



T.C.
GÜMÜŞHANE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ



**BETONDA VAKUM UYGULAMASI VE ÇELİK LİF KATKISININ BETON
ÖZELLİKLERİNE ETKİLERİNİN BELİRLENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Hacı Mehmet ŞAHİN

**EKİM 2016
GÜMÜŞHANE**

**T.C.
GÜMÜŞHANE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**BETONDA VAKUM UYGULAMASI VE ÇELİK LİF KATKISININ BETON
ÖZELLİKLERİNE ETKİLERİNİN BELİRLENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Hacı Mehmet ŞAHİN

**Gümüşhane Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
“İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı”
Yüksek Lisans Programında Kabul Edilen Tezdir.**

**Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 30.09.2016
Tezin Sözlü Savunma Tarihi : 28.10.2016**


EKİM 2016





KABUL ve ONAY

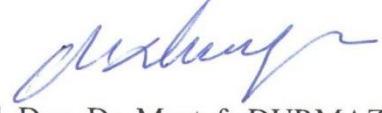



Yrd. Doç. Dr. Mustafa ÇULLU danışmanlığında **Hacı Mehmet ŞAHİN** tarafından hazırlanan **“BETONDA VAKUM UYGULAMASI VE ÇELİK LİF KATKISININ BETON ÖZELLİKLERİNE ETKİLERİNİN BELİRLENMESİ”** isimli bu çalışma jürimiz tarafından Gümüşhane Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü **İnşaat Mühendisliği** Anabilim Dalı’nda Yüksek Lisans Tezi olarak Oy Birliği ile kabul edilmiştir.

Başkan : 
Yrd. Doç. Dr. Osman KARA

Üye (Danışman) : 
Yrd. Doç. Dr. Mustafa ÇULLU

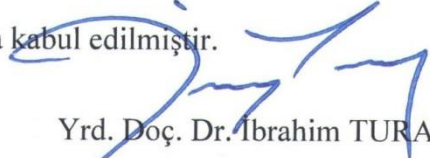
Üye : 
Yrd. Doç. Dr. Ömer CAN

Üye : 
Yrd. Doç. Dr. Mustafa DURMAZ

Üye : 
Yrd. Doç. Dr. Alaaddin VURAL

ONAY

Bu tez 4.1.2017 tarihinde Enstitü Yönetim Kurulunca kabul edilmiştir.


Yrd. Doç. Dr. İbrahim TURAN
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

Bu tez çalışması 3501 TÜBİTAK Kariyer Geliştirme Programı projeleri kapsamında desteklenmiştir.

Proje No: 212M012

TEZ BEYANNAMESİ

Gümüşhane Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı'nda, tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlamış olduğum "**Betonda Vakum Uygulaması ve Çelik Lif Katkısının Beton Özelliklerine Etkilerinin Belirlenmesi**" isimli tez çalışmasında; bütün bilgi ve belgeleri genel akademik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi, görsel ve yazılı bütün bilgi ve sonuçları bilimsel ahlak kurallarına uygun olarak hazırlayıp sunduğumu, başka kaynaklardan yararlandığım bilgileri metin ve kaynaklarda eksiksiz olarak gösterdiğimi, çalışma süresince bilimsel araştırma ve etik kurallara uygun olarak davrandığımı ve aksi durumda her türlü yasal sonucu kabul ettiğimi beyan ederim.
29/09/2016.



Hacı Mehmet ŞAHİN

ÖZET
YÜKSEK LİSANS TEZİ

BETONDA VAKUM UYGULAMASI VE ÇELİK LİF KATKISININ BETON
ÖZELLİKLERİNE ETKİLERİNİN BELİRLENMESİ

Hacı Mehmet ŞAHİN

Gümüşhane Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Yrd. Doç. Dr. Mustafa ÇULLU

2016, 84 sayfa

Betonun kullanım ömrünü birçok faktör etkilemektedir. Bunların en başında olumsuz hava ve yük koşulları, uygun olmayan karışım tasarımları ve uygulama yöntemleri gelmektedir. Günümüzde betonda görülebilecek olumsuz özelliklerin önüne geçmek için genelde katkı maddeleri tercih edilmekte olup lifler en çok kullanılan katkı maddelerindedir. Özellikle betonun eğilme dayanımı ve enerji yutma kapasitelerini arttırmaları nedeni ile tercih edilmektedir. Çoğunlukla saha betonlarında kırılmaların ve parçalanmaların önüne geçmesi için betona katılmaktadır.

Betonun dayanımını en çok etkileyen faktörlerden biri de su miktarıdır. Su, betonda işlenebilirlik ve hidrasyon reaksiyonu için gerekli olan bir karışım malzemesidir. Ancak beton kalıbın şeklini aldıktan sonra, suyun işlenebilirlik için gerekli olan kısmının görevi

sona ermiştir. Bu durumda suyun miktarına bağlı olarak betonda homojenliğin bozulması, segregasyon, terleme ve rötre çatlakları gibi problemler ortaya çıkabilmektedir. Vakumlu beton bu problemlerin önüne geçmek için yapılan bir uygulama olup kalıbın şeklini alan taze betondan karışım suyunun bir miktarının geri çıkarılması işidir.

Bu çalışmanın parametreleri çelik lifler ve vakum uygulamasıdır. Çelik lifler iki farklı uzunlukta ve üç farklı oranda ve üç farklı dayanım sınıfında, normal ve vakumlu betonlarda kullanılmıştır. Çalışmanın amacı; çelik lif uzunluğunun, oranının ve vakum uygulamasının normal betonlardan olan farklılıklarının basınç, kiriş eğilme ve plak testleri ile enerji yutma kapasitelerini belirleyerek ortaya koymaktır. Çalışmanın parametrelerinin tümü bir arada değerlendirildiğinde çelik lifler ve vakum uygulaması beton basınç dayanımını % 35'e kadar arttırabilmektedir. Kiriş eğilme dayanımlarında lif oranına bağlı olarak % 38'e kadar, vakum uygulaması ile birlikte % 65'e kadar artışlar görülmüştür. Enerji yutma kapasitelerine bakıldığında ise lifsiz referans betonlar lifli ve vakumlu betonların en az % 1.7 en çok da % 13 seviyesinde görülmüştür. Sonuç olarak çelik lifler TS 10514'ün belirlediği limit aralığında kullanıldığında betonun mekanik dayanımına olumlu etki göstermektedir.

Anahtar Kelimeler: Basınç Dayanımı, Beton, Çelik Lif, Enerji Yutma Kapasitesi, Kiriş Eğilme, Lifli Beton, Plak Deneyi, Vakumlu Beton

ABSTRACT
MS THESIS

**CONCRETE VACUUM IMPLEMENTATION AND DETERMINATION OF
THE EFFECTS OF STEEL FIBER COMPOUND ON CONCRETE
CHARACTERISTICS**

Hacı Mehmet ŞAHİN

Gümüşhane University
The Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Civil Engineering

Supervisor: Asst. Prof. Dr. Mustafa ÇULLU

2016, 84 pages

Several factors affect the useful life of the concrete. On top of these the adverse weather and load conditions, inappropriate mixture designs and application methods are found. Nowadays, usually the additives are preferred in order to avoid the negative properties that can be seen in the concrete and the fibers are one of the most commonly used additives. It is preferred particularly due to the flexural strength of the concrete and to increase their energy absorption capacity. It is added to the concrete mostly in the field concretes, in order to prevent the breakages and fragmentations.

One of the factors that mostly affect the strength of the concrete is the amount of water. Water is a mixture material, which is required for the workability and hydration reaction in the concrete. However, after the concrete takes the form of the mold, the task of

the portion of the water that is required for the workability is finished. In this case some problems may be able to arise depending on the amount of water such as the deterioration of the homogeneity, segregation, sweating and shrinkage cracks. The vacuum concrete is an application carried out in order to avoid these problems and it is the process of removing back an amount of the mixture water from the fresh concrete which takes the shape of the mold.

The parameters of this study are the steel fibers and the application of vacuum. The steel fibers are used in the normal and vacuum concretes in two different lengths and in three different ratios and in three different strength classes. The purpose of the study is to put forward the difference from the normal concretes of the length of the steel fiber, the ratio and the vacuum application by determining the energy absorption capacities with pressure, beam bending and plate tests. When all of the parameters of the study are evaluated all together, the steel fibers and vacuum application can be able to increase the concrete compressive strength up to 35%. In the beam flexural strengths, increases up to 38% were seen depending on the fiber ratio and increases up to 65% were seen together with the vacuum application. When considering the energy absorption capacities, the fibreless reference concretes were seen in the level of at least 1.7% and at most 13%. As a result, when the steel fibers are used in the limit range determined by TS 10514, they indicate a positive effect to the mechanical strength of the concrete.

Keywords: Compressive Strength, Concrete, Steel Fiber, Beam Bending, Energy Absorption Capacity, Fiber Reinforcement Concrete, Slab Test, Vacuum Concrete

TEŞEKKÜR

Bu çalışma, Gümüşhane Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı'nda Yüksek Lisans Tezi olarak hazırlanmıştır.

Çalışmalarım sırasında bilgi ve tecrübelerinden faydalandığım Sayın hocam Yrd. Doç. Dr. Mustafa ÇULLU'ya, çalışmalarımda büyük emeği olan Yrd. Doç. Dr. Hakan BOLAT'a, deneysel çalışmalarım ile ilgili Yapı Malzemesi Bölümü laboratuvarlarının tüm kapılarını açan Bölüm başkanımıza, 2013-2015 yılları arasında İnşaat Mühendisliği lisans 3. ve 4. Sınıf öğrencilerine,

Tez süresince motivasyon desteğini hiç eksik etmeyen eşime,

212M012 numaralı proje kapsamında gerçekleştirdiğim bu tez için TÜBİTAK'a teşekkür ederim.

Hacı Mehmet ŞAHİN
Gümüşhane, 2016

İÇİNDEKİLER DİZİNİ

	<u>Sayfa No</u>
ÖZET.....	IV
ABSTRACT	VI
TEŞEKKÜR	VIII
İÇİNDEKİLER DİZİNİ.....	IX
ŞEKİLLER DİZİNİ	XI
TABLolar DİZİNİ.....	XV
SEMBOLLER VE KISALTMALAR DİZİNİ	XVI
1. GİRİŞ.....	1
1.1. Çalışmanın Amacı	3
2. GENEL BİLGİLER	4
2.1. Çimentonun Beton Üzerindeki Etkileri	4
2.2. Suyun Beton Üzerindeki Etkileri.....	4
2.3. Agreganın Beton Üzerindeki Etkisi.....	5
2.4. Betonda Çelik Lif Kullanımı	6
2.4.1. Çelik Lif Kullanımının Beton Üzerine Etkileri	7
2.4.1.1. Çelik Lifin Beton Sünekliğine Etkisi	7
2.4.1.2. Çelik Lifli Betonun Çekme Dayanımı Üzerine Etkisi.....	8
2.4.1.3. Çelik Liflerin Taze Beton Üzerindeki Etkisi.....	8
2.4.1.4. Çelik Liflerin Sertleşmiş Beton Üzerindeki Etkisi.....	9
2.4.1.5. Çelik Liflerin Beton Donma-Çözünme Dayanıklılığına Etkileri	10
2.4.2. Çelik Lifin Kullanım Alanları	10
2.4.3. Çelik Lifli Betonlar İle İlgili Yapılan Çalışmalar.....	11
2.5. Taze Betona Vakum Uygulaması	15
3. MATERYAL VE METOT	20
3.1. Materyal.....	20
3.1.1. Beton.....	20
3.1.2. Beton Bileşenleri	27
3.1.3. Çelik Lifler	29
3.2. Metot.....	30
3.2.1. Taze Beton Özellikleri.....	30

3.2.2.	Plak Testleri ve Enerji Yutma Kapasiteleri	30
3.2.3.	Kiriş Eğilme Testleri	31
3.2.4.	Basınç Dayanımı.....	32
4.	BULGULAR VE TARTIŞMA.....	34
4.1.	Taze Beton Fiziksel Özellikleri	34
4.2.	Sertleşmiş Beton Fiziksel Özellikleri	35
4.2.1.	Plak Testi	35
4.2.1.1.	C16/20 Betonu Plak Testi.....	38
4.2.1.2.	C25/30 Betonu Plak Testi.....	43
4.2.1.3.	C35/45 Betonu Plak Testi.....	49
4.2.2.	Kiriş Eğilme Testi	55
4.2.2.1.	C16/20 Betonu Kiriş Eğilme Testi	57
4.2.2.2.	C25/30 Betonu Kiriş Eğilme Testi	63
4.2.2.3.	C35/45 Betonu Kiriş Eğilme Testi	68
4.2.3.	Basınç Dayanımı Testi	73
4.2.3.1.	C16/20 Betonu Basınç Dayanımı Testi	73
4.2.3.2.	C25/30 Betonu Basınç Dayanımı Testi	75
4.2.3.3.	C35/45 Betonu Basınç Dayanımı Testi	77
5.	SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	79
6.	KAYNAKLAR	81
	ÖZGEÇMİŞ	

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa No

Şekil 2.1.	Su / Çimento oranına göre beton basınç dayanımındaki değişim (Ersoy,1987)	5
Şekil 2.2.	Vakum uygulaması.....	16
Şekil 2.3.	Tam boy vakumlu ve referans betonun basınç – yaş ilişkisi (Özdemir, 1999)	19
Şekil 3.1.	Normal beton üretiminde kullanılan kalıplar	24
Şekil 3.2.	Küp, kiriş ve plak numunelerinin elde edildiği temsili kalıp sistemi.....	25
Şekil 3.3.	Beton üretimi.....	26
Şekil 3.4.	Betonda kullanılan agregaların granülometrisi	28
Şekil 3.5.	Betonda kullanılan kısa ve uzun çelik lifler	30
Şekil 3.6.	Plak testine tabi tutulan beton numuneler	31
Şekil 3.7.	Kiriş eğilme testine tabi tutulan beton numuneler	32
Şekil 3.8.	Basınç testine tabi tutulan beton numuneler.....	33
Şekil 4.1.	Plak testleri bulgularının değerlendirme kapsamı şeması	36
Şekil 4.2.	Referans betonlarda plak kırılma testleri.....	37
Şekil 4.3.	Çelik lifli betonlarda plak kırılma testleri	37
Şekil 4.4.	DR betonların yük-sehim ve enerji-sehim grafikleri.....	38
Şekil 4.5.	DAKÇ lifli betonların yük-sehim ve enerji-sehim grafikleri	38
Şekil 4.6.	DBKÇ lifli betonların yük-sehim ve enerji-sehim grafikleri	39
Şekil 4.7.	DCKÇ lifli betonların yük-sehim ve enerji-sehim grafikleri	39
Şekil 4.8.	DAUÇ lifli betonların yük-sehim ve enerji-sehim grafikleri	39
Şekil 4.9.	DBUÇ lifli betonların yük-sehim ve enerji-sehim grafikleri	40
Şekil 4.10.	DCUÇ lifli betonların yük-sehim ve enerji-sehim grafikleri	40
Şekil 4.11.	DVR betonların yük-sehim ve enerji-sehim grafikleri.....	41
Şekil 4.12.	DAVKÇ lifli betonların yük-sehim ve enerji-sehim grafikleri	41
Şekil 4.13.	DBVKÇ lifli betonların yük-sehim ve enerji-sehim grafikleri	41
Şekil 4.14.	DCVKÇ lifli betonların yük-sehim ve enerji-sehim grafikleri	42
Şekil 4.15.	DAVUÇ lifli betonların yük-sehim ve enerji-sehim grafikleri	42
Şekil 4.16.	DBVUÇ lifli betonların yük-sehim ve enerji-sehim grafikleri	43
Şekil 4.17.	DCVUÇ lifli betonların yük-sehim ve enerji-sehim grafikleri	43
Şekil 4.18.	NR lifli betonların yük-sehim ve enerji-sehim grafikleri.....	44
Şekil 4.19.	NAKÇ lifli betonların yük-sehim ve enerji-sehim grafikleri	44

Şekil 4.20. NBKÇ lifli betonların yük-sehim ve enerji-sehim grafikleri	44
Şekil 4.21. NCKÇ lifli betonların yük-sehim ve enerji-sehim grafikleri	45
Şekil 4.22. NAUÇ lifli betonların yük-sehim ve enerji-sehim grafikleri	45
Şekil 4.23. NBUÇ lifli betonların yük-sehim ve enerji-sehim grafikleri	46
Şekil 4.24. NCUÇ lifli betonların yük-sehim ve enerji-sehim grafikleri	46
Şekil 4.25. NVR lifli betonların yük-sehim ve enerji-sehim grafikleri	47
Şekil 4.26. NAVKÇ lifli betonların yük-sehim ve enerji-sehim grafikleri	47
Şekil 4.27. NBVKÇ lifli betonların yük-sehim ve enerji-sehim grafikleri	47
Şekil 4.28. NCVKÇ lifli betonların yük-sehim ve enerji-sehim grafikleri	48
Şekil 4.29. NAVUÇ lifli betonların yük-sehim ve enerji-sehim grafikleri	48
Şekil 4.30. NBVUÇ lifli betonların yük-sehim ve enerji-sehim grafikleri	49
Şekil 4.31. NCVUÇ lifli betonların yük-sehim ve enerji-sehim grafikleri	49
Şekil 4.32. YR lifli betonların yük-sehim ve enerji-sehim grafikleri.....	50
Şekil 4.33. YAKÇ lifli betonların yük-sehim ve enerji-sehim grafikleri.....	50
Şekil 4.34. YBKÇ lifli betonların yük-sehim ve enerji-sehim grafikleri	50
Şekil 4.35. YCKÇ lifli betonların yük-sehim ve enerji-sehim grafikleri	51
Şekil 4.36. YAUÇ lifli betonların yük-sehim ve enerji-sehim grafikleri.....	51
Şekil 4.37. YBUÇ lifli betonların yük-sehim ve enerji-sehim grafikleri	51
Şekil 4.38. YCUÇ lifli betonların yük-sehim ve enerji-sehim grafikleri	52
Şekil 4.39. YVR lifli betonların yük-sehim ve enerji-sehim grafikleri.....	52
Şekil 4.40. YAVKÇ lifli betonların yük-sehim ve enerji-sehim grafikleri	53
Şekil 4.41. YBVKÇ lifli betonların yük-sehim ve enerji-sehim grafikleri	53
Şekil 4.42. YCVKÇ lifli betonların yük-sehim ve enerji-sehim grafikleri	53
Şekil 4.43. YAVUÇ lifli betonların yük-sehim ve enerji-sehim grafikleri	54
Şekil 4.44. YBVUÇ lifli betonların yük-sehim ve enerji-sehim grafikleri	54
Şekil 4.45. YCVUÇ lifli betonların yük-sehim ve enerji-sehim grafikleri	54
Şekil 4.46. Çelik lifli betonların kiriş eğilme testleri	57
Şekil 4.47. DR betonların yük-sehim grafiği.....	58
Şekil 4.48. DAKÇ lifli betonların yük-sehim grafiği	58
Şekil 4.49. DBKÇ lifli betonların yük-sehim grafiği	58
Şekil 4.50. DCKÇ lifli betonların yük-sehim grafiği	59
Şekil 4.51. DVR betonların yük-sehim grafiği.....	59

Şekil 4.52. DAKVÇ lifli betonların yük-sehim grafiği	59
Şekil 4.53. DBKVÇ lifli betonların yük-sehim grafiği	60
Şekil 4.54. DCKVÇ lifli betonların yük-sehim grafiği	60
Şekil 4.55. DAUÇ lifli betonların yük-sehim grafiği	61
Şekil 4.56. DBUÇ lifli betonların yük-sehim grafiği	61
Şekil 4.57. DCUÇ lifli betonların yük-sehim grafiği	61
Şekil 4.58. DAVUÇ lifli betonların yük-sehim grafiği	62
Şekil 4.59. DBVUÇ lifli betonların yük-sehim grafiği	62
Şekil 4.60. DCVUÇ lifli betonların yük-sehim grafiği	62
Şekil 4.61. NR betonların yük-sehim grafiği.....	63
Şekil 4.62. NAKÇ lifli betonların yük-sehim grafiği	63
Şekil 4.63. NBKÇ lifli betonların yük-sehim grafiği	64
Şekil 4.64. NCKÇ lifli betonların yük-sehim grafiği	64
Şekil 4.65. NVR betonların yük-sehim grafiği.....	64
Şekil 4.66. NAKVÇ lifli betonların yük-sehim grafiği	65
Şekil 4.67. NBKVÇ lifli betonların yük-sehim grafiği	65
Şekil 4.68. NCKVÇ lifli betonların yük-sehim grafiği	65
Şekil 4.69. NAUÇ lifli betonların yük-sehim grafiği	66
Şekil 4.70. NBUÇ lifli betonların yük-sehim grafiği	66
Şekil 4.71. NCUÇ lifli betonların yük-sehim grafiği	66
Şekil 4.72. NAVUÇ lifli betonların yük-sehim grafiği	67
Şekil 4.73. NBVUÇ lifli betonların yük-sehim grafiği	67
Şekil 4.74. NCVUÇ lifli betonların yük-sehim grafiği	67
Şekil 4.75. YR betonların yük-sehim grafiği.....	68
Şekil 4.76. YAKÇ lifli betonların yük-sehim grafiği	68
Şekil 4.77. YBKÇ lifli betonların yük-sehim grafiği	69
Şekil 4.78. YCKÇ lifli betonların yük-sehim grafiği	69
Şekil 4.79. YVR betonların yük-sehim grafiği.....	69
Şekil 4.80. YAVKÇ lifli betonların yük-sehim grafiği	70
Şekil 4.81. YBVKÇ lifli betonların yük-sehim grafiği	70
Şekil 4.82. YCVKÇ lifli betonların yük-sehim grafiği	70
Şekil 4.83. YAUÇ lifli betonların yük-sehim grafiği	71

Sayfa No

Şekil 4.84. YBUÇ lifli betonların yük-sehim grafiği	71
Şekil 4.85. YCUÇ lifli betonların yük-sehim grafiği	71
Şekil 4.86. YAVUÇ lifli betonların yük-sehim grafiği	72
Şekil 4.87. YBVUÇ lifli betonların yük-sehim grafiği	72
Şekil 4.88. YCVUÇ lifli betonların yük-sehim grafiği	73
Şekil 4.89. C16/20 çelik lifli beton basınç dayanımları	74
Şekil 4.90. C25/30 çelik lifli beton basınç dayanımları	75
Şekil 4.91. C35/45 çelik lifli beton basınç dayanımları	77

TABLolar DİZİNİ

	<u>Sayfa No</u>
Tablo 3.1. Beton karışım tasarımı	21
Tablo 3.2. Çalışmada üretilen beton türleri	22
Tablo 3.3. CEM II/A-M (P-LL) 42.5 R kimyasal, fiziksel ve mekanik özellikleri	27
Tablo 3.4. Betonlarda kullanılan agregaların fiziksel ve kimyasal özellikleri	27
Tablo 3.5. Uçucu kül özellikleri	28
Tablo 3.6. Normal akışkanlaştırıcı katkı maddesi teknik özellikleri	29
Tablo 3.7. Çelik lif katkıların özellikleri	29
Tablo 4.1. Taze betonların çökme ve birim hacim değerleri	35
Tablo 4.2. Beton türlerinin en yüksek ve öngörülen eğilme gerilmeleri	56

SEMBOLLER VE KISALTMALAR DİZİNİ

BHA	: Birim hacim ağırlık
DAKÇ	: A oranlı 3 cm çelik lifli beton
DAUÇ	: A oranlı 6 cm çelik lifli beton
DAVKÇ	: A oranlı 3 cm çelik lifli vakumlu beton
DAVUÇ	: A oranlı 6 cm çelik lifli vakumlu beton
DBKÇ	: B oranlı 3 cm çelik lifli beton
DBUÇ	: B oranlı 6 cm çelik lifli beton
DBVKÇ	: B oranlı 3 cm çelik lifli vakumlu beton
DBVUÇ	: B oranlı 6 cm çelik lifli vakumlu beton
DCKÇ	: C oranlı 3 cm çelik lifli beton
DCUÇ	: C oranlı 6 cm çelik lifli beton
DCVKÇ	: C oranlı 3 cm çelik lifli vakumlu beton
DCVUÇ	: C oranlı 6 cm çelik lifli vakumlu beton
DR	: Düşük dayanımlı referans beton
DVR	: Düşük dayanımlı vakumlu referans beton
NAKÇ	: A oranlı 3 cm çelik lifli beton
NAUÇ	: A oranlı 6 cm çelik lifli beton
NAVKÇ	: A oranlı 3 cm çelik lifli vakumlu beton
NAVUÇ	: A oranlı 6 cm çelik lifli vakumlu beton
NBKÇ	: B oranlı 3 cm çelik lifli beton
NBUÇ	: B oranlı 6 cm çelik lifli beton
NBVKÇ	: B oranlı 3 cm çelik lifli vakumlu beton
NBVUÇ	: B oranlı 6 cm çelik lifli vakumlu beton
NCKÇ	: C oranlı 3 cm çelik lifli beton
NCUÇ	: C oranlı 6 cm çelik lifli beton
NCVKÇ	: C oranlı 3 cm çelik lifli vakumlu beton
NCVUÇ	: C oranlı 6 cm çelik lifli vakumlu beton
NR	: Normal dayanımlı referans beton
NVR	: Normal dayanımlı vakumlu referans beton
YAKÇ	: A oranlı 3 cm çelik lifli beton
YAUÇ	: A oranlı 6 cm çelik lifli beton
YAVKÇ	: A oranlı 3 cm çelik lifli vakumlu beton
YAVUÇ	: A oranlı 6 cm çelik lifli vakumlu beton
YBKÇ	: B oranlı 3 cm çelik lifli beton
YBUÇ	: B oranlı 6 cm çelik lifli beton
YBVKÇ	: B oranlı 3 cm çelik lifli vakumlu beton
YBVUÇ	: B oranlı 6 cm çelik lifli vakumlu beton
YCKÇ	: C oranlı 3 cm çelik lifli beton
YCUÇ	: C oranlı 6 cm çelik lifli beton
YCVKÇ	: C oranlı 3 cm çelik lifli vakumlu beton
YCVUÇ	: C oranlı 6 cm çelik lifli vakumlu beton
YR	: Yüksek dayanımlı referans beton
YVR	: Yüksek dayanımlı vakumlu referans beton
b	: Deney numunesinin genişliği (mm)
E	: Enerji yutma kapasitesi (Joule: 1N=1J/m),
F _i	: δ_i 'deki yük değeri (N)
F _{i+1}	: δ_{i+1} 'deki yük değeri (N)

h	: Deneý numunesinin yüksekliđi (mm)
L	: Deneý numunesinin iki mesnet arasındaki uzunluđu (mm)
P_u	: Maksimum yük (N)
T_b	: Şekil değiştirme (3 mm sehimdeki kümülatif alan-Nmm)
δ_i	: Mevcut sehim (mm)
δ_{i+1}	: Mevcut sehimden bir sonraki sehim değerini (mm)
δ_m	: 25 mm
δ_{tb}	: Sehim 3 mm
σ_u	: En büyük gerilme (N/mm^2)
σ_e	: Öngörülen eğilme gerilmesi (N/mm^2)

1.GİRİŞ

Günümüz yapı dünyasında bilimin her dalında olduğu gibi geniş bir kullanım alanı bulunan yapı malzemeleri ile ilgili yeni gelişmeler ortaya çıkmakta ve uygulamadaki yerini almaktadır. Bu yapı malzemeleri içinde geniş bir kullanım alanı bulunan beton; çimento, agrega, su ve gerekli ise katkı malzemesinin (kimyasal-mineral katkı, lif gibi) uygun oranlarda karıştırılması ile elde edilen başlangıçta plastik kıvamda olup daha sonra çimentonun hidrasyonu sebebi ile sertleşen bir yapı malzemesidir. İnşaat sektöründe çok önemli bir yere sahip olan beton, topraklarının büyük bir kısmı deprem kuşağındaki ülkemiz için hayati öneme sahip olduğundan, uygulamalarda kullanılan betonun istenilen şartları sağlayabilmesi için standartlara uygun olarak üretilmesi ile yetinilmeyip her aşamasında son derece dikkat ve özen gerektiren bir çalışma yapılmalıdır.

Yapı sektöründe kullanılan betonun dayanıklı ve uzun ömürlü olmasının yanında basınç dayanımında istenilen seviyelere çıkartılabilmesi betonun avantajları arasında olup buna karşın dezavantajlarından en önemlisi ise çekme dayanımının basınç dayanımının yanında ihmal edilecek kadar düşük olmasıdır. Böyle bir durumda betonun çekme dayanımını arttırmak için lif kullanılarak beton üretim çalışmaları gündeme gelmiştir. (Otter ve Naaman, 1988). Yaklaşık 4500 yıl önce yapı malzemesi adı altında kullanılan saman içerikli kil harcından (kerpiç) esinlenen (Aslan ve Aydın, 1999) lifli betonlar üzerindeki ilk çalışmalar 1962'de A.B.D.'de James Romualdi tarafından yapılmıştır. Araştırmacıların deneysel çalışmaları neticesinde lifli betonların normal betonlara göre üstün özelliklerinin olduğu ortaya çıkmıştır (Vondran, 1992).

Beton içerisine takviye olarak kullanılan lifler; çelik, plastik, cam gibi malzemelerden meydana gelip farklı şekil ve boyutlara sahip olup bükülebilirlik, esneklik ve dayanıklılık özelliği olan malzemelerdir. Bunların içerisinde en çok kullanımı olan çelik liflerin şekil, boyut ve yüzey yapısı açısından çok çeşidi vardır. Çelik liflerin üretim yöntemleri ve malzemeleri farklı olduğundan mekanik özellikleri, çekme dayanımları, aderansları, gerilmeleri ve enerji yutma yetenekleri farklı olup en önemli nitelikleri, yüksek ve üniform çekme gerilmesine karşılık, düşük uzama göstermeleridir. Gerilmiş kablo lifler, kesilmiş tabaka metal lifler, çentikli lifler çelik lif çeşidi olup tasarım açısından betonla aderansını geliştirmek amacıyla uçları kıvrımlı, tamamen buruşuk veya sonları kancalı olabilirler (Alyamaç ve İnce, 2008).

Çelik liflerdeki çeşitlilik sebebiyle yük altındaki beton davranışı farklılık gösterir. Beton içerisindeki gerilmeler, malzeme içerisinde meydana gelen mikro çatlaklar sebebiyle düzensizdirler. Beton karışımına katılan lifler, çimento matrisi içerisinde, üzerinden gerilmelerin iletiildiği, küçük köprüler gibidir. Beton karışımında düzensiz olarak bulunan liflerin çatlak sonlarına bitişik olmasından ötürü, lifler çatlağın yayılmasına sebep olan gerilmeleri kendi üzerlerine alarak çatlama kısımlarına iletirler. Kısaca çelik lifler betondaki çekme gerilmeleri sebebiyle oluşacak kılcal çatlakları engeller (Balaguru ve Shah, 1992). Ayrıca, çelik liflerin kesme, burulma ve yorulmaya karşı dayanımları fazladır. Ayrıca çelik lifli betonlarda; çatlama, dökülme, parçalanma ve dağılma normal betona göre oldukça az olup basınç dayanımlarında belli bir artış görülür (Alyamaç ve İnce, 2008).

Çelik lif takviyeli betonların özelliklerini etkileyen en önemli faktörler narinlik oranı (lif boyu/lif çapı) ve lif miktarıdır (Jean-Louis ve Sana, 2005). Betona katılan çelik liflerin miktarı 30-120 kg/m³, hacimsel olarak ise % 0.5-2.5 aralığında olabilmektedir. Belirtilen bu değerlerden daha az katılması geleneksel beton özelliklerine büyük bir olumlu etken sağlamayacağını göstermiştir. Daha yüksek oranda katıldığında ise geleneksel betona göre daha düşük bir basınç dayanımı meydana getireceği görülmüştür. Bunun en büyük sebebi ise yüksek oranda lif katıldığında karışımda topaklaşma meydana gelmesidir (Alyamaç ve İnce, 2008).

Beton performansına malzeme kalitesi, karışım oranı, betonun karılması, taşınması, yerleştirilmesi, kuru etki eden önemli parametreler arasında olup yukarıda belirtildiği üzere çelik lif kullanımının da etkisi vardır. Ayrıca beton kalitesini arttırmak için bu parametrelere ilaveten taze betonun yerleştirilmesinde ve küründe bazı teknolojik uygulamalardan yararlanır ki bunlardan biri de taze betona yapılan vakum uygulamasıdır. Vakum uygulamasındaki amaç beton yüzeyinden yaklaşık 15 cm derinliğe kadar olan kısmında bulunan ve işlenebilirlik için olan sudan dolayı meydana gelen hava boşluklarının alınmasıdır. Böyle bir yöntemle su miktarı azaltılıp daha iyi bir su/çimento oranına ulaşılır. Karışımdaki su/çimento oranının azaltılması hem fiziksel hem de mekanik özelliklerde iyileşmeye sebep olur. Gerçekleştirilen böyle bir çalışma neticesinde betonun 3 günlük dayanımında % 100, 28 günlük dayanımında ise % 50 civarında bir artış görülmektedir. Bunların yanında vakum uygulaması erozyona, aşınmaya, devirsel donma çözümlere karşı direnç kazandırmakta ve betonun büzülme ve çatlama yatkınlığı da azalmaktadır. Bu avantajlarının yanında birde betonun erken katılaşmasını sağlamaktadır.

Bu durum bazı koşullarda kalıpların daha erken kaldırılabilmesine olanak sağlar (Neville, 1993).

1.1. Çalışmanın Amacı

Bu tez çalışmasında C16/20, C25/30 ve C35/45 referans betonlarına 3 cm (kısa lif) ve 6 cm (uzun lif) uzunluğunda ucu kancalı elik lif takviyesi yapılmıştır. Betonlara kısa ve uzun elik lifler üç farklı miktarda 1 m³ betonda 15-30-45 kg ağırlıklarında (A, B ve C oranlarında) katılmıştır. 21 tür normal üretim beton ve 21 tür vakumlu beton olmak üzere toplam 42 çeşit beton üretimi yapılmıştır. Bu 42 çeşit betondan 150x150x150 mm ebadında küp, 60x60x10 cm ebadında plak ve 15x15x60 cm ebadında kiriş numuneleri elde edilmiştir. Üretimi yapılan numunelere basınç dayanımı, plak ve kiriş eğilme deneylerine tabi tutuldu. Bu çalışmanın amacı, basınç, kiriş eğilme ve plak testleri ile elik lif uzunluğunun, elik lif miktarının ve vakum uygulamasının normal betonlara göre farklarını ortaya koymaktır.

2. GENEL BİLGİLER

2.1. Çimentonun Beton Üzerindeki Etkileri

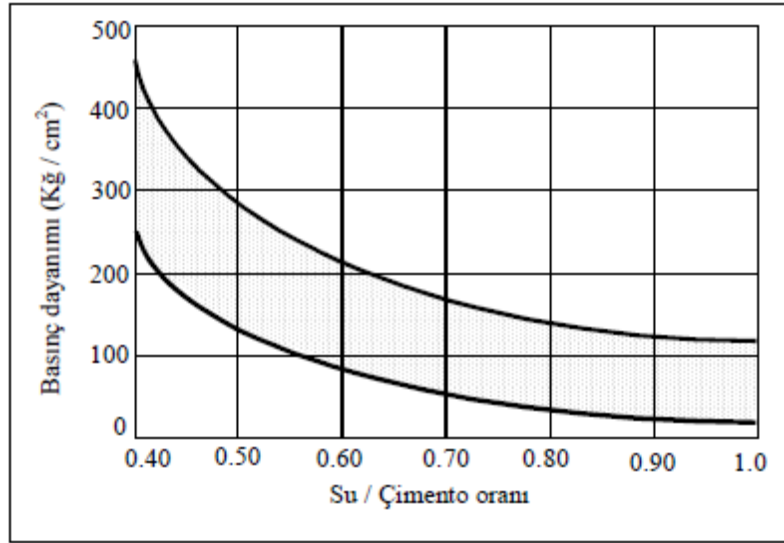
Çimento, karışımda su ile bağlayıcı hamur oluşturarak agrega tanelerini birbirine bağlayan malzemedir. Çimentonun böyle bir görevi yerine getirmesi hem beton kalitesi bakımından proje dayanımının sağlanması için, hem de zararlı etkilere maruz kalan beton elemanların bozulmasını önlemek için uygun çimento seçimi yapabilmek çok önemlidir. Böyle önemli bir yere sahip çimentonun miktarı da betonun dayanımını etkiler. Yapılan çalışmalarda çimento miktarı ile beton dayanımı arasında doğrusal bir bağlantı tespit edilmiş ancak çimento miktarının fazlalaşması rötreye sebep olduğundan beton dayanımında olumsuz sonuçlar ortaya çıktığı tespit edilmiştir (Akman, 1987).

2.2. Suyun Beton Üzerindeki Etkileri

Suyun beton ile olan etkileşimi aşağıdaki gibi sıralanabilir:

- Çimento ve agregalarla birlikte harç ve betonun karılmasında karışım suyu,
- Kalıba yerleştirilmiş olan betonun bakım safhasında sulama ve kür suyu,
- Beton agregalarının kil ve yabancı madde kirliliğinden arındırılmasında, betonu karıştırma ve taşıma araçlarının yıkama temizlenmesinde yıkama suyu,
- Yeraltı su seviyesi yüksek bölgelerde binanın betonarme temellerine zararlı etki yapabilecek agresiv temas suyu (Küçük, 2000)

Beton üretiminde kullanılan çimentoya göre beton dayanımı ve kıvamı değişebilir. Ancak betonun dayanım ve kıvamı sadece çimentoya değil su/çimento oranına bağlıdır. Çeşitli deneyler arasında farklar görüldüğünden dayanım ve su/çimento oranı arasındaki ilişki tek bir eğri yerine bir bant olarak Şekil 2.1’de gösterilmiştir (Ersoy, 1987).



Şekil 2.1. Su / Çimento oranına göre beton basınç dayanımındaki değişim (Ersoy, 1987).

Normal beton üretiminde su/çimento oranının % 45-55 aralığında tutulmasıyla iyi sonuçlar elde edildiği anlaşılmış ve bu oranın daha yüksek olması ise hidrasyon için gerekli olup reaksiyon neticesinde artakalan suyun ilerde buharlaşarak kılcal boşluklar oluşturması neticesinde dayanımda düşüslere sebep olacaktır. Şekil 2.1'deki eğriler irdelendiğinde % 10 civarında su miktarındaki artış dayanımda % 20-30 aralığında azalmaya sebebiyet vereceği görülmektedir. Üretilen betonun iyi yerleşebilmesi için akıcı bir kıvam amaçladığımızda kesinlikle su miktarı artırılmayıp akışkanlaştırıcı katkı maddesi kullanılmalıdır. Bunun tersi su miktarını azaltıp katı kıvamda beton üretmek de betonun işlenebilme özelliğini azaltmakta olup kalıba yerleştirilmesi esnasında büyük boşluklara sebebiyet verdiği için ötürü mukavemeti düşürmektedir. Bu nedenlerden ötürü su miktarını ayarlamak beton üretiminin en nazik, en zor, en önemli problemi olmaktadır (Küçük, 1997)

2.3. Agreganın Beton Üzerindeki Etkisi

Beton karışımı içerisinde bulunan agregalar çimento ve su ile birlikte kullanılan ve toplam hacmin yaklaşık %75'lik kısmını oluşturan kum, çakıl, kırmataş gibi taneli malzemelerdir. Karışımındaki agreganın maliyeti çimentoya oranla daha düşük olmasından ötürü ekonomik bir beton için agrega miktarı artırılır. Betonda agrega kullanılmasının tek

sebebi ekonomiklik olmayıp betona teknik açıdan da birçok etkisi vardır. Bu teknik yararlar;

➤ Çimento hamuru zamanla kuruyarak büzülme gösteren bir malzemedir. Betonun içerisinde bulunan agrega taneleri, çimento hamurunun zamana bağlı olarak gösterebileceği hacim değişikliğinin serbestçe yer alabilmesini belirli ölçüde engellemektedir. O nedenle, sadece çimento hamurundan oluşmuş olan bir malzemeye oranla, betonun gösterebileceği hacim değişikliği ve buna bağlı olarak yer alabilecek çatlaklar daha az olmaktadır.

➤ Beton yapımında kullanılan agregalar genellikle sert ve dayanımı oldukça yüksek olan malzemelerdir. Agrega dayanımının yüksek olması, beton dayanımının da yüksek olmasına katkıda bulunmaktadır. Sert ve dayanıklı agregalar, betonun aşınmaya karşı veya çevreden gelebilecek diğer yıpratıcı etkenlere karşı daha dayanıklı olabilmesine yardımcı olmaktadır (Erdoğan, 2007).

2.4. Betonda Çelik Lif Kullanımı

Lifli beton; agrega, çimento, su gibi ana bileşenler ile üretilmiş kompozit malzeme olan beton karışımlarına belli miktarda lif takviye edilmesiyle üretilen bir beton çeşidi olmakla birlikte bu karışımdaki liflerin kesin tanımı yapılamamaktadır. Lifleri tanımlayan ifadeler; lifin mekanik özellikleri ile çekme gerilmesi, geometrik yapısı, görünüm oranı gibi biçimsel özellikleridir. Bunlar içinde lifi en iyi tanımlayan ise lifin görünümüdür yani lif boyunun lif çapına oranıdır. Eğer lifin en kesiti dairesel değilse, lifin en kesit alanına eşdeğer alana sahip dairenin çapı esas alınarak görünüm oranı hesaplanır (American Concrete Institute, 1982; American Concrete Institute, 1988; Morgan, 1992).

Betonun sahip olduğu çekme mukavemeti, eğilme mukavemeti, yorulma mukavemeti, darbe etkilerine karşı dayanım ve tokluğu gibi özelliklerini arttırabilmek için beton karışımlarına lif takviyesi yapılabilir. Lif takviyesi yapılarak betonun performansındaki yükseliş; liflerin karışımdaki dağılımlarına, geometrik şekillerine ve miktarına, betonun karışım oranlarına bağlıdır (American Concrete Institute, 1988; Yılmaz ve Cavga, 1999; Toutanji ve Bayasi, 1998). Bu sebepten ötürü çeşitli geometrik şekilde çelik lif üretilmekte ve kullanılmaktadır. 1970’lerde sadece düz çelik lifler kullanılırken daha sonraları uçları çengelli, yüzey pürüzlülüğü artırılmış, kıvrımlı, özel deformasyonlar verilmiş ve farklı geometrilerde çelik lifler kullanılmıştır. Araştırmalar neticesinde

görülmüştür ki beton üzerinde en iyi performansı düz çelik lifler ile ucu çengelli lifler sağlamaktadır. Karışımda kullanılan çelik lifleri daha ucuza üretebilmek için farklı yöntemler denenmiş ve bunun neticesinde dairesel kesitli olmayan (yarım daire, dikdörtgen ve düzensiz en kesitli gibi) lifler üretilmiştir (Aslan ve Aydın, 1999; American Concrete Institute, 1988; Morgan, 1992).

Beton karışımındaki lifin görünüm oranı (uzunluk/çap oranı) ve miktarı yukarıda da belirtildiği üzere betonun performansını etkiler. Teorikte lifin görünüm oranı ve miktarı ne kadar yüksekse betonun darbelere karşı dayanıklılık, tokluk ve duktilite gibi teknik özellikleri de o kadar yüksektir. Ancak lifin görünüm oranı ile miktarının yüksek olması beton karıştırılma ve yerleştirilmesinde zorluklar meydana getirmektedir. Bundan dolayı beton karışımlarında kullanılacak lif miktarlarında bazı sınırlamalar vardır (Morgan, 1992). Beton karışımındaki çelik liflerin hacimsel anlamda katılma oranları % 0.5-2.5 arasında olabilmekte ancak yapılan araştırmalar da görülmüştür ki optimum fayda % 1-2 aralığında sağlanmaktadır. % 1'den daha az katılması normal beton özelliği üzerinde olumlu bir etki sağlamamakta, % 2'den fazla katılması ise betonun işlenebilirliğinde zorluklara sebebiyet vermekte ve topaklaşmalara sebep olmaktadır. Normal betonda meydana gelen böyle bir topaklaşma da basınç mukavemetinde düşüöşlere sebep olmaktadır (Aslan ve Aydın, 1999).

2.4.1. Çelik Lif Kullanımının Beton Üzerine Etkileri

2.4.1.1. Çelik Lifiin Beton Sünekliğine Etkisi

Dayanımı yüksek betonlarda meydana gelen gevrek davranış sebebiyle enerji yutma kapasiteleri düşük seviyelerde kalmaktadır. Bundan dolayı betonun göçme süreci hızlanmakta ve ani kırılmalar meydana gelmektedir. Günümüzde deprem bölgelerinde yapılan yapılarda beklenen en önemli özelliklerden birisi de yapı göçmeden ortaya çıkan enerjiyi sönmüleyip sünek bir davranış gösterebilmesidir. Betonların sünek bir davranış gösterebilmeleri için çelik lif takviyesi yapılarak oluşturulan çelik lifli betonlar ilk bakışta normal betonlara benzemekte ancak farklı yükler altında göstermiş oldukları davranış ve performansları oldukça farklıdır. Beton içerisinde gelişigüzel dağıılan bu lifler, çatlakların ilk oluşum esnasında çatlak sonlarındaki gerilmeleri kendi üstlerine ya da sağlam alanlara transfer etmesinden ötürü normal betonlara göre farklı bir özelliğe sahiptir. Böylece betonun göçmesine sebep olacak çatlakların oluşumu ve büyümesi engellenip, göçmeler daha büyük yüklerde oluşur. Çelik lifli betonlar basınç gerilmelerine fazla bir etki

yapmazken, çekme ve eğilme dayanımlarında artışlar meydana getirir. Dayanımı yüksek betonlarda da çelik lif kullanılarak betonun süneklik özelliğinde yüksek artışlar meydana geldiği görülmüştür (Yiğiter ve Türkel, 2004).

2.4.1.2. Çelik Lifli Betonun Çekme Dayanımı Üzerine Etkisi

Betonun bilindiği üzere basınç dayanımı çekme dayanımına göre çok yüksek olup çekme dayanımı basınç dayanımının yaklaşık % 10'u kadardır. Böyle düşük bir çekme dayanımını arttırabilmek için beton karışımlarına çelik lif takviye edilmesi yöntemi kullanılır. Böyle bir yöntemde liflerin betonun çekme dayanımına katkısının beton ile lif arasında oluşan bağ kuvveti kadar olduğu söylenebilir. Yüksek basınç dayanımı ile bilinen betonun çekme dayanımı basınç dayanımının % 10'u kadar olup yapıların tasarım hesaplarında genellikle basınç dayanımı kullanılmaktadır. Bu denli düşük çekme dayanımını iyileştirmek için beton içerisine çelik liflerin konulması bir yöntemdir. Bu yöntemle betonun süneklik, çekme dayanımı, tokluk vb. özelliklerinde gelişme göstermektedir. Yüksek dayanımlı betonlarda büyük bir öneme sahip olan gevreklik, özellikle betonarme kirişlerdeki çekme gerilmeleri ve bu gerilmelerden ötürü oluşan çatlaklar düşünüldüğünde betonun çekme dayanımının önemi daha iyi anlaşılmaktadır. (Çivici ve Eren, 2004).

2.4.1.3. Çelik Liflerin Taze Beton Üzerindeki Etkisi

Beton karışımlarına katılan çelik lifler taze haldeki betonun taşınması, yerleştirilmesi ve sıkıştırılması aşamasındaki en önemli özelliği olan işlenebilirliğini etkilemektedir. Yapılan çalışmalar göstermiştir ki çelik lif katkısı işlenebilirliği olumsuz yönde etkilemiştir. Çelik lif katkısı neticesinde betonun işlenebilirliğinde meydana gelen olumsuzluklara sebep olan önemli parametreler çelik lifin geometrisi, miktarı ve görünüm oranı (uzunluk/çap) olarak nitelendirilebilir. Bu önemli parametrelerin dışında da liflerin betona katılması, karıştırma teknikleri ve lifli betonların karışım hesapları gibi farklı etkenlerde vardır. Ayrıca farklı geometrilere sahip çelik lif türlerinden işlenebilirliği en fazla çengelli lifler, en az ise düz liflerin etkilediği görülmüştür. (Swamy ve Jojagha, 1982a).

2.4.1.4. Çelik Liflerin Sertleşmiş Beton Üzerindeki Etkisi

Betonun çekme mukavemeti, basınç mukavemetine göre oldukça düşük olup karışıma çelik lif takviyesi neticesinde başta çekme mukavemeti olmak üzere birçok özelliğinde iyileşmeler meydana gelmektedir. Bunlardan bir tanesi çelik lifli betonun basınç düktilitesi göstermesidir. Yani beton taşıma gücüne ulaşmasına rağmen hala yük taşıma özelliği vardır. Ayrıca yapılan çalışmalarda çelik lif takviyeli betonlarda burulma, kesme ve yorulmaya karşı dayanıklılığın fazla; dökülme, parçalanma, çatlama ve dağılımların az olduğu görülmüştür (Aslan ve Aydın, 1999; Nataraja vd., 1999).

Sertleşmiş beton üzerinde Sharma (1985) ve Nanni (1990)'nin yapmış olduğu bazı incelemeler şöyledir.

Sharma (1985) çelik lifli beton kirişlerin kesme kuvveti altında meydana getirdiği davranışları incelemiştir. Uzunluğu 50, çapı ise 0.6 mm olan çengelli çelik liflerin kullanılmasıyla 28 günlük silindir basınç mukavemetini 45 MPa civarında tutmuş ve iki grup (etriyesiz ve etriyeli) olarak kiriş numunesi üzerinde çalışma yapmıştır. Deneyler neticesinde ilk gruptaki lifsiz numunelerin kesme mukavemeti bir artışla 3 MPa, ikinci gruptaki lifsiz numunelerin kesme mukavemetleri ise ortalama 2.9 MPa iken lifli numunelerin kesme mukavemetlerinin % 29'luk bir artışla 3.8 MPa olduğunu belirlemiştir (Sharma, 1985).

Nanni (1990) ise çelik lif takviyeli betonlarda burulma mukavemeti üzerinde yaptığı çalışmada hem etriyeli hem de etriyesiz kirişlerin burulma mukavemetini normal betona kıyasla % 60 civarında artırdığını belirtmektedir (Nanni, 1990).

Sertleşmiş beton üzerindeki basınç ve çekme mukavemetlerinde çelik lif takviyesinin etkisi olduğu ve bu etkinin olumlu veya olumsuz olmasının liflerin beton içerisindeki dağılımına bağlıdır. Yükleme eksenine dik lifler mukavemete etki etmezken, paralel durumdaki lifler ise mukavemet üzerinde olumlu etkileri artmaktadır (Yılmaz ve Cavga, 1999; Toutanji ve Bayasi, 1998; Soroushian ve Lee, 1990). Sertleşmiş betonun çekme ve basınç mukavemeti önemli olduğu gibi kırılma enerjisi de oldukça önemli bir yere sahiptir. Çelik lif takviyeli beton maksimum yük kapasitesinden sonra yüksek bir düktilite gösterip lif oranı arttıkça kırılma enerjisinde de artışlara sebep olabilmektedir (Aslan ve Aydın, 1999).

2.4.1.5. Çelik Liflerin Beton Donma-Çözünme Dayanıklılığına Etkileri

Betonlara ilave edilen çelik liflerin donma-çözünme dayanıklılığına etkisi olduğu görülmüştür. % 5 sodyum sülfat çözeltisi içeren beton ve çelik lifli betonlarla yapılan araştırmalar neticesinde, numunelerin dinamik modülü 300 çevrimden sonra ciddi şekilde azalmaktadır. Çelik lif takviyeli betonlar normal betonlara göre daha yüksek çevrim sayılarında kırılmakta hatta aynı su/çimento oranında olan lifli numunelerin çözelti içinde kalanları, lifsiz numunelerin su içinde kalanlarına göre performansları daha yüksektir. Anlaşıldığı üzere çelik lif takviyesi betonların donma-çözünme hasarlarına karşı dayanıklılığı arttırmaktadır (Singh ve Kaushik, 2003).

2.4.2. Çelik Lifin Kullanım Alanları

Günümüzde beton karışımlarına ilave edilen çelik lif sadece kırılmaları önlemek için değil aynı zamanda betonun darbe mukavemetinin veya dinamik yüklemeyi arttırmak, dağılma ve parçalanmayı önlemek içinde kullanılmaktadır (American Concrete Institute, 1988; Nataraja vd., 1999; American Concrete Institute, 1984).

Yapıların kiriş, kolon, kat döşemesi gibi kısımlarının dışında diğer yapı elemanlarında da basınç, çekme, eğilme mukavemeti meydana gelir ve basınç, eğilme, çekme kuvvetlerinin birlikte oluşturduğu gerilmelerden dolayı da yapı elemanlarında donatının yanında çelik lifle takviye edilmesi mukavemeti önemli derecede arttırmaktadır (Aslan ve Aydın, 1999).

Aşağıda çelik lifli betonun kullanım alanlarından bazı örnekler verilmiştir.

➤ Endüstri Yapılarında: Çelik lif takviyeli beton darbe rijitliğini sağlamak, ısı ve dinamik etkenlere karşı dayanıklılığı arttırmak için endüstri yapılarında kullanılmaktadır (Aslan ve Aydın, 1999).

➤ Hidrolik Yapılarda: aşınmaları minimize edebilmek için baraj, kanal gibi yapılarda kaplama olarak kullanılmaktadır (American Concrete Institute, 1984).

➤ Püskürtme Beton (Shotcrete) Uygulamalarında: Yüksek oranda çimento içeren püskürtme betonlarda çoğunlukla rötre çatlakları meydana gelmekte ve özellikle eğri yüzeylerde yapılan püskürtme betonlar çatlamaya büyük eğilim gösterip bu tür yüzeylerde kür imkanı oldukça zor olmaktadır. Hem ıslak hem de kuru püskürtme beton

uygulamalarında çatlakları kontrol altına alabilmek için çelik lif kullanımı hem ekonomik hem de pratik bir çözüm sunmaktadır (Vondran, 1992).

➤ Şev Stabilesinin Sağlanması: Karayolları veya demiryollarını kesen kaya veya topraktan oluşan dik şev veya toprak setlerin stabilesini sağlamak amacıyla çelik lifli beton kullanılmaktadır (American Concrete Institute, 1984).

➤ İnce Kabuk Yapılarda: Kubbeler, ince kabuk yapılar veya ince olması gereken yapılarda çelik lifli beton kullanılmaktadır (Aslan ve Aydın, 1999; American Concrete Institute, 1984).

➤ Patlamaya Karşı Dayanıklı Olması Gereken Yapılarda: Güç santrali, askeri tesis gibi yapılarda donatı ile birlikte kullanılmaktadır. Uzun yıllardır Amerikan askeri tesis yapım şartnamelerinde yer almakta ve yaygın bir şekilde kullanılmaktadır (Aslan ve Aydın, 1999).

➤ Ön Yapımlı Beton Elemanlarda: Ön yapımlı betonlarda meydana gelen çatlak oluşmasını ve yayılmasını engellemek, yük altında daha elastik davranmasını sağlamak, betonun dağılıp ufalanmasını azaltmak ve betonun korozyona karşı performansını artırmak amacıyla çelik lifli betonlar kullanılmaktadır (Vondran, 1992).

➤ Çok Yüksek Mukavemetli Betonlarda: Yüksek mukavemetli betonlara gün geçtikçe ihtiyaç artmaktadır. Ancak yüksek mukavemetli betonların normal betonlara göre olumsuz tarafı göçme esnasında az enerji yutarak gevrek davranış göstermeleridir. Bu gevrek davranıştan ötürü sünekliği artırılmış yüksek performansa sahip ultra yüksek mukavemetli betonların yerini alması gerekmektedir. Böyle bir beton üretebilmek içinse 0.15 mm çapında ve 5-10 mm boyunda kısa kesilmiş çelik tel kullanılmaktadır (Taşdemir, 1999).

➤ Depreme Dayanıklı Yapılarda: Gevrek bir malzeme olan betonun bu zayıf yönünü iyileştirmek ve süneklik düzeyi yüksek yapıların deprem kuvvetleri altındaki davranışı olumlu yönde etkilemek için çelik lif takviyeli beton kullanılmaktadır (Yılmaz ve Cavga, 1999).

2.4.3. Çelik Lifli Betonlar İle İlgili Yapılan Çalışmalar

Gün geçtikçe kullanım alanı genişleyen çelik lif takviyeli beton üzerinde birçok araştırma yapılmıştır. Bu araştırmalardan bazıları aşağıda özetlenmiştir;

Swamy ve Jojagha (1982)'nin yaptığı çalışmada beton karışımına çapları 0.418 mm–0.76 mm, boyları ise 25 – 50 mm arasında çeşitli geometrik şekillere sahip çelik lifler kullanılarak üretilen hafif betonların ağırlık düşürme deney düzeneği yardımıyla betonun darbeye karşı dayanıklılığı araştırılmıştır. Görülmüştür ki karışımın basınç mukavemetinin artması darbe etkisinin de artmasına neden olmuştur. Darbe dayanıklılığının artmasında lif geometrisi, şekli, uzunluğu veya kısalığı, görünümü etkili olmuştur. Karışımlardan darbe mukavemeti, uzunluğu 25 mm - görünüm oranı 60 olan kıvrımlı çelik liflerle en düşük; uzunluğu 50 mm - görünüm oranı 70-100 olan çengelli liflerle en yüksek elde edilmiştir.

Gopalaratnam ve Shah (1985)'nin yaptığı çalışmada darbe etkisine maruz kalan betonun kırılmaya karşı direncinin arttırılabilmesi için lif ilave edilmesi gerekliliği araştırılmıştır. Araştırmada neticesinde üretilen numuneler için Charpy adlı düzenek kullanılmış ve dinamik davranışları incelenmiştir. Deneylere bakıldığında lif hacminin yaklaşık % 1.5 olması karışımın basınç mukavemetinin % 35 civarında arttırdığını göstermiştir. Eğilme mukavemeti deneylerinde ise lif hacminin % 0.5 olması % 79, % 1.5 olması ise % 111 normal betona göre bir artış kaydedilmiştir.

Wafa ve Ashour (1992)'in yaptığı çalışmada dayanımı yüksek beton karışımlarına çelik lif takviye edilerek mekanik özellikler üzerindeki etkisi araştırılmıştır. Deneysel çalışmalar göstermiştir ki beton karışımına hacminin yaklaşık % 1.5 oranına kadar çelik lif takviyesi işlenebilirlik açısından fazla bir etki yaratmadığı, ancak böyle bir durumda karışımın daha fazla karılması gerektiği belirlenmiştir. Dayanımı yüksek betonların olumsuz bir yönü olan gevrek davranışları da yapılan çalışmalarda çelik lif takviyesi ile azaltılmış yani tokluğu (enerji yutma kapasitesi) artmıştır. Ayrıca çelik lif ilavesi çatlakların genişlemesini azaltarak deformasyona karşı direnci arttırmıştır. % 1.5 oranında betona yapılan çelik lif takviyesi basınç mukavemetini yaklaşık % 4.6, eğilme mukavemetini % 67 ve çekme mukavemetini % 159.8 artırmıştır.

Balaguru ve Dipsia (1993)'nin yaptığı çalışmada m³ 'üne 90 kg'a kadar çelik lif katılarak, 0.35 oranında su/çimento ve çimento ağırlığının % 15'i kadar silis dumanı ilavesi ile işlenebilirliği iyi çelik lifli beton elde edilebilirliği araştırılmıştır. Yapılan deneyler neticesinde basınç mukavemeti % 20, çekme mukavemetin % 160, elastisite modülü % 80, eğilme mukavemeti % 90 ve kesme mukavemeti % 80 civarında artmıştır. Böylece betona ilave edilen çelik liflerin sadece yüksek basınç mukavemetine değil, eğilme ve kesme mukavemeti ile elastisite modülünün yükselmesine ve iyi bir düktilite elde edilmesini sağlamıştır.

Torrenti ve Djebri (1995)'in yaptığı çalışmada iki eksenli basınç yükleri altında çelik lif takviyeli betonların davranışları araştırılmıştır. Araştırmada iki çeşit lif kullanılarak (düzensiz en kesitli demir lif ve çengelli çelik lif) elde edilen numunelere iki eksenli basınç yüklemesi yapılmıştır. Liflerin betondaki yerleşim yönleri mukavemeti etkilemiş ve lifli betonlar daha sünek davranmıştır. Çelik lif takviyeli betonlarda meydana gelen kırılma, yükleme yönüyle 20-45° açı yapan kesme çatlakları şeklinde; demir lifli betonlarda ise kırılma, yükleme yönüne paralel çatlakların oluşmasıyla meydana gelmiştir.

Chenkui ve Guofan (1995)'in yaptığı çalışmada çelik lif kullanılarak yapılan bir diğer çalışmada; 20 ve 40 mm çaplı agregaya ile 25, 35 ve 45 mm uzunluğunda çelik lif kullanılarak üretilen betonların mekanik özellikleri ile yorulma etkisi altındaki davranışları irdelenmiştir. Çelik lif ilave edilmesiyle basınç mukavemetinin en fazla % 20 arttığı, maksimum tane çapının artmasında ise basınç mukavemetinde kayda değer bir değişim olmadığı belirlenmiştir. Çelik lif takviyesi sonucunda betonların çekme mukavemeti ise en fazla % 58 artmıştır. Yorulma deneylerinde de normal betona kıyasla iyi bir performans göstermişlerdir.

Balaguru ve Foden (1996)'nin yaptığı çalışmada agregaya boyutunun 19 mm'de su/çimento oranının da 0.35'de sabitlenerek üretilen 1650 kg/m³ birim ağırlıklı hafif betonlar üzerinde araştırma yapılmıştır. Bu betonlara m³'üne 90 kg'a kadar kolaylıkla çelik lif takviye edilebildiği belirlenmiş ve çelik liflerin hafif betonun birim ağırlığını 100 kg/m³ oranında artırmasına ve işlenebilirliği olumsuz yönde etkilemesine rağmen basınç mukavemetini yaklaşık % 30, elastisite modülünü % 30, eğilme ve çekme mukavemetini ise % 100'den fazla arttırmıştır. Çelik lif takviyesi yanında beton karışımına silis dumanı ve akışkanlaştırıcı katkıları da ilave edilerek betonda 42 MPa değerinde basınç mukavemeti ve 6.5 MPa değerinde ise eğilme ve çekme mukavemeti elde edilebilmektedir.

Boratav ve Yeğinoğlu (1997)'nin yaptığı çalışmada 1900 kg/m³ birim ağırlığa sahip hafif agregaya kullanılarak elde edilen dayanımı yüksek hafif betona lif ilave edilmesiyle beton üzerindeki değişimler araştırılmıştır. Çalışma neticesinde betonda görülen kırılma azaldığı ve normal betonlarda maksimum basınç gerilmesine ulaşıldığında numunenin patlarcasına kırıldığı, lif takviyelilerde ise uyarıcı bir zaman diliminde kırılmıştır. Kullanılan çelik lif 60 kg/m³ civarında ise çekme mukavemeti % 80, eğilme mukavemeti ise % 15 oranında artmıştır.

Çelik ve Eren (1997)'nin yaptığı çalışmada 60, 75 ve 83 uzunluk/çap oranı ve hacimce % 0.5, % 1 ve % 2 oranlarında çelik lif takviyesi yapılan dayanımı yüksek

betonlar üzerinde araştırma yapılmıştır. Çalışmada lif görünüm ve hacim oranının artırılması neticesinde betonun işlenebilirliğinin ve içindeki hava miktarının azaldığı belirlenmiştir. Ayrıca dayanımı yüksek betona ilave edilen çelik lifler basınç mukavemetinde % 28, çekme mukavemetinde ise % 129'luk bir artış sağladığı görülmüştür.

Gao vd., (1997)'nin yaptığı çalışmada dayanımı yüksek betonlara çelik lif takviye edilerek mekanik özelliklerinde meydana gelen değişimlerin araştırılmasıdır. Karışımda maksimum tane çapı 15 mm olan hafif agrega ile 20, 25, 30 mm uzunluğunda dikdörtgen en kesitli çelik lif ve naftalin kökenli akışkanlaştırıcı katkı kullanılmıştır. Çelik lif takviyeli beton numunelere yapılan deneysel çalışmalar neticesinde basınç mukavemeti % 20, çekme mukavemeti % 80 ve eğilme mukavemeti ise % 90 civarında arttığı tespit edilmiştir.

Pigeon ve Cantin (1998)'nin yaptığı çalışmada sıcaklığın 0 °C'den daha düşük olan ortamlarda çelik lif takviyesi yapılan betonların mekanik açıdan davranışları irdelenmiştir. Beton numunesine çelik lif, akışkanlaştırıcı katkı ve silis dumanı katılarak 20, -10 ve -20 °C'de deney işlemine tabi tutulmuştur. Araştırma neticesinde sıcaklığın 0 °C'den düşük olması durumunda beton boşluğundaki suyun donarak boşluk oranının azaldığı ve beton mukavemeti ile yük taşıma kapasitesinin arttığı görülmüştür.

Sancak ve Ünal (1999)'ın yaptığı çalışmada hafif agrega olarak bilinen pomzanın kullanılması ile yapılan karışımlara takviye edilen çelik liflerin beton özelliklerine etkisi araştırılmıştır. Karışıma ilave edilen lifler iki çeşit olup; 0.6 mm çap, 40 mm uzunluk ve 0.5 mm çap, 30 mm uzunluğa sahip çengel çelik liflerdir. Bu lifler beton karışımına hacimce % 0.5, % 1 ve % 1.5 oranlarında ilave edilmiştir. Deneyler neticesinde lif miktarının artış işlenebilirliği azalttığı ve basınç mukavemetini de en fazla % 20 arttırdığı; uzun liflerinde kısa liflere göre işlenebilirliği daha fazla etkilediği ve betonda daha çok boşluklara sebebiyet vermesinden ötürü basınç mukavemetini kısa liflere kıyasla daha az etkilediği tespit edilmiştir.

Nataraja vd., (1999)'nin yaptığı çalışmada beton karışımlarının m³'üne 39, 58 ve 78 kg kıvrımlı çelik lif takviye edilerek betonun basınç yük davranışları irdelenmiştir. Karışımlara ilave edilen lifler normal betonlara göre basınç dayanım değerini % 15-18 civarında arttırdığı ve gerilme-deformasyon eğrisinde ise yükleme maksimumuna ulaştığında deformasyon % 44-76 civarında arttığı görülmüştür.

Almansa ve Canovas (1999)'nin yaptığı çalışmada normal ve çelik lifli betonların darbe etkisinde meydana getirdikleri davranışlar araştırılmıştır. Çalışmada 0.5 mm çap ve

50 mm uzunluktaki çengelli çelik lif ile 60x60 cm ebadında beton levhalar (mermi fırlatmak suretiyle) darbe etkisine maruz bırakılmıştır. Çalışma neticesinde bir model belirlenmiş ve bu modelde darbe yüklerinden etkilenmemek için minimum beton kalınlığının $\geq(1.2 \text{ lif boyu})$ olması gerekmektedir. Deneylede görülmüştür ki normal betonlarla yapılan deneysel çalışmalarda mermiler beton kalınlığının yaklaşık % 45–50'lik kısmına saplanırken, çelik lifli betonlarda ise normal betonlara kıyasla yaklaşık % 60'lık bir iyileşme meydana gelmiştir.

Luo vd., (2000)'nin yaptığı çalışmada dayanımı yüksek donatılı beton (6 mm çap) ile çelik lif takviyeli betonlar (uzunluk/çap oranı 60 ve 35) üzerinde araştırma yapılmıştır. Deneyle neticesinde donatılı betonların darbe etkisiyle parçalandığı, çelik lif takviyeli betonların ise parçalanmadığı görülmüştür. Çelik lif takviyeli betonun parçalanmama sebebinin ise liflerin çatlakların oluşumunu engellemesi ve karışımda daha sünek bir etki yapması sanılmaktadır. Bu çalışmada görülmüştür ki uzunluk/çap oranı 35 olan çelik liflerin, 60 olanlara göre daha geniş bir çatlak yelpazesi olduğu ve bu sebepten ötürü lif geometrisinin darbe mukavemetinde etkili olacağı sonucuna varılmıştır.

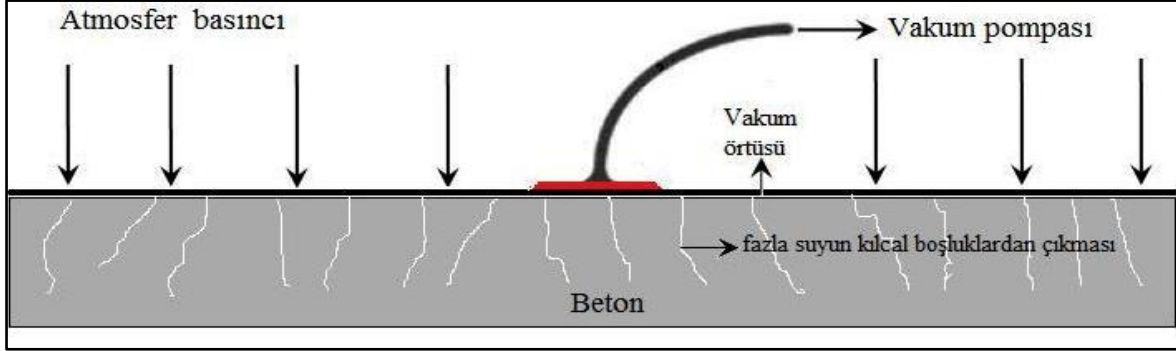
Ding ve Kusterle (2000)'nin yaptığı çalışmada 9-81 saat aralığında yani erken yaşlarda çelik lif takviyeli betonların basınç yükleri altındaki davranışları irdelenmiştir. Betona ilave edilen çelik liflerin erken yaşlarda dahi süneklik özelliğini arttırdığı ve normal betona kıyasla erken yaşlardaki basınç mukavemetini yaklaşık % 2-34 arttırdığı belirtilmiştir. Sonuçta normal betonlara çelik lif ilave edilerek oluşturulan karışımların sadece uzun sürede değil, kısa sürede de mukavemet açısından fayda sağladığı anlaşılmıştır.

Granju ve Balouch (2005)'nin yaptığı çalışmada kiriş olarak üretilmiş olan çelik lifli betonlar 1 yıl boyunca deniz suyu içinde bekletilerek eğilme deneyi tabi tutulmuştur. Deney sonucunda korozyon artması ile paralel olarak eğilme dayanımının da arttığı görülmüştür.

2.5. Taze Betona Vakum Uygulaması

Saha beton uygulamalarında kullanılan bir yöntem olan vakum; kalıba yerleştirilen taze betonun tüm yüzeyinin düzeltilmesine müteakip özel bir ürün olan vakum örtüsünün serilmesiyle vakum pompasının örtüye takılarak karışım içerisindeki suyun belli miktarının çekilmesi işlemidir (Şekil 2.2). Taze beton içerisinde bulunan suyun belli miktarının geri

alınmasıyla karışımdaki suyun beton sertleştikten sonra meydana getireceği zararları minimum seviyelere indirilmesi sağlanmıştır (Bolat, 2002; Bolat vd., 2006; Neville, 2001).



Şekil 2.2. Vakum uygulaması

Beton karışımlara uygulanan vakum işlemi betonun hem üst hem de yan yüzeyine uygulanabilmekte olup üst yüzeyine uygulandığı takdirde daha fazla su çekilmesini sağlar. Su ister üst ister, yan yüzeyden çekilsin karışıma vibratör uygulama işlemi yapılır. Karışımdaki su/çimento oranının yüksek olması vakum uygulamasında daha fazla su çekilmesi anlamına gelir ve vakum örtüsünün temas ettiği yüzeydeki su/çimento oranı 0.16-0.30 arasında azaltır (Neville, 1995).

Hidratasyon ve işlenebilirlik amacıyla beton karışımlarında kullanılan su, karışım kalıba yerleştirilip üzeri düzletildikten sonra işlenebilirlik amacıyla karışım içerisinde kalan su olumsuz sonuçlar doğuracağından vakum uygulaması yapılır. Böylece beton karışımındaki mevcut suyun yaklaşık % 20'lik kısmı karışım içinden uzaklaştırılmış olacaktır. Geriye kalan su ise çimentonun hidratasyonu için yeterli olacaktır (Bolat, 2002; Şimşek, 2004; Erdal ve Şimşek, 2006).

Beton karışımlara vakum uygulaması yaparken dikkat edilmesi gereken hususlar (Bolat, 2002; Yamaguchi ve Muramatsu, 1999; Şimşek, 2005; URL-1);

➤ Beton karışım direk zemine dökülüyorsa zemin stabilizasyonu iyi bir şekilde yapılarak sıkıştırılmalı ve karışım içerisindeki su zemin içerisine girmesini engellemek için zeminde ayırıcı bir tabaka (naylon – 0.2 mm) kullanılmalıdır. Eğer önlem alınmazsa zeminde gevşemeler meydana gelerek ileriki zamanlarda çökmelere sebep olabilir.

➤ Saha beton uygulamalarında donatı kullanılmıyorsa vibratörlü yüzey mastarı kullanılarak yüzeyden titreşimle beton karışım sıkıştırılır ve yüzey düzleştirilir. donatılı

beton kullanılıyor ise donatının sıklığına göre hem daldırma hem de vibratörlü yüzey mastarı kullanılabilir.

➤ Beton yüzeyinin düzeltilmesine müteakip vakum örtüsü serilmeli ve örtü ile yüzey arasında boşluk bırakılmamalıdır. Serilme işlemi bittikten sonra vakum örtüsü ile vakum pompasının tespiti bir hortum yardımıyla yapılmalı ve vakum pompası çalıştırılmalı. Burada uygulanacak vakum süresi beton karışım kalınlığı ile alakalı olup bazı kaynaklarda vakum işlemi 15 cm'ye kadar etkisini iyi gösterdiği, kalınlığın arttırılması ise etkisinde azalmalar meydana getirdiğini belirtmektedir.

➤ Vakum işleminde pompa ile beton karışımlardan çekilen su belli bir süre sonra kesik kesik gelir ve en sonunda da su kesilerek buhar çıkmaya başlar. Buharın çıkması vakum işleminin sona erdiği anlamına gelmekte olup vakum işlemi durdurulur ve vakum örtüsü beton yüzeyden kaldırılır. Bazı kaynaklar 5 cm beton kalınlığı için 5 dk vakum uygulanması gerektiğini belirtse de vakum işleminin sona ermesi pompadan buhar çıkması ile sonlanır. Bu da beton karışımın kalınlığı, çökme değeri ve varsa donatı sıklığı ile alakalıdır.

➤ Beton yüzeyinden vakum örtüsü kaldırılması ile üzerinde yürünebilecek serliğe ulaşmış olur. Uygulama esnasında yüzeyde meydana gelebilecek çukur veya kopmalar taze beton ile doldurularak mala ile düzeltilir. Bu işlemden sonra helikopter tipi perdah makinesi ile perdahlama yapılabilir. Perdahlama ile beton yüzeyinin tesviyesi iyi bir şekilde gerçekleştirilmiş olur. Perdahlama işleminin bitirilmesi ile yüzeye sertleştirici veya renklendirici katkıları yardımıyla yüzeyin son şekli verilebilir.

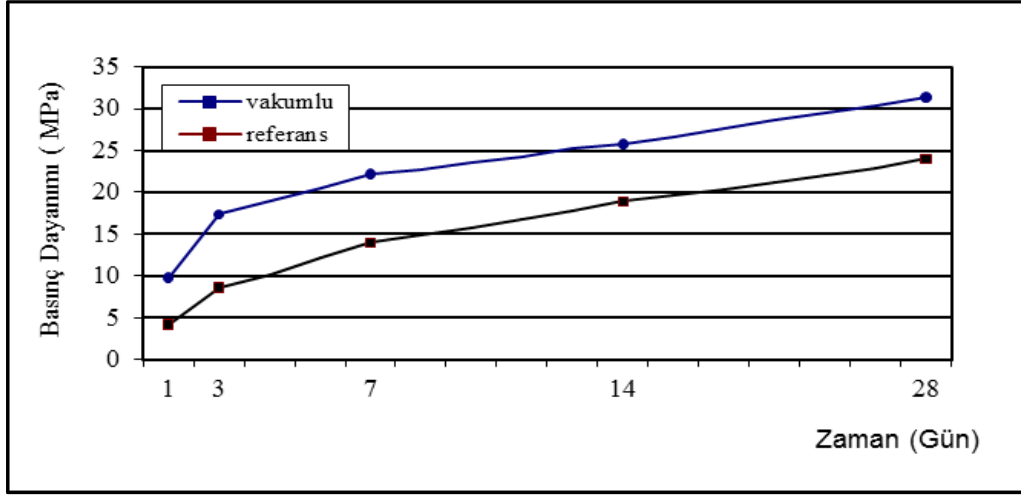
Saha betonları yapılırken uzun yıllar hizmet vermesini bekleriz ve bu da betonun iyi bir mekanik dayanım ile sertleştikten sonra geçirimsiz ve kompozit özellik göstermesinden geçer. Bunun için taze haldeyken betona vakum uygulanarak terleme suyu ile hapsolan serbest su dışarı atılarak meydana gelebilecek kapiller boşluklar ve segregasyon önlenir. Bunlara ek olarak çimento ve çimento inceliğindeki agregalar vakumlama işlemi ile yüzeye yanaşarak çekilen suyun oluşturduğu kılcal boşlukları kapatır ve betondaki hem kompozite ve geçirimsizlik hem de çimento hidrate ürünlerinin çoğalmasıyla bağlayıcılık özelliği artar. Böylece yüzeyden gelen olumsuz etkilere karşın saha betonu dayanıklı olur. Vakum uygulaması ile betona kazandırılan bu özellikler beton üretimi esnasında katkı maddeleri ile de düşünülebilir. Ancak saha betonlarının çoğunun maruz kaldığı ağır taşıt yükleri, olumsuz hava şartları, donma çözülme etkileri, sürtünmeden ve hava yoluyla meydana gelebilecek aşınma etkileri, sanayi bölgelerinde oluşan kimyasal içerikli

yağmurlardan ötürü beton karışımına ilave edilen katkı maddeleri özelliklerini yitirmekte ve dolayısıyla saha betonları yüzeyden gelen bu etkiler neticesinde yıpranarak ömrünün kısılmasına neden olmaktadır (Bolat vd., 2008).

Beton karışımlara yapılan vakum uygulamasının sağladığı önemli kazançlardan bir tanesi de kat döşemesi döküldükten sonra tesviye betonu ile son yüzey kaplama (seramik, parke vb.) işlemine gerek duyulmamasıdır. Kat döşemelerinin üzerinde bulunan diğer tabakalar binanın hem ölü yükünü arttırmakta hem de işçilik, malzeme, zaman ve ekonomik açıdan hem yapıya hem de yapı sahibine olumsuz yönde etkilemektedir. Kat döşemelerine yapılan beton uygulaması ile istendiği takdirde sadece kullanılan betonla işlem bitmektedir. Ayrıca yüzeye ince bir tabaka yardımıyla sertleştirici ve renklendirici katkı maddesi uygulanabilir (Bolat, 2002; Şimşek, 2004).

Tam vakum uygulaması yapılan beton numunelerin çekme dayanımları yarı vakumlu ve şahit numuneler ile kıyaslandığında; laboratuvar ortamında kür edildiğinde sırasıyla ~% 9 ve ~% 10 bir artış olduğu görülmektedir. Eğer kür işlemi açık havada yapılıyorsa sırasıyla ~% 12 ve ~% 17 oranlarında çekme dayanımlarında bir artış meydana getirmektedir (Yaprak vd., 2004).

KÇ 32.5 çimentosu ile tane çapı maksimum 32 mm'lik agregası kullanılan araştırmada, yüksekliği 300 mm, çapı 150 mm olan silindir numuneler kullanılmıştır. Referans ve vakumlu betonlar tam ve yarım boy olarak incelemiştir. 1, 3, 7, 14 ve 28. gündeki beton basınç dayanımları tam boy numunelere ve yarım boy numunelerin alt, orta, üst bölgelerine uygulanmıştır. Tam boy numunelere ait basınç dayanım grafiği Şekil 2.3'de görülmektedir. Grafikten de anlaşıldığı üzere 1, 3, 7, 14 ve 28. günlerin her birinde tam boy vakumlu beton referans betona göre basınç dayanım değeri daha yüksektir (Özdemir, 1999).



Şekil 2.3. Vakumlu ve referans betonun basınç–yaş ilişkisi (Özdemir, 1999)

Rijit yol üst yapıları esnek yol üst yapılarına alternatif olarak düşünülmekte ve bu sebepten ötürü beton türü oldukça önemlidir. Rijit yol üst yapısı araştırmalarında beton türü üzerinde bakılacak en önemli parametreler beton dayanım ve dayanıklılığıdır. Bu sebepten ötürü rijit yol üst yapılarında vakum uygulama yöntemine gidilerek betonun yüzey sertliğinde % 10 daha yüksek bir değer vermiştir (Arslan vd., 2010).

3. MATERYAL VE METOT

3.1. Materyal

3.1.1. Beton

Yapılan çalışmada dayanım sınıfları C16/20, C25/30 ve C35/45 olan betonlar; normal ve vakumlu olmak üzere iki uygulama türünde üretilerek kullanılmıştır. Üretilen bu betonlar düşük, normal ve yüksek dayanımlı olarak sınıflandırmak mümkündür. Bu betonlardan C20'nin altındakiler Çevre Şehircilik Bakanlığı Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkındaki Yönetmeliğine (2007) göre “Deprem bölgelerinde yapılacak tüm betonarme binalarda C20’den daha düşük dayanımlı beton kullanılamaz” şartından dolayı “*düşük dayanımlı beton*” olarak değerlendirilebilir. C20 ve C30 arasındaki betonlar inşaat piyasasında en sık kullanılan ve üretiminde genellikle katkı maddesine ihtiyaç duyulmayan betonlar olup “*normal dayanımlı beton*” olarak adlandırılabilir. C30’un üzerindeki betonlar ise daha çok katkı maddeleri kullanılarak üretilen ve inşaat sektöründe normal dayanımlı betonlara göre daha az tüketildiği için “*yüksek dayanımlı beton*” olarak değerlendirilebilir. Bu çalışmada beton türleri ile ilgili metinlerde muhtelif yerlerde düşük (D), normal (N) ve yüksek (Y) dayanımlı beton ya da sırasıyla C16/20, C25/30 ve C35/45 sınıfı betonlar şeklinde ifadeler kullanılmıştır. Beton türlerinin tasarım parametreleri aşağıdaki gibi sıralanmıştır.

- Normal üretim (3 farklı dayanım sınıfına sahip)
- Vakumlu üretim (3 farklı dayanım sınıfına sahip)
- Lif türü (Çelik lif)
- Kısa (K) ve uzun (U) lifler (3 cm - kısa lifler ve 6 cm - uzun lifler)
- 3 farklı oranda lifler (A-B-C) (bkz 3.1.3 başlığı)

Beton dayanım sınıfı, uygulama türü, lif boyu ve lif oranı gibi farklı parametreler ile toplam 42 tür beton üretilmiştir. Dayanım sınıflarına göre betonların karışım oranları Tablo 3.1’deki gibi belirlenmiştir. Lif hacmi ile artan toplam beton hacmi kum hacminden eksiltiyle dengelenmiştir. Betonların dayanım sınıfı yükseldikçe çökme değerleri düşmektedir. Bu nedenle normal ve yüksek dayanımlı betonlarda su yerine normal akışkanlaştırıcı katkı maddesi kullanılarak çökme değerinin tüm referans betonlarda aynı olmasına çalışılmıştır.

Tablo 3.1. Beton karışım tasarımı

Beton Bileşenleri	Beton türleri (1000 dm ³)		
	DR	NR	YR
Su	301	260	280
Çimento	94.3	115.7	153.3
Hava	14	14	14
Akışkanlaştırıcı	-	4.4	5.8
Agregalar	590.7	608.7	546.9
Uçucu kül	56.7	58.5	52.5
0-2 mm	-	-	120
0-4 mm	215	199	-
2-4 mm	-	-	110
4-8 mm	106	120	-
4-11.2 mm	-	-	140
8-16 mm	106	117	-
11.2-32 mm	-	-	124.4
16-32 mm	107	117	-
Toplam	1000	1000	1000

Beton türlerinin kodlanması aşağıdaki gibidir. Betonlar lifli ve lifsiz beton olarak 2 değişik şekilde kodlanmıştır. Çalışmalarda üretilen beton numuneleri 42 çeşit kodla gösterilmiş ve Tablo 3.2’de tüm betonların sıra numarası ve kodlarının açıklamaları ifade edilmiştir.

Lifsiz betonlar:

DR-NR-YR: Düşük-Normal-Yüksek dayanımlı referans betonlar

DVR-NVR-YVR: Düşük-Normal-Yüksek dayanımlı vakumlu referans betonlar

Lifli Betonlar:

D A V U Ç (örnek)



Tablo 3.2. Çalışmada üretilen beton türleri

Beton Sıra No	Beton kodu	Beton türü açıklaması
1	DR	Düşük Dayanımlı Referans beton
2	DVR	Düşük Dayanımlı Vakumlu Referans beton
3	DAKÇ	A oranlı 3 cm çelik lifli beton
4	DBKÇ	B oranlı 3 cm çelik lifli beton
5	DCKÇ	C oranlı 3 cm çelik lifli beton
6	DAVKÇ	A oranlı 3 cm çelik lifli vakumlu beton
7	DBVKÇ	B oranlı 3 cm çelik lifli vakumlu beton
8	DCVKÇ	C oranlı 3 cm çelik lifli vakumlu beton
9	DAUÇ	A oranlı 6 cm çelik lifli beton
10	DBUÇ	B oranlı 6 cm çelik lifli beton
11	DCUÇ	C oranlı 6 cm çelik lifli beton
12	DAVUÇ	A oranlı 6 cm çelik lifli vakumlu beton
13	DBVUÇ	B oranlı 6 cm çelik lifli vakumlu beton
14	DCVUÇ	C oranlı 6 cm çelik lifli vakumlu beton
15	NR	Normal Dayanımlı Referans beton
16	NVR	Normal Dayanımlı Vakumlu Referans beton
17	NAKÇ	A oranlı 3 cm çelik lifli beton
18	NBKÇ	B oranlı 3 cm çelik lifli beton
19	NCKÇ	C oranlı 3 cm çelik lifli beton
20	NAVKÇ	A oranlı 3 cm çelik lifli vakumlu beton
21	NBVKÇ	B oranlı 3 cm çelik lifli vakumlu beton
22	NCVKÇ	C oranlı 3 cm çelik lifli vakumlu beton
23	NAUÇ	A oranlı 6 cm çelik lifli beton
24	NBUÇ	B oranlı 6 cm çelik lifli beton
25	NCUÇ	C oranlı 6 cm çelik lifli beton
26	NAVUÇ	A oranlı 6 cm çelik lifli vakumlu beton
27	NBVUÇ	B oranlı 6 cm çelik lifli vakumlu beton
28	NCVUÇ	C oranlı 6 cm çelik lifli vakumlu beton
29	YR	Yüksek Dayanımlı Referans beton
30	YVR	Yüksek Dayanımlı Vakumlu Referans beton
31	YAKÇ	A oranlı 3 cm çelik lifli beton
32	YBKÇ	B oranlı 3 cm çelik lifli beton
33	YCKÇ	C oranlı 3 cm çelik lifli beton
34	YAVKÇ	A oranlı 3 cm çelik lifli vakumlu beton
35	YBVKÇ	B oranlı 3 cm çelik lifli vakumlu beton
36	YCVKÇ	C oranlı 3 cm çelik lifli vakumlu beton
37	YAUÇ	A oranlı 6 cm çelik lifli beton
38	YBUÇ	B oranlı 6 cm çelik lifli beton
39	YCUÇ	C oranlı 6 cm çelik lifli beton
40	YAVUÇ	A oranlı 6 cm çelik lifli vakumlu beton
41	YBVUÇ	B oranlı 6 cm çelik lifli vakumlu beton
42	YCVUÇ	C oranlı 6 cm çelik lifli vakumlu beton

Beton karışım tasarımları TS 802 (Beton Karışım Tasarımı Hesap Esasları), TS 10514 (Çelik Telleri Betona Karıştırma ve Kontrol Kuralları) TS 10515 (Beton-Çelik tel takviyeli-Eğilme mukavemeti deney metodu) standartları dikkate alınarak hazırlanmıştır. Bu standartlarda betonların üretim aşaması ve testleri için önemli ayrıntılar belirtilmiştir. Bu ayrıntılar aşağıda maddeler halinde sıralanmıştır.

- Çimento miktarı en az 320 kg/m^3 olması gerekmektedir.
- 0-4 mm kum miktarı, toplam agregaya kütlelerinin % 40 - % 45'i olması gerekmektedir (750 kg/m^3 - 850 kg/m^3).
- D_{max} 32 mm olan lif içeren karışımlarda 0-0.25 mm arasındaki agregaya 400 kg/m^3 olması gerekmektedir.
- En büyük tane büyüklüğü, doğal agregaya için 28 mm, kırma taş için 32 mm olması gerekmektedir. 14 mm'den büyük agregaya oranı, % 15-20 arasında sınırlanması gerekmektedir.
- Betonun karakteristik basınç mukavemeti en az 20 N/mm^2 olmalıdır.
- S/Ç oranı en çok 0.55 olması önerilmektedir.
- Yüksekliği 75 mm veya daha az olan numuneler için tek tabakada, yüksekliği 75 mm'den fazla olan numuneler için 2 tabakada beton yerleştirilmesi gerekmektedir.

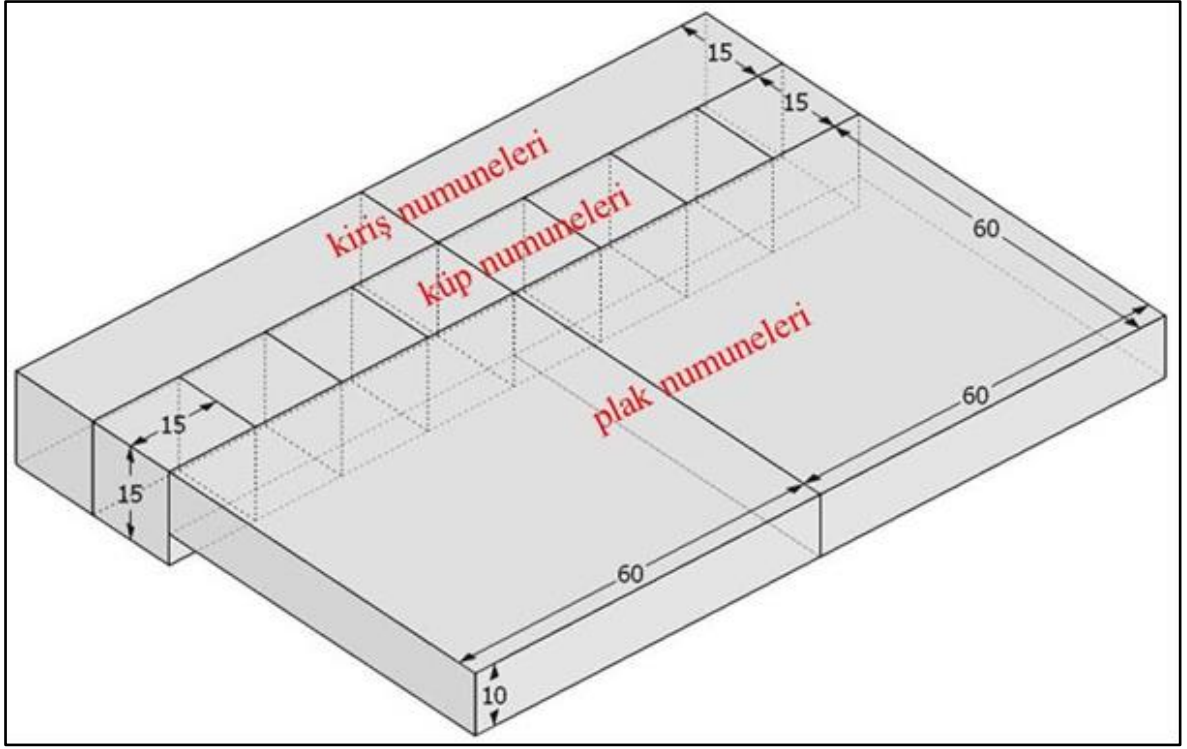
Deneyisel çalışmalarda kullanılacak beton numuneleri iki şekilde üretilmiştir. Birinci şekilde üretilenler lifsiz referans betonlar ile kısa lifli normal üretim betonlar olup bu numuneler küp, kiriş ve plak şeklinde, biçimine uygun kalıplarda üretilmiştir (Şekil 3.1). Böyle bir üretim yapılmasındaki amaç;

- Agregaya en büyük tane çapının belirtilen kalıp en dar boyutuna uygun olması (TS 802),
- Küp ve kiriş numunelerinin en dar boyutunun kısa lif uzunluğunun 2 katından daha fazla olması (TS 10514),
- Laboratuvar şartlarında daha pratik üretim yapılmasıdır.



Şekil 3.1. Normal beton üretiminde kullanılan kalıplar

İkinci üretim şeklinde ise küp, plak ve kiriş şeklindeki beton numuneler 120x90 cm (Şekil 3.2) ebadındaki tek kalıpta üretilmiştir. Bu alan içinde 10 cm ve 15 cm olmak üzere iki farklı kalınlığı olan bölüm bulunmaktadır. Bu alanlardan 15 cm kalınlığında olan bölüm; 15x15x15 cm'lik küp ve 15x15x60 cm'lik kiriş numuneler, 10 cm kalınlığında olan bölüm ise 10x60x60 cm'lik plak numuneler elde edebilmek için oluşturulmuştur. Oluşturulan bu kalıba beton karışımı dökülüp 1 gün bekletildikten sonra kalıp sökülmesi ve kesme makinası yardımıyla küp, plak ve kiriş numuneleri elde edilmiştir. Tüm küp ve kiriş beton numuneleri 28 gün boyunca kür havuzlarında bekletilmiş ancak plak beton numunelerinin ağır olması nedeniyle 28 gün boyunca kür havuzunda değil, laboratuvar ortamında günlük sulanarak ve üzeri tamamen naylon bir örtü ile kapatılarak kür edilmiştir. Beton üretimleri sırasıyla şu şekilde gerçekleşmiştir.



Şekil 3.2. Küp, kiriş ve plak numunelerinin elde edildiği temsili kalıp sistemi

➤ Beton karışım malzemeleri hazırlandı, beton mikserinde önce ~5 dk kuru karışım (agregalar, çimento, uçucu kül, lifler) yapıldı, sonra su ve suyla karışık akışkanlaştırıcı katkı katıldı. ~20 dk mikserde yaş karıştırma yapıldı.

➤ Mikserden el arabası ile boyutlara uygun olarak hazırlanan kalıba beton taşındı ve yerleştirildi. Kalıbın alt kısmına beton dökülmeden önce zemine yapışmaması için naylon serildi.

➤ Kalıba yerleştirilen beton titreşimli yüzey mastarı ile hem düzeltildi, hem de sıkıştırıldı. Normal üretim betonlar bu aşamadan sonra mala ile yüzeyi düzeltildi ve üzeri ertesı gün kalıptan çıkarılana kadar naylonla örtüldü.

➤ Vakum uygulaması için beton yüzeyine filtrasyon örtüsü serildi.

➤ Vakum örtüsü serildi ve hava boşluğu kalmayacak şekilde yüzeyi düzeltildi.

➤ ~30 dk vakum uygulaması yapıldı. Vakum süresi vakum pompasında su yerine buhar çıkana kadar sürdürüldü.

➤ Vakum örtüleri kaldırıldı ve helikopter tipi perdah makinesi ile yüzey perdah edildi.

➤ Yüzeye tekrar mala ile düzgünleştirme yapılarak son hali verildi.

➤ Beton dökümünden 1 gün sonra kesme makinesi ile 8 adet küp, 2 adet kiriş ve 2 adet plak deneylerde kullanılmak üzere çıkarıldı. Kesim yapılmadan önce beton alanda kesilecek çizgiler dikkatle çizildi ve kesme makinesinin hareket zemini oluşturuldu.

Beton üretim aşamaları Şekil 3.3'de görülmektedir.



Şekil 3.3. Beton üretimi

3.1.2. Beton Bileşenleri

Çalışmada bağlayıcı malzeme olarak da Gümüşhane Aşkale Çimento Fabrikası'ndan temin edilen CEM II/A-M (P-LL) 42.5 R (TS EN 197-1) sınıfı çimento kullanılmıştır. Çimentonun kimyasal, fiziksel ve basınç özellikleri Tablo 3.3'de gösterilmiştir.

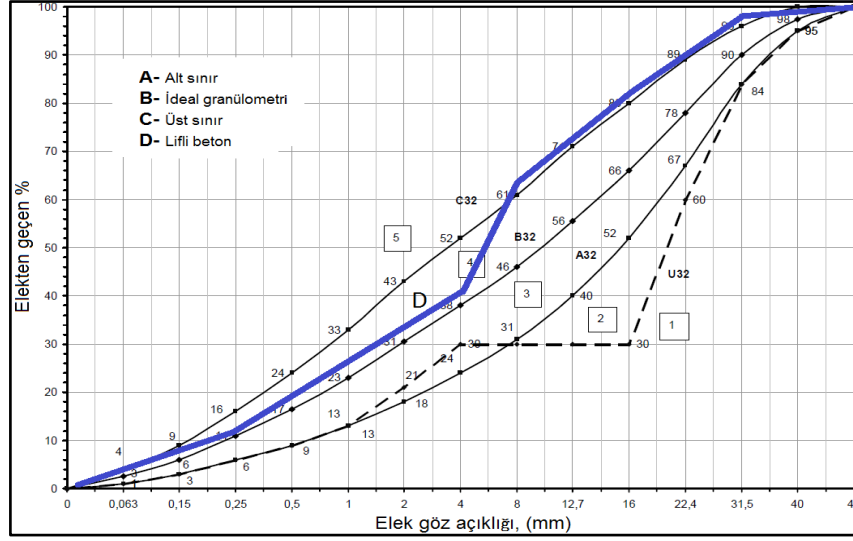
Tablo 3.3. CEM II/A-M (P-LL) 42.5 R kimyasal, fiziksel ve mekanik özellikleri

Kimyasal Analizler		Fiziksel Testler	
SiO ₂	18.59	İncelik (45 µ elek üstü %)	8.58
Al ₂ O ₃	4.69	Özgül Kütle (gr/cm ³)	3.05
Fe ₂ O ₃	3.04	Özgül Yüzey (cm ² /gr)	4145
CaO	60.34	Priz Başlangıcı (saat-dk)	2sa-33dk
MgO	1.92	Priz Sonu (saat-dk)	3sa-18dk
SO ₃	2.89	Hacim Genleşmesi (mm)	0.7
Kızdırma Kaybı	7.19	Su İhtiyacı %	29.9
Na ₂ O	0.11	Basınç Dayanımı (N/mm ²)	
K ₂ O	0.64		
Cl	0.0189		
Ölçülemeyen	0.57		
Toplam	100		
s.CaO	0.38		
Katkı %	17.87	2. gün	23.9
		28.gün	51.1

Betonlarda kullanılan agregalar Gümüşhane yöresine ait Gümüş Hazır Beton tesislerinden temin edilen kireçtaşı menşeli agregalardır. Agregaların fiziksel ve kimyasal özellikleri Tablo 3.4'te, granülometri dağılımları da Şekil 3.4'de gösterilmiştir. Agrega granülometrisinin belirlenmesinde TS 802 esas alınmış, ancak TS 10514 Çelik lif standardının önerileri de (bkz 3.1.1 başlığı) dikkate alınmaya çalışılmıştır.

Tablo 3.4. Betonlarda kullanılan agregaların fiziksel ve kimyasal özellikleri

Kimyasal özellikler		Fiziksel özellikler	0-4 (İnce)	4-32 (İri)
SiO ₂	2.95	Kuru tane yoğunluğu (g/cm ³)	2.52	2.54
Al ₂ O ₃	0.43	DKY yoğunluk (g/cm ³)	2.63	2.59
Fe ₂ O	0.46	Su emme Oranı (%)	4.21	1.93
CaO	73.93	Porozite (%)	10.62	4.89
MgCo ₃	22.24			
Toplam	100.01			



Şekil 3.4. Betonda kullanılan agregaların granülometrisi

TS 10514 standardına göre 0-0.25 mm aralığındaki agregaların 400 kg/m^3 olması gerekmektedir. Bu aralıktaki agrega uçucu kül ile sağlanmıştır. Uçucu kül Afşin Elbistan Termik Santralinden temin edilmiştir. Uçucu küllerin genel özellikleri Tablo 3.5'deki gibidir.

Tablo 3.5. Uçucu kül özellikleri

Kimyasal Analizler (%)	
SiO ₂	23.08
Al ₂ O ₃	6.25
Fe ₂ O ₃	2.58
CaO	47.03
MgO	1.60
SO ₃	14.61
K ₂ O	0.47
Na ₂ O	0.32
Kızdırma Kaybı	3.95
Cl	0.0334
Fiziksel Analizler	
45 µ elek üzeri (%)	4.0
Özgül Kütle (g/cm ³)	2.44
Blaine (cm ² /g)	2496
Puzolanik Aktivite	15.8

Normal ve yüksek dayanım sınıfına sahip betonlarda Aydos Yapı Kimyasalları kuruluşundan temin edilen TS EN 934-2 standardına uygun Aydos MR-NS 2 tipi “Su azaltıcı normal akışkanlaştırıcı beton katkısı” kullanılmıştır. Normal üretim ve vakumlu üretim referans betonlarda (DR-DVR-NR-NVR-YR-YVR) çökme değeri 15-19 cm

arasında tutulmaya çalışılmıştır. Düşük dayanımlı betonlarda bu çökme miktarı su ile sağlanabilmiştir. Ancak normal ve yüksek dayanımlı betonlarda belirlenen çökme miktarı akışkanlaştırıcı katkı maddesi ile sağlanabilmiştir. Tablo 3.6’da belirtilen beton karışım tasarımıdaki akışkanlaştırıcı miktarı ön denemeler sonucu belirlenmiştir.

Tablo 3.6. Normal akışkanlaştırıcı katkı maddesi teknik özellikleri

Kimyasal içeriği	Modifiye lignin sülfonat esaslı sıvı
Dozaj	Çimento ağırlığının % 0.5 ile % 1.4
Yoğunluk	1.13 ± 0.02 kg/l.
pH değeri	8.0 ± 1
Klor içeriği %	< % 0.1
Alkali içeriği %	< % 7
Görünüm/Renk	Koyu kahverengi
Donma noktası	-3 °C

3.1.3. Çelik Lifler

Yapılan bu çalışmada 3 cm (kısa) ve 6 cm (uzun) uzunluğunda olmak üzere iki çeşit çelik lif (Ç) kullanılmıştır (Şekil 3.5). Lif özellikleri Tablo 3.7’de gösterilmiştir. TS 10514 betonda kullanılacak çelik liflerin 1 metreküpde 50 kilogramı aşmamasını tavsiye etmektedir. Bu çalışmada A-B-C lif oranı ifadeleri bazı bölümlerde aynı, bazı bölümlerde ise “az, normal, çok” lif olarak da ifade edilecektir. Kilogram esasına göre hazırlanan çelik lif miktarı, yoğunluk ve boyutları dikkate alınarak hacimce belirlenmiştir. Karışımlardaki liflerin uzun ve kısa kullanılması çalışmanın parametrelerinden biri olup çelik liflerin 3 cm kısa ve 6 cm uzun şeklinde temin edilme zorunluluğu olmuş ve Kemerli Metal Sanayi adlı bir kuruluştan temin edilmiştir.

Tablo 3.7. Çelik lif katkıların özellikleri

Lif özellikleri	Ç
Lif oranı (dm ³ A-B-C)	1.91-3.81-5.72
Lif uzunluğu (mm)	30-60
Lif çapı (mm)	0.9
Özgül kütle (gr/cm ³)	7.87
Çekme dayanımı (MPa)	~1100
Elastik modül (MPa)	200000
En son uzama (%)	< 2
Erime, oksidasyon ve bozulma sıcaklığı (°C)	800



Şekil 3.5. Betonda kullanılan kısa ve uzun çelik lifler

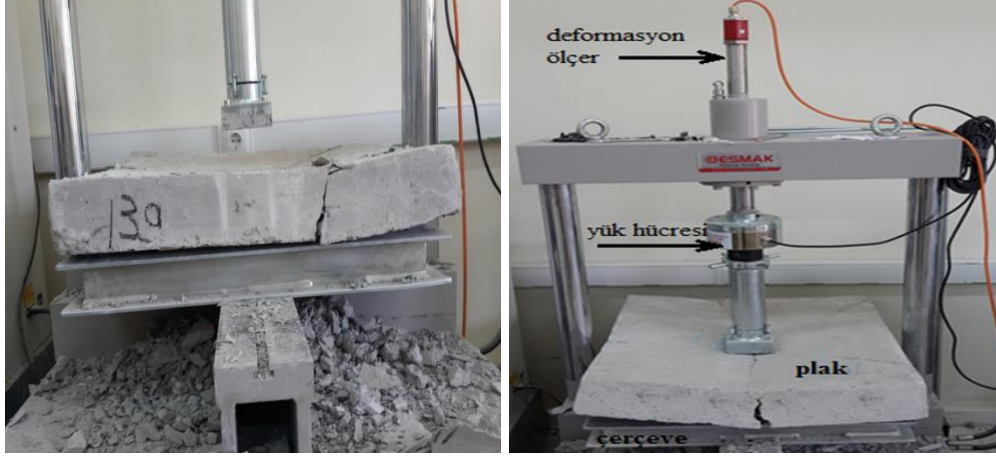
3.2. Metot

3.2.1. Taze Beton Özellikleri

42 tür betonda üretimden hemen sonra TS EN 12350-2 göre çökme deneyi yapılmıştır. Betonların hava miktarı TS 802’de hesaplanan değer kabul edilmiştir (Tablo 3.1). Betonların birim hacim ağırlıkları (BHA) 1 gün sonra kesme makinesi ile elde edilen küp numuneler boyutları hassas bir şekilde ölçüldükten ve tartıldıktan sonra belirlenmiştir.

3.2.2. Plak Testleri ve Enerji Yutma Kapasiteleri

Plak testleri için beton bloklardan elde edilen 10x60x60 cm ebadındaki 2 adet plak teste tabi tutulmuştur (Şekil 3.6). Testler EN 14488-5 ’e göre yapılmıştır. Buna göre plaklar 5 cm genişliği olan metal çerçeve üzerinde, merkezde 10x10 cm alandan 30 mm sehime olana kadar 1 mm/dk sabit yükleme hızı ile eğilmeye tabi tutulmuştur. Plak testleri standardın öngördüğü gibi 30 mm sehime kadar yapılmış, ancak yine standardın öngördüğü gibi 25 mm sehime kadar olan değerler grafiklerde gösterilmiştir. Betonların enerji yutma kapasiteleri Eşitlik 3.1’e göre hesaplanmıştır.



Şekil 3.6. Plak testine tabi tutulan beton numuneler

$$E = \sum_{i=0}^{i=\delta_m} \left[(\delta_{i+1} - \delta_i) \frac{F_i + F_{i+1}}{2} \right] \quad (3.1)$$

Burada;

E; Enerji yutma kapasitesi (Joule: 1N=1J/m),

δ_i ; Mevcut sehim (mm),

δ_{i+1} ; Mevcut sehimden bir sonraki sehim değeri (mm)

F_i ; δ_i 'deki yük değeri (N),

F_{i+1} ; δ_{i+1} 'deki yük değeri (N),

δ_m ; 25 mm

3.2.3. Kiriş Eğilme Testleri

TS 10515'e göre 15x15x60 cm ebatlarında kirişler üzerinde iki noktadan yüklemeli eğilme deneyleri yapılmıştır (Şekil 3.7). Buna göre kirişler 2.5 cm mesnet açıklığı olacak şekilde 55 cm açıklığı olan iki mesnet arasına yerleştirilmiştir. Öngörülen eğilme gerilmesi için 3 mm sehim yapılarına kadar testin yapılması gerekmektedir. Ancak kirişler 0.1-0.2 mm/dk sabit yükleme hızı ile kırılana kadar test devam ettirilmiştir. Betonların "en yüksek eğilme gerilmesi" ve "öngörülen eğilme gerilmesi" için TS 10515'de Eşitlik 3.2 ve 3.3 kullanılmıştır.



Şekil 3.7. Kiriş eğilme testine tabi tutulan beton numuneler

$$\text{En Büyük Eğilme Gerilmesi, } \sigma_u = \frac{M}{W} = \frac{\frac{P_u \cdot L}{2} \cdot \frac{L}{3}}{\frac{b \cdot h^2}{6}} = P_u \cdot \frac{L}{b \cdot h^2} \quad (3.2)$$

$$\text{Öngörülen Eğilme Gerilmesi, } \sigma_e = \frac{T_b}{\delta t b} \cdot \frac{L}{b \cdot h^2} \quad (3.3)$$

Burada;

σ_u ; En büyük gerilme (N/mm²)

P_u ; Maksimum yük (N)

σ_e ; Öngörülen eğilme gerilmesi (N/mm²)

H; Deney numunesinin yüksekliği (mm)

T_b ; Şekil değiştirme (3 mm sehimdeki kümülatif alan-Nmm)

L; Deney numunesinin iki mesnet arasındaki uzunluğu (mm)

b; Deney numunesinin genişliği (mm)

$\delta t b$; Sehim 3 mm

3.2.4. Basınç Dayanımı

Tüm beton türlerinin TS EN 12390-3 'e göre 1, 3, 7 ve 28 günlük basınç dayanımları küp numuneler üzerinde belirlenmiştir (Şekil 3.8). 3, 7 ve 28 günlük numuneler deney gününe kadar kür havuzunda bekletilmiştir. 1 günlük numuneler beton bloklar kesildikten yaklaşık 3-4 saat sonra teste tabi tutulmuştur. Her deney gününde 2 adet numune teste tabi tutularak sonuçların ortalaması alınmıştır. Numuneler teste tabi tutulmadan yaklaşık 8 saat

öncesinden kür havuzundan çıkarılmıştır. Bu testte vakum uygulaması, lif boyu ve lif oranının düşük, normal ve yüksek dayanımlı betonların basınç dayanımına etkilerinin belirlenmesi amaçlanmıştır.



Şekil 3.8. Basınç testine tabi tutulan beton numuneler

4. BULGULAR VE TARTIŞMA

4.1. Taze Beton Fiziksel Özellikleri

Tüm betonların çökme ve BHA değerleri Tablo 4.1’de gösterilmiştir. Her bir beton türü yaklaşık 250 dm³ beton karışımı yapılarak elde edilmiştir. Betonların mekanik özelliklerinin objektif değerlendirilebilmesi için özellikle çökme değerleri su ve akışkanlaştırıcı katkı maddeleri ile eşitlenmeye çalışılmıştır. Tüm betonların çökme değerleri 15-19 cm arasında olduğu görülmüştür.

Taze betonların BHA değerlerine bakıldığında;

- C25/30 ve C35/45 sınıfı betonlarda en yüksek BHA değeri B oranında katılan lifle sağlanmakta olup uzun lifli vakumlu betonlar bunun dışında kalmıştır.
- Vakum uygulamasının birim hacim ağırlıklarını arttırdığı görülmüştür.
- Dayanım sınıfı arttıkça betonların birim hacim değerleri de artmıştır.
- C16/20 ve C35/45 sınıfı betonlarda kısa lif takviyesi yapılanların BHA değerleri uzun liflere göre daha yüksek olduğu görülmüştür.

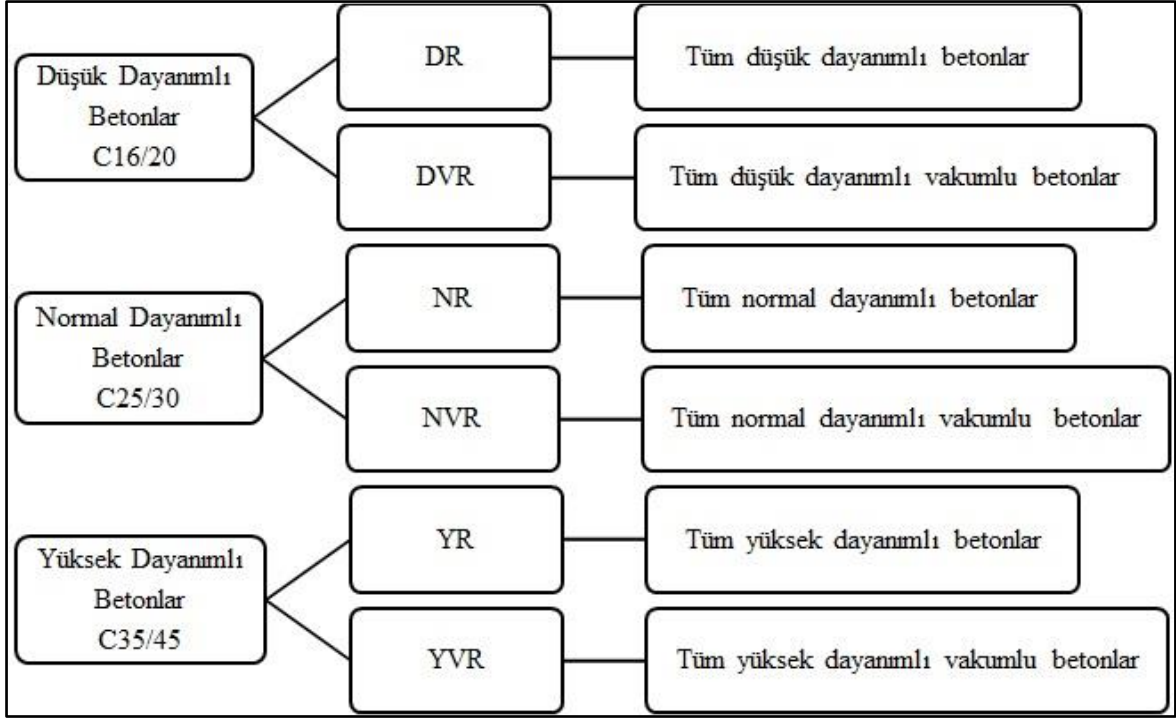
Tablo 4.1. Taze betonların çökme ve birim hacim değerleri

BETON NO	BETON KODU	Çökme (cm)	BHA (kg/m ³)	BETON NO	BETON KODU	Çökme (cm)	BHA (kg/m ³)
1	DR	15.5	2342	22	NCVKÇ	17.5	2353
2	DVR	17	2364	23	NAUÇ	17	2356
3	DAKÇ	16	2340	24	NBUÇ	17	2369
4	DBKÇ	18.5	2361	25	NCUÇ	19	2325
5	DCKÇ	19	2334	26	NAVUÇ	17	2384
6	DAVKÇ	17.5	2369	27	NBVUÇ	19	2422
7	DBVKÇ	18	2376	28	NCVUÇ	18	2381
8	DCVKÇ	19	2338	29	YR	15	2421
9	DAUÇ	18	2344	30	YVR	18.5	2466
10	DBUÇ	18.5	2321	31	YAKÇ	17	2430
11	DCUÇ	17	2315	32	YBKÇ	17	2445
12	DAVUÇ	16.5	2386	33	YCKÇ	18	2425
13	DBVUÇ	17.5	2326	34	YAVKÇ	18	2471
14	DCVUÇ	19	2291	35	YBVKÇ	17	2483
15	NR	17.5	2355	36	YCVKÇ	16.5	2446
16	NVR	17	2380	37	YAUÇ	16	2415
17	NAKÇ	18	2361	38	YBUÇ	15	2375
18	NBKÇ	19	2362	39	YCUÇ	16	2352
19	NCKÇ	17	2354	40	YAVUÇ	17	2464
20	NAVKÇ	17	2387	41	YBVUÇ	17	2473
21	NBVKÇ	17	2385	42	YCVUÇ	16	2386

4.2. Sertleşmiş Beton Fiziksel Özellikleri

4.2.1. Plak Testi

Bu çalışmada 42 tür beton olmasından dolayı plak testlerinin ve enerji yutma kapasitelerinin birçok yönden ele alınarak değerlendirilmesi mümkündür. Ancak değerlendirmelerin boyutunu genişletmeme adına tek bir değerlendirme yolu tercih edilmiştir. Plak testleri ve enerji yutma kapasiteleri için Şekil 4.1'de belirtildiği üzere değerlendirmeler yapılmıştır.



Şekil 4.1. Plak testleri bulgularının değerlendirme kapsamı şeması

Plak testleri sonucunda lifli betonlarla lifsiz betonlar arasında çeşitli farklılıklar görülmüştür. DR, DVR, NR, NVR, YR ve YVR betonlarında lif olmadığı için 25 mm sehime kadar bir eğilme olmamıştır. Bu betonlar en yüksek taşıma yükünden sonra kırılmış ve test sona erdirilmiştir. Bu betonlar genel olarak düzenli bir şekilde 4 parçaya bölünmüştür (Şekil 4.2). Dayanım sınıfının artmasına bağlı olarak kırılma yük değerleri de artış göstermiştir. Vakum uygulaması da kırılma yükü değerini nispeten arttırmıştır.

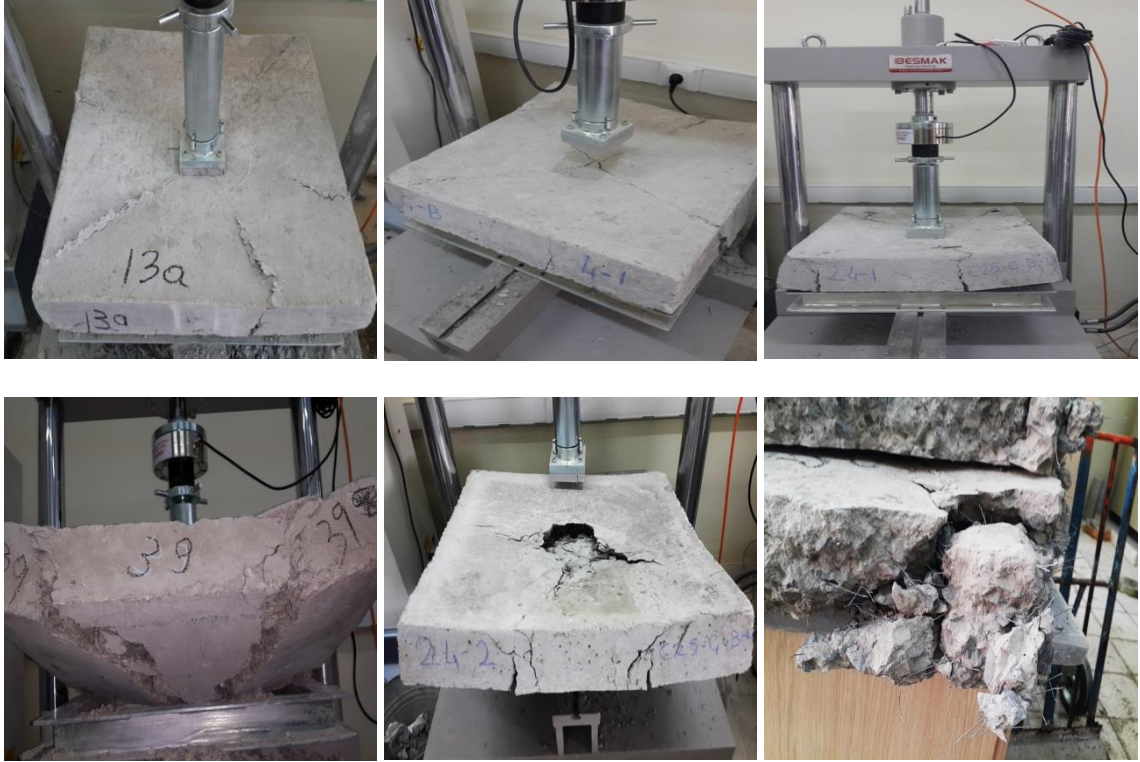
Çelik lifli betonlara bakıldığında (Şekil 4.3); kısa lifli betonlarda kırılma ve parçalara ayrılma uzun lifli betonlara göre daha çok olmuştur. Kısa çelik lif oranı az olan betonlarda kırılmalar lifsiz betonlar gibi düzenli olmuştur. Liflerin şekli ve aderansına bağlı olarak kırılmalar genellikle düzensiz olmuştur. Lif oranı arttıkça ve uzunlaştıkça betonların kırılma şeklindeki düzensizlikte artmıştır. Çelik lif oranı fazla olan betonlarda plak çok ciddi direnç göstermiş, 30 mm sehime gelinceye kadar 6-7 parçaya ayrılmış, hatta pres uygulanan alanda zımbalama etkisi dahi olduğu görülmüştür. Testler sonucunda özellikle uzun çelik lifli betonların parçalara ayrılmasında büyük güçlükler çekilmiştir. Liflerin miktarı ve uzunluğu arttıkça beton içinde homojen dağılımı da azalmaktadır. Bu uzun çelik liflerde daha çok görülmüştür.

Genel olarak;

- Kısa lif oranının en az olduğu betonlar lifsiz betonlar gibi kırılmıştır,
- Kısa yada uzun lif oranı arttıkça lif dağılımı homojenliği zayıflamıştır,
- Uzun lif türlerinde, beton içindeki oran arttıkça topaklanma daha çok görülmüştür.



Şekil 4.2. Referans betonlarda plak kırılma testleri

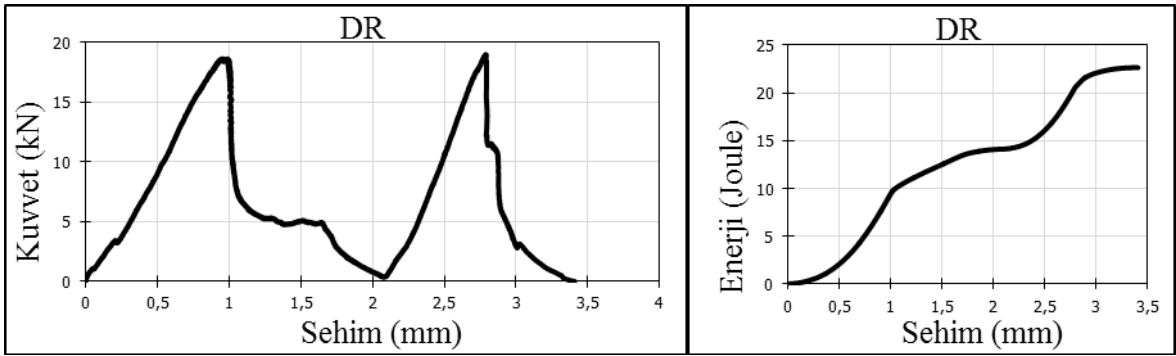


Şekil 4.3. Çelik lifli betonlarda plak kırılma testleri

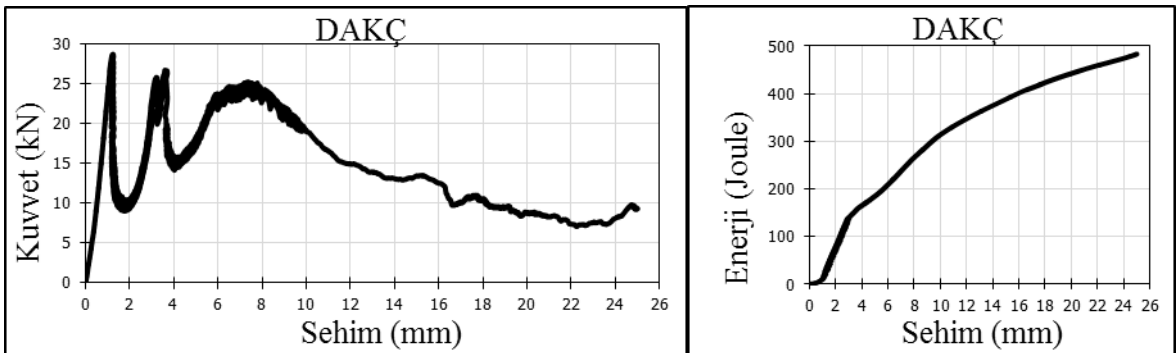
4.2.1.1. C16/20 Betonu Plak Testi

Referans betona yapılan çelik lif takviyesi;

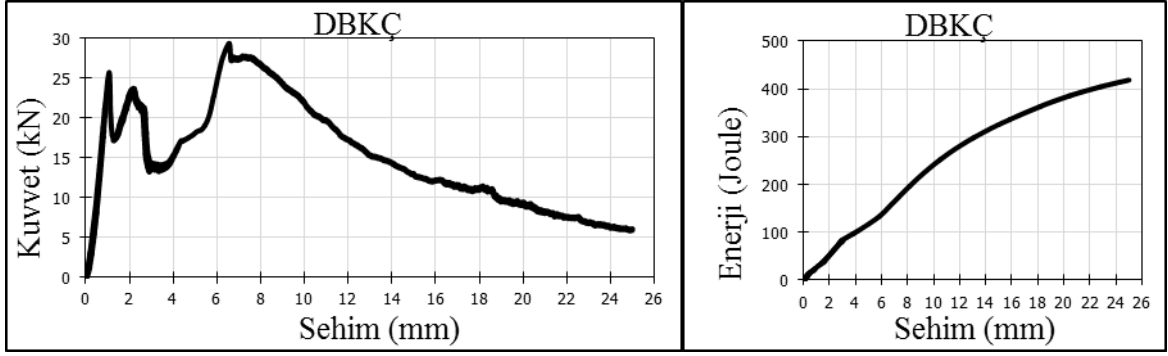
C16/20 kısa çelik lifli betonların plak testleri ve enerji yutma kapasiteleri Şekil 4.5, Şekil 4.6 ve Şekil 4.7'de gösterilmektedir. Plak testlerinin ilk kırılma yüklerine bakıldığında; kısa lifli betonlar referans betona (Şekil 4.4) göre ~%45-50 daha fazla olup en yüksek artışı DCKÇ göstermiştir. İlk kırılmadan sonraki beton davranışlarında ise lif oranı arttıkça betonların yük taşıma kapasitesi de artmaktadır. Hatta DBKÇ ve DCKÇ'de ilk kırılma yükünden daha yüksek değerler görülmüştür. Enerji yutma kapasitelerine bakıldığında; kısa lifli betonlar referans betona göre yaklaşık ~20 kat daha fazla enerji yutma kapasitelerine sahip oldukları tespit edilmiştir.



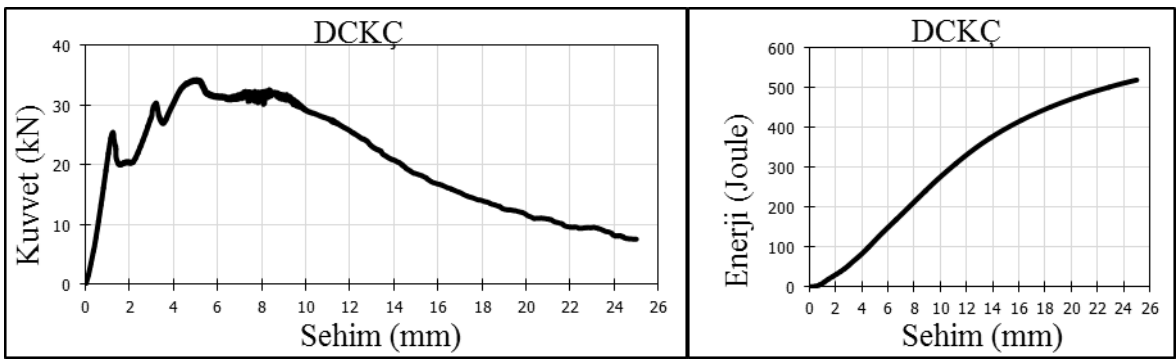
Şekil 4.4. DR betonların yük-sehim ve enerji-sehim grafikleri



Şekil 4.5. DAKÇ lifli betonların yük-sehim ve enerji-sehim grafikleri

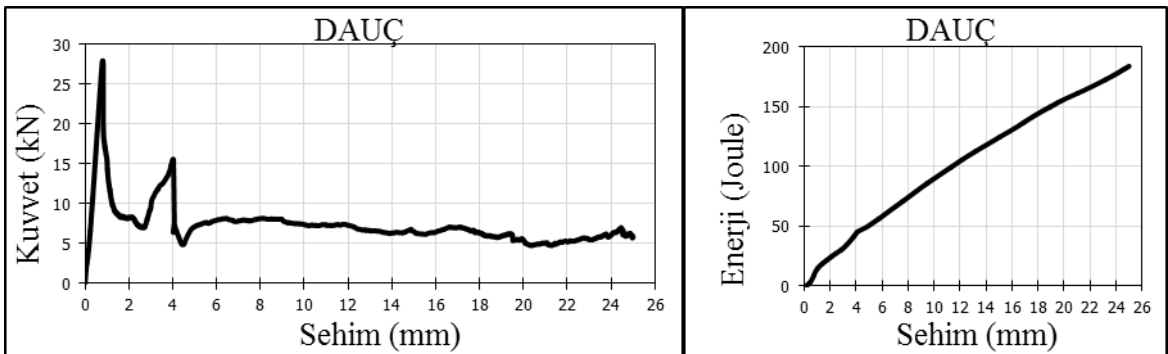


Şekil 4.6. DBKÇ lifli betonların yük-sehim ve enerji-sehim grafikleri

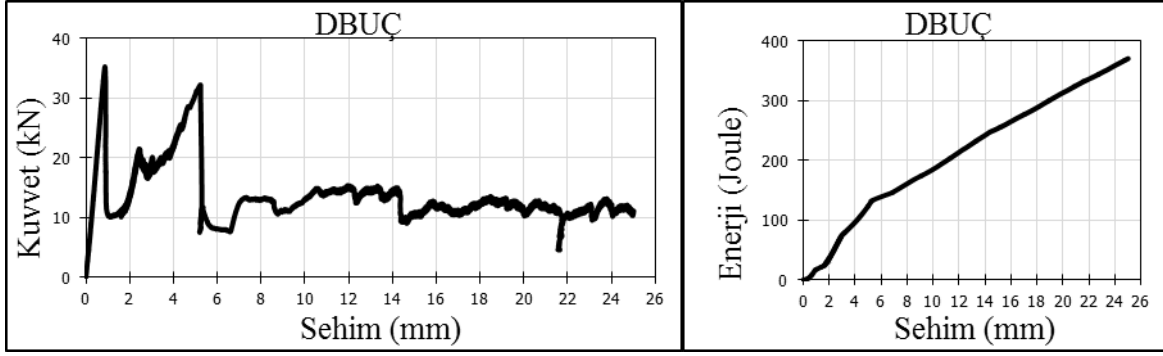


Şekil 4.7. DCKÇ lifli betonların yük-sehim ve enerji-sehim grafikleri

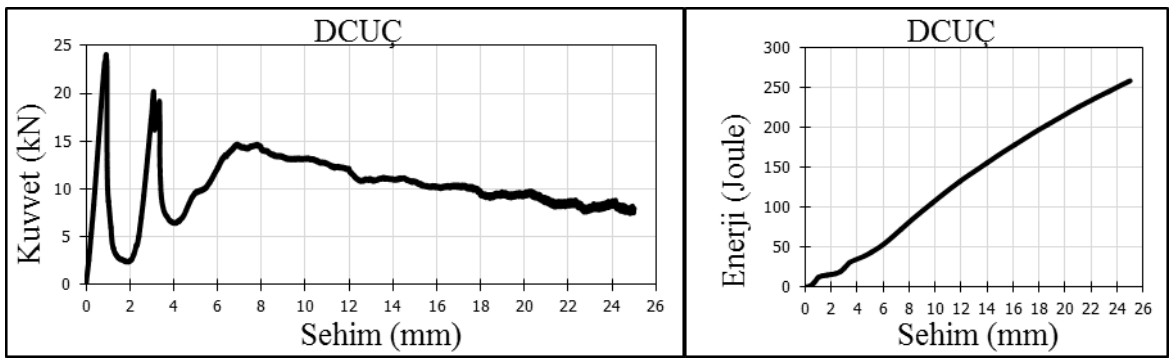
DAUÇ, DBUÇ ve DCUÇ'lerin sırasıyla kuvvet-sehim ve enerji-sehim grafikleri Şekil 4.8, Şekil 4.9 ve Şekil 4.10'da gösterilmektedir. İlk kırılma yükleri referansa göre ~%70-75 daha fazla olup en fazla artış DBUÇ'de görülmüştür. İlk kırılma yüküne göre DAUÇ, DBUÇ ve DCUÇ'de daha düşük değerler meydana gelmiştir. Enerji yutma kapasitelerine bakıldığında; uzun lifli betonlar referans betona göre yaklaşık ~12 kat daha fazla enerji yutma kapasitesine sahip oldukları tespit edilmiştir.



Şekil 4.8. DAUÇ lifli betonların yük-sehim ve enerji-sehim grafikleri



Şekil 4.9. DBUÇ lifli betonların yük-sehim ve enerji-sehim grafikleri

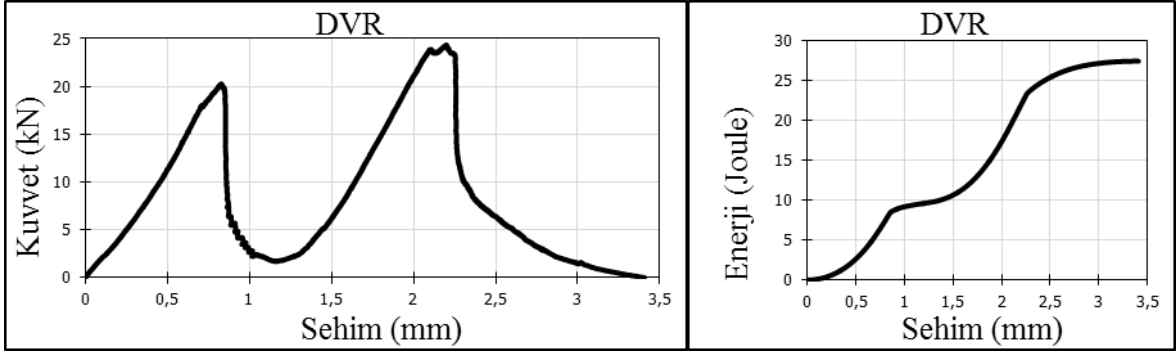


Şekil 4.10. DCUÇ lifli betonların yük-sehim ve enerji-sehim grafikleri

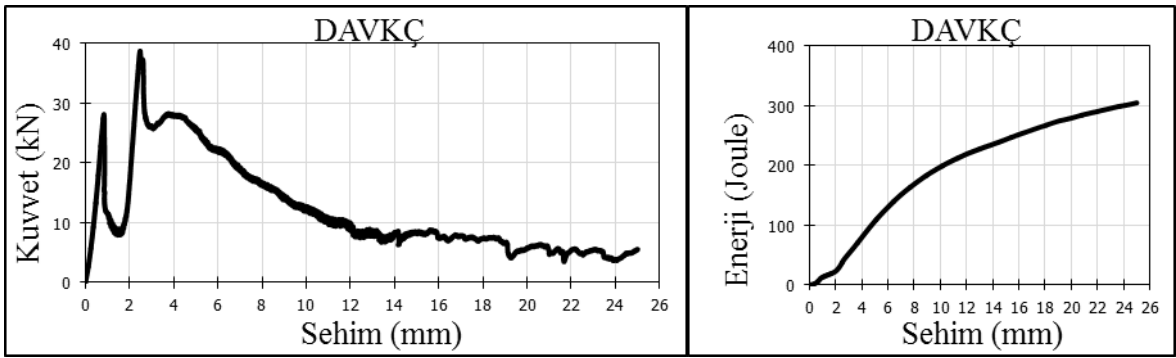
Referans betona katılan uzun veya kısa çelik liflerin dayanabileceği maksimum yük miktarı yaklaşık olarak aynı olmaktadır. Ancak kısa çelik liflerin uzunlara göre betonun enerji yutma kapasitelerine katkısı ~% 30-35 daha fazla olduğu görülmektedir.

Vakumlu betona yapılan çelik lif takviyesi;

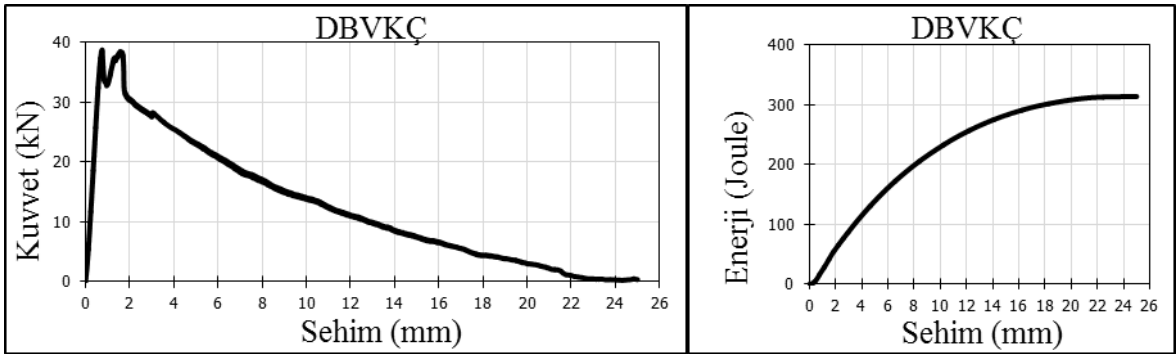
C16/20 vakumlu betonun kuvvet-sehim ve enerji-sehim grafikleri Şekil 4.11'de gösterilmektedir. DAVKÇ, DBVKÇ ve DCVKÇ'nin (Şekil 4.12, Şekil 4.13, Şekil 4.14) plak testlerinin ilk kırılma yüklerine bakıldığında; vakumlu betona göre ~%65 daha fazla olup en yüksek artışı DCKÇ göstermiştir. İlk kırılmadan sonraki beton davranışlarında ise lif oranı arttıkça betonun yük taşıma kapasitesi artmakta ve en yüksek DCVKÇ'de görülmüştür. Enerji yutma kapasitelerine bakıldığında kısa lifli betonlar vakumlu betona göre ~13 kat daha fazla enerji yutma kapasitesine sahip olduğu tespit edilmiştir



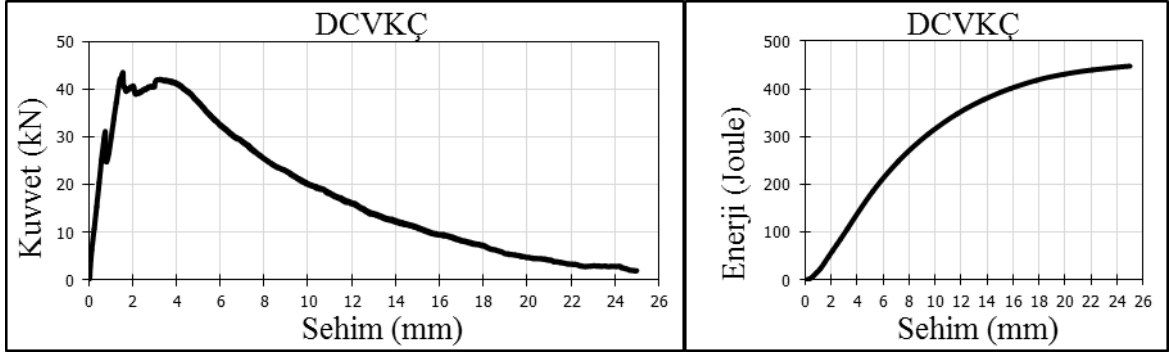
Şekil 4.11. DVR betonların yük-sehim ve enerji-sehim grafikleri



Şekil 4.12. DAVKÇ lifli betonların yük-sehim ve enerji-sehim grafikleri

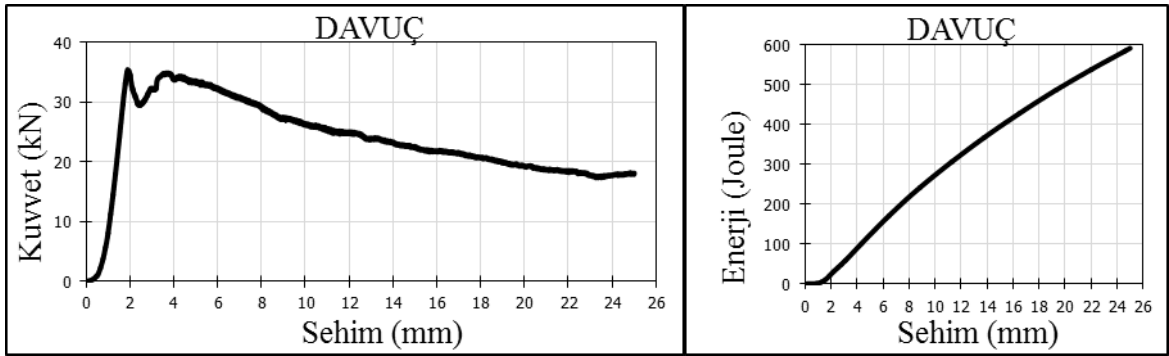


Şekil 4.13. DBVKÇ lifli betonların yük-sehim ve enerji-sehim grafikleri

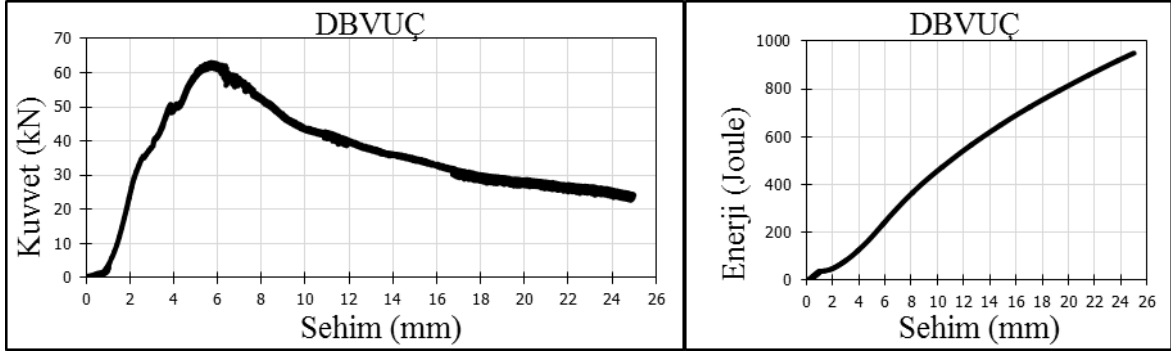


Şekil 4.14. DCVKÇ lifli betonların yük-sehim ve enerji-sehim grafikleri

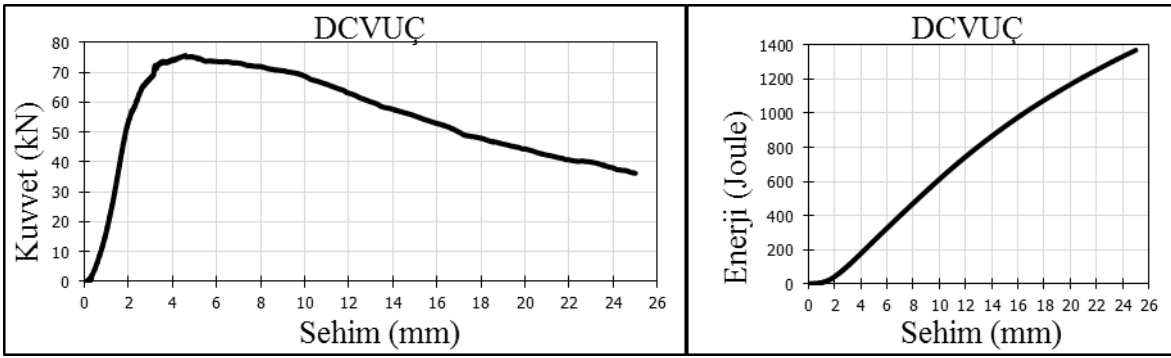
C16/20 vakumlu betona yapılan uzun çelik lif takviyesi yapıldığında oluşan kuvvet-sehim ve enerji-sehim grafikleri Şekil 4.15, Şekil 4.16, Şekil 4.17 (sırasıyla DAVUÇ, DBVUÇ, DCVUÇ) gösterilmektedir. İlk kırılma yüküne bakıldığında vakumlu betona göre ~%180 daha fazla olup en fazla artış DCVUÇ’de görülmektedir. İlk kırılmadan sonraki beton davranışlarında ise yük taşıma kapasitesi açısından kayda değer bir değişiklik olmamıştır. Enerji yutma kapasitelerine bakıldığında vakumlu betona göre ~35 kat daha fazla enerji yutma kapasitesine sahiptir.



Şekil 4.15. DAVUÇ lifli betonların yük-sehim ve enerji-sehim grafikleri



Şekil 4.16. DBVUÇ lifli betonların yük-sehim ve enerji-sehim grafikleri



Şekil 4.17. DCVUÇ lifli betonların yük-sehim ve enerji-sehim grafikleri

Vakumlu betona ilave edilen uzun çelik lif, kısa çelik lif takviyesine oranla yüke karşı dayanımını %75 civarında, enerji yutmada ise yaklaşık %220 civarında daha fazla katkı sağlamaktadır.

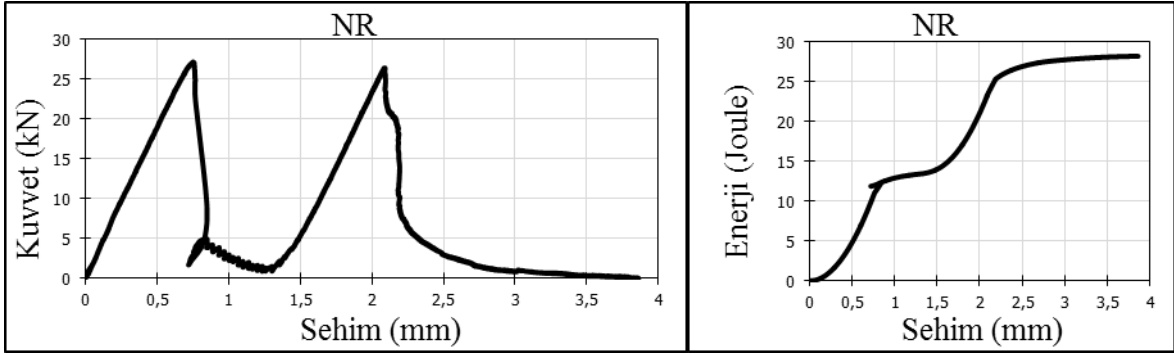
Sonuç olarak; düşük dayanım sınıfında referans veya vakumlu betona uygun oranda (A veya B veya C) ilave edilen lifler yüke karşı dayanımı ve enerji yutma kapasitesini arttırmaktadır. Ayrıca bunlara yapılan çelik lif takviyelerinden uzun çelik lifler kısa çelik liflere göre enerji yutma kapasitesi ile yüke karşı dayanıma daha fazla katkı sağlamaktadır.

4.2.1.2. C25/30 Betonu Plak Testi

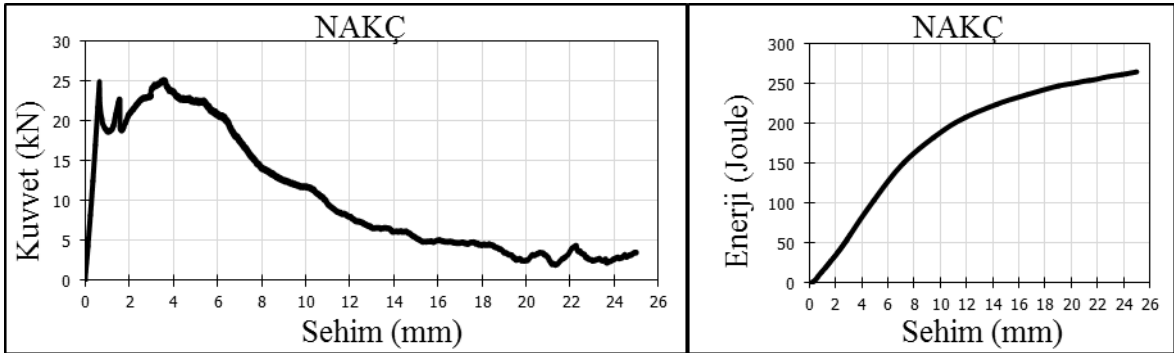
Referans betona yapılan çelik lif takviyesi;

Şekil 4.18’de C25/30 referans betonun kuvvet-sehim ve enerji-sehim grafikleri Şekil 4.19, Şekil 4.20, Şekil 4.21’de ise NAKÇ, NBKÇ, NCKÇ’nin kuvvet-sehim ve enerji-sehim grafikleri gösterilmektedir. Plak testlerinde ilk kırılma yüküne bakıldığında referans beton kısa lifli betonlara göre ~%30 daha fazla yük taşıma kapasitesine sahiptir. İlk

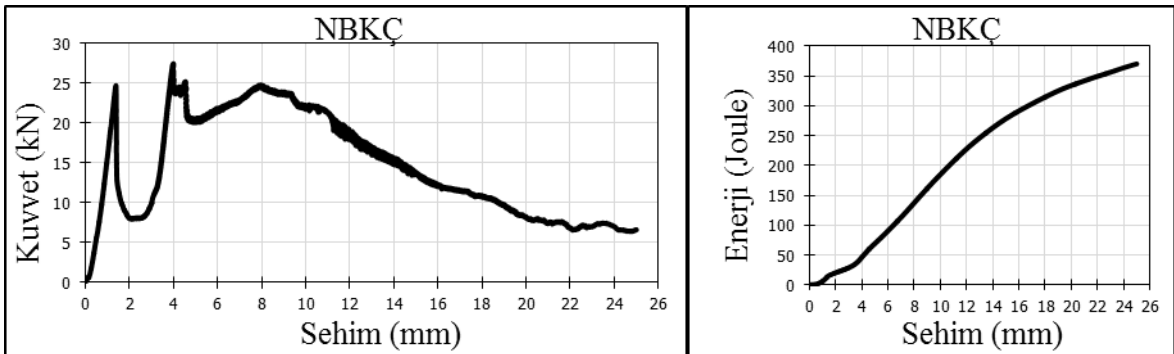
kırılmadan sonraki beton davranışlarında ise lif oranı arttıkça betonların yük taşıma kapasitesi artmaktadır. Hatta NBKÇ ve NCKÇ’de ilk kırılma yükünden daha yüksek değerler görülmüştür. Enerji yutma kapasitelerine bakıldığında; kısa lifli betonlar referans betona göre yaklaşık ~15 kat daha fazla enerji yutma kapasitesine sahip oldukları tespit edilmiştir.



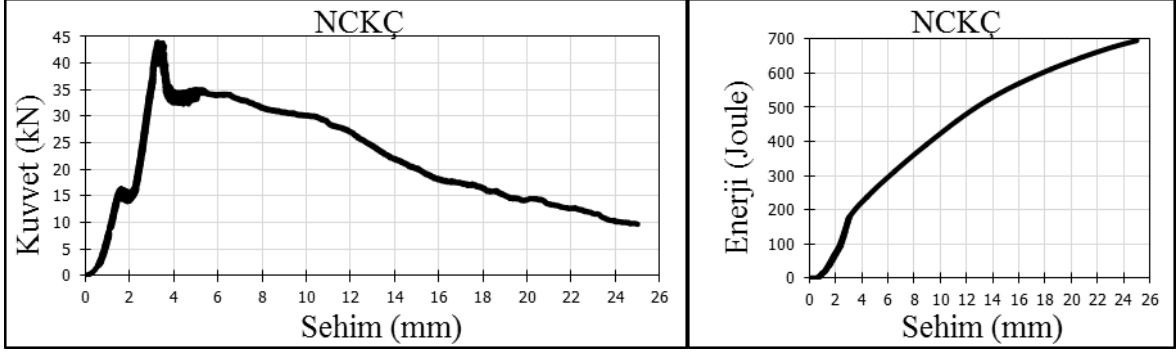
Şekil 4.18. NR lifli betonların yük-sehim ve enerji-sehim grafikleri



Şekil 4.19. NAKÇ lifli betonların yük-sehim ve enerji-sehim grafikleri

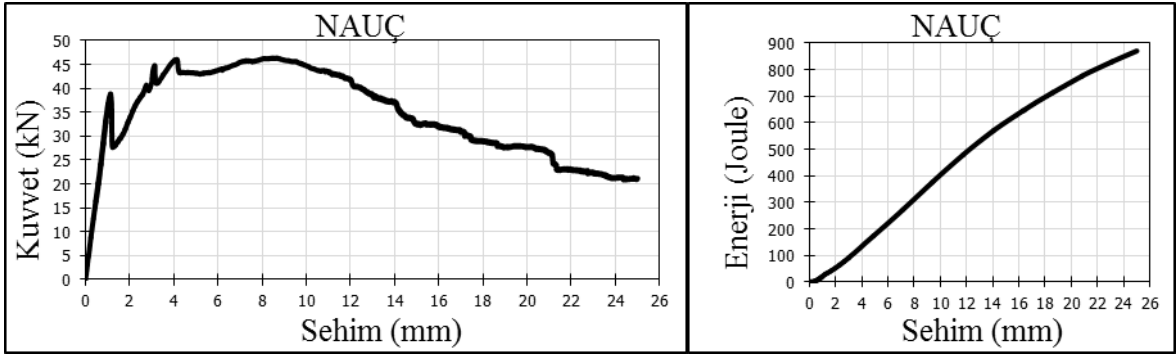


Şekil 4.20. NBKÇ lifli betonların yük-sehim ve enerji-sehim grafikleri

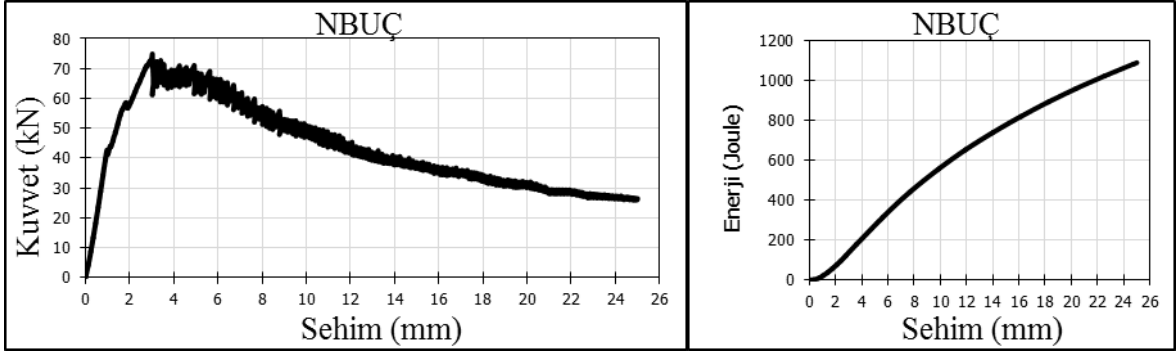


Şekil 4.21. NCKÇ lifli betonların yük-sehim ve enerji-sehim grafikleri

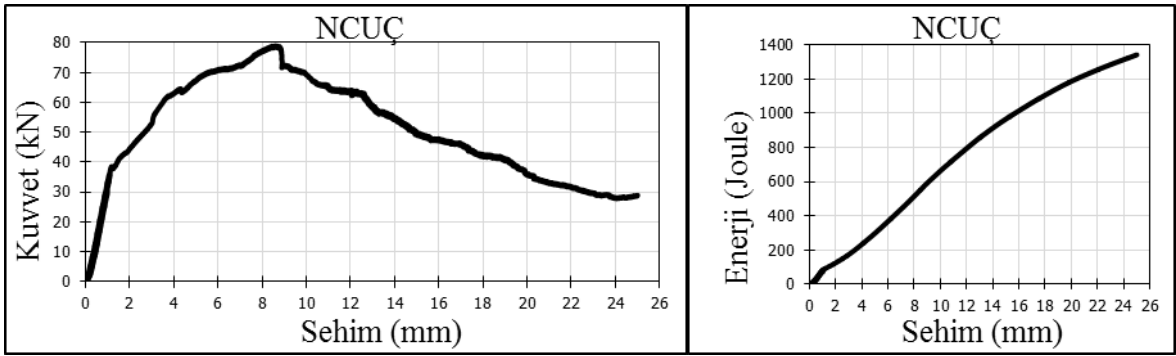
NAUÇ, NBUÇ, NCUÇ'deki kuvvet-sehim ve enerji-sehim grafikleri Şekil 4.22, Şekil 4.23, Şekil 4.24 gösterilmektedir. Plak testlerinin ilk kırılma yüklerine bakıldığında uzun lifli betonlar referansa göre ~%110 daha fazla olup en yüksek artış NCUÇ göstermiştir. İlk kırılmadan sonra lif oranı arttıkça betonların yük taşıma kapasitesi de artmakta olup NAUÇ, NBUÇ, NCUÇ'de ilk kırılma yükünden daha yüksek değerler görülmüştür. Enerji yutma kapasitelerine bakıldığında; uzun lifli betonlar referans betona göre yaklaşık ~40 kat daha fazla enerji yutma kapasitelerine sahip oldukları tespit edilmiştir.



Şekil 4.22. NAUÇ lifli betonların yük-sehim ve enerji-sehim grafikleri



Şekil 4.23. NBUÇ lifli betonların yük-sehim ve enerji-sehim grafikleri

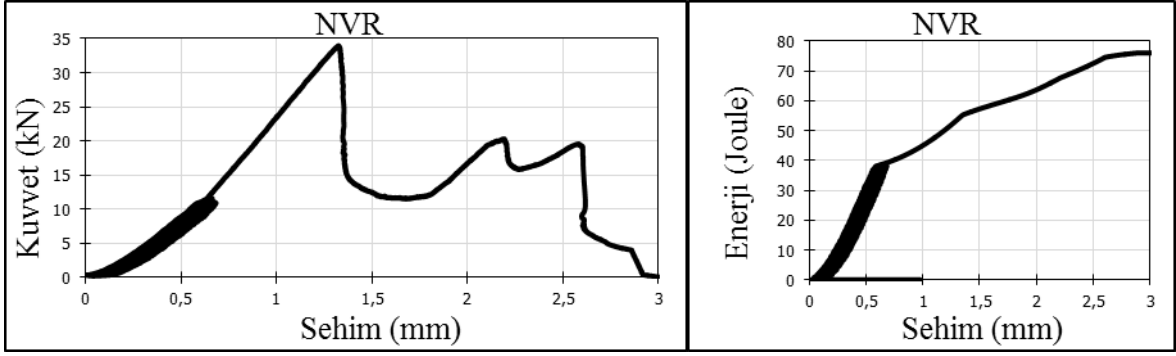


Şekil 4.24. NCUÇ lifli betonların yük-sehim ve enerji-sehim grafikleri

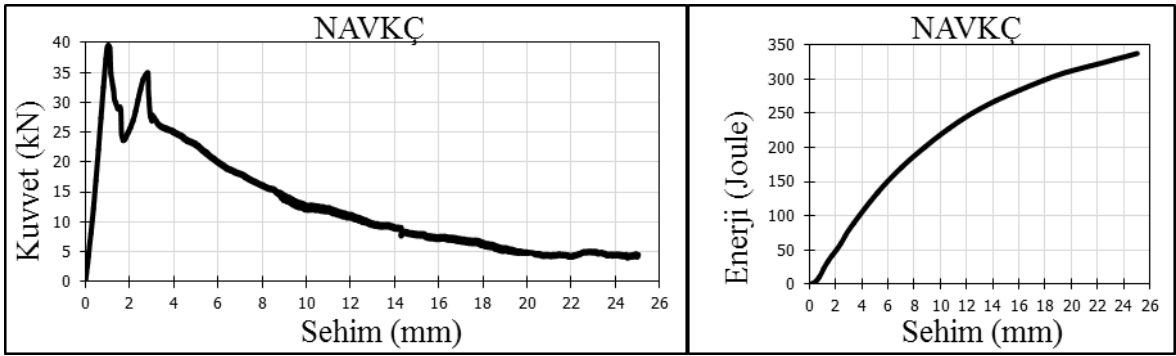
Referans betona katılan uzun çelik lifler kısa çelik liflere oranla %80 civarında daha fazla yüke dayanmakta olup enerji yutma kapasiteleri de %100 kısa çelik liflere oranla daha fazladır.

Vakumlu betona yapılan çelik lif takviyesi;

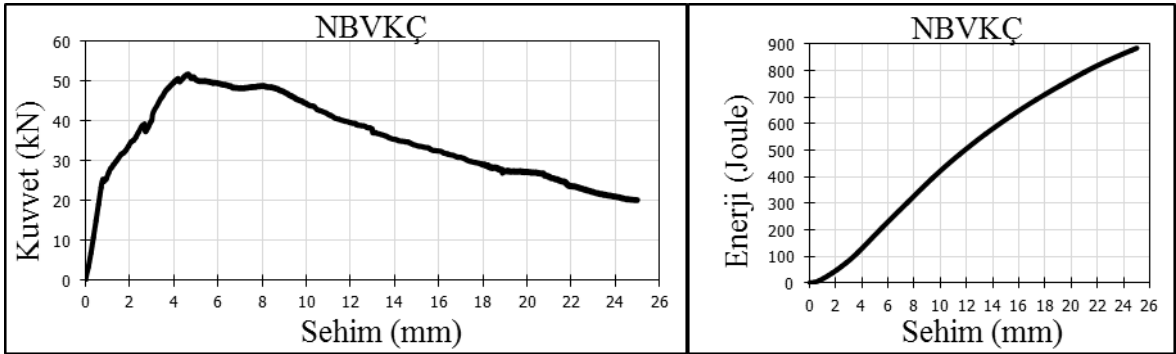
C25/30 vakumlu betonun yük-sehim ve enerji-sehim grafikleri Şekil 4.25’de gösterilmektedir. NAVKÇ, NBVKÇ, NCVKÇ’nin Şekil 4.26, Şekil 4.27, Şekil 4.28’deki plak testlerinin kırılma yüklerine bakıldığında vakumlu betona göre ~%30 daha fazla olduğu ve en fazla artış ise NBVKÇ’de görülmektedir. Enerji yutma kapasitelerinde ise kısa lifli betonlar vakumlu referans betona göre ~7 kat daha fazla enerji yutma kapasitelerine sahip oldukları tespit edilmiştir.



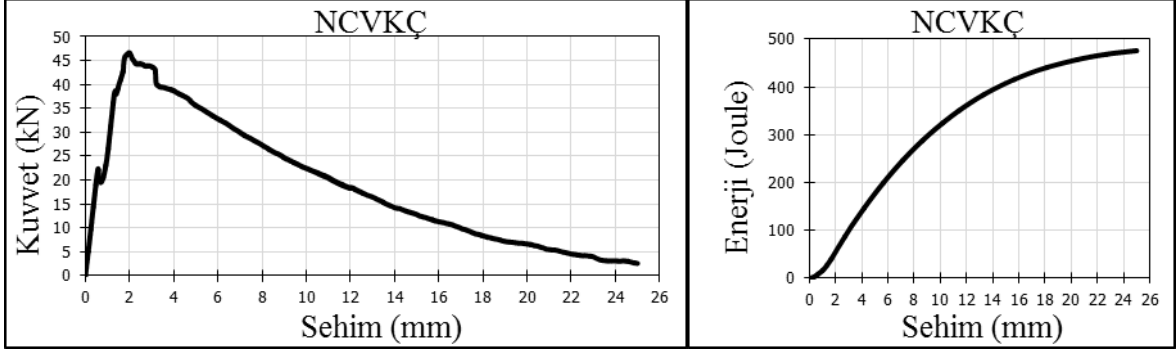
Şekil 4.25. NVR lifli betonların yük-sehim ve enerji-sehim grafikleri



Şekil 4.26. NAVKÇ lifli betonların yük-sehim ve enerji-sehim grafikleri

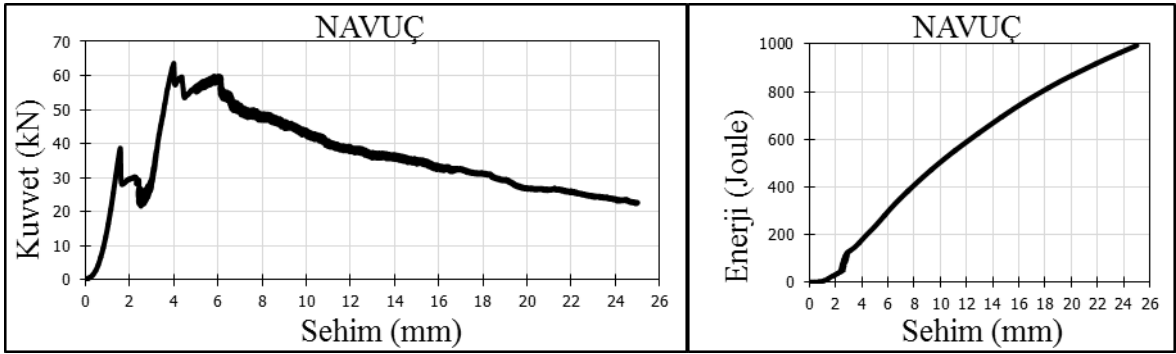


Şekil 4.27. NBVKÇ lifli betonların yük-sehim ve enerji-sehim grafikleri

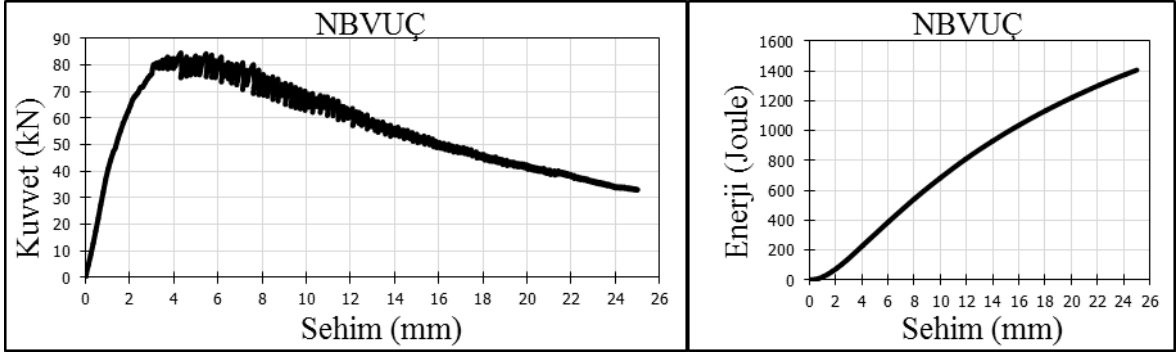


Şekil 4.28. NCVKÇ lifli betonların yük-sehim ve enerji-sehim grafikleri

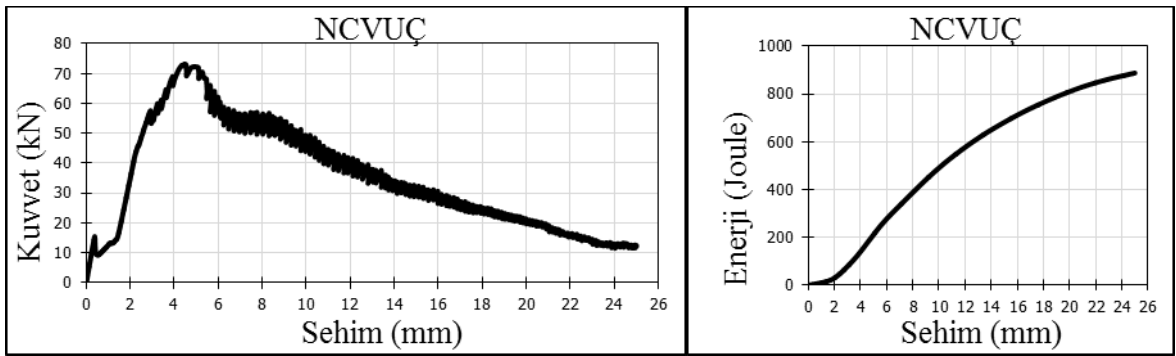
Vakumlu betona uzun çelik lif takviyesi yapıldığında meydana gelen yük-sehim ve enerji-sehim grafikleri Şekil 4.29, Şekil 4.30, Şekil 4.31 (NAVUÇ, NBVUÇ, NCVUÇ)'de gösterilmektedir. Yük-sehim grafiklerindeki ilk kırılma yüklerine bakıldığında vakumlu referans betona göre ~%90-95 daha fazla olup kısa çelik liflerdeki gibi en iyi artışı B oranıyla yani NBVUÇ'de görülmüştür. Enerji yutma kapasiteleri incelendiğinde vakumlu referansa göre ~14 kat daha fazla enerji yutma kapasitelerine sahip oldukları tespit edilmiştir.



Şekil 4.29. NAVUÇ lifli betonların yük-sehim ve enerji-sehim grafikleri



Şekil 4.30. NBVUÇ lifli betonların yük-sehim ve enerji-sehim grafikleri



Şekil 4.31. NCVUÇ lifli betonların yük-sehim ve enerji-sehim grafikleri

Referans betonda olduğu gibi vakumlu betona katılan uzun çelik lifler kısa çelik liflere göre daha fazla yüke dayanabilme ve enerji yutma kapasitesine sahiptir. Uzun çelik liflerin kısa çelik liflere göre %60 daha fazla yüke dayanmakta, enerji yutma kapasiteleri ise %55 civarında kısa çelik liflere oranla daha fazla olmaktadır.

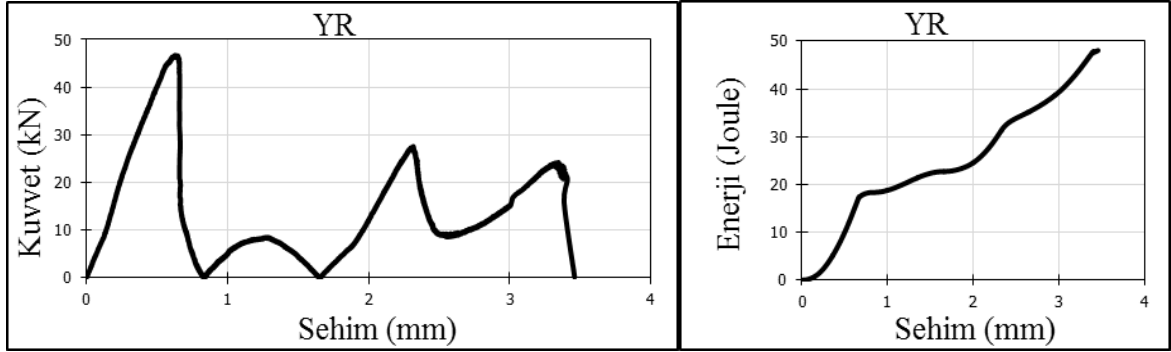
Sonuç olarak; normal dayanım sınıfında lifsiz vakumlu betonlar referans betonlara göre daha fazla yüke dayanabilmekte ve enerji yutmaları fazla olmaktadır. A, B, C oranlarında bu betonlara kısa veya uzun çelik lif takviyesi yapıldığında yüke dayanımı ve enerji yutma kapasitesi en fazla vakumlu betonlarda, lif boyutuna göre ise uzun liflerde olduğu gözlemlenmektedir.

4.2.1.3. C35/45 Betonu Plak Testi

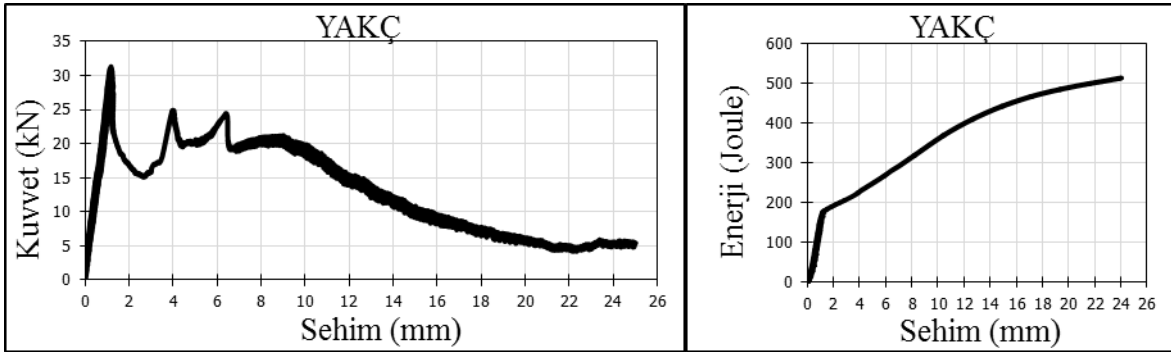
Referans betona yapılan çelik lif takviyesi;

C35/45 referans betonun yük-sehim ve enerji-sehim grafikleri Şekil 4.32’de görülmektedir. YAKÇ, YBKÇ, YCKÇ’nin Şekil 4.33, Şekil 4.34, Şekil 4.35’deki gibi yük-

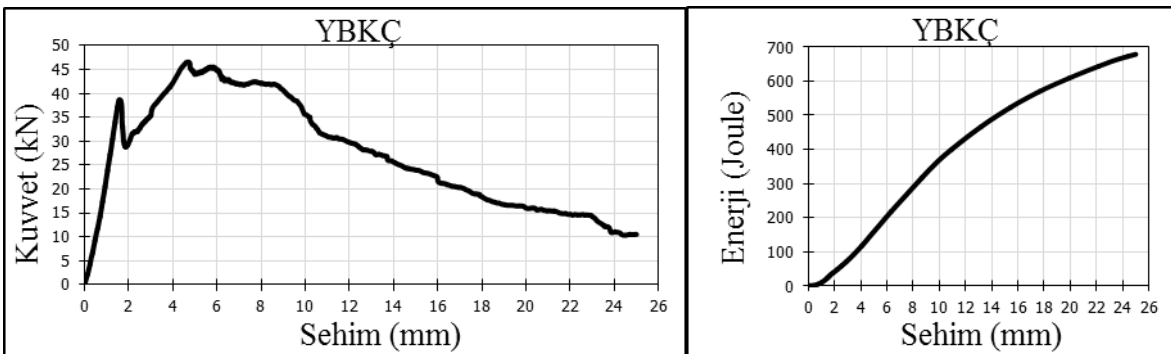
sehim grafiklerindeki ilk kırılma yüklerine bakıldığında referans betona göre ~%30-35 azalış olduğu görülmüştür. İlk kırılmadan sonraki kırılmalarda dahi referans betonun kırılma yük değeri üzerine çıkamamışlardır. Enerji yutma kapasitelerine bakıldığında ise referans betona göre ~14 kat daha fazla enerji yutma kapasitelerine sahip oldukları görülmüştür.



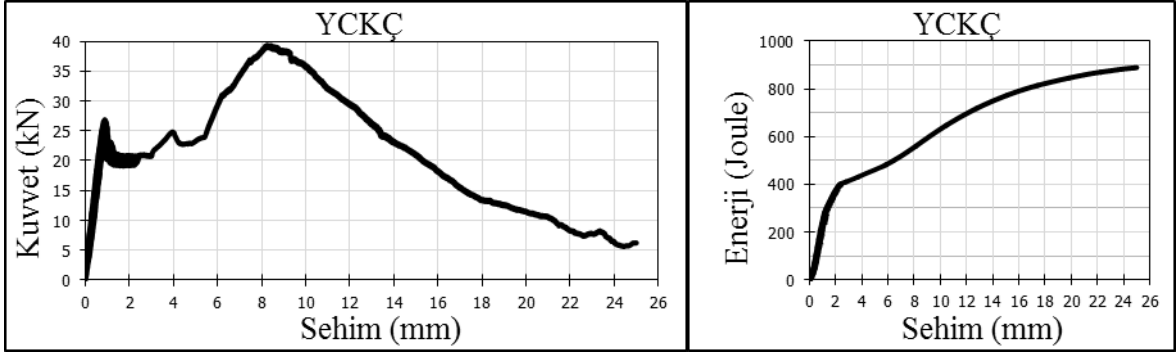
Şekil 4.32. YR lifli betonların yük-sehim ve enerji-sehim grafikleri



Şekil 4.33. YAKÇ lifli betonların yük-sehim ve enerji-sehim grafikleri

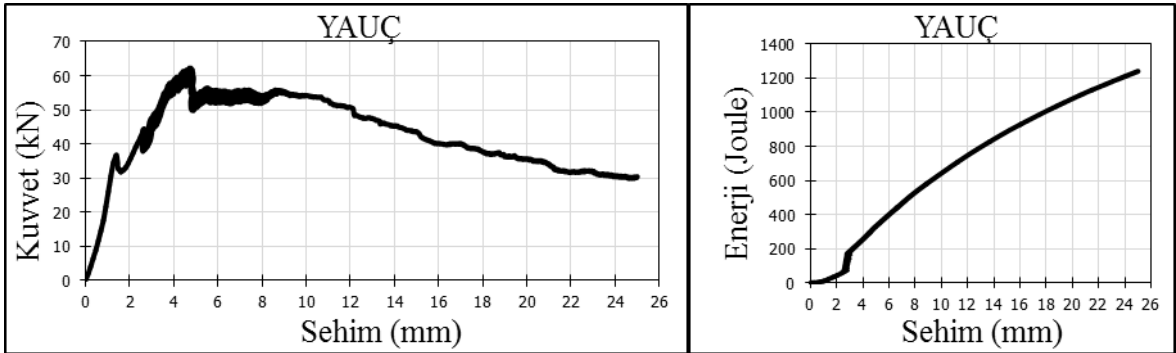


Şekil 4.34. YBKÇ lifli betonların yük-sehim ve enerji-sehim grafikleri

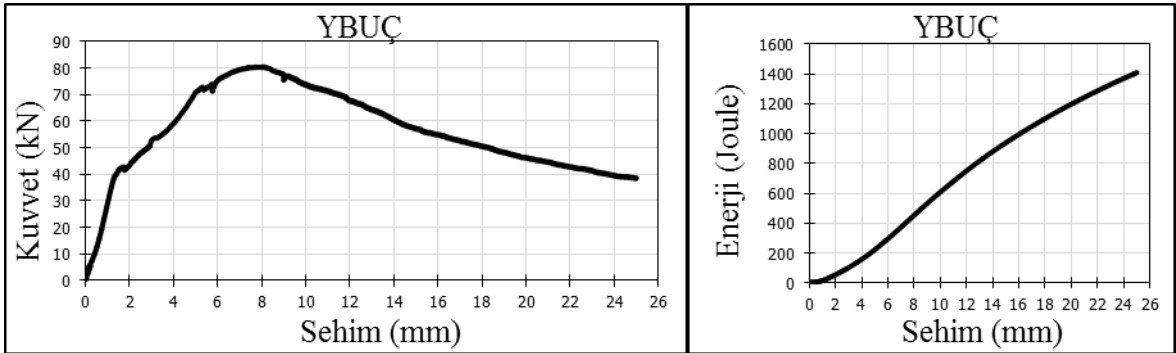


Şekil 4.35. YCKÇ lifli betonların yük-sehim ve enerji-sehim grafikleri

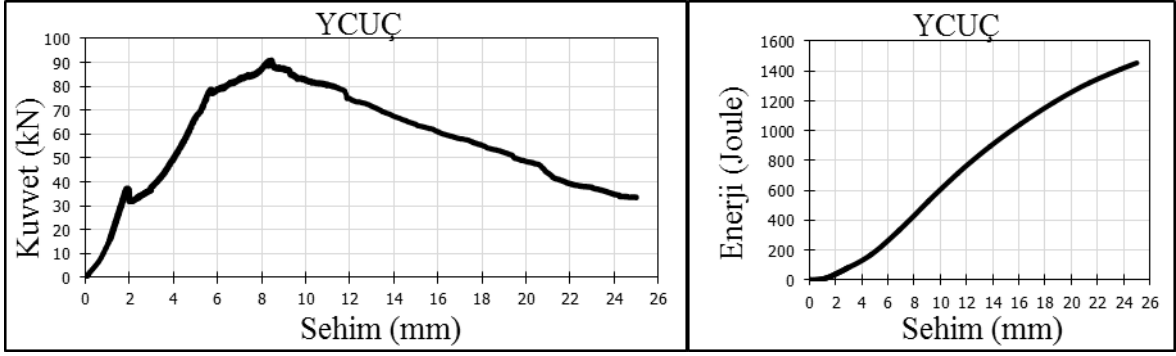
Şekil 4.36, Şekil 4.37, Şekil 4.38’de YAUÇ, YBUÇ, YCUÇ’nin yük-sehim ve enerji-sehim grafikleri gösterilmektedir. Plak testlerine bakıldığında ilk kırılma yükleri referans betona göre ~%15-20 azalmaktadır. İlk kırılmadan sonra ise lif oranı arttıkça yük taşıma kapasitesi de artmaktadır. Hatta ilk kırılmaya göre hepsinin yük miktarı artmıştır. Enerji yutma kapasiteleri irdelendiğinde ~27 kat daha fazla enerji yutma kapasitelerine sahip oldukları görülmektedir.



Şekil 4.36. YAUÇ lifli betonların yük-sehim ve enerji-sehim grafikleri



Şekil 4.37. YBUÇ lifli betonların yük-sehim ve enerji-sehim grafikleri

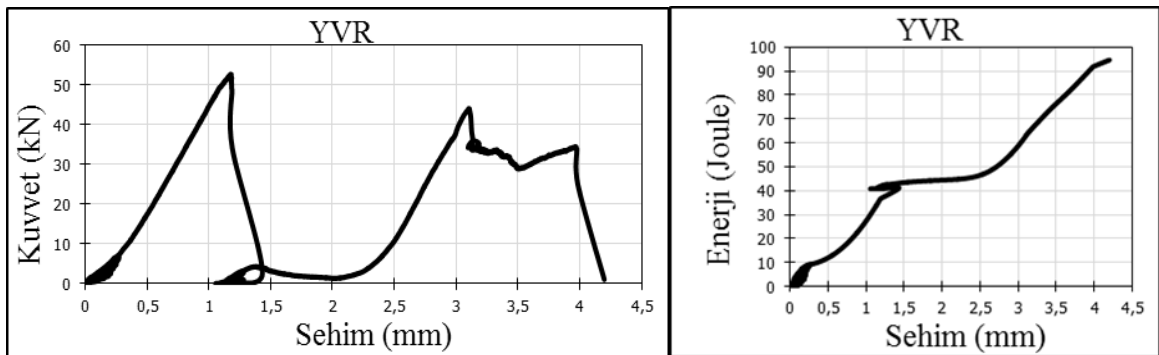


Şekil 4.38. YCUÇ lifli betonların yük-sehim ve enerji-sehim grafikleri

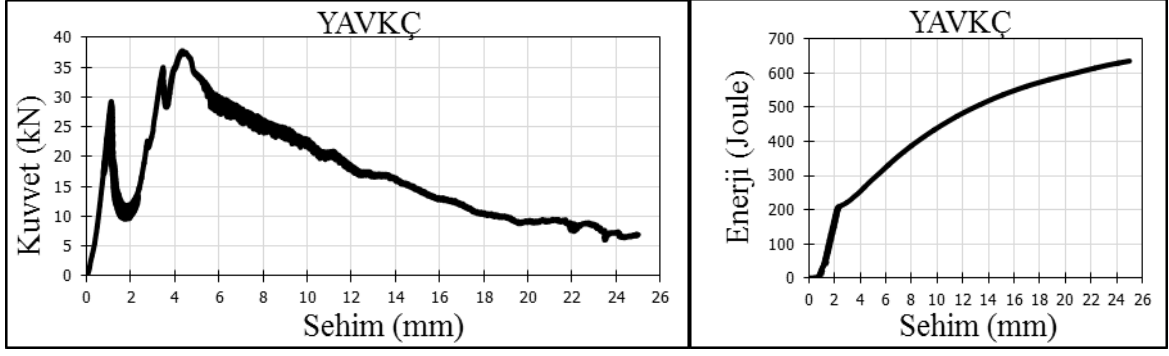
Referans betona katılan kısa çelik lifler yüke karşı dayanımda bir artışa sebep olmamakta ancak uzun çelik lifler ise %100'lük bir artışa sebep olmaktadır. Yine uzun çelik liflerin enerji yutma kapasiteleri kısa çelik liflere göre yaklaşık %60 daha fazladır.

Vakumlu betona yapılan çelik lif takviyesi;

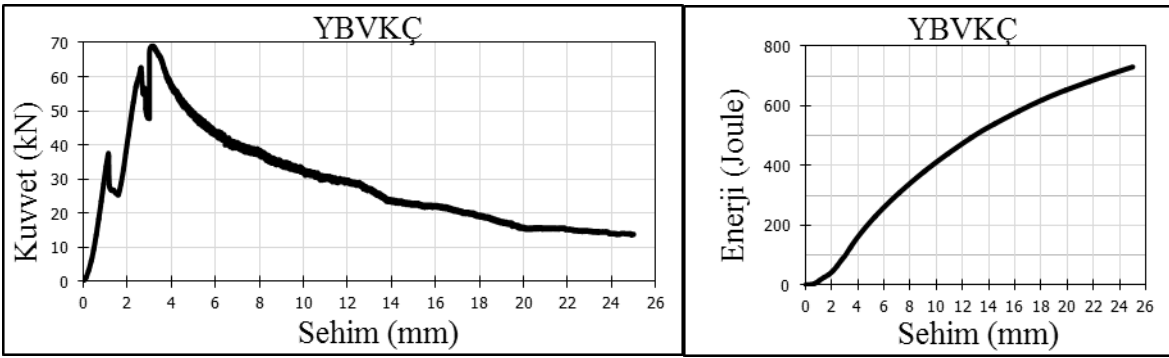
C35/45 vakumlu betonun yük-sehim ve enerji-sehim grafikleri Şekil 4.39'daki gibidir. Vakumlu betona yapılan takviyeler sonucunda YAVKÇ, YBVKÇ, YCVKÇ'deki yük-sehim ve enerji-sehim grafikleri Şekil 4.40, Şekil 4.41, Şekil 4.42'de gösterilmektedir. Plak testlerinde ilk kırılma yüklerine bakıldığında vakumlu referans betonun kırılma yükü daha fazla olduğu görülmektedir. Ancak ilk kırılmadan sonra YBVKÇ, YCVKÇ'deki kırılma yükü vakumlu referansa göre daha yüksektir. Enerji yutma kapasiteleri irdelendiğinde ise vakumlu referans betona göre ~8 kat daha fazla enerji yutma kapasitelerinin olduğu gözlemlenmektedir.



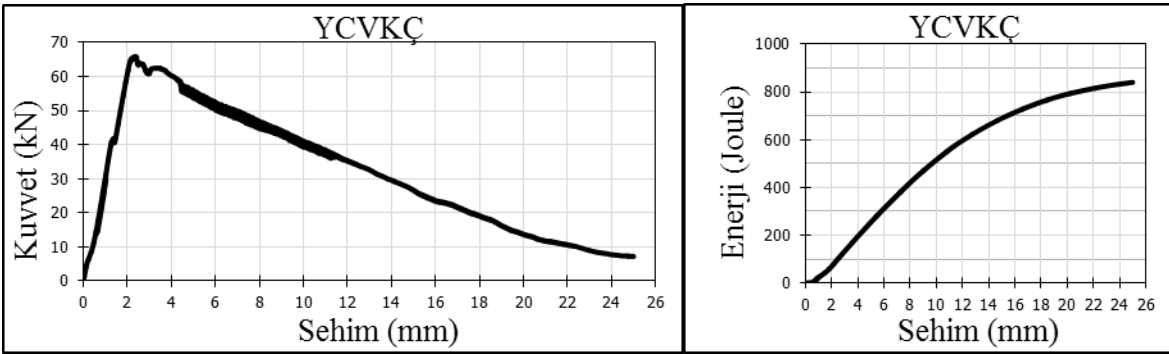
Şekil 4.39. YVR lifli betonların yük-sehim ve enerji-sehim grafikleri



Şekil 4.40. YAVKÇ lifli betonların yük-sehim ve enerji-sehim grafikleri

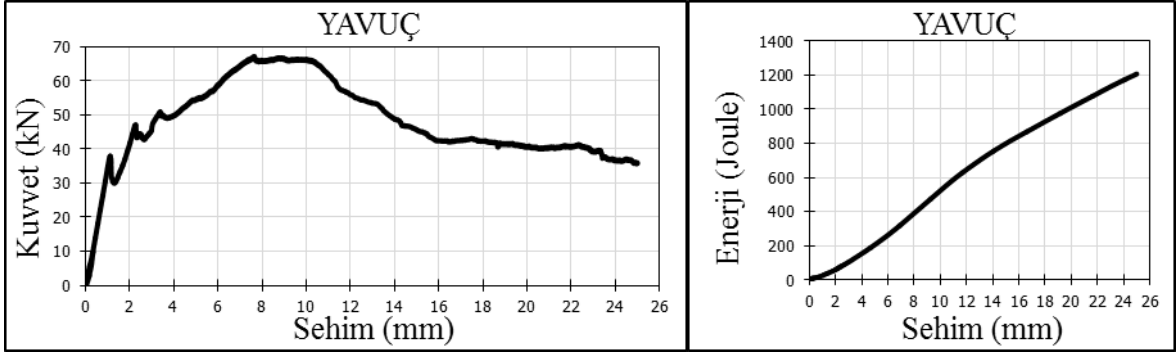


Şekil 4.41. YBVKÇ lifli betonların yük-sehim ve enerji-sehim grafikleri

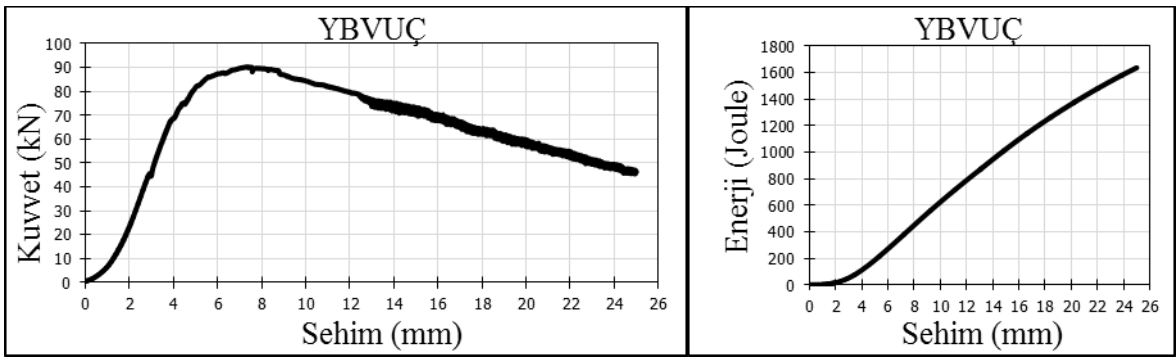


Şekil 4.42. YCVKÇ lifli betonların yük-sehim ve enerji-sehim grafikleri

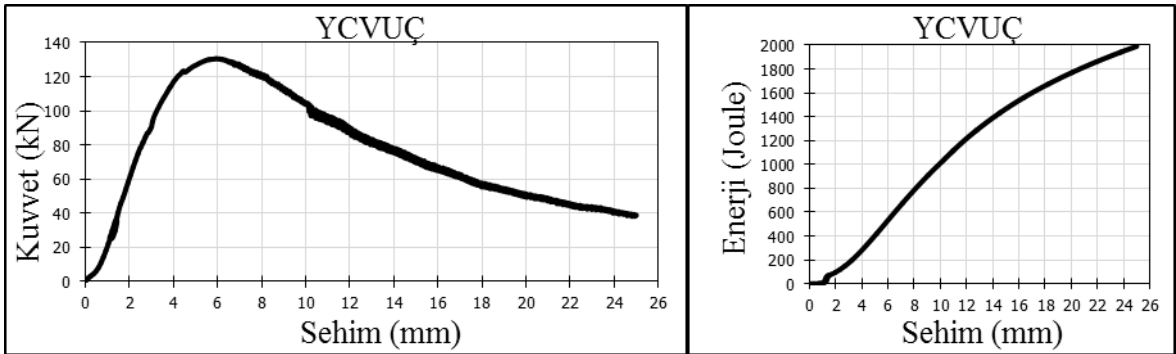
Şekil 4.43, Şekil 4.44 ve Şekil 4.45’de YAVUÇ, YBVUÇ, YCVUÇ’un yük-sehim ve enerji-sehim grafikleri gösterilmektedir. Plak testlerinde ilk kırılma yüklerine bakıldığında ~%65-70 vakumlu referans betona göre kırılma yükü daha fazladır. Ancak YAVUÇ’nin ilk kırılma yükü referansa göre daha düşük olup daha sonraki kırılmalar vakumlu referansa göre daha yüksektir. Enerji yutma kapasiteleri ise vakumlu referans betona göre ~17 kat daha fazla olduğu görülmektedir.



Şekil 4.43. YAVUÇ lifli betonların yük-sehim ve enerji-sehim grafikleri



Şekil 4.44. YBVUÇ lifli betonların yük-sehim ve enerji-sehim grafikleri



Şekil 4.45. YCVUÇ lifli betonların yük-sehim ve enerji-sehim grafikleri

Sonuç olarak; yüksek dayanım sınıfında vakumlu betonlar referanslara göre hem yüke karşı dayanımları hem de enerji yutma kapasiteleri daha fazla olmaktadır. Bu betonlara katılan uzun veya kısa çelik lifler sonucunda meydana gelen enerji yutma ve yüke dayanımları yine vakumlu betonlarda, lif boyutuna göre ise uzun liflerde daha yüksek sonuçlar vermektedir.

4.2.2. Kiriş Eğilme Testi

Çalışmada parametrelerin çok olmasından dolayı bulgular üzerindeki tartışmalar Şekil 4.1 plak testlerindeki gibi yapılmıştır. Kiriş eğilme testleri sonucunda lifli betonlar ile lifsiz betonlar arasında çeşitli farklılıklar görülmüştür. TS 10515'e göre eğilme testinin lifli betonlarda kiriş numunelerin merkezde 3 mm sehime olana kadar devam etmesi gerekmektedir. DR, DVR, NR, NVR, YR ve YVR betonlarında lif olmadığı için 3 mm sehime kadar bir eğilme olmamıştır. Bu betonlar en yüksek taşıma yükünden sonra kırılmış ve test sona erdirilmiştir. Standarda göre betonların tümünün en yüksek gerilmeleri dikkate alınarak "en yüksek eğilme gerilmesi" ve 3 mm sehime olana kadar yük-sehime eğri altında kalan alan dikkate alınarak "öngörülen eğilme gerilmeleri" hesaplanarak Tablo 4.2'de gösterilmiştir. DR, DVR, NR, NVR, YR ve YVR betonlarında lif olmadığı için "öngörülen eğilme gerilmeleri" hesaplanmamış ve tartışılmamıştır. Eğilme testleri betonlar tamamen 2 parçaya ayrılana kadar devam ettirilerek liflerin nereye kadar etki yaptığı da gözlemlenmiştir.

Tablo 4.2. Beton türlerinin en yüksek ve öngörülen eğilme gerilmeleri

Beton Sıra No	Beton kodu	En yüksek eğilme gerilmeleri (MPa)	Öngörülen eğilme gerilmeleri (MPa)
1	DR	2.618978	0
2	DVR	3.577526	0
3	DAKÇ	2.767763	0.08528
4	DBKÇ	4.184889	1.438963
5	DCKÇ	4.010519	5.673827
6	DAVKÇ	3.126444	0.57602
7	DBVKÇ	4.702459	5.929136
8	DCVKÇ	4.174296	2.909975
9	DAUÇ	3.581274	0.508444
10	DBUÇ	3.244756	4.278864
11	DCUÇ	3.461659	3.473284
12	DAVUÇ	3.63603	1.506321
13	DBVUÇ	3.465407	6.999802
14	DCVUÇ	3.974667	12.63398
15	NR	3.000637	0
16	NVR	4.282015	0
17	NAKÇ	3.918607	0.337877
18	NBKÇ	4.6904	1.855062
19	NCKÇ	4.032193	1.703506
20	NAVKÇ	4.615926	4.010519
21	NBVKÇ	4.896222	4.869877
22	NCVKÇ	4.683881	2.073595
23	NAUÇ	3.480074	0.603506
24	NBUÇ	5.233067	17.23605
25	NCUÇ	5.989215	22.56602
26	NAVUÇ	3.595452	3.353778
27	NBVUÇ	5.45763	16.42395
28	NCVUÇ	6.677896	27.40765
29	YR	4.401141	0
30	YVR	4.009867	0
31	YAKÇ	4.195807	5.211556
32	YBKÇ	5.372074	5.319654
33	YCKÇ	4.353881	3.191358
34	YAVKÇ	4.765852	6.297975
35	YBVKÇ	5.834074	7.271407
36	YCVKÇ	5.1304	3.068593
37	YAUÇ	4.490444	2.579704
38	YBUÇ	5.673881	4.42879
39	YCUÇ	6.104756	4.542321
40	YAVUÇ	5.028711	3.355407
41	YBVUÇ	6.623467	6.623467
42	YCVUÇ	7.8496	7.269235

Betonların kırılma şekillerinde de farklılıklar görülmüştür. Lifsiz betonların tümü en yüksek yük altında kırılmıştır. Lifli betonlarda da betonlar en yüksek gerilmede kırılmış ancak lifler kirişlerin hem momentin en yüksek olması gereken kırılma yerini değiştirmiş hem de lif oranına bağlı olarak kırılmalar dağınık bir şekilde olmuştur. Şekil 4.46'da çelik lifli betonların kırılma şekilleri görülmektedir.

Genel olarak kiriş eğilme testlerinde betonlardaki lif dağılımı ve kırılma davranışı plak testlerindeki gibi görülmüştür.

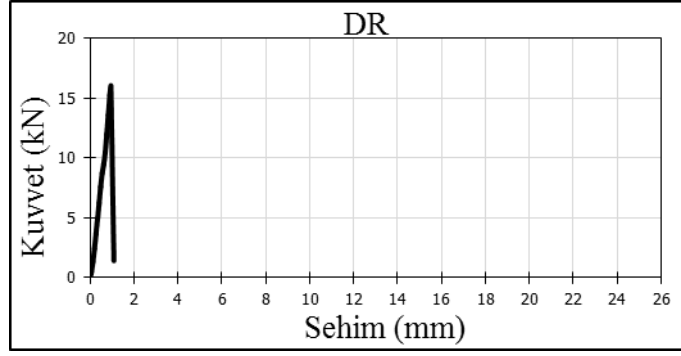


Şekil 4.46. Çelik lifli betonların kiriş eğilme testleri

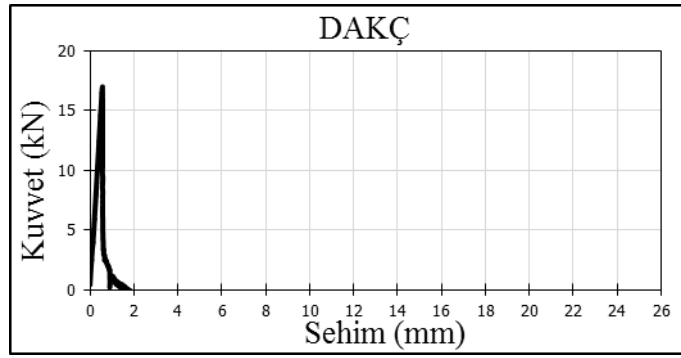
4.2.2.1. C16/20 Betonlu Kiriş Eğilme Testi

Referans veya vakumlu betonlara yapılan kısa çelik lif takviyesi;

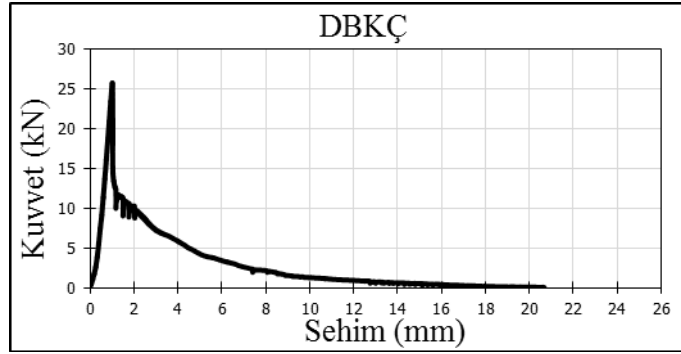
C16/20 referans betonun Şekil 4.47'deki kuvvet sehim grafiğine bakıldığında; DR betonu DAKÇ, DBKÇ, DCKÇ (Şekil 4.48, Şekil 4.49, Şekil 4.50) betonlarına kıyasla kırılma yükü daha düşüktür. DBKÇ betonu en yüksek kırılma yükü ve eğilme gerilmesine sahip olup DR'ye göre bu değerler ~% 60 daha fazladır. Öngörülen eğilme gerilmesine bakıldığında ise en yüksek gerilmesine DCKÇ betonu sahip olduğu görülmektedir.



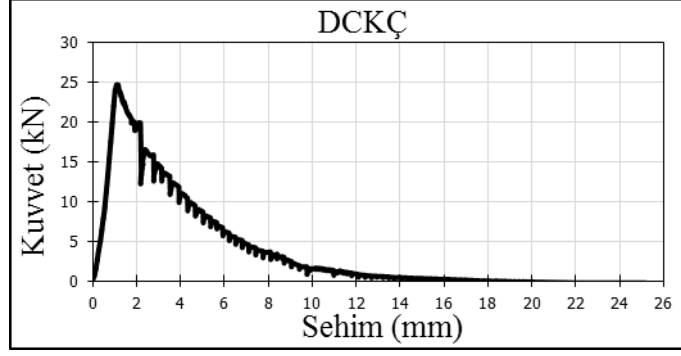
Şekil 4.47. DR betonların yük-sehim grafiği



Şekil 4.48. DAKÇ lifli betonların yük-sehim grafiği

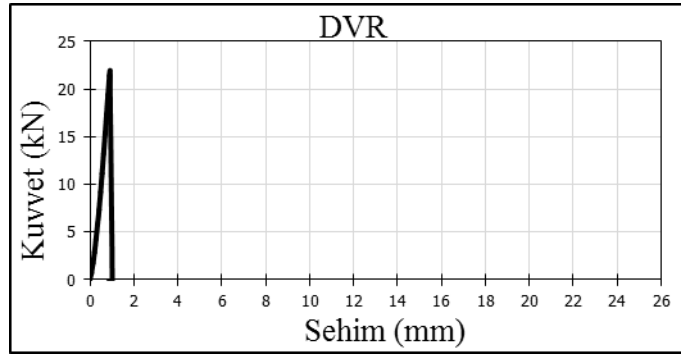


Şekil 4.49. DBKÇ lifli betonların yük-sehim grafiği

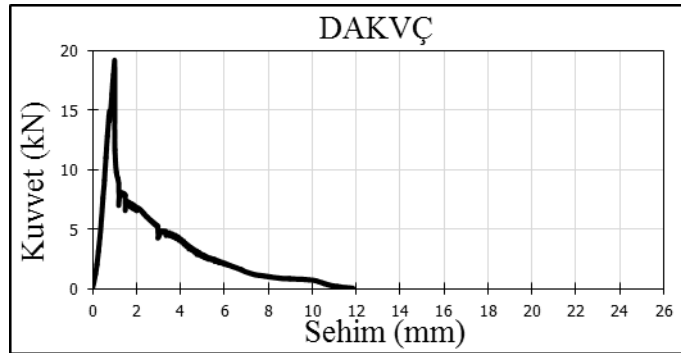


Şekil 4.50. DCKÇ lifli betonların yük-sehim grafiği

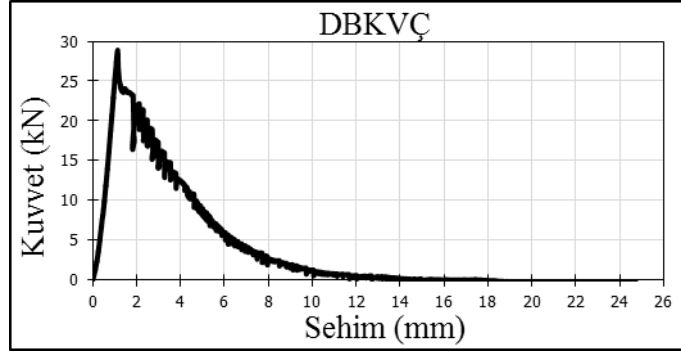
Kuvvet-sehim grafikleri Şekil 4.52, Şekil 4.53, Şekil 4.54 deki DAKVÇ, DBKVÇ, DCKVÇ betonları Şekil 4.51'deki DVR betonu ile kıyaslandığında kırılma yükü ve eğilme gerilmesi en yüksek olan DBVKÇ betonu olup DVR den ~% 30 daha fazladır. Kısa çelik lif takviyesi yapılan karışımlar arasında ise en yüksek öngörülen eğilme gerilmesine sahip karışım yine DBKVÇ betonudur.



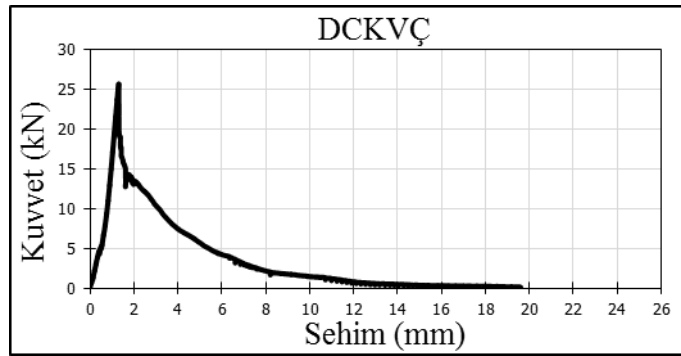
Şekil 4.51. DVR betonların yük-sehim grafiği



Şekil 4.52. DAKVÇ lifli betonların yük-sehim grafiği



Şekil 4.53. DBKVÇ lifli betonların yük-sehim grafiği

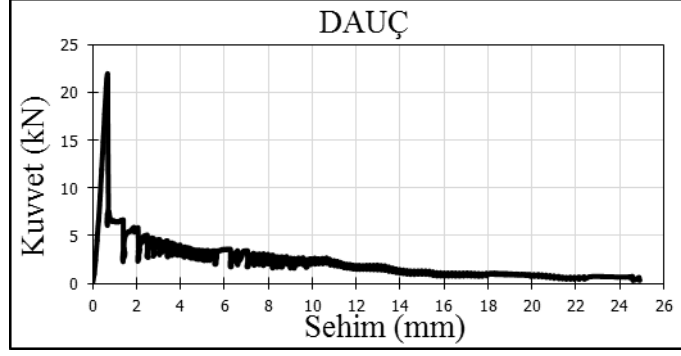


Şekil 4.54. DCKVÇ lifli betonların yük-sehim grafiği

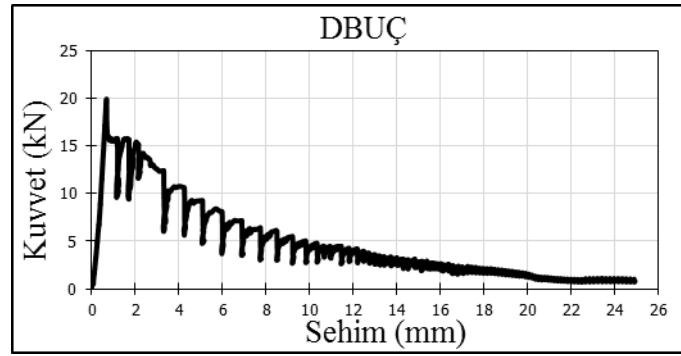
Sonuç olarak; DVR betonu DR betonuna kıyasla kırılma yükü ve eğilme gerilmesi ~%35 daha yüksek olup en yüksek eğilme ve öngörülen eğilme gerilmesine DBKVÇ betonu sahiptir.

Referans veya vakumlu betonlara yapılan uzun çelik lif takviyesi;

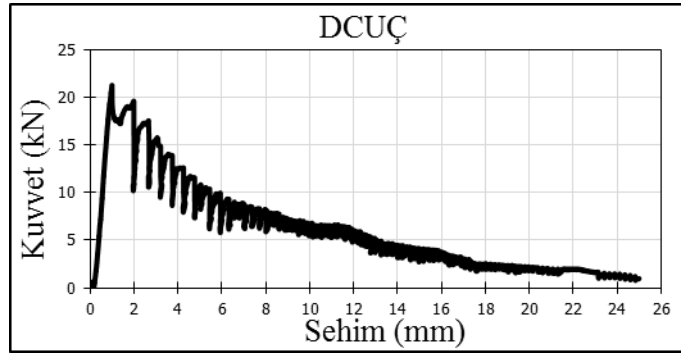
Şekil 4.55, Şekil 4.56, Şekil 4.57'deki DAUÇ, DBUÇ, DCUÇ betonlarına ait kuvvet-sehim grafiklerine bakıldığında DR'ye kıyasla kırılma yükü ve eğilme gerilmesi en yüksek olan DAUÇ olup ~% 35 daha fazladır. Uzun çelik lif takviyesi yapılan karışımlardan ise öngörülen eğilme gerilmesi en yüksek DBUÇ'dir.



Şekil 4.55. DAUÇ lifli betonların yük-sehim grafiği

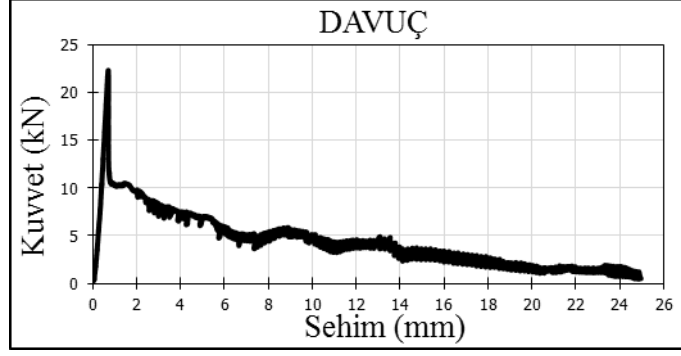


Şekil 4.56. DBUÇ lifli betonların yük-sehim grafiği

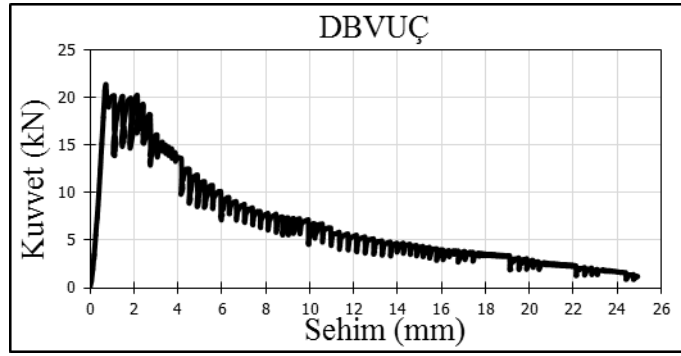


Şekil 4.57. DCUÇ lifli betonların yük-sehim grafiği

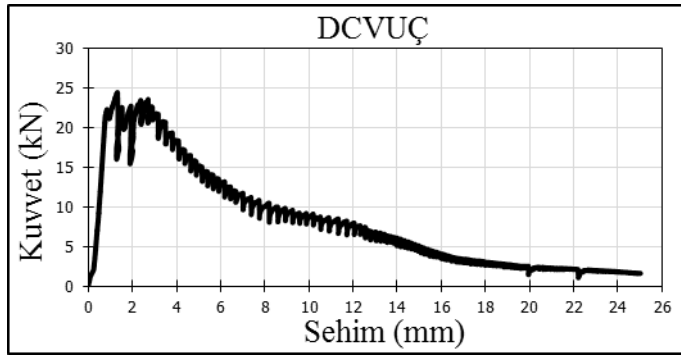
C16/20 vakumlu betonu Şekil 4.58, Şekil 4.59, Şekil 4.60'daki kuvvet-sehim grafiklerine sahip DAVUÇ, DBVUÇ, DCVUÇ betonlarıyla kıyasla en yüksek kırılma yükü ve eğilme gerilmesine DCVUÇ sahip olup DVR'ye göre ~% 10 daha fazladır. Yine öngörülen eğilme gerilmesi en yüksek olan karışım DCVUÇ betonudur.



Şekil 4.58. DAVUÇ lifli betonların yük-sehim grafiği



Şekil 4.59. DBVUÇ lifli betonların yük-sehim grafiği



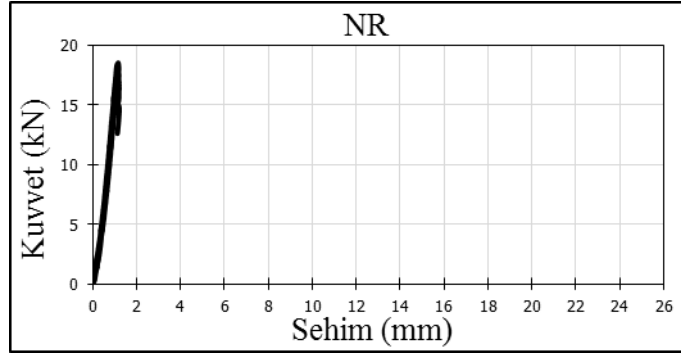
Şekil 4.60. DCVUÇ lifli betonların yük-sehim grafiği

Sonuç olarak; uzun çelik liflerde kırılma yükü ve eğilme gerilmesi en yüksek olan beton Şekil 4.60'daki DCVUÇ olup, öngörülen eğilme gerilmesi de en yüksek olan yine bu betondur.

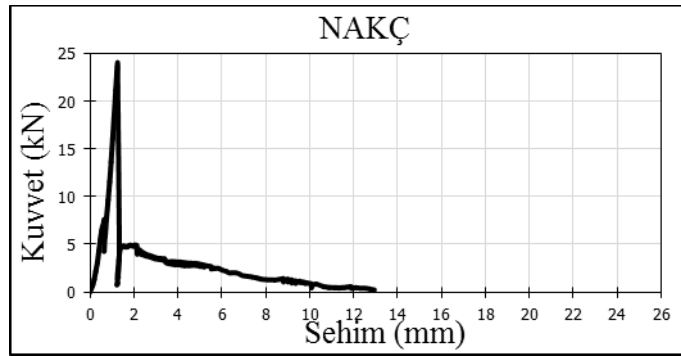
4.2.2.2. C25/30 Betonu Kiriş Eğilme Testi

Referans veya vakumlu betonlara yapılan kısa çelik lif takviyesi;

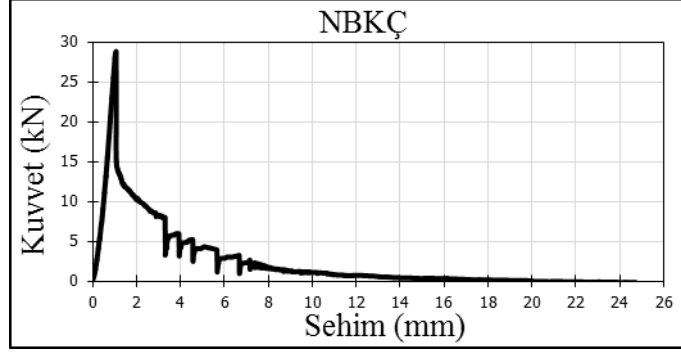
Şekil 4.61'deki C25/30 referans betonun kuvvet sehim grafiği Şekil 4.62, Şekil 4.63, Şekil 4.64'deki NAKÇ, NBKÇ, NCKÇ betonlarıyla kıyaslandığında kırılma yükü ve en büyük eğilme gerilmesi daha düşük olup kısa çelik lif katkılı betonlar arasında ise en yüksek kırılma yükü ve eğilme gerilmesine NBKÇ betonu sahiptir. NR ye göre kırılma yükü ve eğilme gerilmesi ~% 55 daha fazladır. Öngörülen eğilme gerilmelerine bakıldığında ise en yüksek değere yine NBKÇ betonu sahiptir.



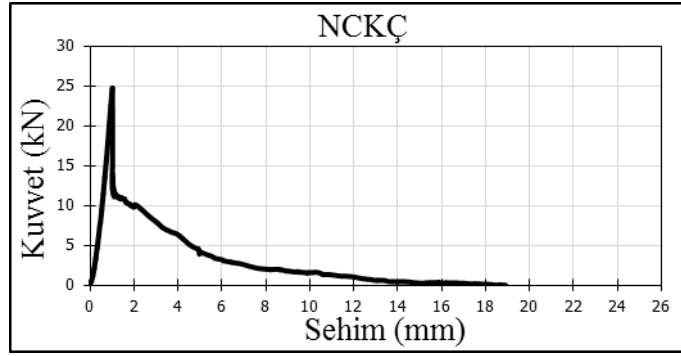
Şekil 4.61. NR betonların yük-sehim grafiği



Şekil 4.62. NAKÇ lifli betonların yük-sehim grafiği

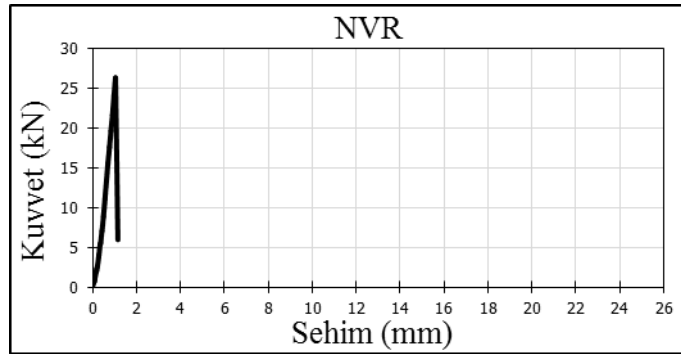


Şekil 4.63. NBKÇ lifli betonların yük-sehim grafiği

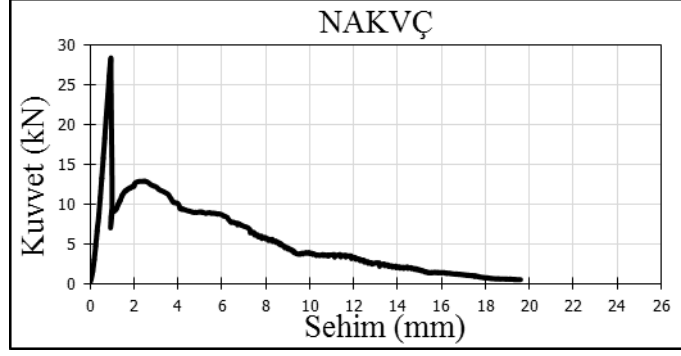


Şekil 4.64. NCKÇ lifli betonların yük-sehim grafiği

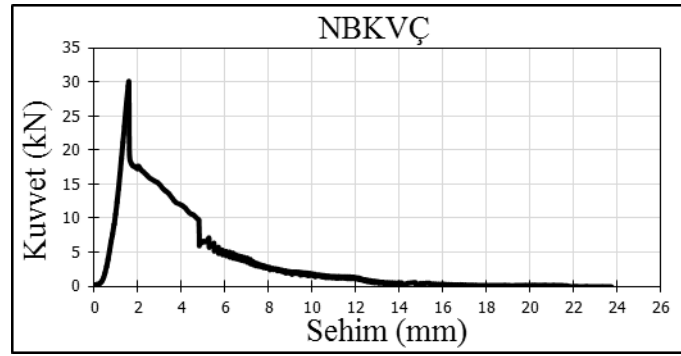
NAKVÇ, NBKVÇ, NCKVÇ betonlarının sahip oldukları kuvvet sehim grafikleri Şekil 4.66, Şekil 4.67, Şekil 4.68 gösterilmektedir. Bu betonları Şekil 4.67'de kuvvet sehim grafiği gösterilen NVR betonu ile kıyasladığımızda en büyük eğilme gerilmesi ve kırılma yükleri her birinin NVR betonuna göre daha yüksek olup NBKVÇ betonu içlerinde en yüksek değerlere sahiptir. Yaklaşık olarak NVR betonundan ~% 15 daha fazladır. Öngörülen eğilme gerilmelerine bakıldığında ise en yüksek değere yine NBKVÇ betonu sahiptir.



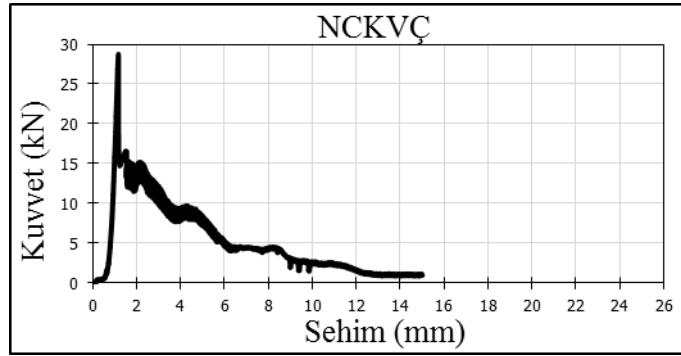
Şekil 4.65. NVR betonların yük-sehim grafiği



Şekil 4.66. NAKVÇ lifli betonların yük-sehim grafiği



Şekil 4.67. NBKVÇ lifli betonların yük-sehim grafiği



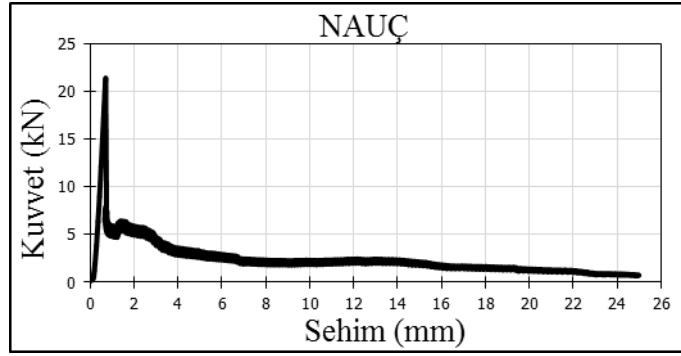
Şekil 4.68. NCKVÇ lifli betonların yük-sehim grafiği

Sonuç olarak; NVR betonu NR betonuna kıyasla kırılma yükü ve eğilme gerilmesi ~% 40 daha yüksek olup en yüksek öngörülen eğilme gerilmesine NBKVÇ betonu sahiptir.

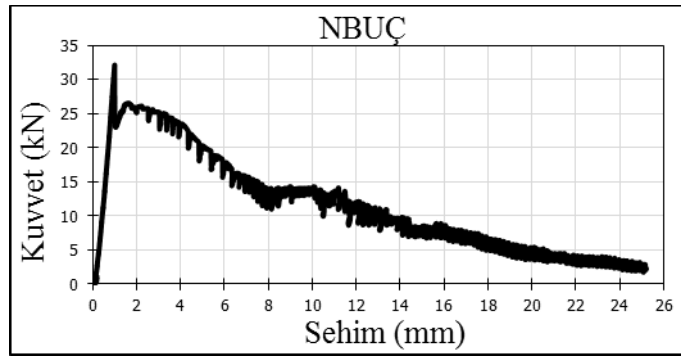
Referans veya vakumlu betonlara yapılan uzun çelik lif takviyesi;

C25/30 referans betonun Şekil 4.61'deki kuvvet sehim grafiği ile Şekil 4.69, Şekil 4.70, Şekil 4.71'deki NAKVÇ, NBUÇ, NCUÇ betonlarının kuvvet sehim grafiğine bakılarak en büyük eğilme gerilmesi ve kırılma yükü hakkında bir kıyaslama yapıldığında NR

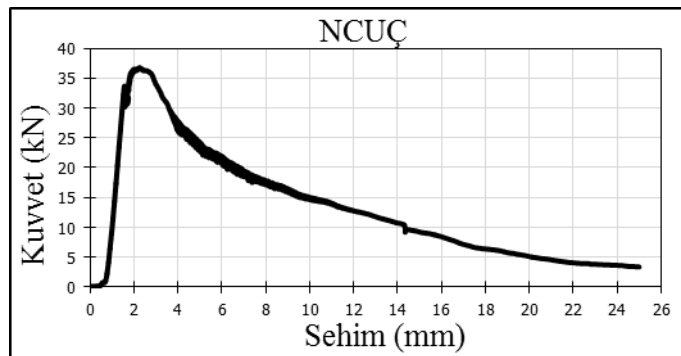
betonun deęerlerinin hepsinden dűşük olduęu ve içlerinde en iyi performansa NCU betonunu sahip olduęu anlařılmaktadır. NCU betonunun en bűyűk eęilme gerilmesi ve kırılma yűkű NR ye kıyasla ~2 kat daha fazladır. ngörűlen eęilme gerilmelerine bakıldıęında ise en yűksek deęere yine NCU betonu sahiptir.



řekil 4.69. NAU lifli betonların yűk-sehim grafięi

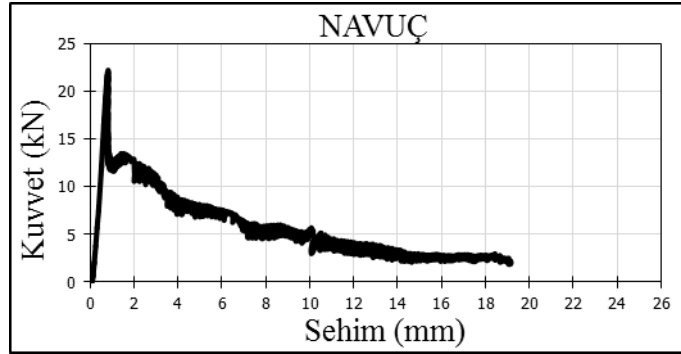


řekil 4.70. NBU lifli betonların yűk-sehim grafięi

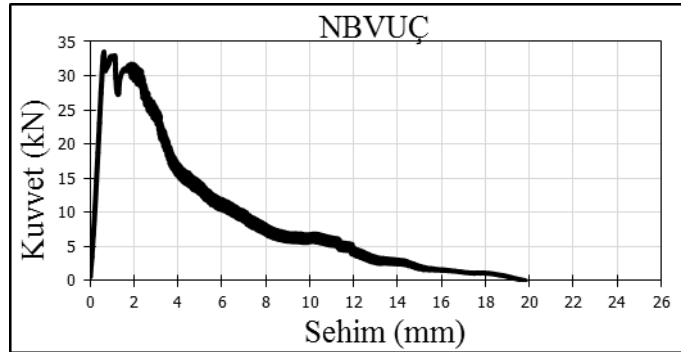


řekil 4.71. NCU lifli betonların yűk-sehim grafięi

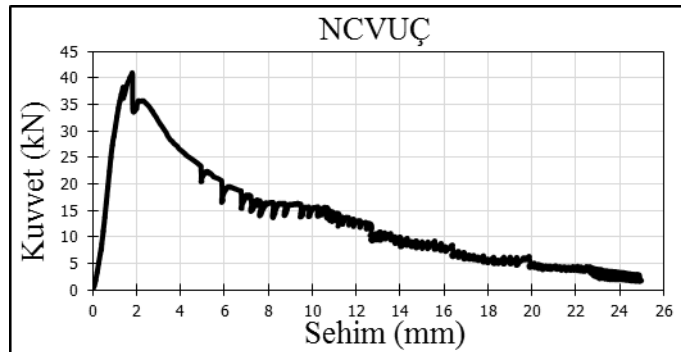
NAVUÇ, NBVUÇ, NCVUÇ betonlarına ait olan Şekil 4.72, Şekil 4.73, Şekil 4.74'deki kuvvet sehim grafiklerine bakılarak Şekil 4.62'deki NVR betonu ile kıyaslayacak olursak NAVUÇ betonu dışındaki diğer ikisinin kırılma yükü ve eğilme gerilmeleri daha yüksek olup NCVUÇ betonunun değeri en yüksektir. NCVUÇ betonu NVR ye göre kırılma yükü ve eğilme gerilmesi ~% 55 daha fazladır. Öngörülen eğilme gerilmelerine baktığımızda ise yine NCVUÇ betonu en yüksek değere sahiptir.



Şekil 4.72. NAVUÇ lifli betonların yük-sehim grafiği



Şekil 4.73. NBVUÇ lifli betonların yük-sehim grafiği



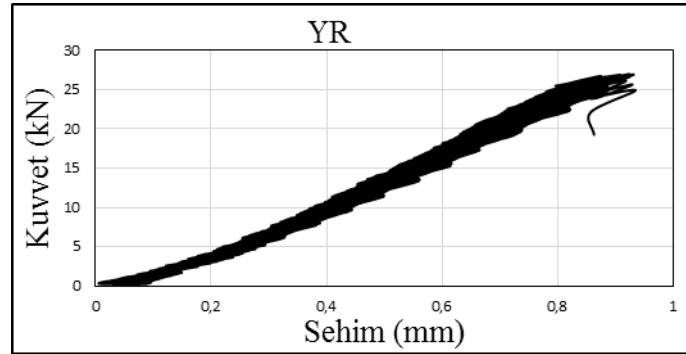
Şekil 4.74. NCVUÇ lifli betonların yük-sehim grafiği

Sonuç olarak; uzun çelik liflerde kırılma yükü ve eğilme gerilmesi en yüksek olan beton NCVUÇ olup, öngörülen eğilme gerilmesi de en yüksek olan yine bu betondur.

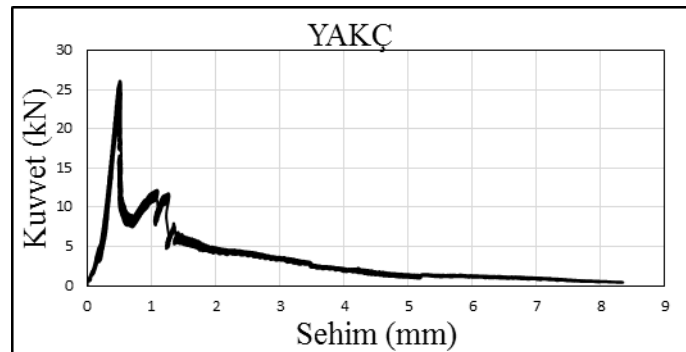
4.2.2.3. C35/45 Betonlu Kiriş Eğilme Testi

Referans veya vakumlu betonlara yapılan kısa çelik lif takviyesi;

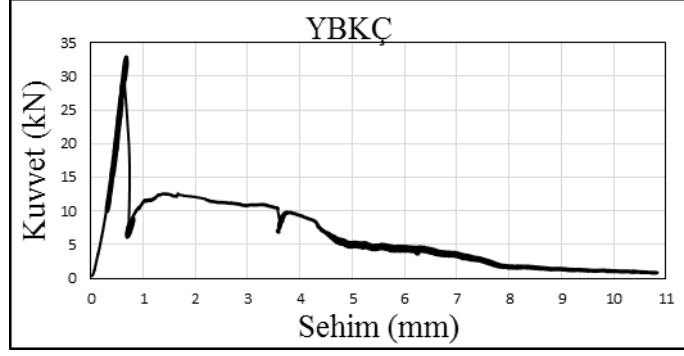
C35/45 referans betonun Şekil 4.75'deki kuvvet sehim grafiği ile Şekil 4.76, Şekil 4.77, Şekil 4.78'de gösterilen YAKÇ, YBKÇ, YCKÇ betonlarının kuvvet sehim grafikleri kıyaslandığında YAKÇ ve YCKÇ betonları YR betonuna göre eğilme gerilmesi ve kırılma yükü daha az olup bu açıdan en yüksek değere ise YBKÇ betonu sahiptir. YBKÇ betonu YR ye kıyasla ~% 20 eğilme gerilmesi ve kırılma yükü fazladır. Öngörülen eğilme gerilmelerine baktığımızda ise en yüksek değere yine YBKÇ betonunun sahip olduğu görülmektedir.



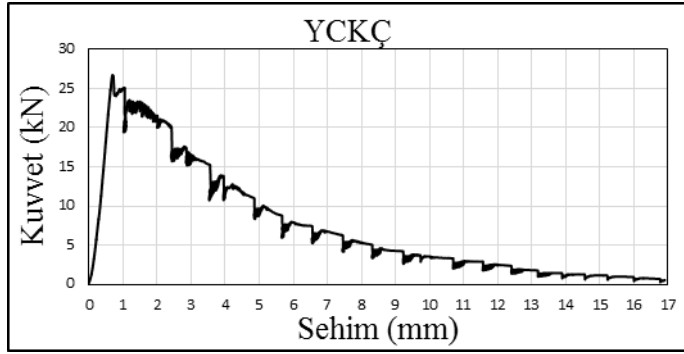
Şekil 4.75. YR betonların yük-sehim grafiği



Şekil 4.76. YAKÇ lifli betonların yük-sehim grafiği

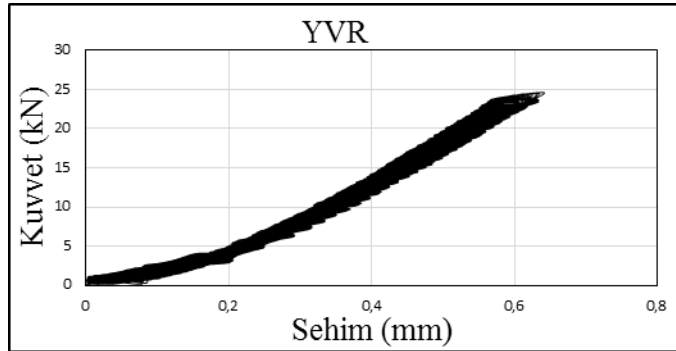


Şekil 4.77. YBKÇ lifli betonların yük-sehim grafiği

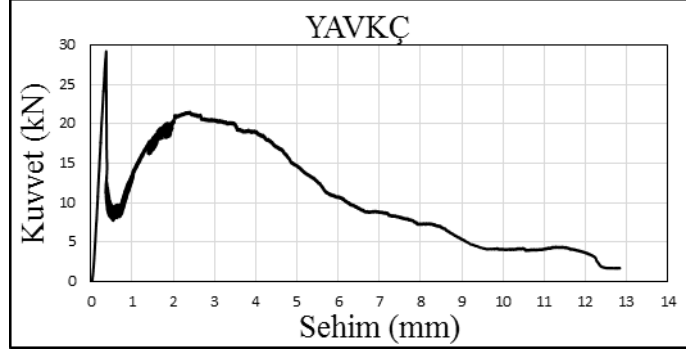


Şekil 4.78. YCKÇ lifli betonların yük-sehim grafiği

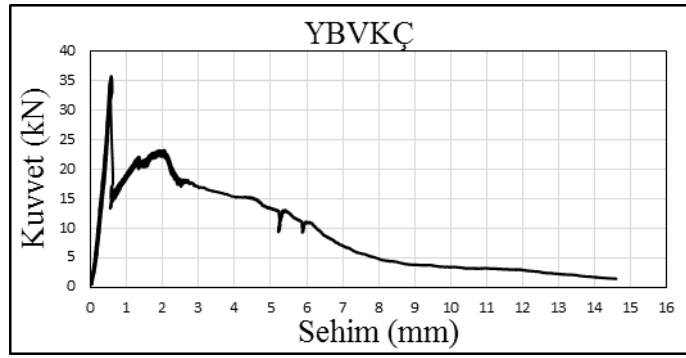
Şekil 4.80, Şekil 4.81, Şekil 4.82'deki YAKVÇ, YBKVÇ, YCKVÇ betonlarının kuvvet sehim grafikleri ile Şekil 4.79'daki YVR betonunun kuvvet sehim grafiği kıyaslandığında, YVR betonunun kırılma yükü ve eğilme gerilmesi diğerlerine göre daha düşüktür. En yüksek eğilme gerilmesi ve kırılma yükü değerine YBKVÇ betonu sahip olup YVR'ye göre ~% 45 daha fazladır. Öngörülen eğilme gerilmesi değeri ise en yüksek YBKVÇ betonu sahiptir.



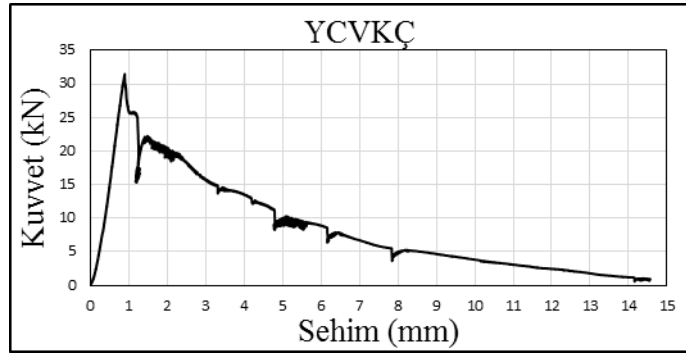
Şekil 4.79. YVR betonların yük-sehim grafiği



Şekil 4.80. YAVKÇ lifli betonların yük-sehim grafiği



Şekil 4.81. YBVKÇ lifli betonların yük-sehim grafiği



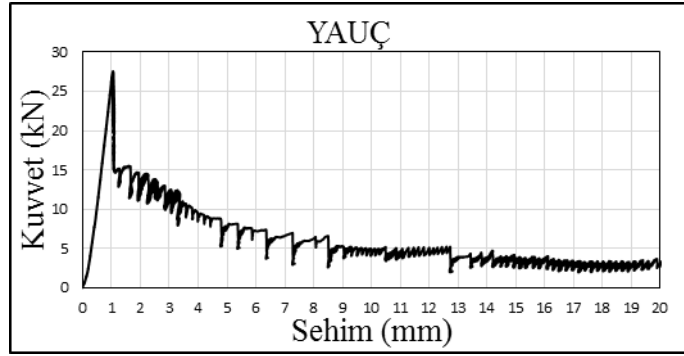
Şekil 4.82. YCVKÇ lifli betonların yük-sehim grafiği

Sonuç olarak; YR betonu YVR betonuna kıyasla kırılma yükü ve eğilme gerilmesi ~% 10 daha yüksek olup en yüksek öngörülen eğilme gerilmesine ise YBKVÇ betonu sahiptir.

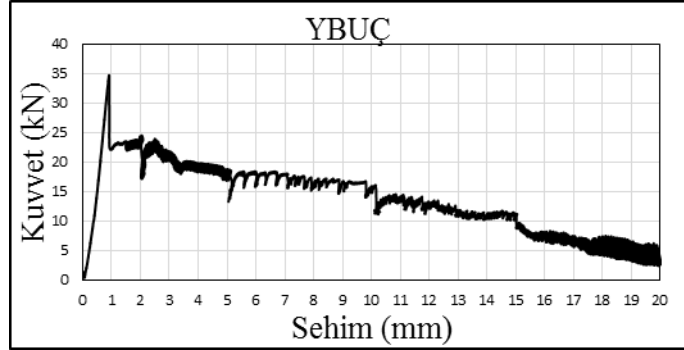
Referans veya vakumlu betonlara yapılan uzun çelik lif takviyesi;

C35/45 referans betonun Şekil 4.75'deki kuvvet sehim grafiği ile Şekil 4.83, Şekil 4.84, Şekil 4.85'deki YAUÇ, YBUÇ, YCUÇ betonlarının kuvvet sehim grafiklerine

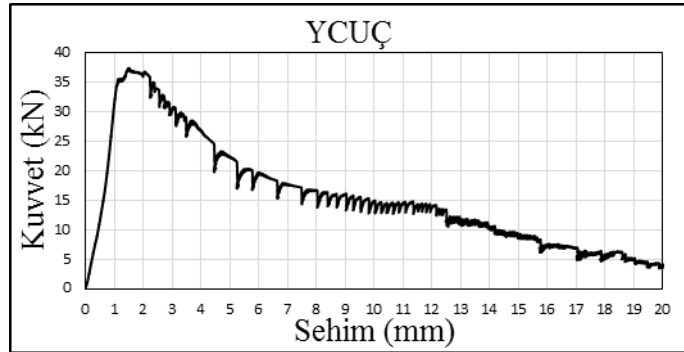
bakılarak en büyük eğilme gerilmesi ve kırılma yükü hakkında bir kıyaslama yapıldığında YR betonun değerlerinin diğerlerinden düşük olduğu ve içlerinde en yüksek değere YCUÇ betonu sahip olduğu görülmektedir. YR ye göre YCUÇ betonunun en büyük eğilme gerilmesi ve kırılma yükü ~% 40 daha fazladır. Öngörülen eğilme gerilmelerine bakıldığında ise en yüksek değere YBUÇ ve YCUÇ betonlarının sahip olduğu görülmektedir.



Şekil 4.83. YAUC lifli betonların yük-sehim grafiği

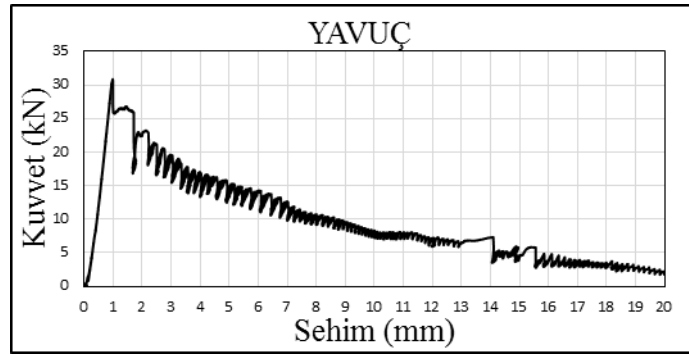


Şekil 4.84. YBUÇ lifli betonların yük-sehim grafiği

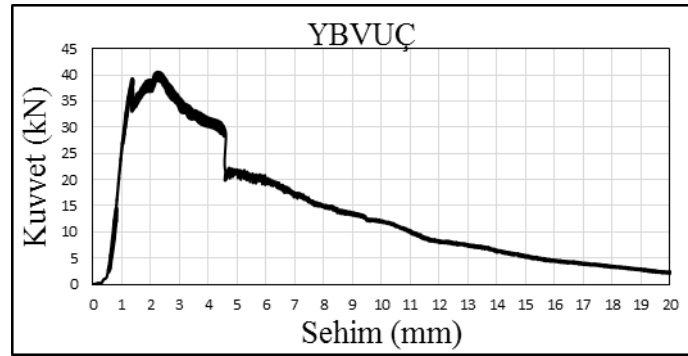


Şekil 4.85. YCUÇ lifli betonların yük-sehim grafiği

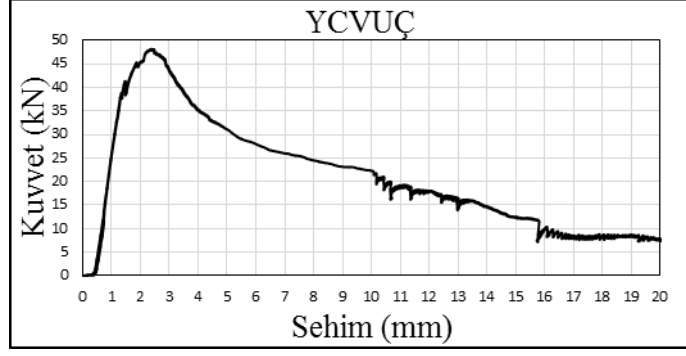
YAVUÇ, YBVUÇ, YCVUÇ betonlarına ait olan Şekil 4.86, Şekil 4.87, Şekil 4.88'deki kuvvet sehim grafikleri ile Şekil 4.76'daki YVR betonunun kuvvet sehim grafikleri kıyaslandığında YVR betonunun en büyük eğilme gerilmesi ile kırılma yükü değerlerinin diğerlerine göre daha düşük olduğu görülmektedir. Bu betonlardan YCVUÇ'nin kırılma yükü ve eğilme gerilmesi değerlerinin en yüksek olduğu ve YVR ye göreyse bu değerlerin ~2 kat daha fazla olduğu anlaşılmaktadır. Öngörülen eğilme gerilmelerine baktığımızda ise YBVUÇ betonu en yüksek değere sahiptir.



Şekil 4.86. YAVUÇ lifli betonların yük-sehim grafiği



Şekil 4.87. YBVUÇ lifli betonların yük-sehim grafiği



Şekil 4.88. YCVUÇ lifli betonların yük-sehim grafiği

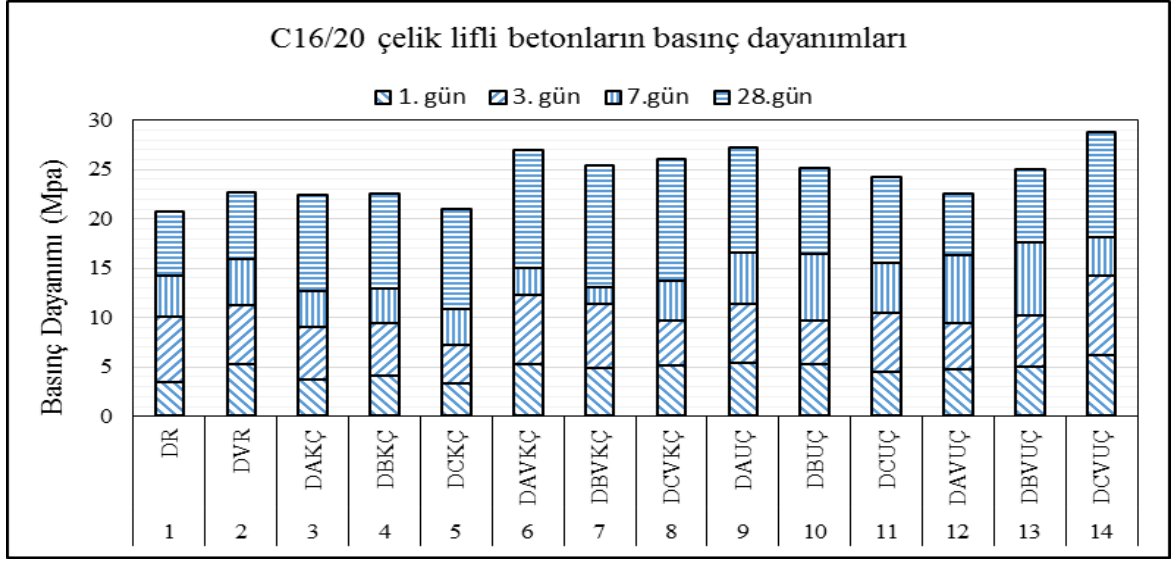
Sonuç olarak; uzun çelik liflerde kırılma yükü ve eğilme gerilmesi en yüksek olan beton YCVUÇ olup öngörülen eğilme gerilmesi ise en yüksek olan YBVUÇ betondur.

4.2.3. Basınç Dayanımı Testi

Tüm betonların % 100 dayanım kazandığı kabul edilen 28 günlük basınç dayanımları, 150x150x150 mm'lik küp beton numuneler üzerinde belirlenmiştir. Bu numuneler C16/20, C25/30 ve C35/45 betonları olarak imal edilmiş olup her bir numune çeşidi için deneysel çalışmalar yapılmış olup aşağıda irdelenmiştir.

4.2.3.1. C16/20 Betonu Basınç Dayanımı Testi

C16/20 referans ve vakumlu betonlara A, B ve C oranlarında kısa veya uzun çelik lif takviyesi yapılmasıyla elde edilen 1, 3, 7 ve 28 günlük basınç dayanım değerlerinin grafiksel gösterimi Şekil 4.89'dadır.



Şekil 4.89. C16/20 çelik lifli beton basınç dayanımları (Basınç dayanım değerleri kümülatif olarak yazılmıştır)

Referans betona yapılan çelik lif takviyesi;

C16/20 betonuna kısa çelik lif takviyesi yapıldığında genel itibariyle ilk günlerde basınç dayanımında düşüşler olsa da, 28 gün sonundaki dayanımlarda artışlar gözlemlenmektedir. Bu artış DBKÇ betonunda ~% 10 olup maksimuma ulaşmaktayken DAKÇ ve DCKÇ betonlarında basınç dayanım artışı azalmaktadır.

Uzun çelik lif kullanımında ise ilk günlerde dahil olmak üzere beton basınç dayanımında artışlar gözlemlenmektedir. DAUÇ betonunun 28 gün sonunda dayanımı DR betonuna kıyasla ~% 30 artarak maksimum seviyeye çıkartmaktadır. DBUÇ ve DCUÇ betonlarında ise sırasıyla ~% 20 ve ~% 15 dayanımı arttırmaktadır.

Referans betona uzun çelik lif, kısa çelik lif takviyesine oranla basınç dayanımını ~% 20 daha fazla katkıda bulunmaktadır.

Vakumlu betona yapılan çelik lif takviyesi;

Kısa çelik lif kullanımında genel olarak ilk günlerde düşüşler görülse de, 28 gün sonunda beton basınç dayanımında artışlar meydana gelmektedir. Bu artış DAVKÇ betonunda ~% 15-20 olup maksimum seviyeye ulaşmakta DBVKÇ ve DCVKÇ betonlarında ise basınç dayanımındaki artış azalmaktadır. DBVKÇ deki artış ~% 10 olup en düşük dayanım bu oranda meydana gelmektedir.

C16/20 betonuna uzun çelik lif takviyesi yapıldığında meydana gelen DAVUÇ ve DBVUÇ betonlarının ilk günlerdeki basınç dayanımları genel itibariyle azalmaktayken,

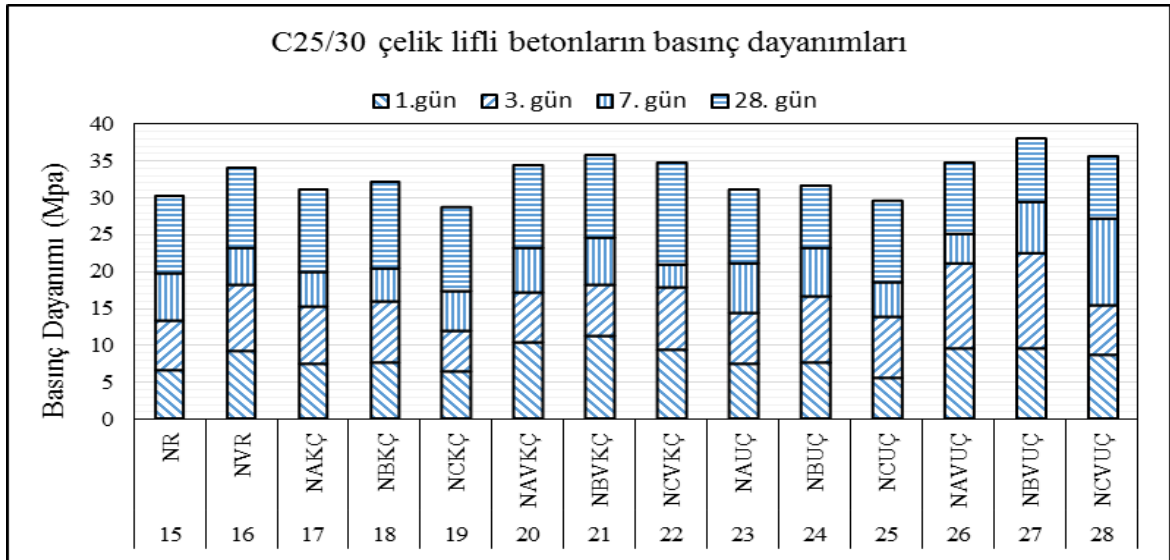
DCVUÇ betonunun dayanımında ise artışlar meydana gelmektedir. DCVUÇ betonunun 28 gün sonundaki dayanım değeri ~% 25 artarak en iyi sonucu vermektedir. DBVUÇ betonunda ise ~% 10 dayanım artışı meydana gelirken, DAVUÇ betonunda ise referans betonun dayanımına kıyasla düşüş meydana gelmektedir.

Vakumlu betona kısa çelik lif takviyesi DAVKÇ betonunda, uzun çelik lif takviyesinde ise DCVUÇ betonunda maksimum dayanıma ulaşmakta olup uzun çelik lif kısa çelik life göre dayanımı ~% 7 daha fazla arttırmaktadır.

Sonuç olarak; düşük dayanım sınıfında referans veya vakumlu betona ilave edilen lifler basınç dayanımını arttırmakta olup uzun çelik lifler kısa çelik liflere göre dayanıma daha fazla katkı sağlamaktadır.

4.2.3.2. C25/30 Betonu Basınç Dayanımı Testi

C25/30 referans ve vakumlu betonlara A, B ve C oranlarında kısa veya uzun çelik lif takviyesi yapılmasıyla elde edilen 1, 3, 7 ve 28 günlük basınç dayanım değerlerinin grafiksel gösterimi Şekil 4.90'dadır.



Şekil 4.90. C25/30 çelik lifli beton basınç dayanımları (Basınç dayanım değerleri kümülatif olarak yazılmıştır)

Referans betona yapılan çelik lif takviyesi;

C25/30 referans betona kıyasla kısa çelik lif takviyesi yapılarak meydana getirilen NAKÇ ve NBKÇ betonlarının basınç dayanımları ilk günlerde artmakta, NCKÇ betonunda ise basınç dayanımında azalmalar meydana gelmektedir. Bu betonlardan 28 gün sonunda NAKÇ ve NBKÇ'nin basınç dayanımında ~% 5 artış görülmüştür. Buna karşın NCKÇ betonunun ~% 5 azalma meydana gelmiştir.

Uzun çelik lif takviyesinde de aynı kısa çelik lif takviyesinde olduğu gibi NAUÇ ve NBUÇ betonlarının dayanımları ilk günlerde artışlar meydana gelirken, NCUÇ betonunda ise dayanımında genel itibariyle azalmalar meydana gelmiştir. Bu betonların 28 günlük dayanım değerlerine baktığımızda ise NAUÇ ve NBUÇ betonlarında ~% 5 basınç dayanım artışı meydana geldiği, NCUÇ betonunda ise basınç dayanımında ~% 5'lik bir azalış meydana geldiği anlaşılmaktadır.

Referans betona yapılan kısa çelik lif takviyesi en iyi dayanımına NBKÇ betonunda, uzun çelik lif takviyesinde ise NAUÇ ve NBUÇ betonlarında vermekte olup kısa çelik lif takviyesi uzun çelik life göre dayanıma sağladığı katkı yaklaşık aynı olmaktadır.

Vakumlu betona yapılan çelik lif takviyesi;

Vakumlu referans betona kıyasla kısa çelik lif takviyesi yapılarak meydana gelen NAVKÇ ve NCVKÇ betonlarının ilk günlerdeki basınç dayanımlarında azalışlar meydana gelse de, NBVKÇ betonunda ise basınç dayanımında artış meydana gelmiştir. Ancak 28 gün sonunda NAVKÇ, NBVKÇ ve NCVKÇ betonlarının hepsinde NVR betonuna kıyasla basınç dayanımında artış meydana gelmiş olup en fazla artış ~% 5 NBVKÇ betonunda olmuştur.

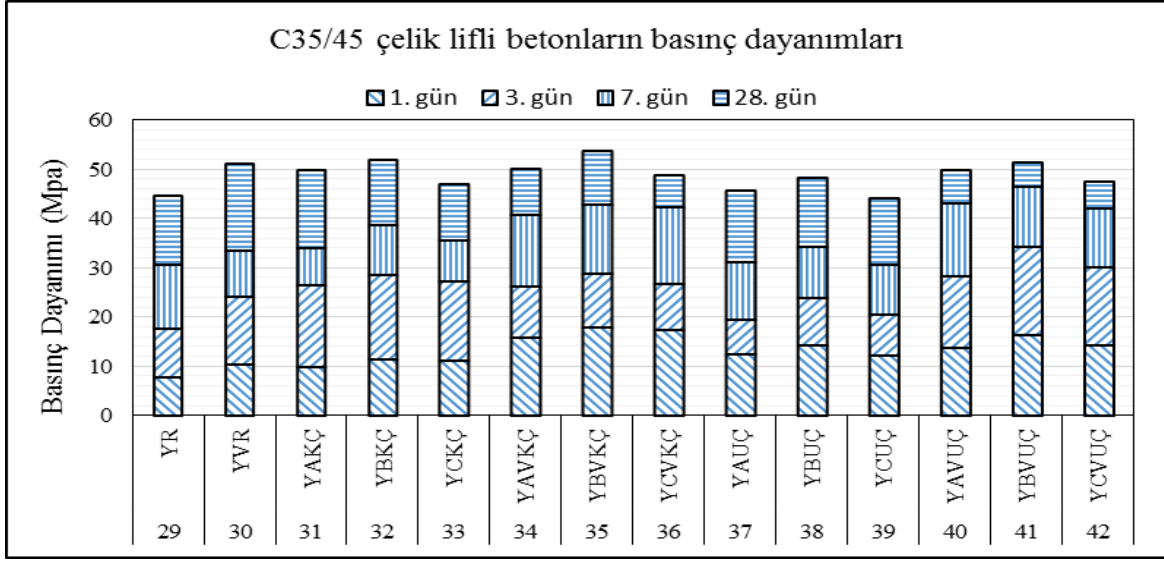
Uzun çelik lif takviyesi yapılarak oluşturulan NAVUÇ ve NBVUÇ betonları basınç dayanımında ilk günlerde artışlara sebep olurken, NCVUÇ betonunun basınç dayanımında ise azalmalar görülmüştür. 28 gün sonunda görülmüştür ki vakumlu referans betona kıyasla NAVUÇ, NBVUÇ ve NCVUÇ betonlarının her birinin basınç dayanımında artışlar meydana gelmiş olup bunlar arasında en fazla artış NBVUÇ betonunda olup ~% 10'dur.

Vakumlu betona yapılan uzun çelik lif takviyesi sonucunda en iyi basınç dayanım artışını NBVUÇ betonu, kısa çelik lif takviyesinde ise NBVKÇ betonunda görülmüş olup uzun çelik lif kısa çelik life göre dayanımı ~% 5 daha fazla arttırdığı görülmüştür.

Sonuç olarak; normal dayanım sınıfında referans veya vakumlu betona ilave edilen lifler basınç dayanımını arttırmakta olup referans betonda kısa çelik liflerin, vakumlu betonda ise uzun çelik liflerin dayanıma katkıları daha fazla olmaktadır.

4.2.3.3. C35/45 Betonun Basınç Dayanımı Testi

C35/45 referans ve vakumlu betonlara A, B ve C oranlarında kısa veya uzun çelik lif takviyesi yapılmasıyla elde edilen 1, 3, 7 ve 28 günlük basınç dayanım değerlerinin grafiksel gösterimi Şekil 4.91'dedir.



Şekil 4.91. C35/45 çelik lifli beton basınç dayanımları (Basınç dayanım değerleri kümülatif olarak yazılmıştır)

Referans betona yapılan çelik lif takviyesi;

C35/45 referans betonuna kıyasla kısa çelik lif takviyesi yapılarak elde edilen YAKÇ, YBKÇ ve YCKÇ betonlarının ilk günlerde basınç dayanımlarında artışlar meydana gelmiştir. Ancak 28 gün sonunda meydana gelen dayanım artışları ilk günlere göre daha düşük seviyelerde kalmıştır. 28 gün sonunda en yüksek dayanım artışı YBKÇ betonun görülmekte ve ~% 18'lik bir artış oluşmaktadır. Bunu ~% 12'lik artışla YAKÇ, ~% 7'lik artış ile de YCKÇ betonu takip etmektedir.

Uzun çelik lif takviyesi yapılarak oluşturulan YAUÇ, YBUÇ ve YCUÇ betonları aynı kısa çelik lif takviyesi yapılarak oluşturulan betonlardaki gibi ilk günlerde basınç dayanımında artışlar meydana getirmiştir. 28 gün sonunda referans betona göre yine artışlar gözlenmekte ancak ilk günlerdekine göre daha düşük seviyelerde kalmıştır. Bu betonlardan basınç dayanımında en fazla artış gösteren YBUÇ betonu olup ~% 12'dir. Daha sonra sırasıyla en iyi artışları YAUÇ ve YCUÇ betonları vermiştir.

Referans betona yapılan kısa ve uzun çelik lif takviyeleri en iyi basınç dayanım artışını sırasıyla YBKÇ ve YBUÇ betonlarında vermiş olup kısa çelik lifler uzun çelik liflere göre dayanımı ~% 6 daha fazla artırmıştır.

Vakumlu betona yapılan çelik lif takviyesi;

Kısa çelik lif takviyesi yapılarak meydana gelen YAVKÇ, YBVKÇ ve YCVKÇ betonlarının beton basınç dayanımları vakumlu referans betona kıyasla ilk günlerde daha yüksektir. Bu betonlardan ise 28 gün sonunda en iyi basınç dayanım artışı YBVKÇ betonunda olduğu görülmüş olup ~% 8'dir. Diğer betonlarda ise 28 gün sonundaki beton basınç dayanımlarında kayda değer bir artış veya azalış meydana getirmediği görülmüştür.

Uzun çelik lif takviyesi yapılarak oluşturulan YAVUÇ, YBVUÇ ve YCVUÇ betonlarının ilk günlerdeki basınç dayanımlarında, kısa çelik lif takviyesi yapılarak oluşturulan betonlardaki gibi artışlar meydana gelmiştir. Bu betonların 28 gün sonundaki basınç dayanımlarını vakumlu referans betonla kıyaslarsak; YBVUÇ betonunda ~% 3 civarında artış olduğu görülmüştür. Buna karşın YCVUÇ betonunun basınç dayanımında ~% 5 bir azalış, YAVUÇ betonunda ise kayda değer bir değişim olmamıştır.

Vakumlu betona yapılan kısa ve uzun çelik lif takviyesi sonucunda oluşan betonlardan en iyi basınç dayanım artışını YBVKÇ ve YBVUÇ betonları ile sağlanmış olup kısa çelik lifler uzun çelik liflere göre dayanımı ~% 5 daha fazla artırmaktadır.

Sonuç olarak; yüksek dayanım sınıfında referans veya vakumlu betona ilave edilen lifler basınç dayanımını arttırmakta olup hem referans hem de vakumlu betonda kısa çelik lifler uzun çelik liflere göre dayanıma katkıları daha fazla olmuştur.

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Taze betona çelik lif takviyesi ve/veya vakum uygulaması yapılarak üretilen 42 çeşit beton üzerinde yapılan 150x150x150 cm küp numunelerle beton basınç dayanımları, 10x60x60 cm numunelerle plak testleri ve 60x15x15 cm numunelerle kiriş eğilme testleri deneyleri gerçekleştirilmiştir. Deneylerden elde edilen veriler üzerinde yapılan değerlendirmeler sonucunda aşağıda belirtilen sonuçlara ulaşılmıştır.

Plak deneyleri ve enerji yutma kapasiteleri değerlendirmesi;

Betona katılan çelik lifler, beton plakların sehım miktarını arttırmıştır. Sehım miktarlarındaki artış beton plağın enerji yutma kapasitesini arttırmıştır. Dayanım sınıfı yüksek ve kısa çelik lif takviyeli beton plaklarda ilk kırılma yükleri azalırken, diğer tüm beton plaklarda ilk kırılma yükü artmıştır. Kırılma şekilleri incelendiğinde, uzun lif katkılı betonların kırılmaları kısa lif katkılı betonlara göre daha az olmuştur. Kırılma şekillerinde düzensizlik görülmektedir. Kısa lif katkılı betonlar lifsiz betonlara benzer şekilde kırılma gözlenmiştir. Bu durum liflerin şekline ve betonla arasındaki aderans miktarına bağlıdır. Beton örnekler içerisindeki kısa ve uzun lif oranlarındaki artışla, homojen olarak dağılması zorlaşmaktadır. Uzun lif oranının artışı ile topaklanmalar oluşmaktadır. Çelik lif oranı fazla olan örnekler genellikle plak testlerinde oldukça yüksek direnç göstermiş ve özellikle uzun çelik lif katkılı betonların parçalanmalarında büyük güçlükler meydana gelerek baskı uygulanan alanda zımbalama etkisi görülmüş ve bu betonlarda enerji yutma kapasitesi en yüksek değerler ölçülmüştür.

Beton örneklere vakum uygulaması işlemi de kırılma yükü ve enerji yutma kapasitesini arttırsa da çelik lif takviyesindeki kadar etkili olamamıştır. Yapılan beton karışımlarından en yüksek enerji yutma kapasitesi ise vakum uygulanan uzun çelik lif takviyeli betonlarda görülmüştür

Kiriş eğilme dayanımı değerlendirmesinde;

Kiriş eğilme testinde betonların en yüksek ve öngörülen eğilme gerilme değerleri irdelenmiştir. Çelik lif takviyesi yapılmayan numunelerde kiriş eğilme testindeki sehım değeri 3 mm'ye ulaşamadığı için öngörülen eğilme gerilmesi değeri hesaplanamamıştır. Yapılan testlerde numuneler iki parçaya ayrılanı kadar devam etmiş ve kırılma şekillerinde de farklılıklar görülmüştür.

Lifsiz ve lifli betonların tümü en yüksek yük altında kırılmış ancak lifli betonlarda lifler kırıların hem momentin en yüksek olması gereken kırılma yerini değiştirmiş hem de lif oranına bağlı olarak kırılmalar dağınık bir şekilde olmuştur.

Beton karışımlara ilave edilen elik lifler hem kırılma yükünü hem de sehim miktarını arttırmış ve böylece betonun en yüksek eğilme gerilmesi de arttırmıştır. Uzun elik lifler kısa elik liflere göre dayanımı düşük betonlar haricinde en yüksek eğilme gerilmesine daha çok katkı sağlamıştır. Betona uygulanan vakum işlemi ise dayanımı yüksek betonlar dışındaki numunelerde referansa göre en yüksek eğilme gerilmesini yükseltmiş ve dayanımı düşük betonlar haricinde en yüksek eğilme gerilmesine uzun elik lifler kısa elik liflere göre daha çok fayda sağlamıştır. 3 mm sehimdeki öngörülen eğilme gerilmelerine bakıldığında ise hem vakum uygulaması hem de uzun elik lifli karışımların değerleri en yüksek olmuştur. Yüksek dayanımlı betonlara ise vakumlu kısa elik lifli ve vakumlu uzun elik lifli betonların öngörülen eğilme gerilme değerleri ise birbirine çok yakın çıkmıştır.

Basınç dayanımı;

Beton karışımlara ilave edilen elik lifler betonun basınç dayanımını arttırmıştır. Dayanımı düşük betonlar dışındaki numunelerde kısa elik lif takviyeli betonlar uzun elik lif takviyeli betonlara göre basınç dayanımına daha fazla katkıda bulunmuştur. Betonlara uygulanan vakum işlemi ise referans betona kıyasla dayanımı yükseltmiş ve dayanımı yüksek betonlar dışında uzun elik lif takviyeli betonlar kısa elik lif takviyeli betonlara göre basınç dayanımını daha fazla arttırmıştır.

Sonuç olarak; beton karışımlarına ilave edilen elik liflerin, lif boyu ve lif oranı gibi parametrelerinin enerji yutma kapasitelerinde, basınç dayanımlarında ve eğilme gerilmelerinde büyük bir önemi vardır. Genel itibariyle en iyi sonuçlar uzun elik lif takviyeli betonlarda görülse de fazla katılan lif miktarı beton homojenliğinde olumsuz sonuçlar meydana getirerek topaklaşmalara ve böylece beton performansında düşüşlere sebep olmaktadır. Betona uygulanan vakum işlemi de beton performansını arttırsa da elik lif takviyesi kadar etkili olmamıştır.

Bu tez çalışmasında elik lif miktarları ve uzunluğunun normal ve vakumlu beton üzerindeki etkileri basınç, kiriş eğilme ve enerji yutma testleri ile belirlenmeye çalışılmıştır. Literatürde olduğu gibi bu çalışmada da elik liflerin betona önemli katkılar sağladığı görülmüştür. Ancak elik lifler olumsuz hava koşullarına maruz kaldığında laboratuvar şartlarında üretilen betonlar gibi davranışlar gösteremediği bilinmektedir.

6. KAYNAKLAR

- Akman, M.S., 1987. Yapı Malzemesi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Türkiye.
- Almansa, E.M. ve Canovas, M.F., 1999. Behaviour of normal and steel fiber reinforced concrete under impact of small projectiles, Cement and Concrete Research, 29, s. 1807-1814.
- Alyamaç, K.E., ve İnce, R., 2008. Çelik lif katkılı karo mozaik döşeme kaplama plaklarının fiziksel ve mekanik özelliklerinin belirlenmesi, Fırat Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Cilt:10, Sayı:1, s. 31-45, Türkiye.
- American Concrete Institute, 1982. State of the Art Report on Fiber Reinforced Concrete. ACI Committee 544-1R, s. 22, ABD.
- American Concrete Institute, 1984. Guide for specifying, mixing, placing and finishing steel fiber reinforced concrete, ACI Committee 544 – 3R, ACI Structural Journal, s. 9, ABD.
- American Concrete Institute, 1988. Design considerations for steel fiber reinforced concrete. ACI Committee 544-4R, ACI Structural Journal, s. 18, ABD.
- Arslan, M., Durmuş, G., Subaşı, S., Can, Ö. ve Yıldız, K., 2010. Beton Yol Kaplamalarında Vakum Uygulaması Üzerine Bir Çalışma, TUBAV Bilim Dergisi, Cilt:3, Sayı:3, s. 215-223, Türkiye.
- Aslan, A., ve Aydın, A.C., 1999. Lifli betonların genel özellikleri, Hazır Beton Dergisi, Sayı 36, s. 67-75, Türkiye.
- Balaguru, P. ve Dipsia, M.G., 1993. Properties of fiber reinforced high-strength semi light weight concrete. ACI Materials Journal, v. 90, 5, s. 399-405, ABD.
- Balaguru, P. ve Foden, A., 1996. Properties of fiber reinforced structural lightweight concrete, ACI Structural Journal, v. 93, 1, s. 62-78, ABD.
- Balaguru, P. ve Shah, S.P., 1992. Fibre-Reinforced Cement Composites, Mc Graw-Hill, s. 523-530, ABD.
- Bolat, H., 2002. Vakumlu Betonun Basınç Dayanımı Üzerine Bir Araştırma, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yapı Eğitimi A.B.D., 76 s., Ankara.
- Bolat, H., Çullu, M. ve Tekin, İ., 2008. Bir Saha Beton Uygulaması: Vakumlu Beton, Türkiye.

- Bolat, H., Şimşek, O. ve Çullu, M., 2006. Beton yol kaplamalarında su-çimento oranının durabiliteye etkisi, 3.Uluslararası Trafik ve Yol Güvenliği Kongresi, Türkiye.
- Boratay, S.S., ve Yeğınobalı, A.,1997. Lif takviyeli yüksek dayanımlı hafif beton, İnşaat Mühendisliğinde Gelişmeler, III. Teknik Kongre, Bildiriler Kitabı, ODTÜ, s. 255-266, Ankara.
- Çelik, T. ve Eren, Ö., 1997. Çengelli çelik liflerin yüksek mukavemetli betona etkisi, İnşaat Mühendisliğinde Gelişmeler, III. Teknik Kongre, Bildiriler Kitabı, ODTÜ, s. 267-276, Ankara.
- Chenkui, H. ve Guofan, Z., 1995. Properties of steel fibre reinforced concrete containing larger coarse aggregate, Cement and Concrete Composites, 17, s. 199-206.
- Çivici, F. ve Eren, İ., 2004. Çelik Lifli Betonun Direkt Çekme Dayanımının Ölçülmesi Üzerine Deneysel Bir Çalışma, Balıkesir Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Türkiye Mühendislik Haberleri Sayı 434, s. 53, Türkiye.
- EN 14488-5:2006. Testing sprayed concrete - Part 5: Determination of energy absorption capacity of fibre reinforced slab specimens”, s. 2-8.
- Erdal, M. ve Şimşek, O., 2006. Bazı tahribatsız deney metodlarının vakum uygulanmış betonların basınç dayanımlarının belirlenmesindeki performanslarının incelenmesi, Gazi Üniversitesi, Müh. Mim. Fak. Der., Cilt 21, No:1, s. 41-51, Ankara.
- Erdoğan, T.Y., 2007. Beton, ODTÜ Yayıncılık, s. 66-67, Türkiye.
- Ersoy, U., 1987. Betonarme Temel İlkeler ve Taşıma Gücü Hesabı, Doğan Ofset, Türkiye.
- Gao, J., Sun, W. ve Morino, K., 1997. Mechanical properties of steel fiber-reinforced, high strength, lightweight concrete, Cement and Concrete Composites, 19, s. 307-313.
- Gopalaratnam, V.S. ve Shah, S.P., 1985. Properties of steel fiber reinforced concrete subjected to impact loading, ACI Journal, s. 117 – 126, ABD.
- Granju, J.L. ve Balouch, S.U., 2005. Corrosion of steel fibre reinforced concrete from the cracks. Cement and Concrete Research, vol. 35, s. 572-577.
- Küçük, B., 1997. Denizli İli Agregaları ve Çeşitli Norm Çimentolarla Üretilen Betonlara Çevredeki Sülfatlı Suların Etkilerinin İncelenmesi, PAÜ., Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, 127 s., Denizli.
- Küçük, B., 2000. Betonun Dayanım ve Durabilitesini Sağlayan Parametreler, Mühendislik Bilimleri Dergisi, Cilt:6, s. 79-85, Türkiye.
- Luo, X., Sun, W. ve Chan, S.Y.N., 2000. Characteristics of high performance steel fiber reinforced concrete subject to high velocity impact, Cement and Concrete Research, 30, s. 907-914.

- Morgan, D. R., 1992. Steel fiber reinforced shotcrete for support of underground openings in Canada. ACI Compilation 27, American Concrete Institute, s. 20-28, ABD.
- Nanni, A., 1990. Design for torsion using steel fiber reinforced concrete, ACI Materials Journal, v. 87, 6, s. 556-564, ABD.
- Nataraja, M.C., Dhang, N. ve Gupta, A.P., 1999. Stress-strain curves for steel-fiber reinforced concrete under compression, Cement and Concrete Composites, 21, s. 383-390.
- Neville, A.M., 1993. Properties of Concrete, Longman Scientific & Technical, New York, ABD.
- Neville, A.M., 1995. Properties of Concrete, 4. Baskı, Longman Group Ltd., s. 844.
- Neville, A.M., 2001. Su ve Beton: "Bir Sevgi Nefret İlişkisi" (Çeviren: Yeğinboğalı, A., "Concrete International" makalesinden Vol 22 , No:12 , 2000)., Çimento ve Beton Dünyası dergisi, sayı 29, Ankara.
- Otter, D.E. ve Naaman, A.E., July-Aug 1988. Properties of Steel Fibre Reinforced Concrete Under Cyclic Loading, ACI Materials Journal, s. 254-261, ABD.
- Özdemir, Ö., 1999. Experimental Study on vacuum processed concrete for floor constructions. Industrial Floors sempozyumu bildiri notları, Stuttgart, Almanya.
- Pigeon, M. ve Cantin, R., 1998. Flexural properties of steel fiber reinforced concretes at low temperatures. Cement and Concrete Composites, 20, s. 365-375.
- Sancak, E. ve Ünal, O., 1999. Çelik liflerin hafif betonlarda kullanılması üzerine bir araştırma, Çelik Tel Donatılı Betonlar Sempozyumu, İstanbul.
- Sharma, A. K.,1985. Shear strenght of steel fiber reinforced concrete beams. ACI Journal, s. 624-628, ABD.
- Singh, S.P. ve Kaushik, S.K., 2003. Fatigue Strength of Steel Fibre Reinforced Concrete in Flexure, Cement and Concrete Composites, v. 25, s. 779-786.
- Soroushian, P. ve Lee, C. D., 1990. Tensile strenght of steel fiber reinforced concrete: correlation with some measures of fiber spacing, ACI Materials Journal, v. 87, s. 541-546, ABD.
- Swamy, R.N. ve Jojagha, A. H., 1982a. Workability of steelfibre reinforced lightweight aggregate concrete, The International Journal of Cement Composites and Lightweight Concrete, v. 4, 2, s. 103-109.
- Swamy, R.N. ve Jojagha, A.H., 1982b. Impact resistance of steelfibre reinforced lightweight concrete, The International Journal of Cement Composites and Lightweight Concrete, v. 4, 4, s 209-220.

- Şimşek, O., 2004. Beton ve Beton Teknolojisi, Seçkin Yayınevi, Ankara.
- Taşdemir, M.A., 1999. Çelik tel takviyeli yüksek dayanımlı betonların mekanik davranışı, Çelik Tel Donatılı Betonlar Sempozyumu, İstanbul.
- Torrenti, J. M. ve Djebri, B., 1995. Behaviour of steel fibre-reinforced concretes under biaxial compression loads, Cement and Concrete Composites, 17, s. 261-266.
- Toutanji, H. ve Bayasi, Z., 1998. Effects of manufacturing techniques on the flexural behavior of steel fiber-reinforced concrete, Cement and Concrete Research, v. 28, 1, s. 115-124.
- TS EN 197-1:2012. Çimento - Bölüm 1: Genel çimentolar- bileşim, özellikler ve uygunluk kriterleri, TSE, Ankara.
- TS EN 934-2:2011. Kimyasal katkıları-Beton, harç ve şerbet için-Bölüm 2: Beton katkıları-Tarifler ve özellikler, uygunluk, işaretleme ve etiketleme, TSE, Ankara.
- TS EN 12350-2:2010. Beton-Taze beton deneyleri-Bölüm 2: Çökme (slamp) deneyi, TSE, Ankara.
- TS EN 12390-3:2010. Beton-Sertleşmiş beton deneyleri-Bölüm 3: Deney numunelerinin basınç dayanımının tayini, TSE, Ankara.
- TS 802/T2:2009. Beton karışım hesabı, TSE, s. 3-18, Ankara.
- TS 10514:1992. Beton - çelik tel takviyeli - çelik telleri betona karıştırma ve kontrol kuralları, TSE, s. 2-5, Ankara.
- TS 10515:1992. Beton- çelik tel takviyeli-eğilme mukavemeti deney metodu, TSE, s. 3-8, Ankara.
- URL-1, <http://www.tremix.com>, Sweden, February, 2008.
- Vondran, G.L., 1992. Applications of steel fiber reinforced concrete. ACI Compilation 27, American Concrete Institute, s. 14-19, ABD.
- Wafa, F.F. ve Ashour, S.A., 1992. Mechanical properties of high-strength fiber reinforced concrete., ACI Materials Journal, v. 89, 5, s. 449-455, ABD.
- Yaprak, H., Sancak, E., Şimşek, O., ve Bolat, H., 2004. "Effect of vacuum application on the corrosion behaviour of concrete", 9. international corrosion symposium, Ankara.
- Yılmaz, K., ve Cavga, Ş., 1999. Agregat granülometrisindeki değişimin çelik tel takviyeli betonların performansı üzerine etkileri, Çelik Tel Donatılı Betonlar Sempozyumu, İstanbul.
- Yiğiter, H. ve Türkel, S., 2004. Çelik Lif Kullanımının Yüksek Performanslı Betonların Süneklik Özelliğine Etkisi, Dokuz Eylül Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, İzmir.

ÖZGEÇMİŞ

1988 yılında Trabzon'da doğdu. Sırasıyla 100. Yıl İlköğretim Okulu, Yunus Emre Lisesi'nden mezun oldu. 2006 yılında Karadeniz Teknik Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü'ne girdi, 2011 yılında mezun oldu. 2012 yılında Gümüşhane Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü'nde yüksek lisans eğitimine başladı. 2011 yılından bu yana Gümüşhane Çevre ve Şehircilik İl Müdürlüğü'nde İnşaat Mühendisi olarak görev yapmakta olup, evlidir.