

**T.C.
MANİSA CELAL BAYAR ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
YAPI BİLİM DALI**

**KOMPOZİT DONATILARIN DÖŞEME DAVRANIŞINA ETKİSİNİN
ARAŞTIRILMASI**

Alper KARADIŞ

**Danışman
Doç. Dr. Ali DEMİR**



MANİSA-Kasım 2020

TEZ ONAYI

Alper KARADIŞ tarafından hazırlanan "**Kompozit Donatıların Döşeme Davranışına Etkisinin Araştırılması**" adlı tez çalışması 04/11/2020 tarihinde aşağıdaki jüri üyeleri önünde Manisa Celal Bayar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü **İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı**'nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak başarı ile savunulmuştur.

Danışman

Doç. Dr. Ali DEMİR
Manisa Celal Bayar Üniversitesi

Jüri Üyesi

Dr. Öğr. Üyesi Halil NOHUTÇU
Manisa Celal Bayar Üniversitesi

Jüri Üyesi

Doç. Dr. Emre ERCAN
Ege Üniversitesi

TAAHHÜTNAME

Bu tezin Manisa Celal Bayar Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü'nde, akademik ve etik kurallara uygun olarak yazıldığını ve kullanılan tüm literatür bilgilerinin referans gösterilerek tezde yer aldığını beyan ederim.

Alper KARADIŞ



TEZ ONAYI

Alper KARADIŞ tarafından hazırlanan "**Kompozit Donatıların Döşeme Davranışına Etkisinin Araştırılması**"adlı tez çalışması 04/11/2020 tarihinde aşağıdaki jüri üyeleri önünde Manisa Celal Bayar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü **İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı**'nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak başarı ile savunulmuştur.

Danışman

Doç. Dr. Ali DEMİR
Manisa Celal Bayar Üniversitesi

Jüri Üyesi

Dr. Öğr. Üyesi Halil NOHUTÇU
Manisa Celal Bayar Üniversitesi

Jüri Üyesi

Doç. Dr. Emre ERCAN
Ege Üniversitesi

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
İÇİNDEKİLER.....	I
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ.....	II
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	III
TABLolar DİZİNİ.....	V
TEŞEKKÜR.....	VI
ÖZET.....	VII
ABSTRACT.....	VIII
1. GİRİŞ.....	1
1.1. Genel.....	1
1.2. Tezin Amacı.....	4
1.3. Literatür Özetleri.....	4
2. GFRP DONATILARININ ÜRETİMİ.....	9
3. DÖŞEMELERİN ÜRETİLMESİ.....	12
3.1. SS-1, SS-2, GFRPS-1 ve GFRPS-2 Döşemelerinin Üretilmesi.....	12
3.2. GFRPS-F Döşemesinin Üretimi.....	13
3.2.1. GFRP Çubuklarının Bağlanması.....	13
3.2.2. Kalıp Montajı ve GFRP Çubuklarının Yerleştirilmesi.....	14
3.2.3. GFRPS-F Döşemesi Betonunun Üretimi.....	15
3.2.4. Polipropilen Liflerin Özellikleri.....	15
3.2.5. Döşemenin Hazırlanması.....	17
3.2.6. Döşemenin Kürlenmesi.....	20
4. DENEYSEL ÇALIŞMA.....	21
4.1. Malzeme Testleri.....	21
4.2. Döşemelerin Geometrik Özellikleri.....	21
4.3. Yükleme.....	22
4.4. Bulgular.....	23
5. SONLU ELEMANLAR ANALİZLERİ.....	26
5.1. Döşemeler İçin Filtrelenmiş Sonuçların Bulunması.....	26
5.2. SS Döşemesi İçin Yapılan Abaqus Modeli.....	30
5.3. SS Döşemesi İçin Sonlu Elemanlar Analiz Sonuçları.....	33
5.4. GFRPS Döşemesi İçin Yapılan Abaqus Modeli.....	35
5.5. GFRPS Döşemesi İçin Sonlu Elemanlar Analiz Sonuçları.....	39
5.6. GFRPS-F Döşemesi İçin Yapılan Abaqus Modeli.....	41
5.7. GFRPS-F Döşemesi İçin Sonlu Elemanlar Analiz Sonuçları.....	44
5.8. Deneysel ve Sonlu Elemanlar Analiz Sonuçlarının Karşılaştırması.....	48
6. SONUÇ VE ÖNERİLER.....	50
KAYNAKLAR.....	52
ÖZGEÇMİŞ.....	54

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

ACI	American Concrete Institute
AFRP	Aramid Fiber Reinforced Polymer
CFRP	Carbon Fiber Reinforced Polymer
CSA S806-12	Canadian Standards Association
FEA	Finite Element Analysis
FRC	Fiber Reinforced Concrete
FRP	Fiberglass Reinforced Polymer
GFRP	Glass Fiber Reinforced Polymer
GFRPS	Glass Fiber Reinforced Polymer Slab
LVDT	Linear Variable Displacement Transducer
NLFEA	Nonlinear Finite Element Analysis
SS	Steel Slab

ŞEKİLLER DİZİNİ

	Sayfa
Şekil 1.1. Pultrüzyon metodunun prosesi.....	1
Şekil 2.1. Fitol sehpaları	9
Şekil 2.2. Fitillerin kalıba girişi.....	9
Şekil 2.3. Donatıların üretimi	10
Şekil 2.4. Kullanıma hazırlanmış donatılar	10
Şekil 3.1. Üretilen SS-1, SS-2, GFRPS-1 ve GFRPS-2 döşemeleri.....	12
Şekil 3.2. Üretilen GFRPS-F döşemesi.....	13
Şekil 3.3. GFRP çubukları.....	13
Şekil 3.4. Kalıp montajı	14
Şekil 3.5. Kalıba membran malzemenin yerleştirilmesi	14
Şekil 3.6. Döşeme betonu karışımının hazırlanması.....	17
Şekil 3.7. Polipropilen lif katkısına su ilave edilip karıştırılması.....	17
Şekil 3.8. Polipropilen liflerin beton karışımına eklenmesi.....	18
Şekil 3.9. Döşeme betonu karışımının kalıba aktarılması.....	18
Şekil 3.10. Döşeme betonunun kalıba aktarılması.....	19
Şekil 3.11. Beton vibratörü yardımıyla betonun yerleştirilmesi.....	19
Şekil 3.12. Döşeme betonu kalıbının tokmaklanması.....	20
Şekil 3.13. Döşemenin kürlenmesi	20
Şekil 4.1. GFRP donatıların (a,b,c) gerilme testleri	21
Şekil 4.2. GFRP donatıların gerilme-şekil değiştirme diyagramı	21
Şekil 4.3. Döşemelerin geometrik özellikleri ve donatı detayı	22
Şekil 4.4. Yükleme öncesi SS-1(a) ve SS-2(b) döşemeleri.....	22
Şekil 4.5. Yükleme öncesi GFRPS-1(a), GFRPS-2(b) ve GFRPS-F(c) döşemeleri	23
Şekil 4.6. Döşemelerin yük-deplasman grafikleri	23
Şekil 4.7. Testler sırasında ortaya çıkan eğilme çatlakları.....	24
Şekil 4.8. Testler sonrası GFRPS döşemeleri için (a,b,c) hasar durumları	25
Şekil 4.9. Testler sonrası SS döşemeleri için (a,b) hasar durumları	25
Şekil 5.1. Seçilen yön (U3)	27
Şekil 5.2. Seçilen reaksiyon kuvveti (RF3).....	27
Şekil 5.3. Sol ve sağ yöndeki reaksiyon kuvveti dataları.....	28
Şekil 5.4. Data girişi ekran görüntüsü.....	28
Şekil 5.5. XY datalarının girişi ekran görüntüsü.....	29
Şekil 5.6. SS döşemesi için örnek 0.3 filtrelenmiş sonucun bulunması	29
Şekil 5.7. SS döşemesi için atanan kesitler	30
Şekil 5.8. SS döşemesi için modellenen mesnetler.....	31
Şekil 5.9. Donatıların modellenmesi.....	31
Şekil 5.10. Donatı yarıçapının girişi	32
Şekil 5.11. Döşemenin mesh görüntüsü.....	33
Şekil 5.12. SS döşemesi için Abaqus sonlu elemanlar çözümü yük-deplasman grafik sonuçları	33
Şekil 5.13. SS döşemesi için farklı filtrelenmiş yük(kN) – zaman(s) grafikleri	34
Şekil 5.14. SS döşemesi deneysel sonuçlarla Abaqus modellemesi karşılaştırması.....	35
Şekil 5.15. GFRPS döşemesi için GFRP'nin Elastisite modülü ve Poisson oranı veri girişi.....	36
Şekil 5.16. GFRPS döşemesi için atanan kesitler.....	37

Şekil 5.17. GFRPS döşemesi için modellenen mesnetler	37
Şekil 5.18. Donatıların modellenmesi.....	38
Şekil 5.19. Donatı yarıçapının girişi	38
Şekil 5.20. Döşemenin mesh görüntüsü.....	39
Şekil 5.21. GFRPS döşemesi için sonlu elemanlar çözümü yük-deplasman grafik sonuçları.....	40
Şekil 5.22. GFRPS döşemesi deneysel sonuçlarla Abaqus modellemesi karşılaştırması.....	40
Şekil 5.23. GFRPS-F döşemesi için GFRP'nin Elastisite modülü ve Poisson oranı veri girişi.....	41
Şekil 5.24. GFRPS-F döşemesi için atanan kesitler	42
Şekil 5.25. GFRPS-F döşemesi için modellenen mesnetler.....	42
Şekil 5.26. Donatıların modellenmesi.....	43
Şekil 5.27. Donatı yarıçapının girişi	43
Şekil 5.28. Döşemenin mesh görüntüsü.....	44
Şekil 5.29. GFRPS-F döşemesi için sonlu elemanlar çözümü yük-deplasman grafik sonuçları	45
Şekil 5.30. GFRPS-F döşemesi için farklı filtrelenmiş yük(kN) - zaman(s) grafikleri	46
Şekil 5.31. GFRPS-F döşemesi deneysel sonuçlarla Abaqus modellemesi karşılaştırması.....	46
Şekil 5.32. Yükleme altında döşemede oluşan gerilmeler	47
Şekil 5.33. Döşemelerde oluşan deplasmanlar	47
Şekil 5.34. Abaqus sonuçlarının karşılaştırması.....	48
Şekil 5.35. Deneysel sonuçlarla Abaqus sonuçlarının karşılaştırması.....	49

TABLolar DİZİNİ

	Sayfa
Tablo 1.1. GFRP çubuklarının mekanik özellikleri.....	8
Tablo 2.1. GFRP donatılarının avantajları ve dezavantajları.....	11
Tablo 2.2. Donatı metrajı	11
Tablo 3.1. Döşeme betonu karışım oranları	15
Tablo 4.1. Döşeme deneyleri.....	24
Tablo 5.1. Malzeme nitelikleri	26
Tablo 5.2. Döşemeler için girilen diğer parametreler	26



TEŞEKKÜR

Çalıőmamın her aşamasında bana destek olan, bilgi ve deneyimleri ile yol gösteren danışman hocam Sayın Doç. Dr. Ali DEMİR' e, bilgi ve tecrübeleri ile lisansüstü öğrenim hayatımın tüm zorlu aőamalarında maddi manevi her yönden yardımcı olan, tecrübeleri ile beni aydınlatan ve desteğini hiç eksik etmeyen, kendisini tanımaktan büyük onur duyduğum sevgili hocam Sayın Öğr. Gör. Kabil ÇETİN'e, yüksek lisans eğitimim sırasında desteği konusunda her türlü imkan ve desteği veren Sayın Arő. Gör. Taha Yasin ALTIOK'a, öğrenim hayatım boyunca beni maddi ve manevi olarak destekleyen ve hep yanımda olan aileme yürekten teşekkür ederim.

Alper KARADIŞ
Manisa, 2020

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

KOMPOZİT DONATILARIN DÖŞEME DAVRANIŞINA ETKİSİNİN ARAŞTIRILMASI

Alper KARADIŞ

Manisa Celal Bayar Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Doç. Dr. Ali DEMİR

Cam elyaf takviyeli polimer (GFRP) kompozitler, son yıllarda inşaat mühendisliği uygulamalarında sıklıkla kullanılmaktadır. Cam elyaf lifi, epoksi reçinesi ve hızlandırıcı kullanılarak üretilen GFRP kompozitler, yüksek mukavemet, hafiflik ve korozyona karşı dayanıklılık gibi önemli avantajlara sahiptir. Ancak GFRP kompozitler çelik çubuklara göre daha gevreklerdir. Bu çalışmanın amacı, farklı çekme donatılarına sahip döşemelerin davranışlarını deneysel ve numerik olarak araştırmak ve elde edilen sonuçları karşılaştırmaktır. Manisa Celal Bayar Üniversitesi yapı teknolojileri laboratuvarında 5 adet döşeme üretilmiştir. SS-1 ve SS-2 adı verilen 2 adet döşeme geleneksel çelik donatıya sahiptir. GFRPS-1 ve GFRPS-2 olarak adlandırılan 2 döşeme sadece GFRP kompozitlerine sahiptir. GFRPS-F adı verilen 1 döşeme, hem GFRP kompozitlerine hem de polipropilen liflere sahiptir. Polipropilen lifler taze karışıma hacimce % 0.5 oranında eklenmiştir. Döşemelerin boyutları 2000x1200x120 mm'dir. Döşemelerin basınç dayanımı yaklaşık 20 MPa'dır. Tüm çekme çubukları 8 mm çapında ve 150 mm aralıktadır. Tüm döşemeler göçmeye kadar monotonik artan yayılı yüklemeye maruz kalmıştır. Testlerin sonucunda, GFRPS-1 ve GFRPS-2, SS-1 ve SS-2' den daha fazla yük taşımış ancak SS-1 ve SS-2 daha sünek davranış sergilemiştir. GFRPS döşemelerinin çatlakları, SS döşemelerinden daha fazla ve daha geniştir. Polipropilen lifler betonun çekme gerilmeleri altında davranışına önemli ölçüde katkıda bulunmuş ve GFRPS-F döşemesi diğer döşemelerden daha iyi süneklik ve enerji tüketimi sergilemiştir. GFRPS-F çatlaklarının sayısı diğer döşemelerden daha azdır. GFRPS-F' nin elasto-plastik davranış sergilediği ve yüklemeye kaldırıldığında hemen hemen başlangıç pozisyonuna geri döndüğü görülmüştür. Son olarak, GFRP kompozit donatılarının saha betonlarında, beton yollarda, prefabrik panel duvarlarda ve döşemelerde güvenle kullanılabileceği söylenebilir.

Anahtar Kelimeler: GFRP Kompozitler, Çelik Donatı, Polipropilen Lifler, Döşeme, Sonlu Elemanlar Analizi, Doğrusal Olmayan Analiz

2020, 66 sayfa

ABSTRACT

M.Sc. Thesis

INVESTIGATION OF THE EFFECT OF COMPOSITE BARS ON SLAB BEHAVIOR

Alper KARADIŞ

**Manisa Celal Bayar University
Graduate School of Applied and Natural Sciences
Department of Civil Engineering**

Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Ali DEMİR

Glass fiber reinforced polymer (GFRP) composites are frequently used in civil engineering applications in recent years. GFRP composites which produced by using glass fiber, epoxy resin and accelerometer have significant advantages such as high strength, lightness and resistant against corrosion. However, GFRP composites are more brittle than steel bars. The aim of this study is to experimentally and numerically investigate the behavior of slabs with different tensile reinforcements and compare the results. 5 slabs are produced in Manisa Celal Bayar University laboratory. 2 slabs called as SS-1 and SS-2 have traditional steel reinforcements. 2 slabs called as GFRPS-1 and GFRPS-2 have only GFRP composites. 1 slabs called as GFRPS-F has both GFRP composites and polypropylene fibers. Polypropylene fibers are added in fresh mixture as 0.5% in volume. Dimensions of slabs are 2000x1200x120 mm. Compressive strength of slabs is about 20 MPa. All tensile bars are 8 mm in diameter and 150 mm in spacing. All slabs are subjected to monotonic increase distributed loading until collapse. As a results of tests, GFRPS-1 and GFRPS-2 have carried higher load than SS-1 and SS-2, but SS-1 and SS-2 have exhibited better ductility than GFRPS-1 and GFRPS-2. Cracks of GFRPS slabs are more and larger than that of SS slabs. Polypropylene fibers have significantly contributed tensile behavior of concrete and GFRPS-F slab has exhibited better ductility and energy dissipation than that of other slabs. Number of cracks of GFRPS-F are fewer than that of other slabs. As a result of the experiments, it was observed that GFRPS-F exhibits elasto-plastic behavior and almost returns to its starting position when the loading was removed. Finally, it can be said that GFRP composite bars can be safely used in field concretes, concrete roads, prefabricated panel walls and slabs.

Keywords: GFRP composites, Steel Reinforcement, Polypropylene Fiber, Slab, Finite Element Analysis, Non-linear Analysis

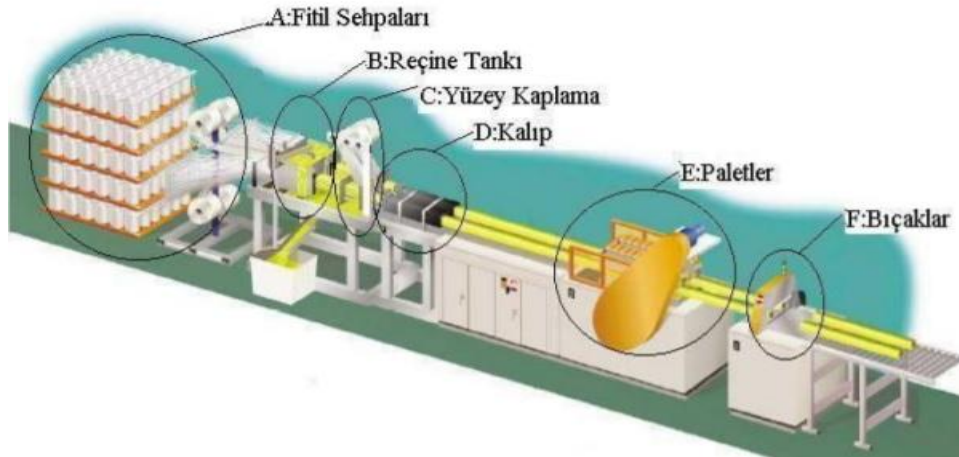
2020, 66 pages

1. GİRİŞ

1.1 Genel

Kompozit donatılar son yıllarda inşaat mühendisliği uygulamalarında yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu tip donatıların en büyük avantajlarından birisi korozyona uğramamasıdır. Korozyon, beton yapıların dayanıklılığını büyük ölçüde azaltır. Çelik çubukların fiber takviyeli polimer (FRP) çubuklarla değiştirilmesi, çelik korozyonunu önlemek için etkili bir yöntemdir [1-3]. FRP kompozitler taşıyıcı sistemler olan döşeme, kiriş, kolon ve temelde güvenle kullanılabilirler. Ayrıca eski yapıların restorasyonunda ve güçlendirme işlerinde kullanılmaktadır. İnşaat mühendisliğindeki FRP uygulamalarında cam lifler, aramit lifler, karbon lifler olarak üç tür lif kullanımı tercih edilmektedir. Lifler hepsinin bir arada karışımı olarak da kullanılabilir.

Cam fiber takviyeli polimer (GFRP) kullanımı yüksek mukavemeti ve çeliğe göre oldukça hafif olması nedeniyle tercih edilmektedir. Üretiminde cam elyafı, epoksi reçine ve hızlandırıcı gibi malzemelerin ısı ile işlenmesiyle üretimi gerçekleştirilmektedir. Pultrüzyon metodu olarak adlandırılan bu metod ile çubuk donatıların, profillerin örnek olarak Şekil 1.1 de gösterildiği gibi bir işlem ile seri üretimi sağlanmaktadır [4]. Pultrüzyon metodu; karbon, aramid ve cam elyaf gibi çeşitli elyaflar ile dokuma ve keçelerin bir reçine banyosundan geçirilerek kalıp içinde ısı altında şekillendirilmesidir [10].



Şekil 1.1 Pultrüzyon metodunun süreci

GFRP kompozitlerinin avantajlarından bir tanesi de çeliğe göre daha ucuz olmasıdır. Bu tez çalışmasında kullanılan GFRP kompozitler çelik donatıya kıyasla %10 daha ucuz, 2-3 kat daha dayanıklı, 10 kat daha hafif ve korozyona uğramamaktadır.

GFRP kompozitlerinin uygulama alanlarından bahsetmek gerekirse; Avrupa, Amerika Birleşik Devletleri ve Rusya'da inşaat, otomotiv, savunma sanayi ve uzay endüstrisi gibi alanlarda yaygın olarak kullanılmaktadır. Ayrıca liman yapılarında, metro hatlarında ve yer döşemelerinde yüksek servis ömrü sebebiyle tercih edilmektedir. FRP'ler çelik levhalar gibi korozyondan etkilenmezler, bu da uzun servis ömrüne olanak tanır veya malzeme bakımı gerekliliğini sınırlandırır.

İnşaat mühendisliği uygulamalarından olan güçlendirmede çelik donatılar ile birlikte GFRP kompozitleri kullanımı da mevcuttur. Cam fiber takviyeli polimerler hafif ve uygulaması çok kolay bir malzeme olduğu için alternatif güçlendirme tekniklerinin arasında gösterilir [5]. Yapılarda döşemelerin güçlendirilmesi için GFRP donatıların kullanılması uygun bir çözüm olacaktır. GFRP donatılar döşemenin kısa ve uzun doğrultusunda uygulanabilir. Döşemelerin tek yönlü kısa doğrultuda daha fazla zorlandığı düşünüldüğünde sadece bu doğrultuda GFRP kullanımı tercih edilebilir.

Dünyanın her yerinde betonarme ve yığma yapılar inşa edilmektedir. Bununla birlikte, bu yapıların kullanımındaki değişiklikler, yük değişimleri, tasarımındaki değişiklikler, kullanılan yapı malzemesi veya doğal felaketler nedeniyle zarar gören güvensiz yapıların güvenli bir şekilde kullanılması için bu yapıların onarılması ve güçlendirilmesi büyük bir sektördür. Yapılardaki deprem hasarları incelendiğinde, boyutlandırmada belirgin bir şekilde dikkate alınmayan korozyonun yapıların deprem hareketinden hasar görmesini önemli ölçüde arttırdığı gözlenmiştir [6]. Bir yapının dayanım, rijitlik, süneklik eksikliği nedeniyle güçlendirme veya iyileştirme gerektireceği birçok durum vardır.

FRP malzemesi, son yıllarda inşaat sektöründe yapıların iyileştirilmesi ve güçlendirilmesi için giderek artan bir şekilde kullanılan bir kompozit malzeme türüdür. Bunun nedeni, FRP kompozitlerin güçlü, dayanıklı, hafif, yüksek korozyon

direncinin ve uygulama özelliklerinin kolay olmasıdır. Yüksek mukavemet ve rijitlik oranlarına sahip olmaları, FRP uygulaması, çelik donatılar ile karşılaştırıldığında FRP ağırlığının daha düşük olduğu anlamına gelir. Bu düşük ağırlık taşıma maliyetlerini azaltır, dar alanlarda bile kurulumu önemli ölçüde kolaylaştırır ve iskele ihtiyacını ortadan kaldırır. Düşük ağırlık aynı zamanda FRP'lerin yapıdaki ölü yükü sadece küçük bir miktar arttırdığı anlamına gelir. Bu, güçlendirmenin yapıya daha fazla yararlı olmasını sağlar. Ayrıca FRP'lere, önemli ek ağırlıkların göçmeye neden olabileceği durumlarda bir onarım seçeneği sunar. Güçlendirme için kullanılan kompozit malzemelerin kullanımı kolaydır.

FRP malzeme seçimiyle ilgili olarak, diğer kompozitlere göre üstün özellikleri göz önüne alındığında, karbon lif takviyeli polimerlerin beton yapıların güçlendirilmesi için en yüksek potansiyeli sunduğuna inanılmaktadır. CFRP-(Karbon Lif Takviyeli Polimer) kompozitleri GFRP-(Cam Lif Takviyeli Polimer) kompozitlere göre daha üstün özelliklere sahiptir, ancak GFRP kompozitler daha ucuzdur.

GFRP, cam elyaf ile takviye edilerek fiziksel mukavemet değerleri artırılmış doymamış polyesterden oluşan kompozit bir malzemedir. GFRP ahşap, beton, metal, cam v.b gibi bir üretim malzemesi olup, kullanım amacına uygun değişik özelliklerin kolayca kazandırılabilmesi özelliği ile diğer üretim malzemelerine göre üstünlük gösterir [5]. Cam elyaflarının diğer elyaflara kıyasla daha çok kullanım alanı bulabilmesinin bir sebebi de değişik ihtiyaçlara cevap verebilecek çok sayıda çeşitlerinin bulunmasıdır.

Beton yapı üretiminde en sık kullanılan malzemelerden birisidir. Betonun en önemli dezavantajlarından birisi olan elastisite modülü oldukça düşüktür. Betonun gevrek bir malzeme olmasından dolayı betonun özelliklerini geliştirebilmek amacıyla birçok çalışma yapılmıştır. Betona ilave edilen farklı türdeki lifler ile elde edilen "Lif Takviyeli Beton" lar yapılan bu çalışmalardan biridir. Lif takviyeli beton; hidrolik çimento, agrega ve süreksiz dağılmış liflerin suyla karıştırılmasıyla elde edilen kompozit bir malzeme olarak tanımlanabilir [7].

Günümüzde lifli beton üretiminde çelik, polimer ve polipropilen lifler yaygın olarak kullanılmaktadır. Beton içerisinde lif kullanımı, betonun çatlak gelişimine karşı dirençli olmasını ve süneklik özelliğinin artmasını sağlar. Betonun; dayanım ve enerji yutma kapasitesi özelliklerini geliştirir. Burada dikkat edilmesi gereken nokta, betonlara katılan polipropilen liflerin belli bir oranda eklenmesi gerekliliğidir. Polipropilen liflerin yüksek kullanımı, betonun işlenebilirliğini azalttığı için, düşük yüzdelerde kullanılması tavsiye edilir. Karışımdaki hacim yüzde 0,5 e yaklaştığında hava sürükleyici ve su azaltıcı katkıları eklenmesi gerekir [8,9].

1.2 Tezin Amacı

Bu tez çalışması kapsamında, GFRP kompozitleri kullanılarak hazırlanmış GFRPS-1 ve GFRPS-2 olarak isimlendirilen 2 adet döşeme, B420C çeliği kullanılarak hazırlanmış SS-1 ve SS-2 olarak isimlendirilen 2 adet döşeme, GFRP kompozitlerine ek olarak betonun içerisine %0.5 oranında eklenmiş polipropilen lifler kullanılarak üretilmiş GFRPS-F olarak isimlendirilen 1 adet döşemenin üretimi gerçekleştirilmiştir. 2. Bölümde GFRP donatılarının üretilmesi ve mekanik özellikleri anlatılmıştır. 3. Bölümde döşemelerin üretimi anlatılmıştır. 4. Bölümde deneysel çalışma anlatılmış olup döşemelerin hangi şartlarda üretildiği ve deneylerin nasıl yapıldığı hakkında bilgiler verilmiştir. 5. Bölümde hem deneysel şekilde hem de ABAQUS programında bilgisayar modellemesi şeklinde elde edilen deney sonuçlarının karşılaştırması yapılmıştır. Deneysel kısımda silindirik mesnetler üzerinde eğilme deneyleri yapılmış olup döşeme davranışına etkisi araştırılmıştır. ABAQUS programında GFRPS, SS ve GFRPS-F döşemeleri için ayrı ayrı modellenmiştir ve karşılaştırmalı analizleri yapılmıştır.

1.3 Literatür Özetleri

Bu bölümde, kompozit malzemelerle ve hesaplamalarla ilgili teoriler ve yayımlar sunulmuştur. Literatürdeki benzer çalışmalara atıfta bulunulmuştur.

Abdalla (2002) eğilmeye maruz FRP (Fiberglass Reinforced Polymer) donatılı beton elemanların sehimlerinin tahminine ilişkin bazı yaklaşımlar geliştirmiştir. Bu yaklaşımlarla yapılan tahminler GFRP (Glass Fiber Reinforced

Polymer) ve CFRP (Carbon Fiber Reinforced Polymer) donatılar kullanılarak üretilen kiriş elemanların deney sonuçları ile karşılaştırılmıştır. Önerilen analitik yöntemin, literatürde mevcut olan çelik, GFRP ve CFRP donatılarla üretilen 8 betonarme döşemenin deney sonuçlarıyla da uyumlu olduğu gözlenmiştir. Çalışmanın sonunda, deneysel ve teorik sonuçların birbiriyle uyumlu olduğu sonucuna varılmıştır.[11]

Polat (2019) çalışmasında, GFRP (Cam Fiber Lif Katkılı Polimer) donatıların betonarme kirişlerde kullanılarak yüksek sıcaklık etkileri altındaki eğilme davranışlarını incelemiştir. Bu amaçla GFRP donatı ile üretilen kirişler ve malzeme olarak deneysel çalışmada yüksek sıcaklıkların GFRP donatılı ve çelik etriyeli betonarme kirişlere etkileri incelenmek amacıyla laboratuvar ortamında yüksek sıcaklık sağlayan seramik fırını içerisinde 100°C, 150°C, 200°C, 250°C, 300°C, 400°C, 500°C, 600°C, 800°C'ye kadar ısıtılmıştır. Böylece donatı çeliği yerine ve onunla birlikte kullanılan GFRP donatıların yüksek sıcaklık etkilerinde beton ile olan mekanik uyumu ve davranışı yapısal bir eleman olan kirişler üzerinden incelenmiştir. Küp beton numuneler 600°C'de basınç dayanımlarının %55'ini kaybederken 800°C'de %82 dayanım kaybına uğramışlardır. GFRP donatı numuneleri malzeme olarak 400°C'de kopma dayanımlarının %65'ini, 500°C'de %90'ını kaybetmiş, sonraki sıcaklıklarda ise mekanik özelliklerini tamamen yitirmişlerdir. Ayrıca malzeme mekanik özelliklerini bilmek adına GFRP ve çelik donatıların yüksek sıcaklık etkisinde mekanik özellikleri ile beton-donatı arasındaki aderans davranışları da incelenmiş ve GFRP donatıların betonarme yapılarda kullanımı üzerine değerlendirmeler yapılmıştır. Gelişen teknoloji ve sektörde doğan ihtiyaçlar neticesinde fiber takviyeli polimerlerin kullanımı merak konusu olmuştur. Çeliğin korozyona uğraması, işçiliğinin ağır olması, nakliyesinin ve yapı ağırlığını artırması gibi dezavantajlarının olması FRP donatıların tüm bu sayılan durumlarda çeliğe göre üstün olması, yüksek sıcaklıklardaki başarımının araştırmaya değer bir konu olmasını sağlamıştır.[12]

Marana vd. yaptığı çalışmada cam elyaf takviyeli (GFRP) ve çelik donatının bulunduğu eğilme davranışını incelemiştir. 7 tane polimer betonlu kirişte farklı oranlarda tasarlanıp dört nokta 9 statik eğilme testi yapılmıştır. Güçlendirme oranının artmasıyla kirişin tüm performansı da artmıştır. Üstte çelik çubuk olması ve altta

GFRP çubuk olması beton çatlamasına ve dayanıma etki ettiğini gözlemlemişlerdir. Test edilen geo-polimer betonlu hibrit kirişler normal betonlu hibrit kirişlere göre daha iyi eğilme momenti değeri elde edilmiştir. ACI 440.1R-15 hem de CSA S806-12 kullanarak servis yükü altında bükülme dayanımı ve orta açıklıktaki deplasmanı tahmin etmeye çalışmışlardır. GFRP/çelik hibrit kirişlerin süneklik, enerji tüketimi ve kullanılabilirliğinde iyileşmeler olmuştur. Çelik çubuklar konumları nedeniyle statik açıdan daha düşük güç sağladığı kabul edilir. Yalnız GFRP çubukların olduğu hibrit kirişlerin eğilme-moment kapasitesi diğer kirişlere göre %15'e varan artış göstermiştir. Beton dayanımının 45 MPa 'dan daha büyük olması şartıyla GFRP çubukların miktarını artırmak iyi sonuçlar vermiştir. Çünkü yüksek dayanımlı beton GFRP çubukların yüksek çekme dayanımı göstermesine yardım etmiştir. Bu çalışmaları ile yeni birçok çalışmaya ipucu verecek bilgiler ortaya koymuşlardır. [13]

Dundar, Unsal ve Tanrikulu yaptığı çalışma ile mevcut 12 tane FRP ve çelik donatılı kirişin yük-deplasman deneysel sonuçları ile kendi oluşturdukları bilgisayar programındaki sonuçları karşılaştırmışlardır. Oluşturdukları bu programı 2 bölgeli doğrusal çekme rijitleşmesi şeklinde bir matris yönteminden oluşmaktadır. Çekme rijitleşmesini bir matris parametresi olarak tanımlayıp bu parametreye 2 ila 25 arasında değerler atayarak çıkan sonuçlar ile yük-deplasman eğrilerini oluşturmaya çalışmışlardır. Deneysel sonuçlara en yakın veriler kirişte kullanılan donatı oranına ve elastisite modülüne göre değiştiği belirlenmiştir. Yatay taşıyıcıda yüksek elastisite modülüne sahip FRP donatısı kullanıldığında deneysel sonuca en yakın yük-deplasman davranışı sağlayan çekme rijitleşmesinin düşük seviyede kaldığını, düşük elastisite modülüne sahip FRP donatısının kullanıldığı kirişteyse rijitlik değerinin yüksek çıktığını belirlemişlerdir. [14]

Hawileh yaptığı çalışmada 3 boyutlu sonlu elemanlar (FE) modeli kullanarak çelik ve AFRP çubuklardan oluşan hibrit kirişlerin orta açıklığında oluşan deplasmanı tahmin etmeye çalışmıştır. Geliştirilen bu model ile takviye çubukları ile beton yüzeyi arasındaki aderans ilişkisinin efektif olarak çalıştığı görülmüştür.[15]

Tokgoz, Unsal, Çagatay ve Dundar yaptığı çalışmada 8 tane iki açıklıklı betonarme kirişin deneysel sonuçlarını; 2 tane GFRP ile güçlendirilmiş ve GFRP/çelik donatı kullanılarak oluşturulan 6 tane betonarme çelik donatı ile

GFRP'nin kullanıldığı kirişler hibrit olarak isimlendirilmiştir ve deneysel sonuçları incelenmiştir. Ayrıca belirledikleri model ile deneysel olarak hesapladıkları yük-deplasman eğrilerini karşılaştırmışlardır. Hem GFRP hem de GFRP/çelik donatı kullanılarak yapılan kirişlerdeki deneysel ve teorik sonuçların uyumlu olduğunu göstermişlerdir. Kirişleri statik yüklemeye maruz bırakıp yük-deplasman durumunu, çatlak dağılımını ve kırılma modunu belirlemeye çalışmışlardır. GFRP ve GFRP/çelik donatı ile oluşturulan kirişlerin farklı deformasyon kapasiteleri olduğu sonucuna ulaşmışlardır. Büyük deformasyon donatı oranı küçük olan kirişlerde olmuştur. Kirişlerin tasarımında çekme kuvveti ve basınç kuvvetini ölçmek için elastisite modülü ve akma dayanımı parametrelerini kullanmışlardır. Yapılan çalışmalar sonunda deneysel ve teorik değerlerin uyumlu olduğunu belirlemişlerdir.[16]

Şahin (2019) yaptığı deneysel çalışmada; 150 mm eninde, 300 mm yüksekliğinde dikdörtgen kesitli, 2050 mm uzunluğunda 5 adet betonarme kiriş hazırlanmıştır. Betonarme kirişlerin C30 beton sınıfı kullanılarak kirişler hazırlanmıştır. Kirişlere dökülen betonun laboratuvar ortamında 7 ve 28 günlük dayanımlarını belirlemek için 15x15 cm küp numuneler alınmıştır. Tüm kirişlerde basınç donatısı olarak 2 adet 10 mm çapında (2Ø10mm) nervürlü çelik donatı, etriye olarak 5 mm çapındaki 75 mm aralıkta (Ø5/75mm) çelik donatı kullanılmıştır. Çekme donatısı olarak, çelik ve cam lif takviyeli polimer (GFRP) malzeme, farklı donatı oranlarında hibrit olarak kullanılmıştır. Bu çalışmada normal dayanımlı GFRP (cam elyaf) ve çelik donatı kullanılan hibrit kirişlerde donatı sıralamasının eğilme davranışı ve çatlak gelişimi üzerine etkileri araştırılmıştır. Donatılar tek sıra ve çift sıra olarak düzenlenmiştir. Çelik donatı alanları yaklaşık aynı olacak şekilde tasarlanmıştır. Cam donatıların kopmasıyla yükte düşmeler olmuştur. Ancak çelik donatılar kirişin yük taşımaya devam etmesini sağlamıştır. Deneyler sırasında yüke karşılık çatlak genişliği ölçümleri de mümkün olduğu kadar alınmaya çalışılmıştır. Çelik donatıların tek sıra olarak çekme yüzüne yakın yerleştirilmesi çatlak genişliklerini azaltma açısından olumlu katkı sağlamıştır. [17]

Kurtoğlu (2016) yapmış olduğu doktora tezinde , cam lif takviyeli polimer (GFRP) donatılı çift yönlü çalışan kirişsiz döşemelerin zımbalama dayanımı araştırılmıştır. Bu donatıların mekanik özellikleri ve dünyadaki uygulamalarını ele

alan bir literatür çalışması yapılmıştır. FRP donatılı iki yönlü çalışan kirişsiz döşemelerin zımbalama dayanımına ilişkin yapılan çalışmalar detaylı olarak verilmiştir. Daha sonra, Gaziantep Üniversitesi Yapı Mekaniği Laboratuvarı'nda gerçekleştirilen zımbalama dayanımına ilişkin deneysel çalışmalara yer verilmiş olup bu deneylerin aynı zamanda doğrusal olmayan NLFEA ile modelleri oluşturulmuştur.[18]

Zaidi (2008) GFRP'nin davranışı üzerindeki termal etkiyi araştırmak için deneysel bir çalışmanın sonuçlarını incelemiştir. Bu deneysel çalışmada kullanılan GFRP çubuklar 15.9, 19.1 ve 25.4 mm nominal çaplarda üretilmiştir. GFRP çubukları vinil ester reçinenin pultrüzyonu ile üretilmiş ve kumla kaplanmıştır. GFRP çubuklarının mekanik özellikleri Tablo 1.1'de gösterilmiştir. [19]

Tablo 1.1 GFRP çubuklarının mekanik özellikleri

Çubuk uzunlukları(mm)	Maksimum çekme gerilmesi(MPa)	Poisson oranı	Elastisite modülü(GPa)
15,9	727±9	0,25	44,6±0,8
19,1	637±15	0,25	44,5±1,3
25,4	665	0,28	41,9

Elyaf takviyeli beton (FRC) yapısal bütünlüğünü artıran elyafli malzeme içeren betondur. Elyaf takviyeli betonun karakteri, değişen elyaf malzemeleri, geometrileri, dağılımı, yönü ve yoğunluklarıyla değişir. Polipropilen lif hafif ve sentetik bir malzemedir. Çatlak oluşumunu engeller ve beton yapıya güçlendirme sağlar. Dharan ve Lal (2016) yaptığı çalışmada betona eklenen farklı yüzdelerde (%0.5, %1, %1.5, %2) polipropilen lifler kullanmıştır. Basınç dayanımı, eğilme direnci, elastisite modülü, işlenebilirlik gibi parametreleri kullanarak numuneler üzerinde bazı testler yapmıştır. [20]

2. GFRP DONATILARININ ÜRETİMİ

Döşemelerin üretiminde kullanılan donatılar İTOB Organize Sanayi Menderes'te fabrikası bulunan Europa Kompozit'ten temin edilmiştir. Üretilen donatılar Pultrüzyon metoduna uygun şekilde üretilmiş olup aşamaları Şekil 2.1 ve Şekil 2.2'de gösterildiği gibidir.



Şekil 2.1 Fitil Sehpaları



Şekil 2.2 Fitillerin kalıba girişi

Fitiller kalıba girdikten sonra epoksi reçine kullanılarak donatıların üretimi gerçekleştirilmiştir. Donatıların üretimi Şekil 2.3'te gösterildiği gibidir. Üretimin son aşamasında donatıların üzerine silis kumu kullanılarak çubukların aderansının artırılması sağlanmıştır. Hazırlanan donatılar Şekil 2.4'de gösterildiği gibi paketlenmiştir.



Şekil 2.3 Donatıların üretimi



Şekil 2.4 Kullanıma hazırlanmış donatılar

ACI440.1R-15 tarafından bildirildiği üzere, beton elemanlardaki GFRP donatılarında bir miktar geleneksel çelik donatı ile karşılaştırıldığında avantajları ve dezavantajları Tablo 2.1'de listelenmiştir.

Tablo 2.1 GFRP donatılarının avantajları ve dezavantajları

Avantajları	Dezavantajları
Yüksek çekme mukavemeti	Geleneksel çeliğe göre daha kırılğan
Yüksek korozyon direnci	Düşük enine dayanım
Yorulmaya karşı çok iyi direnç göstermesi	Düşük elastisite modülü(FRP'ye göre değişir.)
Manyetik değil	Ultraviyole ve radyasyona maruz kalma
Düşük ağırlık(10 kata kadar)	Yüksek termal genleşme
Düşük elektrik ve termal iletkenlik	Cam elyafın çevresel koşullara karşı dayanımı daha az
	Yangına karşı dayanıklılığı az
	Demire kıyasla bükülmesi daha zor

Kesit hesapları Tablo 2.2'de gösterildiği gibi yapılmıştır.

Tablo 2.2 Donatı metrajı

Aktivite tanımı	Miktarlar			Uzunluk (mt.)	Demir Çapı (mm.)	Demir Çapı (Hesap)	
	Benzeri	Adet	Toplam			Ø8(m)	Ø8(m)
1) Döşeme Donatısı B420C							
	2	7	14	1,95	8	27,300m	
2) Döşeme Donatısı B420C							
	2	12	24	1,20	8	28,800m	
3) Döşeme Donatısı GFRP							
	3	7	21	1,95	8		40,950m
4) Döşeme Donatısı GFRP							
	3	12	36	1,20	8		43,200m
Uzunluklar toplamı						56,100m	84,150m
1 metre demirin kg cinsinden değeri						0,395	0,039
Toplam ağırlık						22,16	3,28185
Toplam ağırlık (kg)						25	

3. DÖŞEMELERİN ÜRETİLMESİ

3.1 SS-1, SS-2, GFRPS-1 ve GFRPS-2 Döşemelerinin Üretilmesi

Döşemelerin boyutları 120x200x12 cm'dir. SS-1, SS-2, GFRPS-1 ve GFRPS-2 döşemelerinin üretimi Şekil 3.1'de gösterildiği gibi ER Prefabrik Yapı Elemanları İnş. Ltd. Şti. tarafından yapılmıştır. GFRPS-F döşemesi ise Manisa Celal Bayar Üniversitesi Yapı ve Deprem Mühendisliği Laboratuvarında üretimi Şekil 3.2'de gösterildiği gibi yapılmıştır. Testler Manisa Celal Bayar Üniversitesi Yapı ve Deprem Mühendisliği Laboratuvarında gerçekleştirilmiştir.



Şekil 3.1 Üretilen SS-1,SS-2, GFRPS-1 ve GFRPS-2 döşemeleri



Şekil 3.2 Üretilen GFRPS-F döşemesi

3.2 GFRPS-F Döşemesinin Üretimi

3.2.1 GFRP Çubuklarının Bağlanması

GFRPS-F döşemesi için donatılar 15 cm aralıklarla birbirine bağlanmıştır. Donatıların çapı 8 mm'dir. GFRP çubuklarının bağlanması aşaması Şekil 3.3'te gösterildiği gibi yapılmıştır.



Şekil 3.3 GFRP çubukları

3.2.2 Kalıp Montajı ve GFRP Çubuklarının Yerleştirilmesi

GFRPS-F döşemesinin kalıbı için Plywood kullanılmıştır. GFRP kalıbın içine paspayları kullanarak yerleştirilmiştir. GFRP çubuklarının altı membran bir malzemeyle kapatılmıştır. GFRP çubuklarının yerleştirilmesi Şekil 3.4 ve Şekil 3.5'de gösterildiği gibi yapılmıştır.



Şekil 3.4 Kalıp montajı



Şekil 3.5 Kalıba membran malzemenin yerleştirilmesi

3.2.3 GFRPS-F Döşemesi Betonunun Üretimi

GFRPS-F döşemesinin betonunda kullanılacak en uygun lif miktarı ve diğer malzemelerin miktarı çeşitli deneme karışımları sonucunda belirlenmiştir. Tablo 3.1’de gösterildiği gibi 360 dm³ beton için hacimce %0.5 karışım oranında lif katkısı ile döşeme betonunun üretimi yapılmıştır.

Tablo 3.1. Döşeme betonu karışım oranları

Kum	360 kg	Su	60 kg
Çakıl	360 kg	Katkı	1,32 kg
Çimento	76 kg	Lif	0,82 kg

3.2.4 Polipropilen Liflerin Özellikleri

Beton ve harçların donatılmasında kullanılan en yaygın yapay lif türü olan polipropilen lifler ilk kez 1965 yılında, ABD de patlamaya karşı dayanıklı askeri yapıların inşasında kullanılmıştır. Polipropilen lifler oldukça yüksek dayanımları, betonun alkali ortamına çok iyi direnç göstermeleri ve düşük maliyetleri nedeniyle önemli bir donatı malzemesi özelliği taşımaktadır (Ersoy 2001).

Polipropilen lifler, birim ağırlıklarına göre mikro ve makro lifler olarak ayrılmaktadır. Mikro lifler özellikle erken dönemde oluşan kılcal çatlaklarda etkilidir ve 0,60 – 0,90 kg/m³ oranında betona uygulanmaktadır. Makro lifler ise daha ağır olup 1,8 kg/m³ oranında betona uygulanmaktadır. Makro lifler plastik dönemle birlikte uzun dönemdeki çatlaklarda da etkili olup çelik liflere de alternatif olarak kullanılmaktadır. Çelik liflere oranla daha düşük dozajda aynı performansı gösteren polipropilen lifler için korozyon riski de bulunmamaktadır. Makro lifler, dalga şeklindeki yapıları sayesinde betona sıkıca tutunur ve böylece betonun çekme dayanımını artırır (Celep 2010).

Polipropilen liflerin birçok avantajı bulunmaktadır. Aşağıda polipropilenin hem bu avantajlarına hem de genel özelliklerine değinilecektir.

Polipropilen liflerin öne çıkan önemli özellikleri aşağıdaki gibidir,

1. Çekme payı milimetrede 0,006 mm ile 0,02 mm arasındadır.
2. Çekme mukavemeti 450 MPa ile 900 MPa arasında değişmektedir.
3. Erime noktası sıcaklığı yaklaşık olarak 162 °C'dir.
4. Tutuşma noktası sıcaklığı ise 593 °C civarındadır.
5. Yoğunluğu 0,90 g/cm³ civarında değişmektedir.
6. Elastisite modülü 3500-4000 MPa civarındadır.

Öte yandan polipropilen liflerin diğer maddelere göre (özellikle plastik, etilen vb.) birçok avantajlı yönü mevcuttur. Bu avantajlardan öne çıkan bazıları;

1. Polipropilen liflerinin elektrik iletkenlikleri düşüktür. Nem çekmedikleri için liflerde statik elektriklenme problemi vardır.
2. Yorulmaya karşı çok iyi direnç göstermesi
3. Düşük maliyetli olması
4. İyi bir darbe dayanımına sahip olması
5. Sürtünme katsayısının düşük olması
6. Çok iyi elektrik yalıtımı sağlaması
7. Kimyasal direncinin iyi olması
8. Mikroorganizmalara karşı dayanıklı olması
9. Neme dayanıklı olması olarak sıralanabilir.

Yukarıda sayılan bütün bu avantajların yanında malzeme olarak polipropilenin elbette bazı dezavantajları da vardır. Bu dezavantajları ise aşağıdaki gibi sıralamak mümkündür.

1. UV ışını dayanımının az olması
2. Yüksek termal genleşme göstermesi
3. Boya ve kaplaması zor olması
4. Malzeme olarak dış hava şartlarına dayanımının az olması
5. Yanıcı olması
6. Klor içeren çözücüler ile etkileşime girmesi olarak sıralanabilir. [21]

3.2.5 Döşemenin Hazırlanması

Döşeme betonu Manisa Celal Bayar Üniversitesi Yapı ve Deprem Mühendisliği Laboratuvarında bulunan betoniyer ile hazırlanmıştır ve Şekil 3.6'da gösterilmiştir. Önce agrega ve çimento ilave edilmiş ve 2 dakika boyunca kuru olarak karıştırılmıştır. Homojen bir karışım sağlamak için polipropilen lifler yavaş yavaş betona ilave edilmiştir.



Şekil 3.6 Döşeme betonu karışımının hazırlanması

Polipropilen lif katkısı Şekil 3.7 ve Şekil 3.8'de gösterildiği gibi beton karışımına eklenirken önce lifleri su ile ıslatarak ve lifleri birbirinden ayırarak karışıma ilave edilmiştir.



Şekil 3.7 Polipropilen lif katkısına su ilave edilip karıştırılması



Şekil 3.8 Polipropilen liflerin beton karışımına eklenmesi

Hazırlanan karışım betoniyerde karıştırılarak el arabası yardımıyla Şekil 3.9'da gösterildiği gibi kalıba aktarılması yapılmıştır.



Şekil 3.9 Döşeme betonu karışımının kalıba aktarılması

Hazırlanan karışım Şekil 3.10’da gösterildiği gibi kalıba aktarılmıştır.



Şekil 3.10 Döşeme betonunun kalıba aktarılması

Kalıba aktarılan betonu karıştırmak için kullanılan beton vibratörü yardımıyla Şekil 3.11’de gösterildiği gibi beton karışımı istenen hale getirilmiştir.



Şekil 3.11 Beton vibratörü yardımıyla betonun yerleştirilmesi

Döşeme betonunun düzgün yerleştirilmesi açısından Şekil 3.12’de gösterildiği gibi kenarlara tokmak ile vurulmuştur.



Şekil 3.12 Döşeme betonu kalıbının tokmaklanması

3.2.6 Döşemenin Kürlenmesi

Döşeme betonu hazırlandıktan sonra 28 günlük dayanıma kadar su ile kürlenmesi yapılmış olup Şekil 3.13’te gösterildiği gibi kür uygulaması yapılmıştır.

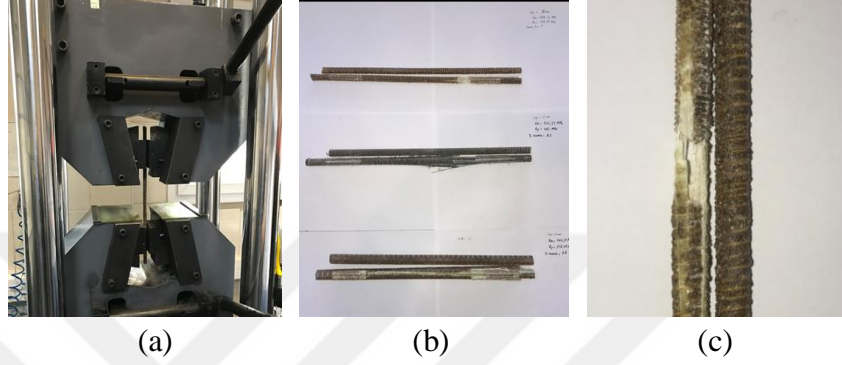


Şekil 3.13 Döşemenin kürlenmesi

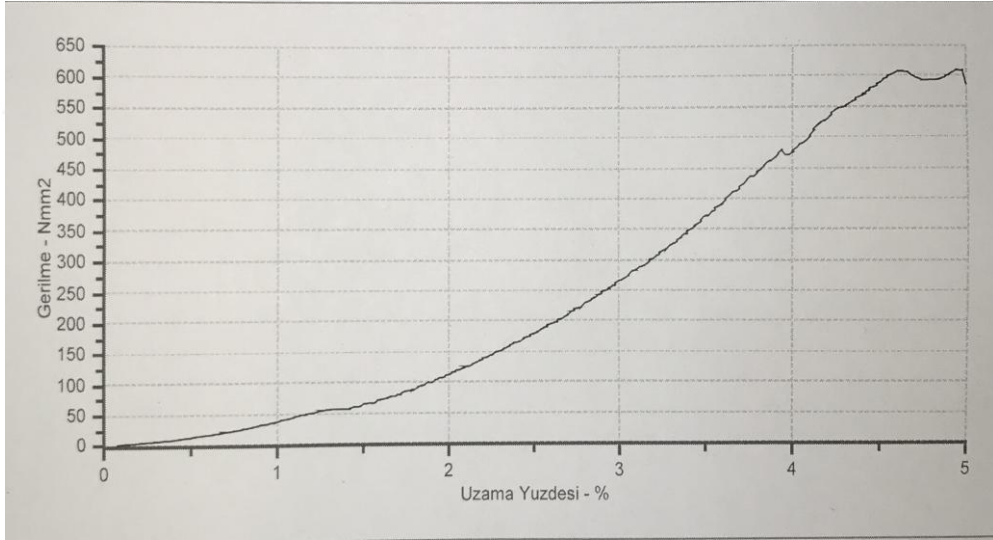
4. DENEYSEL ÇALIŞMA

4.1 Malzeme Testleri

Bu çalışmada kullanılan GFRP kompozit donatıların gerilme testleri Şekil 4.1'de gösterilmiştir. Yapılan testlerin sonucunda GFRP çubuklarının gerilme-şekil değiştirme diyagramı Şekil 4.2'de gösterilmiştir.



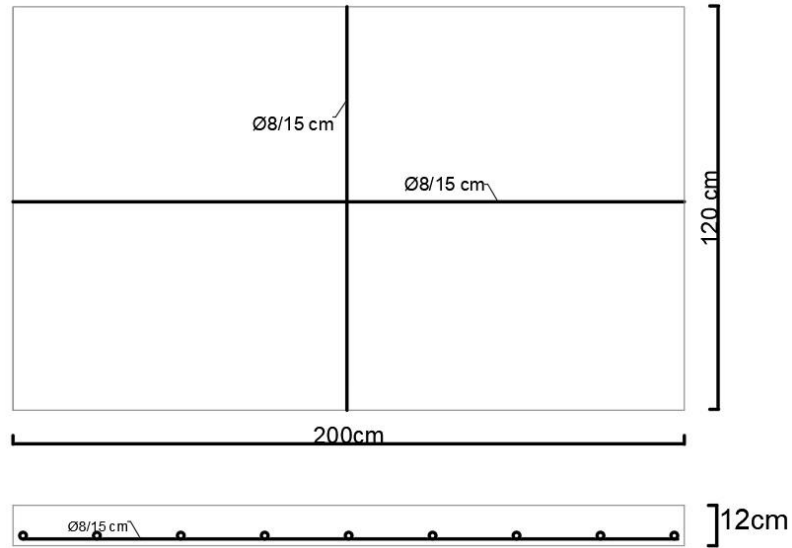
Şekil 4.1 GFRP donatıların (a,b,c) gerilme testleri



Şekil 4.2 GFRP donatıların gerilme-şekil değiştirme diyagramı

4.2. Döşemelerin Geometrik Özellikleri

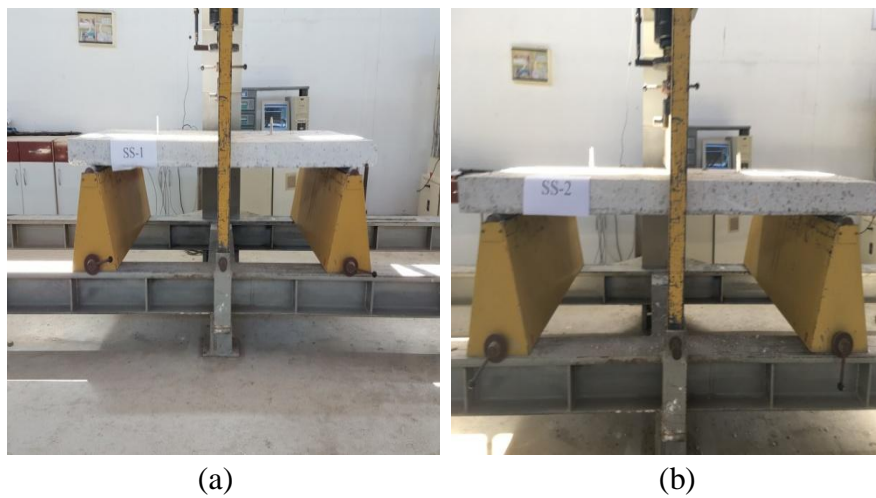
Bu çalışmada 5 adet döşeme üretilmiştir. Betonun basınç dayanımı 20 MPa'dır. Tüm döşemelerin boyutları 120x200x12 cm'dir. GFRPS-F döşemesinde GFRP donatılarına ek hacimce %0.5 oranında polipropilen lif katkısı ilave edilmiştir. Döşemelerin geometrik özellikleri ve donatı detayı Şekil 4.3'te gösterilmiştir.



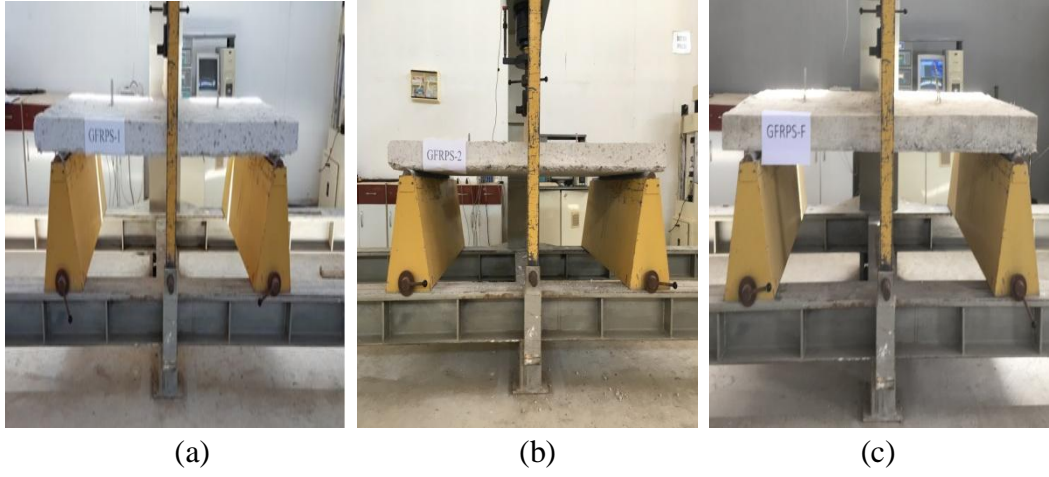
Şekil 4.3 Döşemelerin geometrik özellikleri ve donatı detayı

4.3 Yükleme

Yük-deplasman davranışını incelemek için döşemeler maksimum yük kapasitelerine kadar monotonik olarak yüklenmiştir. Tüm döşemeler dikey yönde 250 kN'luk bir hidrolik kriko kullanılarak, 120 mm uzunluğunda bir çelik aparat ile dağılım yüklemesine tabi tutulmuştur. Döşemeyele mesnet arasında 1700 mm'lik bir açıklık bırakılmıştır. Döşemelerin orta açıklıktaki deplasmanı, dirençli bir doğrusal yer değiştirme dönüştürücüsü (LVDT) yardımıyla ölçülmüştür. Döşemelerde yük kontrollü olarak göçme öncesi duruma kadar yüklenmiştir. Yükün her bir artımı için deplasmanlar orta açıklığa yerleştirilmiş LVDT'ler yardımıyla ölçülmüştür. Tüm döşemeler yüklenmeden önce Şekil 4.4 ve Şekil 4.5'te gösterilmiştir.



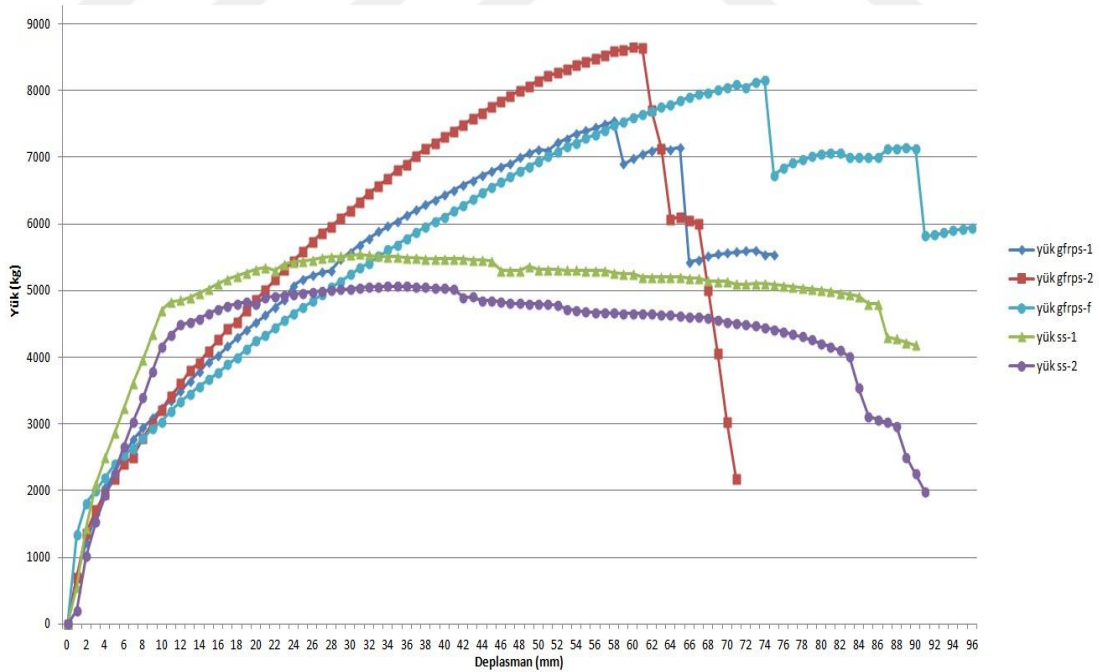
Şekil 4.4 Yükleme öncesi SS-1 (a) ve SS-2 (b) döşemeleri



Şekil 4.5 Yükleme öncesi GFRPS-1 (a), GFRPS-2 (b) ve GFRPS-F (c) döşemeleri

4.4 Bulgular

Tüm döşemeler monotonik artan dağılım yüklemesine maruz bırakılmış ve yük-deplasman değerleri aynı anda veri kaydedici ile bilgisayara aktarılmıştır. Döşemelerin yük-deplasman eğrileri Şekil 4.6'da gösterilmektedir. Döşemelerin enejji yutma kapasiteleri hesaplanmış olup, döşemelerin deney sonuçları Tablo 4.1'de özetlenmiştir.



Şekil 4.6 Döşemelerin yük-deplasman grafikleri

Tablo 4.1 Döşeme deneyleri

Döşeme numune	Maksimum Yük(kg)	Ortalama Yük(kg)	Maksimum Deplasman(mm)	Ortalama Deplasman (mm)	Enerji Yutma Kapasitesi (kg.mm)
GFRPS-1	7540	8097,5	58	60,5	403295
GFRPS-2	8655		61		411647
GFRPS-F	8150	8150	74	74	560647
SS-1	5550	5307,5	86	84,5	443293
SS-2	5065		83		391000

Deney esnasında çatlakların tebeşir ile işaretlemesi yapılmıştır. Testler sonucunda döşemelerde meydana gelen çatlak ve hasar durumları Şekil 4.7, Şekil 4.8 ve Şekil 4.9'da gösterilmektedir.



Şekil 4.7 Testler sırasında ortaya çıkan eğilme çatlakları



a) GFRPS-1 için hasar durumu



b) GFRPS-2 için hasar durumu



c) GFRPS-F için hasar durumu

Şekil 4.8 Testler sonrası GFRPS döşemeleri için (a,b,c) hasar durumları



a) SS-1 için hasar durumu



b) SS-2 için hasar durumu

Şekil 4.9 Testler sonrası SS döşemeleri için (a,b) hasar durumları

5. SONLU ELEMANLAR ANALİZLERİ

Abaqus'te döşemeler için malzeme nitelikleri Tablo 5.1'de verilmiştir.

Tablo 5.1 Malzeme nitelikleri

Malzeme nitelikleri	GFRP	Çelik	Beton
Yoğunluk(kg/m ³)	1950	7850	2400
Elastisite Modülü(GPa)	41.9-51.9	200	22.48
Poisson Oranı	0.28	0.3	0.2

Elastisite modülü benzer çalışmalarda kullanılan değerler olan 41.9 ve 51.9 GPa olarak modellemede kullanılmıştır.

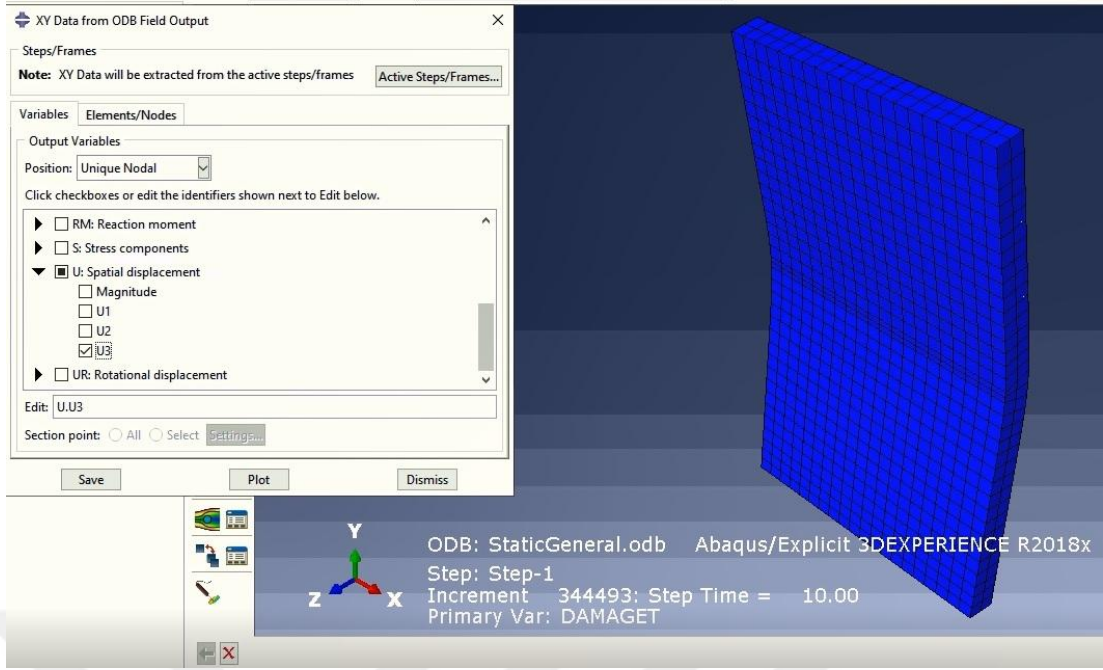
Döşemeler için girilen diğer parametreler Tablo 5.2 de özetlenmiştir.

Tablo 5.2 Döşemeler için girilen diğer parametreler

Dilatasyon açısı	Eksantrisite	fb0/fc0	K	Viskozite parametresi
32	0.1	1.16	0.67	0.01

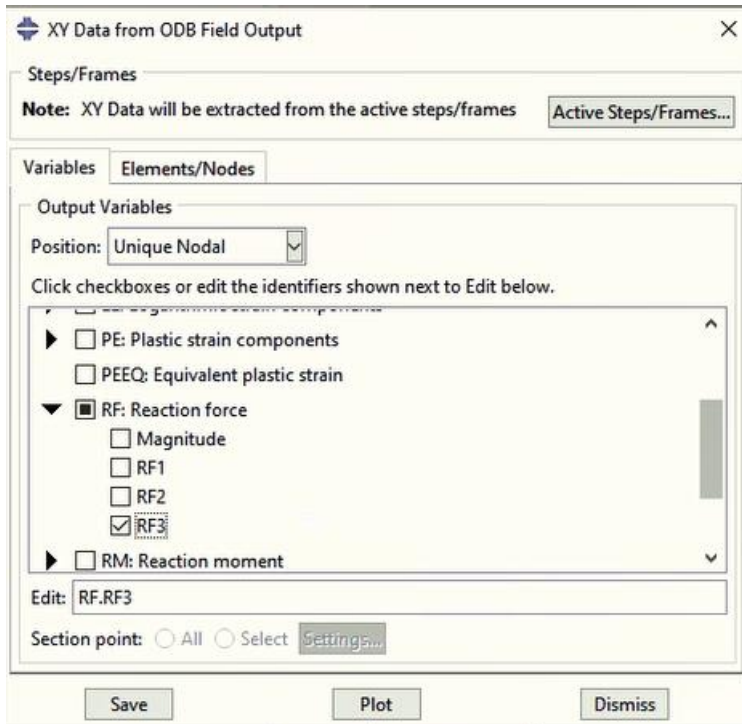
5.1 Döşemeler İçin Filtrelenmiş Sonuçların Bulunması

Döşemelerin çözümünde kullanılan yön U3 olarak belirlenmiş olup Şekil 5.1'de gösterildiği gibi Z yönüdür.



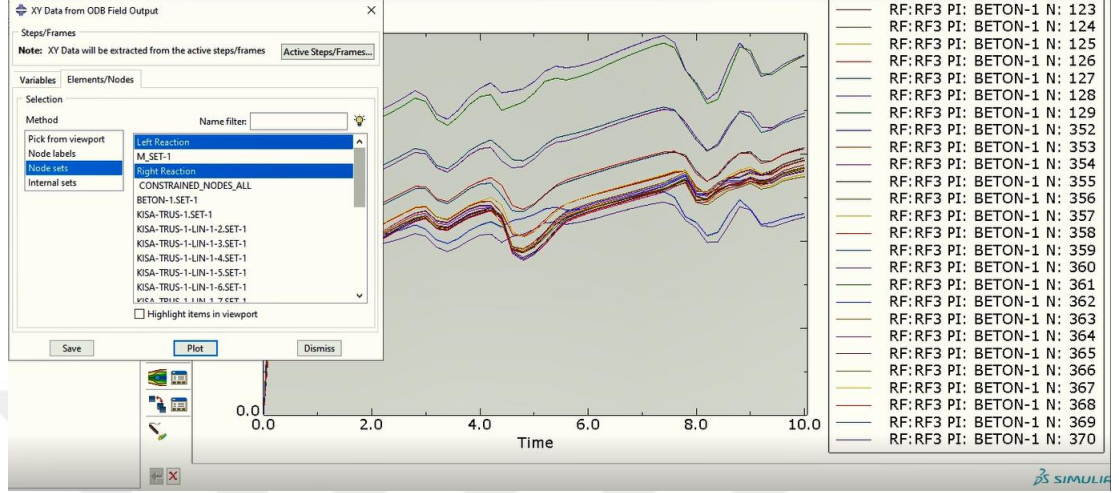
Şekil 5.1 Seçilen yön(U3)

Döşemelerin reaksiyon kuvvetlerini bulmak amacıyla RF3 yönü seçilmesi gerekmektedir. Seçilen yön Şekil 5.2’de gösterilmiştir.



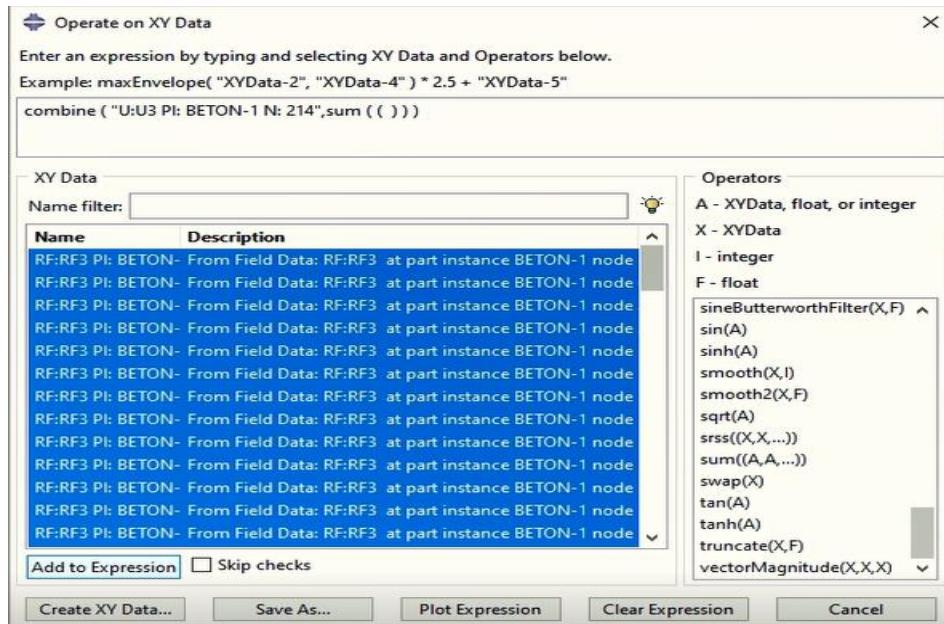
Şekil 5.2 Seçilen reaksiyon kuvveti(RF3)

Sol ve sağ yöndeki reaksiyon kuvveti dataları seçilmiş olup grafikleri Şekil 5.3'te gösterildiği gibidir. Bu dataları filtrelenmiş sonuçları bulmak için kaydedilmesi gerekmektedir. Kaydedilen dataları XY Data klasöründe bulabiliriz.



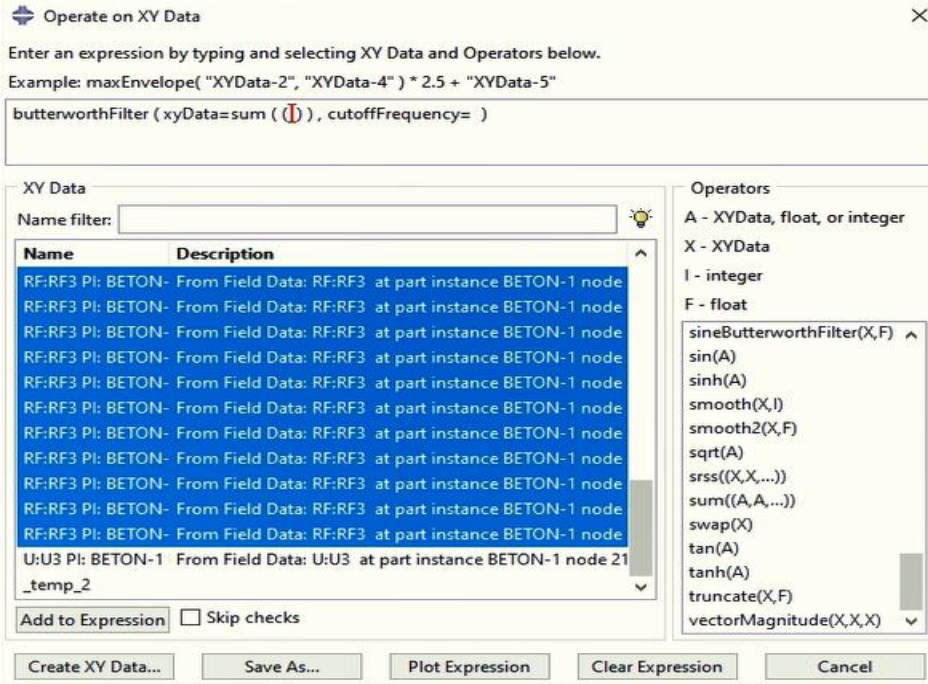
Şekil 5.3 Sol ve sağ yöndeki reaksiyon kuvveti dataları

Combine komutuyla XY dataları veri girişi Şekil 5.4'te gösterildiği gibi yapılmalıdır. Burada reaksiyon kuvvetlerinin tamamı seçilir ve sum komutuyla eklenir.

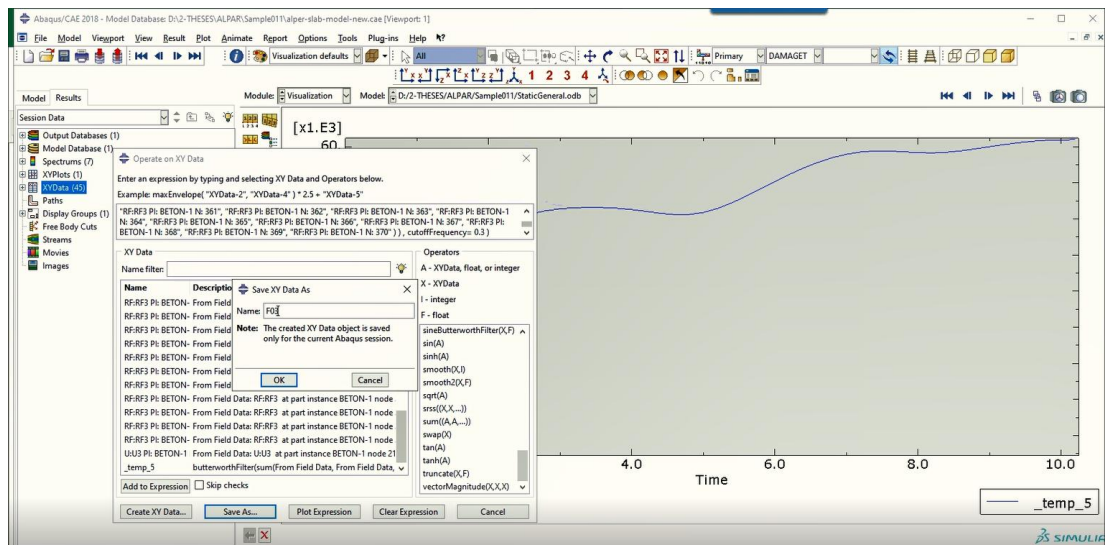


Şekil 5.4 Data girişi ekran görüntüsü

XY dataları sum komutu yardımıyla filtrelenmiş sonucu bulmak için yazılmıştır ve Şekil 5.5'te gösterildiği gibidir. Burada önemli olan bir diğer nokta frekanstır. Frekans aralığı 0 ile 1 arasındadır. Bu tez çalışmasında en yakın değerleri veren 0.2 frekansı karşılaştırmalarda kullanılmıştır. SS döşemesi için örnek olarak Şekil 5.6'da gösterildiği gibi 0.3 filtrelenmiş sonucu bulunmuştur.



Şekil 5.5 XY datalarının girişi ekran görüntüsü

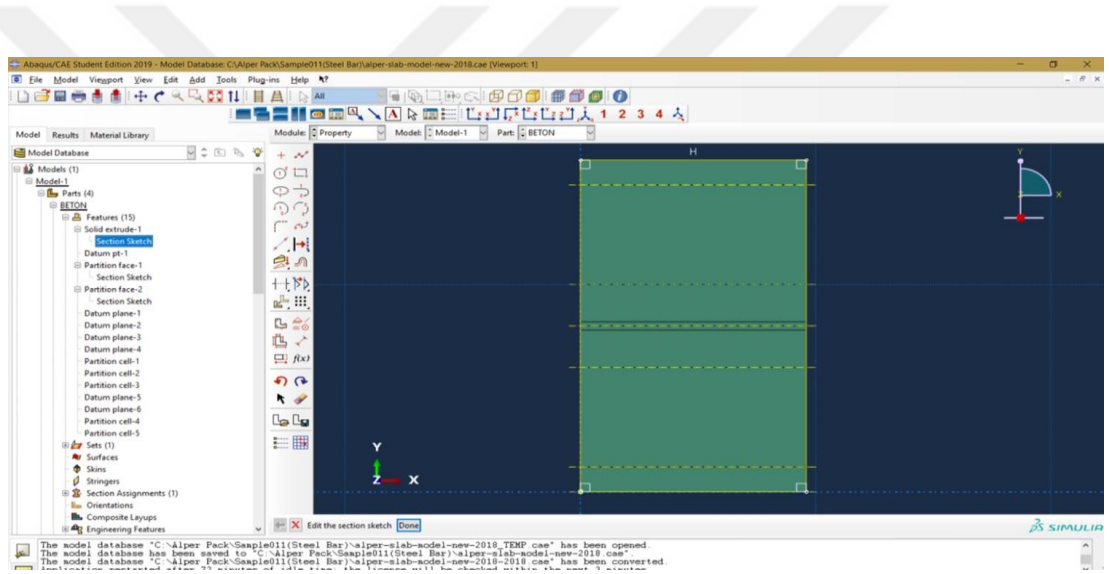


Şekil 5.6 SS döşemesi için örnek 0.3 filtrelenmiş sonucun bulunması

5.2 SS Döşemesi İçin Yapılan Abaqus Modeli

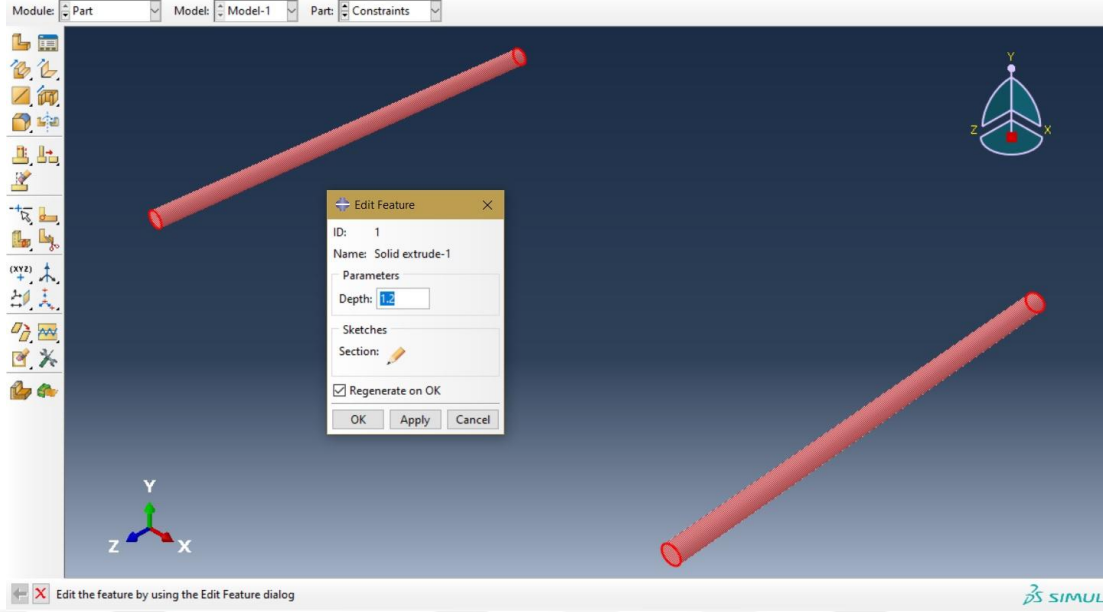
Çalışmanın bu bölümünde deneyleri yapılan döşemelerin Abaqus programında sonlu elemanlar analizleri yapılmıştır. Döşemelerin öncelikle malzeme nitelikleri modellenmiştir. Betonun yoğunluk değeri 2400 kg/m^3 olarak girilmiştir. Betonun Poisson oranı 0.2 dir. B420C çeliği için yoğunluk değeri olan 7850 kg/m^3 girilmiştir. Çeliğin Poisson oranı 0.3 tür.

Modelleme yapılırken yüklemenin ve mesnetlerin kolay yerleştirilmesi bakımından döşemeler 0.15 metre , 0.75 metre, 1 metre, 1.25 metre ve 1.85 metre olarak ayrı ayrı atanan kesitler haline getirilmiş olup Şekil 5.7’de gösterilmiştir.



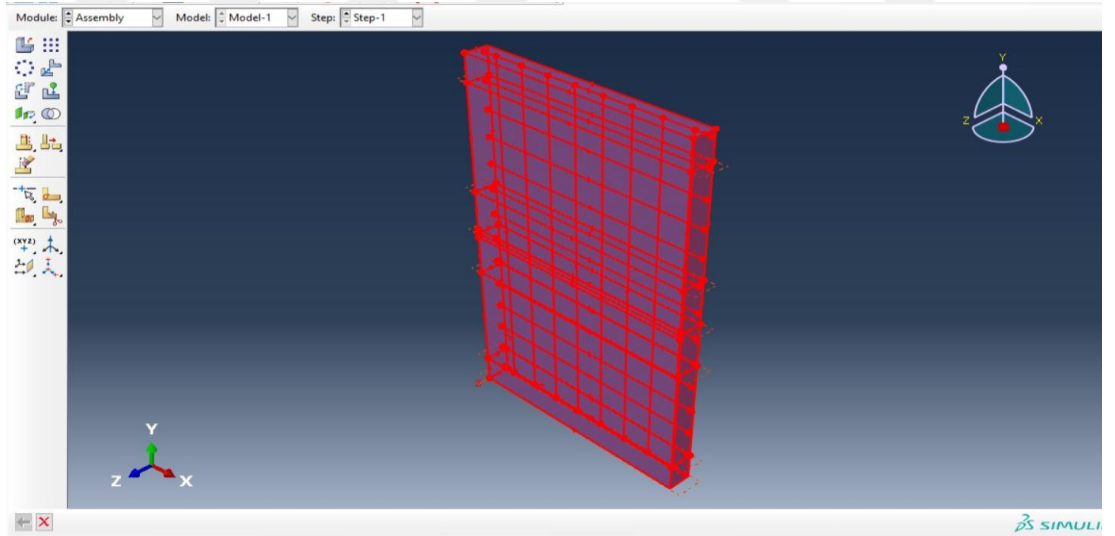
Şekil 5.7 SS döşemesi için atanan kesitler

SS döşemesi için mesnet şartları modele uygun şekilde Şekil 5.8’de sağlanmıştır.

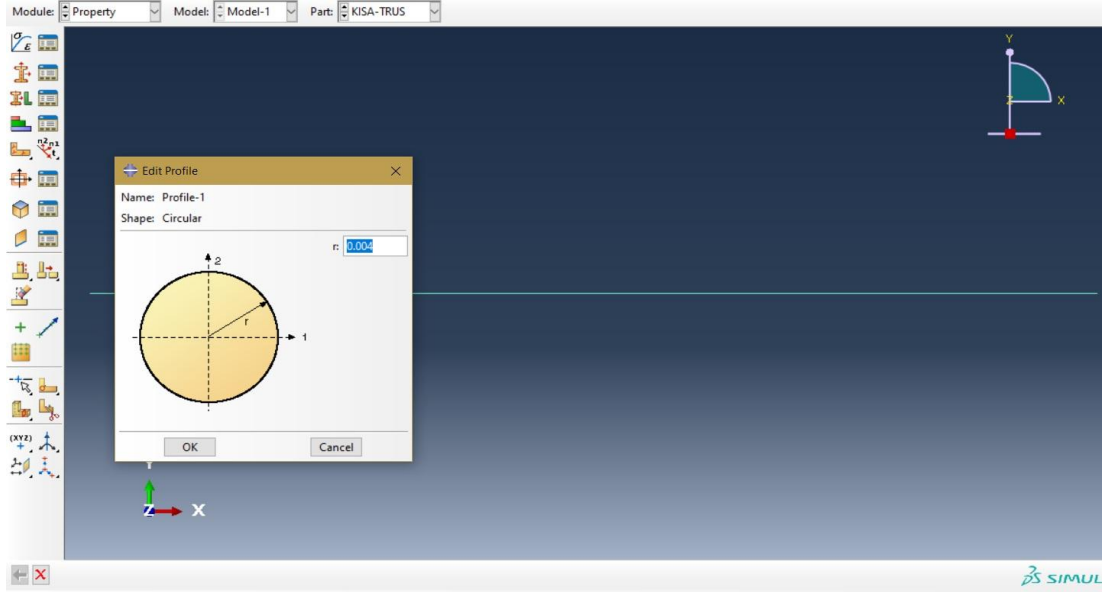


Şekil 5.8 SS döşemesi için modellenen mesnetler

Kısa ve uzun donatılar Şekil 5.9 ve Şekil 5.10'da gösterildiği gibi uygun şekilde modellenmiştir.



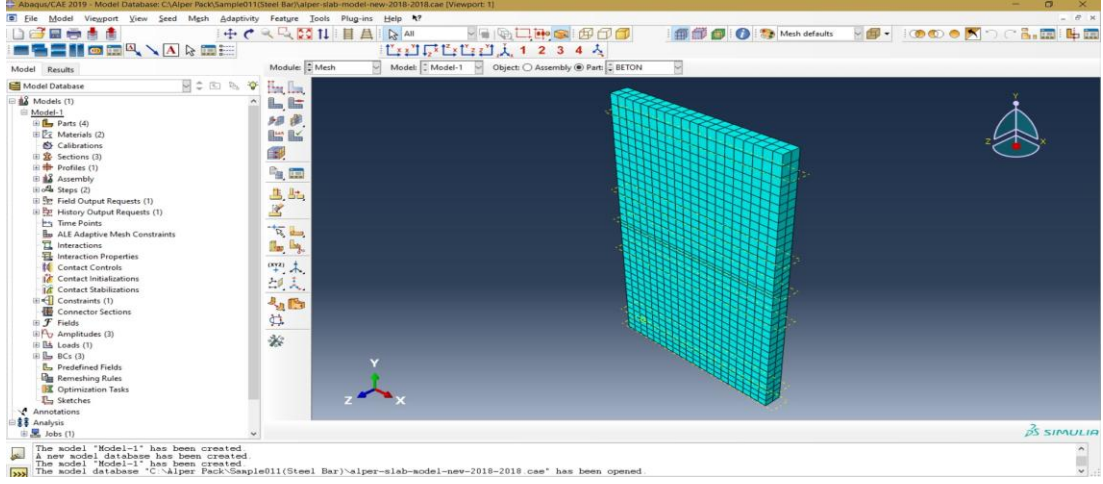
Şekil 5.9 Donatıların modellenmesi



Şekil 5.10 Donatı yarıçapının girişi

Abaqus, tüm modele veya bir kısmına uzamsal olarak dağıtılan verilerden alan çıktısı üretir. Çoğu durumda, deforme olmuş şekil, kontur veya sembol çizimleri kullanarak alan çıktı verilerini görüntülemek için görselleştirme modülü kullanılabilir. Bir analiz sırasında Abaqus tarafından üretilen alan çıktısı miktarı genellikle büyüktür. Sonuç olarak, genellikle Abaqus'un alan verilerini çıktı veritabanına düşük bir hızda yazması talep edilebilir; örneğin, her adımdan sonra veya analizin sonunda. Abaqus / Explicit analiz prosedürü için, alternatif olarak her zaman artışı için veya bir dizi zaman noktasına göre alan çıktısı talep edilebilir.

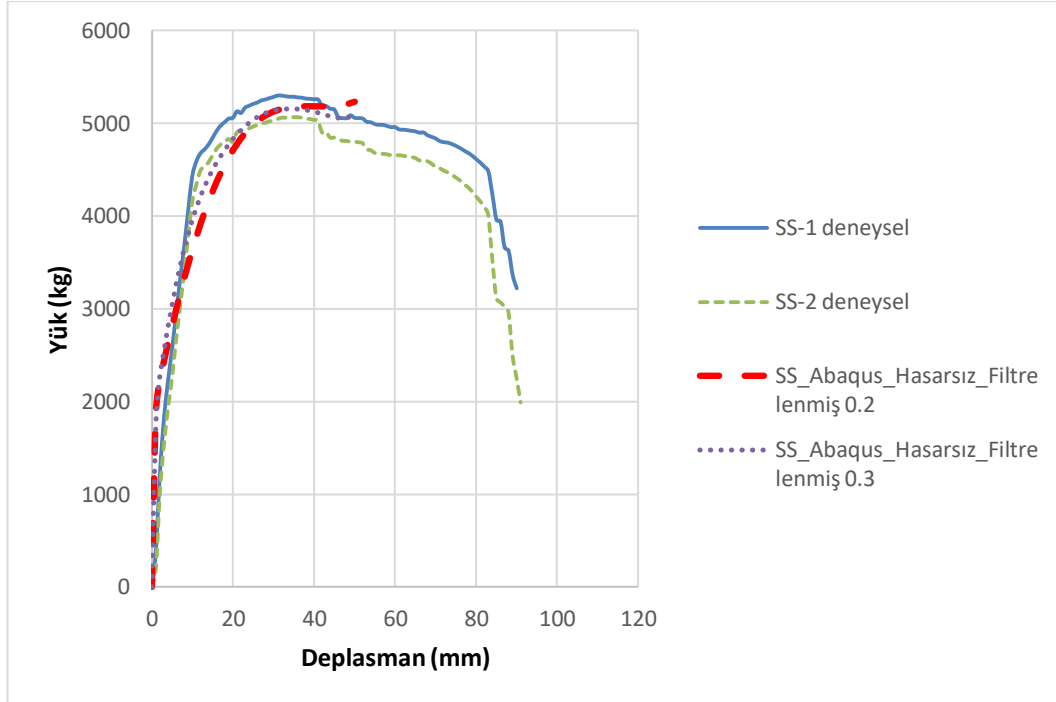
Hazırlanan döşemenin mesh (ağ) şeklindeki durumu Şekil 5.11'de gösterilmiştir. Ağlar yükleme yapılacak noktada 3 cm, diğer yerlerde ise 6 cm olacak şekilde modellenmiştir.



Şekil 5.11 Döşemenin mesh görüntüsü

5.3 SS Döşemesi İçin Sonlu Elemanlar Analiz Sonuçları

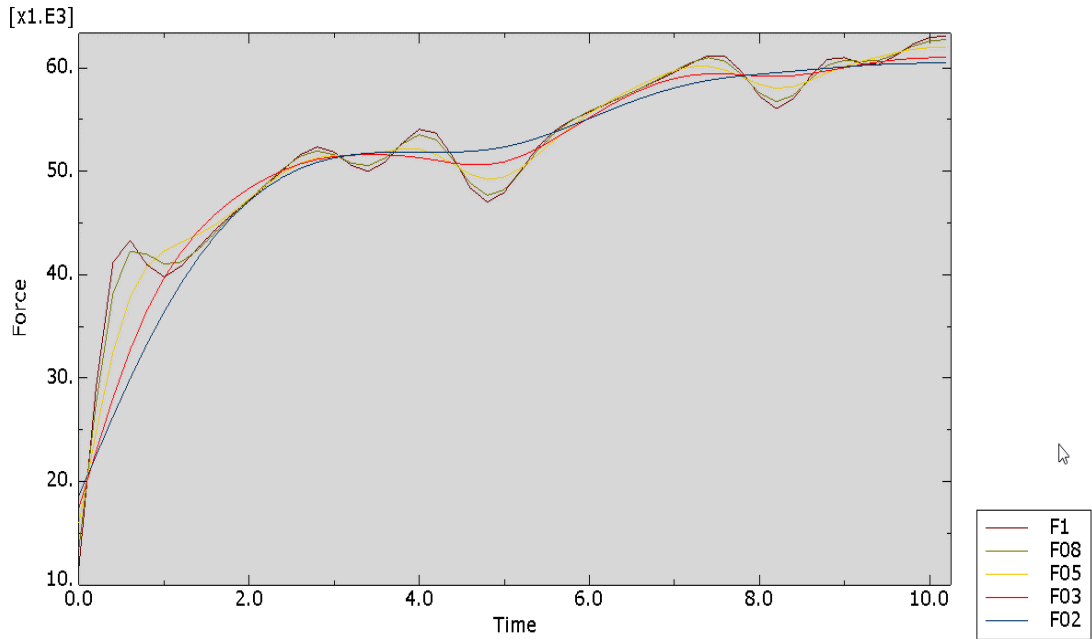
SS döşemesi için Abaqus'te hasarsız modelleme yapılmıştır. Hasarsız olan modelde meshlerin küçültülmesine rağmen çok fazla deplasman verdiğinden dolayı döşeme hasarsız olarak çözülmüştür. Hasarsız olan modelde taşıdığı maksimum yük miktarına kadar analiz devam ettirilmiş olup bu bölümde Şekil 5.12'de gösterilen sonuçların karşılaştırması yapılacaktır.



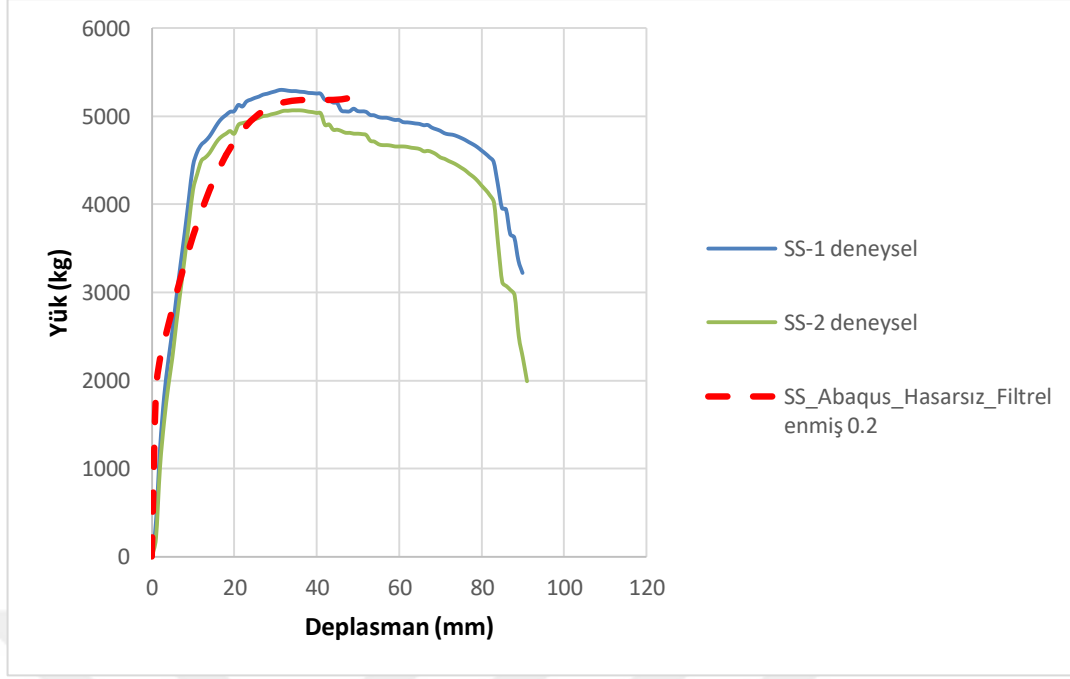
Şekil 5.12 SS döşemesi için sonlu elemanlar çözümü yük-deplasman grafik sonuçları

Yukarıdaki grafiklere göre; deneysel sonuçların sonlu elemanlar analiz sonuçlarıyla grafik karşılaştırması yapılmak istenirse, SS döşemesinin Abaqus modelinde taşıdığı maksimum yük hasarsız 0.2 filtrelenmiş sonucu 5234.21 kg dır. SS döşemesinin Abaqus modelinde taşıdığı maksimum yük hasarsız 0.3 filtrelenmiş sonucu ise 5090.16 kg dır. Sonlu elemanlar analizinden çıkan sonuçlarla uyumlu olarak SS için ortalama yük-deplasman grafiğine yakın şekilde ilerleyip maksimuma çıkmaktadır.

Şekil 5.13'te gösterilmiş olan grafiklerde düzeltme uygulamak açısından farklı filtreler kullanılmıştır. Zaman kuvvetin darbe etkisi şeklinde olmaması açısından 10 s olarak seçilmiştir. Deneysel sonuçlarla uyumlu olan hasarsız 0.2 filtrelenmiş sonuç karşılaştırmada kullanılmıştır. Karşılaştırma Şekil 5.14'te gösterilmiştir.



Şekil 5.13 SS döşemesi için farklı filtrelenmiş yük(kN) - zaman(s) grafikleri



Şekil 5.14 SS döşemesi deneysel sonuçlarla Abaqus modellemesi karşılaştırması

5.4 GFRPS Döşemesi İçin Yapılan Abaqus Modeli

Çalışmanın bu bölümünde deneyleri yapılan döşemelerin Abaqus programında sonlu elemanlar analizleri yapılmıştır. Döşemelerin öncelikle malzeme nitelikleri modellenmiştir. Betonun yoğunluk değeri 2400 kg/m^3 olarak girilmiştir. Betonun Poisson oranı 0.2 dir. GFRP için yoğunluk değeri olan 1950 kg/m^3 girilmiştir. GFRP'nin Poisson oranı 0.28 dir.

GFRP için Elastisite modülü değeri 51.9 GPa olarak belirlenmiş olup Şekil 5.15'te gösterildiği gibidir.

Edit Material

Name: GFRP

Description:

Material Behaviors

Density

Elastic

General Mechanical Thermal Electrical/Magnetic Other

Elastic

Type: Isotropic

Use temperature-dependent data

Number of field variables: 0

Moduli time scale (for viscoelasticity): Long-term

No compression

No tension

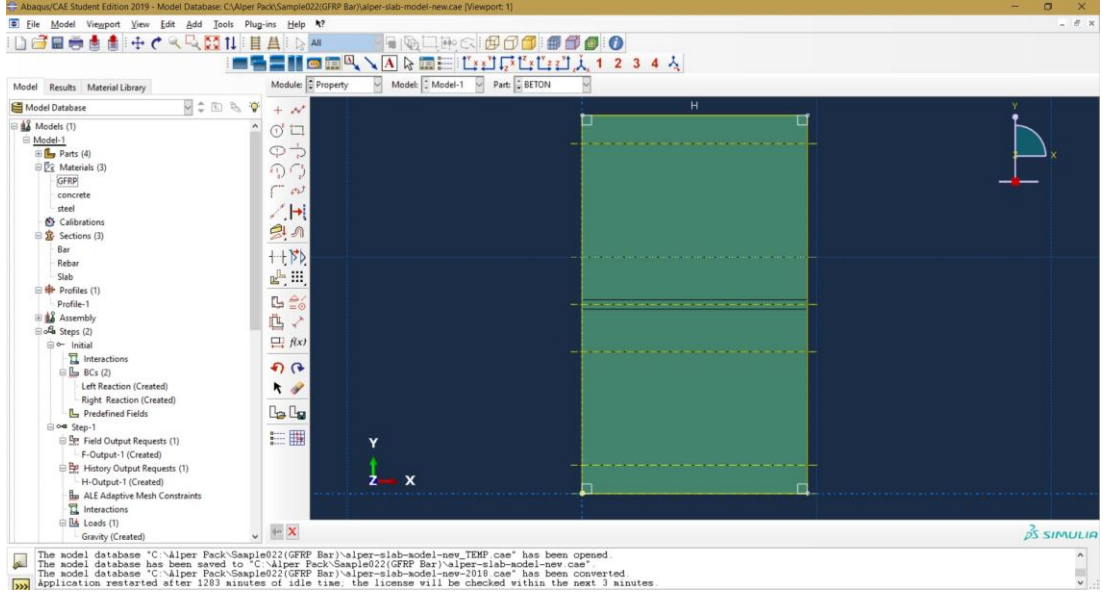
Data

	Young's Modulus	Poisson's Ratio
1	51900000000	0.28

OK Cancel

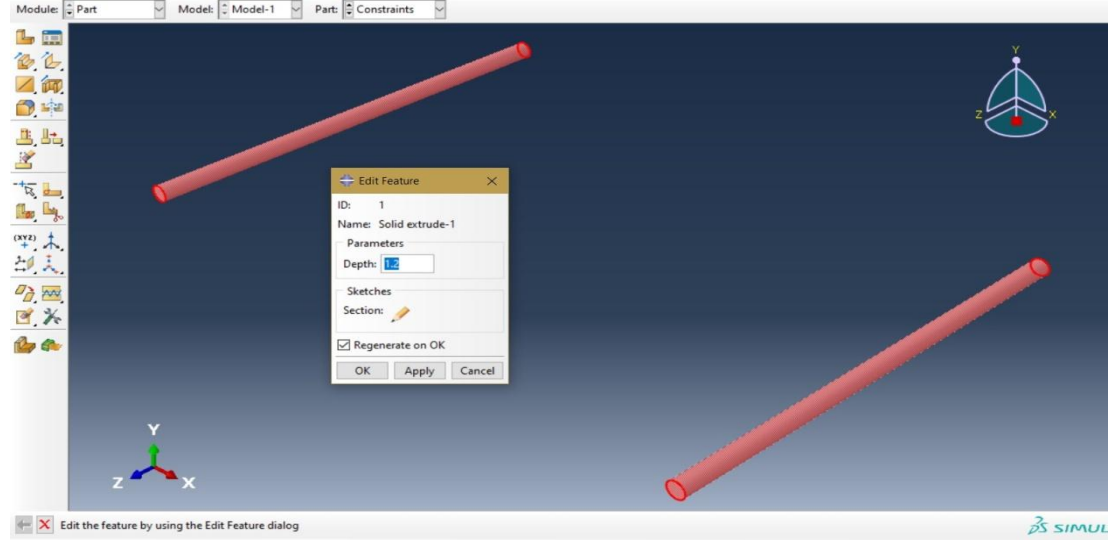
Şekil 5.15 GFRPS döşemesi için GFRP'nin Elastisite modülü ve Poisson oranı veri girişi

Modelleme yapılırken yüklemenin ve mesnetlerin kolay yerleştirilmesi bakımından döşemeler 0.15 metre , 0.75 metre, 1 metre, 1.25 metre ve 1.85 metre olarak ayrı ayrı atanan kesitler haline getirilmiş olup Şekil 5.16'da gösterilmiştir.



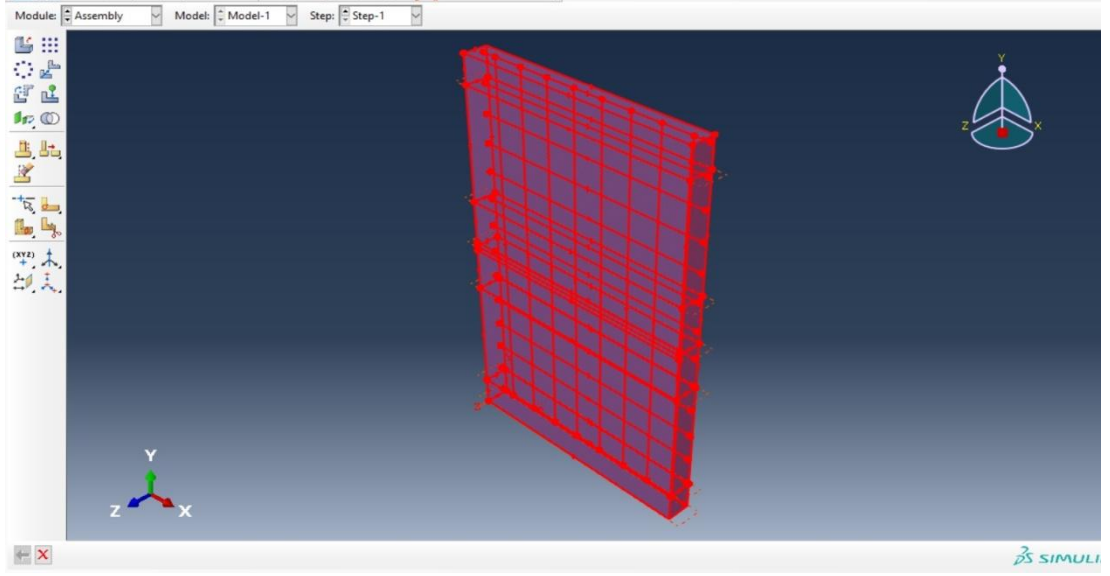
Şekil 5.16 GFRPS döşemesi için atanan kesitler

GFRPS döşemesi için mesnet şartları modele uygun şekilde Şekil 5.17’de sağlanmıştır.

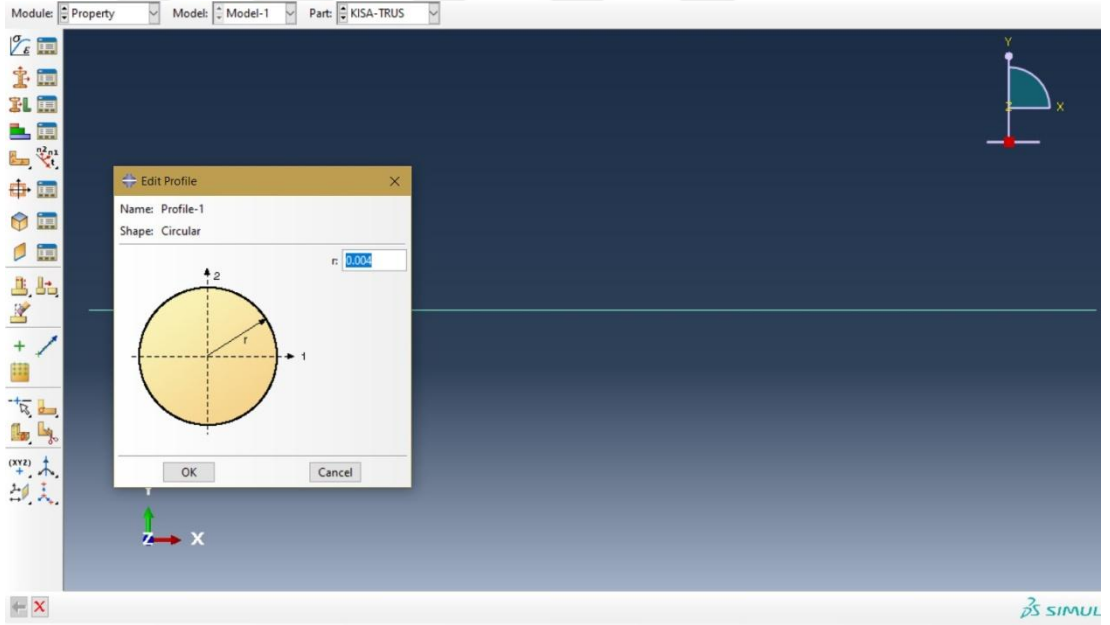


Şekil 5.17 GFRPS döşemesi için modellenen mesnetler

Kısa ve uzun donatılar Şekil 5.18 ve Şekil 5.19’da gösterildiği gibi uygun şekilde modellenmiştir.



Şekil 5.18 Donatıların modellenmesi

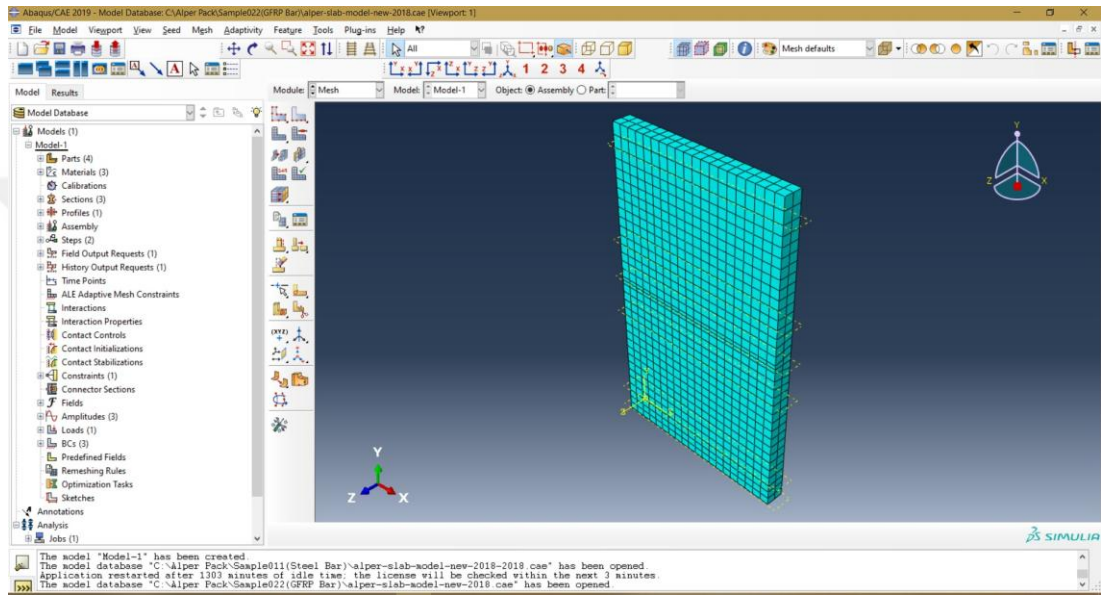


Şekil 5.19 Donatı yarıçapının girişi

Abaqus, tüm modele veya bir kısmına uzamsal olarak dağıtılan verilerden alan çıktısı üretir. Çoğu durumda, deforme olmuş şekil, kontur veya sembol çizimleri kullanarak alan çıktı verilerini görüntülemek için görselleştirme modülü kullanılabilir. Bir analiz sırasında Abaqus tarafından üretilen alan çıktısı miktarı genellikle büyüktür. Sonuç olarak, genellikle Abaqus'un alan verilerini çıktı

veritabanına düşük bir hızda yazması talep edilebilir; örneğin, her adımdan sonra veya analizin sonunda. Abaqus / Explicit analiz prosedürü için, alternatif olarak her zaman artışı için veya bir dizi zaman noktasına göre alan çıktısı talep edilebilir.

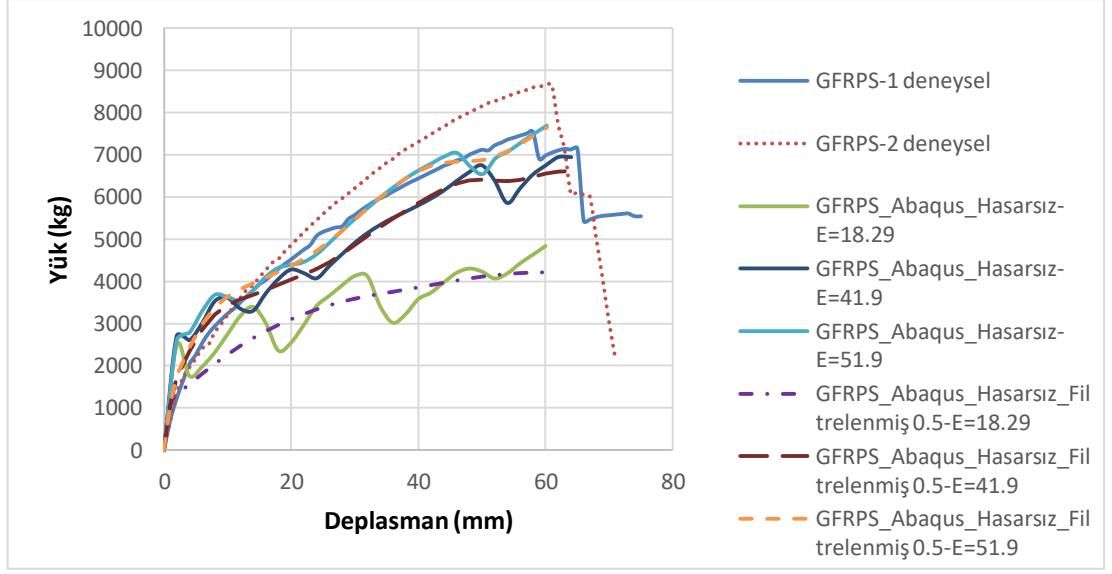
Hazırlanan döşemenin mesh (ağ) şeklindeki durumu Şekil 5.20’de gösterilmiştir. Ağlar yükleme yapılacak noktada 3 cm, diğer yerlerde ise 6 cm olacak şekilde modellenmiştir.



Şekil 5.20 Döşemenin mesh görüntüsü

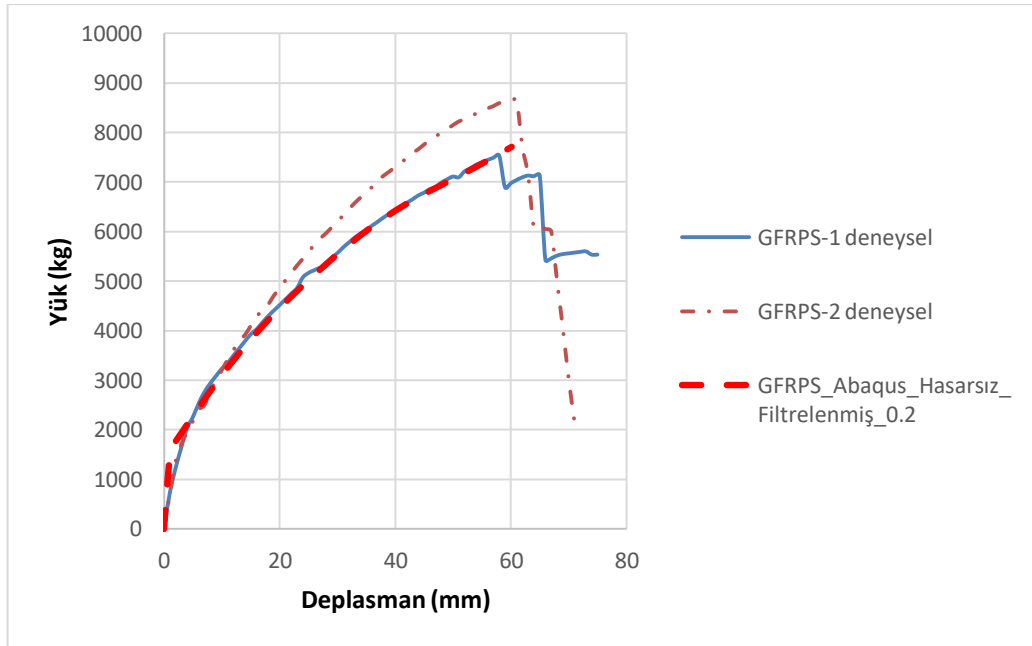
5.5 GFRPS Döşemesi İçin Sonlu Elemanlar Analiz Sonuçları

GFRPS döşemesi için hasarsız modelleme yapılmıştır. Hasarsız olan model meshlerin küçültülmesine rağmen çok fazla deplasman verdiği için dolayı döşeme hasarsız olarak çözülmüştür. Hasarsız olan modelde taşıdığı maksimum yük miktarına kadar analiz devam ettirilmiş olup bu bölümde Şekil 5.21’de gösterilen sonuçların karşılaştırması yapılmıştır.



Şekil 5.21 GFRPS döşemesi için sonlu elemanlar çözümü yük-deplasman grafik sonuçları

Şekil 5.22’de gösterilmiş olan grafiklerde düzeltme uygulamak açısından farklı filtreler kullanılmıştır. Zaman kuvvetin darbe etkisi şeklinde olmaması açısından 10 s olarak seçilmiştir. Deneysel sonuçlarla uyumlu olan hasarsız 0.2 filtrelenmiş sonuç karşılaştırmada kullanılmıştır.

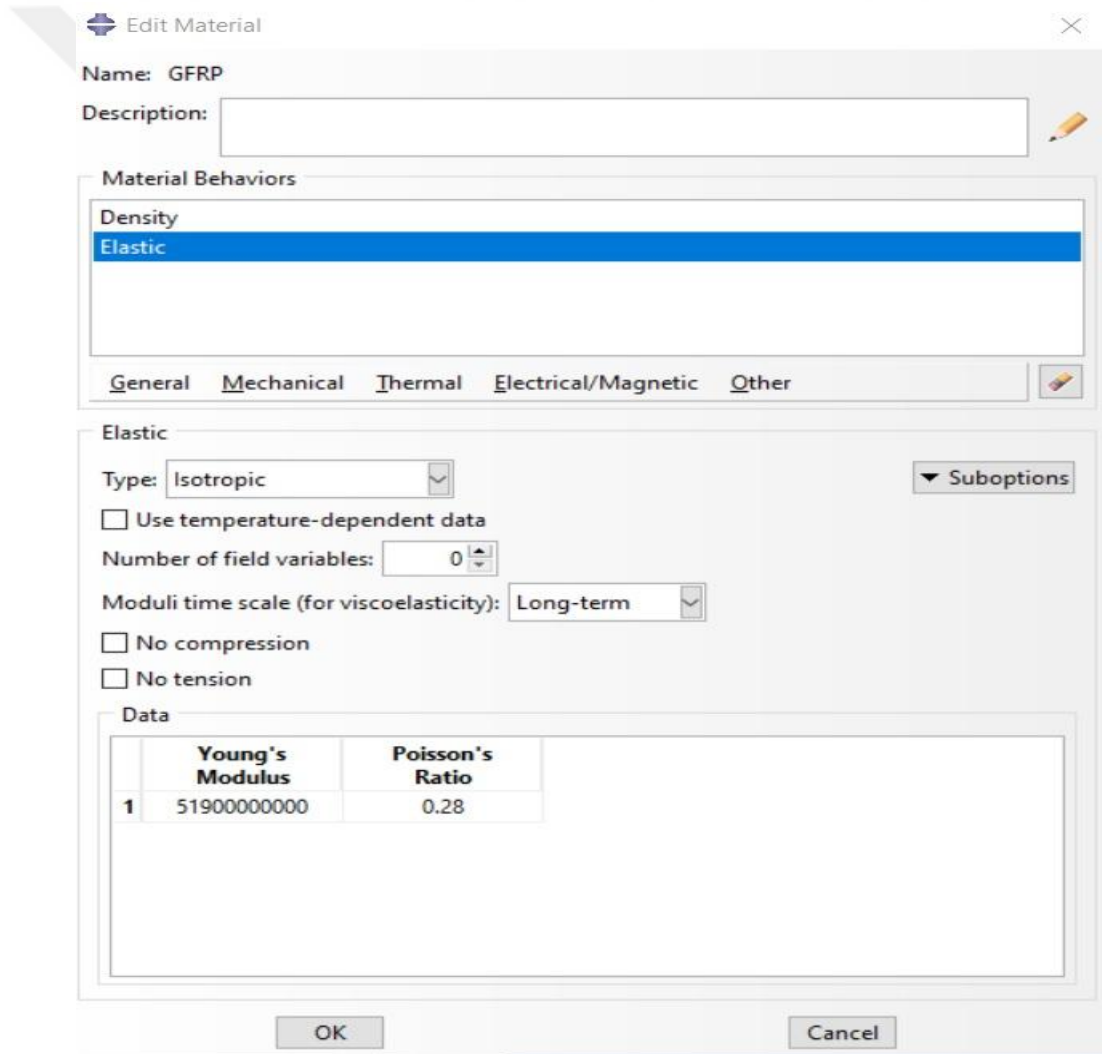


Şekil 5.22 GFRPS döşemesi deneysel sonuçlarla Abaqus modellemesi karşılaştırması

5.6 GFRPS-F Döşemesi İçin Yapılan Abaqus Modeli

Çalışmanın bu bölümünde deneyleri yapılan döşemelerin Abaqus programında sonlu elemanlar analizleri yapılmıştır. Döşemelerin öncelikle malzeme nitelikleri modellenmiştir. Betonun yoğunluk değeri 2400 kg/m^3 olarak girilmiştir. Poisson oranı 0.2 dir. GFRP için yoğunluk değeri olan 1950 kg/m^3 girilmiştir. GFRP'nin Poisson oranı 0.28 dir.

GFRP için Elastisite modülü değeri 51.9 GPa olarak belirlenmiş olup Şekil 5.23'te gösterildiği gibidir.

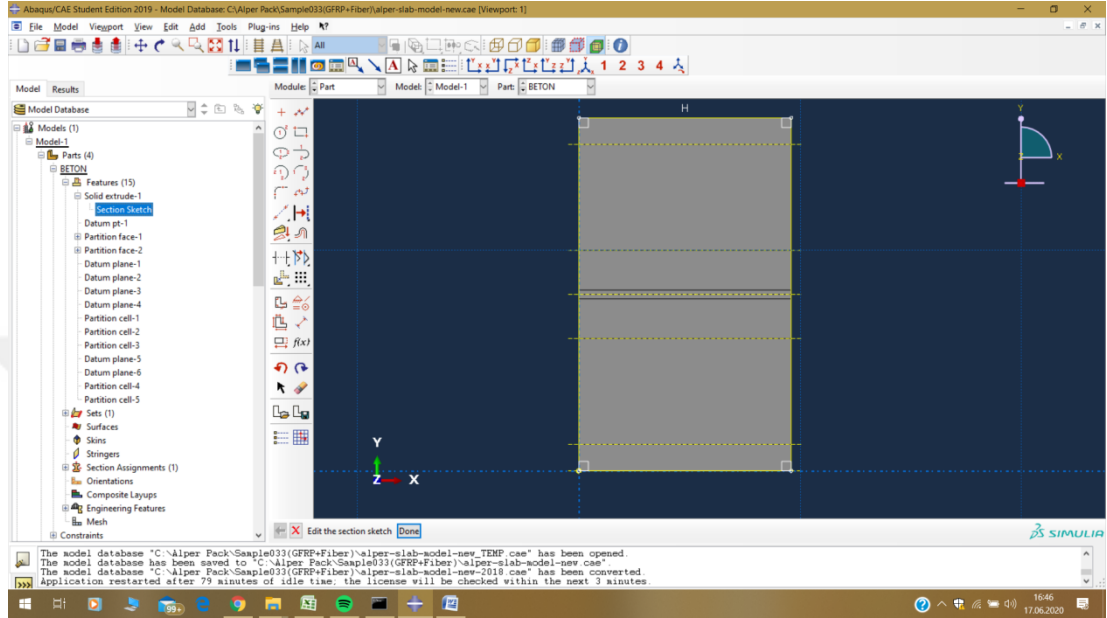


The screenshot shows the 'Edit Material' dialog box for GFRP. The 'Name' is 'GFRP'. The 'Description' field is empty. Under 'Material Behaviors', 'Elastic' is selected. The 'General' tab is active. The 'Elastic' section shows 'Type' as 'Isotropic', 'Use temperature-dependent data' is unchecked, 'Number of field variables' is 0, 'Moduli time scale (for viscoelasticity)' is 'Long-term', 'No compression' and 'No tension' are unchecked. The 'Data' table is as follows:

	Young's Modulus	Poisson's Ratio
1	51900000000	0.28

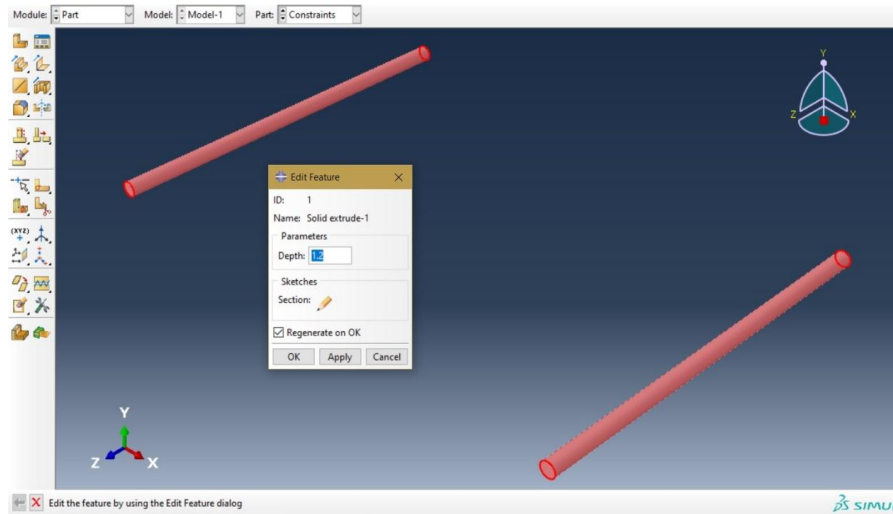
Şekil 5.23 GFRPS-F döşemesi için GFRP'nin Elastisite modülü ve Poisson oranı veri girişi

Modelleme yapılırken yüklemenin ve mesnetlerin kolay yerleştirilmesi bakımından döşemeler 0.15 metre, 0.75 metre, 1 metre, 1.25 metre ve 1.85 metre olarak ayrı ayrı atanan kesitler haline getirilmiş olup Şekil 5.24'te gösterilmiştir.



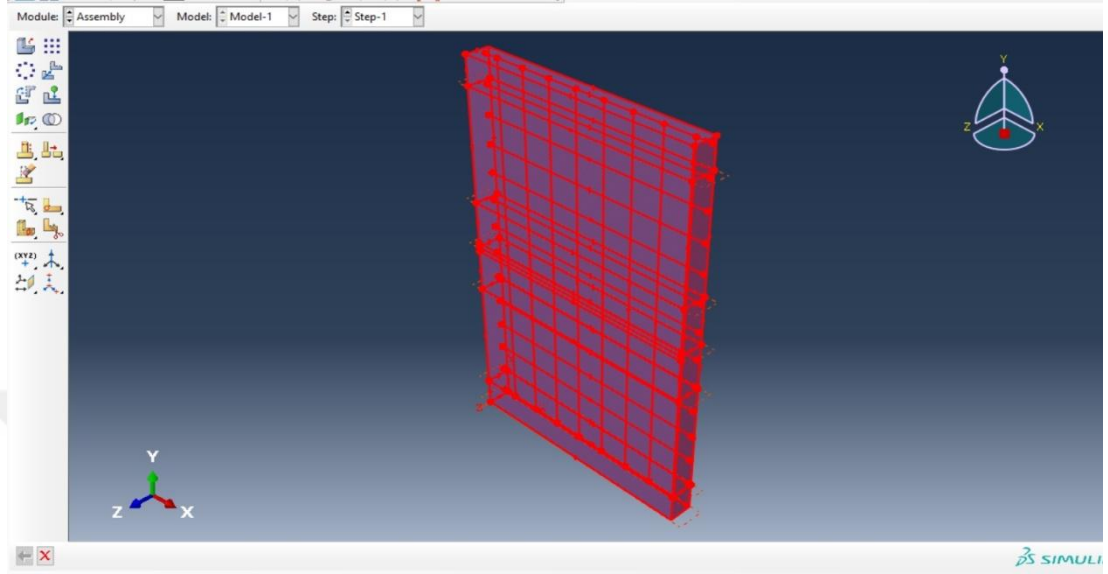
Şekil 5.24 GFRPS-F döşemesi için atanan kesitler

GFRPS-F döşemesi için mesnet şartları modele uygun şekilde Şekil 5.25'te sağlanmıştır.

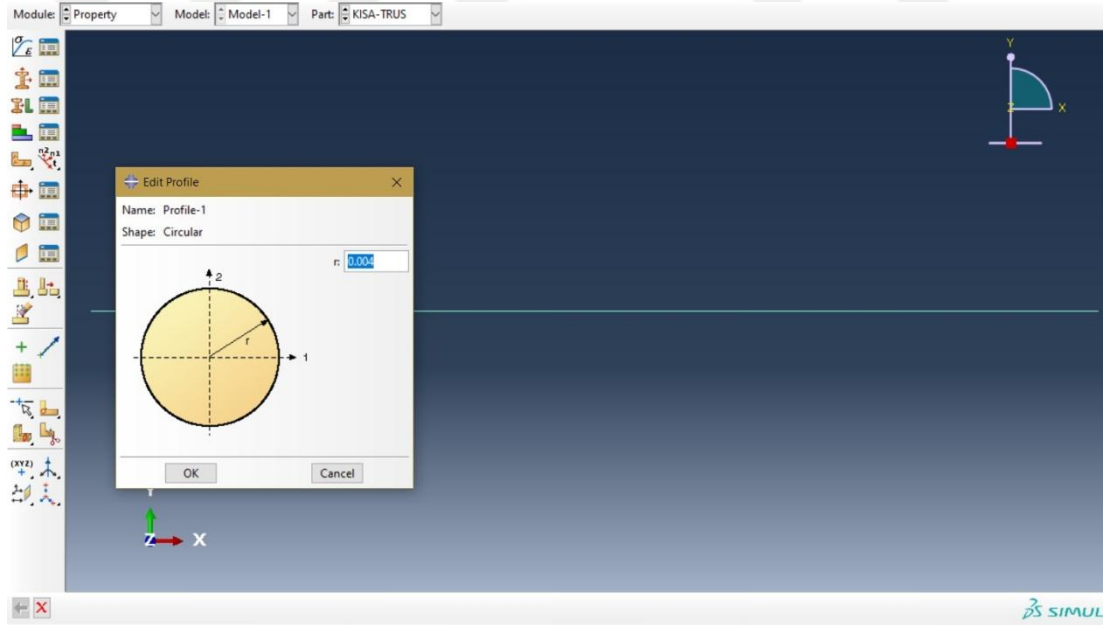


Şekil 5.25 GFRPS-F döşemesi için modellenen mesnetler

Kısa ve uzun donatılar Şekil 5.26 ve Şekil 5.27’de gösterildiği gibi uygun şekilde modellenmiştir.



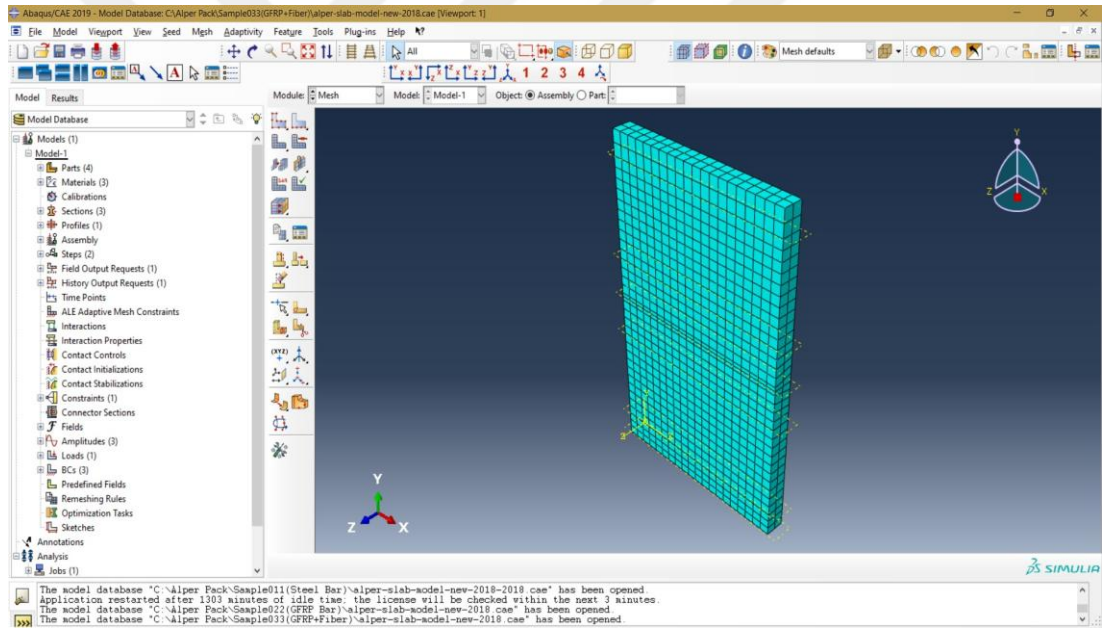
Şekil 5.26 Donatıların modellenmesi



Şekil 5.27 Donatı yarıçapının girişi

Abaqus, tüm modele veya bir kısmına uzamsal olarak dağıtılan verilerden alan çıktısı üretir. Çoğu durumda, deforme olmuş şekil, kontur veya sembol çizimleri kullanarak alan çıktı verilerini görüntülemek için görselleştirme modülü kullanılabilir. Bir analiz sırasında Abaqus tarafından üretilen alan çıktısı miktarı genellikle büyüktür. Sonuç olarak, genellikle Abaqus'un alan verilerini çıktı veritabanına düşük bir hızda yazması talep edilebilir; örneğin, her adımdan sonra veya analizin sonunda. Abaqus / Explicit analiz prosedürü için, alternatif olarak her zaman artışı için veya bir dizi zaman noktasına göre alan çıktısı talep edilebilir.

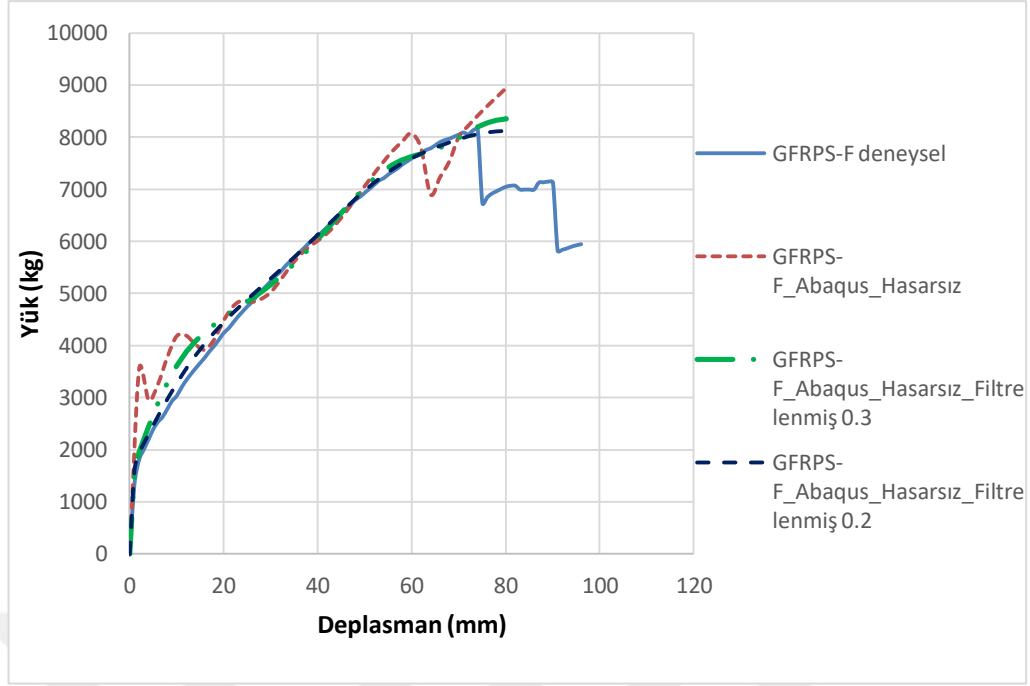
Hazırlanan döşemenin mesh (ağ) şeklindeki durumu Şekil 5.28’de gösterilmiştir. Ağlar yükleme yapılacak noktada 3 cm, diğer yerlerde ise 6 cm olacak şekilde modellenmiştir.



Şekil 5.28 Döşemenin mesh görüntüsü

5.7 GFRPS-F Döşemesi İçin Sonlu Elemanlar Analiz Sonuçları

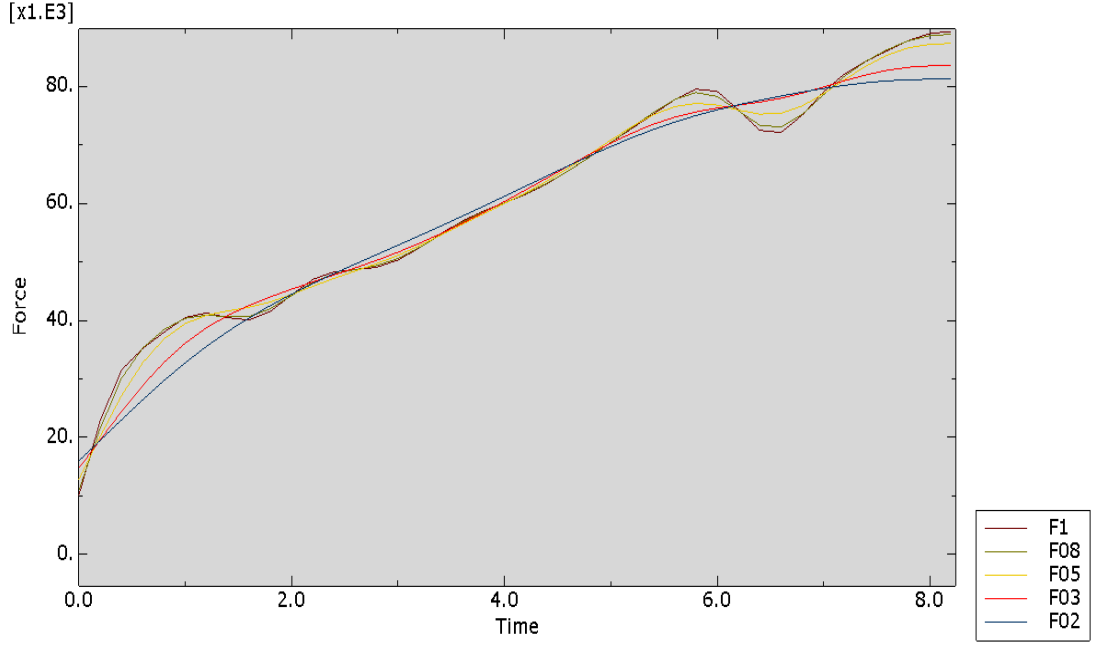
GFRPS-F döşemesi için sadece hasarsız olarak modelleme yapılmıştır. Hasarsız olan modelde taşıdığı maksimum yük miktarına kadar analiz devam ettirilmiş olup bu bölümde Şekil 5.29’da gösterilen sonuçların karşılaştırması yapılacaktır.



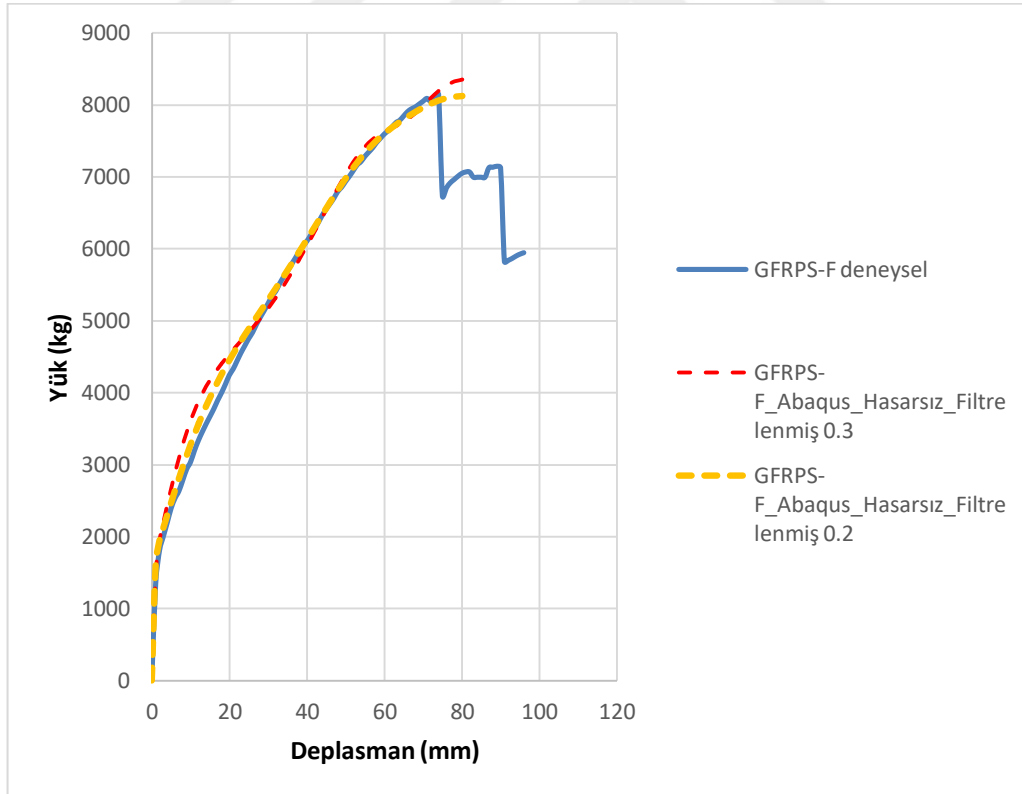
Şekil 5.29 GFRPS-F döşemesi için sonlu elemanlar çözümü yük-deplasman grafik sonuçları

Yukarıdaki grafiklere göre; deneysel sonuçların sonlu elemanlar analiz sonuçlarıyla grafik karşılaştırması yapılmak istenirse, GFRPS-F döşemesinin Abaqus modelinde taşıdığı maksimum yük hasarsız filtrelenmemiş sonucu 8938.74 kg dır. GFRPS-F döşemesinin Abaqus modelinde taşıdığı maksimum yük hasarsız 0.2 filtrelenmiş sonucu 8125.34 kg dır. GFRPS-F döşemesinin Abaqus modelinde taşıdığı maksimum yük hasarsız 0.3 filtrelenmiş sonucu ise 8356.48 kg dır.

Şekil 5.30'da gösterilmiş olan grafiklerde düzeltme uygulamak açısından farklı filtreler kullanılmıştır. Zaman kuvvetin darbe etkisi şeklinde olmaması açısından 8 s olarak seçilmiştir. Deneysel sonuçlarla uyumlu olan Abaqus hasarsız 0.2 ve Abaqus hasarsız 0.3 filtrelenmiş sonuç karşılaştırmada kullanılmıştır. Karşılaştırma Şekil 5.31'de gösterilmiştir.

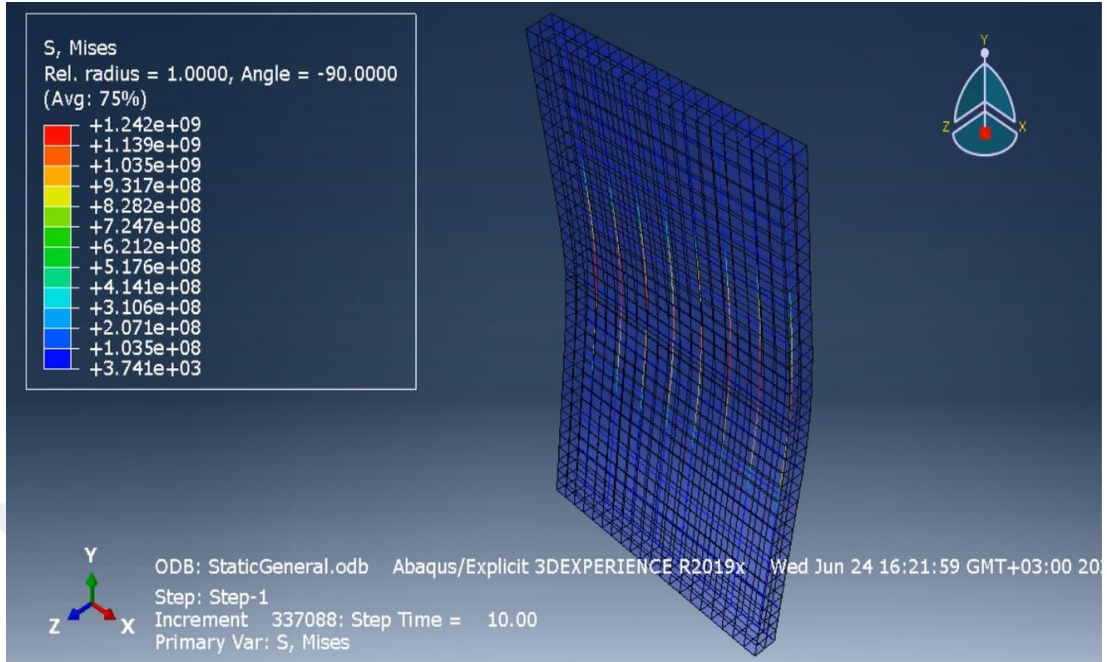


Şekil 5.30 GFRPS-F döşemesi için farklı filtrelenmiş yük(kN) – zaman(s) grafikleri



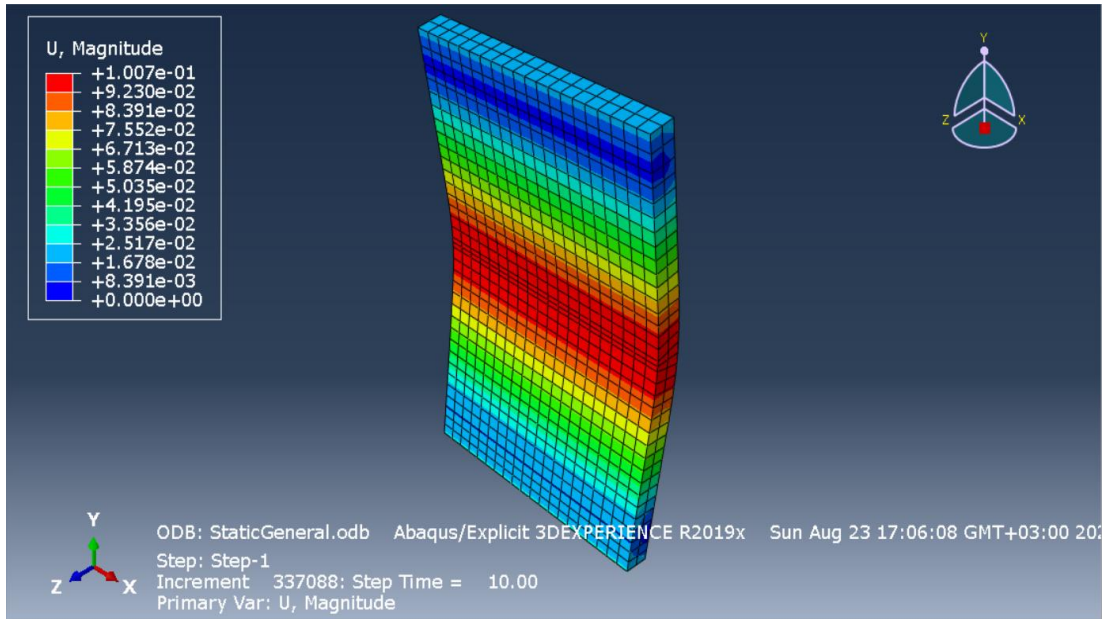
Şekil 5.31 GFRPS-F döşemesi deneysel sonuçlarla Abaqus modellemesi karşılaştırması

Yükleme altında oluşan gerilmeler Şekil 5.32’de gösterildiği gibidir.



Şekil 5.32 Yüklem altında döşemede oluşan gerilmeler

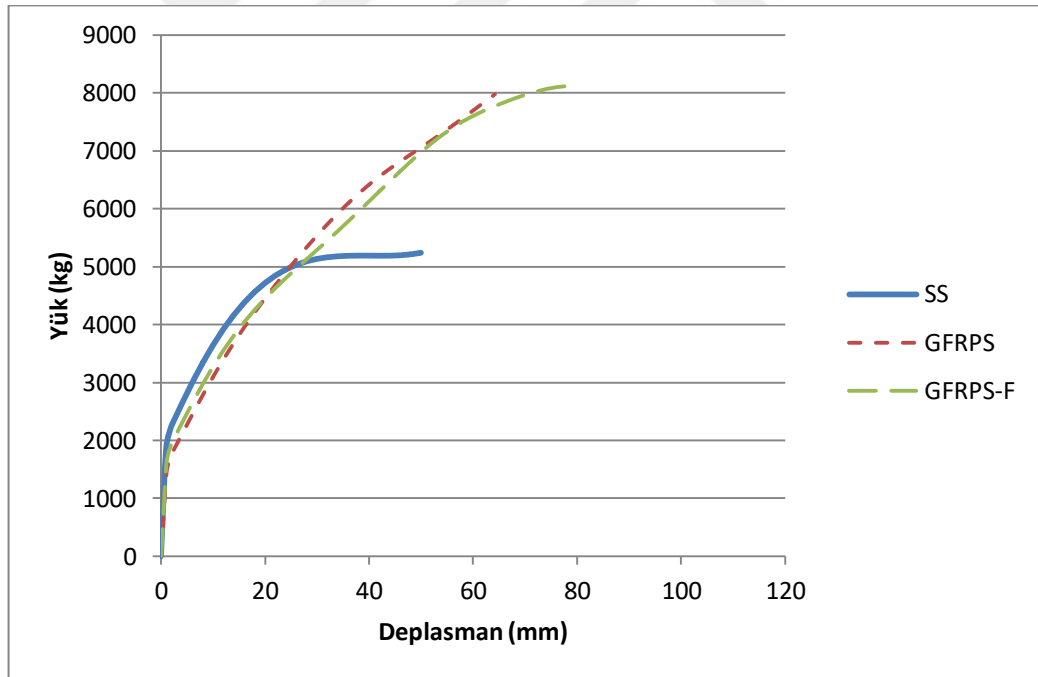
Döşemelerde oluşan deplasmanların ekran görüntüsü Şekil 5.33’te gösterildiği gibidir.



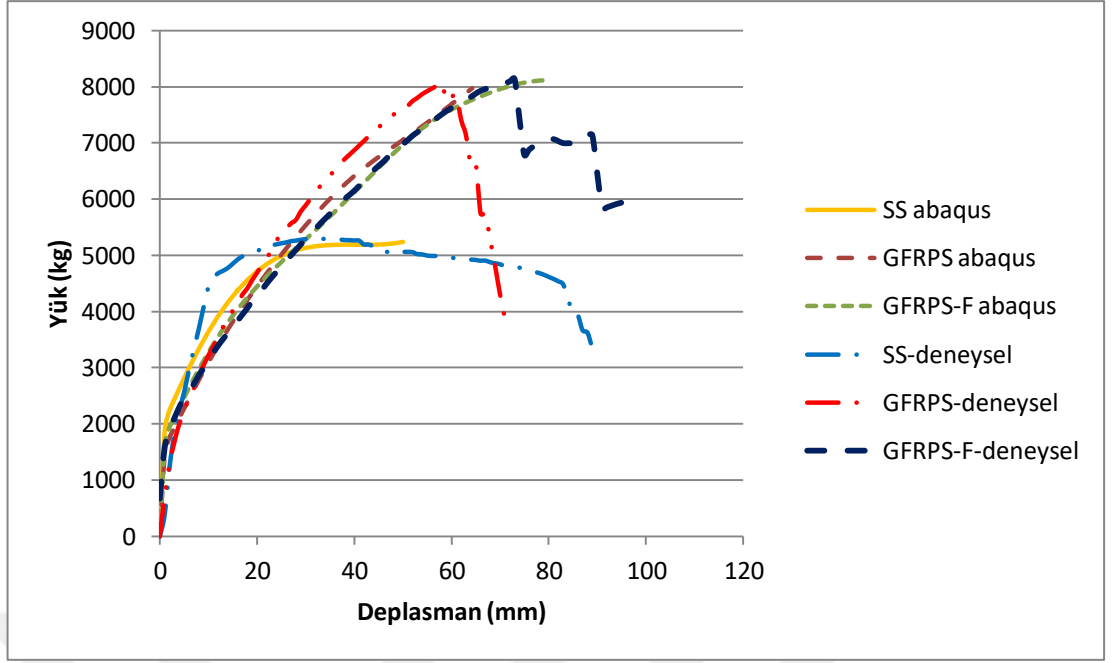
Şekil 5.33 Döşemelerde oluşan deplasmanlar

5.8 Deneysel ve Sonlu Elemanlar Analiz Sonuçlarının Karşılaştırması

SS, GFRPS ve GFRPS-F döşemelerinin hasarsız 0.2 filtrelenmiş Abaqus sonuçlarının karşılaştırması Şekil 5.34'te gösterilmiştir. SS, GFRPS ve GFRPS-F döşemelerinin Abaqus hasarsız 0.2 filtrelenmiş sonuçları ile deneysel sonuçlarının karşılaştırması Şekil 5.35'te gösterilmiştir. Abaqus sonuçlarına göre; SS döşemesinin taşıdığı maksimum yük miktarı 5234.21 kg'dır, GFRPS döşemesinin taşıdığı maksimum yük miktarı 7976.58 kg'dır, GFRPS-F döşemesinin taşıdığı maksimum yük miktarı 8125.34 kg'dır. Abaqus sonuçlarına göre; GFRPS döşemesi SS döşemesine göre %24.21 daha fazla yük taşımıştır, GFRPS-F döşemesi SS döşemesine göre %25.6 daha fazla yük taşımıştır. Hem deneysel hem de Abaqus sonuçlarına göre; GFRPS ve GFRPS-F nin yaklaşık aynı miktarda yük taşıdığı görülmektedir. Deneysel ve Abaqus sonuçları birbirine oldukça uyumludur. Bu bize oluşturulan modelin gerçeği yansıttığını göstermektedir.



Şekil 5.34 Abaqus sonuçlarının karşılaştırması



Şekil 5.35 Deneysel sonuçlarla Abaqus sonuçlarının karşılaştırması

6. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada, farklı çekme donatılarına ve GFRP kompozitlerine sahip döşemelerin eğilme davranışları araştırılmıştır. Her bir döşeme için yük-deplasman grafikleri elde edilmiştir. Bu grafikler üzerinden döşemelerin enerji yutma kapasiteleri, test sonuçlarından elde edilen yük-deplasman eğrileri kullanılarak hesaplanmıştır. Ayrıca betonun içerisine hacimce belirli bir yüzde ile eklenen polipropilen liflere sahip bir döşemenin yük, deplasman ve enerji yutma kapasitesi parametlerinin diğer döşemelerle karşılaştırılması yapılmıştır.

DeneySEL sonuçlara göre, sadece GFRP kompozitlerine sahip GFRPS-1 ve GFRPS-2 döşemelerinde ulaşılan maksimum yük değerleri sırasıyla 7640 ve 8655 kg dır. Sadece çelik donatı kullanılan SS-1 ve SS-2 döşemelerinde ise ulaşılan maksimum yük değerleri sırasıyla 5550 ve 5065 kg dır. Bu sonuçlara göre GFRP kompozitlerine sahip döşemeler, çelik donatıya sahip döşemelere kıyasla %52,56 daha fazla yük taşımıştır. GFRPS-1 ve GFRPS-2 döşemelerinin maksimum deplasman değerleri birbirine yakın olup sırasıyla 58 ve 61 mm dir. SS-1 ve SS-2 döşemelerinde ise bu değerler sırasıyla 86 ve 83 mm dir. GFRP kompozitlerine sahip döşemeler, çelik donatılı döşemelere kıyasla %42,01 daha düşük deplasmana sahiptir. GFRP kompozitlerine sahip döşemelerde, çelik donatılı döşemelere kıyasla daha fazla çatlak meydana gelmiştir. GFRP kompozitleri, donatı çeliğine göre farklı bir davranış sergilemiştir. GFRP döşemeler test sırasında düzenli artan bir yük etkisi altındadır. Polipropilen lif kullanılan GFRPS-F döşemesi GFRPS ile kıyasla %0,64 daha fazla yük taşımıştır, enerji yutma kapasitesi %27,32 daha fazladır. GFRPS-F döşemesi SS ile kıyasla %34,87 daha fazla yük taşımıştır, enerji yutma kapasitesi %25,59 daha fazladır.

Abaqus sonuçlarıyla deneysel sonuçların karşılaştırması yapılmak istenirse, sonuçlar birbiriyle uyumludur. SS döşemesinin hasarsız 0.2 filtrelenmiş sonucuyla deneysel sonucun karşılaştırması yapılacak olursa, deneysel sonuç 5297,5 kg'dır. Hasarsız 0.2 filtrelenmiş Abaqus sonucu ise 6045 kg'da maksimum değerine ulaşmıştır. Abaqus sonucu deneysel sonuca göre %14,11 daha fazla yük taşımıştır. GFRPS ve GFRPS-F döşemelerinin hasarsız 0.2 filtrelenmiş sonuçlarıyla deneysel sonuçlar istenilen şekilde birbirine benzer çıkmıştır.

Yükleme sona erdiğinde, SS döşemelerde merkezde yükün uygulandığı bölgede büyük bir çatlak gözlenmiştir. GFRP döşemelerde kompozit donatılara paralel çok sayıda ince çatlak meydana gelmiştir. GFRP döşemeleri deneyden sonra eski konumuna yaklaşmıştır. SS döşemelerinde ise hasar daha kalıcı olup eski konumuna gelemediği gözlenmiştir. GFRPS-F döşemesinde betona eklenen polipropilen lif katkısı sayesinde çatlakların azaldığı ve merkeze yaklaştığı tespit edilmiştir. Ayrıca GFRPS-F' nin elasto-plastik davranış sergilediği ve diğerlerine kıyasla başlangıç pozisyonuna geri döndüğü gözlenmiştir.

Bu sonuçlara göre, polipropilen lifler betonun gerilme davranışına önemli ölçüde katkıda bulunmuş ve GFRPS-F döşemesi tüm döşemelerden daha iyi süneklik ve enerji tüketimi sergilemiştir. Son olarak, GFRP kompozitlerinin saha betonlarında, beton yollarda, prefabrik panel duvarlarda ve döşemelerde güvenle kullanılabilceği söylenebilir.



KAYNAKLAR

- [1] Mousavi, T., Shafei, E. Impact response of hybrid FRP-steel reinforced concrete slabs. Structures 2019;19:436–48.
- [2] Hassan, A., Khairallah, F., Mamdouh, H., Kamal, M. Evaluation of self-compacting concrete columns reinforced with steel and FRP bars with different strengthening techniques. Structures 2018;15:82–93.
- [3] Li, Y. Y., Wang, Y. L. Ou, J. P. Mechanical behavior of BFRP-steel composite plate under axial tension. Polymers. 2014, 6, 1862–1876,
- [4] Şeker, M. Cam Elyaf Takviyeli Polimer Donatı ile Beton Arasındaki Aderans Dayanımının Araştırılması. Harran Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Şanlıurfa, 2019, 42 s. (Yüksek Lisans Tezi)
- [5] Akgül, T. GFRP’lerle Güçlendirilen Çelik Yapı Elemanlarının Mekanik Dayanımının İncelenmesi. ISITES2016, 3-5 Kasım 2016, Alanya/Antalya (Bildiriler Kitabı 1861-1870.)
- [6] Doğan, M. Betonarme Yapılardaki Deprem Hasarlarına Korozyonun Etkisi. Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi. 2009, 22(1), 147–168.
- [7] Servet, Y, Yakup, B., Oğuzhan, K. Cam Elyaf Katkısının Betonun Basınç ve Çekme Dayanımı Üzerindeki Etkisi. Politeknik Dergisi. 2010, 13(3), 239-243.
- [8] Köroğlu, M. A., Özdöner, N. Behavioural Study of Steel Fiber and Polypropylene Fibre Reinforced Concrete. Paper presented at the Key Engineering Materials, 2016, 59-63.
- [9] Kakooei, S., Akil, H. M., Jamshidi, M. and Rouhi, J. "The effects of polypropylene fibers on the properties of reinforced concrete structures", Construction Building Materials. 2012, 27(1), 73-77.
- [10] Sarıbıyık, M., Cumhuri, A., Aydın, F., Sarıbıyık, A. Pultrüzyon Metodu ile Üretilen Cam Fiber Takviyeli Plastik Profillerin Sera Modellemesinde Kullanılması. Uluslararası Deprem ve Yapı Mühendisliğinde Gelişmeler Sempozyumu, 24-26 Ekim 2007, Isparta (Bildiriler Kitabı 674-682.)
- [11] Abdalla, H. "Evaluation of deflection in concrete members reinforced with fibre reinforced polymer (FRP) bars". Composite Structures. 2002, 56(1), 63-71.
- [12] Polat, M. GFRP donatılı betonarme kirişlerin yüksek sıcaklık etkileri altında yapısal davranışlarının incelenmesi. Erzincan Binali Yıldırım Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Erzincan, 2019, 121s. (Yüksek Lisans Tezi)
- [13] Maranan, G.B. , Manalo, A.C. , Benmokrane, B. , Karunasena, W. , Mendis, P. , Nguyen, T.Q. Flexural behavior of geopolymer-concrete beams longitudinally

reinforced with GFRP and steel hybrid reinforcements, *Engineering Structures*, 2019, 182, 141-152.

[14] Unsal I. , Dundar C. , Tanrikulu A. K. , Çekme Rijitleşmesinin FRP ve Çelik Donatılı Betonarme Kirişlerin Yük-Deplasman Davranışı Üzerindeki Etkisi. *Çukurova Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*. 2016, 31(1), 429-439.

[15] Hawileh, R. A. Finite element modeling of reinforced concrete beams with a hybrid combination of steel and aramid reinforcement. *Materials and Design*. 2015, 65, 831-839.

[16] Unsal, I. , Tokgoz, S. , Cagatay, I. H. , Dundar, C. A study on load-deflection behavior of two-span continuous concrete beams reinforced with GFRP and steel bars, *STRUCTURAL ENGINEERING AND MECHANICS*. 2017, DOI: 10.12989/sem.2017.63.5.629.

[17] Şahin, A. GFRP ve Çelik Donatılı Hibrit Kirişlerde Donatı Sıralamasının Eğilme Davranışı Üzerine Etkileri. *Kırıkkale Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Kırıkkale, 2019, 74s. (Yüksek Lisans Tezi)*

[18] Kurtoglu, A. E. Punching Shear Capacity of Two-way Slabs Reinforced with Glass Fiber Reinforced Polymer (GFRP) Rebars. *University of Gaziantep, Civil Engineering, Gaziantep, 2016, 153s. (Ph.D. Thesis)*

[19] Zaidi, A, Masmoudi, R. Thermal effect on fiber reinforced polymer reinforced concrete slabs. *Canadian Journal of Civil Engineering*. 2008, 35, 312-320.

[20] Dharan, D., Lal, A. Study the effect of polypropylene fiber in concrete. *International Research Journal of Engineering and Technology (IRJET)*. 2016, Vol:03, Issue:06.

[21] Demir, A. Önüretimli Betonarme ve Lif Donatılı Beton Plakalar ile Kirişlerin Güçlendirilmesi: Alternatif Bir Yöntem. *Manisa Celal Bayar Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Manisa, 2012, 205s. (Doktora Tezi)*

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Alper KARADIŞ
Doğum Yeri ve Yılı : İzmir, 1993
Medeni Hali : Bekar
Yabancı Dili : İngilizce
E-posta : alperkaradis_1993@hotmail.com

Eğitim Durumu

Lise : Bornova Hatice Güzelcan Anadolu Lisesi, 2011
Lisans : Manisa Celal Bayar Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, 2015

Mesleki Deneyim

İzmir DSİ 2.Bölge Müdürlüğü (Şantiye Stajı) 2013
İlbank A.Ş. İZMİR Bölge Müdürlüğü (Büro Stajı) 2014

Yayımları

Demir, A., Karadis, A., Altiok, T. Y., Cetin, K. Behaviors of Composite Slabs Having Glass Fiber Reinforced Polymer Bars and Polypropylene Fibers. 2nd International Congress on Engineering and Architecture, 2019, Muğla, (Bildiriler Kitabı).

Demir, A., Karadis, A., Cetin, K., Altiok, T. Y. Behaviour of Reinforced Concrete Slabs Having Glass Fiber Reinforced Polymer and Steel Bars. International Civil Engineering Architecture Conference (ICEARC 2019), 2019, Trabzon, (Bildiriler Kitabı).

INVESTIGATION OF CONCRETE SLABS HAVING GLASS FIBERREINFORCED POLYMER BARS - II. INTERNATIONAL UNIVERSITY INDUSTRY COOPERATION, RD AND INNOVATION CONGRESS , (14.11.2018 -15.11.2018)