çökmesi nedeniyle 500 kişi öldü. Göçme sonrası yapılan incelemeler, binanın çökmesinin ana sebebinin mağazanın beşinci katının işlevsellik değişikliği nedeniyle aşırı yüklenmesi olduğunu gösterdi. (Gardner ve diğerleri 2002)
- Yeraltı Otoparkı, Gretzenbach, Switzerland (2004): Bir konut otoparkındaki yangın, döşeme-kolon bağlantısının zayıflamasına neden olmuş ve sonunda otoparkın çatısı çökmüştür (Resim 1.3). Olay sırasında 7 itfaiye görevlisi hayatını kaybetmiştir. (Muttoni ve diğerleri 2005)



Resim 1.3. Otopark, Gretzenbach (2004)

- Jaya Supermarket, Selangor Malezya (2009): 35 yıllık binanın yıkım sürecinde ani bir göçme meydana gelmiştir. Ağır makinanın (paletli ekskavatör) binanın üzerine yerleştirilmesi sonucunda ortaya çıkan ek yükleme ve yıkım sırasında istenmeyen hareketler binanın çökmesine neden olmuştur. Bu durum, sadece inşaat aşamasında değil, aynı zamanda yıkım aşamasında da zımbalama göçmesinin önemini daha iyi anlamak için iyi bir örnektir.
- Otopark, Tel Aviv (2016): Kapalı otoparkın, tipik bir zımbalama göçmesi sonucundaki görüntüsü Resim 1.4'te verilmiştir. Tel Aviv'de inşaatı devam eden bu dört katlı otopark 2016 yılında aşamalı olarak çökmüştür.



Resim 1.4. Otopark, Tel Aviv (2016)

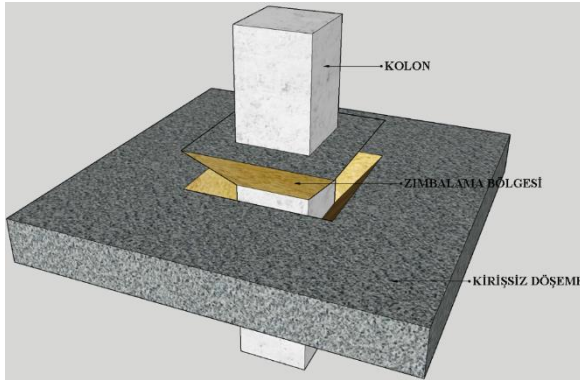
- Bir fabrika binası, Mısır (2014) ve bir konut, Mısır (2019): Mısır'daki bir fabrika binasının ve bir konutun betonarme kirişsiz döşemeleri, erken yüklenme sonucuyla oluşan zımbalama ile çökmüştür. Vakalara ilişkin görseller Resim 1.5'te verilmiştir. Konut inşaatı sırasında, ikinci katın beton dökümü sırasında ani zımbalama göçmesi meydana gelmiştir. Bilirkişiler, birinci kat kalıbının erken sökülmesi sırasında betonun tam dayanıma ulaşmamasının, binanın çökmesinin ana nedeni olduğunu bildirmiştir (Shaaban ve diğerleri, 2020).



Resim 1.5. Mısır'da (a) bir fabrika binası ve (b) konut inşaatı

Kirişsiz döşemelerin zımbalama dayanımını etkileyen unsurlar

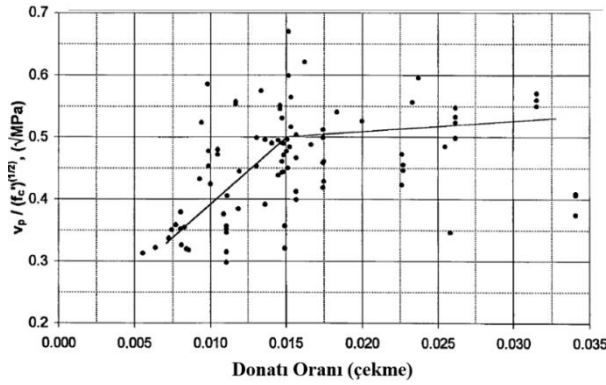
Kirişsiz döşemelerde, kolon çevresinde oluşan kayma gerilmeleri dolayısıyla asal çekme gerilmeleri betonun çekme dayanımını aşabilmektedir. Bu durumda oluşan tipik zımbalama göçmesi Şekil 1.2 ile gösterilmiştir (Doğangün, 2018). Geçmişte yaşanan, zımbalama etkisiyle oluşan göçme vakaları incelendiğinde, bu davranışı etkileyen en önemli unsurun beton basınç dayanımı olduğu anlaşılmaktadır. Yönetmeliklerde (TS 500, ACI 318-19, Eurocode 2 ve BS 8110-97) döşeme zımbalama dayanımının beton basınç dayanımının karekökü veya küp kökü ile ilişkilendirildiği görülmüştür.



Şekil 1.2. Kirişsiz döşemelerde oluşan tipik zımbalama göçmesi

Zımbalama dayanımını etkileyen unsurlardan biri de Şekil 1.2'de gösterilen zımbalama çevresidir. Zımbalama çevresini etkileyen faktörler ise kolon şekli, kolon boyutu, efektif döşeme kalınlığı ve kolon çevresinde bulunan boşluklar olarak sayılabilir. Eurocode-2 ve BS8110-97'ye göre zımbalama dayanımını etkileyen bir başka unsur ise donatı oranıdır. Ancak, bu konuda tartışmalar halen sürmektedir. Literatürde yapılan deneysel çalışmalar

sonucunda, çekme donatısı oranındaki artışın, döşemenin zımbalama dayanımı üzerinde olumlu etkisinin olduğu anlaşılmıştır. Ancak bu etki, Şekil 1.3'te gösterildiği gibi belirli bir çekme (üst) donatısı oranı değeri ile sınırlı kalmıştır (Özden, 1998). Binici ve Bayrak (2005) tarafından yapılan çalışmada ise 1960 ve 1970'lerde imal edilen kirişsiz döşemelerin kesme donatısı şartlarını sağlamadığı ve zımbalama dayanımının sadece betonun basınç dayanımı tarafından sağlandığı belirtilmiştir.



Şekil 1.3. Donatı oranının zımbalama dayanımı üzerindeki etkisi

Kirişsiz döşemelerin zımbalama dayanımı ile ilgili çalışmalar

20. yüzyılın ikinci yarısından itibaren betonarme döşemelerin zımbalama davranışı üzerine yapılan çalışmaların sayısı artış göstermiştir. Özellikle 1980'li yıllardan sonra, kirişsiz döşemelerin kolonlarla birleşim bölgelerindeki zımbalama ve eğilme davranışları belirlenirken efektif eğilme donatısı, kesme donatısı ve döşeme kalınlığı gibi değişkenler ile ilgili çalışmalar yapılmıştır (Pillai ve diğerleri, 1982; Goli ve Gesund, 1982; Franklin ve diğerleri, 1982; Rangan, 1986; Bazant and Cao, 1987; Loo and Falmaki, 1992; Alexander and Simmonds, 1992; Yamada ve diğerleri, 1992; Siao, 1994; and Gardner ve diğerleri, 1996). Kısıtlı olmakla birlikte, bazı araştırmacılar kirişsiz döşemelerin davranışını iyileştirmek için çalışmalar yürütmüştür. Narayanan and Darwish (1987) çelik fiberlerle güçlendirilmiş beton ile üretilen döşemelerin dayanımını ve davranışını incelemiştir. Shaaban and Gesund (1994) da benzer bir çalışma yürüterek çelik fiberlerin döşemelerin zımbalama dayanımını arttırdığını vurgulamıştır.

Yürütülen çalışmalarda zımbalama etkisinin betonarme kirişsiz döşemeler için önemli bir tasarım ölçütü olduğu vurgulanmıştır. Ancak yapılan çalışmaların artmasıyla birlikte ilgili

şartname ya da yönetmeliklerdeki yaklaşımların farklılık gösterdiği görülmüştür. Bu farklılıklar Albrecht (2002) tarafından karşılaştırılmıştır. Özellikle depremlerin yaygın olduğu ülkelerde araştırmacılar mevcut tasarım ilkeleriyle tasarlanan kirişsiz döşemelerin taşıma gücü açısından yetersiz olduğunu düşünerek yeni tasarım ilkeleri ya da mevcut döşemelerin güçlendirilmesini önermişlerdir. Sonuç olarak, literatürde ve patentlerde farklı türlerde zımbalama kesme donatıları ve bu etkiye karşı alınacak önlemler sunulmuştur. Oliveira ve diğerleri (2000), yapımı ve montajı kolay yeni bir kesme donatısı formu sunmuş ve bu tür bir donatı ile güçlendirilen döşemelerin test sonuçlarını bildirmiştir. Robertson and Johnson (2001) döşeme-kolon birleşimlerinin CFRP ile güçlendirmesi üzerinde durmuşlardır. Pilakoutas ve Li (2003), betonarme kirişsiz döşemeler için patentli bir kesme güçlendirme sisteminin doğruluk testlerini sunmuşlardır. Sonraki yıllarda ise döşemelerin CFRP ile güçlendirmesine yönelik çalışmalar devam etmiştir. (Binici and Bayrak, 2005; Esfahanii ve diğerleri, 2009; Li ve diğerleri, 2007; Michel ve diğerleri, 2007; Polies ve diğerleri, 2010).

Bu çalışmalar yapılırken döşemede bulunan boşluklar araştırmacıların dikkatini çekmiştir. Bina kullanım amacının değişmesi genellikle mevcut döşeme-kolon birleşimi yakınında boşluklar bulunmasını gerektirmektedir. Bu durumlarda, genellikle mevcut döşeme sistemini zayıflatan boşlukların oluşturulması zorunlu hale gelmektedir. Bu konuda Gomes and Andrade'nin çalışması (1995) literatürdeki ilk çalışmalardandır ve bu çalışmada döşemelerde bulunan boşluğun etkileri araştırmışlardır. Casadei ve diğerleri (2003), hem pozitif hem de negatif moment bölgelerinde boşluklar bulunan ve iki farklı güçlendirme şeması ile CFRP ile güçlendirilmiş tek doğrultulu sürekli kirişsiz betonarme döşemelerin davranışını araştıran deneysel bir çalışmaya ait sonuçlar sunmuştur. Teng ve diğerleri (2004) dikdörtgen kolonlarla mesnetlenen döşemelerde bulunan boşluklarla ilgili çalışmışlardır. Boşlukların, zımbalama mukavemetini önemli ölçüde düşürdüğü görülmüş ve eğer bir boşluğun kullanılması kaçınılmazsa, boşluk için en iyi yerin kolonun uzun kenarı boyunca olacağı vurgulanmıştır. Guan (2009) tarafından yapılan doğrusal olmayan katmanlı sonlu elemanlar yöntemi analizlerinde zımbalama donatılarıyla güçlendirilen döşeme-kolon birleşimlerinin davranışı üzerinde boşlukların etkisi araştırılmıştır. Bo ve Polak (2011), betonarme kirişsiz döşeme-kolon bağlantılarının zımbalamaya karşı sismik olarak güçlendirilmesini ele almıştır. Döşemeler kesme cıvataları kullanılarak güçlendirilmiş ve döşemelerde bulunan boşlukların olumsuz etkileri ortadan kaldırılmaya çalışılmıştır. Durucan ve Anıl (2015, 2017), karbon fiber takviyeli polimer ile güçlendirilen ve büyüklük

ile konum bakımından değişken boşluklara sahip çift doğrultulu betonarme döşemelerin zımbalama davranışını değerlendirmeyi amaçlamıştır. Beton için önceden kalibre edilmiş ve birleştirilmiş plastisite-hasar modeli kullanılarak doğrusal olmayan sonlu eleman analizi, kare boşluklara sahip iç döşemelere Balomenos ve diğerleri (2018) tarafından uygulanmıştır. Liberati ve diğerleri (2019), kolona bitişik boşlukları bulunan betonarme kirişsiz döşemelerde zımbalamadan dolayı oluşacak göçme analizini gerçekleştirmiştir. Mostofinejad ve diğerleri (2020), betonarme döşeme-kolon birleşimlerinin düşey yükler altındaki davranışını incelemenin yanı sıra, betonarme döşemelerde bulunan boşlukların zımbalama dayanımı üzerindeki etkilerini araştırmışlardır. Bu amaçla, büyüklük ve konum bakımından değişen boşlukların, bağlantı noktalarının zımbalama dayanımı üzerindeki etkilerini araştırmak için sonlu eleman modeli oluşturulmuştur. Nümerik sonuçlar, kolon kenarındaki açıklıkların, döşeme-kolon bağlantıları etrafındaki kayma geriliminde kayda değer bir artışa neden olduğunu göstermiştir. Ayrıca, boşluk büyüklüğü artırıldığında ve ilgili boşluğun kolondan uzaklığı azaltıldığında, boşluk etrafındaki kayma gerilmelerinde önemli bir artış gözlemlenmiştir. Marques ve diğerleri (2020), kolona bitişik boşlukların etkisini analiz etmiş ve oluşan dayanım kaybını ortadan kaldırmak için kesme donatılarının kullanımına ait çalışma yürütmüşlerdir.

Araştırmacılar bu çalışmaların dışında birçok çalışma yürüterek kirişsiz döşemelerde bulunan boşlukların şekli, sayısı, konumu ve büyüklüğü gibi değişkenlerin zımbalama kapasitesine olan etkilerini araştırmışlardır. Konu ile ilgili yürütülen çalışmalar değişkenleri ile birlikte Çizelge 1.1’de verilmiştir.

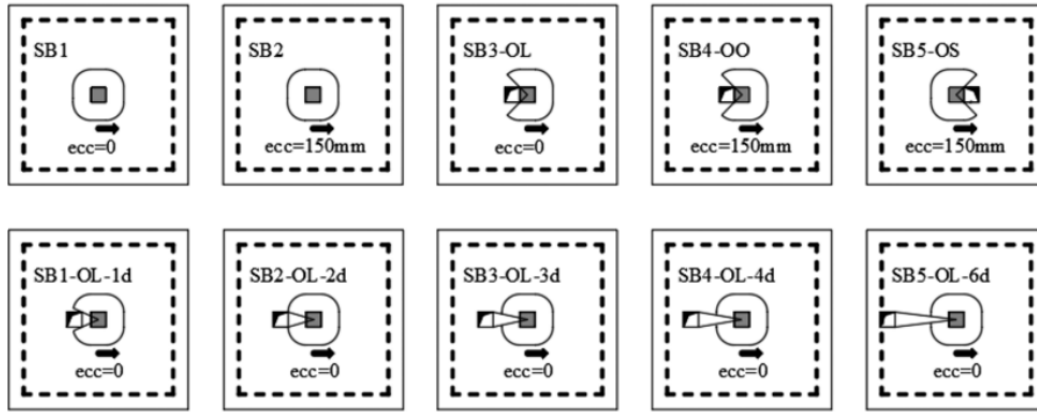
Çizelge 1.1. Boşluklu kirişsiz betonarme döşemelerin zımbalama dayanımları ile ilgili çalışmalar

Çalışma	Deney Elemanı Sayısı	Etkili derinlik (mm)	Beton basınç dayanımı (MPa)	Boşluk büyüklüğü (mm x mm)	Boşluk sayısı	Donatı oranı (%)	Yük Taşıma Kap. Düşüş (%)
El-Salakawy ve diğerleri (1999)	5	90	30-33	150x150 - 250x250	1	0,75	%4-%30
Teng ve diğerleri (2013)	19	92	32,9-43,1	200x400	1	1,60-1,76	%1-%51
Borges ve diğerleri (2013)	6	144-164	37,0-41,6	200x300	1, 2	1,41-1,60	%6-%19
Silva (2015)	3	102	39,1-39,6	120x180	1	1,40	%18

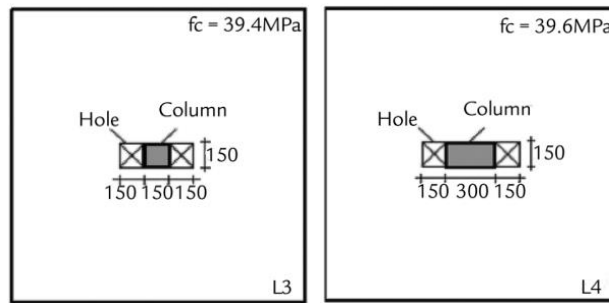
Çizelge 1.1. (devamı) Boşluklu kirişsiz betonarme döşemelerin zımbalama dayanımları ile ilgili çalışmalar

Çalışma	Deney Elemanı Sayısı	Etkili derinlik (mm)	Beton basınç dayanımı (MPa)	Boşluk büyüklüğü (mm x mm)	Boşluk sayısı	Donatı oranı (%)	Yük Taşıma Kap. Düşüş (%)
Souza (2015)	7	89-92	31,9-36,2	150x150 - 150x450	2	0,96-1,71	%18- %63
Oliveira ve diğerleri (2014)	5	125	42,8-46,8	400x400	1	1,17-1,24	%28- %68
Anil ve diğerleri (2014)	8	100	20,60	300x300 500x500	1	0,39	%11- %60
Mohammed (2011)	16	47	56,8-65,7	89x89, D=100	1	1,30	%1-%25
Mahmoud ve Yousif (2017)	7	62,00	30,1-37,3	150x150	1, 2	0,3-0,5	%26- %51
Liberati ve diğerleri (2019)	8	90,00	34,57- 44,27	D=150	1, 2	1,08-1,34	%3-%26
Lourenço ve diğerleri (2021)	4	91-93	41,2-46,3	150x150	1	1,23-1,49	%6-%11
Ha ve diğerleri (2015)	7	180,00	27,00	D=150	1, 2, 3, 4	1,16	%8-%16
Bompa ve Onet T. (2010)	1	150,00	25,80	200x300	1	0,50	%24
Abdollahi ve diğerleri (2017)*	10	60,00	35,5-125	150x150, 225x225, 50x450	1	1,04	%1-%24
Živković ve diğerleri (2019)*	5	90,00	44,00	150x150	1	1,10	%2-%21
Silva ve diğerleri (2017)	2	90,00	39,40	150x150	2	1,57	%13- %18
Durucan ve Anıl (2015)	8	100,00	19,78- 21,45	300x300, 500x500	1	0,70	%4-%19
Pinto ve diğerleri (2019)	3	100,00	25,00	100x100	1	0,92-0,94	%3-%4
Augustin ve diğerleri (2020)	6	200,00	31,05- 43,26	200x300	2	1,57	%16- %28
Balomenos ve diğerleri (2018)*	12	90,00	44,00	150x150	2	1,10	%5-%38
Kormosova ve diğerleri (2020)	5	159,00	33,00	150x240	2	1,26	%8-%26
Oukaili ve Salman (2014)	5	54,00	32,83- 37,1	100x100-225x225	1	1,50	%11- %32
EL-Shafiey ve diğerleri (2012)	6	130,00	25,00	200x200-400x400	1	-	%21- %51

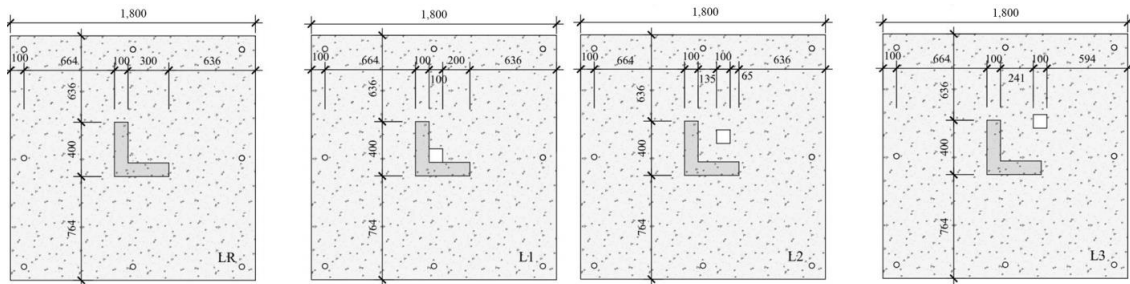
Çizelge 1.1’de verilen çalışmalardan bir kısmına ait deney elemanlarının boyutları, boşluk konum ve büyüklükleri Şekil 1.4-16’da gösterilmiştir. Tez çalışması kapsamında üretilen



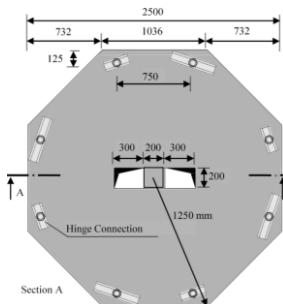
Şekil 1.9. Živković ve diğerlerinin (2019) deney elemanları



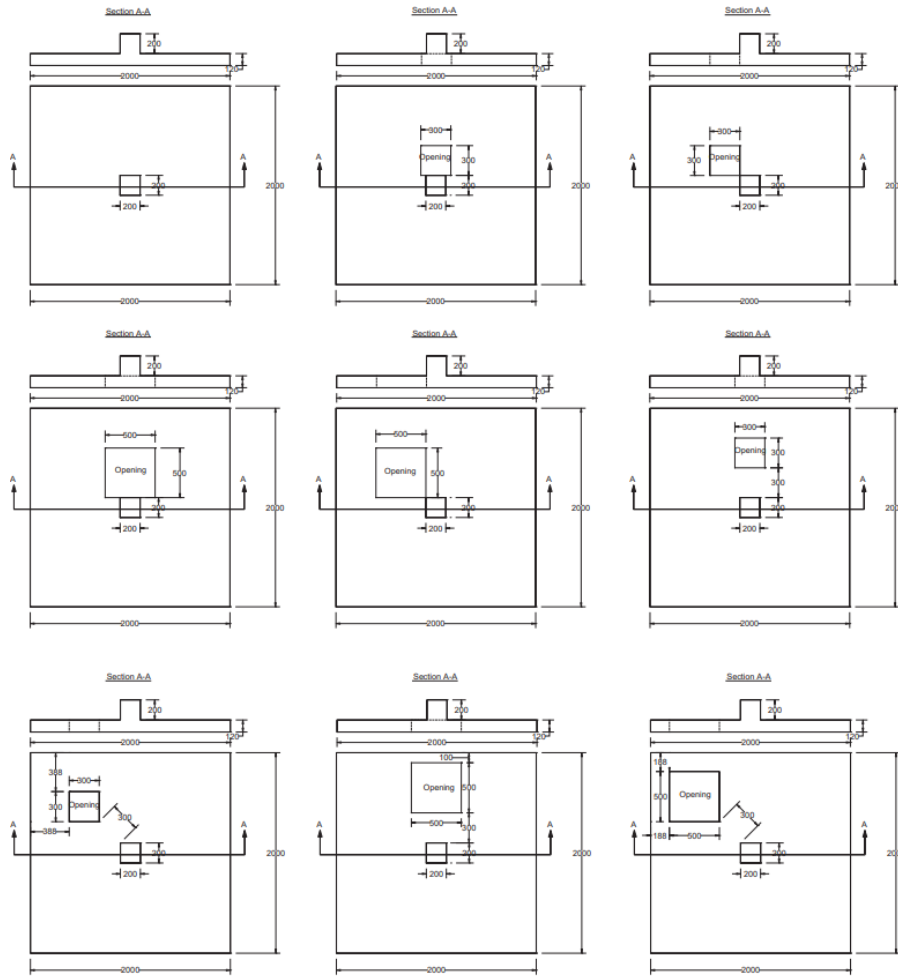
Şekil 1.10. Silva ve diğerlerinin (2017) deney elemanları



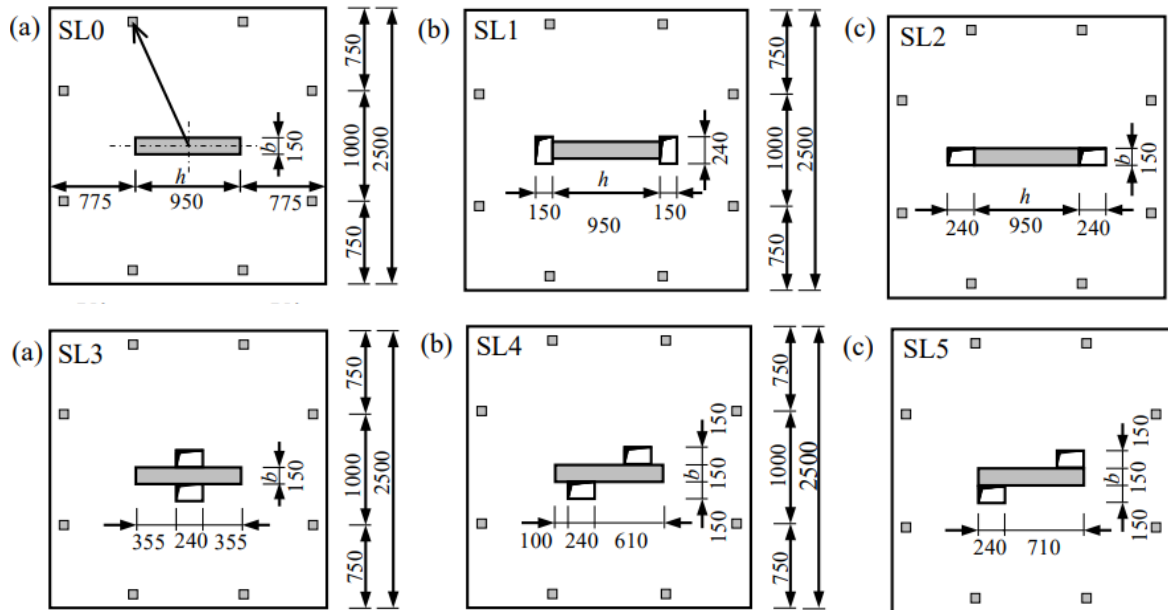
Şekil 1.11. Pinto ve diğerlerinin (2019) deney elemanları



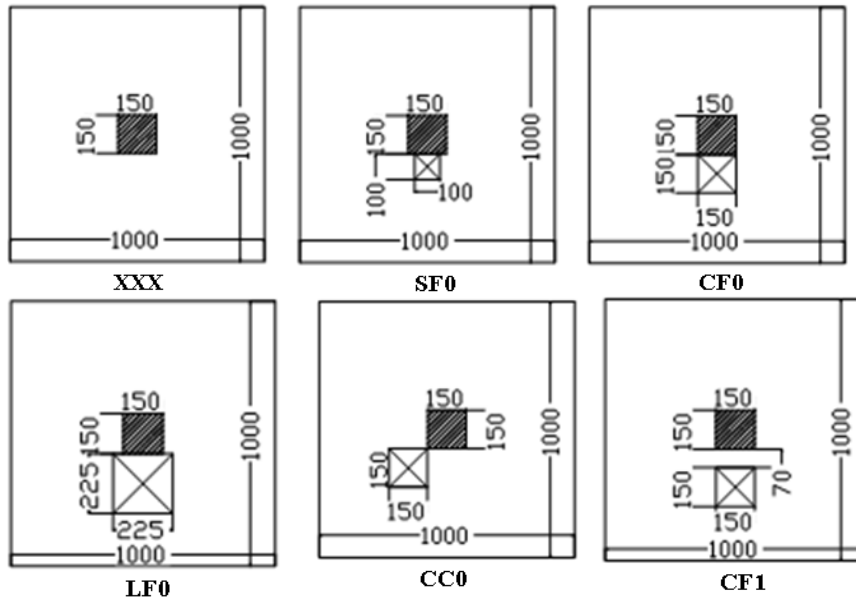
Şekil 1.12. Augustin ve diğerleri (2020) deney elemanları



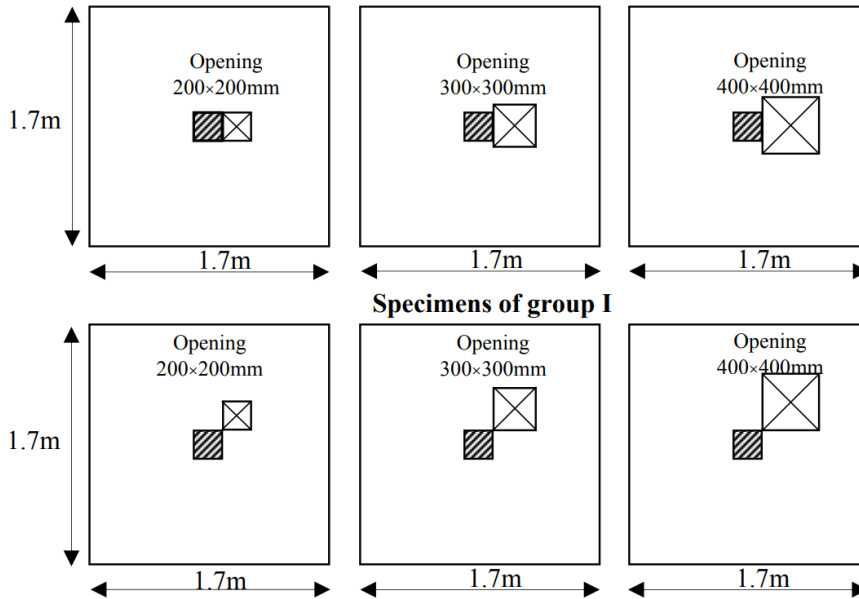
Şekil 1.13. Durucan ve Anıl'ın (2015) deney elemanları



Şekil 1.14. Kormosova ve diğerleri (2020) deney elemanları



Şekil 1.15. Kormosova ve diğerlerinin (2020) deney elemanları



Şekil 1.16. EL-Shafiey ve diğerlerinin (2012) deney elemanları

Betonarme döşemelerde bulunan boşluğun zımbalama dayanımına etkisini inceleyen araştırmacıların birçoğu tek boşluklu deney elemanları ile çalışmalarını yürütmüşlerdir. Bu boşluk ise genellikle kolonun herhangi bir kenarında ya da köşesinde kolona bitişik olarak konumlandırılmıştır. Bazı araştırmacılar da boşluğu, döşeme etkili derinliğine bağlı bir mesafe ile kolondan uzak bir noktaya yerleştirmiştir. Boşluğun konumu haricinde büyüklüğü ve şekli de değişkenler arasında yer almıştır. Birden fazla boşluğun bulunduğu deney elemanlarını inceleyen araştırmacılar ise genellikle boşlukları kolonun karşılıklı iki

kenarında, boşluklar birbirine paralel olacak şekilde konumlandırmışlardır. Boşlukların büyüklüğünün değiştiği çalışma sayısı oldukça kısıtlıdır. Birden fazla boşluğun bulunduğu durumlarda, boşlukların konumu ve boşlukların büyüklüğü araştırılmaya açık olarak görülmüş, tez kapsamında bu eksiklik giderilmeye çalışılmıştır.

Güçlendirme yönteminin belirlenmesi için incelenen çalışmalar

Güçlendirme yöntemlerinin temel amacının sürdürülebilirliği ve maliyet etkinliğini sağlamaktır. Bu bağlamda araştırmacılar zaman içerisinde gelişmiş teknolojik özelliklere sahip yapısal malzemelerin kullanımına yönelmiştir. Öncelikle, betonarme yapı elemanlarına, mevcut yapıda bulunan malzeme dayanımından daha yüksek dayanıma sahip beton ve çelik donatı kullanılarak oluşturulan ek bir en kesit sayesinde mantolama yapılmış ve yapının taşıma gücü arttırılmaya çalışılmıştır (Rodriguez ve Park, 1994; Stoppenhagen ve diğerleri, 1995; Júlio ve diğerleri, 2003; Eduardo ve diğerleri, 2004; Júlio ve diğerleri, 2005; Chung ve diğerleri, 2011). Her ne kadar taşıma gücü açısından olumlu sonuçlar alınsa da, mantolamanın uygulaması aşamasında karşılaşılan zorluklar (kalıp, donatı ve beton işlerinde karşılaşılan güçlükler, yapı güçlendirilirken yapının kullanılmasının mümkün olmaması, yapının mimarisinin bozulması vs.) bu teknik üzerindeki ilgiyi azaltmıştır. Bunun yerine yapı elemanlarının, çelik elemanlarla kesme ve eğilme kuvvetlerine karşı güçlendirilmesi ön plana çıkmıştır (Chai ve diğerleri, 1994; Altin ve diğerleri, 2005; Altin ve diğerleri, 2013; Mahrenholtz ve diğerleri, 2015; Shafaei ve diğerleri, 2017). Bu güçlendirme tekniğinde ise kalifiye işçinin az oluşu, yangın veya korozyon gibi olumsuz çevresel etkilerin meydana getirdiği riskler ya da maliyet ve mimari kaygılarla karşılaşılmıştır. Son 20 yıldır bu güçlendirme tekniklerinin yerine lif takviyeli polimer (FRP) ile güçlendirme yaygın bir şekilde kullanılmış ve birçok yapı bu teknik ile güçlendirilmiştir. Ayrıca, konu ile ilgili birçok bilimsel çalışma yapılmış ve güçlendirme-onarım çalışmalarında FRP en çok tercih edilen malzemelerden biri haline gelmiştir (Altin ve diğerleri, 2008; Altin ve diğerleri, 2010; Altin ve diğerleri, 2013; Herwig ve Motavalli, 2020; Hu ve diğerleri, 2011; Parvin ve Brighton, 2014; Olivova ve Bilcik, 2009; Barros ve diğerleri, 2008; Lorenzis ve diğerleri, 2000; Ze-Jun ve diğerleri, 1998; Sheikh, 2002; ElGawady ve diğerleri, 2006; Wei ve diğerleri, 2009; Chen ve diğerleri, 2012; Obaidat ve diğerleri, 2019).

Çalışmaların büyük çoğunluğunda, FRP'nin uygulandığı yüzey ile FRP arasında kohezif bir bölge oluşması için organik yapıya sahip epoksi malzemesi kullanılmıştır. Ancak, (a) yangına karşı zayıf direnç (Triantafillou ve Thanasis, 2006), (b) ıslak veya nemli yüzeylerde uygulanamama durumu (Bournas ve Thanasis, 2007), (c) kaplama tabakasının değiştirilme kabiliyetinin olmaması (Francisco ve diğerleri, 2012) (d) bertaraf edilmesi sırasında tehlikeli bir madde olarak sınıflandırılması, (e) FRP tekniklerinin yüksek maliyeti (Francisco ve diğerleri, 2012), (f) geçirgenlik: buhar geçirgenliğinin yetersizliği ve organik reçinelerin kullanımının betonda hasara neden olduğu kanıtlanmıştır (Triantafillou ve Thanasis, 2006). Bu olumsuzluklar göz önüne alındığında tekstil ile güçlendirilmiş sıva katmanının (TGSK) yapılan bilimsel araştırmalar ile yaygınlaşması, yapısal güçlendirme alanında dikkate değer bir ilerleme olarak kabul edilmiştir (Triantafillou ve diğerleri, 2006; Bournas ve diğerleri, 2007). TGSK (aynı malzeme İngilizce kaynaklarda TRM, TRC ve FRCM olarak da geçmektedir), çimento bazlı inorganik bir harcın, farklı (çelik, karbon, bazalt, cam gibi) maddelerden elde edilen tekstillerle birlikte oluşturduğu kompozit bir yapı malzemesidir. Kompozit malzemenin takviyesi olarak kullanılan tekstiller tipik olarak birbirine dik yönde (çift doğrultulu) lif tellerinden oluşur. Harcın geleneksel yöntemlerle üretildiği ve uygulandığı düşünüldüğünde, TGSK'nin elyaf takviyeli polimerlere (yaygın olarak kullanılan, epoksi esaslı kompozit bir malzeme) göre birçok avantajı vardır. Bu avantajlar; (a) düşük maliyetli olması, (b) yüksek sıcaklıklara dayanıklı olması, (c) beton, betonarme ve yığma yapı yüzeylerine uygulanabilir olması, (d) ıslak yüzeylere uygulanabilir olması, (e) ısı geçirgenliğinin düşük olması ve (f) taşıma gücünün yüksek olmasıdır. Araştırmacılar, bu avantajları göz önüne alarak TGSK ile birçok çalışma yürütmüştür.

TGSK ile güçlendirme betonarme döşemelere de uygulanmış ve olumlu sonuçlar alınmıştır. Ancak betonarme döşemelerin TGSK ile güçlendirilmesine ait çalışmaların sayısı yığma yapı elemanlarına ve betonarme kiriş ya da kolon elemanlarına kıyasla çok daha azdır. Jesse ve diğerleri (2008) ile Papanicolaou ve diğerleri (2009) tarafından yürütülen çalışmalar bu konudaki ilk çalışmalardır. Bu çalışmaların devamında Schladitz ve diğerleri (2012) tarafından yürütülen deneysel ve teorik çalışmada TGSK (karbon bazlı) ile güçlendirilmiş tek doğrultulu betonarme döşemelerin eğilme taşıma kapasiteleri araştırılmıştır. Deneysel çalışma için 7,00 m x 1,00 m x 0,23 m boyutlarında 5 adet deney elemanı üretilmiş ve bunlardan biri referans eleman olarak seçilmiştir. Değişken olarak TGSK katman sayısı seçilmiştir. Sonuçlar, güçlendirilmemiş referans betonarme döşeme elemanla karşılaştırıldığında yük taşıma kapasitesinde önemli oranda artış olduğunu göstermiştir.

Schladitz ve diğerlerinin (2012) çalışmasına benzer bir çalışma da Zwicky (2013) tarafından gerçekleştirilmiştir. Zwicky, diğer çalışmalardan farklı olarak tekstil üzerine uygulanan harcı basınçlı bir şekilde püskürterek uygulamış ve bağlanmayı arttırmaya çalışmıştır. 6,00 m x 0,85 m x 0,22 m ölçülerine sahip 3 adet tam ölçekli deney elemanı üretilmiş ve bu deney elemanların biri referans eleman olarak seçilmiş, diğer ikisi ise TGSK (karbon bazlı) güçlendirilmiştir. Değişken olarak tekstil katman sayısı seçilmiştir. Deney elemanlarına 4 noktadan kuvvet uygulanarak eğilme testi yapılmış ve alınan sonuçlardan her bir katmanın taşıma kapasitesini yaklaşık %35 oranında arttırdığı ancak sünekliği %20 oranında azalttığı vurgulanmıştır.

Bir başka çalışmada, Giovanni ve diğerleri (2014) yine FRCM ile güçlendirilen betonarme döşemelerin performansını değerlendirmişlerdir. Deneysel çalışmalarda PBO tekstil kullanılmıştır. 18 adet tek doğrultulu betonarme döşeme elemanı 1,83 m x 0,305 m x 0,152 m boyutlarında üretilmiş ve bu elemanlara üç noktalı eğilme yükü uygulanmıştır. Değişkenler ise, dayanımı 28 MPa ve 40 MPa beton ile FRCM katman sayısı olarak seçilmiştir. Laboratuvarında elde edilen sonuçlar, mevcut betonarme döşeme elemanların güçlendirilmesi için FRCM'nin uygulanabilirliğini göstermiştir. Nihai kapasite bakımından, dayanım artışının düşük dayanımlı beton ile üretilen elemanlar için sırasıyla tek katlı ve dört katlı PBO-FRCM için %41 ve %105 ve yüksek dayanımlı beton ile üretilen elemanlar için ise %35 ve %112 şeklinde olduğu görülmüştür. FRCM'nin katman sayısı ile orantılı olarak dayanımı arttırdığı buna karşılık olarak sünekliği ise azalttığı vurgulanmıştır.

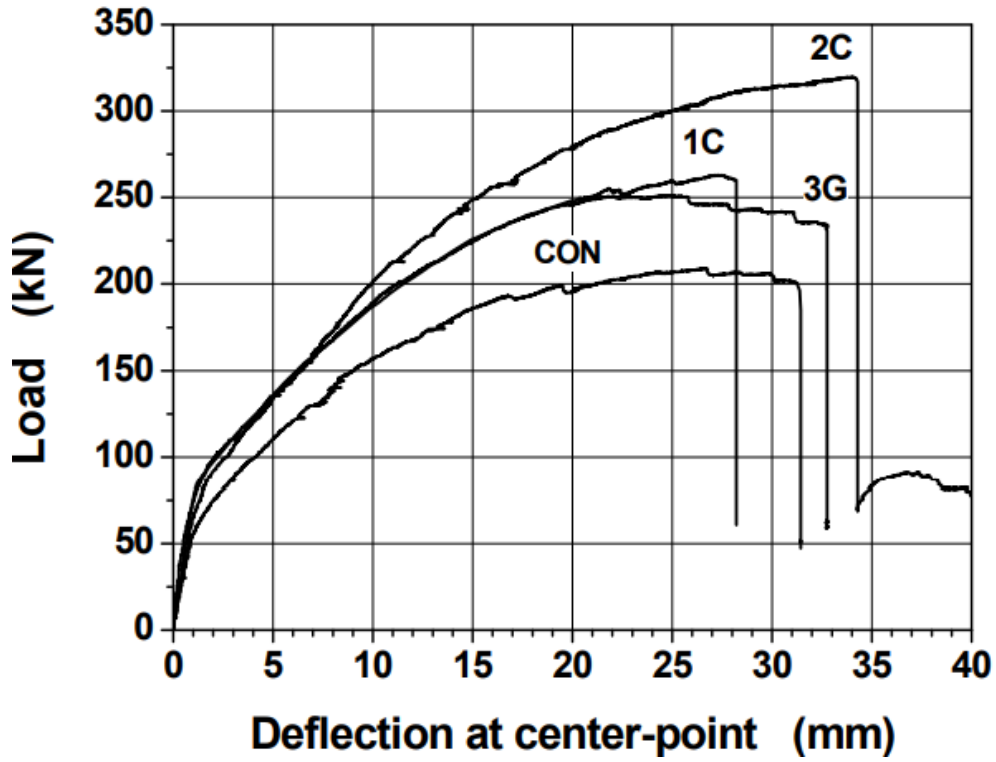
Jung ve diğerleri (2016) yine tek doğrultulu ve karbon bazlı TRM ile güçlendirilmiş betonarme döşeme elemanlarında eğilme etkisini incelemiş fakat diğer çalışmalardan farklı olarak güçlendirme uygulaması sırasında ankraj sistemi kullanmışlardır. Diğer çalışmalara benzer olarak referans elemanlar baz alındığında dayanımın %60'tan %185'e kadar arttığını vurgulanmıştır. Bununla birlikte önceki çalışmalardan farklı olarak uygulanan ankraj sistemiyle süneklikte de artışlar olduğu gözlemlenmiştir.

Betonarme döşemelerin TRM ile güçlendirilmesi konusunda literatürde yer alan çalışmaların büyük çoğunluğunda tek doğrultulu betonarme döşeme kullanılmıştır. Çift doğrultulu döşemelerle ilgili çalışmalar oldukça kısıtlıdır. Literatür incelendiğinde konu ile ilgili Papanicolaou ve diğerleri (2009) ile Koutas ve Bournas (2017 ve 2021) tarafından yürütülen üç çalışma öne çıkmaktadır.

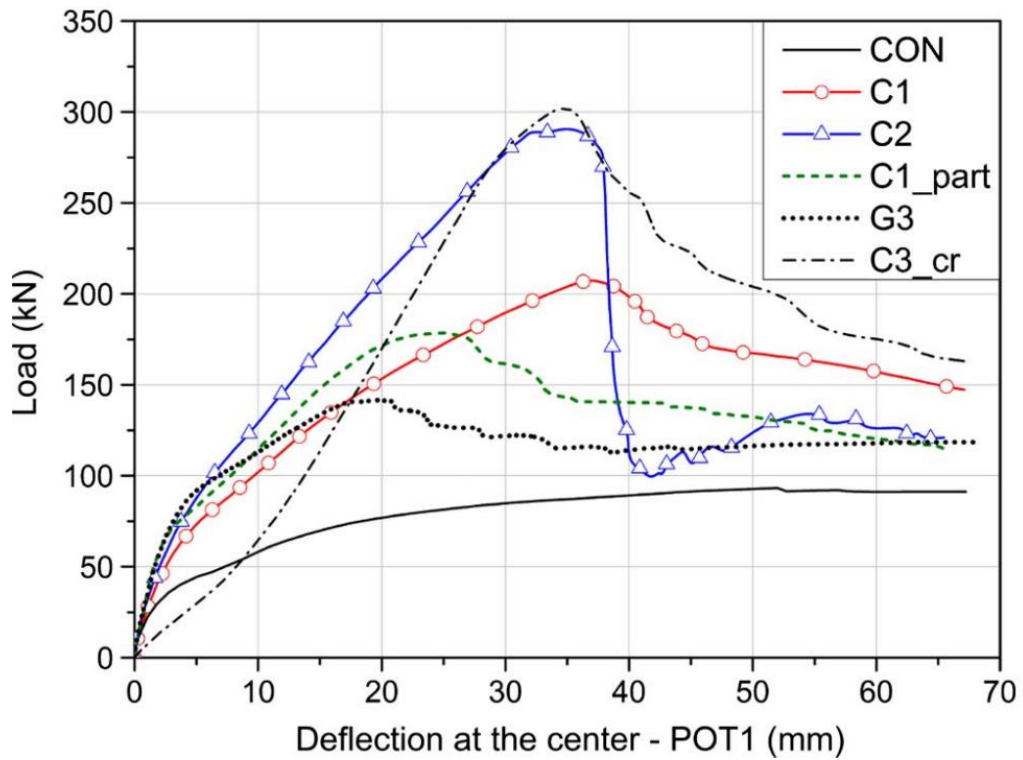
Papanicolaou ve diğeri (2009) 4 adet kare betonarme döşemenin 2 adetini karbon, 1 adetini de cam TGSK ile güçlendirmiştir. Zımbalama etkisi oluşturmak için döşeme ortasında konsantre yük uygulayarak bu elemanları test etmişlerdir. Deney sonuçları incelendiğinde TGSK'nin döşemelerin zımbalama dayanım kapasitesinde %20'den %53'e kadar artış gösterdiği gözlemlenmiştir. Yük-deplasman grafikleri Şekil 1.17'de gösterilmiştir.

Diğer çalışmada ise Koutas ve Bournas (2017) 1,80 x 1,80 m boyutlarında 6 adet betonarme döşeme elemanı üretmişlerdir. Bu elemanlardan biri referans numune olarak seçilmiş ve ilgili elemana dört noktaya dağılmış monotonik yükleme testi uygulanmıştır. TGSK'nin cinsi (bazalt ya da cam), TGSK tabaka sayısı ve hasar oranı gibi parametreler değişken olarak seçilmiştir. Deney sonuçlarında, TGSK'nin uygulanma şekline de bağlı olarak çift doğrultulu döşemelerin taşıma kapasitesi %50'den %220'ye kadar artış göstermiştir. Yük-deplasman grafikleri Şekil 1.18'de gösterilmiştir.

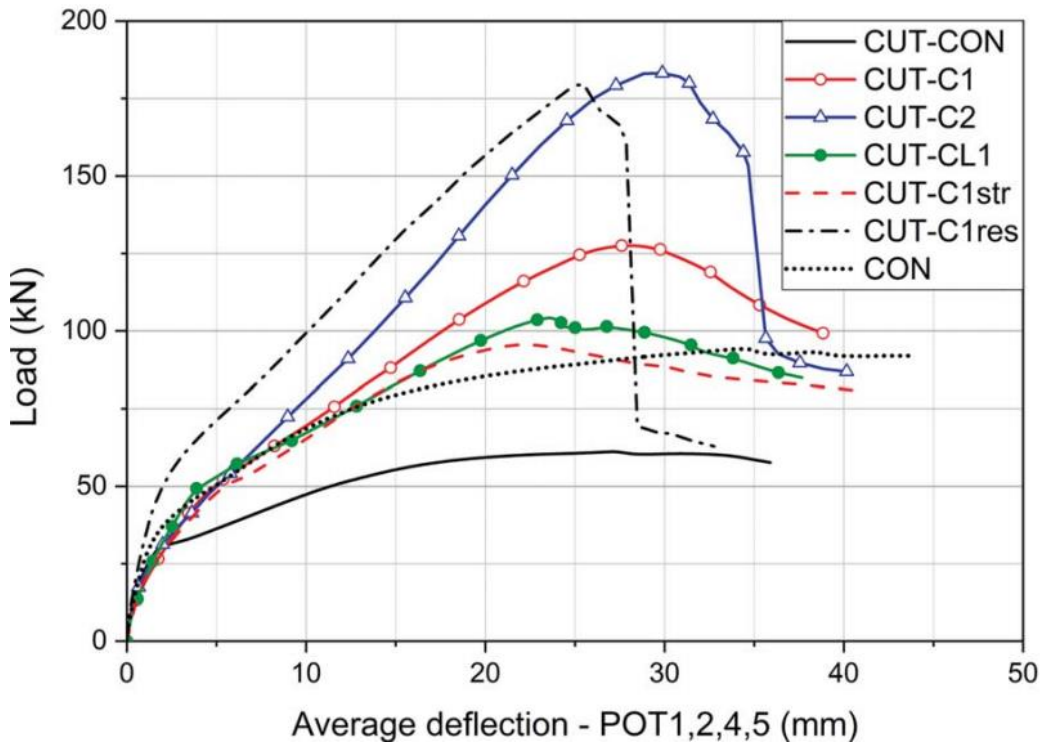
Son çalışma ise yine Koutas ve Bournas (2021) tarafından yürütülmüş ve 2017'de yaptıkları çalışmanın devamı niteliğindedir. Bu çalışmada farklı olarak döşeme ortasında 500 mm x 500 mm bir boşluk bırakılmıştır ve 1,80 x 1,80 m boyutlarında 6 adet betonarme döşeme elemanı üretmişlerdir. Bu elemanlardan biri boşluklu referans numune olarak seçilmiş ve geriye kalan deney elemanları TGSK ile güçlendirilmiştir. Deney elemanlarında bir tanesinde yapıştırıcı malzeme olarak epoksi kullanılmıştır. Dört noktaya dağılmış monotonik yükleme ile deneyler yapılmıştır. Boşluksuz referans deney elemanı 95 kN'luk bir yük taşıma kapasitesine sahipken, boşluğun etkisiyle bu kapasite 61 kN'a düşmüştür. Bu kapasite tek katlı TGSK şerit ile 128 kN'a, çift katlı TGSK şerit ile 183 kN'a çıkmıştır. Kapasitedeki artış sırasıyla %110 ve %200'dür. Güçlendirme uygulanırken herhangi bir ankraj kullanılmamıştır. Yük-deplasman grafikleri Şekil 1.19'da gösterilmiştir.



Şekil 1.17. Papanicolaou ve diğerleri (2009) tarafından yürütülen çalışmanın sonuçları



Şekil 1.18. Koutas ve Bournas (2017) tarafından yürütülen çalışmanın sonuçları



Şekil 1.19. Koutas ve Bournas (2021) tarafından yürütülen çalışmanın sonuçları

TGSK ile güçlendirme konusunda yapılan çalışmalar incelendiğinde en az sayıda çalışmanın çift doğrultulu betonarme döşemeler üzerine olduğu görülmektedir. Bu çalışmalar da ise genellikle eğilme etkisi incelenmiştir.

Araştırmanın amacı ve kapsamı

Yeni merdivenler, asansörler, ek çatı pencereleri veya (daha sık olarak) kablo ve kanalların mevcut döşemelere yerleştirilmesi gibi birçok faktörden dolayı yapıların döşeme sistemlerinde boşluk bırakılması gerekmektedir. Literatürde yer alan çalışmalardan da anlaşıldığı üzere bu boşluklar beton alanını azalttığından dolayı kesme gerilmelerinde artış görünür ve bu durumda zımbalama riski artar. Günümüzdeki yapısal uygulamalar ele alındığında boşluklu ve çift doğrultulu betonarme döşemelerin zımbalama dayanımının artırılmasının oldukça önemli bir konu olduğu düşünülmekle birlikte betonarme döşemelerin TGSK ile güçlendirilmesi konusunda oldukça kısıtlı sayıda çalışma bulunması bu konunun araştırılmaya açık ve muhtaç olduğunu göstermektedir. Bu gereksinimi gidermek adına TGSK yöntemi ile güçlendirilmiş çift doğrultulu betonarme döşemelerin zımbalama yüklemesi etkisi altındaki davranışının incelenmesi amaçlanmıştır. Ayrıca, yapılan literatür

taramasında birden fazla boşluğun bu türdeki döşemelerin zımbalama davranışı üzerindeki etkilerinin incelendiği, boşluk konumu ve büyüklüğünün değişken olduğu kapsamlı deneysel çalışmaya da rastlanmamıştır. Tezin özgün değerlerinden birinin bu deneysel veri olduğu düşünülmektedir.

Boşluklu bir döşeme yapılmadan önce boşluğun meydana getirebileceği olumsuzlukların önüne geçilebilmesi için tasarım ve üretim aşamasında döşeme kalınlığının artırılması, kolon uç bölümünde guse ya da daha kalın bir döşeme bölümünün lokal olarak imal edilmesi ya da betonarme detaylarında değişiklik ve düzenlemeler yapılması gibi alınabilecek önlemler vardır. Bunların yanı sıra döşeme donatısında özel bazı donatı detaylandırmaları yapılarak boşlukların meydana getirdiği olumsuz etkilerin bertaraf edilmesi literatürde üzerine araştırma yapılmış konulardandır. Ancak tez çalışması kapsamındaki döşemelerde yer alan boşlukların döşeme üzerine önceden tasarlanarak bırakılmadığı, söz konusu boşlukların havalandırma, ısıtma, elektrik vb. sistemlerin tesisat hatlarının geçirilebilmesi için sonradan kesilerek oluşturulduğu ve bu döşemelerde zımbalama donatısının bulunmadığı varsayılmıştır. Varsayılan bu durumla uygulamada sıklıkla karşılaşılmaktadır. Özellikle yüksek katlı yapılarda çok sayıda bulunan tesisat sistemlerinin yerleştirilebilmesi için döşemelerde sıklıkla ihtiyaç duyulan bu boşlukların döşemenin üretilmesi tamamlandıktan sonra açıldığı bilinmektedir. Bu nedenle bu tür boşluklu döşemelerin çeşitli özel kompozit malzemeler ile güçlendirme gereksinimi ortaya çıkmaktadır. Bu gereksinimden yola çıkılarak tez kapsamında sunulan TGSK ile güçlendirme yöntemi ile döşemelere sonradan açılan boşlukların döşemelerin zımbalama davranışları üzerindeki olumsuz etkilerinin azaltılması amaçlanmıştır.

Tez kapsamında yürütülen deneysel çalışma sadece birden fazla boşluğun bulunduğu çift doğrultulu betonarme döşemelerin zımbalama davranışını kapsamaktadır. Döşemelerde ek bir zımbalama donatısı bulunmamaktadır. Ek zımbalama donatısı bulunan döşemeler çalışma kapsamı dışındadır. Ayrıca, tek doğrultulu döşemeler de bu çalışmadan elden edilen sonuçlara göre değerlendirilemez.

2. DENEYSEL ÇALIŞMA

2.1. Genel

Deneysel çalışmada birden fazla boşluk bulunduran çift doğrultulu döşemelerin zımbalama etkisine karşı TGSK ile güçlendirilmesine odaklanılmıştır. Deney elemanlarında boşlukların büyüklüğü ve konumu haricinde bir değişiklik yapılmamıştır. Boşluk büyüklüğü ve konumunun döşemelerin zımbalama dayanımı üzerindeki olumsuz etkilerinin anlaşılabilmesi için 10 adet deney elemanı üretilmiştir. Bunlardan biri boşluksuzdur ve boşluklu numunelerin zımbalama davranışındaki değişimi gözlemlemek için üretilmiştir. Geriye kalan 9 adet deney elemanı çift boşluklu olarak üretilmiştir. Boşluk boyutları sırasıyla 300 mm x 300 mm, 500 mm x 500 mm ve 700 mm x 700 mm olacak şekilde üçer deney elemanı üretilmiştir. Boşluk konumları ise kolon çevresinde birbirine paralel, diyagonal ve bitişik olarak seçilmiştir. Boşlukların zımbalama dayanımı üzerindeki olumsuz etkilerini ortadan kaldırarak, boşluksuz deney elemanının zımbalama kapasitesine ulaşmak ve mümkünse bu kapasiteyi aşmak için TGSK ile güçlendirme yöntemi tercih edilmiştir. TGSK ile güçlendirme işlemi için boşluk büyüklüğü ve konumları önceki deney elemanları ile aynı olan 9 adet deney elemanı üretilmiş ve toplamdaki deney elemanı sayısı 19 olmuştur. Tüm deney elemanları tekdüze merkezi statik yükleme ile test edilmiştir.

2.2. Malzemeler

2.2.1. Beton karışımı

Basınç dayanımı 25 MPa olarak hedeflenen beton karışımında 0-4 mm ve 4-11 mm olmak üzere iki farklı agrega grubu kullanılmıştır. Çimento sınıfı, CEM-I-42,5-R olarak seçilmiştir. Su/çimento oranı 0,43 olarak belirlenmiştir. Ayrıca, betonun işlenebilirliğini arttırmak için akışkanlaştırıcı kullanılmıştır. Beton kıvam sınıfı S3'tür. Beton karışımına mineral katkı (uçucu kül) eklenmiştir. Çizelge 2.1'de 1 m³ için karışım oranları verilen betonun üretimi beton santralinde gerçekleştirilmiş ve laboratuvara beton mikser kamyonu ile taşınmıştır. Beton dökümü sırasında her bir deney elemanından deney günü test edilmek üzere beşer adet 150 mm boyutlarında küp numune alınmıştır.

Çizelge 2.1. Beton karışım detayları

Hedeflenen beton basınç dayanımı	25 MPa
Kıvam	S3
Su/çimento	0,43
Dmax	11 mm
Malzeme Adı	Miktarı (kg)
0-4 Agregası	1060
4-11 Agregası	811
Beton karma suyu	150
Çimento (CEM-I-42,5-R)	350
Akışkanlaştırıcı	3,88
Mineral katkı (Uçucu kül)	40

2.2.2. Çelik donatı

Deney elemanlarının üretimi sırasında 4 mm ve 10 mm olmak üzere iki farklı çapta çelik donatı kullanılmıştır. 4 mm çapa sahip donatılar nervürlü (düz) iken 10 mm çapa sahip olan donatılar nervürlüdür. Kolon boyuna donatısı ile döşeme çekme ve basınç donatısı için kullanılan 10 mm çaplı nervürlü donatının akma dayanımı 480 MPa, çekme dayanımı 627 MPa ve elastisite modülü 195 GPa'dır. Kolonda enine donatı olarak kullanılan 4 mm çaplı düz donatı için bu değerler sırasıyla 280 MPa, 425 MPa and 193 GPa'dır. Bu değerler beş numuneden elde edilen ortalama değerlerdir.

2.2.3. Karbon tekstil

Deney elemanlarının güçlendirilmesi sırasında göz aralığı 25 mm olan çift doğrultulu karbon tekstil (hasır şeklinde) kullanılmıştır (Resim 2.1). Üretici firmadan temin edilen özellikler Çizelge 2.2'de verilmiştir.



Resim 2.1. Karbon tekstilin (a) kesilmesi ve (b) geometrik özellikleri

Çizelge 2.2. Karbon tekstilin (hasır şeklinde) özellikleri

Özellikler	Değer
Çekme dayanımı	255 kN/m
Ağırlık	350 gr/m ²
Kalınlık	1,43 mm
Elastisite modülü	235 GPa
Göçme uzaması	%1,7

2.2.4. Karbon İp

Fan tipi ankraj yapımında Resim 2.2’de gösterilen karbon ip kullanılmıştır. Üretici firmadan temin edilen özellikler Çizelge 2.3’te verilmiştir.



Resim 2.2. Karbon ip

Çizelge 2.3 Ankraj için kullanılacak karbon ipin özellikleri

Özellikler	Değer
Çap	6 mm
Fiber Yoğunluk	1,8 gr/cm ³
Fiber Çekme Mukavemeti	>3800 MPa
Fiber Elastiklik Modülü	>230 000 MPa
Fiber Kopmadaki Uzama	%1.7

2.2.5. Epoksi

Ankrajların üretimi ve deney elemanlarına yerleştirilmesi sırasında bağlayıcılığı arttırmak için çift bileşenli epoksi kullanılmıştır. Bu çift bileşen dörde bir miktarda karıştırılarak epoksi elde edilmiştir. Üretici firmadan temin edilen özellikler Çizelge 2.4’te verilmiştir.

Çizelge 2.4. Ankraj yapımında kullanılan epoksinin özellikleri

Özellikler	Değer
Yoğunluk	1,31 kg/lt
Karışım oranı	Beyaz/Gri bileşen =4/1
Uygulama sıcaklığı	Min +10°C, max +35°C
Çekme dayanımı	30 MPa

2.2.6. Sıva

Karbon tekstilin beton yüzeyinden soyulmasını geciktirmek için geleneksel sıva karışımlarının yerine Çizelge 2.5’te özellikleri verilen yapısal kalın tamir harcı tercih edilmiştir. Tamir harcının özellikleri üretici firmadan temin edilmiştir. Karışım çimento esaslı ve tek bileşenlidir. Polimer katkısının yanında elyaf katkı da içermektedir. 25 kg’lık torbada bulunan karışım, içinde 4 litre su bulunan kaba yavaş yavaş boşaltılıp mikser yardımıyla karıştırılarak hazırlanmıştır. Her bir deney elemanı için güçlendirme işlemi sırasında bu harçtan 1 adet 150 mm x 150 mm x 150 mm boyutunda küp numune alınarak deney günü test edilmiştir.

Çizelge 2.5. Tamir harcının özellikleri

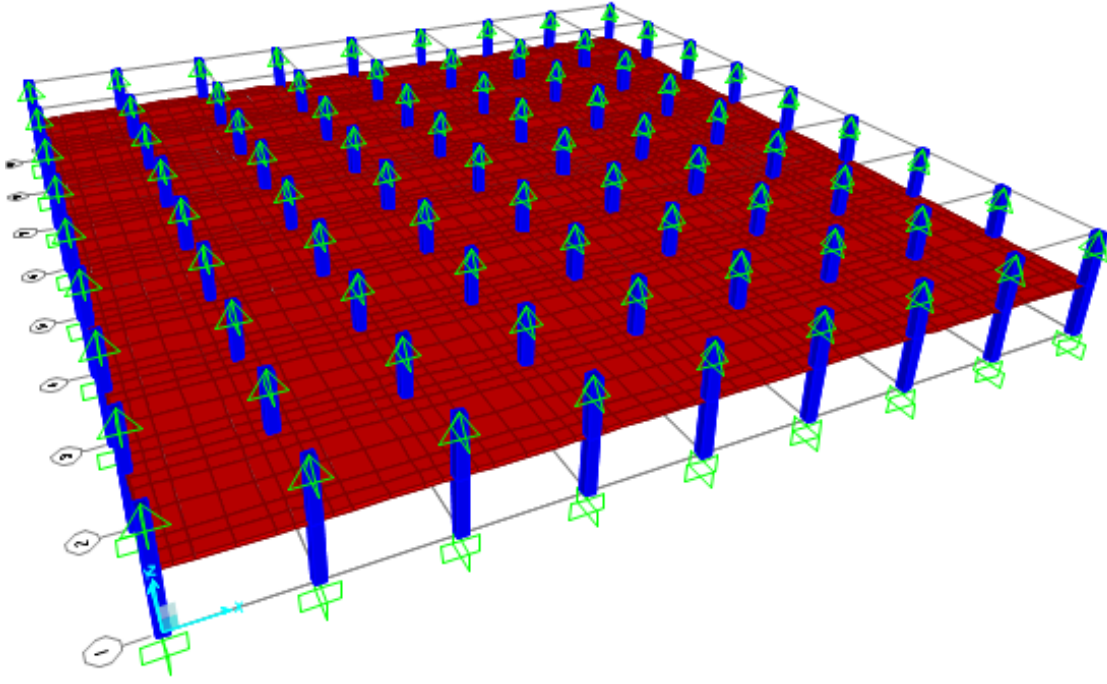
Özellikler	Değer
Eğilme dayanımı	> 7 MPa
Beton yüzeye yapışma dayanımı	> 2 MPa
Basınç dayanımı	> 60 MPa
Elastisite modülü	> 20 GPa

2.3. Deney Elemanları

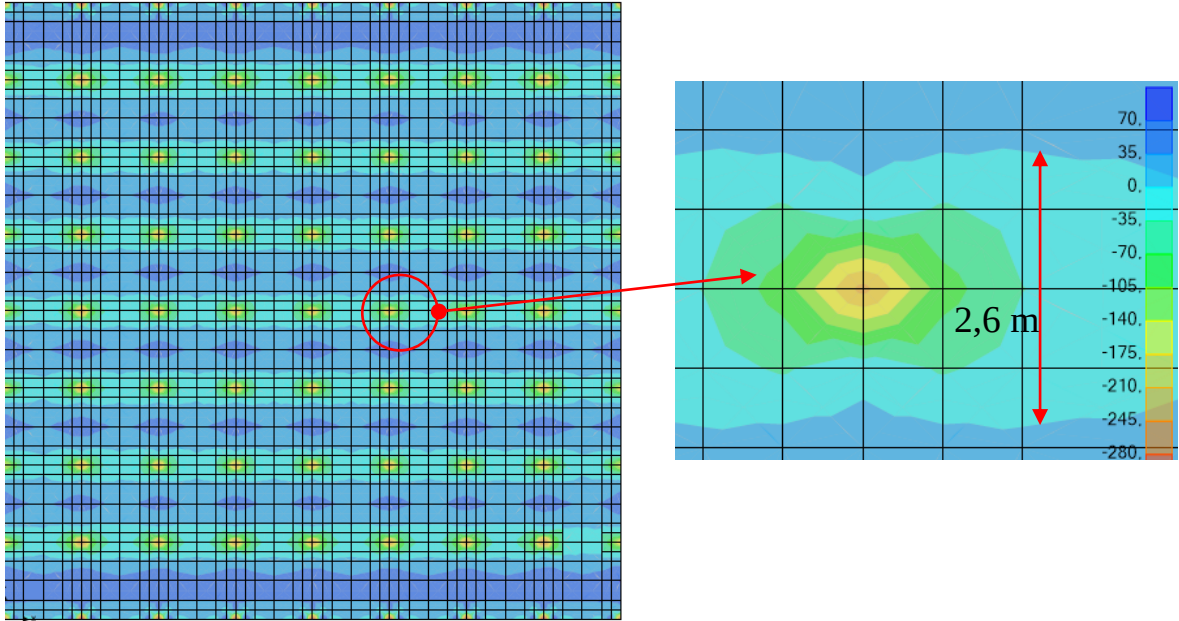
Deney düzeneği ve deney elemanlarının detayları Durucan ve diğerleri (2015) tarafından Gazi Üniversitesi Yapı Mekaniği Laboratuvarı'nda yapılan bir çalışmadan esinlenilmiştir.

2.3.1. Deney elemanlarının tasarımı

Deney elemanlarının boyutlarına karar vermek için Erdoğan (2010) tarafından yürütülen çalışmaya benzer olarak üzerinde sadece ölü yüklerin bulunduğu ve kolonlar tarafından desteklenen prototip kirişsiz döşeme sistemi tasarlanmıştır (Şekil 2.1). Sistem her iki doğrultuda kolonlar arası mesafe 6 m olacak şekilde 8 açıklığa sahiptir. Döşeme yüksekliği 160 mm'dir. Lineer elastik analiz sonuçlarına göre moment değerleri kolon merkezinden itibaren pozitif y doğrultusunda 1,30 m mesafede ve negatif y doğrultusunda 1,30 m mesafede sıfır olmaktadır (Şekil 2.2). Sıfır eğilme momenti çizgileri ile sınırlanmış bölgenin boyutları $\frac{3}{4}$ ölçek ile ölçeklendirildikten sonra, deney elemanlarının boyutları 2000 mm x 2000 mm x 120 mm olarak elde edilmiştir. Döşeme merkezinde zımbalama yüklemesinin yapılacağı 200 mm x 200 mm kare en kesitli ve 200 mm yüksekliğe sahip olan bir kolonun döşeme ile birlikte üretilmesine karar verilmiştir (Şekil 2.3). Bu deney elemanı boyutlarına benzer boyutlu çalışmalar literatürde kullanılmıştır (Anil, 2014, 2020; Durucan 2015, 2017). Donatı oranı eğilme kuvvetlerinden kaynaklı göçmeyi engellemek için nispeten yüksek seçilmiştir (Anil, 2014, 2020; Durucan 2015, 2017).



Şekil 2.1. Prototip bina



Şekil 2.2. Ölü yükler altında moment dağılımı

Donatı detayları Şekil 2.3'te verilmiştir. Binici ve Bayrak (2005) tarafından yapılan çalışmada kirişsiz döşeme içeren birçok yapıda donatı oranının %0,5 ile %1,2 arasında olduğu belirtilmiştir. Bu nedenle, 10 mm çapa sahip nervürlü donatılar 15 mm pas payı ile döşemenin üst tarafında her iki yönde 215 mm aralıkla ($\rho_t = 0,0041$), alt tarafında yine her iki yönde 175 mm ($\rho_c = 0,005$) aralıkla yerleştirilmiştir. Döşeme ile birlikte üretilen

kolonun köşelerinde 10 mm çaplı nervürlü donatı kullanılmıştır. Etriye olarak 40 mm aralıklarla 4 mm çapında düz donatı kullanılmıştır. Döşemenin alt tarafında bulunan tüm nervürlü donatıların uç kısımları 90° derece yukarı yönlü eğilerek ankrajlanma sağlanmıştır. Bunların yanı sıra, gerçek bir binada bulunan döşemede açılan boşluğu en iyi şekilde temsil edebilmek için basınç ve çekme donatıları boşlukların denk geldiği bölümlerde kesilmiş ve boşluk kenarlarında ayrıca özel bir donatı detayı uygulanmamıştır.

Kirişsiz döşemelerin zımbalama davranışını araştırmak için toplam 19 adet deney elemanı test edilmiştir. Deney elemanları, TGSK ile güçlendirilmiş ve herhangi bir güçlendirme işlemi uygulanmamış olmak üzere iki ana grupta sınıflandırılabilir.

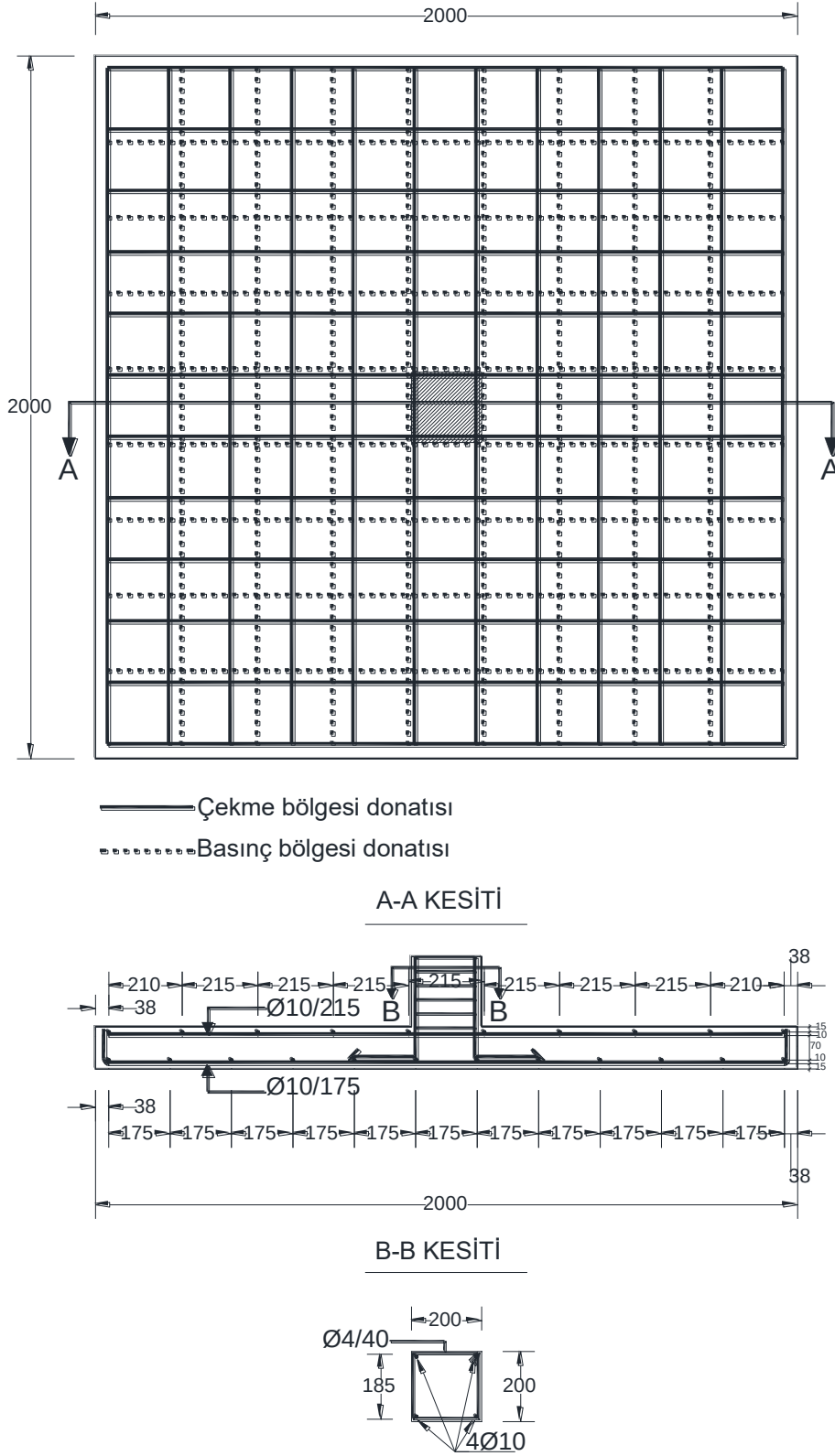
2.3.2. Referans deney elemanları

Güçlendirme işlemi uygulanmayan birinci grup 10 adet deney elemanından oluşmaktadır (Şekil 2.4). Bu deney elemanlarından biri boşluksuzdur ve boşluklu referans deney elemanlarındaki zımbalama dayanım kayıplarının tespit edilebilmesi için üretilmiştir. Geriye kalan 9 adet deney elemanı ise boşluk konumu ve büyüklüğü farklı olacak şekilde üretilmiştir. Boşluklar kolona bitişik vaziyette birbirlerine paralel, diyagonal ve bitişik olacak şekilde konumlandırılmıştır. Her bir döşemede aynı boyutlara sahip iki adet kare boşluk bulunmaktadır. Bu boşlukların boyutları sırasıyla 300 mm x 300 mm, 500 mm x 500 mm ve 700 mm x 700 mm'dir.

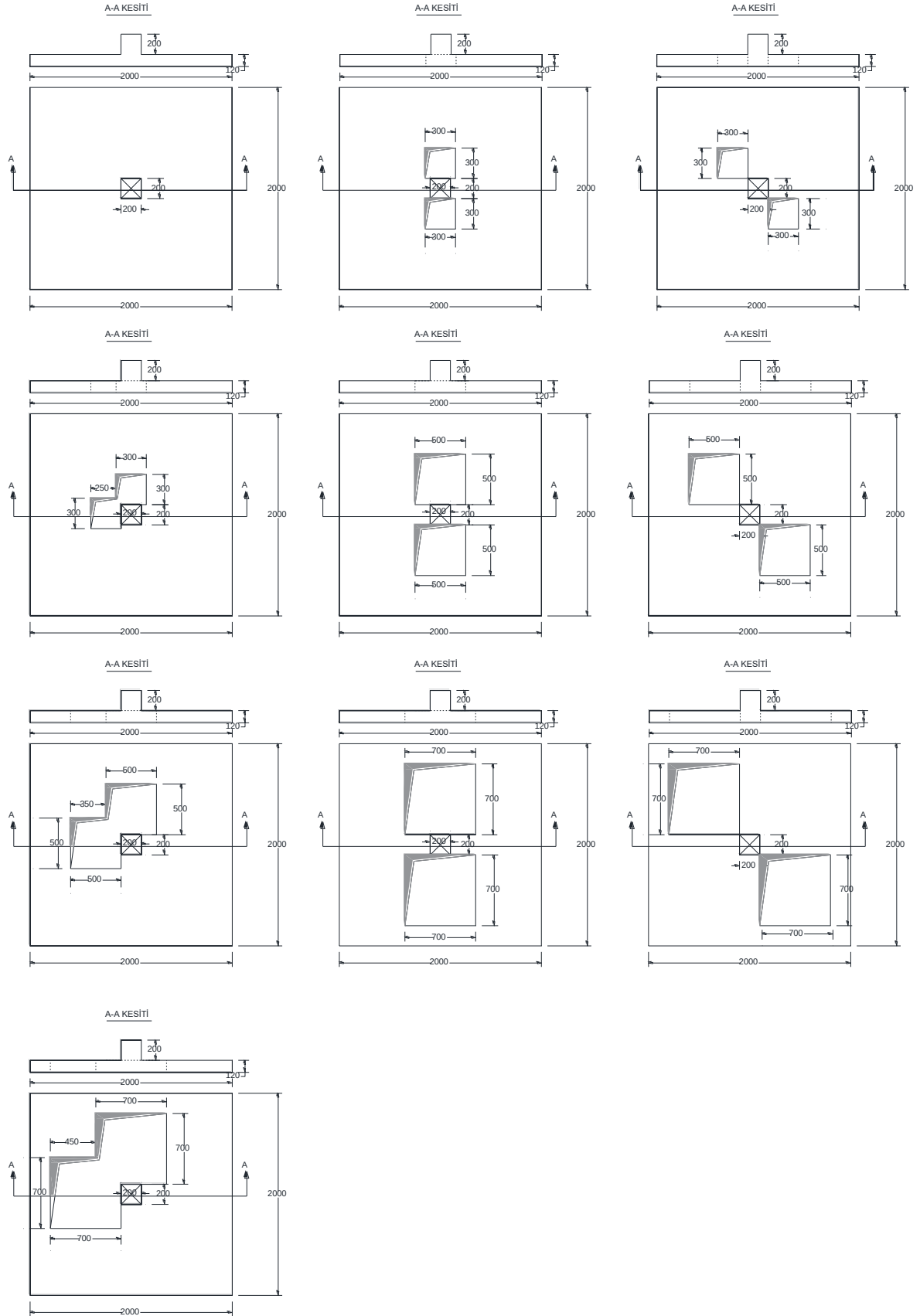
2.3.3. Güçlendirme yöntemi ve güçlendirilmiş deney elemanları

Geçmişte yapılan çalışmalarda döşemelerin zımbalama dayanımını artırmak için başlıca iki yaklaşım ortaya koyulduğu görülmüştür. Bunlardan birincisi çekme bölgesine dışardan FRP yapıştırılarak dolaylı bir şekilde zımbalama dayanımının arttırılmasıdır (Erki ve Heffernan, 1995; Tan, 1996; Chen ve Li, 2000; Wang ve Tan 2001; Casadei ve diğerleri, 2003; Harajli ve Soudki, 2003; Robertson ve Johnson, 2001, 2004; Rochdi, 2006; Chen ve Li, 2005; Sharaf ve diğerleri, 2006; Michel ve diğerleri, 2007, Anil ve diğerleri, 2013, Durucan ve Anil, 2015, 2017). İkincisi ise FRP cıvatalardan yapılmış düşey güçlendirme sistemi yaklaşımıdır. (Martinez ve diğerleri, 1994; Ramos ve diğerleri, 2000; Ebead ve Marzouk, 2002; Sissakis, 2002; Binici, 2003; El-Salakawy ve diğerleri, 2003, 2004; Stark ve diğerleri, 2005; Adetifa ve Polak, 2005; Harajli ve diğerleri, 2006; Widiyanto, 2009). TGSK ile güçlendirme

yönteminin uygulama kolaylığı düşünülerek bu yaklaşımlardan ilki tercih edilmiştir.



Şekil 2.3. Boşluksuz deney elemanının boyutları ve donatı detayı (ölçüler mm'dir)



Şekil 2.4. Referans deney elemanlarının boyutları (ölçüler mm'dir)

Boşluklu betonarme döşemeler güçlendirilirken genellikle Resim 2.3'te görüldüğü gibi boşluk etrafında FRP şeritler kullanılmıştır (Casadei ve diğerleri, 2003; Anil, 2013; Durucan ve Anil, 2015, 2017). Farklı yapısal elemanların güçlendirilirken bazı çalışmalarda TGSK şeritler halinde kullanılmış ve başarılı sonuçlar alınmıştır (Maroudas ve Papanicolaou, 2017; Garcia ve diğerleri, 2020). Tüm bunlar dikkate alındığında güçlendirilecek deney elemanlarında TGSK'nın şeritler halinde uygulanmasına karar verilmiştir.

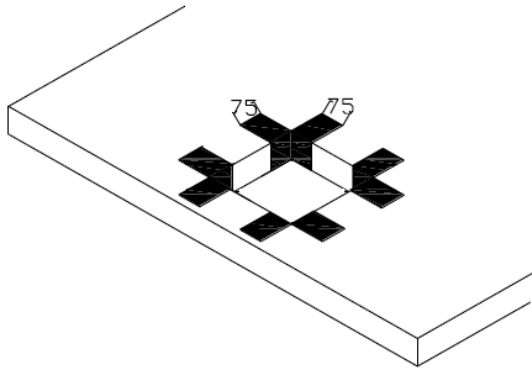


Resim 2.3. CFRP şeritlerin konumu (Casadei ve diğerleri, 2003)

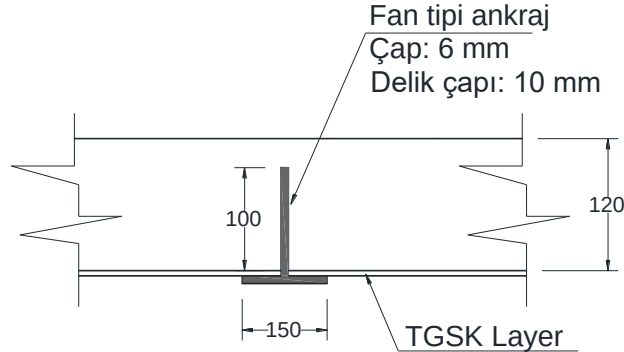
Maroudas ve Papanicolaou (2017) TGSK şerit genişliğini 120 mm, Garcia ve diğerleri (2020) ise şerit genişliğini 100 mm olarak belirlemiştir. Durucan ve Anil (2015), boşluklu döşemeleri 150 mm genişliği olan CFRP şeritlerle güçlendirmiştir. Bu çalışmadaki boşluk boyutları, konumları ve deney düzeneği dikkate alındığında tüm deney elemanlarının 150 mm genişliği olan TGSK şeritlerle güçlendirilmesine karar verilmiştir. Ayrıca boşlukların köşe noktalarında oluşacak gerilme yığılmalarına karşı koyabilmek ve çekme bölgesine yapıştırılan şeritleri de ankrajlaması için döşeme alt ve üst yüzeyine döşeme kalınlığı boyunca U şeklinde TGSK şerit yapıştırılmıştır (Şekil 2.5). Bu şeritin genişliği Durucan ve Anil (2015) tarafından yürütülen çalışmaya benzer olarak şekilde 75 mm olarak seçilmiştir.

FRP şeritlerle güçlendirme yapılırken karşılaşılan en büyük problemin şeritlerin yapıştırıldıkları yüzeylerden dayanımına ulaşmadan sıyrılması olduğu bilinmektedir. Araştırmacılar şeritlerin yüzeylerden sıyrılmasını engellemek için çeşitli ankraj sistemleri kullanmışlardır (Mercimek ve diğerleri, 2020; Ghoroubi ve diğerleri, 2020, Sakin ve diğerleri, 2019). TGSK ile güçlendirmede de benzer sorunlar yaşanmış ve araştırmacılar yine ankraj kullanarak şeritlerin yüzeyden sıyrılma problemini çözmeye çalışmışlardır (Koutas ve diğerleri, 2014; Tetta ve diğerleri, 2016). Koutas ve diğerleri (2014) tarafından

yürütülen çalışmada kullanılan fan tipi ankrajdan dolayı elde edilen başarı, bu çalışmada da fan tipi ankrajın kullanılabilir olduğunu düşündürmüştür. Ancak bu çalışmada güçlendirmede kullanılacak tekstile şekil vermenin oldukça güç olduğu bilindiği için, ankraj üretiminde 6 mm çapa sahip karbon ip kullanılmıştır (Resim 2.2). Ankraj uzunluğu 175 mm'dir. Bu uzunluğun 100 mm'lik kısmı beton içerisine yerleştirilecek ve geriye kalan 75 mm'lik kısım daire şeklinde açılacaktır (Şekil 2.6).



Şekil 2.5. U şeklindeki TGSK şeridin uygulama örneği

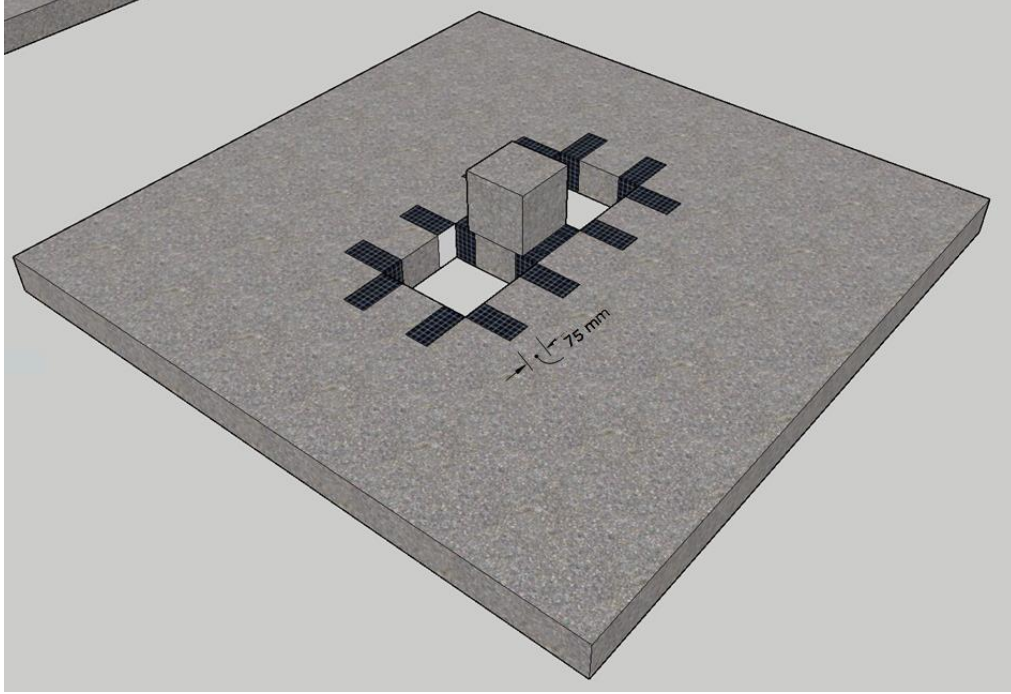


Şekil 2.6. Fan tipi ankraj detayı

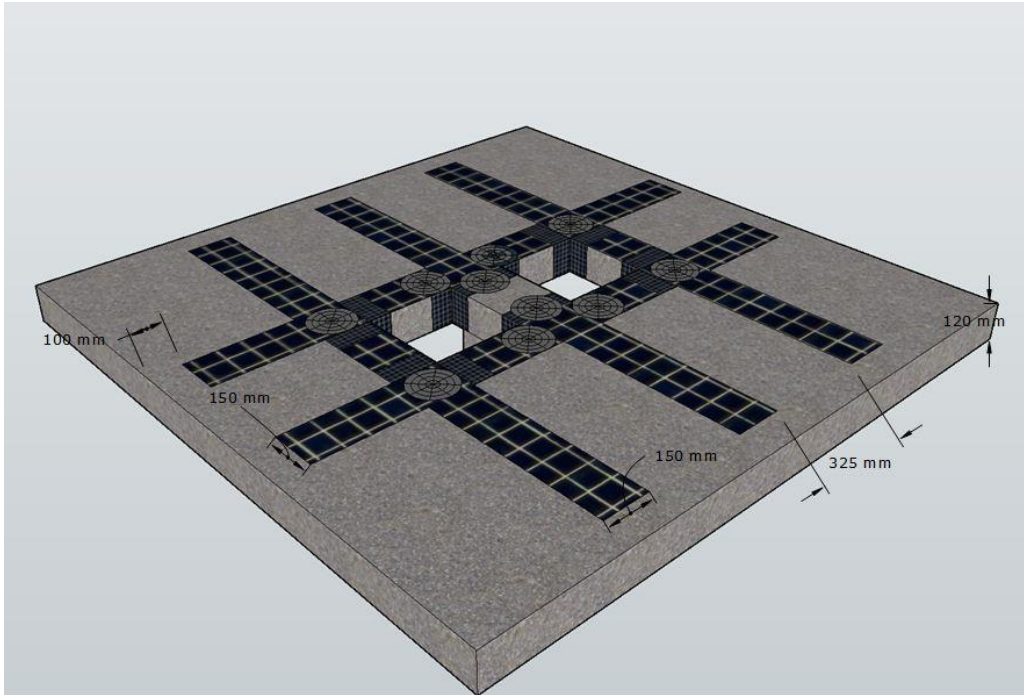
Ankrajlar, kolon çevresinde oluşacak etkiler düşünülerek zımbalama çevresinde yoğunlaştırılmıştır. Zımbalama çevresinden uzaklaşıldığında ankraj sayısı azaltılmış ve şeritlerin birlikte çalışmasını sağlayacak şekilde yerleştirilmiştir.

TGSK şeritlerin genişliği ve konumu, ankraj tipi ve yerleşim planı da belirlendikten sonra güçlendirme yönteminin detayları tamamlanmıştır. Paralel boşluk konumuna sahip olan deney elemanlarının güçlendirme detayları Şekil 2.7'de, diyagonal boşluk konumuna sahip olan deney elemanlarının güçlendirme detayları Şekil 2.8'de, bitişik boşluk konumuna sahip

olan deney elemanlarının güçlendirme detayları ise Şekil 2.9’da gösterilmiştir. Şekillerde ankraj yerleri dairelerle temsil edilmiştir.

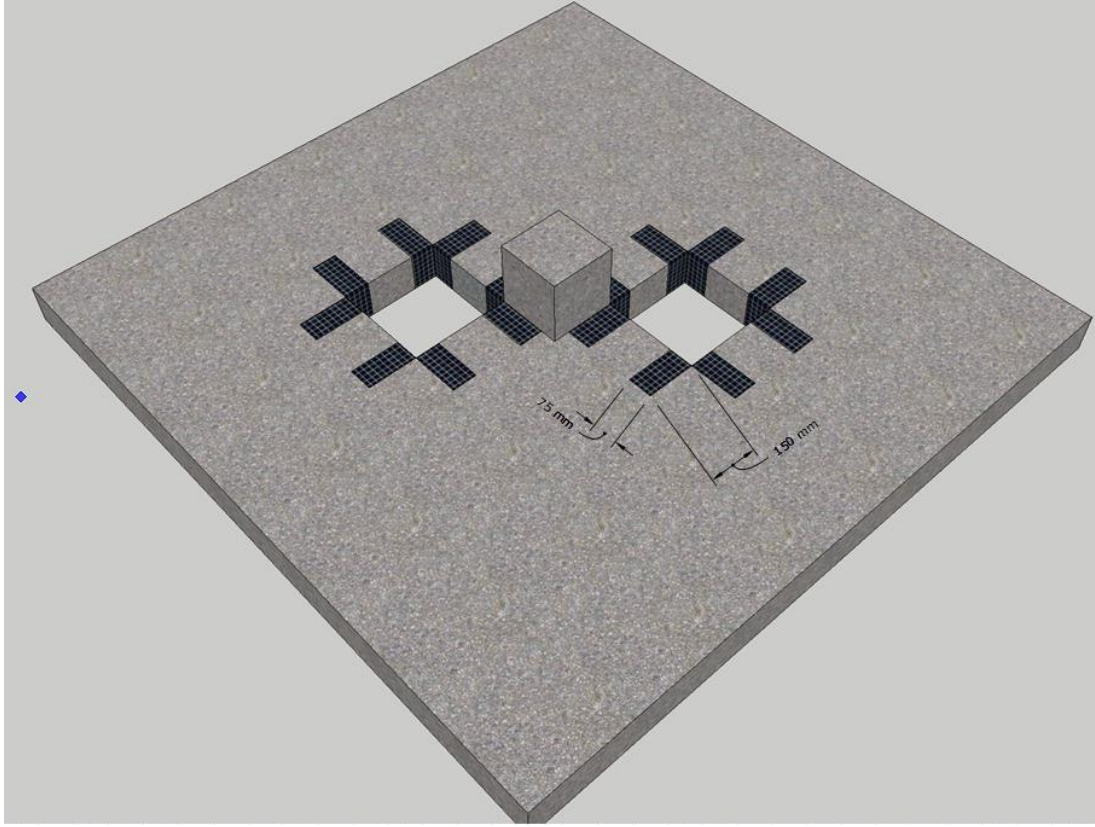


(a)

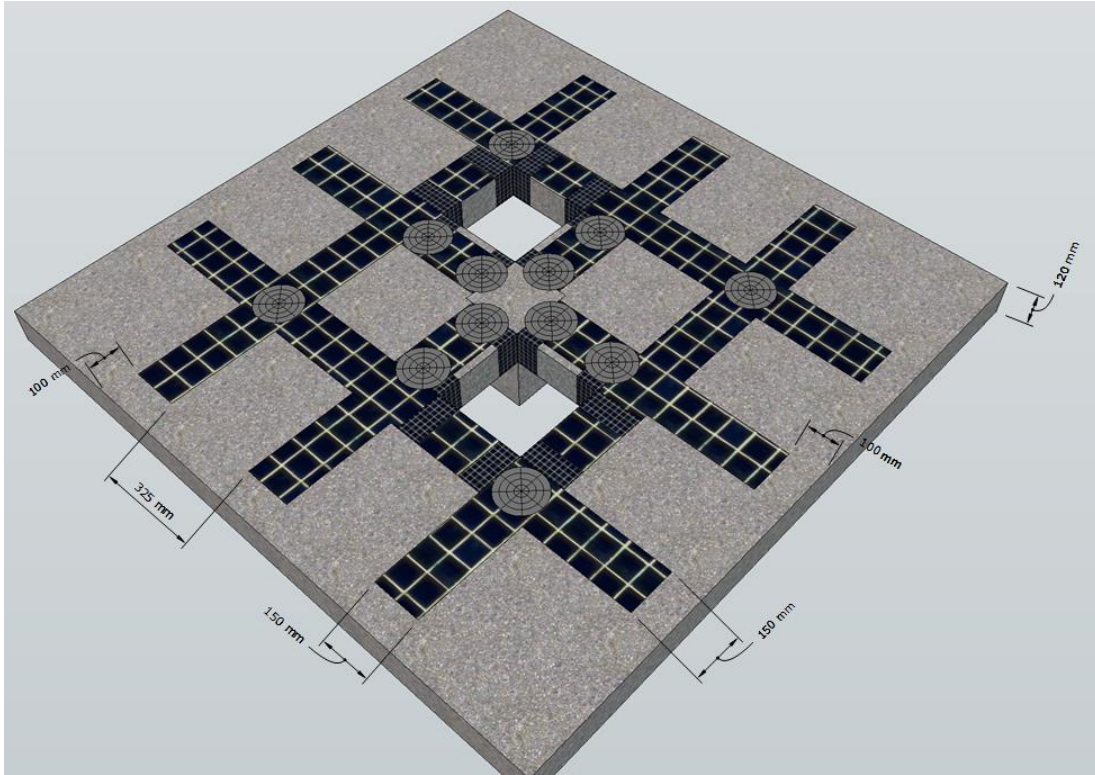


(b)

Şekil 2.7. Paralel boşluk konumuna sahip olan deney elemanlarının (a) basınç bölgesi ve (b) çekme bölgesi güçlendirme detayları

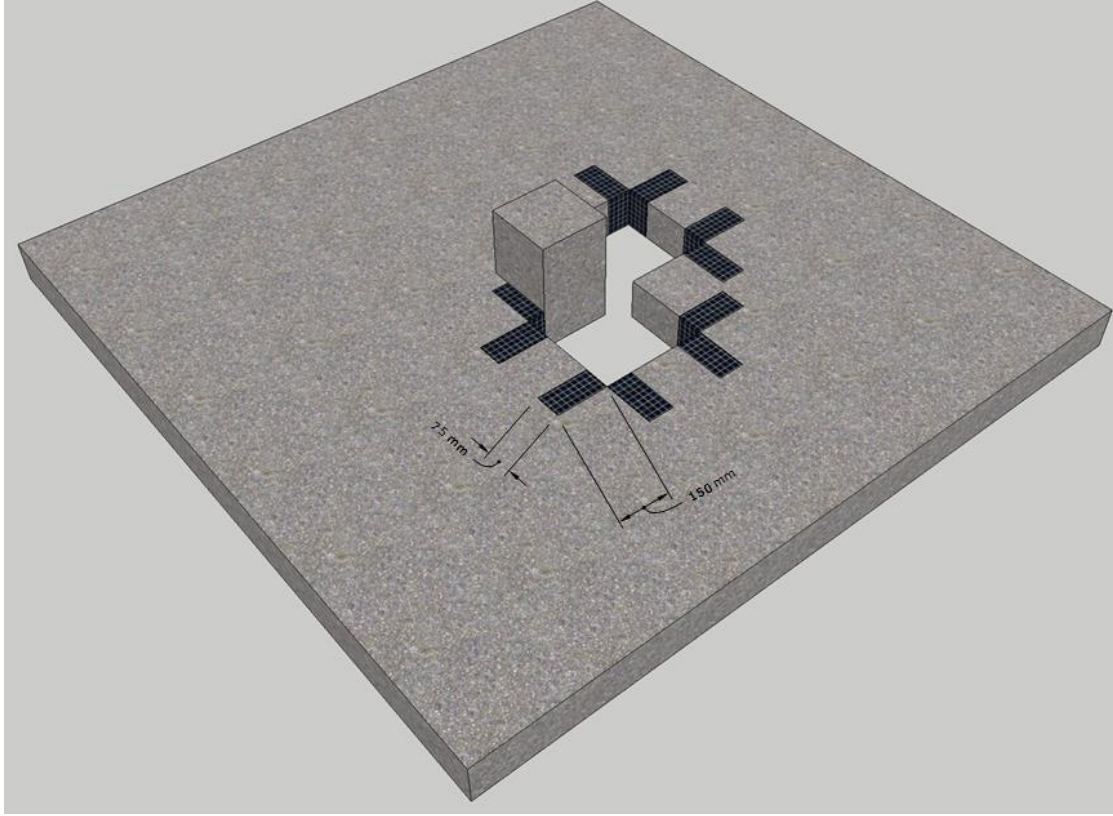


(a)

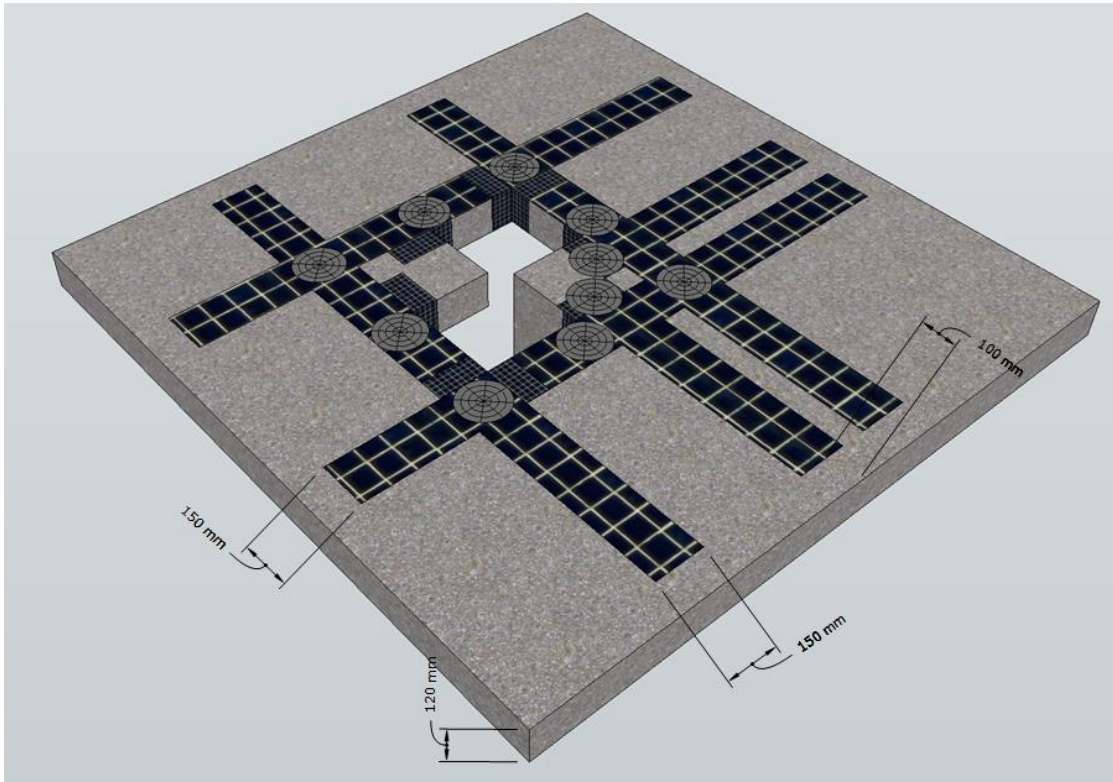


(b)

Şekil 2.8. Diyagonal boşluk konumuna sahip olan deney elemanlarının (a) basınç bölgesi ve (b) çekme bölgesi güçlendirme detayları



(a)

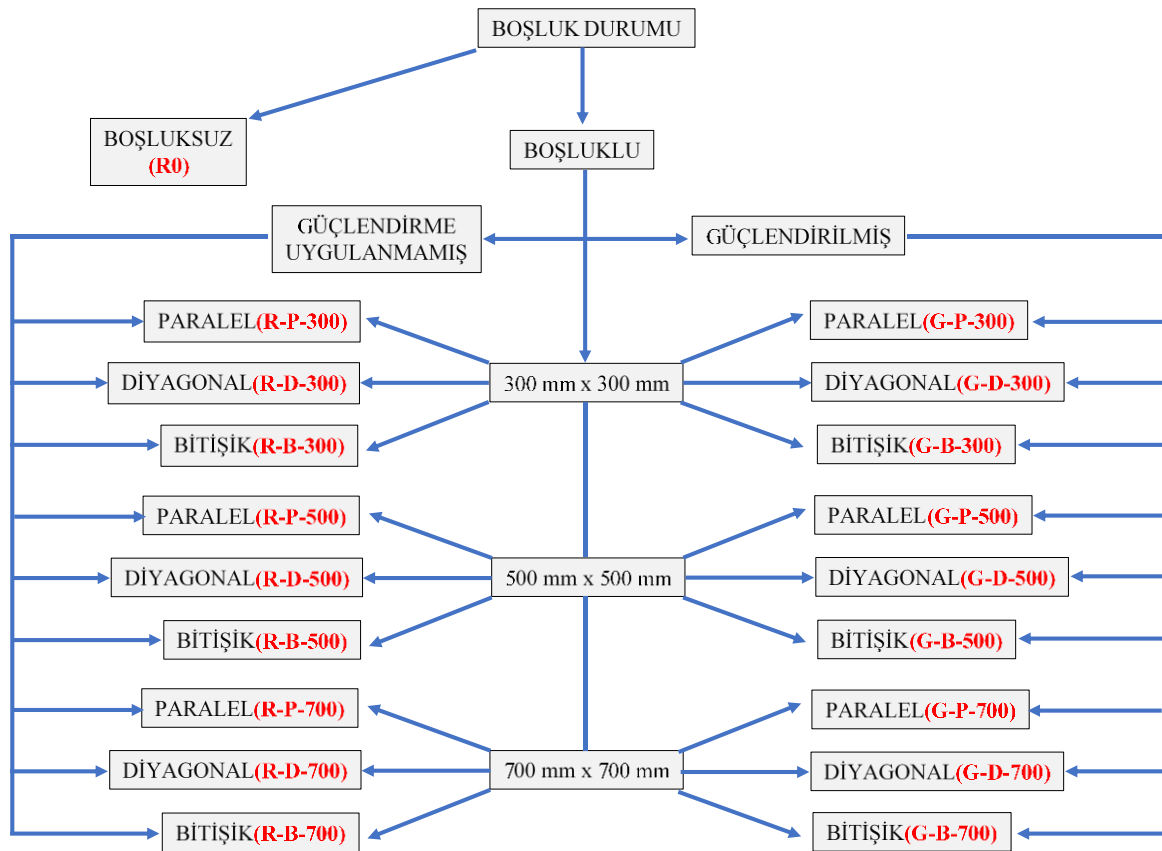


(b)

Şekil 2.9. Bitişik boşluk konumuna sahip olan deney elemanlarının (a) basınç bölgesi ve (b) çekme bölgesi güçlendirme detayları

2.3.4. Deney elemanlarının isimlendirilmesi

Tez çalışmasında 1 adet güçlendirme uygulanmamış boşluksuz (referans), 9 adet güçlendirme uygulanmamış boşluklu (referans) ve 9 adet güçlendirilmiş boşluklu döşeme olmak üzere toplamda 19 adet deney elemanı üretilmiştir. (Şekil 2.10). Deney elemanlarının isimlendirilmesi yapılırken referans deney elemanı “R”, güçlendirilmiş deney elemanı “G”, paralel boşluk “P”, diyagonal boşluk “D” ve bitişik boşluk “B” harfleriyle temsil edilirken kare boşlukların bir kenarı mm cinsinden doğrudan kullanılmıştır. Örneğin; 5. deney elemanı olan R-P-500, 500 mm x 500 mm iki adet boşluğun birbirlerine paralel olarak bulunduğu güçlendirme uygulanmayan referans deney elemanını temsil etmektedir. 12. deney elemanı olan G-D-300 ise, 300 mm x 300 mm iki adet boşluğun birbirine diyagonal olarak bulunduğu güçlendirilmiş deney elemanını temsil etmektedir. Boşluksuz güçlendirme uygulanmamış referans deney elemanı ise “R0” ile isimlendirilmiştir.



Şekil 2.10. Deney elemanlarının isimlendirilmesi

2.3.5. Deneysel değişkenler

Deneysel değişkenler dikkate alınarak hazırlanan Çizelge 2.6, tüm deney elemanlarının ayrıntılarını içermektedir. Özetlemek gerekirse, deneysel çalışma sırasında incelenen değişkenler dört ana gruba ayrılabilir;

- Boşluk durumu
 - Boşluksuz
 - Boşluklu
- Güçlendirilme durumu
 - Güçlendirme uygulanmaması
 - TGSK ile güçlendirme
- Boşlukların birbirlerine göre konumu
 - Paralel
 - Diyagonal
 - Bitişik
- Boşluk büyüklüğü
 - 300 mm x 300 mm
 - 500 mm x 500 mm
 - 700 mm x 700 mm

2.4. Deney Elemanlarının Üretimi

Deney elemanları betonarme ve güçlendirme olmak üzere iki aşamada üretilmiştir. Referans elemanların ve güçlendirilmiş elemanların beton dökümü ayrı ayrı ve tek seferde gerçekleştirilmiştir. Sonrasında, laboratuvar koşullarında bekletilen deney elemanları TGSK ile güçlendirilmiş ve deney için hazır hale getirilmiştir.

2.4.1. Betonarme üretim

Yukarıda verilen kalıp ve donatı detaylarına uygun olarak betonarme üretim iki aşamada gerçekleşmiştir. Her bir aşamada bir serinin deney elemanları üretilmiştir. Öncelikle, deney elemanlarının kalıp işleri bitirilmiştir. Beton dökümünden sonra söküm işleminin kolay olması ve zarar görmemesi için ahşap kalıp üzerindeki tüm parçacıklar ve tozlar temizlenerek özel bir sıvı sürülmüştür.

Çizelge 2.6. Deney elemanlarının detayları

Deney El. No.	Deney El. Adı	Güçlendirme Türü	Boşluk Büyüklüğü (mm)	Kolona Bitişik Boşlukların Birbirlerine Göre Konumu
1	R0	Güçlendirme uygulanmamış 1. Seri	Boşluksuz referans deney elemanı	
2	R-P-300		300 x 300	paralel
3	R-D-300			diyagonal
4	R-B-300			bitişik
5	R-P-500		500 x 500	paralel
6	R-D-500			diyagonal
7	R-B-500			bitişik
8	R-P-700		700 x 700	paralel
9	R-D-700			diyagonal
10	R-B-700			bitişik
11	G-P-300	Tekstil ile Güçlendirilmiş Sıva Katmanı ile güçlendirilmiş 2. Seri	300 x 300	paralel
12	G-D-300			diyagonal
13	G-B-300			bitişik
14	G-P-500		500 x 500	paralel
15	G-D-500			diyagonal
16	G-B-500			bitişik
17	G-P-700		700 x 700	paralel
18	G-D-700			diyagonal
19	G-B-700			bitişik

Kalıplar hazır hale geldikten sonra donatı planına uygun olarak donatılar kalıp içersine yerleştirilmiş ve bağlanmıştır. Plastik pas payı aparatları döşeme alt ve yan yüzeyinde donatılara tutturulmuştur. Her bir deney elemanı için beşer adet küp numune almak için kalıplar hazır hale getirilmiştir. Kalıplar içlerinde bulunan tozlardan ve yabancı parçacıklardan arındırılarak yağlanmıştır.

Ahşap kalıp, donatı ve küp kalıplar hazır hale getirildikten sonra beton dökümüne geçilmiştir. Beton dökümü mikser kamyon vasıtasıyla gerçekleştirilmiştir. Beton dökümünü yapan teknik elemanların bir kısmı betonu yerleştirmiş, bir kısmı vibrasyon ve dağıtım işleriyle ilgilenmiş diğerleri de beton yüzeyinin tesviyesini yapmıştır. Böylelikle beton kısa bir süre içinde priz almadan dökülmüştür. Beton dökümü tamamlandıktan bir gün sonra betonun kürlenmesi için betona su verilerek deney elemanlarının üzeri kür bezleri ve naylon yardımıyla sarılmıştır. Bu işlem bir hafta boyunca her gün tekrarlanmıştır. Betonarme üretim aşamalarına ait görseller Resim 2.4'te verilmiştir.

Beton dökümünden sonra bir hafta süren kür işlemlerinin ardından kalıp sökümüne geçilmiştir. Deney elemanları 25 tonluk bir gezer vinç ile beton dökümü sırasından döşeme içersine yerleştirilen çelik kancalardan tutularak kalıptan sökülüştür. Deney elemanları boşluğu en az olanlar en altta olacak şekilde beşerli ve altışarlı gruplar halinde üst üste istif edilmiştir. Bu deney elemanlarına yaklaşık olarak bir ay boyunca günde iki sefer su verilerek kür işlemi uygulanmıştır. Küp numuneler de kalıptan çıkarılarak kür havuzuna yerleştirilmiştir. Bu işlemler Resim 2.5 ile gösterilmiştir.

Betonarme üretim tamamlandıktan sonra 2. seriye ait deney elemanlarının güçlendirilmesi işlemine geçilmiştir. Güçlendirme işlemlerine ait bilgiler sonraki başlıklar altında özetlenmiştir.

2.4.2. Deney elemanlarının güçlendirilmesi

Şekil 2.7-Şekil 2.9 ile gösterilen güçlendirme detaylarını uygulayabilmek için öncelikle 500 mm genişliğinde rulo şeklindeki karbon tekstil metraja uygun olarak Resim 2.1'de gösterildiği gibi kesilerek hazır hale getirilmiştir. Diğer taraftan da ankrajların üretimine devam edilmiştir.



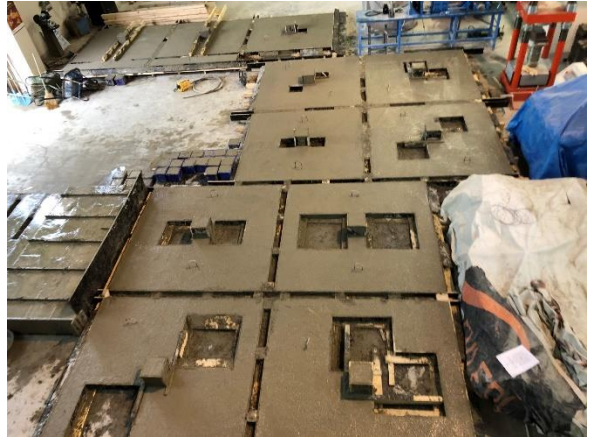
(a)



(b)



(c)



(d)

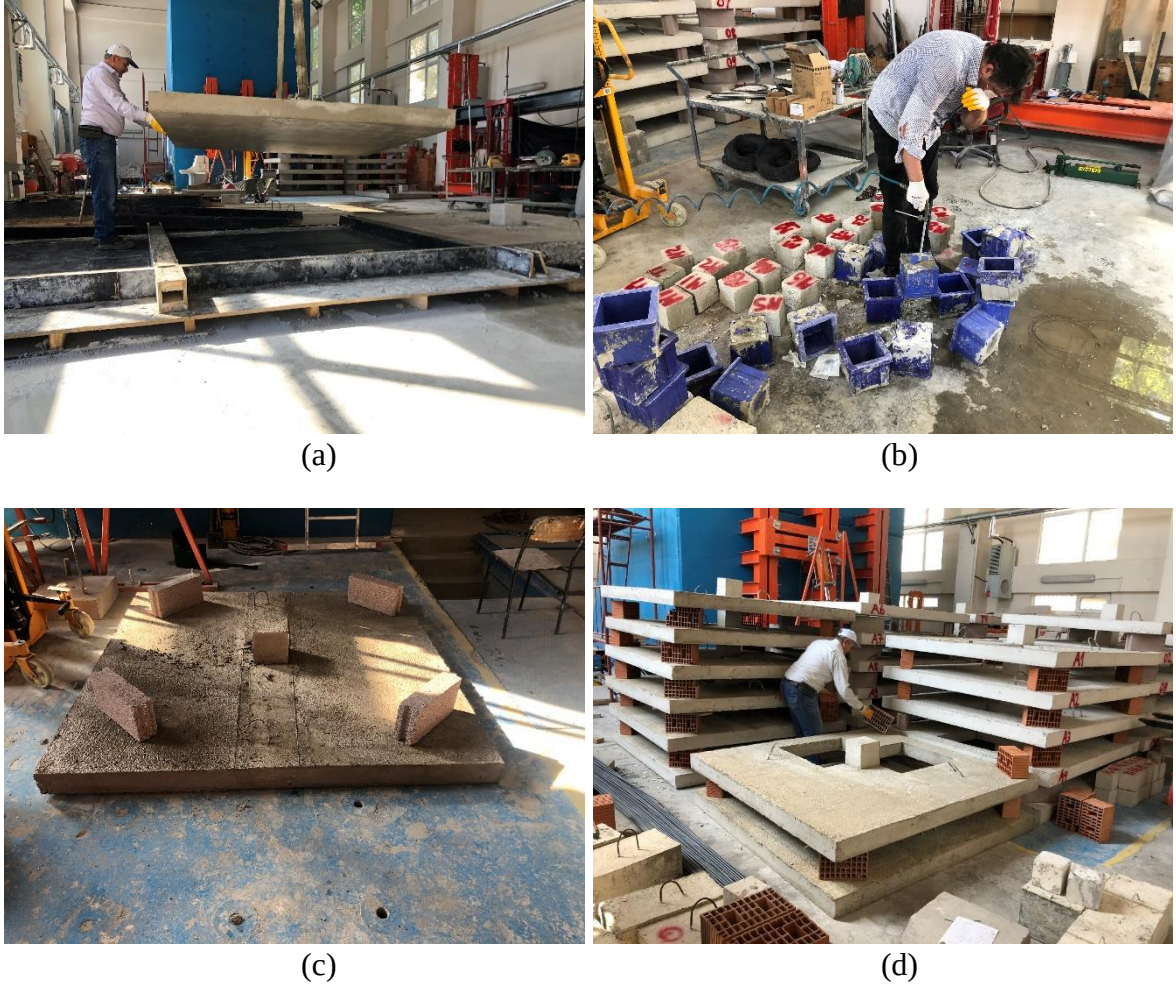


(e)



(f)

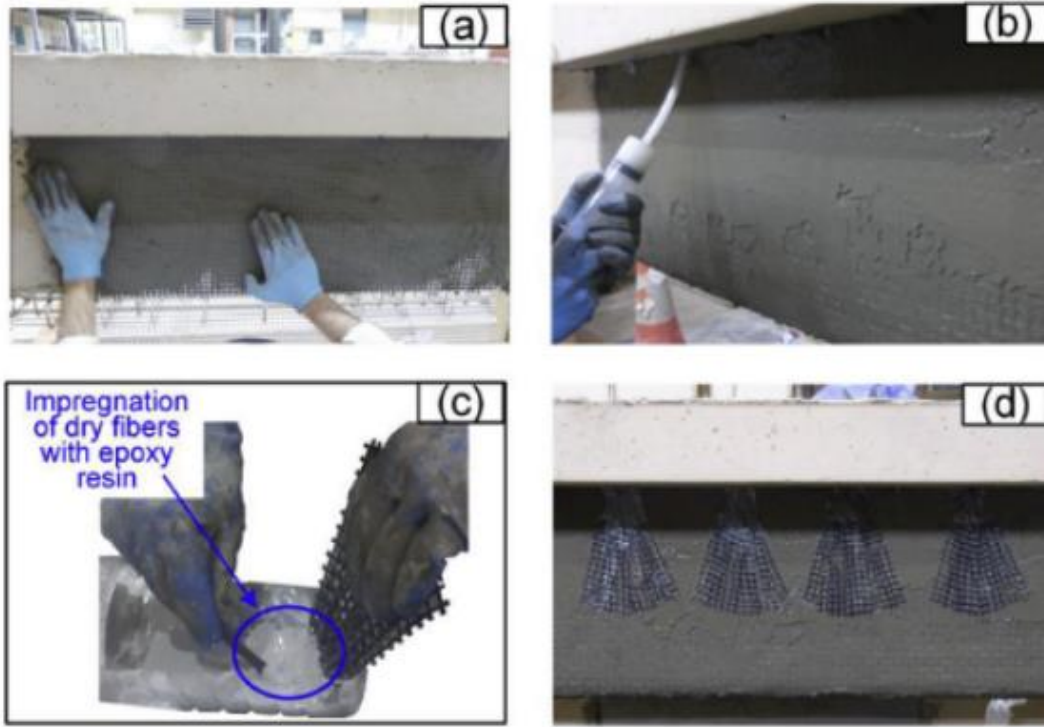
Resim 2.4. Betonarme üretim (a) kalıp, b) donatı, (c) ve d) beton dökümü, (e) ve f) kür işlemi



Resim 2.5. (a) Kalıp sökümü, (b) küp numunelerin kalıptan çıkarılması, (c) ve (d) deney elemanlarının istiflenmesi

Tetta ve diğerleri (2016) tarafından yürütülen çalışmada ankraj delikleri akışkanlığı az olan bir epoksi malzemesi ile doldurulmuş ve ankrajların kök kısımlarına çift bileşenli epoksi emdirilerek sertleşmeleri sağlanmıştır (Resim 2.6). Tetta ve diğerleri (2016) tarafından yürütülen çalışma dikkate alındığında ve karbon tekstil üreticisinden alınan tavsiyeler göz önünde bulundurularak ankraj deliklerinin epoksi ile doldurulmasına bunun yanı sıra ankrajların kök kısımlarına epoksi emdirilmesine karar verilmiştir.

Ankrajların fan kısımlarının şeritler üzerine açılarak yapıştırılması aşamasında hangi malzemenin (sıva ya da epoksi) kullanılacağı konusunda da detaylı incelemeler yapılmıştır. Ghoroubi ve diğerleri (2020) ile Mercimek ve diğerleri (2020) tarafından yürütülen çalışmada narinlik oranı düşük betonarme kolonlar CFRP şeritler ile güçlendirilmiş ve güçlendirme aşamasında fan tipi ankrajlar kullanılmıştır.



Resim 2.6. (a) Tekstilin sıva üzerine yerleştirilmesi, (b) ankraj boşluklarına epoksi enjeksiyonu, (c) ankrajlara epoksi emdirilmesi ve (d) ankraj uygulaması (Tetta ve diğerleri, (2016))

Hem şeritler hem de ankrajlar çift bileşenli epoksi ile kolon yüzeyine yapıştırılmıştır. Deney sırasında, aksenal yük altında açılmaya çalışan şeritlerin ankrajlar tarafında engellendiği gözlemlenmiş ve bazı durumlarda ankraj fanlarında kapasiteye ulaşarak göçmeler görülmüştür. Bu çalışmaya benzer bir çalışma ise aynı yazarlar tarafından Eylül 2020’de tamamlanmıştır. Çalışmada güçlendirme tipi olarak TGSK seçilmiş ve şeritler ile ankrajlar sadece sıva kullanılarak birbirlerine yapıştırılmıştır. Deney sırasında aksenal yük altında şeritlerin açılmaya çalıştığı anda ankrajların fan kısımlarının kapasiteye ulaşmadan sıva üzerinden sıyrıldığı gözlemlenmiştir. Epoksi ile uygulanan ankrajların ise fan kısımlarının epoksiyi emdiği ve epoksi ile yüzeye bağlantısı daha yüksek dayanımlı bir detay oluşturduğu gözlemlenmiştir (Resim 2.7). Bu nedenlerle şeritler üzerine açılacak ankrajların fan kısımlarının da epoksi yardımıyla yüzeye yapıştırılmasına karar verilmiştir.

Ankraj detayı belirlendikten sonra 6 mm çapındaki karbon ip 175 mm boyunda uygun sayıda kesilmiştir. Bantlanarak epoksi ile teması kesilen kısım 75 mm uzunluğundadır ve ankrajın fan kısmıdır. Ankrajın beton içerisinde kalacak 100 mm’lik kısmı çift bileşenli epoksi emdirilerek iki gün boyunca kurumaya bırakılmıştır ve sonrasında güçlendirme işleminde kullanılmaya hazır hale gelmiştir (Resim 2.8).



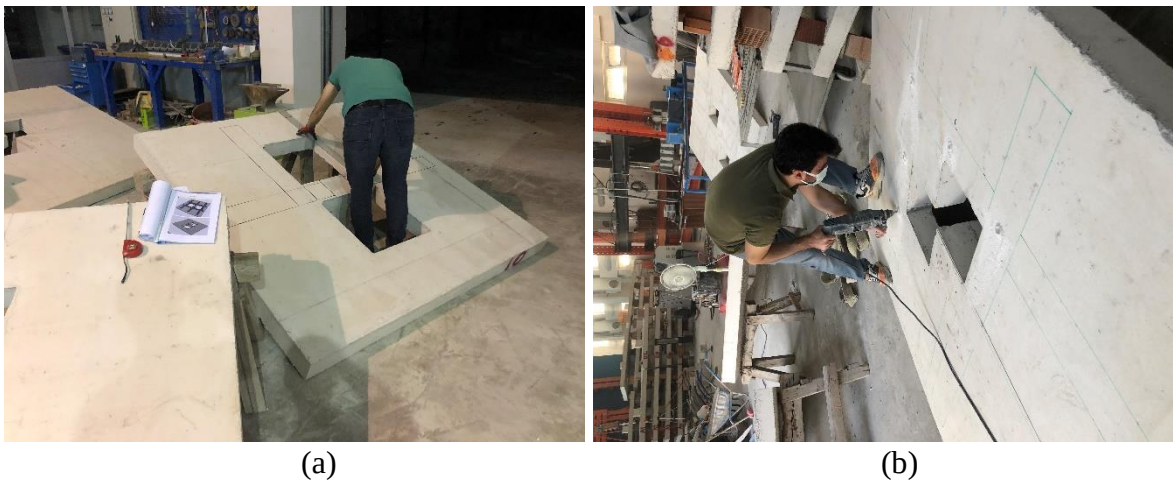
Resim 2.7. Ankraj detaylarında kullanılan yapıştırıcı malzemeler (a) epoksi ve (b) sıva

Şeritler ve ankrajlar hazır hale geldikten sonra güçlendirilecek yüzeylerin hazırlanması işlemine geçilmiştir. Öncelikle uygulama kolaylığı için vinç yardımıyla deney elemanları ters çevrilmiştir. Sonrasında şeritlerin ve ankrajların yeri işaretlenerek çizilmiştir. Konumları belirlenen ankraj boşlukları matkap ile açılmıştır. Bu işlemin ardından yine konumları belirlenen şeritlerin daha başarılı bir şekilde beton yüzeyine yapışması için beton yüzeyinde bulunan zayıf tabaka beton silme makinası ile uzaklaştırılmıştır. Beton silme ve ankraj boşluklarının açılması sırasında ortaya çıkan parçacık ve tozlar basınçlı hava yardımı ile deney elemanlarının üzerinden temizlenmiştir. Yabancı parçacık ve tozların uzaklaştığından tam olarak emin olmak için nemlendirilmiş bezler ile şerit konumları silinmiştir (Resim 2.9).

Beton yüzeyler güçlendirmeye hazır hale getirildikten sonra ankrajların uygulanmasına geçilmiştir. Uygulamaya hazır hale getirilen çift bileşenli epoksi şırınga vasıtasıyla ankraj deliklerine enjekte edilmiş ve ankraj fanlarının açılacağı bölgeye ince bir tabaka halinde sürülmüştür. Bu işlemin ardından, karbon tekstil şeritler döşeme yüzeyine yerleştirilmiş ve bir miktar baskı uygulanarak şeritlerin epoksiye tutunması sağlanmıştır. Sonrasında, ankrajlar deliklere yerleştirilmiş ve ankraj ile şerit arasında yine ince bir tabaka halinde epoksi sürülerek ankrajların fan kısımları şerit üzerine açılmıştır. Bir süre epoksinin priz alması için beklenilmiştir (Resim 2.10).



Resim 2.8. Ankrajların üretim aşamaları (a) kök kısmına epoksi emdirilmesi, (b) priz almasının beklenilmesi, (c) bantlı son hali ve (d) bant çıkarıldıktan sonraki hali





(c)



(d)

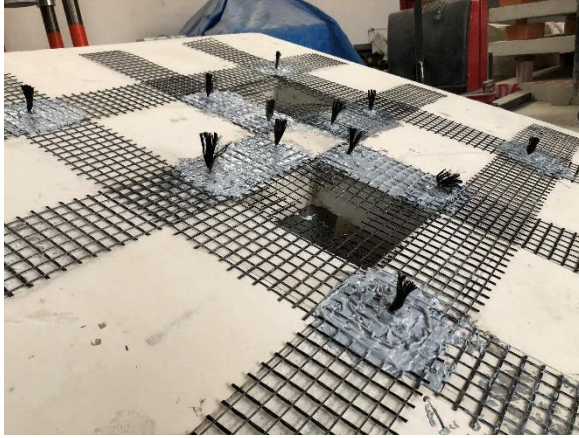
Resim 2.9. Beton yüzeylerin güçlendirmeye hazır hale getirilmesi (a) şerit yerlerinin işaretlenmesi, (b) ankraj deliklerinin delinmesi, (c) zayıf beton tabakasının uzaklaştırılması ve (d) tozların uzaklaştırılması



(a)



(b)



(c)

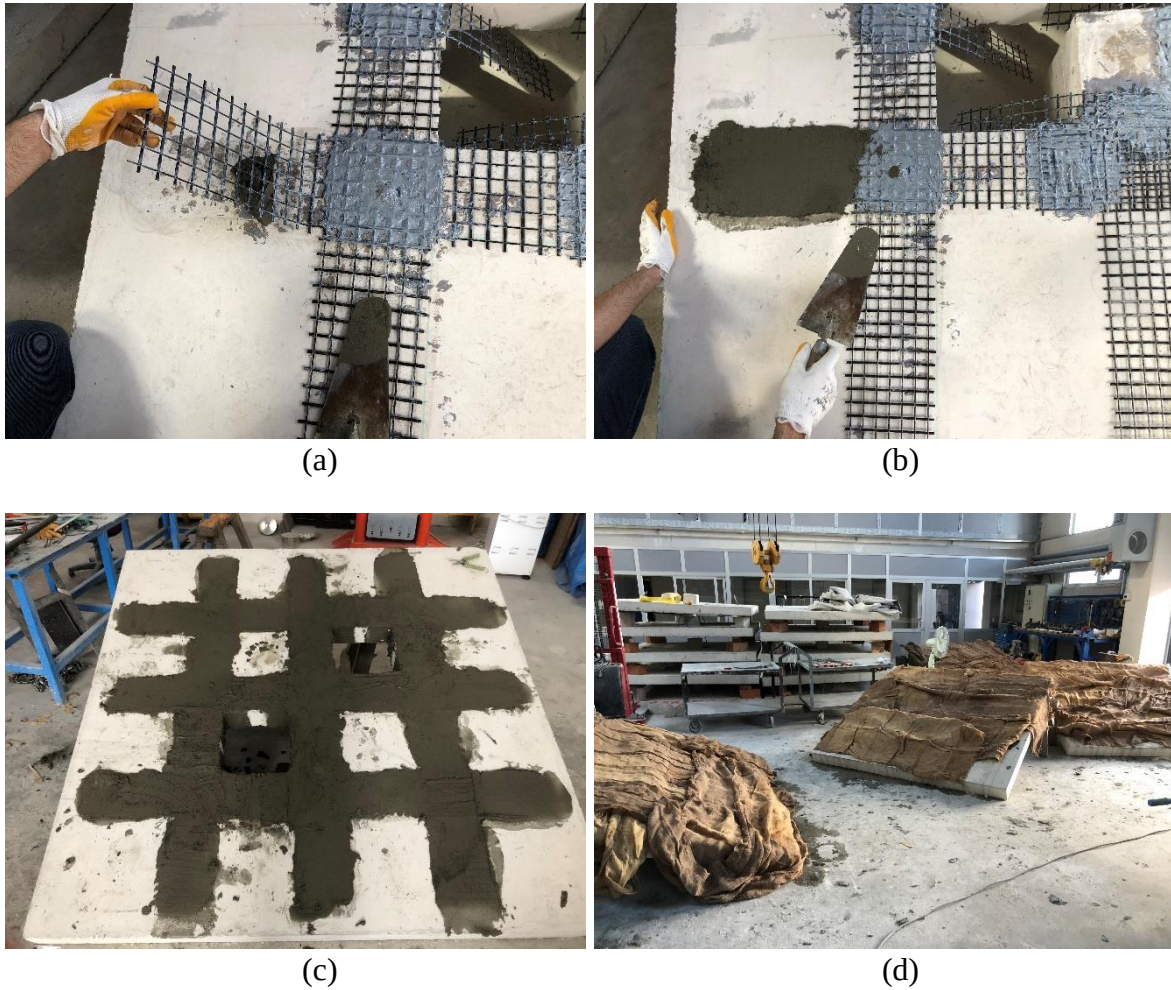


(d)

Resim 2.10. (a) Ankraj alanlarına ve deliklerine epoksi enjeksiyonu, (b) şeritlerin yerleştirilmesi, (c) ankrajların yerleştirilmesi ve (d) fanların açılması

Ankraj uygulamasından sonra güçlendirme işleminin son aşaması olan sıva katmanının hazırlanmasına geçilmiştir. Öncelikle temiz bir kovaya 4 lt su aktarılmıştır. Daha sonra 25

kilogramlık paketler halindeki sıva karışımı yaklaşık iki dakika içerisinde kovaya boşaltılmış ve bir taraftan da mikser yardımıyla karıştırılmıştır. Tüm karışım kovaya boşaltıldıktan sonra 5 dk boyunca karıştırma işlemine devam edilmiştir. 3 dk ara verildikten sonra karışımın tamamen homojen hale gelmesi için 2 dk boyunca karıştırma işlemi tekrarlanmıştır. Sıva karışımı hazırlandıktan sonra daha önce ankrajlarla deney elemanı üzerine yapıştırılan karbon tekstil şeritler ile beton yüzey arasına sıvanın yerleştirilmesi işlemine geçilmiştir. Öncelikle sıva karbon tekstil şeritlerin altına yerleştirilmiş ve beton yüzeyine yayılmıştır. Bunun üzerine karbon tekstil şerite güçlü bir şekilde bastırılarak sıvanın şerit üzerine taşması sağlanmıştır. Şerit üzerine taşan sıva mala yardımıyla düzeltilmiş ve yaklaşık olarak 10 mm kalınlığında bir sıva katmanı oluşturulmaya çalışılmıştır. Son olarak ankraj bölgelerinin üzeri sıva ile kapatılmıştır. Böylelikle epoksinin yangına karşı düşük direncinin de önüne geçilmiştir. Sıvanın çimento esaslı olmasından dolayı 1 hafta boyunca kür işlemi uygulanmıştır (Resim 2.11).



Resim 2.11. (a) sıvanın şerit altına yerleştirilmesi, (b) sıvanın şerit üzerine taşırılması, (c) sıva tabakasının tesviyesi ve (d) kür işlemi

2.5. Deney ve Ölçüm Düzenegi

Deneylerin gerçekleştirildiği deney ve ölçüm düzenegi Resim 2.12'de verilmiştir. Deney elemanları özel olarak üretilmiş kapalı bir çerçeve içerisine monte edilen ve mesnet görevi gören çelik profillerin üzerine yerleştirilmiştir. Kolona zımbalama yükü olarak uygulanacak olan eksenel yükleme 1000 kN kapasiteli bir hidrolik kriko vasıtasıyla uygulanmış ve bilgisayara bağlı 1000 kN kapasiteli bir yük hücresi ile ölçülmüştür. Eksenel yük deney elemanlarının merkezinde bulunan kolona rijit bir çelik plaka vasıtasıyla eşit olarak dağıtılmıştır. Yükleme hızı motor kontrollü hidrolik bir yükleme sistemi vasıtasıyla ayarlanmış ve sabit bir yük artış oranı tüm deneylerde özdeş olacak şekilde kullanılmıştır. Deney elemanlarının kolon eksenel deformasyonlarını ve döşeme deformasyon profillerini belirlemek için Şekil 2.11'de gösterilen konumlarda 11 adet dikey deformasyon ölçümü alınmıştır. Ölçümler, elektronik deplasman ölçerler (LVDT) ile alınmış ve bilgisayara aktarılmıştır. Alınan ölçümler aracılığı ile deney elemanlarının yük-deplasman ilişkileri, yük taşıma kapasitesi, rijitlikleri ve enerji tüketim kapasiteleri elde edilmiş ve performansları değerlendirilmiştir. Deplasman ölçerlere ait isimlendirme Çizelge 2.7'de verilmiştir.

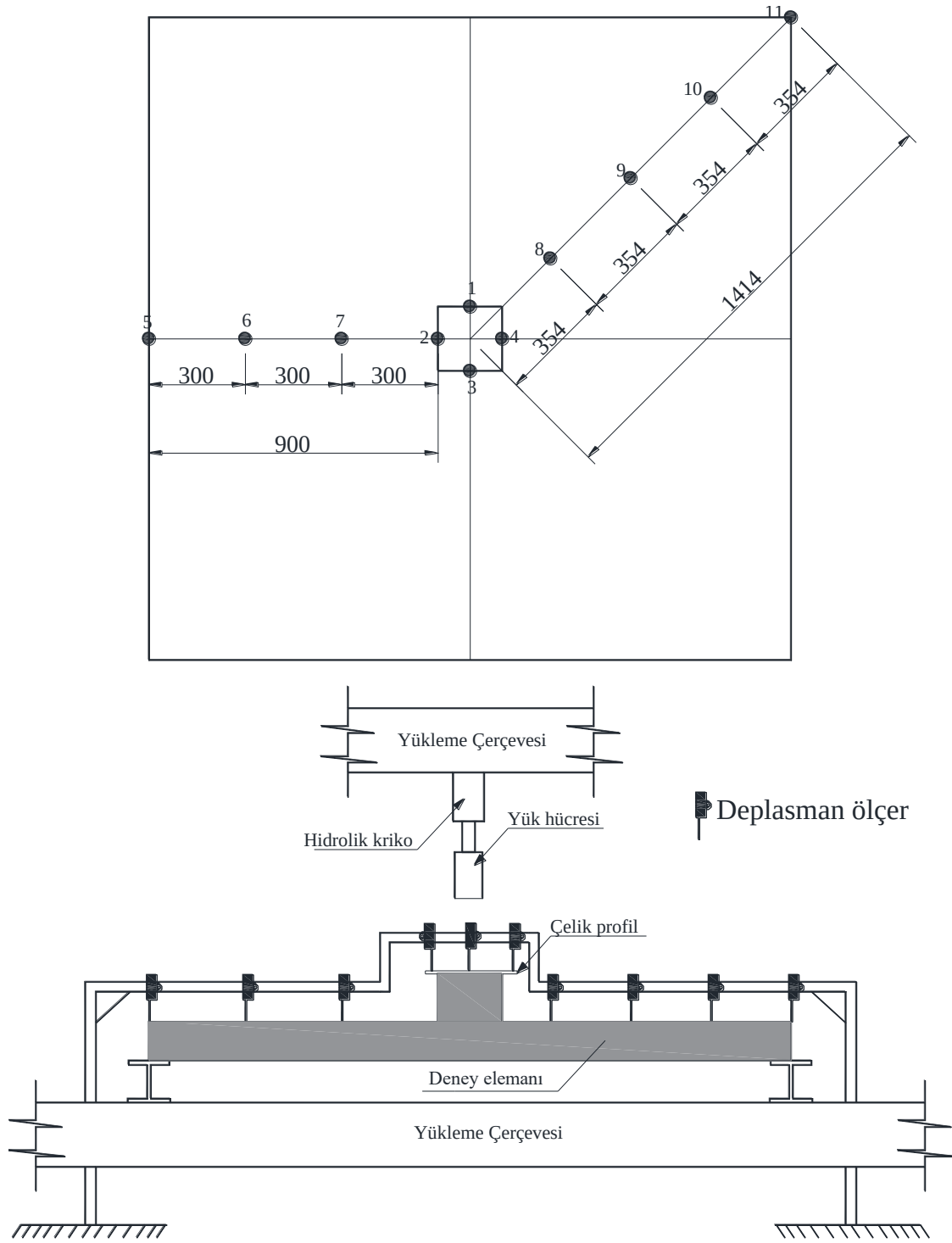
Çizelge 2.7. Deplasman ölçerlerin isimlendirilmesi

Deplasman Ölçer No	Deplasman Ölçer İsmi
1	Kolon 1
2	Kolon 2
3	Kolon 3
4	Kolon 4
5	Paralel Mesnet
6	Paralel 1
7	Paralel 2
8	Diyagonal 1
9	Diyagonal 2
10	Diyagonal 3
11	Diyagonal Mesnet

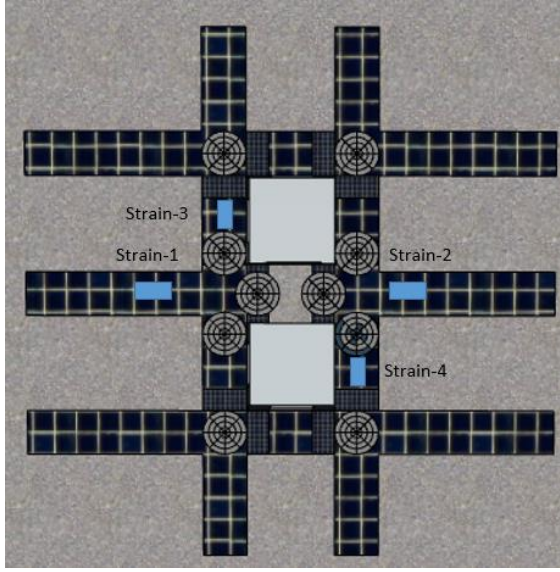


Resim 2.12. Deney ve ölçüm düzeneği

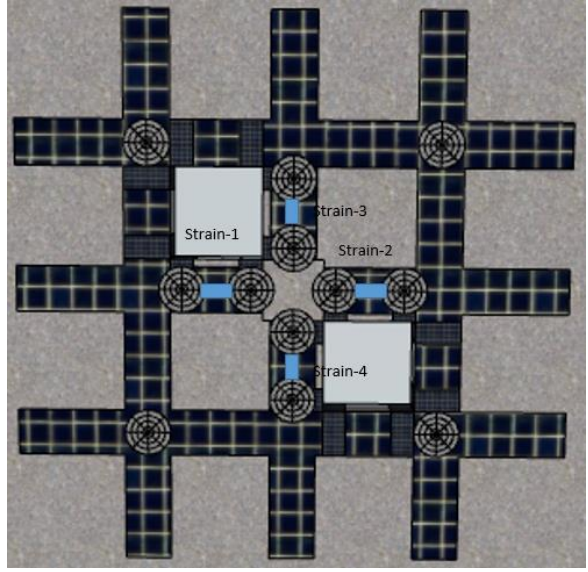
Deplasman ve yük ölçümlerinin yanı sıra kolon çevresinde bulunan TGSK şeritler üzerinden birim deformasyon ölçerler (strain-gauge) kullanılarak ölçümler alınmıştır. Ölçüm alınan noktalar Şekil 2.12’de gösterilmiştir.



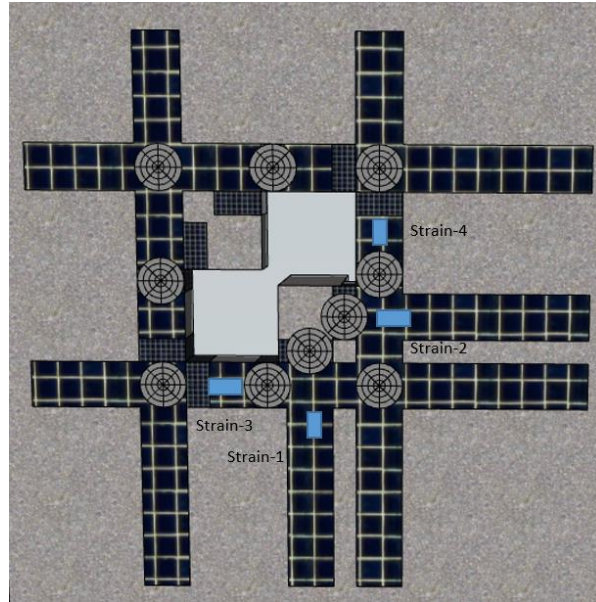
Şekil 2.11. Deney ve ölçüm düzeneği (ölçüler mm'dir)



(a)



(b)



(c)

Şekil 2.12. (a) Paralel boşluk konumu, (b) diyagonal boşluk konumu ve (c) bitişik boşluk konumu için birim deformasyon ölçerlerin konumları

3. DENEY SONUÇLARI

Bu bölümde deney sırasında elde edilen veriler ve deney sonuçları olmak üzere iki alt bölümden oluşmaktadır. Birinci bölümde, sıva ve beton malzemelerinin basınç dayanımları, yük-deplasman eğrileri, deney elemanlarının deplasman profilleri, birim deformasyon değerleri, çatlak dağılımı ve göçme modları sunulmuştur. İkinci bölümde ise, deney verilerinden elde edilen zımbalama dayanımı, en büyük yükteki deplasman, başlangıç rijitliği ve enerji tüketim kapasitesi gibi önemli değerler verilmiştir.

3.1. Deneyler Sırasında Elde Edilen Veriler

Deneyler öncesinde, her bir deney elemanı için beton ve TGSK şeritlerde sıva katmanı olarak kullanılan tamir harcının basınç dayanımı tespit edilmiş ve deneye geçilmiştir. Deney sırasında yükleme noktası olan kolon üzerinden yük, döşeme üzerinden 7 adet ve kolon üzerinden 4 adet olmak üzere 11 adet deplasman ve TGSK şeritler üzerinden 4 adet birim deformasyon verileri alınmıştır. Bu veriler kullanılarak yük-deplasman eğrileri, döşeme deplasman profilleri ve yük-birim deformasyon değerleri elde edilmiştir. Bilgisayar ortamında alınan bu verilerin yanı sıra çatlak dağılımları ve göçme modları ile ilgili gözlemsel veriler de bu başlık altında sunulmuştur.

3.1.1. Sıva ve beton malzemelerinin basınç dayanımı

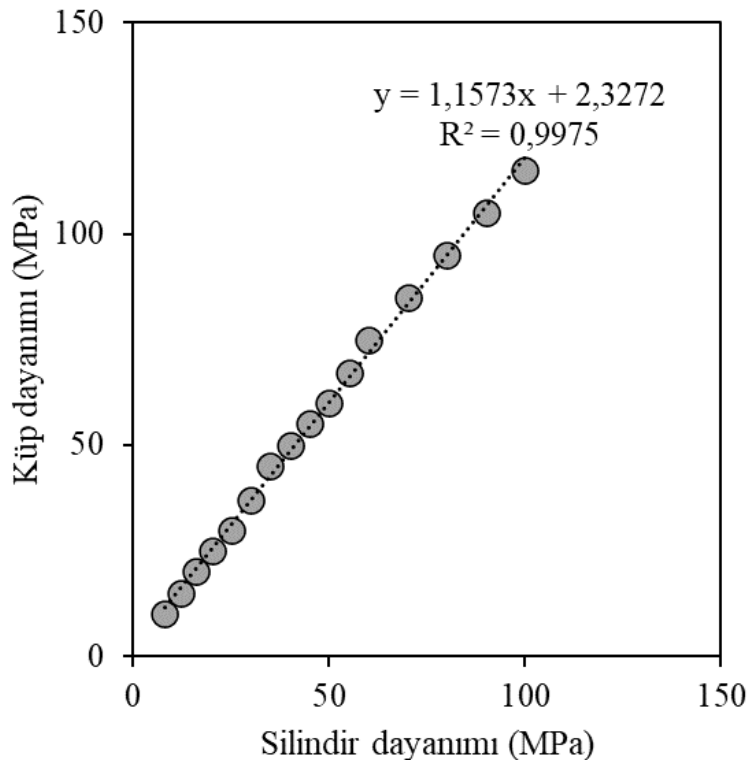
TGSK şeritlerle güçlendirilen deney elemanlarından güçlendirme işlemi sırasında sıva karışımından alınan 1 adet 150 mm x 150 mm x 150 mm numune eksenel yük altında test edilmiş ve Çizelge 3.1'deki sonuçlar elde edilmiştir.

Testi gerçekleştirilecek deney elemanlarından daha önce beton dökümü sırasında alınan 5 adet 150 mm x 150 mm x 150 mm küp numune eksenel yük altında deney günü test edilmiş ve elde edilen sonuçlar Çizelge 3.2'de verilmiştir. Küp numunelerin ortalamaları hesaplanırken en büyük ve en küçük değerler hariç tutularak geriye kalan 3 adet numunenin aritmetik ortalaması alınmıştır. Yönetmeliklerde genellikle silindir numuneden (150 mm x 300 mm) elde edilen beton basınç dayanımları kullanıldığı için silindir numune basınç

dayanımı da küp numuneden dönüştürülerek verilmiştir. Dönüşüm sırasında TS EN 206’da verilen değerlerle oluşturulan denklem kullanılmıştır (Şekil 3.1).

Çizelge 3.1. Sıva katmanı basınç dayanımı (küp numune)

Deney elemanı	Sıva Katmanı Basınç Dayanımı (MPa)
G-P-300	64
G-D-300	63
G-B-300	67
G-P-500	70
G-D-500	68
G-B-500	66
G-P-700	66
G-D-700	67
G-B-700	71



Şekil 3.1. Küp-silindir numune beton basınç dayanımı ilişkisi

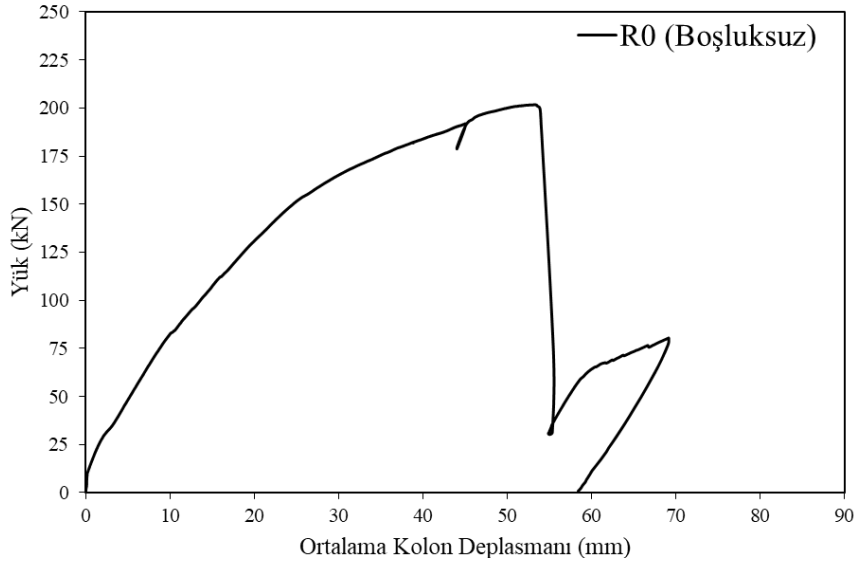
Çizelge 3.2. Beton basınç dayanımları

Deney elemanı	Beton Basınç Dayanımı (MPa)					
	Küp Numune (150 mm x 150 mm x150 mm)			Küp Numune-Ortalama	Dönüştürülmüş Silindir Numune (150 mm x 300 mm)	
R0	29,22			31,95	25,60	
	31,20	31,80	32,85			
	33,33					
R-P-300	30,12			31,49	25,20	
	31,40	31,53	31,54			
	32,95					
R-D-300	28,90			31,72	25,40	
	30,45	32,05	32,66			
	32,00					
R-B-300	30,14			31,38	25,10	
	31,01	31,31	31,82			
	33,49					
R-P-500	29,56			31,26	25,00	
	30,69	31,20	31,88			
	32,47					
R-D-500	27,14			31,14	24,90	
	30,36	30,40	32,65			
	33,49					
R-B-500	31,05			31,84	25,50	
	31,62	31,90	32,00			
	32,25					
R-P-700	30,19			31,14	24,90	
	30,23	31,23	31,97			
	32,50					
R-D-700	29,85			31,38	25,10	
	31,30	31,32	31,51			
	31,93					
R-B-700	28,45			31,49	25,20	
	30,34	31,03	33,09			
	33,46					
G-P-300	26,88			31,03	24,80	
	30,45	31,16	31,48			
	31,58					
G-D-300	30,00			31,38	25,10	
	31,20	31,46	31,48			
	32,09					
G-B-300	31,17			32,82	26,35	
	31,75	32,03	34,68			
	35,15					
G-P-500	30,69			31,43	25,15	
	30,79	31,56	31,94			
	32,18					
G-D-500	30,93			31,09	24,85	
	30,93	30,98	31,35			
	32,12					
G-B-500	31,26			32,53	26,10	
	31,84	32,65	33,10			
	33,48					
G-P-700	29,46			31,32	25,05	
	30,62	31,25	32,09			
	34,15					
G-D-700	29,05			31,20	24,95	
	29,75	30,95	32,90			
	33,05					
G-B-700	31,45			32,94	26,45	
	31,55	32,86	34,42			
	34,56					

3.1.2. Yük-deplasman eğrileri

Deney sırasında yükleme noktası olan ve deney elemanının merkezinde bulunan 200 mm x 200 mm kare kolon üzerinden 1000 kN kapasiteli yük hücresi aracılığıyla yük değerleri, kolonun her bir kenarının ortasına denk gelecek şekilde yerleştirilen LVDT'lerden 4 adet deplasman değeri kaydedilmiştir (Şekil 2.11). Yük-deplasman eğrileri oluşturulurken bu deplasman değerlerinin aritmetik ortalaması alınarak deney elemanının orta noktasındaki ortalama deplasman değeri hesaplanmıştır. Her bir deney elemanı için elde edilen yük-deplasman eğrisi Şekil 3.2-Şekil 3.20'de verilmiştir.

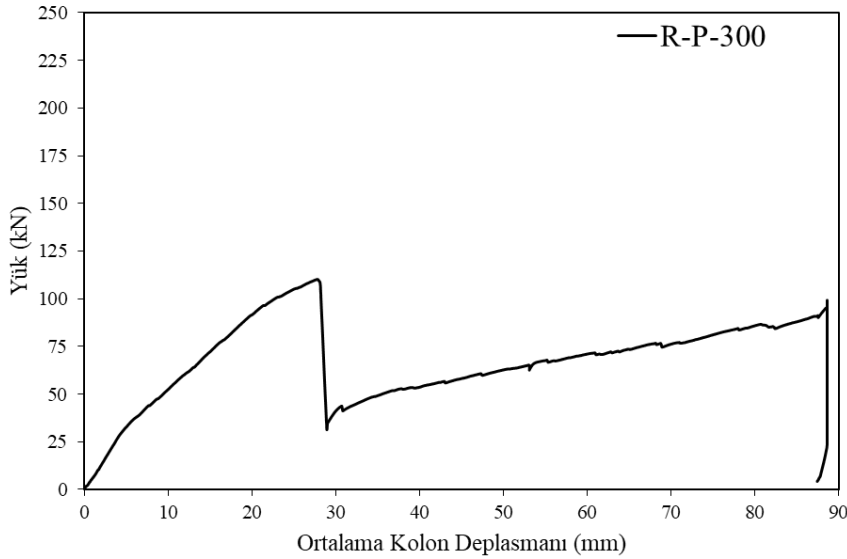
R0 deney elemanının yük-deplasman eğrisi Şekil 3.2'de gösterilmiştir. Yükleme prosedürü başladıktan kısa bir süre sonra ilk çatlaklarla birlikte rijitlikte azalma görülmüştür. Yaklaşık olarak 160 kN yük seviyesinden sonra yük artışında azalma meydana gelmiş buna karşılık deplasmandaki artış hızlanmıştır. Yükün ve deplasmanın sırasıyla 201,73 kN ve 53,33 mm olduğu anda ani bir şekilde yük 31,36 kN değerine düşmüş ve zımbalama göçmesi gözlemlenmiştir. Bu noktadan sonra yükte bir artış gözlemlense de döşeme ağır hasar aldığı için 79,04 kN ve yaklaşık 70 mm deplasmanda deney tamamlanmıştır.



Şekil 3.2. R0 deney elemanının yük-deplasman eğrisi

R-P-300 deney elemanının yük-deplasman eğrisi Şekil 3.3'te gösterilmiştir. Deplasman yaklaşık olarak 5 mm olduğunda rijitlikte azalma görülmüştür. Yaklaşık olarak 90 kN yük seviyesinden sonra yük artışında azalma meydana gelmiş buna karşılık deplasmandaki artış

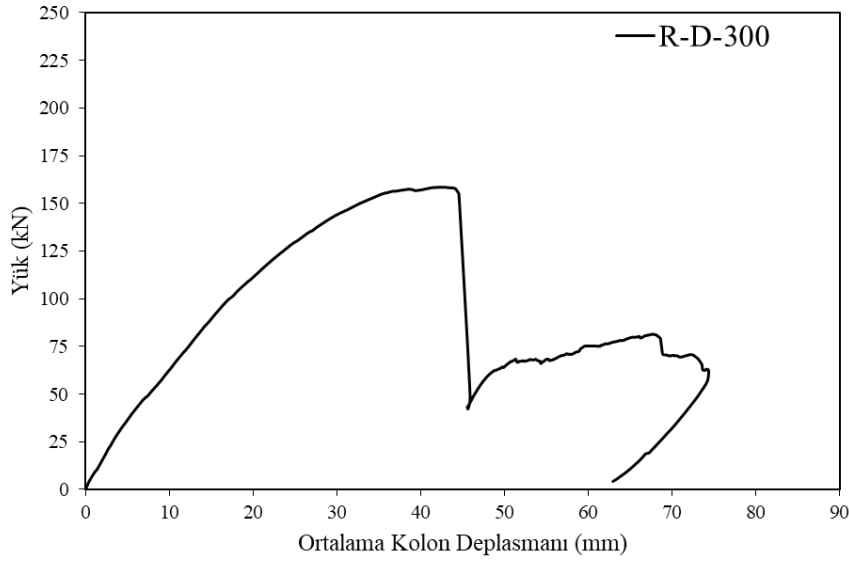
hızlanmıştır. Yükün ve deplasmanın sırasıyla 110,41 kN ve 27,79 mm olduğu anda ani bir şekilde yük 31,48 kN değerine düşmüş ve zımbalama göçmesi gözlemlenmiştir. Bu noktadan sonra yükte önemli bir artış gözlenmiş ve döşeme bir kiriş gibi eğilme kuvvetlerine karşı çalışmaya başlamıştır. Döşeme ağır hasar aldığı için 98,15 kN yük ve yaklaşık 90 mm deplasmanda deney tamamlanmıştır.



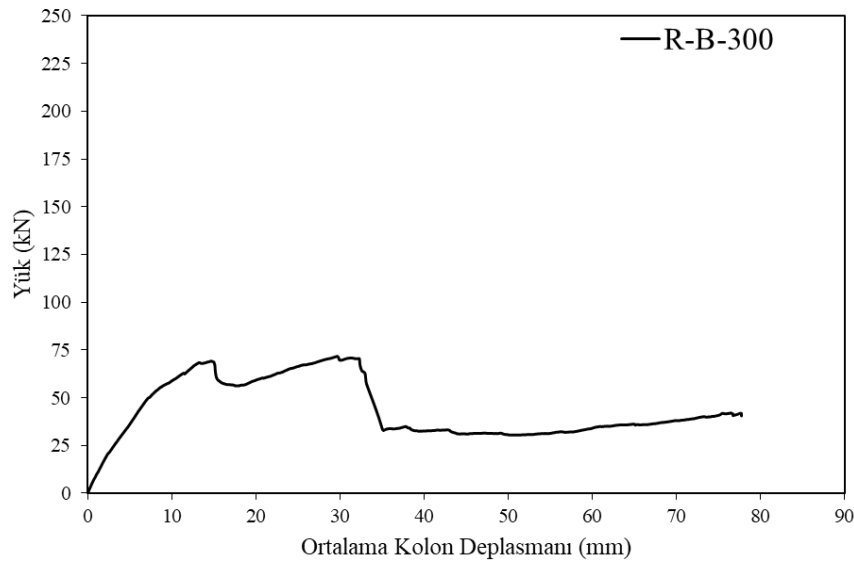
Şekil 3.3. R-P-300 deney elemanın yük-deplasman eğrisi

R-D-300 deney elemanının yük-deplasman eğrisi Şekil 3.4'te gösterilmiştir. Yükleme başladıktan kısa bir süre sonra ilk çatlaklarla birlikte rijitlikte azalma görülmüştür. Yaklaşık olarak 125 kN yük seviyesinden sonra yük artışında azalma meydana gelmiş buna karşılık deplasmandaki artış hızlanmıştır. Yükün ve deplasmanın sırasıyla 158,61 kN ve 42,99 mm olduğu anda ani bir şekilde yük 42,05 kN düşmüş ve zımbalama göçmesi gözlemlenmiştir. Bu noktadan sonra yük 80,27 kN değerine kadar artmış ve döşeme ağır hasar aldığı için yaklaşık 75 mm deplasmanda deney tamamlanmıştır.

R-B-300 deney elemanının yük-deplasman eğrisi Şekil 3.5'te gösterilmiştir. Deplasman yaklaşık olarak 3 mm olduğunda rijitlikte azalma görülmüştür. Yaklaşık olarak 60 kN yük seviyesinden sonra yük artışında azalma ve 15 mm deplasmana ulaştığında ise yükte bir düşüş meydana gelmiştir. Daha sonra yükte bir artış görülmüş, yükün ve deplasmanın sırasıyla 71,45 kN ve 29,64 mm olduğu anda ani bir yük kaybı ile yük 32,68 kN değerine düşmüş ve zımbalama göçmesi gözlemlenmiştir. Bu noktadan sonra yükte bir artış olmamış ve döşeme ağır hasar aldığı için yaklaşık 80 mm deplasmanda deney tamamlanmıştır.

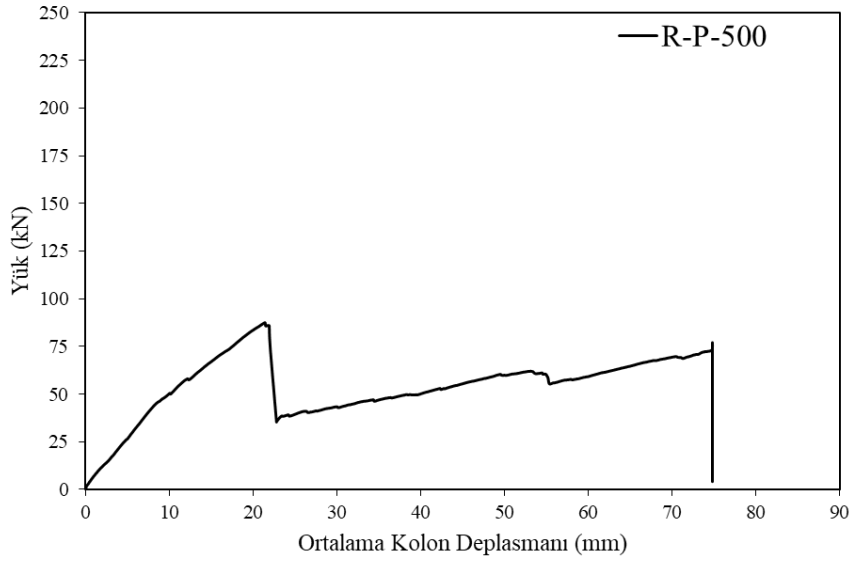


Şekil 3.4. R-D-300 deney elemanın yük-deplasman eğrisi

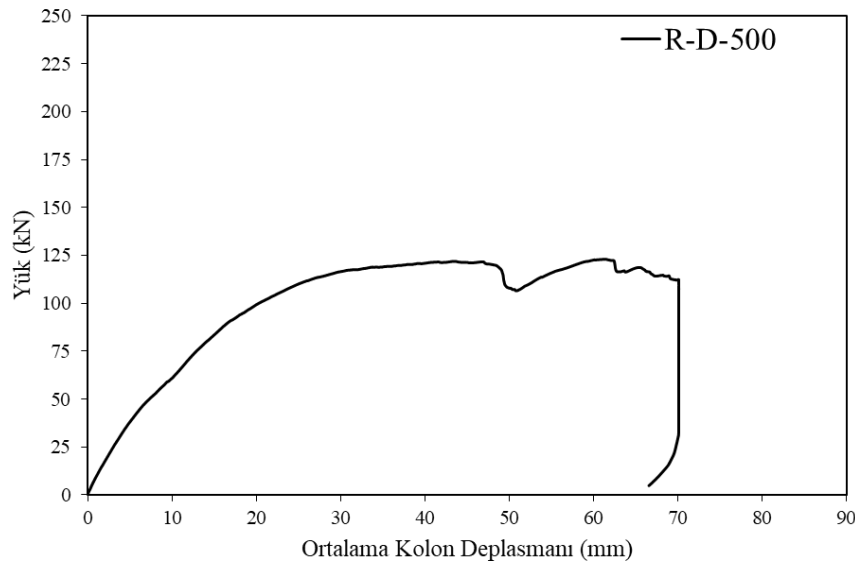


Şekil 3.5. R-B-300 deney elemanın yük-deplasman eğrisi

R-P-500 deney elemanının yük-deplasman eğrisi Şekil 3.6'da gösterilmiştir. Deplasman yaklaşık olarak 4 mm olduğunda ilk çatlaklarla birlikte rijitlikte azalma görülmüştür. Yükleme ve deplasmanın sırasıyla 87,66 kN ve 21,38 mm olduğu anda ani bir şekilde yük 35,30 kN değerine düşmüş ve zımbalama göçmesi gözlemlenmiştir. Bu noktadan sonra yükte önemli bir artış gözlenmiş ve döşeme bir kiriş gibi eğilme kuvvetlerine karşı çalışmaya başlamıştır. Döşeme ağır hasar aldığı için 76,73 kN yük ve yaklaşık 75 mm deplasmanda deney tamamlanmıştır.

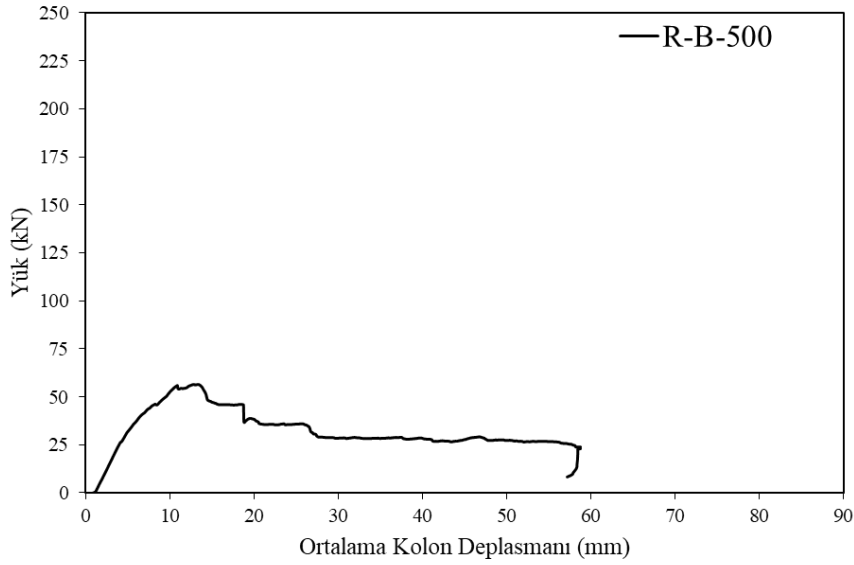


Şekil 3.6. R-P-500 deney elemanın yük-deplasman eğrisi



Şekil 3.7. R-D-500 deney elemanın yük-deplasman eğrisi

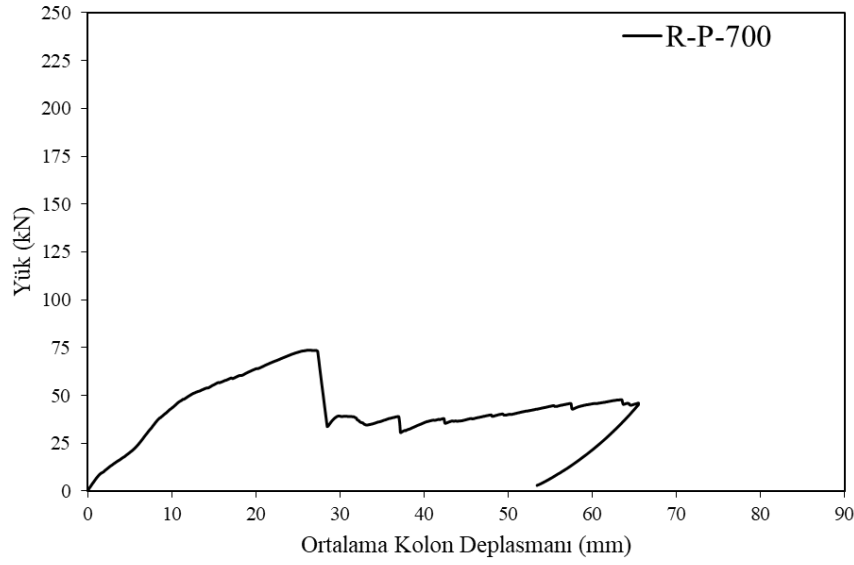
R-D-500 deney elemanının yük-deplasman eğrisi Şekil 3.7'de gösterilmiştir. Yaklaşık 8 mm deplasmana ulaşıldığında rijitlikte azalma görülmüştür. Yaklaşık olarak 100 kN yük seviyesinden sonra yük artışında azalma meydana gelmiş buna karşılık deplasmandaki artış hızlanmıştır. 50 mm deplasmana ulaşıldığında, yük değerinde bir miktar düşüş olsa da bu deney elemanında net bir zımbalama göçmesi gözlemlenmemiştir. 123,00 kN ile yük en büyük değerini alırken, bu yükte deplasman değeri ise 61,35 mm olmuştur.



Şekil 3.8. R-B-500 deney elemanının yük-deplasman eğrisi

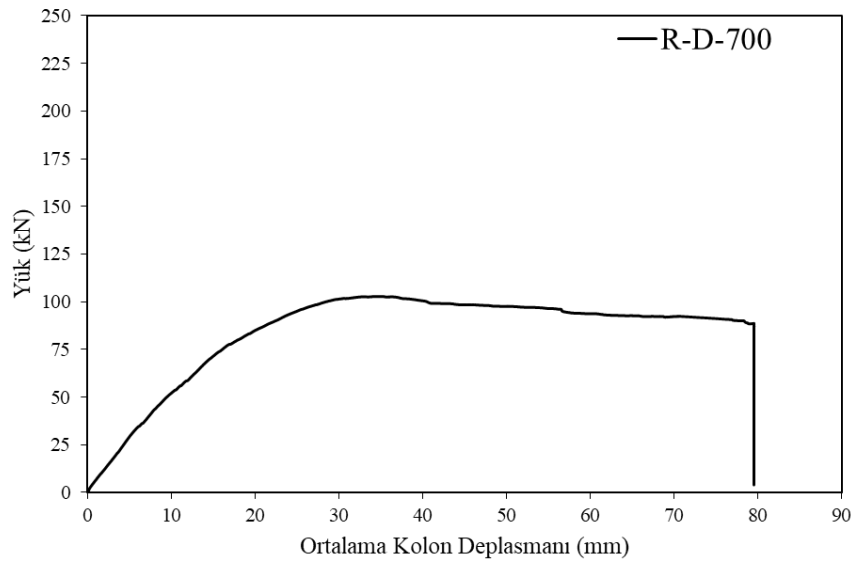
R-B-500 deney elemanının yük-deplasman eğrisi Şekil 3.8’de gösterilmiştir. Deplasman yaklaşık olarak 5 mm olduğunda rijitlikte azalma görülmüştür. Yaklaşık olarak 30 kN yük seviyesinden sonra yük artışında azalma ve 15 mm deplasmana ulaştığında ise yükte bir düşüş meydana gelmiştir. Zımbalama göçme mekanizması oluşmamıştır. Eğilme kuvvetlerine bağlı bir göçme mekanizması ile karşılaşılmıştır. Döşeme ağır hasar aldığı için yaklaşık 60 mm deplasmanda deney tamamlanmıştır.

R-P-700 deney elemanının yük-deplasman eğrisi Şekil 3.9’da gösterilmiştir. Yüklemeye başladıktan kısa bir süre sonra ilk çatlaklarla birlikte rijitlikte azalma görülmüştür. Yükleme ve deplasmanın sırasıyla 73,58 kN ve 26,28 mm olduğu anda ani bir şekilde yük 33,55 kN değerine düşmüş ve zımbalama göçmesi gözlemlenmiştir. Bu noktadan sonra yükte önemli bir artış gözlenmemiş ve döşeme bir kiriş gibi eğilme kuvvetlerine karşı çalışmaya başlamıştır. Döşeme ağır hasar aldığı için 45,45 kN yük ve yaklaşık 65 mm deplasmanda deney tamamlanmıştır.



Şekil 3.9. R-P-700 deney elemanın yük-deplasman eğrisi

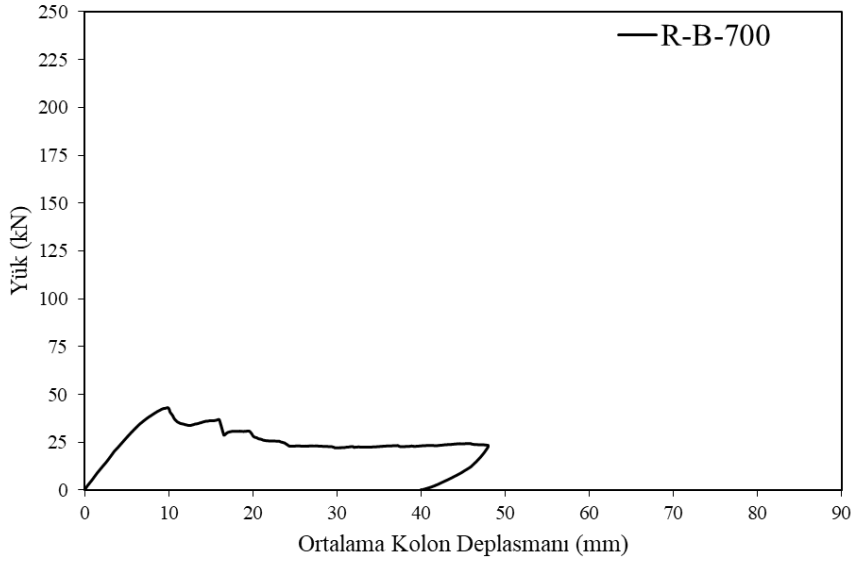
R-D-700 deney elemanının yük-deplasman eğrisi Şekil 3.10'da gösterilmiştir. Yaklaşık 8 mm deplasmana ulaşıldığında rijitlikte azalma görülmüştür. Yaklaşık olarak 75 kN yük seviyesinden sonra yük artışında azalma meydana gelmiş buna karşılık deplasmandaki artış hızlanmıştır. Bu deney elemanında zımbalama göçmesi gözlemlenmemiştir. Döşeme eğilme davranışı göstermiştir. 102,63 kN ile yük en büyük değerini alırken, bu yükteki deplasman değeri ise 35,07 mm olmuştur.



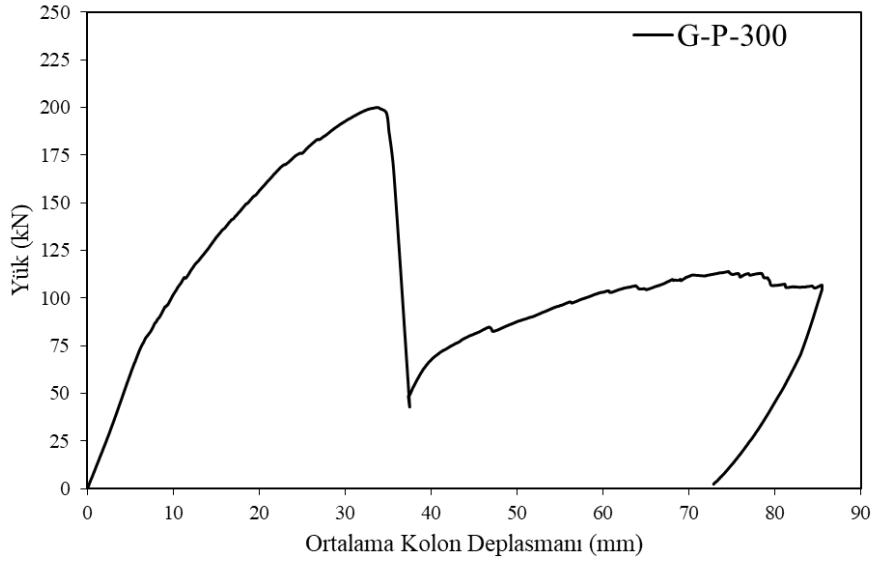
Şekil 3.10. R-D-700 deney elemanın yük-deplasman eğrisi

R-B-700 deney elemanının yük-deplasman eğrisi Şekil 3.11'de gösterilmiştir. Yaklaşık olarak 30 kN yük seviyesinden sonra yük artışında azalma ve 10 mm deplasmana ulaştığında

ise yükte bir düşüş meydana gelmiştir. Zımbalama göçme mekanizması oluşmamıştır. Eğilme kuvvetlerine bağlı bir göçme mekanizması ile karşılaşmıştır. Döşeme ağır hasar aldığı için yaklaşık 45 mm deplasmanda deney tamamlanmıştır.



Şekil 3.11. R-B-700 deney elemanının yük-deplasman eğrisi

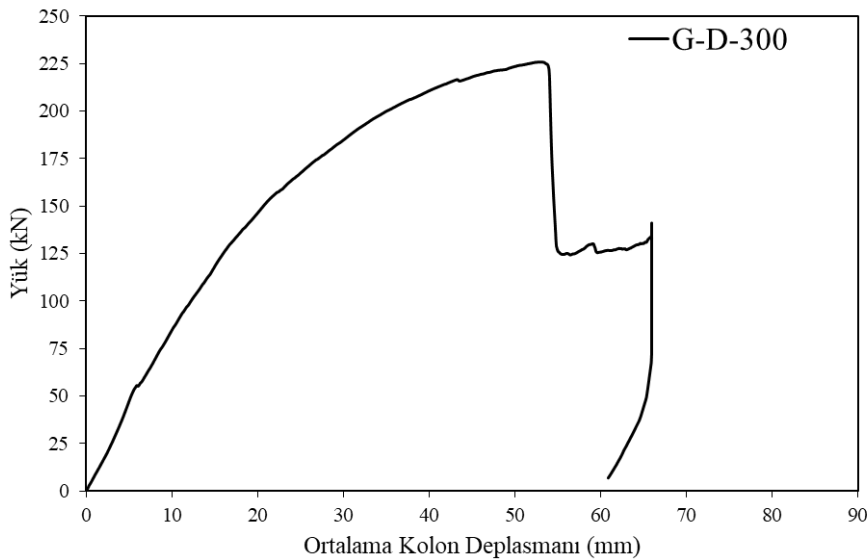


Şekil 3.12. G-P-300 deney elemanının yük-deplasman eğrisi

G-P-300 deney elemanının yük-deplasman eğrisi Şekil 3.12'de gösterilmiştir. Deplasman yaklaşık olarak 8 mm olduğunda rijitlikte azalma görülmüştür. 75 kN yük seviyesinden sonra yük artışında azalma meydana gelmiş buna karşılık deplasmandaki artış hızlanmıştır. Yükleme ve deplasmanın sırasıyla 200,19 kN ve 33,87 mm olduğu anda ani bir şekilde yük

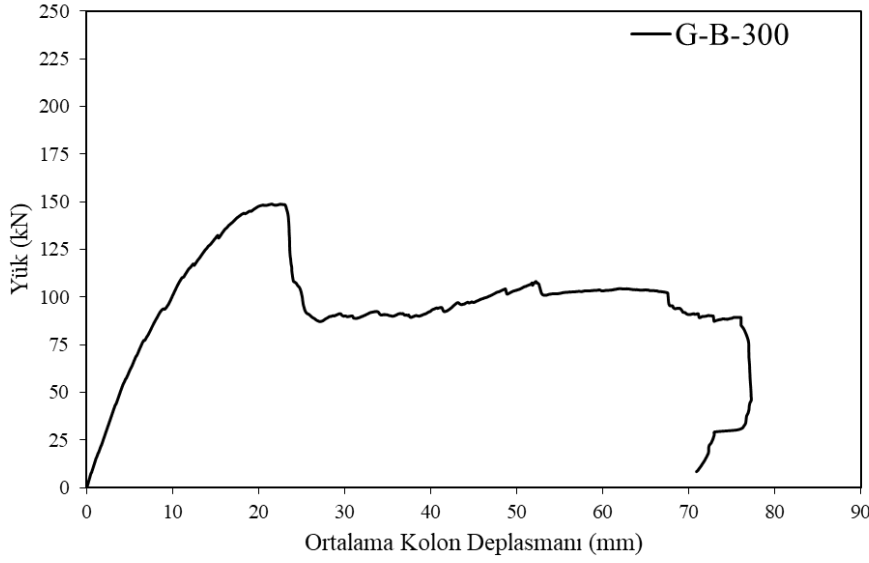
43,55 kN değerine düşmüş ve zımbalama göçmesi gözlemlenmiştir. Bu noktadan sonra döşeme bir kiriş gibi eğilme kuvvetlerine karşı çalışmaya başlamış ve yük 112,36 kN değerine ulaşmıştır. Döşeme ağır hasar aldığı için yaklaşık 85 mm deplasmanda deney tamamlanmıştır.

G-D-300 deney elemanının yük-deplasman eğrisi Şekil 3.13'te gösterilmiştir. Yaklaşık olarak 125 kN yük seviyesinden sonra yük artışında azalma meydana gelmiş buna karşılık deplasmandaki artış hızlanmıştır. Yükün ve deplasmanın sırasıyla 225,88 kN ve 52,81 mm olduğu anda ani bir yük kaybı 124,66 kN düşmüş ve zımbalama göçmesi gözlemlenmiştir. Bu noktadan sonra yük 140,89 kN değerine kadar artmış ve döşeme ağır hasar aldığı için yaklaşık 65 mm deplasmanda deney tamamlanmıştır.

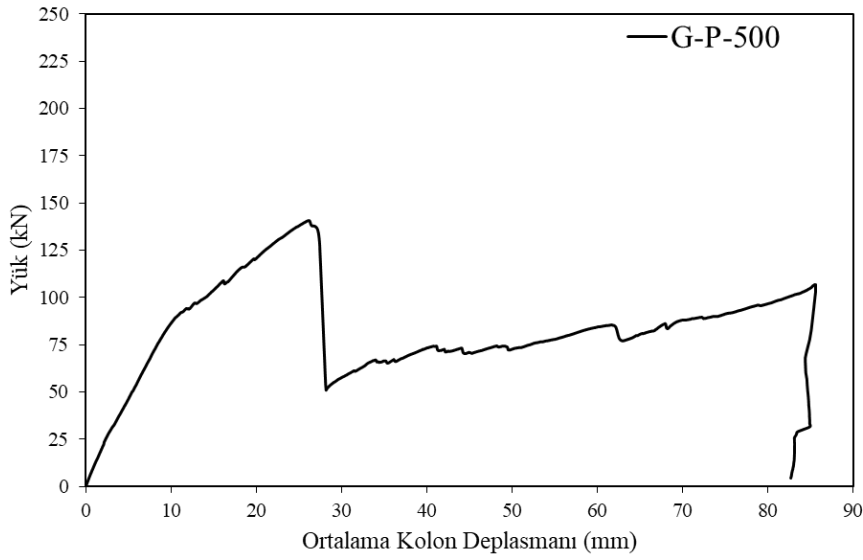


Şekil 3.13. G-D-300 deney elemanının yük-deplasman eğrisi

G-B-300 deney elemanının yük-deplasman eğrisi Şekil 3.14'te gösterilmiştir. Yaklaşık olarak 75 kN yük seviyesinden sonra yük artışında azalma meydana gelmiş buna karşılık deplasmandaki artış hızlanmıştır. Yükün ve deplasmanın sırasıyla 148,98 kN ve 22,55 mm olduğu anda ani bir şekilde yük 87,40 kN değerine düşmüş ve zımbalama göçmesi gözlemlenmiştir. Bu noktadan sonra döşeme bir kiriş gibi eğilme kuvvetlerine karşı çalışmaya başlamış ve yük 106,45 kN değerine ulaşmıştır. Döşeme ağır yaklaşık 75 mm deplasmanda deney tamamlanmıştır.

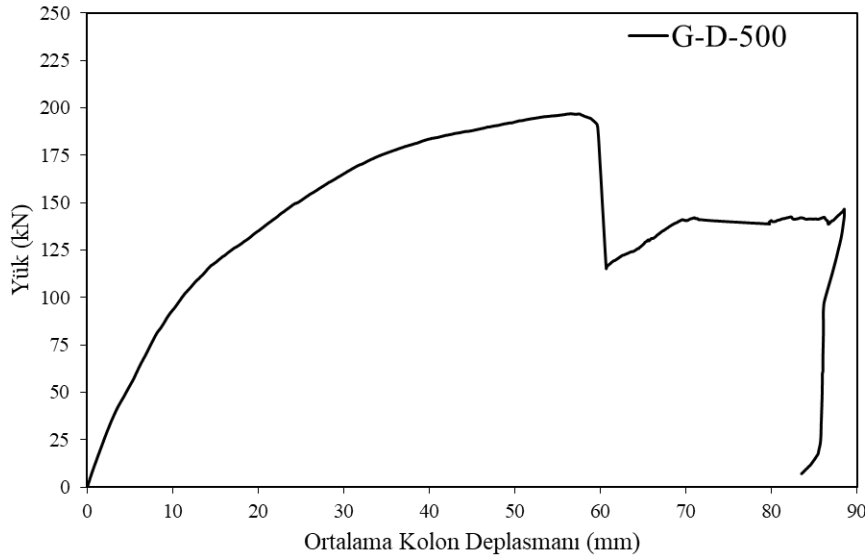


Şekil 3.14. G-B-300 deney elemanın yük-deplasman eğrisi



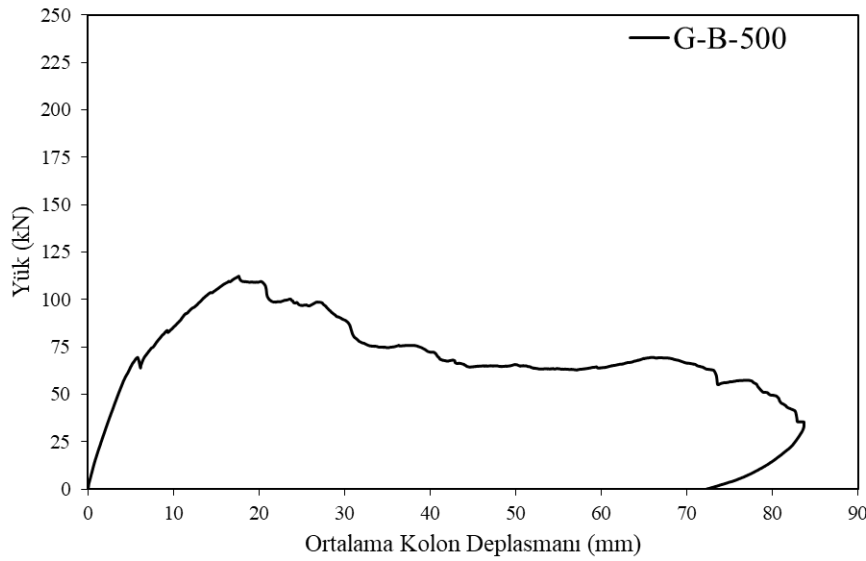
Şekil 3.15. G-P-500 deney elemanın yük-deplasman eğrisi

G-P-500 deney elemanının yük-deplasman eğrisi Şekil 3.15'te gösterilmiştir. Yaklaşık olarak 85 kN yük seviyesinden sonra yük artışında azalma meydana gelmiş buna karşılık deplasmandaki artış hızlanmıştır. Yükleme ve deplasmanın sırasıyla 140,51 kN ve 26,16 mm olduğu anda ani bir şekilde yük 51,00 kN değerine düşmüş ve zımbalama göçmesi gözlemlenmiştir. Bu noktadan sonra yükte önemli bir artış gözlenmiş ve döşeme bir kiriş gibi eğilme kuvvetlerine karşı çalışmaya başlamıştır. Döşeme ağır hasar aldığı için 105,33 kN yük ve yaklaşık 85 mm deplasmanda deney tamamlanmıştır.



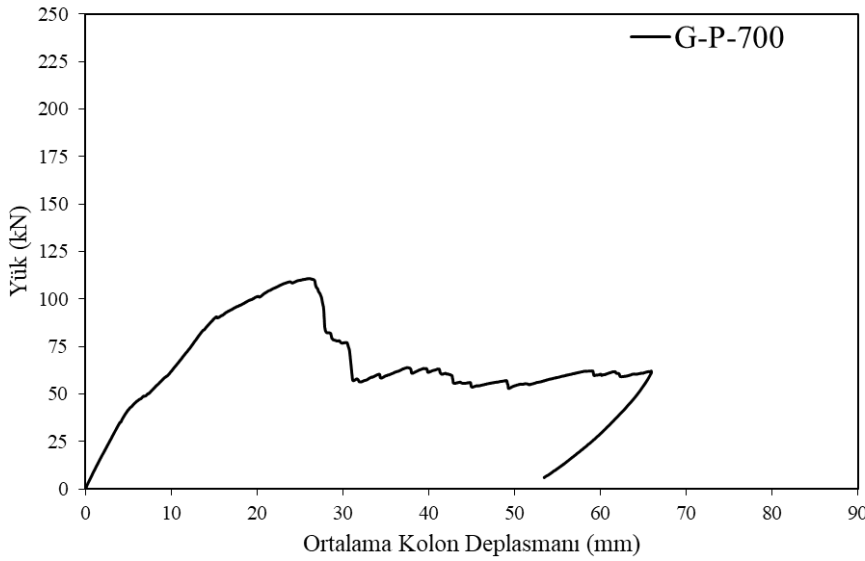
Şekil 3.16. G-D-500 deney elemanın yük-deplasman eğrisi

G-D-500 deney elemanının yük-deplasman eğrisi Şekil 3.16’da gösterilmiştir. Yaklaşık olarak 115 kN yük seviyesinden sonra yük artışında azalma meydana gelmiş buna karşılık deplasmandaki artış hızlanmıştır. Yükün ve deplasmanın sırasıyla 196,77 kN ve 56,40 mm olduğu anda ani bir yük kaybı 115,36 kN düşmüş ve zımbalama göçmesi gözlemlenmiştir. Bu noktadan sonra yük 145,86 kN değerine kadar artmış ve döşeme ağır hasar aldığı için yaklaşık 90 mm deplasmanda deney tamamlanmıştır.



Şekil 3.17. G-B-500 deney elemanın yük-deplasman eğrisi

G-B-500 deney elemanının yük-deplasman eğrisi Şekil 3.17’de gösterilmiştir. Yaklaşık olarak 70 kN yük seviyesinden sonra yük artışında azalma olmuştur. 112,53 kN yüke ve 17,5 mm deplasmana ulaşıldığında ise yükte bir düşüş meydana gelmiştir. Zımbalama göçme mekanizması oluşmamıştır. Eğilme kuvvetlerine bağlı bir göçme mekanizması ile karşılaşılmiştir. Döşeme ağır hasar aldığı için yaklaşık 85 mm deplasmanda deney tamamlanmıştır.

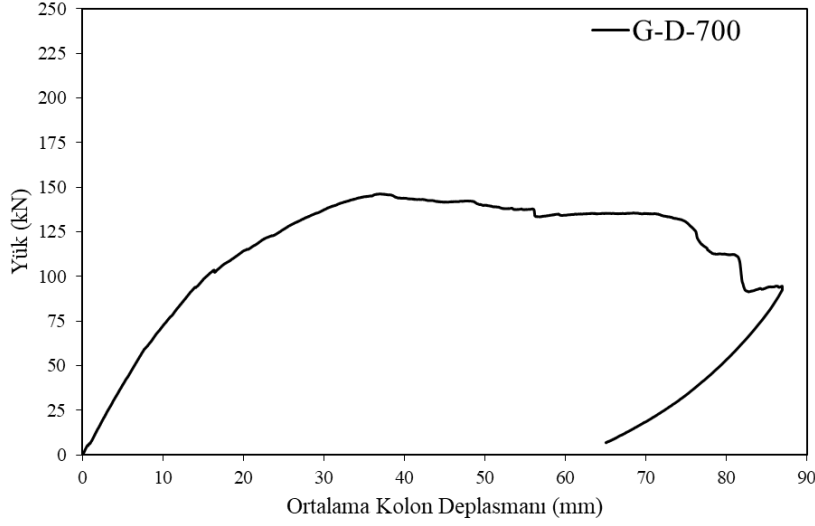


Şekil 3.18. G-P-700 deney elemanının yük-deplasman eğrisi

G-P-700 deney elemanının yük-deplasman eğrisi Şekil 3.18’de gösterilmiştir. Deplasman yaklaşık olarak 6 mm olduğunda rijitlikte azalma görülmüştür. 85 kN yük seviyesinden sonra yük artışında azalma meydana gelmiş buna karşılık deplasmandaki artış hızlanmıştır. Yükleme ve deplasmanın sırasıyla 110,89 kN ve 26,12 mm olduğu anda ani bir şekilde yük 56,71 kN değerine düşmüş ve zımbalama göçmesi gözlemlenmiştir. Bu noktadan sonra döşeme bir kiriş gibi eğilme kuvvetlerine karşı çalışmaya başlasa da yükte önemli bir artış gözlemlenmemiştir. Döşeme ağır hasar aldığı için yaklaşık 65 mm deplasmanda deney tamamlanmıştır.

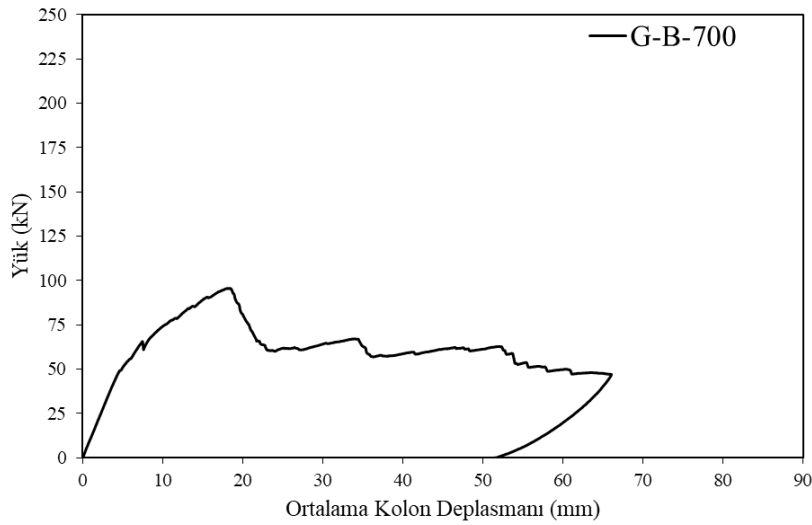
G-D-700 deney elemanının yük-deplasman eğrisi Şekil 3.19’da gösterilmiştir. Yaklaşık 8 mm deplasmana ulaşıldığında rijitlikte azalma görülmüştür. Yaklaşık olarak 100 kN yük seviyesinden sonra yük artışında azalma meydana gelmiş buna karşılık deplasmandaki artış hızlanmıştır. Bu deney elemanında zımbalama göçmesi gözlemlenmemiştir. Döşeme eğilme

davranışı göstermiştir. 146,51 kN ile yük en büyük değerini alırken, bu yükteki deplasman değeri ise 37,11 mm olmuştur.



Şekil 3.19. G-D-700 deney elemanın yük-deplasman eğrisi

G-B-700 deney elemanının yük-deplasman eğrisi Şekil 3.20'de gösterilmiştir. Yaklaşık olarak 65 kN yük seviyesinden sonra yük artışında azalma meydana gelmiş buna karşılık deplasmandaki artış hızlanmıştır. Yükleme ve deplasmanın sırasıyla 95,78 kN ve 18,35 mm olduğu anda yük 60,21 kN değerine düşmüştür. Döşeme ağır hasar aldığı için yaklaşık 65 mm deplasmanda deney tamamlanmıştır.

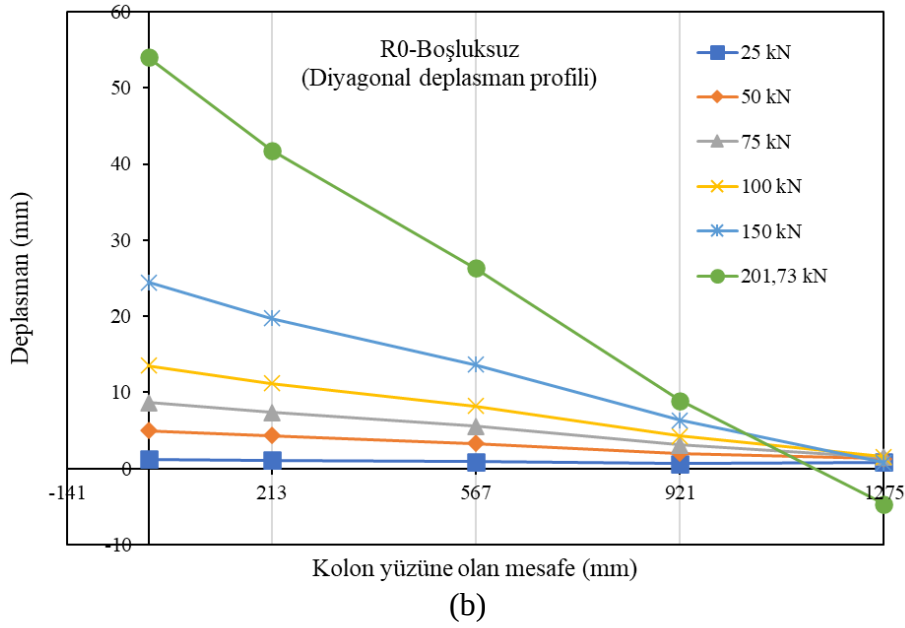
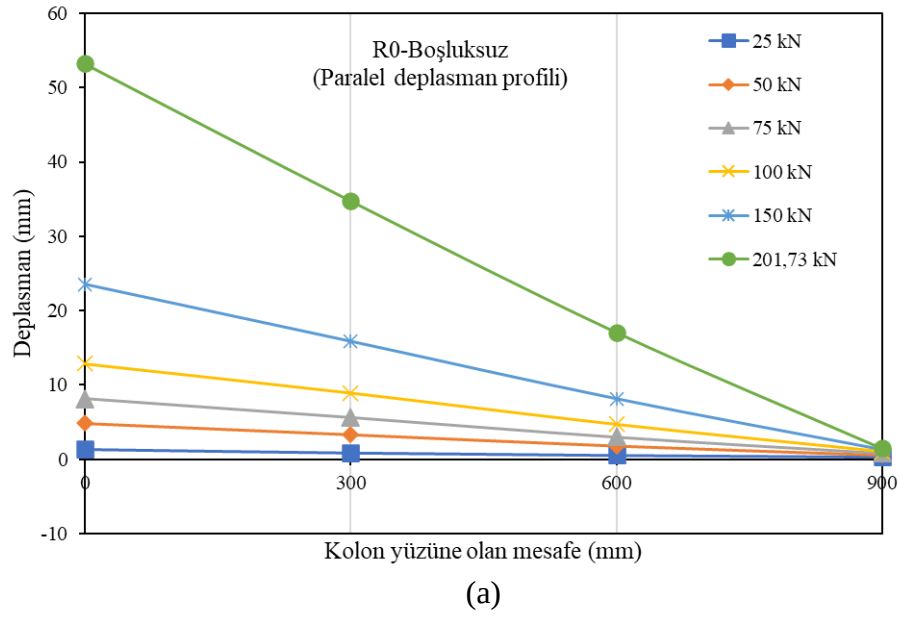


Şekil 3.20. G-B-700 deney elemanın yük-deplasman eğrisi

3.1.3. Deney elemanlarının deplasman profilleri

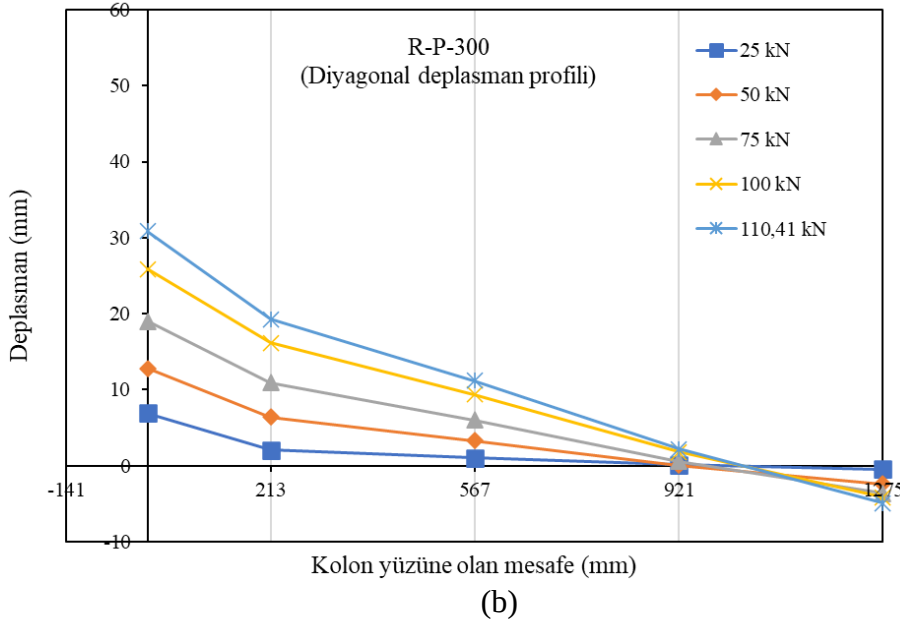
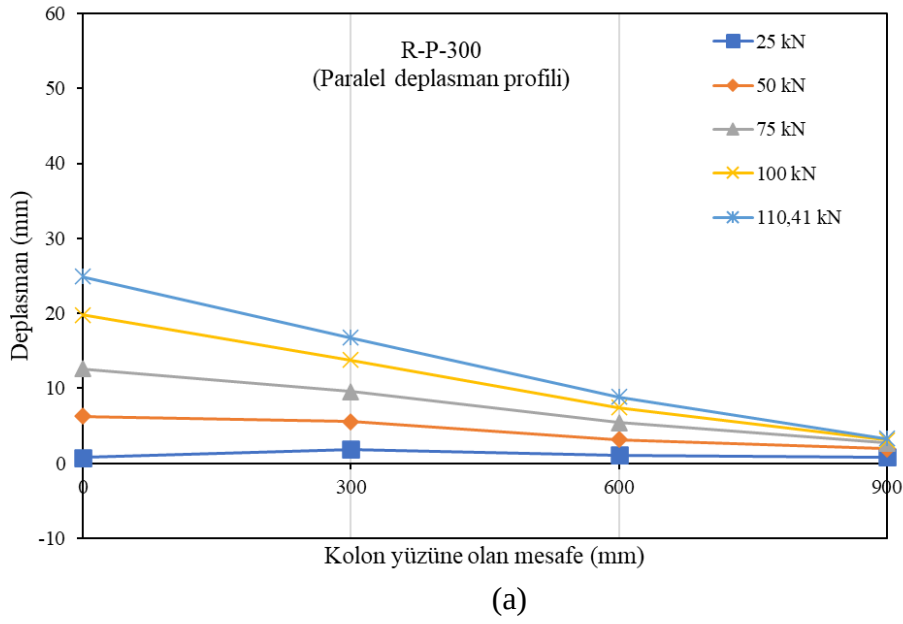
Tüm deney elemanlarının paralel ve diyagonal yönde deplasman profilleri Şekil 2.11’de gösterildiği gibi konumlandırılan LVDT yardımıyla ölçülmüştür. Deplasman profil grafikleri farklı yük seviyeleri için Şekil 3.21-Şekil 3.39’da sunulmuştur. Deplasman profilleri oluşturulurken LVDT konumlarının kolon dış yüzeyine olan dik mesafesi dikkate alınmıştır. Köşelerin yukarı doğru hareketi, her numunenin diyagonal deplasman profilleri sayesinde kolaylıkla gözlemlenmiştir.

Döşemelerde yer alan boşlukların kolonun üstünde ve altında paralel olarak konumlandırıldığı durumlarda kolondan ve döşeme üzerinden ölçülen deformasyonlar simetrik olarak gerçekleşmiş ve yükleme noktası çevresinde dar bir alanda yoğunlaşmıştır. Döşemelerde boşlukların diyagonal şekilde kolonların üst ve alt köşelerinde yer aldığı durumlarda kolonlardan ve döşemelerden ölçülen deformasyonlar simetrik olarak gerçekleşmiştir. Boşlukların birbirlerine göre paralel olduğu durumların tersine döşeme üzerinden ölçülen deformasyon profili incelendiğinde en büyük deformasyon kolonlarda yükleme noktasında olsa da boşlukların döşeme köşe noktalarına yakın köşeleri arasında dairesel bir alanda büyük deformasyonlar gerçekleştiği görülmüştür. Boşlukların bitişik şekilde kolonların birleşik iki kenarında konumlandırıldığı deney elemanlarında kolonlardan ölçülen düşey deformasyonlar simetrik olarak gerçekleşmemiştir. Kolonlardan ölçülen deformasyonlar boşlukların bulunduğu köşe bölgesinde daha büyük ölçülmüştür. Döşemeler üzerinden ölçülen deformasyon profillerinde ise kolon ile boşlukların birleşmediği diğer köşe noktasında daha büyük düşey deplasman değerleri meydana gelmiştir.



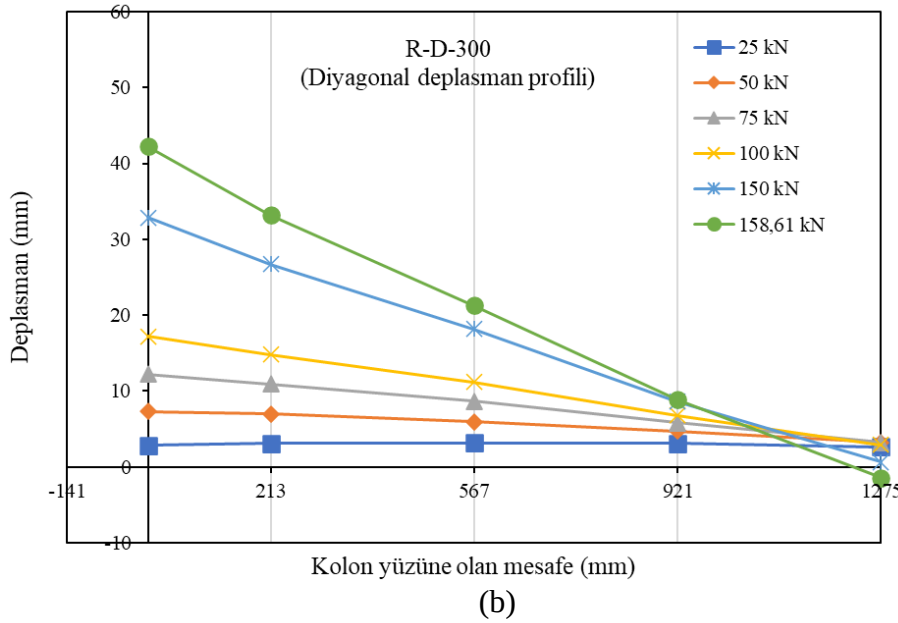
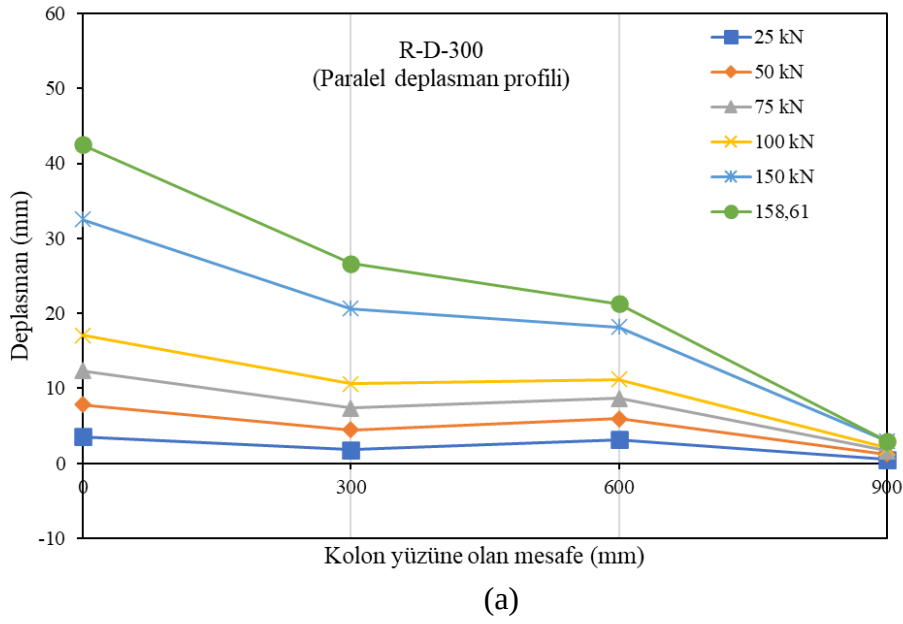
Şekil 3.21. R0 deney elemanın (a) paralel ve (b) diyagonal deplasman profilleri

R0 deney elemanına ait deplasman profilleri Şekil 3.21’de gösterilmiştir. Yük 100 kN değerini aştığında hem paralel hem de diyagonal yönde deplasmanlarda artış hızlanmıştır. Her iki yönde de deplasman profil çizgileri doğrusal bir davranış göstermiştir. Kolona yaklaşıldıkça deplasman değerleri artmış, mesnetlere yaklaşıldığında da azalmıştır. En büyük yükte diyagonal yöndeki mesnet bölgesinde yaklaşık 5 mm kadar bir kalkma gözlemlenmiştir.



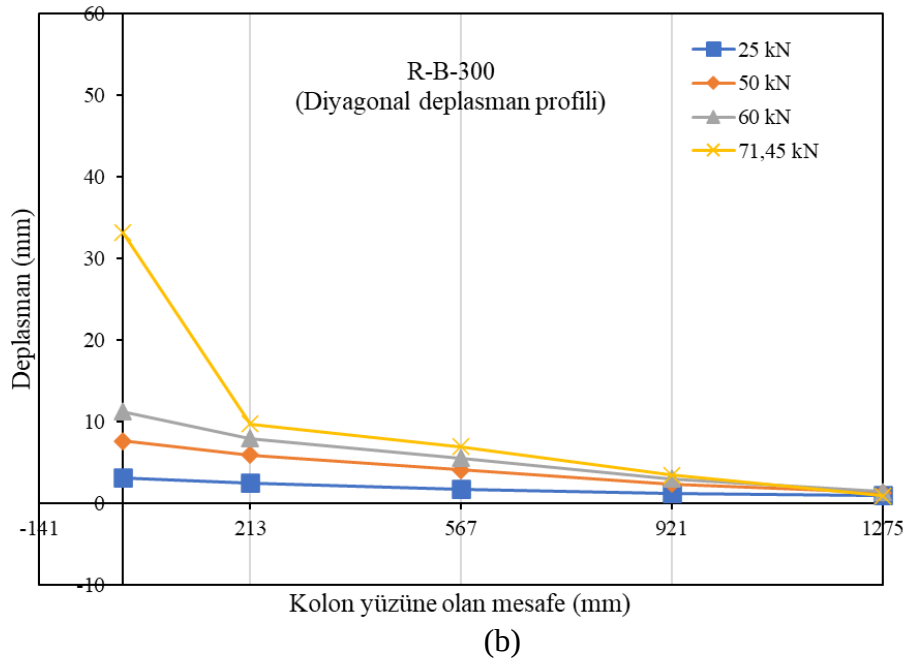
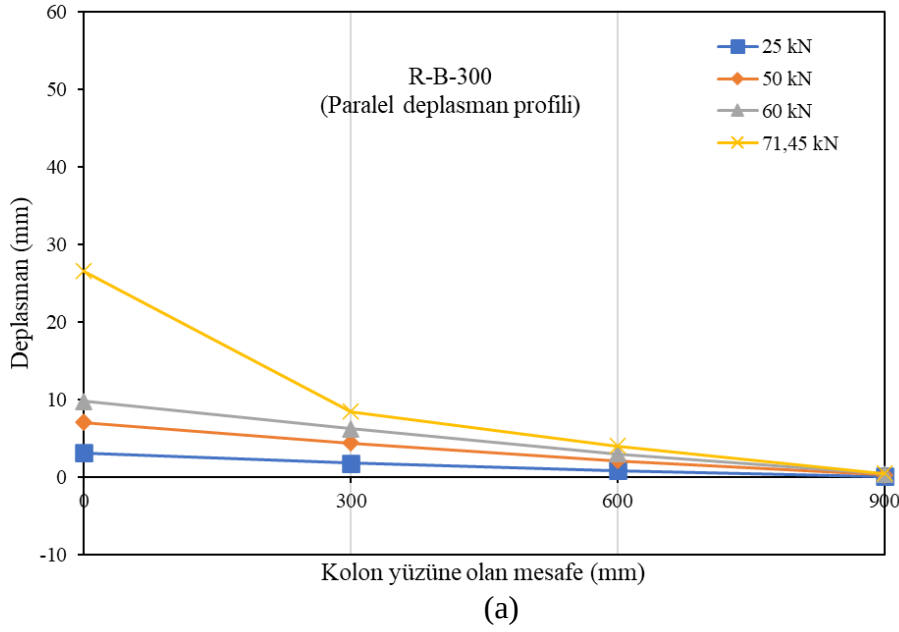
Şekil 3.22. R-P-300 deney elemanın (a) paralel ve (b) diyagonal deplasman profilleri

R-P-300 deney elemanına ait deplasman profilleri Şekil 3.22’de gösterilmiştir. Paralel deplasman profil çizgileri doğrusal olarak bir değişim göstermiştir. Diyagonal deplasman profil çizgilerinin ise birbirine paralel olarak bulunan boşluklardan dolayı kolon çevresinde ani bir yükseliş göstermiş lineerliği bozulmuştur. Her iki yönde de kolona yaklaştıkça deplasman değerleri artmış, mesnetlere yaklaşıldığında da azalmıştır. En büyük yükte diyagonal yöndeki mesnet bölgesinde yaklaşık 5 mm kadar bir kalkma gözlemlenmiştir. Bu kalkma 25 kN yük seviyesinden itibaren başlamış ve yükleme ile birlikte büyümüştür. Paralel yöndeki mesnet bölgesinde ise ezilme etkisiyle pozitif deplasmanlar okunmuştur.



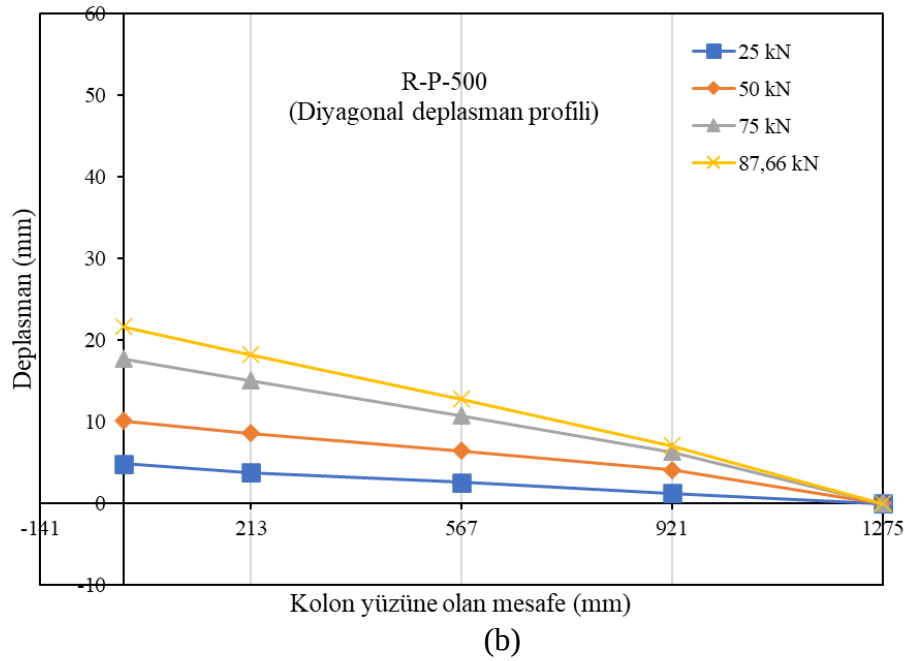
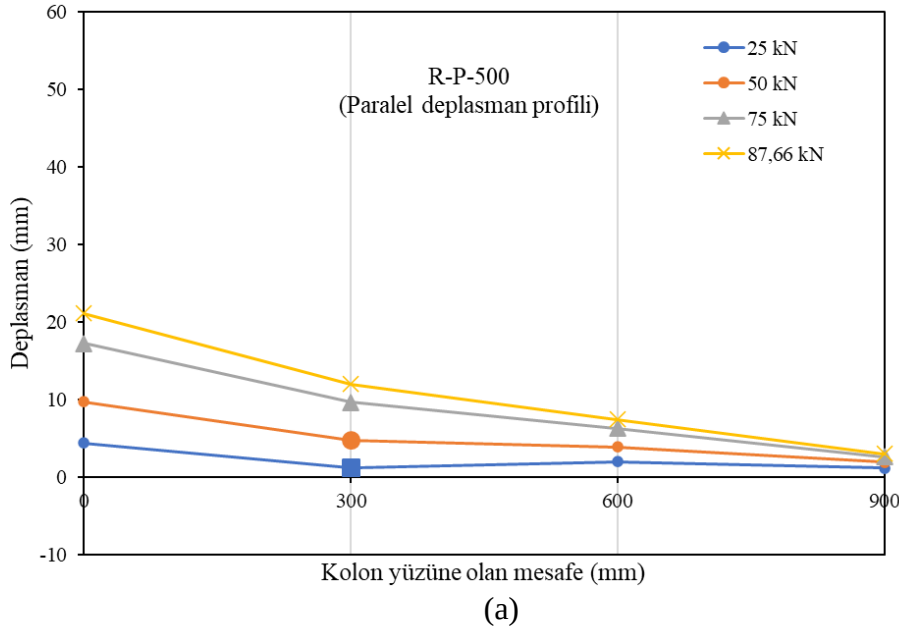
Şekil 3.23. R-D-300 deney elemanın (a) paralel ve (b) diyagonal deplasman profilleri

R-D-300 deney elemanına ait deplasman profilleri Şekil 3.23'te gösterilmiştir. Yük 100 kN değerini aştığında hem paralel hem de diyagonal yönde deplasmanlarda artış hızlanmıştır. Paralel deplasman profil çizgileri doğrusal bir davranış göstermemiş ve eğimi boşluk boyunca en büyük olmuştur. Diyagonal yönde ise deplasman profil çizgileri doğrusal bir davranış göstermiştir. Kolona yaklaştıkça deplasman değerleri artmış, mesnetlere yaklaşıldığında da azalmıştır. En büyük yükte diyagonal yönlerdeki mesnet bölgesinde yaklaşık 3 mm kadar bir kalkma gözlemlenmiştir. Paralel yöndeki mesnet bölgesinde ise ezilme etkisiyle pozitif deplasmanlar okunmuştur.



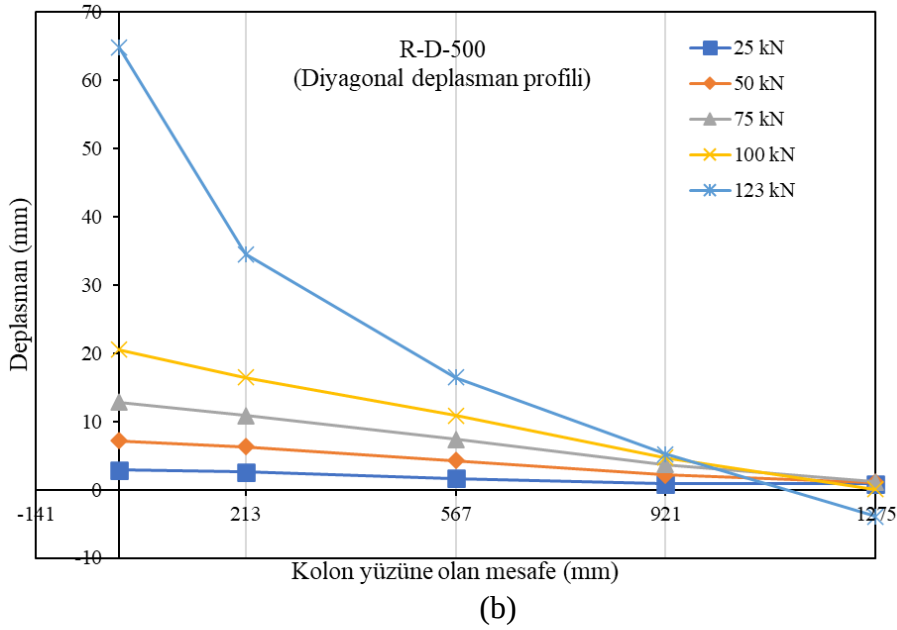
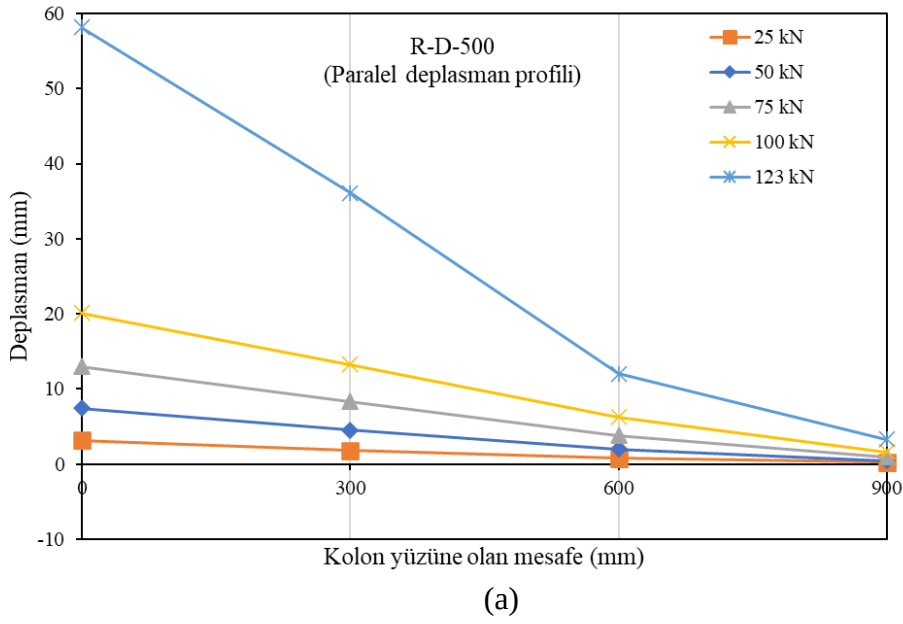
Şekil 3.24. R-B-300 deney elemanın (a) paralel ve (b) diyagonal deplasman profilleri

R-B-300 deney elemanına ait deplasman profilleri Şekil 3.24'te gösterilmiştir. Yük 60 kN değerini aştığında hem paralel hem de diyagonal yönde kolona yakın bölgede deplasmanlarda artış hızlanmıştır. Her iki yönde de deplasman profil çizgileri doğrusal bir davranış göstermiştir. Ancak, bu davranış en büyük yük değerinde kolon çevresinde bozulmuş ve ani bir göçme görülmüştür. Genel itibariyle, kolona yaklaşıldıkça deplasman değerleri artmış, mesnetlere yaklaşıldığında da azalmıştır. Her iki yönde de mesnetlerde bir kalkma gözlemlenmemiştir.



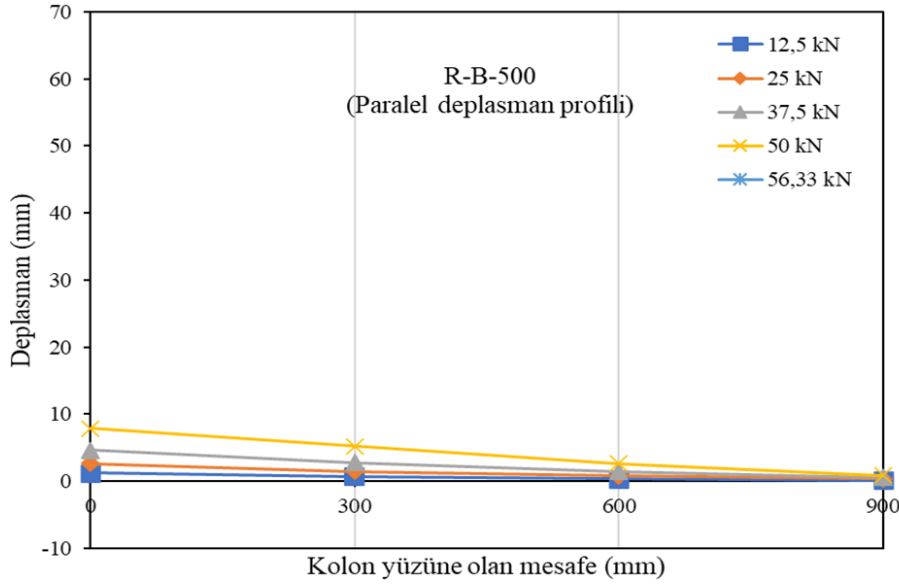
Şekil 3.25. R-P-500 deney elemanın (a) paralel ve (b) diyagonal deplasman profilleri

R-P-500 deney elemanına ait deplasman profilleri Şekil 3.25'te gösterilmiştir. Her iki yönde de deplasman profil çizgileri doğrusal bir davranış göstermiştir. Kolona yaklaşıldıkça deplasman değerleri artmış, mesnetlere yaklaşıldığında da azalmıştır. Mesnetlerde herhangi bir kalkma gözlemlenmemiştir. Paralel yönlerdeki mesnet bölgesinde ezilme etkisiyle pozitif deplasmanlar okunmuştur.

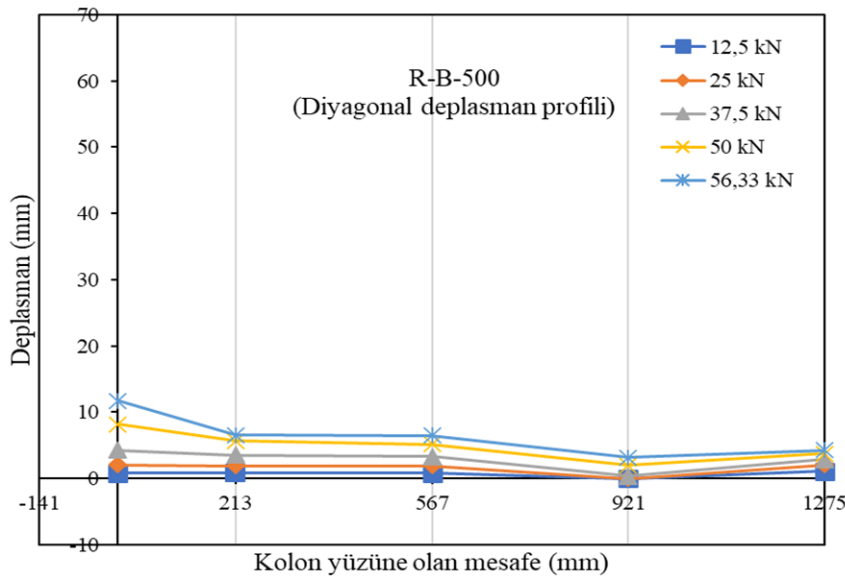


Şekil 3.26. R-D-500 deney elemanın (a) paralel ve (b) diyagonal deplasman profilleri

R-D-500 deney elemanına ait deplasman profilleri Şekil 3.26’da gösterilmiştir. Yük 100 kN değerini aştığında hem paralel hem de diyagonal yönde deplasmanlarda artış hızlanmıştır. Her iki yöndeki deplasman profil çizgileri 100 kN yüke kadar doğrusal bir davranış göstermiştir. Bu yük değerinden sonra kolona yakın bölgede profil çizgilerinin eğimi ani bir şekilde artmış ve lineerlik bozulmuştur. Genel itibariyle, kolona yaklaştıkça deplasman değerleri artmış, mesnetlere yaklaşıldığında da azalmıştır. En büyük yükte diyagonal yöndeki mesnet bölgesinde yaklaşık 4 mm kadar bir kalkma gözlemlenmiştir. Paralel yöndeki mesnet bölgesinde ise ezilme etkisiyle pozitif deplasmanlar okunmuştur.



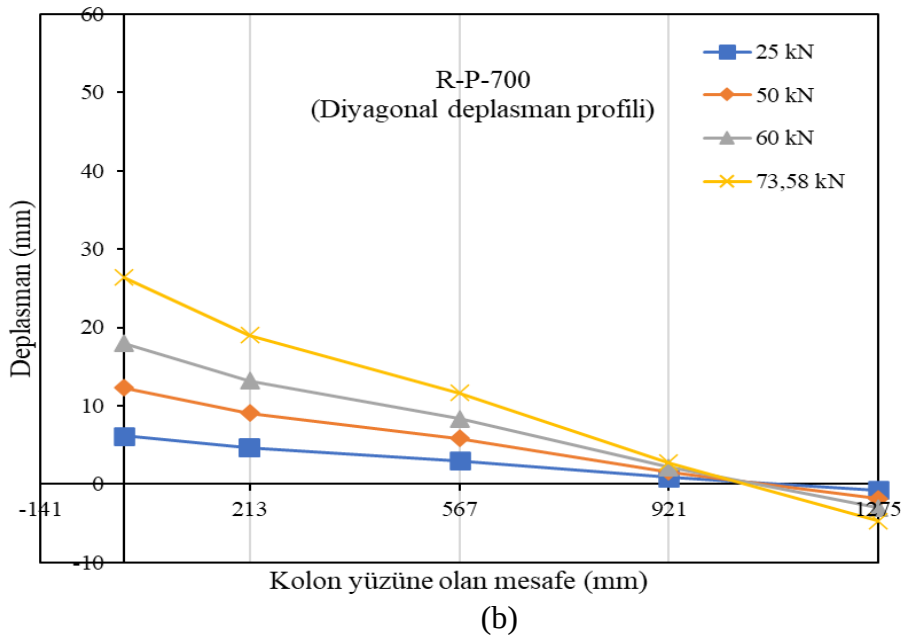
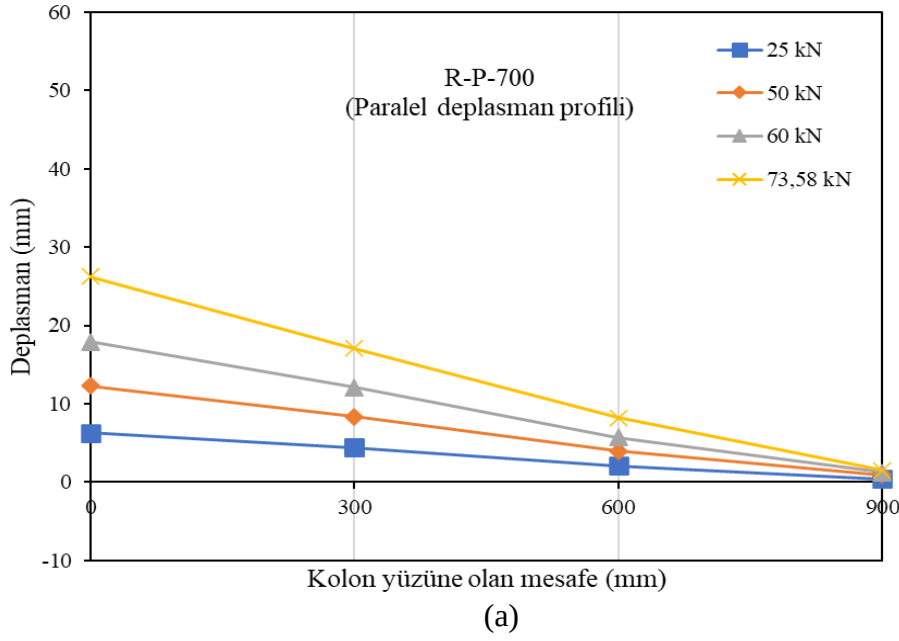
(a)



(b)

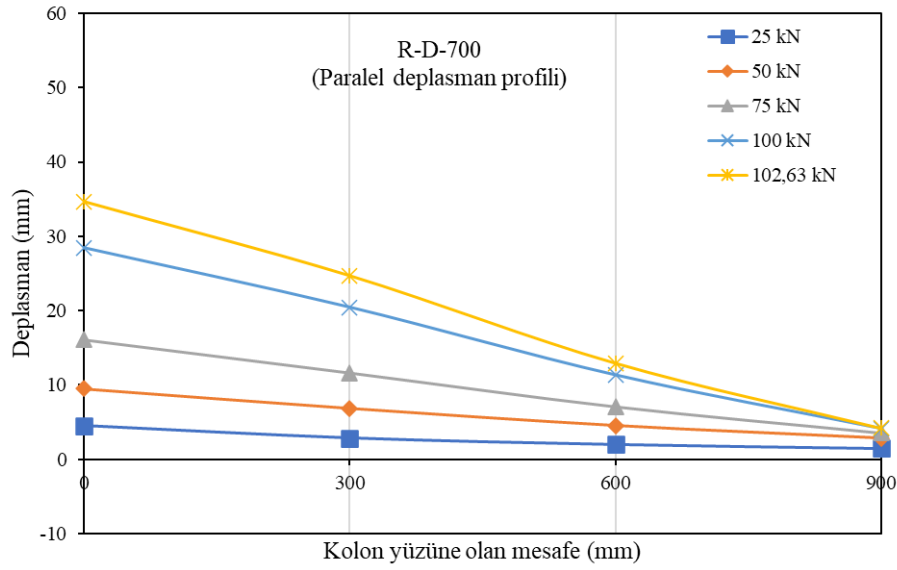
Şekil 3.27. R-B-500 deney elemanın (a) paralel ve (b) diyagonal deplasman profilleri

R-B-500 deney elemanına ait deplasman profilleri Şekil 3.27’de gösterilmiştir. Deplasman değerleri her iki yönde de 10 mm gibi oldukça küçük değerlerde kalmıştır. Paralel deplasman profili doğrusal bir davranış göstermiş ve kolona yaklaşıldıkça deplasman değerleri artmış, mesnetlere yaklaşıldığında da azalmıştır. Diyagonal deplasman profilinde ise bir dalgalanma görülsede en büyük deplasmanlar kolon çevresinde görülmüştür.

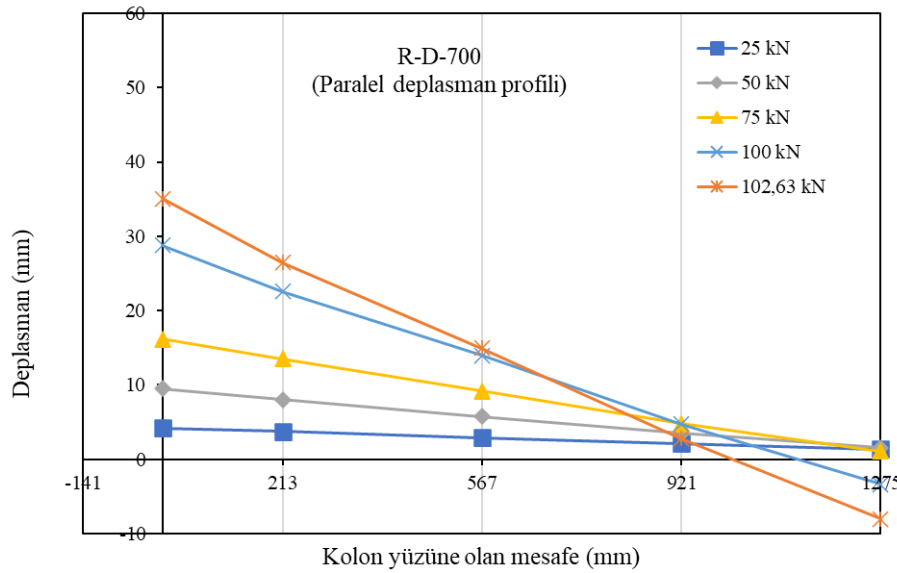


Şekil 3.28. R-P-700 deney elemanın (a) paralel ve (b) diyagonal deplasman profilleri

R-P-700 deney elemanına ait deplasman profilleri Şekil 3.28’de gösterilmiştir. Her iki yönde de deplasman profil çizgileri doğrusal bir davranış göstermiştir. Kolona yaklaşıldıkça deplasman değerleri artmış, mesnetlere yaklaşıldığında da azalmıştır. Diyagonal mesnette yükleme prosedürü başladığı andan itibaren bir kalkma gözlemlenmiş ve bu değer en büyük yükte yaklaşık 5 mm olarak ölçülmüştür.



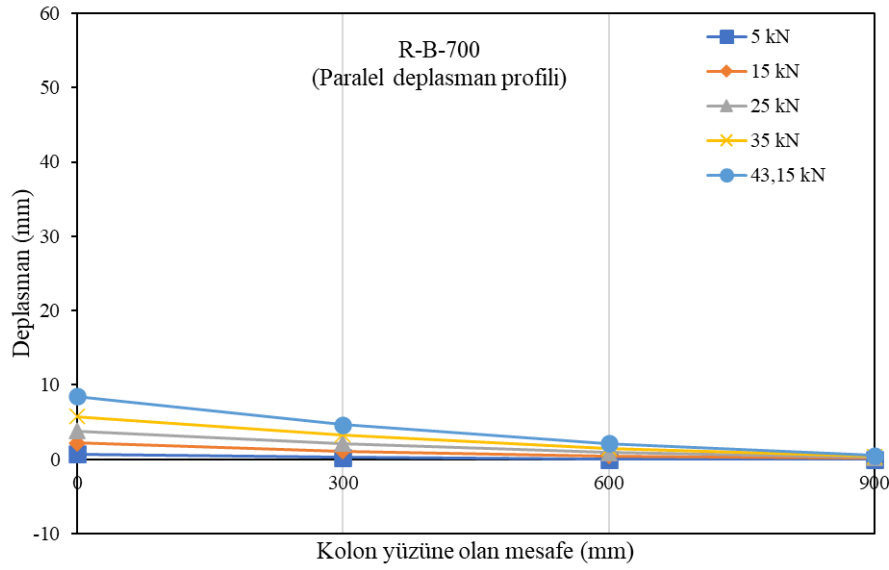
(a)



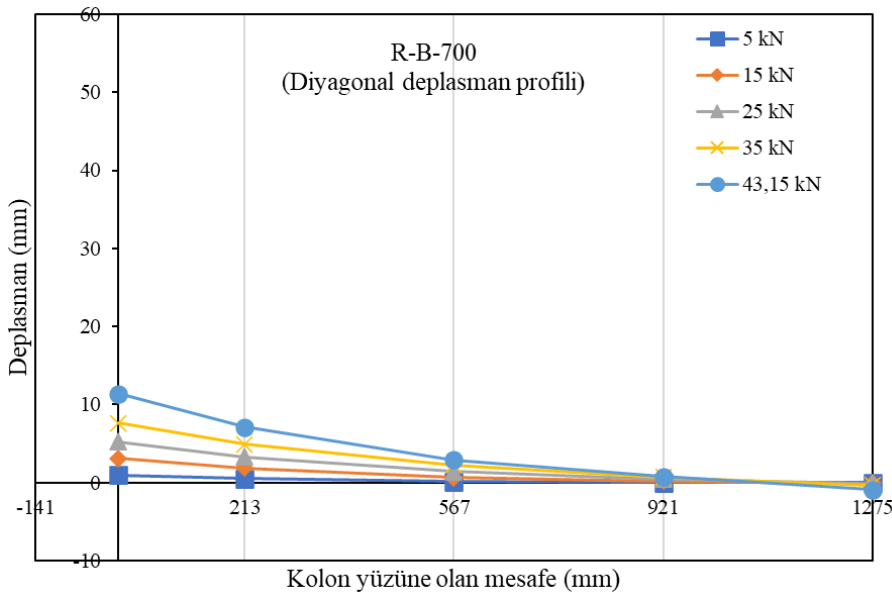
(b)

Şekil 3.29. R-D-700 deney elemanın (a) paralel ve (b) diyagonal deplasman profilleri

R-D-700 deney elemanına ait deplasman profilleri Şekil 3.29’da gösterilmiştir. Yük 75 kN değerini aştığında hem paralel hem de diyagonal yönde deplasmanlarda artış hızlanmıştır. Her iki yöndeki deplasman profil çizgileri doğrusal bir davranış göstermiştir ve kolona yaklaştıkça deplasman değerleri artmış, mesnetlere yaklaşıldığında da azalmıştır. En büyük yükte diyagonal yöndeki mesnet bölgesinde yaklaşık 8 mm kadar bir kalkma gözlemlenmiştir. Bu davranış, yükün 75 kN değerini aştığı andan itibaren gözlemlenmiştir. Paralel yöndeki mesnet bölgesinde ise ezilme etkisiyle pozitif deplasmanlar okunmuştur.



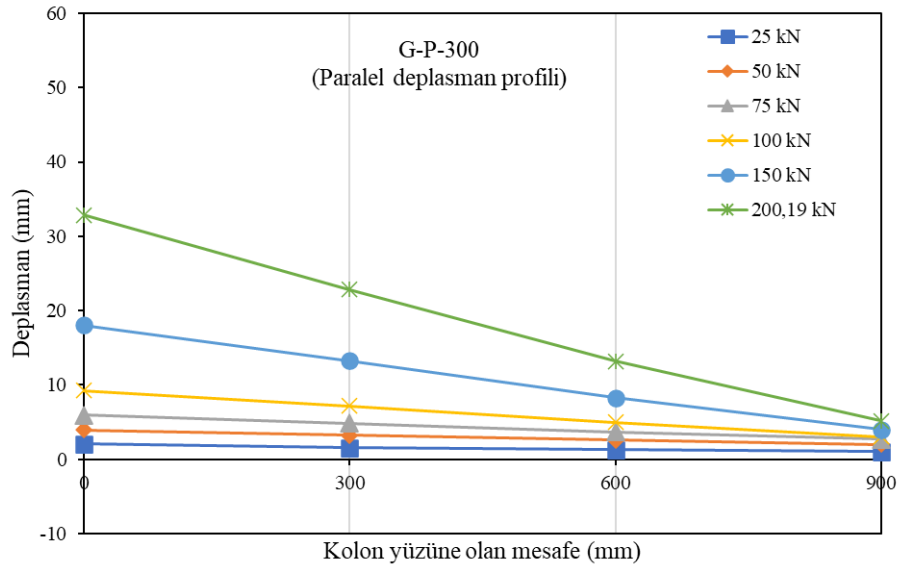
(a)



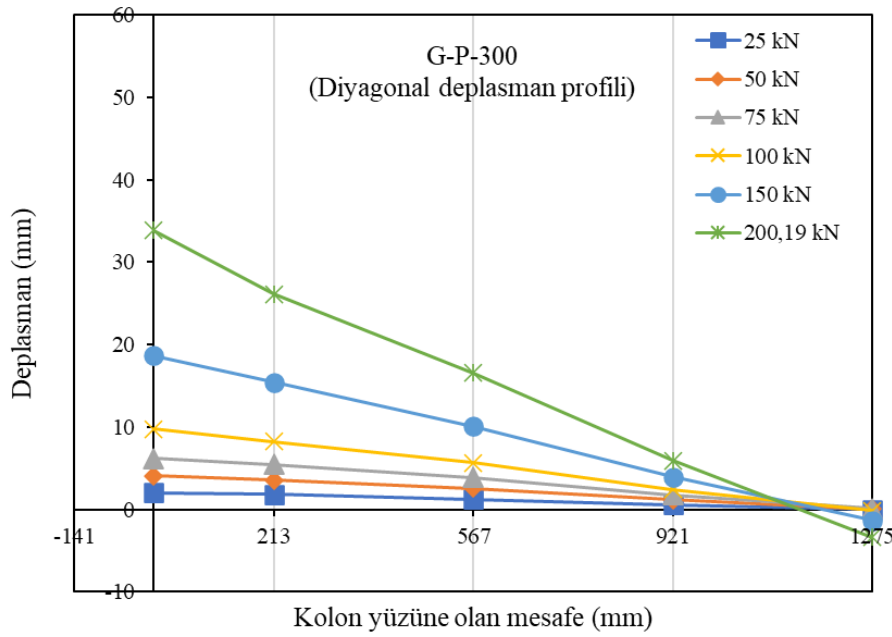
(b)

Şekil 3.30. R-B-700 deney elemanın (a) paralel ve (b) diyagonal deplasman profilleri

R-B-700 deney elemanına ait deplasman profilleri Şekil 3.30’da gösterilmiştir. Deplasman değerleri her iki yönde de 10 mm gibi oldukça küçük değerlerde kalmıştır. Her iki yöndeki deplasman profil çizgileri doğrusala yakın bir davranış göstermiştir. Ancak diyagonal deplasman profil çizgilerinin eğiminde kolona yaklaşıldığında boşluktan kaynaklı olarak bir artış görülmüştür. Genel itibariyle, kolona yaklaştıkça deplasman değerleri artmış, mesnetlere yaklaşıldığında da azalmıştır. En büyük yükte diyagonal yöndeki mesnet bölgesinde kalkma gözlemlenmiştir.



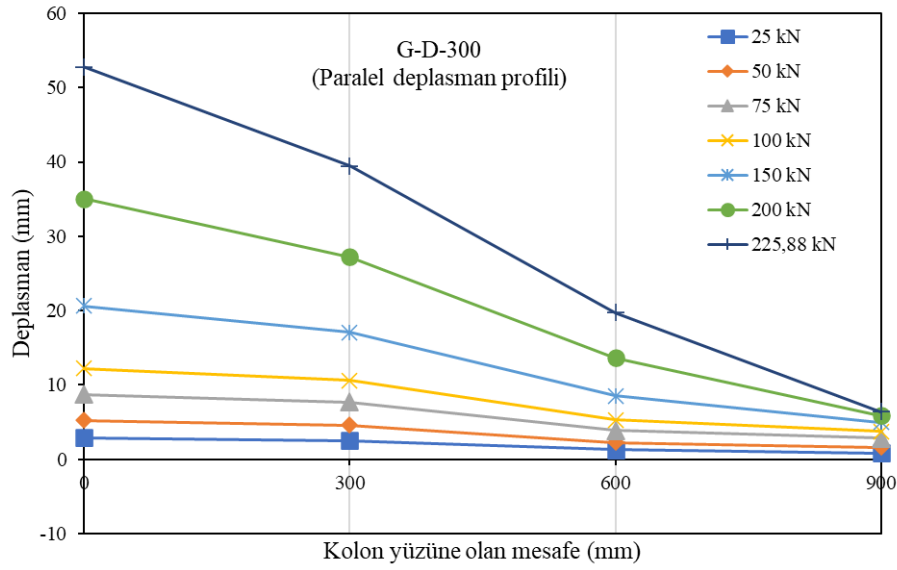
(a)



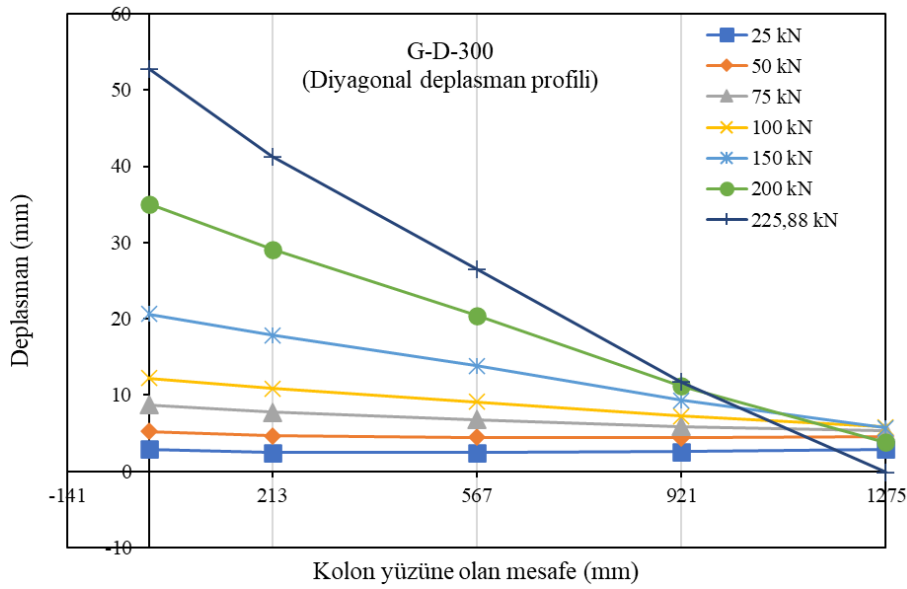
(b)

Şekil 3.31. G-P-300 deney elemanın (a) paralel ve (b) diyagonal deplasman profilleri

G-P-300 deney elemanına ait deplasman profilleri Şekil 3.31’de gösterilmiştir. Yük 100 kN değerini aştığında hem paralel hem de diyagonal yönde deplasmanlarda artış hızlanmıştır. Her iki yönde de deplasman profil çizgileri doğrusal bir davranış göstermiştir. Kolona yaklaşıldıkça deplasman değerleri artmış, mesnetlere yaklaşıldığında da azalmıştır. En büyük yükte diyagonal yöndeki mesnet bölgesinde yaklaşık 4 mm kadar bir kalkma gözlemlenmiştir. Paralel yöndeki mesnet bölgesinde ise ezilme etkisiyle pozitif deplasmanlar okunmuştur.



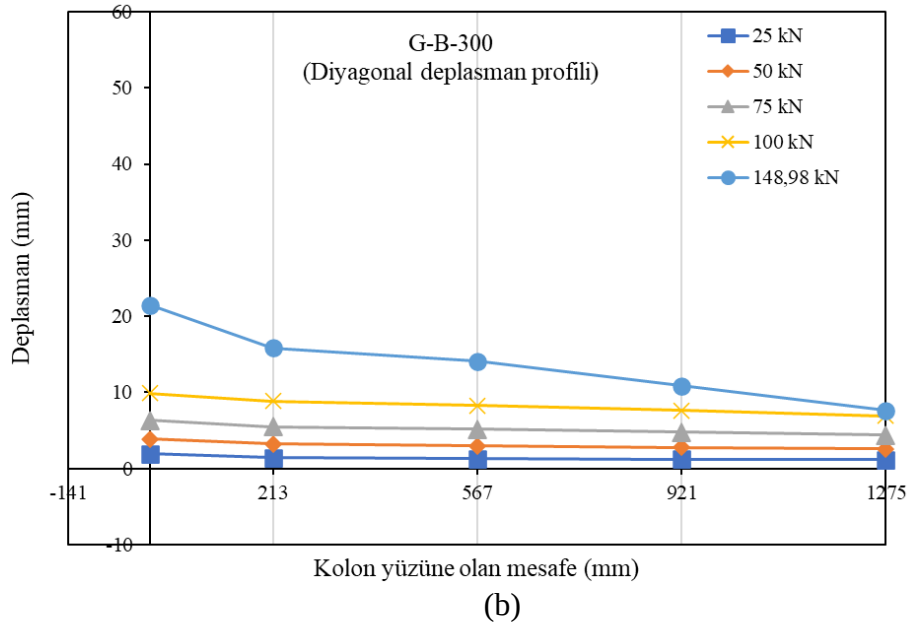
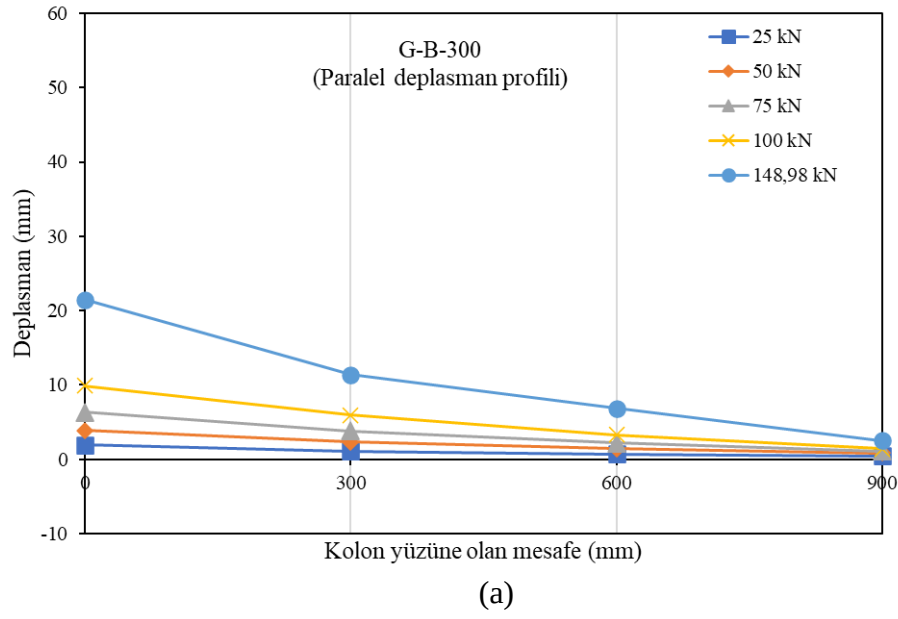
(a)



(b)

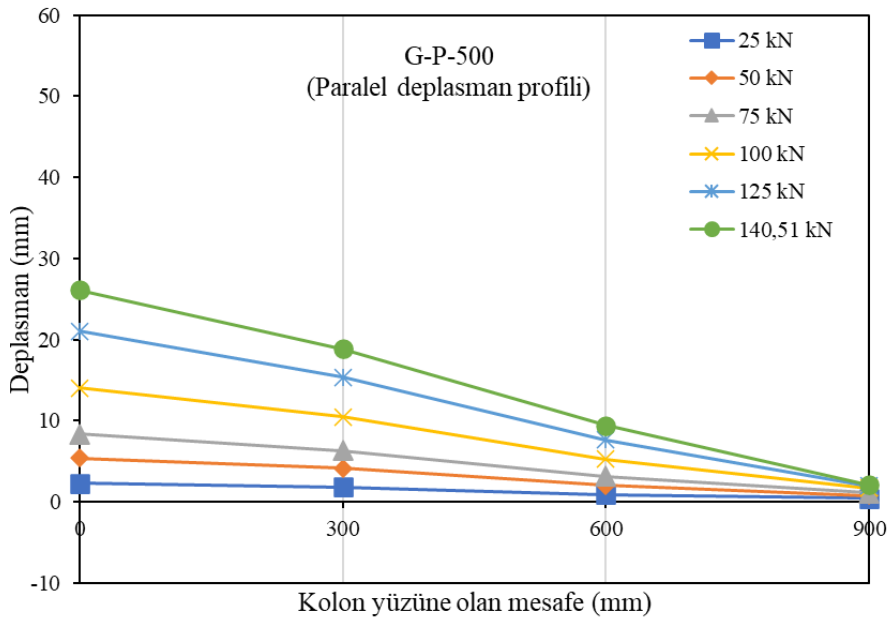
Şekil 3.32. G-D-300 deney elemanın (a) paralel ve (b) diyagonal deplasman profilleri

G-D-300 deney elemanına ait deplasman profilleri Şekil 3.32’de gösterilmiştir. Yük 100 kN değerini aştığında hem paralel hem de diyagonal yönde deplasmanlarda artış hızlanmıştır. Paralel deplasman profil çizgileri doğrusal bir davranış göstermemiş ve eğimi boşluk ile mesnetler arasında en büyük olmuştur. Diyagonal yönde ise deplasman profil çizgileri doğrusal bir davranış göstermiştir. Kolona yaklaştıkça deplasman değerleri artmış, mesnetlere yaklaşıldığında da azalmıştır. Diyagonal yöndeki mesnet bölgesinde bir kalkma gözlemlenmemiştir. Paralel yöndeki mesnet bölgesinde ise ezilme etkisiyle pozitif deplasmanlar okunmuştur.

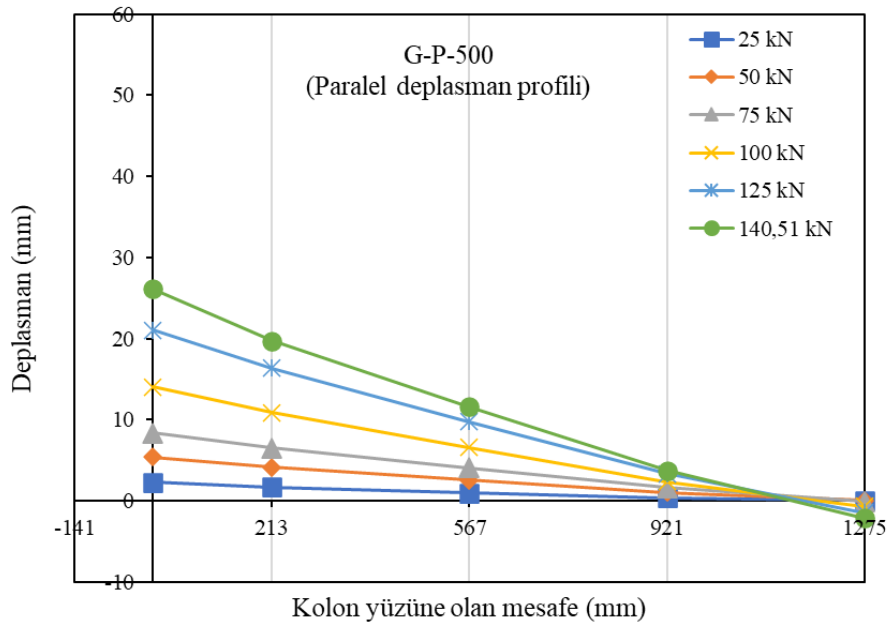


Şekil 3.33. G-B-300 deney elemanın (a) paralel ve (b) diyagonal deplasman profilleri

G-B-300 deney elemanına ait deplasman profilleri Şekil 3.33’te gösterilmiştir. Yük 75 kN değerini aştığında hem paralel hem de diyagonal yönde kolona yakın bölgede deplasmanlarda artış hızlanmıştır. Her iki yönde de deplasman profil çizgileri doğrusal bir davranış göstermiştir. Ancak bu davranış en büyük yük değerinde kolon çevresinde bozulmuş ve ani bir göçme görülmüştür. Genel itibariyle, kolona yaklaşıldıkça deplasman değerleri artmış, mesnetlere yaklaşıldığında da azalmıştır. Her iki yönde de mesnetlerde ezilme etkisiyle pozitif deplasmanlar okunmuştur.



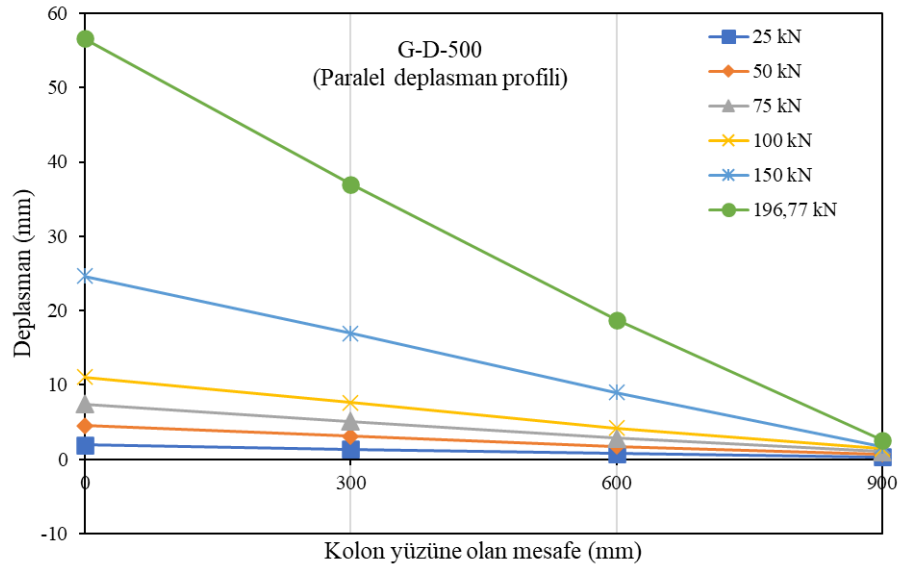
(a)



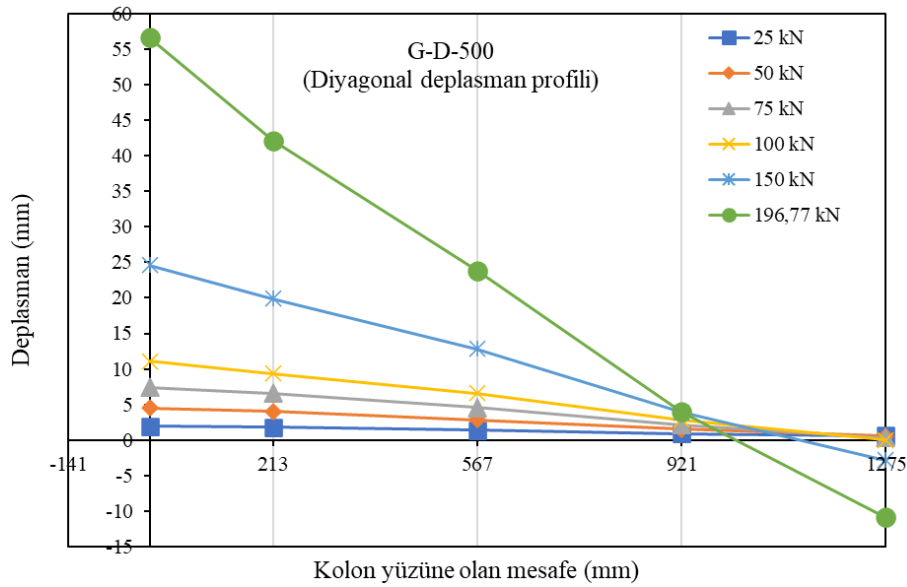
(b)

Şekil 3.34. G-P-500 deney elemanın (a) paralel ve (b) diyagonal deplasman profilleri

G-P-500 deney elemanına ait deplasman profilleri Şekil 3.34'te gösterilmiştir. Her iki yönde de deplasman profil çizgileri doğrusal bir davranış göstermiştir. Kolona yaklaşıldıkça deplasman değerleri artmış, mesnetlere yaklaşıldığında da azalmıştır. Diyagonal mesnette yükleme prosedürü başladığı andan itibaren bir kalkma gözlemlenmiş ve bu değer en büyük yükte yaklaşık 3 mm olarak ölçülmüştür.



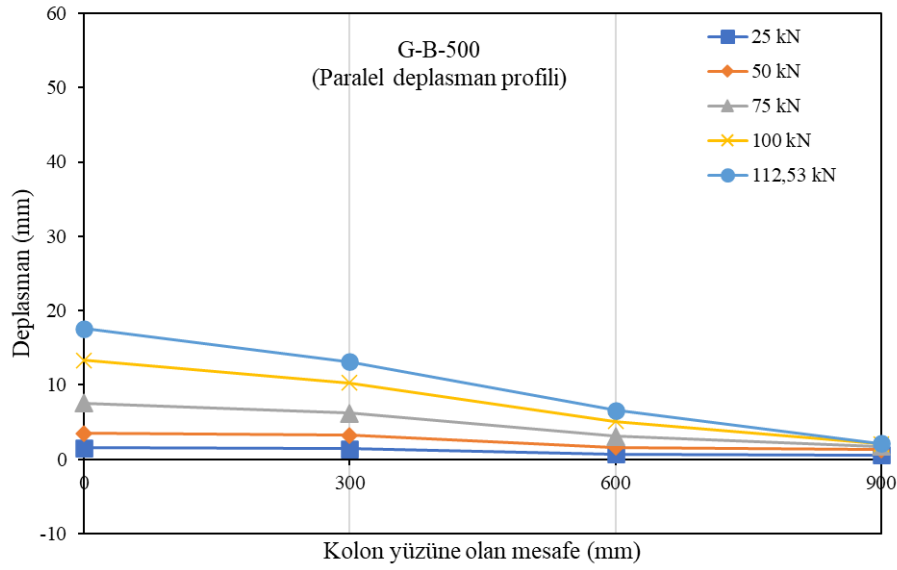
(a)



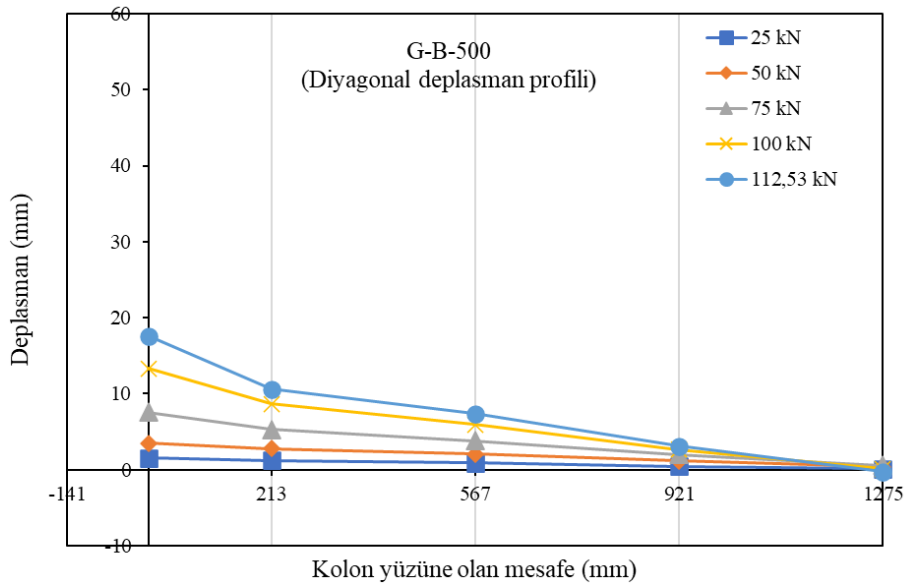
(b)

Şekil 3.35. G-D-500 deney elemanın (a) paralel ve (b) diyagonal deplasman profilleri

G-D-500 deney elemanına ait deplasman profilleri Şekil 3.35'te gösterilmiştir. Yük 100 kN değerini aştığında hem paralel hem de diyagonal yönde deplasmanlarda artış hızlanmıştır. Her iki yönde de deplasman profil çizgileri doğrusal bir davranış göstermiştir. Kolona yaklaştıkça deplasman değerleri artmış, mesnetlere yaklaşıldığında da azalmıştır. Diyagonal mesnette yükleme prosedürü başladığı andan itibaren bir kalkma gözlemlenmiş ve bu değer en büyük yükte yaklaşık 10 mm'yi aşmıştır.



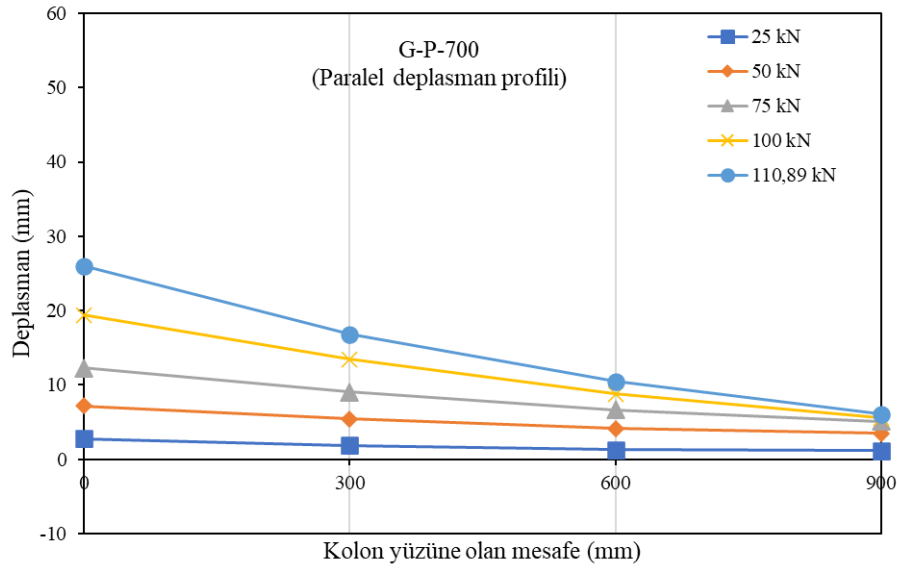
(a)



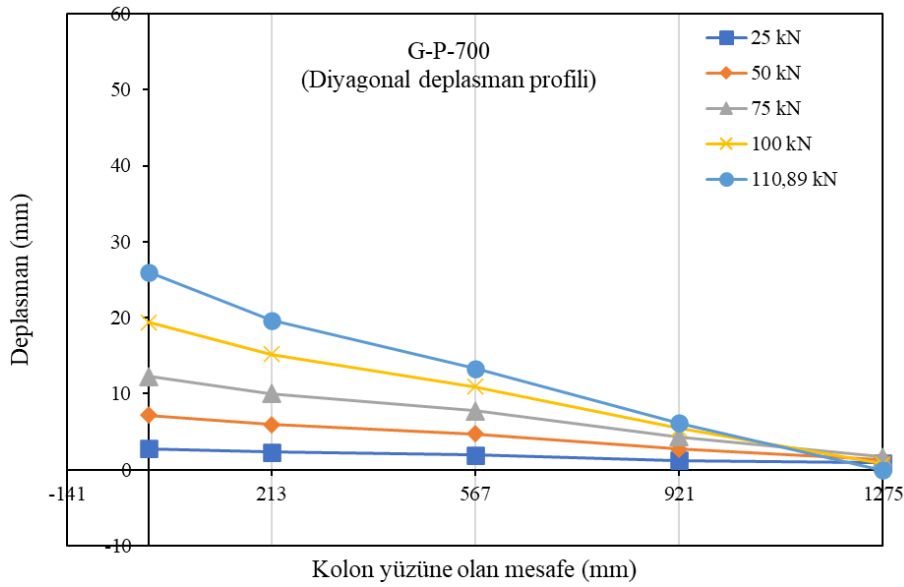
(b)

Şekil 3.36. G-B-500 deney elemanın (a) paralel ve (b) diyagonal deplasman profilleri

G-B-500 deney elemanına ait deplasman profilleri Şekil 3.36’da gösterilmiştir. Yük 75 kN değerini aştığında hem paralel hem de diyagonal yönde kolona yakın bölgede deplasmanlarda artış hızlanmıştır. Her iki yönde de deplasman profil çizgileri doğrusal bir davranış göstermiştir. Ancak bu davranış en büyük yük değerinde kolon çevresinde bozulmuş ve ani bir göçme görülmüştür. Genel itibariyle, kolona yaklaşıldıkça deplasman değerleri artmış, mesnetlere yaklaşıldığında da azalmıştır. Her iki yönde de mesnetlerde bir kalkma gözlemlenmemiştir.



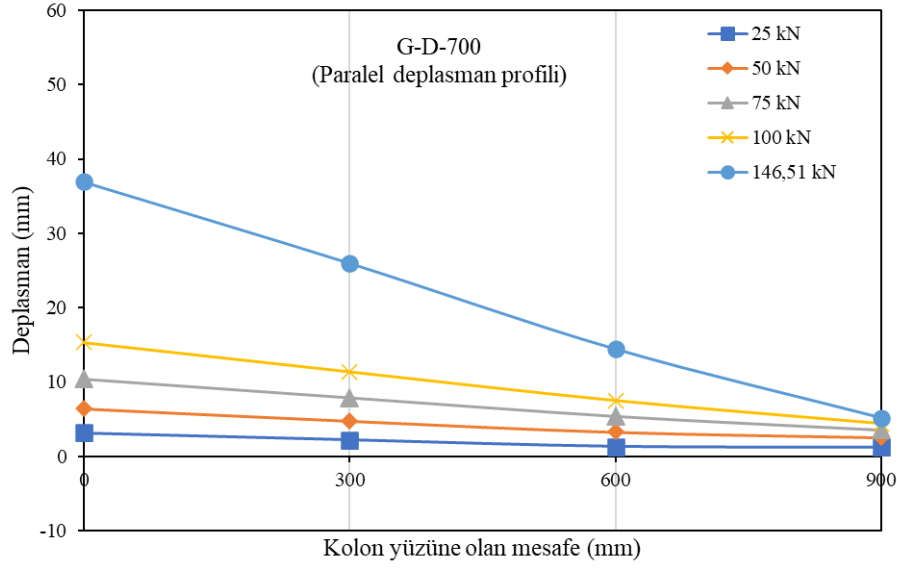
(a)



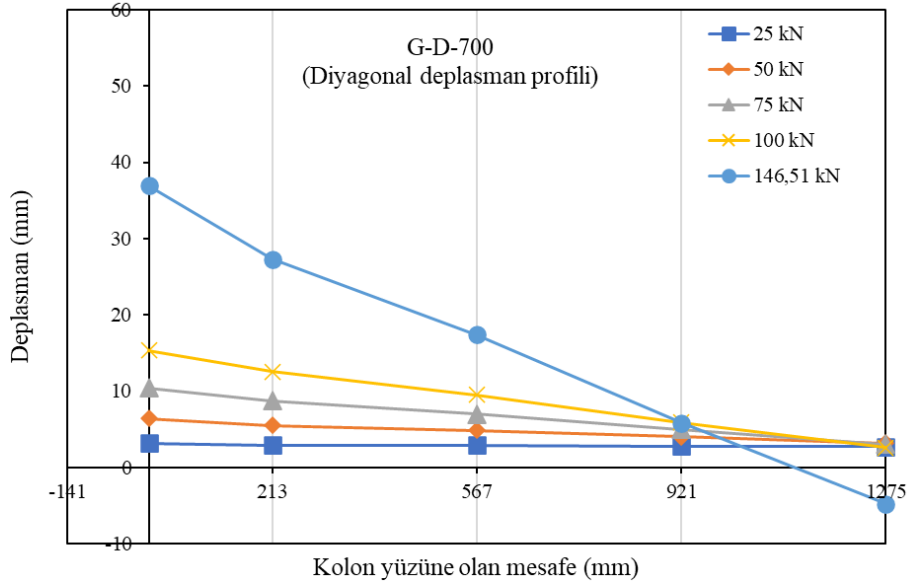
(b)

Şekil 3.37. G-B-500 deney elemanın (a) paralel ve (b) diyagonal deplasman profilleri

G-P-700 deney elemanına ait deplasman profilleri Şekil 3.37’de gösterilmiştir. Her iki yönde de deplasman profil çizgileri doğrusal bir davranış göstermiştir. Kolona yaklaşıldıkça deplasman değerleri artmış, mesnetlere yaklaşıldığında da azalmıştır. Mesnetlerde herhangi bir kalkma gözlemlenmemiştir. Paralel yöndeki mesnet bölgesinde, ezilme etkisiyle pozitif deplasmanlar okunmuştur.



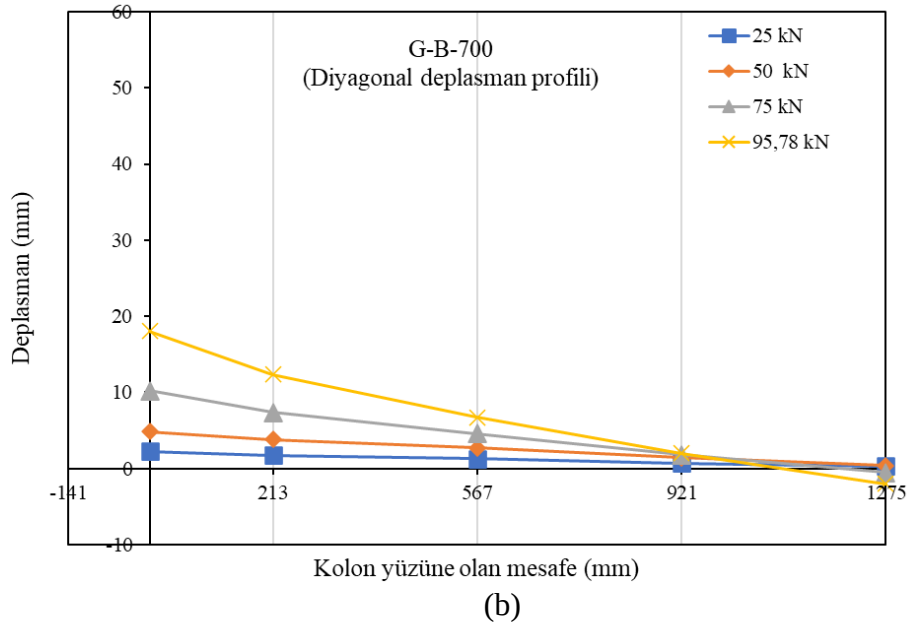
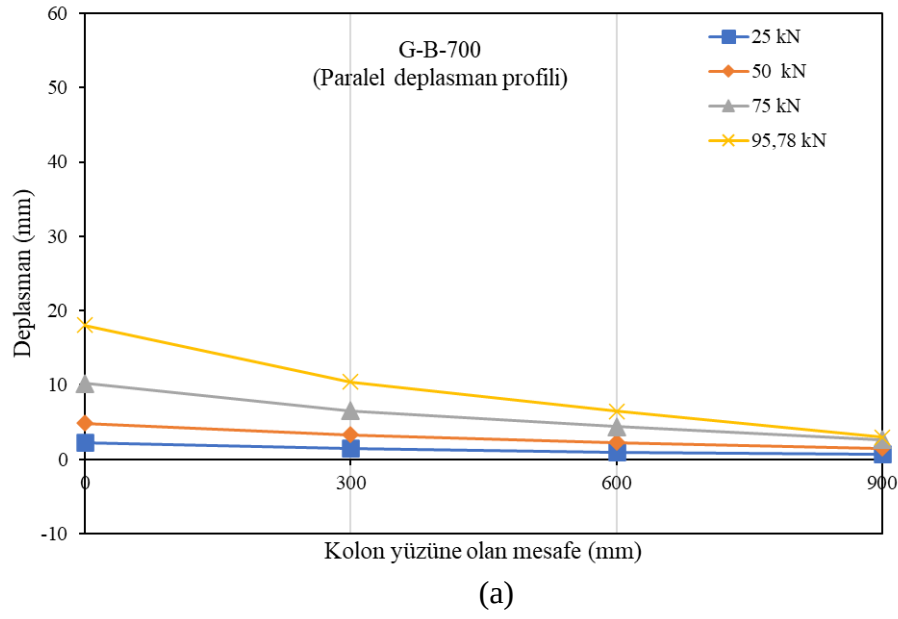
(a)



(b)

Şekil 3.38. G-D-700 deney elemanın (a) paralel ve (b) diyagonal deplasman profilleri

G-D-700 deney elemanına ait deplasman profilleri Şekil 3.38’de gösterilmiştir. Yük 100 kN değerini aştığında hem paralel hem de diyagonal yönde deplasmanlarda artış hızlanmıştır. Her iki yönde de deplasman profil çizgileri doğrusal bir davranış göstermiştir. Kolona yaklaştıkça deplasman değerleri artmış, mesnetlere yaklaşıldığında da azalmıştır. Diyagonal mesnette yükleme prosedürü başladığı andan itibaren bir kalkma gözlemlenmiş ve bu değer en büyük yükte yaklaşık 5 mm’yi aşmıştır. Paralel yöndeki mesnet bölgesinde ise ezilme etkisiyle pozitif deplasmanlar okunmuştur.

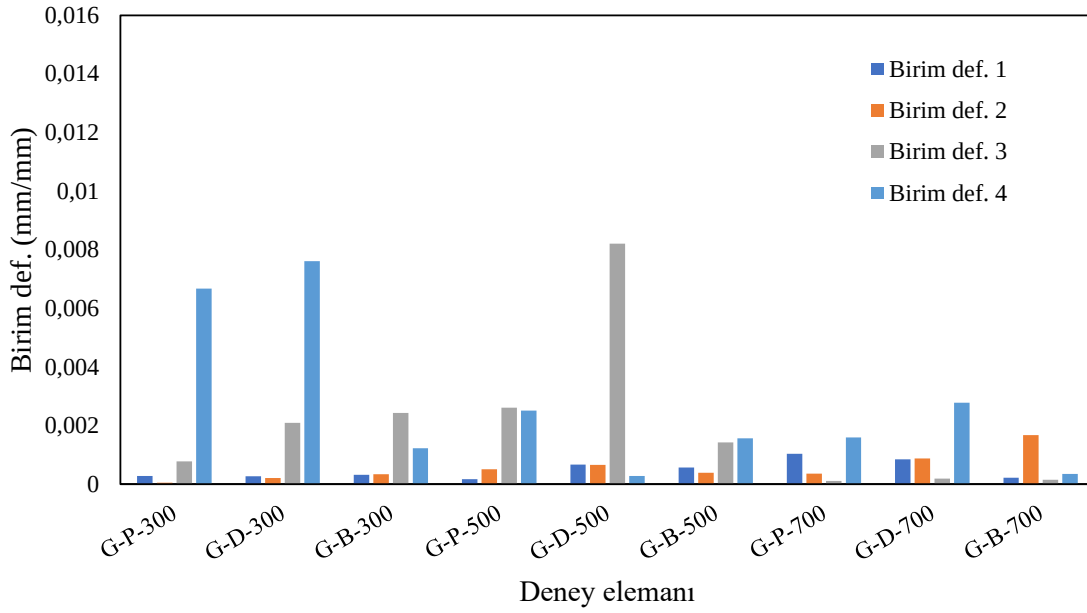


Şekil 3.39. G-B-700 deney elemanın (a) paralel ve (b) diyagonal deplasman profilleri

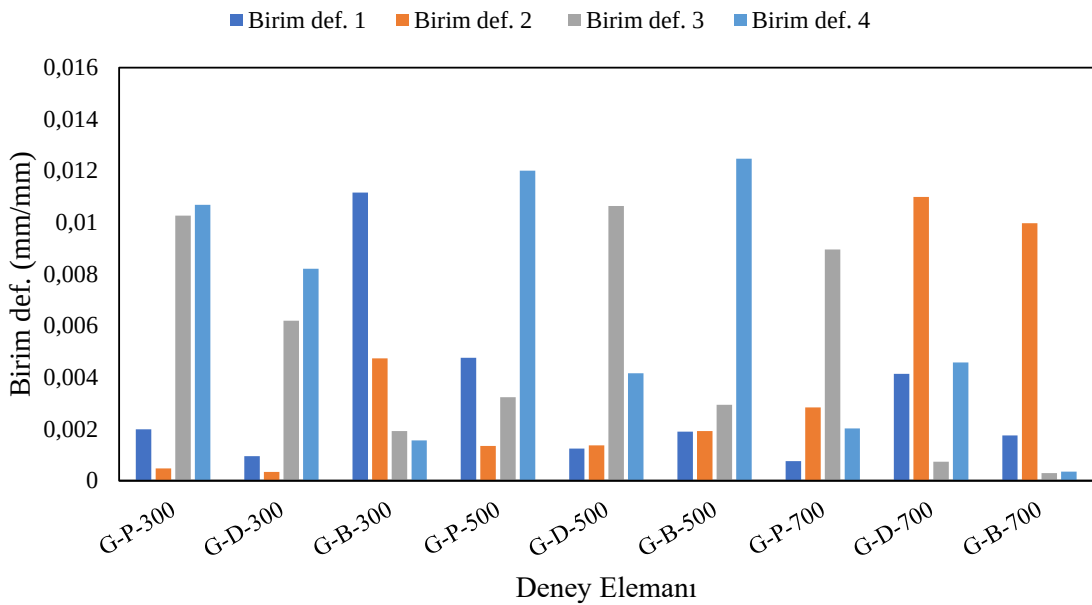
G-B-500 deney elemanına ait deplasman profilleri Şekil 3.39’da gösterilmiştir. Yük 50 kN değerini aştığında hem paralel hem de diyagonal yönde kolona yakın bölgede deplasmanlarda artış hızlanmıştır. Her iki yönde de deplasman profil çizgileri doğrusal bir davranış göstermiştir. Ancak bu davranış en büyük yük değerinde kolon çevresinde bir miktar bozulmuştur. Genel itibariyle, kolona yaklaşıldıkça deplasman değerleri artmış, mesnetlere yaklaşıldığında da azalmıştır. Diyagonal yöndeki mesnet bölgesinde kalkma gözlemlenmiştir.

3.1.4. Birim deformasyon değerleri

Şekil 2.12’de gösterilen konumlardan her bir deney elemanı için kolon çevresinde bulunan TGSK şeritleri üzerinden 4 adet birim deformasyon ölçümü yapılmıştır. Alınan ölçümlerden yararlanarak en büyük yükteki birim deformasyon değerleri Şekil 3.40’ta ve en büyük birim deformasyon değerleri Şekil 3.41’de gösterilmektedir.



Şekil 3.40. En büyük yükteki birim deformasyon değerleri



Şekil 3.41. En büyük birim deformasyon değerleri

3.1.5. Çatlak dağılımı ve göçme modları

Deney sonrasında deney elemanlarının çekme ve basınç bölgelerinde oluşan çatlak dağılımlarına ve göçme modlarına ilişkin görseller Resim 3.1-Resim 3.19’da verilmiştir. Bu görsellere ait bilgiler referans deney elemanları ve güçlendirilmiş deney elemanları olmak üzere iki kısımda verilmiştir.

Referans deney elemanlarının çatlak dağılımı ve göçme modları

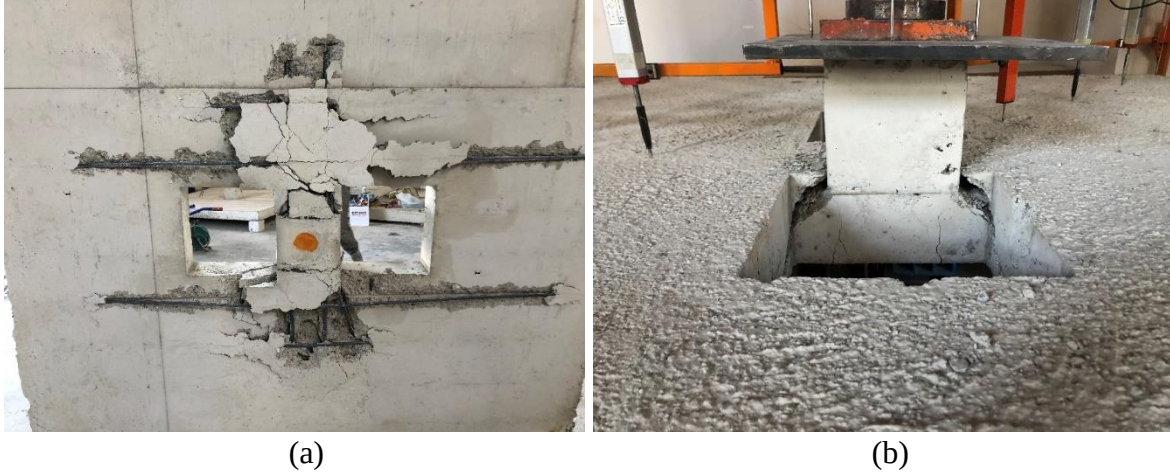
R0 deney elemanının çekme ve basınç bölgelerinin çatlak dağılımı Resim 3.1’de gösterilmiştir. R0 deney elemanında boşluk bulunmadığı için klasik bir zımbalama göçmesi gözlemlenmiştir. Öncelikle çekme bölgesinde kolon çevresinde kılcal çatlaklar oluşmaya başlamış ve yük arttıkça bu çatlaklar kolon köşelerinden deney elemanının köşelerine doğru ilerlemiştir. Yük artmaya devam ettikçe çatlaklar kolon ile deney elemanının kenarları arasında kalan bölgenin orta bölgelerinde yoğunlaşarak dallanmaya ve büyümeye başlamıştır. Deney elemanı zımbalama kapasitesine ulaştığında ani bir yük kaybı ile gevrek şekilde göçmüştür. Basınç bölgesinde kolonun oturması gözlemlenmiş ve herhangi bir çatlak oluşmamıştır.



Resim 3.1. R0 deney elemanının (a) çekme ve (b) basınç bölgelerinin çatlak dağılımı

R-P-300 deney elemanının çekme ve basınç bölgelerinin çatlak dağılımı Resim 3.2’de gösterilmiştir. R-P-300 deney elemanında öncelikle kolon altında küçük kılcal çatlaklar gözlemlenmiştir. Daha sonra boşluklara dik yönde 45 derece açılarla kesme çatlakları oluşmuştur. Kesme çatlakları boşluklara zıt yönde kolona bitişik olarak başlamış ve boşluk

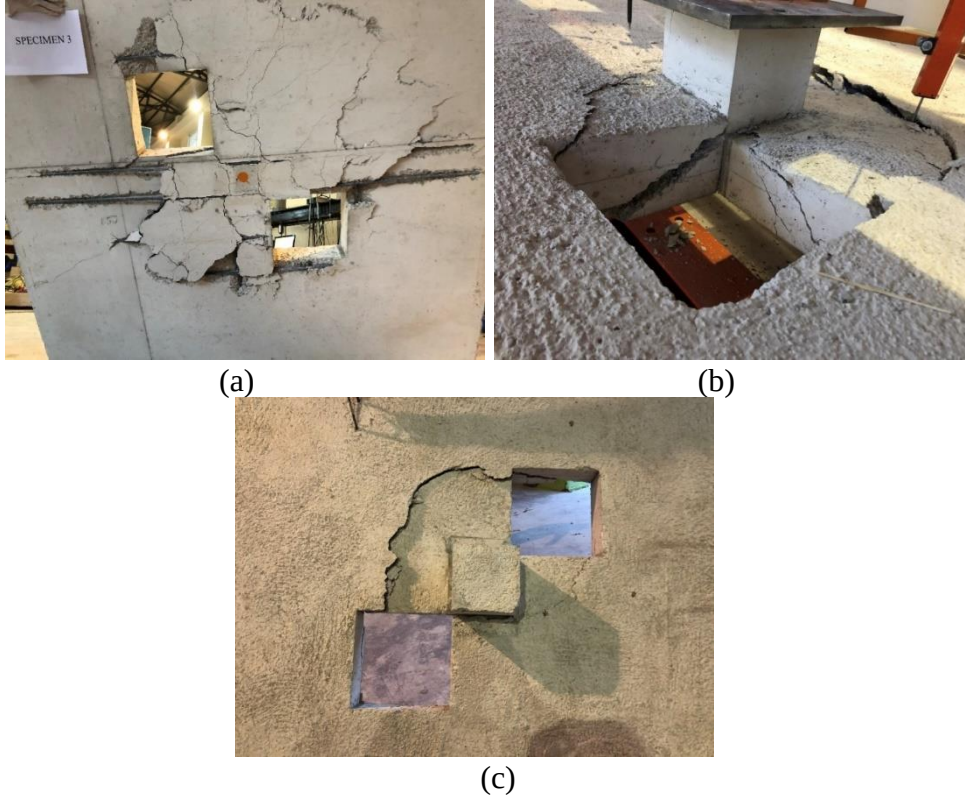
kenarının dörtte birlik mesafesinden geçerek kolon ve mesnet arasında kalan bölgenin ortasına doğru ilerlemiştir. Deney elemanının köşe noktalarında yükleme doğrultusuna zıt yönde kalkma gözlemlenmiştir. Çatlaklar bu aşamadan sonra büyümüş ve deney elemanın zımbalama kapasitesi aşılarak gevrek göçme meydana gelmiştir. R-P-300 deney elemanının basınç bölgesinde önemli bir çatlak gözlemlenmemiştir.



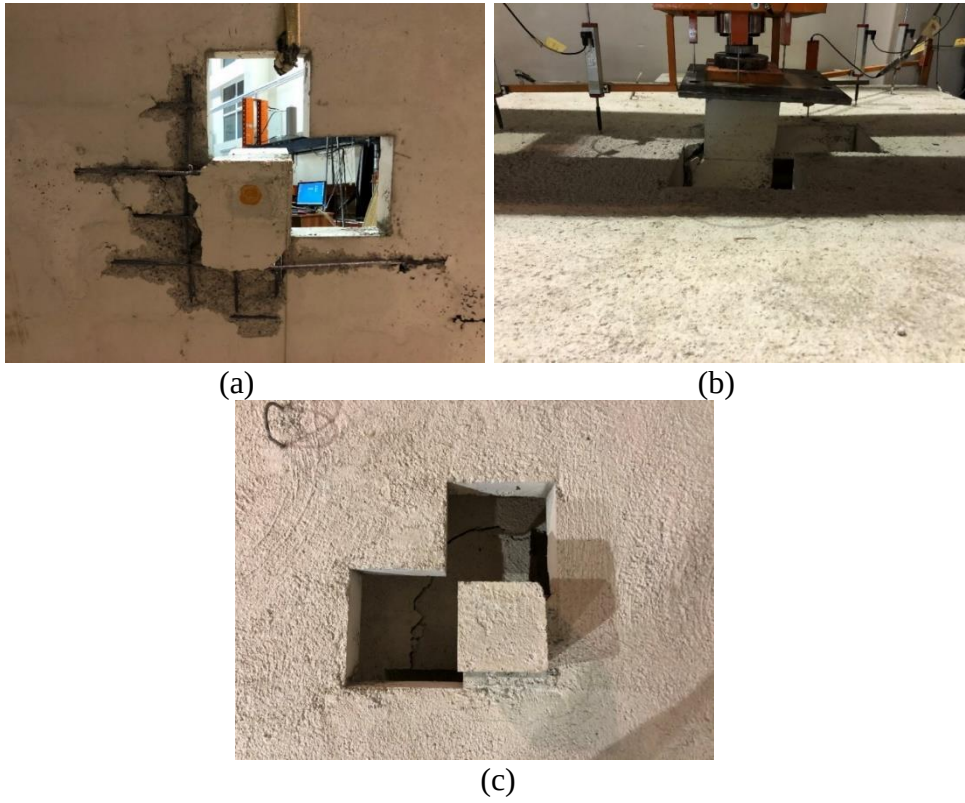
Resim 3.2. R-P-300 deney elemanının (a) çekme ve (b) basınç bölgelerinin çatlak dağılımı

R-D-300 deney elemanının çekme, perspektif ve basınç bölgelerinin çatlak dağılımı Resim 3.3'te gösterilmiştir. R-D-300 deney elemanında R-P-300'göre daha büyük bir zımbalama çevresi meydana gelmiştir. Çatlaklar öncelikle çekme bölgesinde kolon çevresinde ve kolon köşesinden döşeme köşelerine doğru kılcal boyutlarda ilerlemiştir. Zımbalama göçmesi sırasında boşlukların dış köşe noktalarının arasında büyük çatlaklar oluşmuştur. Deney elemanının basınç bölgesinde boşluklar arasında çatlaklar oluşmuştur.

R-B-300 deney elemanının çekme, perspektif ve basınç bölgelerinin çatlak dağılımı Resim 3.4'te gösterilmiştir. Aynı boşluk büyüklüğüne sahip referans deney elemanları ile kıyaslandığında R-B-300'ün zımbalama çevresinin en küçük olduğu görülmüştür. Çatlaklar öncelikle döşemenin alt yüzeyinde kolon altından ve kolon köşesinden döşeme köşelerine doğru kılcal boyutlarda ilerlemiştir. Zımbalama davranışı sırasında boşlukların kolon ile birleştiği köşelerden itibaren boşluk bulunmayan kolon çevresinde büyük kesme çatlakları oluşmuş ve gevrek bir göçme meydana gelmiştir. Önemli gözlemlerden biri ise kolon simetrik olarak göçmemiş boşluğa bitişik olan kenarlarda daha büyük deplasmanlar oluşmuştur. Döşemenin üst yüzeyinde önemli bir çatlak gözlemlenmemiştir.

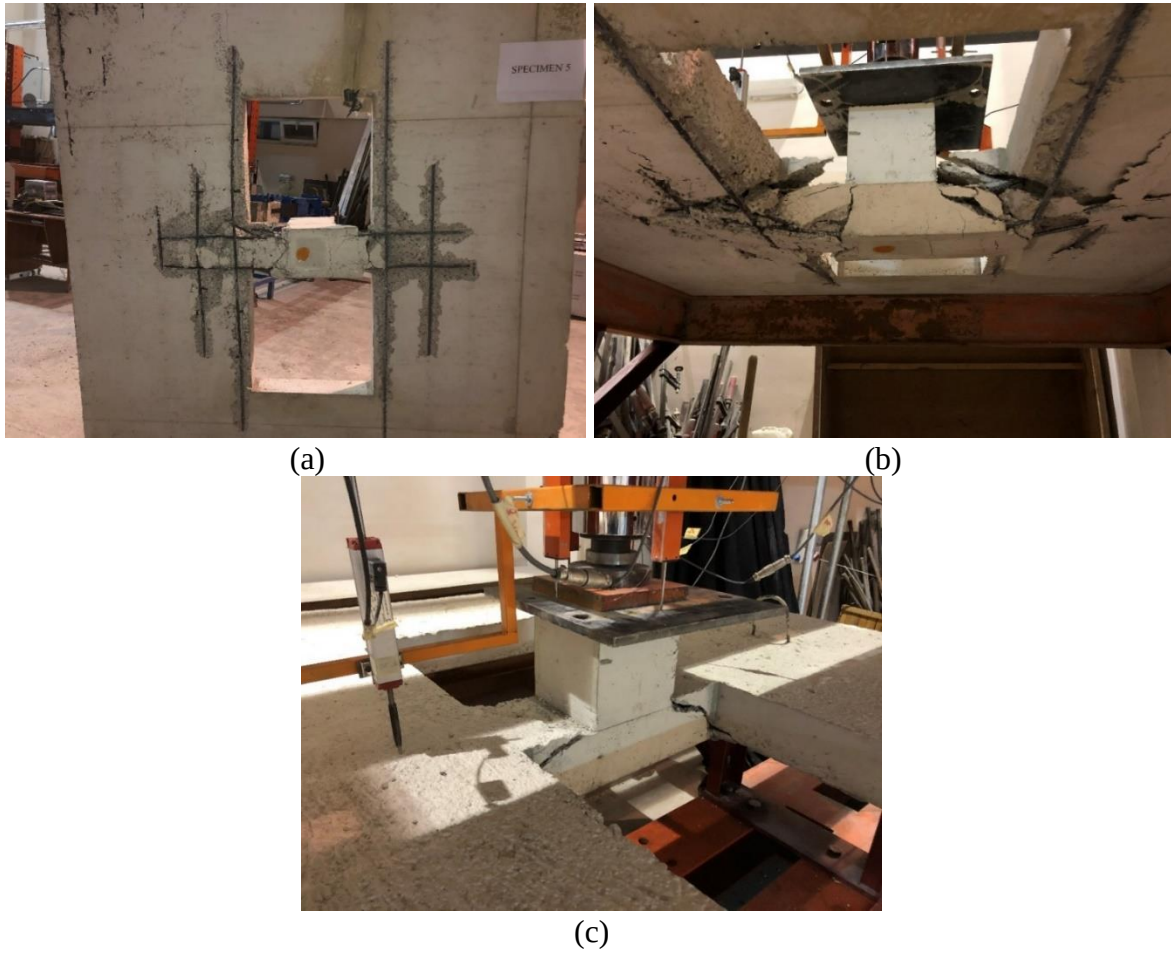


Resim 3.3. R-D-300 deney elemanın (a) çekme, (b) perspektif ve (c) basınç bölgelerinin çatlak dağılımı



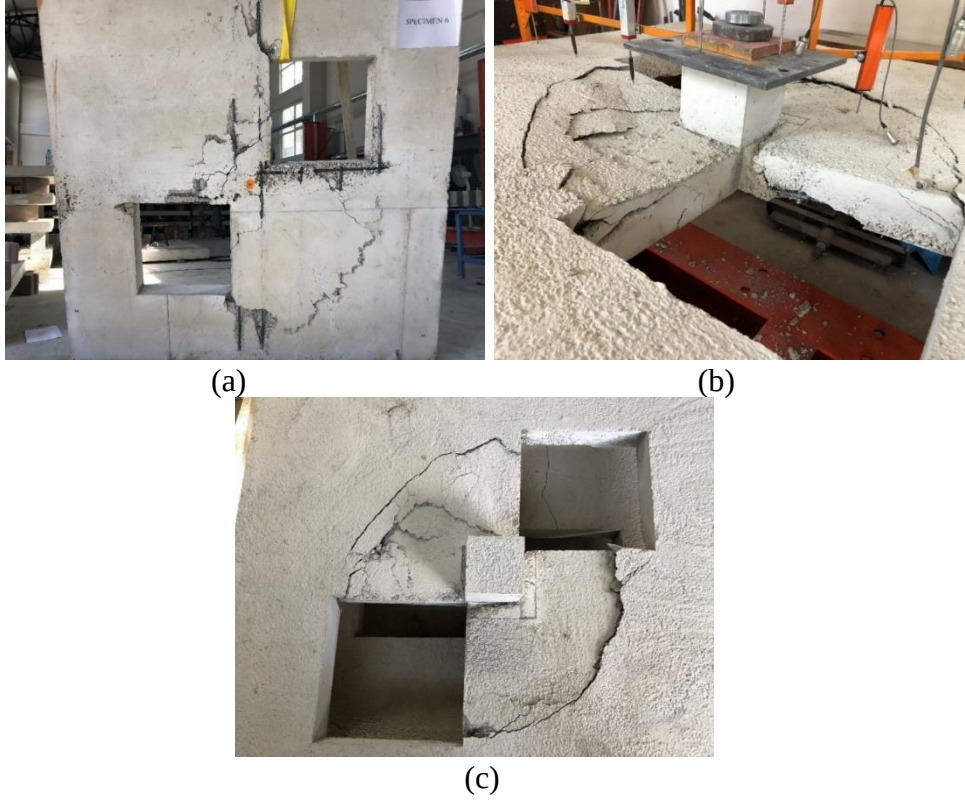
Resim 3.4. R-B-300 deney elemanın (a) çekme, (b) perspektif ve (c) basınç bölgelerinin çatlak dağılımı

R-P-500 deney elemanının çekme, perspektif ve basınç bölgelerinin çatlak dağılımı Resim 3.5'te gösterilmiştir. R-P-500'ün zımbalama davranışı ve çatlak dağılımı R-P-300'e benzer şekilde meydana gelmiştir. Ancak kesme çatlakları boşluklara zıt yönde kolona bitişik olarak başlamış ve boşluk köşelerinden geçerek kolon ve mesnet arasında kalan bölgenin ortasına doğru ilerlemiştir. Deney elemanının basınç bölgesinde önemli bir çatlak gözlemlenmemiştir.

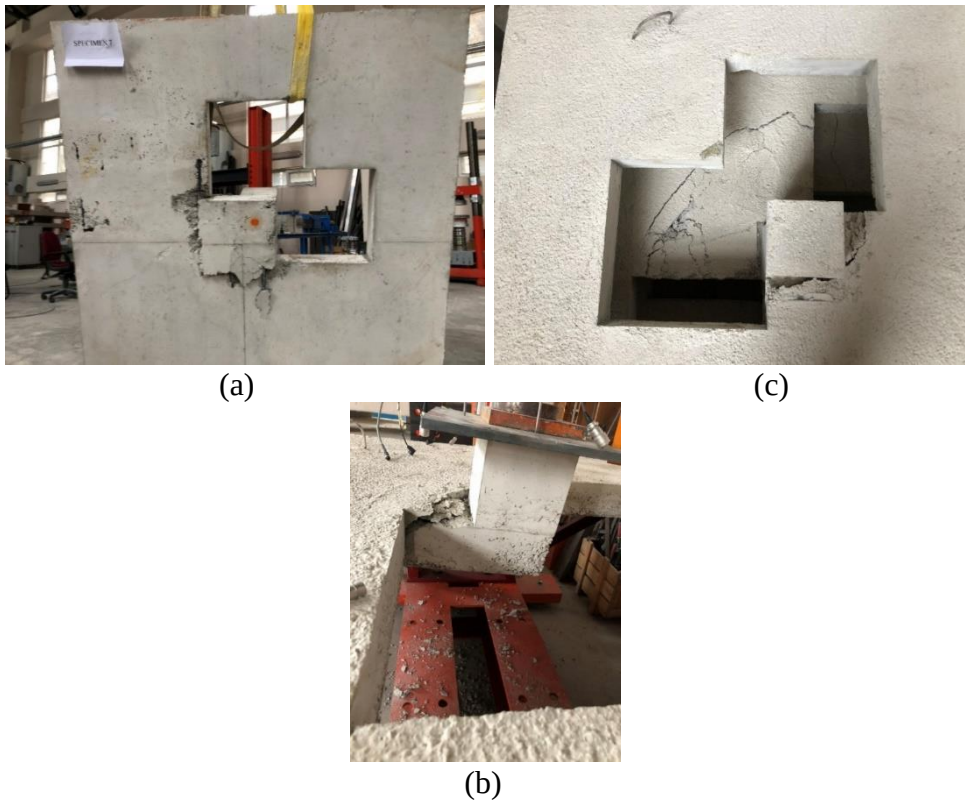


Resim 3.5. R-P-500 deney elemanının (a) çekme, (b) perspektif ve (c) basınç bölgelerinin çatlak dağılımı

R-D-500 deney elemanının çekme, perspektif ve basınç bölgelerinin çatlak dağılımı Resim 3.6'da gösterilmiştir. R-D-500 deney elemanında meydana gelen zımbalama göçme mekanizması ve çatlak dağılımı R-D-300 deney elemanı ile benzerlik gösterdiği gözlemlenmiştir. Ancak zımbalama göçmesi sırasında R-D-300 deney elemanına göre yük kaybı oldukça az olmuş ve döşeme eğilme davranışı göstermeye başlamıştır. Bu deney elemanının zımbalama çevresinin R-P-500 deney elemanına göre daha büyük olduğu görülmüştür ve basınç bölgesinde boşluklar arasında çatlaklar oluşmuştur.



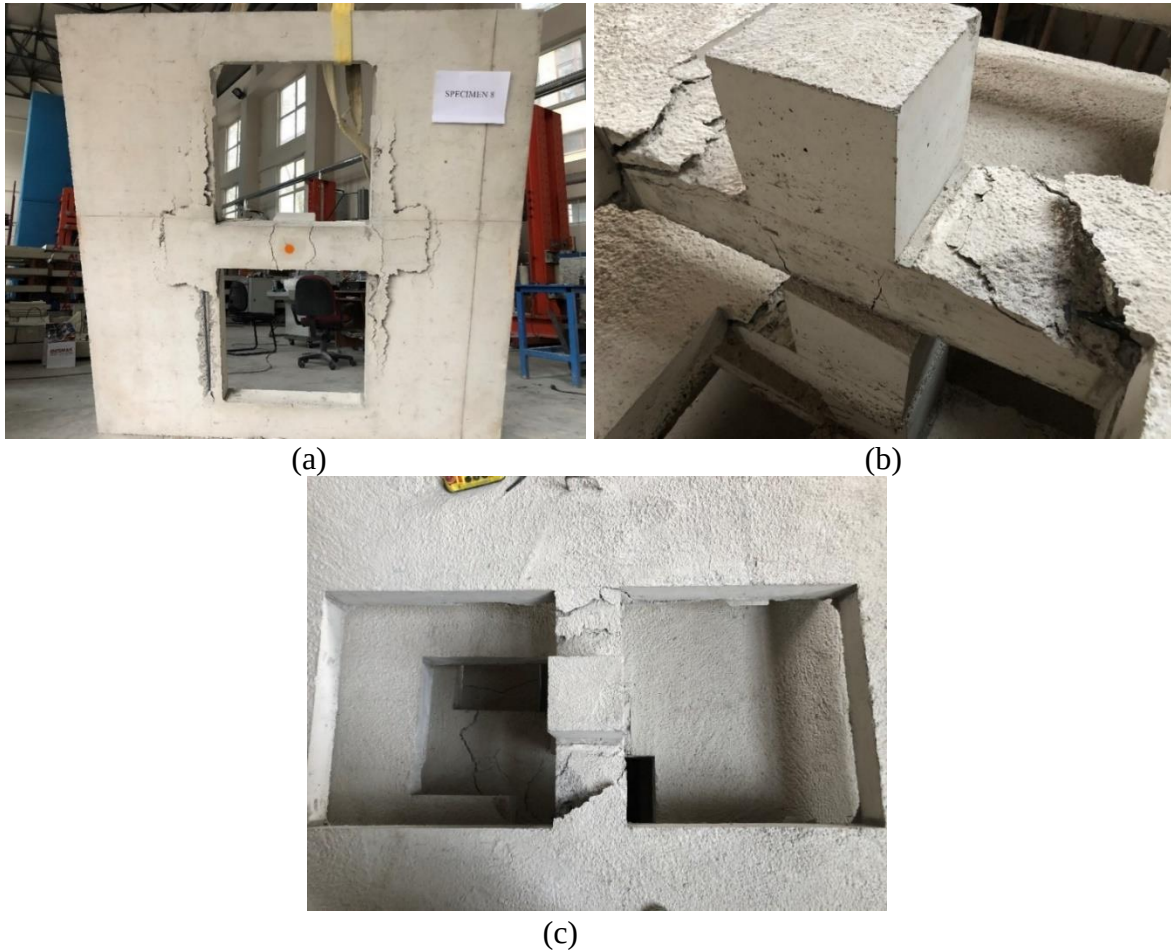
Resim 3.6. R-D-500 deney elemanının (a) çekme, (b) perspektif ve (c) basınç bölgelerinin çatlak dağılımı



Resim 3.7. R-B-500 deney elemanının (a) çekme, (b) perspektif ve (c) basınç bölgelerinin çatlak dağılımı

R-B-500 deney elemanının çekme, perspektif ve basınç bölgelerinin çatlak dağılımı Resim 3.7’de gösterilmiştir. R-B-500 deney elemanında meydana gelen çatlak dağılımı R-B-300’dekine benzer şekilde meydana gelmiştir. R-B-500 deney elemanında meydana gelen zımbalama çevresi R-P-500 ve R-D-500’e göre daha küçük olduğu gözlenmiştir. Numune-7 deney elemanının mesnet bölgelerinde yükleme yönünün tersi yönde kalkmalar meydana gelmiştir. Basınç bölgesinde her iki boşluk ve kolon köşesinde çatlaklar oluşmuştur.

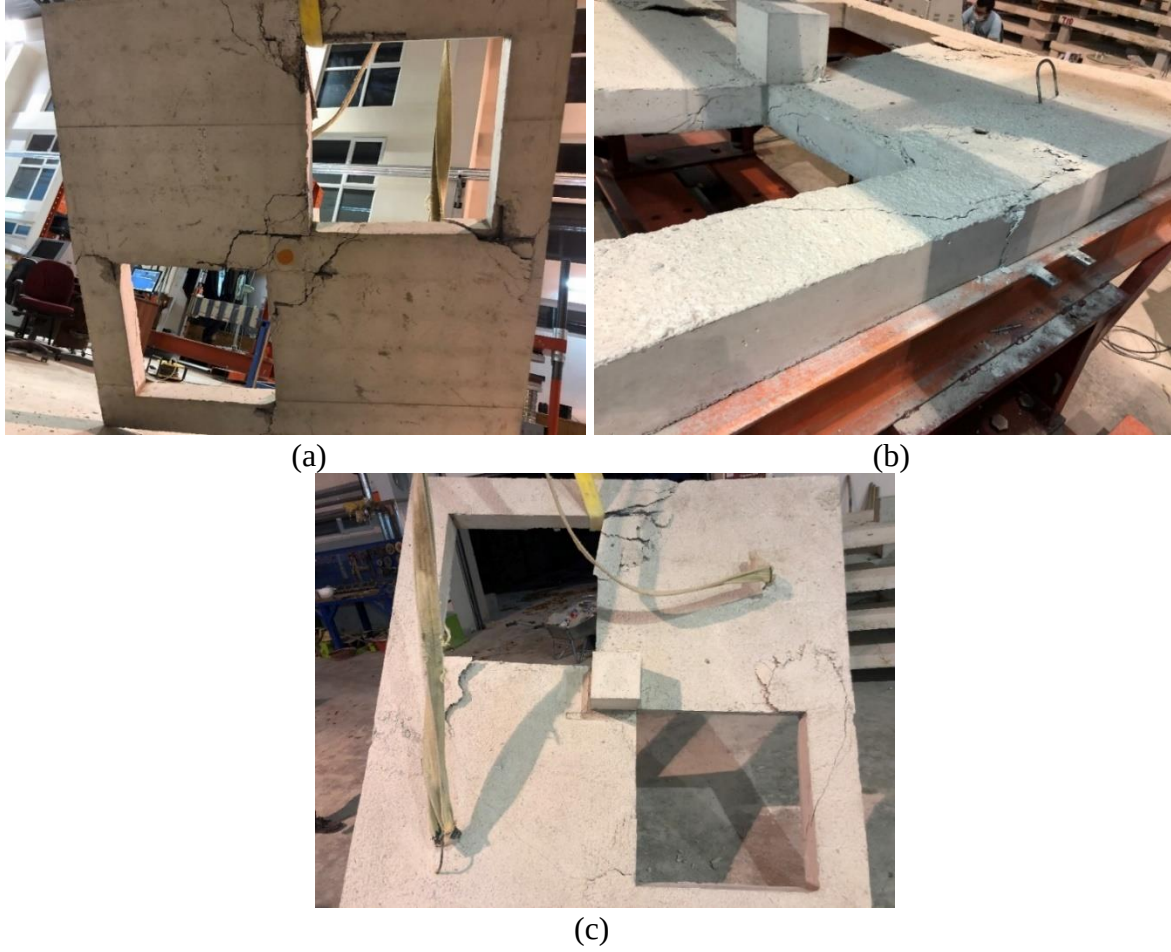
R-P-700 deney elemanının çekme, perspektif ve basınç bölgelerinin çatlak dağılımı Resim 3.8’de gösterilmiştir. R-P-700 deney elemanında gözlemlenen zımbalama göçme mekanizması ve çatlak dağılımı R-P-500’deki ile benzerdir. Deney elemanında basınç bölgesinde önemli bir çatlak gözlemlenmemiştir.



Resim 3.8. R-P-700 deney elemanının (a) çekme, (b) perspektif ve (c) basınç bölgelerinin çatlak dağılımı

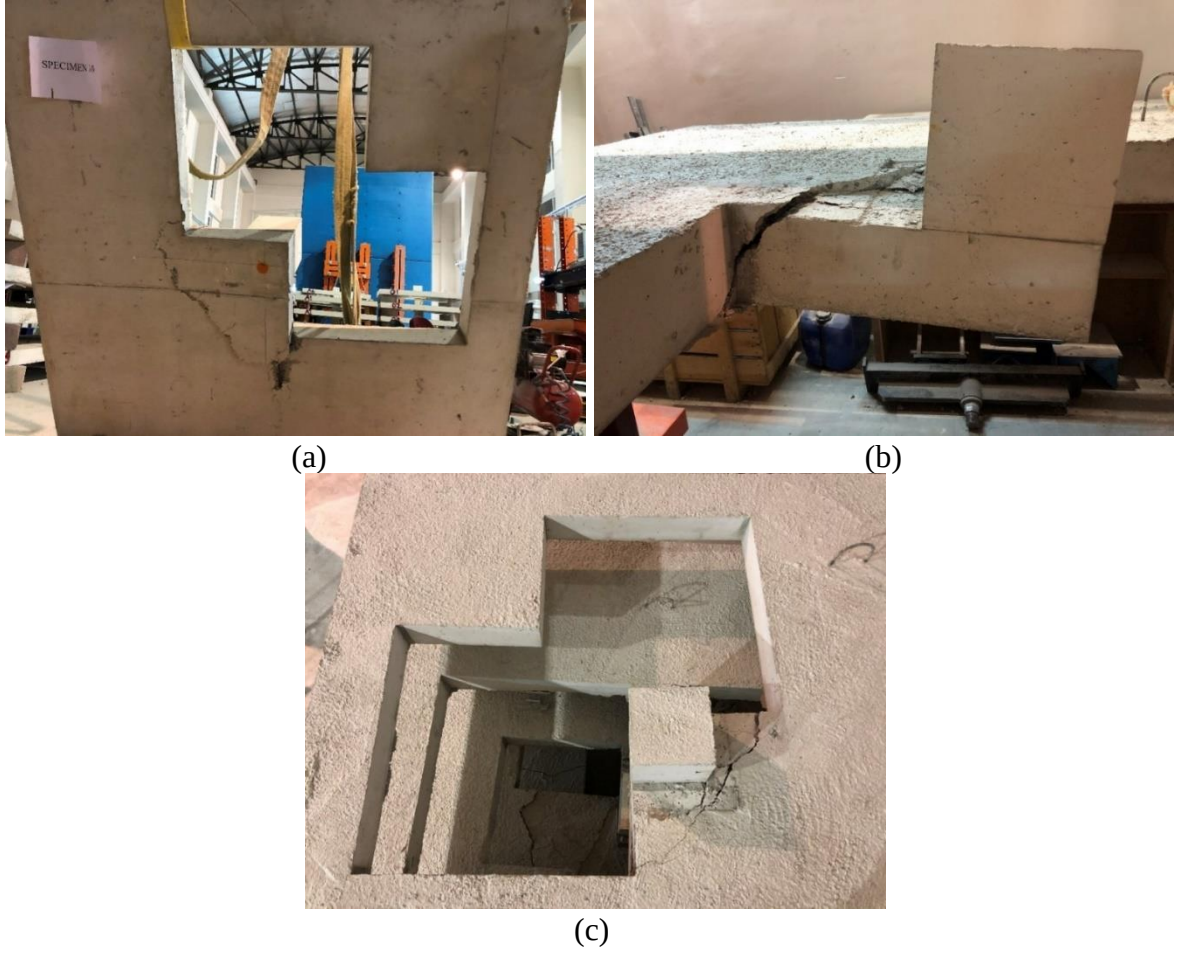
R-D-700 deney elemanının çekme, perspektif ve basınç bölgelerinin çatlak dağılımı Resim 3.9’da gösterilmiştir. R-D-700 deney elemanında meydana gelen çatlak çevresinin R-P-

700'dekinden daha büyük olduğu gözlenmiştir. Deney elemanında meydana gelen çatlak dağılımı R-D-300 ve R-D-500 ile benzerlik göstermiştir. Ancak donatı miktarı oldukça azaldığı için zımbalama davranışı net bir şekilde tespit edilememiştir. Basınç bölgesinde boşluklar arasında çatlaklar oluşmuştur. Köşe noktalarında oluşan kalkmalar diğer referans deney elemanlarına göre oldukça baskın bir şekilde oluşmuştur.



Resim 3.9. R-D-700 deney elemanının (a) çekme, (b) perspektif ve (c) basınç bölgelerinin çatlak dağılımı

R-B-700 deney elemanının çekme, perspektif ve basınç bölgelerinin çatlak dağılımı Resim 3.10'da gösterilmiştir. R-B-700 deney elemanının zımbalama çevresinin R-P-700 ve R-D-700 deney elemanlarındaki zımbalama çevrelerine göre çok daha küçük olduğu gözlenmiştir. R-B-700 deney elemanında mesnet bölgelerinde yükleme yönünün tersinde kalkmalar olduğu görülmüştür. Basınç bölgesinde her iki boşluk ve kolon köşesinde çatlaklar oluşmuştur.



Resim 3.10. R-B-700 deney elemanının (a) çekme, (b) perspektif ve (c) basınç bölgelerinin çatlak dağılımı

Güçlendirilmiş deney elemanlarının çatlak dağılımı ve göçme modları

Daha yüksek zımbalama dayanımına sahip olmasına rağmen güçlendirilmiş deney elemanlarında genellikle referans deney elemanlarına benzer şekilde çatlak dağılımları ve göçme modları gözlemlenmiştir. Bu nedenle öncelikle güçlendirilmiş deney elemanlarının çekme, perspektif ve basınç bölgelerine ait çatlak dağılımları Resim 3.11-Resim 3.19’da gösterilmiş ve daha sonra TGSK şeritlerle ilgili detaylı gözlemler sunulmuştur.



(a)



(b)

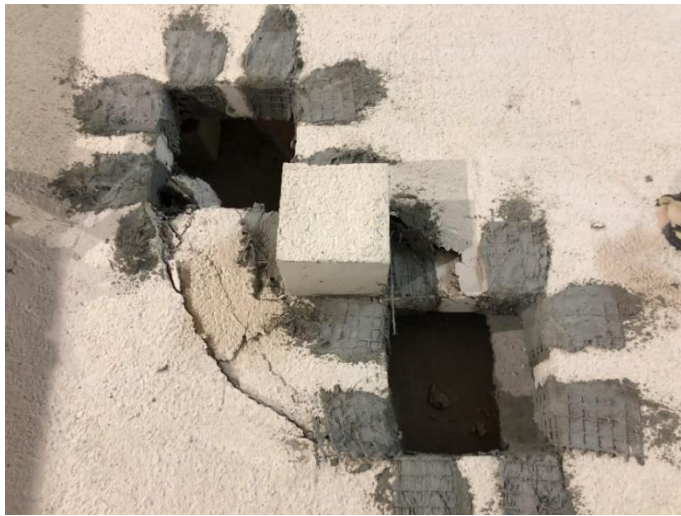
Resim 3.11. G-P-300 deney elemanının (a) çekme ve (b) basınç bölgelerinin çatlak dağılımı



(a)

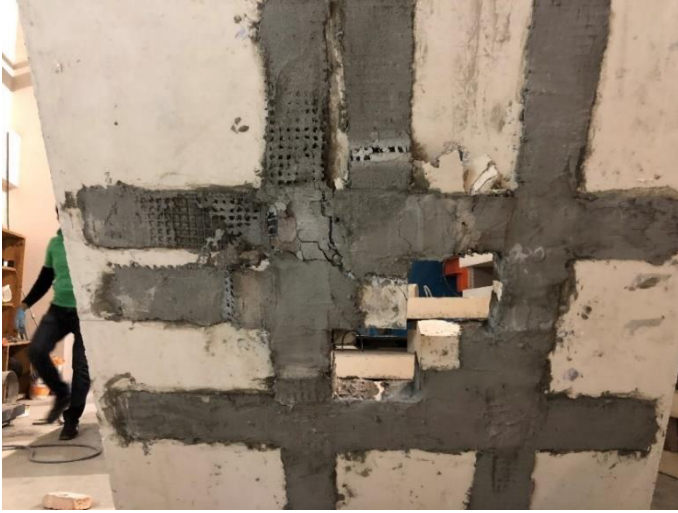


(b)



(c)

Resim 3.12. G-D-300 deney elemanının (a) çekme, (b) perspektif ve (c) basınç bölgelerinin çatlak dağılımı



(a)



(b)



(c)

Resim 3.13. G-B-300 deney elemanının (a) çekme, (b) perspektif ve (c) basınç bölgelerinin çatlak dağılımı



(a)



(b)



(c)

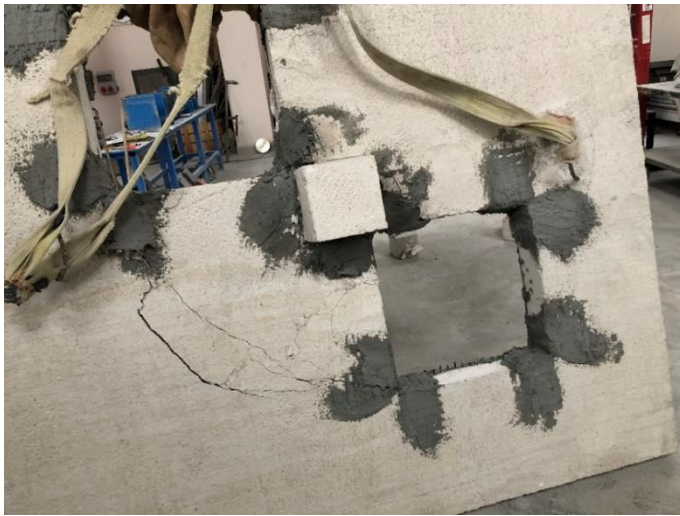
Resim 3.14. G-P-500 deney elemanının (a) çekme, (b) perspektif ve (c) basınç bölgelerinin çatlak dağılımı



(a)



(b)



(c)

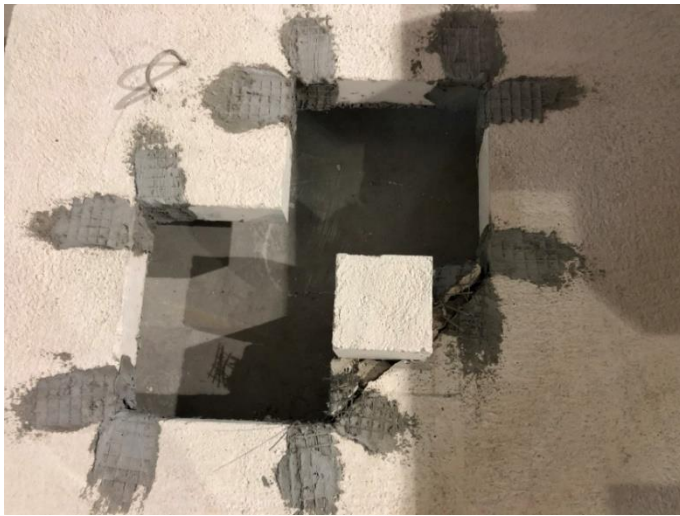
Resim 3.15. G-D-500 deney elemanın (a) çekme, (b) perspektif ve (c) basınç bölgelerinin çatlak dağılımı



(a)



(b)



(c)

Resim 3.16. G-B-500 deney elemanının (a) çekme, (b) perspektif ve (c) basınç bölgelerinin çatlak dağılımı



(a)



(b)



(c)

Resim 3.17. G-P-700 deney elemanının (a) çekme, (b) perspektif ve (c) basınç bölgelerinin çatlak dağılımı



(a)



(b)



(c)

Resim 3.18. G-D-700 deney elemanının (a) çekme, (b) perspektif ve (c) basınç bölgelerinin çatlak dağılımı



(a)



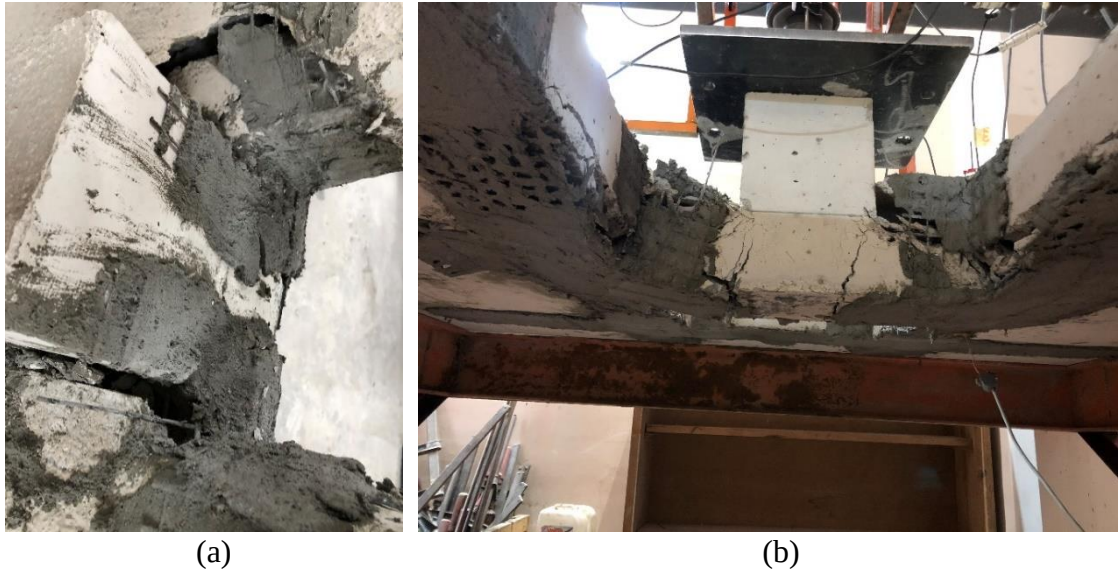
(b)



(c)

Resim 3.19. G-B-700 deney elemanının (a) çekme, (b) perspektif ve (c) basınç bölgelerinin çatlak dağılımı

G-P-300 ve G-P-500 deney elemanlarında TGSK şeritler ile kesme çatlakları ve kolon deplasmanı önlenirken öte yandan deney elemanının taşıma kapasitesi arttırılmış ve şeritte bulunan tekstil malzemesinde taşıma kapasitesine ulaşarak kopmalar gözlemlenmiştir (Resim 3.20). Bu davranış kolon çevresini kuşatan U şekilli TGSK şeritlerinde daha fazla görülmüştür. İşçilik kalitesine bağlı olarak bazı U şeritlerin yüzeyden sıyrılarak ayrıldığı tespit edilmiştir. G-P-700 deney elemanında U şekilli TGSK şeritlerinde herhangi bir kopma ya da sıyrılma gözlemlenmemiştir. Bu durumun nedeninin şeritlerin yükleme noktasından uzakta kaldığı için üzerlerine gelen etkilerin azalması olduğu düşünülmüştür. Bunların yanı sıra üç deney elemanında da çekme bölgesine yapıştırılan ve 150 mm genişliğe sahip TGSK şeritlerinin döşeme ile birlikte çalıştığı ve uygulanan ankrajlar yardımıyla ilgili şeritlerde sıyrılma davranışının engellendiği gözlemlenmiştir. G-P-300 deney elemanında orta bölgede kolon çevresinden itibaren uygulanan iki TGSK şeritte de taşıma kapasitesi aşılmış ve zımbalama çevresinde oluşan çatlak bölgesindeki tekstil malzemesinde kopmalar meydana gelmiştir (Resim 3.21). Diğer TGSK şeritlerinde herhangi bir kopma gözlemlenmemiştir. G-P-500 ve G-P-700 deney elemanlarında ise çatlakların oluştuğu bölgelerde lokal sıyrılmalar görülmüştür.



Resim 3.20. (a) G-P-300 ve (b) G-P-500 deney elemanında U şekilli TGSK şerit davranışı



Resim 3.21. G-P-300 deney elemanında TGSK şeritte oluşan kopma

G-D-300 ve G-D-500 deney elemanları referans deney elemanlarına göre daha büyük yük kaybı ile gevrek bir şekilde zımbalama etkisine maruz kalmıştır. G-D-700 deney elemanı ise R-D-700 ile benzer bir davranış göstermiştir. Diyagonal boşluk konumuna sahip deney elemanlarında sıva katmanında oluşan çatlakların dışında TGSK şeritlerinde kopma görülmemiştir. Kolon çevresinde U şeklindeki TGSK şeritlerinin deney elemanının basınç bölgesinde bulunan kısımlarında sıyrılmalar görülmüştür (Resim 3.22).



(a)



(b)

Resim 3.22. Diyagonal boşluk konumuna sahip deney elemanlarında TGSK şerit sıyrılması



(a)



(b)



(c)

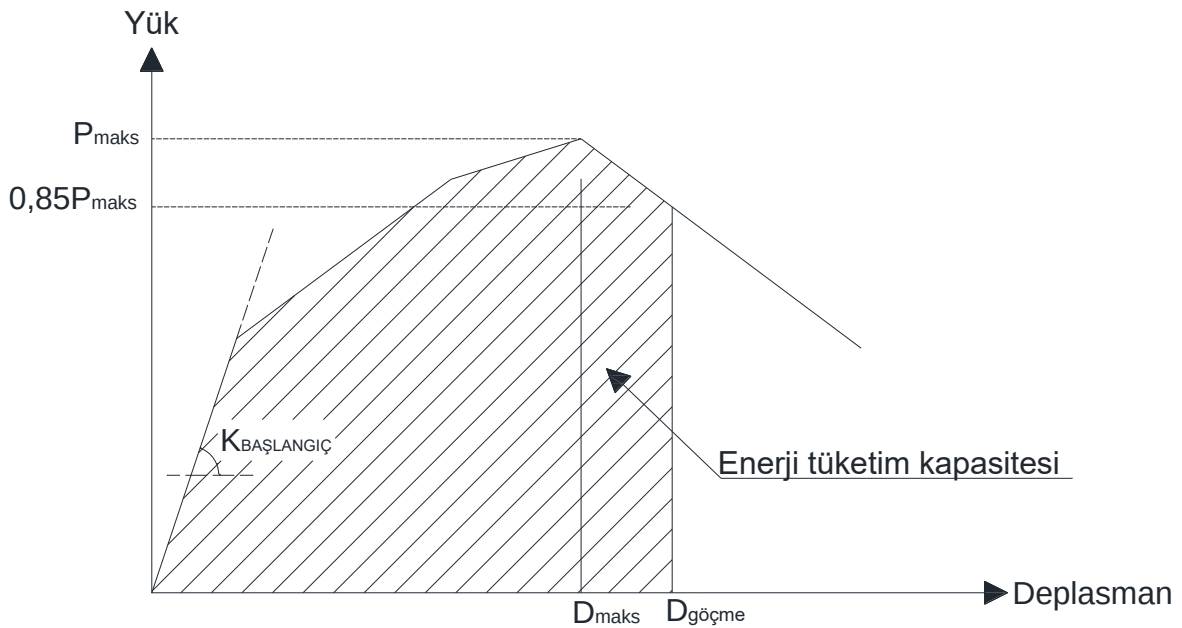
Resim 3.23. (a) R-B-300 ile G-B-300, (b) R-B-500 ile G-B-500 (c) R-B-700 ile G-B-700 deney elemanlarında zımbalama çevresi

G-B-300, G-B-500 ve G-B-700 deney elemanlarında diğer güçlendirilmiş deney elemanlarından farklı olarak referans deney elemanına göre zımbalama çevresinde önemli bir artış olduğu gözlemlenmiştir (Resim 3.23). Zımbalama çevresindeki bu artışın referans deney elemanlarına göre zımbalama dayanımında önemli bir artış sağladığı düşünülmektedir. Üç deney elemanında da çekme bölgesindeki kolon çevresinde ankrajlanmış şeritlerde herhangi bir sıyrılma gözlemlenmemiştir. Yükleme bölgesinin

uzağında bulunan ve ankraj uygulanmayan bölgelerdeki şeritlerde lokal sıyrılmalar görülmüştür.

3.2. Deney Verilerinden Elde Edilen Sonuçlar

Deneyler sırasında elde edilen sayısal veriler kullanılarak her bir deney elemanının zımbalama dayanımı, başlangıç rijitliği ve enerji tüketim kapasitesi hesaplanmıştır. Elde edilen sonuçlar Çizelge 3.3'te verilmiştir. Deney elemanlarının zımbalama dayanımı yük-deplasman grafiklerinde ulaşılan maksimum yük değeri belirlenerek elde edilmiştir. Deney elemanlarının göçme noktası olarak yük-deplasman grafiklerinde maksimum taşıma kapasitesine ulaşıldıktan sonra yük kaybı meydana gelerek taşıma gücünün %15 düştüğü nokta seçilmiştir. Deney elemanlarının başlangıç rijitlik değerleri yük-deplasman grafiklerinin başlangıç bölgesindeki doğrusal bölümün eğimi kullanılarak hesaplanmıştır. Deney elemanlarının enerji tüketim kapasiteleri ise yük-deplasman grafikleri altında kalan alan hesaplanarak elde edilmiştir. Enerji tüketim kapasiteleri hesaplanırken yük-deplasman grafiklerinin göçme noktasına kadar olan kısımları kullanılmıştır. Bu noktadan sonraki bölümler hesaplamaaya dahil edilmemiştir. Hesaplamalarda kullanılan noktalar ve yaklaşımlar Şekil 3.42'de tipik bir yük-deplasman grafiği üzerinde gösterilmiştir.



Şekil 3.42. Başlangıç rijitliği ve enerji tüketim kapasitesinin hesaplanması için kullanılan yaklaşım

Çizelge 3.3. Deney sonuçları

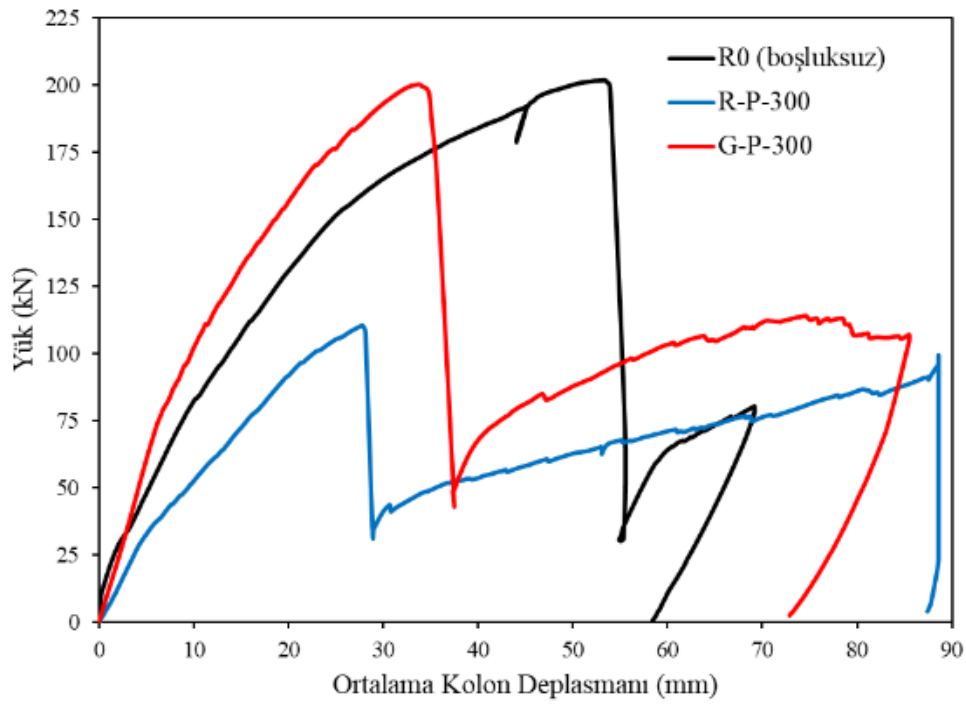
Deney Elemanı	Maksimum Taşıma Gücü (kN)	Maksimum Taşıma Gücündeki Deplasman (mm)	Başlangıç rijitliği (kN/mm)	Enerji Tüketim Kapasitesi (kN-mm)
R0	201,73	53,33	9,49	7684
R-P-300	110,41	27,79	5,33	1907
R-D-300	158,61	42,99	6,59	4912
R-B-300	71,45	29,64	5,81	1827
R-P-500	87,66	21,38	5,04	1155
R-D-500	123,00	61,35	6,43	7003
R-B-500	56,33	13,37	5,24	535
R-P-700	73,58	26,28	4,10	1306
R-D-700	102,63	35,07	5,26	6671
R-B-700	43,15	9,89	5,12	288
G-P-300	200,19	33,87	12,02	4742
G-D-300	225,88	52,81	13,27	8427
G-B-300	148,98	22,55	12,83	2398
G-P-500	140,51	26,16	9,29	2488
G-D-500	196,77	56,40	12,47	8875
G-B-500	112,53	17,56	11,78	2612
G-P-700	110,89	26,12	7,51	2062
G-D-700	146,51	37,11	9,27	9034
G-B-700	95,78	18,35	9,08	1295

4. DENEY SONUÇLARININ KARŞILAŞTIRILMASI

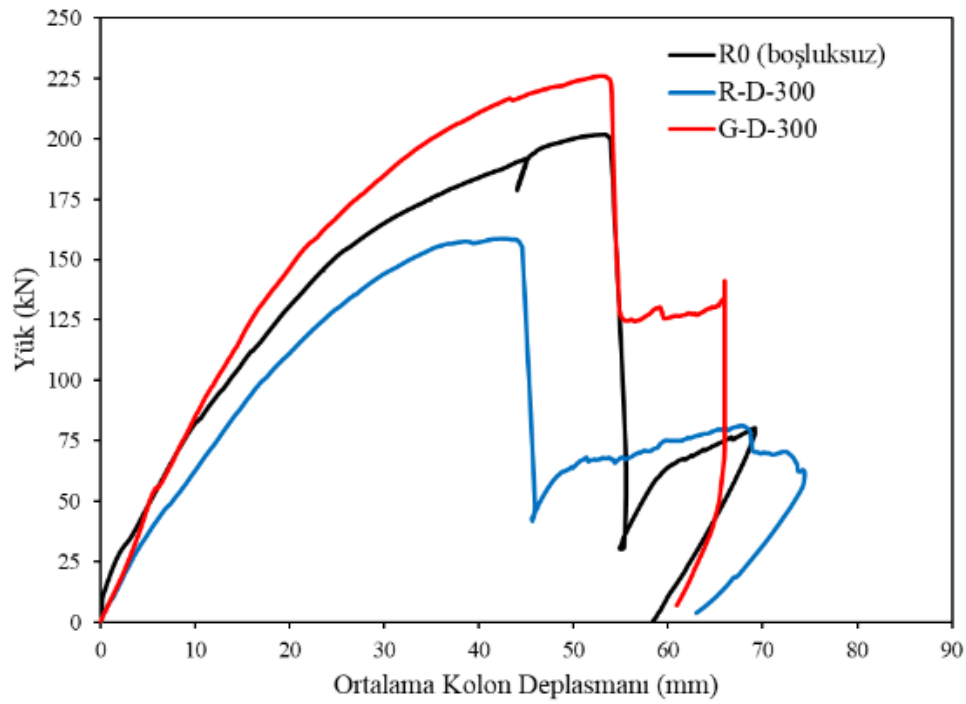
Bu bölümde çalışmada kullanılan değişkenler (boşluk durumu, boşluk büyüklüğü, boşluk konumu ve güçlendirme durumu) dikkate alınarak deneylerden elde edilen sonuçlar karşılaştırılmış ve yorumlanmıştır.

Boşluksuz çift doğrultulu döşeme referans deney elemanı R0 tipik bir zımbalama davranışı göstererek 9.49 kN/mm'lik bir başlangıç rijitliği ile 201,73 kN yükte 53,33 mm deplasman yaparak kolon çevresindeki koni şeklinde bir beton bloğun kesme kırılması sonucunda gevrek şekilde göçmüştür. Bu göçme sırasında 7684 kN-mm enerji tüketim kapasitesine ulaşılmıştır. Çalışma kapsamında incelenen döşemelerde yer alan birden fazla boşluğun konumu ve büyüklüğü gibi değişkenlerin çift doğrultulu betonarme döşemelerin zımbalama dayanımı, en büyük yükteki deplasman, başlangıç rijitliği ve enerji tüketim kapasitesi değerlerinin önemli miktarda azalmasına neden olduğu görülmüştür. TGSK şeritler ile güçlendirilen deney elemanlarında ise bu olumsuz etkiler giderilerek boşluksuz deney elemanının performansına ulaşmaya çalışılmıştır. Boşluk büyüklüğünün 300 mm x 300 mm ve boşluk konumunun paralel ve diyagonal olduğu durumlarda bu performans yakalanmıştır, ancak boşluk büyüklüğünün 500 mm x 500 mm ve 700 mm x 700 mm olduğu durumlarda referans deney elemanlarına göre performans artışı olsa da boşluksuz deney elemanının performansını yakalamak mümkün olmamıştır.

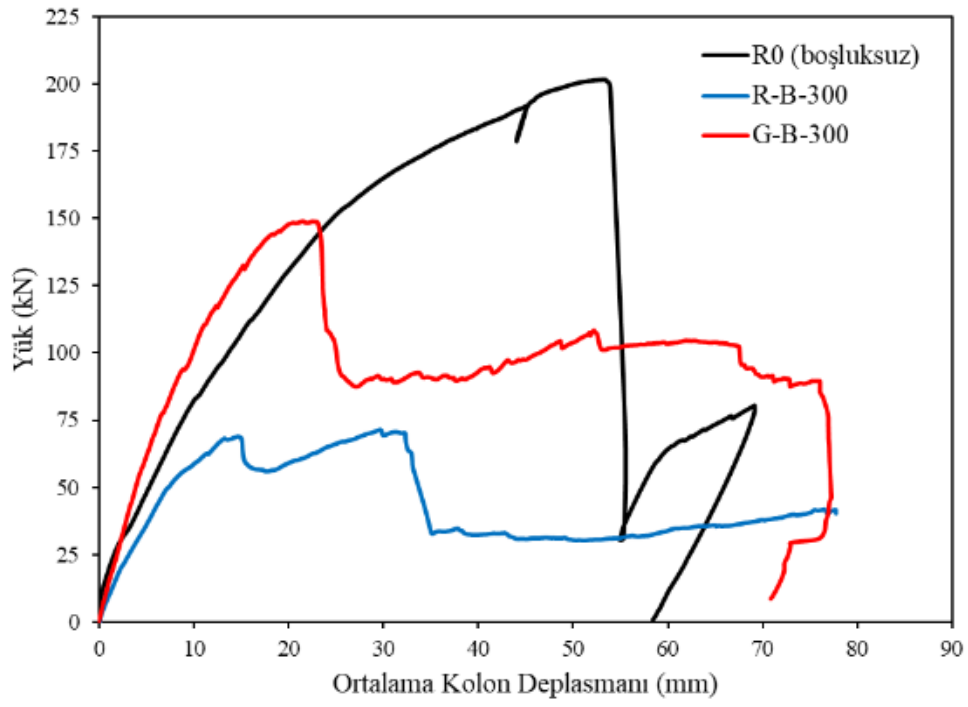
Deney elemanlarının performanslarını karşılaştırabilmek için Şekil 4.1-Şekil 4.9'da yük deplasman eğrileri değişkenler dikkate alınarak çizdirilmiştir. Boşluk büyüklüğünün, boşluk konumunun ve güçlendirmenin zımbalama dayanımına olan etkisini ortaya koyabilmek için her bir grafikte R0 deney elemanına ait yük-deplasman eğrisi, boşluklu referans deney elemanına ait yük-deplasman eğrisi ve güçlendirilmiş deney elemanına ait yük-deplasman eğrisi birlikte verilmiştir. Deney sonuçlarının karşılaştırılması alt başlıklarda detaylı bir şekilde sunulmuştur.



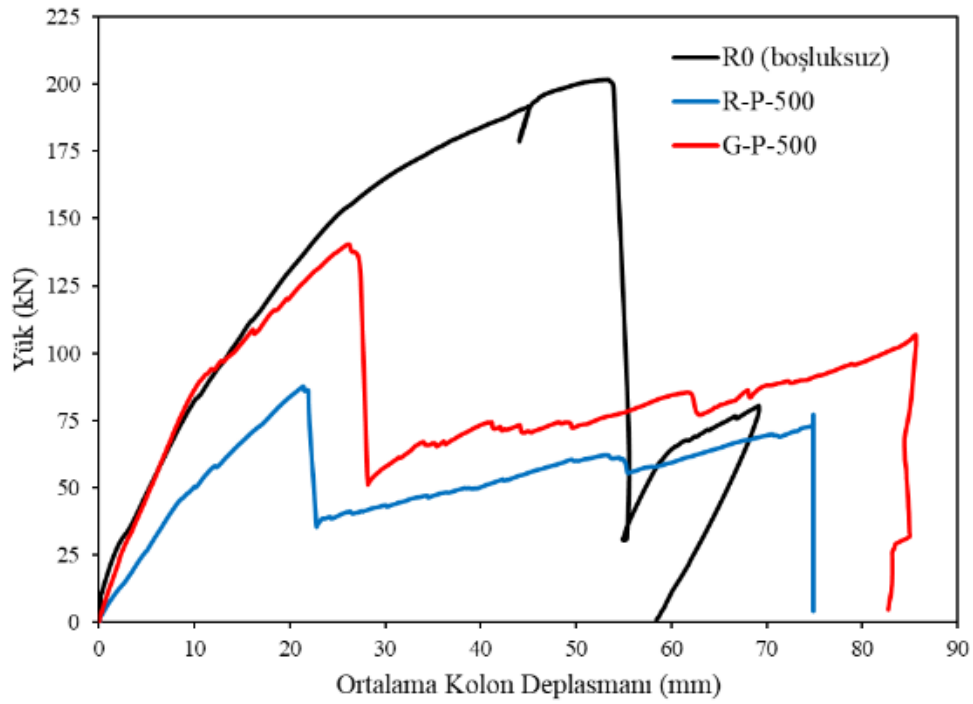
Şekil 4.1. R0, R-P-300 ve G-P-300'ün yük-deplasman eğrilerinin karşılaştırılması



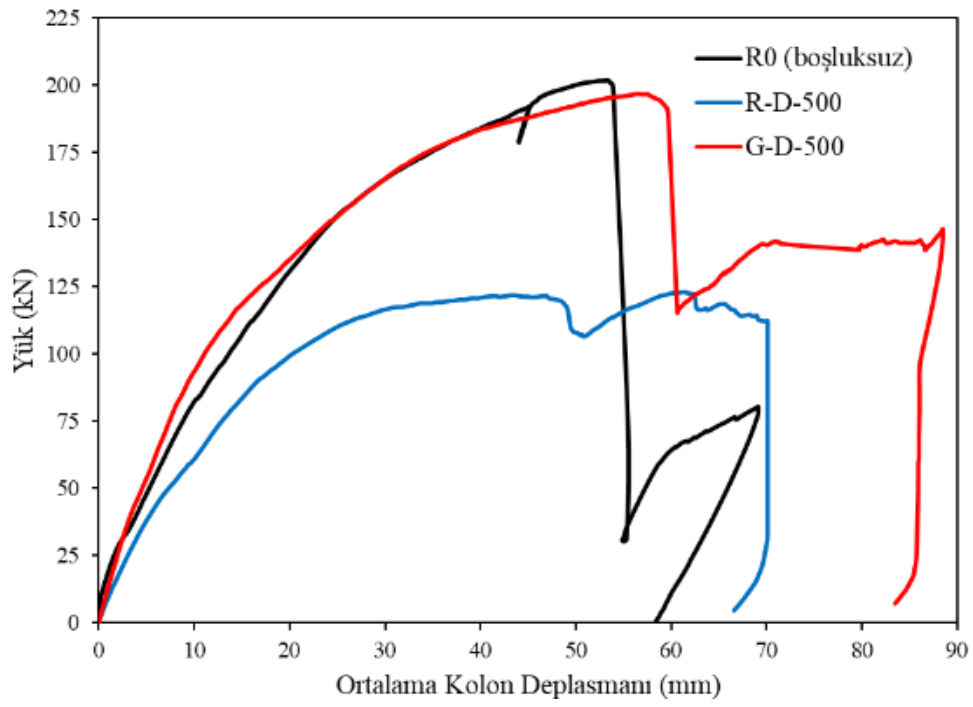
Şekil 4.2. R0, R-D-300 ve G-D-300'ün yük-deplasman eğrilerinin karşılaştırılması



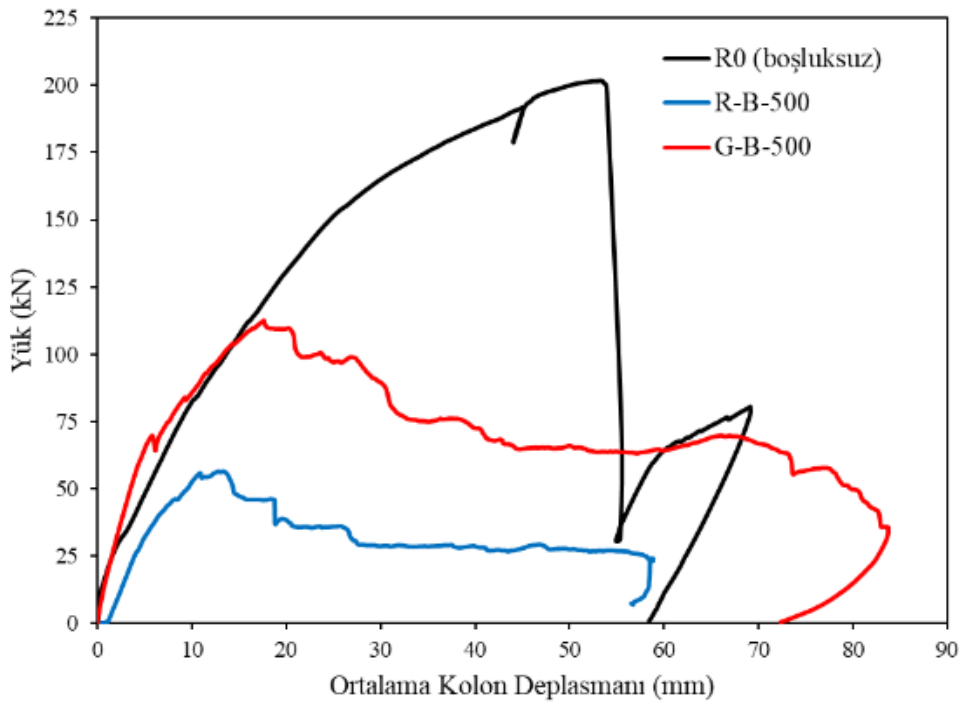
Şekil 4.3. R0, R-B-300 ve G-B-300'ün yük-deplasman eğrilerinin karşılaştırılması



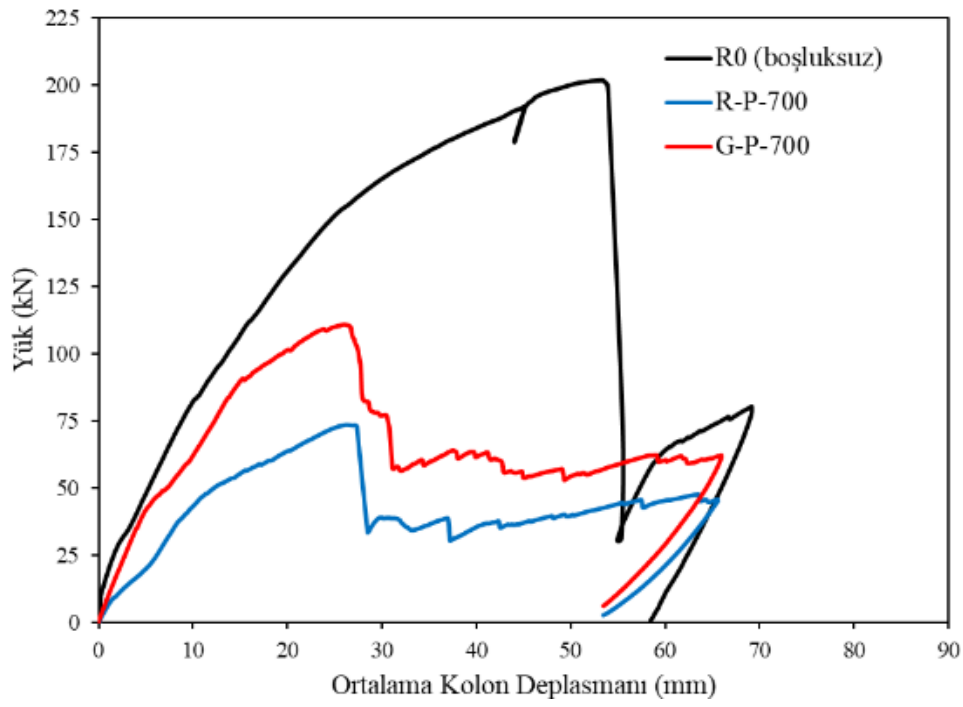
Şekil 4.4. R0, R-P-500 ve G-P-500'ün yük-deplasman eğrilerinin karşılaştırılması



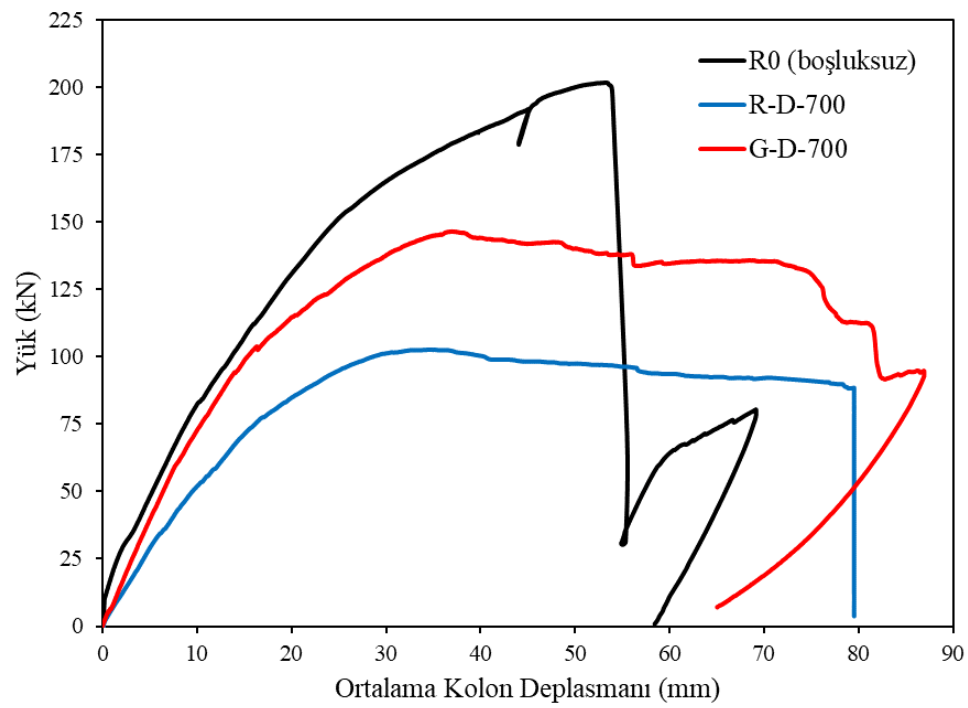
Şekil 4.5. R0, R-D-500 ve G-D-500'ün yük-deplasman eğrilerinin karşılaştırılması



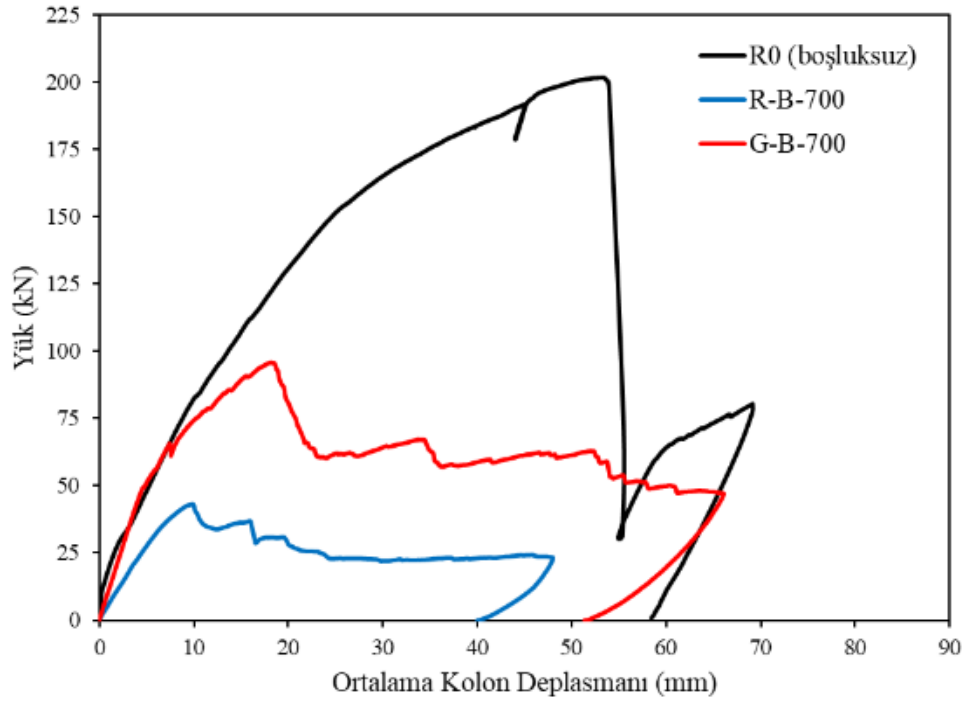
Şekil 4.6. R0, R-B-500 ve G-B-500'ün yük-deplasman eğrilerinin karşılaştırılması



Şekil 4.7. R0, R-P-700 ve G-P-700'ün yük-deplasman eğrilerinin karşılaştırılması



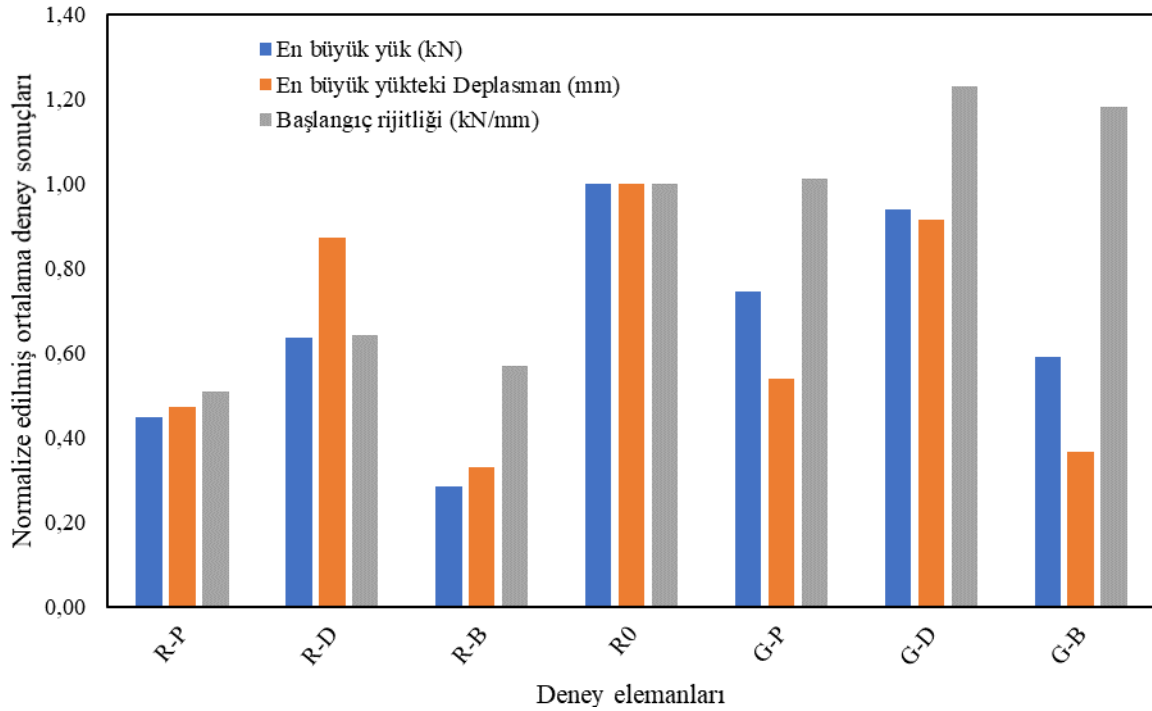
Şekil 4.8. R0, R-D-700 ve G-D-700'ün yük-deplasman eğrilerinin karşılaştırılması



Şekil 4.9. R0, R-B-700 ve G-B-700'ün yük-deplasman eğrilerinin karşılaştırılması

4.1. Zımbalama Yükü Taşıma Gücü, En Büyük Yükteki Deplasman ve Başlangıç Rijitliği

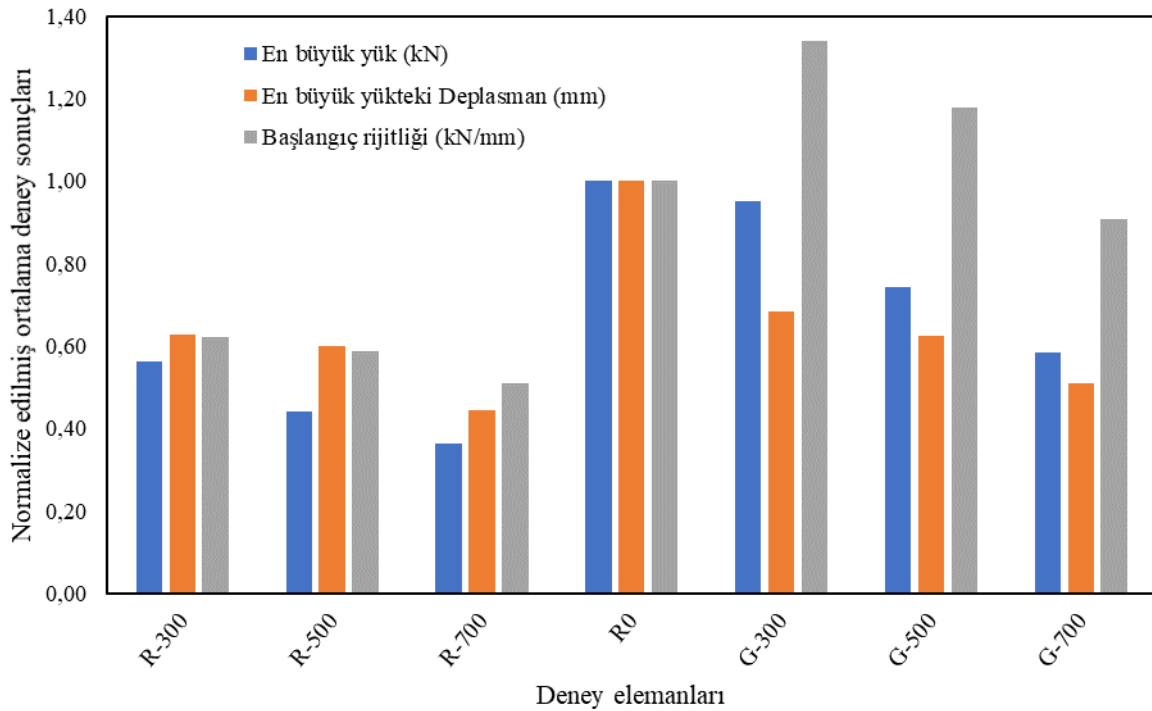
Deney çalışmasında değişkenlerden biri olan boşluk konumu düşünülerek, boşluksuz referans deney elemanına göre normalize edilmiş zımbalama yükü taşıma gücü, en büyük yükteki deplasman ve başlangıç rijitliği değerleri ortalama olarak Şekil 4.10'da verilmiştir. Paralel boşluk konumuna sahip referans deney elemanlarının (R-P-300, R-P-500 ve R-P-700), boşluksuz referans R0 deney elemanına göre zımbalama yükü taşıma gücü, en büyük yükteki deplasman ve başlangıç rijitliği değerleri ortalama olarak sırasıyla %55, %53 ve %49 oranında azalmıştır. Paralel boşluk konumuna sahip güçlendirilmiş deney elemanlarının (G-P-300, G-P-500 ve G-P-700), paralel boşluk konumuna sahip referans deney elemanlarına (R-P-300, R-P-500 ve R-P-700) göre zımbalama yükü taşıma gücü, en büyük yükteki deplasman ve başlangıç rijitliği değerleri ortalama olarak sırasıyla %66, %14 ve %99 oranında artmıştır.



Şekil 4.10. Boşluk konumları düşünülerek R0 deney elemanına göre normalize edilmiş deney sonuçları

Diyagonal boşluk konumuna sahip olan referans deney elemanlarının (R-D-300, R-D-500 ve R-D-700), boşluksuz referans R0 deney elemanına göre zımbalama yükü taşıma gücü, en büyük yükteki deplasman ve başlangıç rijitliği değerleri ortalama olarak sırasıyla %37, %13 ve %36 oranında azalmıştır. Diyagonal boşluk konumuna sahip güçlendirilmiş deney elemanlarının (G-D-300, G-D-500 ve G-D-700), diyagonal boşluk konumuna sahip referans deney elemanlarına (R-D-300, R-D-500 ve R-D-700) göre zımbalama yükü taşıma gücü, en büyük yükteki deplasman ve başlangıç rijitliği değerleri ortalama olarak sırasıyla %48, %5 ve %92 oranında artmıştır.

Bitişik boşluk konumuna sahip referans deney elemanlarının (R-B-300, R-B-500 ve R-B-700), boşluksuz referans R0 deney elemanına göre zımbalama yükü taşıma gücü, en büyük yükteki deplasman ve başlangıç rijitliği değerleri ortalama olarak sırasıyla %72, %67 ve %43 oranında azalmıştır. Bitişik boşluk konumuna sahip güçlendirilmiş deney elemanlarının (G-B-300, G-B-500 ve G-B-700), bitişik boşluk konumuna sahip referans deney elemanlarına (R-B-300, R-B-500 ve R-B-700) göre zımbalama yükü taşıma gücü, en büyük yükteki deplasman ve başlangıç rijitliği değerleri ortalama olarak sırasıyla %109, %11 ve %108 oranında artmıştır.

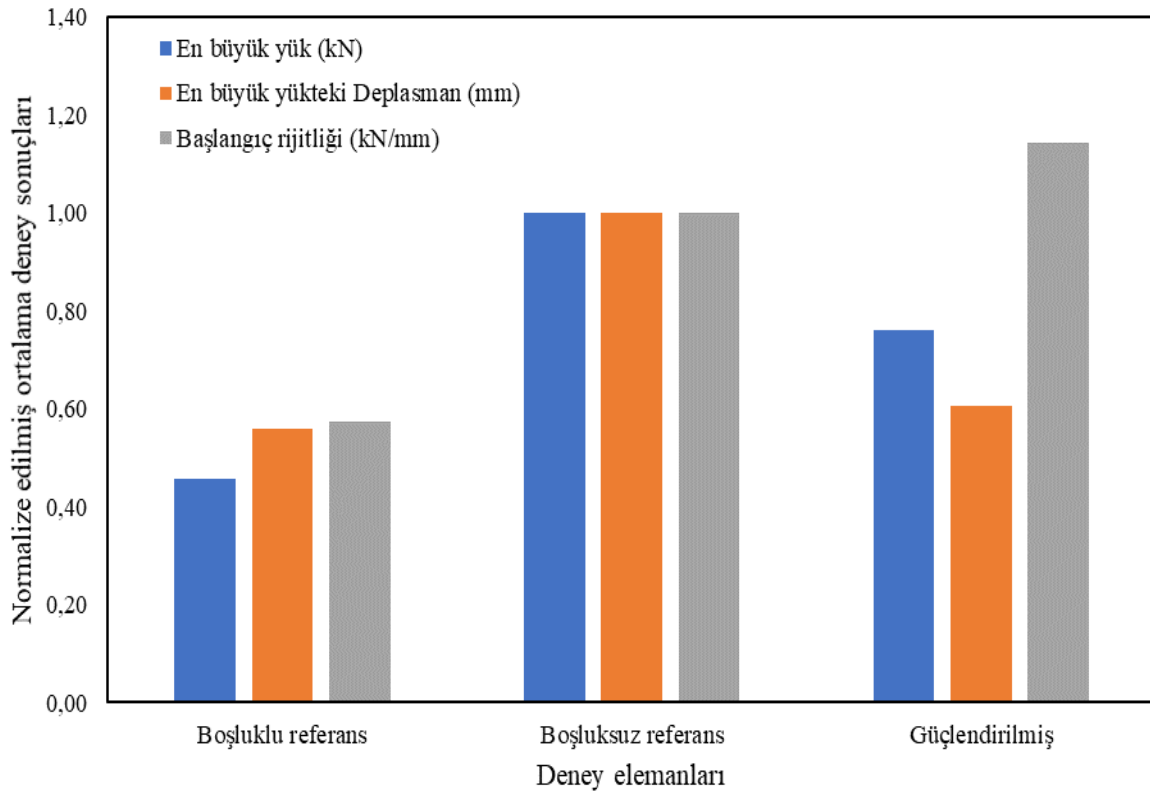


Şekil 4.11. Boşluk büyüklüğü düşünülerek R0 deney elemanına göre normalize edilmiş deney sonuçları

Boşluk büyüklüğü göz önüne alınarak boşluksuz referans deney elemanına göre normalize edilmiş zımbalama yükü taşıma gücü, en büyük yükteki deplasman ve başlangıç rijitliği değerleri ortalama olarak Şekil 4.11’de verilmiştir. Boşluk büyüklükleri 300 mm x 300 mm olan referans deney elemanlarının (R-P-300, R-D-300 ve R-B-300), boşluksuz referans R0 deney elemanına göre zımbalama yükü taşıma gücü, en büyük yükteki deplasman ve başlangıç rijitliği değerleri ortalama olarak sırasıyla %44, %37 ve %38 oranında azalmıştır. Aynı boşluk büyüklüğüne sahip güçlendirilmiş deney elemanlarının (G-P-300, G-D-300 ve G-B-300), referans deney elemanlarına (R-P-300, R-D-300 ve R-B-300) göre zımbalama yükü taşıma gücü, en büyük yükteki deplasman ve başlangıç rijitliği değerleri ortalama olarak sırasıyla %69, %9 ve %115 oranında artmıştır.

500 mm x 500 mm boşluk büyüklüğüne sahip olan referans deney elemanlarının (R-P-500, R-D-500 ve R-B-500), boşluksuz referans R0 deney elemanına göre zımbalama yükü taşıma gücü, en büyük yükteki deplasman ve başlangıç rijitliği değerleri ortalama olarak sırasıyla %56, %40 ve %41 oranında azalmıştır. Aynı boşluk büyüklüğüne sahip güçlendirilmiş deney elemanlarının (G-P-500, G-D-500 ve G-B-500), referans deney elemanlarına (R-P-500, R-D-500 ve R-B-500) göre zımbalama yükü taşıma gücü, en büyük yükteki deplasman ve başlangıç rijitliği değerleri ortalama olarak sırasıyla %68, %4 ve %101 oranında artmıştır.

700 mm x 700 mm boşluk büyüklüğüne sahip olan referans deney elemanlarının (R-P-700, R-D-700 ve R-B-700), boşluksuz referans R0 deney elemanına göre zımbalama yükü taşıma gücü, en büyük yükteki deplasman ve başlangıç rijitliği değerleri ortalama olarak sırasıyla %64, %55 ve %49 oranında azalmıştır. Aynı boşluk büyüklüğüne sahip güçlendirilmiş deney elemanlarının (G-P-700, G-D-700 ve G-B-700), referans deney elemanlarına (R-P-700, R-D-700 ve R-B-700) göre zımbalama yükü taşıma gücü, en büyük yükteki deplasman ve başlangıç rijitliği değerleri ortalama olarak sırasıyla %61, %15 ve %79 oranında artmıştır.

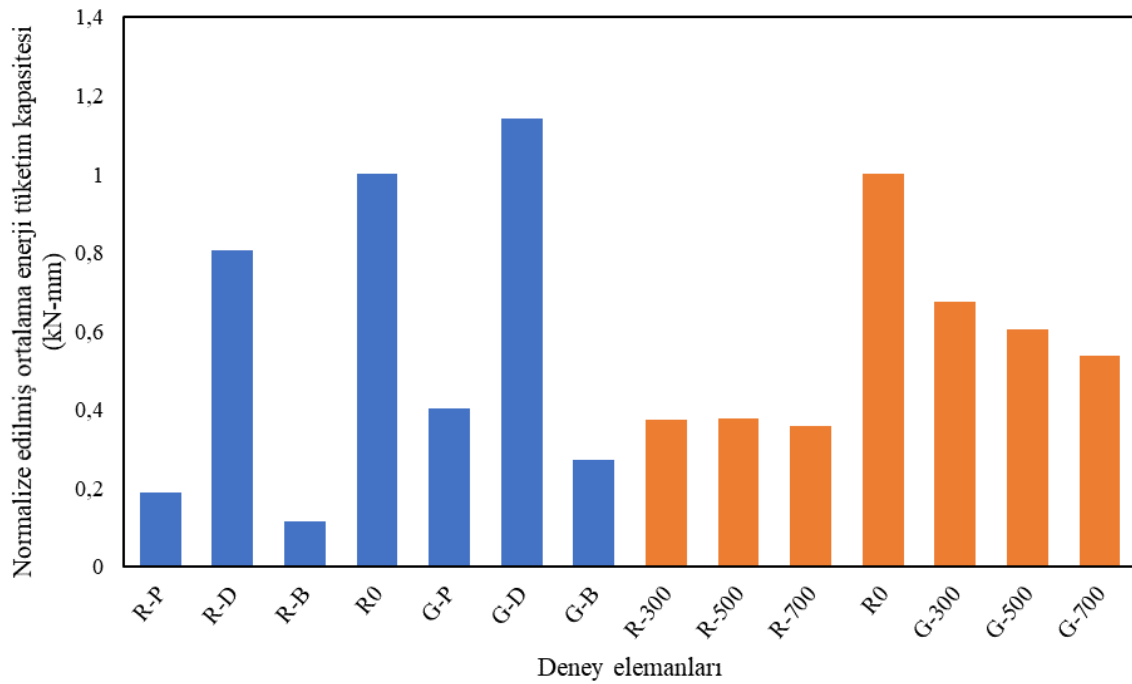


Şekil 4.12. R0 deney elemanına göre normalize edilmiş ortalama deney sonuçları

Boşluklu referans ve güçlendirilmiş deney elemanlarından elde edilen sonuçların ortalamaları R0 deney elemanına göre normalize edilerek Şekil 4.12’de verilmiştir. Boşluklu referans deney elemanlarının, boşluksuz referans R0 deney elemanına göre zımbalama yükü taşıma gücü, en büyük yükteki deplasman ve başlangıç rijitliği değerleri ortalama olarak sırasıyla %54, %44 ve %43 oranında azalmıştır. Güçlendirilmiş deney elemanlarının, referans deney elemanlarına göre zımbalama yükü taşıma gücü, en büyük yükteki deplasman ve başlangıç rijitliği değerleri ortalama olarak sırasıyla %67, %8 ve %99 oranında artmıştır.

4.2. Enerji Tüketim Kapasitesi

Enerji tüketim kapasitesi ile ilgili değerler R0 deney elemanına göre normalize edilerek Şekil 4.13'te verilmiştir. Boşluksuz deney elemanı R0'a göre, paralel, diyagonal ve bitişik boşluk konumuna sahip referans deney elemanlarının ortalama enerji tüketim kapasiteleri sırasıyla %81, %19 ve %89 oranında azalmıştır. 300 mm x 300 mm, 500 mm x 500 mm ve 700 mm x 700 mm boşluğa sahip referans deney elemanlarının ortalama enerji tüketim kapasitesi, boşluksuz deney elemanı R0'a göre sırasıyla %62, %62 ve %64 oranında azalmıştır.

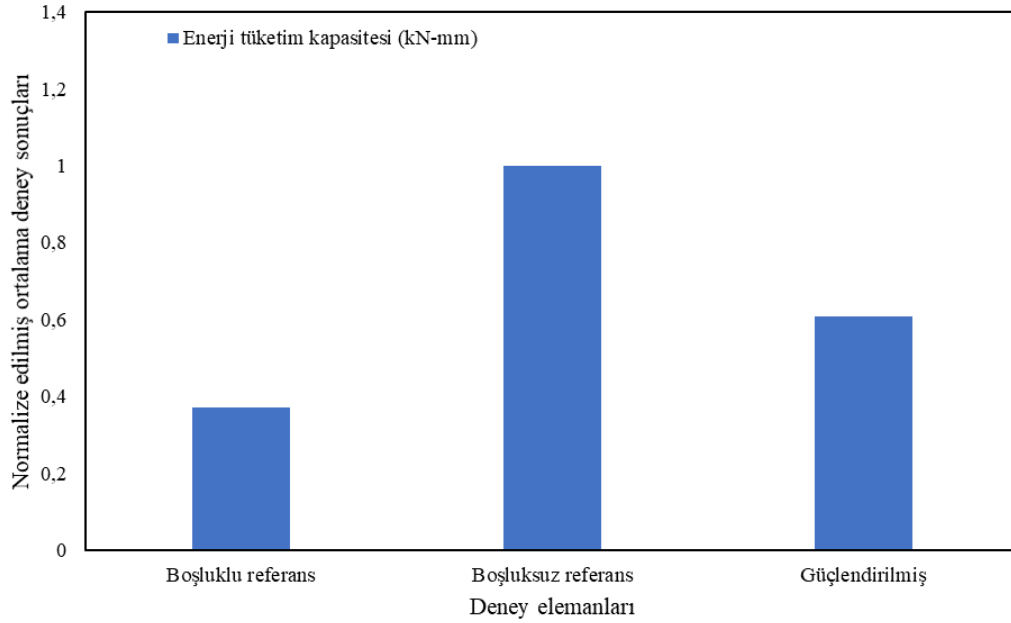


Şekil 4.13. Deney değişkenleri düşünülerek R0 deney elemanına göre normalize edilmiş ortalama enerji tüketim kapasiteleri

Paralel, diyagonal ve bitişik boşluk konumuna sahip güçlendirilmiş deney elemanlarının ortalama enerji tüketim kapasitesi aynı boşluk konumuna sahip referans deney elemanlarına göre sırasıyla %113, %42 ve %138 oranında artmıştır. 300 mm x 300 mm, 500 mm x 500 mm ve 700 mm x 700 mm boşluğa sahip güçlendirilmiş deney elemanlarının ortalama enerji tüketim kapasitesi, aynı boşluk büyüklüklerine sahip referans deney elemanlarına göre, sırasıyla %80, %61 ve %50 oranında artmıştır.

Boşluklu referans ve güçlendirilmiş deney elemanlarından elde edilen enerji tüketim kapasitelerinin ortalaması alınarak R0 deney elemanına göre normalize edilmiş değerleri

Şekil 4.14'te verilmiştir. Boşluklu referans deney elemanlarının boşluksuz referans deney elemanına göre enerji tüketim kapasitesi %63 azalmıştır. Güçlendirilmiş deney elemanlarının enerji tüketim kapasitesi ise boşluklu referans deney elemanlarına göre %64 artmıştır.



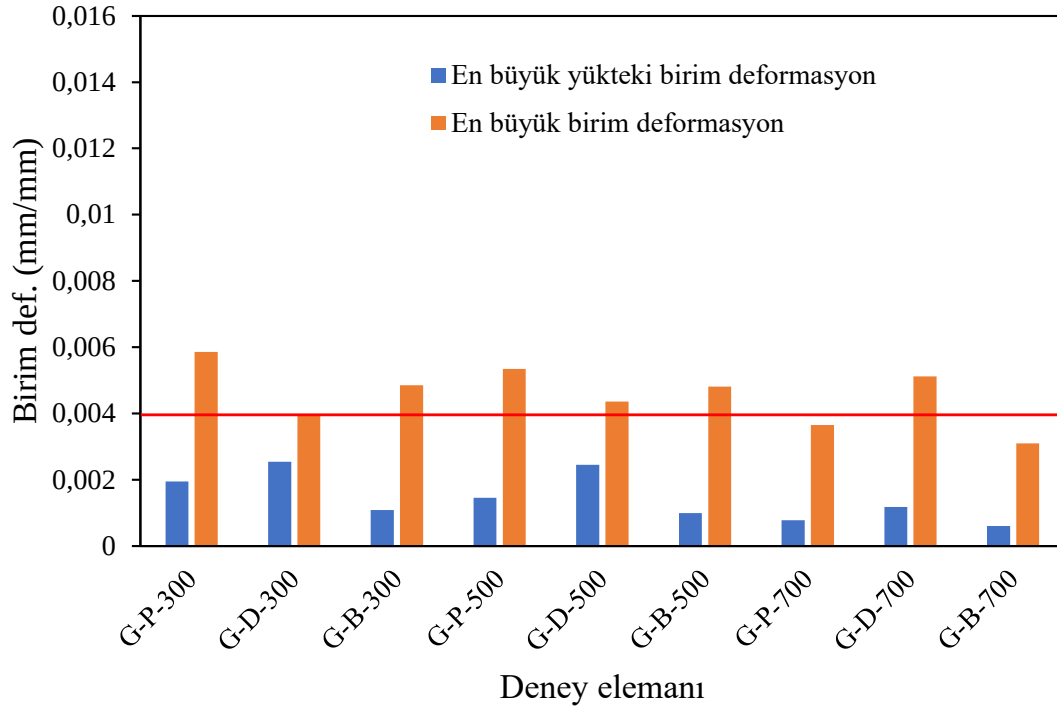
Şekil 4.14. R0 deney elemanına göre normalize edilmiş ortalama enerji tüketim kapasiteleri

4.3. TGSK Şeritlerin Birim Deformasyonu

Kolon çevresinden ölçülen ve Şekil 3.40, 41'de verilen dört adet birim deformasyon değerine ait bilgiler ışığında, güçlendirilmiş her bir deney elemanı için birim deformasyon değerlerinin ortalamaları Şekil 4.15 ile verilmiştir. En büyük yükteki birim deformasyon ortalamalarına göre diyagonal boşluk konumuna sahip güçlendirilmiş deney elemanları boşluk büyüklüğünden bağımsız olarak en büyük değerlere sahiptir. En küçük değerler ise bitişik boşluk konumuna sahip olan deney elemanlarında kaydedilmiştir.

En büyük birim deformasyon değerleri 300 mm x 300 mm ve 500 mm x 500 mm boşluk büyüklüğünde paralel boşluk konumuna sahip deney elemanlarında ölçülürken, 700 mm x 700 mm boşluk büyüklüğünde ise diyagonal boşluk konumuna sahip deney elemanı üzerinden kaydedilmiştir. En büyük birim deformasyon değerleri içindeki en küçük veriler, 300 mm x 300 mm ve 500 mm x 500 mm boşluk büyüklüğüne sahip deney elemanlarında diyagonal boşluk konumuna sahip olan deney elemanlarından alınırken, 700 mm x 700 mm

boşluk büyüklüğüne sahip deney elemanları için bitişik boşluk konumuna sahip deney elemanından alınmıştır.



Şekil 4.15. Birim deformasyon değerlerinin ortalamaları

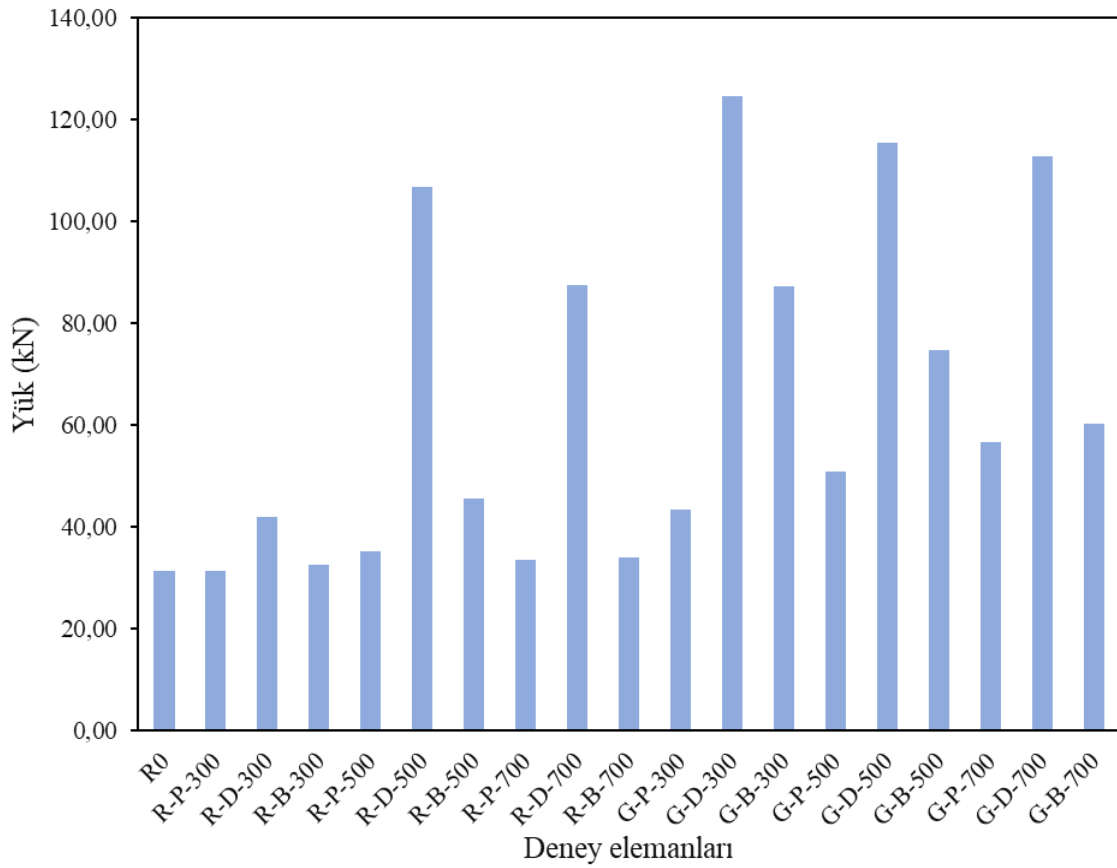
ACI 440 raporunda CFRP ile güçlendirmede beton deformasyonu göz önüne alınarak birim deformasyon üst sınırının 0,004 mm/mm olduğunu belirtmiştir. CFRP'den bağımsız olarak betonun deformasyonu dikkate alındığı için bu değer TGSK şeritler için de kullanılabilir olduğu düşünülmüştür. Tez çalışması kapsamında 0,004 mm/mm değeri mV cinsinden 3200 mV değerine karşılık gelmektedir. En büyük yükteki birim deformasyon değerlerinin ortalamaları incelendiğinde tüm deney elemanları için 3200 mV'tan daha küçük olduğu görülmüştür. Bu da en büyük yük değerine kadar TGSK şeritin beton yüzeyle birlikte çalıştığını ortaya koymuştur.

4.4. En Büyük Yük Sonrası Davranış

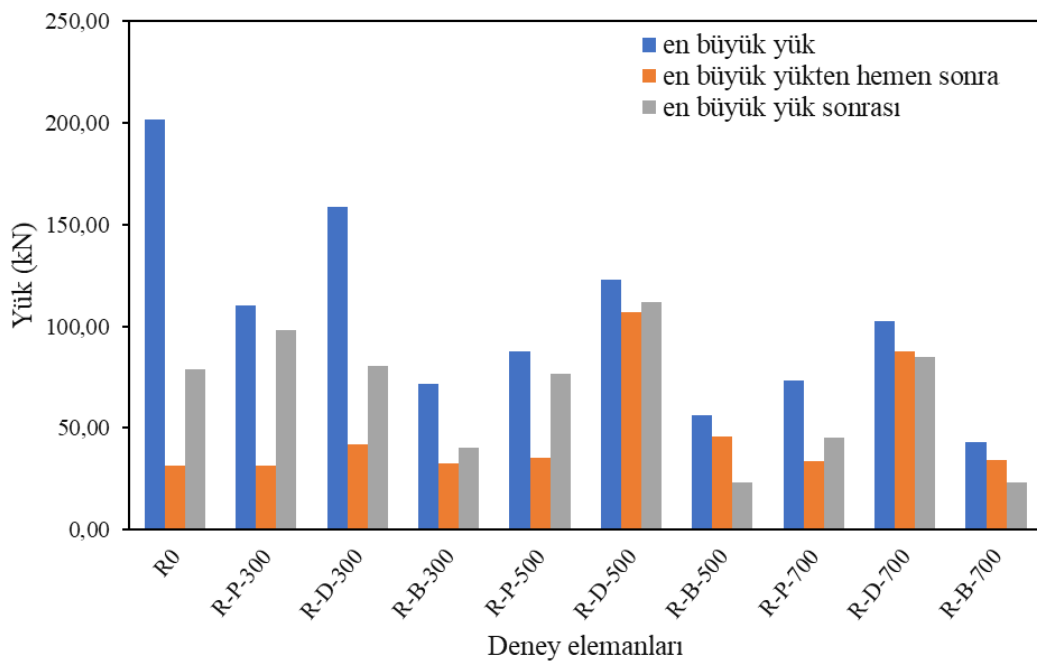
Önerilen TGSK güçlendirme yönteminin uygulanması tüm güçlendirilmiş deney elemanlarının en büyük yük sonrası kapasitesinde önemli bir artış sağlamıştır. Bununla birlikte deney sonuçları incelendiğinde deney elemanlarının göçme modunun en büyük yükten sonraki taşıma kapasitesi üzerinde önemli bir etkiye sahip olduğu görülmüştür. Tüm

deney elemanlarının en büyük yükten hemen sonraki kapasitesi Şekil 4.16'da verilmiştir. Deney elemanlarında en büyük yükten sonra genellikle zımbalama yükü taşıma kapasitelerinde ani düşüşler olmuştur. Ancak bu düşüşler R-D-500, R-B-500, R-D-700, R-B-700, G-B-500 ve G-D-700'de sınırlı kalmıştır (Şekil 4.17, 18). Öte yandan, güçlendirilmiş deney elemanlarında en büyük yük sonrası davranış G-D-500 deney elemanı haricinde referans deney elemanlarına büyük oranda benzerlik göstermiştir. Referans deney elemanları için kapasiteler 31 kN ile 107 kN arasında değişmiştir (Şekil 4.17). Güçlendirilmiş deney elemanları için en büyük yükten hemen sonraki kapasite değerleri ise 44 kN ile 125 kN arasında değişmiştir (Şekil 4.18). Boşluklu referans deney elemanlarının en büyük yükten hemen sonraki ortalama taşıma kapasitesi R0 deneye elemanına göre %59 daha fazladır. Güçlendirilmiş deney elemanlarının en büyük yükten hemen sonraki taşıma ortalama kapasitesi ise boşluklu referans deney elemanlarına göre %62 oranında artmıştır

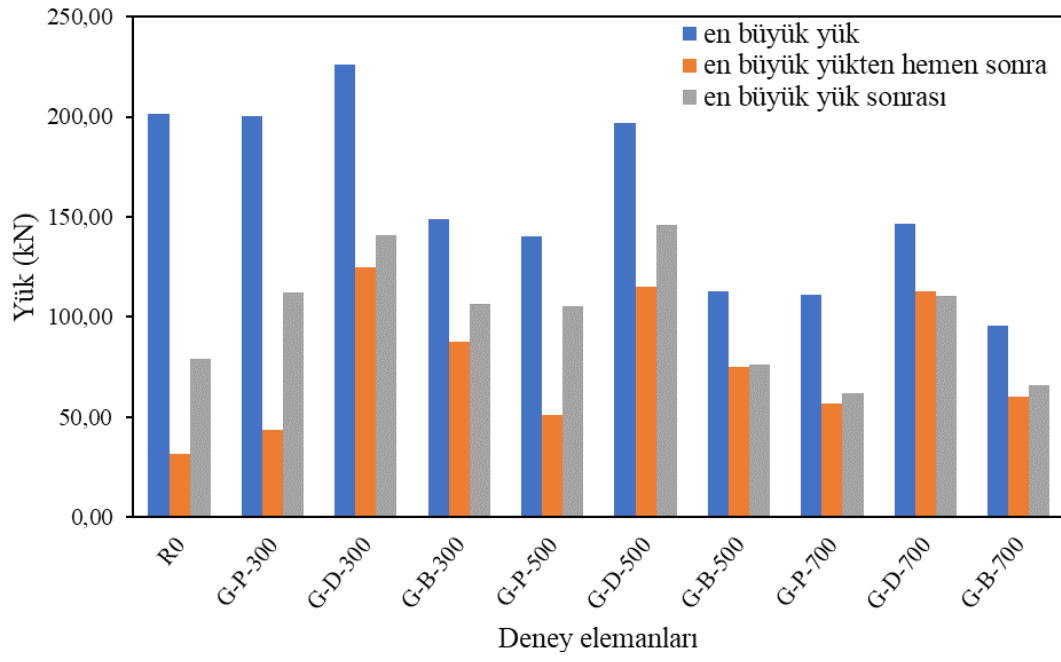
R-B-500, R-D-700, R-B-700 ve G-D-700 dışındaki tüm deney elemanlarında en büyük yükten sonra meydana gelen ani kapasite düşüşünden sonra kapasitelerinde bir toparlanma görülmüştür. Referans deney elemanları için kapasiteler 23 kN ile 112 kN arasında değişmiştir (Şekil 4.17). Güçlendirilmiş deney elemanları için en büyük yükten hemen sonraki kapasite değerleri ise 62 kN ile 146 kN arasında değişmiştir (Şekil 4.18). Boşluklu referans deney elemanlarının ortalama en büyük yük sonrası kapasitesi R0 deney elemanına göre %18 oranında azalmıştır. Güçlendirilmiş deney elemanlarının ortalama en büyük yük sonrası kapasitesinde ise boşluklu referans deney elemanlarına göre %58 oranında bir artış görülmüştür.



Şekil 4.16. En büyük yükten hemen sonra zımbalama yükü taşıma kapasiteleri



Şekil 4.17. Referans deney elemanlarının zımbalama yükü taşıma kapasiteleri



Şekil 4.18. Güçlendirilmiş deney elemanlarının zımbalama yükü taşıma kapasiteleri

5. ANALİTİK ÇALIŞMA

Bu bölümde deney elemanlarının zımbalama yükü taşıma kapasiteleri, farklı yönetmeliklerde yer alan betonarme döşemelerin zımbalama kapasite denklemleri ile tahmin edilmiştir. Bu yönetmelikler TS 500 (2000), ACI 318-19 (2019), Eurocode 2 (2004) ve BS8110 (1997)'dur. Yönetmeliklerdeki denklemler incelendiğinde bu yönetmeliklerin iki gruba ayrılabilceği görülmüştür. Birinci gruptaki yönetmelikler zımbalama kapasite hesabı yapılırken döşemenin eğilme donatısı oranını dikkate almayan TS 500 ve ACI 318-19'dur. İkinci grup ise zımbalama kapasitesi hesabı yapılırken döşemenin eğilme donatısı oranını dikkate alan Eurocode 2 ve BS8110 yönetmelikleridir.

Birinci grupta yer alan yönetmeliklerdeki denklemlerden boşluklu referans deney elemanları için elde edilen sonuçlar ile güçlendirilmiş deney elemanları için elde edilen sonuçlar donatı miktarı dikkate alınmadığı için oldukça yakın çıkmıştır. Ancak ikinci grupta yer alan yönetmeliklerde güçlendirilmiş deney elemanlarındaki TGSK şeritleri Fargaly ve Ueda (2011) tarafından önerilen yöntemle eşdeğer döşeme donatısına çevrildiği için referans deney elemanları ile güçlendirilmiş deney elemanlarından elde edilen sonuçlar farklılık göstermiştir. Dış yüzeyden yapıştırılan TGSK şeritler dikkate alınarak döşeme faydalı yüksekliğinin (Eşitlik 5.1) ve döşeme eğilme donatısının (Eşitlik 5.2) yeniden hesaplamasına olanak sağlayan eşitlikler aşağıda verilmiştir.

$$d_{eq} = \frac{A_{tgsk} E_{tgsk} h + A_s E_s d}{A_{tgsk} E_{tgsk} + A_s E_s} \quad (5.1)$$

Bu eşitlikte, A_{tgsk} ve A_s sırasıyla döşeme alt yüzüne bir yönde yapıştırılan TGSK kesit alanını ve döşeme alt yüzünde bir yöndeki eğilme donatısı alanını temsil etmektedir. E_{tgsk} ve E_s ise sırasıyla döşeme alt yüzüne bir yönde yapıştırılan TGSK şeritlerinin ve eğilme donatısının elastisite modüllerini temsil etmektedir. Eşitlikte d döşeme faydalı yüksekliğini, h ise toplam döşeme yüksekliğini temsil etmektedir.

$$\rho_{eq} = \rho_s + \rho_{tgsk} \frac{E_{tgsk}}{E_s} \quad (5.2)$$

Eşitlikte ρ_s döşemenin boyuna donatı oranını, ρ_{tgsk} ise döşeme alt yüzüne yapıştırılan TGSK şerit oranını temsil etmektedir.

5.1. Birinci Gruptaki Şartnamelerin Önerdiği Denklemler

Bu bölümde zımbalama dayanımı hesabında döşemedeki donatı oranını dikkate almayan şartnamelerden TS 500 ve ACI 318-19 tarafından önerilen denklemler ve hesap yöntemleri tanıtılmıştır.

5.1.1. Deney elemanlarının zımbalama kapasitelerinin TS 500'e göre hesaplanması

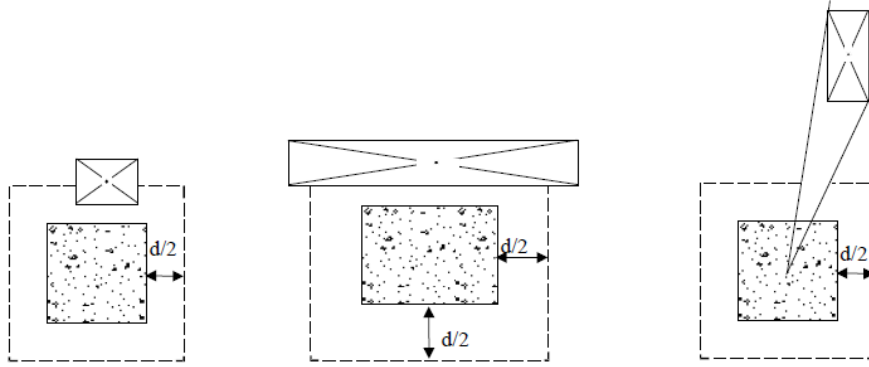
TS 500'de döşemelerin zımbalama yükü taşıma kapasitesi için verilen denklemler Eşitlik 5.3-5.5'te verilmiştir. Denklemlerde verilen zımbalama çevresini boşluğun büyüklüğü, konumu ve kolona olan mesafesi etkilemektedir. Zımbalama çevresi kolon yüzeyinden $d/2$ (d : efektif döşeme kalınlığı) uzaklıktaki dikdörtgenin çevresi kullanılarak hesaplanmaktadır. TS 500'ün zımbalama çevresi ile ilgili yaklaşımı Şekil 5.1'de verilmiştir. Bu yaklaşıma uygun olarak deney elemanlarının zımbalama çevreleri Şekil 5.2'de gösterilmiştir.

$$V_{pr} = \gamma f_{ctd} u_p d \quad (5.3)$$

$$f_{ctd} = 0,35(f_{ck})^{1/2} \quad (5.4)$$

$$\gamma = 1,0 \text{ (eksenel yük durumunda)} \quad (5.5)$$

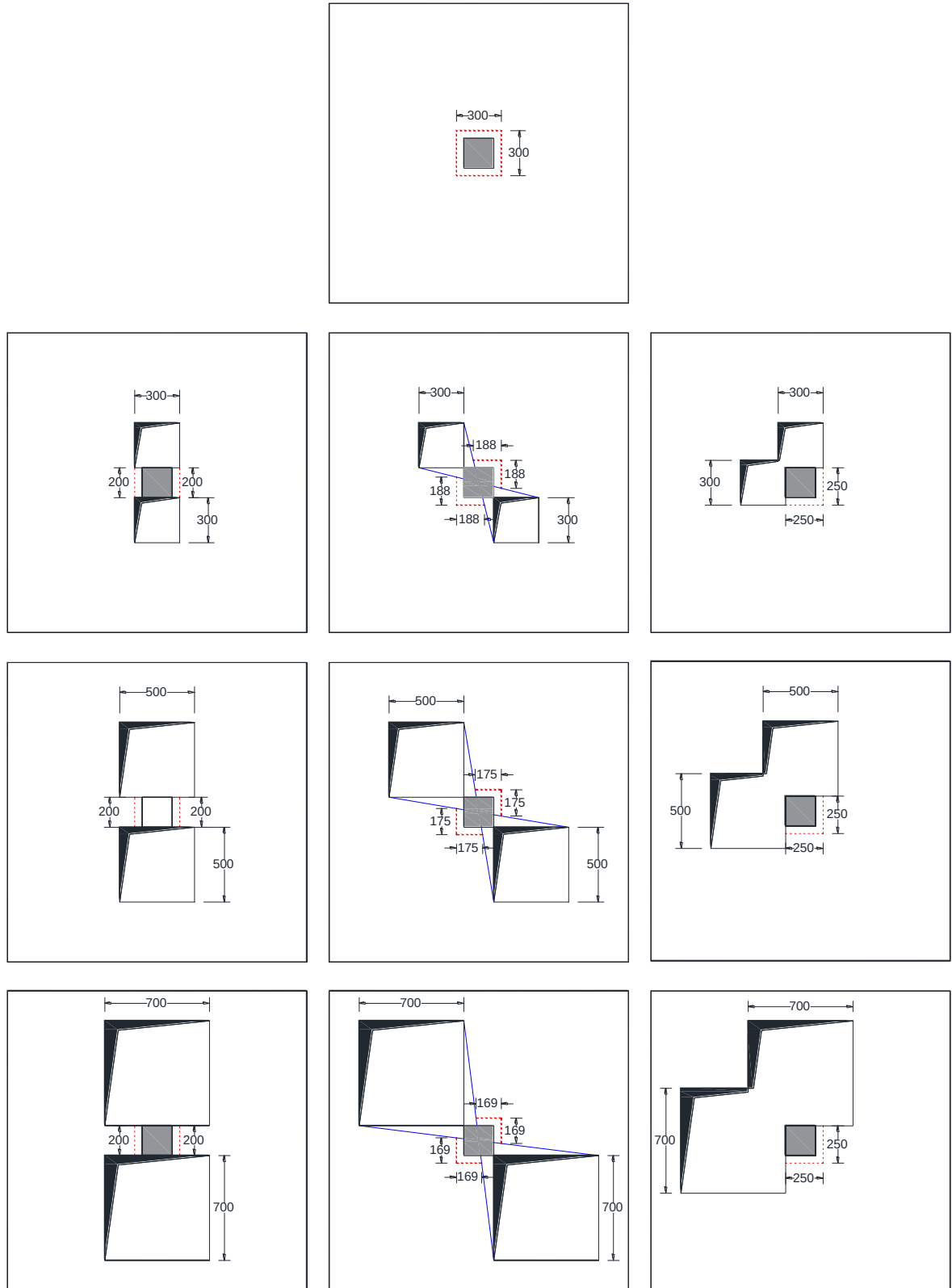
Eşitliklerde V_{pr} döşemenin zımbalama yükü taşıma kapasitesi, γ eğilme etkisini temsil eden bir katsayı, f_{ctd} betonun tasarım eksenel çekme dayanımı ve f_{ck} betonun karakteristik basınç dayanımı olarak verilmiştir. Deney elemanlarının TS 500'ün yaklaşımına göre zımbalama yükü taşıma kapasiteleri ve hesaplamada kullanılan parametreler Çizelge 5.1'de verilmiştir.



Şekil 5.1. TS 500'ün zımbalama çevresi yaklaşımı

Çizelge 5.1. TS 500'e göre zımbalama yükü taşıma kapasiteleri

Deney El.	γ	f_{ck} (MPa)	f_{ctd} (MPa)	u_p (mm)	d (mm)	V_{pr} (kN)
R0	1,00	25,60	1,77	1200,00	100,00	212,51
R-P-300		25,20	1,76	400,00		70,28
R-D-300		25,40	1,76	752,00		132,65
R-B-300		25,10	1,75	500,00		87,67
R-P-500		25,00	1,75	400,00		70,00
R-D-500		24,90	1,75	700,00		122,25
R-B-500		25,50	1,77	500,00		88,37
R-P-700		24,90	1,75	400,00		69,86
R-D-700		25,10	1,75	676,00		118,54
R-B-700		25,20	1,76	500,00		87,85
G-P-300		24,80	1,74	400,00		69,72
G-D-300		25,10	1,75	752,00		131,86
G-B-300		26,35	1,80	500,00		89,83
G-P-500		25,15	1,76	400,00		70,21
G-D-500		24,85	1,74	700,00		122,13
G-B-500		26,10	1,79	500,00		89,40
G-P-700		25,05	1,75	400,00		70,07
G-D-700		24,95	1,75	676,00		118,18
G-B-700		26,45	1,80	500,00		90,00



Şekil 5.2. TS 500'e göre deney elemanlarının zımbalama çevreleri

5.1.2. Deney elemanlarının zımbalama kapasitelerinin ACI 318-19'a göre hesaplanması

ACI 318-19 yönetmeliğinde döşemelerin zımbalama yükü taşıma kapasitesini hesaplamak için kullanılan denklemler Eşitlik 5.6-5.8'de verilmiştir. Bu denklemlerden hesaplanan en küçük değer zımbalama kapasitesi olarak kabul edilmektedir. Şekil 5.3'te görüldüğü gibi ACI 318-19'da TS 500'e benzer olarak boşluğun varlığı sadece zımbalama çevresini hesaplamak için kullanılmaktadır. Hesaplama yöntemi TS 500 ile benzerlik göstermektedir. Bu yaklaşıma uygun olarak deney elemanlarının zımbalama çevreleri Şekil 5.4'te gösterilmiştir.

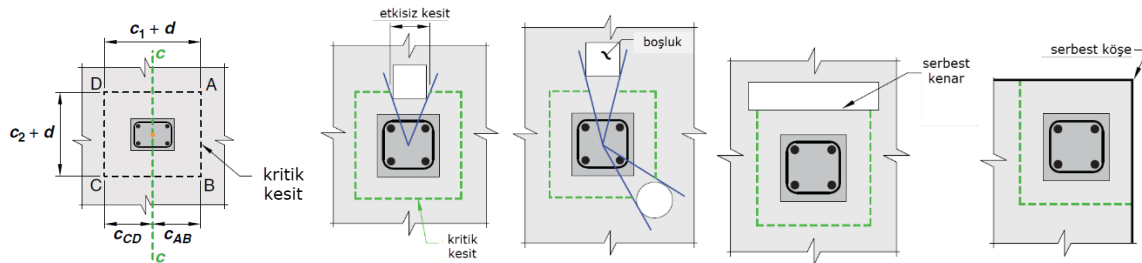
$$V_{C,1}=0,17\left(1+\frac{2}{\beta_c}\right)\lambda(f'_c)^{1/2}du_p \quad (5.6)$$

$$V_{C,2}=0,083[(\alpha_s d/u_p)+2]\lambda(f'_c)^{1/2}du_p \quad (5.7)$$

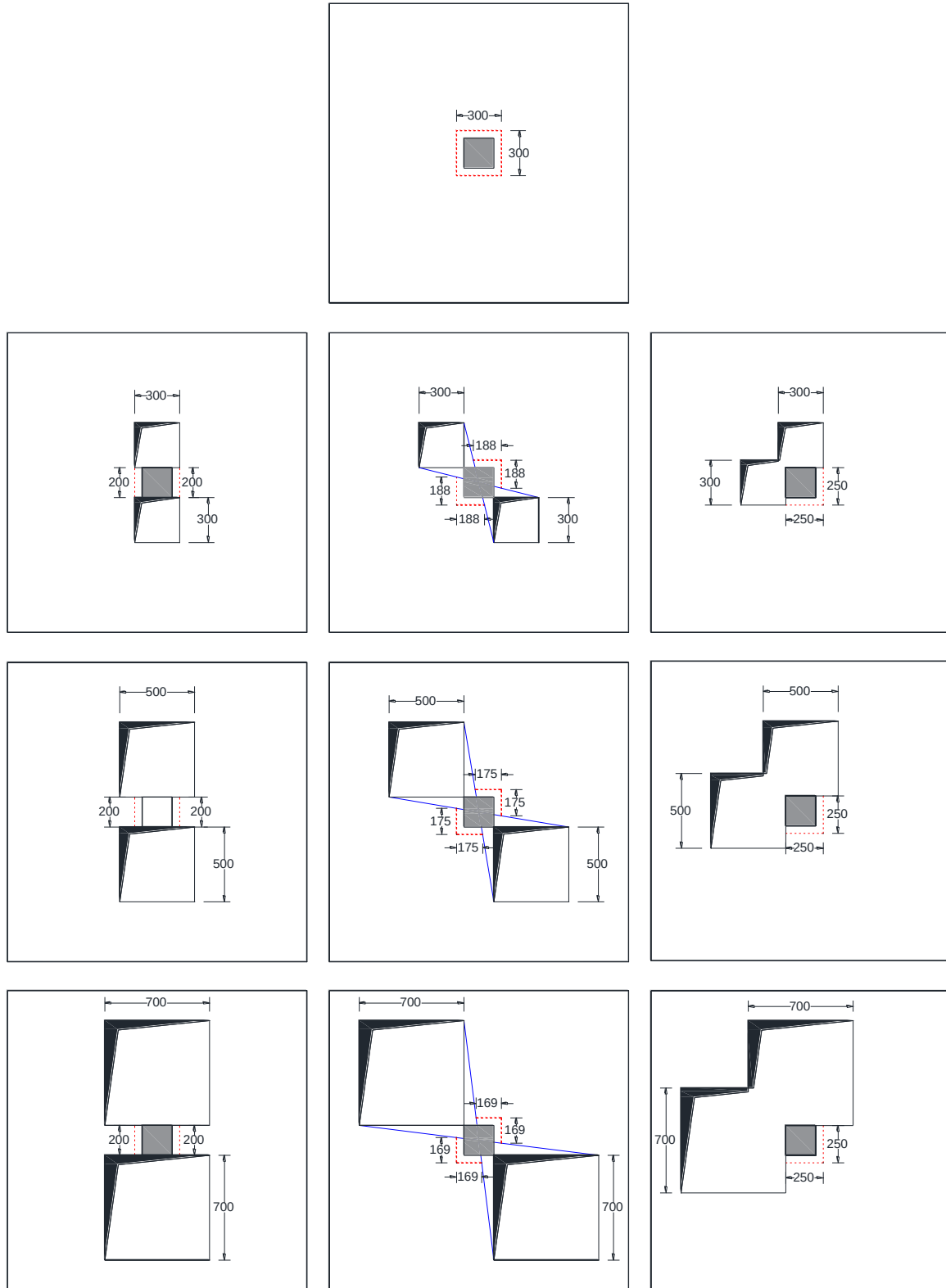
$$V_{C,3}=0,33\lambda(f'_c)^{1/2}du_p \quad (5.8)$$

$$\lambda=1,0 \text{ (eksenel yük durumunda)} \quad (5.9)$$

Eşitliklerde V_c beton tarafından sağlanan zımbalama dayanımını, β döşemenin uzun kenarının kısa kenarına oranını, λ eğilme etkisini temsil eden bir katsayıyı, f'_c beton basınç dayanımını, u_p kritik kesitin çevresini, d döşeme üst yüzünün eğilme donatısının merkezine uzaklığını, α_s ise iç, kenar ve köşe kolon olması durumuna göre sırasıyla 40, 30 ve 20 olarak değişen bir katsayıyı temsil etmektedir. Deney elemanlarının ACI 318-19'un yaklaşımına göre zımbalama yükü taşıma kapasiteleri ve hesaplamada kullanılan parametreler Çizelge 5.2'de verilmiştir.



Şekil 5.3. ACI 318-19'un zımbalama çevresi yaklaşımı



Şekil 5.4. ACI 318-19'a göre deney elemanlarının zımbalama çevreleri

Çizelge 5.2. ACI 318-19'a göre zımbalama yükü taşıma kapasiteleri

Deney El.	β_c	λ	f'_c (MPa)	d (mm)	u_p (mm)	α_s	$V_{C,1}$ (kN)	$V_{C,2}$ (kN)	$V_{C,3}$ (kN)	V_C (kN)
R0	1,00	1,00	25,60	100,00	1200,00	40,00	206,43	268,77	200,36	200,36
R-P-300			25,20		400,00		68,27	200,00	66,26	66,26
R-D-300			25,40		752,00		128,86	230,24	125,07	125,07
R-B-300			25,10		500,00		85,17	207,91	82,66	82,66
R-P-500			25,00		400,00		68,00	199,20	66,00	66,00
R-D-500			24,90		700,00		118,76	223,65	115,27	115,27
R-B-500			25,50		500,00		85,85	209,56	83,32	83,32
R-P-700			24,90		400,00		67,86	198,80	65,87	65,87
R-D-700			25,10		676,00		115,15	222,55	111,76	111,76
R-B-700			25,20		500,00		85,34	208,33	82,83	82,83
G-P-300			24,80		400,00		67,73	198,40	65,74	65,74
G-D-300			25,10		752,00		128,10	228,87	124,33	124,33
G-B-300			26,35		500,00		87,26	213,03	84,70	84,70
G-P-500			25,15		400,00		68,20	199,80	66,20	66,20
G-D-500			24,85		700,00		118,64	223,43	115,15	115,15
G-B-500			26,10		500,00		86,85	212,02	84,30	84,30
G-P-700			25,05		400,00		68,07	199,40	66,07	66,07
G-D-700			24,95		676,00		114,81	221,89	111,43	111,43
G-B-700			26,45		500,00		87,43	213,43	84,86	84,86

5.2. İkinci Gruptaki Şartnamelerin Önerdiği Denklemler

Bu bölümde zımbalama dayanımı hesabında döşeme içindeki eğilme donatısı oranını dikkate alan şartnamelerden Eurocode-2 ve BS8110 tarafından önerilen denklemler ve hesap yöntemleri verilmiştir.

5.2.1. Deney elemanlarının zımbalama kapasitelerinin Eurocode 2'ye göre hesaplanması

Eurocode 2 yönetmeliğinde döşemelerin zımbalama kapasitesi hesabı için Eşitlik 5.10-5.13 önerilmiştir. Eurocode 2'nin zımbalama çevresi ile ilgili yaklaşımı Şekil 5.5'te verilmiştir. Bu yaklaşımla belirlenen referans deney elemanlarına ait zımbalama çevreleri Şekil 5.6,

güçlendirilmiş deney elemanlarına ait zımbalama çevreleri ise Şekil 5.7 ile gösterilmiştir.

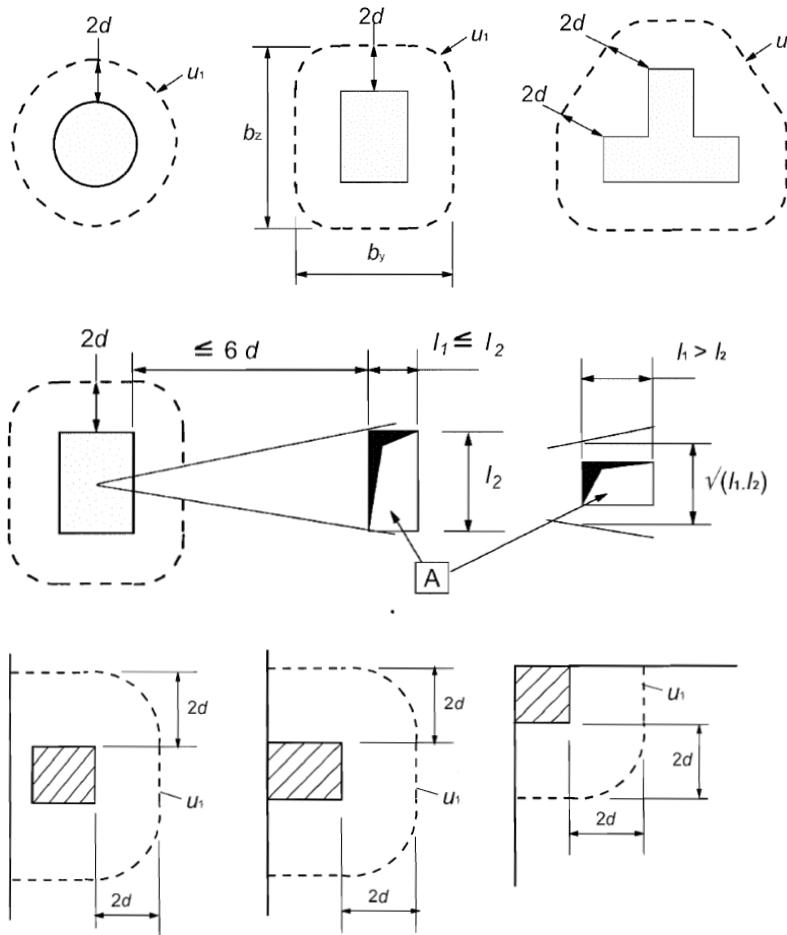
$$V_C = C_{rd,c} k (100 \rho_l f_{ck})^{1/3} d u_p \quad (5.10)$$

$$C_{rd,c} = 0,18 \quad (5.11)$$

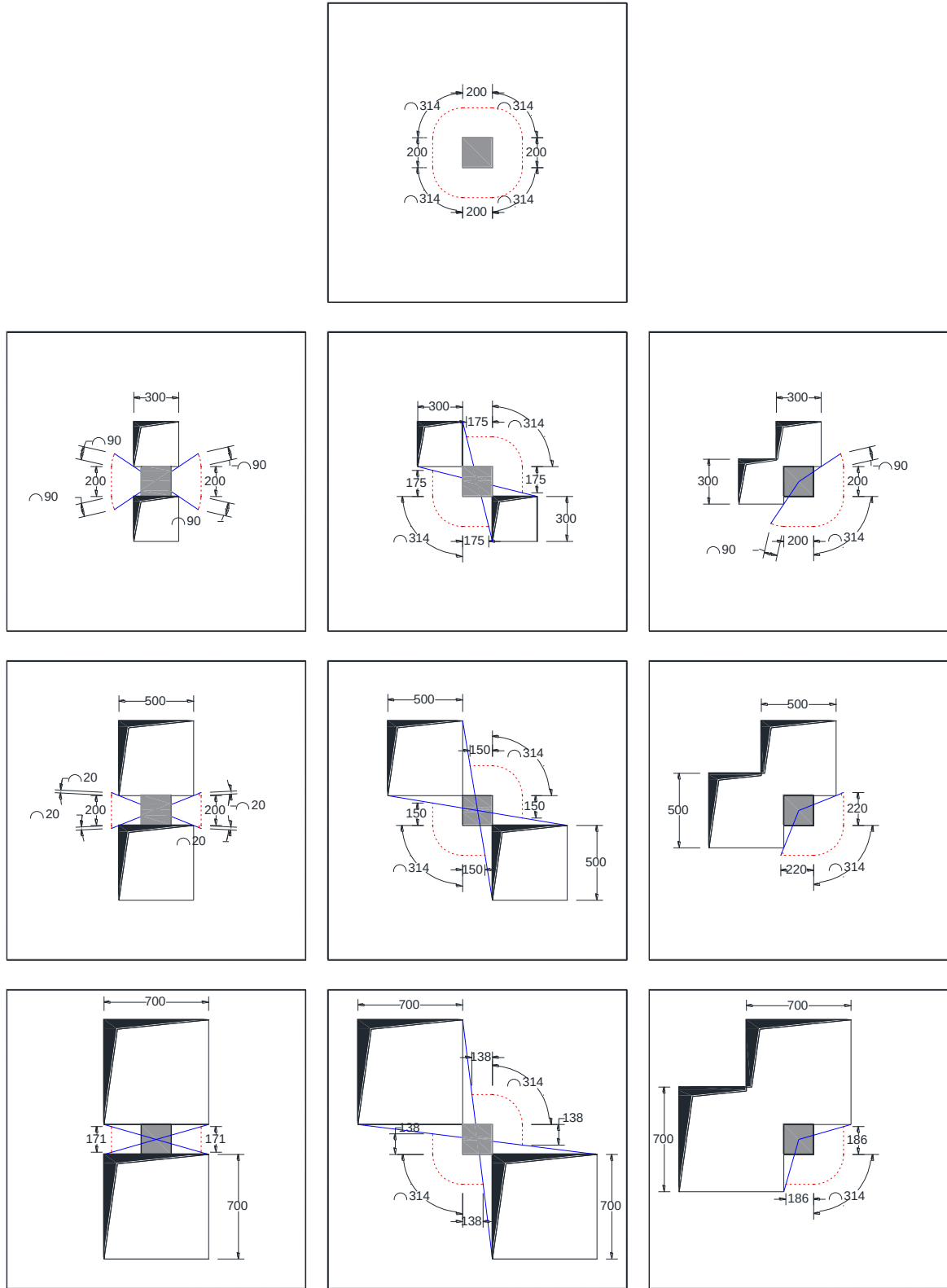
$$k = 1 + \left(\frac{200}{d} \right)^{1/2} \leq 2 \quad (d \text{ mm cinsindendir}) \quad (5.12)$$

$$\rho_l = \sqrt{\rho_{ly} \rho_{lz}} \quad (5.13)$$

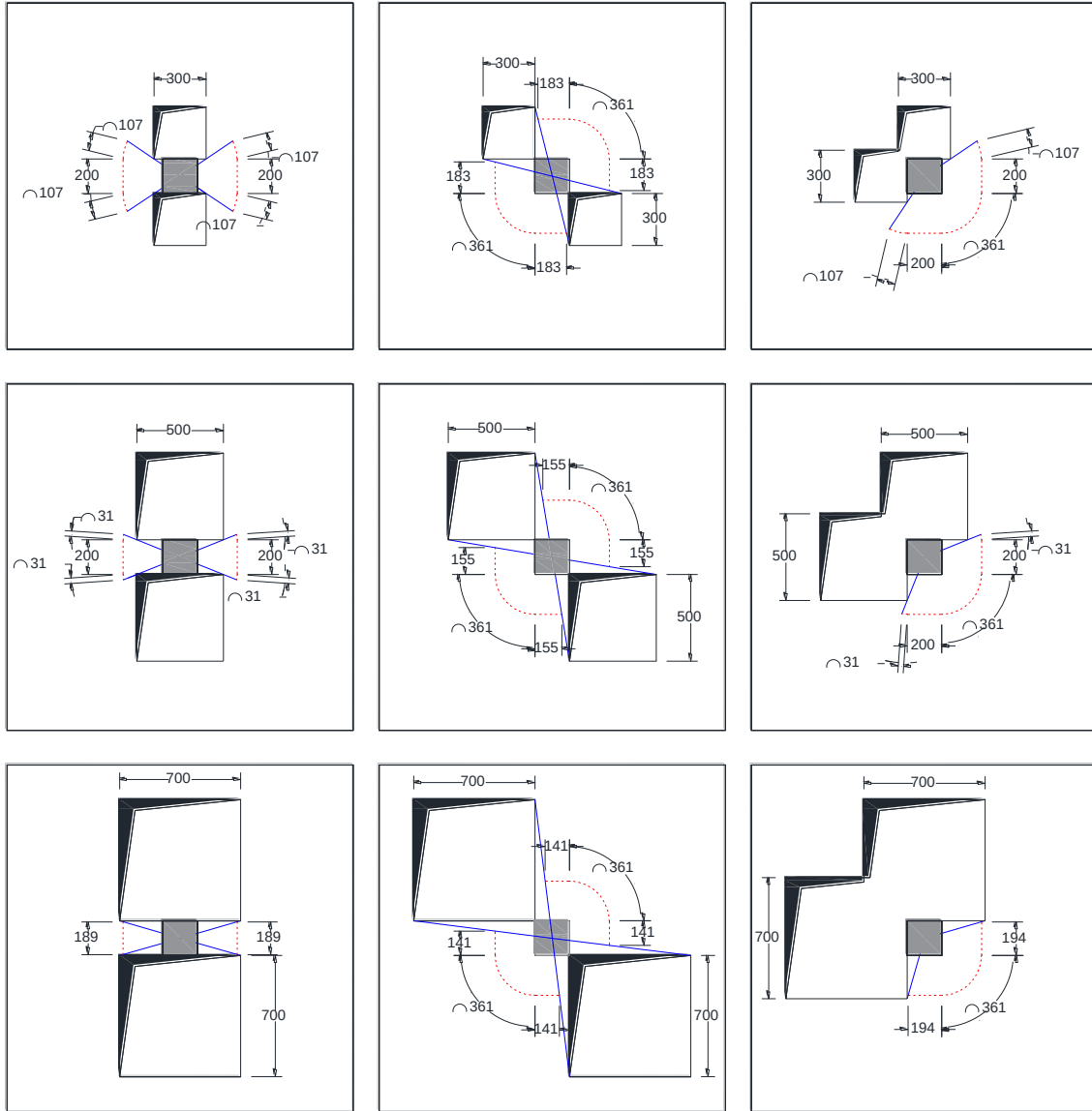
V_C zımbalama çevresinde oluşan kayma gerilmesi dayanımı, d döşeme faydalı yüksekliği, u_p zımbalama çevresi, f_{ck} beton karakteristik basınç dayanımı, ρ_{ly} ve ρ_{lz} her iki yöndeki döşeme çekme donatısı oranı olarak tanımlanmıştır. Deney elemanlarının Eurocode 2'deki yaklaşıma göre zımbalama yükü taşıma kapasitelerini belirlemek için kullanılan parametreler Çizelge 5.3'te verilmiştir.



Şekil 5.5. Eurocode 2'nin zımbalama çevresi yaklaşımı



Şekil 5.6. Eurocode 2'ye göre referans deney elemanlarının zımbalama çevreleri



Şekil 5.7. Eurocode 2'ye göre güçlendirilmiş deney elemanlarının zımbalama çevreleri

Çizelge 5.3. Eurocode 2'ye göre zımbalama yükü taşıma kapasiteleri

Deney El.	$C_{rd,c}$	d (mm)	k	ρ_l	f_{ck} (MPa)	u_p (mm)	V_C (kN)
R0	0,18	100,00	2,00	0,007	25,60	2056,00	193,69
R-P-300					25,20	760,00	71,22
R-D-300					25,40	1328,00	124,78
R-B-300					25,10	894,00	83,67
R-P-500					25,00	480,00	44,86
R-D-500					24,90	1228,00	114,62
R-B-500					25,50	754,00	70,94
R-P-700					24,90	342,00	31,92
R-D-700					25,10	1180,00	110,44
R-B-700					25,20	686,00	64,29
G-P-300		115,00		0,010	24,80	828,00	99,96
G-D-300					25,10	1454,00	176,25
G-B-300					26,35	975,00	120,12
G-P-500					25,15	524,00	63,56
G-D-500					24,85	1342,00	162,13
G-B-500					26,10	823,00	101,07
G-P-700					25,05	378,00	45,79
G-D-700					24,95	1286,00	155,57
G-B-700					26,45	749,00	92,39

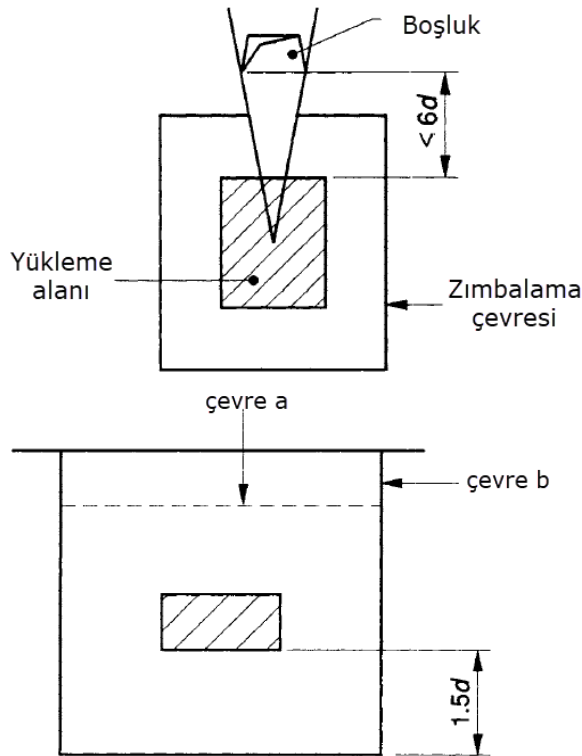
5.2.2. Deney elemanlarının zımbalama kapasitelerinin BS8110'a göre hesaplanması

BS8110 şartnamesinde döşemelerin zımbalama kapasitesi hesabı için Eşitlik 5.14-5.16 önerilmiştir. BS8110'da döşemelerde bulunan boşlukların etkilerini yansıtmak için Şekil 5.8'de gösterilen zımbalama çevresi yaklaşımı kullanılmıştır. Bu yaklaşım ile oluşturulan referans deney elemanlarına ait zımbalama çevreleri Şekil 5.9, güçlendirilmiş deney elemanlarına ait zımbalama çevreleri Şekil 5.10 ile gösterilmiştir.

$$V_c = 0,27k(100\rho_1 f_{c,cube})^{1/3} d u_p \quad (5.14)$$

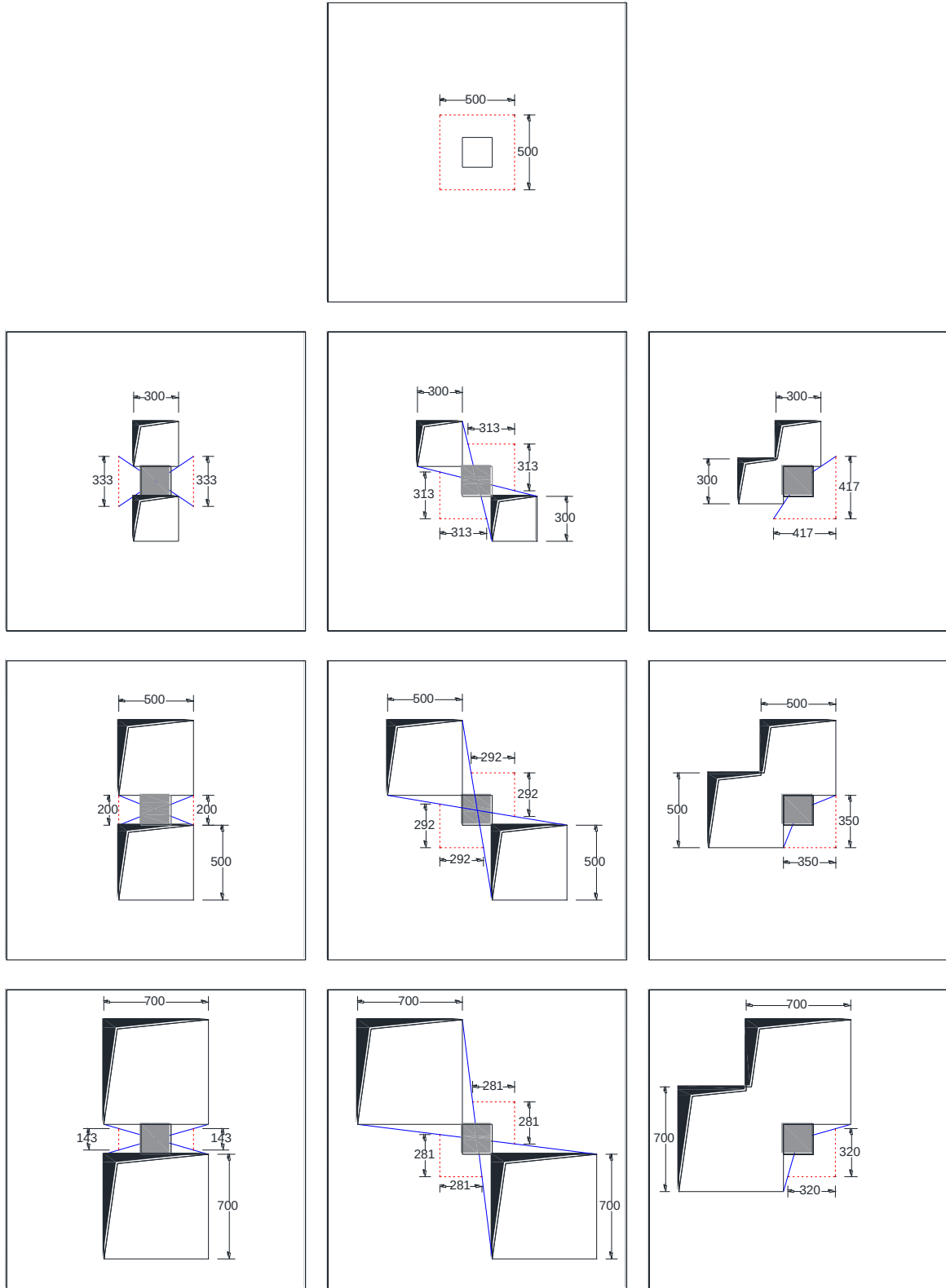
$$k = \left(\frac{400}{d}\right)^{1/4} \leq 2 \quad (d \text{ mm cinsindendir}) \quad (5.15)$$

$$\rho_1 \leq 0,03 \quad (5.16)$$

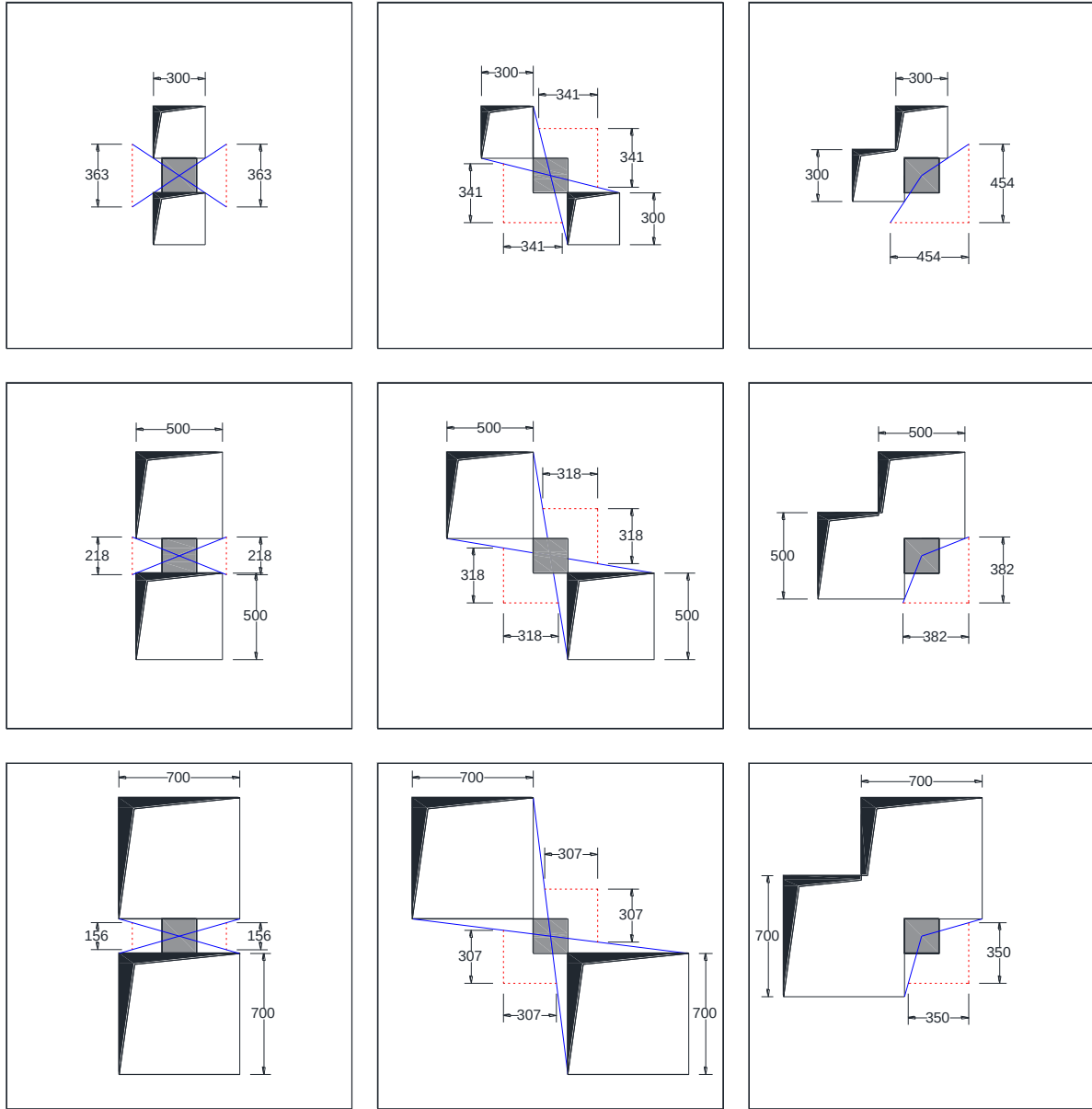


Şekil 5.8. BS8110'un zımbalama çevresi yaklaşımı

Eşitlik 5.14'te verilen V_c kirişsiz döşemenin zımbalama dayanımını, ρ_1 döşemede her iki yöndeki boyuna donatı oranlarının ortalamasını, u_p zımbalama kontrolü yapılacak kesitin çevresini, d ise döşeme faydalı yüksekliğini temsil etmektedir. Deney elemanlarının BS8110'un yaklaşımına göre zımbalama yükü taşıma kapasitelerini belirlemek için kullanılan parametreler Çizelge 5.4'te verilmiştir.



Şekil 5.9. BS 8110'a göre referans deney elemanlarının zımbalama çevreleri



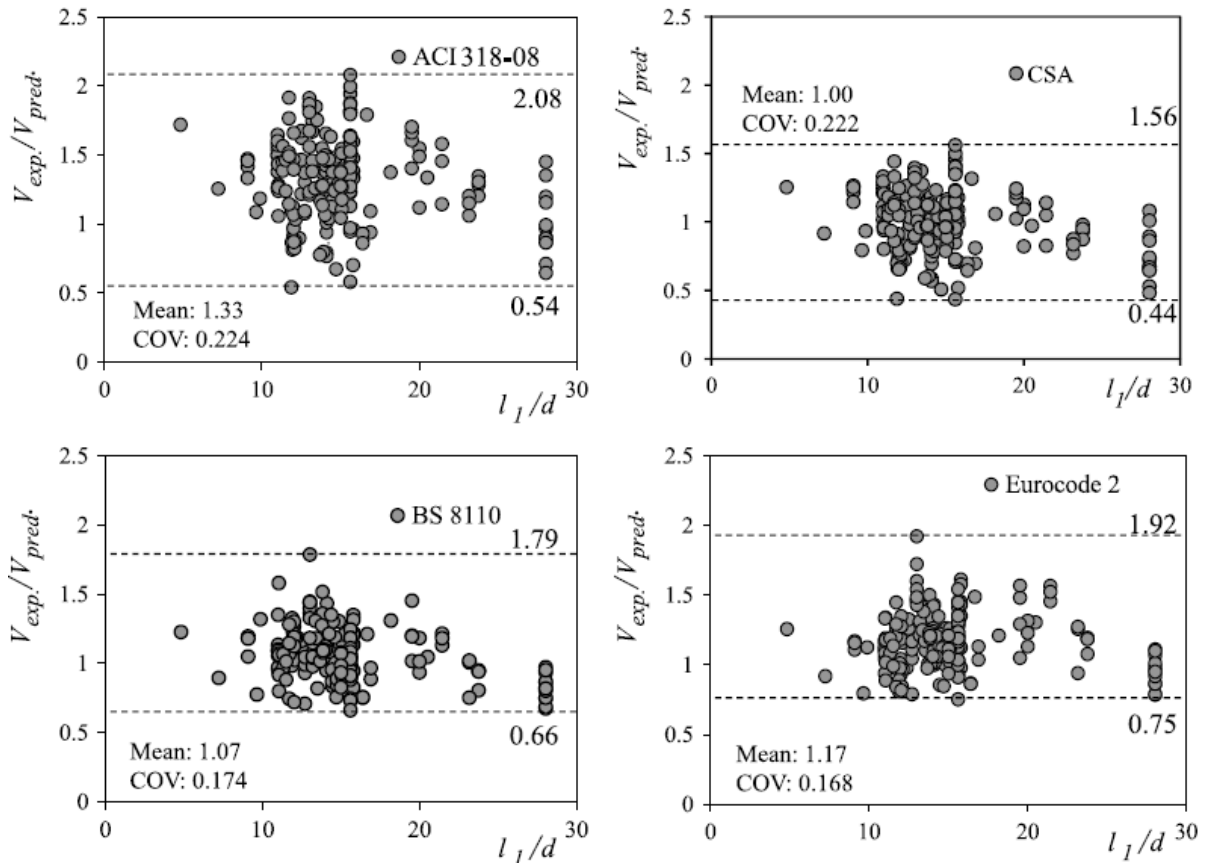
Şekil 5.10. BS 8110'a göre güçlendirilmiş deney elemanlarının zımbalama çevreleri

Çizelge 5.4. BS 8110'a göre zımbalama yükü taşıma kapasiteleri

Deney El.	k	ρ_l	$f_{c,cube}$ (MPa)	d (mm)	u_p (mm)	V_C (kN)
R0	1,41421	0,007	31,95	100,00	2000,00	215,16
R-P-300			31,49		666,00	71,30
R-D-300			31,72		1252,00	134,37
R-B-300			31,38		834,00	89,19
R-P-500			31,26		400,00	42,72
R-D-500			31,14		1168,00	124,58
R-B-500			31,84		700,00	75,22
R-P-700			31,14		286,00	30,51
R-D-700			31,38		1124,00	120,20
R-B-700			31,49		640,00	68,52
G-P-300		0,01	31,03	115,00	726,00	100,18
G-D-300			31,38		1364,00	188,92
G-B-300			32,82		908,00	127,66
G-P-500			31,43		436,00	60,42
G-D-500			31,09		1272,00	175,63
G-B-500			32,53		764,00	107,09
G-P-700			31,32		312,00	43,19
G-D-700			31,20		1228,00	169,76
G-B-700			32,94		700,00	98,53

6. DENEY SONUÇLARININ ANALİTİK SONUÇLARLA KARŞILAŞTIRILMASI

Bu bölümde deneysel olarak elde edilen zımbalama yükü taşıma kapasiteleri, analitik çalışmada elde edilen sonuçlarla karşılaştırılmış ve bazı öneriler sunulmuştur. Tez kapsamında gerçekleştirilen analitik çalışmaya benzer bir çalışma Park ve diğerleri (2011) tarafından gerçekleştirilmiştir. Park ve diğerleri (2011) daha önce literatürdeki iç kolon çevresinde zımbalama etkisini deneysel olarak araştıran çalışmalardan elde edilen zımbalama yükü kapasitelerini ACI 318-08, CSA, BS8110 ve Eurocode 2 yönetmeliklerinin kullanarak tahmin etmiştir. Tahmin sonuçlarının doğruluğunu gösterebilmek için deney sonuçları analitik denklemlerden elde edilen sonuçlara bölerek ve deney elemanlarının boyutları ile ilişkilendirilerek Şekil 6.1’de verilen dağılımları elde etmişlerdir. ACI 318-08 ile CSA şartnamelerinin deneysel çalışmalara göre oldukça büyük sonuçlar verdiğini savunmuşlardır.

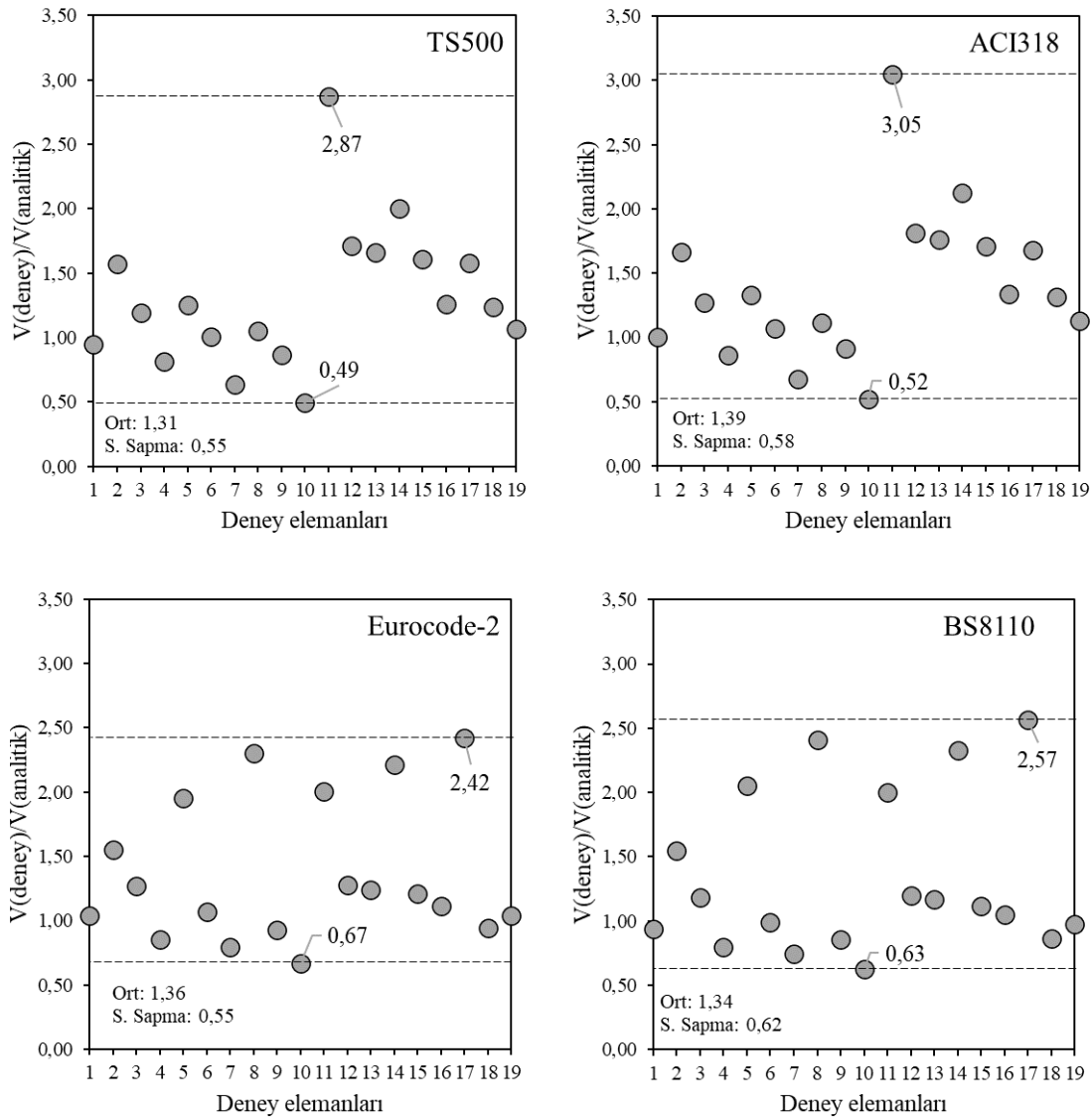


Şekil 6.1. Analitik sonuçlar ile deneysel sonuçların karşılaştırılması (Park ve diğerleri (2011))

Tez çalışması kapsamında gerçekleştirilen analitik çalışmada Park ve diğerleri (2011) tarafından yürütülen çalışmadan farklı olarak CSA şartnamesinin yerine TS 500 kullanılmıştır. Döşemelerin zımbalama yükü taşıma kapasitelerini tahmin etmek için öncelikle donatı oranını dikkate almayan TS 500 ve ACI 318-19 şartnamelerine göre daha sonra ise donatı oranını dikkate alan Eurocode 2 ve BS8110 şartnamelerine göre işlemler gerçekleştirilmiştir. Analitik çalışmadan elde edilen sonuçlar ile deney sonuçları Çizelge 6.1’de verilmiştir. Deney sonuçlarının analitik denklemlerden elde edilen sonuçlara oranı ile elde edilen dağılımlar Şekil 6.2’de verilmiştir.

Çizelge 6.1. Deney sonuçlarının analitik sonuçlarla karşılaştırılması

Deney El.	Zımbalama yükü taşıma gücü (kN)				
	TS 500	ACI 318-19	Eurocode 2	BS8110	Deney
R0	212,51	200,36	193,69	215,16	201,73
R-P-300	70,28	66,26	71,22	71,30	110,41
R-D-300	132,65	125,07	124,78	134,37	158,61
R-B-300	87,67	82,66	83,67	89,19	71,45
R-P-500	70,00	66,00	44,86	42,72	87,66
R-D-500	122,25	115,27	114,62	124,58	123,00
R-B-500	88,37	83,32	70,94	75,22	56,33
R-P-700	69,86	65,87	31,92	30,51	73,58
R-D-700	118,54	111,76	110,44	120,20	102,63
R-B-700	87,85	82,83	64,29	68,52	43,15
G-P-300	69,72	65,74	99,96	100,18	200,19
G-D-300	131,86	124,33	176,25	188,92	225,88
G-B-300	89,83	84,70	120,12	127,66	148,98
G-P-500	70,21	66,20	63,56	60,42	140,51
G-D-500	122,13	115,15	162,13	175,63	196,77
G-B-500	89,40	84,30	101,07	107,09	112,53
G-P-700	70,07	66,07	45,79	43,19	110,89
G-D-700	118,18	111,43	155,57	169,76	146,51
G-B-700	90,00	84,86	92,39	98,53	95,78

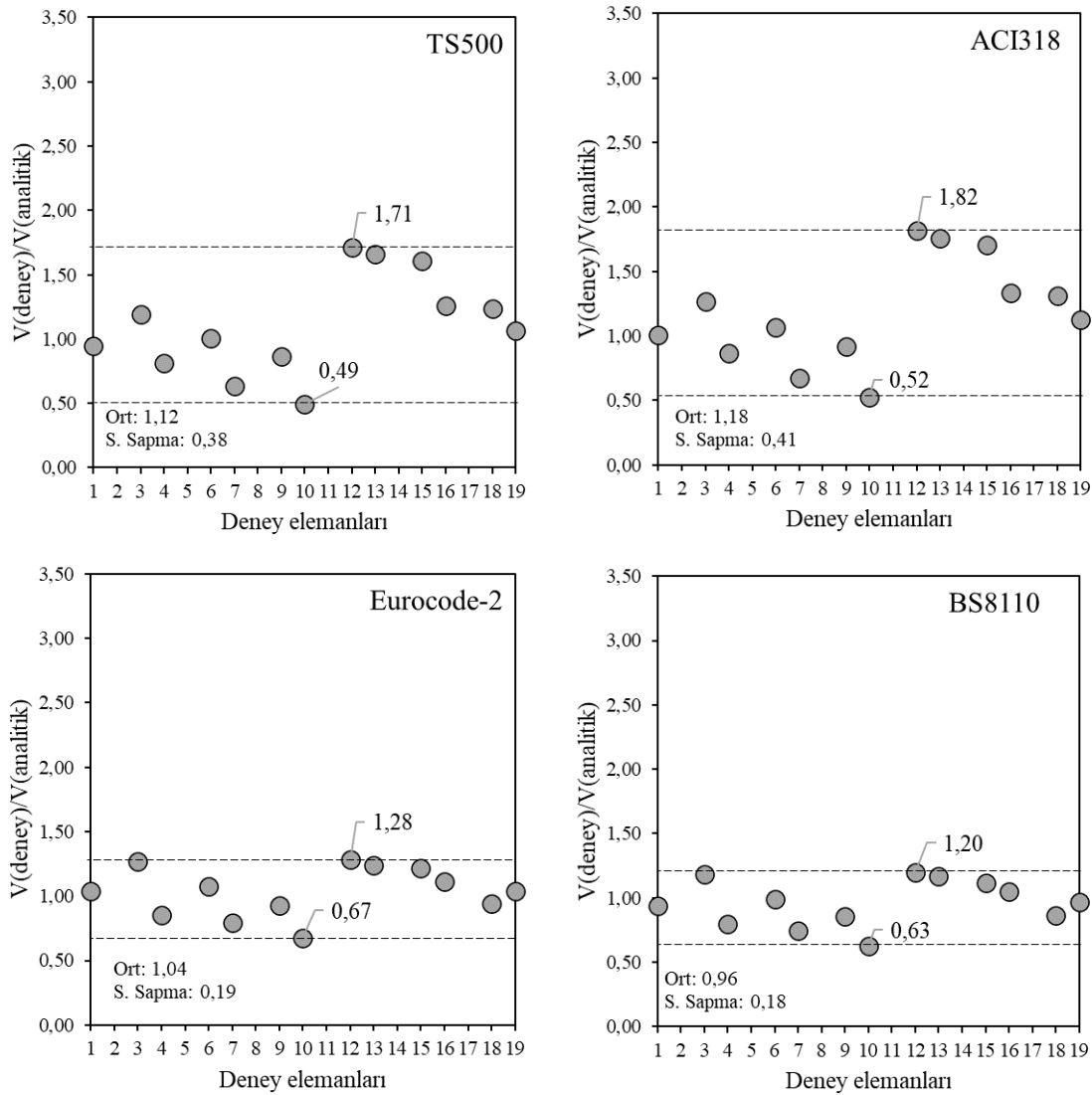


Şekil 6.2. Deney sonuçlarının analitik sonuçlara oranının dağılımı

Şekil 6.2’de verilen dağılımlar incelendiğinde $V(\text{deney}) / V(\text{analitik})$ oranının en büyük değeri ACI 318-19’dan, en küçük değeri ise TS 500’den alınmaktadır. Ayrıca ACI 318-19 ve TS 500 bazı deney elemanlarının kapasitelerini oldukça büyük tahmin etmiştir. Bu değerlendirme Park ve diğerleri (2011) tarafından yürütülen çalışmayı desteklemektedir. Bunların yanı sıra TS 500 ve ACI 318-19 donatı oranını dikkate almadığı için güçlendirilmiş deney elemanlarının tamamında $V(\text{deney}) / V(\text{analitik})$ oranı 1’den büyük çıkmıştır.

$V(\text{deney}) / V(\text{analitik})$ oranının ortalamaları incelendiğinde deneysel sonuçlarının analitik sonuçlardan %31 ile %39 oranları arasında daha büyük olduğu görülmüştür. Bu farkın en önemli nedeninin paralel boşluk konumuna sahip deney elemanlarının zımbalama yükü

taşıma kapasitelerinin analitik denklemler ile oldukça düşük tahmin edilmesinden kaynaklanmıştır. Paralel boşluk konumuna sahip deney elemanları için elde edilen sonuçlar hariç tutularak oluşturulan dağılımlar Şekil 6.3'te gösterilmiştir. Deney sonuçlarının TS 500, ACI 318-19 ve Eurocode 2 ile yapılan tahminlerden ortalama olarak sırasıyla %12, %18 ve %4 oranında daha büyük olduğu görülmüştür. Ancak donatı oranını dikkate almayan TS 500 ve ACI 318-19 için standart sapma değerleri sırasıyla 0,38 ve 0,41'dir. Bu değer donatı oranını dikkate alan Eurocode 2 için 0,19'dur. Ayrıca, deney sonuçları BS8110 ile tahmin edilen zımbalama yükü taşıma kapasitesinden ortalama olarak %4 daha küçüktür. Standart sapma değeri ise 0,18'dir.



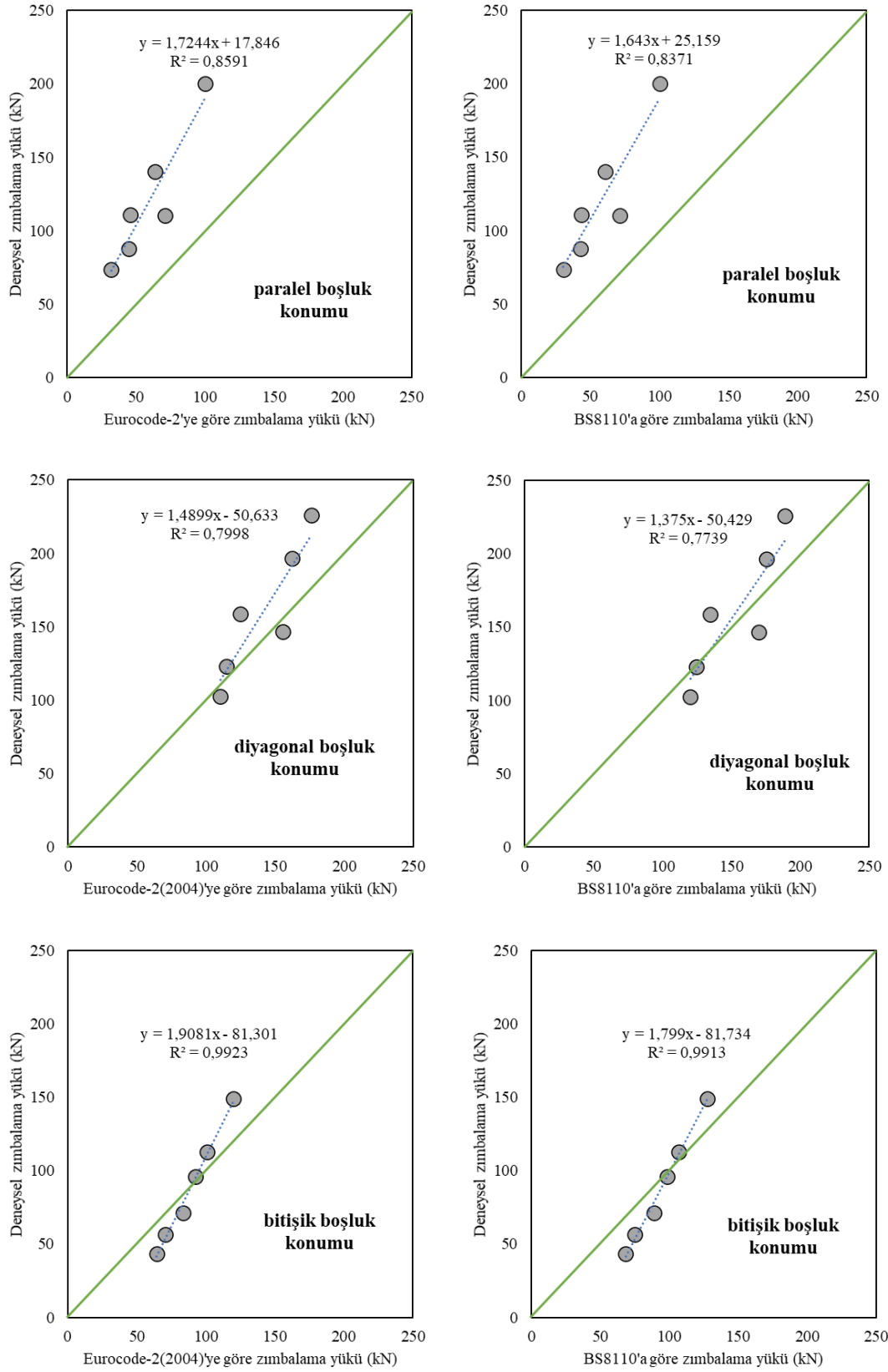
Şekil 6.3. Deney sonuçlarının analitik sonuçlara oranının dağılımı (paralel boşluk konumu hariç)

6.1. İkinci Gruptaki Şartnamelerde Bulunan Denklemler İçin Bir Öneri

TS 500 ve ACI 318-19 yönetmeliklerinde betonarme döşemelerin zımbalama yükü taşıma kapasitelerini hesaplanırken eğilme donatısının dikkate alınmadığı, bu nedenle döşeme yüzeyine sonradan yapıştırılan kompozit malzemelerin zımbalama dayanımına katkısının ihmal edildiği anlaşılmıştır. Diğer taraftan Eurocode 2 ve BS8110 eğilme donatısı oranını dikkat aldığı için hem referans hem de güçlendirilmiş deney elemanları için daha başarılı tahminlerde bulunulmuştur (Şekil 6.2, 6.3 ve Çizelge 6.1). Bu nedenle ikinci gruptaki şartnameler aracılığıyla gerçekleştirilen tahminler ile deney sonuçlarının daha detaylı incelenmesine ve mümkünse bazı önerilerde bulunularak bu tahminlerin iyileştirilmesine karar verilmiştir. Bu kapsamda deney elemanlarında önemli değişkenlerden biri olan boşluk konumuna bağlı olarak deneysel veriler ve denklemler aracılığıyla tahmin edilen veriler arasında Şekil 6.4'te gösterilen dağılımlar elde edilmiştir. Tahminlerin doğruluğunu gösterebilmek için her bir şekilde $x = y$ eğrisi de çizilmiştir. Bu eğri üzerinde ve yakınında bulunan, dağılıma ait bir nokta, denklemler aracılığıyla elde edilen verilerin deneysel verilere yakın ve doğru bir şekilde tahmin edildiğini göstermektedir. Dağılıma ait nokta, eğrinin yukarısında ise deneysel zımbalama yükünün daha büyük olduğunu, altında ise denklemler aracılığıyla elde edilen zımbalama yükünün daha büyük olduğunu göstermektedir.

Şekil 6.4 incelendiğinde paralel boşluk konumuna sahip deney elemanları için elde edilen dağılımın diğer boşluk konumuna sahip deney elemanlarına göre $x = y$ eğrisinden daha uzakta olduğu görülmüştür. Buna rağmen Eurocode 2 için $R^2 = 0,8591$ ve BS8110 için $R^2 = 0,8371$ değerlerinden de anlaşılabileceği üzere kendi içinde tutarlı veriler sunmuştur. Bu bilgiler ışığında bir katsayı yardımıyla dağılımın $x = y$ eğrisi çevresinde toplanabileceği düşünülmüş ve Çizelge 6.2 ve Çizelge 6.3 oluşturulmuştur.

Diyagonal ve bitişik boşluk konumları için elde edilen dağılımların $x = y$ eğrisi çevresinde toplanmıştır. Bu durum yapılan tahminlerin tutarlı olduğu göstermiştir. Diyagonal boşluk konumu için Eurocode 2 ve BS8110 aracılığıyla yapılan tahminlerde R^2 değerleri sırasıyla 0,7998 ve 0,7739'dur. Bu oranlar bitişik boşluk konumu için yine sırasıyla 0,9923 ve 0,9913'tür. Verilen bu bilgilere göre herhangi bir katsayı önerisine gerek duyulmamıştır.



Şekil 6.4. İkinci grup şartnameler ile tahmin edilen zımbalama yüklerinin boşluk konumuna göre tutarlılığı

Çizelge 6.2. Eurocode 2’de verilen denklem için paralel boşluk konumuna özel katsayı önerisi

Deney el.	Zımbalama yükü taşıma gücü (kN)			
	Eurocode 2	Deney	Deney / Eurocode 2	(Eurocode 2) x 2,07
R-P-300	71,22	110,41	1,55	147,43
R-P-500	44,86	87,66	1,95	92,87
R-P-700	31,92	73,58	2,30	66,08
G-P-300	99,96	200,19	2,00	206,93
G-P-500	63,56	140,51	2,21	131,57
G-P-700	45,79	110,89	2,42	94,78
Ortalama	59,55	120,54	2,07	123,28

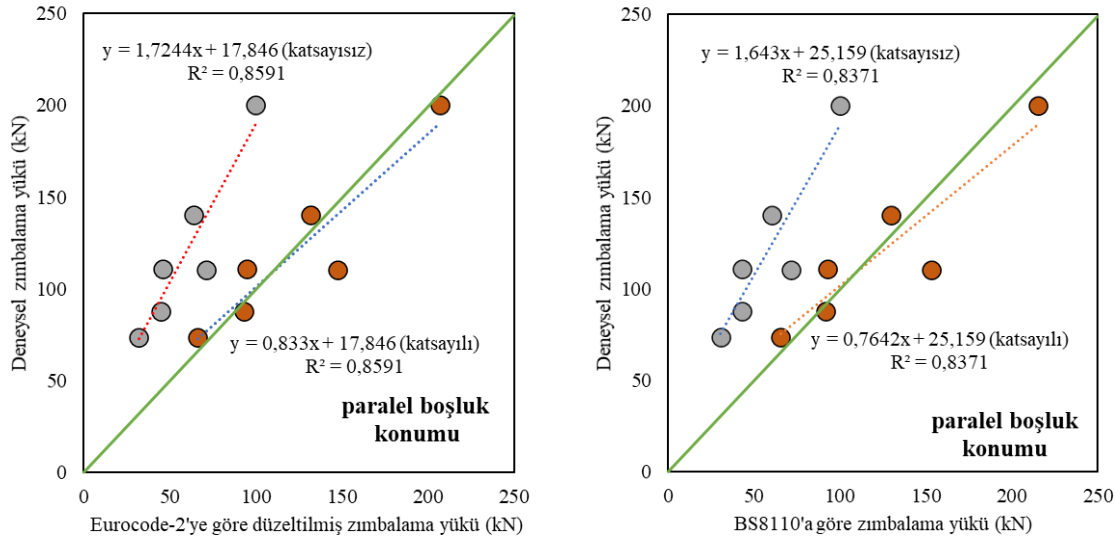
Çizelge 6.3. BS8110’da verilen denklem için paralel boşluk konumuna özel katsayı önerisi

Deney el.	Zımbalama yükü taşıma gücü (kN)			
	BS8110	Deney	Deney / BS8110	(BS8110) x 2,15
R-P-300	71,30	110,41	1,55	153,30
R-P-500	42,72	87,66	2,05	91,85
R-P-700	30,51	73,58	2,41	65,59
G-P-300	100,18	200,19	2,00	215,38
G-P-500	60,42	140,51	2,33	129,90
G-P-700	43,19	110,89	2,57	92,85
Ortalama	58,05	120,54	2,15	124,81

Çizelge 6.2’de ve Çizelge 6.3’te deneysel veriler ikinci grup denklemlerden elde edilen verilere bölünmüş ve elde edilen oranların ortalamaları alınmıştır. Bu ortalama değerler Eurocode 2 için 2,07 ve BS8110 için 2,15’tir. Bu değerler eşitliklere bir çarpan olarak yerleştirildiğinde Eurocode 2 ve BS8110 yönetmelikleri için sırasıyla Eşitlik 6.1 ve Eşitlik 6.2 elde edilmiştir. Bu eşitlikler kullanılarak elde edilen sonuçlar Çizelge 6.2 ve Çizelge 6.3’te, dağılımlar ise Şekil 6.5’te verilmiştir.

$$V_C = 2,07 [C_{rd,c} k (100 \rho_l f_{ck})^{1/3} d_{u_p}] \quad (6.1)$$

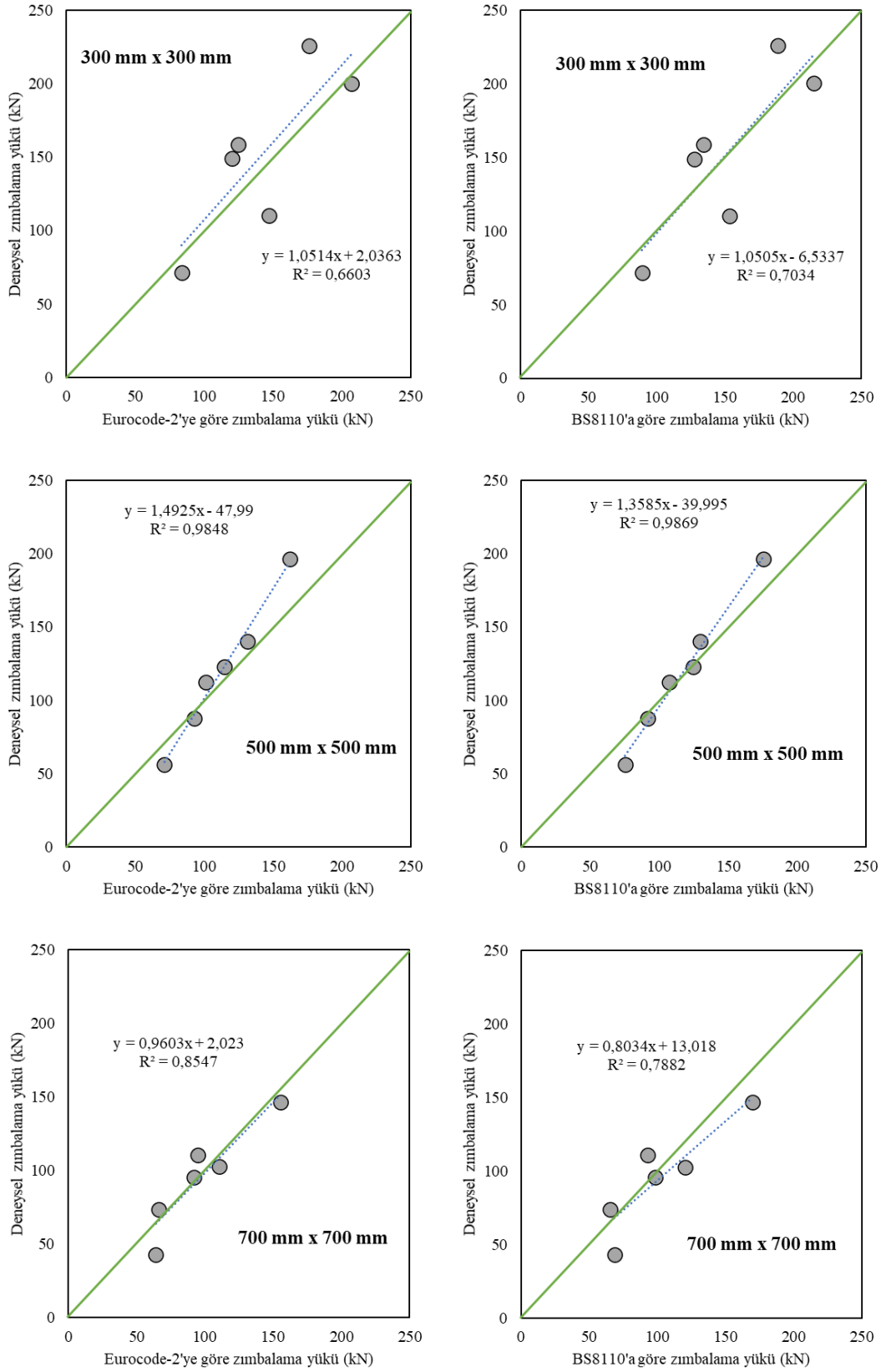
$$V_C = 2,15 [0,27 k (100 \rho_l f_{c,cube})^{1/3} d_{u_p}] \quad (6.2)$$



Şekil 6.5. Paralel boşluk konumu için önerilen katsayının katkısı

Önerilen katsayılar ile elde edilen denklemler aracılığıyla paralel boşluk konumuna sahip deney elemanları için tahmin edilen zımbalama yükü taşıma kapasitelerinin ortalamaları deney verilerinin ortalamalarına oldukça yakındır (Çizelge 6.2 ve Çizelge 6.3). Ayrıca dağılımların $x = y$ eğrisi üzerinde ve çevresinde toplandığı görülmüştür (Şekil 6.5).

Deney elemanlarında diğer önemli değişkenlerden biri olan boşluk büyüklüğüne göre deneysel veriler ve denklemler aracılığıyla tahmin edilen veriler arasında Şekil 6.6'da gösterilen dağılımlar elde edilmiştir. Bu dağılımlar oluşturulurken paralel boşluk konumu için önerilen katsayılar kullanılmıştır. Tüm boşluk büyüklükleri için dağılımlar $x = y$ eğrisi etrafında toplanmıştır. Boşluk büyüklüğünün 500 mm x 500 mm ve 700 mm x 700 mm olduğu durumlarda dağılımlar $x = y$ eğrisine daha çok yaklaşmıştır. 300 mm x 300 mm boşluk büyüklüğüne sahip deney elemanlarına ait veriler incelendiğinde R^2 değerleri Eurocode 2 ve BS8110 için sırasıyla 0,6603 ve 0,7034'tür. Bu değerler 500 mm x 500 mm boşluk büyüklüğüne sahip deney elemanları için 0,9848 ve 0,9869'dur. Boşluk büyüklüğü 700 mm x 700 mm olan deney elemanlarında ise yine sırasıyla 0,8547 ve 0,7882'dir.



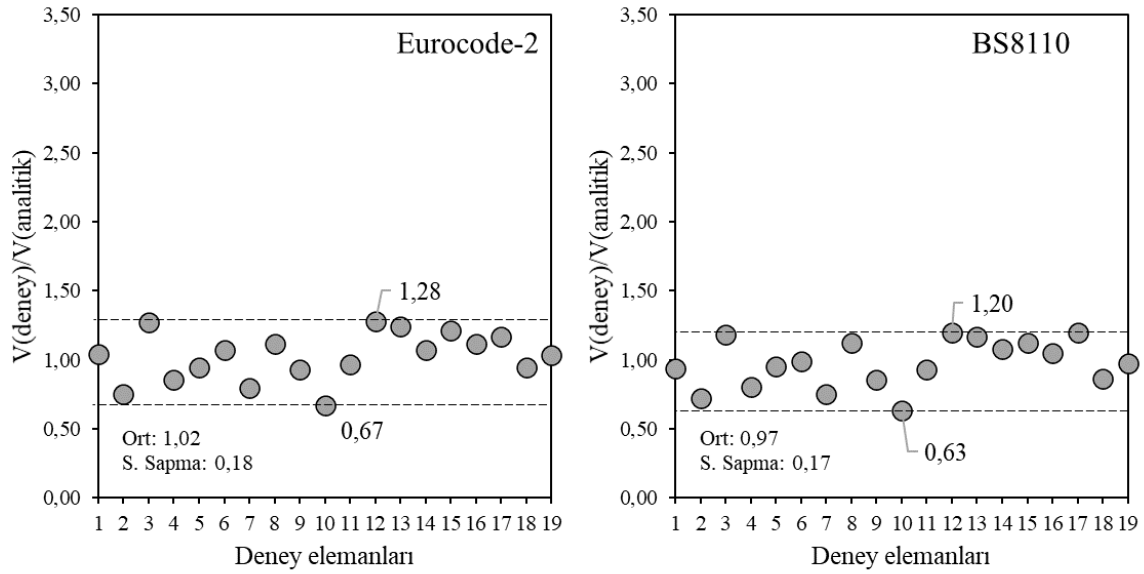
Şekil 6.6. İkinci grup şartnameler ile tahmin edilen zımbalama yüklerinin boşluk büyüklüğüne göre tutarlılığı

Çizelge 6.4. İkinci grup şartnameler ve önerilen katsayılar aracılığıyla yapılan tahminler

Deney el.	Zımbalama yükü taşıma gücü (kN)		
	Eurocode 2*	BS8110*	Deney
R0	193,69	215,16	201,73
R-P-300	147,43	153,30	110,41
R-D-300	124,78	134,37	158,61
R-B-300	83,67	89,19	71,45
R-P-500	92,87	91,85	87,66
R-D-500	114,62	124,58	123,00
R-B-500	70,94	75,22	56,33
R-P-700	66,08	65,59	73,58
R-D-700	110,44	120,20	102,63
R-B-700	64,29	68,52	43,15
G-P-300	206,93	215,38	200,19
G-D-300	176,25	188,92	225,88
G-B-300	120,12	127,66	148,98
G-P-500	131,57	129,90	140,51
G-D-500	162,13	175,63	196,77
G-B-500	101,07	107,09	112,53
G-P-700	94,78	92,85	110,89
G-D-700	155,57	169,76	146,51
G-B-700	92,39	98,53	95,78

*Paralel boşluk konumu için önerilen katsayı kullanılmıştır.

Tüm incelemelerin ve yapılan önerilerin ardından deney sonuçları ve ikinci grup şartnameler aracılığı ile tahmin edilen veriler Çizelge 6.4'te verilmiştir. Deneyisel sonuçların tahmin edilen verilere oranı ile oluşan dağılımlar ise Şekil 6.7'de gösterilmiştir. Eurocode 2 kullanıldığında bu oranlar en büyük 1,28, en küçük 0,67 değerini alırken, ortalamaları 1,02 ve standart sapmaları 0,18'dir. BS8110 içinse en büyük oran 1,20 ve en küçük oran ise 0,63 değerini alırken oranların ortalaması 0,97, standart sapması 0,17 değerindedir.



Şekil 6.7. Deney sonuçların ikinci grup şartnameler ve önerilen katsayılar aracılığıyla yapılan tahminlere oranının dağılımı

6.2. Literatürde Bulunan Boşluklu Betonarme Döşemelerin Deneysel Zımbalama Kapasitelerinin Yönetmeliklerin Önerdiği Denklemlerle Tahmin Edilerek Karşılaştırılması

Bu başlık altında, detaylı bir literatür taraması sonrasında, boşluklu betonarme döşemelerin zımbalama kapasitelerini deneysel olarak inceleyen 15 adet çalışmaya ulaşılmıştır. Bu çalışmalardan elde edilen 89 adet deneysel veriye, tez çalışmasında incelen ve güçlendirme uygulanmayan 9 adet deney sonucu eklenerek toplamda 98 adet deneysel sonuç dört farklı yönetmelikte önerilen denklemlerle tahmin edilmeye çalışılmıştır. Benzer bir çalışma Rashied (2015) tarafından yürütülmüş ve 8 adet deneysel çalışma sonucu ACI-318 ve Eurocode-2 ile doğrulanmaya çalışmıştır. Rashied (2015) tarafından elde edilen 69 adet veri mevcut haliyle kullanılarak deneysel veri sayısı 167 olmuştur.

Öncelikle 16 farklı çalışmaya ait 98 adet deneysel sonuç sırasıyla TS500, ACI 318, Eurocode 2 ve BS8110'un önerdiği denklemlerle tahmin edilmeye çalışılmıştır. Elde edilen sonuçlar Çizelge 6.5-8'de verilmiştir. Rashied'in (2015) çalışması ile birleştirilerek, elde edilen tüm veriler ve sonuçlar Çizelge 6.9'da verilmiştir.

Çizelge 6.5. Deneysel verilerin TS500 ile tahmin edilmesi

Çalışma	Deney El.	γ	f_{ck} (MPa)	f_{ctd} (MPa)	u_p (mm)	d (mm)	V_{pr} (kN)	V_{deney} (kN)	V_{deney} / V_{pr}	L / d
Mercimek (2021)	R-P-300	1,00	25,20	1,76	400,00	100,00	70,28	110,41	1,57	19,00
	R-D-300		25,40	1,76	752,00		132,65	158,61	1,20	19,00
	R-B-300		25,10	1,75	500,00		87,67	71,45	0,81	19,00
	R-P-500		25,00	1,75	400,00		70,00	87,66	1,25	19,00
	R-D-500		24,90	1,75	700,00		122,25	123,00	1,01	19,00
	R-B-500		25,50	1,77	500,00		88,37	56,33	0,64	19,00
	R-P-700		24,90	1,75	400,00		69,86	73,58	1,05	19,00
	R-D-700		25,10	1,75	676,00		118,54	102,63	0,87	19,00
	R-B-700		25,20	1,76	500,00		87,85	43,15	0,49	19,00
Mahmoud ve Yousif (2017)	SG01	1,00	37,30	2,14	698,00	62,00	92,51	67,70	0,73	14,52
	SG02		32,60	2,00	768,00		95,15	85,00	0,89	14,52
	SG03		30,50	1,93	548,00		65,67	80,00	1,22	14,52
	SG04		35,40	2,08	688,00		88,83	100,00	1,13	14,52
	SG05		30,10	1,92	740,00		88,10	102,00	1,16	14,52
	SS01		35,70	2,09	698,00		90,50	77,10	0,85	14,52
	SS02		30,50	1,93	768,00		92,04	85,00	0,92	14,52
Liberati ve diğerleri (2019)	LF1-A	1,00	44,27	2,33	822,00	90,00	172,28	187,60	1,09	20,00
	LF1-B		44,27	2,33	822,00		172,28	178,00	1,03	20,00
	LF1-C		44,27	2,33	822,00		172,28	233,70	1,36	20,00
	LF2-A		34,57	2,06	684,00		126,67	187,60	1,48	20,00
	LF2-B		34,57	2,06	684,00		126,67	213,90	1,69	20,00
	LF2-C		34,57	2,06	684,00		126,68	194,80	1,54	20,00
	LF2-D		41,03	2,24	684,00		138,02	208,40	1,51	20,00
	LF4-A		39,57	2,20	408,00		80,85	184,00	2,28	20,00
Lourenço ve diğerleri (2021)	LF1	1,00	46,00	2,37	726,00	92,00	158,55	221,00	1,39	20,00
	LF2		46,30	2,38	855,00	91,00	185,30	250,00	1,35	20,00
	LF3		45,90	2,37	898,00	92,00	195,90	231,00	1,18	20,00
	LF4		41,20	2,25	920,00	93,00	192,22	273,00	1,42	20,00
Ha ve diğerleri (2015)	H1 (V1)	1,00	27,00	1,82	1800,00	180,00	589,24	550,20	0,93	11,11
	H2				1655,00		541,78	517,30	0,95	11,11
	H3				1490,00		487,76	452,90	0,93	11,11
	V2				1800,00		589,24	556,90	0,95	11,11
	V3				1800,00		589,24	546,50	0,93	11,11
	L3				1520,00		497,58	418,20	0,84	11,11
	HV4				1630,00		533,59	517,90	0,97	11,11
Bompa ve Onet (2010)	DB06NSC	1,00	25,80	1,78	1500,00	150,00	400,00	373,80	0,93	9,60
Abdollahi ve diğerleri (2017)*	SNCS1	1,00	35,50	2,09	690,00	60,00	86,33	100,00	1,16	15,00
	SHCS1		125,00	3,91	690,00		162,00	166,80	1,03	15,00
	SNCS2		35,50	2,09	570,00		71,32	89,80	1,26	15,00
	SHCS2		125,00	3,91	570,00		133,83	162,05	1,21	15,00
	SNCS3		35,50	2,09	732,00		91,59	76,94	0,84	15,00
	SHCS3		125,00	3,91	732,00		171,86	143,36	0,83	15,00
	SNCS4		35,50	2,09	700,00		87,59	92,80	1,06	15,00
	SHCS4		125,00	3,91	700,00		164,35	163,65	1,00	15,00
	SNCS5		35,50	2,09	570,00		71,32	66,43	0,93	15,00
	SHCS5		125,00	3,91	570,00		133,83	124,82	0,93	15,00
Živković ve diğerleri (2019)*	SB1-OL-1d	1,00	44,00	2,32	850,00	90,00	177,61	200,00	1,13	16,67
	SB2-OL-2d		44,00	2,32	890,00		185,96	228,74	1,23	16,67
	SB3-OL-3d		44,00	2,32	908,00		189,72	231,59	1,22	16,67
	SB4-OL-4d		44,00	2,32	920,00		192,23	245,07	1,27	16,67
	SB5-OL-5d		44,00	2,32	930,00		194,32	248,94	1,28	16,67
Silva ve diğerleri (2017)	L3	1,00	39,40	2,20	660,00	90,00	130,50	225,00	1,72	20,00
	L4		39,60	2,20	960,00		190,30	350,00	1,84	20,00

Çizelge 6.5. (devamı) Deneysel verilerin TS500 ile tahmin edilmesi

Çalışma	Deney El.	γ	f_{ck} (MPa)	f_{ctd} (MPa)	u_p (mm)	d (mm)	V_{pr} (kN)	V_{deney} (kN)	V_{deney} / V_{pr}	L / d
Durucan ve Anıl (2015)	Specimen-2	1,00	20,56	1,59	-	100,00	125,00	161,00	1,29	19,00
	Specimen-3		19,96	1,56			150,00	186,00	1,24	19,00
	Specimen-4		21,23	1,61			114,00	158,00	1,39	19,00
	Specimen-5		19,78	1,56			145,00	173,00	1,19	19,00
	Specimen-6		20,12	1,57			168,00	197,00	1,17	19,00
	Specimen-7		21,45	1,62			168,00	219,00	1,30	19,00
	Specimen-8		20,03	1,57			155,00	191,00	1,23	19,00
	Specimen-9		21,09	1,61			160,00	202,00	1,26	19,00
Pinto ve diğerleri (2019)	L1	1,00	25,00	1,75	1279,00	100,00	223,83	273,00	1,22	18,00
	L2				1648,00		288,40	275,00	0,95	18,00
	L3				1706,00		298,55	277,00	0,93	18,00
Augustin ve diğerleri (2020)	S1-1	1,00	43,26	2,30	800,00	200,00	368,33	831,00	2,26	12,50
	S1-2		32,89	2,01	800,00		321,16	751,00	2,34	12,50
	S2-1		32,40	1,99	1333,00		531,13	777,00	1,46	12,50
	S2-2		35,69	2,09	1333,00		557,44	801,00	1,44	12,50
	S3-1		31,15	1,95	1440,00		562,59	751,00	1,33	12,50
	S3-2		31,05	1,95	1440,00		561,68	739,00	1,32	12,50
Balomenos ve diğerleri (2018)*	SB1-0	1,00	44,00	2,32	660,00	90,00	137,91	182,00	1,32	20,00
	SB-0		44,00	2,32	820,00		171,34	145,00	0,85	20,00
	SB1-1		44,00	2,32	740,00		154,62	198,00	1,28	20,00
	SB-1		44,00	2,32	860,00		179,69	180,00	1,00	20,00
	SB1-2		44,00	2,32	820,00		171,34	213,00	1,24	20,00
	SB-2		44,00	2,32	892,00		186,38	197,00	1,06	20,00
	SB1-3		44,00	2,32	856,00		178,86	218,00	1,22	20,00
	SB-3		44,00	2,32	912,00		190,56	212,00	1,11	20,00
	SB1-4		44,00	2,32	876,00		183,04	220,00	1,20	20,00
	SB-4		44,00	2,32	920,00		192,23	215,00	1,12	20,00
	SB1-5		44,00	2,32	892,00		186,38	223,00	1,20	20,00
	SB-5		44,00	2,32	928,00		193,90	219,00	1,13	20,00
Kormosova ve diğerleri (2020)	SL1	1,00	33,00	2,01	2356,00	159,00	753,18	761,00	1,01	15,72
	SL2		33,00	2,01	2536,00		810,72	781,00	0,96	15,72
	SL3		33,00	2,01	2356,00		753,18	831,00	1,10	15,72
	SL4		33,00	2,01	2356,00		753,18	671,00	0,89	15,72
	SL5		33,00	2,01	2356,00		753,18	681,00	0,90	15,72
Oukaili ve Salman (2014)	SF0	1,00	37,10	2,13	716,00	54,00	82,43	90,76	1,10	16,67
	CF0		34,13	2,04	666,00		73,54	79,87	1,09	16,67
	LF0		32,83	2,01	558,00		60,43	68,98	1,14	16,67
	CC0		36,27	2,11	680,00		77,40	90,76	1,17	16,67
	CF1		36,50	2,11	710,00		81,07	88,94	1,10	16,67
EL-Shafiey ve diğerleri (2012)	SC11O(2,2)F	1,00	25,00	1,75	-	130,00	222,91	315,00	1,41	12,31
	SC11O(3,3)F		25,00	1,75			198,13	222,00	1,12	12,31
	SC11O(4,4)F		25,00	1,75			185,75	210,00	1,13	12,31
	SC11O(2,2)C		25,00	1,75			247,67	339,00	1,37	12,31
	SC11O(3,3)C		25,00	1,75			241,46	300,00	1,24	12,31
	SC11O(4,4)C		25,00	1,75			237,77	261,00	1,10	12,31

* Çalışmadaki veriler deneysel çalışmalarla doğrulanmış nümerik modelden elde edilmiştir.

Çizelge 6.6. Deneysel verilerin ACI 318-19 ile tahmin edilmesi

Çalışma	Deney El.	β_c	λ	f'_c (MPa)	d (mm)	u_p (mm)	α_s	V_c (kN)	V_{deney} (kN)	V_{deney} / V_{pr}	L / d
Mercimek, Ö. (2021)	R-P-300	1,00	1,00	25,20	100,00	400,00	40,00	66,26	110,41	1,67	19,00
	R-D-300			25,40		752,00		125,07	158,61	1,27	19,00
	R-B-300			25,10		500,00		82,66	71,45	0,86	19,00
	R-P-500			25,00		400,00		66,00	87,66	1,33	19,00
	R-D-500			24,90		700,00		115,27	123,00	1,07	19,00
	R-B-500			25,50		500,00		83,32	56,33	0,68	19,00
	R-P-700			24,90		400,00		65,87	73,58	1,12	19,00
	R-D-700			25,10		676,00		111,76	102,63	0,92	19,00
	R-B-700			25,20		500,00		82,83	43,15	0,52	19,00
Mahmoud, ve Yousif (2017)	SG01	1,00	1,00	37,30	62,00	698,00	40,00	87,22	67,70	0,78	14,52
	SG02			32,60		768,00		89,72	85,00	0,95	14,52
	SG03			30,50		548,00		61,92	80,00	1,29	14,52
	SG04			35,40		688,00		83,75	100,00	1,19	14,52
	SG05			30,10		740,00		83,07	102,00	1,23	14,52
	SS01			35,70		698,00		85,33	77,10	0,90	14,52
	SS02			30,50		768,00		86,78	85,00	0,98	14,52
Liberati ve diğerleri (2019)	LF1-A	1,00	1,00	44,27	90,00	822,00	40,00	162,43	187,60	1,15	20,00
	LF1-B			44,27		822,00		162,43	178,00	1,10	20,00
	LF1-C			44,27		822,00		162,43	233,70	1,44	20,00
	LF2-A			34,57		684,00		119,44	187,60	1,57	20,00
	LF2-B			34,57		684,00		119,44	213,90	1,79	20,00
	LF2-C			34,57		684,00		119,44	194,80	1,63	20,00
	LF2-D			41,03		684,00		130,13	208,40	1,60	20,00
	LF4-A			39,57		408,00		76,23	184,00	2,41	20,00
Lourenço ve diğerleri (2021)	LF1	1,00	1,00	46,00	92,00	726,00	40,00	149,49	221,00	1,48	19,57
	LF2			46,30	91,00	855,00		174,71	250,00	1,43	19,78
	LF3			45,90	92,00	898,00		184,71	231,00	1,25	19,57
	LF4			41,20	93,00	920,00		181,23	273,00	1,51	19,36
Ha ve diğerleri (2015)	H1 (V1)	1,00	1,00	27,00	180,00	1800,00	40,00	555,57	550,20	0,99	11,11
	H2					1655,00		510,82	517,30	1,01	11,11
	H3					1490,00		459,89	452,90	0,98	11,11
	V2					1800,00		555,57	556,90	1,00	11,11
	V3					1800,00		555,57	546,50	0,98	11,11
	L3					1520,00		469,15	418,20	0,89	11,11
	HV4					1630,00		503,10	517,90	1,03	11,11
Bompa ve Onet (2010)	DB06NSC	1,00	1,00	25,80	150,00	1500,00	40,00	377,14	373,80	0,99	9,60
Abdollahi ve diğerleri (2017)*	SNCS1	1,00	1,00	35,50	60,00	690,00	40,00	81,40	100,00	1,23	15,00
	SHCS1			125,00		690,00		152,75	166,80	1,09	15,00
	SNCS2			35,50		570,00		67,24	89,80	1,34	15,00
	SHCS2			125,00		570,00		126,18	162,05	1,28	15,00
	SNCS3			35,50		732,00		86,36	76,94	0,89	15,00
	SHCS3			125,00		732,00		162,04	143,36	0,88	15,00
	SNCS4			35,50		700,00		82,58	92,80	1,12	15,00
	SHCS4			125,00		700,00		154,96	163,65	1,06	15,00
	SNCS5			35,50		570,00		67,24	66,43	0,99	15,00
	SHCS5			125,00		570,00		126,18	124,82	0,99	15,00
Živković ve diğerleri (2019)*	SB1-OL-1d	1,00	1,00	44,00	90,00	850,00	40,00	167,46	200,00	1,19	16,67
	SB2-OL-2d			44,00		890,00		175,34	228,74	1,30	16,67
	SB3-OL-3d			44,00		908,00		178,88	231,59	1,29	16,67
	SB4-OL-4d			44,00		920,00		181,25	245,07	1,35	16,67
	SB5-OL-5d			44,00		930,00		183,22	248,94	1,36	16,67
Silva ve diğerleri (2017)	L3	1,00	1,00	39,40	90,00	660,00	40,00	123,04	225,00	1,83	20,00
	L4			39,60		960,00		179,42	350,00	1,95	20,00

Çizelge 6.6. (devamı) Deneysel verilerin ACI 318-19 ile tahmin edilmesi

Çalışma	Deney El.	β_c	λ	f'_c (MPa)	d (mm)	u_p (mm)	α_s	V_c (kN)	V_{deney} (kN)	V_{deney} / V_{pr}	L / d
Durucan ve Anıl (2015)	Specimen-2	1,00	1,00	20,56	90,00	-	40,00	118,00	161,00	1,36	19,00
	Specimen-3			19,96				141,00	186,00	1,32	19,00
	Specimen-4			21,23				107,00	158,00	1,48	19,00
	Specimen-5			19,78				137,00	173,00	1,26	19,00
	Specimen-6			20,12				158,00	197,00	1,25	19,00
	Specimen-7			21,45				158,00	219,00	1,39	19,00
	Specimen-8			20,03				146,00	191,00	1,31	19,00
	Specimen-9			21,09				151,00	202,00	1,34	19,00
Pinto ve diğerleri (2019)	L1	1,00	1,00	25,00	100,00	1279,00	40,00	191,40	273,00	1,43	18,00
	L2					1648,00		254,10	275,00	1,08	18,00
	L3					1706,00		263,00	277,00	1,05	18,00
Augustin ve diğerleri (2020)	S1-1	1,00	1,00	43,26	200,00	800,00	40,00	347,28	831,00	2,39	12,50
	S1-2			32,89		800,00		302,81	751,00	2,48	12,50
	S2-1			32,40		1333,00		500,78	777,00	1,55	12,50
	S2-2			35,69		1333,00		525,59	801,00	1,52	12,50
	S3-1			31,15		1440,00		530,44	751,00	1,42	12,50
	S3-2			31,05		1440,00		529,59	739,00	1,40	12,50
Balomenos ve diğerleri (2018)*	SB1-0	1,00	1,00	44,00	90,00	660,00	40,00	130,02	182,00	1,40	20,00
	SB-0			44,00		820,00		161,55	145,00	0,90	20,00
	SB1-1			44,00		740,00		145,79	198,00	1,36	20,00
	SB-1			44,00		860,00		169,43	180,00	1,06	20,00
	SB1-2			44,00		820,00		161,55	213,00	1,32	20,00
	SB-2			44,00		892,00		175,73	197,00	1,12	20,00
	SB1-3			44,00		856,00		168,64	218,00	1,29	20,00
	SB-3			44,00		912,00		179,67	212,00	1,18	20,00
	SB1-4			44,00		876,00		172,58	220,00	1,27	20,00
	SB-4			44,00		920,00		181,25	215,00	1,19	20,00
	SB1-5			44,00		892,00		175,73	223,00	1,27	20,00
	SB-5			44,00		928,00		182,82	219,00	1,20	20,00
Kormosova ve diğerleri (2020)	SL1	1,00	1,00	33,00	159,00	2356,00	40,00	710,14	761,00	1,07	15,72
	SL2			33,00		2536,00		764,39	781,00	1,02	15,72
	SL3			33,00		2356,00		710,14	831,00	1,17	15,72
	SL4			33,00		2356,00		710,14	671,00	0,94	15,72
	SL5			33,00		2356,00		710,14	681,00	0,96	15,72
Oukaili ve Salman (2014)	SF0	1,00	1,00	37,10	54,00	716,00	40,00	77,72	90,76	1,17	16,67
	CF0			34,13		666,00		69,33	79,87	1,15	16,67
	LF0			32,83		558,00		56,97	68,98	1,21	16,67
	CC0			36,27		680,00		72,98	90,76	1,24	16,67
	CF1			36,50		710,00		76,44	88,94	1,16	16,67
EL-Shafiey ve diğerleri (2012)	SC11O(2,2)F	1,00	1,00	25,00	130,00	-	40,00	210,17	315,00	1,50	12,31
	SC11O(3,3)F			25,00				186,81	222,00	1,19	12,31
	SC11O(4,4)F			25,00				175,14	210,00	1,20	12,31
	SC11O(2,2)C			25,00				233,52	339,00	1,45	12,31
	SC11O(3,3)C			25,00				227,66	300,00	1,32	12,31
	SC11O(4,4)C			25,00				224,18	261,00	1,16	12,31

* Çalışmadaki veriler deneysel çalışmalarla doğrulanmış nümerik modelden elde edilmiştir.

Çizelge 6.7. Deneysel verilerin Eurocode-2 ile tahmin edilmesi

Çalışma	Deney El.	d (mm)	k	ρ_l	f_{ck} (MPa)	u_p (mm)	V_C (kN)	V_{deney} (kN)	V_{deney} / V_{pr}	L / d
Mercimek (2021)	R-P-300	100,00	2,00	0,007	25,20	760,00	71,22	110,41	1,55	19,00
	R-D-300				25,40	1328,00	124,78	158,61	1,27	19,00
	R-B-300				25,10	894,00	83,67	71,45	0,85	19,00
	R-P-500				25,00	480,00	44,86	87,66	1,95	19,00
	R-D-500				24,90	1228,00	114,62	123,00	1,07	19,00
	R-B-500				25,50	754,00	70,94	56,33	0,79	19,00
	R-P-700				24,90	342,00	31,92	73,58	2,31	19,00
	R-D-700				25,10	1180,00	110,44	102,63	0,93	19,00
	R-B-700				25,20	686,00	64,29	43,15	0,67	19,00
Mahmoud. ve Yousif (2017)	SG01	62,00	2,00	0,003	37,30	1034,00	51,62	67,70	1,31	14,52
	SG02				32,60	1230,00	58,71	85,00	1,45	14,52
	SG03			0,005	30,50	688,00	38,08	80,00	2,10	14,52
	SG04				35,40	1080,00	62,82	100,00	1,59	14,52
	SG05				30,10	1176,00	64,81	102,00	1,57	14,52
	SS01				35,70	1034,00	60,32	77,10	1,28	14,52
	SS02				30,50	1230,00	68,08	85,00	1,25	14,52
	SS02				30,50	1230,00	68,08	85,00	1,25	14,52
Liberati ve diğerleri (2019)	LF1-A	90	2	0,0128	44,27	1744,00	217,03	187,60	0,86	20,00
	LF1-B			0,0134	44,27	1744,00	220,37	178,00	0,81	20,00
	LF1-C			0,0126	44,27	1744,00	215,90	233,70	1,08	20,00
	LF2-A			0,0114	34,57	1448,00	159,65	187,60	1,18	20,00
	LF2-B			0,0108	34,57	1448,00	156,80	213,90	1,36	20,00
	LF2-C			0,0112	34,57	1448,00	158,72	194,80	1,23	20,00
	LF2-D			0,0117	41,03	1448,00	170,51	208,40	1,22	20,00
	LF4-A			0,0129	39,57	856,00	102,88	184,00	1,79	20,00
Lourenço ve diğerleri (2021)	LF1	92,00	2	0,0123	46,00	1318,00	167,58	221,00	1,32	19,57
	LF2	91,00		0,0126	46,30	1514,00	192,36	250,00	1,30	19,78
	LF3	92,00		0,0123	45,90	1606,00	204,05	231,00	1,13	19,57
	LF4	93,00		0,0149	41,20	1658,00	218,98	273,00	1,25	19,36
Ha ve diğerleri (2015)	H1 (V1)	180	2	0,0116	27	3200,00	653,63	550,20	0,84	11,11
	H2					2940,00	600,52	517,30	0,86	11,11
	H3					2740,00	559,67	452,90	0,81	11,11
	V2					3200,00	653,63	556,90	0,85	11,11
	V3					3200,00	653,63	546,50	0,84	11,11
	L3					2730,00	557,63	418,20	0,75	11,11
	HV4					2890,00	590,31	517,90	0,88	11,11
Bompa ve Onet (2010)	DB06NSC	150	2	0,005	25,8	2314,00	293,06	373,80	1,28	9,60
Abdollahi ve diğerleri (2017)	SNCS1	60	2	0,01036	35,5	1014,00	72,84	100,00	1,37	15,00
	SHCS1				125	1014,00	110,81	166,80	1,51	15,00
	SNCS2				35,5	926,00	66,52	89,80	1,35	15,00
	SHCS2				125	926,00	101,19	162,05	1,60	15,00
	SNCS3				35,5	1154,00	82,89	76,94	0,93	15,00
	SHCS3				125	1154,00	126,11	143,36	1,14	15,00
	SNCS4				35,5	1294,00	92,95	92,80	1,00	15,00
	SHCS4				125	1294,00	141,41	163,65	1,16	15,00
	SNCS5				35,5	806,00	57,90	66,43	1,15	15,00
	SHCS5				125	806,00	88,08	124,82	1,42	15,00
Živković ve diğerleri (2019)*	SB1-OL-1d	90	2	0,011	44	1504,00	177,59	200,00	1,13	16,67
	SB2-OL-2d				44	1582,00	186,80	228,74	1,22	16,67
	SB3-OL-3d				44	1621,00	191,40	231,59	1,21	16,67
	SB4-OL-4d				44	1644,00	194,12	245,07	1,26	16,67
	SB5-OL-5d				44	1671,00	197,30	248,94	1,26	16,67
Silva ve diğerleri (2017)	L3	90	2	0,0157	39,40	864,00	110,71	225,00	2,03	20,00
	L4			0,0157	39,60	1396,00	179,18	350,00	1,95	20,00

Çizelge 6.7. (devamı) Deneysel verilerin Eurocode-2 ile tahmin edilmesi

Çalışma	Deney El.	d (mm)	k	ρ_l	f_{ck} (MPa)	u_p (mm)	V_C (kN)	V_{deney} (kN)	V_{deney} / V_{pr}	L / d
Durucan ve Anıl (2015)	Specimen-2	90	2	-	20,56	-	123,00	161,00	1,31	19,00
	Specimen-3				19,96		146,00	186,00	1,27	19,00
	Specimen-4				21,23		112,00	158,00	1,41	19,00
	Specimen-5				19,78		141,00	173,00	1,23	19,00
	Specimen-6				20,12		159,00	197,00	1,24	19,00
	Specimen-7				21,45		163,00	219,00	1,34	19,00
	Specimen-8				20,03		147,00	191,00	1,30	19,00
	Specimen-9				21,09		156,00	202,00	1,29	19,00
Pinto ve diğerleri (2019)	L1	100	2	0,0094	25	1877,00	175,70	273,00	1,55	18,00
	L2			0,0092	25	2283,00	218,00	275,00	1,26	18,00
	L3			0,0092	25	2480,00	236,80	277,00	1,17	18,00
Augustin ve diğerleri (2020)	S1-1	200	2	0,0157	43,26	1440,00	423,02	831,00	1,96	12,50
	S1-2			0,0157	32,89	1440,00	386,08	751,00	1,95	12,50
	S2-1			0,0157	32,40	2512,00	670,14	777,00	1,16	12,50
	S2-2			0,0157	35,69	2512,00	692,10	801,00	1,16	12,50
	S3-1			0,0157	31,15	2823,00	743,30	751,00	1,01	12,50
	S3-2			0,0157	31,05	2823,00	742,50	739,00	1,00	12,50
Balomenos ve diğerleri (2018)*	SB1-0	90	2	0,011	44	894,00	105,56	182,00	1,72	20,00
	SB-0			0,011	44	1264,00	149,25	145,00	0,97	20,00
	SB1-1			0,011	44	1272,00	150,19	198,00	1,32	20,00
	SB-1			0,011	44	1516,00	179,00	180,00	1,01	20,00
	SB1-2			0,011	44	1432,00	169,08	213,00	1,26	20,00
	SB-2			0,011	44	1592,00	187,98	197,00	1,05	20,00
	SB1-3			0,011	44	1512,00	178,53	218,00	1,22	20,00
	SB-3			0,011	44	1628,00	192,23	212,00	1,10	20,00
	SB1-4			0,011	44	1556,00	183,73	220,00	1,20	20,00
	SB-4			0,011	44	1648,00	194,59	215,00	1,10	20,00
	SB1-5			0,011	44	1588,00	187,50	223,00	1,19	20,00
	SB-5			0,011	44	1664,00	196,48	219,00	1,11	20,00
Kormosova ve diğerleri (2020)	SL1	159,00	2	0,0126	33	2462,00	488,22	761,00	1,56	15,72
	SL2			0,0126	33	2622,00	519,95	781,00	1,50	15,72
	SL3			0,0126	33	1816,00	360,12	831,00	2,31	15,72
	SL4			0,0126	33	1942,00	385,10	671,00	1,74	15,72
	SL5			0,0126	33	2224,00	441,02	681,00	1,54	15,72
Oukaili ve Salman (2014)	SF0	54	2	0,015	37,10	1044,00	77,49	90,76	1,17	16,67
	CF0			0,015	34,13	960,00	69,30	79,87	1,15	16,67
	LF0			0,015	32,83	876,00	62,42	68,98	1,11	16,67
	CC0			0,015	36,27	1082,00	79,70	90,76	1,14	16,67
	CF1			0,015	36,50	1092,00	80,61	88,94	1,10	16,67
EL-Shafiey ve diğerleri (2012)	SC11O(2,2)F	130	2	-	25	-	189,82	315,00	1,66	12,31
	SC11O(3,3)F				25		173,37	222,00	1,28	12,31
	SC11O(4,4)F				25		163,18	210,00	1,29	12,31
	SC11O(2,2)C				25		214,73	339,00	1,58	12,31
	SC11O(3,3)C				25		208,55	300,00	1,44	12,31
	SC11O(4,4)C				25		204,80	261,00	1,27	12,31

* Çalışmadaki veriler deneysel çalışmalarla doğrulanmış nümerik modelden elde edilmiştir.

Çizelge 6.8. Deneysel verilerin BS8110 ile tahmin edilmesi

Çalışma	Deney El.	k	ρ_l	$f_{c,cube}$ (MPa)	d (mm)	u_p (mm)	V_c (kN)	V_{deney} (kN)	V_{deney} / V_{pr}	L / d
Mercimek (2021)	R-P-300	1,41	0,0010	31,49	100,00	666,00	71,30	110,41	1,55	19,00
	R-D-300			31,72		1252,00	134,37	158,61	1,18	19,00
	R-B-300			31,38		834,00	89,19	71,45	0,80	19,00
	R-P-500			31,26		400,00	42,72	87,66	2,05	19,00
	R-D-500			31,14		1168,00	124,58	123,00	0,99	19,00
	R-B-500			31,84		700,00	75,22	56,33	0,75	19,00
	R-P-700			31,14		286,00	30,51	73,58	2,41	19,00
	R-D-700			31,38		1124,00	120,20	102,63	0,85	19,00
	R-B-700			31,49		640,00	68,52	43,15	0,63	19,00
Mahmoud ve Yousif (2017)	SG01	1,59	0,0030	46,63	62,00	1008,00	64,79	67,70	1,04	14,52
	SG02			40,75		1218,00	74,86	85,00	1,14	14,52
	SG03			38,13		672,00	47,89	80,00	1,67	14,52
	SG04		0,0050	44,25		1092,00	81,79	100,00	1,22	14,52
	SG05			37,63		1172,00	83,16	102,00	1,23	14,52
	SS01			44,63		1008,00	75,71	77,10	1,02	14,52
	SS02			38,13		1218,00	86,80	85,00	0,98	14,52
Liberati ve diğerleri (2019)	LF1-A	1,45	0,0128	55,33	90,00	1440,00	210,22	187,60	0,89	20,00
	LF1-B		0,0134	55,33		1440,00	213,45	178,00	0,83	20,00
	LF1-C		0,0126	55,33		1440,00	209,12	233,70	1,12	20,00
	LF2-A		0,0114	43,21		1200,00	155,21	187,60	1,21	20,00
	LF2-B		0,0108	43,21		1200,00	152,43	213,90	1,40	20,00
	LF2-C		0,0112	43,21		1200,00	154,30	194,80	1,26	20,00
	LF2-D		0,0117	51,29		1200,00	165,77	208,40	1,26	20,00
	LF4-A		0,0129	49,47		720,00	101,52	184,00	1,81	20,00
Lourenço ve diğerleri (2021)	LF1	1,45	0,0123	57,50	92,00	1260,00	187,94	221,00	1,18	19,57
	LF2		0,0126	57,88	91,00	1490,00	222,08	250,00	1,13	19,78
	LF3		0,0123	57,38	92,00	1556,00	231,92	231,00	1,00	19,57
	LF4		0,0149	51,50	93,00	1588,00	246,03	273,00	1,11	19,36
Ha, T. ve diğerleri (2015)	H1 (V1)	1,22	0,0116	33,75	180,00	3110,00	626,62	550,20	0,88	11,11
	H2					2850,00	574,23	517,30	0,90	11,11
	H3					2660,00	535,95	452,90	0,85	11,11
	V2					3110,00	626,62	556,90	0,89	11,11
	V3					3110,00	626,62	546,50	0,87	11,11
	L3					2650,00	533,94	418,20	0,78	11,11
	HV4					2800,00	564,16	517,90	0,92	11,11
Bompa ve Onet (2010)	DB06NSC	1,28	0,0050	32,25	150,00	2250,00	294,19	373,80	1,27	9,60
Abdollahi ve diğerleri (2017)*	SNCS1	1,61	0,0104	44,38	60,00	990,00	92,32	100,00	1,08	15,00
	SHCS1			156,25		990,00	140,45	166,80	1,19	15,00
	SNCS2			44,38		880,00	82,06	89,80	1,09	15,00
	SHCS2			156,25		880,00	124,85	162,05	1,30	15,00
	SNCS3			44,38		1150,00	107,24	76,94	0,72	15,00
	SHCS3			156,25		1150,00	163,15	143,36	0,88	15,00
	SNCS4			44,38		1100,00	102,58	92,80	0,90	15,00
	SHCS4			156,25		1100,00	156,06	163,65	1,05	15,00
	SNCS5			44,38		770,00	71,81	66,43	0,93	15,00
	SHCS5			156,25		770,00	109,24	124,82	1,14	15,00
Živković ve diğerleri (2019)*	SB1-OL-1d	1,45	0,0110	55,00	90,00	1489,00	206,23	200,00	0,97	16,67
	SB2-OL-2d			55,00		1556,00	215,51	228,74	1,06	16,67
	SB3-OL-3d			55,00		1589,00	220,08	231,59	1,05	16,67
	SB4-OL-4d			55,00		1608,00	222,71	245,07	1,10	16,67
	SB5-OL-5d			55,00		1630,00	225,76	248,94	1,10	16,67
Silva ve diğerleri (2017)	L3	1,45	0,0157	49,25	90,00	840,00	126,26	225,00	1,78	20,00
	L4			49,50		1412,00	212,59	350,00	1,65	20,00

Çizelge 6.8. (devamı) Deneysel verilerin BS8110 ile tahmin edilmesi

Çalışma	Deney El.	k	ρ_l	$f_{c,cube}$ (MPa)	d (mm)	u_p (mm)	V_c (kN)	V_{deney} (kN)	V_{deney} / V_{pr}	L / d
Durucan ve Anıl (2015)	Specimen-2	1,41	-	25,70	100,00	-	123,00	161,00	1,31	19,00
	Specimen-3			24,95			150,00	186,00	1,24	19,00
	Specimen-4			26,54			111,00	158,00	1,42	19,00
	Specimen-5			24,73			146,00	173,00	1,18	19,00
	Specimen-6			25,15			167,00	197,00	1,18	19,00
	Specimen-7			26,81			162,00	219,00	1,35	19,00
	Specimen-8			25,04			156,00	191,00	1,22	19,00
	Specimen-9			26,36			156,00	202,00	1,29	19,00
Pinto ve diğerleri (2019)	L1	1,41	0,0094	31,25	100,00	1900,00	223,85	273,00	1,22	18,00
	L2		0,0092	31,25		2394,00	280,03	275,00	0,98	18,00
	L3		0,0092	31,25		2478,00	289,86	277,00	0,96	18,00
Augustin ve diğerleri (2020)	S1-1	1,19	0,0157	54,08	200,00	1600,00	451,58	831,00	1,84	12,50
	S1-2			41,11		1600,00	412,15	751,00	1,82	12,50
	S2-1			40,50		2668,00	683,84	777,00	1,14	12,50
	S2-2			44,61		2668,00	706,24	801,00	1,13	12,50
	S3-1			38,94		2880,00	728,56	751,00	1,03	12,50
	S3-2			38,81		2880,00	727,78	739,00	1,02	12,50
Balomenos ve diğerleri (2018)*	SB1-0	1,45	0,0110	55,00	90,00	840,00	116,34	182,00	1,56	20,00
	SB-0			55,00		1288,00	178,39	145,00	0,81	20,00
	SB1-1			55,00		1300,00	180,05	198,00	1,10	20,00
	SB-1			55,00		1500,00	207,76	180,00	0,87	20,00
	SB1-2			55,00		1432,00	198,34	213,00	1,07	20,00
	SB-2			55,00		1564,00	216,62	197,00	0,91	20,00
	SB1-3			55,00		1496,00	207,20	218,00	1,05	20,00
	SB-3			55,00		1596,00	221,05	212,00	0,96	20,00
	SB1-4			55,00		1536,00	212,74	220,00	1,03	20,00
	SB-4			55,00		1612,00	223,27	215,00	0,96	20,00
	SB1-5			55,00		1560,00	216,07	223,00	1,03	20,00
	SB-5			55,00		1624,00	224,93	219,00	0,97	20,00
Kormosova ve diğerleri (2020)	SL1	1,26	0,0126	41,25	159,00	3386,00	683,19	761,00	1,11	15,72
	SL2			41,25		3658,00	738,07	781,00	1,06	15,72
	SL3			41,25		2102,00	424,12	831,00	1,96	15,72
	SL4			41,25		2716,00	548,01	671,00	1,22	15,72
	SL5			41,25		2934,00	591,99	681,00	1,15	15,72
Oukaili ve Salman (2014)	SF0	1,65	0,0150	46,38	54,00	1040,00	102,90	90,76	0,88	16,67
	CF0			42,66		936,00	90,07	79,87	0,89	16,67
	LF0			41,04		832,00	79,03	68,98	0,87	16,67
	CC0			45,34		1040,00	102,12	90,76	0,89	16,67
	CF1			45,63		1086,00	106,87	88,94	0,83	16,67
EL-Shafey ve diğerleri (2012)	SC11O(2,2)F	1,32	-	30,00	130,00	-	219,70	315,00	1,43	12,31
	SC11O(3,3)F			30,00			195,30	222,00	1,14	12,31
	SC11O(4,4)F			30,00			183,09	210,00	1,15	12,31
	SC11O(2,2)C			30,00			244,11	339,00	1,39	12,31
	SC11O(3,3)C			30,00			238,00	300,00	1,26	12,31
	SC11O(4,4)C			30,00			234,35	261,00	1,11	12,31

* Çalışmadaki veriler deneysel çalışmalarla doğrulanmış nümerik modelden elde edilmiştir.

Çizelge 6.9. Tahmin edilen kapasitelerin karşılaştırılması

Çalışma	Deney Elemanı	d (mm)	f_c (MPa)	Boşluk büyüklüğü (mm x mm)	Boşluk sayısı	Kolonun konumu	Donatı oranı (%)	V_{tahmin}				V_{deney} (kN)	V_{deney} / V_{tahmin}			
								TS500	ACI	EC2	BS8110		TS500	ACI	EC2	BS8110
El-Salakawy ve diğerleri (1999)	SF0	90	31,50	150x150	1	kenar	0,75	58,33	55,00	90,20	-	110,00	1,89	2,00	1,22	-
	SE0	90	32,50	150x150	1	kenar	0,75	80,18	75,60	96,00	-	120,00	1,50	1,59	1,25	-
	SF1	90	33,00	150x150	1	kenar	0,75	76,84	72,45	104,65	-	115,00	1,50	1,59	1,10	-
	SF2	90	30,00	150x150	1	kenar	0,75	77,38	72,96	106,02	-	114,00	1,47	1,56	1,08	-
	CF0	90	30,50	250x250	1	kenar	0,75	37,83	35,67	72,21	-	87,00	2,30	2,44	1,20	-
Teng ve diğerleri (2013)	OC11H30	92	33,90	200x400	1	iç	1,70	177,67	167,52	219,87	-	349,00	1,96	2,08	1,59	-
	OC11V23	92	34,10	200x400	1	iç	1,69	197,80	186,50	190,23	-	373,00	1,89	2,00	1,96	-
	OC11V20	92	38,60	200x400	1	iç	1,74	116,36	109,71	175,95	-	207,00	1,78	1,89	1,18	-
	OC13	92	35,80	200x400	1	iç	1,71	379,53	357,84	357,84	-	568,00	1,50	1,59	1,59	-
	OC13H50	92	36,30	200x400	1	iç	1,67	324,20	305,67	318,96	-	443,00	1,37	1,45	1,39	-
	OC13V43	92	36,60	200x400	1	iç	1,61	326,90	308,22	312,89	-	467,00	1,43	1,52	1,49	-
	OC13V23	92	36,90	200x400	1	iç	1,70	328,53	309,76	319,44	-	484,00	1,47	1,56	1,52	-
	OC13V40	92	43,00	200x400	1	iç	1,69	292,09	275,40	292,40	-	340,00	1,16	1,23	1,16	-
	OC13H02	92	43,10	200x400	1	iç	1,64	287,81	271,36	240,64	-	512,00	1,78	1,89	2,13	-
	OC13-1,6	92	32,90	200x400	1	iç	1,67	366,38	345,44	345,44	-	508,00	1,39	1,47	1,47	-
	OC13H50-1,6	92	33,10	200x400	1	iç	1,60	308,68	291,04	303,88	-	428,00	1,39	1,47	1,41	-
	OC13V43-1,6	92	33,20	200x400	1	iç	1,65	312,78	294,91	306,40	-	383,00	1,22	1,30	1,25	-
	OC13H02-1,6	92	37,50	200x400	1	iç	1,61	271,73	256,20	231,00	-	420,00	1,55	1,64	1,82	-
	OC13-0,63	92	39,70	200x400	1	iç	1,65	400,54	377,65	368,55	-	455,00	1,14	1,20	1,23	-
	OC13H50-0,63	92	39,80	200x400	1	iç	1,67	401,06	378,14	332,15	-	511,00	1,27	1,35	1,54	-
	OC13V23-0,63	92	35,70	200x400	1	iç	1,67	263,96	248,88	317,20	-	488,00	1,85	1,96	1,54	-
	OC15	92	40,20	200x400	1	iç	1,76	564,43	532,18	486,75	-	649,00	1,15	1,22	1,33	-
	OC15H70	92	37,90	200x400	1	iç	1,67	493,73	465,52	428,49	-	529,00	1,07	1,14	1,23	-
	OC15V43	92	35,90	200x400	1	iç	1,66	480,33	452,88	422,28	-	612,00	1,27	1,35	1,45	-

Çizelge 6.9. (devamı) Tahmin edilen kapasitelerin karşılaştırılması

Çalışma	Deney Elemanı	d (mm)	f_c (MPa)	Boşluk büyüklüğü (mm x mm)	Boşluk sayısı	Kolonun konumu	Donatı oranı (%)	V_{tahmin}				V_{deney} (kN)	V_{deney} / V_{tahmin}			
								TS500	ACI	EC2	BS8110		TS500	ACI	EC2	BS8110
Borges ve diğerleri (2013)	4	154	41,40	200x300	1	iç	1,49	567,89	535,44	690,64	-	776,00	1,37	1,45	1,12	-
	5	154	40,50	200x300	1	iç	1,49	562,80	530,64	681,12	-	792,00	1,41	1,49	1,16	-
	6	154	39,00	200x300	1	iç	1,49	556,82	525,00	667,50	-	750,00	1,35	1,43	1,12	-
	7	144	37,00	200x300	2	iç	1,60	435,91	411,00	520,60	-	685,00	1,57	1,67	1,32	-
	8	154	41,60	200x300	2	iç	1,49	501,14	472,50	577,50	-	750,00	1,50	1,59	1,30	-
	9	164	40,60	200x300	2	iç	1,41	540,91	510,00	612,00	-	850,00	1,57	1,67	1,39	-
Silva (2015)	L4	102	39,40	120x180	1	iç	1,40	95,45	90,00	135,00	-	225,00	2,36	2,50	1,67	-
	L5	102	39,60	120x180	1	iç	1,40	174,47	164,50	217,00	-	350,00	2,01	2,13	1,61	-
	L6	102	39,10	120x180	1	iç	1,40	198,86	187,50	281,25	-	375,00	1,89	2,00	1,33	-
Souza (2015)	L2	90	35,70	150x150	2	iç	1,71	56,53	53,30	112,75	-	205,00	3,63	3,85	1,82	-
	L3	89	36,00	150x150	2	iç	1,64	134,17	126,50	178,75	-	275,00	2,05	2,17	1,54	-
	L4	91	36,20	150x150	2	iç	1,54	143,18	135,00	195,00	-	300,00	2,10	2,22	1,54	-
	L5	91	31,90	150x300	2	iç	1,36	54,94	51,80	74,20	-	140,00	2,55	2,70	1,89	-
	L6	91	32,00	150x450	2	iç	0,96	54,63	51,51	56,56	-	101,00	1,85	1,96	1,79	-
	L7	92	32,10	150x300	2	iç	1,56	116,93	110,25	137,25	-	225,00	1,92	2,04	1,64	-
	L8	92	32,20	150x450	2	iç	1,56	100,23	94,50	84,00	-	210,00	2,10	2,22	2,50	-
Oliveira ve diğerleri (2014)	L3	125	42,80	400x400	1	iç	1,17	172,35	162,50	170,00	-	250,00	1,45	1,54	1,47	-
	L4	123	44,60	400x400	1	iç	1,20	139,49	131,52	173,99	-	137,00	0,98	1,04	0,79	-
	L5	122	44,50	400x400	1	iç	1,22	243,98	230,04	276,90	-	213,00	0,87	0,93	0,77	-
	L6	124	45,60	400x400	1	iç	1,19	242,61	228,75	240,95	-	305,00	1,26	1,33	1,27	-
	L7	121	46,80	400x400	1	iç	1,24	237,15	223,60	267,80	-	260,00	1,10	1,16	0,97	-
Anıl ve diğerleri (2014)	2	100	20,60	300x300	1	iç	0,39	127,05	119,79	122,76	-	99,00	0,78	0,83	0,81	-
	3	100	20,90	300x300	1	iç	0,39	176,40	166,32	148,68	-	126,00	0,71	0,76	0,85	-
	4	100	19,60	500x500	1	iç	0,39	124,13	117,04	108,57	-	77,00	0,62	0,66	0,71	-

Çizelge 6.9. (devamı) Tahmin edilen kapasitelerin karşılaştırılması

Çalışma	Deney Elemanı	d (mm)	f_c (MPa)	Boşluk büyüklüğü (mm x mm)	Boşluk sayısı	Kolonun konumu	Donatı oranı (%)	V_{tahmin}				V_{deney} (kN)	V_{deney} / V_{tahmin}			
								TS500	ACI	EC2	BS8110		TS500	ACI	EC2	BS8110
Anil ve diğerleri (2014)	5	100	19,60	500x500	1	iç	0,39	171,29	161,50	141,55	-	95,00	0,55	0,59	0,67	-
	6	100	20,00	300x300	1	iç	0,39	170,39	160,65	159,30	-	135,00	0,79	0,84	0,85	-
	7	100	21,20	300x300	1	iç	0,39	169,65	159,96	161,68	-	172,00	1,01	1,08	1,06	-
	8	100	20,10	500x500	1	iç	0,39	159,94	150,80	147,32	-	116,00	0,73	0,77	0,79	-
	9	100	20,20	500x500	1	iç	0,39	160,69	151,51	154,29	-	139,00	0,87	0,92	0,90	-
Mohammed (2011)	H1-S0	47	56,80	89x89	1	iç	1,30	56,42	53,20	58,90	-	95,00	1,68	1,79	1,61	-
	H1-Sd	47	56,80	89x89	1	iç	1,30	65,08	61,36	61,36	-	104,00	1,60	1,69	1,69	-
	H1-S2d	47	56,80	89x89	1	iç	1,30	66,82	63,00	64,05	-	105,00	1,57	1,67	1,64	-
	H1-SLb	47	56,80	89x89	1	iç	1,30	60,90	57,42	60,39	-	99,00	1,63	1,72	1,64	-
	H1-C0	47	57,30	D=100	1	iç	1,30	60,67	57,20	60,50	-	110,00	1,81	1,92	1,82	-
	H1-Cd	47	57,30	D=100	1	iç	1,30	70,00	66,00	63,60	-	120,00	1,71	1,82	1,89	-
	H1-C2d	47	57,30	D=100	1	iç	1,30	71,87	67,76	65,34	-	121,00	1,68	1,79	1,85	-
	H1-CLb	47	57,30	D=100	1	iç	1,30	65,29	61,56	61,56	-	108,00	1,65	1,75	1,75	-
	H2-S0	47	65,70	89x89	1	iç	1,30	63,00	59,40	62,37	-	99,00	1,57	1,67	1,59	-
	H2-Sd	47	65,70	89x89	1	iç	1,30	66,44	62,64	63,72	-	108,00	1,63	1,72	1,69	-
	H2-S2d	47	65,70	89x89	1	iç	1,30	68,21	64,31	66,49	-	109,00	1,60	1,69	1,64	-
	H2-SLb	47	65,70	89x89	1	iç	1,30	61,18	57,68	63,86	-	103,00	1,68	1,79	1,61	-
	H2-C0	47	65,10	D=100	1	iç	1,30	67,12	63,28	63,28	-	113,00	1,68	1,79	1,79	-
	H2-Cd	47	65,10	D=100	1	iç	1,30	72,92	68,75	66,25	-	125,00	1,71	1,82	1,89	-
	H2-C2d	47	65,10	D=100	1	iç	1,30	66,29	62,50	68,75	-	125,00	1,89	2,00	1,82	-
	H2-CLb	47	65,10	D=100	1	iç	1,30	57,02	53,76	64,96	-	112,00	1,96	2,08	1,72	-
Mercimek (2021)	R-P-300	100,00	25,20	300x300	2	iç	0,70	70,28	66,26	71,22	71,30	110,41	1,57	1,67	1,55	1,55
	R-D-300	100,00	25,40	300x300	2	iç	0,70	132,65	125,07	124,78	134,37	158,61	1,20	1,27	1,27	1,18
	R-B-300	100,00	25,10	300x300	2	iç	0,70	87,67	82,66	83,67	89,19	71,45	0,81	0,86	0,85	0,80

Çizelge 6.9. (devamı) Tahmin edilen kapasitelerin karşılaştırılması

Çalışma	Deney Elemanı	d (mm)	f _c (MPa)	Boşluk büyüklüğü (mm x mm)	Boşluk sayısı	Kolonun konumu	Donatı oranı (%)	Vtahmin				Vdeney (kN)	Vdeney / Vtahmin			
								TS500	ACI	EC2	BS8110		TS500	ACI	EC2	BS8110
Mercimek (2021)	R-P-500	100,00	25,00	500x500	2	iç	0,70	70,00	66,00	44,86	42,72	87,66	1,25	1,33	1,95	2,05
	R-D-500	100,00	24,90	500x500	2	iç	0,70	122,25	115,27	114,62	124,58	123,00	1,01	1,07	1,07	0,99
	R-B-500	100,00	25,50	500x500	2	iç	0,70	88,37	83,32	70,94	75,22	56,33	0,64	0,68	0,79	0,75
	R-P-700	100,00	24,90	700x700	2	iç	0,70	69,86	65,87	31,92	30,51	73,58	1,05	1,12	2,31	2,41
	R-D-700	100,00	25,10	700x700	2	iç	0,70	118,54	111,76	110,44	120,20	102,63	0,87	0,92	0,93	0,85
	R-B-700	100,00	25,20	700x700	2	iç	0,70	87,85	82,83	64,29	68,52	43,15	0,49	0,52	0,67	0,63
Mahmoud ve Yousif (2017)	SG01	62,00	37,30	150x150	1	iç	0,30	92,51	87,22	51,62	64,79	67,70	0,73	0,78	1,31	1,04
	SG02	62,00	32,60	150x150	1	iç	0,30	95,15	89,72	58,71	74,86	85,00	0,89	0,95	1,45	1,14
	SG03	62,00	30,50	150x150	2	iç	0,50	65,67	61,92	38,08	47,89	80,00	1,22	1,29	2,10	1,67
	SG04	62,00	35,40	150x150	2	iç	0,50	88,83	83,75	62,82	81,79	100,00	1,13	1,19	1,59	1,22
	SG05	62,00	30,10	150x150	2	iç	0,50	88,10	83,07	64,81	83,16	102,00	1,16	1,23	1,57	1,23
	SS01	62,00	35,70	150x150	1	iç	0,50	90,50	85,33	60,32	75,71	77,10	0,85	0,90	1,28	1,02
	SS02	62,00	30,50	150x150	1	iç	0,50	92,04	86,78	68,08	86,80	85,00	0,92	0,98	1,25	0,98
Liberati ve diğerleri (2019)	LF1-A	90,00	44,27	D=150	1	iç	1,28	172,28	162,43	217,03	210,22	187,60	1,09	1,15	0,86	0,89
	LF1-B	90,00	44,27	D=150	1	iç	1,34	172,28	162,43	220,37	213,45	178,00	1,03	1,10	0,81	0,83
	LF1-C	90,00	44,27	D=150	1	iç	1,26	172,28	162,43	215,90	209,12	233,70	1,36	1,44	1,08	1,12
	LF2-A	90,00	34,57	D=150	2	iç	1,14	126,67	119,44	159,65	155,21	187,60	1,48	1,57	1,18	1,21
	LF2-B	90,00	34,57	D=150	2	iç	1,08	126,67	119,44	156,80	152,43	213,90	1,69	1,79	1,36	1,40
	LF2-C	90,00	34,57	D=150	2	iç	1,12	126,68	119,44	158,72	154,30	194,80	1,54	1,63	1,23	1,26
	LF2-D	90,00	41,03	D=150	2	iç	1,17	138,02	130,13	170,51	165,77	208,40	1,51	1,60	1,22	1,26
	LF4-A	90,00	39,57	D=150	4	iç	1,29	80,85	76,23	102,88	101,52	184,00	2,28	2,41	1,79	1,81
Lourenço ve diğerleri (2021)	LF1	92,00	46,00	150x150	1	iç	1,23	158,55	149,49	167,58	187,94	221,00	1,39	1,48	1,32	1,18
	LF2	91,00	46,30	150x150	1	iç	1,26	185,30	174,71	192,36	222,08	250,00	1,35	1,43	1,30	1,13
	LF3	92,00	45,90	150x150	1	iç	1,23	195,90	184,71	204,05	231,92	231,00	1,18	1,25	1,13	1,00
	LF4	93,00	41,20	150x150	1	iç	1,49	192,22	181,23	218,98	246,03	273,00	1,42	1,51	1,25	1,11

Çizelge 6.9. (devamı) Tahmin edilen kapasitelerin karşılaştırılması

Çalışma	Deney Elemanı	d (mm)	f _c (MPa)	Boşluk büyüklüğü (mm x mm)	Boşluk sayısı	Kolonun konumu	Donatı oranı (%)	V _{tahmin}				V _{deneysel} (kN)	V _{deneysel} / V _{tahmin}			
								TS500	ACI	EC2	BS8110		TS500	ACI	EC2	BS8110
Ha ve diğerleri (2015)	H1 (V1)	180,00	27,00	D=150	1	iç	1,16	589,24	555,57	653,63	626,62	550,20	0,93	0,99	0,84	0,88
	H2	180,00	27,00	D=150	2	iç	1,16	541,78	510,82	600,52	574,23	517,30	0,95	1,01	0,86	0,90
	H3	180,00	27,00	D=150	3	iç	1,16	487,76	459,89	559,67	535,95	452,90	0,93	0,98	0,81	0,85
	V2	180,00	27,00	D=150	2	iç	1,16	589,24	555,57	653,63	626,62	556,90	0,95	1,00	0,85	0,89
	V3	180,00	27,00	D=150	3	iç	1,16	589,24	555,57	653,63	626,62	546,50	0,93	0,98	0,84	0,87
	L3	180,00	27,00	D=150	3	iç	1,16	497,58	469,15	557,63	533,94	418,20	0,84	0,89	0,75	0,78
	HV4	180,00	27,00	D=150	4	iç	1,16	533,59	503,10	590,31	564,16	517,90	0,97	1,03	0,88	0,92
Bompa ve Onet (2010)	DB06NSC	150,00	25,80	200x300	1	iç	0,50	400,00	377,14	293,06	294,19	373,80	0,93	0,99	1,28	1,27
Abdollahi, S. M. ve diğerleri (2017)*	SNCS1	60,00	35,50	150x150	1	iç	1,04	86,33	81,40	72,84	92,32	100,00	1,16	1,23	1,37	1,08
	SHCS1	60,00	125,00	150x150	1	iç	1,04	162,00	152,75	110,81	140,45	166,80	1,03	1,09	1,51	1,19
	SNCS2	60,00	35,50	225x225	1	iç	1,04	71,32	67,24	66,52	82,06	89,80	1,26	1,34	1,35	1,09
	SHCS2	60,00	125,00	225x225	1	iç	1,04	133,83	126,18	101,19	124,85	162,05	1,21	1,28	1,60	1,30
	SNCS3	60,00	35,50	150x150	1	iç	1,04	91,59	86,36	82,89	107,24	76,94	0,84	0,89	0,93	0,72
	SHCS3	60,00	125,00	150x150	1	iç	1,04	171,86	162,04	126,11	163,15	143,36	0,83	0,88	1,14	0,88
	SNCS4	60,00	35,50	150x150	1	iç	1,04	87,59	82,58	92,95	102,58	92,80	1,06	1,12	1,00	0,90
	SHCS4	60,00	125,00	150x150	1	iç	1,04	164,35	154,96	141,41	156,06	163,65	1,00	1,06	1,16	1,05
	SNCS5	60,00	35,50	50x450	1	iç	1,04	71,32	67,24	57,90	71,81	66,43	0,93	0,99	1,15	0,93
	SHCS5	60,00	125,00	50x450	1	iç	1,04	133,83	126,18	88,08	109,24	124,82	0,93	0,99	1,42	1,14
Živković ve diğerleri (2019)*	SB1-OL-1d	90,00	44,00	150x150	1	iç	1,10	177,61	167,46	177,59	206,23	200,00	1,13	1,19	1,13	0,97
	SB2-OL-2d	90,00	44,00	150x150	1	iç	1,10	185,96	175,34	186,80	215,51	228,74	1,23	1,30	1,22	1,06
	SB3-OL-3d	90,00	44,00	150x150	1	iç	1,10	189,72	178,88	191,40	220,08	231,59	1,22	1,29	1,21	1,05
	SB4-OL-4d	90,00	44,00	150x150	1	iç	1,10	192,23	181,25	194,12	222,71	245,07	1,27	1,35	1,26	1,10
	SB5-OL-5d	90,00	44,00	150x150	1	iç	1,10	194,32	183,22	197,30	225,76	248,94	1,28	1,36	1,26	1,10
Silva ve diğerleri (2017)	L3	90,00	39,40	150x150	2	iç	1,57	130,50	123,04	110,71	126,26	225,00	1,72	1,83	2,03	1,78
	L4	90,00	39,60	150x150	2	iç	1,57	190,30	179,42	179,18	212,59	350,00	1,84	1,95	1,95	1,65

Çizelge 6.9. (devamı) Tahmin edilen kapasitelerin karşılaştırılması

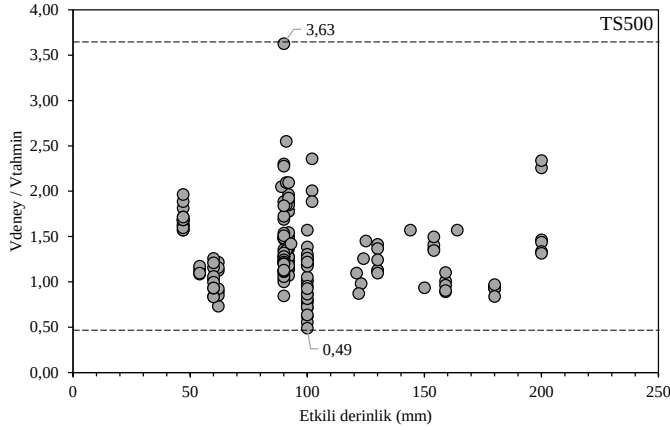
Çalışma	Deney Elemanı	d (mm)	f _c (MPa)	Boşluk büyüklüğü (mm x mm)	Boşluk sayısı	Kolonun konumu	Donatı oranı (%)	V _{tahmin}				V _{deneysel} (kN)	V _{deneysel} / V _{tahmin}			
								TS500	ACI	EC2	BS8110		TS500	ACI	EC2	BS8110
Durucan ve Anıl (2015)	Specimen-2	100,00	20,56	300x300	1	iç	0,70	125,00	118,00	123,00	123,00	161,00	1,29	1,36	1,31	1,31
	Specimen-3	100,00	19,96	300x300	1	iç	0,70	150,00	141,00	146,00	150,00	186,00	1,24	1,32	1,27	1,24
	Specimen-4	100,00	21,23	500x500	1	iç	0,70	114,00	107,00	112,00	111,00	158,00	1,39	1,48	1,41	1,42
	Specimen-5	100,00	19,78	500x500	1	iç	0,70	145,00	137,00	141,00	146,00	173,00	1,19	1,26	1,23	1,18
	Specimen-6	100,00	20,12	300x300	1	iç	0,70	168,00	158,00	159,00	167,00	197,00	1,17	1,25	1,24	1,18
	Specimen-7	100,00	21,45	300x300	1	iç	0,70	168,00	158,00	163,00	162,00	219,00	1,30	1,39	1,34	1,35
	Specimen-8	100,00	20,03	500x500	1	iç	0,70	155,00	146,00	147,00	156,00	191,00	1,23	1,31	1,30	1,22
	Specimen-9	100,00	21,09	500x500	1	iç	0,70	160,00	151,00	156,00	156,00	202,00	1,26	1,34	1,29	1,29
Pinto ve diğerleri (2019)	L1	100,00	25,00	100x100	1	iç	0,94	223,83	191,40	175,70	223,85	273,00	1,22	1,43	1,55	1,22
	L2	100,00	25,00	100x100	1	iç	0,92	288,40	254,10	218,00	280,03	275,00	0,95	1,08	1,26	0,98
	L3	100,00	25,00	100x100	1	iç	0,92	298,55	263,00	236,80	289,86	277,00	0,93	1,05	1,17	0,96
Augustin ve diğerleri (2020)	S1-1	200,00	43,26	200x300	2	iç	1,57	368,33	347,28	423,02	451,58	831,00	2,26	2,39	1,96	1,84
	S1-2	200,00	32,89	200x300	2	iç	1,57	321,16	302,81	386,08	412,15	751,00	2,34	2,48	1,95	1,82
	S2-1	200,00	32,40	200x300	2	iç	1,57	531,13	500,78	670,14	683,84	777,00	1,46	1,55	1,16	1,14
	S2-2	200,00	35,69	200x300	2	iç	1,57	557,44	525,59	692,10	706,24	801,00	1,44	1,52	1,16	1,13
	S3-1	200,00	31,15	200x300	2	iç	1,57	562,59	530,44	743,30	728,56	751,00	1,33	1,42	1,01	1,03
	S3-2	200,00	31,05	200x300	2	iç	1,57	561,68	529,59	742,50	727,78	739,00	1,32	1,40	1,00	1,02
Balomenos ve diğerleri (2018)*	SB1-0	90,00	44,00	150x150	2	iç	1,10	137,91	130,02	105,56	116,34	182,00	1,32	1,40	1,72	1,56
	SB-0	90,00	44,00	150x150	2	iç	1,10	171,34	161,55	149,25	178,39	145,00	0,85	0,90	0,97	0,81
	SB1-1	90,00	44,00	150x150	2	iç	1,10	154,62	145,79	150,19	180,05	198,00	1,28	1,36	1,32	1,10
	SB-1	90,00	44,00	150x150	2	iç	1,10	179,69	169,43	179,00	207,76	180,00	1,00	1,06	1,01	0,87
	SB1-2	90,00	44,00	150x150	2	iç	1,10	171,34	161,55	169,08	198,34	213,00	1,24	1,32	1,26	1,07
	SB-2	90,00	44,00	150x150	2	iç	1,10	186,38	175,73	187,98	216,62	197,00	1,06	1,12	1,05	0,91
	SB1-3	90,00	44,00	150x150	2	iç	1,10	178,86	168,64	178,53	207,20	218,00	1,22	1,29	1,22	1,05
	SB-3	90,00	44,00	150x150	2	iç	1,10	190,56	179,67	192,23	221,05	212,00	1,11	1,18	1,10	0,96

Çizelge 6.9. (devamı) Tahmin edilen kapasitelerin birbirleri ve deneysel verilerle karşılaştırılması

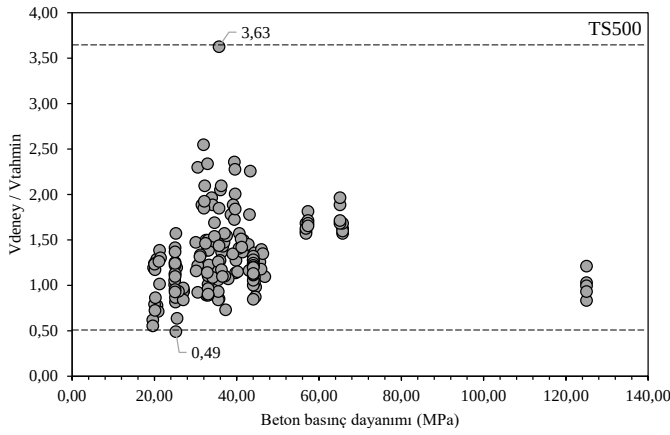
Çalışma	Deney Elemanı	d (mm)	f _c (MPa)	Boşluk büyüklüğü (mm x mm)	Boşluk sayısı	Kolonun konumu	Donatı oranı (%)	V _{tahmin}				V _{deneysel} (kN)	V _{deneysel} / V _{tahmin}			
								TS500	ACI	EC2	BS8110		TS500	ACI	EC2	BS8110
Balomenos ve diğerleri (2018)*	SB1-4	90,00	44,00	150x150	2	iç	1,10	183,04	172,58	183,73	212,74	220,00	1,20	1,27	1,20	1,03
	SB-4	90,00	44,00	150x150	2	iç	1,10	192,23	181,25	194,59	223,27	215,00	1,12	1,19	1,10	0,96
	SB1-5	90,00	44,00	150x150	2	iç	1,10	186,38	175,73	187,50	216,07	223,00	1,20	1,27	1,19	1,03
	SB-5	90,00	44,00	150x150	2	iç	1,10	193,90	182,82	196,48	224,93	219,00	1,13	1,20	1,11	0,97
Kormosova ve diğerleri (2020)	SL1	159,00	33,00	150x240	2	iç	1,26	753,18	710,14	488,22	683,19	761,00	1,01	1,07	1,56	1,11
	SL2	159,00	33,00	240x150	2	iç	1,26	810,72	764,39	519,95	738,07	781,00	0,96	1,02	1,50	1,06
	SL3	159,00	33,00	240x150	2	iç	1,26	753,18	710,14	360,12	424,12	831,00	1,10	1,17	2,31	1,96
	SL4	159,00	33,00	240x150	2	iç	1,26	753,18	710,14	385,10	548,01	671,00	0,89	0,94	1,74	1,22
	SL5	159,00	33,00	240x150	2	iç	1,26	753,18	710,14	441,02	591,99	681,00	0,90	0,96	1,54	1,15
Oukaili ve Salman (2014)	SF0	54,00	37,10	100x100	1	iç	1,50	82,43	77,72	77,49	102,90	90,76	1,10	1,17	1,17	0,88
	CF0	54,00	34,13	150x150	1	iç	1,50	73,54	69,33	69,30	90,07	79,87	1,09	1,15	1,15	0,89
	LF0	54,00	32,83	225x225	1	iç	1,50	60,43	56,97	62,42	79,03	68,98	1,14	1,21	1,11	0,87
	CC0	54,00	36,27	150x150	1	iç	1,50	77,40	72,98	79,70	102,12	90,76	1,17	1,24	1,14	0,89
	CF1	54,00	36,50	150x150	1	iç	1,50	81,07	76,44	80,61	106,87	88,94	1,10	1,16	1,10	0,83
EL-Shafiey ve diğerleri (2012)	SC11O(2,2)F	130,00	25,00	200x200	1	iç	-	222,91	210,17	189,82	219,70	315,00	1,41	1,50	1,66	1,43
	SC11O(3,3)F	130,00	25,00	300x300	1	iç	-	198,13	186,81	173,37	195,30	222,00	1,12	1,19	1,28	1,14
	SC11O(4,4)F	130,00	25,00	400x400	1	iç	-	185,75	175,14	163,18	183,09	210,00	1,13	1,20	1,29	1,15
	SC11O(2,2)C	130,00	25,00	200x200	1	iç	-	247,67	233,52	214,73	244,11	339,00	1,37	1,45	1,58	1,39
	SC11O(3,3)C	130,00	25,00	300x300	1	iç	-	241,46	227,66	208,55	238,00	300,00	1,24	1,32	1,44	1,26
	SC11O(4,4)C	130,00	25,00	400x400	1	iç	-	237,77	224,18	204,80	234,35	261,00	1,10	1,16	1,27	1,11

* Çalışmadaki veriler deneysel çalışmalarla doğrulanmış nümerik modelden elde edilmiştir.

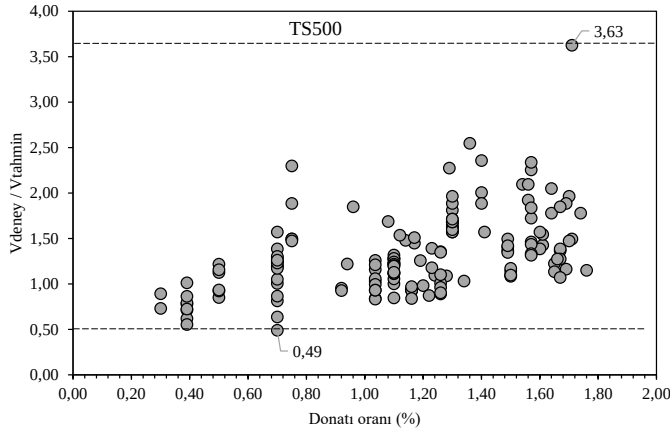
Deneysel sonuçların TS500'ün önerdiği denklemlerle elde edilen sonuçlara oranları etkili derinlik, beton basınç dayanımı ve donatı oranı ile ilişkilendirilerek, Şekil 6.8'de verilmiştir. Oranların ortalama değeri 1,33'tür. Standart sapma değeri ise 0,43'tür. En büyük oran değeri 3,63 iken en küçük oran değeri 0,49'dur.



(a)



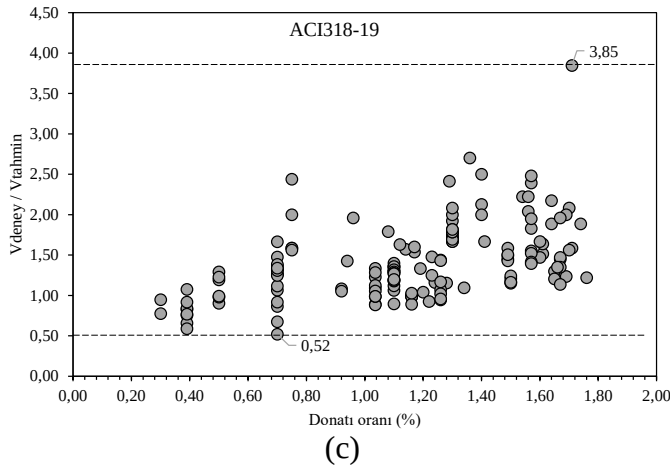
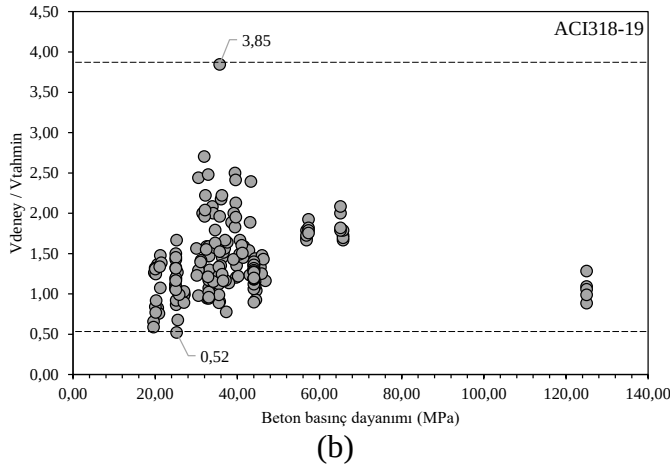
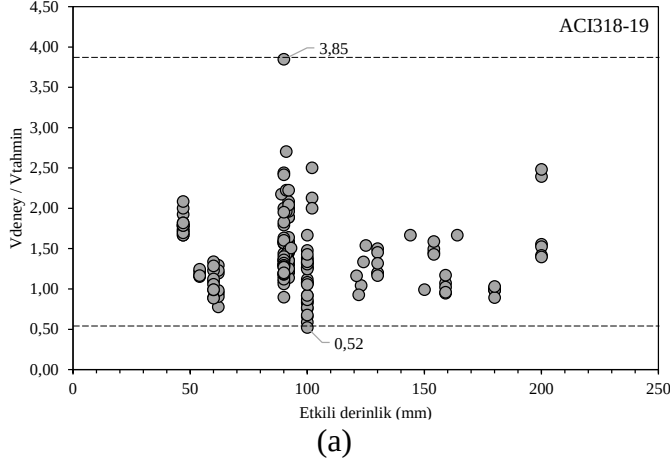
(b)



(c)

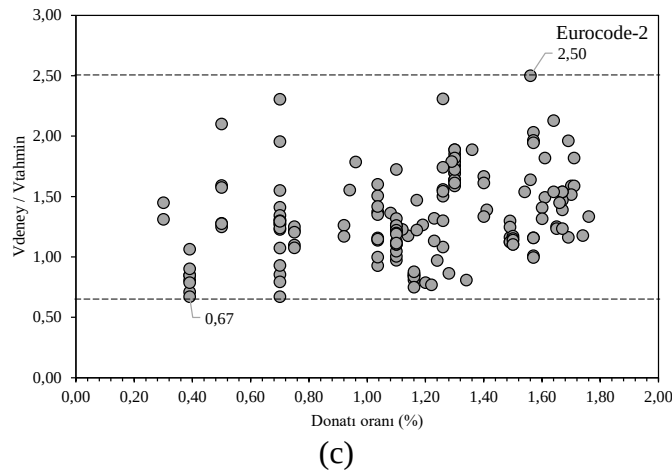
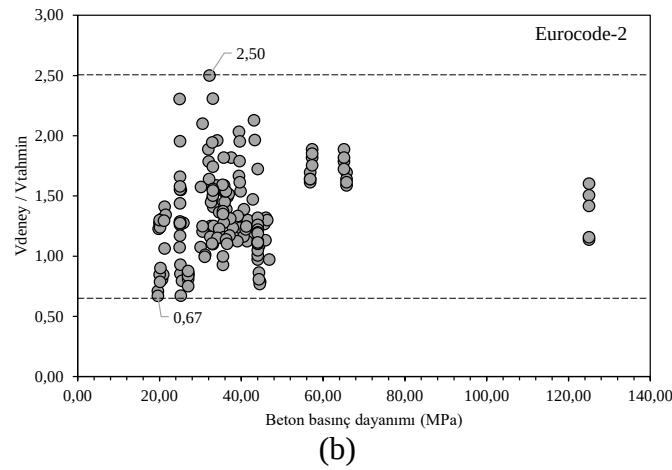
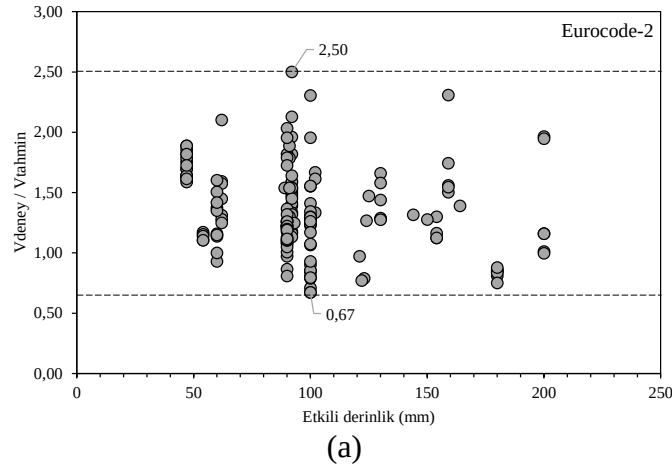
Şekil 6.8. Deneysel sonuçların TS500'ün önerdiği denklemlerle elde edilen sonuçlara oranının (a) etkili derinlik, (b) basınç dayanımı ve (c) donatı oranı ile ilişkisi

Deneysel sonuçların ACI318-19'un önerdiği denklemlerle elde edilen sonuçlara oranları etkili derinlik, beton basınç dayanımı ve donatı oranı ile ilişkilendirilerek, Şekil 6.9'da verilmiştir. Oranların ortalama değeri 1,41'dir. Standart sapma değeri ise 0,45'tir. En büyük oran değeri 3,85 iken en küçük oran değeri 0,52'dir.



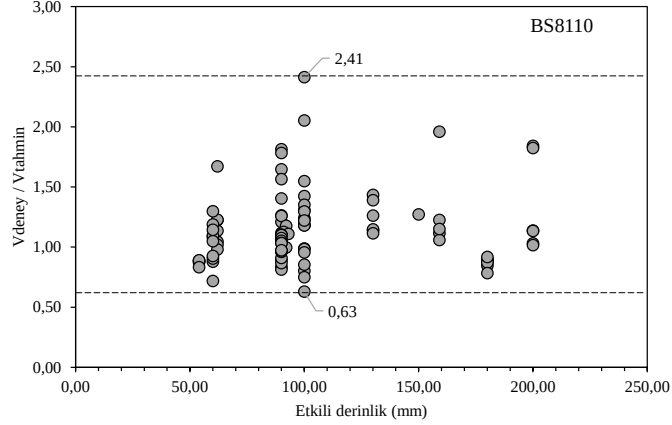
Şekil 6.9. Deneysel sonuçların ACI318-19'un önerdiği denklemlerle elde edilen sonuçlara oranının (a) etkili derinlik, (b) basınç dayanımı ve (c) donatı oranı ile ilişkisi

Deneysel sonuçların, Eurocode 2'nin önerdiği denklemlerle elde edilen sonuçlara oranları etkili derinlik, beton basınç dayanımı ve donatı oranı ile ilişkilendirilerek, Şekil 6.10'da verilmiştir. Oranların ortalama değeri 1,34'tür. Standart sapma değeri ise 0,35'tir. En büyük oran değeri 2,50 iken en küçük oran değeri 0,67'dir.

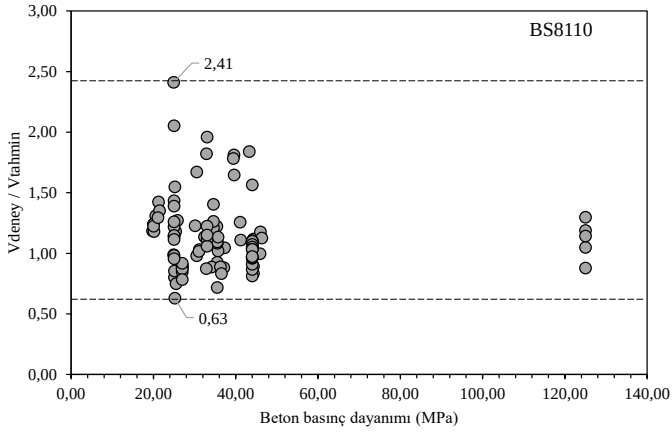


Şekil 6.10. Deneysel sonuçların ACI318-19'un önerdiği denklemlerle elde edilen sonuçlara oranının (a) etkili derinlik, (b) basınç dayanımı ve (c) donatı oranı ile ilişkisi

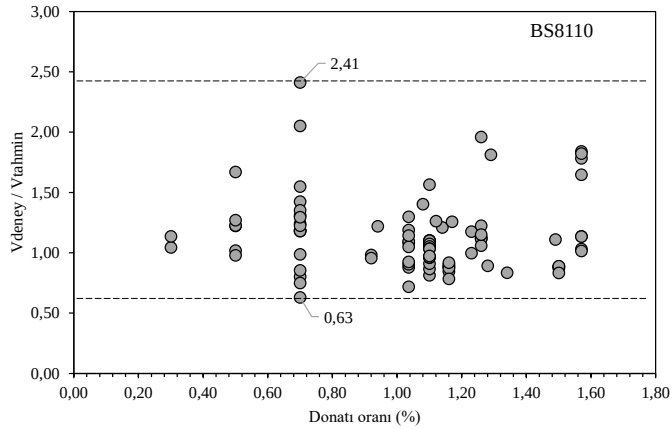
Deneysel sonuçların, BS8110'un önerdiği denklemlerle elde edilen sonuçlara oranları etkili derinlik, beton basınç dayanımı ve donatı oranı ile ilişkilendirilerek, Şekil 6.11'de verilmiştir. Oranların ortalama değeri 1,14'tür. Standart sapma değeri ise 0,30'dur. En büyük oran değeri 2,41 iken en küçük oran değeri 0,63'tür.



(a)



(b)

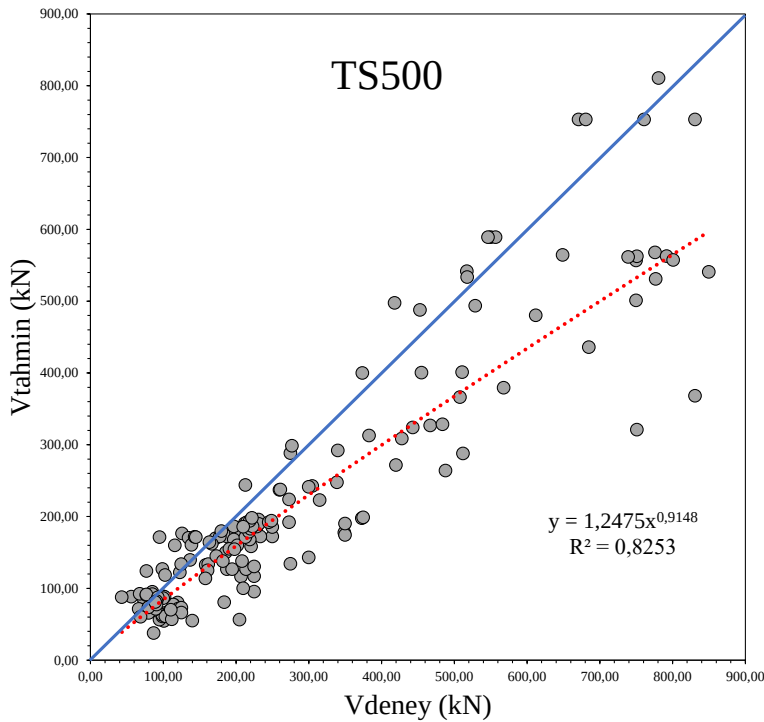


(c)

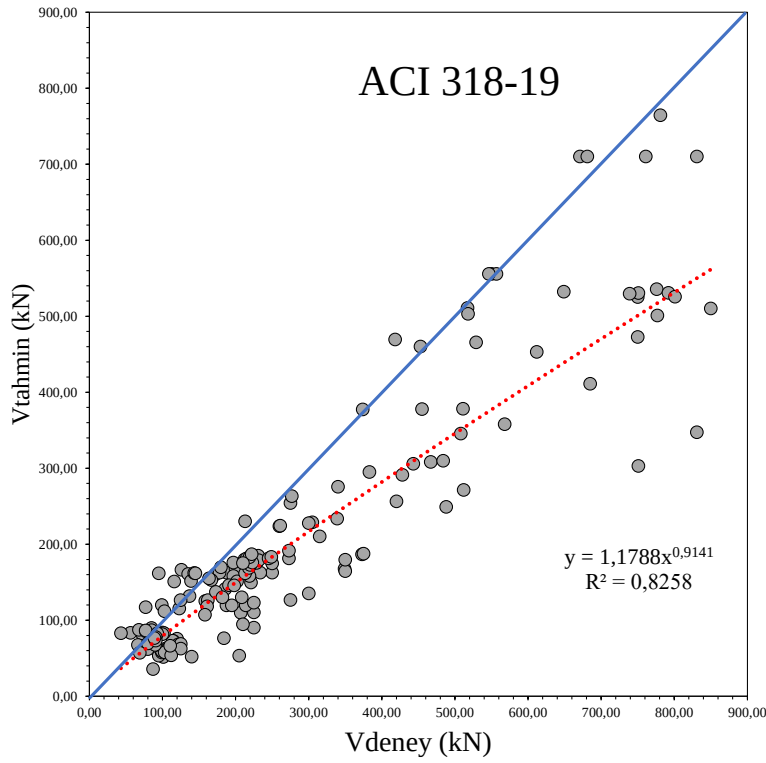
Şekil 6.11. Deneysel sonuçların BS8110'un önerdiği denklemlerle elde edilen sonuçlara oranının (a) etkili derinlik, (b) basınç dayanımı ve (c) donatı oranı ile ilişkisi

6.3. Yönetmeliklerde Bulunan Denklemler İçin Bazı Öneriler

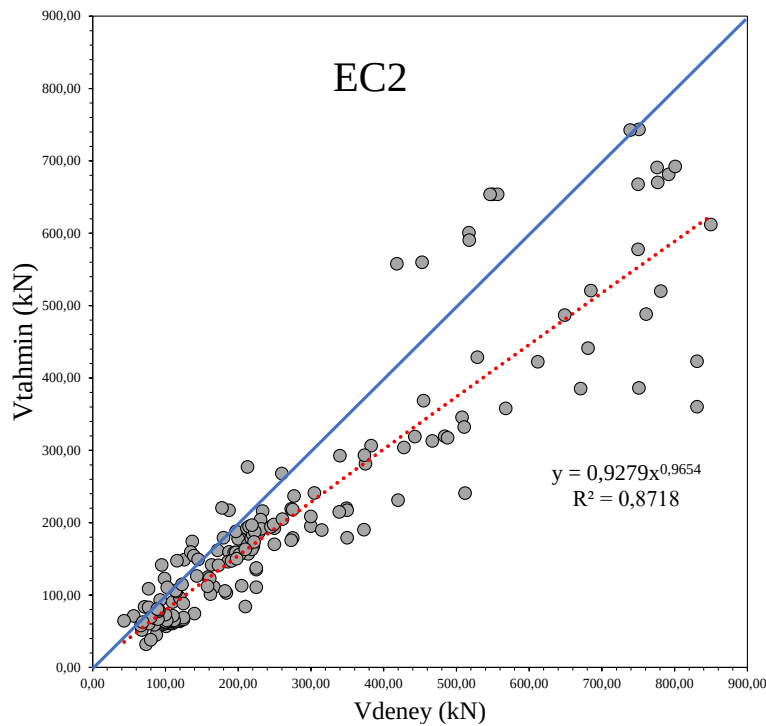
Öncelikle, tüm boşluklu deney elemanlarını kapsayacak bir öneride bulunmak için Şekil 6.12-15'te yönetmeliklerin önerdiği denklemlerle tahmin edilen sonuçlar, deneysel sonuçlarla ilişkilendirilerek bir dağılım elde edilmiştir. Tahminlerin doğruluğunu gösterebilmek için her bir şekilde $x = y$ eğrisi de çizilmiştir. Bu eğri üzerinde ve yakınında bulunan, dağılıma ait bir nokta, denklemler aracılığıyla elde edilen verilerin deneysel verilere yakın ve doğru bir şekilde tahmin edildiğini göstermektedir. Dağılıma ait nokta, eğrinin altında ise deneysel zımbalama yükünün daha büyük olduğunu, yukarısında ise denklemler aracılığıyla elde edilen zımbalama yükünün daha büyük olduğunu göstermektedir. Verileri $x = y$ eğrisine daha çok yaklaştırmak ve tahminleri daha doğru elde etmek için eğrilerin üssel eğim çizgileri ve bu çizgiye ait denklemler şekillere eklenmiştir. Ayrıca dağılımların kendi içerisinde tutarlı olup olmadığını tespit edebilmek için R^2 katsayıları da görüntülenmiştir. Bu katsayı TS500, ACI 318-19, Eurocode 2 ve BS8110 için sırasıyla 0,83, 0,83, 0,87 ve 0,89'dur. Bu katsayılar her bir yönetmeliğin tahminlerinin kendi içerisinde tutarlı olduğu göstermiştir.



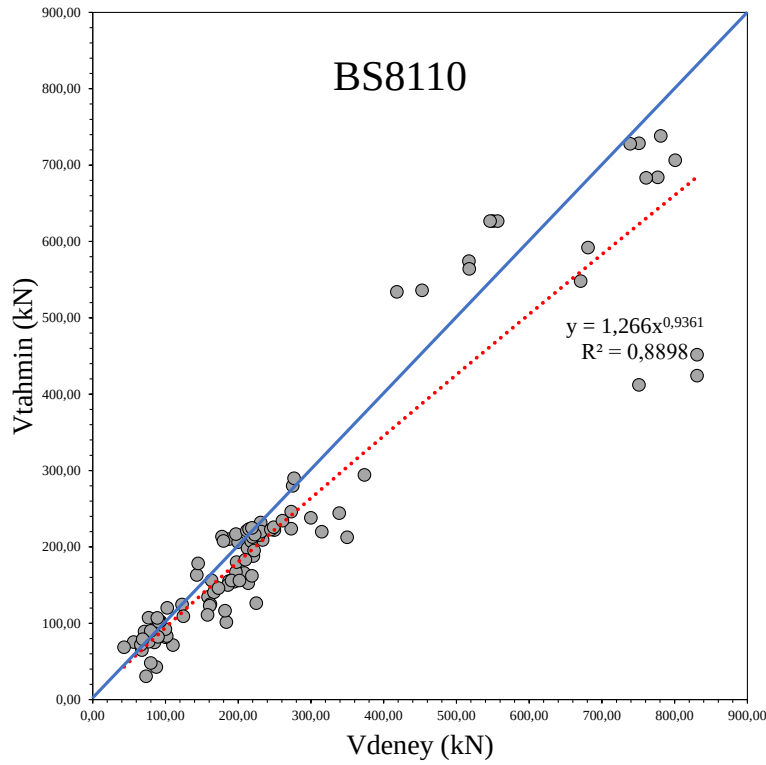
Şekil 6.12. TS500 ile tahmin edilen zımbalama yüklerinin doğruluk ve tutarlılığı



Şekil 6.13. ACI318-19 ile tahmin edilen zımbalama yüklerinin doğruluk ve tutarlılığı



Şekil 6.14. Eurocode 2 ile tahmin edilen zımbalama yüklerinin doğruluk ve tutarlılığı



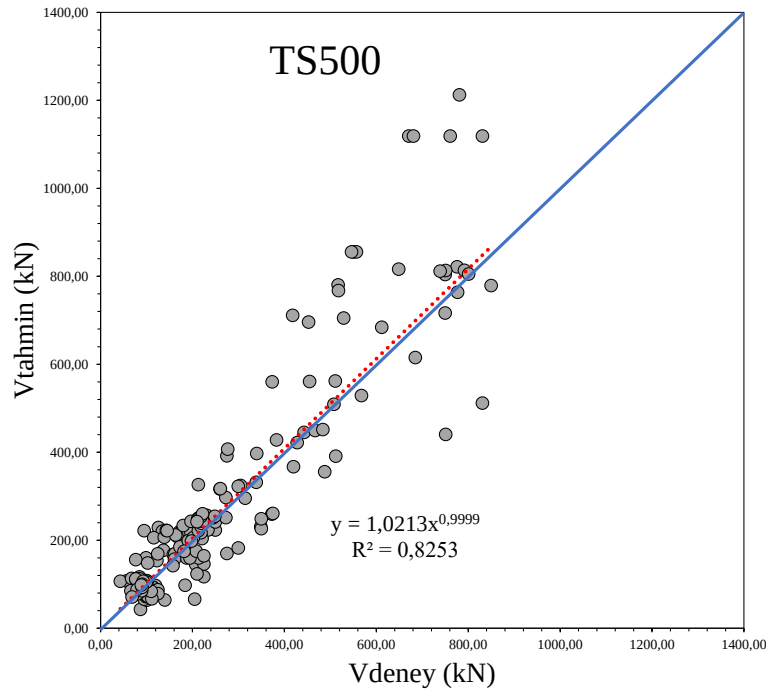
Şekil 6.15. BS8110 ile tahmin edilen zımbalama yüklerinin doğruluk ve tutarlılığı

6.3.1. Tüm boşluklu betonarme döşemeler için katsayı önerileri

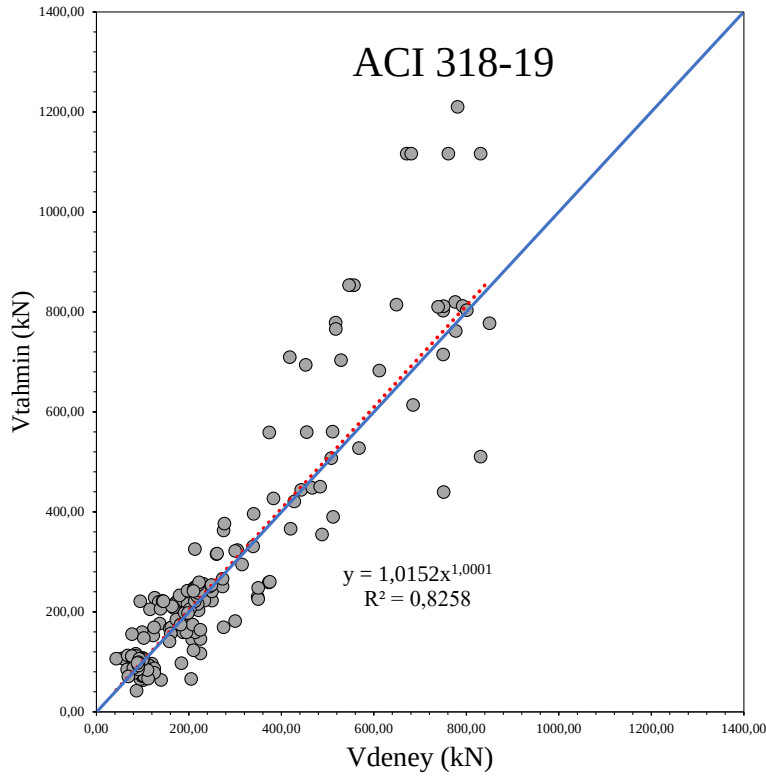
Yönetmeliklerin önerdiği denklemler aracılığıyla gerçekleştirilen tahminleri iyileştirmek için Çizelge 6.10’da verilen katsayılar üssel eğim çizgileri aracılığı ile elde edilmiştir. Katsayılar uygulandıktan sonra elde edilen dağılımlar Şekil 6.16-19’da verilmiştir. Bu şekiller incelendiğinde dağılımın $x = y$ çizgisi etrafında toplandığı görülmüş ve daha doğru tahminler gerçekleştirilmiştir.

Çizelge 6.10. Tüm boşluklu deney elemanlarının zımbalama kapasite tahmini için bazı öneriler

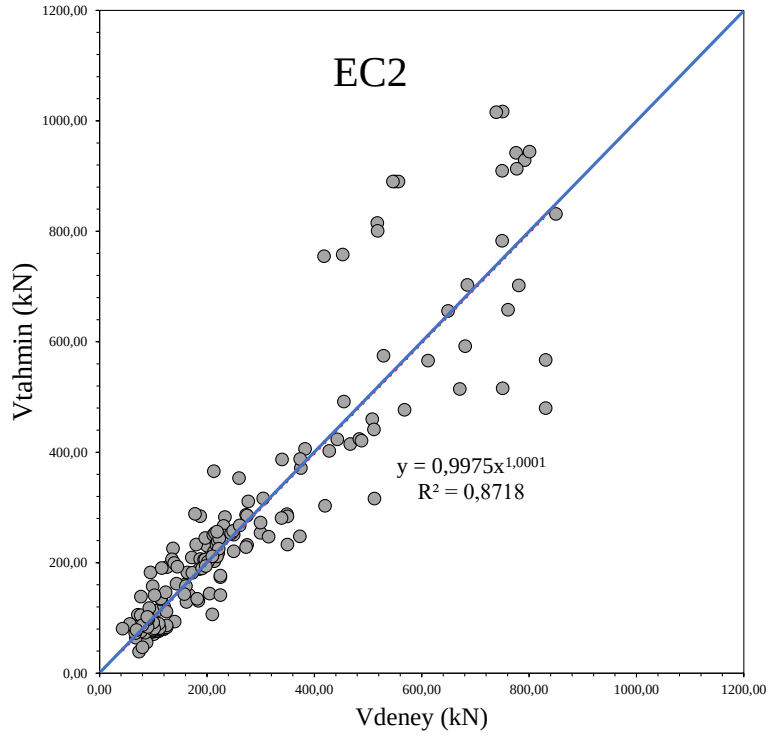
Yönetmelik	Denklem	Öneri	Yeni denklem
TS500	$V_{pr} = \gamma f_{ctd} u_p d$	$0,802 \times (TS500)^{1,093}$	$V_{pr} = 0,802 (\gamma f_{ctd} u_p d)^{1,093}$
ACI 318-19	$V_{C,3} = 0,33 \lambda (f'_c)^{1/2} d u_p$	$0,848 \times (ACI)^{1,094}$	$V_{C,3} = 0,252 (\lambda (f'_c)^{1/2} d u_p)^{1,094}$
Eurocode 2	$V_C = 0,18 k (100 \rho_l f_{ck})^{1/3} d u_p$	$1,078 \times (EC2)^{1,036}$	$V_C = 0,182 (k (100 \rho_l f_{ck})^{1/3} d u_p)^{1,036}$
BS8110	$V_C = 0,27 k (100 \rho_l f_{c,cube})^{1/3} d u_p$	$0,790 \times (BS8110)^{1,068}$	$V_C = 0,195 (k (100 \rho_l f_{c,cube})^{1/3} d u_p)^{1,068}$



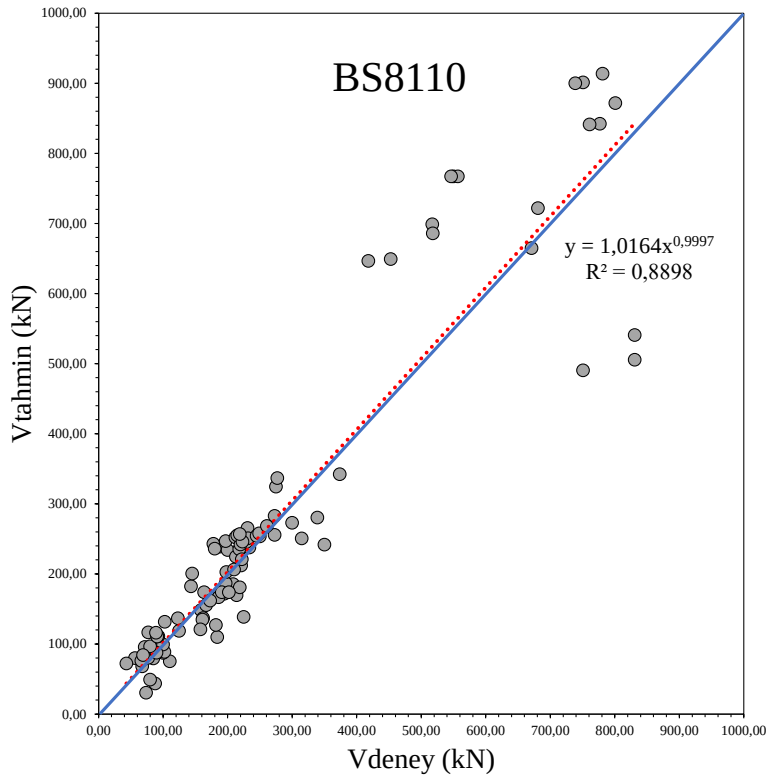
Şekil 6.16. T500 için yapılan öneri ile tahmin edilen zımbalama yüklerinin doğruluk ve tutarlılığı



Şekil 6.17. ACI318-19 için yapılan öneri ile tahmin edilen zımbalama yüklerinin doğruluk ve tutarlılığı

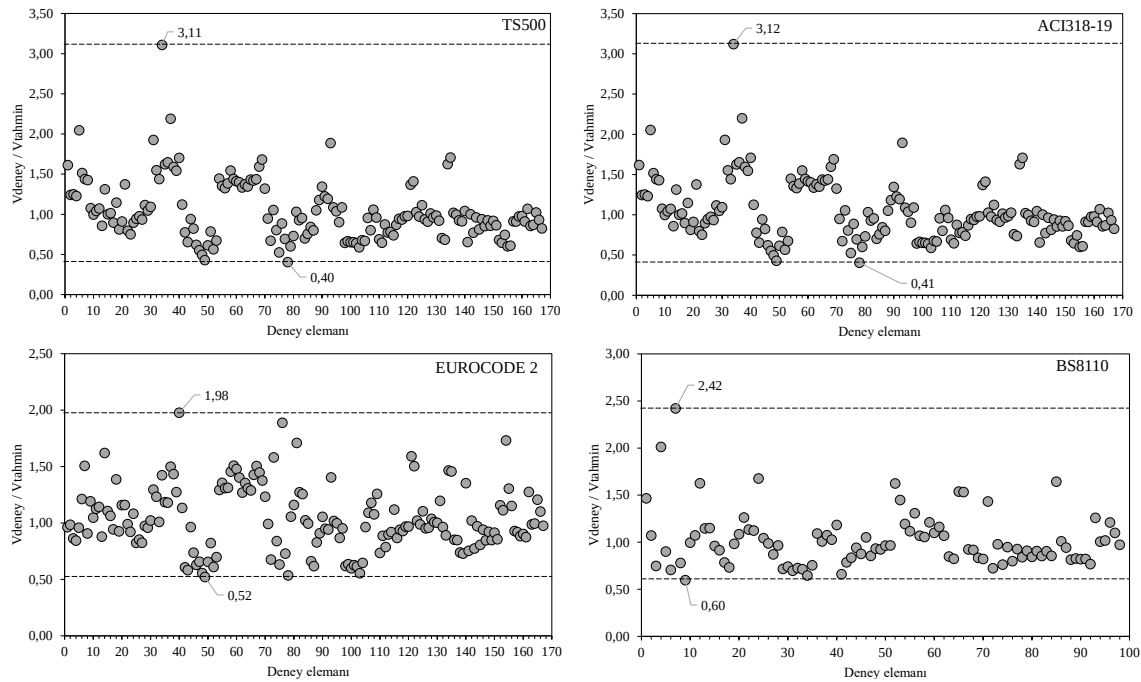


Şekil 6.18. Eurocode 2 için yapılan öneri ile tahmin edilen zımbalama yüklerinin doğruluk ve tutarlılığı



Şekil 6.19. BS8110 için yapılan öneri ile tahmin edilen zımbalama yüklerinin doğruluk ve tutarlılığı

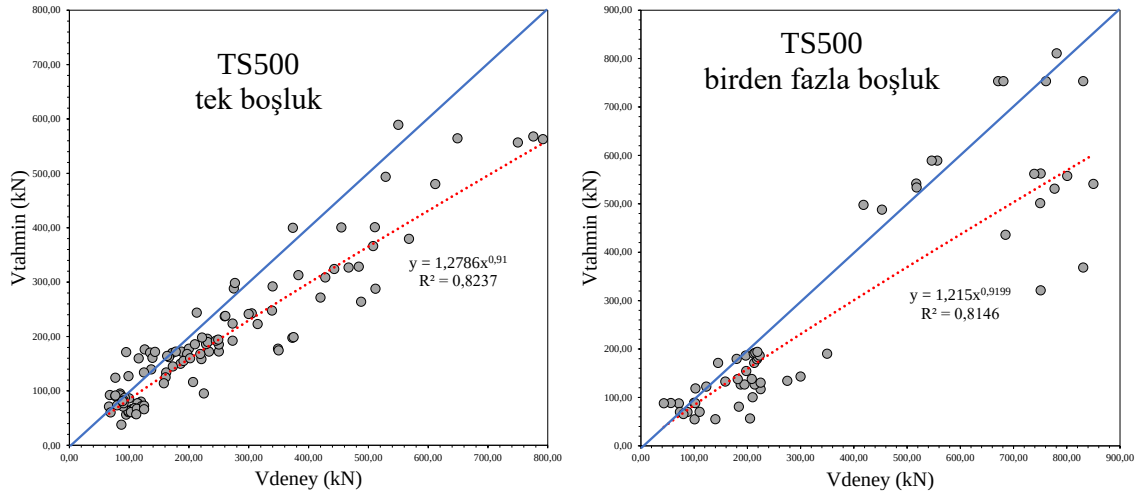
Deneysel sonuçların önerilen denklemlerle elde edilen sonuçlara oranları deney elemanları ile ilişkilendirilerek, Şekil 6.20’de verilmiştir. TS500 için önerilen denklemle elde edilen V_{deney}/V_{tahmin} oranlarının ortalama değeri 1,04’tür. Standart sapma değeri ise 0,37’dir. En büyük oran değeri 3,11 iken en küçük oran değeri 0,40’tır. ACI318-19 için önerilen denklemle elde edilen V_{deney}/V_{tahmin} oranlarının ortalama değeri de 1,04’tür. Standart sapma değeri ise 0,37’dir. En büyük oran değeri 3,12 iken en küçük oran değeri 0,41’dir. Eurocode 2 için önerilen denklemle elde edilen V_{deney}/V_{tahmin} oranlarının ortalama değeri de 1,04’tür. Standart sapma değeri ise 0,28’dir. En büyük oran değeri 1,98 iken en küçük oran değeri 0,52’dir. BS8110 için önerilen denklemle elde edilen V_{deney}/V_{tahmin} oranlarının ortalama değeri de 1,02’dir. Standart sapma değeri ise 0,29’dir. En büyük oran değeri 2,42 iken en küçük oran değeri 0,60’tır.



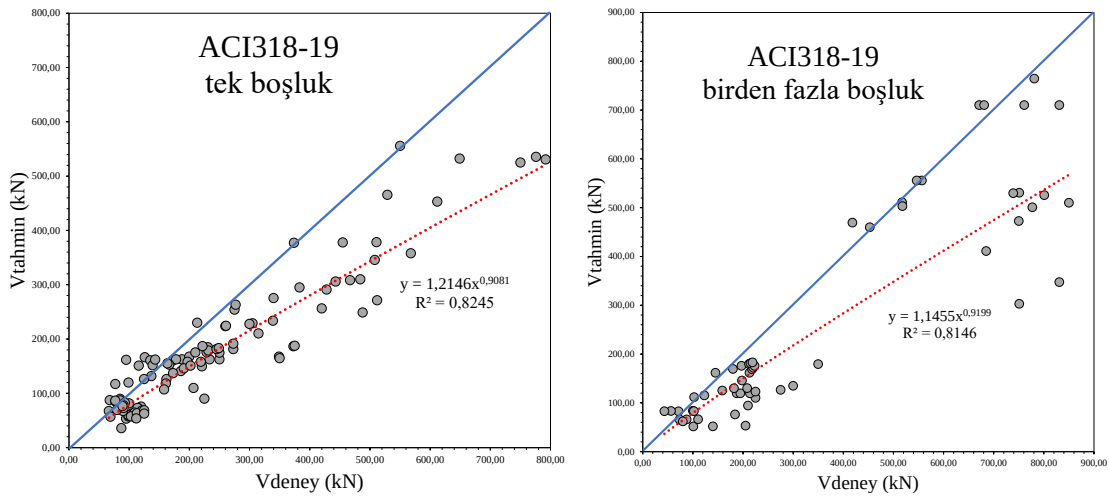
Şekil 6.20. Yönetmeliklerde bulunan denklemler için yapılan öneriler sonrasında V_{deney}/V_{tahmin} oranının dağılımı

6.3.2. Tek ve birden fazla boşluklu betonarme döşemeler için ayrı ayrı katsayı önerileri

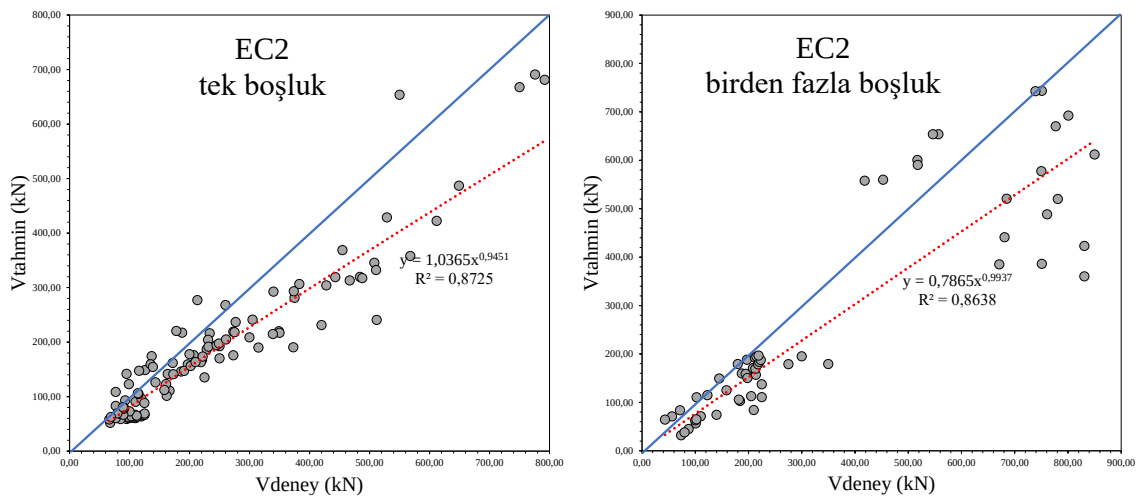
Tek ve birden fazla boşluklu deney elemanları için deney sonuçları ile yönetmeliklerin önerdiği denklemlerle gerçekleştirilen tahminlerin ilişkilendirildiği dağılımlar TS500 için Şekil 6.21’de, ACI318-19 için Şekil 6.22’de, Eurocode-2 için Şekil 6.23’te ve BS8110 için Şekil 6.24’te verilmiştir.



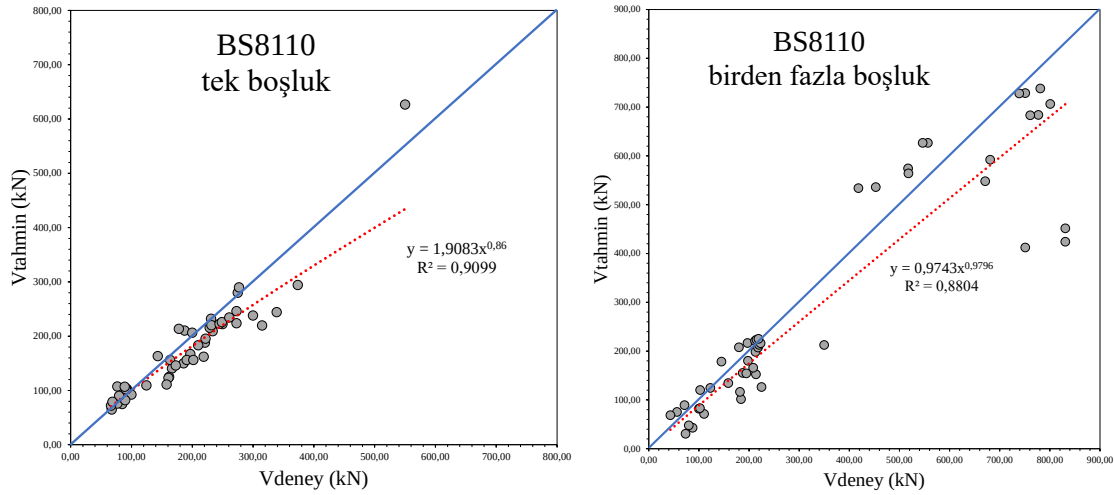
Şekil 6.21. TS500 için boşluk sayısına bağlı Vtahmin-Vdeney dağılımı



Şekil 6.22. ACI318-19 için boşluk sayısına bağlı Vtahmin-Vdeney dağılımı



Şekil 6.23. Eurocode 2 için boşluk sayısına bağlı Vtahmin-Vdeney dağılımı



Şekil 6.24. BS8110 için boşluk sayısına bağlı Vtahmin-Vdeney dağılımı

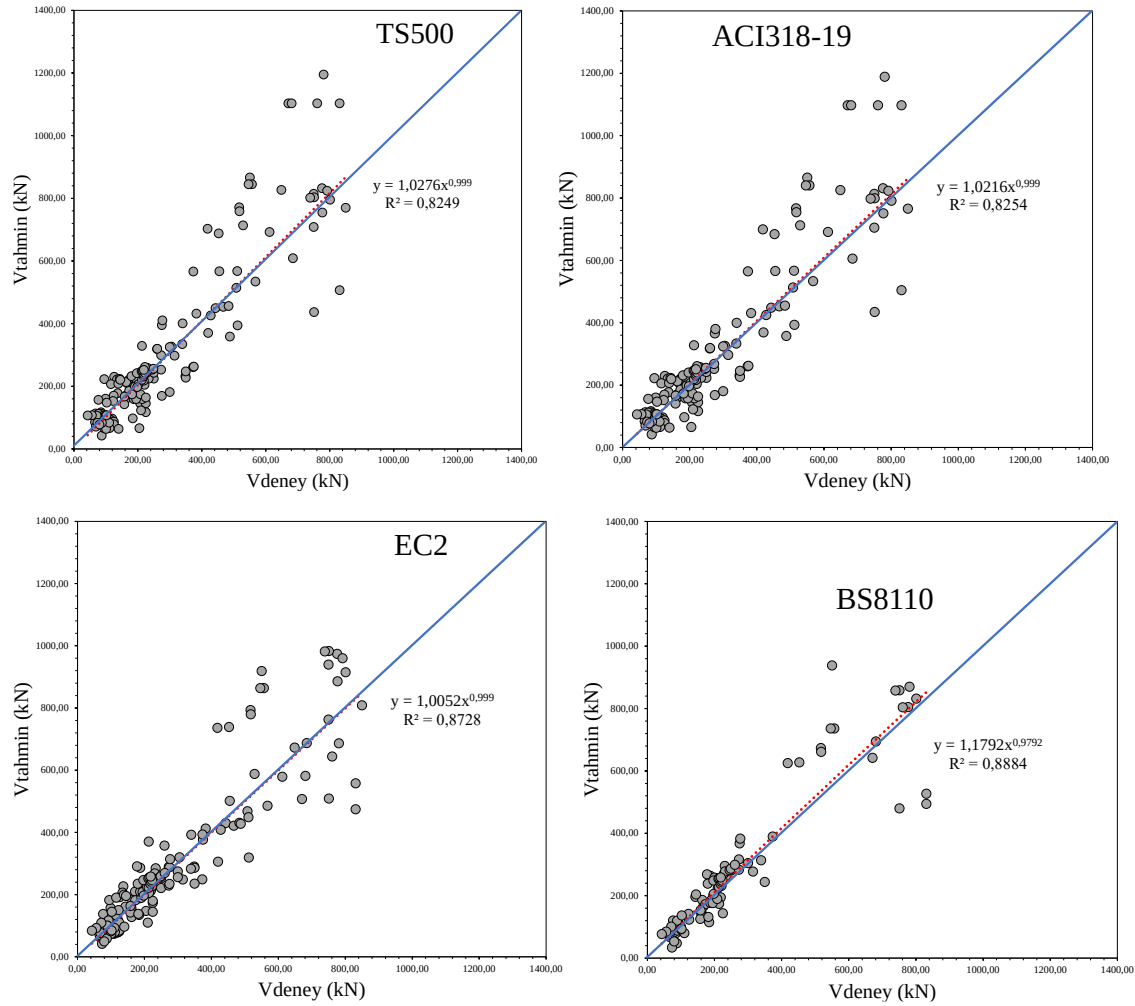
Yönetmeliklerin önerdiği denklemler aracılığıyla gerçekleştirilen tahminleri iyileştirmek için tek boşluklu deney elemanları için Çizelge 6.11’de, birden fazla boşluklu deney elemanları için Çizelge 6.12’de verilen katsayılar üssel eğim çizgileri aracılığı ile elde edilmiştir. Katsayılar uygulandıktan sonra elde edilen dağılımlar Şekil 6.25’te her bir yönetmelik için ayrı ayrı verilmiştir. Bu şekiller incelendiğinde dağılımın $x = y$ çizgisi etrafında toplandığı görülmüş ve daha doğru tahminler gerçekleştirilmiştir.

Çizelge 6.11. Tek boşluklu deney elemanlarının zımbalama kapasite tahmini için bazı öneriler

Yönetmelik	Denklem	Öneri	Yeni denklem
TS500	$V_{pr} = \gamma f_{ctd} u_p d$	$0,782 \times (TS500)^{1,099}$	$V_{pr} = 0,782 (\gamma f_{ctd} u_p d)^{1,099}$
ACI 318-19	$V_{C,3} = 0,33 \lambda (f'_c)^{1/2} d u_p$	$0,823 \times (ACI)^{1,101}$	$V_{C,3} = 0,243 (\lambda (f'_c)^{1/2} d u_p)^{1,101}$
Eurocode 2	$V_C = 0,18 k (100 \rho_l f_{ck})^{1/3} d u_p$	$0,965 \times (EC2)^{1,058}$	$V_C = 0,157 (k (100 \rho_l f_{ck})^{1/3} d u_p)^{1,058}$
BS8110	$V_C = 0,27 k (100 \rho_l f_{c,cube})^{1/3} d u_p$	$0,524 \times (BS8110)^{1,163}$	$V_C = 0,114 (k (100 \rho_l f_{c,cube})^{1/3} d u_p)^{1,163}$

Çizelge 6.12. Birden fazla boşluklu deney elemanlarının zımbalama kapasite tahmini için bazı öneriler

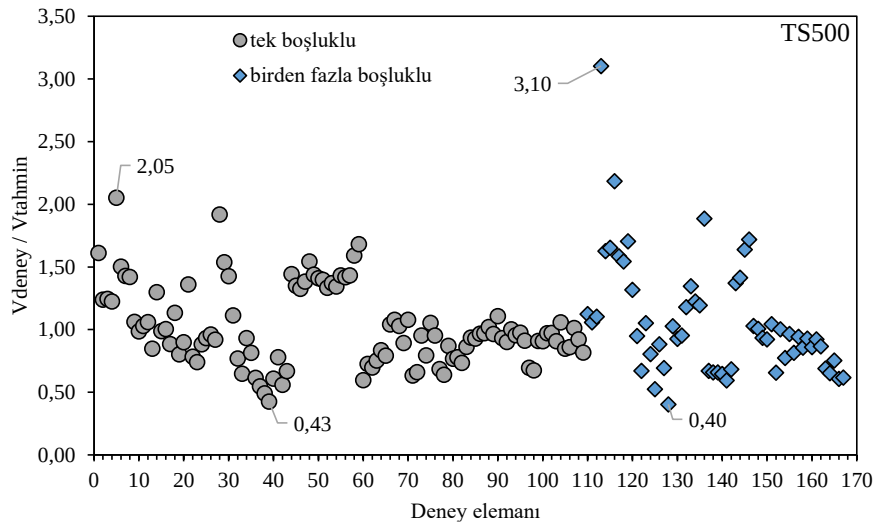
Yönetmelik	Denklem	Öneri	Yeni denklem
TS500	$V_{pr} = \gamma f_{ctd} u_p d$	$0,823 \times (TS500)^{1,087}$	$V_{pr} = 0,823 (\gamma f_{ctd} u_p d)^{1,087}$
ACI 318-19	$V_{C,3} = 0,33 \lambda (f'_c)^{1/2} d u_p$	$0,873 \times (ACI)^{1,087}$	$V_{C,3} = 0,262 (\lambda (f'_c)^{1/2} d u_p)^{1,087}$
Eurocode 2	$V_C = 0,18 k (100 \rho_l f_{ck})^{1/3} d u_p$	$1,271 \times (EC2)^{1,006}$	$V_C = 0,226 (k (100 \rho_l f_{ck})^{1/3} d u_p)^{1,006}$
BS8110	$V_C = 0,27 k (100 \rho_l f_{c,cube})^{1/3} d u_p$	$1,026 \times (BS8110)^{1,021}$	$V_C = 0,263 (k (100 \rho_l f_{c,cube})^{1/3} d u_p)^{1,021}$



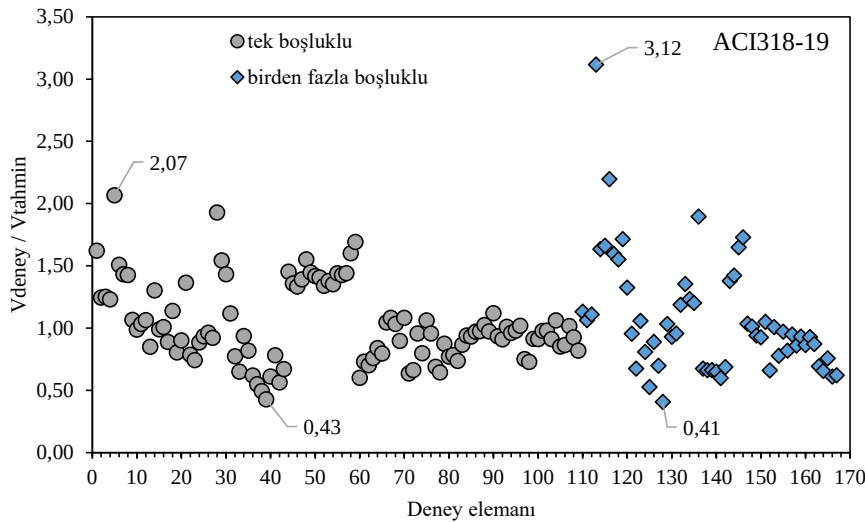
Şekil 6.25. Boşluk sayısına bağlı olarak önerilen denklemler uygulandıktan sonra elde edilen dağılımlar

Deneysel sonuçların önerilen denklemlerle elde edilen sonuçlara oranları deney elemanları ile ilişkilendirilerek, Şekil 6.26-29’da verilmiştir. TS500 için önerilen denklemle elde edilen V_{deney}/V_{tahmin} oranlarının ortalama değeri 1,03’tür. Standart sapma değeri ise 0,37’dir.

Tek boşluklu deney elemanları için en büyük oran değeri 2,05 iken en küçük oran değeri 0,43'tür. Birden fazla boşluklu deney elemanları için bu oranlar 3,10 ve 0,40'tır. ACI318-19 için önerilen denklemle elde edilen V_{deney}/V_{tahmin} oranlarının ortalama değeri 1,04'tür. Standart sapma değeri ise 0,37'dir. Tek boşluklu deney elemanları için en büyük oran değeri 2,07 iken en küçük oran değeri 0,43'tür. Birden fazla boşluklu deney elemanları için bu oranlar 3,12 ve 0,41'dir.

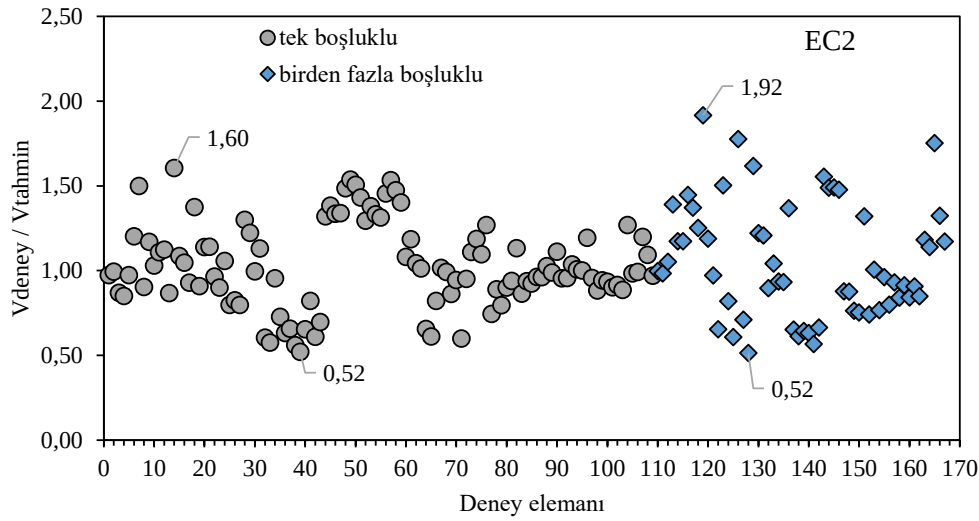


Şekil 6.26. Boşluk sayısına bağlı olarak TS500 için yapılan öneriler uygulandıktan sonra V_{deney}/V_{tahmin} oranlarının dağılımı

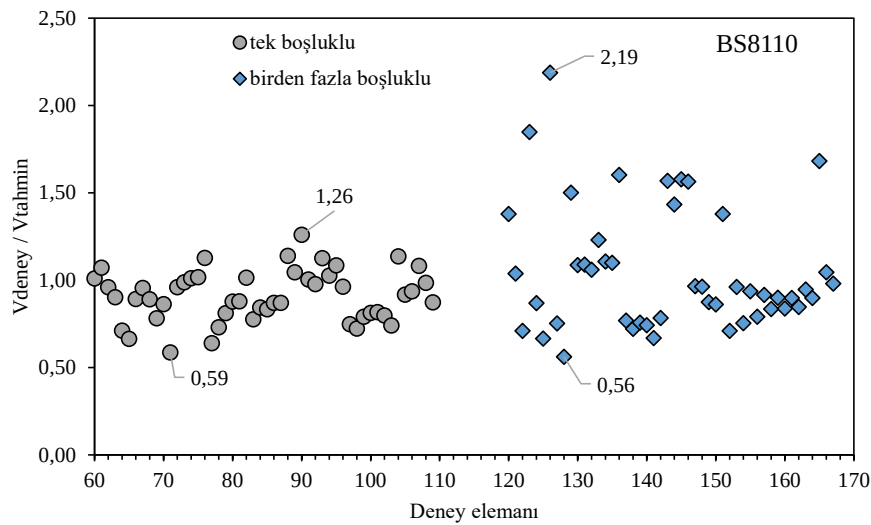


Şekil 6.27. Boşluk sayısına bağlı olarak ACI318-19 için yapılan öneriler uygulandıktan sonra V_{deney}/V_{tahmin} oranlarının dağılımı

Eurocode 2 için önerilen denklemle elde edilen V_{deney}/V_{tahmin} oranlarının ortalama değeri de 1,04'tür. Standart sapma değeri ise 0,28'dir. Tek boşluklu deney elemanları için en büyük oran değeri 1,60 iken en küçük oran değeri 0,52'dir. Birden fazla boşluklu deney elemanları için bu oranlar 1,92 ve 0,52'dir. BS8110 için önerilen denklemle elde edilen V_{deney}/V_{tahmin} oranlarının ortalama değeri de 0,98'dir. Standart sapma değeri ise 0,27'dir. Tek boşluklu deney elemanları için en büyük oran değeri 1,26 iken en küçük oran değeri 0,59'dur. Birden fazla boşluklu deney elemanları için bu oranlar 2,19 ve 0,56'dir.



Şekil 6.28. Boşluk sayısına bağlı olarak Eurocode 2 için yapılan öneriler uygulandıktan sonra V_{deney}/V_{tahmin} oranlarının dağılımı



Şekil 6.29. Boşluk sayısına bağlı olarak BS8110 için yapılan öneriler uygulandıktan sonra V_{deney}/V_{tahmin} oranlarının dağılımı

6.4. Denklem Önerilerinin Değerlendirilmesi ve Bazı Tavsiyeler

Analitik çalışma kapsamında, kirişsiz döşemelerin zımbalama kapasiteleri için TS500, ACI318-19, Eurocode 2 ve BS8110'nin önerdiği denklemlere üç farklı öneride bulunulmuştur. Bunların ilki, tez çalışması kapsamında üretilen ve test edilen deney elemanları içerisinde, yönetmeliklerin önerdiği denklemlerle kapasitesi oldukça düşük hesaplanan paralel boşluk konumlu 6 adet deney elemanı için yapılmıştır. Bu öneri sadece donatı oranını dikkate alan Eurocode 2 ve BS8110 yönetmeliklerini içindir. İkinci öneri ise literatürdeki çalışmalar dahil edilerek 167 adet, boşluklu kirişsiz betonarme döşeme aracılığı ile 4 yönetmelik için de gerçekleştirilmiştir. Üçüncü öneri için yine 167 adet boşluklu betonarme döşemenin deneysel zımbalama kapasiteleri kullanılmıştır. Ancak ikinci öneriden farklı olarak, boşluk sayısına bağlı olarak önerilen katsayılar farklılık göstermiştir. Tek boşluklu deney elemanları için farklı, birden fazla boşluklu deney elemanları için farklı katsayılar önerilmiştir. Bu öneriler ve önerilerden elde edilen bazı sonuçlar Çizelge 6.13 ve Çizelge 6.14'te verilmiştir.

Çizelge 6.13. Yönetmeliklerde bulunan denklemler için katsayı önerileri

Öneri	TS500	ACI318-19	Eurocode 2	BS8110
1	-	-	2,07(EC2)*	2,15(BS8110)*
2	$0,802(TS500)^{1,093}$	$0,848(ACI)^{1,094}$	$1,078(EC2)^{1,036}$	$0,790(BS8110)^{1,068}$
3.	$0,782(TS500)^{1,099}$	$0,823(ACI)^{1,101}$	$0,965(EC2)^{1,058}$	$0,524(BS8110)^{1,163}$
	$0,823(TS500)^{1,087}$	$0,873(ACI)^{1,087}$	$1,271(EC2)^{1,006}$	$1,026(BS8110)^{1,021}$

* Paralel boşluk konumu için geçerlidir.

Çizelge 6.14. Yönetmeliklerde bulunan denklemler için katsayı önerileri sonrası elde edilen sonuçlar

Öneri	Önerinin yapıldığı yönetmelik	Ortalama Vdeney/Vtahmin	Standart sapma	En büyük Vdeney/Vtahmin		En Küçük Vdeney/Vtahmin	
1	Eurocode 2*	1,02	0,18	1,28		0,67	
	BS8110*	0,97	0,17	1,20		0,63	
2	TS500	1,04	0,37	3,11		0,40	
	ACI 318-19	1,04	0,37	3,12		0,41	
	Eurocode 2	1,04	0,28	1,98		0,52	
	BS8110	1,02	0,29	2,42		0,60	
3.	TS500	1,03	0,37	2,05	3,10	0,43	0,40
	ACI 318-19	1,04	0,37	2,07	3,12	0,43	0,41
	Eurocode 2	1,04	0,28	1,60	1,92	0,52	0,52
	BS8110	0,98	0,27	1,26	2,19	0,59	0,56

* Paralel boşluk konumu için geçerlidir.

Çizelge 6.14 incelendiğinde en başarılı sonuçların ikinci grup yönetmeliklerden elde edildiği görülmüştür. Eurocode 2 ve BS8110 standart sapma, en büyük ve en küçük oranlar dikkate alındığında TS500 ve ACI 318-19'a göre deneysel verileri daha yakın tahminlerde bulunmuş ve net bir şekilde başarısını ortaya koymuştur. Özellikle tez çalışmasına benzer olarak yürütülecek güçlendirme çalışmalarından elde edilecek deneysel sonuçların donatı oranlarını dikkate almadıkları için TS500 ve ACI 318-19 ile tahmin edilmesinin verimli sonuçlar vermeyeceği ilk önerinin başlangıç aşamalarında vurgulanmış ve bu çıkarım ayrıca ikinci ve üçüncü öneriden elde edilen sonuçlar ile de desteklenmiştir.

Denklem önerilerinin kullanımı ile ilgili aşağıdaki tavsiyeler önem arz etmektedir;

- Deney elemanı sayısı ve bu deney elemanlarını tahmin başarısı düşünüldüğü ilk kullanım tercihi Eurocode 2 için yapılan önerilerdir.
- Donatı oranı değişken olan deney elemanlarının kapasitelerinin tahmini için Eurocode 2 ve BS8110 için yapılan önerilerin kullanımı tahminleri deneysel verilere daha çok yaklaştıracaktır.
- Paralel boşluk konumlu ve çift boşluğa kirişsiz betonarme döşemelerin zımbalama çevreleri genellikle hatalı hesaplandığı için 1. önerinin kullanımı tahminleri deneysel verilere daha çok yaklaştıracaktır.
- Boşluk şekli kare, dikdörtgen ve daire dışında bir şekil ise önerilerden elde edilen sonuçların en küçüğünü kullanmak emniyetli tarafta kalınmasını sağlayacaktır.

- Paralel boşluk konumlu ve çift boşluklu deney elemanlarının kapasite tahmini yapılırken 2. ve 3. önerilere göre tahminler gerçekleştirilip, bu tahminlerden küçüğü kullanmak emniyetli tarafta kalınmasını sağlayacaktır.

7. SONUÇ VE ÖNERİLER

7.1. Özet

Bu tezde tekstil ile güçlendirilmiş sıva katmanı ile iç döşeme-kolon birleşimlerinin zımbalama mukavemetini arttırmak için uygulanması kolay ve ekonomik bir güçlendirme tekniği geliştirilmiştir. Düşey olarak uygulanan tekdüze yükleme altında on dokuz adet $\frac{3}{4}$ ölçekli deney elemanı test edilmiştir. Deney elemanlarının üretiminde kullanılan betonun basınç dayanımı yaklaşık 25 MPa olarak ölçülmüştür. Deney elemanlarında bulunan boşluk konumlarının ve büyüklüklerinin döşemelerin zımbalama davranışına etkisi araştırılmıştır. Güçlendirme yönteminin deney elemanlarının zımbalama yükü taşıma ve yer değiştirme kapasiteleri ile zımbalama sonrasındaki yük taşıma ve enerji tüketim kapasitelerine ve bunların yanı sıra göçme mekanizmalarına katkıları incelenmiştir.

Deney elemanlarının zımbalama yükü taşıma kapasiteleri TS500 (2000), ACI318 (2019), Eurocode-2 (2004) ve BS8110 (1997) şartnamelerinde önerilen denklemlerle elde edilmiş ve deney sonuçları ile karşılaştırılmıştır. Denklemlerde döşeme donatı oranını dikkate alan ve hem referans hem de güçlendirilmiş deney elemanlarının kapasitelerini daha başarılı tahmin eden Eurocode-2 (2004) ve BS8110 (1997) şartnameleri tarafından önerilen denklemler için bazı katsayılar önerilmiştir. Ayrıca literatürden bulunabilen 167 adet boşluklu kirişsiz betonarme döşemelerin zımbalama kapasiteleri yine aynı yönetmeliklerin önerdiği denklemlerle tahmin edilmiş ve deneysel sonuçlarla karşılaştırılmıştır. Karşılaştırma sonucunda, tahminlerin iyileştirilmesi için TS500, ACI 318-19, Eurocode 2 ve BS8110-97 yönetmeliklerinde bulunan denklemler için bazı önerilerde bulunulmuştur.

7.2. Sonuç

Yapılan çalışma ışığında elde edilen sonuçlar aşağıda verilmiştir;

- Boşluklu referans deney elemanlarının boşluksuz referans R0 deney elemanına göre zımbalama yükü taşıma gücü, en büyük yükteki deplasmanı ve başlangıç rijitliği değerleri ortalama olarak sırasıyla %54, %44 ve %43 oranlarında azalmıştır. Güçlendirilen deney elemanlarının referans deney elemanlarına göre zımbalama yükü

taşıma gücü, en büyük yükteki deplasmanı ve başlangıç rijitliği değerleri ortalama olarak sırasıyla %67, %8 ve %99 oranlarında artmıştır.

- Boşluklu referans deney elemanlarının boşluksuz referans deney elemanına göre enerji tüketim kapasitesi ortalama %65 oranında azalmıştır. Güçlendirilen deney elemanlarının enerji tüketim kapasitesi ise boşluklu referans deney elemanlarına göre ortalama %80 oranında artmıştır.
- TGSK ile güçlendirme uygulaması betonarme kirişsiz döşemelerin zımbalama sonrası yük taşıma kapasitelerini genellikle arttırmıştır.
- Boşluk büyüklüğü arttıkça betonarme kirişsiz döşemelerin zımbalama yükü taşıma, başlangıç rijitliği ve enerji tüketim kapasiteleri azalmıştır.
- Kolon çevresindeki boşlukların olumsuz etkileri diyagonal boşluk konumunda en az bitişik boşluk konumunda ise en fazla görülmüştür.
- Betonarme döşemelerin zımbalama yükü taşıma kapasitelerini tahmin ederken donatı oranını dikkate almayan TS500 (2000) ve ACI318 (2019) güçlendirilen deney elemanlarının kapasitelerini oldukça küçük tahmin etmiştir. Eurocode 2 (2004) ve BS8110 (1997) donatı oranını dikkate aldığı için güçlendirmenin etkisi literatüre uygun olarak yansıtılarak tüm deney elemanları için başarılı sayılabilecek tahminlerde bulunulabilmesini sağlamıştır. Bu nedenle Eurocode 2 (2004) ve BS8110 (1997) yönetmeliklerinde verilen denklemlere bazı katsayılar önerilerek deneysel çalışma sonuçlarına yakın ve tutarlı değerler elde edilmiştir.
- Literatürde bulunan çalışmalar aracılığıyla elde edilen verilerle TS500 (2000), ACI318 (2019), Eurocode 2 (2004) ve BS8110 (1997) denklemleri için yapılan katsayı önerileri ile boşluklu kirişsiz döşemelerin zımbalama dayanımları daha başarılı bir şekilde tahmin edilmiştir.
- Hem tez kapsamında yürütülen çalışmalardan hem de literatürde yürütülmüş çalışmalardan, yönetmeliklerin önerdiği zımbala çevresi yaklaşımının diğer boşluk durumlarına göre paralel boşluk konumunda daha başarısız olduğu anlaşılmıştır.
- Döşemelerde hasır donatı kullanılması durumunda tez kapsamında elde edilen sonuçların farklılık gösterebileceği öngörülmektedir.
- Boşluklu betonarme döşemeleri TGSK şeritlerle güçlendirmenin maliyeti, CFRP şeritlerle güçlendirme maliyetinin yaklaşık üçte biri kadardır.

7.3. Gelecekte Yapılacak Çalışmalar İçin Öneriler

Yürütülen bu tez çalışması sonrasında elde edilen bilgi ve deneyim aracılığıyla aşağıda bazı öneriler verilmiştir;

- Boşluğun bulunduğu döşeme-kolon bağlantı noktası ile bu bağlantıya komşu olan döşeme-kolon bağlantıları arasındaki yeniden dağılım ve etkileşimin etkisini incelemek için iç, kenar ve köşe döşeme-kolon bağlantıları dâhil olmak üzere çoklu bağlantılarla tam ölçekli deneyler yapılabilir.
- Farklı kolon ve boşluk şekillerinin farklı konumlarını içerecek daha detaylı bir çalışma yürütülebilir.
- Beton basınç dayanımı ve donatı oranları değiştirilerek şartnamelerde önerilen denklemlerin doğruluğu daha başarılı bir şekilde kontrol edilebilir.
- Daha düşük maliyetli farklı karma malzemeler kullanılarak tez çalışmasında yararlanılan güçlendirme yönteminin alternatifleri oluşturulabilir.
- Paralel boşluk konumunun zımbalama çevresini daha başarılı bir şekilde tahmin edebilecek bir yaklaşım için deneysel ve nümerik çalışmalar yapılabilir.

KAYNAKLAR

- Abduljaleel, M. T., Mahmoud, A. S., and Yousif, A. R. (2017). Experiential investigation of two-way concrete slabs with openings reinforced with glass fiber reinforced polymer bars. *Journal of Engineering Science and Technology*, 12(4), 898-912.
- ACI 440.2R. Guide for the design and construction of externally bonded FRP system for strengthening concrete structures. ACI committee 440. Farmington Hills (MI): American Concrete Institute; 2008. 45.
- Adetifa, B., and Polak, M. A. (2005). Retrofit of slab column interior connections using shear bolts. *ACI Structural Journal*, 102(2), 268-274.
- Albrecht, U. (2002). Design of flat slabs for punching-European and north American practices. *Cement and Concrete Composites*, 24, 531-538.
- Alexander, S. D. B., and Simmonds, S. H. (1992). Tests of column-flat plate connections. *ACI Structural Journal*, 89 (5), 495-502.
- Altin, S., Anil, Ö., and Kara, M. E. (2005). Improving shear capacity of existing RC beams using external bonding of steel plates. *Engineering structures*, 27(5), 781-791.
- Altin, S., Anil, Ö., Kara, M. E., & Kaya, M. (2008). An experimental study on strengthening of masonry infilled RC frames using diagonal CFRP strips. *Composites Part B: Engineering*, 39(4), 680-693.
- Altin, S., Anil, Ö., Kopraman, Y., and Kara, M. E. (2013). Hysteretic behavior of RC shear walls strengthened with CFRP strips. *Composites Part B: Engineering*, 44(1), 321-329.
- Altin, S., Anil, Ö., Kopraman, Y., Mertoğlu, Ç., and Kara, M. E. (2010). Improving shear capacity and ductility of shear-deficient RC beams using CFRP strips. *Journal of reinforced plastics and composites*, 29(19), 2975-2991.
- Altin, S., Kopraman, Y., and Baran, M. (2013). Strengthening of RC walls using externally bonding of steel strips. *Engineering Structures*, 49, 686-695.
- American Concrete Institute Committee 318. (2019). Building Code Requirements for Structural Concrete (ACI 318-19) and Commentary (318R-19). Farmington Hills, Michigan.
- Anil, Ö., Bulut, N., and Arslan, O. (2013), Strengthening of one-way RC slab with opening using CFRP strips. *Construction and Building Materials*, 48, 883-893.
- Anil, Ö., Kına, T., and Salmani, V. (2014). Effect of opening size and location on to punching shear behavior of two-way RC slab, *Magazine of Concrete Research*, 66(18), 955-966.

- Anil, Ö., and Ulusoy, B. (2020). Nonlinear finite element analyses of punching shear behavior of two-way RC slabs with openings. *Iranian Journal of Science and Technology: Transactions of Civil Engineering*, <https://doi.org/10.1007/s40996-019-00301-y>.
- Augustin, T., Fillo, L., and Halvonik, J. (2020). Punching resistance of slab-column connections with openings. *Structural Concrete*, 21(1), 278-290.
- Balomenos, G. P., Genikomsou, A.S., and Polak, M. A. (2018). Investigation of the effect of openings of interior reinforced concrete flat slabs. *Structural Concrete*, 19(6), 1672–1681.
- Barros, J. A. O., Varma, R. K., Sena-Cruz, M., and Azevedo, A. F. M. (2008). Near surface mounted FRP strips for the flexural strengthening of RC columns – experimental and numerical research, *Engineering Structures*, 30(12), 3412–25.
- Bazant, Z. P., and Cao, Z. (1987). Size effect in punching shear failure of slabs. *ACI Structural Journal*, 84(1), 44-53.
- Binici, B. (2003). Punching shear strengthening of reinforced concrete slabs using fiber reinforced polymers. Ph.D Thesis, Department of Civil Engineering, University of Texas, Austin.
- Binici, B., and Bayrak, O. (2005). Upgrading of slab–column connections using fiber reinforced polymers. *Engineering Structures*, 27(1), 97–107.
- Bompa, D. V., and Onet, T. (2010). Behaviour of Symmetric Flat-Slab Connections with Openings in the Control Perimeter. Scientific Bulletin Series D: Mining, Mineral Processing, Non-Ferrous Metallurgy, *Geology and Environmental Engineering*, 24(2), 111.
- Borges, L. L. J, Melo, G. S. and Gomes, R. B. (2013). Punching shear of reinforced concrete flat plates with openings. *ACI Structural Journal*, 110(4), 1-10.
- Bournas, D. A., Lontou, P., Papanicolaou, C. G., and Triantafillou, T. C. (2007). Textile-reinforced mortar versus fiber-reinforced polymer confinement in reinforced concrete columns. *ACI Structural Journal*, 104(6), 740–748.
- Bournas, D. A., and Thanasis, C. T. (2007). Textile-reinforced mortar versus fiber reinforced polymer confinement in reinforced concrete columns. *ACI Structural Journal*, 104(6), 740–8.
- British Standards Institution. (1997). Structural Use of Concrete, BS8110: Part 1—Code of Practice for Design and Construction, London.
- Bu, W., and Polak, M. A. (2011). Effect of openings and shear bolt pattern in seismic retrofit of reinforced concrete slab–column connections. *Engineering Structures*, 33, 3329-3340.

- Casadei, P., Ibell T. J., and Nanni, A. (2003) Experimental results of one-way slabs with openings strengthened with CFRP laminates, In: Proceedings, Fibre-reinforced polymer reinforcement for concrete structures, FRPRCS – 6, 8–10 July, Singapore, 1097–106.
- CEB-FIP MC 90 (1993). Design of concrete structures. CEB-FIP-model-code 1990. Thomas Telford.
- Chai, Y. H., Priestley, M. J. N., and Seible, F. 1994. “Analytical model for steel jacketed Reinforced Concrete circular bridge columns”, *ASCE Journal of Structural Engineering*, 120(8), 2358–76.
- Chen, C. C., and Li, C. Y. (2000). An experimental study on the punching shear behavior of rc slabs. Proceedings, International Workshop on Punching Shear Capacity of RC Slabs, Stockholm, *TRITA-BKN: Bulletin*, (57), 415-422.
- Chen, C. C., and Li, C. Y. (2005). Punching shear strength of reinforced concrete slabs strengthened with glass fiber-reinforced polymer laminates. *ACI Structural Journal*, 102(4), 535-542.
- Chen, W. W., Yeh, Y. K., Hwang, S. J., Lu, C. H., and Chen, C. C. (2012). Out-of-plane seismic behavior and CFRP retrofitting of RC frames infilled with brick walls. *Engineering Structures*, 34, 213-224.
- Chung, L. L., Wu, L. Y., and Lien, K. H. (2011). Experimental study on retrofit of school buildings by adding sandwich columns to partition brick walls. *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, 40, 1417-1434.
- Davood, M., Navid, J., Ali, N., Amirmahdi, M., and Mohamad, S. (2020). Effects of openings on the punching shear strength of reinforced concrete slabs. *Structures*, (25), 760-773.
- Doğangün, A. (2005) *Betonarme Yapıların Hesap ve Tasarımı*. İstanbul: Birsen Yayınevi.
- Durucan, C. and Anıl, Ö. (2015). Effect of opening size and location on the punching shear behaviour of interior slab–column connections strengthened with CFRP strips. *Engineering Structures*, 105, 22-36.
- Durucan, C., and Anıl, Ö. (2017). Nonlinear 3D finite element simulation of RC flat plates retrofitted with externally bonded CFRP strips. *Structure and Infrastructure Engineering*, 13(9), 1198-1211.
- Ebead, U., and Marzouk, H. (2002). Strengthening of two-way slabs using steel plates. *ACI Structural Journal*, 99(1), 23-31.
- Eduardo, N. B. S. J., Fernando, A. B. B., and Vítor, D. S. (2005). Reinforced concrete jacketing interface influence on monotonic loading response. *ACI Structural Journal*, 102(2), 252-257.

- Einpaul, J., Brantschen, F., Miguel, F. R. M., and Muttoni, A. (2016). Performance of punching shear reinforcement under gravity loading: influence of type and detailing, *ACI Structural Journal*, 113(4), 827-838.
- ElGawady, M. A., Lestuzzi, P., and Badoux, M. (2006). Shear strength of URM walls retrofitted using FRP. *Engineering Structures*, 28(12), 1658-1670.
- El-Salakawy, E. F., Polak, M. A. and Soliman, M. H. (1999). Reinforced concrete slab-column connections with openings. *ACI Structural Journal*, 96(1), 79-87.
- El-Salakawy, E. F., Polak, M. A. and Soudki, K. A., (2003). New strengthening technique for concrete slab-column connections. *ACI Structural Journal*, 100(3), 297-304.
- El-Salakawy, E., Soudki K. A., and Polak, M. A. (2004). Punching shear behavior of flat slabs strengthened with fiber reinforced polymer laminates. *Journal of Composites for Construction*, 8(5), 384-392.
- Elshafiey, T. M., Hussein, M., & Abdel-Aziz, M. (2012, July). Behaviour of Flat Slabs with Openings Adjacent to Column. In *Structural Faults & Repair-2012 14th International Conference* (Vol. 2).
- Erki, M. A., and Heffernan, P. J. (1995). Reinforced concrete slabs externally strengthened with fiber-reinforced plastic materials. 2nd International Symposium on Nonmetallic (FRP) Reinforcement for Concrete Structures, Belgium, 509-516.
- Ersoy, U., Erdogan, T., and Tankut, T. (1981). Investigation Report on the Failure of ASELSAN Building Submitted to Court, File N. Hz. 981-5531.
- Esfahanii, M. R., Kianoush, M. R., and Moradia, A. R. (2009). Punching shear strength of interior slab column connections strengthened with carbon fiber reinforced polymer sheets. *Engineering Structures*, 31(7), 1535-1542.
- Eurocode 2. (2002). Design of concrete structures - part 1: General rules and rules for buildings. Commission of the European Communities.
- Farghaly, A. S., and Ueda, T. (2011). Prediction of punching shear strength of two-way slabs strengthened externally with FRP sheets. *Journal of Composites for Construction*, 15(2), 181-193.
- Francisco, J., Basalo, D. C. Y., Matta, F., and Nanni, A. (2012). Fiber reinforced cement-based composite system for concrete confinement. *Construction and Building Materials*, 32, 55-65.
- Franklin, S. O., Cleland, D. J., and Long, A. E. (1982). A flexural method for the prediction of the punching capacity of unbonded post-tensioned flat slabs at internal columns. *Proc. Instn. Civ. Engrs*, Part 2. 73, 277-298.
- Gardner, N. J., Huh, J., and Chung L. (2002). Lessons from Sampoong Department Store Collapse. *Cement and Concrete Composites*, 24(2), 523-529.

- Gardner, N. J., and Shao, X. Y. (1996). Punching shear of continuous flat reinforced concrete slabs. *ACI Structural Journal*, 93(2), 218-229.
- Garcia-Ramonda, L., Pela, L., Roca, P., and Camata, G. (2020). In-plane shear behaviour by diagonal compression testing of brick masonry walls strengthened with basalt and steel textile reinforced mortars. *Construction and Building Materials*, 240, 117905.
- Ghoroubi, R., Mercimek, Ö., Özdemir, A., and Anil, Ö. (2020). Experimental investigation of damaged square short RC columns with low slenderness retrofitted by CFRP strips under axial load. *Structures*, 28, 170-180.
- Giovanni, L., Lorenzo, L., Diana, A., and Antonio, N. (2014). Performance of RC slab-type elements strengthened with fabric-reinforced cementitious-matrix composites, *ASCE Journal of Composites for Construction*, 18(3), 1-9.
- Gomes, R. B., and Andrade, M. A. S. (1995). Punching in reinforced concrete flat slabs with holes. Developments in Computer Aided Design and Modelling For Structural Engineering, 6th International Conference on Civil and Structural Engineering Computing/4th International Conference on the Application of Artificial Intelligence to Civil and Structural Engineering, 185-193.
- Guan, H. (2009). Prediction of punching shear failure behaviour of slab-edge column connections with varying opening and column parameters. *Adv Struct Eng*, 12 (1), 19-36.
- Harajli, M. H., and Soudki, K. A. (2003). Shear strengthening of interior slab-column connections using carbon fiber-reinforced polymer sheets. *ASCE Journal of Composites for Construction*, 7(2), 145-153.
- Harajli, M. H., Soudki, K. A., and Kudsi, T. (2006). Strengthening of interior slab-column connections using a combination of FRP sheets and steel bolts. *Journal of Composites for Construction*, 10(5), 399-409.
- Harinatha, B. G., and Gesund, H. (1982). Flexural strength of flat slabs at exterior columns. *Journal of the Structural Division*, 108(11), 2479-2495.
- Ha, T., Lee, M. H., Park, J., & Kim, D. J. (2015). Effects of openings on the punching shear strength of RC flat-plate slabs without shear reinforcement. *The Structural Design of Tall and Special Buildings*, 24(15), 895-911.
- Herwig, A., and Motavalli, M. (2016). Axial behavior of square reinforced concrete columns strengthened with lightweight concrete elements and unbonded GFRP wrapping. *ASCE Journal of Composites for Construction*, 16, 747-752.
- Hu, Y. M., Yu, T., and Teng, J. G. (2011). FRP confined circular concrete filled thin steel tubes under axial compression. *ASCE Journal of Composites for Construction*, 15(15), 850-860.

- Ilbegyan, S., Ranjbar, M. M., and Abdollahi, S. M. (2017). Shear capacity of reinforced concrete flat slabs made with high-strength concrete: A numerical study of the effect of size, location, and shape of the opening. *International Journal of Engineering*, 30(2), 162-171.
- Jesse, F., Weiland, S., and Curbach, M. (2008). Flexural strengthening of RC structures with textile-reinforced concrete, *ACI Special Publication*, 250, 49–58.
- Júlio, E. S., Branco, F., and Silva, V. D. (2003). Structural rehabilitation of columns using reinforced concrete jacketing. *Progress in Structural Engineering and Materials*, 5(1), 29-37.
- Júlio, E. S., Branco, F., and Silva, V. D. (2004). Concrete-to-concrete bond strength— influence of the roughness of the substrate surface. *Construction and Building Materials*, 18(9), 675-681.
- Jung, K. S. H., Hong, S. H., Ko, K. N., and Cho, W. J. (2016). An experimental study on the flexural capacity of RC slab strengthened with textile reinforced mortar (TRM). *Journal of the Korean Society for Advanced Composite Structures*, 7(4), 1-10.
- Kaminetzky, D. (1991). Design and Construction Failures: Lessons from Forensic Investigations, McGraw-Hill, Inc., USA.
- Kormosova, L., Halvonik, J., and Majtánová, L. (2020). Safety of the Models for Assessment of Punching Resistance of Flat Slabs with Openings Adjacent to the Columns. *In Solid State Phenomena*, 309(1), 186-192.
- Koutas, L. N., and Bournas, D. A. (2017). Flexural strengthening of two-way RC slabs with textile-reinforced mortar: experimental investigation and design equations. *ASCE Journal of Composites for Construction*, 21(1), 1-11.
- Koutas, L. N., and Bournas, D. A. (2021). Flexural Strengthening of Two-Way RC Slabs with Cut Openings Using Textile-Reinforced Mortar Composites. *Journal of Composites for Construction*, 25(3), 04021018.
- Koutas, L., Pitytzogia, A., Triantafillou, T. C., and Bousias, S. N. (2014). Strengthening of infilled reinforced concrete frames with TRM: Study on the development and testing of textile-based anchors. *Journal of Composites for Construction*, 18(3), A4013015.
- Li, R. Cho, Y. S. and Zhang, S. (2007). Punching shear behavior of concrete flat plate slab reinforced with carbon fiber reinforced polymer rods. *Composites: Part B*, 38(5–6): 712–719.
- Liberati, E. A. P., Marques, M. G., Leonel, E. D., and Almeida, L. M. (2019). Failure analysis of punching in reinforced concrete flat slabs with openings adjacent to the column. *Engineering Structures*, 182, 331-343.
- Loo, Y. C. and Falamaki, M. (1992). Punching shear strength analysis of reinforced concrete flat plates with spandrel beams. *ACI Struct. J*, 89(4), 375-383.

- Lorenzis, D. L., Nanni, A., and Tegola, L. A. (2000). Strengthening of reinforced concrete structures with near surface mounted FRP rods. International Meeting on Composite Materials PLAST 2000.
- Lourenço, D. D. S., Liberati, E. A. P., Marques, M. G., Almeida, L. C. D., and Trautwein, L. M. (2021). Reinforced concrete flat slabs with openings at different distances from the column. *Revista IBRACON de Estruturas e Materiais*, 14(1).
- Mahrenholtz, C., Lin, P. C., Wu, A. C., Tsai, K. C., Hwang, S. J., Lin, R. Y., and Bhayusukma, M. Y. (2015). Retrofit of reinforced concrete frames with buckling-restrained braces. *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, 44, 59-78.
- Maroudas, S. R., and Papanicolaou, C. C. G. (2017). Effect of high temperatures on the TRM-to-masonry bond. In *Key Engineering Materials*, 747, 533-541.
- Marques, M. G., Liberati, E. A. P., Gomes, R. B., Almeida, L. C., and Trautwein, L. M. (2020). Study of failure mode of reinforced concrete flat slabs with openings and studs. *ACI Structural Journal*, 117, 39-48.
- Martinez-Cruzado, J. A., Qaisrani A. N. and Moehle, J. P. (1994). Post-tensioned flat plate slab-column connections subjected to earthquake loading. Proceedings, 5th U.S. National Conference on Earthquake Engineering, Chicago, Illinois, July 1994, 139-148.
- Mercimek, Ö., Ghoroubi, R., Anil, Ö., Çakmak, C., Özdemir, A., and Koprman, Y. (2020). Strength, ductility, and energy dissipation capacity of RC column strengthened with CFRP strip under axial load. *Mechanics Based Design of Structures and Machines*, 1-19.
- Michel, L., Ferrier, E., Bigaud, D., and Agbossou, A. (2007). Criteria for punching failure mode in RC slabs reinforced by externally bonded CFRP. *Composite Structures*, 81(3), 438–449.
- Mitchell, D., De Vall, R. H., Saatcioglu, M., Simpson, R., Tinawi, R. and Tremblay, R., (1995). Damage to concrete structures due to the 1994 Northridge Earthquake. *Canadian Journal of Civil Engineering*, 22(4), 361-377.
- Mitchell, D., Tinawi, R. and Redwood, R. G. (1990). Damage to buildings due to the 1989 Loma Prieta Earthquake – A Canadian Code perspective, *Canadian Journal of Civil Engineering*, 17(5), 813-834.
- Mohammed, B. K. (2011). Punching shear strength of High strength reinforced concrete flat plate slabs with opening. MSc. Dissertation, Department of Civil Engineering, University of Sulaimani, Iraq.2011, P.101.
- Mostofinejad, D., Jafarian, N., Naderi, A., Mostofinejad, A., and Salehi, M. (2020, June). Effects of openings on the punching shear strength of reinforced concrete slabs. *Structures*, 25, 760-773.

- Narayanan, R. and Darwish, I. Y. S. (1987). Use of steel fibers as shear reinforcement. *ACI Structural Journal*, 84(3), 216-227.
- Obaidat, Y. T., Abu-Farsakh, G., and Ashteyat, A. M. (2019). Retrofitting of partially damaged reinforced concrete beam-column joints using various plate-configurations of CFRP under cyclic loading. *Construction and Building Materials*, 198, 313-322.
- Ofosu-Asamoah, K. and Gardner, N.J. (1997). Flat slab thickness required to satisfy serviceability including early age construction load. *ACI Structural Journal*, 94(6), 700-707.
- Oliveria, D. R., Melo, S. R. and Regan, P. E. (2000). Punching strengths of flat plates with vertical or inclined stirrups. *ACI Structural Journal*. 97(3), 485-491.
- Oliveira, D. C., Gomes, R. B. and Melo, G. S. (2014) Punching shear in reinforced concrete flat slabs with hole adjacent to the column and moment transfer. *Ibracon Structures and Materials Journal*, 7, (3), 414-467.
- Olivova, K., and Bilcik, J. (2009). Strengthening of concrete columns with CFRP, *Slovak Journal of Civil Engineering*, 1, 1–9.
- Oukaili, N. K., and Salman, T. S. (2014). Punching shear strength of reinforced concrete flat plates with openings. *Journal of Engineering*, 20(1), 1-20.
- Özden, Ş. (1998). Punching Behavior of Normal and High-Strength Concrete Flat-Plates, Doktora Tezi, Boğaziçi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Papanicolaou, C., Triantafillou, T., Papantoniou, I., and Balioukos, C. (2009). Strengthening of two-way reinforced concrete slabs with textile reinforced mortars (TRM). Proc., 4th Colloquium on Textile Reinforced Structures (CTRS4), M. Curbach and F. Jesse, eds., Dresden, Germany, 409–420.
- Park, H. G., Choi, K. K., and Chung, L. (2011). Strain-based strength model for direct punching shear of interior slab–column connections. *Engineering Structures*, 33(3), 1062-1073.
- Parvin, A., and Brighton, A. (2014). Fiber Reinforced Polymer composites strengthening of concrete column under various loading conditions. *Polymers*, 6, 1040–1056.
- Pilakoutas, K. and Li, X. (2003). Alternative shear reinforcement for reinforced concrete flat slabs. *Journal of Structural Engineering-ASCE*, 129(9), 1164-1172.
- Pillai, S. U., Kirk, W. and Scavuzzo, L. (1982). Shear reinforcement at slab-column connections in a reinforced concrete flat plate structure. *ACI Journal*, Proceedings, 79(1), 36-42.
- Pinto, V. C., Branco, V., and Oliveira, D. R. (2019). Punching in two-way RC flat slabs with openings and L section columns. *Engineering Computations*.

- Polies, W., Ghrib, F., and Sennah, K. (2010). Rehabilitation of interior reinforced concrete slab-column connections using CFRP sheets. *Construction and Building Materials*, 24(7), 1272–1285.
- Ramos, A. M. P., Lucio, V. J. G., and Regan, P. E. (2000). Repair and strengthening method of flat slabs for punching. Proceedings, International Workshop on Punching Shear Capacity of RC Slabs, Stockholm, Sweden, TRITABKN: Bulletin 57, 125-133.
- Rashied, S. M. (2015). Punching Shear Resistance of Flat Slabs with Opening. *Journal Impact Factor*, 6(4), 01-12.
- Robertson, I. N. and Johnson, G. (2001). Repair of slab-column connections using CFRP, Earthquake Resistant Engineering Structures III, *Advances In Earthquake Engineering*, (9)505-514.
- Robertson, I. N., and Johnson, G. (2004). Repair of slab-column connections using epoxy and carbon fiber reinforced polymer. *Journal of Composites for Construction*, 8(5), 376-383.
- Rochdi, E. H., Bigaud, D., Ferrier, E., and Hamelin, P. (2006), ultimate behavior of cfrp strengthened rc flat slabs under a centrally applied load. *Composite Structures*, 72(1), 69-78.
- Rodriguez, M., and Park, R. (1994). Seismic load tests on reinforced concrete columns strengthened by jacketing. *ACI Structural Journal*, 91(2), 150–159.
- Rusinowski, P. (2005). Two-way concrete slab with openings. Yüksek Lisans Tezi, Lulea University of Technology, Lulea.
- Sakin, S., Anil, Ö., Ghoroubi, R., and Mercimek, Ö. (2019). Modelling bond between concrete and bonded and anchored carbon-fibre polymer strips. *Proceedings of the Institution of Civil Engineers-Structures and Buildings*, 172(6), 437-450.
- Schladitz, F., Frenzel, M., Ehlig, D., and Curbach, M. (2012). Bending load capacity of reinforced concrete slabs strengthened with textile reinforced concrete. *Engineering Structures*, 40, 317–326.
- Shaaban, I. G., Hosni, A. H, Montaser, W. M, El-Sayed M. M. (2020). Effect of premature loading on punching resistance of reinforced concrete flat slabs. *Case Stud Constr Mater*, 12, 1–12.
- Shaaban, A. M. and Gesund, H. (1994). Punching shear strength of steel fibers reinforced concrete flat plates. *ACI Struct J*, 91(3), 406–414.
- Shafaei, J., Hosseini, A., Marefat, M. S., and Ingham, J. M. (2017). Rehabilitation of earthquake damaged external RC beam-column joints by joint enlargement using prestressed steel angles. *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, 46, 291-316.

- Sharaf, M. H., Soudki, K. A. and Van Dusen, M. (2006). CFRP strengthening for punching shear of interior slab-column connections. *Journal of Composites for Construction*, 10(5), 410-418.
- Sheikh, S. A. (2002). Performance of concrete structures retrofitted with fibre reinforced polymers. *Engineering Structures*, 24(7), 869-879.
- Siao, W. B. (1994). Punching shear resistance of flat slabs - A beam-strip analogy. *ACI – Structural Journal*, 91(5), 594-604.
- Silva, J. A., Marques, M. G., Trautwein, L. M., Gomes, R. B., and Guimarães, G. N. (2017). Punching of reinforced concrete flat slabs with holes and shear reinforcement. *REM-International Engineering Journal*, 70(4), 407-413.
- Sissakis, K., (2002). Strengthening concrete slabs for punching shear with CFRP laminates. Ms.c Thesis, Department of Civil Engineering, University of Toronto.
- Stark, A., Binici, B., and Bayrak, O. (2005). Seismic upgrade of reinforced concrete slab-concrete connections using carbon fiber-reinforced polymer. *ACI Structural Journal*, 102(2), 324-333.
- Stoppenhagen, D. R., Jirsa, J. O., and Wyllie, L. A. (1995). Seismic repair and strengthening of a severely damaged concrete frame. *ACI Structural Journal*, 92(2), 177–187.
- Tan, K. H. (1996). Punching shear strength of reinforced concrete slabs bonded with FRP systems. 2nd International Conference on Advanced Composite Materials in Bridges and Structures, 387-394.
- Teng, H. K., Cheong, K. L., and Kuang, J. Z. (2004). Geng Punching shear strength of slabs with openings and supported on rectangular columns. *ACI Struct J*, 101(5), 678-687.
- Teng, S., Cheong, H. K., Kuang, K. L. and Geng, J. Z. (2013). Punching shear of reinforced concrete flat plates with openings. *ACI Structural Journal*, 110(4), 547-566.
- Tetta, Z. C., Koutas, L. N., and Bournas, D. A. (2016). Shear strengthening of full-scale RC T-beams using textile-reinforced mortar and textile-based anchors. *Composites Part B: Engineering*, 95, 225-239.
- Triantafillou, T. C., Papanicolaou, C. G., Zissimopoulos, P., and Laourdekis, T. 2006. Concrete confinement with textile-reinforced mortar jackets. *ACI Structural Journal*, 103(1), 28–37.
- Triantafillou, T., and Thanasis L. (2006). Concrete confinement with textile reinforced mortar jackets. *ACI Structural Journal*, 103(1), 28–37.
- Turkish Standards Institution. (2000). “TS500-2000: Requirements for Design and Construction of Reinforced Concrete Structures”, Ankara.
- Vijaya, R. B. (1986). Estimation of slab deflections in flat plate buildings. *ACI Journal Proceedings*, 83(2), 269-273.

- Wang, J. W., and Tan, K. I. (2001). Punching shear behavior of reinforced concrete flat slabs externally strengthened with CFRP systems. 5th International Conference on Fiber-Reinforced Plastic for Reinforced Concrete Structures, 2, London, 997-1005.
- Wei, H., Wu, Z., Guo, X., and Yi, F. (2009). Experimental study on partially deteriorated strength concrete columns confined with CFRP. *Engineering Structures*, 31(10), 2495-2505.
- Widianto, (2006), Rehabilitation of reinforced concrete slab-column connections for two-way shear. Ph.D Thesis, Department of Civil Engineering, University of Texas, Austin.
- Yamada, T. Nanni, A., and Endo, K. (1992). Punching shear resistance of flat slabs: influence of reinforcement type and ratio. *ACI Structural Journal*, 89(4), 555-563.
- Ze-Jun, G., Michael, J. C., Tsu-Wei, C., and David, Y. C. P. (1998). The retrofitting of reinforced concrete column-to-beam connections. *Composites Science and Technology*, 58(8), 1297-1305.
- Živković, S., Bešević, M., Purčar, M. V., and Kozarić, L. (2019). Nonlinear finite element analysis of punching shear strength of eccentrically loaded RC flat slabs with opening. *KSCE Journal of Civil Engineering*, 23(11), 4771-4780.
- Zwicky, D. (2013). Concrete slab strengthening with CFRP textile reinforced shotcrete. IABSE Symposium Rotterdam.



GAZİ GELECEKTİR..