

T.C.
ERZİNCAN BİNALİ YILDIRIM ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**GEO-GRİD SARGILI ve POLİPROPİLEN KATKILI BETONARME
KİRİŞLERİNDE EĞİLME DAVRANIŞLARININ İNCELENMESİ**

Uğurcan ERGÜN

Danışman: Doç. Dr. Hakan YALÇINER

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ
ANABİLİM DALI

ERZİNCAN
2018
Her Hakkı Saklıdır.

Kabul ve Onay Sayfası

Doç. Dr. Hakan YALÇINER danışmanlığında, Uğurcan ERGÜN tarafından hazırlanan bu çalışma 21.12.2018 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı'nda Yüksek Lisans Tezi olarak oybirliği/oy çokluğu (.../...) ile kabul edilmiştir.

Başkan : Dr. Öğr. Üyesi Yaşar AYAZ

İmza: 

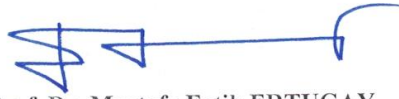
Üye : Doç Dr. Hakan YALÇINER

İmza: 

Üye : Dr. Öğr. Üyesi Atila KUMBASAROĞLU

İmza: 

Yukarıdaki sonuç Enstitü Yönetim Kurulunun 27.01.2019 tarih ve 1./...4 sayılı kararı ile onaylanmıştır.



Prof. Dr. Mustafa Fatih ERTUGAY
Enstitü Müdürü

Not: Bu tezde kullanılan özgün ve başka kaynaklardan yapılan bildirişlerin, şekil ve tabloların kaynak olarak kullanımı, 5846 sayılı Fikir ve Sanat Eserleri Kanunundaki hükümlere tabidir.

Bilimsel Etiğe Uygunluk Sayfası

“Geo-grid Sargılı ve Polipropilen Katkılı Betonarme Kirişlerinde Eğilme Davranışlarının İncelenmesi ” isimli “Yüksek Lisans” tezim tarafımca intihal tespit programı ile incelenmiştir. Buna göre tezimde bilimsel etik ihlali ve intihal olarak nitelendirilebilecek herhangi bir durum olmadığını taahhüt ederim.

Bu çalışmadaki tüm bilgilerin, akademik ve etik kurallara uygun bir biçimde elde edildiğini; aynı zamanda bu kural ve davranışların gerektirdiği gibi, bu çalışmanın özünde olmayan tüm materyal ve sonuçları tam olarak aktardığımı ve referans gösterdiğimi beyan ederim. 21.12/2018

(İmza)
Uğurcan ERGÜN

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

GEO-GRİD SARGILI ve POLİPROPİLEN KATKILI BETONARME KİRİŞLERİNDE EĞİLME DAVRANIŞLARININ İNCELENMESİ

Uğurcan ERGÜN

Erzincan Binali Yıldırım Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Doç. Dr. Hakan YALÇINER

Betonun en büyük dezavantajlarından biri çekme dayanımının ihmal edilebilecek kadar düşük olması ve asal çekme gerilmeleri doğrultusunda çatlamanın kaçınılmaz olmasıdır. Kapasite tasarım ilkesi doğrultusunda betonarme elamanların taşıma gücü kapasitelerine daha sünek bir davranışla ulaşmaları için kesme kırılmasının önlenmesi amaçlanmaktadır. Bu bağlamda betonarme elemanlarının sünekliğini artırmak amacıyla farklı sargılama yöntemleri ve katkı malzemelerinin kullanımı mevcut literatürde yerini almıştır. Bu yöntemlerden biri de geo-grid kullanımı ile sağlanan sargılamadır. Ancak yapılan çalışmalarda farklı sargılama yöntemlerinin ya da katkı malzemelerinin kesme etkisi tam olarak incelenmemiş olup, özellikle donatıda aderans-sıyrılma ve buna bağlı olarak yapısal performans etkisi ihmal edilmiştir. Deneysel olarak çalışılan bu çalışmada iki farklı sargılama yönteminin (geleneksel ve geo-grid sargılı) ve plastik liflerin tam ölçekli betonarme kirişleri davranışı üzerindeki etkisinin incelenmesi hedeflenmiştir. Bunun için 15 adet betonarme kirişi önce iki farklı sargılama tekniğinde iki ana gruba ayrılmıştır. Birinci grupta geleneksel etriye, ikinci grupta ise geo-grid sargılama tekniği kullanılmıştır. Her bir ana grup ardından kendi içerisinde iki farklı etriye aralığında deneye tabi tutulmuştur. Birinci etriye aralığı geleneksel yöntemlere göre hesaplanan etriye aralığı (çekme kırılması) iken seçilen ikinci etriye aralığı ise kesme kırılması davranışını inceleyebilmek için artırılan etriye aralığıdır. Her bir alt grup daha sonra kendi içinde beton hacmine bağlı olarak üç farklı plastik fiber oranı (%0, %0.5 ve %1.5) için alt gruplara ayrılmıştır. Tam ölçekli betonarme kirişleri için eğilme deneyleri yapılarak; farklı sargılama yöntemleri, farklı etriye aralıkları ve plastik fiber oranları için; kuvvet-deplasman, moment-eğrilik, aderans-sıyrılma değerleri elde edilmiştir. Literatürdeki geo-grid çalışmalarında göz önüne alınmayan aderans-sıyrılma ve buna bağlı olarak yapısal davranış etkisinin eksikliğini giderilmesi hedeflenmiştir. Elde edilen deney sonuçları geo-grid sargılama tekniğinin kullanımına yönelik yapılan önerilerin; mevcut literatürdeki çalışma sonuçlarının donatısız elemanlar ile karşılaştırılması ve deneylerde kullanılan numunelerin ölçekli olması ve buna bağlı olarak eğilme kapasitelerin sınırlandırılmasından dolayı deney sonuçlarının sınırlı olduğu bulunmuştur. Sargılama tekniğinin geo-grid malzemesi kullanılarak sağlanan betonarme kirişlerinin yapısal davranışlarının geleneksel betonarme kirişlerinin sağladığı davranışı karşılayamadığı sonucuna ulaşılmıştır.

2018, 57 Sayfa

Anahtar Kelimeler: Betonarme kirişleri, Geo-grid, Plastik fiber.

ABSTRACT

Master Thesis

INVESTIGATION of FLEXURAL STRENGTH of REINFORCED CONCRETE BEAMS WITH GEO-GRID CONFINEMENT and WITH POLYPROPYLENE ADDITIVE

Uğurcan ERGÜN

Erzincan Binali Yıldırım University
Institute of Natural and Applied Sciences
Department of Civil Engineering

Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Hakan YALÇINER

One of the fundamental disadvantages of concrete is that the tensile strength can be low enough to be negligible and cracking in the direction of prime tensile stresses is inevitable. In the direction of capacity design principle it is aimed to prevent shear failure in order to ensure a more ductile behavior for the capacity of the reinforced concrete elements. In this context, the use of different confined methods and additives in order to increase the ductility of reinforced concrete elements has taken place in the current literature. One of these methods is the confinement provided by using the geo-grid. However, in the current literature the shear effect of different confined methods and additive materials has not been fully investigated and particularly the bond-slip relationship in the reinforcement bars and consequently the structural performance effect was neglected. In this experimental study, it is aimed to investigate the effect of two different confinement methods (traditional and geo-grid confining) and plastic fibers on the behavior of full-scale reinforced concrete beams. For this purpose, fifteen reinforced concrete beams casted in place were divided into two main groups with two different confining techniques. In the first group, the traditional method was used, while in the second group, the geo-grid confining technique was used. Each of the main groups was then subjected to the experiment in two different spacing of stirrups. The first spacing of stirrups was calculated according to conventional methods for bending break while the second selected spacing of stirrups was the increased spacing of stirrups to examine the shear failure behavior. Each subgroup was then divided into subgroups for three different plastic fiber ratios (0%, 0.5% and 1.5%) depending on the volume of concrete. Flexure tests were carried out for full-scale reinforced concrete beams; load-displacement, moment-curvature and bond-slip values were obtained for different confined methods, for different spacing of stirrups and for plastic fiber ratios. It is aimed to eliminate the bond-slip relationship and consequently the lack of structural behavior effect which is not considered in geo-grid studies in the literature. Obtained test results, suggestions for use of geo-grid confining technique, it has been found that the results of the study in the current literature are comparable with unreinforced elements and the test results are limited due to the fact that the samples used in the experiments were scaled and thus the flexural capacities were limited. It has been reached the conclusion that for confining technique, the structural behaviors of reinforced concrete beams provided by using geo-grid material cannot meet the behavior of conventional reinforced concrete beams.

2018, 57 Pages

Keywords: Reinforced concrete beams, Geo-grid, Plastic fibers.

TEŞEKKÜR

Başta beni bu saygın yola teşvik eden, her koşulda ve her durumda desteğini esirmeyen kendini bilime ve akademiye adamış çok kıymetli danışmanım, Doç. Dr. Hakan YALÇINER, Öğretim Üyesi Dr. Atilla KUMBASAROĞLU, üniversite arkadaşım İnşaat Mühendisi Ahmet İhsan TURAN ve Erzincan Üniversitesi 2016 yılı inşaat mühendisliği bölümü 4. Sınıf öğrencilerine, çok kıymetli anneme, babama, kardeşime, rahmetli dedeme ve düzenleme işleminde desteğini esirgemeyen meslektaşım Setenay ÖZEN'e teşekkürü borç bilirim.

Bu tez çalışması Erzincan Binali Yıldırım Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi Tarafından BAP – FBA – 2017 – 417 proje numarası ile desteklenmiş olup bu projenin gerçekleşmesine büyük katkı sağladıkları için Erzincan Binali Yıldırım Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimine teşekkürü borç bilirim.

Uğurcan ERGÜN

Aralık, 2018

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET.....	i
ABSTRACT	ii
TEŞEKKÜR.....	iii
İÇİNDEKİLER	iv
ŞEKİLLER LİSTESİ	v
SİMGELER ve KISALTMALAR	vii
1. GİRİŞ	1
2. KAYNAK ÖZETLERİ	9
3. MATERYAL ve YÖNTEM.....	14
3.1. Malzeme ve Kesit Özellikleri.....	14
3.1.1. Beton.....	15
3.1.2. Donatı	16
3.1.3. Geo-grid.....	17
3.1.4. Polipropilen lifler.....	17
3.2. Betonarme Kirişlerinin Kesit Özellikleri.....	18
3.2.1. Betonarme elemanlarının inşası.....	19
3.2.1.1. Kalıp işleri.....	19
3.2.1.2. Betonarme kafeslerin inşası	20
3.2.1.3. Beton döküm işleri.....	21
3.3. Deney düzeneği ve ölçümler	27
4. ARAŞTIRMA BULGULARI.....	31
4.1. Elde Edilen Çatlak Desenleri	31
4.2. Yük-Deplasman Sonuçları	40
4.3. Enerji Emilim Kapasiteleri	45
4.4. Moment-Eğrilik İlişkisi	46
4.5. Aderans-Sıyrılma İlişkisi.....	48
5. SONUÇLAR	52
KAYNAKLAR	54
EKLER.....	56
Ek-1. Tez Çalışması Süresince Yapılan Akademik Çalışmalar	57
ÖZGEÇMİŞ	58

ŞEKİLLER LİSTESİ

Sayfa

Şekil 1.1. Farklı mesnetlenme türleri	4
Şekil 3.1. Tasarlanan kirişler	15
Şekil 3.2. Deneysel çalışmalar kapsamında kullanılan nervürlü donatı	16
Şekil 3.3. Tek eksenli geo-grid (a) Geo-grid desen düzeni, (b) Geo-grid malzemesinin sarılma şekli	17
Şekil 3.4. Çalışmada kullanılan plastik fiber	18
Şekil 3.5. Betonarme kirişlerinin kesit özellikleri (a) Geleneksek kirişler, (b) Geo-grid sarımlı kirişler	19
Şekil 3.6. Hazır hale getirilen ply-wood kalıpları	20
Şekil 3.7. Deneysel çalışmalar için hazırlanan betonarme kirişlerinin demir-donatı işlemlerinin yapım aşaması	21
Şekil 3.8. Beton dökümünden önce kalıplara alınan betonarme kafesleri ve güçlendirme işlemleri	21
Şekil 3.9. Beton santraline götürülen plastik fiberlerin belirlenen oranlarda betona katılma işlemi	22
Şekil 3.10. Hazırlanan kirişlerin beton döküm işlemi	23
Şekil 3.11. Beton döküm işlemi sırasında vibratör işlemi	23
Şekil 3.12. Beton döküm işleminden sonra beton yüzeylerinin düzeltilmesi.....	24
Şekil 3.13. Küp numunelerin alınması	25
Şekil 3.14. Deneye tabi tutulacak betonarme kirişleri.....	25
Şekil 3.15. Betonarme kiriş numunelerinde tamir harcı ile tadilat yapılma işlemi ve kalıpların sökülmesi.....	26
Şekil 3.16. Betonarme kirişlerinin laboratuvar ortamına taşınması	26
Şekil 3.17. Yükleme düzeneği (a) Deney düzeneği, (b) Şematik gösterimi.....	28
Şekil 3.18. Gerinim pullarının yapıştırılması (a) Çekme donatılarının tespit edilmesi (b) Donatı yüzeylerinin temizlenmesi ve gerinim pullarının yapıştırılması	29
Şekil 4.1. NS grubu betonarme kirişlerinin yük kaldırılmadan önce çatlak dağılımları; (NS ₁) = %0; (NS ₂) = %0,5; (NS ₃) = %1,5 plastik fiber katkıli.....	31
Şekil 4.2. NS grubu betonarme kirişleri için çatlak desenleri; (NS ₁) = %0; (NS ₂) = %0,5; (NS ₃) = %1,5 plastik fiber katkıli	32

Şekil 4.3. C grubu betonarme kirişlerinin yük kaldırılmadan önce çatlak dağılımları; (C ₁) = %0; (C ₂) = %0,5; (C ₃) = % 1,5 plastik fiber katkılı	33
Şekil 4.4. C grubu betonarme kirişleri için çatlak desenleri; (C ₁) = %0; (C ₂) = %0,5; (C ₃) = % 1,5 plastik fiber katkılı	34
Şekil 4.5. G grubu betonarme kirişlerinin yük kaldırılmadan önce çatlak dağılımları (G ₁) = %0; (G ₂) = %0,5; (G ₃) = % 1,5 plastik fiber katkılı	35
Şekil 4.6. G grubu betonarme kirişleri için çatlak desenleri ; (G ₁) = %0; (G ₂) = %0,5; (G ₃) = % 1,5 plastik fiber katkılı	36
Şekil 4.7. MC grubu betonarme kirişlerinin yük kaldırılmadan önce çatlak dağılımları (MC ₁) = %0; (MC ₂) = %0,5; (MC ₃) = % 1,5 plastik fiber katkılı	37
Şekil 4.8. MC betonarme kirişleri için çatlak desenleri; (MC ₁) = %0; (MC ₂) = %0,5; (MC ₃) = % 1,5 plastik fiber katkılı	38
Şekil 4.9. MG grubu betonarme kirişlerinin yük kaldırılmadan önce çatlak desenleri (MG ₁) = %0; (MG ₂) = %0,5; (MG ₃) = % 1,5 plastik fiber katkılı	39
Şekil 4.10. MG betonarme kirişleri için çatlak desenleri ; (MG ₁) = %0; (MG ₂) = %0,5; (MG ₃) = % 1,5 plastik fiber katkılı	40
Şekil 4.11. NS grubu için yük-deplasman grafiği	41
Şekil 4.12. Grup C ve G betonarme kirişleri için yük-deplasman ilişkileri	42
Şekil 4.13. MC ve MG betonarme kirişleri için yük-deplasman ilişkileri	44
Şekil 4.14. Enerji emilim kapasiteleri	45
Şekil 4.15. C ₁ (%0 Vf), C ₂ (%0.5 Vf), G ₁ (%0 Vf), ve G ₂ (%0.5 Vf) betonarme kirişlerinde Moment-eğrilik ilişkisi	47
Şekil 4.16. C ₃ (%1.5 Vf), MC ₃ (%1.5 Vf), G ₃ (%1.5 Vf), ve MG ₃ (%1.5 Vf) betonarme kirişlerinde Moment-eğrilik ilişkisi	47
Şekil 4.17. G ₁ (%0 Vf), NS ₁ (%0 Vf), NS ₂ (%0.5 Vf), NS ₃ (%1.5 Vf) betonarme kirişlerinde Aderans-sıyrılma ilişkileri	50
Şekil 4.18. C ₁ (%0 Vf), G ₁ (%0 Vf) betonarme kirişlerinde Aderans-sıyrılma ilişkileri	51
Şekil 4.19. MC ₁ (%0 Vf), MC ₂ (%0.5 Vf), MC ₃ (%1.5 Vf), G ₃ (%1.5 Vf) betonarme kirişlerinde Aderans-sıyrılma ilişkileri	51

SİMGELER ve KISALTMALAR

Simgeler

$\%$	Yüzde
d	Faydalı Yükseklik
d_b	Donatı Çapı
f_s	Donatıdaki Gerilim
f_y	Donatıdaki Akma Dayanımı
l_d	Aderans Boyunu
l_d'	Donatının Elastik Olmayan Bölgedeki Aderans Boyu
u_b	Aderans Gerilmesi
u'_b	Elastik Olmayan Bölgedeki Aderans Gerilmesi
V_d	Tasarım Kesme Kuvveti

Kısaltmalar

C	Sargı Donatısı Olarak Geleneksel Etriyelerin Kullanıldığı Betonarme Kirişleri
G	Sargı Donatısı Olarak Geo-grid Malzemesinin Kullanıldığı Betonarme Kirişleri
MC	Etriye Aralığının %40 Artırıldığı Geleneksel Etriyelerin Kullanıldığı Betonarme Kirişleri
MG	Etriye Aralığının %40 Artırıldığı Geo-grid Malzemesinin Kullanıldığı Betonarme Kirişleri
NS	Sargı Donatısı Bulunmayan Betonarme Kirişleri
TDY	Türk Deprem Yönetmeliği
TSE	Türk Standartları Enstitüsü

1. GİRİŞ

Çimento, agrega, su ve gerektiğinde katkı maddelerinin belirli oranlarda homojen olarak karıştırılması ile elde edilen, başlangıçta plastik kıvamda olup zamanla çimentonun hidrasyonu sebebiyle katılaşıp, istenilen kalıbın şeklini alarak sertleşen kompozit yapı malzemesine beton denir (Baradan, 2004; Sarıkaya vd. 2009).

Yapı sistemindeki betonarme elemanları için iki adet sınır durumu bulunmaktadır. Bunlardan birincisi, kullanılabilirlik sınır durumu iken ikincisi ise taşıma gücü sınır durumudur. Taşıma gücü sınır durumu tasarım yüklerinin tasarım dayanımını aşmayarak diğer bir ifade ile yapı sistemindeki elemanların taşıma kapasitelerinin tasarım yüklerine göre hesaplanması ve böylelikle eleman üzerine etki eden kesit tesirlerinin güvenli bir şekilde taşıyabilmesidir. Taşıma gücü sınır durumuna göre taşıyıcı sistemdeki her bir yapı elemanları üzerine etki eden yükü güvenli bir şekilde taşısa da bu durum yapı performansının tam olarak tanımlanması için yeterli değildir. Bu nedenle her bir yapının kullanım amacına bağlı olarak olası depremlerde kendisinden beklenen sismik performansları farklıdır. Her bir yapıdan olası depremlerde beklenen deprem performans seviyeleri farklı olsa da kapasite tasarım ilkeleri tüm betonarme yapıları için geçerlidir. Kapasite tasarım ilkesi taşıma gücü veya geleneksel olarak tanımlanan yükün karşılanma prensibinden farklı olarak taşıyıcı sistem ve taşıyıcı sistemdeki her bir elemanın taşıma kapasitesine daha sünek bir davranışla ulaşması prensibine dayanmaktadır.

Söz konusu sünekliliğin hangi ölçüde olmasına dair ve nasıl sağlanmasına ilişkin konstrüktif kurallar ve ilkeler TS 500 (2000) ve TDY 2017'de detaylı olarak açıklanmıştır. Temel olarak yeterli sünekliliğinin sağlanabilmesi için malzeme bazında süneklilik, kesit bazında süneklilik ve taşıyıcı sistem bazında sünekliliğin sağlanması gerekmektedir. Bu tez çalışmasına konu olan geo-grid sargılı plastik fiber katkılı tam ölçekli betonarme kirişleri üzerine yapılan kapsamlı deneysel çalışma; malzeme, kesit ve bu iki bileşenin sonucunda taşıyıcı sistem bazında sünekliliği incelemektedir. Bu bağlamda literatürde sıklıkla kullanılması önerilen geo-grid sargı malzemesinin yapı performansı üzerine etkileri kapsamlı bir şekilde bu tez çalışması ile incelenmiştir.

Bilindiği üzere hem malzeme hem de kesit bazında taşıyıcı sistemdeki bir yapısal elemanın sünekliliğinin ölçütü eğrilik, dönme ve taşıyıcı sistem bazında ise yeterli

deplasman yapabilme kapasitesidir. Betonarme kirişlerinde taşıma gücü varsayımları doğrultusunda sargı donatılarının taşıma gücü kapasitesine etkisi ihmal edilmektedir. Aynı şekilde betonun düşük çekme dayanımdan dolayı da çekme dayanımı da tasarım aşamasında göz önüne alınmaktadır. Taşıma gücü varsayımları doğrultusunda ihmal edilen söz konusu bu iki parametre yapı performansı üzerinde yukarıda bahsedilen kapasite tasarım ilkeleri doğrultusunda önemli bir yere sahiptir. Öyle ki Bicer (2018) ve Yalcıner (2018) tarafından yapılan çalışmalarda özellikle korozyona maruz kalmış betonarme kirişlerinde betonarme kirişlerinin taşıma gücü kapasitelerin tahmin edilebilmesi için sargı donatılarını etkisinin mutlaka göz önüne alınması gerektiği belirtilmiştir.

Betonarme yapılarda boyuna donatıya dik doğrultuda yerleştirilen enine donatı olarak adlandırılan etriyeler kesme kuvvetlerini etkisiyle oluşan çekme kuvvetini karşılamak için kullanılırlar.

Etriyelerin kullanılmasının faydaları aşağıdaki hususlarda belirtilmektedir.

1. Eğik çekme gerilmeleriyle belirli bir açı yapan etriyeler kesme kuvvetinin işaretinin değiştiği durumlarda uygundur. Etriyelerin ilk ve en önemli görevi, betonda oluşabilecek kesme gerilmelerini karşılamaktır. Eğilme momenti etkisi altında, beton çatladıktan sonra kesme gerilmesi taşıma gücünü azaltmaktadır. Bu nedenle yapılan hesaplarda betonun kesme dayanımı ihmal edilmekte ve bütün kesme gerilmelerinin etriyeler tarafından taşındığı varsayımı yapılmaktadır.
2. Etriyelerin diğer bir önemli görevi ise kolon ve kiriş boyuna donatılarda burkulmayı önlemektir. Ancak bu durumda da boyuna donatıların, burkulmasını önleyecek aralıklarda etriyeler düzenlenmelidir. Pekleşme gerilmesine ulaşıldığı zaman boyuna donatıların burkulmaması için etriyeler 10 cm aralıklarla düzenlenmelidir.
3. Boyuna donatının aderansına da katkı sağlamaktadır. Boyuna donatıların, betona aderansına ve donatıların bindirmelerinin yapıldığı yerde sık aralıklı enine donatı olması bindirmenin etkinliğine katkıda bulunmaktadır. Eksenel yük taşıyan elemanlarda betonun yanal genişleme eğilimi etriye de çekme kuvvetlerini

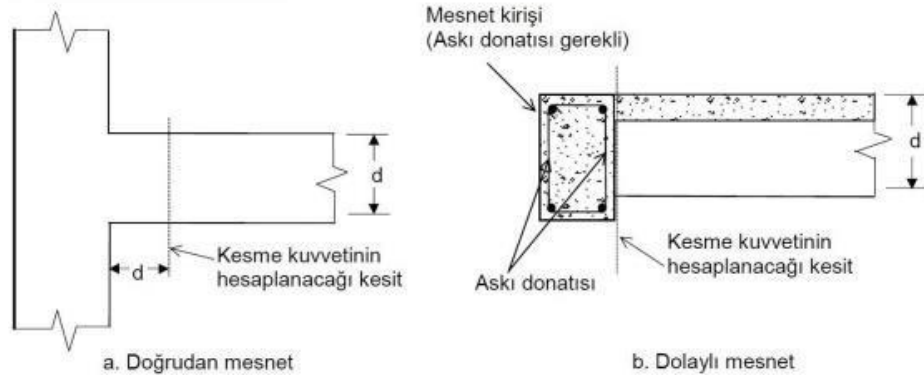
oluşturmakta bu kuvvette donatıya baskı yapmakta ve donatı ile beton arasındaki sürtünme ile aderansa katkı yapan bir kuvvet oluşturmaktadır.

4. Etriyeler yapı elemanlarının depreme dayanıklılığını da arttırmaktadırlar. Etriyelerin yeterli sıklıkta konulması kadar, uçlarının açılmayacak şekilde bükülmesi de büyük önem taşımaktadır. Beton dökülürken etriyelerin yerinden oynaması sonucu boyuna donatıların burkulma boylarının uzamasına neden olan ve betona yeteri kadar yanal destek verilmeyen bir enine donatı yerleştirme durumu oluşmaktadır. Etriyelerin sayıları yeterli olmadığında ve seyrek etriye kullanılmamasından dolayı eğik çatlak ile etriye kesişmeyecek ve etriye yetersiz kaldığından eleman gevrek 75° olarak kırılacaktır. Enine donatıların da depreme dayanıklılık yapı tasarımında miktar ve yerleştirilme biçimleri oldukça büyük önem taşımaktadır.

Kapasite tasarım ilkesi gereği betonarme elemanlarda göçme mekanizmasının sünek olması istenir ve bu istek gerek deprem yönetmeliklerinde gerekse betonarme bina yapım yönetmeliklerinde vurgulanmıştır. Davranışın sünek olabilmesi için, elemanın kesme taşıma gücüne ulaşmadan eğilme taşıma gücüne ulaşması, bu sayede eğilme kapasitesinden tam olarak yararlanılabilmesi amaçlanmaktadır. Bu nedenle eğik çekme gerilmelerini karşılamak için kirişe enine donatılar ilave edilir. Pilye ve bazı durumlarda özellikle mesnet bölgesinde betonun kesmeye olan katkısı ihmal edilir. Kesme dayanımının hesabında temel problem; elemanın (Sadece eğilme ve kesme etkisinde daha çok kirişler bulunduğu için çoğu zaman kiriş olarak anılmaktadır.) eğilme taşıma gücüne ulaşıp göçmesini sağlayacak biçimde beton ve enine donatısının yeterli miktarlarının tahminine indirgenmiş olur. Betonarme ve öngerilmeli beton yönetmeliklerinde elemanların kesme hesabı, kesme çatlamasından önce ve çatlamasından sonra olmak üzere çeşitli formüllerle verilmiştir.

Kesme kuvveti hesabı;

Tasarım kesme kuvveti V_d , mesnet yüzünden “d” uzaklığında hesaplanmalıdır. Ancak, mesnet olarak başka bir eğilme elemanına oturan kirişlerde mesnet yüzündeki kesme kuvveti esas alınmalıdır (dolaylı mesnet). Şekil 1.1’de TS 500-2000’de yer alan farklı mesnet türleri için kesme kuvvetinin hesaplanacağı kesit gösterilmiştir.



Şekil 1.1. Farklı mesnetlenme türleri (TS 500, 2000)

Taşıma gücü varsayımları doğrultusunda taşıma gücü üzerine etkisi ihmal edilen kesme donatılarının temel görevi beton ile birlikte kesme kuvvetlerini karşılamaktadır. Betonun çekirdek alanına uyguladığı radial basınç kuvveti ile birlikte betonun basınç dayanımını artıran sargı donatıları kesit sünekliliği üzerinde oldukça etkilidir. Betonarme kirişlerinde kirişin sabit bir moment etkisi altında eğrilik, dönme ve yer değiştirme yapabilmesi diğer bir ifade ile çatlak genişliğinin sınırlı tutularak sayısının artırılabilmesi için kesme kırılmasının önlenmesi amacıyla kesme donatısına sahip olması gerekmektedir. Betonarme elemanlarında betonun çekme, kesme, beton ile donatı arasındaki aderans kuvvetini artırmak ve böylelikle yapı elemanlarının olası depremlerde taşıma gücü kapasitelerine daha sünek bir davranışla ulaşmaları için betonarme elemanlarında kullanılmasına yönelik yeni malzemelerin ve tekniklerin geliştirilmesi devam etmektedir.

Betonun çekme dayanımına karşı direncini artırmak amacı ile beton içerisine değişik katkı malzemeleri kullanarak mekanik özellikleri geliştirilebilmektedir (Topçu vd., 2005). Bu katkı malzemelerinden en yaygın olarak kullanılan malzemelerden biri de plastik liflerdir.

Yapı malzemeleri içerisinde lif kullanımı, antik dönemlerden beri süregelen bir uygulama tekniğidir. İlk örneklerini kerpiç içine saman katılmasıyla gördüğümüz lif kullanımı günümüzde çelik lif takviyeli beton, cam elyafli beton ve polipropilen lifli beton gibi uygulamalarıyla işlevsellik kazanmıştır (Yaka, 2011). Bu lifler erken yaşlarda büzülme dolayısı ile oluşan çatlak oluşumunu, ilerlemesini, genişlemesini ortadan kaldırmak ve etkilerini azaltmak için kullanılmıştır.

1960'lı yılların başlarında kullanılmaya başlanan polipropilen lifler sentetik hidrokarbonlardan oluşmaktadır. Polipropilenlerin hidrofobik oluşu çimento matrisi ile zayıf bağ meydana gelmesine neden olmaktadır. Polipropilen lifin en önemli etkisi beton ve sıvada sermeden önceki ilk birkaç saat içinde plastik büzülmelerden dolayı meydana gelecek olan çatlakları kontrol altına almasıdır.

Polipropilen liflerin genel özelliklerine bakıldığı zaman; Büzülme gerilmelerine karşı bir direnç meydana getirerek büzülmeden dolayı oluşacak çatlak riskini en aza indirirler ve betonun içerisinde homojen olarak dağılarak betona yapışırlar. Elastisite modülü değeri plastik haldeki betona oranla oldukça yüksek olup sertleşmiş betonda dayanımı artırmazlar.

Betonun çekme dayanımını artırmak amacıyla farklı atık malzemeleri kullanılırken geleneksel betonarme donatıları yerine de farklı malzemelerin geliştirilmesi geleneksel donatıların korozyona karşı direncinin düşük olmasından dolayı devam etmektedir. Bu malzemelerden biride betonarme elemanlarında hem boyuna hem de sargı donatısı olarak kullanılmaya başlanan geo-grid malzemesidir.

Geo-grid hammaddesi polimer olan yüksek yoğunluklu polietilen ve polipropilenden üretilirler. Geo-gridler genellikle donatılı zemin uygulamalarında, taşıma gücü yönünden zayıf olan zeminleri güçlendirmek için donatı malzemesi olarak kullanılmaktadır. Geo-gridler, genellikle polietilen, poliester veya polipropilen cinsi polimerlerden üretilirler ve bu malzeme daha çok zemin, kaldırım ve istinat duvarlarının güçlendirmesinde kullanılan malzemelerdir. Metal donatılara oranla daha yüksek donatı-zemin sürtünme katsayısına sahip olup, ızgara şeklindeki açıklıkları sayesinde zemin ile arasında kenetlenme etkisi oluşmaktadır. Geo-gridler, tek eksenli ve çift eksenli olarak iki farklı tipte üretilmektedir (Örnek, 2009).

Geo-gridlerin çalışma prensibi; üzerine dolgu veya granüler malzeme serildiğinde, malzeme daneleri, geo-gridin açıklıklarıyla tam olarak kenetlenir. Geo-gridin yüksek mukavemetli elemanlarına sürtünen ve kenetlenen dolgu, (zemin) bir donatılı platform oluşturur (Karagül, 2006).

Geo-gridlerin kullanım alanları aşağıda listelenmiştir;

- Kaplamasız yollarda kırmataş altında;
- Demiryolu inşaatında balastın altında;
- Sürşarj dolguları ve geçici inşaat sahaları altında;
- Dolgu toprak barajların donatılmasında;
- Şev göçmeleri ve toprak kaymalarının ıslahında;
- Duvar inşaatında gabion (birbirine kaynaklı tel-ağ gibi) şeklinde;
- Erozyon kontrol yapılarında gabion şeklinde;
- Köprü ayaklarında gabion şeklinde;
- Yumuşak zeminlerde temel zemini donatılmasında;
- Kazıklı temellerde başlık plağı altında;
- Çatlaklı kayalarda köprü elemanı olarak;
- Yumuşak zemin üzerinde dolgu teşkilinde;
- Donatılı zemin istinat duvarında cephe paneli ankrajı olarak;
- Yollarda asfalt donatısı olarak;
- Saha betonlarında donatı olarak;
- Geotekstiller ve geomembranlar arasında;
- Katı atık depolarında donatı olarak;

Mevcut literatürde geleneksel betonarme donatıları yerine kullanılması için önerilen malzemelerden biri olan geo-grid son yıllarda yapı mekaniği alanında kullanılmaya başlanmış ve ilgi odağı olmuştur. Deneysel olarak yapılan çalışmalarda geo-grid sargılama yöntemleri ile betonarme kirişlerinin süneklik oranlarında normal inşaat demirine kıyasla artışlar olduğu tespit edilmiştir. Yapılan çalışmalar geo-gridin; yük-deplasman ilişkisinde, yük taşıma kapasitesinde, çatlak gelişimi ve kırılma şeklinde olumlu sonuçlar elde edildiğini göstermiştir. Ancak yapılan deneysel çalışmalarda hem deney düzeneklerine hem de deneysel programlardaki bağımlı değişkenlerden dolayı birtakım problemler saptanmıştır.

Tez çalışmasının giriş ve kaynak özet bölümlerinde belirtildiği üzere geo-grid malzemesinin betonarme elemanlarında kullanılmasına yönelik yapılan çalışmalarda geo-grid sargılı betonarme elemanları ya donatısız betonarme elemanları ile karşılaştırılmış ya da bir takım katkı malzemeleri ile kullanılarak geleneksel etriyeler ile karşılaştırılmasından dolayı, yalnızca geo-gridin kullanıldığı betonarme elemanları üzerine etkisinin tam olarak anlaşılmasına olanak verememiştir.

Yapılan deneysel çalışmalar daha çok deneye tabi tutulan betonarme elemanları için yük-deplasman ilişkisi bakımından irdelenmiştir. Aderans-sıyrılma ilişkisi yapılan deneysel çalışmalarda ihmal edilmiştir.

Bilindiği üzere betonarme elemanlarında meydana gelen toplam yer değiştirme temel olarak üç etmenden oluşmaktadır. Bunlar; kesme kuvvetinin toplam deplasmana katkısı, eğriliğin katkısı ve aderans-sıyrılmanın katkılarıdır. Yapılan çalışmalarda geo-grid malzemesinin farklı atık malzemeler ile birlikte kullanılmasından dolayı yalnızca geo-gridin kesme, eğrilik ve aderans-sıyrılma ilişkisi üzerine etkisi ve elde edilen toplam yer değiştirmelerin hangi malzemenin katkısıyla meydana geldiğinin incelenmemesine neden olmuştur.

Geo-grid sargılı betonarme kirişlerinden farklı olarak diğer bir problem ise; plastik fiber katkılı küp numuneler üzerine yapılan ve aderans-sıyrılma ilişkisinin tanımlandığı çalışmalardır. Plastik lifli betonlarda yapılan aderans çalışmaları kullanılan deney düzeneklerine bağlı olarak hem betonun hem de betonarme donatısının yalnızca çekme kuvvetlerine maruz kalması sebebiyle mevcut yapılarıdaki betonarme elemanlarının gerçek davranışlarının temsil edememektedir. Diğer bir ifade ile elde edilen aderans-sıyrılma değerleri kullanılan deney düzeneklerine (yalnızca çekme kuvvetine maruz bırakılmış beton) bağlı olarak oldukça yüksek değerler almıştır.

Yapılan bu tez çalışması ile birlikte ve kaynak özetinde bahsedilen deneysel çalışmalardan farklı olarak; sargı donatısı yerine kullanılan geo-grid malzemesi tam ölçekli betonarme kirişlerde kullanılarak geleneksel sargı donatısına sahip betonarme kirişler ile karşılaştırılmıştır. Çalışmanın ilk adımında; genişliği 250 mm, net yüksekliği 400 mm ve net açıklığı 2500 mm olan 15 adet betonarme kiriş üç ana gruba ayrılmıştır. Birinci grupta etriyesiz betonarme kirişleri, ikinci grupta geleneksel etriye, üçüncü grupta ise geleneksel etriyeler yerine geo-grid sargı malzemesinin etriye yerine kullanıldığı betonarme kirişleridir. Her bir ana grupta kendi içerisinde iki farklı etriye aralığında deneye tabi tutulmuştur. Birinci etriye aralığı geleneksel yöntemlere göre hesaplanan etriye aralığı (eğilme kırılması) iken; seçilen ikinci etriye aralığı ise kesme kırılması davranışını inceleyebilmek için artırılan etriye aralığı olarak belirlenmiştir.

Çalışmanın ikinci adımında; her bir alt grup daha sonra kendi içinde beton hacmine bağlı olarak üç farklı plastik fiber oranında (%0, %0,5 ve %1,5) deneyleri gerçekleştirilmiştir. Tam ölçekli betonarme kirişleri için üç noktadan eğilme deneyleri gerçekleştirilerek, farklı sargılama yöntemleri, farklı etriye aralıkları ve plastik fiber oranları için; kuvvet-deplasman, çatlak desenleri, moment-eğrilik, enerji yutma kapasiteleri ve aderans-sıyrılma değerleri incelenmiştir.

Bu tez çalışmasının amacı mevcut literatürde betonarme elemanlarında geleneksel kesme donatısı yerine kullanılması önerilen geo-grid sargı malzemesinin tam ölçekli betonarme kirişlerindeki yapısal performansının incelenmesi ve betonarme elemanlarında kullanılması önerilen bu malzemenin kullanılabilirliğinin deneysel bir çalışma ile belirlenmesi amaçlanmıştır.

Yapılan çalışma ile birlikte yalnızca geo-gridlerin ve plastik fiber katkılı geo-grid sargılı betonarme kirişlerinin yapısal performans farklılıklarının ortaya konulması amaçlanmıştır. Daha önce mevcut literatürde çalışılmayan tam ölçekli betonarme kirişlerinde plastik fiberlerin aderans-sıyrılma üzerine etkisinin belirlenmesi amaçlanmıştır.

2. KAYNAK ÖZETLERİ

Topçu vd., (2005): Betonun zayıf özelliklerinin belirgin olarak iyileştirilmesi ve güçlendirilmesi için beton içerisine değişik malzemeler katılarak teknik özellikleri geliştirilebileceğini ifade etmişlerdir. Bu katkı maddelerinden de yaygın olarak kullanılan malzeme olarak plastik lifler yer almaktadır. Özel beton türlerinden biri olan plastik lif katkılı betonlar, betonun ve çimentolu malzemelerin çeşitli özelliklerde ve oranlarda plastik liflerin kullanımı esasına dayanmaktadır ve böylelikle çatlak genişliğini engellemek ve betonun sünekliğini artırmak için betonun plastik liflerle güçlendirilmesi etkili bir yoldur. Betonda yeterli oranlarda plastik liflerin varlığı hem dayanım hem de enerji yutma kapasitesini geliştirmekte ve ayrıca plastik lif miktarı ve lif narinliğinin, plastik lifli betonun eğilme dayanımı, kırılma enerjisi ve tokluğu üzerinde etkisinin olduğu yapılan çalışmalarla belirlenmiştir. Plastik lifli betonların bir diğer kullanım alanı ise; depreme dayanıklı yapıların inşasında, kolon-kiriş birleşim bölgesinde, endüstri yapılarında ve çok yüksek mukavemetli betonlarda, patlamaya karşı dayanıklı yapılarda kullanılmasıdır.

Beton dayanımı düşükse ve kesitte yeterli enine donatı yoksa, kesme çatlakları kolayca kendini gösterir, ilerler ve büyür. Kesme çatlakları ve sonrasında oluşan kesme kırılması, kolon ve kirişlerde çatlaklar meydana getirir ki buda gevrek kırılmanın olduğunun göstergesidir ve istenmeyen bir durumdur. Bu çatlakları önlemenin bir diğer yolu da plastik lif katkılı beton kullanımıdır. Üniform bir şekilde dağılan liflerin, beton içerisinde oluşan çatlakları önlediği ve çatlakların beton içerisinde ilerlemesini yavaşlatarak betonu daha dayanıklı hale getirdiği yapılan çalışmalarca belirlenmiştir.

Beton mekanik özellikleri bakımından çekme dayanımı ve çekme birim deformasyon kapasitesi çok düşük olan gevrek yapıdaki bir malzemedir (Açıkgen, M., 2012). Betonun mekanik özelliklerinin belirgin oranlarda katılan atık malzemeler ile birlikte zayıf özelliklerinin iyileştirilmeye amaçlanmıştır. Açıkgen (2012) tarafından yapılan çalışmada, polipropilen lifler beton içerisine hacimce %1 ve %2 oranlarında eklenerek, polipropilen liflerin betonun taze ve sertleşmiş özelliklerine yaptığı etkiler araştırılmıştır. Yapılan çalışmada plastik ve akıcı kıvama sahip 300, 350 ve 400 dozlu polipropilen lifli beton karışımlar tasarlanmıştır. Polipropilen liflerin beton basınç dayanımı üzerine

etkilerini incelemek için 150×150×150 mm standart küp numuneler; eğilme-çekme dayanımları için 100×100×500 mm kiriş numuneler ve durabilite deneyleri için 100×100×100 mm küp numuneler deneylere tabi tutulmuştur. Yapılan deneysel çalışma sonucunda lif oranı arttıkça betonun mekanik ve dayanım özelliklerinin arttığı gözlemlenmiştir. Benzer şekilde, polipropilen lifin, betonun aşınma dayanımı ve kılcal su emme özelliklerini de olumlu etkilediği tespit edilmiştir. Çalışmanın sonucunda, taze beton özellikleri ve karışım oranları değişikçe polipropilen lifin, betonun dayanım ve durabilite özellikleri üzerinde farklı etkisi olduğu öne sürülmüştür.

Plastik-çelik fiberler üzerine yapılan diğer bir çalışmada Taşdemir vd. (1999) tarafından gerçekleştirilmiştir. Yapılan çalışmada plastik-çelik liflerin betona katılmasıyla deneye tabi tutulan betonarme numunelerinin çekme dayanımı, yorulma dayanımı, aşınma dayanımı ve çatlak sonrası yük taşıma kapasitelerinin özelliklerinde belirgin iyileşmeler elde edilmiştir.

Mevcut literatürde plastic fiberler üzerine yapılan çalışmaların sayısı oldukça yeterli olup; ancak yapılan çalışmalar genellikle küp numuneleri ile sınırlı kalmıştır (örneğin: Shah ve Rangan ,1971; Won vd.,2006; Yazici vd., 2007; Michels vd., 2012-2013; Park vd., 2015).

Yeni malzemelerin betonarme elemanları için kullanılmasına yönelik yeni ürün geliştirilmesi son yıllarda popülerliğini artırarak inşaat sektöründe yerini almıştır. Deneysel olarak yapılan çalışmalarda geo-grid sargılama yöntemleri ile betonarme kirişlerinin süneklik oranlarında normal inşaat demire kıyasla artışlar olduğu tespit edilmiştir. Betonarme elemanlarına kesme donatısının etkisi üzerine birçok deneysel çalışmalar yapılmıştır. Aynı kapsamda; geogrid sarımlı betonarme kirişlerdeki moment taşıma kapasitesi, yük-deplasman ve enerji emilimi üzerine yapılan deneysel çalışmalar da literatürdeki yerini almıştır. Yapılan çalışmalar geo-gridin; yük-deplasman ilişkisinde, yük taşıma kapasitesinde, çatlak genişliğinde ve kırılma şeklinde olumlu sonuçlar elde edildiğini göstermiştir.

Chidambaram ve Agarwal (2014) tarafından yapılan çalışmada geo-grid malzemesinin çelik lif katkılı malzemeler ile birlikte geleneksel boyuna donatılar yerine kullanılabilmesi önerilmiştir. Yapılan deneysel çalışmada 100×100×500 mm

boyutlarındaki betonarme kirişleri üç noktalı yükleme yapılarak eğilme davranışları incelenmiştir. Yapılan deneysel çalışmada geo-grid sargılı ve basınç etkisi altındaki silindirik numunelerin aksel yük altında gerilim-deformasyon davranışlarında belirgin artışların olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Öyle ki geo-grid sargılı silindirik numunelerin maksimum gerilme değerlerinde %50 artış olduğu bulunarak bu artışın geleneksel silindirik numunelerine göre üç kat fazla olduğu gözlenmiştir. Basınç etkisi altında geleneksel numunelerde kırılmadaki nihai birim şekil değiştirme 0.002 değerlerinde meydana gelirken; bu değer geo-grid sargılı numunelerde kritik şekil değiştirme oranını iyileştirerek 0.035 civarlarında meydana geldiği vurgulanmıştır. Aynı zamanda Chidambaram ve Agarwal (2014) tarafından yapılan çalışmada geo-gridin çelik lifler ile birlikte kullanılması durumunda; betonarme kirişlerindeki göçme mekanizmasının güç kaybetmeden ani kırılmalardan sünek davranışa dönüştüğü gözlenmiştir. Ancak yapılan çalışmadaki karşılaştırmaların geo-grid sargılı betonarme kirişlerinin donatısız kirişler ile karşılaştırıldığının belirtilmesi gerekmektedir.

Geo-grid malzemesinin betonarme elemanlarında geleneksel sargı ve boyuna donatılarına alternatif bir malzeme olmasına yönelik diğer bir çalışmada El Meski ve Chehab (2014) tarafından yapılan deneysel çalışmadır. El Meski ve Chehab (2014) yapmış oldukları deneysel çalışmada, donatısız kirişlerin taşıma gücü kapasitelerini iki farklı desendeki geo-gridlerin kirişlerin çekme bölgesine yerleştirilerek geo-grid sargılı kirişlerin taşıma gücü kapasiteleri ile karşılaştırmışlardır. Yapılan çalışmada boyuna donatı yerine kullanılan geo-gridlerin betonarme kirişlerin sünekliğini ve yük taşıma kapasitesini artırdığı saptanmıştır. Ancak El Meski ve Chehab (2014) tarafından yapılan çalışmada da kontrol numunelerinin donatısız olması ve geo-gridli kirişlerin donatısız numuneler ile karşılaştırılması sonuçlarına dayanmaktadır.

Geo-grid kullanımına olan ilginin artması üzerine bu malzemenin betonarme yapılarında kullanılmasına yönelik çalışmalar da artmaya devam etmiştir. Geleneksel boyuna donatılar yerine kullanılan geo-grid; sargı donatıları yerine kullanılmasına yönelik çalışmalarda mevcut literatürdeki yerini almıştır. Son yıllarda geo-gridin geleneksel sargı donatısı yerine kullanılmasına yönelik yapılan en bilindik deneysel çalışmalardan biri Chidambaram ve Agarwal (2015) tarafından gerçekleştirilmiştir. Chidambaram ve Agarwal (2015) yapmış oldukları çalışmada 100×150×1000 mm

boyutlarındaki kirişlerde geo-grid malzemesini sargı donatısı olarak kullanmışlardır. Yapılan çalışmada geo-grid kullanımı ile betonarme kirişlerin kesme kırılmasından eğilme kırılması mekanizmasına geçerek sünek davranış gösterdiği belirtilmiştir. Ancak Chidambaram ve Agarwal (2015) tarafından yapılan çalışmada; geo-grid etriyeleri çelik fiber katkı ile birlikte kullanıldığı için yalnızca geo-gridlerin (çelik fiber katılmadan) katkı malzemesi olmadan geleneksel donatılar yerine kullanılabilirliğine yönelik bir bilgi sunulmamıştır.

Mevcut literatürde geo-gridin farklı yapı elemanlarında kullanımına yönelik farklı çalışmalar yer almaktadır (örneğin; Shin ve Das, 2000; Ling ve Liu, 2001; Raymond ve Ismail, 2003; Tang vd.,2008). Yapılan çalışmaların büyük bir kısmını alt yapı çalışmaları oluştururken, betonarme kiriş ya da kolon üzerine çok az sayıda çalışma bulunmaktadır. Betonarme kirişleri veya döşemeleri üzerine yapılan çalışmalarda da geo-grid malzemesinin donatısız elemanları ile karşılaştırılmasından dolayı bu konudaki eksiklik devam etmektedir. Ayrıca; yapılan mevcut çalışmalardaki numune boyutlarının küçük olması ve bundan dolayı eğilme kapasitelerin fazla olmaması yapılan çalışmaları sınırlamaktadır. Yapılan deneysel çalışmalarda geo-gridli betonarme elemanları donatısız elemanlara göre eğilme kapasiteleri karşılaştırılmış olup; aderans-sıyrılma ilişkileri incelenmemiştir.

Geo-grid malzemesinin geleneksel betonarme donatılarına karşı en büyük avantajı paslanmaya karşı göstermiş olduğu dirençtir. Bu avantajın incelenmesi amacıyla geo-grid üzerine en son yapılan çalışma Yalciner vd. (2018) tarafından yapılan çalışmadır. Yapılan deneysel çalışmada tam ölçekli betonarme kirişleri % 0, 2, 3, 5, 6, 9 oranlarında hızlandırılmış korozyon yöntemine maruz bırakılarak paslandırılmıştır. Üç noktadan eğilme deneyleri yapılan betonarme kirişlerindeki korozyon oranları gerçek korozyon oranları olup yükleme deneylerinden sonra, betonun kırılarak tüm betonarme donatılarının betondan çıkartılmasıyla elde edilen korozyon oranlarıdır. Yapılan çalışmada tek kollu geleneksel bir etriyenin sağladığı nihai çekme dayanımı kadar geo-grid malzemesi etriyeler yerine kullanılmış ve deneyleri gerçekleştirilmiştir. Yalciner vd. (2018) tarafından yapılan çalışmada geleneksel olarak tasarlanan betonarme kirişlerinde hem boyuna hem de etriyeler paslandırılmış iken buna karşılık geo-grid sargılı betonarme kirişlerinde yalnızca boyuna donatılar paslandırılmıştır. Yüksek korozyon oranlarında

dahi geleneksel betonarme kirişlerinin moment-eğrilik, yük-deplasman, enerji yutma kapasiteleri ve aderans-sıyrılma ilişkileri bakımından geo-grid sargılı betonarme kirişlerine göre oldukça iyi performanslar sergilediği saptanmıştır. Diğer bir ifade ile geleneksel olarak tasarlanan betonarme kirişleri paslansa da yapısal davranış olarak geo-grid sargılı betonarme kirişlerine karşı çok daha iyi sonuçlar elde edilmiştir. Geo-grid sargılı betonarme kirişlerinde kullanılan geo-grid malzemesinin elastisite modülünün geleneksel donatılara göre oldukça düşük olması bundan dolayı eğilme deneyleri sırasında boyuna donatılardan elde edilen birim şekil değiştirme değerlerinin elastik sınırlar içerisinde kalarak deneye tabi tutulan betonarme kirişlerinin gevrek bir şekilde kırılmasına sebebiyet vermiştir. Bu tez çalışmasında elde edilen deneysel sonuçlar da Yalciner vd. (2018) tarafından yapılan çalışmayı destekler niteliktedir.

3. MATERYAL ve YÖNTEM

Tez çalışması kapsamında 15 adet betonarme kiriş üretilmiştir. Deneye tabi tutulan betonarme kirişleri üç ana gruba ayrılmıştır. Birinci gruptaki betonarme kirişleri geleneksel olarak tasarlanan betonarme kirişleri olup, ikinci ana gruptaki betonarme kirişleri de geleneksel etriyelerin geo-grid malzemesinin yer değiştirilmesiyle sargılaması yapılmıştır. Her bir ana grupta ardından etriye aralıklarının artırıldığı alt gruplara ayrılmıştır. Her bir alt gruptaki betonarme kiriş numuneleri ise 3 farklı plastik fiber oranları için deneye tabi tutulmuştur.

Birinci etriye aralığı geleneksel yöntemlere göre hesaplanan etriye aralığı (eğilme kırılması) iken ikinci seçilen aralık, kesme kırılması davranışını inceleyebilmek için artırılan etriye aralığıdır.

3.1. Malzeme ve Kesit Özellikleri

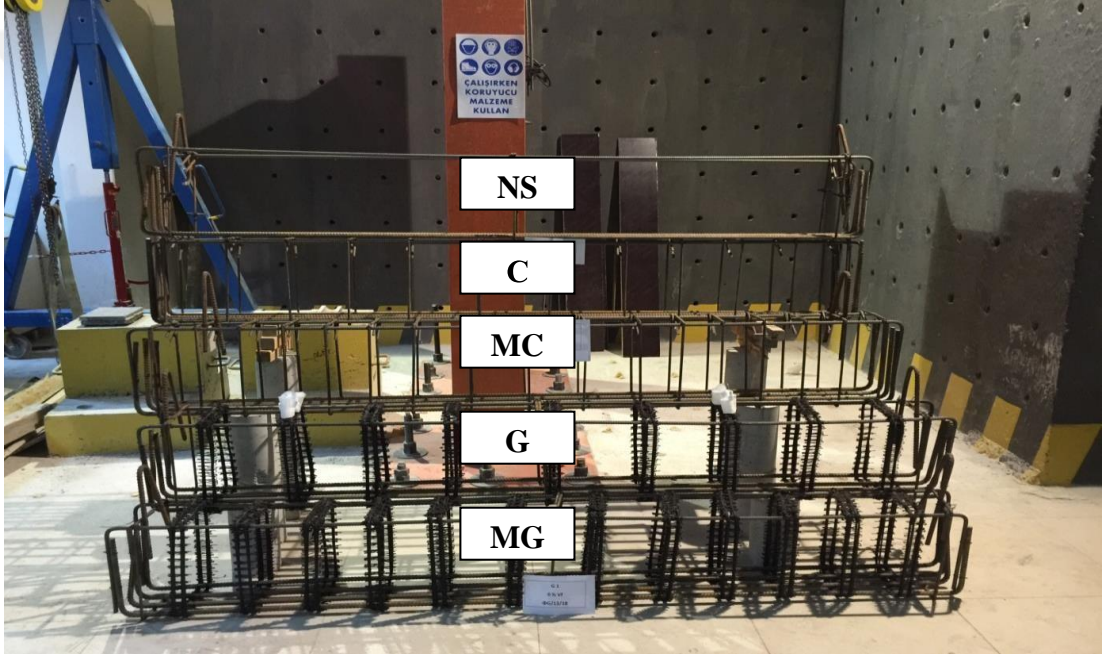
Tez çalışması kapsamında betonarme kirişleri öncelikle üç ana gruba ayrılmıştır. Birinci grupta yer alan betonarme kirişleri NS (sargı donatısı bulunmayan betonarme kirişleri), ikinci grup C (sargı donatısı olarak geleneksel etriyelerin kullanılması) ve üçüncü grup ise G (sargı donatısı olarak geo-grid malzemesinin kullanılması) olarak sırasıyla adlandırılmıştır.

Birinci grupta yer alan NS betonarme kirişleri yalnızca çekme ve basınç donatılardan oluşmakta olup bu kirişlerde sargı donatıları kullanılmamıştır. NS grubundaki betonarme kirişleri deneye tabi tutularak yalnızca plastik fiberlerin kesme kuvveti ve sargı donatılarının kiriş moment taşıma gücü üzerine etkisinin belirlenmesi amaçlanmıştır.

İkinci grup C betonarme kirişleri geleneksel betonarme kirişleri olarak tasarlanmış olup boyuna ve sargı donatıları geleneksel betonarme donatılarından oluşmaktadır.

Grup G olarak isimlendirilen üçüncü grup betonarme kirişlerinde boyuna donatıları geleneksel donatılardan oluşurken; sargı donatılarında etriye yerine geo-grid malzemesi kullanılmıştır.

Üç ana grup (NS, C ve G) ardından beton hacmine bağlı olarak üç farklı plastik fiber oranları için; %0, %0.5 ve %1.5 üç alt gruplara ayrılmıştır. Çalışma kapsamında grup C ve G betonarme kirişlerindeki etriye aralığı %40 artırılarak dördüncü ve beşinci (MG ve MC) betonarme grupları oluşturulmuştur. İkinci seçilen etriye aralıkları kesme kırılması davranışını inceleyebilmek için artırılan etriye aralıklarıdır. Dördüncü ve beşinci alt gruplar da ardından kendi içerisinde üç alt gruba ayrılarak; üç farklı plastik fiber oranları (V_f) için; %0, %0.5 ve %1.5 deneye tabi tutulmuşlardır. Böylece mevcut çalışma kapsamında 15 adet tam ölçekli betonarme kirişleri deneye tabi tutulmuştur. Şekil 3.1’de beton dökümü öncesi tasarlanan 5 farklı betonarme kirişi gösterilmektedir.



Şekil 3.1. Tasarlanan kirişler

3.1.1. Beton

Tez çalışması kapsamında tüm betonarme kirişleri için C20 sınıfında beton kullanılmıştır. Çalışma kapsamında hazır beton kullanılarak tüm betonarme kirişleri tek bir seferde ve aynı beton mikserinden dökülerek elde edilmiştir. Beton döküm işleri sırasında her bir betonarme kirişi için 6 adet 15×15×15 cm boyutlarında küp numuneleri alınarak betonarme kirişleri ile aynı ortamda muhafaza edilmişlerdir. 28 gün sonra deneye tabi tutulan küp betonarme numunelerinin beton basınç dayanımları 25 MPa olarak elde

edilmiştir. Farklı oranlardaki plastik fiberler daha önceden hazır hale getirilerek beton mikserlerinde karıştırılmış ve beton döküm işlemleri gerçekleştirilmiştir.

3.1.2. Donatı

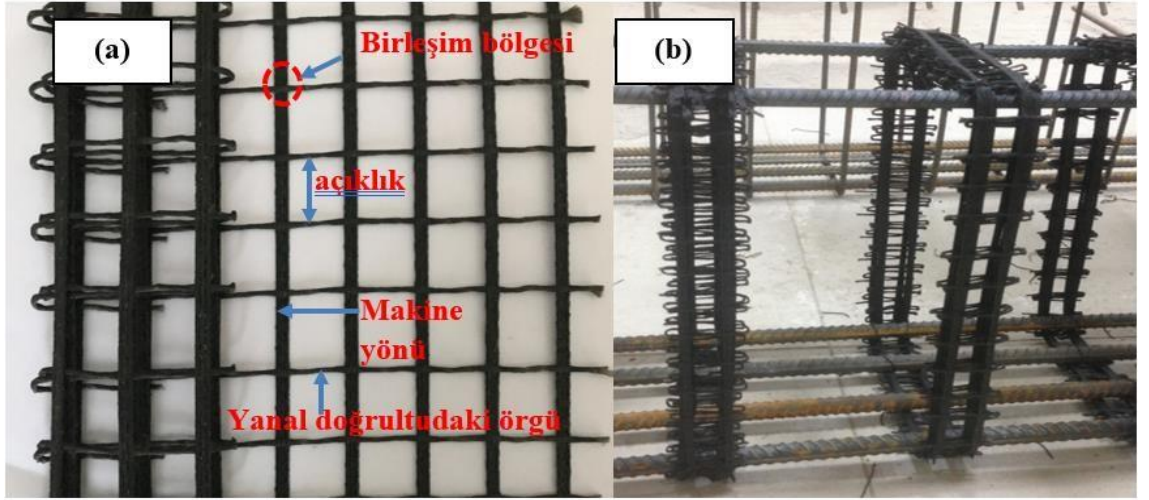
Tez çalışması kapsamında S420 nervürlü donatısı kullanılmıştır (Bkz Şekil 3.2). Kullanılan donatı çeliğinin gerilme- birim şekil değiştirme grafikleri ile karakteristik mekanik özelliklik değerlerini belirlemek için donatılardan alınan 3'er adet 400 mm uzunluğundaki numuneler TS-708(2010)'e uygun olarak çekme deneyine tabi tutulmuştur. Erzinan Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü 13 Mart Yapı Mekanği Laboratuvarında 800 kN kapasiteli otomatik çelik çekme cihazında test edilen donatı çubuklarına ait çekme deneyi sonuçlara göre donatıların ortalama mekanik özellikleri; akma dayanımı 490 MPa, kopma dayanımı 600 MPa, akma ve kopmadaki birim şekil değiştirme değerleri sırasıyla; 0.00245 ve 0.0115 olarak hesaplanmıştır.



Şekil 3.2. Deneysel çalışmalar kapsamında kullanılan nervürlü donatı

3.1.3. Geo-grid

Yapılan deneysel çalışma için tek eksenli geo-gridler kullanılmıştır. Mevcut literatürde geo-grid üzerine yapılan deneysel veriler ile mevcut çalışmadaki deneysel verilerin karşılaştırılabilmesi amacı ile; çalışmada kullanılan geo-gridlerin mekanik özellikleri literatürde daha önce kullanılan geo-gridlerin mekanik özelliklerine yakın olmasına dikkat edilmiştir. Mevcut çalışma için kullanılan geo-gridlerin mekanik özellikleri daha önce literatürde Chidambaram ve Agarwal (2015) tarafından yapılan çalışmada kullanılan geo-gridlerin mekanik özellikleri özdeş olup; kullanılan geo-gridlerin makine ve yanal ötelemeyi önleyecek diğer yöndeki geo-gridlerin çekme dayanımları sırasıyla 110 kN/m ve 30 kN/m'dir. Makine ve yanal doğrultudaki kopmadaki birim şekil değiştirmeleri ise sırasıyla 0.18 ve 0.16'dır. Kullanılan geo-gridlerin makine ve yanal doğrultularındaki örgülerin elastik modülüsleri sırasıyla 600 ve 200 MPa'dır. Şekil 3.3'de çalışmada kullanılan geo-grid malzemesi gösterilmektedir.



Şekil 3.3. Tek eksenli geo-grid; (a) Geo-grid desen düzeni, (b) Geo-grid malzemesinin sarılma şekli.

3.1.4. Polipropilen lifler

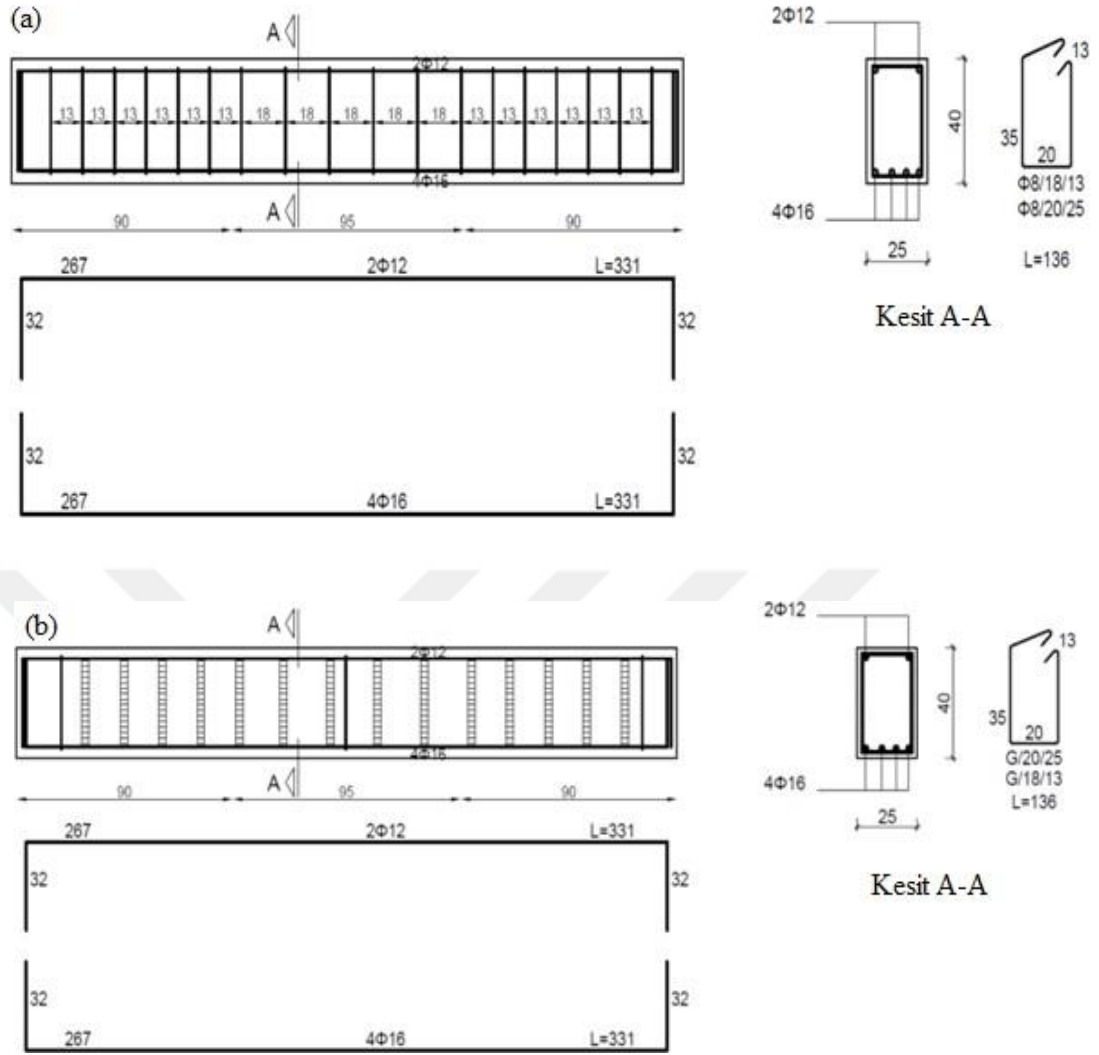
Polipropilen lifler çok çeşitli ebatlarda üretilirler. Hammaddesi %100 polipropilendir. Çalışma kapsamında kullanılan polipropilen liflerin uzunluğu 54 mm ile 60 mm arasında değişmekte olup yoğunluğu ise 0.91 g/cm³ tür. Araştırmada kullanılan liflerin çapları ise 0.44 mm ile 0.48 mm arasında değişkenlik göstermiştir. Böylelikle hesaplanan ortalama en-boy oranı 124'tür.



Şekil 3.4. Çalışmada kullanılan plastik fiber

3.2. Betonarme Kirişlerinin Kesit Özellikleri

Tez çalışması kapsamında deneye tabi tutulan betonarme kirişlerinin kesit özellikleri gösterilmektedir. Şekil 3.5’de görüleceği üzere tüm betonarme kirişleri için kiriş genişliği 250 mm ve net yüksekliği ise 400 mm olacak şekilde tasarlanmıştır. Kiriş net açıklığı 2500 mm’dir. Mesnet genişlikleri 300 mm ve beton paspayı 25 mm olacak şekilde tasarlanmıştır. Geleneksel olarak tasarlanan betonarme kirişleri 94 kN moment taşıma gücü kapasitesine göre tasarlanmıştır. Betonarme kirişlerinde dört adet nervürlü 16 mm çapında çekme donatısı ve 12 mm çapında iki adet basınç donatısı kullanılmıştır. Kesme donatılarının hesabı için TS 500 (2000) göz önüne alınarak, beton tarafından karşılanacak kesme dayanımı betonun çatlamadaki kesme dayanımının 0.65’i kadar alınmıştır. Geleneksel sargı donatıları için 8 mm çapında iki kollu nervürlü etriyeler kullanılmıştır. Böylelikle sıklaştırma bölgesi için etriye aralığı 130 mm, açıklık bölgesi için 180 mm olarak hesaplanmıştır. Etriye aralığının artırıldığı dördüncü ve beşinci grup betonarme kirişlerinde seçilen aralık kesme kırılması davranışını inceleyebilmek için artırılan ($\Phi 8/20/25$ ve $G8/20/25$) etriye aralığıdır. Geleneksel sargı donatısı yerine kullanılan geo-gridler bir adet geleneksel sargı donatısının kopma dayanımı karşılayacak şekilde tasarlanmıştır.

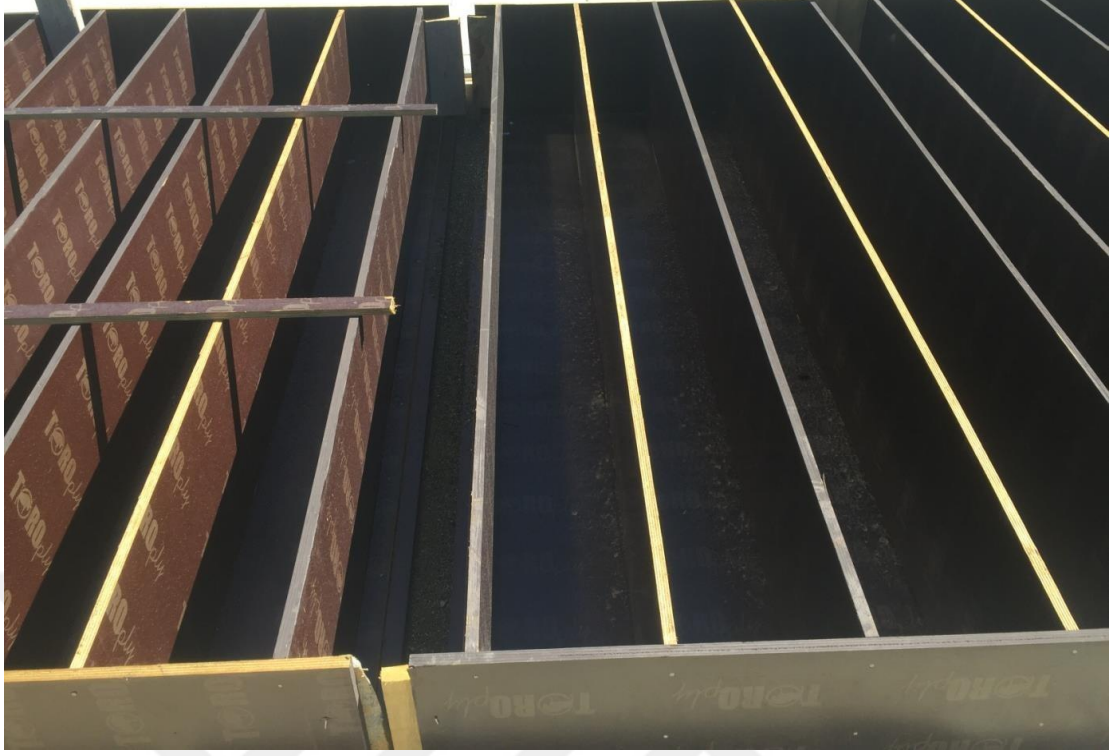


Şekil 3.5. Betonarme kirişlerinin kesit özellikleri; (a) Geleneksel kirişler, (b) Geo-grid sarımlı kirişler.

3.2.1. Betonarme elemanlarının inşası

3.2.1.1. Kalıp işleri

Deneysel çalışmalar çerçevesinde kullanılan betonarme kirişlerini yerleştirilmek üzere hazırlanan kalıplar pürüzsüz bir yüzey elde etmek için ply-wood malzemedendir. Hazırlanan ply-wood kalıplar içerisine betonarme kiriş numuneleri yerleştirilmeden önce ply-wood kalıp yağıyla kalıp sökümü sırasında betonarme kiriş numuneleri zarar görmesini önlemek amacıyla yağlanmıştır. Şekil 3.6’da beton dökümünden önce hazır hale getirilen kalıplar gösterilmektedir.



Şekil 3.6. Hazır hale getirilen ply-wood kalıpları

3.2.1.2. Betonarme kafeslerin inşası

Betonarme kirişlerinin donatı kafeslerinin inşası teorik olarak önceden hesaplanan değerlere göre kesilmiş ve montaj işlemlerine geçilmiştir. Deney sonuçlarını ekleyebilecek her türlü unsur minimum düzeyde tutularak betonarme kirişlerinin donatı işleri laboratuvar ortamında gerçekleştirilmiştir. Donatı montajlarından önce her bir boyuna ve sargı donatıları aynı uzunlukta projesine uygun olarak kesilmiştir ve tek bir firmadan temin edilmiştir. Şekil 3.7’de belirlenen ölçülerde kesilen betonarme donatı ve geo-grid malzemesinin montaj işlemleri gösterilmektedir.



Şekil 3.7. Deneysel çalışmalar için hazırlanan betonarme kirişlerinin demir-donatı işlemlerinin yapım aşaması.

3.2.1.3. Beton döküm işleri

Kalıp ve donatı montaj işleri tamamlandıktan sonra beton döküm işlerine geçilmiştir. Şekil 3.8’de beton dökümünden önce kalıplara yerleştirilen betonarme kafesleri gösterilmektedir. Beton döküm işlemleri sırasında kalıplardaki olası açılmaları önlemek amacıyla her bir betonarme kalıbı için güçlendirme işlemleri yapılmıştır.



Şekil 3.8. Beton dökümünden önce kalıplara alınan betonarme kafesleri ve güçlendirme işlemleri.

Beton içerisine katılacak olan plastik fiberlerin daha homojen bir biçimde beton karışımı içerisinde dağılabilmesi için plastik fiberlerin karışıma eklenme işlemleri beton

santralinde gerçekleştirilmiştir. Bu bağlamda tez çalışması kapsamında reçetesi hazırlanan beton karışımına agrega bandı kullanılarak aynı bant üzerine plastik fiberler karıştırılmıştır. Plastik fiberlerin agregalarla birlikte karışım sureci Şekil 3.9’da gösterilmiştir.



Şekil 3.9. Beton santraline götürülen plastik fiberlerin belirlenen oranlarda betona katılma işlemi.

Deneysel alışmalar kapsamında hazırlanan betonarme kiriş numunelerinin beton döküm işlemleri Şekil 3.10’ da gösterilmiştir. Beton döküm işleri TS 500 (2000) standartlarına uygun olarak yapılmıştır. Hazır beton kullanılarak aynı gün ve tek mikserden tek aşamada beton döküm işlemleri gerçekleştirilmiştir.



Şekil 3.10. Hazırlanan kirişlerin beton döküm işlemi

Beton döküm işlemi sırasında özellikle betonun kullanılabilirliğini diğer iki karışım oranına göre (%0, %0.5) azaltan %1.5 plastik fiber karışım oranına sahip plastik fiberli betonun homojen şekilde yerleşmesi ve sıkışması için belirli aralıklarla TS1247 (1984) yönetmeliğine uygun şekilde vibratör kullanılmıştır (Bkz Şekil 3.11). Çalışma kapsamında betonarme numuneleri üzerine herhangi bir çökme deneyi yapılmamış olsa da; %0.5 katkı oranından büyük karışımlar için özellikle betonarme kolanlarının mesnet bölgeleri için vibratör kullanımının çok dikkatli uygulaması gerektiği düşünülmektedir. % 1.5 karışım oranından büyük değerler için beton akışkanlaştırıcı kimyasalların kullanılması önerilmektedir.



Şekil 3.11. Beton döküm işlemi sırasında vibratör işlemi

Şekil 3.12’de yükleme deneyleri sırasında ölçüm düzeneğinden alınacak verilerde herhangi bir verisel hatanın oluşmaması aynı şekilde çatlak desenlerinin basınç bölgesi içinde daha doğru bir şekilde elde edilebilmesi için kiriş numunelerinin beton döküm işlemi tamamlandıktan sonra yüzeyinin pürüzsüz ve düzgün olması için beton yüzeyleri düzeltilmiştir. Deney gününde elde edilecek beton basınç dayanımlarının belirlenmesi amacıyla her bir betonarme kirişi için 3’er adet olmak üzere toplam 15 adet standart küp numunesi alınmış olup; söz konusu küp numuneler betonarme kirişlerle aynı şartlarda kür edilmiştir. Küp numunelerin kesit özellikleri 150×150×150 mm’dir. Şekil 3.14’de tez çalışması kapsamında deneye tabi tutulacak betonarme kirişleri gösterilmektedir.



Şekil 3.12. Beton döküm işleminden sonra beton yüzeylerinin düzeltilmesi



Şekil 3.13. Küp numunelerin alınması



Şekil 3.14. Deneye tabi tutulacak betonarme kirişleri

Beton dökümünden bir gün sonra beton yüzeyinde kalıpların güçlendirilmesi için kullanılan muhtelif aparatların de montaj işleminden sonra beton yüzeyleri tamir harcı kullanılarak pürüzsüz hale getirilmiştir (Bkz Şekil 3.15). Deneysel çalışmalar kapsamında hazırlanan betonarme kirişleri 28 gün boyunca günde 3 kez sulanarak kürlenmiştir. Her

bir betonarme kiriş aynı gün laboratuvar ortamına taşınarak deneyler için hazır hale getirilmiştir.



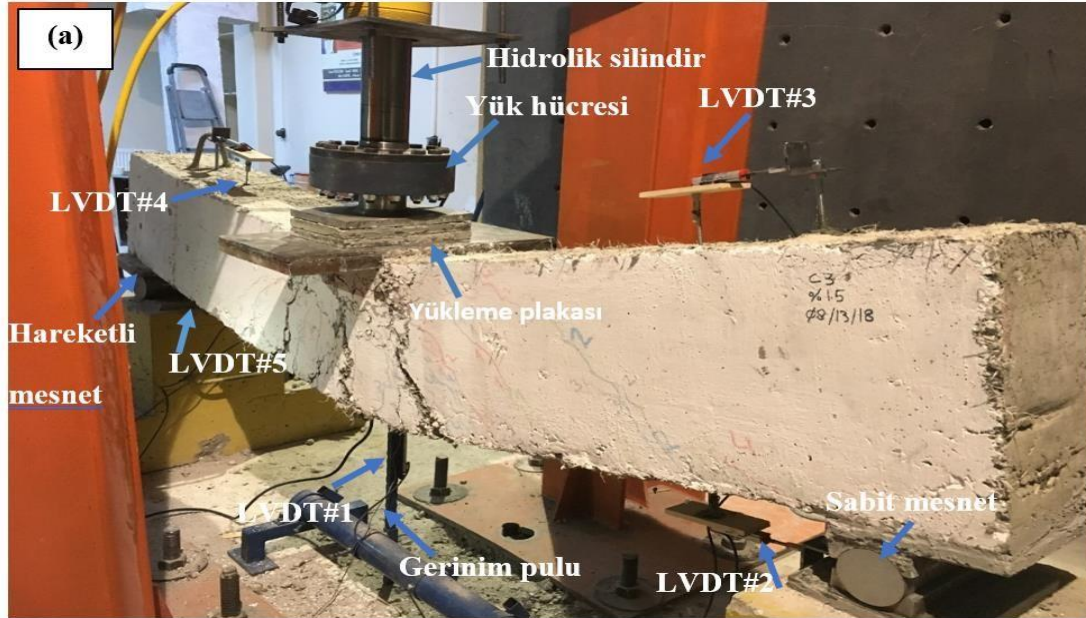
Şekil 3.15. Betonarme kiriş numunelerinde tamir harcı ile tadilat yapıma işlemi ve kalıpların sökülmesi.



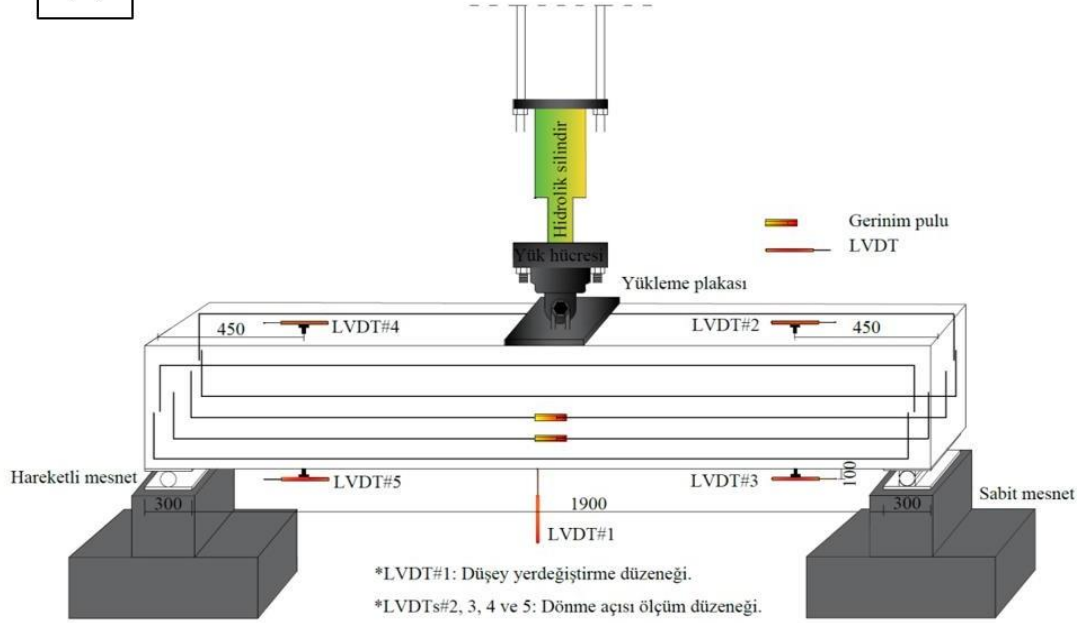
Şekil 3.16. Betonarme kirişlerinin laboratuvar ortamına taşınması

3.3. Deney düzeneği ve ölçümler

Çalışma kapsamında betonarme kirişleri aynı deney düzeneğinde deneye tabi tutulmuşlardır. Şekil 3.17’de çalışma kapsamında kullanılan yükleme ve ölçüm düzeneği gösterilmektedir. Şekil 3.17’de üç noktadan yükleme yapılarak eğilme deneyleri gerçekleştirilmiştir. Deney düzeneğinde yükleme için gerekli bir adet 600 kN kapasitesinde hidrolik silindir kullanılmıştır. Hidrolik silindir altına yükü kirişlere aktaracak eğilmez kalın çelik plakalar kullanılmıştır. Betonarme kirişleri tasarlanan iki adet beton blok üzerine yerleştirilmiştir. Beton bloklarının üzerine mesnetlerden birinin sabit değerinin ise hareketli mesnet olacak şekilde çelik plakalar hazırlanarak deneyler sırasında kullanılmıştır. Yükleme deneyinden önce çelik plakalar kirişlerin alt mesnet yüzeylerine yapıştırılarak monte edilmiştir. Kirişlerin orta açıklığında ve yükün uygulandığı noktaya yerleştirilen bir adet 0.01 mm hassasiyetinde yer değiştirme ile yük-yer değiştirmeler eş zamanlı olarak kayıt edilmiştir. Betonarme kirişlerinin sağ ve sol uçlarının alt ve üst bölgelerine ikişer adet eğrilik ölçerler yerleştirilmiştir. Plastik mafsal uzunluğu Park and Paulay (1975) göre hesaplanmıştır ($L_p = 0.5 h$; h kesit yüksekliği). Plastik mafsalların yeri ise Inel ve Ozmen’e (2006) göre deneysel düzenek için göz önüne alınmıştır.

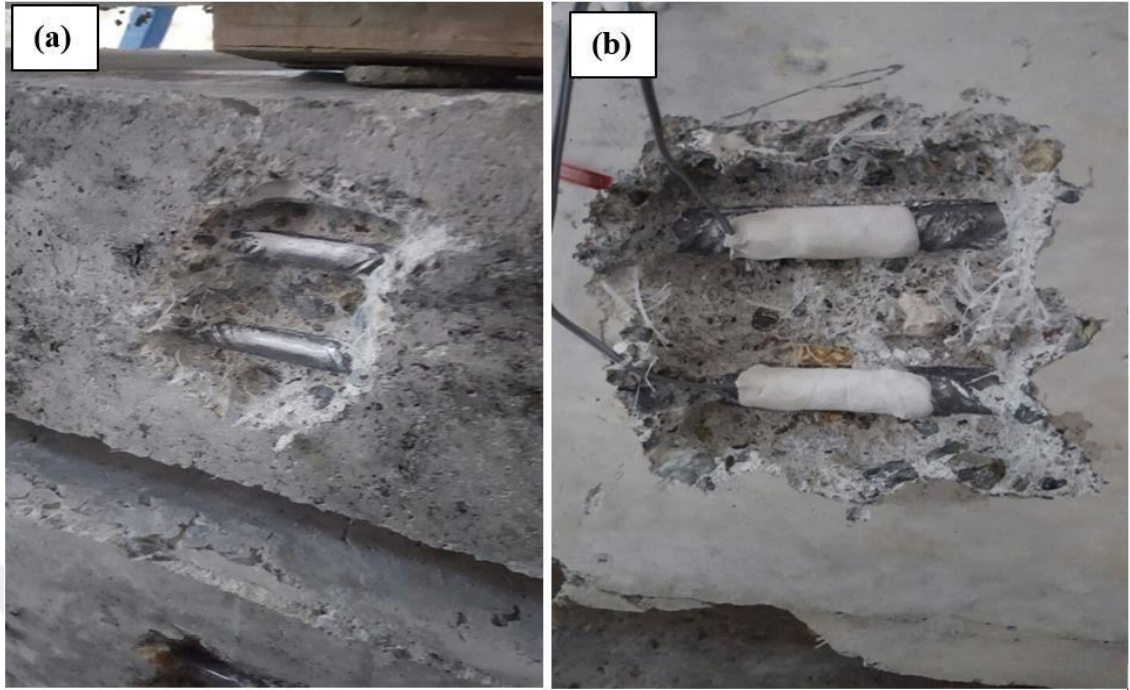


(b)



Şekil 3.17. Yükleme düzeneği; (a) Deneş düzeneği, (b) Şematik gösterimi

Donatılardaki birim şekil değiştirmelerinin ölçülebilmesi için iki adet çekme donatısına gerinim pulları yerleştirilmiştir. Ancak % 1.5 oranındaki plastik fiberlerin işlene birliğinin oldukça düşük olması sebebi ile ön deneş çalışmalarında vibratör kullanımı sırasında betonarme kiriş donatılarına yapıştırılan gerinim pulları hasar görmüştür. Olası durumun tekrar meydana gelmemesi amacı ile gerinim pulları beton dökümünden sonra ve eğilme deneşlerinden önce gerçekleştirilmiştir. Gerinim pullarının yapıştırılabilmesi için donatı tespit cihazı kullanılarak kiriş açıklığının orta noktasındaki iki adet çekme donatısı tespit edilmiştir. Tespit edilen bölgeler kirişlere çok fazla zarar vermeyecek şekilde açılmış ve gerinim pulları yerleştirilmiştir. Açılan yüzeyler ardından tamir harcı ile kapatılarak 10 gün bekletilmiştir.



Şekil 3.18. Gerinim pullarının yapıştırılması; (a) Çekme donatılarının tespit edilmesi, (b) Donatı yüzeylerinin temizlenmesi ve gerinim pullarının yapıştırılması.

Betonarme donatılarındaki birim şekil değiştirmelere bağlı olarak aderans-sıyrılma hesapları hesaplanmıştır. Hesaplanan donatı boyundaki birim şekil değiştirme ve gerilim değerine bağlı olarak elastik sınırlar içerisindeki aderans gerilmesi aşağıdaki denklem 3.1 yardımı ile hesaplanmıştır.

$$u_b = \frac{f_s d_b}{4l_d} \quad (3.1)$$

Denklem 3.1'de u_b aderans gerilmesini, f_s donatıdaki gerilim, l_d ise aderans boyunu, d_b donatı çapını temsil etmektedir. Elastik ötesi bölge için aderans gerilmesi Denklem 3.2 yardımı ile hesaplanmıştır (Sezen ve Setzler, 2008).

$$u'_b = \frac{(f_s - f_y) d_b}{4l'_d} \quad (3.2)$$

Denklem 3.2'de, u'_b inelastik bölgedeki aderans gerilmesini, f_y donatıdaki akma dayanımı, l'_d donatının inelastik bölgedeki aderans boyunu temsil etmektedir. Elastik ve elastik olmayan bölgelerdeki donatı aderans boyları göz önüne alınarak ve birim şekil

değiştirmenin altında kalan alanın hesaplanması ile birlikte donatı kaymaları hesaplanmıştır (Sezen ve Setzler, 2008).

$$\text{donatı kayması} = \int_0^{l_d+l'_d} \varepsilon(x) dx \quad (3.3)$$

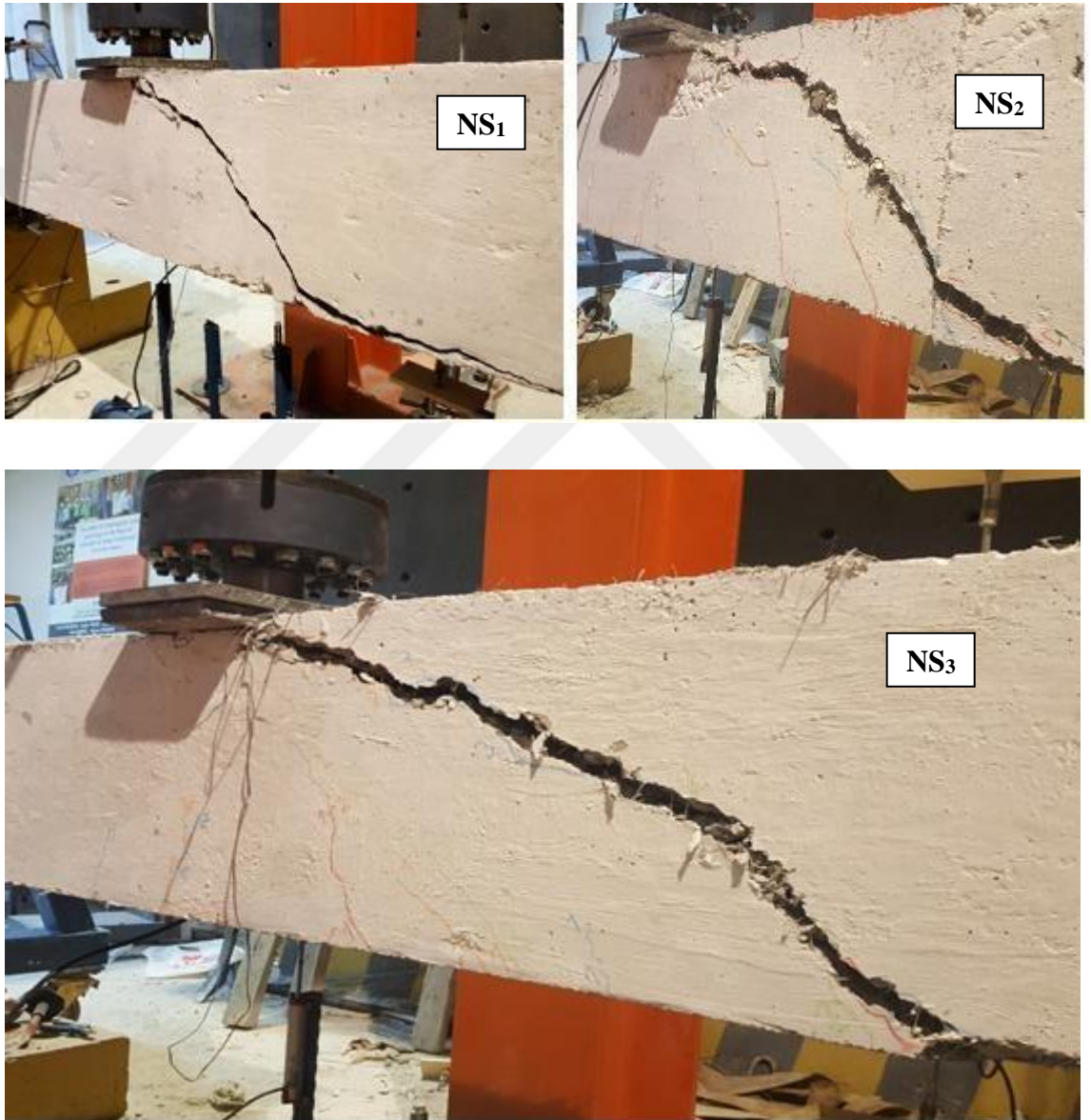
Denklem 3.3'de $\varepsilon(x)$ donatıdaki birim Şekil değiştirmeyi ifade etmektedir. Donatının özellikle pekleşme bölgesinde birim Şekil değiştirme eğiminin hemen hemensıfıra yakın olması sebebi ve buna bağlı donatı kaymasından dolayı oluşak kesitsel kayma dönmelerin hesaplarındaki kısıtlamalar nedeni ile Sezen ve Setzler (2008) tarafından önerilen ortalama elastik modülüs mevcut çalışmada da göz önüne alınarak pekleşme bölgesi için elastik modülü $\%1E_s$ olarak hesaplara yansıtılmıştır. Aynı Şekilde pekleşme bölgesindeki donatılardaki gerilim hesapları için Denklem 3.4 kullanılmıştır.

$$f_{sh} = f_y + (\varepsilon_{sh} - \varepsilon_y)(0.01E) \quad (3.4)$$

4. ARAŞTIRMA BULGULARI

4.1. Elde Edilen Çatlak Desenleri

NS grubu betonarme kirişleri için deney sonrası yük kaldırılmadan önce Şekil 4.1’de gösterilen çatlak desenleri (dağılımları) benzer karakteristik özellikler göstermiştir.



Şekil 4.1. NS grubu betonarme kirişlerinin yük kaldırılmadan önce çatlak dağılımları; (NS₁) = %0; (NS₂) = %0,5; (NS₃) = %1,5 plastik fiber katkıdır.

Etriye kullanılmayan betonarme kirişlerinde diagonal çatlak oluşumu şeklinde göçme modu meydana gelmiştir. Çekme çatlakları meydana gelmeden kesme çatlakları

diyogonal bir şekilde oluşmuştur. Farklı oranlarda (%0.5 (NS₂) ve %1.5 (NS₃)) plastik fiber kullanımının katkısı ile betonarme kirişlerinde çok az düzeyde olsa da orta açıklık bölgelerinde kısmi çekme çatlakları meydana gelmiştir. Etriyesiz betonarme kirişlerinde yük artışına bağlı olarak boyuna donatılarda meydana gelen gerilmeler sonucunda oluşan aderans çatlakları Şekil 4.2’de gösterilmektedir.



Şekil 4.2. NS grubu betonarme kirişleri için çatlak desenleri; (NS₁) = %0; (NS₂) = %0,5; (NS₃) = %1,5 plastik fiber katkıdır.

Plastik fiber miktarının artırılması ile birlikte sabit mesnet doğrultusunda meydana gelen aderans çatlaklarının boyu azalmıştır. Etriyesiz betonarme kirişlerinde plastik fiber kullanımı her ne kadar gevrek davranışın önüne geçemese de oluşturmuş olduğu mikro çatlaklar ile kazanmış olduğu dayanım sonucu donatı boyunca azalan gerilmelerin etkisi ile çatlak boyutlarında farklılıklar meydana gelmiştir. 45⁰ derecelik açılar ile meydana gelen kesme çatlakları ile aderans çatlakları kirişin çekme bölgesinde birleşerek taşıma gücü sınırına ulaşmıştır. Sabit mesnetin yük altında hareketli mesnete göre eğilme davranışı ve serbestlik derecesi açısından daha dirençli olması oluşan çatlakların sabit mesnet yönünde meydana gelmesine neden olmuştur. NS betonarme kirişlerinde yük aktarımı eğilme davranışı ile değil kemer tipi mekanizma oluşması sonucunda gerçekleşmiştir. En yüksek plastik fiber oranına sahip

olan NS₃ kirişinde NS₂ ve NS₁ betonarme kirişinden farklı olarak hareketli mesnet bölgesinde az sayıda da olsa kesme çatlakları oluşmuştur.

Şekil 4.3’de C grubu betonarme kirişleri için deney sonrası yük kaldırılmadan önce elde edilen çatlak desenleri gösterilmektedir. Geleneksel yöntemlere göre tasarlanan betonarme kirişlerinde göçme modu iki farklı mekanizmanın oluşumu ile meydana gelmiştir. C grubu betonarme kirişlerinde çekme kırılması sonucu betonun basınç bölgesinde birim kısılmanın maksimum değerine ulaşması ile betonarme kirişleri taşıma gücü kapasitelerine erişmiştir.



Şekil 4.3. C grubu betonarme kirişlerinin yük kaldırılmadan önce çatlak dağılımları; (C₁) = %0; (C₂) = %0,5; (C₃) = %1,5 plastik fiber katkılıdır.

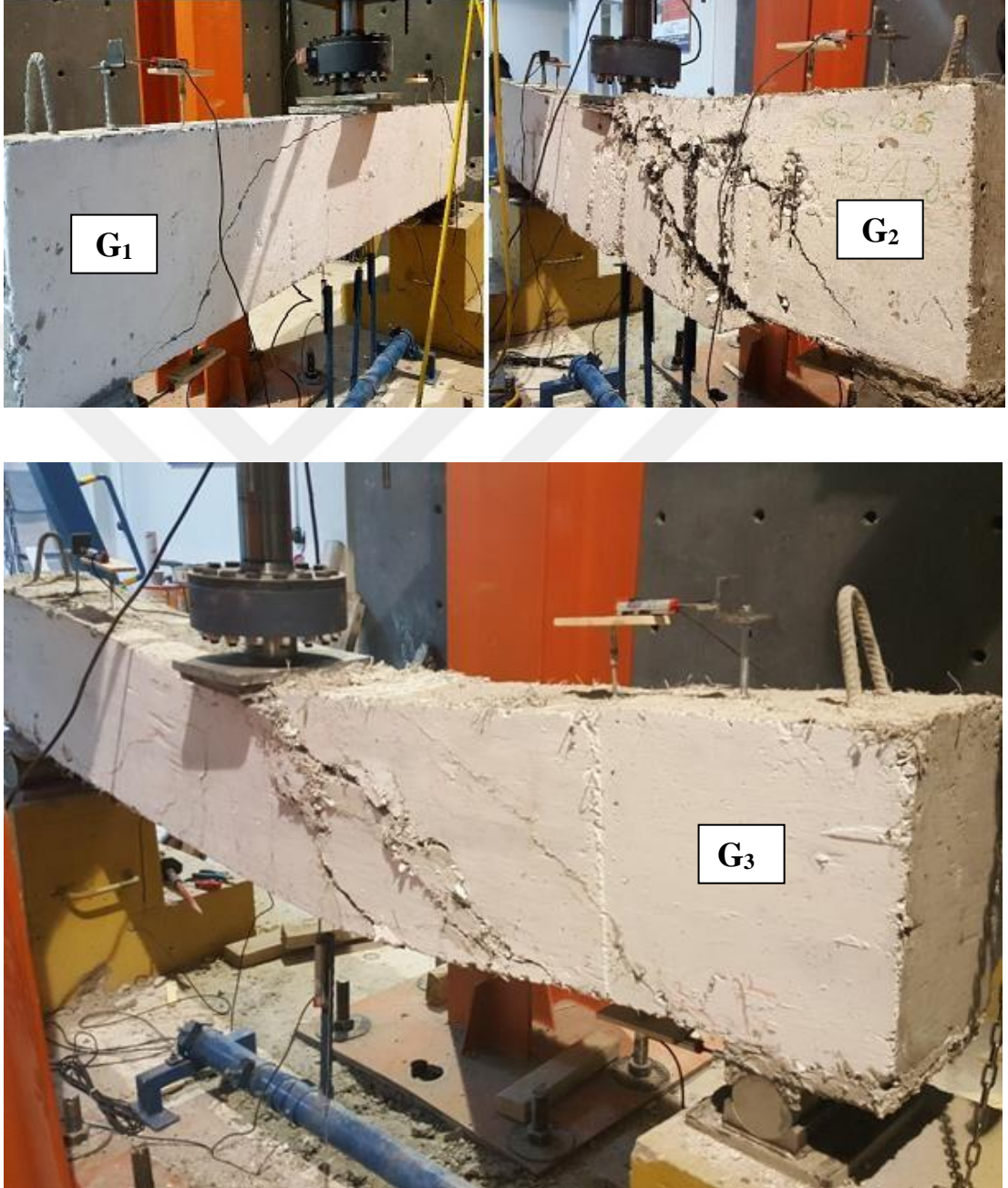
Üst üste yerleştirilen C grubu betonarme kirişlerinde meydana gelen çatlak desenlerinin karşılaştırılması Şekil 4.4’de gösterilmektedir.



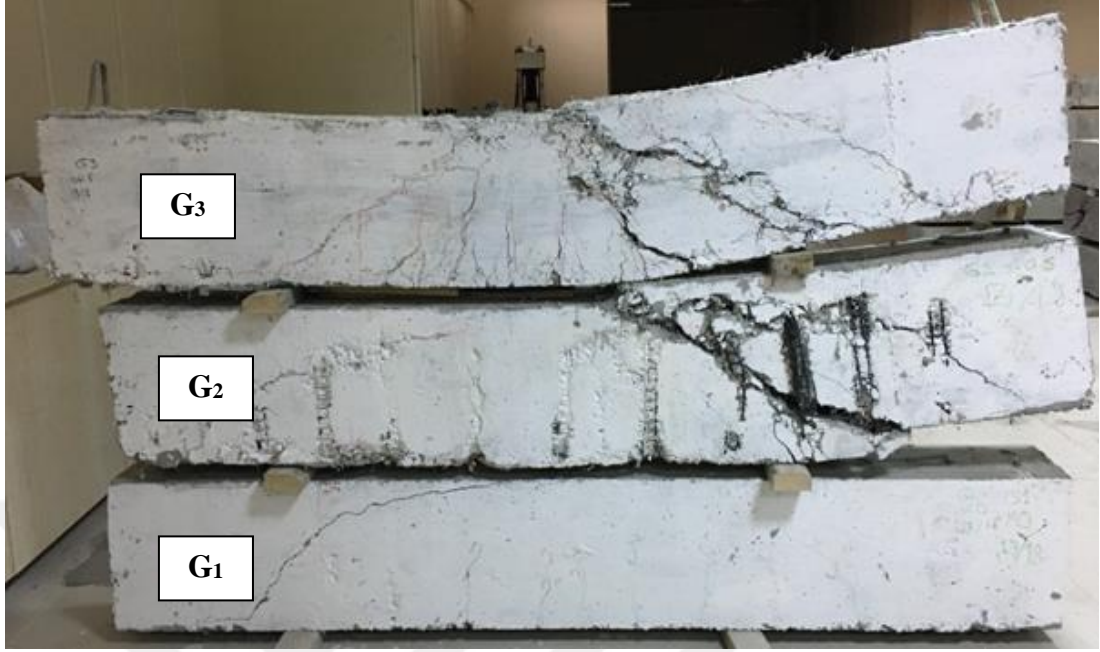
Şekil 4.4. C grubu betonarme kirişleri için çatlak desenleri; (C₁) = %0; (C₂) = %0,5; (C₃) = %1,5 plastik fiber katkıdır.

Betonarme kirişlerinde farklı oranlarda plastik fiber kullanımına bağlı olarak deney sonucunda davranışları karşılaştırılan kirişlerde belirgin olarak gözlenen davranışın kesme doğrultusuna bağlı olarak oluşan çatlak açılarının olduğu gözlemlenmiştir. Artan plastik fiber oranına bağlı olarak meydana gelen kesme çatlakları 45⁰'den daha büyük açılara ulaşmıştır. Agrega kenetlenmesi plastik fiberlerin eğilme davranışı sırasında çekme gerilmelerine katkı sağlamıştır. Plastik fiber oranının artırılması kesme çatlaklarından sayıca daha çok çekme çatlaklarının oluşumuna katkı sağlamıştır. Fiber kullanımı ile oluşan çatlak sayısı artmış fakat çatlak genişlikleri belirli sınırlar içerisinde kalarak geleneksel yöntemlere bağlı kalarak tasarlanan betonarme kirişlerinin süneklilik düzeyine katkı sağlamıştır. %1.5 plastik fiberin kullanılmış olduğu C₃ betonarme kirişinin basınç bölgesindeki hasar seviyesi, ezilmeler ve betonun kırılması C₁ (%0 plastik fiber) ve C₂ (%0.5 plastik fiber) kirişlerine göre çok düşük seviyede kalmıştır.

Şekil 4.5'de G grubu betonarme kirişleri için deney sonrası yük kaldırılmadan elde edilen çatlak desenleri gösterilmektedir.



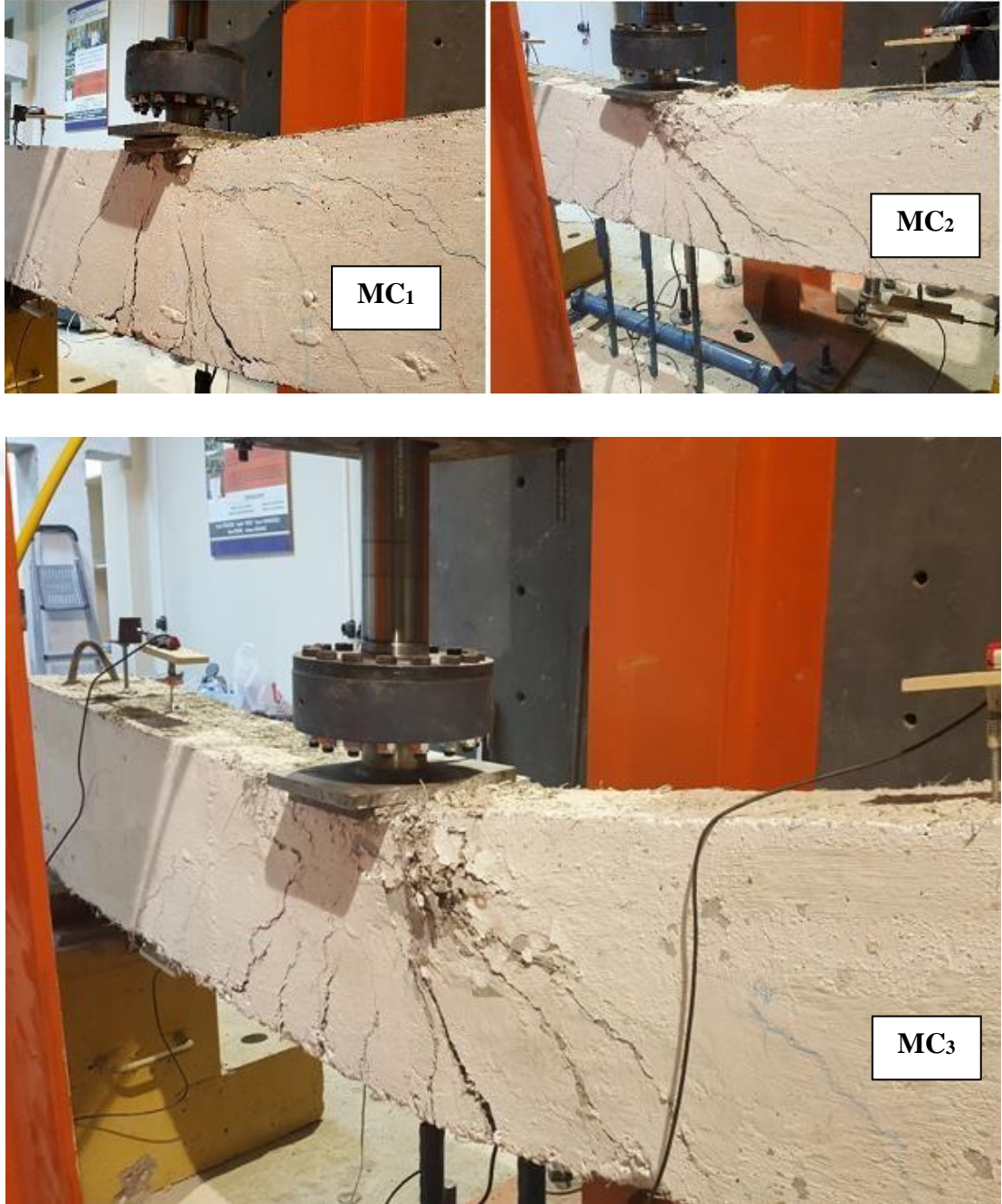
Şekil 4.5. G grubu betonarme kirişlerinin yük kaldırılmadan önce çatlak dağılımları (G₁) = %0; (G₂) = %0,5; (G₃) = %1,5 plastik fiber katkıdır.



Şekil 4.6. G grubu betonarme kirişleri için çatlak desenleri ; (G_1) = %0; (G_2) = %0,5; (G_3) = %1,5 plastik fiber katkıdır.

G_1 (%0 V_f) ve G_2 (%0.5 V_f) betonarme kirişlerinde ileri seviyede kesme çatlakları meydana gelmiştir (Bkz Şekil 4.6). G_1 ve G_2 betonarme kirişleri gevrek bir şekilde kırılma meydana gelmiş olsa da G_2 betonarme kirişinde kullanılan %0.5 oranındaki plastik fiber kullanımı ile kirişin taşıma kapasitesi artmıştır. Artan yük ile birlikte yetersiz dayanıma sahip olan G_2 betonarme kirişinde hasar seviyesi onarılmayacak düzeylere ulaşmıştır.

Tez çalışmasının ikinci aşamasında MC ve MG betonarme kirişlerinin deneyleri gerçekleştirilmiştir. Sargı donatı aralığının artırılmasındaki amaç literatür de yer alan geo-grid kullanımının sargı donatı aralığını artırdığına yönelik önerilerin değerlendirilmesidir. İki farklı sargılama tekniği, sargılama aralığı ve farklı plastik fiber oranlarına sahip betonarme kiriş numuneleri deneye tabi tutulmuştur. MC betonarme kirişlerinin yük kaldırılmadan önceki çatlak desenleri Şekil 4.7'de gösterilmiştir.

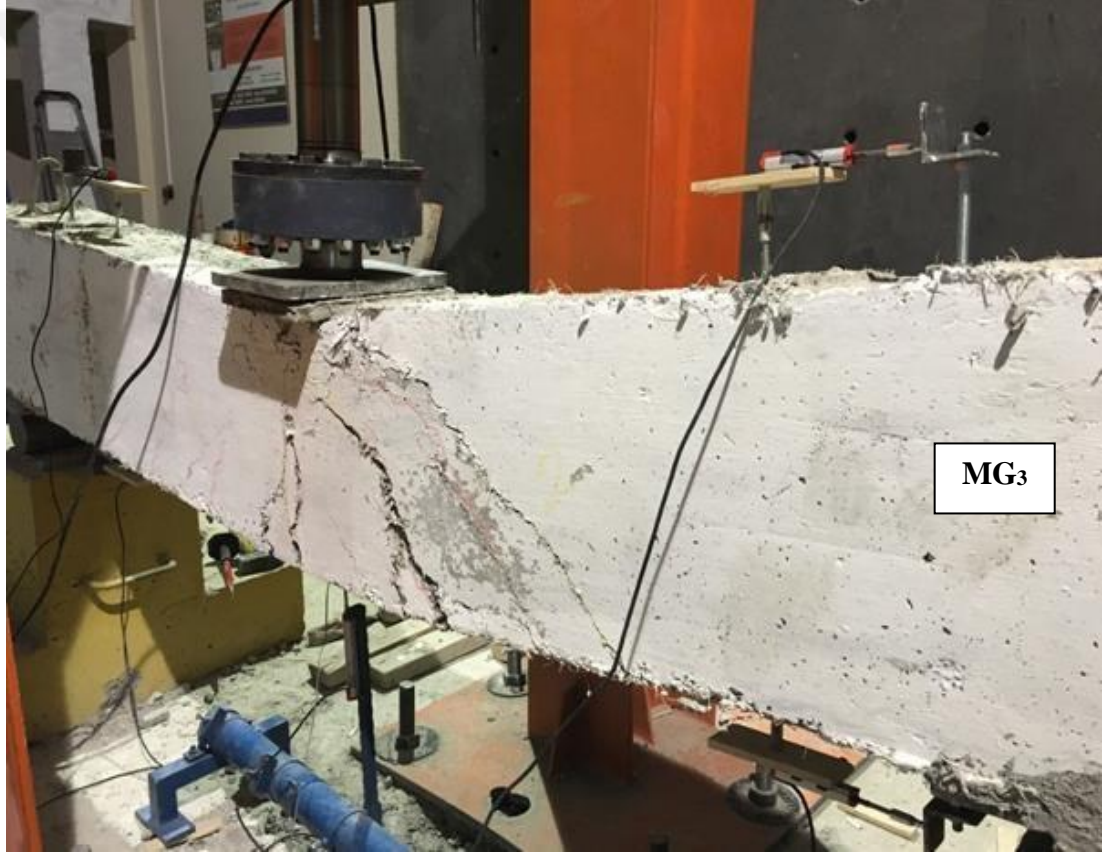


Şekil 4.7. MC grubu betonarme kirişlerinin yük kaldırılmadan önce çatlak dağılımları (MC₁) = %0; (MC₂) = %0,5; (MC₃) = %1,5 plastik fiber katkıdır.



Şekil 4.8. MC betonarme kirişleri için çatlak desenleri; (MC₁) = %0; (MC₂) = %0,5; (MC₃) = %1,5 plastik fiber katkıdır.

MG grubu betonarme kirişleri için deney sonrası yük kaldırılmadan önce elde edilen çatlak desenleri Şekil 4.9'da gösterilmektedir.



Şekil 4.9. MG grubu betonarme kirişlerinin yük kaldırılmadan önce çatlak desenleri; (MG₁) = %0; (MG₂) = %0,5; (MG₃) = %1,5 plastik fiber katkıdır.

MG betonarme kirişlerinin gerekli karşılaştırmalarının daha iyi bir şekilde yapılabilmesi için deney sonrası üst üste koyulan betonarme kiriş numuneleri Şekil 4.10'da gösterilmiştir.



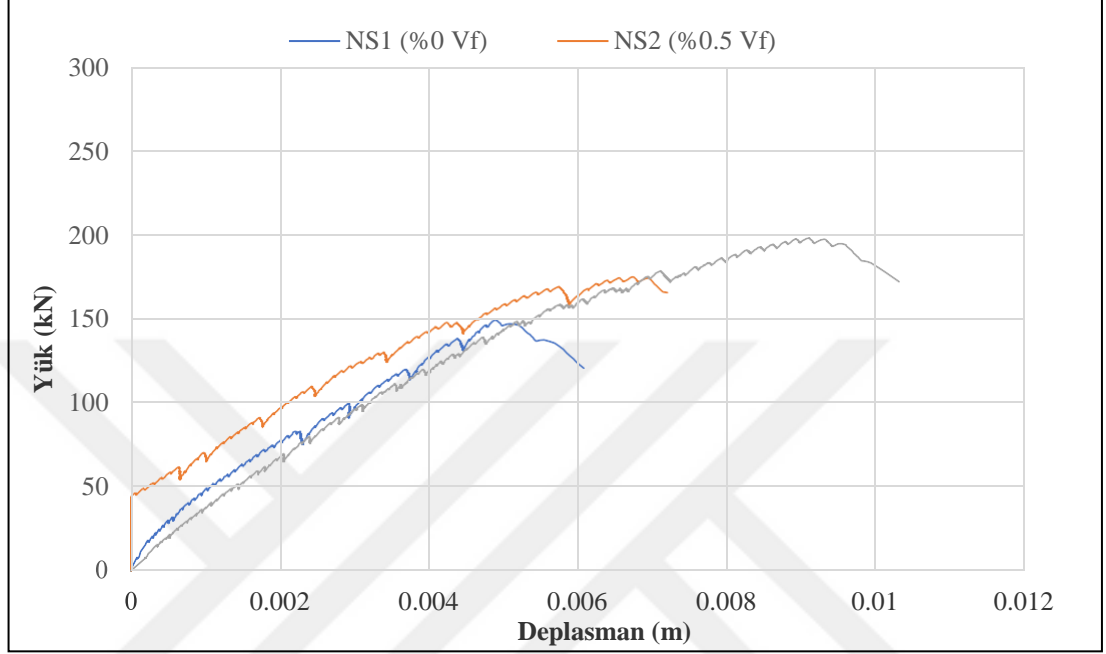
Şekil 4.10. MG betonarme kirişleri için çatlak desenleri; (MG_1) = %0; (MG_2) = %0,5; (MG_3) = %1,5 plastik fiber katkıdır.

Sargı donatısı olarak geo-grid kullanılan betonarme kirişlerde etriye aralığının artırılması diğer betonarme kirişlerine göre en belirgin farklılığa sahiptir. MG grubu betonarme kirişlerinin çatlak genişlikleri G grubuna göre ileri düzeydedir. MC grubu betonarme kirişlerinin sargı aralığı C grubu betonarme kirişlerine göre yüksek düzeyde olduğundan dolayı süneklilik düzeyi C grubuna göre düşük ancak G grubu betonarme kirişlerine göre daha sünek bir davranış ve daha yüksek taşıma gücü kapasitesine ulaşmıştır.

4.2. Yük-Deplasman Sonuçları

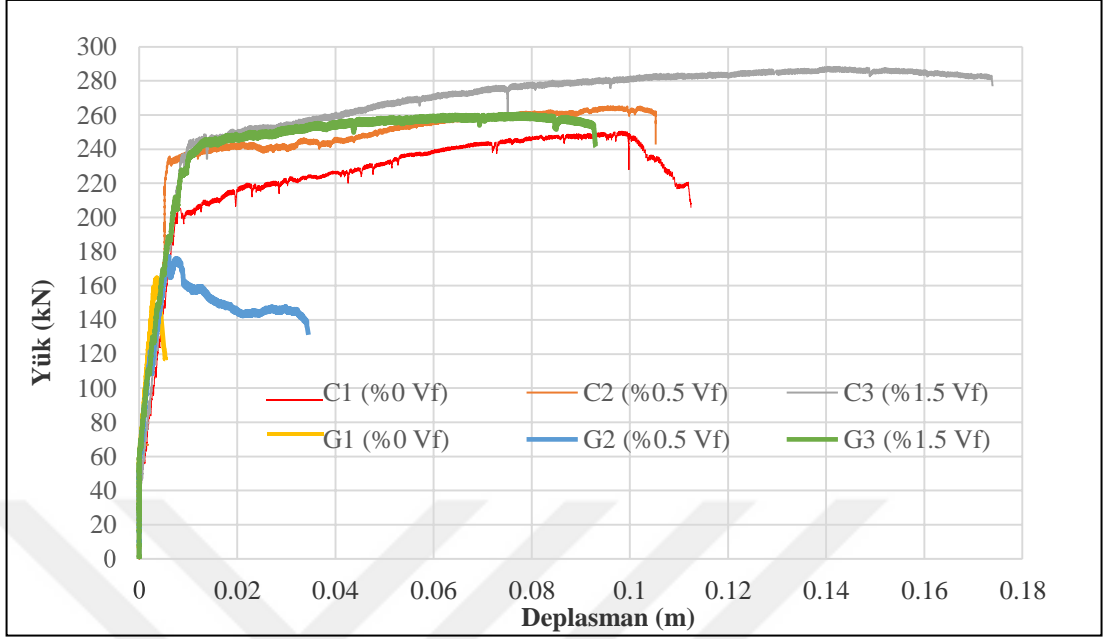
Üç farklı plastik fiber oranlarına sahip NS betonarme kirişlerinin yük-deplasman grafiği sonuçları Şekil 4.11’de gösterilmektedir. Elde edilen grafik verilerine göre NS_1 betonarme kirişinin nihai yük taşıma kapasitesi 149 kN’dur. NS_2 betonarme kirişinin yük taşıma kapasitesi 175 kN değerlerine ulaşmıştır. %1.5 plastik fiber oranına sahip NS_3 betonarme kirişi plastik fiberin katkısı ile 198 kN’a ulaşmıştır. Üç farklı plastik fiber oranına sahip sargı donatısı betonarme kirişlerinin deney sonuçları; farklı türlerde

kullanılan (geleneksel ve geo-grid) kesme donatılarının yük-taşıma kapasiteleri ve aderans-sıyrılma sonuçlarını üzerine etkilerini değerlendirmek için önem taşımaktadır.



Şekil 4.11. NS grubu için yük-deplasman grafiği

Üç farklı plastik fiber oranlarına sahip NS betonarme kirişlerinin yük-deplasman grafiği sonuçları Grafik 4.11'de gösterilmektedir. Plastik fiber kullanılmadan geleneksel olarak tasarlanan C₁ betonarme kirişi NS ve G grubuna ait betonarme kirişlerine göre daha sünek bir davranış sergilemiştir. C₁ betonarme kirişine uygulanan yük ile birlikte kirişin çekme bölgesinde çekme çatlakları meydana gelmiştir. Sargı donatılarının katkısı C₁ betonarme kirişinin taşıma gücü kapasitesini NS₁ betonarme kirişinin taşıma gücü kapasitesine göre daha yüksek seviyelere çıkarmıştır. Sargı donatılarının kullanımı C₁ betonarme kirişinde %68 oranında taşıma kapasitesi artmıştır.



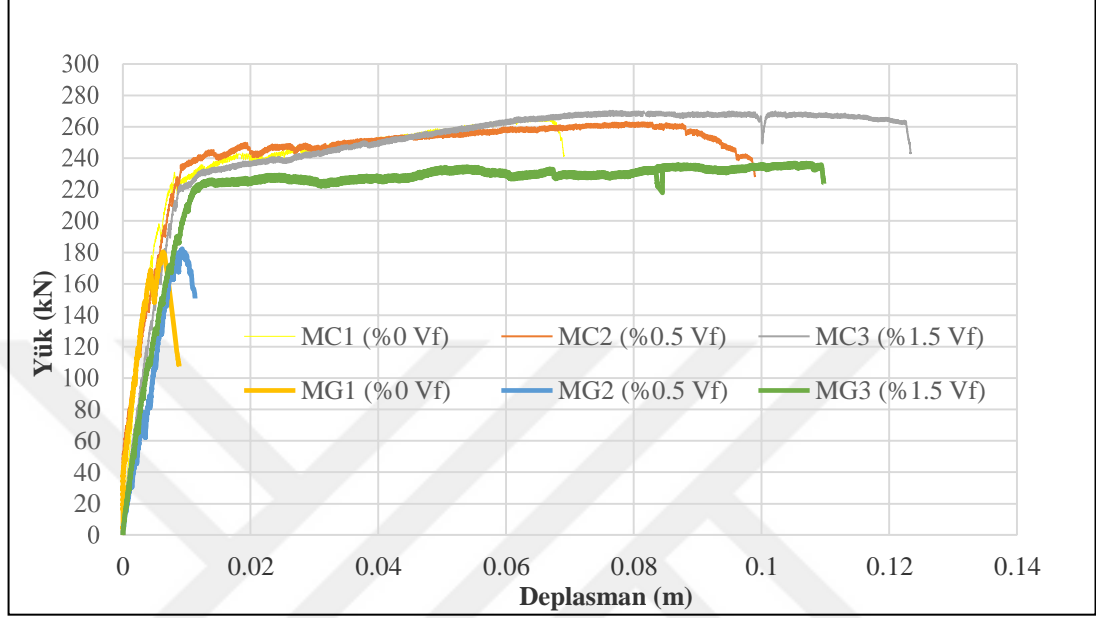
Şekil 4.12. Grup C ve G betonarme kirişleri için yük-deplasman ilişkileri

C₁, C₂ ve C₃ betonarme kirişlerinin nihai yük taşıma kapasiteleri sırasıyla 251 kN, 265 kN ve 288 kN olarak ölçülmüş olup Şekil 4.12’de gösterilmiştir. Her bir yüke karşılık gelen deplasman değerleri ise sırasıyla 0.112 m, 0.105 m ve 0.174 m’dir. C₁ (%0 plastik fiber) betonarme kirişinin yük taşıma kapasitesi plastik fiberlerin katkısı ile birlikte C₂ (%0.5 plastik fiber) betonarme kirişinde %6 ve C₃ (%1.5 plastik fiber) betonarme kirişinde %15 oranında artmıştır. Geo-grid sargılı betonarme kirişlerinden en yüksek plastik fiber oranına sahip G₃ betonarme kirişi hariç diğer sargı donatısı için geo-grid kullanılan betonarme kirişler gevrek bir kırılma göstermiştir. Sargı donatısı bulunmayan NS₂ (%0.5 plastik fiber) betonarme kirişinin nihai yük taşıma kapasitesi geo-grid sargılı G₁ (%0 plastik fiber) betonarme kirişinden fazla olduğu Şekil 4.11 ve 4.12 karşılaştırıldığında görülmektedir. Sargı donatısı bulunmayan NS₃ (%1.5 plastik fiber) betonarme kirişinin nihai yük taşıma kapasitesinin de geo-grid sargılı G₁ (%0 plastik fiber) ve G₂ (%0.5 plastik fiber) betonarme kirişlerinden fazla olduğu görülmektedir. Deney sonucunda elde edilen G₁ ve G₂ betonarme kirişlerinin nihai yük taşıma kapasiteleri sırasıyla 165 kN ve 177 kN olduğu Şekil 4.12’de görülmektedir. Sadece kullanılan sargı türleri farklı olan geo-gridli ve geleneksel yöntemlere göre tasarlanan betonarme kirişler karşılaştırıldığı zaman geo-grid sargılı kirişlerin oldukça düşük performans gösterdiği sonucuna varılmıştır. Grup G

betonarme kirişlerinden sadece G_3 (%1.5 V_f) betonarme kirişi C_2 (%0.5 V_f) betonarme kirişine benzer davranış sergilemiştir.

Chidambaram ve Agarwal (2015) yapmış oldukları deneysel çalışmada geo-grid sargılı ve çelik fiber katkılı betonarme kirişlerinin eğilme dayanımlarını incelemişlerdir. Yapılan deneysel çalışmada katkısız geo-gridlerin sonuçları incelenmemiştir. Bu çalışmada kullanılan geo-gridlerin mekanik özellikleri Chidambaram ve Agarwal (2015) tarafından kullanılan geo-gridlerin mekanik özellikleri ile aynıdır. Her ne kadar; Chidambaram ve Agarwal (2015) tarafından gerçekleştirilen çalışmada ve bu çalışmadan farklı olarak çelik fiberler kullanılmış olsa da; sentetik fibelerin oranlarının artırılarak çelik fibelerin sağlayacağı performansın elde edilebileceği daha önceki çalışmalarda ortaya konulmuştur (örneğin., Narayanan ve Darwish 1987; Zheng ve Feldman 1995; Shehata vd. 2003; Nemegeer vd. 2003; Won vd. 2006). Bu çalışmadan elde edilen sonuçların aksine, Chidambaram ve Agarwal (2015) tarafından yapılan deneysel çalışmada; aynı etriye aralığında %0.5 çelik fiberli geo-grid sargılı betonarme kirişlerinin sünekliliğinin geleneksel olarak tasarlanan %1 oranında fiber katkılı betonarme kirişlerinden fazla olduğu belirtilmiştir. Mevcut çalışmada tam ölçekli betonarme kirişlerinin deneye tabi tutulması ile birlikte; geo-grid malzemesinin sargı donatısı ya da boyuna donatılara alternatif bir malzeme olabileceği ve daha fazla süneklilik sağlayabileceği doğrultusundaki önerilerin mevcut literatürde yanlış anlaşılmalara sebebiyet verdiği söylenebilir. Elde edilen deneysel verilere göre geo-grid malzemesinin farklı katkı malzemeleri ile kullanılmadan hedeflenen performansı sağlayamayacağı düşünülmektedir. Geo-grid malzemesinin aynı etriye aralığında ve düşük katkı oranlarında geleneksel betonarme kirişlerine göre daha fazla süneklilik sağlayamacağı yapılan tam ölçekli betonarme kirişler ile desteklenmektedir. Tüm bu sonuçlar geo-grid malzemesinin sahip olduğu çok düşük elastik modülüsü ile açıklanabilir. Her ne kadar geleneksel sargı donatılarının sağlayacağı çekme dayanımı bu malzemenin katlanarak aynı dayanıma getirilmesi olanağı olsa dahi; betonun sınırlı deformasyon kapasitesi geo-gridin daha fazla deformasyon yapmasını sınırlamaktadır.

Farklı plastik fiber oranlarının kullanıldığı MC ve MG betonarme kirişlerinin yük-deplasman ilişkileri Şekil 4.13’de gösterilmektedir.



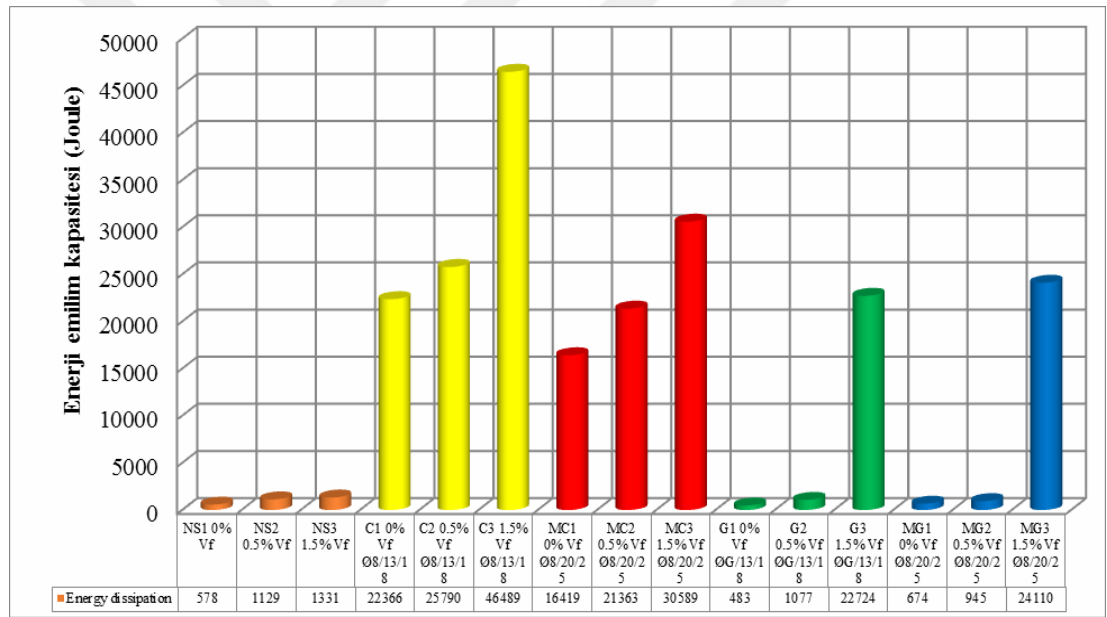
Şekil 4.13. MC ve MG betonarme kirişleri için yük-deplasman ilişkileri

MG grubundan MG₁ (%0 V_f) ve MG₂ (%0.5 V_f) betonarme kirişleri Şekil 4.13’de gösterildiği üzere gevrek davranış sergilemişlerdir. En yüksek hacimsel plastik fiber oranının kullanıldığı MG₃ (%1.5 V_f) betonarme kirişi ile en düşük plastik fiber oranının kullanıldığı MC₁ (%0 V_f) betonarme kirişi yük-deplasman grafikleri incelendiği zaman benzer davranışlar sergilediği görülmüştür. %1.5 plastik fiber oranına sahip MG₃ betonarme kirişi ile %0 plastik fiber oranına sahip MC₁ betonarme kirişinin sırasıyla nihai yük taşıma kapasiteleri 237 kN ve 266 kN’dur. G₂ (%0.5 V_f) betonarme kirişi için bahsedilen yük almaya devam ederken daha fazla hasarın meydana gelmesi durumu MG₂ (%0.5 V_f) betonarme kirişi için de geçerlidir. Itani vd. (2016) tarafından elde edilen veriler donatısız betona göre karşılaştırılmış olmasına rağmen; yapılan çalışmada geo-grid malzemesinin kullanıldığı numunelerdeki birincil çatlaklar ve devam eden eğilme çatlakları donatısız numunelere göre daha fazla olduğu belirlenmiş ve bu sonuçlar daha önceki deneysel veriler ile de ters düşmektedir (örneğin; Chidambaram ve Agarwal,2014-2015; El Meski ve Chehab, 2014).

4.3. Enerji Emilim Kapasiteleri

İki farklı sargılama tekniği için farklı etriye aralığına sahip ve plastik fiber oranlarındaki enerji emilim kapasiteleri yük-deplasman grafiklerinin altında kalan alanlar hesaplanarak bulunmuştur (Bkz Şekil 4.14)

NS grubu betonarme kirişlerinin enerji emilim kapasiteleri plastik fiber oranlarındaki artışa bağlı olarak artmıştır. Bu artış geleneksel sargı donatılarının kullanıldığı ve plastik fiber oranlarının artırıldığı betonarme kirişlerinde de gözlemlenmiştir. MC grubundaki betonarme kirişlerinin içine katılan plastik fiber oranlarına bağlı olarak enerji-emilim kapasiteleri artarken C grubu betonarme kirişlerinde azalma meydana gelmiştir.



Şekil 4.14. Enerji emilim kapasiteleri

Plastik fiber oranının artmasına bağlı olarak enerji-emilim kapasitesindeki artış ve etriye aralığının artırılmasına bağlı olarak enerji-emilim kapasitesindeki azalma geleneksel yöntemlerle tasarlanan betonarme kirişlerinde gözlemlenirken; G ve MG betonarme kirişlerinde gözlemlenememiştir. MG₁ (%0 V_f) betonarme kirişinin enerji emilimi G₁ betonarme kirişinin enerji emiliminden fazla olduğu Şekil 4.14'de görülmektedir. Aynı plastik fiber oranlarına sahip MG₁ betonarme kirişinin sargı donatısı aralığının artırılmasına rağmen enerji emilim kapasitesinin G₁ betonarme kirişinden fazla olması gevrek kırılma ile açıklanabilir. Şekil 4.14'de görüldüğü üzere

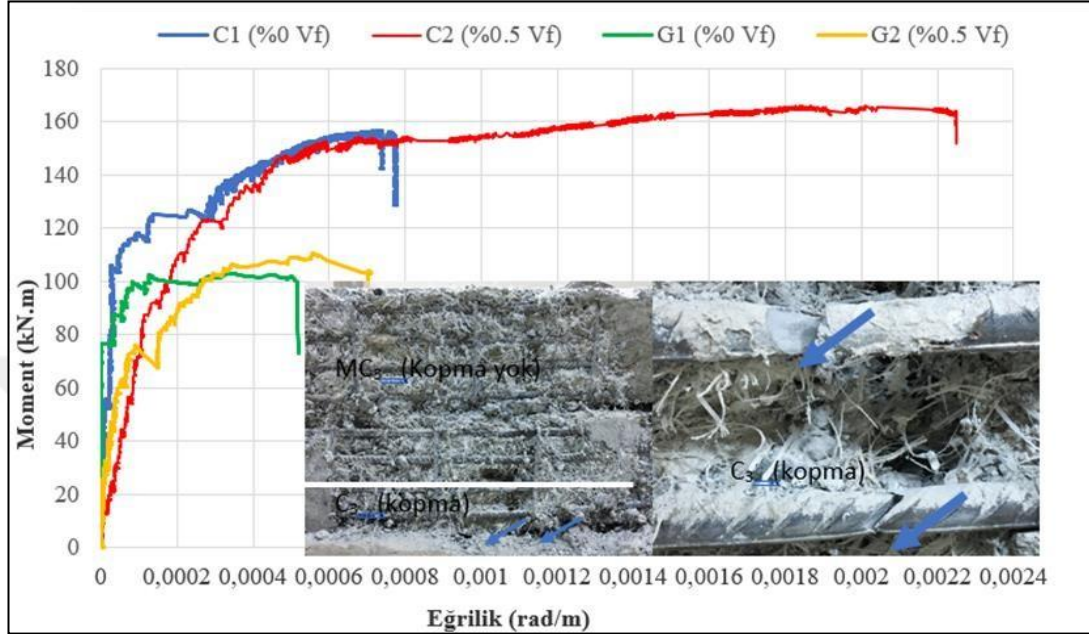
aynı plastik fiber oranlarına sahip C_3 (%1.5 V_f) betonarme kirişinin enerji-emilim kapasitesi etriye aralığının artırıldığı MC_3 (%1.5 V_f) betonarme kirişi ile birlikte azalmıştır. Fakat G_3 betonarme kirişinin enerji-emilimi kapasitesi MG_3 betonarme kirişine oranla %6 artmıştır. G_3 ve MG_3 betonarme kirişleri için elde edilen yük-deplasman ilişkileri artan yükün etkisi ile birlikte geo-grid'in yetersiz eğilme kapasitesi davranışı gösterdiğini işaret etmektedir ve böylece de MG_3 betonarme kirişi için hesaplanan enerji-emilimi kapasitesi G_3 'den daha büyük olmuştur. Fiber oranlarının artırılmasına bağlı olarak geleneksel olarak tasarlanan betonarme kirişlerinde (C_1 - C_2 - C_3) yük-taşıma kapasiteleri artmış ve buna bağlı olarak betonarme kirişlerinde daha sünek bir davranış gözlemlenmiştir. G_3 (%1.5 V_f) betonarme kirişinin yük taşıma kapasitesi MG_3 (%1.5 V_f) fazladır ancak MG_3 betonarme kirişlerinde daha sünek bir davranış görülmüştür. Geo-grid sargılama tekniğinin kullanıldığı betonarme kirişlerinde plastik fiberlerin katılması ile taşıma gücü kapasitesinde meydana gelen artış görülmemiştir. Grafik 4.4'de aynı etriye aralığı ve plastik fiber oranlarında; C_3 (%1.5 V_f) betonarme kirişinin enerji emilim kapasitesi G_3 (%1.5 V_f) betonarme kirişinin emilim kapasitesinin yaklaşık iki katı kadardır.

4.4. Moment-Eğrilik İlişkisi

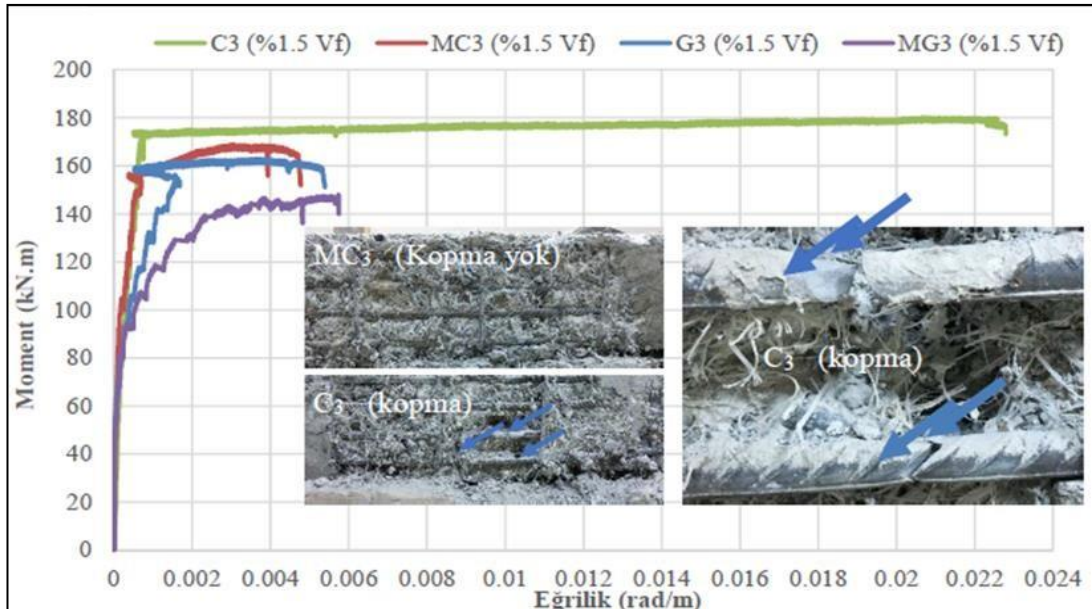
Deneye tabi tutulan betonarme kirişleri için moment-eğrilik ilişkileri Şekil 4.15'de gösterilmektedir. İki farklı sargılama tekniğinin kullanıldığı betonarme kirişleri arasında eğrilik kapasiteleri açısından net farklılıklar Şekil 4.15(a)'da görülmektedir. Geleneksel olarak tasarlanan betonarme kirişlerinin moment kapasiteleri aynı eğrilik değerinde oldukça fazladır. C_2 (%0.5 V_f) betonarme kirişi C_1 (%0 V_f) betonarme kirişine göre daha sünek bir davranış göstermiştir. Geo-grid malzemesinin kullanılması ile sağlanan G_1 (%0 V_f) ve G_2 (%0.5 V_f) betonarme kirişlerinde gözlenen süneklilik davranışı C_1 ve C_2 betonarme kirişlerinde olduğu kadar belirgin seviyelerde değildir.

Hacimce en yüksek plastik fiber oranına sahip geo-grid sargılı betonarme kirişleri ile hacimce en düşük plastik fiber oranlı geleneksel sargılamaya sahip betonarme kirişleri karşılaştırıldığında betonarme kirişlerinin yakın davranışlar göstermeye çalıştıkları gözlemlenmiştir. Geleneksel olarak tasarlanan betonarme kirişlerinin eğrilik

kapasiteleri geo-grid sargılamasına sahip betonarme kirişlerine göre oldukça fazladır(Bkz. Şekil 4.15).



Şekil 4.15. C₁ (%0 Vf), C₂ (%0.5 Vf), G₁ (%0 Vf), ve G₂ (%0.5 Vf) betonarme kirişlerinin moment-eğrilik ilişkisi.



Şekil 4.16. C₃ (%1.5 Vf), MC₃ (%1.5 Vf), G₃ (%1.5 Vf), ve MG₃ (%1.5 Vf) betonarme kirişlerinin moment-eğrilik ilişkisi.

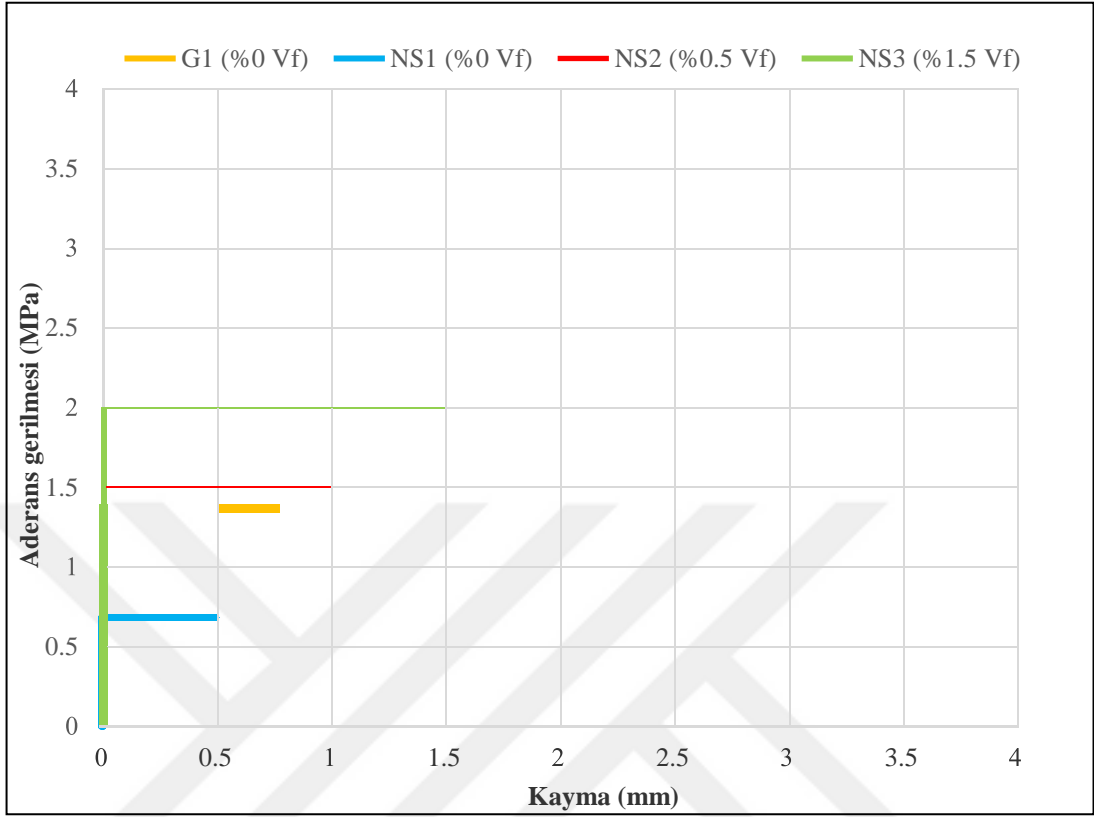
4.5. Aderans-Sıyrılma İlişkisi

Mevcut literatürde yer alan ve şimdiye kadar yapılan çalışmalardan elde edilen verilerle eğilim dayanımları incelenmiştir. Aderans-kayma ilişkilerine etkisi bakımından geo-grid malzemesinin kullanımı incelenmemiştir. Sargı donatılarının sağladığı aderans ve buna bağlı olarak betonarme donatısında meydana gelebilecek kaymalar yapı performansını oldukça etkilemektedir.

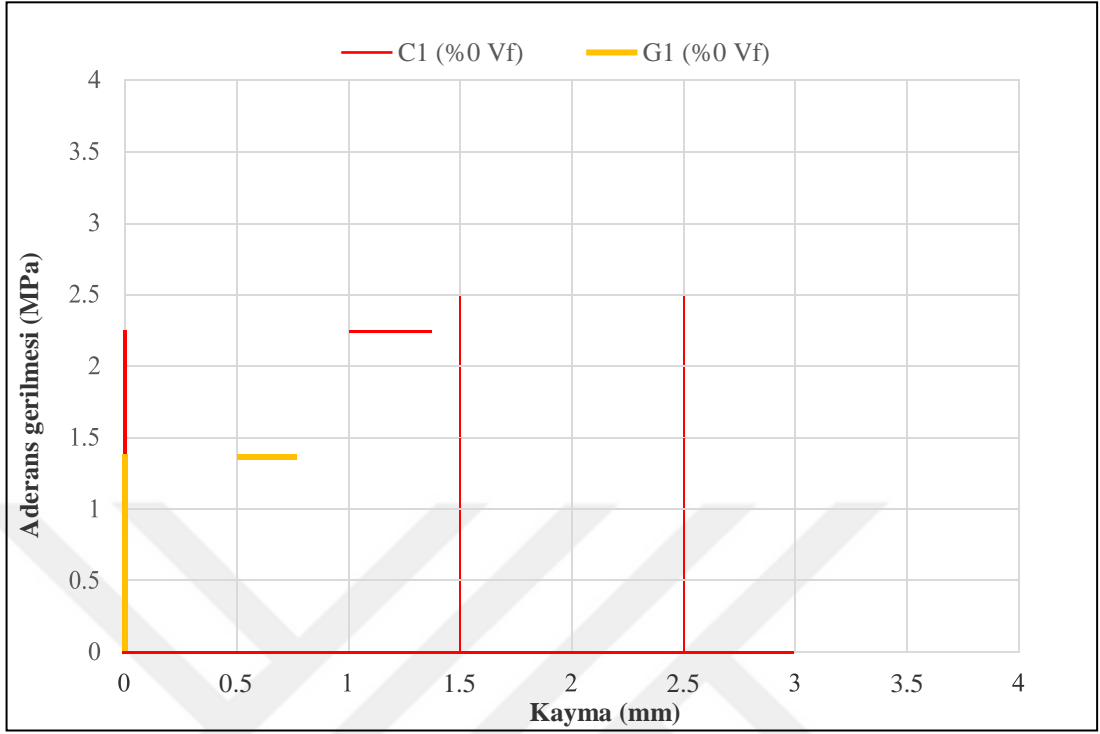
Bundan dolayı sargılama tekniğinin geo-grid malzeme kullanılması ile yapılan çalışmalarda yalnızca yük-deplasman değerlerine göre ilgili malzemenin kullanılabilirliğine yönelik önerilerdeki eksiklik devam etmiştir. Sezen ve Mohle (2006) tarafından yapılan deneysel çalışmada; yanal deplasmanın %25 ile %40'ın donatı kaymasından meydana geldiği göz önüne alındığı aderans-kayma ilişkisinin incelenmesi gerekmektedir. Şekil 4.16'da gösterildiği üzere C₃ betonarme kirişindeki iki adet çekme donatısı kopmuştur. Bundan dolayı ilgili donatılardan gerinim değerleri alınamadığından C₃ betonarme kirişi için aderans hesapları yapılamamıştır. Şekil 4.17 ve 4.19'da çalışma kapsamında deneye tabi tutulan betonarme kirişleri için hesaplanan aderans-kayma değerleri yer almaktadır. Şekil 4.17'de gösterildiği üzere plastik fiberler etriyesiz betonarme kirişlerinde aderans-kayma ilişkileri bakımından oldukça etkilidir. NS₁ betonarme kirişi için hesaplanan aderans gerilmesi NS₂ (%0.5 V_f) ve NS₃ (%1.5 V_f) betonarme kirişlerinde sırasıyla %129 ve %186 oranlarında artmıştır. Bu artış plastik fiberlerin agregaya kenetlenmesi üzerine etkisi ile açıklanabilir. Deney sonuçları; geo-grid sargılama tekniğinin kullanıldığı betonarme kirişlerindeki aderans gerilmelerinin yalnızca NS grubu ile karşılaştırıldığında yüksek olduğunu göstermiştir. Şekil 4.17'de G₁ (%0 V_f) betonarme kirişi 1.4 MPa aderans gerilmesi ile NS grubuna göre belirgin farklılık göstermektedir. Fakat etriyesiz betonarme kirişlerinde olduğu gibi G₁ betonarme kirişindeki çekme donatılarında elastik sınırlar içerisinde kalmıştır.

Şekil 4.18'de iki farklı sargılama tekniğinin kullanıldığı ve plastik fiberlerin kullanılmadığı betonarme kirişleri için aderans-kayma ilişkileri gösterilmektedir. Şekil 4.18'de C₁ (%0 V_f) betonarme kirişi için hesaplanan aderans gerilme değeri 2.2 MPa'dır. Bu değer geo-grid sargılama tekniğinin kullanıldığı G₁ (%0 V_f) betonarme kirişinde 1.4 MPa'a düşmüştür. C₁ betonarme kirişindeki çekme donatılarından

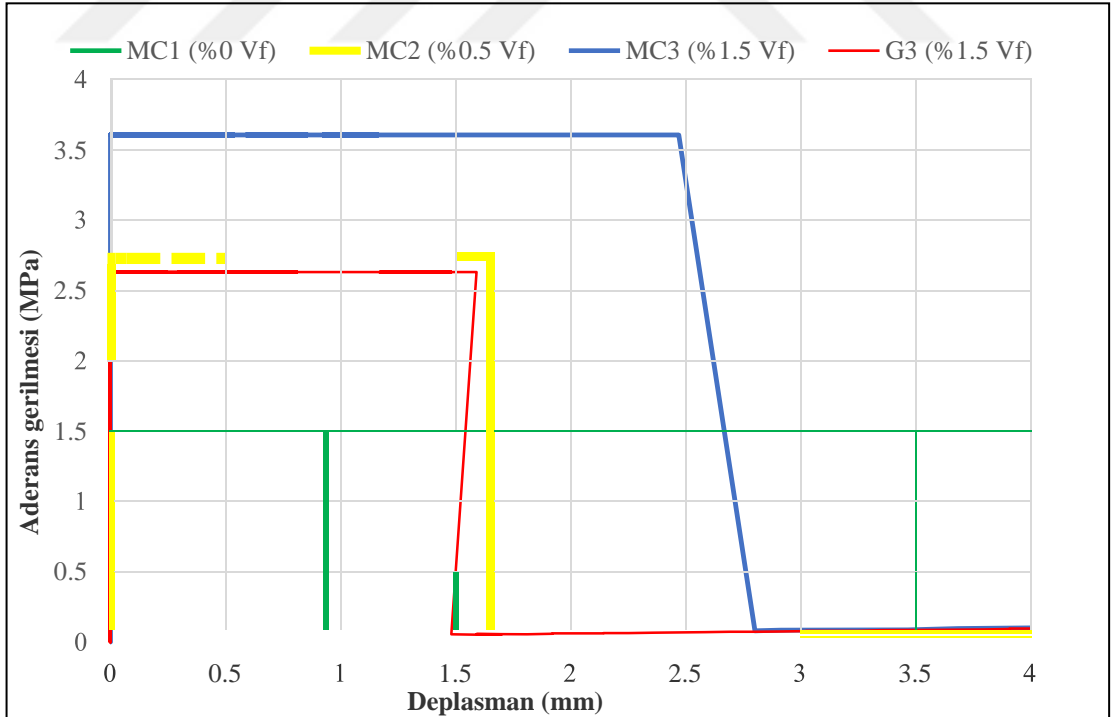
okunan gerinim değerleri ışığında; C_1 betonarme kirişindeki çekme donatıları elastik ve elastik ötesi davranış gösterirken G_1 betonarme kirişindeki çekme donatıları da elastik sınırlar içerisinde kalmıştır. Aderans gerilmesi en yüksek değerini her ne kadar elastik sınırlar içerisinde olsa da; elastik ötesi davranış da sağlanan aderans gerilmesi ve buna bağlı oluşacak donatı kaymaları yapı sisteminde belli oranlarda sünekliği artırmaktadır. Şekil 4.19’da plastik fiberlerin aderans gerilmesi üzerine etkisini etriye aralığının artırıldığı geleneksel betonarme kirişleri ile etriye aralığının artırılmadığı geo-grid sargılı betonarme kirişlerinin karşılaştırılması gösterilmektedir. MC_1 betonarme kirişindeki donatılarda aderans gerilmesi %0.5 ve %1.5 plastik fiber oranların katkısına sahip MC_2 ve MC_3 betonarme kirişleri için sırasıyla %87 ve %147 oranında artmıştır. Deneysel çalışma sonucunda yüksek oranlarda plastik fiberlerin kullanıldığı G_3 (%1.5 V_f) ve MG_3 (%1.5 V_f) geo-grid sargılı betonarme kirişleri haricinde diğer tüm geo-grid sargılı betonarme kirişlerinin çekme donatıları elastik sınırlar içerisinde kalmıştır (G_1 , G_2 , MG_1 , ve MG_2). Şekil 4.19’da yalnızca G_3 (%1.5 V_f) betonarme kirişinin aderans kuvveti %40 oranında; etriye aralığı artırılmış ve %0 oranında plastik fiber katkılı betonarme kirişi olan MC_1 ’den fazladır. MC_2 betonarme kirişinde etriye aralığı %40 oranında artırılmasına karşın; MC_2 betonarme kirişindeki çekme donatısında hesaplanan aderans kuvveti G_3 (%1.5 V_f) betonarme kirişinden fazladır. Bu durum geo-grid sargılama tekniğinin kullanıldığı betonarme kirişlerinin yalnızca yüksek katkı oranlarında ve etriye aralığı artırılmış-katkısız geleneksel betonarme kirişlerine göre daha iyi aderans kuvveti sağlayabileceğini göstermektedir. Artılan etriye aralığı göz önüne alındığında; geo-grid malzemesinin geleneksel betonarme donatıları yerine alternatif bir malzeme olarak düşünölebileceği oldukça zordur. Yetersiz aderans kuvveti betonarme donatılarının üzerine düşen görevleri yerine getirmeden sıyrılması ve böylelikle hedeflenen yapı performansından uzaklaşılmasına sebebiyet vereceği açıktır.



Şekil 4.17. G₁ (%0 Vf), NS₁ (%0 Vf), NS₂ (%0.5 Vf), NS₃ (%1.5 Vf) betonarme kirişlerinin aderans-sıyrılma ilişkileri.



Şekil 4.18. C₁ (%0 Vf), G₁ (%0 Vf) betonarme kirişlerinin aderans-sıyrılma ilişkileri



Şekil 4.19. MC₁ (%0 Vf), MC₂ (%0.5 Vf), MC₃ (%1.5 Vf), G₃ (%1.5 Vf) betonarme kirişlerinin aderans-sıyrılma ilişkileri.

5. SONUÇLAR

Yapılan deneysel çalışmada iki farklı sargılama tekniğinin kullanıldığı tam ölçekli betonarme kirişleri farklı plastik fiber oranlarında eğilme davranışları incelenmiştir. Yapılan çalışma literatürde geo-gridin geleneksel donatılar yerine kullanılabilirliğine yönelik öneriler doğrultusunda ve mevcut yapılan çalışmaların ölçekli numuneler ile gerçekleştirilmesi, geo-gridin donatısız betonarme elemanları ile karşılaştırılması ve aderans-sıyrılma ilişkilerinin göz önüne alınmamasındaki eksikliğin giderilmesi amacı ile gerçekleştirilmiştir.

Elde edilen deneysel sonuçlara göre, G₃(sargı donatısı yerine geo-grid malzemesi kullanılan ve %1.5 oranında plastik fiber katkı) betonarme kirişi hariç; etriyesiz betonarme kirişlerinin nihai yük taşıma kapasitelerinin daha düşük oranlardaki fiber katkıli geo-grid sargılı betonarme kirişleri ile karşılaştırıldığında yüksek olduğu sonucuna varılmıştır. G₃ (sargı donatısı yerine geo-grid malzemesi kullanılan ve % 1.5 oranında plastik fiber katkı) betonarme kirişinin hem yük taşıma kapasitesi hem de sünekliliği tüm NS (sargı donatısı bulunmayan betonarme kirişleri) grubu betonarme kirişlerinden fazladır. Aynı plastik fiber oranlarında C (sargı donatısı olarak geleneksel etriyelerin kullanıldığı) grubu betonarme kirişlerinin hem yük taşıma kapasitesi hem de sünekliliği tüm G (sargı donatısı yerine geo-grid malzemesi kullanıldığı) grubu betonarme kirişlerinden fazladır.

Eğer G₃ (sargı donatısı yerine geo-grid malzemesi kullanılan ve % 1.5 oranında plastik fiber katkı) betonarme kirişi daha az plastik fiber oranlarının kullanıldığı C (sargı donatısı olarak geleneksel etriyelerin kullanıldığı) grubu betonarme kirişleri ile karşılaştırılırsa; G₃ (sargı donatısı yerine geo-grid malzemesi kullanılan ve %1.5 oranında plastik fiber katkı) betonarme kirişinin yük-taşıma kapasitesi C₁ (sargı donatısı olarak geleneksel etriyelerin kullanıldığı ve %0 plastik fiber katkı)'den fazla ve C₂ (sargı donatısı olarak geleneksel etriyelerin kullanıldığı ve %0.5 plastik fiber katkı)'ye yakındır. Fakat düşük plastik fiber oranlarının kullanıldığı geo-grid sargılı betonarme kirişlerindeki hasar seviyeleri ileri düzeydedir. Sargı donatılarının üstlenmiş oldukları görevler göz önüne alındığında; yalnızca kesme kuvvetlerini karşılamak değil, aynı zamanda aderans-sıyrılma ilişkisi bakımından

değerlendirildiğinde geo-grid sargılama tekniğinin uygulanmasının ciddi yapısal sorunları beraberinde getirebileceği düşünülmektedir. Özellikle kolon-kiriş birleşim bölgelerinde bu malzemenin kullanılmasının daha ileri boyutlarda yapısal performansı etkileyeceği göz ardı edilmemelidir. Aynı şekilde bu malzemenin betonarme kolonlarında kullanılması durumunda ise eksenel yük etkisi altında farklı sorunları beraberinde getireceği düşünülmelidir. Deneysel çalışmanın laboratuvar ortamında gerçekleştirilmesine rağmen; geo-gridler laboratuvar ortamında dahi kendilerini bırakan, sürekli germe işlemleri gerektiren bir davranış sergilemiş ve bu bağlamda şantiye ortamında kullanılabilirliği oldukça zordur.



KAYNAKLAR

- Açıkgenç, M., (2012), Farklı karışım oranlarına sahip polipropilen lifli betonların dayanım ve durabilite özellikleri. *Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Cilt 4, Sayı 3, Sayfa 41-54.
- Baradan, B. (2004) Yapı Malzemesi – II, *Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Yayınları*, No.226, İzmir
- Bicer K., Yalciner H., Balkız A., and Kumbasaroglu A. (2018). "Effect of corrosion on flexural strength of reinforced concrete beams with polypropylene fibers". *Elsevier-Construction and Building Materials*, 185, 574-588.
- Chidambaram, R.S., and Agarwal, P., (2014). The confining effect of geo-grid on the mechanical properties of concrete specimens under compression and flexure. *Construction Building Materials*; 71, 628–37.
- Chidambaram, R.S., and Agarwal, P., (2015). Flexural and shear behavior of geo-grid confined RC beams with steel fiber reinforced concrete, *Construction Building Materials*; 78, 271–280.
- El Meski, F., and Chehab G., (2014). Flexural behavior of concrete beams reinforced with different types of geogrids. *Journal of Materials in Civil Engineering*; 26(8), 04014038.
- Inel, M., and Ozmen, H.B., (2006). Effects of plastic hinge properties in nonlinear analysis of reinforced concrete buildings. *Engineering Structural*; 28(11),1494–1502.
- Itani, H., Saad, G. and Chehab G., (2016). The use of geogrid reinforcement for enhancing the performance of concrete overlays: An experimental and numerical assessment. *Construction Building Materials*; 124, 826–837.
- Park, R., and Paulay, T. (1975). Reinforced concrete structures. *John Wiley and Sons*, 769 pages, New York, 1975.
- Sarikaya, H., Şengün, N., Altındağ, R., ve Başyigit, C., (2009) Zeolit Katkılı Betonların Elastisite Modülünün Tahmin Edilmesi, *E-Journal of New World Sciences Academy Engineering Sciences*, Vol.4 (4) 483-494.
- Sezen, H., and Setzler, E.J. (2008). Reinforcement slip in reinforced concrete columns”, *ACI Structural Journal*; 105(3),280–289.
- Topçu, İ. B., ve Boğa, A. R., (2005), “Uçucu Kül ve Çelik Liflerin Beton ve Beton Borularda Kullanımı”, *Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Müh. Mim. Fak. Dergisi*, Cilt XVIII, Sayı 2.

TS500 (2000). Betonarme Yapıların Tasarım ve Yapım Kuralları’. *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara.

Yaka S. (2011). “Konya bölgesi agregaları ile çelik lif kullanılarak üretilen yol betonlarının mekanik özelliklerinin incelenmesi” *Engineering Sciences*, Cilt 6, Sayı 4, Oca 2011, Sayfalar 1102-1116





EKLER

Ek-1. Tez Çalışması Süresince Yapılan Akademik Çalışmalar

Yalciner, H., Kumbasaroglu, A., and Ergün, U., (2017). Confinement effects of geogrid and conventional stirrups on reinforced concrete beams with polypropylene fibers. *ASCE Journal of Composites for Construction*.



ÖZGEÇMİŞ

Uğurcan ERGÜN, 1994 yılında Elazığ'da doğmuştur. İlköğrenimini Özel Kalan İlköğretim Okulunda, lise eğitimi ise Tunceli Anadolu Lisesi'nde tamamlamıştır. 2012 yılında Erzincan Üniversitesi İnşaat Mühendisliği bölümünde lisans eğitimine başlamıştır. 2016 yılında buradaki eğitimini tamamladıktan sonra aynı yıl Erzincan Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı'nda yüksek lisans yapmaya hak kazanmıştır. Aynı zamanda da İstanbul Yeni Havalimanı Projesinde saha mühendisi olarak bir yıl çalışmış daha sonra da Kuzey Marmara Otoyolu Projesine geçmiştir ve burada da 14 ay çalıştıktan sonra proje bitiminden ötürü görevinden ayrılmıştır.