



**KİRİŞSİZ BETONARME DÖŞEMELERİN ZİMBALAMAYA KARŞI
ARDGERME İLE GÜÇLENDİRİLMESİ**

Okan SOLAK

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI**

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

TEMMUZ 2019

Okan SOLAK tarafından hazırlanan “KİRİŞSİZ BETONARME DÖŞEMELERİN ZİMBALAMAYA KARŞI ARDGERME İLE GÜÇLENDİRİLMESİ” adlı tez çalışması aşağıdaki jüri tarafından OY BİRLİĞİ ile Gazi Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Ana Bilim Dalında YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Danışman: Doç. Dr. Bengi AYKAÇ

İnşaat Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Gazi Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum.

.....

Başkan: Prof. Dr. Ali İhsan ÜNAY

Mimarlık Ana Bilim Dalı, Gazi Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum.

.....

Üye: Doç. Dr. Mehmet BARAN

İnşaat Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Yıldırım Beyazıt Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum.

.....

Tez Savunma Tarihi: 16/07/2019

Jüri tarafından kabul edilen bu tezin Yüksek Lisans Tezi olması için gerekli şartları yerine getirdiğini onaylıyorum.

.....

Prof. Dr. Sena YAŞYERLİ

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

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.

Okan SOLAK

16/07/2019

KİRİŞSİZ BETONARME DÖŞEMELERİN ZİMBALAMAYA KARŞI ARDGERME İLE GÜÇLENDİRİLMESİ

(Yüksek Lisans Tezi)

Okan SOLAK

GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Temmuz 2019

ÖZET

Çelik levhalar ve öngerme ile güçlendirme, betonarme kirişsiz döşemelerin zımbalamaya karşı güçlendirilmesinde kullanılan yöntemler arasındadır. Bugüne kadar çelik levhalar ve öngerme kabloları ile ilgili bir çok deneysel ve analitik çalışma yapılmıştır. Bu çalışmalar sonucunda elde edilen güçlendirme yöntemlerinin genellikle yeni yapılacak yapılara uygulanabilen, mevcut yapılara uygulanamayan yöntemler olduğu görülmüştür. Çelik levhalar ile yapılmış güçlendirme çalışmalarında genellikle levhalar ile birlikte kesme çivileri kullanılarak hedeflenen dayanımlara ulaşabildiği, ancak sünek bir davranışın sağlanamadığı görüldürken, öngerme kabloları ile yapılan çalışmalarda ise zımbalama sebebiyle plastik deformasyon başladıktan sonra göçmenin engellenmesi ve sistemin sünek bir davranış göstermesi sağlanmıştır. Bununla beraber bulonların kirişsiz döşemeye ayrı ayrı çelik bağlantı plakaları ile ankre edildiği çalışmalarda ise hedeflenen dayanımlara ulaşıldığı, bu yöntemin sünekliği bir miktar arttırdığı ancak yeterli olmadığı görülmüştür. Daha önce yapılan çalışmalar göz önünde bulundurularak bu tez çalışmasının esas amacı hem ardgerme ile güçlendirilmiş kirişsiz döşemelerin zımbalama davranışını sünekleştirmenin yollarını araştırmak, hem de mevcut ve yeni yapılacak kirişsiz döşeme sistemlerine kolay, uygulanabilir bir güçlendirme yöntemi sunmak olarak belirlenmiştir. Bunun için çelik levhalar, bulonlar ile kirişsiz döşemelere ankre edildikten sonra bulonlara ardgerme verilerek, güçlendirilen elemanın zımbalama davranışı üzerindeki etkileri araştırılmıştır. Burada gerekli dayanım talebinin bulonlara ardgerme işlemi uygulanarak sağlanması, gerekli deplasman talebinin ve sünekliğin ise çelik levha ile karşılanması hedeflenmiştir. Deneysel çalışmada 3'ü referans, 9'u güçlendirilmiş olmak üzere toplam 12 deney elemanı tek düze yükler altında test edilmiştir. Çalışmada; çelik levha serbest boyu, bulon sayısı ve levha kalınlığı değişken olarak ele alınmıştır. Deney sonuçları; dayanım, süneklik, enerji tüketimi ve rijitlik bakımından karşılaştırılmıştır. Deneylerde çelik levhalar ile ardgerme işlemi uygulanan bulonların birlikte kullanılması güçlendirme için bir tür sigorta görevi görmüştür. Elemanda ardgerme işlemi uygulanmış bulonlar ile çelik levhalar arasında yük aktarımı sağlanarak daha rijit bir sistem oluşturulmuş, zımbalama göçmesi engellenmiş ve sistemin süneklik oranının önemli bir ölçüde artması sağlanmıştır. Ayrıca bu güçlendirme yönteminin hem mevcut hem de yeni yapılacak yapılardaki kirişsiz döşeme sistemlerine kolay uygulanabilir bir yöntem olduğu görülmüştür.

Bilim Kodu : 91130
Anahtar Kelimeler : Kirişsiz döşeme, zımbalama, güçlendirme, ardgerme, çelik levha
Sayfa Adedi : 115
Danışman : Doç. Dr. Bengi AYKAÇ

STRENGTHENING OF REINFORCED CONCRETE FLAT SLABS WITH POSTTENSIONING

(M. Sc. Thesis)

Okan SOLAK

GAZİ UNIVERSITY

GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES

July 2019

ABSTRACT

Retrofitting with steel plates and pretensioning are some of the methods of retrofitting flat slabs against punching. Many experimental and analytic studies have been conducted about retrofitting with steel plates and pretensioning cables. Retrofitting methods obtained as a result of these studies are generally applicable for new structures, and cannot be applied to existing structures. In retrofitting studies with steel plates, targeted strengths are achieved using a combination of steel plates and shear studs, but ductile behavior cannot be obtained. In contrast, retrofitting studies with prestressing cables have shown that failure is prevented and ductile behavior achieved after plastic deformation starts. In addition, in studies where bolts were anchored to flat slabs with separate steel connection plates, it is observed that target strengths were reached and that this method increases ductility of the system marginally but not sufficiently. Considering previous studies, the main purpose of this study is to investigate ways to increase ductility of punching behavior for flat slabs reinforced with post-tensioning, and to offer an easy and applicable retrofitting method for flat slabs in new and existing structures. For this purpose, bolts were post-tensioned after steel plates were anchored to flat slabs with bolts, and the effects of this method on punching behavior of retrofitted element were observed. This application intends to achieve strength demand with posttensioned bolts, and displacement and ductility demands with steel plate. In the experimental study, a total of 12 experimental elements, 3 of which were reference and 9 were retrofitted elements, were tested under single point loads. Variables of this study were steel plate free length, number of bolts and plate thickness. Results of experiments were compared in terms of strength, ductility, energy absorption and stiffness. The use of steel plates together with posttensioned bolts acted as an insurance system. Load transmission between posttensioned bolts and steel plates on the element created a system with increased rigidity, punching failure was prevented, and a significant increase of system ductility was obtained. Moreover, it was observed that this retrofitting method is applicable for flat slabs not only in new structures but also in existing structures.

Science Code : 91130

Key Words : Flat beam, punching, strengthening, posttensioning, steel plate

Page Number : 115

Supervisor : Assoc. Prof. Dr. Bengi AYKAÇ

TEŞEKKÜR

Bugünlere ulaşmamda her türlü fedakarlığı gösteren ve her an desteğini, sevgisini yanımda hissettiğim; sevgili annem Fadime SOLAK’a ve babam Mürsel SOLAK’a, yüksek lisans öğrencisiyken, hayatlarımızı birleştirdiğimiz ve bu yüksek lisans tezinin tamamlanmasında beni sürekli teşvik ederek destekleyen; kıymetli eşim Sevtap SOLAK’a, tez sürecindeyken varlığı ile bizi mutlu eden ve bu tezi bitirmemde en önemli sebebim; kıymetli oğlum Muhammed Enes SOLAK’a, yüksek lisans tezimin tamamlanmasında maddi ve manevi desteğini esirgemeyen; kayınvalidem Sevinç ÖZİŞLER’e ve kayınpederim Adil ÖZİŞLER’e destek ve yardımlarından dolayı ne kadar teşekkür etsem azdır.

Çalışmalarım boyunca, bu araştırmayı planlayıp yöneten, değerli yardım ve katkılarıyla beni yönlendiren ve sürekli destek olan, moral ve motivasyonumu sağlamayı eksik etmeyen, bana güvenen, kıymetli ve değerli hocalarım; Doç Dr. Bengi AYKAÇ ve Prof. Dr. Sabahattin AYKAÇ’a teşekkür ederim.

Laboratuvar çalışmalarım sırasında, değerli katkılarından dolayı başta Öğr. Gör. Faruk ÖĞÜN olmak üzere, Dr. Öğr. Üyesi Eray ÖZBEK ve Arş. Gör. Meryem BÖCEK’e teşekkür ederim.

Tez ve deney çalışmalarım sırasında, elinden gelen herşeyi yapan, sevgili ağabeylerim; Oktay SOLAK, Armağan SOLAK ve Birol SOLAK’a, değerli dostlarım; Abdulkadir SOYLU’ya, Selin KIDIK’a, PROYAPI Mühendislik ve Müşavirlik A.Ş.’nin değerli yöneticilerine ve çalışma arkadaşlarıma teşekkür ederim.

Bu tezi oluşturmamda emeği geçen ve adını saymayı unuttuğum herkese teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET	iv
ABSTRACT.....	v
TEŞEKKÜR.....	vi
İÇİNDEKİLER	vii
ÇİZELGELERİN LİSTESİ.....	x
ŞEKİLLERİN LİSTESİ	xi
RESİMLERİN LİSTESİ	xiii
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	xvii
1. GİRİŞ.....	1
2. ÇALIŞMANIN AMACI VE KAPSAMI.....	7
3. GEÇMİŞTE YAPILAN ÇALIŞMALAR	9
4. DENEYSEL ÇALIŞMA	15
4.1. Yapı Modeli	15
4.2. Deney Elemanlarının Boyutlandırılması ve Detaylandırılması	17
4.2.1. Deney elemanlarının boyutlarının seçilmesi	17
4.2.2. Deney elemanlarının özellikleri	18
4.2.3. Deney elemanlarının eğilme donatılarının belirlenmesi	25
4.3. Deney Elemanlarında Kullanılan Malzeme Özellik ve Dayanımları.....	26
4.3.1. Deney elemanlarının kalıpları	26
4.3.2. Deney elemanlarının donatı çeliği	27
4.3.3. Deney elemanlarının betonu	29
4.3.4. Deney elemanlarının güçlendirilmesinde kullanılan malzemeler	31
4.4. Deney Elemanlarının Güçlendirilmesi	33
4.4.1. Levhaların döşemeye montajı	33

	Sayfa
4.4.2. Saplamalara ardgerme verilmesi	36
4.5. Deney Düzenegi	39
4.5.1. Yükleme düzenegi.....	39
4.5.2. Ölçüm düzenegi	43
4.6. Deneyler	47
4.6.1. R1: Referans kirişsiz döşeme	47
4.6.2. R2: Referans kirişsiz döşeme	50
4.6.3. R3: Referans kirişsiz döşeme	53
4.6.4. S160t1: Güçlendirilmiş kirişsiz döşeme	56
4.6.5. S160t2: Güçlendirilmiş kirişsiz döşeme	61
4.6.6. S160t3: Güçlendirilmiş kirişsiz döşeme	64
4.6.7. S240t1: Güçlendirilmiş kirişsiz döşeme	68
4.6.8. S240t2: Güçlendirilmiş kirişsiz döşeme	71
4.6.9. S240t3: Güçlendirilmiş kirişsiz döşeme	75
4.6.10. S320t1: Güçlendirilmiş kirişsiz döşeme	79
4.6.11. S320t2: Güçlendirilmiş kirişsiz döşeme	83
4.6.12. S320t3: Güçlendirilmiş kirişsiz döşeme	87
5. DENEY SONUÇLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ.....	93
5.1. Genel	93
5.2. Dayanım	94
5.3. Rijitlik	95
5.4. Süneklik.....	96
5.5. Enerji Tüketimi	97
5.6. Zımbalama Dayanımı.....	98
5.7. Deney Elemanları Arasında Karşılaştırma	100

Sayfa

5.7.1. Güçlendirilen serbest bölge uzunluğunun sabit olduğu, levha kalınlığının değişken olduğu deney elemanlarının karşılaştırılması; S160t1, S160t2, S160t3	100
5.7.2. Güçlendirilen serbest bölge uzunluğunun sabit olduğu, levha kalınlığının değişken olduğu deney elemanlarının karşılaştırılması; S240t1, S240t2, S240t3	101
5.7.3. Güçlendirilen serbest bölge uzunluğunun sabit olduğu, levha kalınlığının değişken olduğu deney elemanlarının karşılaştırılması; S320t1, S320t2, S320t3	103
5.7.4. Güçlendirilen serbest bölge uzunluğunun değişken, levha kalınlığının sabit olduğu deney elemanlarının karşılaştırılması; S160t1, S240t1, S320t1	104
5.7.5. Güçlendirilen serbest bölge uzunluğunun değişken, levha kalınlığının sabit olduğu deney elemanlarının karşılaştırılması; S160t2, S240t2, S320t2	106
5.7.6. Güçlendirilen serbest bölge uzunluğunun değişken, levha kalınlığının sabit olduğu deney elemanlarının karşılaştırılması; S160t3, S240t3, S320t3	107
6. SONUÇ VE ÖNERİLER	109
KAYNAKLAR	113
ÖZGEÇMİŞ	115

ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge	Sayfa
Çizelge 4.1. Deney elemanlarının özellikleri.....	19
Çizelge 4.2. Deney elemanlarında kullanılan donatı çubukları mekanik özellikleri	27
Çizelge 4.3. Beton numunelerin küp ve eşdeğer basınç dayanımları (Mpa)	31
Çizelge 4.4. Tork hesabında kullanılan simgeler	37
Çizelge 5.1. Deney elemanları deneysel akma ve maksimum yükleri-referans elemana oranı.....	94
Çizelge 5.2. Deney elemanları süneklik oranları	94
Çizelge 5.3. Karşılaştırılan elemanların özellikleri.....	100
Çizelge 5.4. Karşılaştırılan elemanların özellikleri.....	101
Çizelge 5.5. Karşılaştırılan elemanların özellikleri.....	103
Çizelge 5.6. Karşılaştırılan elemanların özellikleri.....	104
Çizelge 5.7. Karşılaştırılan elemanların özellikleri.....	106
Çizelge 5.8. Karşılaştırılan elemanların özellikleri.....	106

ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 4.1. Kirişsiz döşeme sistemine sahip yapı modeli	15
Şekil 4.2. Kirişsiz döşemelerde kolon şeridi bölgesi, (TS500).....	16
Şekil 4.3. Kirişsiz döşemeli yapı modeli ve incelenecek kolon şeridi bölgesi	16
Şekil 4.4. Deney Numuneleri Kalıp Planları (ölçüler milimetredir).....	17
Şekil 4.5. Deney elemanlarının güçlendirilme şekilleri.....	18
Şekil 4.6. S160 deney elemanı detayı (t1-t2-t3 kalınlığındaki levhalar için)	22
Şekil 4.7. S240 deney elemanı detayı (t1-t2-t3 kalınlığındaki levhalar için)	23
Şekil 4.8. S320 deney elemanı detayı (t1-t2-t3 kalınlığındaki levhalar için)	24
Şekil 4.9. Probina Orion programında yapılan döşeme analizi (M ₁₁ grafiği-döşeme alt)	25
Şekil 4.10. Probina Orion programında yapılan döşeme analizi (M ₁₁ grafiği-döşeme üst).....	25
Şekil 4.11. Deney elemanlarının donatı detayları	28
Şekil 4.12. Delikli çelik levhalar (ölçüler mm.'dir).....	32
Şekil 4.13. Deney düzeneği plan ve kesitten görünümü.....	40
Şekil 4.14. Deney düzeneği rijit döşeme plan ve kesiti (Ölçüler mm.'dir)	41
Şekil 4.15. Deney düzeneği üzerinde LVDT'lerin yerleşim planı.....	45
Şekil 4.16. R1 deney elemanı yük – deplasman ilişkisi.....	50
Şekil 4.17. R2 deney elemanı yük – deplasman ilişkisi.....	50
Şekil 4.18. R3 deney elemanı yük – deplasman ilişkisi.....	56
Şekil 4.19. S160t1 deney elemanı yük – deplasman ilişkisi	60
Şekil 4.20. S160t2 deney elemanı yük – deplasman ilişkisi.....	63
Şekil 4.21. S160t3 deney elemanı yük – deplasman ilişkisi.....	67
Şekil 4.22. S240t1 deney elemanı yük – deplasman ilişkisi.....	71
Şekil 4.23. S240t2 deney elemanı yük – deplasman ilişkisi.....	71
Şekil 4.24. S240t3 deney elemanı yük – deplasman ilişkisi	78

Şekil	Sayfa
Şekil 4.25. S320t1 deney elemanı yük – deplasman ilişkisi.....	83
Şekil 4.26. S320t2 deney elemanı yük – deplasman ilişkisi.....	87
Şekil 4.27. S320t3 deney elemanı yük – deplasman ilişkisi.....	92
Şekil 5.1. R1-R2-R3 referans elemanları yük-deplasman grafiği.....	93
Şekil 5.2. Deney elemanları enerji-deplasman grafiği.....	98
Şekil 5.3. R1, R2, R3, S160t1, S160t2, S160t3 deney elemanları yük – deplasman ilişkileri	101
Şekil 5.4. R1, R2, R3, S240t1, S240t2, S240t3 deney elemanları yük – deplasman ilişkileri	102
Şekil 5.5. R1, R2, R3, S320t1, S320t2, S320t3 deney elemanları yük – deplasman ilişkileri	104
Şekil 5.6. R1, R2, R3, S160t1, S240t1, S320t1 deney elemanları yük – deplasman ilişkileri	105
Şekil 5.7. R1, R2, R3, S160t2, S240t2, S320t2 deney elemanları yük – deplasman ilişkileri	107
Şekil 5.8. R1, R2, R3, S160t3, S240t3, S320t3 deney elemanları yük – deplasman ilişkileri	108

RESİMLERİN LİSTESİ

Resim	Sayfa
Resim 1.1.Kirişsiz döşeme sistemleri, Avusturya Federal Demiryolu Merkez Binası...	1
Resim 1.2. Kirişsiz döşeme sistemleri, TOGO Towers, Ankara	2
Resim 1.3. Kirişsiz döşeme sistemleri, Merkez Ankara Projesi, Ankara	2
Resim 1.4. Zımbalama göçmesi, Tropicana Hotel ve Gazino Garajı, New Jersey (ABD)	3
Resim 1.5. Zımbalama göçmesi, Christchurch, Yeni Zelanda	4
Resim 1.6. Kesme bantları (zımbalama donatısı)	5
Resim 1.7. Kesme çivileri (zımbalama donatısı)	5
Resim 4.1. Deney elemanlarının kalıpları.....	26
Resim 4.2. Deney elemanları beton dökümü öncesi.....	29
Resim 4.3. Beton küp numuneler.....	30
Resim 4.4. Beton basınç dayanım testi	30
Resim 4.5. Çelik levhaların döşeme elemanlarına montajı.....	33
Resim 4.6. Deney elemanlarını taşımak için bağlantı elemanı	34
Resim 4.7. Plastik borular	34
Resim 4.8. Delikli çelik levhaların eleman alt ve üst yüzüne yerleştirilmesi	35
Resim 4.9. Levhaların deney elemanına montajı.....	35
Resim 4.10. Torkmetre cihazı.....	36
Resim 4.11. Tork anahtarı ile bulonlara ardgerme verilmesi işlemi.....	38
Resim 4.12. Deneye hazır elemanlar	38
Resim 4.13. Deney elemanının deney düzeneğine getirilmesi	42
Resim 4.14. Deney elemanının deney düzeneğine yerleştirilmesi	42
Resim 4.15. Deney elemanında mesnet görevi yapan çerçeve sistem	43
Resim 4.16. Hidrolik krik ve yük hücresi	43

Resim	Sayfa
Resim 4.17. Deney elemanı yükleme ve ölçüm düzeneği	46
Resim 4.18. Deney elemanına LVDT'lerin yerleşimi	46
Resim 4.19. R1 deney elemanı	47
Resim 4.20. Deney sonrası R1 deney elemanı.....	48
Resim 4.21. Deney sonrası R1 elemanı üst yüzü.....	49
Resim 4.22. Deney sonrası R1 elemanı alt yüzü	49
Resim 4.23. R2 deney elemanı	50
Resim 4.24. Deney sonrası R2 deney elemanı.....	51
Resim 4.25. Deney sonrası R2 elemanı üst yüzü.....	52
Resim 4.26. Deney sonrası R2 elemanı alt yüzü	52
Resim 4.27. R3 deney elemanı	53
Resim 4.28. Deney sonrası R3 deney elemanı.....	54
Resim 4.29. Deney sonrası R3 elemanı üst yüzü.....	55
Resim 4.30. Deney sonrası R3 elemanı alt yüzü	55
Resim 4.31. S160t1 deney elemanı.....	56
Resim 4.32. S160t1 deney elemanı üst yüzü	57
Resim 4.33. S160t1 deney elemanı alt yüzü.....	57
Resim 4.34. Deney sonrası S160t1 deney elemanı üst yüzü.....	58
Resim 4.35. Deney sonrası S160t1 deney elemanı alt yüzü	59
Resim 4.36. Deney sonrası S160t1 deney elemanı alt yüzü	59
Resim 4.37. Deney sonrası S160t1 deney elemanı üst yüzü.....	60
Resim 4.38. S160t2 deney elemanı.....	61
Resim 4.39. S160t2 deney elemanı üst yüzü	61
Resim 4.40. Deney sonrası S160t2 deney elemanı alt yüzü	62
Resim 4.41. Deney sonrası S160t2 deney elemanı üst yüzü.....	63
Resim 4.42. S160t3 deney elemanı.....	64

Resim	Sayfa
Resim 4.43. S160t3 deney elemanı üst yüzü	64
Resim 4.44. S160t3 deney elemanı alt yüzü	65
Resim 4.45. Deney sonrası S160t3 deney elemanı üst yüzü.....	66
Resim 4.46. Deney sonrası S160t3 deney elemanı alt yüzü	66
Resim 4.47. Deney sonrası S160t3 deney elemanı üst yüzü.....	67
Resim 4.48. S240t1 deney elemanı.....	68
Resim 4.49. S240t1 deney elemanı üst yüzü	68
Resim 4.50. Deney sonrası S240t1 deney elemanı üst yüzü.....	69
Resim 4.51. Deney sonrası S240t1 deney elemanı alt yüzü	70
Resim 4.52. Deney sonrası S240t1 deney elemanı üst yüzü.....	70
Resim 4.53. S240t2 deney elemanı.....	71
Resim 4.54. S240t2 deney elemanı üst yüzü	72
Resim 4.55. S240t2 deney elemanı alt yüzü	72
Resim 4.56. Deney sonrası S240t2 deney elemanı üst yüzü.....	73
Resim 4.57. Deney sonrası S240t2 deney elemanı alt yüzü	74
Resim 4.58. Deney sonrası S240t2	74
Resim 4.59. S240t3 deney elemanı.....	75
Resim 4.60. S240t3 deney elemanı üst yüzü	76
Resim 4.61. S240t3 deney elemanı alt yüzü	76
Resim 4.62. Deney sonrası S240t3 deney elemanı üst yüzü.....	77
Resim 4.63. Deney sonrası S240t3 deney elemanı alt yüzü	77
Resim 4.64. S320t1 deney elemanı.....	79
Resim 4.65. S320t1 deney elemanı üst yüzü	80
Resim 4.66. S320t1 deney elemanı alt yüzü	80
Resim 4.67. Deney sonrası S320t1 deney elemanı üst yüzü.....	81
Resim 4.68. Deney sonrası S320t1 deney elemanı alt yüzü	82

Resim	Sayfa
Resim 4.69. Deney sonrası S320t1 deney elemanı üst yüzü.....	82
Resim 4.70. S320t2 deney elemanı.....	83
Resim 4.71. S320t2 deney elemanı üst yüzü	84
Resim 4.72. S320t2 deney elemanı alt yüzü	84
Resim 4.73. Deney sonrası S320t2 deney elemanı üst yüzü.....	85
Resim 4.74. Deney sonrası S320t2 deney elemanı alt yüzü	86
Resim 4.75. Deney sonrası S320t2 deney elemanı alt yüzü	86
Resim 4.76. S320t3 deney elemanı.....	87
Resim 4.77. S320t3 deney elemanı üst yüzü	88
Resim 4.78. S320t3 deney elemanı üst yüzü	88
Resim 4.79. S320t3 deney elemanı alt yüzü	89
Resim 4.80. Levha sınırını takip eden akma çizgileri.....	90
Resim 4.81. Deney sonrası S320t3 deney elemanı alt yüzü	91
Resim 4.82. Deney sonrası S320t3 deney elemanı üst yüzü.....	91

SİMGELER VE KISALTMALAR

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

Simgeler

Açıklamalar

H	Döşeme kalınlığı
t	Levha kalınlığı
Ø	Donatı çeliği çapı
f_{ck}	Beton karakteristik basınç dayanımı
σ_{zemn}	Emniyet gerilmesi
μδ	Süneklik
δ_y	İlk akmanın meydana geldiği andaki deplasman
δ_u	Göçme konumundaki deplasman

Kısaltmalar

Açıklamalar

ABD	Amerika Birleşik Devletleri
ACI	American Concrete Institute
CFRP	Karbon-fiber takviyeli polimer
FRP	Fiber takviyeli polimer
kPa	Kilo pascal
LVDT	Elektronik deplasman ölçer
Mpa	Mega pascal
mm	Milimetre
Nm	Newton metre
TS500	Türk Standardı

1. GİRİŞ

Kirişsiz betonarme döşemeler; yapının yatay düzleminde, döşeme haricinde elemanın bulunmadığı ve döşeme ile kolonların doğrudan birleştiği taşıyıcı sistemlerdir. Kirişsiz döşemeler, yatay düzlemlerde kiriş olmadığından, kolonlarla birlikte eğilmeye çalışan, çift doğrultulu donatılı betonarme plak sistemleri olarak da tanımlanabilir [1].



Resim 1.1. Kirişsiz döşeme sistemleri, Avusturya Federal Demiryolu Merkez Binası

Günümüzde, mimari açıdan, yapı alanının etkin ve rahat kullanabilmesi için; binalar, alışveriş merkezleri ve otoparklarda, kirişsiz betonarme döşemeler sıklıkla tercih edilmektedir. Bunda; kullanılabilir kat yüksekliklerini arttırarak, yapının tavanında süreklilik sağlaması, tesisat sistemleri (yangın söndürme, duman, gaz sensörü, havalandırma, klima, elektrik, sıhhi tesisat vb.) için gerekli yüksekliğin sağlanması, ısı, ses yalıtımı, kalıp, beton ve işçilik masraflarını azaltması, yapım hızı ve kolaylığının sağlanması etkilidir [2,3].

Kirişsiz döşemelerin yukarıda sayılan avantajlarının yanında dezavantajları da vardır. Bunlardan en bariz olanı zımbalama olasılığının yüksek olmasıdır. Bunun haricinde kirişli döşemelere nazaran, deprem performansları kötüdür, beton, donatı ve perde gibi yatay yük taşıyıcı elemanlara daha fazla ihtiyacı vardır [3].



Resim 1.2. Kirişsiz döşeme sistemleri, TOGO Towers, Ankara



Resim 1.3. Kirişsiz döşeme sistemleri, Merkez Ankara Projesi, Ankara

Ülkemizde ve dünyada, genel olarak kirişsiz döşemelerde meydana gelen zımbalama dayanımı yetersizliği; bina kullanım amacı değişikliği, proje ve yapım aşamasındaki hatalar, donatıdaki korozyon, betondaki parçalanma ve bozulma, donatının yoğun olduğu döşeme-kolon birleşim bölgelerinde, betonun yeterli düzeyde yerleştirilememesi ve betonun mukavemetini tam olarak almadan kalıbının sökülmesinden ileri gelmektedir [1].

Kirişsiz döşemelerde döşeme kalınlığının, kirişli döşemeye oranla daha fazla olmasından dolayı, yapı zati yükünün artmasıyla, deprem esnasında oluşan kuvvetin bir bileşeni olan ağırlık etkisiyle, yapıya etkileyen deprem yükleri artmış olacaktır. Bunun haricinde, döşeme zati yüklerinin artmasıyla, kolonlara gelen göreceli yüklerde de artış olacaktır. Taşıyıcı sistem elemanları bu yükleri aktarırken, kolon çevresinde oluşan kayma gerilmeleri dolayısıyla da asal çekme gerilmeleri betonun çekme dayanımını aşabilmektedir. Aşağıdaki şekillerden de görüleceği üzere, kolon – döşeme birleşim bölgesinin birbirinden ayrılmasına dolayısı ile de zımbalama olayına sebep olmaktadır. Bundan dolayı kirişsiz döşemelerde, zımbalama etkisi, eğilme davranışından daha ön plandadır. Kirişsiz döşemelerin döşeme – kolon birleşimlerindeki asal çekme gerilmeleri, zımbalama dayanımını, eğilme kapasitesi kullanılmadan aşabilmektedir [4].



Resim 1.4. Zımbalama göçmesi, Tropicana Hotel ve Gazino Garajı, New Jersey (ABD)



Resim 1.5. Zımbalama göçmesi, Christchurch, Yeni Zelanda

Resim 1.4 ve Resim 1.5'ten de görüleceği üzere, zımbalama olayı çok gevrek bir göçme çeşidi olduğu için ve göçen katın bir alt kata düşmesinden dolayı, çok ciddi can ve mal kayıplarına neden olmaktadır [5].

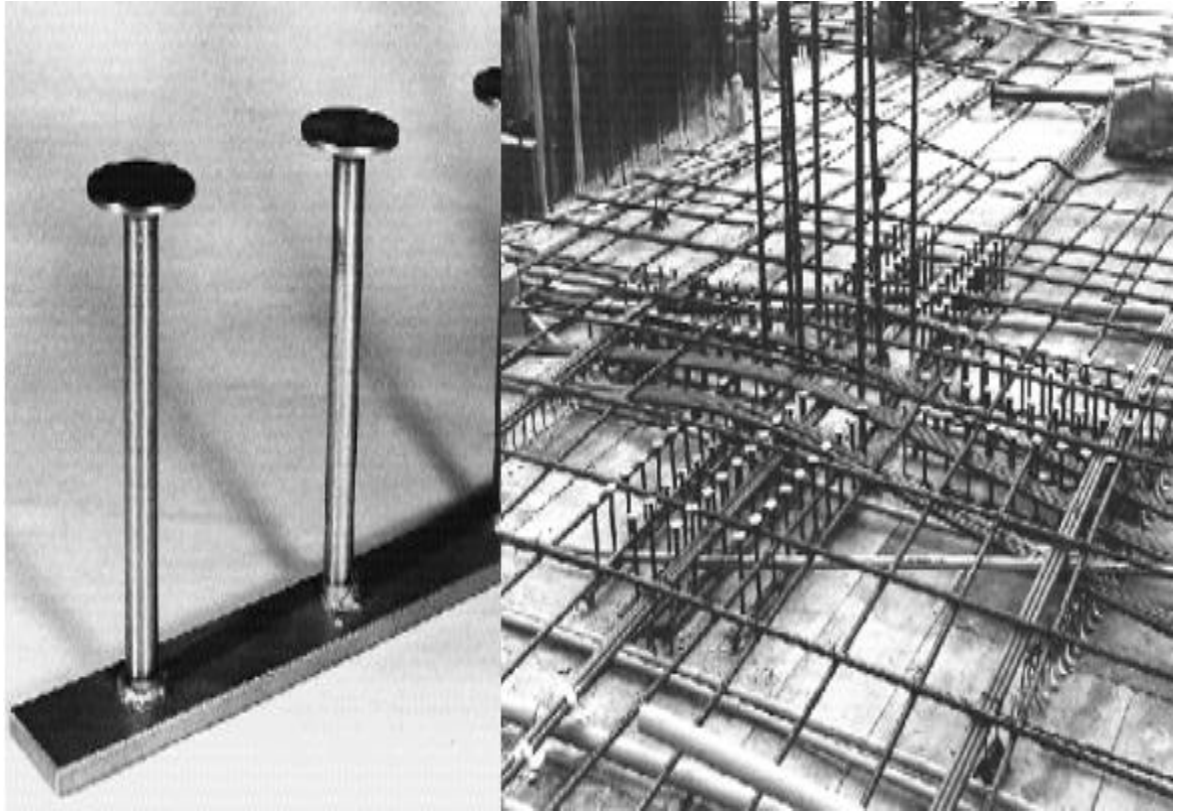
Günümüzde, mekanların etkin ve rahat kullanılabilmemesi için kirişsiz döşeme sistemlerinin tercih edilmesi isteği, hem bu yapıların can ve mal güvenliğinin sağlanması, hem de yapı maliyetlerinin daha ekonomik seviyelere getirilebilmesi adına, bu yapı sistemlerinin, zımbalamaya karşı dayanımları oldukça önem kazanmıştır.

Kirişsiz döşemelerde, TS500'de önerilen zımbalama dayanım kontrollerinin sağlanamadığı durumlarda döşeme kalınlığı, kolon boyutu, beton kalitesi arttırılabilir, bunun haricinde TS500'de ve/veya literatürde önerilen zımbalama donatıları kullanılabilir [3].

Bunlarında kendi içinde bazı dezavantajları olabilmektedir. Mesela kolon boyutlarını arttırmak mimari açıdan istenmeyebilir. Proje üzerinde, beton kalitesinin arttırılmasının belirtilmesine rağmen, yerinde uygulamaya yansıtılamaması durumlarında, çok ciddi problemleri beraberinde getirebilir [3].



Resim 1.6. Kesme bantları (zımbalama donatısı)



Resim 1.7. Kesme çivileri (zımbalama donatısı)

Kirişsiz döşemelerin zımbalamaya karşı bu dezavantajları ve literatürde önerilen zımbalama donatıları için uygulamada oluşabilecek işçilik hataları (kaynak, bağlantı vb.), kolon – döşeme birleşim bölgelerindeki, donatı yoğunluğundan dolayı betonun tam olarak sıkıştırılamaması ve bu sistemlerin yalnızca yeni yapılacak yapılara uygulanabilirliği durumlarından dolayı, hem mevcut hem de yeni yapılacak yapılarda uygulaması daha kolay, yeni bir güçlendirme/zımbalama dayanımı arttırma yöntemi üzerinde çalışmalarımızı yoğunlaştırdık. Bu güçlendirme yönteminde; kirişsiz döşemelerin alt ve üst yüzlerinde, belirli boyutlardaki delikli çelik levhalar, bulonlar vasıtasıyla, kirişsiz döşemeye ankre edilmiş ve beton prizini aldıktan hemen sonra, bulonlara torkmetre vasıtasıyla ardgerme işlemi uygulanmıştır.

2. ÇALIŞMANIN AMACI VE KAPSAMI

Bilindiği üzere; kirişsiz döşemelerde, taşıyıcı sistem elemanları, yapı ölü yüklerini ve kaplama yüklerini kolonlara aktarırken, kolon çevresinde oluşan kayma gerilmeleri, dolayısıyla da asal çekme gerilmeleri, betonun çekme dayanımı aşabilmekte ve kolon – döşeme birleşim bölgesinin, birbirinden ayrılmasına ve böylelikle de zımbalama olayına sebep olabilmektedir.

Betonarme kirişsiz döşemelerin, zımbalamaya karşı güçlendirilmesinde en çok kullanılan yöntemler genellikle; döşeme – kolon birleşim bölgelerinde kolon başlığı uygulaması, kolon bölgesindeki eğilme donatısı oranının arttırılması veya zımbalama donatısı (etriye, çivi, vb.) kullanılmasıdır. Diğer güçlendirme yöntemlerinde ise; farklı ankraj yöntemleriyle kullanılan öngerilmeli veya öngerilmesiz çelik cıvatalar, kesme çivili çelik plakalar, fiber veya karbon fiber takviyeli polimer malzemeler (FRP veya CFRP), öngerilmeli ve öngerilmesiz karbon fiber takviyeli polimer malzemeler (CFRP), ardgerme halatlar ve beton kaplama gibi farklı malzemeler ve yöntemler kullanılmıştır.

Bu çalışmada, kirişsiz döşemelerin zımbalamaya karşı güçlendirilme işlemlerinde, genellikle eğilmeye karşı yeterli bir dayanımın yanı sıra, sünek davranacak bir yöntem belirlenmeye çalışılmıştır.

Güçlendirme yöntemlerinde kullanılacak olan materyallerin seçiminde genellikle yapının davranışını etkileyecek olan çekme dayanımı, kopmaların gevrek veya sünek davranması ve deformasyon yetenekleri belirleyici olmuştur.

Saplamalara ardgerme işlemi yapılması ile oluşacak çekme dayanımı, çelik plakaların sağlayacağı çekme dayanımından oldukça yüksek olacaktır. Çelik levhalarda ise durum bunun neredeyse tam tersi olacaktır. Bu tür güçlendirme işlemlerinde kullanılan çelik levhaların, sünek bir davranış sergileyeceği beklenmekte iken, bazen de gerekli dayanımı karşılamada yetersiz kalabilmektedir. Gerekli dayanım talebini karşılamak için levha kalınlığı arttırılabilir, ancak bu da montaj ve taşıma işlemlerinde zorluklara sebep olabilmektedir.

Kirişsiz döşemelerin zımbalamaya karşı güçlendirilmesi için yapılan bu çalışmada; gerekli dayanım talebinin, saplamalara ardgerme işlemi uygulanarak sağlanacağı, gerekli deplasman talebinin ve sünekliğin ise çelik levha ile karşılanabileceği düşüncesi ile her iki malzemenin beraber kullanılmasına karar verilmiştir. Böylelikle her iki malzemenin de birbirlerinin eksik yönlerini tamamlaması hedeflenmiştir.

Çelik levhalar, saplamalardaki yük aktarımlarını olumlu veya olumsuz durumda etileyebilmektedir. Saplamaların, ankrajdan ayrılmasını engelleyebilmek ve sistemin daha rijit olmasını sağlayabilmek için çelik levha bir bütün olarak düşünülmüştür.

Çelik levha elemanlarının, döşemenin zımbalama göçmesi sırasında betonun koni (ters piramit) şeklinde kopma kapasitesini de etkileyebileceği düşünülmüştür. Dolayısı ile güçlendirilmiş kirişsiz döşemede, belirli bir deformasyondan sonra, bulonların levhalardan önce kopacağı ve bunun da dayanımda düşmelere sebep olacağı tahmin edilmektedir. Bu noktadan sonra dayanımdaki kayıpların sınırlı kalması ve nihai dayanımın referans elemanlarından daha büyük bir dayanımda kalması hedeflenmektedir. Bunu sağlayacak olan malzemenin çelik levha olacağı düşünülmektedir. Yani kullanılacak olan çelik levhaların, belirlenmiş asgari dayanım için bir nevi sigorta görevi görmesi hedeflenmektedir.

3. GEÇMİŞTE YAPILAN ÇALIŞMALAR

Betonarme kirişsiz döşemelerin, zımbalamaya karşı güçlendirilmesinde, günümüzde çalışmalar geliştirilerek devam etmektedir. Bu konuda en çok kullanılan güçlendirme yöntemleri genellikle; döşeme – kolon birleşim bölgelerinde kolon başlığı uygulaması, kolon bölgesindeki eğilme donatısı oranının artırılması veya zımbalama donatısı (etriye, çivi, vb.) kullanılmasıdır. Diğer güçlendirme yöntemlerinde ise; farklı ankraj yöntemleriyle kullanılan öngerilmeli veya öngerilmesiz çelik cıvatalar, kesme çivili çelik plakalar, fiber veya karbon fiber takviyeli polimer malzemeler (FRP veya CFRP), öngerilmeli ve öngerilmesiz karbon fiber takviyeli polimer malzemeler (CFRP), ardgerme halatlar ve beton kaplama gibi farklı malzemeler ve yöntemler kullanılmıştır.

Literatürde yer alan bazı güçlendirme teknikleri şöyledir;

- a) Epoksi bağlayıcı çelik plakalarla güçlendirme
- b) Lif takviyeli polimerlerle güçlendirme
- c) Lif takviyeli beton veya çekme dayanımı yüksek beton sınıfı ile güçlendirme
- d) Beton ve çelik gergi ile güçlendirme
- e) Zımbalamaya karşı geliştirilen yeni donatılarla güçlendirme
- f) Betonarme elemanda ankraj bağlantıları veya dıştan kalıcı ankrajlarla ardgerme ile güçlendirme

Literatürde, betonarme kirişsiz döşemelerin zımbalamaya karşı güçlendirilmesi ile ilgili çalışmalardan genel olarak aşağıda bahsedilmiştir.

Aktaş 1991 yılında yaptığı çalışmada; döşemelerin doğrudan kolonlar tarafından taşındığı "kirişsiz döşeme" sistemlerinde, kolon bölgesinde oluşan asal çekme gerilmelerinin, oldukça yüksek çıkabildiği ve betonun çekme dayanımını aşabildiğini, bu sorunun, betonarme kirişlerdeki eğik çekme sorununa çok benzediğini belirtmiştir. Araştırmada, kolon – döşeme bağlantısında meydana gelecek etkileri incelemiş ve bu etkilerin önlenmesi için iki tip zımbalama kesme donatısı araştırmıştır. Zımbalama olayı, kırılma şekilleri, kirişsiz döşemelerde teorik taşınma gücü ve göçme yükü için önerilen teorik, yarı teorik ve ampirik formüller incelemiştir. Araştırmanın özünü betonarme kirişsiz döşeme deneyleri

oluşturmuştur. Kolon civarındaki kayma göçmesi yükü ve eğilme göçmesi yükünü teorik bir yöntemle araştırmıştır. Her kirişsiz döşemenin betonuna ait özellikleri saptamak için çökme, birim ağırlık, 28 günlük küp ve silindir dayanımı tespit etmiştir. Silindir numunelerde betonun yanal deformasyonunu da ölçerek, poisson oranını bulmuştur. Betonarme kirişsiz döşeme deneyleri için 1600 x 1600 mm ve 120 mm yüksekliğinde 2 adet, 1600 x 1600 mm ve 140 mm yüksekliğinde 1 adet olmak üzere toplam 3 adet kirişsiz döşeme dökmüştür. Döşemeler, basit mesnetli oluşturulmuş ve yük, kolon aksından uygulanmıştır. Her döşeme için 150 x 150 mm² ve 400 mm yüksekliğinde kolonlar tasarlanmıştır. Kirişsiz döşemelerin donatıları A tipi, B tipi ve C tipi olmak üzere 3 tipte yapılmıştır. Her yük kademesinde, her iki yönde, plağın belirli noktalarındaki çökmeler LVDT'ler ile ölçülmüş ve yük - deplasman eğrileri elde edilmiştir. Her yük kademesinde meydana gelen çatlaklar, yanına kademe numarası yazılarak plak üzerinde tespit edilmiştir. Plak kırıldıktan sonra, plağın çatlama şeması çizilmiştir. Betonun çatlamadan önce homojen ve izotrop bir malzeme olduğu kabul edilerek, yapılan hesapların uygunluğu, teorik olarak araştırılmıştır [6].

Ezer, 2010 yılında yaptığı çalışmada kirişsiz döşemelerde, iç kolon – döşeme birleşim bölgesinde oluşan zımbalama etkisine karşı kullanılan, zımbalama donatılarının davranışını incelemiştir. Zımbalama göçmesi için tasarlanmış ölçekli, 5 adet kolon – döşeme birleşim bölgesini göz önüne almıştır. Bu çalışmada aynı malzeme özelliklerine, aynı boyutlara ve aynı donatı oranlarına sahip zımbalama donatısı içermeyen referans elemanlar, çelik profiller, kapalı etriyeler ve yeni tasarlanan iki adet zımbalama donatısı içeren 5 adet deney elemanı ile kıyaslanmıştır. Deney numuneleri, büyük hareketli yüklere ve düşük döşeme yüksekliklerine göre dizayn edilmiş ve detaylandırılmıştır [4].

Deney sonuçları incelendiğinde; kullanılan yeni zımbalama donatılarının, kolon – döşeme birleşiminde sünek davranışa izin verdiği ve zımbalama kapasitesini arttırdığı gözlemlenmiştir [4].

Elbakry ve Allam, 2015 yılı içerisinde çift doğrultulu betonarme döşemelerin dıştan çelik plakalar kullanılarak zımbalamaya karşı güçlendirilmesi için deneysel ve analitik çalışmalar yapmıştır [7].

Deneyler için 5 adet, 1000 mm açıklıklı kare biçimindeki döşemeler, dört tarafından basit mesnetli olarak mesnetlenmiş ve döşemenin merkezinde 100 mm'lik karesel alandan

yüklenmiştir. Deney numuneleri; bir adet referans ve 4 adet güçlendirilmiş elemandan oluşmaktadır. Güçlendirilen elemanlarda, karesel çelik plakalar döşemeye çelik kesme çivileriyle ankrajlanmıştır. Kesme çivileri, çelik plakaya kaynaklanmıştır. Çelik plakalar döşeme elemanına epoksi ile yapıştırılmıştır. Güçlendirilen elemanlarda plaka boyutları, plaka kalınlığı, kesme çivileri, çap, adet ve dilimleri iki farklı şekilde kullanılmıştır. Çelik plakalar, elemanın yük uygulanmayan, alt yüzüne uygulanmıştır [7].

Deneyler sonucunda, zımbalama kesmesine karşı, döşeme çekme bölgesinden, kesme çivi kaynaklı çelik plakalarla güçlendirilmiş ve döşemelerin, referans elemanlarına kıyasla %20 oranında dayanımının arttığı gözlemlenmiştir. Zımbalamaya karşı güçlendirmede, kesme çivilerinin çap ve sayısı arttıkça, çelik kalınlığının artmasına göre zımbalamaya karşı direnci daha da artırmıştır. Güçlendirmede kullanılan elemanların, döşemeye bağlantılı olması, güçlendirilen elemanların eğilme ve rijitlik değerlerinin referans elemanlarına oranla, %50 mertebelerinde dayanımının arttığı gözlemlenmiştir. Bu deneyler sonucunda güçlendirilen elemanların, referans elemanına göre, rijitlik ve zımbalama dayanımında artış olduğu gözlemlenmiştir [7].

Erdoğan, 2010 yılında yaptığı çalışmada, kirişsiz döşemelerin kolon – döşeme birleşim bölgesindeki zımbalama dayanımını, karbon fiber takviyeli polimer (CFRP) malzeme kullanarak arttırmayı hedeflemiştir. Önerilen güçlendirme yöntemi, laboratuvarı imal edilen karbon fiber takviyeli polimer (CFRP) dübellerin, düşey kesme donatısı olarak kolon etrafına değişik sayı ve diziliş biçimleriyle uygulanmıştır. İlave olarak, kolon dikdörtgenselliğinin, güçlendirme yöntemi üzerindeki etkilerini de bu çalışma kapsamında araştırmıştır. Güçlendirilen numunelerin dayanımının, güçlendirilmemiş numunelere oranla en az %30 oranında avantaj sağladığını belirtmiştir [8].

Saudki, El-Sayed ve Vanzwol, 2011 yılında yaptıkları çalışmada; döşeme – kolon birleşim bölgelerinin, CFRP şeritleriyle güçlendirilmesinin, zımbalama davranışı üzerindeki etkilerini incelemiştir. Altı adet kare döşeme, monolitik yükleme altında test edilmiş, beş adet CFRP şeriti, çekme yüzeyine eleman üst yüzünden bağlanmıştır, diğer döşeme ise referans numunesidir. Öncelikli test parametreleri; CFRP şeritlerinin uyumu ve düzenidir [9].

Deneyler sonucunda; güçlendirilmiş numuneler referans numunesine göre daha yüksek zımbalama dayanımı vermiştir. CFRP şeritleri bu dayanımın %29'a kadar artmasını sağlamıştır. Güçlendirilmiş döşemeler, referans numunesine göre daha az deplasman yapmıştır ve daha sert reaksiyon vermiştir. CFRP şeritlerinin arttırılması, kapasitede önemli bir artışa neden olmamıştır. Bağlantıya, eğilme momentinin bir fonksiyonu olarak etkitilen kesme kuvvetiyle hesaplanan zımbalama kapasiteleri, deneysel sonuçlarla uyumlu çıkmıştır [9].

Faria, Lucio ve Ramos, 2012 yılında yaptıkları çalışmada; betonarme kirişsiz döşemelerin, zımbalama sonrası davranışını incelemiştir [10].

Faria, Lucio ve Ramos, zımbalama sonrası davranış aralığı içerisinde, 5 adet deney numunesi teste tabi tutmuş ve deneylerin sonucunda, birçok durumda sadece kolonun üst noktası ile çakışmayan, iki öngerilmeli halatı kullanarak, ortalama zımbalama sonrası dayanımın, toplam zımbalama dayanımının %78'i olduğu gözlemiştir. Yapılan deneylerde, zımbalama sonrası dayanımın, farklı fiziksel etkiler tarafından belirlendiğini ve kolondan, döşemeye öngörülen bir yük yörüngesi temel alınarak, bir dizayn önerisi sunmuştur. Bu yük yörüngesinin; düşey yükün, betonda ezilmelere ve kırılmalara neden olabileceği, taşıma gerilmelerini içeren, kolon üzerindeki üst donatılara aktarımını; yükün üst donatılardan bulonlara aktarımını; yükün bulonlar boyunca aktarımını; yükün bulonların iki ucu arasındaki somunlar ve somun ankrajlarının baş kısımları tarafındaki aktarımını belirlediği gözlemlenmiştir [10].

Yük yörünge aşamalarına uygun düşey yük kapasiteleri için açıklamalar sunulmuştur ve gözlemlenen kırılma şeklini ve zımbalama sonrası kapasiteyi tahmin edebilecek yeterlilikte, deneysel sonuçlarla karşılaştırılmıştır [10].

Diğer güçlendirme teknikleri ile karşılaştırıldığında, dayanım ve servis durumlarının iyileştirmesi haricinde, burada önerilen metod, ayrıca zımbalama sonrası dayanımı arttırmıştır. Bu aşamalı yıkılmanın önlenmesi için büyük bir avantaj olduğu, lokal zımbalama kırılması durumu halinde ise, toplam yıkılma riskini azalttığı gözlemlenmiştir [10].

Askar, 2015 yılında yaptığı çalışmada, zımbalamadan dolayı hasar görmüş kirişsiz döşemelerin etkin bir şekilde iyileştirilebilmesi için kesme donatısı olarak önerilmeli bulonların eklenmesi durumunu araştırmıştır. Bu araştırmada zımbalama göçmesinden hasar görmüş 4 adet kirişsiz döşeme incelenmiştir. Kirişsiz döşemelerin kesme donatısı oranı, döşeme kalınlığı, eğilme donatısı oranları değişkendir. Hepsinin iyileştirilmesinde önerilmeli bulonlar kullanılmıştır [11].

Kirişsiz döşemelerde yapılan deney sonuçlarına ve hesaplanan zımbalama dayanımlarına göre; kirişsiz döşemelerin zımbalama hasarlarına karşı güçlendirilmesinde önerilen basit önerme yöntemi, onarılan döşemelerin davranışında önemli bir iyileşme göstermiştir. Deney numunesine uygulanan yükün artması ile birlikte numene çatlama aşamasına ulaşmıştır. Çatlama çoğalarak ilerlemeye başlarken numunelerin kırılması farkedilebilir bir sesle meydana gelmektedir. Hasarlı döşemelerin, zımbalama kesmesine karşı, önerilmeli bulonlarla iyileştirilmesi sistemiyle, onarılmış döşemeler ve onların referanslarının, çatlama yükü bakımından karşılaştırıldığında önemli ölçüde arttığı görülmüştür. Test sonuçlarına bağlı olarak, test edilen döşemelerin, uygulanan önerilmeli bulonların sayılarının artmasıyla, onarılan döşemelerin şekil değiştirebilmeleri artmıştır. Güçlendirilen numunelerin zımbalama göçmesi, yük değerlerinin referans numunelerle karşılaştırıldığında daha yüksek değerler kaydedilmesi, döşemenin zımbalama hasarlarının iyileştirilmesinde, önerilmeli bulon sistemlerinin efektif olduğu, kullanımı uygun bir sistem olduğunu göstermiştir. Deney sonuçları ve ACI 318-11, şartnamelerinde belirtilen formüllere göre hesaplanan zımbalama dayanımı sonuçları karşılaştırıldığında, deney sonuçlarının uygulanabilirliğini göstermiştir [11].

Inacio, Ramos ve Faria'nın, 2012 yılında yaptığı çalışmada, döşeme – kolon birleşim bölgelerinin, bulonlar ile güçlendirilmesi sonucunda, zımbalama dayanımına etkisini araştırmışlardır. Bu çalışmada, iki ucu dişli saplamaları, çelik plakalar vasıtasıyla kirişsiz döşeme elemanlarına, farklı ankraj biçimleri ile bağlayarak, zımbalamaya karşı güçlendirme deneyleri yapmışlardır. İki ucu dişli saplamaları döşeme elemanı yüzeyine ve yüzeye bir miktar gömülü olacak şekilde, çelik plakalar ile elemana ankrajlamışlardır. Saplamalar döşeme altından ve üstünden somunlar vasıtasıyla sabitlenmiştir [12].

Deneyde, 8 adet güçlendirilmiş ve 1 adet referans olmak üzere, 1800 mm x 1800 mm ve 120 mm kalınlıktaki boyutlarda, kirişsiz döşeme elemanları kullanılmıştır. Güçlendirilen

elemanların 4 adedi, kirişsiz döşeme elemanına, her yöndeki 2 adet saplamayı içine alacak şekilde, büyük çelik elemanlarla, diğer 2 adedi ise, her bir saplama için, ayrı küçük çelik elemanlarla ve diğer 2 adedi de döşeme elemanına, gömülü olarak, her biri ayrı çelik plakalarla, döşemenin alt ve üst yüzünde, somunlar vasıtasıyla sabitlenmiştir. Saplamalara öngerme kuvveti torkmetre ile verilmiştir [12].

Yapılan deneyler sonucunda, araştırmacılar; saplamalardaki kuvvet, deneyde uygulanan kuvvetin, zımbalama göçme kuvvetinin &70-95'ine ulaşmasına kadar, yani kesme çatlağının döşeme kalınlığı boyunca başlamasına kadar aynı kaldığını, saplamalardaki kuvvetin, uygulanan yükün artmasıyla hızlıca arttığını, kesme çatlağı başladığında ise saplamaların zımbalama göçmesine yakın bir yükleme anında, yük tutmaya başladığını ve saplamalardaki yük artışının, içtekilerin dıştakilerden daha fazla olduğunu gözlemlemiştir [12].

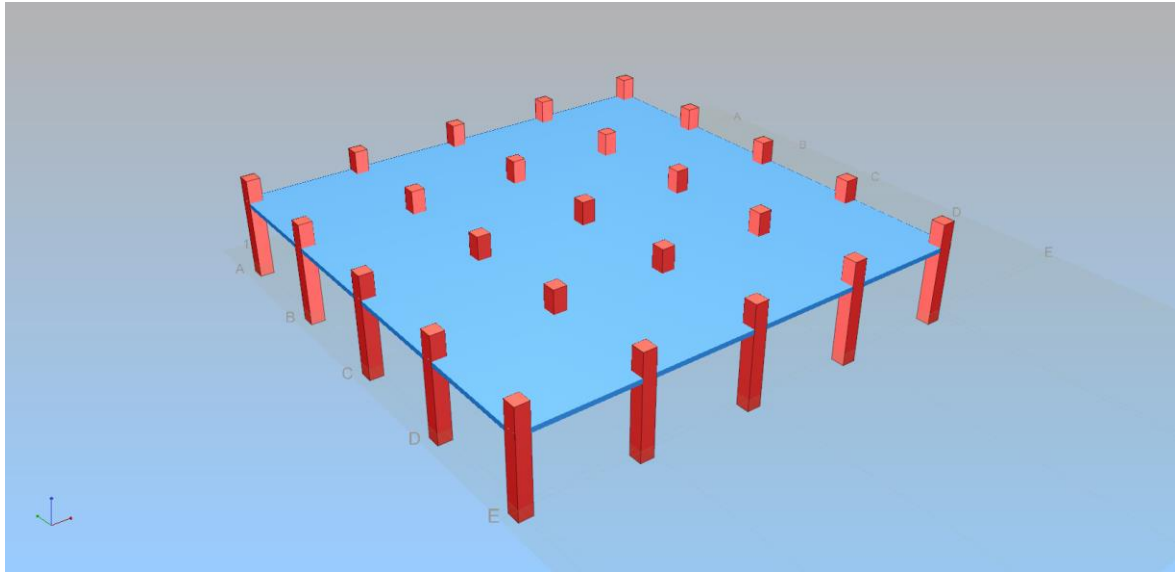
Bu tip güçlendirmenin, elemanlardaki rijitliği değiştirmedeği görülmüştür. Bununla birlikte, güçlendirilen elemanlar referans elemanına göre aynı yükler altında daha fazla düşey deplasman yapmıştır. Bu da güçlendirilen elemanların sünekliliğinde bir artış olduğunu göstermiştir. Güçlendirilen elemanların göçme yüzeyinin eğimi, referans elemanlar ile kıyaslandığında yaklaşık %30 artış gözlenmiştir [12].

Zımbalamaya karşı güçlendirmede, eleman yüzeyinde büyük çelik bağlantı plakalarının kullanılmasının estetik bir çözüm olmadığını ve bunun sonradan eleman içine gizlemenin işlevsel olmadığı belirtilmiştir. Bundan dolayı da çalışmalarda, eleman yüzeyinde küçük çelik bağlantı plakaları ve döşeme elemanına gömülü bağlantı elemanları kullanılmıştır. Fakat yapılan deney sonuçlarına bakıldığında, araştırmacıların kendileri de güçlendirme elemanlarında her bir saplama için ayrı ayrı çelik bağlantı plakası kullanılmasının iyi bir yöntem olmadığını, çelik bağlantı elemanlarının boyutlarının, saplamalarda oluşan kuvvet aktarımlarını etkilediğini, boyutunun arttıkça, saplamanın ankrajdan ayrılmasının zorlaşacağını ve sistemin daha rijit olacağını belirtmişlerdir [12].

4. DENEYSEL ÇALIŞMA

4.1. Yapı Modeli

Deneysel çalışmalar için referans alınacak yapı; akstan aksa her iki yönde 5000 mm uzunluğa sahip dört açıklıktan oluşmakta olup, döşeme kalınlığı 210 mm, kolon boyutları ise 600 x 600 mm ebatlarında kare şeklindedir.



Şekil 4.1. Kirişsiz döşeme sistemine sahip yapı modeli

Yapı “TS500 Betonarme Yapıların Tasarım ve Yapım Kuralları” şartnamesine uygun olarak analiz edilecektir.

Bu deneyde yapılacak inceleme; kirişsiz döşemelerde, kolon şeridi bölgesi olarak da adlandırılan Şekil 4.3’de de taralı olarak gösterilen kolon – döşeme birleşim bölgesidir.

TS500’de de belirtildiği üzere, kirişsiz döşemelerde kolon şeridi bölgesi akstan aksa, yapı açıklıklarından minimum olanının dörtte biridir. Bu durumda deneysel olarak incelenecek yapı modeli, döşeme kenarlarının, kolon yüzünden 950 mm konsol şeklinde uzandığı, ara kat döşemesi olmaktadır.

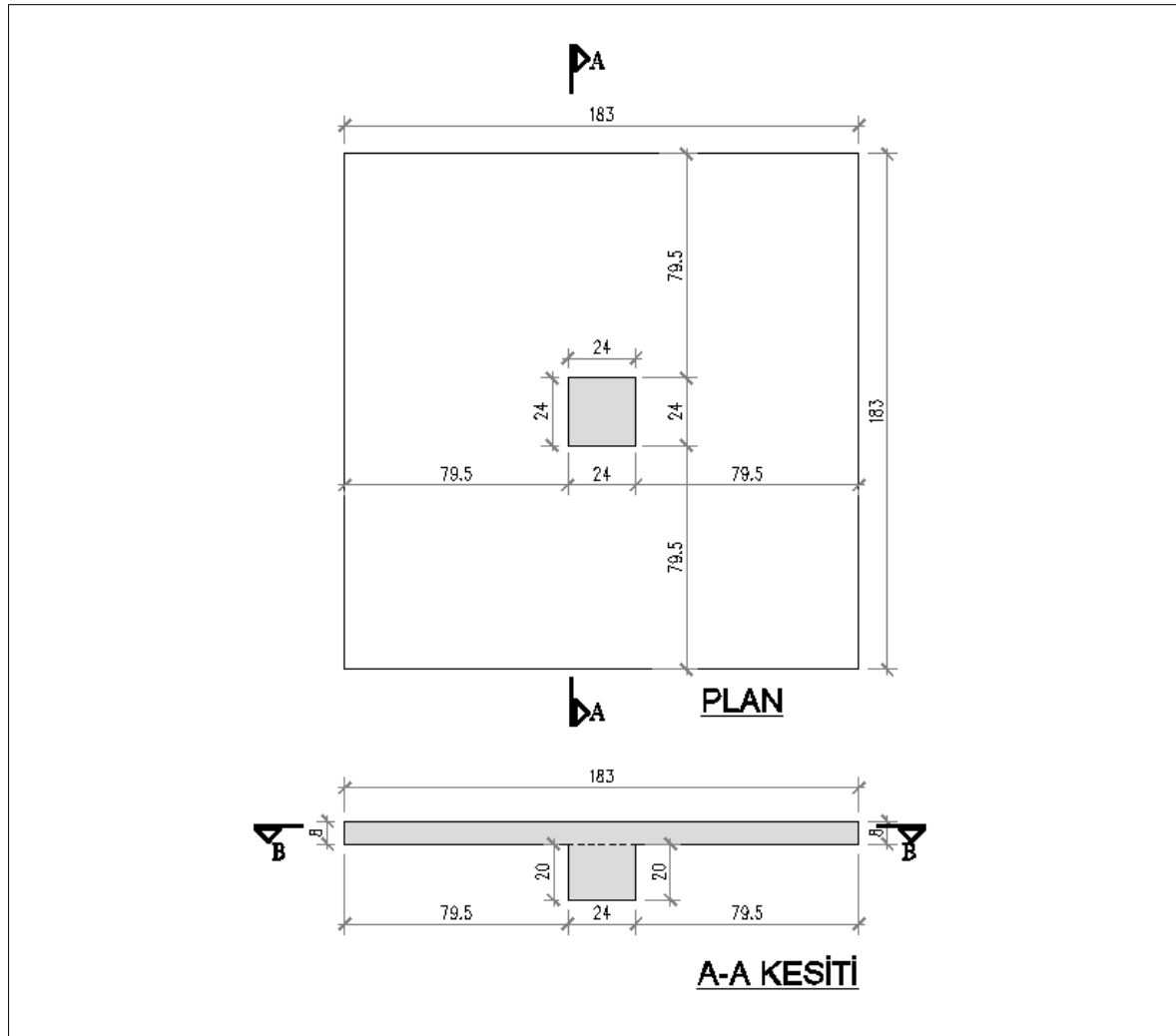
Yapıda zımbalama göçmesinin daha rahat gözlemlenebilmesi için, kolonlar kare kesit olarak tercih edilmiştir.

4.2. Deney Elemanlarının Boyutlandırılması ve Detaylandırılması

4.2.1. Deney elemanlarının boyutlarının seçilmesi

Deney elemanlarının boyutları, laboratuvar ortamında üretilebilecek ve gerçeği yansıtabilecek şekilde, $1/2,5=0,40$ ölçeğinde seçilmiştir. Deney elemanı boyutları bu durumda şu şekilde olacaktır;

- a) Döşeme Ebatları : 1830 mm x 1830 mm (dıştan dışa) (paspayı da dahil edilmiştir.)
- b) Döşeme Kalınlığı : 80 mm
- c) Kolon Ebatları : 240 mm x 240 mm



Şekil 4.4. Deney numuneleri kalıp planları (ölçüler milimetredir)

Çizelge 4.1. Deney elemanlarının özellikleri

Eleman No	Eleman Tanımı	Döşeme Boyutları (mm x mm)	Döşeme Kalınlığı (H) (mm)	Levha Kalınlığı (mm)	Levha Boyutları (mm x mm)	Kolon Yüzünden İtibaren Levha Serbest Boyu (mm)	Kolon Dışından Levha Dışına Mesafe (H Cinsinden)
R1	1.REFERANS DÖŞEME	1830 x1830	H=80	YOK	YOK	YOK	YOK
R2	2.REFERANS DÖŞEME	1830 x1830	H=80	YOK	YOK	YOK	YOK
R3	3.REFERANS DÖŞEME	1830 x1830	H=80	YOK	YOK	YOK	YOK
S160t1	1.GÜÇLENDİRİLMİŞ DÖŞEME	1830 x1830	H=80	1	560 x 560	160	2H
S240t1	2.GÜÇLENDİRİLMİŞ DÖŞEME	1830 x1830	H=80	1	720 x 720	240	3H
S320t1	3.GÜÇLENDİRİLMİŞ DÖŞEME	1830 x1830	H=80	1	880 x 880	320	4H
S160t2	4.GÜÇLENDİRİLMİŞ DÖŞEME	1830 x1830	H=80	2	560 x 560	160	2H
S240t2	5.GÜÇLENDİRİLMİŞ DÖŞEME	1830 x1830	H=80	2	720 x 720	240	3H
S320t2	6.GÜÇLENDİRİLMİŞ DÖŞEME	1830 x1830	H=80	2	880 x 880	320	4H
S160t3	7.GÜÇLENDİRİLMİŞ DÖŞEME	1830 x1830	H=80	3	560 x 560	160	2H
S240t3	8.GÜÇLENDİRİLMİŞ DÖŞEME	1830 x1830	H=80	3	720 x 720	240	3H
S320t3	9.GÜÇLENDİRİLMİŞ DÖŞEME	1830 x1830	H=80	3	880 x 880	320	4H

Deney Elemanları;

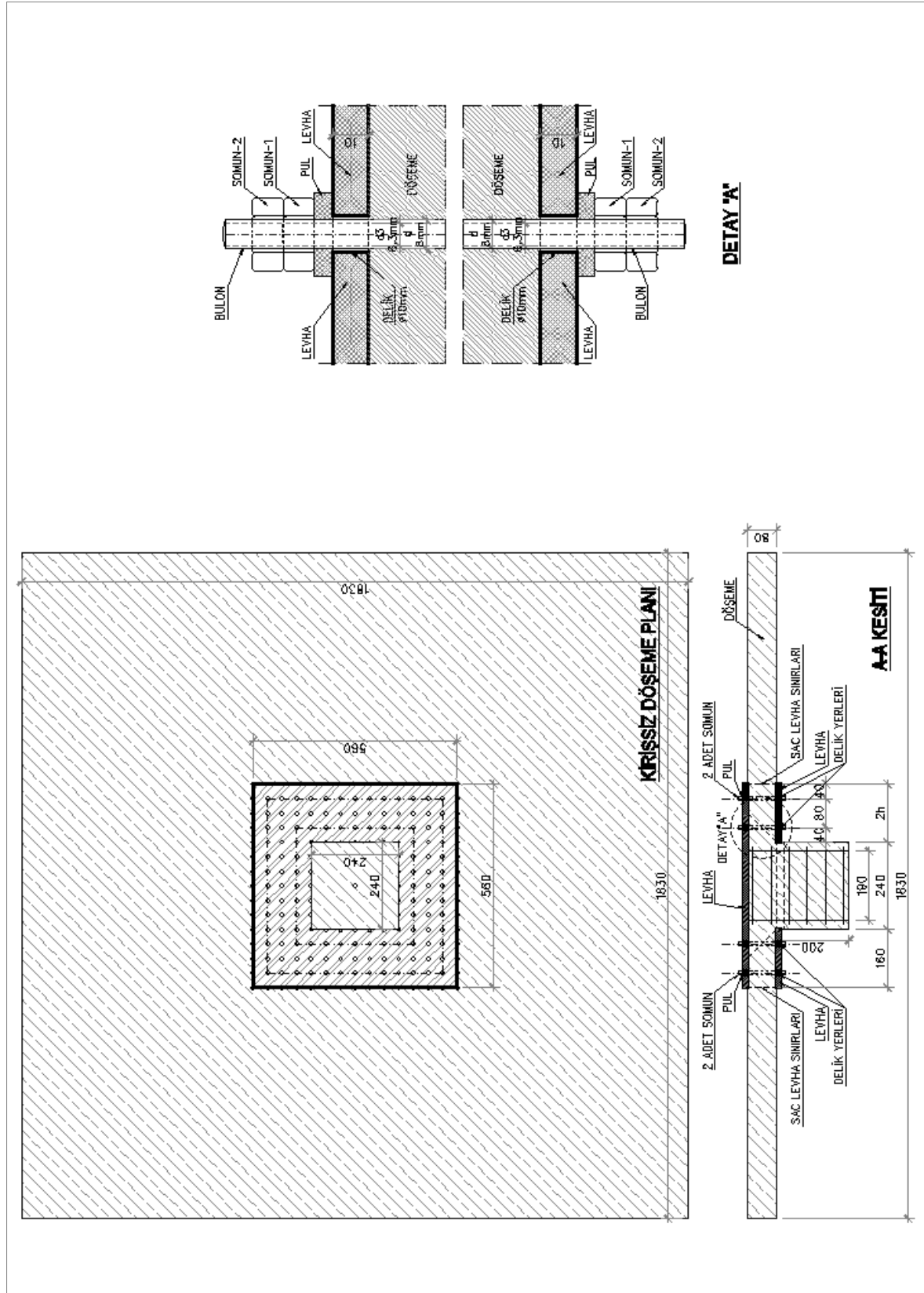
- a) R1: Referans Kirişsiz Döşeme (Güçlendirilmemiş Eleman)
- b) R2: Referans Kirişsiz Döşeme (Güçlendirilmemiş Eleman)
- c) R3: Referans Kirişsiz Döşeme (Güçlendirilmemiş Eleman)
- d) S160t1: Güçlendirilmiş kirişsiz döşeme elemanları; elamanın alt ve üst yüzünde, kalınlığı 1 mm, serbest boyu kolon yüzünden itibaren, döşeme kalınlığının iki katı (2H) uzunluğunda ve delik aralığı her iki yönde 80 mm olan, delikli çelik levhaların, $\phi 8$ çapındaki saplamalarla, çift sıra somun ile sabitlenmesinin ardından, torkmetre vasıtasıyla, eleman üzerindeki üst somuna, 6 Nm ardgerme verilerek oluşturulmuştur.
- e) S240t1: Güçlendirilmiş kirişsiz döşeme elemanları; elamanın alt ve üst yüzünde, kalınlığı 1 mm, serbest boyu kolon yüzünden itibaren, döşeme kalınlığının iki katı (3H) uzunluğunda ve delik aralığı her iki yönde 80 mm olan, delikli çelik levhaların, $\phi 8$ çapındaki saplamalarla, çift sıra somun ile sabitlenmesinin ardından, torkmetre vasıtasıyla, eleman üzerindeki üst somuna, 6 Nm ardgerme verilerek oluşturulmuştur.
- f) S320t1: Güçlendirilmiş kirişsiz döşeme elemanları; elamanın alt ve üst yüzünde, kalınlığı 1 mm, serbest boyu kolon yüzünden itibaren, döşeme kalınlığının iki katı (4H) uzunluğunda ve delik aralığı her iki yönde 80 mm olan, delikli çelik levhaların, $\phi 8$ çapındaki saplamalarla, çift sıra somun ile sabitlenmesinin ardından, torkmetre vasıtasıyla, eleman üzerindeki üst somuna, 6 Nm ardgerme verilerek oluşturulmuştur.
- g) S160t2: Güçlendirilmiş kirişsiz döşeme elemanları; elamanın alt ve üst yüzünde, kalınlığı 2 mm, serbest boyu kolon yüzünden itibaren, döşeme kalınlığının iki katı (2H) uzunluğunda ve delik aralığı her iki yönde 80 mm olan, delikli çelik levhaların, $\phi 8$ çapındaki saplamalarla, çift sıra somun ile sabitlenmesinin ardından, torkmetre vasıtasıyla, eleman üzerindeki üst somuna, 6 Nm ardgerme verilerek oluşturulmuştur.
- h) S240t2: Güçlendirilmiş kirişsiz döşeme elemanları; elamanın alt ve üst yüzünde, kalınlığı 2 mm, serbest boyu kolon yüzünden itibaren, döşeme kalınlığının iki katı (3H) uzunluğunda ve delik aralığı her iki yönde 80 mm olan, delikli çelik levhaların, $\phi 8$ çapındaki saplamalarla, çift sıra somun ile sabitlenmesinin ardından, torkmetre vasıtasıyla, eleman üzerindeki üst somuna, 6 Nm ardgerme verilerek oluşturulmuştur.
- i) S320t2: Güçlendirilmiş kirişsiz döşeme elemanları; elamanın alt ve üst yüzünde, kalınlığı 2 mm, serbest boyu kolon yüzünden itibaren, döşeme kalınlığının iki katı (4H) uzunluğunda ve delik aralığı her iki yönde 80 mm olan, delikli çelik levhaların, $\phi 8$ çapındaki

saplamalarla, çift sıra somun ile sabitlenmesinin ardından, torkmetre vasıtasıyla, eleman üzerindeki üst somuna, 6 Nm ardgerme verilerek oluşturulmuştur.

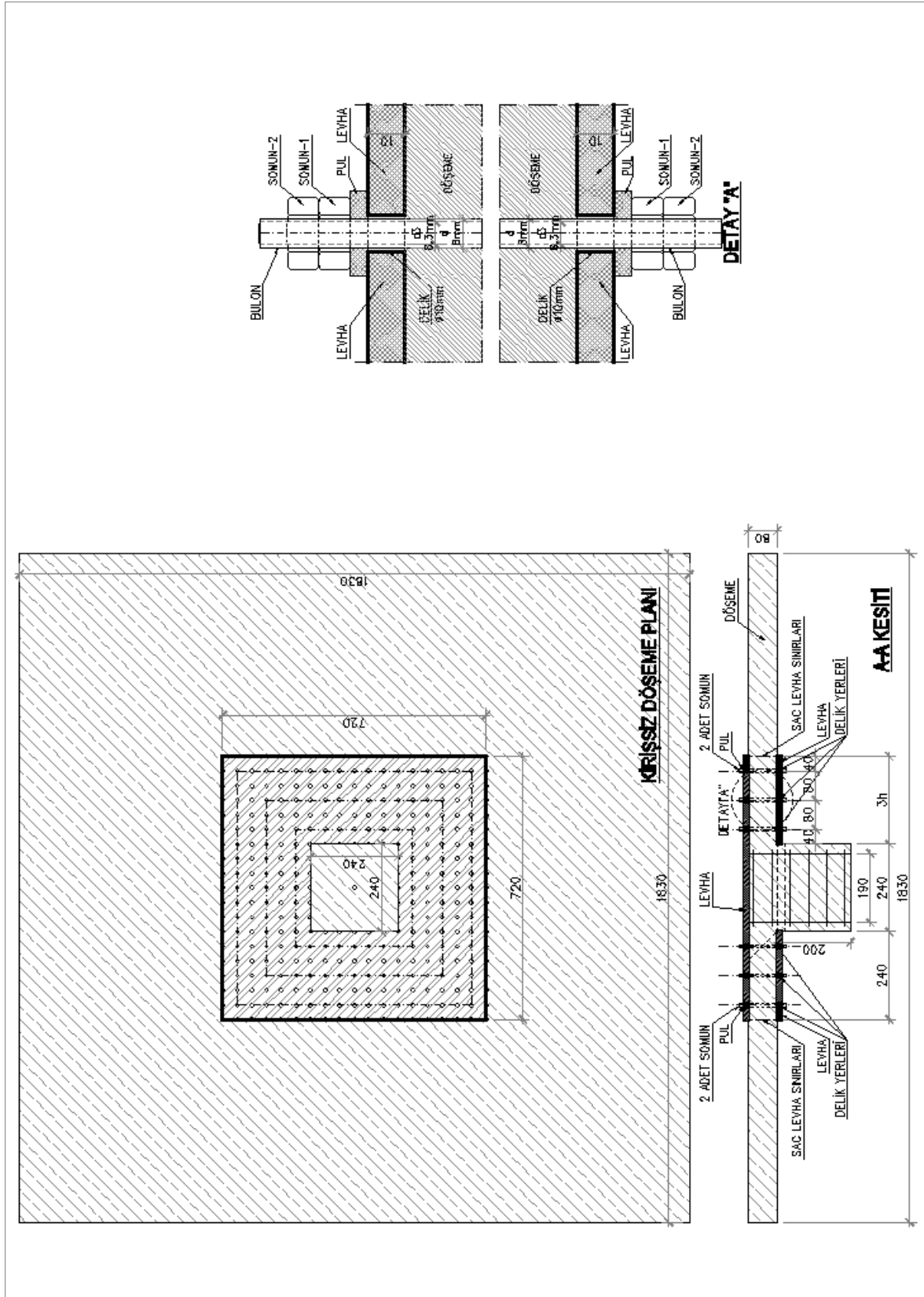
j) S160t3: Güçlendirilmiş kirişsiz döşeme elemanları; elamanın alt ve üst yüzünde, kalınlığı 3 mm, serbest boyu kolon yüzünden itibaren, döşeme kalınlığının iki katı (2H) uzunluğunda ve delik aralığı her iki yönde 80 mm olan, delikli çelik levhaların, $\phi 8$ çapındaki saplamalarla, çift sıra somun ile sabitlenmesinin ardından, torkmetre vasıtasıyla, eleman üzerindeki üst somuna, 6 Nm ardgerme verilerek oluşturulmuştur.

k) S240t3: Güçlendirilmiş kirişsiz döşeme elemanları; elamanın alt ve üst yüzünde, kalınlığı 3 mm, serbest boyu kolon yüzünden itibaren, döşeme kalınlığının iki katı (3H) uzunluğunda ve delik aralığı her iki yönde 80 mm olan, delikli çelik levhaların, $\phi 8$ çapındaki saplamalarla, çift sıra somun ile sabitlenmesinin ardından, torkmetre vasıtasıyla, eleman üzerindeki üst somuna, 6 Nm ardgerme verilerek oluşturulmuştur.

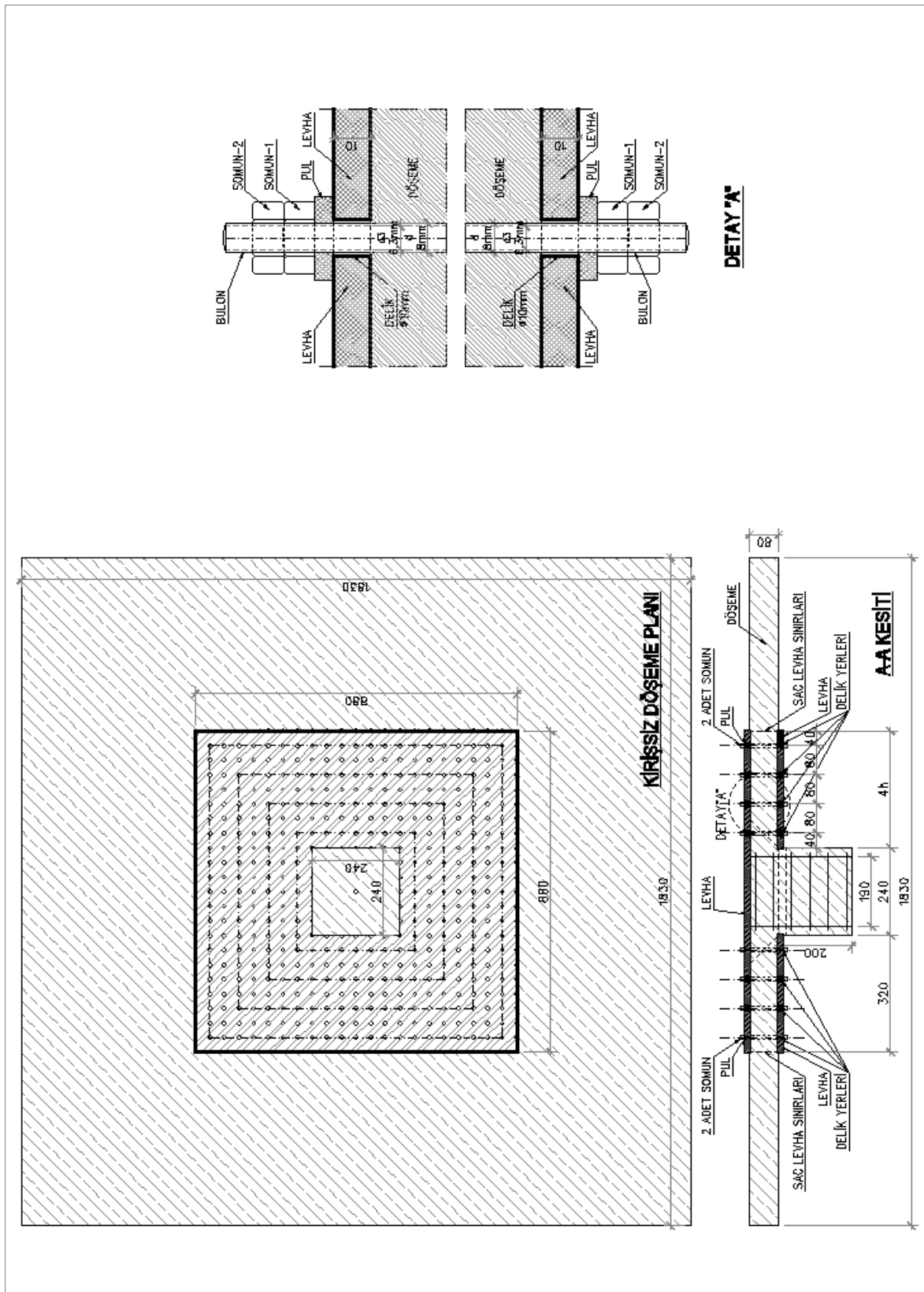
l) S320t3: Güçlendirilmiş kirişsiz döşeme elemanları; elamanın alt ve üst yüzünde, kalınlığı 3 mm, serbest boyu kolon yüzünden itibaren, döşeme kalınlığının iki katı (4H) uzunluğunda ve delik aralığı her iki yönde 80 mm olan, delikli çelik levhaların, $\phi 8$ çapındaki saplamalarla, çift sıra somun ile sabitlenmesinin ardından, torkmetre vasıtasıyla, eleman üzerindeki üst somuna, 6 Nm ardgerme verilerek oluşturulmuştur.



Şekil 4.6. S160 deney elemanı detayı (t1-t2-t3 kalınlığındaki levhalar için)

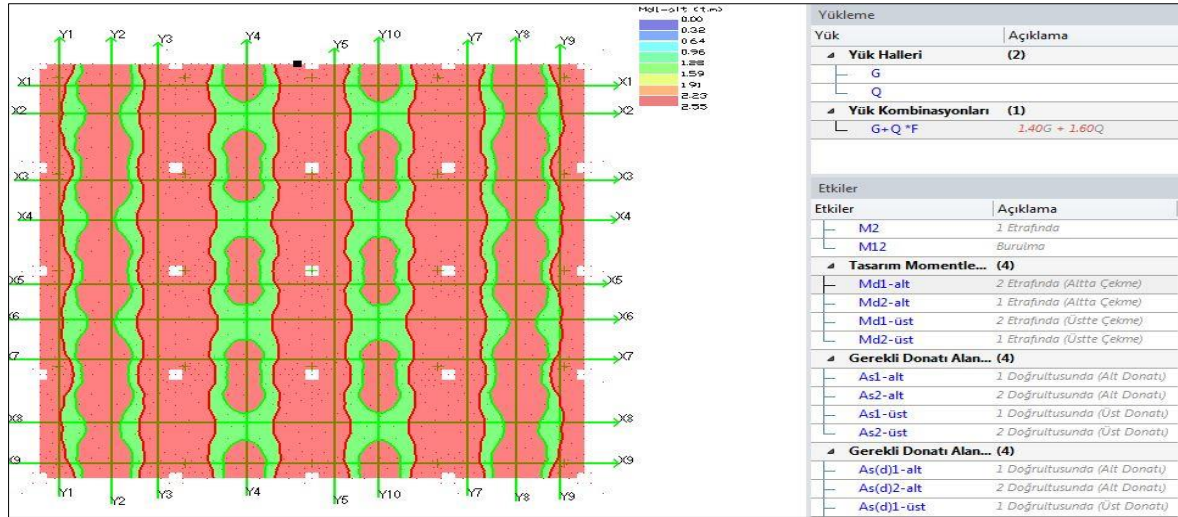


Şekil 4.7. S240 deney elemanı detayı (t1-t2-t3 kalınlığındaki levhalar için)

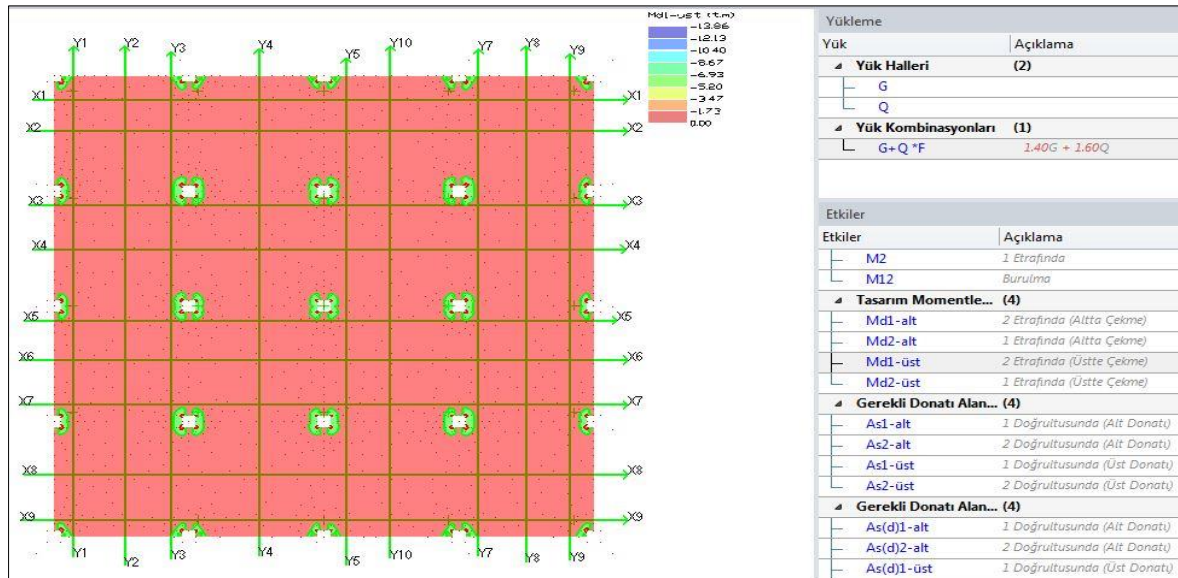


4.2.3. Deney elemanlarının eğilme donatılarının belirlenmesi

Yapı, TS500'e göre, Probina Orion programı vasıtasıyla analiz edilmiştir. Yapı tasarımında, tesviye ve kaplama olmak üzere 2,5 kPa (plak hariç) ölü yük ve 5,0 kPa hareketli yük alınmıştır. Deney elemanlarında paspayı 15 mm olarak alınmıştır.



Şekil 4.9. Probina Orion programında yapılan döşeme analizi (M₁₁ grafiği-döşeme alt)



Şekil 4.10. Probina Orion programında yapılan döşeme analizi (M₁₁ grafiği-döşeme üst)

Belirlenen yükler altında, TS500'e göre Probina Orion programı vasıtasıyla, yapılan analizler sonucu bulunan alt ve üst donatılar, deney numunelerinde ölçeklenerek kullanılmıştır.

4.3. Deney Elemanlarında Kullanılan Malzeme Özellik ve Dayanımları

Deneyde kullanılan malzemelerin aynı özellikleri göstermesi, deney sonuçlarının sağlıklı bir şekilde karşılaştırılması ve doğru sonuçlara ulaşılabilmesi açısından çok önemlidir. Bu sebeple, tüm deney elemanlarında kullanılan eğilme donatısı, delikli çelik levhalar, saplamalar ve hazır beton aynı üretim yerlerinden tek seferde alınmıştır.

Deney elemanlarının üretilmesi esnasında, fiziksel şartların aynı olması sağlanmaya çalışılmıştır. Farklı zamanlarda yapılan imalatların, işçilik kusurları, imalat hataları, beton karışımı ve çevre şartları vb. bakımından deney sonuçlarını olumsuz etkileyebileceği göz önüne alınarak, tüm deney elemanları aynı anda imal edilmiştir.

4.3.1. Deney elemanlarının kalıpları

Deney elemanları için klasik playwood ve 50 x 100 mm boyutlarındaki ahşap kalıplar kullanılmıştır.

Deney elemanlarının boyut ve kesitlerinin, tüm elemanlarda aynı olması için kalıp imalat aşamaları ve kalıp işçiliği özenle yapılmıştır. Beton dökümü sırasında, kalıpta herhangi bir deformasyon olmaması için, döşeme altından ve döşeme kenarlarından, gerekli takviyeler yapılmıştır.



Resim 4.1. Deney elemanlarının kalıpları

4.3.2. Deney elemanlarının donatı çeliği

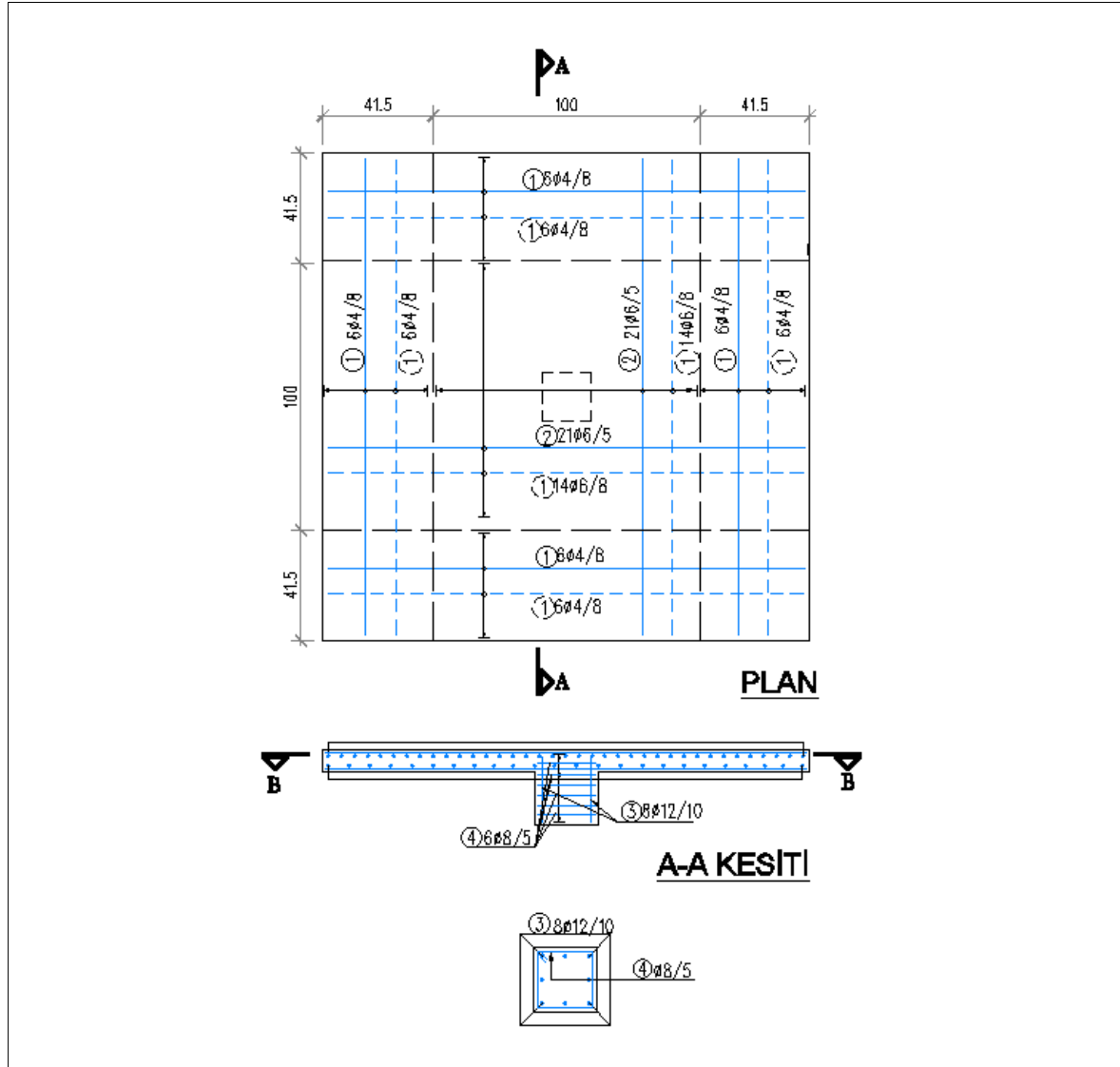
Yapısal analizler sonucunda, kirişsiz döşemelerin, alt ve üst eğilme donatıları, deney elemanlarında ölçeklenerek kullanılmıştır. Bunun sonucunda döşeme için, Kar-el Demir Tel firmasından alınan, S500 kalitesinde, hasır çelik için de kullanılabilen, nervürlü çubuk tel donatılardan faydalanılırken, kolon donatıları için, S420 kalitesinde normal boyuttaki donatılardan istifade edilmiştir.

1830 x 1830 mm boyutlarındaki tüm deney elemanlarında, aynı donatı kullanılmıştır. Şekil 4.11’de görüleceği üzere, 1000 x 1000 mm’lik kolon şeridi bölgesinde, çekme donatısı olarak $\phi 6/5$, basınç donatısı olarak $\phi 4/8$, diğer bölgelerde, çekme ve basınç donatısı olarak $\phi 4/8$, kolonu temsil eden elemanlarda, boyuna donatı için 8 $\phi 12$ ve etriye olarak da 6 $\phi 8/5$ kullanılmıştır.

Kullanılan donatı çeliğinin, akma ve kopma dayanımları, Çizelge 4.2’de yer almaktadır.

Çizelge 4.2. Deney elemanlarında kullanılan donatı çubukları mekanik özellikleri

Mekanik Özellikler	Minimum Akma Dayanımı - f_{yk}	Minimum Kopma Dayanımı - f_{su}	Minimum Kopma Uzaması - $\sum_{su}$
S420	365	500	12
S500	500	550	8



Şekil 4.11. Deney elemanlarının donatı detayları

Tüm deney elemanlarında, Şekil 4.11’de gösterilen donatılar kullanılmıştır. Döşeme donatıları, minimum S500 akma dayanımına, kolon donatıları ise minimum S420 akma dayanımına sahiptir.

4.3.3. Deney elemanlarının betonu

Deney elemanlarının beton dökümünde, Kolsan Beton firmasından alınan C20 hazır beton kullanılmış olup, tüm deney elemanları, aynı gün ve saatte, tek beton mikserinden gelen beton ile deneyler için, Gazi Üniversitesi Mühendislik Fakültesi bahçesinde, geçici kurulan laboratuvarda dökülmüştür.



Resim 4.2. Deney elemanları beton dökümü öncesi

Beton döküm işlemi devam ederken, bir yandan da betonun tam olarak kalıp içine yerleşmesini ve beton içerisinde boşluk kalmamasını sağlayabilmek için vibratör yardımıyla, betona vibrasyon işlemi uygulanmıştır.

Beton dökümü sırasında, onaltı adet küp (150 x 150 x 150 mm ebatlarında) numune alınarak, deney elemanları ile aynı kür ortamında muhafaza edilmesi sağlanmıştır.

Numuneler, Gazi Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Yapı Laboratuvarında teste tabi tutulmuş (Resim 4.4) ve ortalama karakteristik, küp ve silindir numune basınç dayanımları incelenmiştir.



Resim 4.3. Beton küp numuneler



Resim 4.4. Beton basınç dayanım testi

Çizelge 4.3. Beton numunelerin küp ve eşdeğer basınç dayanımları (Mpa)

Numune No	Max Yük (kN)	Küp Basınç Dayanımları (MPa)	Eşdeğer Silindir Basınç Dayanımları (MPa)
1	630.9	28	22.4
2	889.8	39.5	31.6
3	1035	46.8	37.4
4	866.1	38.4	30.7
5	959.7	42.6	34.1
6	956.8	42.5	34.0
7	1037.3	46.1	36.9
8	957.4	42.5	34.0
9	947.1	42	33.6
10	923	41	32.8
11	952.6	42.3	33.8
12	1007.6	44.7	35.8
13	956	42.5	34.0
14	706.3	31.3	25.0
15	811	36	28.8
16	924.9	41.1	32.9

Beton numunelerin ortalama eşdeğer silindir basınç dayanımı yaklaşık (f_{ck}) 33 MPa olarak bulunmuştur.

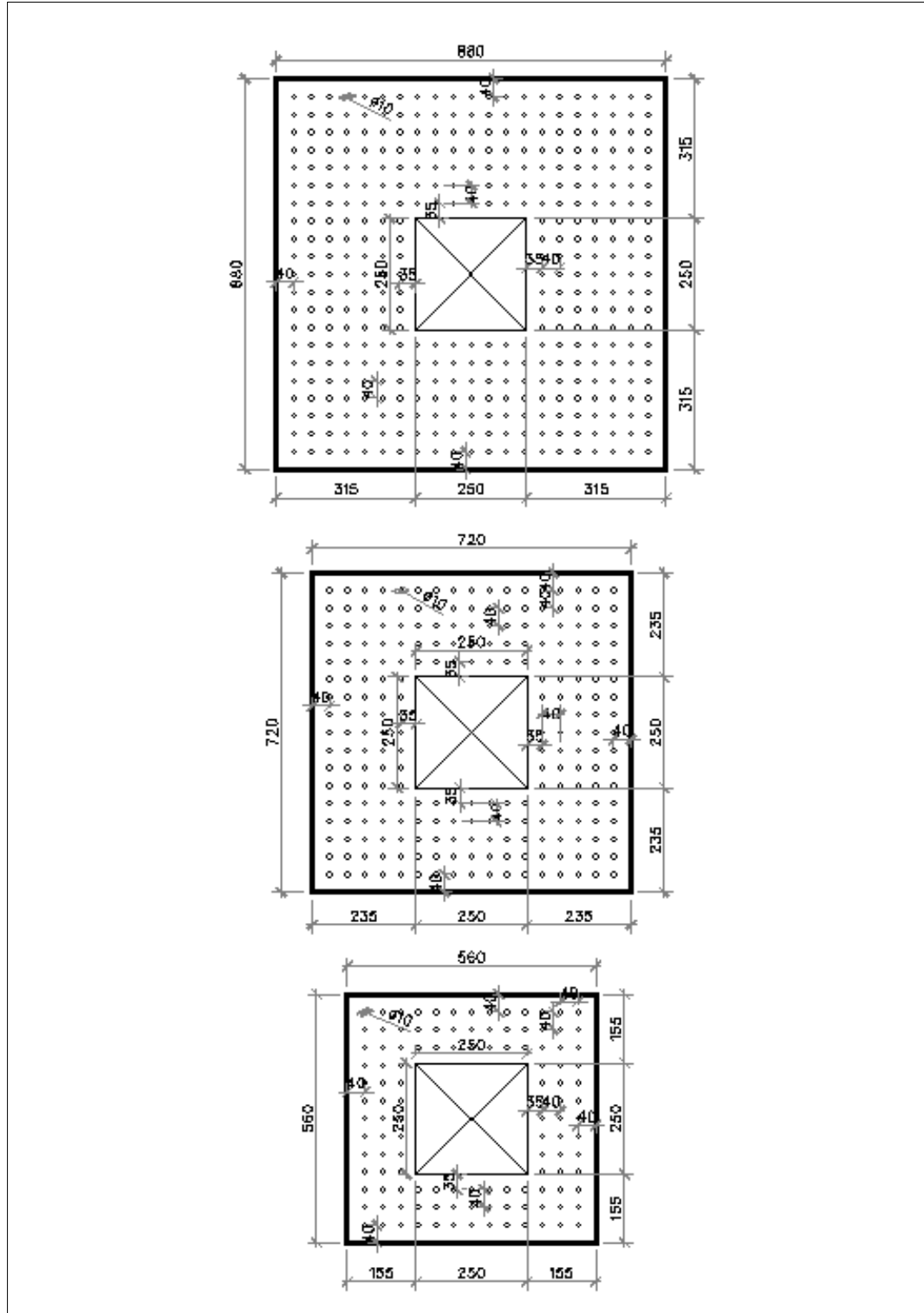
4.3.4. Deney elemanlarının güçlendirilmesinde kullanılan malzemeler

Tüm deney elemanlarında, elemanın alt ve üst yüzünde kullanılmak üzere, Del-Saç firmasından, özel olarak sipariş edilen, delikli çelik levhalardan faydalanılmıştır.

Levha kalınlıkları (t); 1mm, 2mm ve 3mm, boyutları ise, güçlendirilecek bölgenin uzunluklarına göre; 560 mm x 560 mm, 760 mm x 760 mm ve 880 mm x 880 mm olarak karesel formda, değişkendir. Levhaların, 250 mm x 250 mm'lik kolon bölgeleri ise boşluktadır.

Levhalar da delik çapı Ø10, delik aralıkları ise kolon yüzünden itibaren her iki yönde 35 mm, bu bölgenin dışındaki diğer yerlerde ise, her iki yönde de 80 mm'dir.

Levhaların döşemeye bağlantısı için ise saplama ve somunlardan faydalanılmıştır.



Şekil 4.12. Delikli çelik levhalar (ölçüler mm.'dir)

Delikli çelik levhaların, güçlendirme işlemlerinde, döşeme elemanına bağlantısı için, St37 kalitesinde, Ø8 çapında ve 150 mm uzunluğunda, tam dişli saplamalar ile birlikte, saplamaların döşeme elemanına tam olarak ankre olabilmesi için, pul ve döşemenin alt ve üst yüzünde çift sıra somun kullanılmıştır.



Resim 4.5. Çelik levhaların döşeme elemanlarına montajı

4.4. Deney Elemanlarının Güçlendirilmesi

4.4.1. Levhaların döşemeye montajı

Tüm deney elemanları bu bölümde detayları belirtildiği şekilde güçlendirilmiştir.

Deneyler esnasında; deney elemanlarının portatif vinçle taşınabilmesi ve döşeme alt ve üst yüzünde gerçekleştirilecek güçlendirme işlemlerinin, kolaylıkla yapılabilmesi için kolon orta kısmına içten $\phi 32$ 'lik saplamanın girebileceği bağlantı elemanı, beton dökülme işleminden önce yerleştirilmiştir. Böylelikle, hem güçlendirme işlemlerinin kolaylıkla yapılması sağlanmış, hem de deney elemanlarının portatif vinç vasıtasıyla deney düzeneğine taşınması işlemleri kolaylaşmıştır.

Güçlendirme işlemi yapılacak deney elemanları hazırlanırken, beton dökülmeden önce, güçlendirmede kullanılacak delikli çelik levhaların bulonlar vasıtasıyla, elemanın alt ve üst yüzüne montaj edilebilmesi için, delik yerlerine uygun olarak, döşeme içinde, $\phi 8$ çapında bulonların girebileceği büyüklükte plastik borular kullanılmıştır. Bu borular, beton prizini aldıktan sonra, kerpeten yardımıyla çıkartılmıştır.



Resim 4.6. Deney elemanlarını taşımak için bağlantı elemanı



Resim 4.7. Plastik borular

Portatif vinç yardımıyla kaldırılan deney elemanlarının, alt ve üst yüzüne yerleştirilen çelik levhalar, $\phi 8$ çapındaki saplamaların, pul ve çift sıra somunların birlikte kullanılmasıyla deney elemanlarına sabitlenmiştir.



Resim 4.8. Delikli çelik levhaların eleman alt ve üst yüzüne yerleştirilmesi

Delikli çelik levhaların, döşemelere montajı sırasında, elemanın alt yüzünden bir kişi, somunları anahtar vasıtasıyla sabit tutarken, üst yüzünden diğer kişi, başka bir anahtar ile somunu sıkarak levhaların döşemeye montajını sağlamıştır. Somunlar sıkılırken dış atmamasına dikkat edilmiştir.



Resim 4.9. Levhaların deney elemanına montajı

4.4.2. Saplamalara ardgerme verilmesi

Deney elemanlarında, güçlendirilecek bölgelerde, saplamalar ve somunlar vasıtasıyla delikli çelik levhaların döşemeye montajından sonra, döşemenin üst yüzündeki 1. sıra bulonlara, tork anahtarı ile ardgerme işlemi uygulanmıştır.



Resim 4.10. Torkmetre cihazı

Bulonlara verilen ardgerme kuvveti ile çelik levha ve betonarme döşeme birleşim yüzeyleri arasında, basınç kuvveti oluşturulması amaçlanmıştır. Böylece birleşim yüzeyleri arasında oluşan basınç gerilmeleri ve oluşturduğu sürtünme kuvvetleri ile çelik levhalar ve betonarme döşeme arasındaki yük geçişi, kayma ve ezilme mekanizmalarından çok, sürtünme ile sağlanmış olacak, bu da birleşime önemli miktarda yük taşıma kapasitesi kazandıracaktır.

Bulonlara tork anahtarı ile ardgerme işlemi uygulanırken, tork değerinin doğru olarak hesaplanması gerekmektedir. Olması gerekenden düşük tork ile sıkılan bağlantılar, titreşimler nedeniyle çözülebilirler. Tork değeri, izin verilebilir sınırların üzerinde olursa, oluşan ardgerme kuvveti, bağlantının yapıldığı parçalara zarar verebilir ve aynı zamanda saplama ve somun dişlerinde meydana getirdiği deformasyon nedeniyle bağlantı çözülemez ya da kendiliğinden çözülebilir bir bağlantı haline dönüşebilir. Bu nedenle her bağlantıya özgü bir emniyetli tork değeri vardır. Bu emniyetli tork değeri, kullandığımız cıvata

normuna, yüzey kaplamasına, sıkılan parçaların tasarımına ve malzeme özelliğine göre de farklılık gösterebilir [7].

Montaj alanındaki şartlar göz önüne alındığında, klasik yaklaşıma göre uygun ardgermenin verilmesi için cıvataya uygulanacak en pratik sıkma yöntemi olarak, tork anahtarı kullanılacaktır. Ancak, emniyetli tork değeri hesabında kullanılan sürtünme katsayısının, sıkma esnasında sürtünme yüzeylerinin sahip olduğu yüzey pürüzlülüğüne uygun olup olmadığına da dikkat edilecektir. Sıkılacak yüzeyde yağ kalıntısı var ise, bulon sıkılması gerektiğinden daha fazla, yüzeyler paslı ise, bulon sıkılması gerektiğinden daha az sıkılmış olabilmektedir [7].

Bağlantıya özgü emniyetli tork değeri için gerekli formüller ve hesaplama yöntemi aşağıda verilmiştir;

$$M_t = \mu_v \times P_v \times d \quad (4.1)$$

$$d_3 = 0.9 \times (d - 1) \quad (4.2)$$

$$A_{d3} = \pi \times d_3^2 \times 0.25 \quad (4.3)$$

$$P_v = \sigma_{zmn} \times A_{d3} \quad (4.4)$$

Çizelge 4.4. Tork hesabında kullanılan simgeler

Sembol	Birim	Açıklama
σ_{zmn}	kg/cm ²	Emniyetli çekme gerilmesi
d	mm	Anma çapı
d ₃	mm	Diş dibi çapı
A _{d3}	mm ²	Diş dibi alanı
μ_v	-	Vidanın sürtünme katsayısı (Kuru yüzeyler için 0.2)
P _v	kg	Bulonun taşıyacağı eksenel kuvvet
M _t	Nm	Tork momenti

Yukarıdaki hesap yönteminde gösterildiği üzere, bulonların çekme emniyet gerilmesinin tamamı kullanılarak, yaklaşık 6 Nm tork değeri hesaplanmıştır. Deney elemanlarının üst yüzündeki 1. sıra bulonlara bu tork değeri Resim 4.11’de görüleceği üzere uygulanmıştır.



Resim 4.11. Tork anahtarı ile bulonlara ardgerme verilmesi işlemi

Tüm deney programına uygun olarak, tüm elemanlar yukarıdaki bahsedildiği şekilde güçlendirilerek deneye hazır hale getirilmiştir.

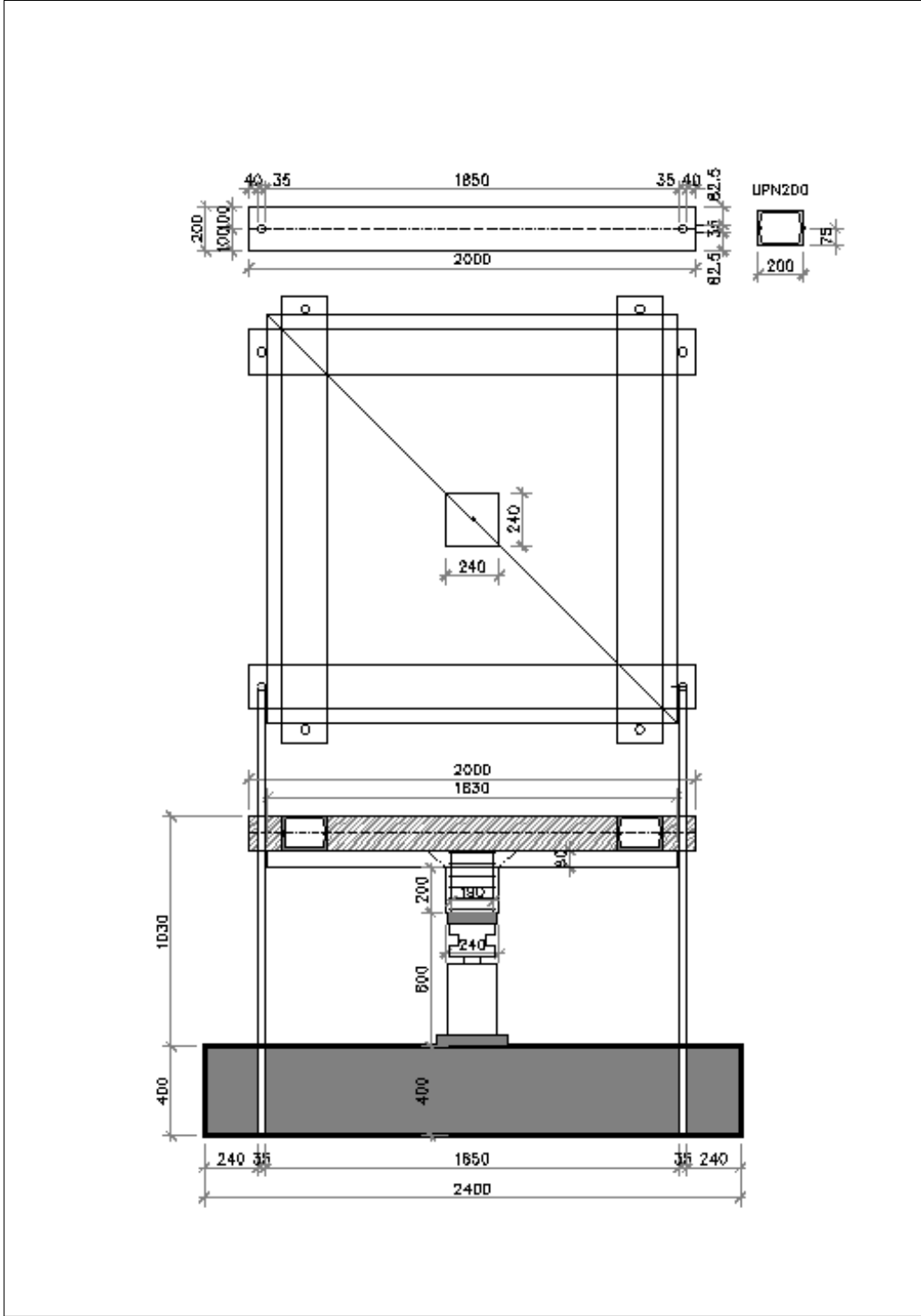


Resim 4.12. Deneye hazır elemanlar

4.5. Deney Düzeneği

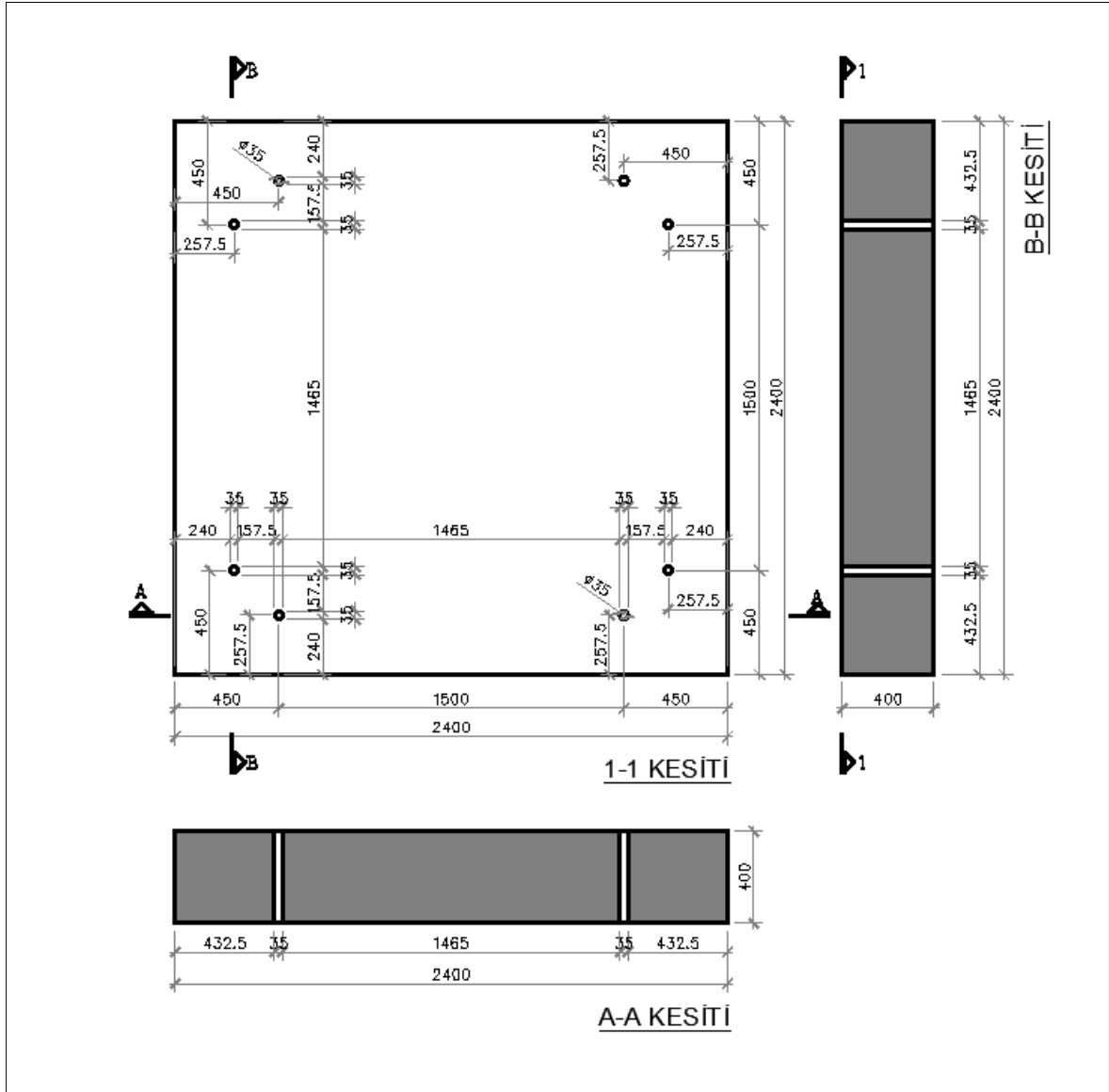
4.5.1.Yükleme düzeneği

Deneyler, Gazi Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü Bahçesinde kurulan, Şekil 4.13’de çizimi görülen, düzenek vasıtasıyla yapılmıştır. Deney düzeneği deney elemanlarının, zımbalama davranışını tam olarak yansıtabilmesini sağlayacak şekilde tasarlanmıştır. Yük, hidrolik krika ile verilmiş ve yükün büyüklüğü de yük hücresi ile ölçülmüştür. Yük hücresi, rijit döşemenin tam orta noktasına, kolona gelecek şekilde yerleştirilmiştir.



Şekil 4.13. Deney düzeneği plan ve kesitten görünümü

Deney düzeneği için öncelikle; 400 mm kalınlığında, deney elemanlarının boyutlarına, mesnetlenme ve yükleme şartlarına uygun olarak, 2400 mm x 2400 mm boyutlarında, rijit bir döşeme elemanı tasarlanmıştır. Bu rijit döşemelerin içerisine, deney elemanlarında mesnetlenme görevi yapan UPN 200 profilleri tutabilmesi için sekiz adet Ø33 çapında St 37 kalitesinde saplama koyulmuştur.



Şekil 4.14. Deney düzeneği rijit döşeme plan ve kesiti (Ölçüler mm.'dir)

Deney düzeneğinde, deney elemanlarının zımbalama davranışını tam olarak gözlemleyebilmek için, elemanın dört kenarından birbirine kaynaklanan, dört adet UPN 200 profil vasıtasıyla mesnetlenmiştir. Deney elemanlarının döşeme içinden değil, UPN 200 profil vasıtasıyla dört kenardan mesnetlenmesiyle, mesnet noktalarında zımbalama ve sıyrılma risklerinin önüne geçilmesi hedeflenmiştir.

Deney elemanları, deney düzeneğine gezer vinç yardımıyla getirilmiştir (Resim 4.13). Deney elemanları, UPN200 profillerden oluşan çerçeve sisteme mesnetlenmeden önce alttan desteklenmiş (Resim 4.14) ve daha sonra deney elemanının üzerine saplamalardan geçirilerek, somunlar vasıtasıyla yerleştirilerek (Resim 4.15)..



Resim 4.13. Deney elemanının deney düzeneğine getirilmesi



Resim 4.14. Deney elemanının deney düzeneğine yerleştirilmesi



Resim 4.15. Deney elemanında mesnet görevi yapan çerçeve sistem

Yüklemeden önce, UPN200 profiller ile deney elemanlarının arasında boşluk olan yerlere, mesnetlenmenin tam olarak sağlabilmesi için çelik plakalar koyulmuştur.

Yüklemeler, döşemenin tam ortasından kolon bölgelerinden yapılmıştır. Yükün kolon kesitine düzgün bir şekilde yayılabilmesi amacıyla, kolon alt yüzü ile hidrolik krika arasına 300 x 300 x 30 mm'lik levha yerleştirilmiştir. Yüklemenin, her deneyde, düzeneğin simetri eksenlerinden geçmesine titizlikle dikkat edilmiştir.

4.5.2. Ölçüm Düzeneği

Yük Ölçümleri

Deney elemanlarına Resim 4.16'da gösterilen şekilde, 1000 kN kapasiteli hidrolik krika vasıtasıyla yükleme yapılmış ve kolon ile hidrolik krika arasına yerleştirilen, 500 kN kapasiteli yük hücreleri vasıtasıyla da yük okumaları yapılmıştır. Yük hücrelerinin kalibrasyonu, yükleme öncesi ve sonrasında basınç testine tabi tutularak kontrol edilmiştir.

Deneyler sırasında yük hücresinde oluşan basınç değerleri, bağlantı kabloları vasıtasıyla veri toplama sistemine, oradan da bilgisayara aktarımı sağlanarak anlık kontrol edilmiştir.



Resim 4.16. Hidrolik kriko ve yük hücresi

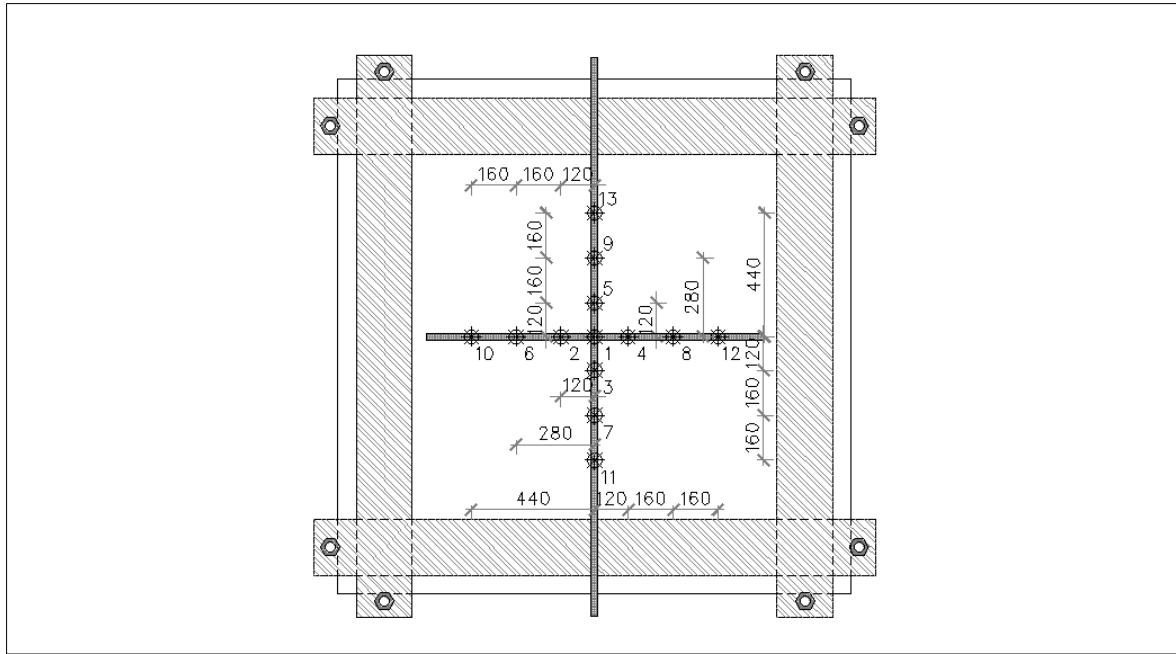
LVDT'lerin Yerleştirilmesi ve Yer Değiştirmelerin Ölçülmesi

Deneyler esnasında, hidrolik kriko vasıtasıyla, yük hücresine yükleme yapılırken, döşeme düzlemindeki düşey yer değiştirmeleri (deplasman) ölçebilmek için, elektronik deplasman ölçerler, yani LVDT'lerden (Lineer Variable Displacement Transducer) faydalanılmıştır. Bu LVDT'lere gelen veriler, bağlantı kabloları vasıtasıyla veri toplayıcısına, oradan da bilgisayara aktarılarak kaydedilmektedir. Ayrıca deneyler esnasında deney elemanlarında yükleme sonucu oluşan deplasman ile yükün değişimi, bilgisayar ortamında grafik olarak anlık izlenmiştir. Her deney öncesinde LVDT'lerin kalibrasyonları kontrol edilmiştir.

Döşeme düzlemindeki deplasmanları kayıt altına almak için hazırlanan ölçüm sisteminde, toplam on üç adet LVDT kullanılmıştır. Döşemedeki maksimum yer değiştirmenin olacağı orta eksendeki düşey deplasman ölçer; LVDT-1 200 mm'lik, kuzey – güney, doğu – batı düzlemindeki en kenardaki LVDT'ler; (LVDT-10, LVDT-11, LVDT-12, LVDT-13) 50

mm'lik, diğerleri ise; (LVDT-2, LVDT-3, LVDT-4, LVDT-5, LVDT-6, LVDT-7, LVDT-8, LVDT-9) 100 mm'lidir. LVDT'lerin deney elemanı üzerindeki yerleşim planı Şekil 4.15 4.15'de verilmiştir.

Deney elemanlarında, deplasman okumaları için on üç adet LVDT kullanılmasına rağmen, zımbalama dayanımı açısından, eleman orta eksenindeki LVDT okumaları daha önemli olduğundan, yük – deplasman grafikleri, elemanın orta eksenine yerleştirilen LVDT'den okunan deplasman değerlerine göre hazırlanmıştır. Diğer LVDT'ler deney sırasında kontrol amaçlı olarak kullanılmıştır.



Şekil 4.15. Deney düzeneği üzerinde LVDT'lerin yerleşim planı

LVDT'ler, her deney öncesinde, döşeme üzerindeki yerleri titizlikle işaretlenerek, çelik profillerden hazırlanan çerçeve bir sistem vasıtasıyla yerleştirilmiştir. Deney sırasında gözlemlenecek deplasmanların deforme olmamış kesit üzerinden ölçülebilmesi için, döşeme ile LVDT arasında cam parçaları konulmuştur. Ölçüm işleminin tüm deney elemanlarında aynı ve sağlıklı olması amacıyla, bu işlemler titizlikle yapılmıştır.



Resim 4.17. Deney elemanı yükleme ve ölçüm düzeneği



Resim 4.18. Deney elemanına LVDT'lerin yerleşimi

4.6. Deneyler

Deney programında yer alan tüm deney elemanları, deney düzeneğine portatif vinç ve hidrolik krikolar vasıtasıyla yerleştirilip, yükleme, ölçüm aletlerinin bağlanması ve LVDT'lerin sıfır okumaları yapıldıktan sonra, deney hazır hale getirilmiştir.

Deney elemanlarına yükleme adım adım gerçekleştirilerek, zımbalama davranışı kontrol edilmiş ve davranışın durumuna göre yük arttırmaları belirlenmiştir.

Deney sırasında anlık olarak yük – deplasman grafiği program vasıtasıyla çizilerek, deneyin gelişimi yakından takip edilmiştir.

Deneyler yapılırken meydana gelen olaylar, yükleme koşulları ve deney elemanında meydana gelen değişiklikler kayıt altına alınmıştır.

4.6.1. R1: Referans kirişsiz köşeme

Herhangi bir güçlendirme işlemi yapılmayan R1 deney elemanı, güçlendirilmemiş elemanda, zımbalama davranışını ortaya koymak amacıyla deneye tabi tutulmuştur.



Resim 4.19. R1 deney elemanı

Deney başladıktan sonra kolon iz düşümünde ilk çatlak 40 kN yük ve 2,8 mm deplasmanda olmuştur.

70 kN yükte döşemede akma çizgileri belirginleşmiştir. Yüklemeye devam edildiğinde, 90 kN yük ve 23,5 mm deplasmanda, kolon 2 mm civarında yukarı çıkmaya başlamıştır.

100 kN yük ve 44 mm deplasman seviyelerinde, zımbalama mantarı gözükmüş ve tam anlamıyla zımbalama gerçekleşmiş durumdadır. Burdan sonra yük düşmeye başlamış ve kaldırıcı etkisiyle beton kabuğunu yukarı kaldırmıştır, dolayısıyla kirişsiz döşemede paspayının mutlaka korunması gerektiği ortaya çıkmaktadır.



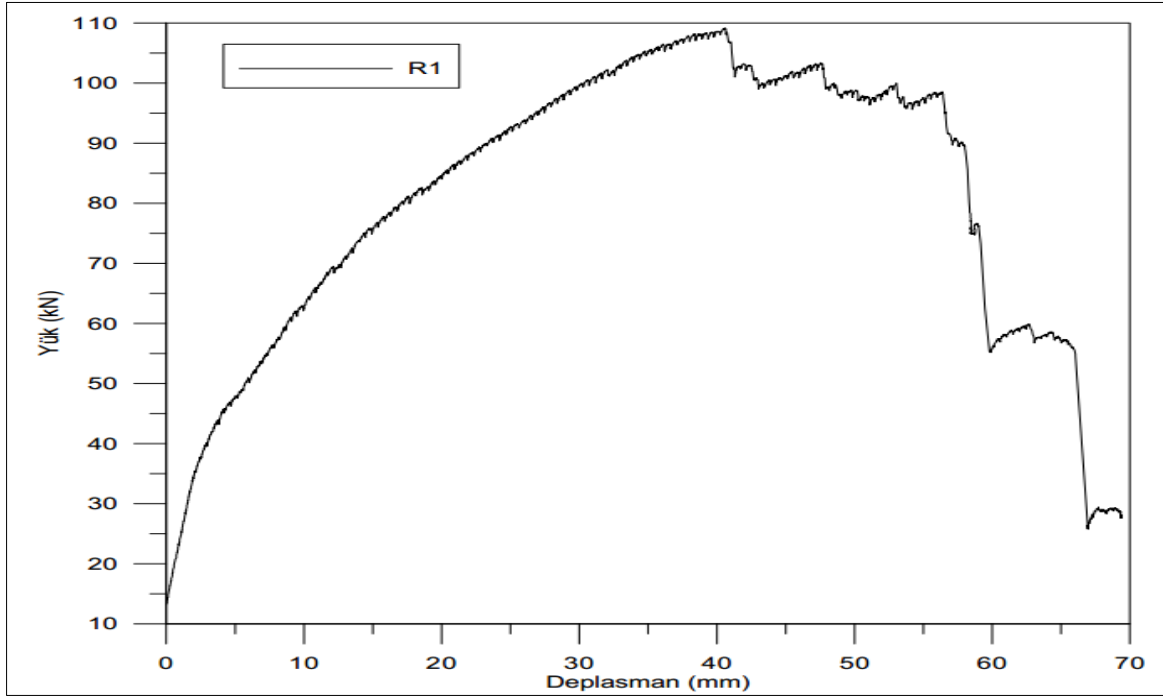
Resim 4.20. Deney sonrası R1 deney elemanı



Resim 4.19. Deney sonrası R1 elemanı üst yüzü



Resim 4.20. Deney sonrası R1 elemanı alt yüzü



Şekil 4.16. R1 deney elemanı yük – deplasman ilişkisi

4.6.2. R2: Referans kirişsiz köşeme

Herhangi bir güçlendirme işlemi yapılmayan R2 deney elemanı, güçlendirilmemiş elemanda, zımbalama davranışını ortaya koymak amacıyla deneye tabi tutulmuştur.



Resim 4.21. R2 deney elemanı

Deney başladıktan sonra kolon iz düşümünde ilk çatlak, 75 kN yük ve 8 mm deplasmanda olmuştur.

105 kN yükte döşemede akma çizgileri belirginleşmiştir. Yüklemeye devam edildiğinde, 122 kN yük altında çapraz çatlaklarda akma gerçekleşmiş durumdadır. 135 kN yük ve 34 mm deplasmanda kolon 3 mm civarında yukarı çıkmaya başlamıştır.

112 kN yük ve 42 mm deplasman seviyelerinde, zımbalama mantarı gözükmüş ve tam anlamıyla zımbalama gerçekleşmiş durumdadır. Burdan sonra yük düşmeye başlamış ve kaldırma etkisiyle beton kabuğunu yukarı kaldırmıştır, dolayısıyla kirişsiz döşemede paspayının mutlaka korunması gerektiği ortaya çıkmaktadır.



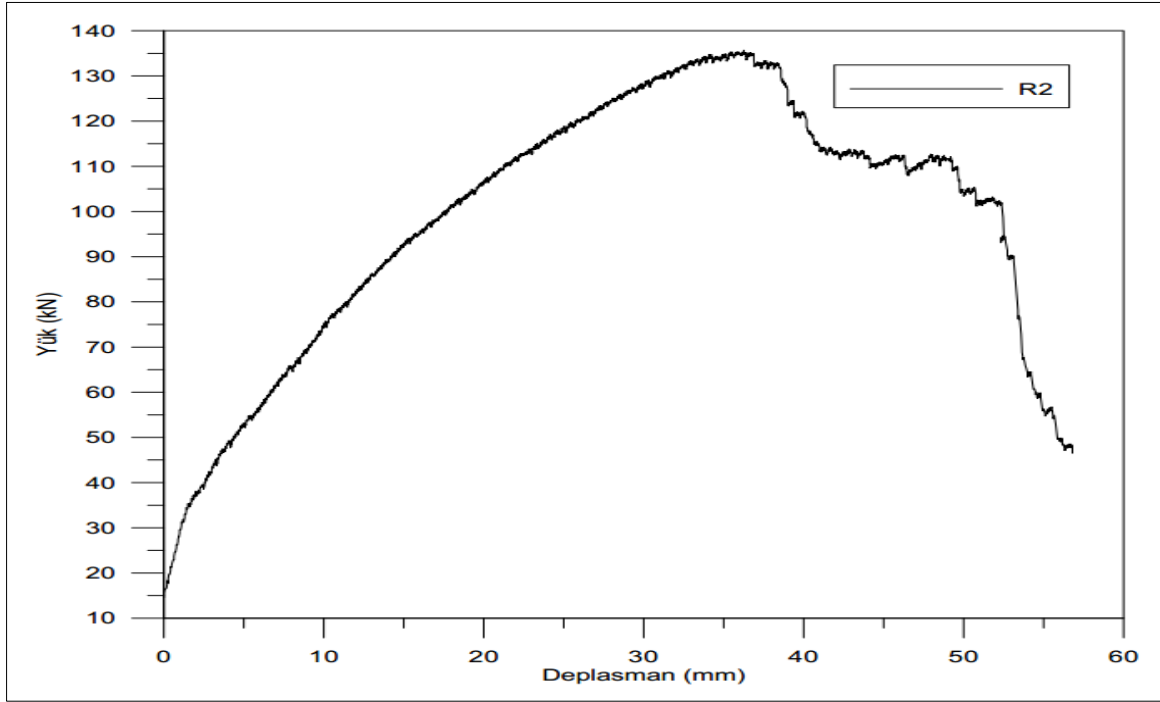
Resim 4.22. Deney sonrası R2 deney elemanı



Resim 4.23. Deney sonrası R2 elemanı üst yüzü



Resim 4.24. Deney sonrası R2 elemanı alt yüzü



Şekil 4.17. R2 deney elemanı yük – deplasman ilişkisi

4.6.3. R3: Referans kirişsiz köşeme

Herhangi bir güçlendirme işlemi yapılmayan R3 deney elemanı, güçlendirilmemiş elemanda, zımbalama davranışını ortaya koymak amacıyla deneye tabi tutulmuştur.



Resim 4.25. R3 deney elemanı

Deney başladıktan sonra kolon iz düşümünde ilk çatlak, 60 kN yük ve 8,2 mm deplasmanda olmuştur.

95 kN yükte döşemede akma çizgileri belirginleşmiştir. Yüklemeye devam edildiğinde, 110 kN yük altında, çapraz çatlaklarda akma gerçekleşmiş durumdadır.

114 kN yük ve 40 mm deplasmanda, kolon 5 mm civarında yukarı çıkmaya başlamıştır.

100 kN yük ve 53 mm deplasman seviyelerinde zımbalama mantarı gözükmüş ve tam anlamıyla zımbalama gerçekleşmiş durumdadır. Burdan sonra yük düşmeye başlamış ve kaldırıcı etkisiyle beton kabuğunu yukarı kaldırmıştır.



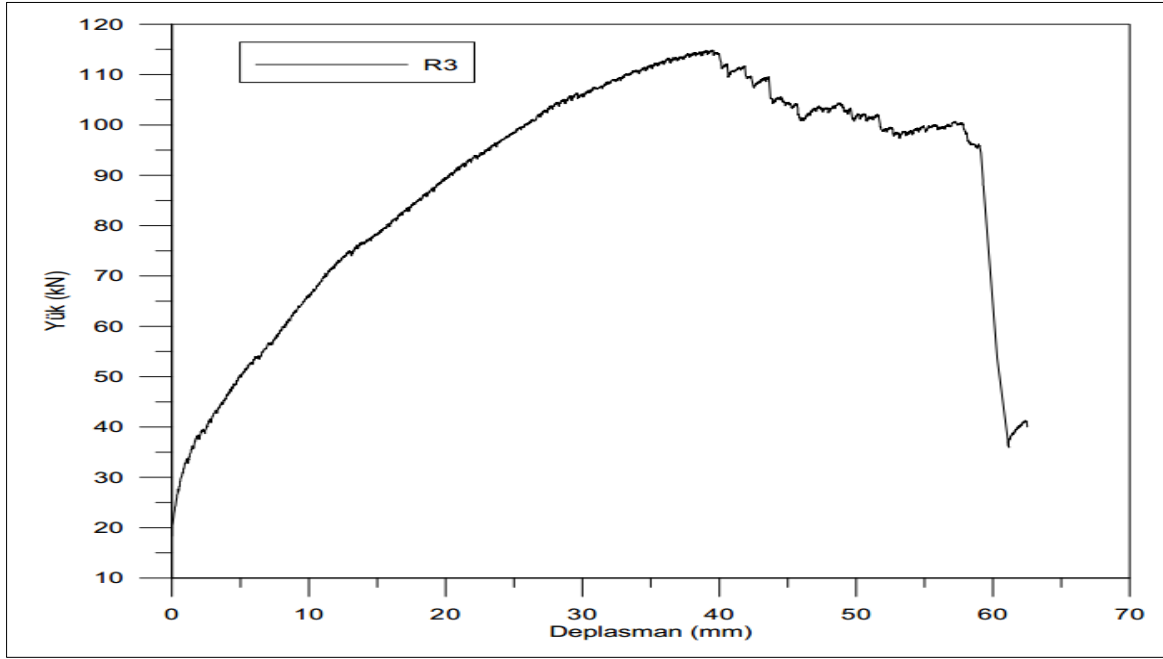
Resim 4.26. Deney sonrası R3 deney elemanı



Resim 4.29. Deney sonrası R3 elemanı üst yüzü



Resim 4.30. Deney sonrası R3 elemanı alt yüzü



Şekil 4.18. R3 deney elemanı yük – deplasman ilişkisi

4.6.4. S160t1: Güçlendirilmiş kirişsiz köşeme

Boyutu; her iki yönde, kolon yüzünden itibaren döşeme kalınlığının iki katı (2H), kalınlığı ise 1 mm olan delikli çelik levhalar ile güçlendirilmiş deney elemanıdır. Çelik levhaların bulonlar vasıtasıyla deney elemanına bağlantısının yapılmasının ardından, bulonlara tork anahtarları ile 6 Nm ardgerme verilerek, güçlendirilen elemanın, zımbalama dayanımı üzerindeki etkileri araştırılmıştır.



Resim 4.31. S160t1 deney elemanı



Resim 4.27. S160t1 deney elemanı üst yüzü



Resim 4.28. S160t1 deney elemanı alt yüzü

Deney başladıktan sonra, kolon iz düşümünde ilk çatlak, 105 kN yük ve 25,4 mm deplasmanda olmuştur.

146 kN yükte kolon dışındaki çatlaklar sınırlı durumda ve kolon izdüşümündeki çatlak genişliği 3 mm seviyelerinde iken, çelik levhalar çatlakların ilerlemesini engellemektedir.

155 kN yük ve 73 mm deplasmanda levhanın iç köşelerinde yırtılma başlamıştır. 157 kN yük ve 79 mm deplasmanda levha kenarındaki yırtıklar 8 mm civarlarındadır ve burdan itibaren yük düşmeye başlamıştır.

131 kN yük ve 98 mm deplasmanda döşeme kolon yüzünden sıyrılmaya başlamış, 125 kN yük ve 106 mm deplasmanda kolon döşeme ana kesitinden ayrılmaya çalışmaktadır.

118 kN yük ve 128 mm deplasmanda, eleman eğilme dayanımına ulaşmış durumdadır. 105 kN yük ve 140 mm deplasmanda, zımbalama kolon-döşeme ara kesitinde gerçekleşmiş durumdadır.



Resim 4.29. Deney sonrası S160t1 deney elemanı üst yüzü



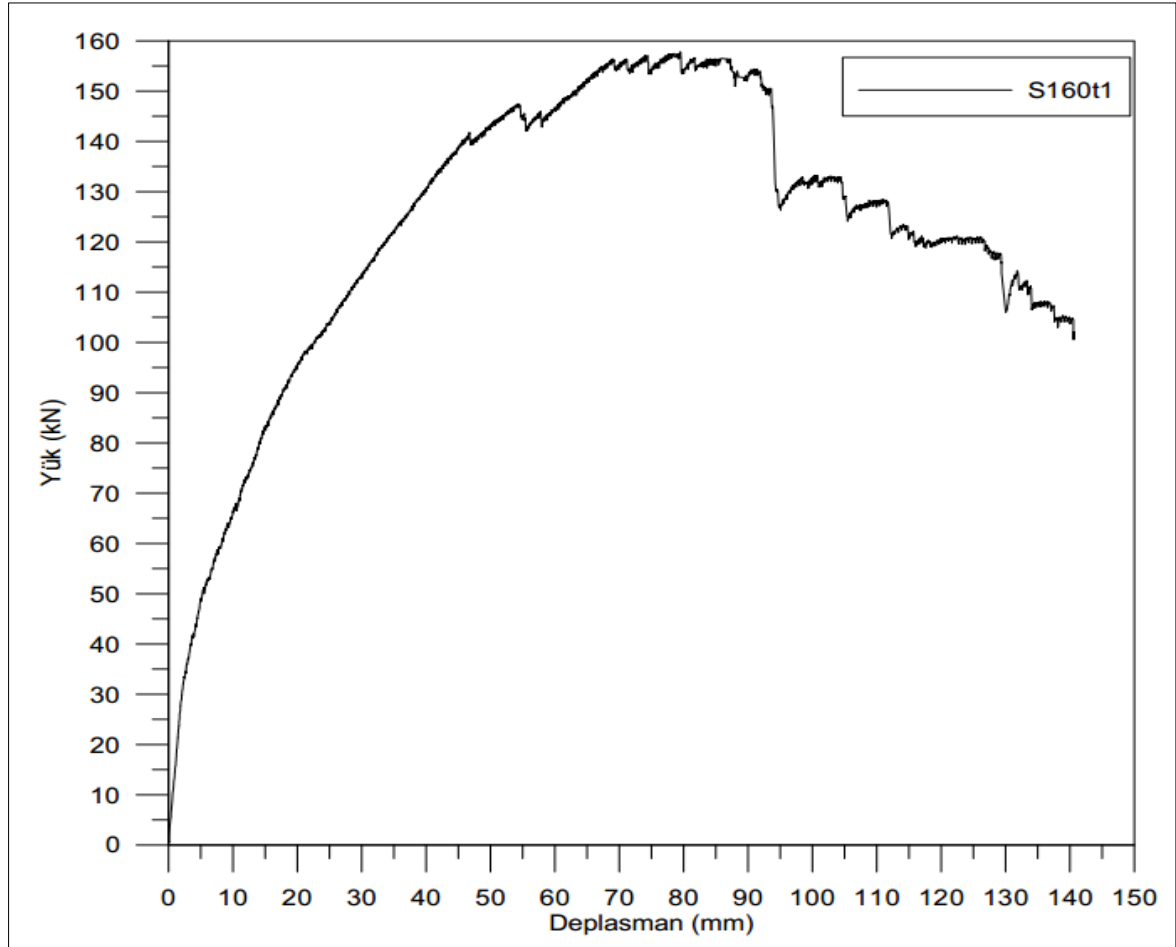
Resim 4.30. Deney sonrası S160t1 deney elemanı alt yüzü



Resim 4.31. Deney sonrası S160t1 deney elemanı alt yüzü



Resim 4.32. Deney sonrası S160t1 deney elemanı üst yüzü



Şekil 4.19. S160t1 deney elemanı yük – deplasman ilişkisi

4.6.5. S160t2: Güçlendirilmiş kirişsiz döşeme

Boyutu; her iki yönde, kolon yüzünden itibaren döşeme kalınlığının iki katı (2H), kalınlığı ise 2 mm olan delikli çelik levhalar ile güçlendirilmiş deney elemanıdır. Çelik levhaların bulonlar vasıtasıyla deney elemanına bağlantısının yapılmasının ardından, bulonlara tork anahtarı ile 6 Nm ardgerme verilerek, güçlendirilen elemanın, zımbalama dayanımı üzerindeki etkileri araştırılmıştır.



Resim 4.33. S160t2 deney elemanı



Resim 4.39. S160t2 deney elemanı üst yüzü

Deney başladıktan sonra, kolon iz düşümünde ilk çatlak, 70 kN yük ve 9 mm deplasmanda olmuştur.

90 kN yükte, kolon dışındaki çatlaklar sınırlı durumda ve kolon izdüşümündeki çatlak genişliği 1,2 mm seviyelerinde iken, çelik levhalar çatlakların ilerlemesini engellemektedir.

188 kN yük ve 60 mm deplasmanda, kolon yüzündeki donatılar gözükmeye başlamış ve çatlak genişliği 3,5 mm'dir.

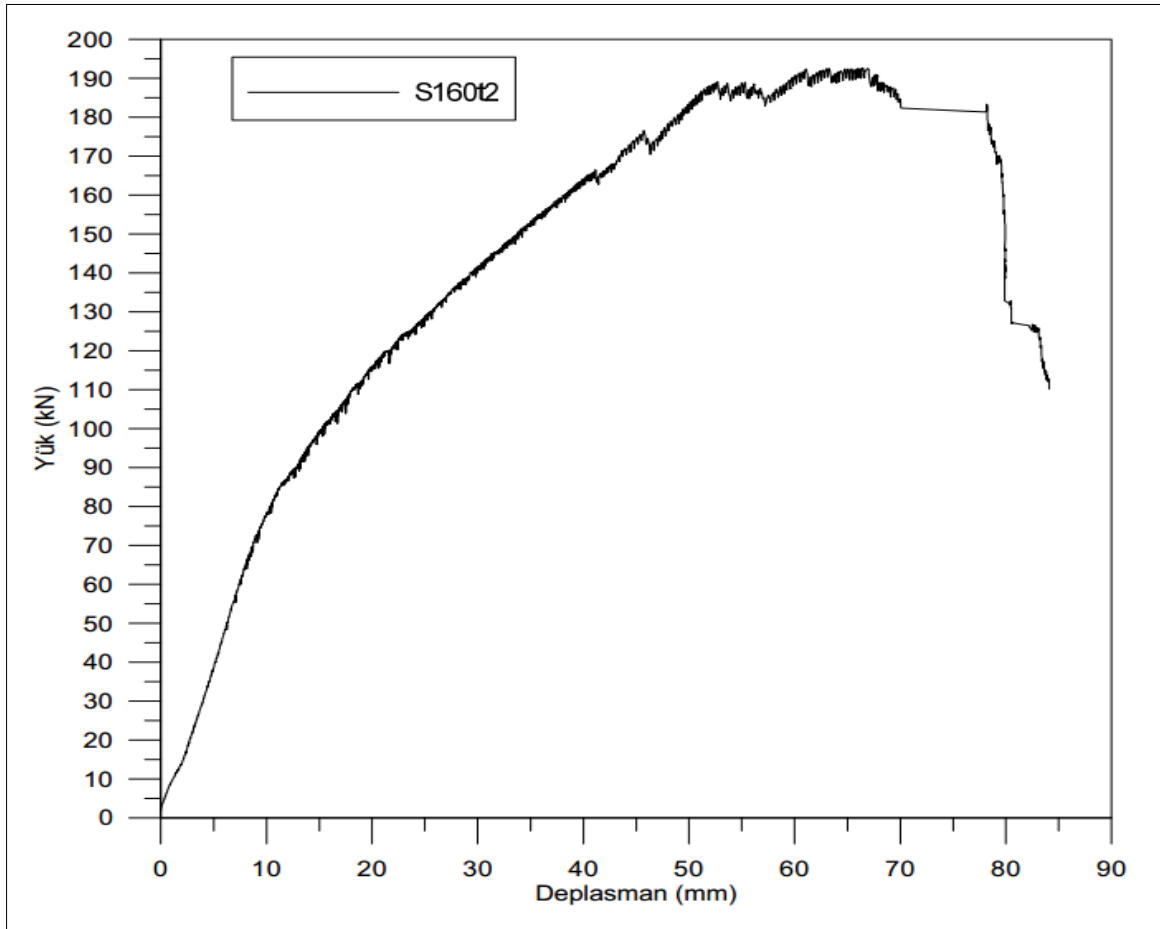
190 kN yük ve 65 mm deplasmanda, deney tamamlanmış durumdadır. Zımbalamaya dair herhangi bir belirti olmamıştır.



Resim 4.40. Deney sonrası S160t2 deney elemanı alt yüzü



Resim 4.41. Deney sonrası S160t2 deney elemanı üst yüzü



Şekil 4.20. S160t2 deney elemanı yük – deplasman ilişkisi

4.6.6.S160t3: Güçlendirilmiş kirişsiz döşeme

Boyutu; her iki yönde, kolon yüzünden itibaren döşeme kalınlığının iki katı (2H), kalınlığı ise 3 mm olan delikli çelik levhalar ile güçlendirilmiş deney elemanıdır. Çelik levhaların bulonlar vasıtasıyla deney elemanına bağlantısının yapılmasının ardından, bulonlara tork anahtarı ile 6 Nm ardgerme verilerek, güçlendirilen elemanın, zımbalama dayanımı üzerindeki etkileri araştırılmıştır.



Resim 4.42.S160t3 deney elemanı



Resim 4.34. S160t3 deney elemanı üst yüzü



Resim 4.35. S160t3 deney elemanı alt yüzü

Deney başladıktan sonra, kolon iz düşümünde ilk çatlak 85 kN yük ve 12,4 mm deplasmanda olmuştur.

125 kN yükte kolon dışındaki çatlaklar sınırlı durumda ve kolon izdüşümündeki çatlak genişliği 1,2 mm seviyelerinde iken, çelik levhalar çatlakların ilerlemesini engellemektedir.

180 kN yük ve 60 mm deplasmanda, levha döşeme ile aynı deformasyonu yapmış durumdadır.

192 kN yük ve 76 mm deplasmanda, kolon levhanın orta bölgesinden çıkmak için zorlamaktadır. Deney elemanı bu yük ve deplasman değerine kadar eğilme davranışı göstermiştir.

Deney elemanında, zımbalamaya dair herhangi bir belirti görülmemiştir. Levhalar sökülerek incelendiğinde, levha iç köşelerinde herhangi bir yırtık ile karşılaşılmamıştır.



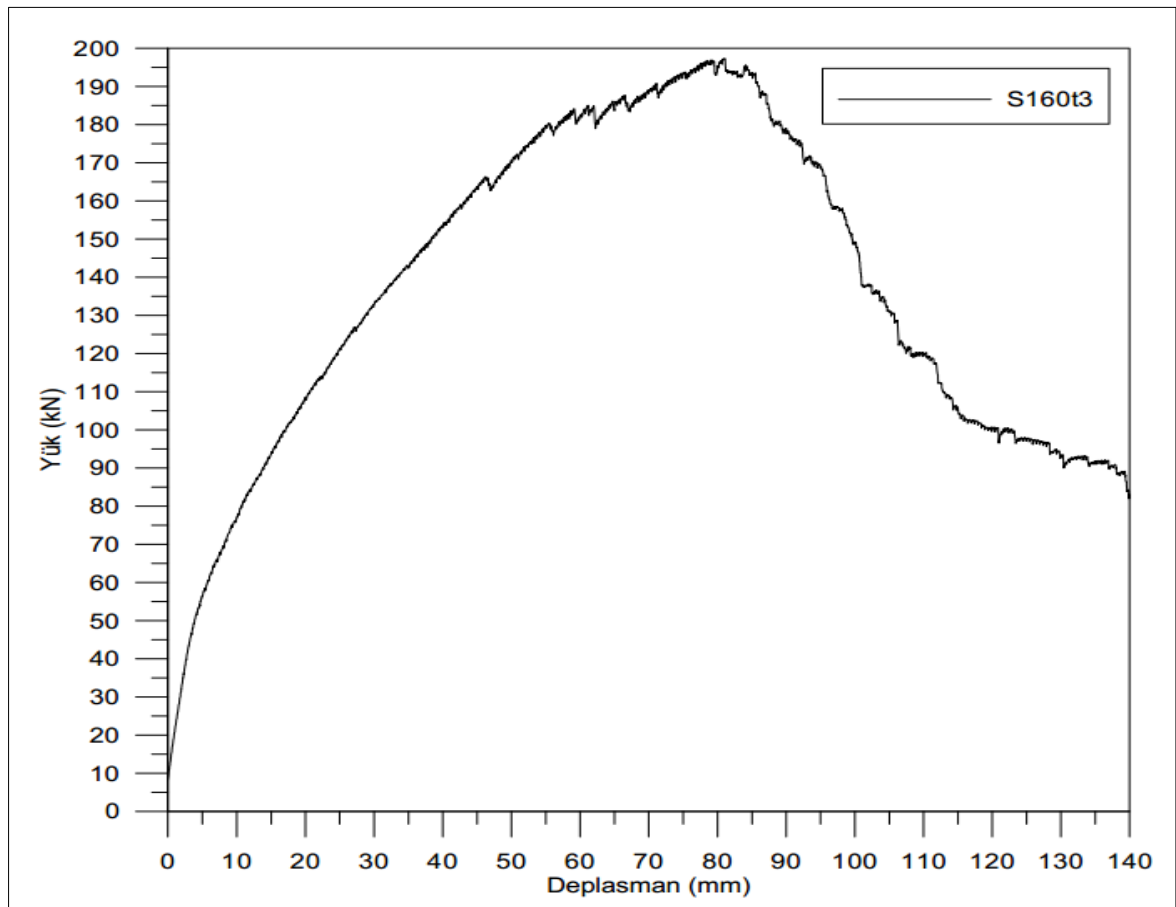
Resim 4.36. Deney sonrası S160t3 deney elemanı üst yüzü



Resim 4.37. Deney sonrası S160t3 deney elemanı alt yüzü



Resim 4.38. Deney sonrası S160t3 deney elemanı üst yüzü



Şekil 4.21. S160t3 deney elemanı yük – deplasman ilişkisi

4.6.7.S240t1: Güçlendirilmiş kirişsiz köşeme

Boyutu; her iki yönde, kolon yüzünden itibaren, döşeme kalınlığının üç katı (3H), kalınlığı ise 1 mm olan delikli çelik levhalar ile güçlendirilmiş deney elemanıdır. Çelik levhaların bulonlar vasıtasıyla deney elemanına bağlantısının yapılmasının ardından, bulonlara tork anahtarı ile 6 Nm ardgerme verilerek, güçlendirilen elemanın, zımbalama dayanımı üzerindeki etkileri araştırılmıştır.



Resim 4.39. S240t1 deney elemanı



Resim 4.49. S240t1 deney elemanı üst yüzü

Deney başladıktan sonra, kolon iz düşümünde ilk çatlak, 100 kN yük ve 18,5 mm deplasmanda olmuştur.

155 kN yükte, kolon dışındaki çatlaklar sınırlı durumda ve kolon izdüşümündeki çatlak genişliği 3 mm seviyelerinde iken, çelik levhalar çatlakların ilerlemesini engellemektedir.

160 kN yük ve 67 mm deplasmanda, a levhanın iç köşelerinde yırtılma başlamıştır. 165 kN yük ve 72 mm deplasmanda, levha kenarındaki yırtıkların boyutları artmıştır ve burdan itibaren yük düşmeye başlamıştır.

155 kN yük ve 80 mm deplasmanda, döşeme kolon yüzünden sıyrılmaya başlamış ve kolon döşeme ana kesitinden ayrılmaya çalışmaktadır.

155 kN yük ve 95 mm deplasmanda, zımbalama kolon-döşeme ara kesitinde gerçekleşmiş durumdadır.



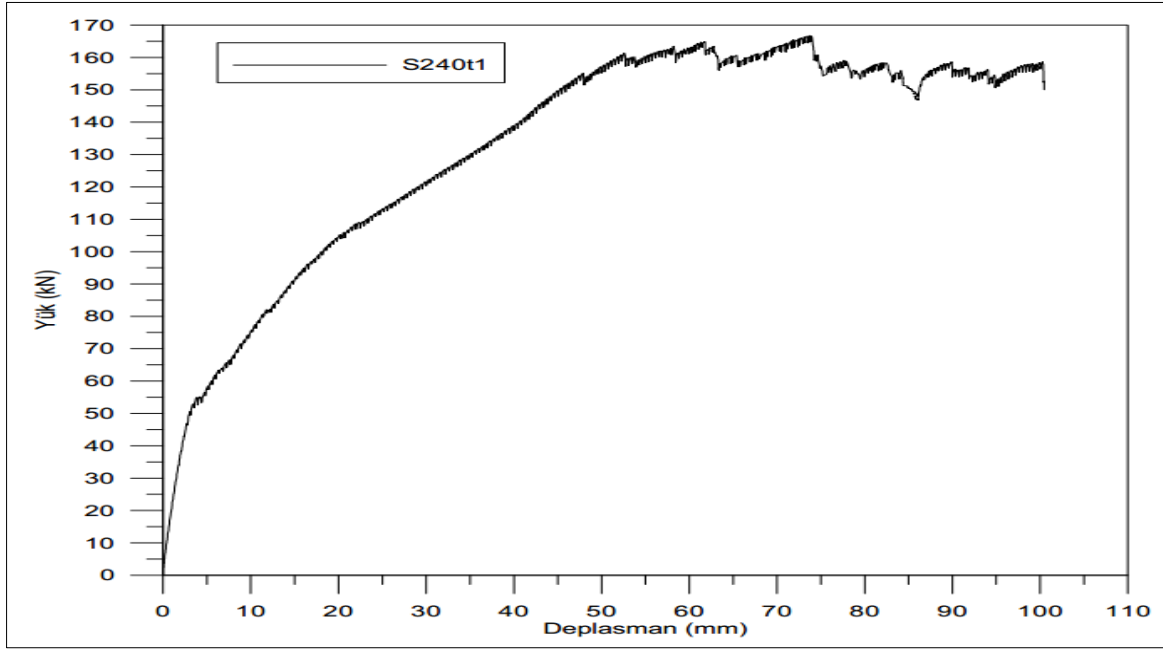
Resim 4.50. Deney sonrası S240t1 deney elemanı üst yüzü



Resim 4.40. Deney sonrası S240t1 deney elemanı alt yüzü



Resim 4.52. Deney sonrası S240t1 deney elemanı üst yüzü



Şekil 4.22. S240t1 deney elemanı yük – deplasman ilişkisi

4.6.8.S240t2: Güçlendirilmiş kirişsiz döşeme

Boyutu; her iki yönde, kolon yüzünden itibaren, döşeme kalınlığının üç katı (3H), kalınlığı ise 2 mm olan delikli çelik levhalar ile güçlendirilmiş deney elemanıdır. Çelik levhaların bulonlar vasıtasıyla deney elemanına bağlantısının yapılmasının ardından, bulonlara tork anahtarları ile 6 Nm ardgerme verilerek, güçlendirilen elemanın, zımbalama dayanımı üzerindeki etkileri araştırılmıştır.



Resim 4.53. S240t2 deney elemanı



Resim 4.41. S240t2 deney elemanı üst yüzü



Resim 4.42. S240t2 deney elemanı alt yüzü

Deney başladıktan sonra, kolon iz düşümünde ilk çatlak, 90 kN yük ve 12,5 mm deplasmanda olmuştur.

130 kN yükte, kolon dışındaki çatlaklar sınırlı durumda ve kolon izdüşümündeki çatlak genişliği 1,4 mm seviyelerinde iken, çelik levhalar çatlakların ilerlemesini engellemektedir.

220 kN yük ve 60 mm deplasmanda, levhada herhangi bir yırtılma gözükmemiştir.

230 kN yük ve 80 mm deplasmandan sonra yük düşmeye başlamıştır.

220 kN yük ve 84 mm deplasmanda, akma çizgilerinin alt yüzünde en az iki köşede ezilme oluşmuş, akabinde levhada yırtılma başlamıştır.

120 kN yük ve 118 mm deplasmanda, levhalardaki yırtılma sınırlı kalmıştır. Maksimum yırtılma boyu 2 mm seviyelerindedir.

111 kN yük ve 130 mm deplasmanda stroke boyu bittiği için deney sonlandırılmıştır.



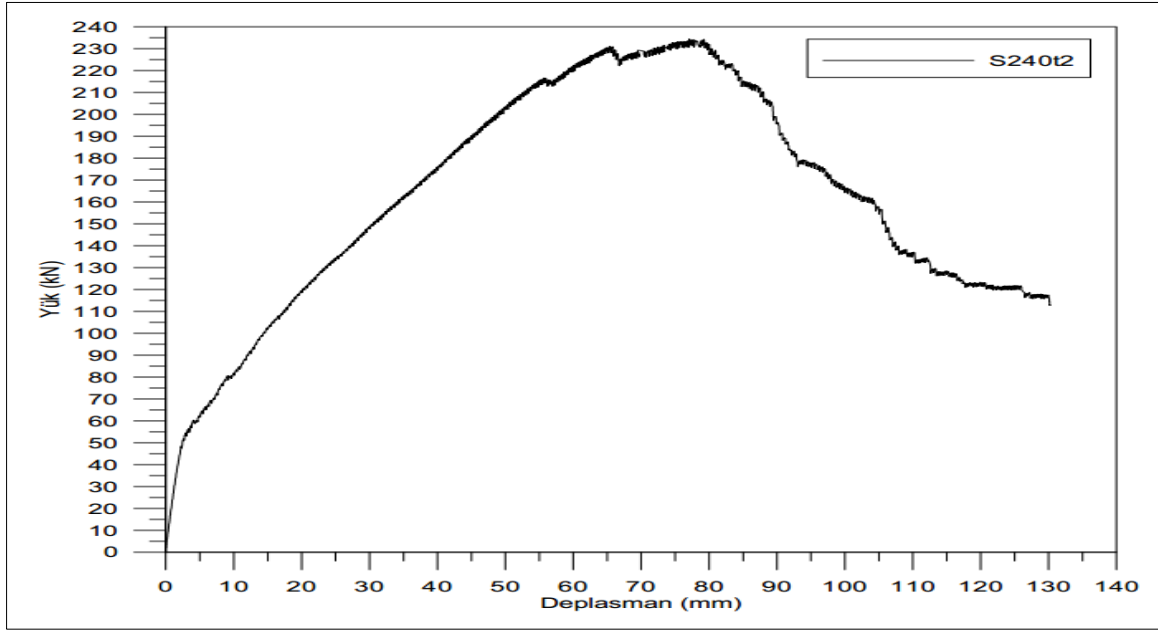
Resim 4.43. Deney sonrası S240t2 deney elemanı üst yüzü



Resim 4.44. Deney sonrası S240t2 deney elemanı alt yüzü



Resim 4.45. Deney sonrası S240t2



Şekil 4.23. S240t2 deney elemanı yük – deplasman ilişkisi

4.6.9.S240t3: Güçlendirilmiş kirişsiz döşeme

Boyutu; her iki yönde, kolon yüzünden itibaren, döşeme kalınlığının üç katı (3H), kalınlığı ise 3 mm olan delikli çelik levhalar ile güçlendirilmiş deney elemanıdır. Çelik levhaların bulonlar vasıtasıyla deney elemanına bağlantısının yapılmasının ardından, bulonlara tork anahtarları ile 6 Nm ardgerme verilerek, güçlendirilen elemanın, zımbalama dayanımı üzerindeki etkileri araştırılmıştır.



Resim 4.59. S240t3 deney elemanı



Resim 4.60. S240t3 deney elemanı üst yüzü



Resim 4.61. S240t3 deney elemanı alt yüzü

Deney başladıktan sonra, kolon iz düşümünde ilk çatlak, 80 kN yük ve 12,5 mm deplasmanda olmuştur.

145 kN yükte, kolon dışındaki çatlaklar sınırlı durumda ve kolon izdüşümündeki çatlak genişliği 2 mm seviyelerinde iken, çelik levhalar çatlakların ilerlemesini engellemektedir.

210 kN yük ve 66 mm deplasmanda, kolon izdüşüm bölgesinde donatılar gözükmemektedir. 213 kN yük ve 77 mm deplasman değerinden sonra yük düşmeye başlamıştır.

150 kN yük ve 96 mm deplasman değerinde, donatı akmış ve kolon izdüşümünde beton ezilmiştir.

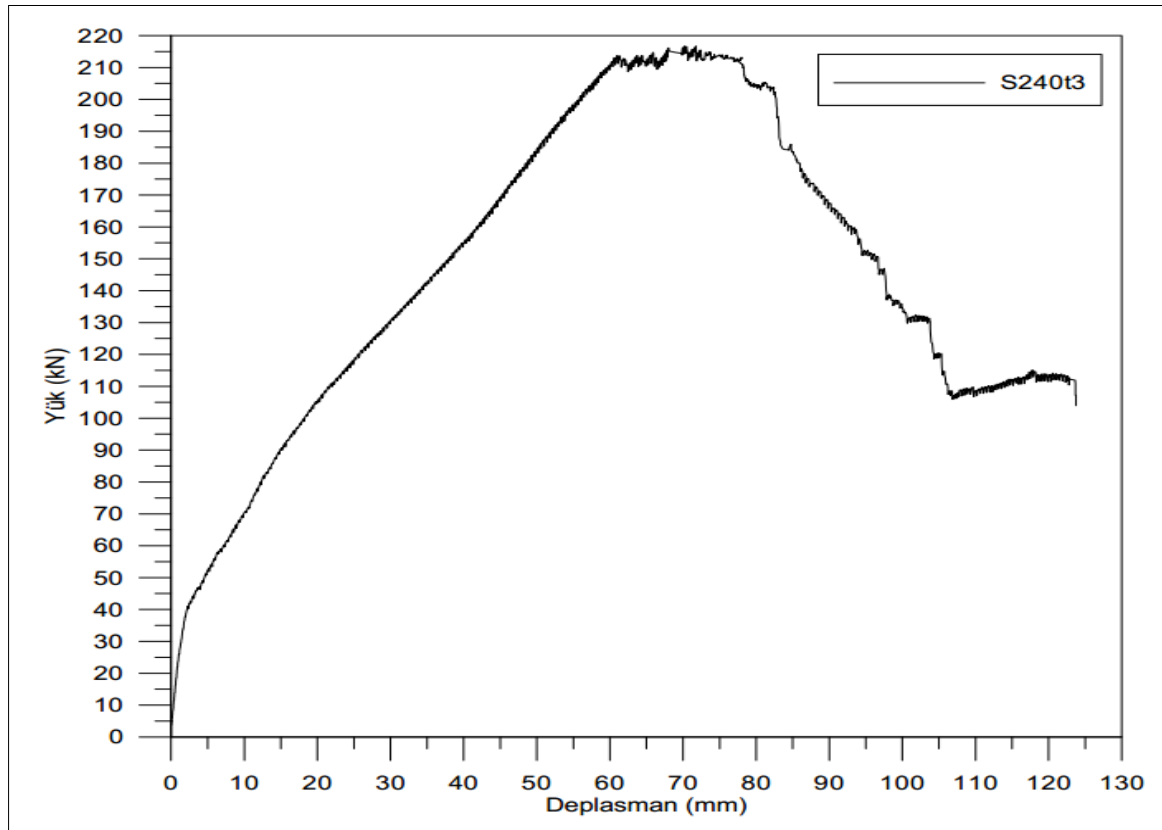
Deney elemanında zımbalama hiç bir şekilde oluşmamıştır.



Resim 4.62. Deney sonrası S240t3 deney elemanı üst yüzü



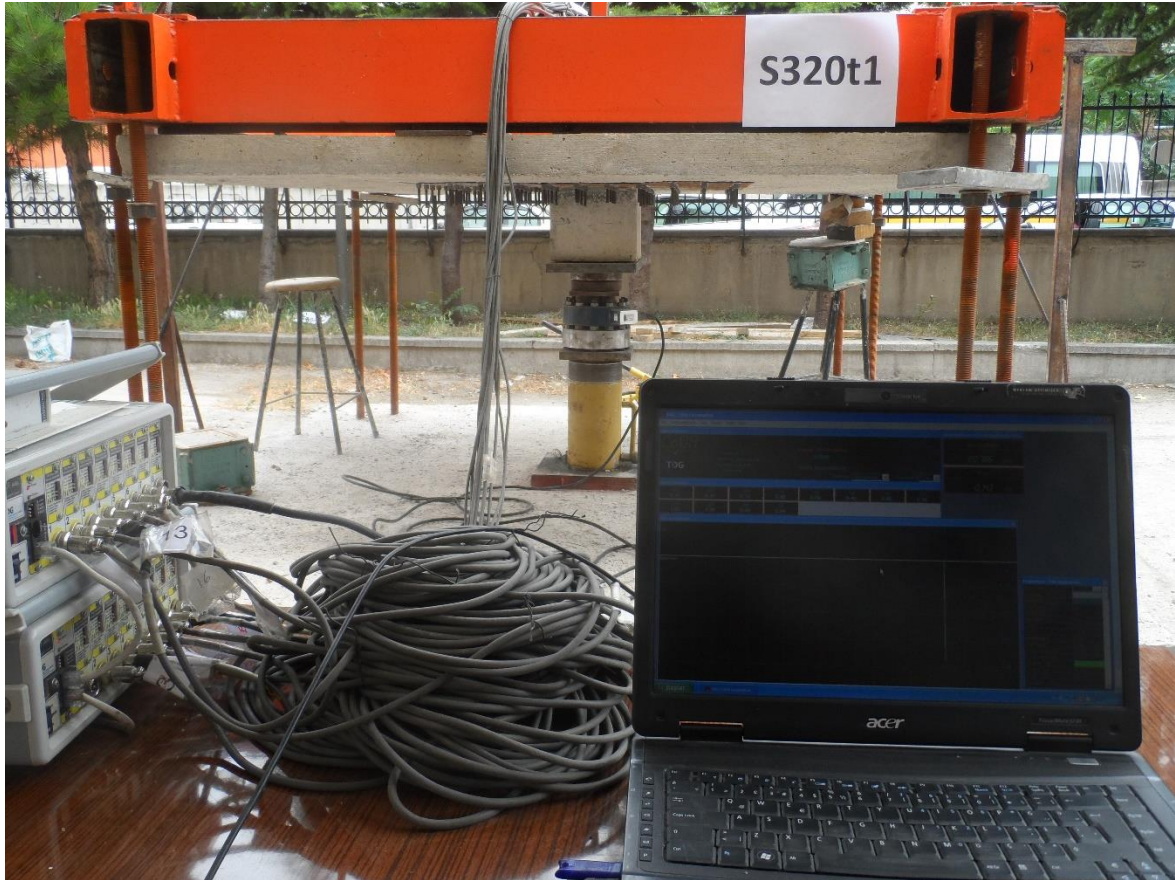
Resim 4.63. Deney sonrası S240t3 deney elemanı alt yüzü



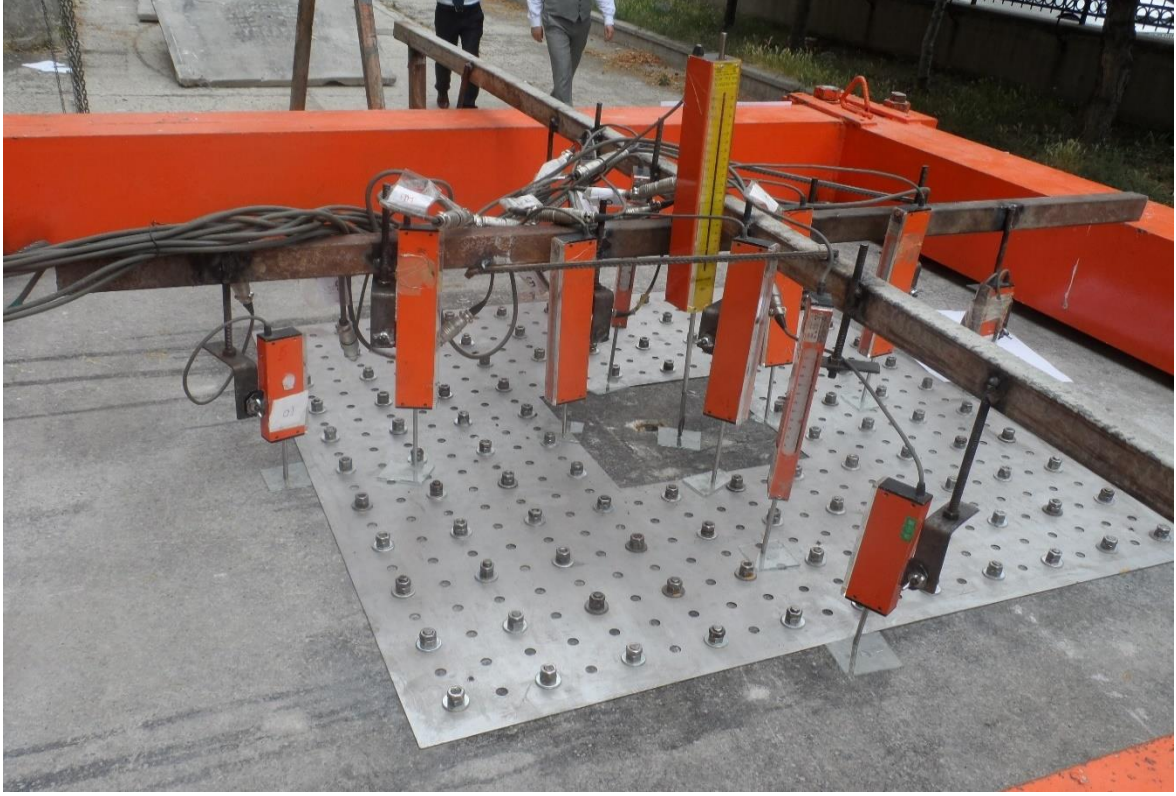
Şekil 4.24. S240t3 deney elemanı yük – deplasman ilişkisi

4.6.10. S320t1: Güçlendirilmiş kirişsiz döşeme

Boyutu; her iki yönde, kolon yüzünden itibaren, döşeme kalınlığının dört katı (4H), kalınlığı ise 1 mm olan delikli çelik levhalar ile güçlendirilmiş deney elemanıdır. Çelik levhaların bulonlar vasıtasıyla deney elemanına bağlantısının yapılmasının ardından, bulonlara tork anahtarı ile 6 Nm ardgerme verilerek, güçlendirilen elemanın zımbalama dayanımı üzerindeki etkileri araştırılmıştır.



Resim 4.64. S320t1 deney elemanı



Resim 4.46. S320t1 deney elemanı üst yüzü



Resim 4.47. S320t1 deney elemanı alt yüzü

Deney başladıktan sonra, kolon iz düşümünde ilk çatlak, 110 kN yük ve 20 mm deplasmanda olmuştur.

175 kN yükte, kolon dışındaki çatlaklar sınırlı durumda ve kolon izdüşümündeki çatlak genişliği 1,5 mm seviyelerinde iken çelik levhalar çatlakların ilerlemesini engellemektedir.

190 kN yük ve 79 mm deplasmandan itibaren yük düşmeye başlamıştır.

149kN yük ve 119 mm deplasman değerinde, kolon – levha ara bölgesinden, kolon dışarı çıkmaya çalışmaktadır.

145 kN yük ve 122 mm deplasmanda, levhanın iç köşelerinde yırtılma başlamıştır.

136 kN yük ve 130 mm deplasmanda, stroke boyu yetmediği için deney sonlandırılmıştır.



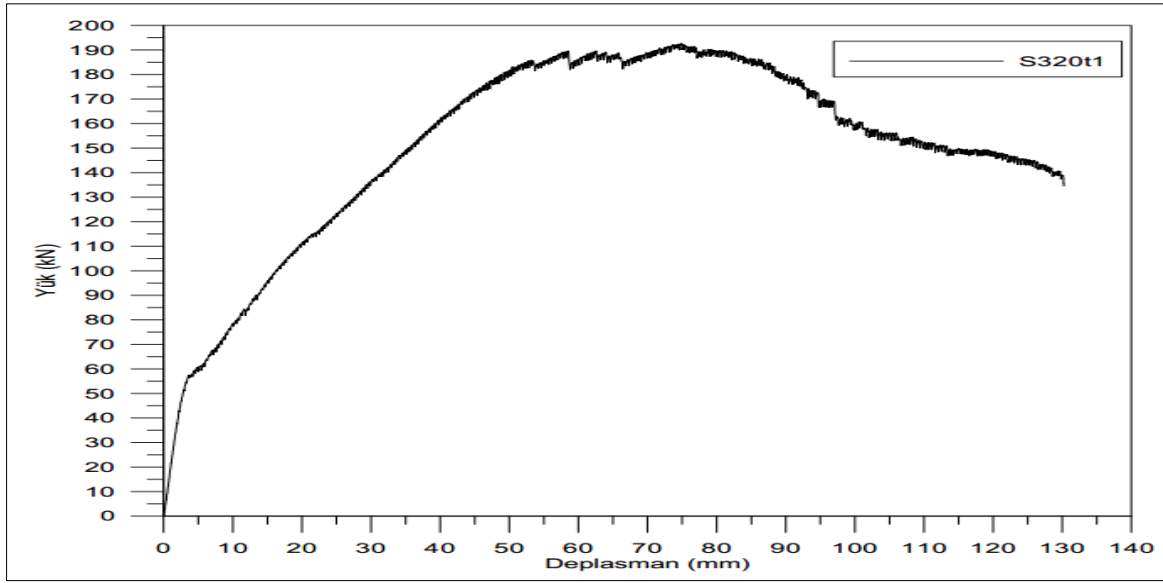
Resim 4.48. Deney sonrası S320t1 deney elemanı üst yüzü



Resim 4.49. Deney sonrası S320t1 deney elemanı alt yüzü



Resim 4.69. Deney sonrası S320t1 deney elemanı üst yüzü



Şekil 4.25. S320t1 deney elemanı yük – deplasman ilişkisi

4.6.11. S320t2: Güçlendirilmiş kirişsiz döşeme

Boyutu; her iki yönde, kolon yüzünden itibaren, döşeme kalınlığının dört katı (4H), kalınlığı ise 2 mm olan delikli çelik levhalar ile güçlendirilmiş deney elemanıdır. Çelik levhaların, bulonlar vasıtasıyla deney elemanına bağlantısının yapılmasının ardından, bulonlara tork anahtarları ile 6 Nm ardgerme verilerek, güçlendirilen elemanın, zımbalama dayanımı üzerindeki etkileri araştırılmıştır.



Resim 4.70. S320t2 deney elemanı



Resim 4.71. S320t2 deney elemanı üst yüzü



Resim 4.72. S320t2 deney elemanı alt yüzü

Deney başladıktan sonra, kolon iz düşümünde ilk çatlak, 130 kN yük ve 22,5 mm deplasmanda olmuştur.

180 kN yükte, kolon dışındaki çatlaklar sınırlı durumda ve kolon izdüşümündeki çatlak genişliği 2,5 mm seviyelerinde iken, çelik levhalar çatlakların ilerlemesini engellemektedir.

235 kN yük ve 59 mm deplasmanda levhada herhangi bir yırtılma görülmemiştir.

245 kN yük ve 70 mm deplasmandan sonra yük düşmeye başlamıştır.

234 kN yük ve 82 mm deplasmanda, akma çizgilerinin alt yüzünde, en az iki köşede ezilme ve levhada yırtılma başlamıştır.

130 kN yük ve 120 mm deplasmanda levhalardaki yırtılma sınırlı kalmıştır. Maksimum yırtılma boyu 2 mm seviyelerindedir.



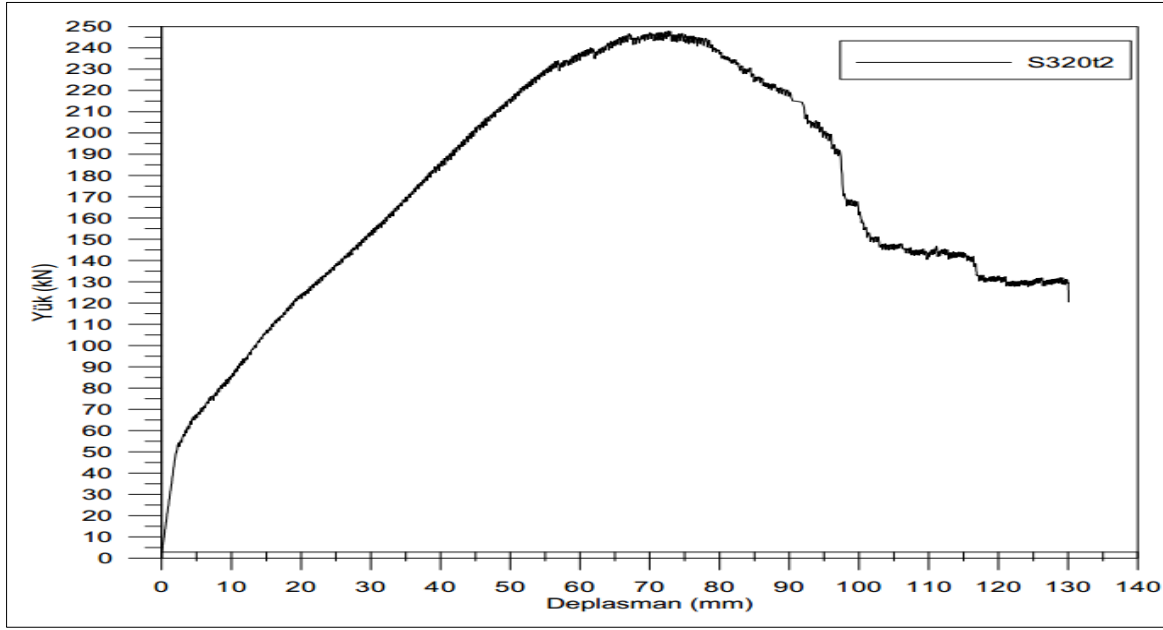
Resim 4.73. Deney sonrası S320t2 deney elemanı üst yüzü



Resim 4.74. Deney sonrası S320t2 deney elemanı alt yüzü



Resim 4.75. Deney sonrası S320t2 deney elemanı alt yüzü



Şekil 4.26. S320t2 deney elemanı yük – deplasman ilişkisi

4.6.12. S320t3: Güçlendirilmiş kirişsiz döşeme

Boyutu; her iki yönde, kolon yüzünden itibaren, döşeme kalınlığının üç katı (4H), kalınlığı ise 3 mm olan delikli çelik levhalar ile güçlendirilmiş deney elemanıdır. Çelik levhaların bulonlar vasıtasıyla, deney elemanına bağlantısının yapılmasının ardından, bulonlara tork anahtarları ile 6 Nm ardgerme verilerek, güçlendirilen elemanın, zımbalama dayanımı üzerindeki etkileri araştırılmıştır.



Resim 4.50. S320t3 deney elemanı



Resim 4.51. S320t3 deney elemanı üst yüzü



Resim 4.78 S320t3 deney elemanı üst yüzü



Resim 4.79. S320t3 deney elemanı alt yüzü

Deney başladıktan sonra, kolon iz düşümünde ilk çatlak, 80 kN yük ve 10 mm deplasmanda olmuştur.

150 kN yükte, kolon dışındaki çatlaklar sınırlı durumda ve kolon izdüşümündeki çatlak genişliği 3 mm seviyelerinde iken, çelik levhalar çatlakların ilerlemesini engellemektedir.

210 kN yük ve 52 mm deplasmanda, kolon izdüşüm bölgesinde donatılar gözükmemektedir. 220 kN yük ve 65 mm deplasman değerinden sonra yük düşmeye başlamıştır.

160 kN yük ve 75 mm deplasmanda, donatılar zımbalama davranışı olmadan gevrek olduğu için kopmaktadır.

140 kN yük ve 95 mm deplasman değerinde, donatı akmış ve kolon izdüşümünde beton ezilmiştir.

Bu elemanda, levhaların sargıladığı bölgede eğilme rijitliği oldukça arttığı için, iki farklı

rijitlik sergilenmektedir. Levhanın olduğu bölgedeki eğrilik yarıçapı, dış bölgelere göre çok daha fazla, adeta kesik koni şeklinde çalışmaktadır. Bunun davranışa çok olumlu etkisi vardır.

Deney sonuçları incelendiğinde, akma çizgilerini, levha kenarlarının belirlediği görülmüştür. Akma çizgileri, levha kenarlarını takip ederek ilerlemektedir, bu da deneyde varılmak istenen asıl hedeflerdendir. Zımbalamaya dair en ufak bir belirti görölmeden deney sonlandırılmıştır.



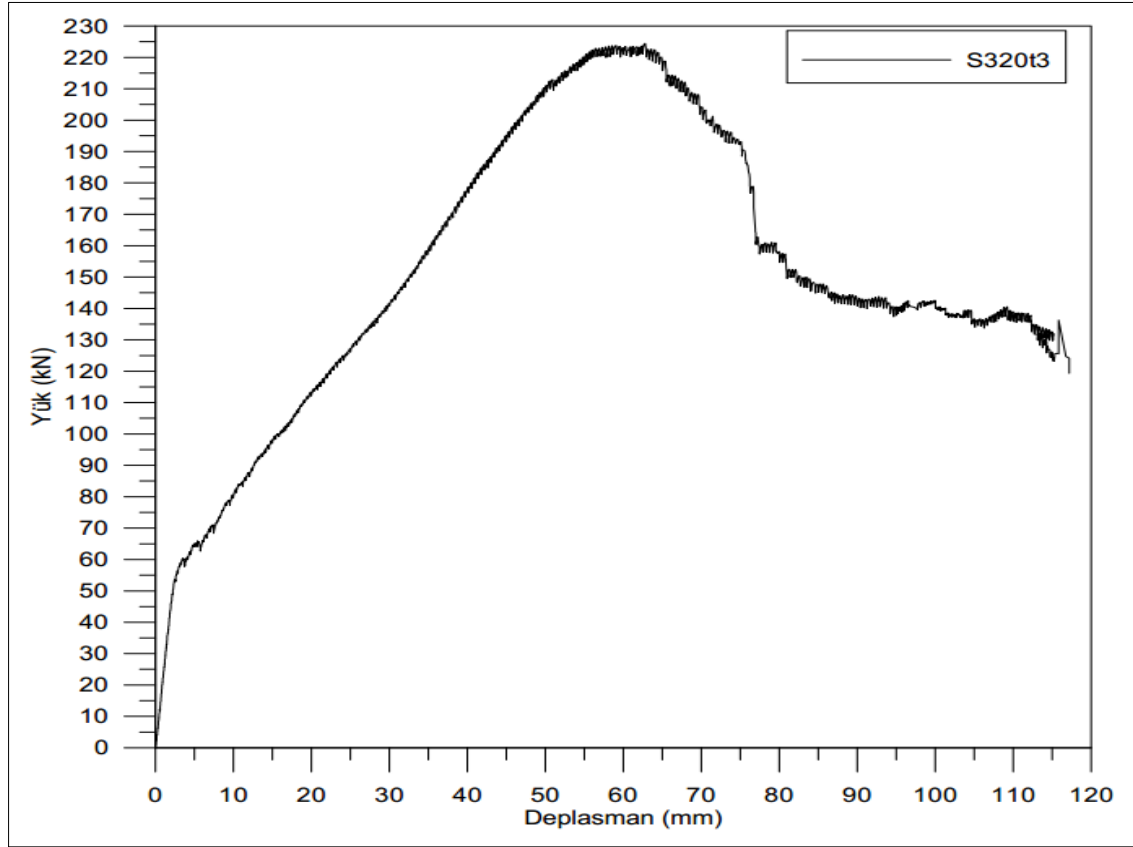
Resim 4.80. Levha sınırını takip eden akma çizgileri



Resim 4.52. Deney sonrası S320t3 deney elemanı alt yüzü



Resim 4.82. Deney sonrası S320t3 deney elemanı üst yüzü



Şekil 4.27. S320t3 deney elemanı yük – deplasman ilişkisi

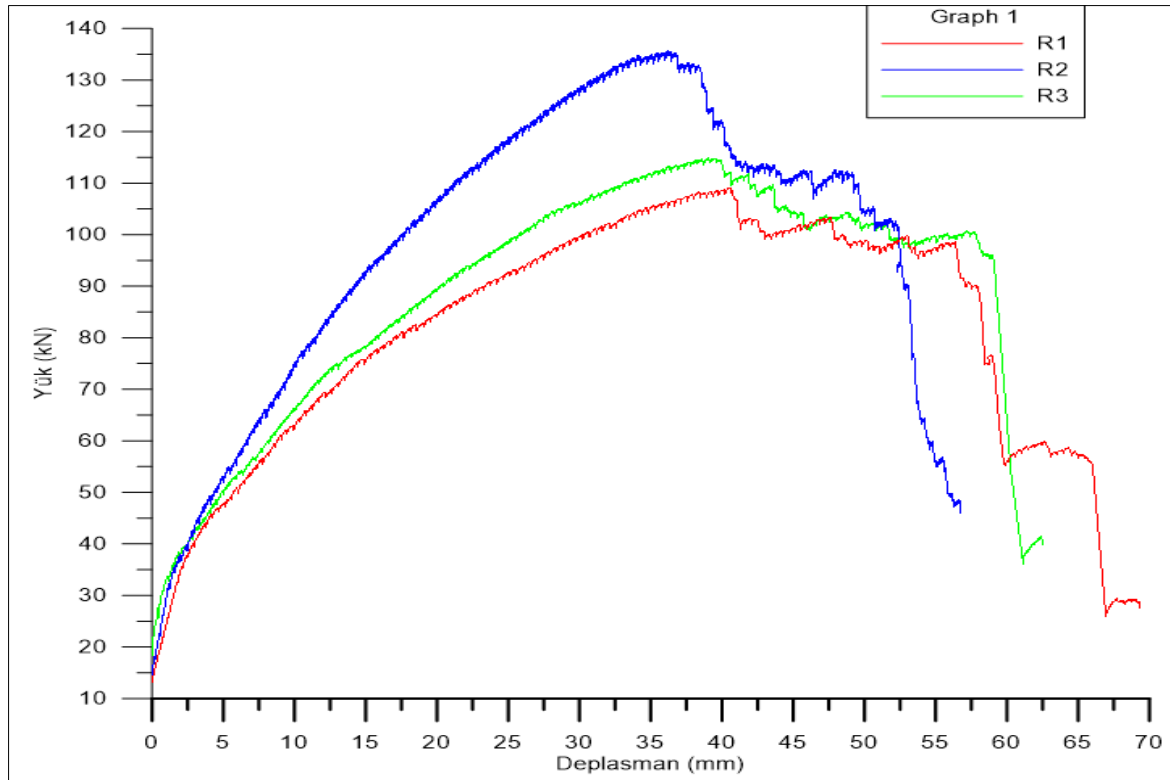
5. DENEY SONUÇLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ

5.1. Genel

Bu bölümde, deney çalışmaları sonucunda elde edilen veriler; dayanım, rijitlik, süneklik ve enerji tüketimi gibi yapının mekanik özellikleri ile zımbalama dayanımı bakımından değerlendirilmiştir.

Deney elemanları özellikleri belirlenirken, kullanılan parametrelere göre gruplandırılan ve bulunan sonuçlar, kendi içlerinde de ayrıca değerlendirilmiştir.

Güçlendirilmemiş referans deney elemanları, (R1, R2 ve R3) yük – deplasman ilişkisi bakımından birbirleri ile kıyaslanırken; beton dökümü, betonun yerleşmesi, kalıp ve donatı işçiliği vb. fiziksel şartlar da göz önüne alınmıştır. Tüm bunlar değerlendirildiğinde; güçlendirilen elemanların, güçlendirilmemiş referans elemanlara karşı; zımbalama dayanımı ve yapının mekanik özellikleri bakımından kıyaslanabilmesi için, R3 referans deney elemanı baz alınmıştır.



Şekil 5.1. R1-R2-R3 referans elemanları yük-deplasman grafiği

5.2. Dayanım

Plastik deformasyon oluşmadan, bir sistemde gelişebilecek en büyük gerilme, akma dayanımını ifade etmektedir.

Deney elemanlarının akma dayanımları, yük – deplasman grafiğinden, pratik bir yaklaşımla okunarak, deney sonuçları irdelenmiştir.

Çizelge 5.1.Deney elemanları deneysel akma ve maksimum yükleri-referans elemana oranı

Eleman	Levha Kalınlığı	Levha Boyutları	Levha Serbest Boyu	Py (deney)	Pu (deney)	Py/Py(R) (deney)	Pu/Pu(R) (deney)
	(mm)	(mm x mm)	(cm)	(kN)	(kN)	Oran	Oran
R3	YOK	YOK	YOK	75.3	114.8	1.00	1.00
S160t1	1	560 x 560	160	100.4	157.8	1.33	1.37
S240t1	1	720 x 720	240	82.5	166.7	1.10	1.45
S320t1	1	880 x 880	320	63.2	192.8	0.84	1.68
S160t2	2	560 x 560	160	87.8	192.7	1.17	1.68
S240t2	2	720 x 720	240	80.1	234.4	1.06	2.04
S320t2	2	880 x 880	320	58.8	247.9	0.78	2.16
S160t3	3	560 x 560	160	76.6	197.3	1.02	1.72
S240t3	3	720 x 720	240	71.7	216.7	0.95	1.89
S320t3	3	880 x 880	320	58.2	224.5	0.77	1.96

Çizelge 5.1’de görüldüğü üzere güçlendirilmiş elemanların maksimum yükleri referans elemana göre yaklaşık 1,5 ila 2,0 kat arasında arttığı gözlemlenmiştir.

Levha serbest boyu arttıkça, referans eleman baz alındığında, maksimum yükteki artış 1,2 katın üzerinde olduğu görülmüştür.

Referans eleman ile güçlendirilmiş elemanlar akma dayanımı bakımından kıyaslandığında, akma dayanımının güçlendirilmiş elemanlarda; levha kalınlığı ve levha serbest boyu arttıkça artması beklenirken, yük – deplasman grafiğindeki ilk akmanın olduğu noktaya kadar eğimlerin çok dik ve birbirine çok yakın olduğu görülmektedir. Deney sırasında ilk akmanın olduğu yerdeki çatlakların eğilme çatlakları olduğu düşünüldüğünde akma dayanımının güçlendirilen elemanlarda arttığı düşünülmektedir. Bunda deney elemanları hazırlanırken;

beton dökümü, betonun yerleşmesi, kalıp ve donatı işçiliği vb. fiziksel şartların da etkili olduğu göz önüne alınabilir.

Genel olarak bakıldığında, deney elemanlarının akma dayanımının referans elemanlarına kıyasla artacağı düşünülmektedir.

5.3. Rijitlik

Deney elemanlarının eğilme rijitliğinin hesaplanmasında, yük – deplasman grafiklerinin eğimleri kullanılmıştır.

Rijitlik değerleri, deney elemanlarının yük – deplasman grafiklerinde belirlenen, akma anındaki yük değerinin, deplasman değerine oranıdır. Bu da yük deplasman grafiğinin lineer kısmının eğimine karşılık gelmektedir. Deney elemanlarının yük – deplasman grafiklerinde ilk akmanın gerçekleştiği noktaya kadar eğimlerin çok dik ve birbirine yakın olduğu görülmektedir, bunun sebebi ilk akmanın gerçekleştiği yerdeki çatlağın eğilme çatlağı olmasıdır. Bundan sonra, çelik levhaların yük almaya başladığı düşünülmektedir. Dolayısıyla rijitlik değerleri belirlenirken, ilk akmanın gerçekleştiği noktadan sonraki yük değerinin, deplasman değerine oranına bakılmıştır.

Genel olarak referans deney elemanı ile güçlendirilmiş deney elemanları kıyaslandığında, tüm elemanlarda, referans elemanlara göre rijitlik oranlarının arttığı gözlemlenmiştir.

Levha kalınlığının aynı, levha serbest boyunun değişken olduğu durumda, levha serbest boyu arttıkça rijitliğin yaklaşık 1,1 ila 1,4 kat arasında arttığı gözlemlenmiştir.

Levha serbest boyu aynı, levha kalınlığı değişken olduğu taktirde, rijitliklerin; levha kalınlığı 1 mm olanlar ile 2 mm olanlar kıyaslandığında yaklaşık 1.15 ila 1.9 kat, levha kalınlığı 1mm olanlar ile 3 mm olanlar kıyaslandığında ise yaklaşık 1.6 ila 2.5 kat oranında arttığı gözlemlenmiştir.

Güçlendirilen elemanlarda levha serbest boyu aynı ve levha kalınlığı arttıkça; rijitliğin artması beklenirken, 2 mm ve 3 mm kalınlığındaki levhalardaki artış oranının birbirine yakın

olmasının, beton döküm işlemleri sırasındaki işçilik hatalarından ileri geldiği düşünülmektedir.

5.4. Süneklik

Süneklik, dayanımda önemli bir kayıp olmaksızın, elemanın deformasyon yapabilme yeteneğidir. Betonarme sistemleri oluşturan elemanların davranışları, sünek veya gevrek olabilmektedir, bilindiği üzere beton malzemesi gevrek, çelik malzemesi ise sünek bir davranış sergilemektedir.

Süneklik için aşağıdaki bağlantı kullanılmaktadır;

$$\mu_{\delta} = \delta_u / \delta_y \quad (5.1)$$

Burada;

μ_{δ} :Süneklik katsayısı

δ_y :İlk Akmanın meydana geldiği andaki deplasman

δ_u :Göçme konumundaki deplasman

Eurocode 8 yönetmeliği, Bölüm-1’de belirtildiği üzere; süneklik oranı, sisteme uygulanan yükün, en yüksek değerini aştıktan sonra, oluşan taşıma gücü değerinin %85’ine denk gelen sehim değerinin, akma anındaki sehim değerine oranı olarak tanımlanmıştır.

Çizelge 5.2.Deney elemanları süneklik oranları

Eleman	Levha Kalınlığı (mm)	Levha Boyutları (mm x mm)	Levha Serbest Boyu (cm)	Süneklik Ölçüsü $0.85\delta_u/\delta_y$	Oran
R3	YOK	YOK	YOK	3.98	1.00
S160t1	1	560 x 560	160	4.11	1.03
S240t1	1	720 x 720	240	-	-
S320t1	1	880 x 880	320	16.01	4.02
S160t2	2	560 x 560	160	6.58	1.65
S240t2	2	720 x 720	240	9.19	2.31
S320t2	2	880 x 880	320	27.68	6.95
S160t3	3	560 x 560	160	9.60	2.41
S240t3	3	720 x 720	240	8.10	2.04
S320t3	3	880 x 880	320	19.79	4.97

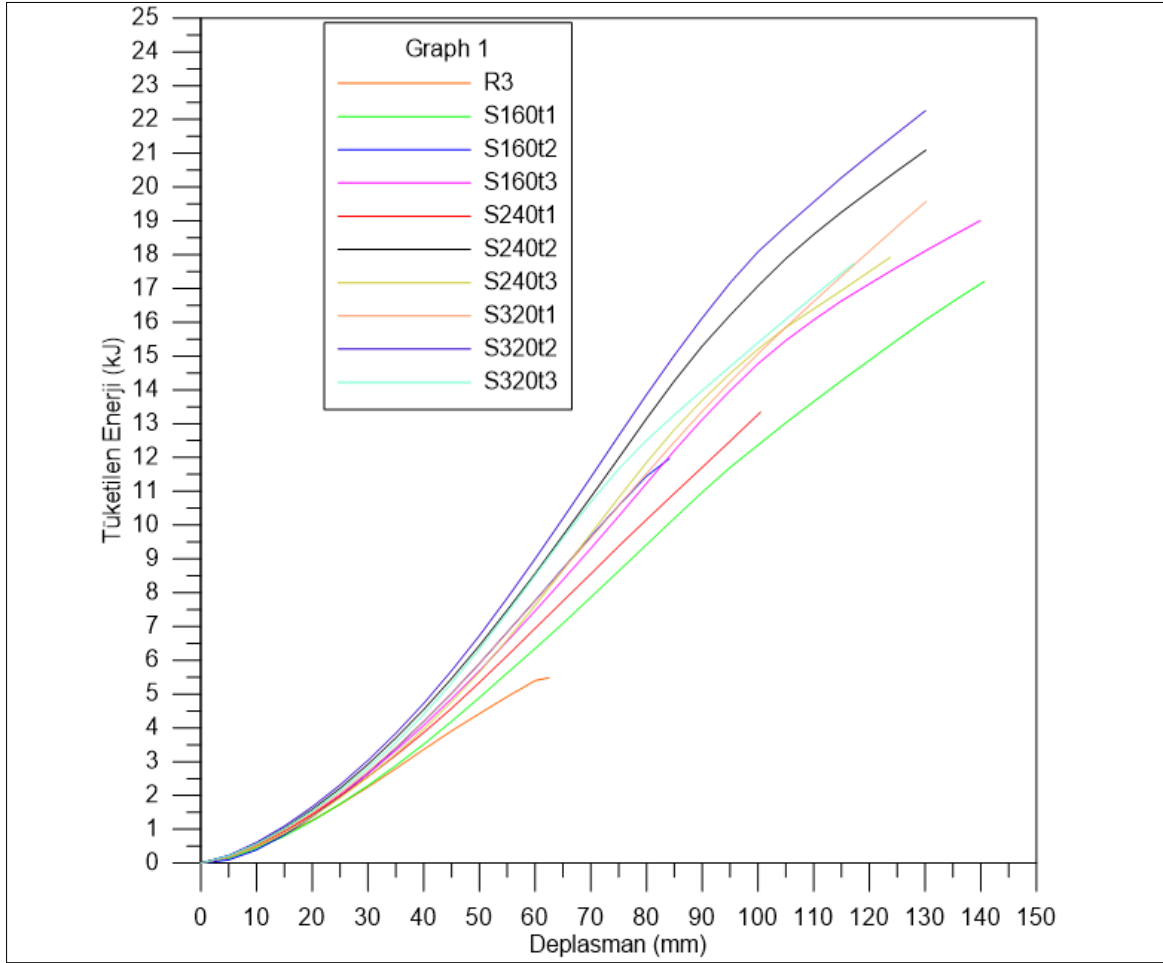
Genel olarak bakıldığında, deney elemanlarının süneklik oranını, referans elemanına kıyasla arttığı gözlemlenmiştir.

Referans elemanı ile güçlendirilmiş elemanlar, süneklik bakımından kıyaslandığında, levha kalınlığı ve levha serbest boyu arttıkça, arttığı gözlemlenmiştir. S240t1 elemanının yük – deplasman grafiği incelendiğinde, elemana uygulanan yükün maksimum değerini aştıktan sonra, %85 mertebelerine düşmediğinden süneklik oranı hesaplanamamıştır. Bunda deney elemanları hazırlanırken; beton dökümü, betonun yerleşmesi, kalıp ve donatı işçiliği vb. fiziksel şartların da etkili olduğu göz önüne alınabilir.

Güçlendirilen deney elemanlarının, referans elemanına göre süneklik davranışına olan etkisi; elemandaki çatlakların gelişimini sınırlandırmak, aynı zamanda sünekliğini artırmak olarak gözlemlenmiştir. Özellikle eksenel yük altındaki deney elemanlarının, ardgerme uygulanmış bulonların, çelik levhalar ile birlikte kullanılarak güçlendirilmesiyle, elemanda bir sargı etkisi oluşturduğu gözlemlenmiştir. Oluşan bu etki ile de sünekliğin arttığı gözlemlenmiştir.

5.5. Enerji Tüketimi

Betonarme bir sistem, dış yükler altında elastik bölgede kalıyorsa bu sistem dış yükler tarafından kendisine verilen enerjiyi geri iletebiliyor demektir. Bu tarz bir sistem üzerine gelen enerjinin bir kısmı deformasyon enerjisine dönüştürülerek tüketilmektedir. Dönüştürülen enerji, yük – deformasyon grafiğindeki plastik bölgenin uzunluğu ile genellikle doğru orantılıdır. Elastik bölge geçildikten sonra herhangi bir andaki sistemin toplam enerjisi, tüketilen enerji ile geri iletebilen enerjinin toplamına eşittir. Tüm bu açıklamalar ışığında deney elemanlarının toplam enerji kapasiteleri elemanlara ait yük – deplasman eğrisinin altında kalan alanlardan hesaplanmıştır.[11]



Şekil 5.2. Deney elemanları enerji-deplasman grafiği

Genel olarak bakıldığında, deney elemanlarının enerji tüketim miktarı, referans elemanına kıyasla arttığı gözlemlenmiştir.

Şekil 5.2 ve deney sonuçları incelendiğinde; 1 mm ve 2 mm kalınlığındaki levhalar kendi içlerinde sabit olup, levha boyutu arttıkça, tüketilen enerji artıyorken, 3 mm kalınlığındaki elemanlarda tüketilen enerji azalmaktadır. Levha boyutu sabit olduğunda, 2 mm kalınlığındaki levhanın enerji tüketimi, diğer levhalara göre daha iyi sonuç vermektedir.

5.6. Zımbalama Dayanımı

Deneyin asıl amacı, güçlendirilen elemanların zımbalama dayanımına karşı davranışındaki, iyileşme, zımbalama dayanımının yeterli oranda artıp artmadığının ve zımbalamanın gerçekleşip gerçekleşmediğinin araştırılmasıdır.

Levha kalınlığının 1 mm, levha serbest boyunun 160 mm ve 240 mm olduğu durumlarda, levha, zımbalama olayına karşı direnememekte iken, 320 mm boyundaki levhada bir nebze de olsa zımbalamaya karşı direnç göstermesine rağmen, zımbalama olayının, kolon – döşeme ara kesitinde gerçekleştiği gözlemlenmiştir.

Levha kalınlığının 2mm olduğu elemanlarda, levhalar elemanda akma çizgilerini belirlerken, çatlakların ilerlemesini engellemektedir. Zımbalama olayı tam olarak gerçekleşmese bile, levhalarda yırtılma ve beton elemanlarda ezilmeler gözlemlenmiştir.

Levha kalınlığının 3mm olduğu elemanlarda, levhalar elemanda akma çizgilerini tam olarak belirlerken, çatlakların ilerlemesini gerçek anlamda engellediği görülmektedir. Bu elemanlarda zımbalama olayı gerçekleşmemiştir.

S320t3 elemanında, levhaların sargıladığı bölgede, eğilme rijitliği oldukça arttığı için, iki farklı rijitlik sergilediği düşünülmektedir. Levhanın olduğu bölgedeki eğrilik yarıçapı, dış bölgelere göre çok daha fazla, adeta kesik koni şeklinde çalışmaktadır. Bunun davranışa çok olumlu etkisi vardır.

Deney sonuçları incelendiğinde, akma çizgilerini, levha kenarlarının belirlediği görülmüştür. Akma çizgileri, levha kenarlarını takip ederek ilerlemektedir, bu da deneyde varılmak istenen asıl hedeflerdendir. Zımbalamaya dair en ufak bir belirti görülmeden deney sonlandırılmıştır.

5.7. Deney Elemanları Arasında Karşılaştırma

5.7.1. Güçlendirilen serbest bölge uzunluğunun sabit olduğu, levha kalınlığının değişken olduğu deney elemanlarının karşılaştırılması; S160t1, S160t2, S160t3

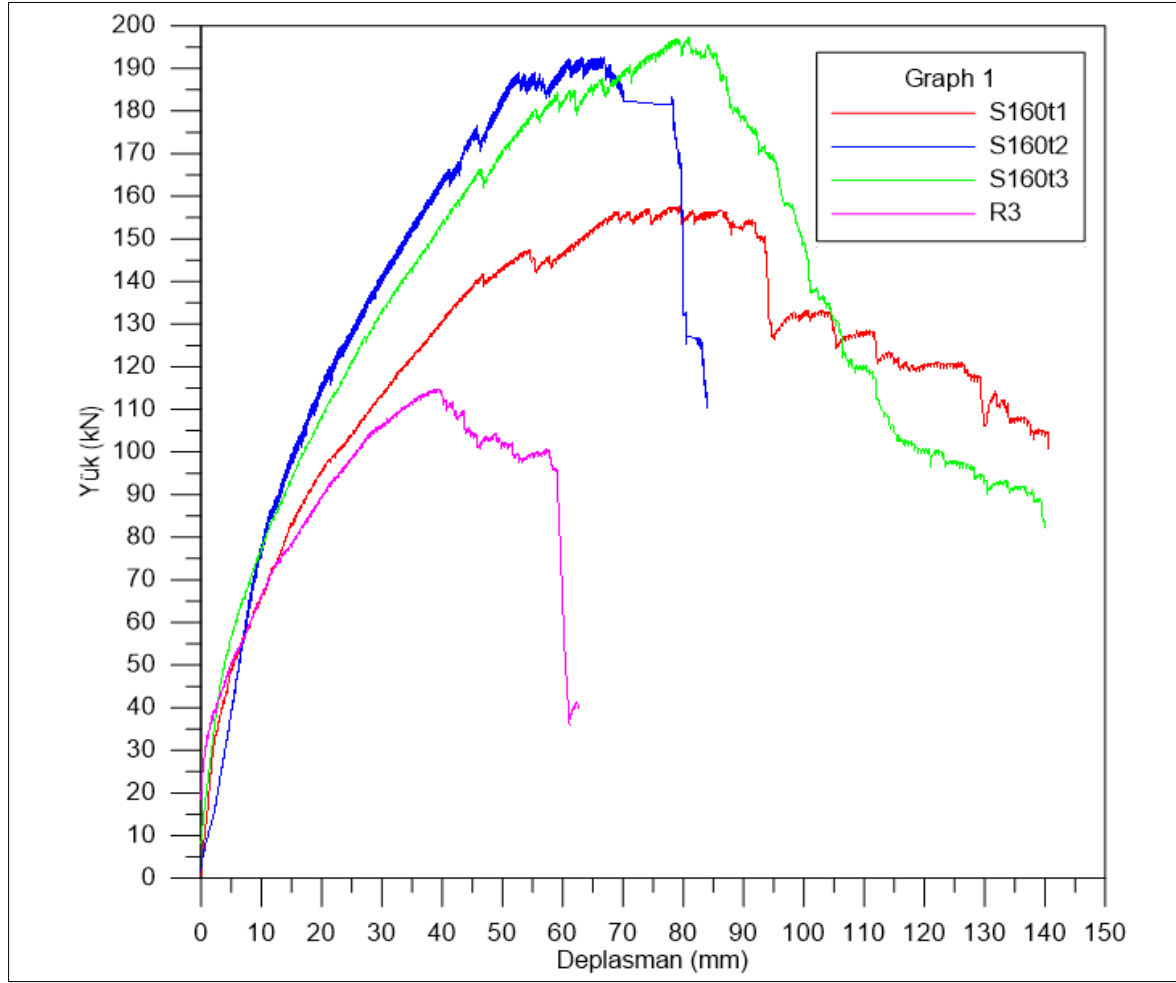
Karşılaştırılan deney elemanlarının özellikleri Çizelge 5.3’de verilmiştir.

Çizelge 5.3. Karşılaştırılan elemanların özellikleri

Eleman	Adı	Levha Kalınlığı	Levha Boyutları	Levha Serbest Boyu	Kolon Dışından Levha Dışına Mesafe
		(mm)	(mm x mm)	(cm)	H cinsinden (H=80mm)
S160t1	1.GÜÇLENDİRİLMİŞ DÖŞEME	1	560 x 560	160	2H
S160t2	4.GÜÇLENDİRİLMİŞ DÖŞEME	2	560 x 560	160	2H
S160t3	7.GÜÇLENDİRİLMİŞ DÖŞEME	3	560 x 560	160	2H

Şekil 5.3 incelendiğinde çelik levhanın kalınlığının 3 mm olarak kullanılması, diğer levha kalınlıklarına göre daha iyi sonuçlar vermiştir. Diğer levha kalınlıkları incelendiğinde yük uygulandığında, kolon yukarı doğru hareket etmeye çalışmış ve levhayı yırtarak zımbalama olayının gerçekleşmesine sebep olmuştur. 3 mm kalınlığındaki levha kullanıldığında ise zımbalama davranışına dair hiç bir belirti olmamıştır. Ayrıca deney elemanına ait levha sökölüp incelendiğinde, levhada kolon yüzlerine bakan kısımda hiç bir yırtılma ibaresi görülmemiştir.

3 mm kalınlığındaki levha kullanılması, akma dayanımları bakımından kendi aralarında kıyaslandığında yaklaşık % 10, referans elemanlarına göre kıyaslandığında ise yaklaşık % 30 daha yüksek olduğu görülmüştür.



Şekil 5.3.R1, R2, R3, S160t1, S160t2, S160t3 deney elemanları yük – deplasman ilişkileri

5.7.2. Güçlendirilen serbest bölge uzunluğunun sabit olduğu, levha kalınlığının değişken olduğu deney elemanlarının karşılaştırılması; S240t1, S240t2, S240t3

Karşılaştırılan deney elemanlarının özellikleri Çizelge 5.4’de verilmiştir.

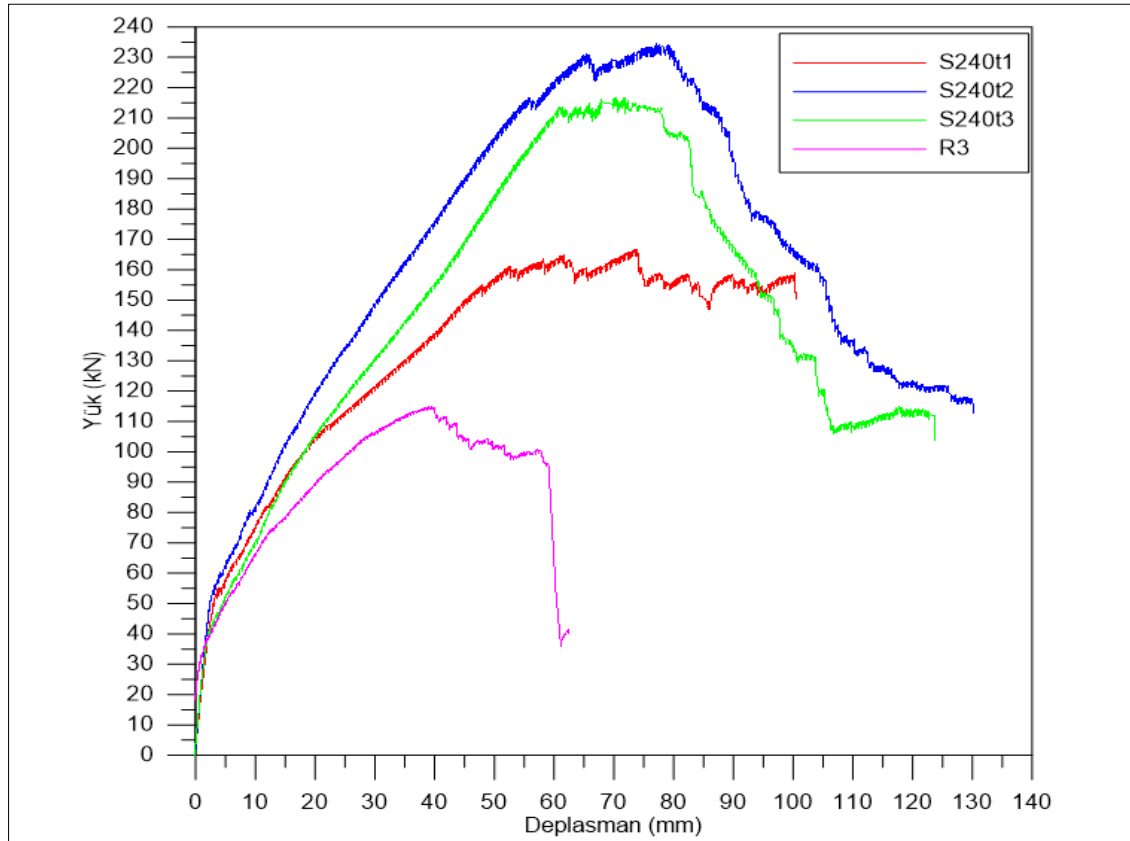
Çizelge 5.4. Karşılaştırılan elemanların özellikleri

Eleman	Adı	Levha Kalınlığı	Levha Boyutları	Levha Serbest Boyu	Kolon Dışından Levha Dışına Mesafe
		(mm)	(mm x mm)	(cm)	H cinsinden (H=80mm)
S240t1	2.GÜÇLENDİRİLMİŞ DÖŞEME	1	720 x 720	240	3H
S240t2	5.GÜÇLENDİRİLMİŞ DÖŞEME	2	720 x 720	240	3H
S240t3	8.GÜÇLENDİRİLMİŞ DÖŞEME	3	720 x 720	240	3H

Şekil 5.4 incelendiğinde, çelik levhanın kalınlığının 2 mm olarak kullanılması diğer levha kalınlıklarına göre daha iyi sonuçlar vermiştir. 1 mm kalınlığındaki levha incelendiğinde; yük uygulandığında, kolon yukarı doğru hareket etmeye çalışmış ve levhayı yırtarak zımbalama olayının gerçekleşmesine sebep olmuştur. 3 mm kalınlığındaki levha kullanıldığında ise zımbalama davranışına dair hiç bir belirti olmamıştır. Ayrıca deney elemanına ait levha sökölüp incelendiğinde; levhanın kolon yüzlerine bakan kısmında hiç bir yırtılma ibaresi görülmemiştir.

2 mm kalınlığındaki levha kullanılması akma dayanımları bakımından kendi aralarında kıyaslandığında % 20 - % 30, referans elemanlarına göre kıyaslandığında ise yaklaşık 2 katı kadar daha yüksek çıktığı gözlemlenmiştir.

Diğer levha serbest boylarının kendi içlerindeki kıyasları ve davranışları düşünüldüğünde, genellikle levha kalınlığının artmasının rijitlik, süneklik ve enerji tüketimi bakımından daha olumlu sonuçlar verdiği, diğer kalınlıktaki levhalara kıyasla, 2 mm kalınlığındaki levhanın sonuçlarının daha iyi çıkmasında, fiziksel şartların etkili olduğu düşünülmektedir.



Şekil 5.4. R1, R2, R3, S240t1, S240t2, S240t3 deney elemanları yük – deplasman ilişkileri

5.7.3. Güçlendirilen serbest bölge uzunluğunun sabit olduğu, levha kalınlığının değişken olduğu deney elemanlarının karşılaştırılması; S320t1, S320t2, S320t3

Karşılaştırılan deney elemanlarının özellikleri Çizelge 5.5’de verilmiştir.

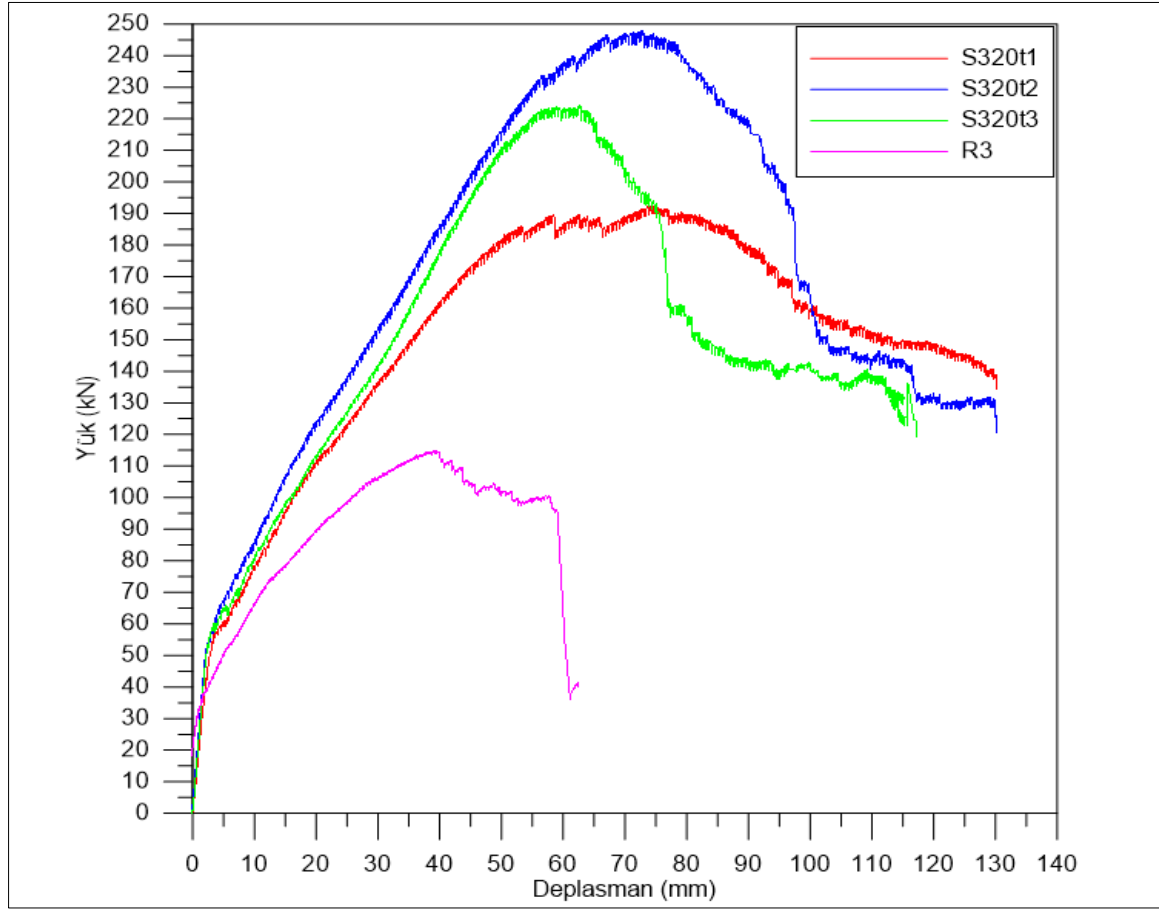
Çizelge 5.5. Karşılaştırılan elemanların özellikleri

Eleman	Adı	Levha Kalınlığı	Levha Boyutları	Levha Serbest Boyu	Kolon Dışından Levha Dışına Mesafe
		(mm)	(mm x mm)	(cm)	H cinsinden (H=80mm)
S320t1	3.GÜÇLENDİRİLMİŞ DÖŞEME	1	880 x 880	320	4H
S320t2	6.GÜÇLENDİRİLMİŞ DÖŞEME	2	880 x 880	320	4H
S320t3	9.GÜÇLENDİRİLMİŞ DÖŞEME	3	880 x 880	320	4H

Şekil 5.5 incelendiğinde, çelik levhanın kalınlığının 2 mm olarak kullanılması diğer levha kalınlıklarına göre daha iyi sonuçlar vermiştir. 1mm kalınlığındaki levha incelendiğinde; yük uygulandığında kolon yukarı doğru hareket etmeye çalışmış ve levhayı yırtarak zımbalama olayının gerçekleşmesine sebep olmuştur. 3 mm kalınlığındaki levha kullanıldığında ise zımbalama davranışına dair hiç bir belirti olmamıştır. Ayrıca deney elemanına ait levha sökölüp incelendiğinde, levhada kolon yüzlerine bakan kısımda hiç bir yırtılma ibaresi görülmemiştir.

2 mm kalınlığındaki levha kullanılması, akma dayanımları bakımından kendi aralarında kıyaslandığında; % 18 ila % 22, referans elemanlarına göre kıyaslandığında ise yaklaşık 2,0 katı kadar daha yüksek çıktığı gözlemlenmiştir.

Diğer levha serbest boylarının kendi içlerindeki kıyasları ve davranışları düşünüldüğünde genellikle levha kalınlığının artmasının rijitlik, süneklik ve enerji tüketimi bakımından daha olumlu sonuçlar verdiği, diğer kalınlıktaki levhalara kıyasla, 2 mm kalınlığındaki levhanın sonuçlarının daha iyi çıkmasında güçlendirilen bu deney elemanlarında, beton dökülmesi ve yerine yerleşmesi gibi fiziksel koşullardan kaynaklandığı düşünülmektedir.



Şekil 5.5. R1, R2, R3, S320t1, S320t2, S320t3 deney elemanları yük – deplasman ilişkileri

5.7.4. Güçlendirilen serbest bölge uzunluğunun değişken, levha kalınlığının sabit olduğu deney elemanlarının karşılaştırılması; S160t1, S240t1, S320t1

Karşılaştırılan deney elemanlarının özellikleri Çizelge 5.6’de verilmiştir.

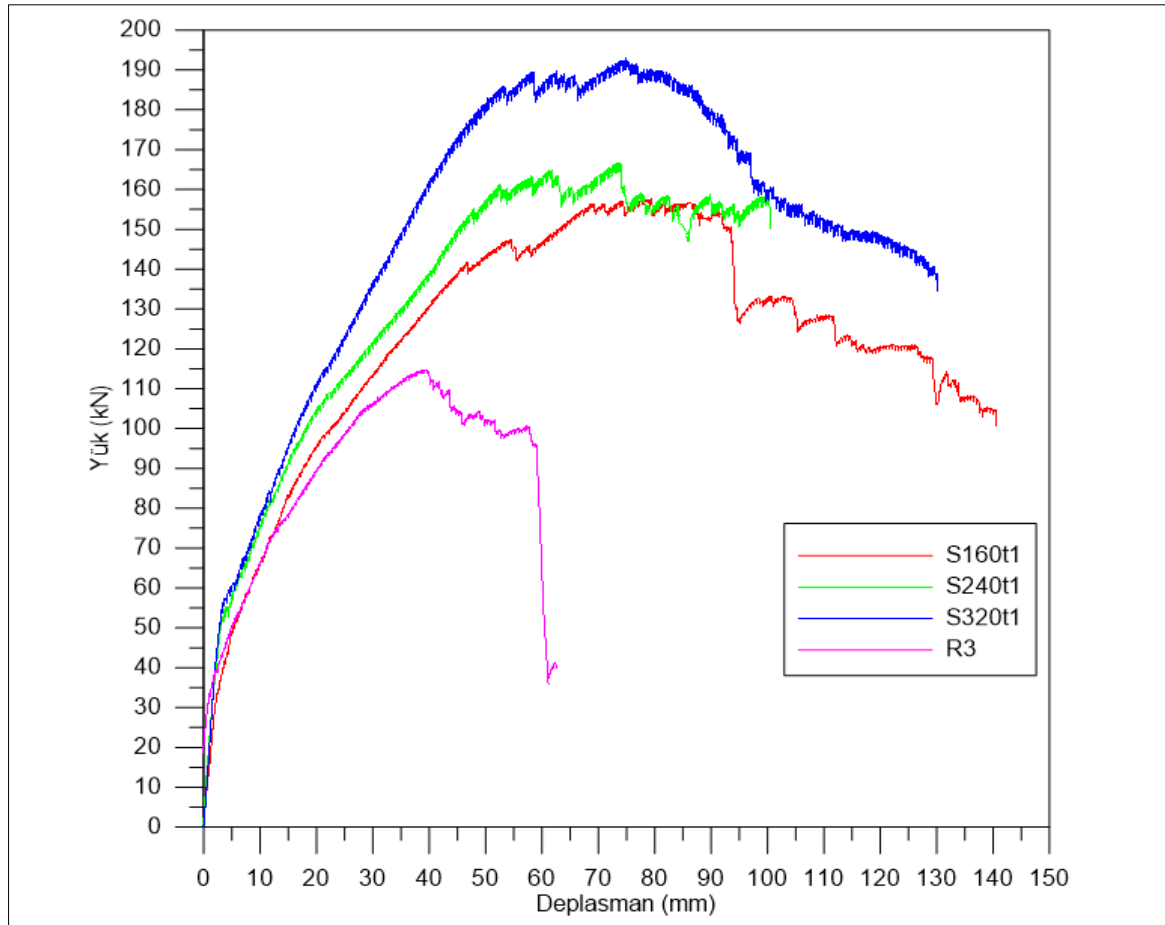
Çizelge 5.6. Karşılaştırılan elemanların özellikleri

Eleman	Adı	Levha Kalınlığı	Levha Boyutları	Levha Serbest Boyu	Kolon Dışından Levha Dışına Mesafe
		(mm)	(mm x mm)	(cm)	H cinsinden (H=80mm)
S160t1	1.GÜÇLENDİRİLMİŞ DÖŞEME	1	560 x 560	160	2H
S240t1	2.GÜÇLENDİRİLMİŞ DÖŞEME	1	720 x 720	240	3H
S320t1	3.GÜÇLENDİRİLMİŞ DÖŞEME	1	880 x 880	320	4H

Şekil 5.6 incelendiğinde, çelik levhanın serbest boyunun artmasının daha iyi sonuçlar verdiği görülmüştür. Bu levhalar deney sırasında incelendiğinde; yük uygulandığında kolon yukarı doğru hareket etmeye çalışmış ve levhayı yırtarak zımbalama olayının gerçekleşmesine sebep olmuştur. Buna rağmen referans elemanlara göre kıyas yapıldığında, elemanların yük taşıma kapasitelerinin arttığı görülmüştür.

Levha boyutu arttıkça elemanlar kendi aralarında kıyaslandığında akma dayanımları % 5 ila % 22 arasında, referans elemanlarına göre kıyaslandığında ise yaklaşık 1,5 katı kadar daha yüksek çıktığı gözlemlenmiştir.

Genel olarak, levha kalınlığının 1 mm olarak sabit tutulduğunda, levha serbest boyunun artmasıyla; dayanım, rijitlik, süneklik ve enerji tüketimi gibi sistemin mekanik özellikleri referans elemanlarına ve kendi içlerindeki kıyasa göre daha avantajlı sonuçlar verdiği görülmüştür.



Şekil 5.6. R1, R2, R3, S160t1, S240t1, S320t1 deney elemanları yük – deplasman ilişkileri

5.7.5. Güçlendirilen serbest bölge uzunluğunun değişken, levha kalınlığının sabit olduğu deney elemanlarının karşılaştırılması; S160t2, S240t2, S320t2

Karşılaştırılan deney elemanlarının özellikleri Çizelge 5.7’de verilmiştir.

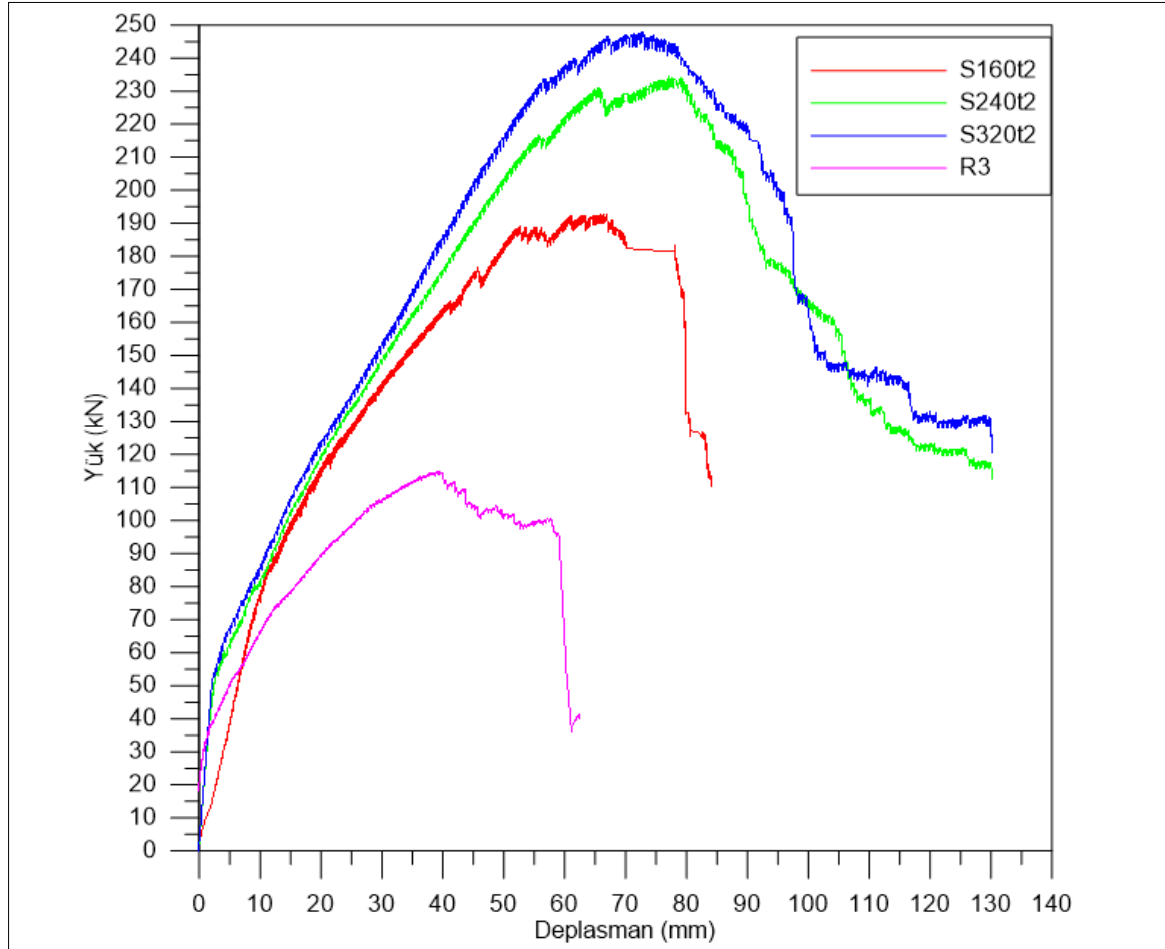
Çizelge 5.7. Karşılaştırılan elemanların özellikleri

Eleman	Adı	Levha Kalınlığı	Levha Boyutları	Levha Serbest Boyu	Kolon Dışından Levha Dışına Mesafe
		(mm)	(mm x mm)	(cm)	H cinsinden (H=80mm)
S160t2	4.GÜÇLENDİRİLMİŞ DÖŞEME	2	560 x 560	160	2H
S240t2	5.GÜÇLENDİRİLMİŞ DÖŞEME	2	720 x 720	240	3H
S320t2	6.GÜÇLENDİRİLMİŞ DÖŞEME	2	880 x 880	320	4H

Şekil 5.7 incelendiğinde, çelik levhanın serbest boyunun artmasının daha iyi sonuçlar verdiği görülmüştür. Bu levhalar deney sırasında incelendiğinde; yük uygulandığında kolon yukarı doğru hareket etmeye çalışmış ve levhayı yırtarak zımbalama olayının gerçekleşmesine sebep olmuştur. Buna rağmen referans elemanlara göre kıyas yapıldığında elemanların yük taşıma kapasitelerinin arttığı görülmüştür.

Levha boyutu arttıkça, elemanlar kendi aralarında kıyaslandığında, akma dayanımları % 21 ila % 29 arasında, referans elemanlarına göre kıyaslandığında ise yaklaşık 2,0 katı kadar daha yüksek çıktığı gözlemlenmiştir.

Genel olarak, levha kalınlığının 2 mm olarak sabit tutulduğunda, levha serbest boyunun artmasıyla dayanım, rijitlik, süneklik ve enerji tüketimi gibi sistemin mekanik özellikleri, referans elemanlarına ve kendi içlerindeki kıyasa göre daha avantajlı sonuçlar vermiştir.



Şekil 5.7. R1, R2, R3, S160t2, S240t2, S320t2 deney elemanları yük – deplasman ilişkileri

5.7.6. Güçlendirilen serbest bölge uzunluğunun değişken, levha kalınlığının sabit olduğu deney elemanlarının karşılaştırılması; S160t3, S240t3, S320t3

Karşılaştırılan deney elemanlarının özellikleri Çizelge 5.8’de verilmiştir.

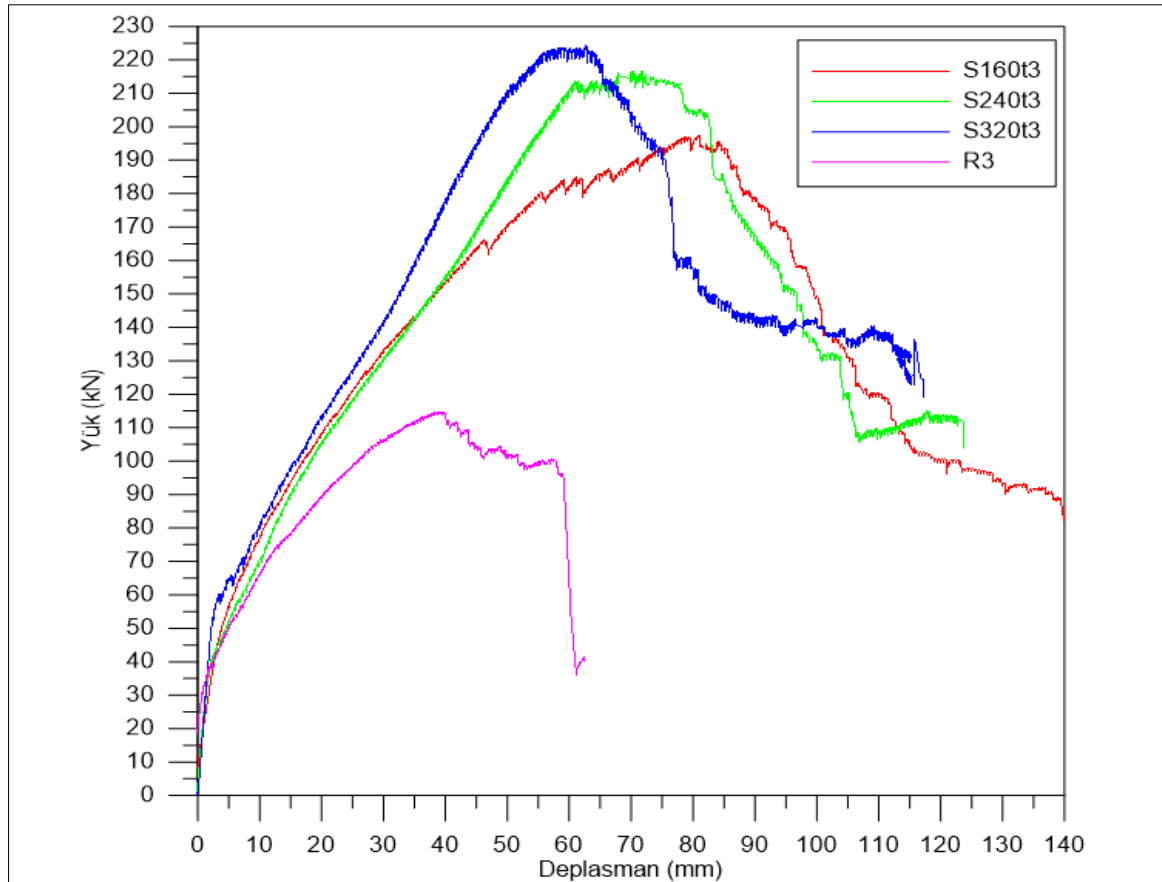
Çizelge 5.8. Karşılaştırılan elemanların özellikleri

Eleman	Adı	Levha Kalınlığı	Levha Boyutları	Levha Serbest Boyu	Kolon Dışından Levha Dışına Mesafe
		(mm)	(mm x mm)	(cm)	H cinsinden (H=80mm)
S160t3	7.GÜÇLENDİRİLMİŞ DÖŞEME	3	560 x 560	160	2H
S240t3	8.GÜÇLENDİRİLMİŞ DÖŞEME	3	720 x 720	240	3H
S320t3	9.GÜÇLENDİRİLMİŞ DÖŞEME	3	880 x 880	320	4H

Şekil 5.8 incelendiğinde, çelik levhanın serbest boyunun artmasının daha iyi sonuçlar verdiği görülmüştür. Bu levhalar deney sırasında incelendiğinde; yük uygulandığında kolon yukarı doğru hareket etmeye çalışmış ve levhayı yırtarak zımbalama olayının gerçekleşmesine sebep olmuştur. Buna rağmen referans elemanlara göre kıyas yapıldığında, elemanların yük taşıma kapasitelerinin arttığı görülmüştür.

Levha boyutu arttıkça elemanlar kendi aralarında kıyaslandığında akma dayanımları % 10 ila % 15 arasında, referans elemanlarına göre kıyaslandığında ise yaklaşık 2,0 katı kadar daha yüksek çıktığı gözlemlenmiştir.

Genel olarak, levha kalınlığının 3 mm olarak sabit tutulduğunda, levha serbest boyunun artmasıyla dayanım, rijitlik, süneklik ve enerji tüketimi gibi sistemin mekanik özellikleri referans elemanlarına ve kendi içlerindeki kıyasa göre daha avantajlı sonuçlar verdiği görülmüştür.



Şekil 5.8. R1, R2, R3, S160t3, S240t3, S320t3 deney elemanları yük – deplasman ilişkileri

6. SONUÇ VE ÖNERİLER

Çelik levhalar, öngerme kabloları ve bulonlar ile güçlendirme, betonarme kirişsiz döşemelerin zımbalamaya karşı güçlendirilmesinde kullanılan yöntemler arasındadır. Ancak bugüne kadar yapılan deneysel ve analitik çalışmalarda çelik levhalar ve bulonlar genelde bir bütün olarak kullanılmamış, sadece bulonların döşeme elemanından sıyrılmasını engellemek adına, parçasal olarak uygulanarak ardgerme yapılmıştır. Öngerme kabloları ise, güçlendirmeye yönelik değil, zımbalama sonrası göçme davranışını sınırlandırmak için kullanılmıştır. Yapılan çalışmalarda, genellikle hedeflenen dayanımlara ulaşılabildiği, ancak önemli süneklik, yük taşıma ve yük aktarım davranışlarında problemler olduğu görülmüştür. Kirişsiz döşemelerin bu davranışlarını sünekleştirmek, yük taşıma kapasitelerini arttırmak ve zımbalama davranışını engellemek amacıyla, yükün, ardgerme işlemiş uygulanan bulonlar ve çelik plakalar vasıtasıyla dağılması sağlanarak, daha sünek bir sistem oluşturulmaya çalışılmış ve oldukça başarılı sonuçlar elde edilmiştir.

Çelik levhaların, bulonlar vasıtasıyla döşemeye sabitlenmesinin ardından, bulonlara ardgerme işlemi uygulanmıştır. Güçlendirilmiş kirişsiz döşemelerin, zımbalamaya karşı davranışlarının incelenmesi amacıyla üçü referans, dokuz adedi de kendi içinde levha kalınlığı ve levha serbest boyu değişken olmak üzere, üçer gruba ayrılmak üzere, toplam 12 adet betonarme kirişsiz döşeme elemanı tasarlanmıştır. Bunlar, tekdüze yükler altında, teste tabi tutulmuş ve buna bağlı olarak deney sonuçları irdelenmiştir. Ancak bu sonuçların laboratuvar şartlarındaki sınırlı sayıda deneyden elde edildiği göz ardı edilmemelidir.

Güçlendirilmiş kirişsiz döşemelerin, referans elemanlarla ve kendi içlerinde karşılaştırılması ile aşağıdaki sonuçlara ulaşılmıştır;

1. Referans elemanlarda, deney sırasında; döşeme merkezinden başlayarak, döşeme kenarlarına doğru radyal çatlaklar, yük arttığında ise zımbalama dayanımına yakın değerlerde teğet çatlaklar oluşmuştur. Bu çatlakların, döşeme kesitinde ilerlemesiyle de zımbalama olayı gerçekleşmiştir.

2. Güçlendirilmiş deney elemanlarında, bulonlara verilen ardgerme kuvveti ile çelik levha ve betonarme döşeme birleşim yüzeyleri arasında, basınç kuvveti oluşturulması

amaçlanmıştır. Böylece birleşim yüzeyleri arasında oluşan basınç gerilmeleri ve oluşturduğu sürtünme kuvvetleriyle, çelik levhalar ile betonarme döşeme arasındaki yük geçişi, kayma ve ezilme mekanizmalarından çok, sürtünme ile sağlanarak, birleşime önemli miktarda yük taşıma kapasitesi kazandırması amaçlandığından, ardgerme işlemi uygulanmamış deney elemanlarına gerek görülmemiştir.

3. Çelik levhalar ile betonarme eleman arasındaki, yük geçişi ile sürtünme kuvvetlerinde dayanıma katkı sağlayacağı düşünülerek, levhalar parçasal değil, bir bütün olarak kullanılmıştır.

4. Güçlendirilen elemanların, referans elemanlara kıyasla, süneklik, rijitlik ve dayanım değerlerinde sırasıyla, yaklaşık olarak; %3 ila %695, %10 ila %100 ve %37 ila %204 arasında değişen oranlarla katkı sağladığı görülmüştür.

5. Güçlendirmede kullanılan levhaların kalınlığının sabit tutulduğunda, kolon yüzünden itibaren, boyutunun artması durumunda, referans elemanlara kıyasla; süneklik, rijitlik ve dayanım değerlerinin arttığı gözlenmiştir.

6. Güçlendirmede kullanılan levha kalınlığının değişken, kolon yüzünden itibaren, boyutunun sabit tutulduğunda, referans elemanlara kıyasla; süneklik, rijitlik ve dayanım değerleri artmaktadır. Rijitlik değerleri; güçlendirilen elemanların kendi içlerinde kıyaslandığında, ortalama %25, referans elemanlarla kıyaslandığında, ortalama %95 oranında artış gösterdiği görülmektedir.

7. Güçlendirmede kullanılan, 1 mm kalınlığındaki levhaların serbest boyunun artmasının iyi sonuçlar verdiği, ancak zımbalama davranışının önüne geçemeyerek, sadece bu olayı geciktirdiği görülmüştür. 2 mm kalınlığındaki levhalarda ise, zımbalama olayı tam olarak gerçekleşmemiş olup, kolonun yukarı yönlü hareketi söz konusu iken, 3 mm kalınlığındaki levhalarda ise zımbalama olayına dair en ufak bir belirti yoktur.

8. Güçlendirmede kullanılan levhalar, deney sonrasında incelendiğinde; 1 mm kalınlığındaki levhalarda, yırtıklar gözle görünür şekilde olup, zımbalama olayına engel olamadığı, 2mm kalınlığındaki levhaların köşelerinde yırtıklar ve levha yüzeyinde deformelerin olduğu, zımbalama olayı tam olarak gerçekleşmese de, elemanın orta noktasında, yaklaşık 1,5 cm dolaylarında yukarı yönlü hareketin olduğu, 3 mm

kalınlığındaki levhalarda ise herhangi bir yırtığın söz konusu olmadığı ve zımbalama olayının da levhalar tarafından tam anlamıyla engellendiği gözlenmiştir.

9. Güçlendirilen elemanlar ile referans elemanlar, radyal çatlak ile zımbalama dayanımına yakın zamanda oluşan teğet çatlaklar bakımından karşılaştırıldığında; levhaların, elemanda akma çizgilerini belirlediği görülmüştür, bu da güçlendirmede parçasal değilde, bir bütün halinde levha kullanılmasının, daha avantajlı sonuçlar verdiğini göstermektedir.

10. Güçlendirilen elemanlarda, levha kalınlığı ve boyutu arttıkça, akma çizgilerinin sınırlarının, levhalar tarafından belirlendiği net olarak gözükmemektedir.

11. Kirişsiz döşemelerin zımbalamaya karşı güçlendirilmesinde, çelik levhaların kullanılmasının, mimari açıdan sistemi herhangi bir sıkıntıya sokmayacağı ve güçlendirilen bölgenin daha sonra, sıva ve kaplama ile rahatlıkla kapatılabileceği gözlenmiştir.

12. Betonarme yapılarda, zımbalamaya karşı yapılan güçlendirme yöntemlerine baktığımızda, genellikle kolon ile döşemenin birleştiği bölgede kolon kesitlerinin değiştiği görülmektedir. Bu değişimde görsel olarak, yapıda zaman zaman sıkıntı yaratabilmektedir. Burada kullanılan yöntem ile kolon kesitini değiştirmek yerine, döşemede kullanılan incecik bir plakanın üzerinin, sıva ile kapatılabileceği düşünülürse çok daha iyi bir çözüm olabileceği düşünülmektedir.

13. Betonarme yapılarda, zımbalamaya karşı yapılan güçlendirme yöntemlerinden biri de, döşeme kalınlığının arttırılması olarak düşünülürse, o zamanda burada kullanılan levha maliyetinin beton maliyeti yanında çok önemsiz kalacağı aşıkardır. Bu durum dikkate alındığında, bu deneysel çalışmada kullanılan yöntemin, maliyet açısından daha uygun olacağı düşünülmektedir.

14. Bu çalışma sonucunda, zımbalamaya karşı güçlendirme için önerilen yöntem; hem zımbalama dayanımı açısından yetersizliği anlaşılan kirişsiz döşemeleri güçlendirmek için, hem de yeni yapılacak yapılarda zımbalama dayanımını arttırmak için kullanılabileceği açıkça görülmektedir.

KAYNAKLAR

1. Atımtay, E. (2001). *Betonarme Sistemlerin Tasarımı*. (Genişletilmiş İkinci Baskı). Ankara; ODTÜ Yayınevi, 801.
2. Elmalı, İ. (2006). *Betonarme Kirişsiz Döşemelerin Çözüm Yöntemleri*, Yüksek Lisans Tezi, Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Balıkesir, 1- 4.
3. Doğangün, A. (2009). *Betonarme Yapıların Hesap ve Tasarımı*. (Beşinci Baskı). İstanbul; Birsan Yayınevi, 267-269.
4. Ezer, İ. (2010). *Kirişsiz döşemelerde farklı zımbalama donatılarının deneysel olarak incelenmesi*, Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya, 1-5.
5. Celep, Z., Kumbasar, N. (2001). *Betonarme Yapılar*. (Üçüncü Baskı). İstanbul; Beta Dağıtım, 354-363
6. Aktaş, H., (1991) *Betonarme kirişsiz döşemelerde zımbalama dayanımı*, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 1-5.
7. Hazem, M. F. E., Allam, S. M. (2015, October). Punching strengthening of two-way slabs using external steel plates. *Alexandria Engineering Journal*, 1207-1218.
8. Erdoğan, H. (2010). *Improvement of punching strength of flat plates by using carbon fiber reinforced polymer (CFRP) Dowels*, Yüksek Lisans Tezi, Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Konya, 186-189.
9. Soudki, K., El-Sayed, A. K., Vanzwol, T. (2011, August). Strengthening of concrete slab-column connection using CFRP strips. *Journal of King Saud University-Engineering Sciences*, 24(1), 25-33.
10. Faria, D. M. V., Lucio, V. J. G., Ramos, P. R. (2012). Strengthening of flat slabs-with transverse reinforcement by introduction of steel bolts using different anchorage approaches. *Engineering Structures*, 33(6), 2025-2043.
11. Askar, H. S. (2015). Usage of prestressed vertical bolts for retrofitting flat slabs damaged due to punching shear. *Alexandria Engineering Journal*, 54(3), 509-518.
12. Inacio, M. G., Ramos, A. P. and Faria, D. M. V. (2011, December). Strengthening of flat slabs with transverse reinforcement by introduction of steel bolts using different anchorage approaches. *Engineering Structures*, 44(1), 63-77.
13. Adatepe, H., Güneş, T. (2012). Cıvatalı bağlantılarda emniyetli tork değerinin teorik ve deneysel olarak belirlenmesi. *TMMOB MMO Mühendis ve Makina Dergisi*, 53(633), 43-5

14. Kaltakçı, M. Y., Arslan, M. H., Yılmaz, Ü. S. (2005). *Malzeme Sünekliliğinin Sistem Sünekliliğine Olan Etkisi Üzerine Bir Çalışma*. Deprem Sempozyumunda sunuldu, Kocaeli.
15. Commission of the European Communities (1998). Eurocode 8: Design of structures for earthquake resistance-part-1: General rules seismic actions and rules for building. prEN 1998-1 draft, Belçika, 85-89.
16. Özbek, E. (2008). *T-kesitli betonarme kirişlerin kesme-eğilmeye karşı güçlendirilmesi*, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara 4-54.

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Soyadı, adı : SOLAK, Okan
Uyruğu : T.C.
Doğum tarihi ve yeri : 09.05.1987, Keçiören
Medeni hali : Evli
Telefon : 0 (532) 348 42 82
e-mail : okannsolakk@gmail.com



Eğitim

Derece	Eğitim Birimi	Mezuniyet Tarih
Yüksek Lisans	Gazi Üniversitesi / İnşaat Mühendisliği	Devam ediyor
Lisans	Kırıkkale Üniversitesi / İnşaat Mühendisliği	2009
Lise	Fatih Sultan Mehmet Lisesi	2005

İş Deneyimi

Yıl	Yer	Görev
2012-Halen	PROYAPI Mühendislik Müşavirlik A.Ş.	Bölüm Yöneticisi
2009-2012	Eser Proje ve Mühendislik A.Ş.	Proje Mühendisi

Yabancı Dil

İngilizce

Yayın

-

Hobiler

Seyahat, Yüzme, Köprü Mühendisliği



GAZİ GELECEKTİR..